



# GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica  
della Società Astronomica Italiana



**Fabrizio Serra editore**  
Pisa · Roma

**Settembre 2019**  
Vol. 45° · N. 3

# GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica  
della Società Astronomica Italiana

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

*Direttore responsabile:* Fabrizio Bònoli

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

[www.bo.astro.it/sait/giornale.html](http://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](mailto: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](mailto:fabrizio.bonoli@unibo.it)

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

Pubblicazione trimestrale  
Vol. 45° · N. 3 · Settembre 2019



**Fabrizio Serra editore**  
Pisa · Roma

## Sommario

### Astronomia oggi

- 2 Conoscenza e cosmologie  
R. CACCIA

### Storia

- 10 Fondazione astronomica *ex sole* di *Augusta Taurinorum*  
(Torino). Archeologia, astronomia e astrologia e la  
fondazione delle città romane  
M. CROSTA, S. CARANZANO  
22 La stella di san Domenico  
F. CAPUTO, N. PANAGIA  
27 Le ricerche sui raggi cosmici a Firenze e a Roma. La nuova  
scienza astronomica  
S. D'AGOSTINO  
31 Siamo stati sulla Luna con la meridiana della basilica di  
San Petronio  
G. PALTRINIERI, R. SERRA

### Didattica

- 37 Un progetto di astronomia al Liceo IESS di Reggio Emilia  
F. FERRARI

### Cent'anni fa

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

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

- 43 Quando una foto ci fa volare  
R. DELLA CECA

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

- 46 L'età del Mondo: dalla Bibbia alle reazioni nucleari  
A. D'ERCOLE

### Biblioteca (a cura di A. Cappi)

- 52 L. AMENDOLA, *L'altra faccia dell'universo. I segreti della ma-  
teria oscura e dell'energia oscura* (recens. di M. Bellazzini)  
52 E. CERNAN, D. DAVIS, *L'ultimo uomo sulla Luna* (recens. di  
G. M. Stirpe)  
53 S. CLARK, *Alla ricerca di una nuova Terra. Esopianeti, esplora-  
zioni spaziali e vita extraterrestre* (recens. di A. Adamo)  
54 F. FERRINI, *Le onde gravitazionali. Una nuova porta sul cosmo*  
(recens. di R. Decarli)  
55 A. GIAZOTTO (a cura di A. Parlange), *La musica nascosta  
dell'universo. La mia vita a caccia delle onde gravitazionali*  
(recens. di A. Simoncelli)  
56 R. D. LAUNIUS, *Storia dell'esplorazione spaziale. Tutte le  
scoperte dal mondo antico al futuro extraterrestre* (recens.  
di M. Orlandi)  
57 V. PALUMBO, *L'epopea delle lunatiche. Storie di astronome  
ribelli* (recens. di G. M. Stirpe)  
58 E. PEROZZI, *Luna nuova. Tra mito e scienza dalle eclissi alle  
basi lunari* (recens. di M. Orlandi)

### 60 Errata corrige

### In copertina

17 febbraio 2019: una serie di scatti ravvicinati mostra la proiezione  
del disco lunare in transito sulla linea meridiana della basilica di  
San Petronio a Bologna; un telo è stato steso sul pavimento per  
rendere più leggibile il fenomeno. [Si veda all'interno l'articolo di  
G. Paltrinieri e R. Serra].



# Conoscenza e cosmologie

Riccardo Caccia

**M**ERCOLEDÌ 19 settembre 2018 si è tenuta a Castiglioncello (LI) un'interessante conferenza pubblica intitolata *Dall'astronomia babilonese alle onde gravitazionali*, all'interno del *workshop* internazionale DICE,<sup>1</sup> giunto ormai al nono appuntamento (FIG. 1),<sup>2</sup> da quando il professor Hans-Thomas Elze (fisico teorico all'Università di Pisa), assieme ad altri colleghi, ha fondato quest'evento in terra di Toscana e continua ad organizzarlo ogni due anni con grande passione.

È stato proprio Elze (che gentilmente mi ha concesso una lunga chiacchierata informale e messo a disposizione del materiale originale degli ultimi incontri) a raccontarmi lo spirito multidisciplinare che fin dall'inizio ha caratterizzato questo simposio, tra i cui partecipanti ha visto nel tempo avvicinarsi scienziati da tutto il mondo, anche di chiara fama come R. Penrose, C. Rovelli, J. Hartle, G. 't Hooft, A. Starobinsky, G. Veneziano, N. Chomsky, G. F. R. Ellis.

Nei cinque giorni fitti di contributi che caratterizzano il convegno c'è sempre un momento aperto al pubblico e dedicato alla divulgazione di argomenti di attualità nel grande mondo della fisica. Quest'anno la scelta è caduta sul tema della conoscenza scientifica, abilmente declinato dal *chairman* Enrico Prati (ricercatore al CNR di Milano) in tre aspetti, «ricordare», «capire» ed «esplorare», sui quali si sono inseriti gli interventi dei due ospiti: Fabrizio Bòoli (astronomo e storico dell'astronomia dell'Università di Bologna) e Annalisa Allocca (giovane scienziata che lavora alla collaborazione EGO-Virgo di Cascina, vicino a Pisa).

Bòoli, chiamato a rappresentare il momento della memoria, ha tracciato a grandi linee una breve ma emblematica storia dell'astronomia, partendo da alcuni miti del passato e arrivando a suggerire interessanti analogie tra cosmologie antiche e moderne, mentre Allocca, incarnando il lato dell'esplorazione, ha parlato di onde gravitazionali, con l'evento del 17 agosto 2017,<sup>3</sup> che può essere con-

siderato il vero inizio della cosiddetta *multi-messenger astronomy*.<sup>4</sup> Un lungo spazio finale, dedicato agli interventi dal pubblico, ha permesso di approfondire in varie direzioni i temi toccati dai relatori, chiudendo idealmente la suddetta «trilogia» della conoscenza.

Scopo di questo articolo è quello di divulgare, riprendendole e sviluppandole in maniera personale,<sup>5</sup> alcune di quelle riflessioni, che a me sembrano cruciali nel dibattito cosmologico contemporaneo.

Inizierò seguendo Prati nella sua introduzione.

Innanzitutto, ricordare è difficile, non solo per le persone, ma anche per le civiltà.<sup>6</sup> Ci siamo accorti, leggendo le tavolette dei babilonesi, che c'era qualcuno in grado di seguire con attenzione e prevedere lo spostamento in cielo di Giove già nel I secolo a.C. Successivamente, ne siamo stati capaci di nuovo ad Oxford nel Quattrocento.<sup>7</sup> Ancora prima, attorno al Mille a. C., a Babilonia si sapeva usare il teorema di Pitagora (almeno in modo pratico). Peccato che

da parte di vari strumenti «elettromagnetici» (telescopi ottici, radio ecc.) di una potenziale sorgente nella zona di cielo da cui sarebbe arrivato il segnale gravitazionale; infatti, gli altri eventi (che, secondo il primo catalogo pubblicato il 30 novembre 2018, ammontano a 10) sono stati riconosciuti soltanto grazie alla ricostruzione teorica di un segnale sovrapponibile a quello misurato, attraverso un modello che prevede la fusione di due buchi neri di un certo tipo e a una determinata distanza. In effetti, sono stati addirittura sollevati dei dubbi sul fatto che siano mai state osservate le onde gravitazionali («New Scientist», nov. 3, 2018, vol. 240, n. 3202), la cui scoperta, tra l'altro, è già stata premiata col Nobel. Del resto (come ha ricordato Allocca durante la sua esposizione), quello che tentano di fare gli interferometri LIGO e Virgo è difficilissimo: paragonabile al voler misurare di quanto è variato il livello degli oceani dopo che vi è stato versato un bicchiere d'acqua. Forse (mi viene da aggiungere), invece di meravigliarsi di quanto siamo bravi, bisognerebbe chiedersi una volta in più: «sarà vero?».

<sup>4</sup> Oltre alla luce in senso lato, portatori di informazioni dallo spazio sono anche i raggi cosmici, i neutrini e, appunto, le onde gravitazionali, senza dimenticare l'astronomia di «contatto» («passiva», i meteoriti che raggiungono il suolo terrestre, ma anche «attiva», con gli allunaggi e, più in generale, le missioni sui corpi del sistema solare).

<sup>5</sup> Ciò non necessariamente corrisponde alle opinioni emerse nella serata.

<sup>6</sup> Oltre agli aspetti biologici (tutti gli esseri umani e i loro prodotti, civiltà comprese, nascono vivono e muoiono e le nuove «generazioni» hanno inevitabilmente uno scarto «genetico» con le precedenti) e a quelli psicologici (su cui non entro nel merito), non vanno sottovalutati né gli aspetti economico-politico-sociali, né quelli «evoluzionistici» in senso cosmico (per un'analisi dei quali si rimanda, come spunto di riflessione, alla bibliografia [5]). Giustamente, Elze mi ha fatto osservare anche i rischi legati alla tecnologia: oggi gran parte del sapere si trova su supporti informatici, la cui durata di vita è tipicamente inferiore a quella della carta e che presentano vulnerabilità diverse ma non meno critiche (perdere dati può essere estremamente veloce e su vasta scala).

<sup>7</sup> M. OSSENDRIJVER, «Science», 351, 2016, pp. 482-484.

<sup>1</sup> DICE, in inglese «dado», è anche l'acronimo di *Decoherence Information Complexity Entropy*, parole chiave che caratterizzano gli ambiti principali attorno ai quali è nato e si è sviluppato questo convegno, che riunisce esperti di varia estrazione a discutere su temi quali la meccanica quantistica, la termodinamica, la cosmologia, la relatività generale.

<sup>2</sup> Dal titolo: *From discrete structures and dynamics to top-down causation*; per tutti i dettagli e i collegamenti alle precedenti edizioni si consulti l'indirizzo <http://osiris.df.unipi.it/~elze/DICE2018.html>.

<sup>3</sup> Attribuito alla fusione di due stelle di neutroni, è stata la prima osservazione di questo tipo a trovare conferma sperimentale indipendente, grazie alla (quasi) contemporanea individuazione





Pitagora sia nato 500 anni dopo. Altro esempio: c'è chi sostiene che i Sumeri conoscessero le funzioni trigonometriche 1500 anni prima di Ipparco (II sec. a.C.). Poi, per secoli se ne sarebbe perso l'uso.<sup>8</sup> È un fenomeno complesso quello per cui le civiltà dimenticano. Uno studio internazionale afferma che, sulla base dell'analisi di frequenza di certe parole utilizzate in libri pubblicati negli ultimi secoli, ogni anno il nostro orizzonte temporale si accorcia di 5 anni.<sup>9</sup> Come dire che ora usiamo i concetti degli ultimi 90 anni, l'anno prossimo quelli fino a 85 anni fa e così via: si vive sempre più nel presente, stiamo perdendo la memoria.<sup>10</sup>

Il secondo aspetto del conoscere è quello del capire. Innanzitutto, per capire la scienza serve la matematica. La matematica ce la ricordiamo dalla scuola (spesso) come una cosa noiosissima e (apparentemente) inutile, però, per progredire nella conoscenza serve nuova matematica (o almeno nuove applicazioni di quella esistente),<sup>11</sup> servono delle formule che nessuno ha ancora scoperto e questo è possibile se ci sono persone che entrano nella profondità di questa disciplina e la portano avanti. Solo così possiamo conoscere ciò che abbiamo intorno, altrimenti non riusciamo a capire niente.<sup>12</sup> Un altro aiuto al comprende-

9th International Workshop DICE2018  
Spacetime Matter Quantum Mechanics

Castello Pasquini, Castiglioncello, September 17 - 21

KEYNOTE LECTURERS  
S Adler (Princeton), P Chen (Taipei), G F R Ellis (Cape Town)

INVITED SPEAKERS  
P Aschieri (Torino), J Butterfield (Cambridge), S Capozziello (Napoli), L Diosi (Budapest), G Dvali (Muenchen), A Eichhorn (Heidelberg), A C Elitzur (Rehovot), H-T Elze (Pisa), F Finster (Regensburg), M Genovese (Torino), T Geszti (Budapest), J J Halliwell (London), J Harms (Gran Sasso Lab), B-L Hu (Maryland), A Iorio (Prague), P Jizba (Prague), A Kempf (Waterloo), A Khrennikov (Vaxjo), C Kiefer (Koeln), J Klauder (Gainesville), F A Klinkhamer (Karlsruhe), C Marletta (Oxford), K Meissner (Warsaw), M Paternostro (Belfast), S Popescu (Bristol), E Prati (Milano), F Scardigli (Milano), A D Shapere (Lexington), A Tilloy (Garching), C A Trugenberger (Geneva), M R Vanner (London), V Vedral (Oxford), A Vucante (Southampton), G Vitiello (Salerno), C Wetterich (Heidelberg), J Yearsley (London)

Tavola rotonda rivolta alla cittadinanza

INGRESSO LIBERO

Mercoledì 19 Settembre - ore 21  
Castello Pasquini - Castiglioncello

Dall' astronomia babilonese alle onde gravitazionali

Interverranno: F Bonoli (Bologna), E Prati (Milano), A Allocca (Pisa)

ORGANIZERS  
M Biasone (Salerno), L Diosi (Budapest), H-T Elze (Pisa, chair), L Fronzoni (Pisa), J J Halliwell (London), C Kiefer (Cologne), E Prati (Milano), G Vitiello (Salerno)

SPONSORS  
Università di Pisa - Domus Galilaeana Pisa - CISSC Pisa - Dip. di Fisica Salerno - IISF Napoli  
ARMUNIA Castiglioncello - IOP Bristol - Springer Heidelberg - MPI Basel  
Ericsson Telecomunicazioni - Solvay Italia Rosignano

FIG. 1. Poster DICE 2018 (crediti: H.-T. Elze).

<sup>8</sup> D.F. MANSFIELD, N. J. WILDBERGER, *Plimpton 322 is Babylonian exact sexagesimal trigonometry*, «Historia Mathematica», 44-4, 2017, pp. 395-419.

<sup>9</sup> E. PARISER, *Il filtro. Quello che internet ci nasconde*, Milano, Il Saggiatore, 2012.

<sup>10</sup> Un modo per cercare di contrastare questa tendenza, in generale, è quello di privilegiare la lettura dei «classici». In campo scientifico, anche libri di qualche decennio fa, che apparentemente si direbbero superati, possono offrire preziose chiavi di lettura per comprendere quello che sta accadendo oggi. A questo proposito, voglio consigliare il libro dell'astronomo, già presidente SAI, MARIO RIGUTTI, *La vita nell'universo* (Milano, Rizzoli, 1981), sia perché ho la fortuna di conoscere l'autore, sia perché il saggio contiene inaspettate (per quanto suggerito dal titolo, non certo per la caratura di Rigutti) ma attualissime riflessioni su molti dei temi trattati in questo articolo.

<sup>11</sup> Relativamente recente è, ad esempio, la geometria dei frattali, le cui applicazioni in campo cosmologico fanno intravedere possibili sviluppi significativi (si veda bibliografia [1]).

<sup>12</sup> Vale la pena di ricordare che quasi tutta la nostra conoscenza della fisica si basa su due teorie, relatività generale e meccanica quantistica, che, nate per descrivere ambiti e fenomeni completamente differenti (rispettivamente, macro e microcosmo) sono a tutt'oggi inconciliabili, nonostante l'enorme sforzo profuso e ben evidenziato nei contributi delle varie edizioni del DICE. Semplificando molto, la difficoltà principale nasce dal fatto che l'una si basa su una rappresentazione della realtà «continua», mentre l'altra su

re può venire dalla tecnologia, la quale, potenziando le nostre possibilità esplorative, spesso ci ha permesso di fare dei balzi in avanti nella conoscenza.<sup>13</sup> In particolare, l'intelligenza artificiale rappresenta ormai una nuova opportunità, una sorta di protesi del cervello. Siamo abituati a pensare al *deep learning*,<sup>14</sup> applicato da Amazon per correlare i prodotti e

una «discreta». Esistono vari modi di approssicare il problema: dal «classico», al «semi-classico», al «quantistico puro», però, finora, nessuno è riuscito a imporsi in maniera convincente. Forse, il problema non è solo matematico, ma richiede nuove idee fisiche che al momento ci sfuggono o sottovalutiamo.

<sup>13</sup> Emblematico, in questo senso, è stato l'uso del telescopio per l'osservazione sistematica del cielo, iniziato da Galileo nel 1609.

<sup>14</sup> L'apprendimento profondo (*deep learning*) è una tecnica di apprendimento automatico, basata sulla codifica dell'informazione in reti neurali artificiali, che imitano l'architettura di alcune parti del connettoma umano, come la corteccia visiva. Questo permette ai computer di imparare a svolgere attività «naturali» per l'uomo, ad esempio, il riconoscimento di testi ed immagini. Per un'introduzione all'argomento si veda il libro di E. PRATI, *Mente Artificiale*, EGEA, Milano, 2017.





venderci più cose; però, possiamo farne anche altri usi, ad esempio, predire in tempo e quindi tentare di mitigare gli effetti delle catastrofi naturali. Nello spazio, poi, l'intelligenza artificiale potrebbe permetterci (un giorno) di inviare una sonda su *Alpha Centauri*<sup>15</sup> e farla tornare indietro senza bisogno di equipaggio umano.

Arriviamo così a toccare il terzo tema della conoscenza, quello dell'esplorazione:<sup>16</sup> non si può conoscere senza esplorare, ma per farlo seriamente bisogna essere disposti a mettersi in gioco. Innanzitutto, nell'esplorazione «dentro di noi»: la verità non si trova su *Twitter*, in una frase di 140 caratteri, o su *Facebook*, la verità è scritta nei libri e la può raggiungere solo chi la cerca. Ci sono tante verità nei libri, che per diventare nuova conoscenza hanno bisogno di qualcuno disposto ad aprirli, analizzarli, comprendere e «distillarne» il contenuto, infine, superarli. Poi, c'è un altro tipo di esplorazione, «fuori di noi», per scoprire nuovi fenomeni della natura, come quelli che provengono dalle profondità dell'universo. In questa direzione, ci sono oggi obiettivi importanti, tra i quali, appunto, lo studio delle onde gravitazionali:<sup>17</sup> conoscere quello che è lontano per capire meglio il nostro posto sulla Terra.

Dei tre momenti che compongono la conoscenza, ricordare sembra a me quello che gioca il ruolo più delicato (come ci insegna la storia umana in genere e della cosmologia in particolare) da meritare un approfondimento.<sup>18</sup>

Si dice, di solito, che l'astronomia sia stata la prima scienza: è innegabile che l'alternarsi del giorno e della notte, il cambiamento del cammino del Sole durante l'anno, delle posizioni e della forma della Luna in un mese, l'osservazione del cielo stellato (tanto più nei tempi remoti, che erano privi di luci artificiali e di inquinamento), di come esso ruoti durante la notte e con le stagioni, siano stati fenomeni che devono aver attirato l'attenzione anche dei nostri avi. Se *Homo sapiens* (quindi, un ominide in tutto e per tutto simile a noi) è apparso almeno 200.000 anni fa, è difficile credere che non abbia osservato ben presto con interesse quello che succedeva sopra la sua testa e non ne abbia tratto qualche insegnamento. Tanto più che il cielo è fondamentale per risolvere alcune questioni cruciali per la sopravvivenza, quelli che possiamo chia-

mare «problemi di orientamento»: orientarsi nello spazio e nel tempo.

Per raggiungere luoghi, tornare indietro, scoprire nuovi territori, sfruttare al meglio le forze della natura, è indispensabile avere dei punti di riferimento. Finché ci si sposta in zone limitate, le particolarità del territorio (alberi, montagne, corsi d'acqua, ecc.) possono essere sufficienti allo scopo, ma su lunghe distanze o spazi aperti (quali mari e pianure sconfiniate), senza l'aiuto del cielo e delle sue peculiarità è quasi impossibile muoversi con certezza. E sappiamo abbastanza bene che il nostro antenato, partendo dall'Africa, ha conquistato tutti i continenti già decine di migliaia di anni fa. Del resto, oggi, si ritiene (e io ne sono convinto) che gli stessi animali siano in grado di utilizzare il cielo per orientarsi, come gli uccelli migratori che riescono a ritrovare la strada di casa volando per migliaia di chilometri, di giorno e di notte.

D'altra parte, attività umane essenziali, quali la caccia, l'allevamento e la raccolta dei frutti della terra (a maggior ragione quando diventerà sfruttamento sistematico con l'agricoltura), ma anche l'accoppiamento riproduttivo, la divisione dei compiti, l'espletamento di riti sociali, in una parola l'organizzazione della più semplice forma di comunità, ha richiesto fin da subito la capacità di misurare il trascorrere del tempo, a partire dai primi rudimentali contatori (come le incisioni sul cosiddetto «osso di Blanchard»). E per far questo ci vogliono fenomeni periodici sufficientemente regolari, che il cielo offre facilmente.

Ma c'è un altro motore della conoscenza, potente quanto il bisogno, che caratterizza gli esseri umani (e non solo): la curiosità. Ecco allora che i nostri primi antenati devono aver cominciato a porsi delle domande:<sup>19</sup> «da dove viene tutto questo?», «dove va?» e, soprattutto, «perché?». E sicuramente avranno abbozzato delle risposte coerenti con quello che osservavano e con la propria esperienza, ma anche con l'intuizione di cui erano capaci. Se vogliamo, è così che deve aver avuto inizio la scienza, intesa come ricerca delle cause dei fenomeni.<sup>20</sup>

Traccia di queste lontanissime elucubrazioni sul cielo la ritroviamo, forse, nelle incisioni rupestri (ti-

<sup>19</sup> Né più né meno di come facciamo noi oggi e (c'è da crederci) di come faranno i nostri discendenti domani.

<sup>20</sup> In realtà, anche la religione può essere vista come un sistema in sé coerente che mira a dare una risposta agli interrogativi esistenziali. La peculiarità della scienza è che cerca di farlo attraverso assunti e proposizioni logiche che trovano la loro massima giustificazione possibile nella verifica sperimentale. Questa che potrebbe dirsi la forza (se non la superiorità) della scienza è, in un certo senso, anche la sua debolezza, perché è sicuro che la maggior parte di tali assunti e proposizioni subiranno nel tempo dei mutamenti, anche significativi, per cui, nella prospettiva di una singola vita umana (e, in definitiva, siamo tutti individui) può apparire privo di senso dare più credito a un sistema che è vero «fino a prova contraria», rispetto a uno che non sappiamo se sia vero, ma se lo è, lo è «per sempre». D'altra parte la scienza non deve inseguire la religione nella ricerca di verità assolute: il pensiero scientifico appartiene al mondo delle verità relative e ciò, se ci si pensa, dovrebbe favorire la tolleranza e il dialogo.

<sup>15</sup> Il sistema stellare (triplo) più vicino alla Terra, a circa 4,3 anni luce.

<sup>16</sup> Che io intendo, con Einstein, nel senso più ampio possibile, cioè, come l'insieme delle esperienze sensoriali (cfr. *Fisica e realtà*, in A. EINSTEIN, *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Torino, Bollati Boringhieri, 1988).

<sup>17</sup> Anche dallo spazio, con la missione LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*), che potrebbe divenire realtà nei prossimi anni.

<sup>18</sup> Da qui in poi il discorso prosegue seguendo un «filo» personale che in gran parte si allontana dall'esposizione dei relatori della conferenza del DICE (salvo specifici richiami, opportunamente segnalati) e che, in un certo senso, si riallaccia a quello da me «iniziato» nell'articolo *Cent'anni di cosmologia*, «Giornale di Astronomia», 44 (1), 2018, pp. 13-23.





po quelle di Lascaux), in alcune parole che tradiscono la loro origine antica (per esempio, i *deva* indiani e gli *dei* greco-romani, che derivano entrambe, come ha ricordato Prati, dal termine *deiwos*, i «celesti», delle antiche popolazioni Kurgan)<sup>21</sup> e nei miti delle varie civiltà, in particolare, quelli mesopotamici, che sono tra i primi di cui abbiamo notizia.<sup>22</sup>

Ora (dice Bònoli), dall'analisi dell'atteggiamento dell'uomo di fronte alle cose celesti, in tutti i tempi e in tutti i luoghi della Terra, come ha ben argomentato l'antropologo sociale J. Frazer,<sup>23</sup> sembrano emergere chiare analogie tra civiltà diverse, ad esempio: nell'origine del Cosmo dal Caos, in certe strutture architettoniche (le piramidi in Egitto e i templi Maya in America Centrale) o in alcune forme calendariali, nelle reazioni popolari alle mutazioni improvvise in cielo (a causa di eclissi, comete e stelle «nuove»). È possibile che tali analogie siano, appunto, l'effetto di cause simili che agiscono su menti simili, per cui *Homo sapiens*, quando si trovi di fronte ad una determinata situazione, reagisca tutto sommato nello stesso modo, oggi come ieri.

Tuttavia, questa interpretazione (peraltro, ragionevole e in molti casi condivisibile), che possiamo annoverare nel «determinismo biologico», sembra mostrare dei limiti quando si pone dinanzi ad eventi «unici» nello sviluppo della conoscenza umana, come l'idea della forma sferica della Terra, che (per quanto ne sappiamo) è apparsa una sola volta in maniera originale nella storia, al tempo della Grecia antica. E siccome un «teorema» è falsificato se c'è anche una sola prova contraria,<sup>24</sup> forse è più realistico pensare (tenuto conto, da un lato, dello sfasamento temporale che separa, tipicamente, le «apparizioni» di prodotti umani simili e, dall'altro, dell'evidenza di grandi migrazioni umane fin dalla preistoria), che queste analogie siano piuttosto (o anche) il risultato di un processo di «diffusione» e assimilazione della conoscenza, attraverso gli spostamenti e le contaminazioni dei

popoli.<sup>25</sup> Quindi, ricordo e perdita come facce di una stessa medaglia.

In campo astronomico, l'emblema della dimenticanza collettiva e della successiva riscoperta è, senza dubbio, l'oblio del sistema eliocentrico di Aristarco (III sec. a.C.) per circa 1800 anni. Si potrebbe pensare, superficialmente, che sono cose che succedevano nel passato, ma che oggi non possono più accadere. Peccato che, proprio guardando alla cosmologia presente, ci siano molti segnali che sembrano smentire una tale, semplicistica tesi. Come, infatti, non cogliere inquietanti somiglianze tra: geocentrismo, epicicli, eccentrici ed equanti, da una parte; *Big Bang*, materia oscura, inflazione ed energia oscura, dall'altra?

È vero che le analogie in campo scientifico possono portare a nuove scoperte, ma anche a strade sterili, come insegnano esempi importanti quali la storia del «calorico».<sup>26</sup> Del resto, non esiste una regola che conduca in maniera certa e lineare alla verità ed è questo, a mio avviso, che rende «misterioso» (per dirla con Prati) il problema della memoria: semplicemente non possiamo prevedere quali concetti supereranno (e come) la prova del tempo. Però, possiamo cercare di stare vigili su quello che accade nel presente.

Tornando, quindi, alla cosmologia contemporanea, è lecito porsi la seguente domanda: stiamo ripetendo un caso storico nefasto, oppure, stiamo veramente costruendo una cosmologia «di precisione»?<sup>27</sup>

Se lo studio dell'astronomia si caratterizza per essere prevalentemente osservativo, a maggior ragione ciò vale per lo studio dell'universo nella sua totalità, per cui ci vuole ancora più prudenza: i cosmologi pretendono di poter capire da pochi e «sfocati» indizi<sup>28</sup> il funzionamento di qualcosa di estremamente complesso ed enorme, quasi ponendosi nella «stessa» prospettiva di Dio. Bisogna andarci cauti. Innanzitutto, è necessario chiedersi continuamente quali sono gli assunti alla base del modello dominante (che potrebbero svolgere un ruolo

<sup>21</sup> Quella kurganica è una teoria che cerca di spiegare la diffusione delle lingue indoeuropee in Eurasia a partire da una patria originaria comune (*Urheimat*), individuata nelle steppe comprese tra Mar Nero e Caucaso. Si vedano in proposito: J. P. MALLORY, *In Search of the Indo-Europeans: Language, Archaeology, and Myth*, London, Thames & Hudson, 1989, e F. VILLAR, *Gli indoeuropei e le origini dell'Europa*, Bologna, Il Mulino, 2008 (1° ed. 1997).

<sup>22</sup> In particolare, quelli raccolti nel cosiddetto *Ciclo di Baal* (II millennio a.C.), che tanta influenza hanno avuto nella successiva cultura greca, come pure nei racconti sulle «origini» a noi più familiari, cioè, quelli biblici della *Genesi* (I millennio a.C.). Con una differenza sostanziale, come ha sottolineato Bònoli: mentre nei miti delle religioni politeiste, la teogonia (ovvero, la nascita degli dei) è successiva alla cosmogonia (l'origine del cosmo), nelle religioni monoteiste (come quella ebraica) è un unico dio che presiede alla nascita dell'universo.

<sup>23</sup> J. FRAZER, *The Golden Bough: A Study in Comparative Religion*, 1<sup>st</sup> ed., 1890; 1<sup>a</sup> ed. it.: *Il ramo d'oro. Storia del pensiero primitivo: magia e religione* (3 volumi), Roma, Stock, 1925; lo stesso Frazer redasse un compendio in un solo volume dell'edizione in 12 volumi del 1906-1915: vedi l'edizione italiana Bollati-Boringhieri del 1998.

<sup>24</sup> Non è vero che «l'eccezione conferma la regola»: se proprio non la falsifica, quanto meno la indebolisce, rendendola (semmai) di natura statistica.

<sup>25</sup> Cfr. L. RUSSO, *L'America dimenticata*, Milano, Mondadori, 2013.

<sup>26</sup> Antico nome del calore, quando si riteneva che fosse un fluido, il cui sviluppo e declino è ben raccontato da A. EINSTEIN e L. INFELD in quel libro esemplare che è *L'evoluzione della fisica* (Bollati Boringhieri, Torino, 1965, pp. 47 e seguenti).

<sup>27</sup> Il termine, a mio avviso, è ingannevole: una cosa è la precisione delle misure rispetto al valore medio (che è quella a cui si fa riferimento), un'altra è la precisione del valore misurato rispetto a quello reale (che potrebbe essere assai diverso).

<sup>28</sup> L'ultimo arrivato, il 10 aprile 2019, è la cosiddetta «prima foto di un buco nero», definita addirittura «foto del secolo», anche se mancano ancora 80 anni a finire il XXI e personalmente mi auguro che ci saranno molte altre immagini (non solo astronomiche) a concorrere per questo «titolo». Che, poi, non è una foto e anche per definirla immagine, bisogna intendersi: si tratta della trasposizione in falsi colori di 7 mappe radio, prese ciascuna in tempi e luoghi diversi, rielaborate insieme da un supercomputer che, per colmare l'incompletezza dei dati e produrre un risultato intelligibile, utilizza una serie di algoritmi studiati apposta per scegliere, tra le varie ricostruzioni possibili, quella che più si avvicina al risultato atteso.





analogo a quello dei moti circolari uniformi in passato).<sup>29</sup> E quali sono le basi sperimentali su cui poggiano i suddetti assunti (che potrebbero ingannarci, come a suo tempo la mancata misura delle parallassi stellari). Infine, quali le ipotesi *ad hoc* (sostanzialmente non diverse da epicicli, eccentrici ed equanti)<sup>30</sup> che servono a far tornare i conti.

Procedendo con ordine, ecco un elenco<sup>31</sup> dei presupposti fondamentali (espliciti od impliciti) su cui si basa la cosmologia «ufficiale»:

- le leggi della fisica, valide qui e ora sulla Terra, lo sono ovunque e sempre in tutto l'universo;
- la forza di gravità è l'interazione dominante a larga scala;
- la relatività generale è il modello fisico-matematico della gravitazione;
- il vuoto (in virtù del principio di indeterminazione di Heisenberg) non è esattamente tale, ma pullula di copie di particelle antitetiche che continuamente emergono e poi spariscono (per annichilazione) nel tempo sufficiente a non violare la conservazione dell'energia;
- l'universo è omogeneo e isotropo (principio cosmologico);
- l'universo è realmente in espansione.

Premesso che nella scienza (purtroppo o per fortuna) non esistono assiomi indiscutibili, il primo punto è quello che, secondo me, deve preoccupare di meno:<sup>32</sup> è così che avanza la scienza, abbandonando, all'occorrenza, eventuali leggi (o la loro universalità), man mano che si dimostrano non più valide; esso ha il valore di un principio eziologico fondato sull'irrinunciabile buon senso del rasoio di Occam: non si devono moltiplicare gli enti oltre il necessario.

Invece, non tenere sufficientemente conto che la materia nell'universo pare essere principalmente allo stato di plasma, escludendo la forza elettromagnetica dalle cause che incidono sulla forma del cosmo, potrebbe risultare una semplificazione eccessiva.

La relatività generale viene additata da più parti come un modello da superare, lo stesso Einstein l'aveva messo in conto.<sup>33</sup> Tuttavia, il numero di prove indipendenti e il loro grado di precisione cresce

<sup>29</sup> Fu Platone che, partendo dall'idea di corpi celesti orbitanti intorno alla Terra in traiettorie circolari e movimenti uniformi, spronò gli studiosi a «salvare i fenomeni», cioè, a costruire modelli in grado di spiegare, su quella base, tutte le osservazioni.

<sup>30</sup> Il sistema geocentrico raggiunse il suo apice di ingegnoseria e precisione con Tolomeo (II sec. d.C.), rimanendo sostanzialmente invariato per quasi 1400 anni.

<sup>31</sup> Che non pretende di essere esaustivo.

<sup>32</sup> Nel senso che non impatta sul problema della memoria, semmai, sul tempo necessario ad acquisire nuova conoscenza: si tratta, cioè, di un principio conservativo, ma comunque progressista.

<sup>33</sup> «Ma considero tranquillamente possibile che la fisica non possa in realtà esser fondata sul concetto di campo, cioè su strutture continue. Nel qual caso non rimarrà niente, né di tutto il mio castello in aria, né della restante fisica contemporanea» (A. EINSTEIN, nella lettera a M. Besso del 10 agosto 1954, *Opere scelte*, Torino, Bollati Boringhieri, 1988, p. 706).

sempre di più, tanto che mi pare prematuro criticare questo modello, mentre trovo deboli gli argomenti che spingono alcuni scienziati in questa direzione.<sup>34</sup> La questione anima ancora il dibattito (non risolto) tra fisica quantistica e classica ed è difficile restare neutrali, l'importante è che nessuna strada venga abbandonata, anche in presenza di prove in apparenza dirimenti: finché non sarà nata una teoria più generale in grado di comprendere al suo interno questi due regni della fisica, è bene non farsi guidare dal «tifo», ma dall'obiettivo comune.

Il principio di indeterminazione può sembrare, parimenti, un fondamento così solido della nostra conoscenza del mondo, che anche il solo sollevare sospetti nei suoi confronti (per quanto detto sopra) può suscitare «sorrisini», se non reazioni «violente»; del resto, non è riuscito a scalfirlo neanche Einstein. Ma senza voler negare la sua validità (quantomeno) empirica, mi permetto di osservare che il trarne qualunque tipo di conseguenza, forse, travalica la bontà e la necessità dello stesso.

Poi, c'è la questione del principio cosmologico. Fin dall'inizio del secolo scorso si è supposto (ripetiamolo una volta di più: per semplificare i calcoli, anche perché allora le osservazioni non supportavano affatto una simile idea) che l'universo fosse ovunque uniforme e con le stesse proprietà in ogni direzione; eppure, ad ogni scala sondata abbiamo scoperto strutture (sistemi planetari, galassie, ammassi e superammassi, infine, pare, una trama spugnosa detta «ragnatela cosmica») che ci raccontano un universo differente da quello che stiamo affermando con i nostri modelli.

Infine, si deve sempre ricordare che l'interpretazione cosmologica della legge di Hubble (oggi, di Hubble-Lemaître)<sup>35</sup> non è l'unica possibile: oltre all'effetto Doppler e al *redshift* gravitazionale (che, al momento, non sembrano in grado di dar conto delle quantità misurate), c'è quella che genericamente viene detta «luce stanca»,<sup>36</sup> forse troppo frettolosamente scartata dall'ortodossia scientifica.

Ovviamente, ciascuno di questi assunti poggia su dati e ragionamenti rispettabili, solidi e magari anche veri, però, nessuno può affermarlo con certezza, essendo sempre possibile che future scoperte possano ribaltare le convinzioni più radicate (ricordiamo

<sup>34</sup> Einstein era altresì convinto che, della sua equazione di campo, il primo membro (ovvero, la geometrizzazione della gravità) fosse fatto di «marmo pregiato», mentre il secondo (la descrizione della materia) di «legno di qualità scadente»: «La rappresentazione fenomenologica della materia è infatti solo un rozzo sostituto di una rappresentazione che dovrebbe giustificare tutte le proprietà della materia stessa» (da *Fisica e realtà*, 1936, op. cit.). Peccato che gli sforzi dei fisici contemporanei mi sembrano indirizzati soprattutto ad attaccare il «marmo pregiato».

<sup>35</sup> Vedi la risoluzione dell'IAU per cambiare il nome alla legge di Hubble: *IAU members vote to recommend renaming the Hubble law as the Hubble-Lemaître law*, «Press Releases International Astronomical Union», 29 ottobre 2018, in [www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau1812/](http://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau1812/).

<sup>36</sup> E che si declina in vari modi, alcuni dei quali non si possono del tutto escludere (v. bibliografia [6] p. 326).





cosa è successo ai millenari concetti di spazio e tempo assoluti con l'avvento della relatività speciale).

Credo che esercitare (non solo a parole) il dubbio come metodo possa aiutare a diminuire (eliminarlo del tutto è umanamente impossibile) il rischio di perdere la memoria.

È, allora, il caso di ripensare criticamente anche alle principali osservazioni che hanno ricadute in cosmologia, ovvero:<sup>37</sup>

- le prove della relatività generale (dalla deflessione della luce, alla precessione di Mercurio, al *redshift* gravitazionale, tanto per citare quelle «classiche»);<sup>38</sup>
- l'effetto Casimir,<sup>39</sup> ovvero, la forza attrattiva che si esercita fra due corpi estesi situati nel vuoto (ad esempio, due piastre parallele), come prova dell'esistenza di particelle virtuali che si creano e autodistruggono continuamente;<sup>40</sup>
- le mappe tridimensionali del cielo:<sup>41</sup> su questo punto credo che dovremmo investigare (e pazientare) ancora a lungo; la nostra capacità di penetrare e capire la distribuzione della materia nell'universo dipende essenzialmente dalla scala delle distanze cosmiche, che è attendibile solo per distanze risibili in confronto all'immensità dell'universo; il satellite Gaia<sup>42</sup> (FIG. 2) ci permetterà di compiere un passo importante nella conoscenza diretta della strut-

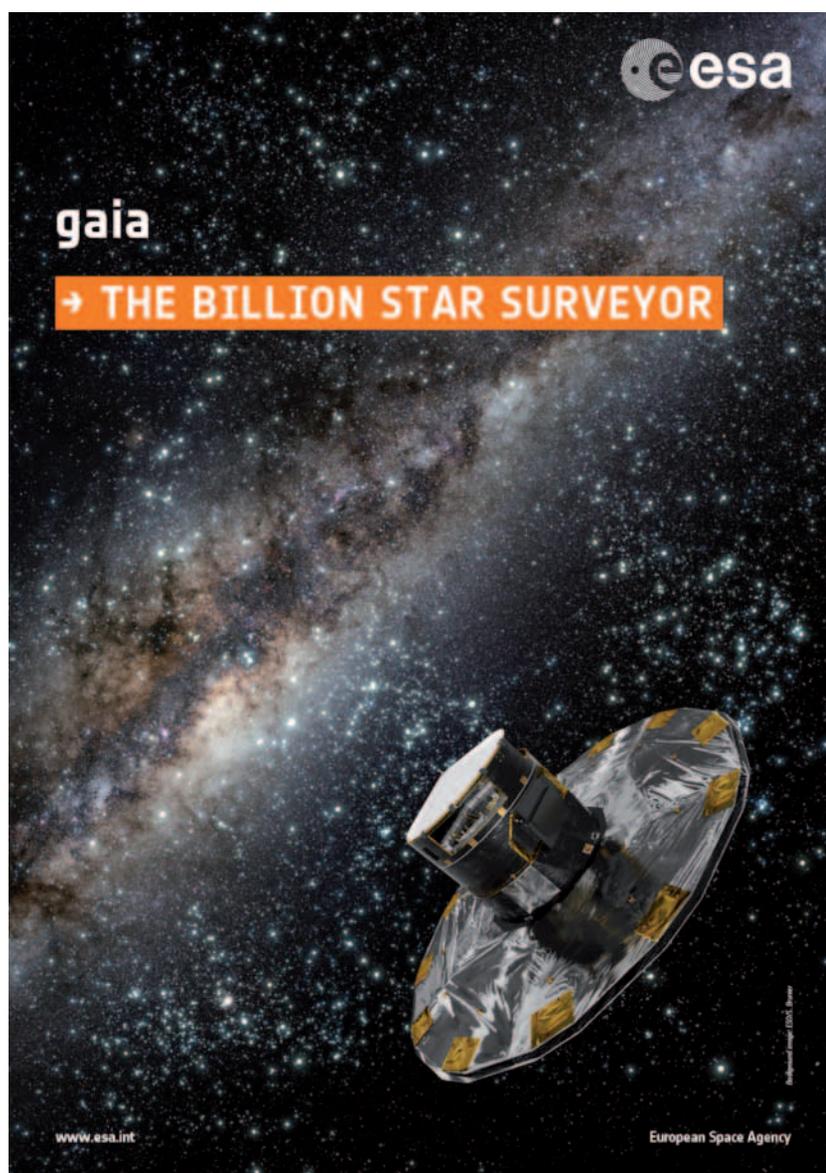


FIG. 2. Poster della missione GAIA (<http://sci.esa.int/jump.cfm?oid=56431>; copyright: ESA).

<sup>37</sup> Di nuovo, senza pretesa di completezza.

<sup>38</sup> Che al momento, però, sembrano in una botte di ferro.

<sup>39</sup> Si vedano su questa rivista A. D'ERCOLE, *L'effetto Casimir* (n. 4, 2004, p. 40) e, dello stesso autore, *È la somma che fa il totale* (n. 1, 2019, p. 54).

<sup>40</sup> Che, secondo una mia congettura, potrebbe essere un'interpretazione fallace, cioè, la spiegazione del fenomeno osservato sarebbe da ricercare in un'altra causa (ovviamente, si dovrebbe ammettere la stessa cosa per lo «spostamento di Lamb»).

<sup>41</sup> Personalmente, non considero molto rappresentative certe simulazioni al computer, che ci darebbero l'immagine di com'è fatto l'universo; mi sembra una pretesa eccessiva: la costruzione di questi modelli avviene partendo da ipotesi talmente semplificate (il fatto che siano necessarie dal punto di vista della trattazione matematica non le rende più vere) che non possono minimamente avvicinarsi alla complessità del «tutto». Per non parlare delle assunzioni (spesso tacite) che appartengono a un determinato modello cosmologico, che non si sa se è vero.

<sup>42</sup> Lanciato dall'Agenzia Spaziale Europea nel 2013, sta misurando, tra l'altro, la parallasse di oltre un miliardo di stelle, con una precisione dell'ordine delle decine di micro-secondi d'arco. Una delle prime conseguenze di queste misure è che ci sarebbe una discrepanza importante tra la costante di Hubble-Lemaître ricavata dal precedente satellite Planck (che ha studiato la radiazione cosmica di fondo) e quella ottenuta da Gaia, che, in linea di principio, è più corretta, essendo basata su un metodo diretto per il calcolo delle distanze. Se confermato, ciò peggiorerebbe il problema

della nostra Galassia, ma saremo ancora ben lontani da capire tutto ciò che è fuori; ogni altro metodo di misurazione dello spazio (a cominciare dalle Cefei-di, che è quello immediatamente più sicuro e che migliorerà grazie proprio ai dati raccolti da Gaia) soffre di possibilità di errore ancora importanti, tanto più, quanto più lontano cerchiamo di spingerci ad osservare, e cioè, proprio alle scale in cui dovrebbe cominciare a valere il principio cosmologico;

- il *redshift*, ovvero lo spostamento verso il rosso delle righe spettrali;<sup>43</sup>
- la composizione chimica dell'universo;<sup>44</sup>
- la radiazione cosmica di fondo;<sup>45</sup>

dell'età dell'universo (cioè, che possa risultare inferiore a quella di alcuni ammassi di stelle e galassie) stabilita secondo il modello del *Big Bang* (a meno di non postulare un'accelerazione dell'espansione ancora maggiore, che però andrebbe oltre quella inferita dalle osservazioni delle *supernovae* di tipo Ia).

<sup>43</sup> Che presenta casi di deviazione importante dalla legge di Hubble-Lemaître, come certi oggetti dell'atlante peculiare di H. Arp.

<sup>44</sup> Col problema aperto del litio.

<sup>45</sup> E se fosse banalmente la soluzione del «paradosso di Olbers» in un universo infinito, tenuto conto dell'effetto *redshift*?





- la velocità di rotazione delle galassie;<sup>46</sup>
- le *supernovae* di tipo Ia.<sup>47</sup>

Attualmente, non esiste una teoria che spieghi contemporaneamente e bene tutte le osservazioni. Si dice che il modello cosmologico  $\lambda$ CDM (*Lambda Cold Dark Matter*, comunemente noto come «modello cosmologico standard») sia quello che lo fa meglio, ma, ammesso e non concesso che ciò sia vero, ci riesce solo grazie alle seguenti ipotesi *ad hoc*, che, al momento, non hanno riscontri sperimentali decisivi:

- il *Big Bang* stesso, ovvero, il fatto che l'universo abbia avuto un inizio;<sup>48</sup>
- l'inflazione, ovvero, la fase di espansione parossistica che l'universo avrebbe attraversato nei primissimi istanti di vita;<sup>49</sup>
- la materia oscura;<sup>50</sup>
- l'energia oscura.<sup>51</sup>

In questa sede non è possibile entrare in dettagli tecnici,<sup>52</sup> quello che mi preme sottolineare non è la verità di certe affermazioni, piuttosto, i rischi connessi nei processi conoscitivi e nella gestione dei loro risultati. Ci vogliono, a mio avviso, tanta umiltà, apertura mentale e spirito disinteressato.

Allo stato attuale delle conoscenze sarebbe più saggio ammettere che la maggior parte delle suddette ipotesi sia solo una «parametrizzazione», un modo di descrivere qualcosa che non capiamo e che magari non ha fisicamente realtà.<sup>53</sup> Si badi bene:

<sup>46</sup> Che potrebbe essere male interpretata a causa di un modello matematico errato (bibliografia [6] pp. 342-348).

<sup>47</sup> Sono già sorti i primi dubbi sul fatto che questo tipo di *supernovae* si produca sempre dal solito meccanismo fisico (ricordiamoci che anche per le Cefeidi, all'inizio, si commise lo stesso errore, pensando che appartenessero tutte ad un'unica categoria di stelle variabili: ciò portò Hubble, nel 1925, a «dimezzare» la distanza della galassia di Andromeda e di conseguenza di tutto l'universo).

<sup>48</sup> Non ho mai capito bene perché si debba criticare (giustamente) come non scientifica, in quanto non falsificabile, l'idea avanzata nel 1948 da F. Hoyle, H. Bondi e T. Gold della produzione di un atomo di idrogeno per metro-cubo ogni miliardo di anni, necessaria per render conto dell'espansione dell'universo nel loro modello dello stato stazionario, mentre non suscitò ugualmente (anzi direi di più) reazioni negative il fatto che, secondo la teoria del *Big Bang*, tutto (quindi, almeno le migliaia di miliardi di galassie che si stimano osservabili e che contengono ciascuna, mediamente, centinaia di miliardi di stelle e ancor più pianeti, per non parlare di tutta la polvere e i gas diffusi, la radiazione e i neutrini, per limitarci alle cose certe) è sortito fuori da un «punto» (cioè, qualcosa che non ha neanche dimensione).

<sup>49</sup> Sostenere che tra (circa)  $10^{-36}$  e  $10^{-32}$  secondi dopo il *Big Bang* ci sia stata un'accelerazione tale che ha fatto crescere l'universo di oltre 30 ordini di grandezza dovrebbe farci riflettere sul fatto che tutto questo «masticare» potenze di 10 come se fossero una cosa da niente, forse, potrebbe sortire l'effetto di un anestetico della mente.

<sup>50</sup> Si dice che l'esistenza della materia oscura sia più di una semplice supposizione, perché ci sono varie osservazioni indipendenti che la richiedono; tuttavia, è anche l'argomento che ha più teorie alternative.

<sup>51</sup> La cui spiegazione più accreditata comporta il peggior caso di disallineamento tra previsione teorica e dato sperimentale: un fattore  $10^{120}$ ! Un numero inimmaginabile: per esempio, di gran lunga superiore a quella che si stima sia la somma di tutte le particelle dell'universo visibile, ovvero ca.  $10^{80}$  (una più, una meno).

<sup>52</sup> Cosa, però, necessaria se si vuole arrivare a capire veramente come stanno le cose.

<sup>53</sup> In questo e nel successivo capoverso riporto concetti (che condivido) espressi da Guido Risaliti, dell'Università di Firenze,

questo modo di procedere, di per sé, non è criticabile, anzi può essere utile e fecondo. La storia della scienza è piena di teorie che si sono rivelate sbagliate e poi sono state migliorate in base alle misure, fino a produrre un modello corretto. Anche gran parte dello sviluppo tecnologico è avvenuto così. Però, come ha fatto notare Karl Popper,<sup>54</sup> ci sono delle condizioni da rispettare: va bene aggiungere un «pezzo» alla teoria per tener conto di nuove osservazioni, ma la teoria così modificata deve risultare più falsificabile di prima, cioè, l'aggiunta deve permettere di fare nuove previsioni che sia ancora più facile falsificare perché più accurate. Come si dice, la nuova teoria deve essere più predittiva.

Il modello cosmologico dominante,<sup>55</sup> per l'apunto, si è talmente complicato che, osservando una cosa o il suo opposto, esso riesce sempre ad aggiustarsi. Cioè, ha talmente tanti gradi di libertà che, qualsiasi cosa si osserverà in futuro, ci sarà sempre una combinazione di parametri che potrà renderne conto. E quindi si pone la domanda: questo modello ci sta insegnando qualcosa, oppure, potendo spiegare tutto, in realtà non spiega niente? La risposta (forse) ancora non c'è: l'unica cosa da fare è andare avanti con le misure, in modo da delineare meglio le proprietà dell'universo, nella speranza (come è sempre successo, prima o poi, nella storia) che nuove osservazioni ci indichino un'interpretazione diversa, per cui non ci sarà più bisogno dell'inflazione e delle «cose» oscure, oppure sì, perché finalmente avremo scoperto il meccanismo fisico che ne ha le caratteristiche. La via maestra rimane quella della verifica sperimentale o, per dirla con Galileo, delle «sensate esperienze e necessarie dimostrazioni».

In chiusura, vorrei tornare alla conferenza di Castiglioncello per accennare ad altri tre argomenti (emersi nella discussione finale), che mi sembrano pertinenti al problema della memoria: il ruolo della bellezza come metodo di ricerca, il ruolo della comunicazione scientifica e il ruolo del pubblico. Tutti questi aspetti meriterebbero libri di approfondimento: cercherò di cavarmela con qualche «pennellata», probabilmente maldestra come il resto, ma spero stimolante.

A proposito della bellezza nella ricerca fisica non si può non citare Paul Dirac.<sup>56</sup>

C'è solo una roccia che può sopravvivere a ogni tempesta e alla quale ci possiamo aggrappare strettamente: l'idea che le leggi fondamentali della natura siano espresse da una teoria matematicamente bella.

nella conferenza *Cosmologia osservativa: ai confini della scienza*, organizzata dalla SALT di Livorno il 10/11/2018. Si veda anche D. MERRITT, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 57, 2017, pp. 41-52.

<sup>54</sup> K. R. POPPER, *La logica della scoperta scientifica*, Torino, Einaudi, 2010 (1ª ed. 1970).

<sup>55</sup> Faccio mia la critica di Bònoli verso l'uso del termine «standard» a connotare più modelli di cose tra loro diverse (dal mondo delle particelle, al Sistema solare, al cosmo) e che, per di più, necessitano di continui aggiustamenti.

<sup>56</sup> P. A. M. DIRAC, *La bellezza come metodo*, Milano, Indiana, 2013.





Sulla grandezza di Dirac e sul fatto che ci sia del vero in questa affermazione non vale la pena discuterlo, ognuno lo sa e lo sente da solo, tuttavia, il fare di un «atto di fede» un principio fondante, almeno nella scienza, alla lunga non paga, anzi può diventare controproducente. Cosa c'è di più bello di porre la Terra al centro dell'universo e fargli girare intorno i corpi celesti con un moto circolare uniforme? In questa ipotesi c'è tutto: semplicità, simmetria, eleganza. Eppure, tale assunto, ripetuto per secoli, anche se ha prodotto (non dimentichiamolo) risultati eccezionali<sup>57</sup> (come progressi matematici, nello studio delle coniche, e astronomici, in effemeridi sempre più precise) alla fine si è rivelato sbagliato. Qual è la morale, se di una morale vogliamo parlare? Personalmente, direi che, in mancanza di un concetto fisico, la bellezza può servire come strumento (individuale) nella ricerca della Verità, ma non deve esserne il fine: per attraversare un fiume, usiamo una barca, ma giunti sulla riva non dobbiamo caricarla sulle spalle e continuare il cammino.<sup>58</sup> Inoltre, come diceva R. Bentley:

Tutta la bellezza è relativa (...). Non dovremmo (...) credere che (...) le montagne sono di forma imperfetta perché non sono piramidi o coni; né dovremmo credere che le stelle siano disposte con scarsa abilità perché non sono collocate a distanze uniformi.<sup>59</sup>

Sul ruolo della comunicazione scientifica, l'argomento, se vogliamo, è ancora più complesso. L'uso di parole riesumate da antichi modelli scientifici, come l'aristotelica «quintessenza» per denominare una possibile interpretazione dell'energia oscura, pone questioni sottili sul *background* culturale di alcuni scienziati moderni: sarà forse il frutto di una trovata ad effetto o di un omaggio a un grande pensatore, forse soltanto segno di scarsa fantasia o (temo) spia di un ritorno (magari involontario) a suggestioni metafisiche. L'esempio ci deve far riflettere su quanto possa essere subdolo perdere la memoria, anche quando si pensa di preservarla: resuscitare (seppure solo formalmente) un'idea superata può finire per riportarne in auge il carico di significati (magari contraddittori) ad essa collegati, soprattutto, al momento di un passaggio generazionale tra

<sup>57</sup> E questa è un'altra «lezione»: anche da un «male» può nascere un «bene». Ciò non vuol dire che dobbiamo perseguire il male o essere indifferenti, ma solo che l'universo è estremamente complesso.

<sup>58</sup> Del resto, «L'esperienza del bello non ha come obiettivo la produzione della conoscenza, bensì la capacità di suscitare commozione» (bibliografia [3] p. 27).

<sup>59</sup> Bibliografia [1] p. 51.

gli studiosi, durante il quale possono finire nel dimenticatoio le ragioni che hanno portato a quella scelta. Altri rischi insiti nella divulgazione scientifica di oggi sono, da una parte, l'*overdose* di notizie (spesso superficiali e «precoci», cioè, non sufficientemente analizzate e corroborate dai fatti; ma, si sa, c'è fretta di arrivare primi, di vendere, di esserci), dall'altra, il racconto «sterilizzato» dello stato dell'arte (eliminando dalla narrazione i «se» e i «ma», vale a dire, gli aspetti controversi e le ipotesi alternative). Anche monopolizzare le risorse su un unico filone di ricerca, dimenticando che «le scienze obbediscono alla regola della sviluppo e non sono vincolate a finalità che non ne contemplino il superamento»<sup>60</sup> è un altro esempio «buono» (per la dimostrazione, ma «cattivo» per la Verità) di come le società possano perdere la conoscenza.

Infine, il pubblico: ognuno può avere una parte importante nel contribuire a mantenere viva la memoria, purché mantenga un ruolo attivo, di controllo e di indirizzo, attraverso gli strumenti offerti dalle istituzioni. Di certo, per poter esercitare bene il proprio compito, è necessario che l'uomo «comune» si informi e non si accontenti, ascoltando sempre le diverse «campane»: se non possiede le conoscenze specialistiche del caso, deve dotarsi almeno degli strumenti minimi per capire il linguaggio e le intenzioni di chi racconta la scienza (il contesto, la retorica usata, le eventuali contraddizioni logiche, la trasparenza).<sup>61</sup> E fare domande spinose, cioè, far sentire a chi detiene il sapere che non è «un uomo solo al comando», ma che il consorzio umano partecipa. Se la conoscenza è una, le cosmologie sono ancora tante.

## Referenze bibliografiche

- [1] Y. BARYSHEV, P. TEERIKORPI, *La scoperta dei frattali cosmici*, Torino, Bollati Boringhieri, 2006.
- [2] G. F. BIGNAMI, *Le rivoluzioni dell'universo*, Firenze, Giunti, 2017.
- [3] D. GOUTHIER, E. IOLI, *Le parole di Einstein*, Bari, Edizioni Dedalo, 2006.
- [4] S. HAWKING *et al.*, *Cosmologia e gravitazione*, Torino, Bollati Boringhieri, 2009.
- [5] E. J. LERNER, *Il Big Bang non c'è mai stato*, Bari, Edizioni Dedalo, 1994.
- [6] I. STEWART, *Il calcolo del cosmo*, Torino, Bollati Boringhieri, 2017.

<sup>60</sup> AS-SAMAW'AL AL-MAGHRIBI, *Libro sullo svelamento delle bizzarrie degli astrologi*, Bagdad, XII sec. d.C.

<sup>61</sup> In fondo, a questo dovrebbe servire (principalmente) la scuola dell'obbligo.

**Riccardo Caccia** è nato a Rosignano Solvay (LI) l'11/08/1968 e vive nel comune di Montescudaio (PI). Già Ingegnere chimico (1995, Pisa), ha conseguito la seconda laurea in Astronomia (2014, Bologna) con una tesi in cosmologia. Si occupa, tra l'altro, di formazione e divulgazione tecnico-scientifica. È socio SAIt, sezione di Livorno, per la quale ha presentato più volte una conferenza su Einstein per celebrare l'anno internazionale della luce e i cent'anni della relatività generale (2015); inoltre, ha tenuto il seminario «Cent'anni di cosmologia: dall'universo di Einstein a quello dei grandi telescopi» allo Stage Nazionale di Formazione Scientifica, per docenti delle scuole superiori, tenutosi a Massa nel 2017.





# Fondazione astronomica *ex sole* di *Augusta Taurinorum* (Torino). Archeologia, astronomia e astrologia e la fondazione delle città romane<sup>★</sup>

Mariateresa Crosta<sup>1</sup> · Sandro Caranzano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAF · Osservatorio Astrofisico di Torino

<sup>2</sup> Centro Studi Archeologici Herakles, Torino

## Premessa

SI IN dagli albori xx secolo, in ambiente archeologico si diffuse l'opinione che esistesse una correlazione tra l'orientamento delle colonie e dei municipi romani e quello degli astri, con il fine di inaugurare i centri urbani in coincidenza con determinate celebrazioni o con specifici momenti dell'anno.<sup>1</sup> Per il carattere antiquario e tendenzialmente umanistico dei primi studi, l'attenzione venne puntata in prevalenza sui giorni solstiziali ed equinoziali.<sup>2</sup>

La convinzione di tale corrispondenza si basa sulle testimonianze di alcuni scrittori dell'antichità, in primo luogo Vitruvio, e soprattutto sulle parole di gromatici come Iginio. Quest'ultimo dichiara espressamente:

I limiti non sono stabiliti senza che si tenga conto della misura dell'universo, perché i decumani sono orientati secondo il corso del Sole e i cardini secondo quello dei Poli. E tali principi di *mensura* sono stati stabiliti all'inizio dalla *disciplina* aruspica etrusca.<sup>3</sup>

Come caso di studio, gli scriventi hanno esaminato *Augusta Taurinorum* (attuale Torino), una colonia augustea caratterizzata da una rigidissima scansione a scacchiera del centro storico derivata dall'urbanisti-

ca romana e presso la quale ripetute attività di scavo hanno fornito un quadro dettagliato dell'orientamento della rete stradale antica (FIG. 3).<sup>4</sup>

Si consideri che *Augusta Taurinorum* fu fondata all'età di Ottaviano Augusto in un territorio fondamentalmente vergine. Questo permise ai costruttori di inaugurarla in estrema libertà, senza condizionamenti derivanti da preesistenze (un caso piuttosto eccezionale, dal momento che gran parte delle colonie italiche dedotte da Augusto era già stata fondata in età repubblicana).

Sappiamo che gli interessi antiquari relativi all'atto del *condere*/fondare furono recepiti da Ottaviano Augusto con particolare attenzione; molteplici studi condotti in occasione del bimillenario della sua morte hanno chiarito lo specifico interesse del principe per l'astrologia-astronomia.<sup>5</sup>

È bene ricordare come l'astronomia (al pari della musica, della geometria e dell'aritmetica) facesse parte della normale formazione culturale degli aristocratici del mondo antico, come d'altronde testimoniato dai testi di Marziano Minneio Felice Capella (v sec d.C.) che avrebbero poi influenzato la suddivisione delle arti medievali tra Trivio e Quadrivio.<sup>6</sup>

Augusto, più di altri, si circondò di uomini di cultura, inviando nelle province scienziati, matematici e astronomi di provata esperienza, capaci di imprimere sul paesaggio – tramite l'architettura e l'organizzazione dello spazio – precisi messaggi politici e propagandistici. In effetti, i risultati delle indagini

\* Si ringraziano: Chiara de Filippis Cappai per l'importante contributo alla lettura dei testi di Iginio e Frontino; Beatrice Bucciarelli, Mario G. Lattanzi, Roberto Morbidelli e Renato Pannunzio per le fruttuose discussioni e gli utili commenti sulla parte astronomica.

<sup>1</sup> Si vedano a titolo di esempio: N. LANCIANO, P. VIRGILI, *The urban set of the Pantheon and the Mausoleum of Augustus in Rome, between architectural and astronomical symbolism*, «Mediterranean Archaeology and Archaeometry», 16 (4), 2016, pp. 249-255; G. MAGLI, *On the orientation of Roman towns in Italy*, «Oxford Journal of Archaeology», 27 (1), 2008, pp. 63-71; A. AVENI, G. ROMANO, *Orientation and Etruscan Ritual*, «Antiquity», 68 (260), 1994, pp. 545-563; M. TORELLI, *Un 'templum augurale' d'età repubblicana a Bantia*, «Rendiconti Accademia dei Lincei», s. VIII, 21, 1966, pp. 293-316.

<sup>2</sup> Nel caso di Torino, un presunto orientamento solstiziale è stato proposto nel 1966 in P. LAVEDAN, J. HUGUENY, *Histoire de l'Urbanisme*, Laurens, Paris, 1966.

<sup>3</sup> IGINO GROMATICO, *Constitutio limitum* (pubblicati in: C. F. LACHMANN, *Gromatici Veteres*, 1, Berlino, Reimer, 1848).

<sup>4</sup> L. BRECCAROLI TABORELLI, A. GABUCCI, *Le mura e il teatro di Augusta Taurinorum: sequenze stratigrafiche e dati cronologici*, in L. Brecciaroli Taborelli (a cura di) *Forme e tempi dell'urbanizzazione nella Cisalpina (II secolo a.C. - I secolo d.C.)*, Torino, 2007, pp. 252-256; L. PEJRANI BARICCO, L. MAFFEIS, *Dall'età romana ai lavori per Madama Cristina: percorsi archeologici, Palazzo Madama a Torino. Da castello medievale a museo della città*, Torino, 2006, p. 20; L. BRECCAROLI TABORELLI, L. PEJRANI BARICCO, F. OCCELLI, *Torino. Piazza Castello. Le mura della città romana e la 'Galleria di Carlo Emanuele I'*, «Quaderni Sopr. Arch. Piem.», 18, 2001, pp. 98-99.

<sup>5</sup> E. BIANCHI, *Augusto e l'utilizzazione carismatica delle tradizioni religiose. Una contestualizzazione frammentaria*, in *Studi su Augusto in occasione del xx centenario della morte*, Torino, 2008, pp. 7-55.

<sup>6</sup> MARZIANO CAPELLA, *De nuptiis Philologiae et Mercurii*.





archeometriche condotte nell'area alpina (ad esempio sugli archi trionfali) dimostrano una grande cura nella progettazione dei monumenti e il loro preciso orientamento rispetto alle montagne e agli elementi del paesaggio circostante attraverso l'uso della geometria euclidea.<sup>7</sup> Grazie a ciò, nel momento stesso in cui si presenti l'occasione per contestualizzare archeoastronomicamente l'orientamento di specifici edifici monumentali o di determinati assi stradali, ci è offerta la possibilità di ricavarne degli indizi utili alla soluzione di problematiche di ordine storico e culturale.

### I criteri di fondazione astronomica *ex sole* secondo le fonti latine

Secondo quanto riferito da Frontino (che si appoggiava a un testo di Varrone, oggi perduto), sarebbero stati gli stessi aruspici a ripartire lo spazio secondo due assi perpendicolari, vale a dire il primo tracciato da oriente ad occidente (*decumanus*) con il fine di dividere la porzione settentrionale (*dextera*) da quella meridionale (*sinistra*), ed un secondo tracciato da nord a sud (*cardo*) con il fine di dividere la porzione orientale da quella occidentale (*pars antica* e *pars postica*).<sup>8</sup>

Il passo chiarisce come l'asse generatore della città inaugurata fosse proprio il decumano e come quest'ultimo venisse tracciato da est in direzione ovest (e non l'opposto). Vi è, tuttavia, un ulteriore passo dell'opera di Igino che, per quanto caratterizzato da una certa oscurità di linguaggio tipica dei trattatisti, fornisce informazioni particolarmente preziose e circoscritte. Vi si legge infatti:

*Multi ignorantes mundi rationem solem sunt secuti, hoc est ortum occasum, quod is semel ferramento comprehendere non potest. Quid ergo? Posita auspicaliter groma, ipso forte conditore praesente, proximum vero ortum comprehenderunt, et in utramque partem limites miserunt, quibus cardo in horam sextam non convenit.*<sup>9</sup>

(Molti, ignorando la conformazione del cosmo, si sono adeguati al corso del Sole, ovvero al suo levare e al suo calare, cosa che non può essere delimitata una volta per tutte con uno strumento. Quale conseguenza tutto ciò comporta? Dopo aver preso gli auspici e aver collocato la groma, eventualmente alla presenza dello stesso fondatore della città, essi [sc. i gromatici] hanno definito con precisione il punto presso il quale sorge il Sole, hanno quindi definito i *limites* da entrambe le parti [la *citeriore* e la *posteriore*] con le quali il *cardo* non verrà a coincidere che all'ora sesta.)

Igino chiarisce che i gromatici stabilivano l'orientamento del decumano osservando il corso del Sole,

<sup>7</sup> S. CARANZANO, *Eurythmia e symmetria. Susa, l'arco, il palazzo, il Roccamelone: alimetrie e relazioni semantiche*, «Segusium», 54, 2016, pp. 13-46; IDEM, *Augusto e le Alpi. Segusio e la 'nuova cronologia' di Augusta Taurinorum*, «Segusium», 56, 2018, pp. 11-30.

<sup>8</sup> SESTO GIULIO FRONTINO, *De limitibus*.

<sup>9</sup> IGINO GROMATICO, *Constitutio limitum*, 4.

la cui posizione, cambiando di giorno in giorno, doveva essere misurata per mezzo di uno strumento. Un'attenta lettura del passo permette di cogliere alcuni dettagli che inducono a immaginare un'azione inaugurale più articolata di quanto generalmente presunto in letteratura (vale a dire l'orientamento del decumano tracciando una linea che unisce il punto di stazionamento / *auguraculum* con quello di levata del Sole all'orizzonte: un'azione che, comunque, rimane fondamentale nel procedimento augurale che descriveremo).

Lo scrittore afferma, quindi, la necessità di misurare la perpendicolare (*cardo*) all'ora sesta (vale a dire al mezzogiorno), atto che con ogni probabilità veniva effettuato con l'aiuto di un gnomone e che suonerebbe del tutto pleonastico rispettando lo schema interpretativo tradizionale, soprattutto se consideriamo che era consuetudine tracciare i *cardines* sfruttando il braccio perpendicolare della groma (così ad esempio per le centuriazioni delle città romane). Nella parte iniziale del paragrafo, inoltre, Igino asserisce che la città veniva fondata sia rispetto «al suo levare», sia rispetto «al suo calare» (il che rappresenta una novità).

Anche nei *Fasti* di Ovidio<sup>10</sup> si trova un riferimento al «calare del sole» nell'ambito del rito inaugurale ad opera di Romolo:

O Giove, assistimi mentre fondo la città, / e tu, padre Marte, e tu madre Vesta; / osservatemi tutti, o dei che è pio invocare! / Sotto il vostro auspicio abbia inizio questa mia opera. / Abbia essa una lunga età e il potere sul mondo domato, / e sia sotto di lei il giorno che nasce e che tramonta.

Piuttosto significative sono, in ultima analisi, le parole di Varrone riportate da Solino, secondo il quale la Roma quadrata fu fondata *ad equilibrium*, vale a dire secondo un qualche principio di simmetria tra le parti:

*nam, ut adfirmat Varro auctor diligentissimus, Romam condidit Romulus (...): dictaque primum est Roma quadrata, quod ad aequilibrium foret posita. Ea incipit a silva quae est in area Apollinis, et ad supercilium scalarum Caci habet terminum, ubi tugurium fuit Faustuli. Ibi Romulus mansitavit, qui auspicato murorum fundamenta iecit.*

(Infatti, come afferma Varrone, autore scrupolosissimo, Romolo fondò Roma (...) e dapprima essa fu detta Roma quadrata, perché è stata posta in modo equilibrato. Essa inizia dal bosco nell'area sacra di Apollo e termina alla sommità delle scale di Caco, dove fu il tugurio di Faustolo. Qui si fermò Romolo, che, dopo aver preso gli auspici, gettò le fondamenta delle mura).

Recentemente, il problema relativo all'impianto dottrinale etrusco-italico volto ad attuare una proiezione in terra (*templum in terra*) del modello cosmo-

<sup>10</sup> OVIDIO, *Fasti* IV, 825-830, cfr. A. GOTTARELLI, *Contemplatio. Templum solare e culti di fondazione. Sulla regola aritmogeometrica del rito di fondazione della città etrusco-italica tra VI e IV secolo a.C.*, Bologna (2013), p. 6.





logico di riferimento (*templum in coelo*) è stato studiato in modo sistematico da Antonio Gottarelli con particolare riferimento alla fondazione degli antichi centri di Marzabotto e Roma.<sup>11</sup> Le stazioni dell'*auguraculum* di Bantia, l'*auguraculum* di Meggiaro di Este (per quanto in ambito venetico) e i piloni ricogniti durante gli scavi di Marzabotto hanno permesso di chiarire che l'attività augurale prevedeva – in accordo con le fonti – lo spostamento del sacerdote tra i diversi *loci* in funzione di una serie di osservazioni autoptiche progressive, finalizzate a bilanciare l'asse cittadino con il reale corso del Sole, considerato al suo sorgere e al suo levare, senza ignorare l'effetto derivato dalla presenza di ostacoli all'orizzonte.

Le fonti antiquarie romane chiariscono come scopo dell'attività sacerdotale e augurale fosse di armonizzare la sfera *infera* (sotterranea e subacquea, collegata alla rigenerazione delle messi e della vita) con quelle terrestre e celeste.<sup>12</sup> Un qualunque disequilibrio tra le diverse componenti (spesso segnalato agli uomini per mezzo di portenti o eventi naturali imprevisi, ad es. un fulmine a ciel sereno)<sup>13</sup> veniva percepito come rischioso per l'intera comunità, sicché gran parte dei rituali religiosi era finalizzata alla ricomposizione dello stato primevo e a garantire la *pax deorum* (da cui il carattere tendenzialmente espiatorio della religione etrusco-italica).

La città, luogo delimitato dall'inviolabilità e sacralità delle mura, sottoposta alle leggi umane e consacrata dall'augure, veniva a costituire il luogo d'eccellenza nel quale tale particolare equilibrio si manifestava proprio a partire dalla fondazione. La scacchiera proiettata sul terreno per mezzo dei cardini e dei decumani costituiva, insomma, il microco-

smo nel quale si attuava la proiezione in terra del macrocosmo.

Riferisce Dionigi di Alicarnasso, ancora in età augustea:<sup>14</sup>

Per coloro che guardano a oriente, le regioni celesti che volgono a settentrione si trovano a sinistra, e a destra sono quelle che portano a meridione. Di queste, le prime sono per natura più rilevanti; infatti è dalle regioni settentrionali che si leva il polo dell'asse attorno al quale avviene la rotazione celeste.

Igino asserisce che il termine *decumanus* si spiega come contrazione dell'ordinale *duodecimanus*, inteso come la linea delle dodici ore tra il sorgere e il tramontare del Sole; per Plinio il Vecchio, invece, il termine si ispira alla croce che si forma nel punto di intersezione tra i due assi stradali (*x*, *decem*). Come vedremo le due affermazioni non sono incompatibili.

L'importanza assegnata all'orientamento del decumano all'atto della fondazione nasce dal fatto che mentre l'asse nord-sud è unico (e coincide con quello di rotazione cosmica), il numero di decumani tracciabili sul terreno è molteplice, perché dipende dalla latitudine in cui ci si trova, dal giorno dell'anno in cui avviene l'osservazione e dalla variabilità del profilo dell'orizzonte.

Come si può facilmente evincere dalla FIG. 1 l'elemento generatore del *templum in terra* può essere schematizzato in una ruota a sei o a otto raggi, le cui linee costituenti sono le due solstiziali (*ASE/TSE* e *ASI/TSE*), l'asse nord-sud e, eventualmente, la linea equinoziale. Scopo dell'atto rituale di fondazione era quello di costruire una geometria della forma urbana derivandola dalle diagonali di un rettangolo iscritto in un cerchio (da qui, forse, l'enigmatica «*Roma Quadrata*» di cui si parla nelle fonti antiche). Come è stato scritto, si veniva a determinare «una concezione qualitativa dello spazio entro cui le diverse fasi esistenziali di nascita, culminazione e morte entravano in analogia con i grandi cicli della dimensione cosmica».<sup>15</sup>

I caratteri della cosiddetta *disciplina* etrusca trovano corrispondenza in una complessa rete di osservazioni astronomiche e matematiche elaborate nel mondo antico, riflesse ad esempio negli scritti pitagorici e nella letteratura greca.<sup>16</sup>

Appare evidente come la religione etrusco-romana, i suoi rituali e i suoi principi siano il riflesso di un'accurata osservazione del cosmo e della sua proiezione in Terra. D'altronde, la scienza augurale ebbe carattere misterico e fu appannaggio esclusivo della classe sacerdotale, gelosa custode di una competenza religiosa e cosmologica ricca di simbolismi e significati che venivano trasmessi di generazione in generazione attraverso i cosiddetti libri lintei (volumi scritti su pezze di lino invece che sul

<sup>11</sup> IDEM, *Templum solare e culti di fondazione. Marzabotto, Roma, Este: appunti per una aritmo-geometria del rito (iv)*, «Quaderni della Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici», 18 (2010), pp. 53-74. Il modello proposto è particolarmente convincente, tanto più che solo tramite la sua applicazione sembra possibile conciliare l'orientamento *ex Sole* della Roma romulea con la data convenzionale di fondazione, ricordata dagli antiquari romani al 23 aprile. Lo studioso, lavorando su fondazioni di età arcaica, parte da un modello basato su una fondazione solstiziale e passa quindi a valutare i casi nei quali si verifici una diversa data di fondazione considerando gli effetti di deformazione sulla maglia urbana (IDEM, *Templum solare e città fondata. La connessione astronomica della forma urbana della città etrusca di Marzabotto (iii)*, in G. Sassatelli e E. Govi (a cura di) *Culti, forma urbana e artigianato a Marzabotto. Nuove prospettive di ricerca*, atti del convegno, Bologna 3-4 giugno 2013, pp. 101-138. Nel caso di Marzabotto, ad esempio, si propongono come date di fondazione della città il 27 novembre o il 16 gennaio (*Ibidem*, p. 123).

<sup>12</sup> VARRONE, *De lingua latina*, VII, 6: «*Templum* è usato in tre modi, con riferimento alla natura, alla divinazione e alla similitudine. Con riferimento alla natura, nel cielo; alla divinazione sul suolo; alla similitudine nel sottosuolo».

<sup>13</sup> PLINIO, *Naturalis Historia* II, 142. Così, nella scienza auspica- le etrusca sono considerati favorevoli i segni provenienti da sinistra (perché da qui avviene il sorgere del Sole) e sfavorevoli quelli in direzione del tramonto (ovest). Positiva è anche la direzione settentrionale, coincidente con la direzione di innalzamento celeste dell'asse cosmico, e negativa è quella meridionale perché qui il Sole si inabissa nelle profondità inferi, cfr. IDEM, *Modello cosmologico, rito di fondazione e sistemi di orientazione rituale. La connessione solare* (ii), «Quaderni della Scuola di Specializzazione in Archeologia», XI (2003), pp. 159-160.

<sup>14</sup> DIONIGI DI ALICARNASSO, *Ρωμαϊκή ἀρχαιολογία*, II, 5.

<sup>15</sup> *Ibidem*.

<sup>16</sup> PLATONE, *Timeo*, 36





papiro o sulla pergamena; uno di essi, con un formulario in etrusco, fu utilizzato per avvolgerci una mummia ed è conservato al Museo di Zagabria).

Lo spazio a disposizione non permette di ripercorrere le serrate argomentazioni avanzate dallo studioso a cui rimandiamo nella forma originale (si veda tuttavia lo schema ricostruttivo sintetico pubblicato in FIG. 1).

Nel caso di *Augusta Taurinorum*, la presenza del profilo della collina ad oriente e di quello della catena alpina a occidente influenzano il computo della data di fondazione della colonia a cui si è tentato di risalire.

Il modello al quale ci siamo attenuti prevede innanzitutto la disposizione dell'*auguraculum* in prossimità dell'estremità occidentale della futura città, in un punto da cui fosse possibile cogliere con un unico sguardo il pianoro su cui sarebbe sorta la colonia e dal quale l'augure potesse contemplare e auspicare verso il quadrante est-sud-est (vale a dire la porzione dell'orizzonte da cui sarebbe sorto il Sole, come riferito dalle fonti).<sup>17</sup>

Si è dunque considerata una retta (TSE/ASI) unente l'*auguraculum* con il punto di levata del Sole, una disposizione dell'*auguratorium* (DE/decussis) nel punto mediano della retta decumano (TSE/ASI), e l'esistenza di una retta collegante l'*auguratorium* (DE) con il punto di calata del sole al tramonto (TSI). Lo scarto angolare del nuovo asse TSI-TSE si trasferisce sul primitivo asse di fondazione TSE-ASI tramite l'applicazione della geometria euclidea.

È bene sottolineare che a partire dal periodo tardo-repubblicano (probabilmente per ragioni connesse ad una migliore esposizione e climatizzazione della città), per tracciare il decumano si scelse di appoggiarsi prevalentemente alle diagonali del 'cerchio gromatico' piuttosto che ai suoi lati (come era avvenuto a Marzabotto).

Il passo di Igino è particolarmente ricco di informazioni anche su altri aspetti della procedura di fondazione delle città inaugurate. In esso, per esempio, si chiarisce che il gromatico era affiancato dall'aruspice che prendeva gli auspici per verificare se i *signa* erano favorevoli (come la tradizione ricordava fosse stato fatto da Romolo e Remo alla fondazione di Roma) e dal *conditor*, ovvero il magistrato respon-

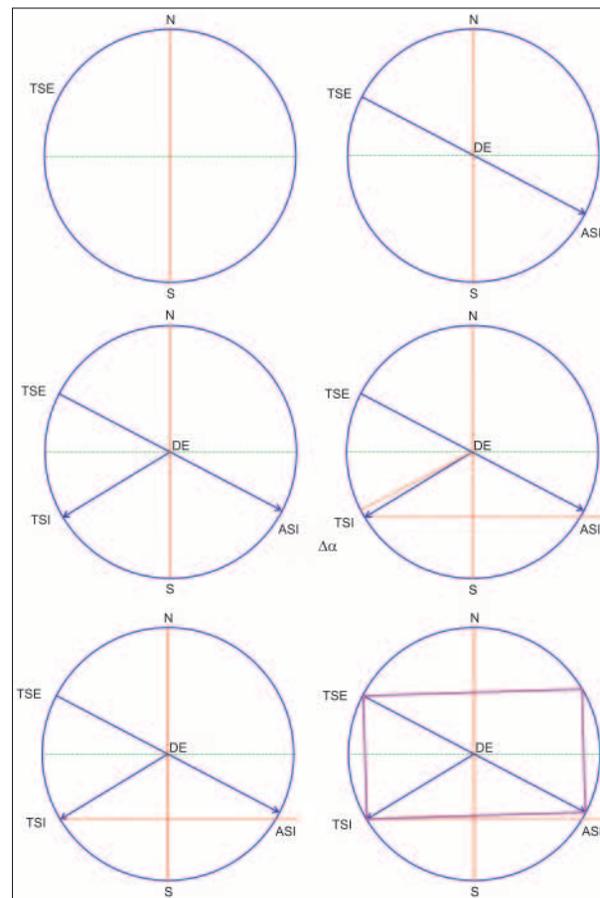


FIG. 1. a) Dall'*auguraculum* (TSE) si osserva la direzione del sorgere del sole (ASI); b) individuato un punto mediano lungo la retta TSE/ASI (tracciata per l'estensione prevista per la città) si individua il suo punto mediano (DE), ove viene posto l'*auguratorium* (decussio). Qui, al mezzogiorno, con uno gnomone viene individuato l'asse N-S; c) al tramontare del Sole viene tracciata una retta da DE a TSI (punto di tramonto del Sole); d/e) dal punto TSI (in corrispondenza dell'intersezione con il cerchio gromatico) si traccia la parallela all'asse E-W. In caso di ostacoli al sorgere o al calare del Sole che ne modifichino l'elevazione, la retta non intersecherà più ASI; f) si uniscono, dunque, con una retta TSI e ASI, individuando il nuovo asse E-W della città inaugurata che risulterà equilibrata rispetto al corso del Sole. Nelle città più antiche, il decumano coincide con il lato maggiore del rettangolo (TSI/ASI) inscritto nel cerchio. In quelle di età ellenistica e imperiale, si nota che è la diagonale a essere scelta come asse generatore (decumano). L'asse della città era anche in tal caso corretto per conformarsi agli assi N-S / E-W ricavati per mezzo della procedura augurale.

sabile della fondazione che veniva inviato sul posto dal Senato romano.<sup>18</sup>

L'indagine analitica condotta su *Augusta Taurinorum* postula un elevato grado di precisione da parte dei gromatici: tale convinzione trova fondamento, da un lato sulla conoscenza di raffinati strumenti di misurazione di origine ellenistica (ad esempio la *dioptra*),<sup>19</sup> dall'altro, sull'accuratissimo grado di precisione sin qui rilevato nella pianificazione urbanistica, architettonica e nella centuriazione del terri-

<sup>17</sup> IDEM, 2010, p. 57; IDEM, 2003a, p. 103. La presa degli auspici avveniva dal cosiddetto *templum in terris* – vale a dire un recinto rettangolare al cui interno erano infissi cippi che indicavano le diverse sedi celesti – dopo che quest'ultimo era stato *effatus* dallo stesso augure. La prima azione era dunque quella di delineare tramite il lituo il *templum in aere* oggetto dell'osservazione rituale e interpretare la volontà divina osservando il volo degli uccelli. Se gli auspici erano favorevoli, si procedeva a definire l'area della futura *urbs* attraverso specifiche parole rituali (*effatio*) e subito dopo a liberarla (*liberatio*) da ogni 'presenza'. Solo a questo punto era possibile delimitarne gli assi e il pomerio sul terreno (*limitatio*), un'azione che necessariamente doveva avviarsi in concomitanza con il sorgere del Sole (dunque, le azioni precedenti dovevano compiersi nell'atmosfera di transizione dalla penombra alla luce che precede l'inizio del giorno). Cfr. D'ALESSIO, *Riti e miti di fondazione nell'Italia antica. Riflessione sui luoghi di Roma*, «Scienze dell'Antichità», n. 19, 2-3 (2013), pp. 316-317.

<sup>18</sup> A. CARANDINI, R. CAPPELLI, *Roma, Romolo, Remo e la Fondazione della città*, Milano, 2000.

<sup>19</sup> ALMAGESTO, V, 14; PROCOPIO, *Hypothesis*, IV; ERONE DI ALESSANDRIA, *De Dioptra*, III; PLINIO IL VECCHIO, *Naturalis Historia*, II, 24, 95.





FIG. 2. Sondaggio all'incrocio di via Garibaldi con piazza Castello. La crepidine del decumano romano è allineata alla facciata meridionale della via barocca.

torio (ove il grado di errore, anche su lunghe distanze, esubera le mere necessità pratiche).

### Il calcolo astronomico

Per un osservatore terrestre, il moto locale del Sole può rappresentarsi per mezzo del primo sistema di coordinate altazimutali, ovvero dell'azimut ( $A$ ) e dell'altezza ( $h$ ), utilizzando come riferimenti l'orizzonte astronomico e il meridiano celeste (quest'ultimo passante per lo zenit ( $Z$ ) ed orientato secondo la direzione nord-sud).

Per risalire al giorno di fondazione di una città romana secondo quanto enunciato dalla gromatica e dalla trattatistica antica, occorre determinare l'azimut del punto di levata del Sole nel giorno scelto per la fondazione.

Le indagini archeologiche e di archivio preventive hanno dimostrato che esiste una sostanziale coincidenza di tracciato tra via Garibaldi (una delle arterie principali del centro storico) e il decumano romano, la cui linea mediana si trovava circa 2 m a sud rispetto a quella attuale (si veda ad es. FIG. 2).<sup>20</sup>

L'azimut di via Garibaldi/decumano è stato misurato con un GPS di precisione multifrequenza (valore:  $117^{\circ}40'46''$  ovvero circa  $117,68^{\circ}$  rispetto al nord in coordinate WGS84/UTM). In seconda battuta, il valore così ottenuto è stato verificato per mezzo di una misurazione rispetto al nord geografico con teodolite (valore ricavato circa  $116^{\circ}22'45''$  ovvero

$116,38^{\circ}$ , si veda FIG. 3 e la scheda in proposito alla fine di questo articolo).

Per quanto concerne la valutazione dell'ostacolo visivo al sorgere e al calare del Sole, si è provveduto alla ricostruzione su base cartografica delle diagonali sull'orizzonte locale dai punti TSE-DE. In corrispondenza del punto di levata del Sole alla latitudine di Torino (che curiosamente cade in prossimità dell'attuale sede dell'Osservatorio Astrofisico), nelle date oggetto di indagine, si registra un dislivello tra 268 m e 314 m su una distanza stimata tra 8120 m e 8500 m, corrispondente ad un'elevazione tra  $1,80^{\circ}$  e  $2,22^{\circ}$ . Per quanto concerne l'orizzonte al calare del Sole alla latitudine di Torino vi è un dislivello in media di circa 2555 m su una distanza stimata di 54,3 km, pari ad una elevazione di  $2,69^{\circ}$ .

Diversi fattori concorrono a disegnare l'analemma del Sole a una determinata latitudine terrestre. Primo tra questi è il fatto che il moto apparente del Sole lungo l'eclittica non avviene in modo costante per effetto della seconda legge di Keplero, secondo la quale la Terra ruota più velocemente al perielio rispetto all'afelio. Segue la variazione dell'obliquità dell'eclittica, calcolata in prima approssimazione secondo la formula di Newcomb.<sup>21</sup> Il Sole segue, al contempo, un moto a ritroso lungo l'eclittica e culmina in ritardo nel passaggio al meridiano celeste rispetto ad orologi a tempo siderale.

Per tale ragione, in astronomia, si usa definire come 'Sole medio' un punto immaginato al suo centro per calcolare in via teorica la sua posizione sulla sfera celeste. In un anno (pari a 365,25 giorni solari medi), il Sole percorre sull'eclittica  $360^{\circ}$ , quindi poco meno di un grado al giorno. Per ottenere un giorno di durata costante associato al moto del Sole, gli astronomi hanno adottato due punti fittizi, quello del 'Sole eclitticale medio' e quello del 'Sole equatoriale medio'. Il primo si sposta uniformemente sull'eclittica con la velocità media del Sole e coincide con 'il vero' al perielio (a gennaio) ed all'afelio (intorno al 4 luglio). Il secondo si sposta, invece, uniformemente sull'equatore celeste con la velocità costante del Sole eclitticale medio e coincide con esso ai due equinozi.

Alla latitudine di Torino ( $\lambda = 45,07^{\circ}$ ) e ad una data altezza del Sole ( $h$ ) la formula da utilizzare per l'azimut della sua levata è data dalla prima formula fondamentale della trigonometria sferica:

$$A = (180/\pi) \arccos(\sin\delta/(\cos\lambda \cosh) - \tan\lambda \tanh), \quad (1)$$

da cui si ricava l'ampiezza ortiva  $A_{ort} = A - 90^{\circ}$ , e per il corrispondente angolo orario dalla formula dei seni

$$H = (180/\pi) \arcsin((\cosh/\cos\delta) \sin A). \quad (2)$$

<sup>20</sup> C. PROMIS, *Storia dell'antica Torino Julia Augusta Taurinorum scritta sulla fede de' vetusti autori e delle sue iscrizioni e mura da Carlo Promis*, Torino, 1869; F. FILIPPI, *Risultati e significati di un intervento archeologico in piazza Castello a Torino*, in *Torino nel basso medioevo; castello, uomini e oggetti*, Torino, 1982, pp. 65-118.

<sup>21</sup> M. G. LATTANZI, R. PANNUNZIO, *Fondamenti di astronomia della Via Lattea*, Dispense del corso di Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica Cosmica, 2009. Rapporto tecnico OATo n. 78, 2006, pp. 46-48.





Le formule (1) e (2) dipendono dalla declinazione<sup>22</sup> del Sole data da

$$\delta = \arcsin(\sin E \sin L), \quad (3)$$

dove  $E$  rappresenta l'obliquità media dell'eclittica (ovvero la sua inclinazione media rispetto all'equatore celeste) e  $L$  la longitudine eclittica geocentrica apparente (corretta per l'aberrazione) del Sole, entrambe calcolate secondo gli algoritmi che forniscono le correzioni per il Sole vero.<sup>23</sup>

Descrivendo il moto del Sole, tali quantità dipendono dal tempo, in astronomia computato per mezzo della data giuliana (JD).<sup>24</sup> Essendo costituita da giorni civili di 24 ore, essa identifica univocamente l'istante in cui è avvenuto o avverrà un certo fenomeno astronomico indipendentemente dal calendario in uso (nel nostro caso riferita all'epoca standard JD2000).

Ciò detto, le formule (1)-(3) sono state implementate in linguaggio IDL (*Interactive Data Language*) per poter essere elaborate numericamente in funzione delle date giuliane di interesse per questo studio, che vanno dal 13 a.C. al 2 a.C., come verrà chiarito in seguito.

A rigore, oltre al moto vero, vi sono ancora diversi fattori che possono inficiare l'osservazione corretta dell'apparire del disco del Sole, in particolare: la rifrazione astronomica<sup>25</sup> che anticipa il manifestarsi dell'alba (un fattore comunque molto incerto); l'errore umano nella rilevazione del bordo solare (l'occhio umano riesce a percepire ad occhio nudo circa un primo d'arco); infine, nel caso di Torino, l'elevazione della collina, dal profilo molto variabile, che altera l'orizzonte astronomico. Va tenuto conto anche che le variazioni giornaliere del tempo atmosferico o altre cause influenzano e determinano gli orari del sorgere del Sole (ad esempio un differente popolamento arboreo).

<sup>22</sup> Coordinata contata a partire dall'equatore celeste lungo il cerchio massimo passante per l'astro e la sua proiezione su di esso.

<sup>23</sup> J. LASKAR, *Secular terms of classical planetary theories using the results of general theory*, Parigi, 1986, pp. 59-70; J. MEEUS, *Astronomical algorithms*, Richmond, 1998, p. 149; P. BRETAGNON, J. L. SIMON, *Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800*, Richmond, 1986; M. G. LATTANZI, R. PANNUNZIO, *Fondamenti*, op. cit., pp. 13-24, 31 e 194.

<sup>24</sup> La data giuliana è un sistema di datazione che conteggia il numero dei giorni trascorsi a partire dal 4713 a.C., ideato da Giuseppe Scaligero nel 1583, in onore di suo padre, Giulio Cesare Scaligero, insigne matematico dell'epoca. (M. G. LATTANZI, R. PANNUNZIO, *Fondamenti*, op. cit., p. 62).

<sup>25</sup> La densità dell'atmosfera, che aumenta verso la superficie terrestre, devia il raggio luminoso dal percorso e alza, in sostanza, l'astro sopra l'orizzonte (M. G. LATTANZI, R. PANNUNZIO, *Fondamenti*, op. cit., pp. 95-96).

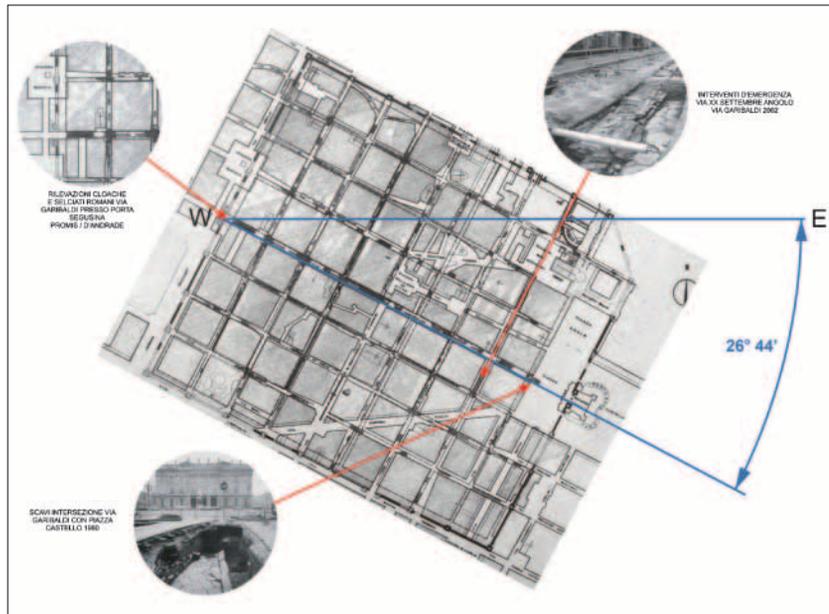


FIG. 3. Planimetria della città romana con indicazione dei lastricati e delle fognature romane scoperte negli ultimi due secoli.

Ricapitolando, all'angolo da cui è visibile il punto di levata del Sole va sottratto un angolo di rifrazione (stimato dal programma con valori standard di pressione atmosferica e temperatura) e un ulteriore angolo per il raggio angolare del Sole (anche questo calcolato dal programma). In tal modo si ottiene l'altezza effettiva da considerare per il moto del centro del Sole.

I dati generati con il programma IDL sono stati poi selezionati intorno alla direzione misurata del decumano entro un intervallo pari a circa  $\pm 2^\circ$  (includente quindi anche il valore angolare parallattico,  $0,07^\circ$ , della larghezza del decumano rispetto alla lunghezza dell'ostacolo); di seguito, sfruttando la libreria astronomica di IDL, è stata effettuata un'inversione numerica della formula (1) da data giuliana a giorno civile, per tutti gli anni summenzionati.

I risultati vanno intesi quale risultato finale della misura operata dai gromatici, includente, pertanto, tutti i possibili errori e le condizioni di misura. Inoltre, l'altezza effettiva è stata variata applicando un passo progressivo di  $0,05^\circ$ . In questo modo si è voluto considerare anche un margine di errore di 3' (corrispondente alla percezione della prima apparizione del bordo del Sole sul profilo collinare) e un'occasionale scarsa visibilità atmosferica. Le formule (1) - (3) sono state utilizzate anche per il calcolo dell'azimut e dell'angolo orario al tramonto.

Si evidenzia che l'uso congiunto del Sole vero e dell'inversione della formula (1) permette di leggere gli anni associabili alla data presunta per la fondazione della città, oltre che il giorno, quest'ultimo desumibile anche con la sola applicazione di un Sole medio. Essendo l'intervallo di date di fondazione possibili di *Augusta Taurinorum* imposto dal contesto storico piuttosto ristretto (l'età augustea dal 27 a.C. al 5 d.C.), è stato possibile effettuare una scrematura numerica delle date che si accordano con i







Ora, poiché la celebrazione della festa fu possibile solo dopo la sua istituzione, ne consegue un termine *post data*, ovvero che la città fu fondata dopo il 13 a.C. (in sintesi: la festa non poteva essere celebrata prima della sua istituzione).

Quella verificatasi a Torino sembrerebbe essere una combinazione di eventi eccezionali che ci permette di risalire oltre che al giorno di inaugurazione anche all'anno: fondazione di una colonia *ex novo* in assenza di preesistenze, inaugurazione in onore di una festività di recente istituzione, relazione cronologica/astronomica tra festa ed eventi politici e militari pertinenti dal punto di vista geografico.

### Contesto storico e archeologico della fondazione di Torino

Fino ad oggi, l'unico indizio cronologico per la data di fondazione di Torino era il 16 gennaio 27 a.C., giorno nel quale il Senato di Roma conferì ad Ottaviano il titolo onorifico di Augusto. Tale data ha rappresentato, per lungo tempo, un accettabile termine *post quem*, anche in considerazione del fatto che la colonia fu battezzata «Augusta dei Taurini».

In verità, sulla base di alcuni indizi, la prevalenza della critica storica negli ultimi decenni ha iniziato a orientarsi per una fondazione della colonia taurinense posticipata alla metà del secondo decennio a.C., in concomitanza con le assegnazioni effettuate a favore di reparti di veterani congedati dall'imperatore.<sup>27</sup>

Negli *itineraria* scolpiti sui Vasi di Vicarello il toponimo di *Augusta Taurinorum* appare unicamente nel quarto della serie, raffigurante un *itinerarium* che fu stilato dopo il 13 a.C., in ragione del fatto che vi viene menzionata la prefettura delle Alpi Cozie (che prima di quella data non esisteva). Negli altri tre vasi (che invece riportano un itinerario derivato da un modello scolpito a Gades tra il 24 e il 19 a.C.) il nome della città è assente e la tappa viene indicata semplicemente facendo uso della dicitura *Taurinis*.<sup>28</sup>

Curiosamente, anche Strabone, nell'*excursus* riservato all'Italia antica della sua *Geografia*, sembra ignorare *Augusta Taurinorum*, mentre menziona *Augusta Praetoria* (fondata nel 25 a.C.).<sup>29</sup>

L'archeologia non è in grado di definire per mezzo della cultura materiale scansioni cronologiche nell'ordine dell'anno o del quinquennio, ma anche i reperti recuperati nel corso dei ripetuti scavi (cerami-

che sigillate sud-galliche, ceramiche a pareti sottili, ceramiche italiche e padane) parlano a favore di una 'cronologia bassa' (ultimi due decenni del I sec. a.C.).

Il quadro storico di una città fondata in tempo di pace si armonizza, infine, con i risultati dei recenti scavi che dimostrano che la città originariamente era sprovvista di mura e che i resi della Porta Palatina, della Porta Decumana e dei tratti della cinta sino ad oggi scoperti appartengono (contrariamente a quanto si credeva fino a poco tempo fa) all'età compresa tra i principati di Tiberio e di Nerone.<sup>30</sup>

È lo stesso Augusto, nelle *Res Gestae* (il pubblico testamento affisso in tutto l'Impero), a ricordare di aver dedotto 28 «*celeberrimae et frequentatissimae*» colonie.<sup>31</sup> Tra di esse sembra di dover annoverare anche la colonia piemontese, il cui orientamento inaugurale fu studiato in modo tale da armonizzare le necessità logistiche (presenza di una terrazza fluviale protetta dalle esondazioni, vicinanza di guadi e di importanti vie di comunicazione, orografia e altimetria capaci di favorire l'irrigazione e il deflusso delle acque, buona insolazione etc.) con gli indirizzi politici e pubblicitici impostati dal principe.

### Altre città augustee 'orientate'

L'approccio metodologico della datazione delle fondazioni *ex sole* va impiegato ed esteso ad altri casi con l'opportuna contestualizzazione storica. Bisogna, invero, tenere conto dell'ampia parabola cronologica della romanità (ad esempio non siamo certi del fatto che le regole della disciplina etrusco-italica siano state applicate con la medesima meticolosità nel periodo medio e tardo-imperiale), dei caratteri della fondazione oggetto dello studio (*castrum* militare, colonia, municipio, edificio sacro, *vicus* etc.) oltre che della preesistenza di qualche tipo di vincolo *ab origine* (centuriazioni e orientamenti più antichi).

Nel caso della vicina *Augusta Praetoria* (Aosta), è stato possibile stabilire che la colonia fu dedotta tenendo in considerazione l'ostacolo naturale rappresentato dalle vicine montagne e con il *cardo* in allineamento con la levata eliacca al 23 dicembre, giorno del solstizio invernale.<sup>32</sup> È significativo il fatto che anche tale data fu tra quelle più care al principe che la considerava coincidente con quella del suo concepimento.<sup>33</sup> Il Foro di Aosta, d'altronde, appare op-

<sup>30</sup> Si veda la nota 5.

<sup>31</sup> AUGUSTO, *Res Gestae Divi Augusti*, 3: «*Italia autem xxviii [colonia]nias, quae vivo me celeberrimae et frequentissimae fuerunt, me [auctore] deductas habet*».

<sup>32</sup> S. V. BERTARIONE, *Indagini archeologiche alla torre dei Balivi. Si svela la sanctitas murorum di Augusta Praetoria*, «Bollettino della Soprintendenza per i beni e le attività culturali della Regione Valle d'Aosta», 9, 2012.

<sup>33</sup> N. BARBONE, *Augusto e i suoi astri*, in *Augusto* (Catalogo della Mostra di Roma, Scuderie del Quirinale, 18 ottobre 2013 - 9 febbraio, 2014.), a cura di E. La Rocca et al., Milano, Electa, 2013, p. 90; M. PAPINI, *Gli dei protettori di Augusto*, Ivi, v. nota 4, pp. 219-230; A. SCHÜTZ, *Der Capricorn als Sternzeichen des Augustus*, «Antike und Abendland», 37, 1991, pp. 55-67.

<sup>27</sup> Si vedano in particolare: G. MASCI, *La fondazione di Augusta Taurinorum: nuovi spunti di riflessione*, «Historikà», 2, 2012, pp. 63-78; D. VOTA, *L'occupazione romana delle Alpi Cozie. Ipotesi sul processo di intervento*, «Segusium», 39, 2000, pp. 11-46; S. RODA, *Torino colonia romana*, in *Storia illustrata di Torino*, Torino, 1992, pp. 1-20; G. CRESCI MARRONE, *Il ritardo nella romanizzazione e le prime esperienze di vita municipale*, in *Storia di Torino. Dalla preistoria al comune medievale*, 1, 1997, Torino, pp. 137-141; G. PACI, *Linee di storia di Torino romana dalle origini al principato, Torino tra antichità e alto Medioevo*, in *Archeologia a Torino. Dall'età preromana all'alto Medioevo*, Torino, 2003, pp. 106-131.

<sup>28</sup> J. FRANCE, *Quadragesima Galliarum*, Roma, 2001.

<sup>29</sup> STRABONE, *Geografia*, 4, 6 e 5, 1.





FIG. 5. Moneta in argento coniata da Augusto con il segno zodiacale del Capricorno.

portunamente orientato in senso nord-sud, con i due templi lealisti disposti sul fondo e orientati verso il sorgere del Sole a sud, in modo da poter essere investiti dai raggi solari all'alba del genetliaco cittadino; è plausibile che il foro di *Augusta Taurinorum* fosse orientato in senso est-ovest per le medesime finalità.

Il legame tra l'orientamento degli edifici sacri e il sorgere del Sole è accennato anche in Vitruvio, che ricorda il rapporto emozionale che si veniva a creare tra i fedeli quando il Sole, sorgendo alle spalle dei templi opportunamente orientati, si presentava davanti agli altari simile all'effigie della divinità.<sup>34</sup>

Analogamente, recenti ricerche sembrano indicare che mentre *Lugdunum* (Lione, fondata nel 43 a.C.) fu orientata secondo il Sole nascente al 1° agosto (cioè con la ricorrenza celtica del *Lughnasadh*) che coincideva con il primo giorno del mese dedicato ad Augusto,<sup>35</sup> la *Colonia Ara Augusta Agrippinensis* (Colonia, in Germania)<sup>36</sup> fu orientata con la levata del Sole il 23 settembre, giorno natale di Augusto.

### L'astrologia-astronomia all'età di Augusto

L'applicazione metodica delle regole della disciplina etrusco-italica alla fondazione delle colonie è perfettamente compatibile con la sensibilità di Ottaviano Augusto e apre un'interessante finestra sul ruolo giocato dall'astronomia/astrologia nella mentalità dell'uomo antico oltretutto sul suo utilizzo a scopi propagandistici e politici da parte delle élite dominanti.

La sequenza rituale che ci sembra di poter ravvisare nella fondazione di *Augusta Taurinorum* prevede il rispetto di una tradizione augurale piuttosto arcaica, una scelta di per sé compatibile con il conservatorismo delle religioni antiche, ma che potrebbe giustificarsi in risposta ad un vero e proprio

revival della Roma delle origini avvenuto sotto le direttive di Ottaviano Augusto (solo ulteriori indagini diacroniche su altre colonie romane permetteranno di chiarirne il grado di diffusione o i limiti di applicazione).

Recenti studi e la rilettura delle fonti antiche ed antiquarie dimostrano che Augusto riesumò i riti tradizionali e mostrò un interesse che si potrebbe definire 'archeologico' per il rito di fondazione, come testimoniato dall'enigmatica *Roma Quadrata* che egli stesso fece erigere sul Palatino di fronte al Tempio di Apollo. Nel dizionario enciclopedico di Sesto Pompeo Festo, alla voce *Roma Quadrata*, si ricorda che Augusto fece costruire un altare di fronte all'edificio sacro (ubicato nelle immediate vicinanze della propria *domus* sul Palatino) dove era «posto ciò che di buon auspicio si suole usare nella fondazione di una città».<sup>37</sup>

A fianco degli interessi antiquari, Ottaviano Augusto, al pari di molti suoi contemporanei, manifestò precocemente uno spiccato interesse per l'astronomia (sul finire dell'età repubblicana, le osservazioni astronomiche e lo studio delle congiunzioni astrali erano diventate una moda diffusa).

Secondo quanto riferito da Svetonio, nel 45-44 a.C., mentre risiedeva ad Apollonia (oggi in Albania) attendendo agli studi di grammatica e retorica, il giovane ebbe l'occasione di consultare l'astrologo Theogenes all'interno del suo osservatorio; in tale occasione, gli auspici furono talmente favorevoli da indurre l'astrologo a prostrarsi a terra.<sup>38</sup> L'esperienza suggestionò profondamente il futuro principe che acquisì fede nel proprio destino e «divulgò quell'oroscopo facendo una moneta d'argento con il segno del Capricorno, sotto il quale era nato» (FIG. 5).

Assurto ai massimi gradi del potere imperiale, avendo chiara l'importanza del calendario da un punto di vista pratico ma anche e soprattutto simbolico e religioso, nell'8 a.C., l'imperatore ordinò una revisione del calendario solare elaborato dall'astronomo greco Sosigene di Alessandria al tempo di Giulio Cesare, interpolando un ulteriore mese bisestile per correggere l'errore compiuto involontariamente dai sacerdoti.<sup>39</sup> Il mese di *Sestile* venne quindi ribattezzato *Augustus* in onore dell'imperatore, tramite la *lex Pacuvia de mense Augusto*.<sup>40</sup>

Più o meno negli stessi anni, Augusto ordinò che venisse costruito un *horologium* monumentale in Campo Marzio sotto la direzione del matematico Facondio Novo.<sup>41</sup> L'analemma occupava una piazza

<sup>37</sup> FESTO SESTO POMPEO, *De verborum significatu*, 310.

<sup>38</sup> SVETONIO, *Augustus* 94.

<sup>39</sup> A. POLVERINI, *Augusto e il controllo del tempo*, in *Studi su Augusto in occasione del xx centenario della morte*, Torino, 2016, pp. 95-144.

<sup>40</sup> SVETONIO, *Iulius*, 76, 1; DIONE CASSIO, 44, 5; CENSORINO, 22, 16; MACROBIO, 1, 12C.

<sup>41</sup> E. BUCHNER, *L'orologio solare di Augusto*, «Rendiconti della Pontificia Accademia di Archeologia», 53-54, 1980-82, pp. 331-345. Vedi anche in questa rivista: M. C. FANIGLIULO, *Sull'orologio di Augusto*, «Giornale di Astronomia», 25(2), 1999, pp. 50-59.



FIG. 6. La celebre *Gemma Augustea* conservata nel Museo di Vienna: nella fascia superiore, Augusto è incoronato dalla Fama sedendo a fianco della dea Roma. In alto, all'interno di un disco, il segno zodiacale del Capricorno.

pavimentata in travertino, con le strisce e le lettere in bronzo dorato, disposte su un'area di  $165 \times 74$  m, e permetteva di leggere l'ora e, al mezzogiorno, il segno zodiacale del mese in corso.

Gli studi di B. Frischer dimostrano che l'obelisco della gigantesca meridiana dedicata al dio Sole (Apollo) era progettato in modo che, al solstizio invernale, chi proveniva dalla via Flaminia poteva vederne l'apice toccato dal Sole in perfetto allineamento con la facciata dell'*Ara Pacis Augustae*.<sup>42</sup> Chi lo stesso giorno dell'anno si fosse posizionato sul lato opposto dell'*Ara* (puntando lo sguardo a ovest) avrebbe, per converso, visto l'ombra dello gnomone attraversare assialmente il grande portale aperto sulla facciata, fino ad andare a toccare l'altare. Un fenomeno indubbiamente scenografico, che riconferma gli interessi astronomici del principe.

La volontà dei costruttori era quella di sottolineare come un disegno provvidenziale avesse portato Augusto a far trionfare la pace: l'obelisco egizio rimandava idealmente alla vittoria sull'Egitto e su Marco Antonio, mentre la proiezione della sua ombra sull'altare della Pace celebrava il fatto compiuto.

### Augusto e il Capricorno

Esiste un altro aspetto che vale la pena sottolineare, vale a dire la predilezione del principe per il segno zodiacale del Capricorno.

<sup>42</sup> B. FRISCHER, J. FILLWALK, *A Computer Simulation to Test the Buchner Thesis: the relationship of the Ara Pacis and the Meridian in the Campus Martius, Rome*, «Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress», 1, IEEE, 2013, pp. 341-345.



FIG. 7. La stele funeraria lealista del soldato «L. Marius» da Pezzolo (CN), con la rappresentazione della lupa e dei gemelli nel registro inferiore; in alto, il disco di Apollo su un altare tra il segno zodiacale del Capricorno caro ad Augusto. La posizione dei Capricorni rispetto al disco solare potrebbe indicare il solstizio invernale.

Soprattutto dopo la battaglia di Azio del 31 a.C., tale tema zodiacale appare sempre più frequentemente nell'iconografia ufficiale, sicché lo ritroviamo rappresentato in una sfera sospesa sulla testa del principe nelle celebre *Gemma Augustea* del Kunsthistorisches Museum di Vienna (FIG. 6), nel cammeo in onice dell'Art Institute of Chicago opera di Dioscuride,<sup>43</sup> nella gemma in sardonica conservata nella collezione dell'Hermitage (in associazione a un delfino, a un altare e a un tridente, in ricordo della vittoria di Azio), negli *aurei* e nei *denarii* conati nel 28 e nel 27 a.C. (FIG. 5), oltre che in svariati altri monumenti pubblici e privati, come il frontoncino di una tomba conservato nel Museo di Colonia,<sup>44</sup> l'antefissa in terracotta rinvenuta ad Albano Laziale nel 1884,<sup>45</sup> il frammento architettonico inserito nel tempio del foro di Ostia, la curiosa stele del legionario «L. Marius» (FIG. 7) scoperta a Pezzolo (CN).

Per spiegare tale particolarità, è necessario precisare che Augusto nacque il nono giorno prima delle calende di ottobre (23 settembre), appena prima del sorgere del Sole:

<sup>43</sup> T. GROSS DIAZ, *Roman art at the Art Institute of Chicago*, Chicago, 2014.

<sup>44</sup> Il Capricorno divenne il contrassegno delle legioni *II Augusta* e *XIV Gemina Martia Victrix*.

<sup>45</sup> D. ROGER, *Ottaviano conquista il potere assoluto*, in *Augusto*, op. cit., p. 148.





FIG. 8. La Porta Palatina di Torino, monumento capitale di architettura giulio-claudia (1 sec d.C.).



FIG. 10. L'*auguraculum* scoperto a Meggiaro d'Este (vi-v sec. a.C.), nel quale si ripropongono i punti di stazionamento e il *templum in terra* previsti dalla trattatistica romana. L'area, di 7,5 × 5 m, rimasta eccezionalmente conservata, è stata portata alla luce archeologicamente una ventina di anni fa.

*Natus est Augustus M. Tullio Cicerone C. Antonio consulibus VIII Kal. Octob. paulo ante solis exortum, regione Palati ad Capita bubula.*<sup>46</sup>

Anche l'astrologo Manilio nell'*Astronomica* (il 'Poema degli astri') conferma che il segno zodiacale del principe era la Bilancia, ovvero che egli era nato *sub pondere librae*.<sup>47</sup>

Siamo tuttavia al corrente del fatto che gli astrologi dell'antichità distinguevano tra il 'giorno del concepimento' e quello 'natale'.<sup>48</sup> Augusto era stato concepito a dicembre quando il Sole era ospitato dal segno del Capricorno (il cosiddetto 'punto della for-

<sup>46</sup> SVETONIO, *Augustus*, 5.

<sup>47</sup> Manilio certifica la fine della giurisdizione del Capricorno a favore della Bilancia, segno sotto il quale era posto Tiberio: «Quando le chele dell'autunno stanno nascendo, benedetto è colui nato sotto il segno della Bilancia. Come giudice egli saprà giudicare con la bilancia e imporrà il peso della sua autorità sopra il mondo e legifererà. Le città e i popoli tremeranno al suo cospetto e saranno governati solo da lui, e dopo la sua dipartita, la giurisdizione sui cieli gli spetterà» (MANILIO, *Astronomica*, 4).

<sup>48</sup> SVETONIO, *Augustus*, 94.

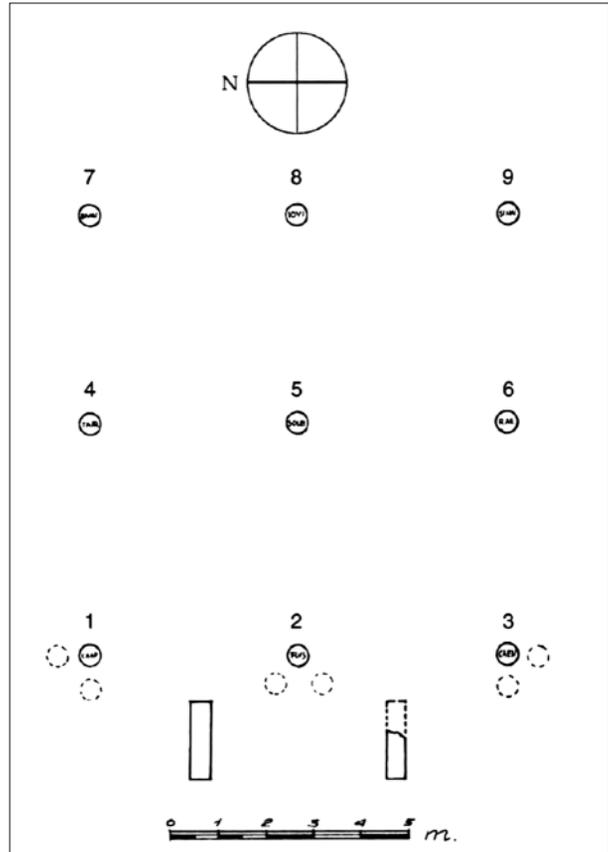


FIG. 9. Disposizione dei cippi in pietra scoperti a Bantia (età romana, 1 sec a.C.), coincidenti con i punti di stazionamento del *templum in terra* previsto dei rituali augurali e di fondazione.

tuna' nella compilazione dell'oroscopo)<sup>49</sup> e forse anche la Luna si trovava nel medesimo segno nel giorno della sua nascita. Sicuro del fatto che gli astri fossero depositari del destino umano, Augusto riconosceva la data del suo concepimento come fortunata.

Ipotizzando questa attenzione di Augusto per gli astri, un'analisi del cielo nella data di fondazione di *Augusta Taurinorum* con Cybersky mostra che, ad esempio, Sirio appare subito dopo il tramonto nel punto del levare del Sole al mattino ( $\sim 118^\circ$ ), nonché una parte della costellazione del Capricorno è in 'levata eliac'. A dicembre, in effetti, per via della precessione degli equinozi, il Sole si trovava nella costellazione del Capricorno, ma già nel corso del mese successivo si spostava nell'Acquario. Probabilmente, l'osservazione delle costellazioni in 'levata eliac' fu sfruttato dai gromatici per computare il tempo che mancava all'alba, così da apprestarsi con il giusto anticipo alle operazioni necessarie per il tracciamento della linea di fondazione. Come anche il sorgere di alcune stelle note al tramontare del Sole avrebbe potuto indicare il definitivo passaggio alla notte, non ben determinabile se l'ocaso viene anticipato da un'elevazione significativa.

<sup>49</sup> A. SCHÜTZ, *Der Capricorn als Sternzeichen des Augustus*, «Antike und Abendland», 37, 1991; M. PAPINI, *Gli dei protettori*, op. cit., p. 251.





Al di là delle questioni pratiche, la fondazione di *Augusta Taurinorum* sotto il segno del Capricorno si inquadra in un cliché ben consolidato nel periodo augusteo che sottintende un concetto astrologico

molto particolare: il Capricorno, infatti, precedeva l'apparire di *Sol/Apollo* annunciando il nuovo giorno e, più estesamente e metaforicamente, quello di 'un nuovo corso' (politico e storico).<sup>50</sup>

### **Scheda: la misurazione dell'azimut**

A cura di Giuseppe Massone (INAF-OATo)

Per determinare l'azimut astronomico della via Garibaldi di Torino è stato necessario: a) definire un allineamento sulla via il più possibile coincidente con l'antico tracciato romano; b) misurare con un goniometro (teodolite) l'angolo tra questo allineamento e tra un oggetto celeste di azimut noto. Avendo dovuto scartare, per motivi di praticità, le osservazioni notturne, l'unica alternativa erano le osservazioni del Sole. La mattina del 29 marzo 2019 si è quindi fatta stazione in un punto di Piazza Statuto sul prolungamento dell'allineamento, come definito in a), con un teodolite Hilger-Watts Microptic N.2 che permette letture al secondo d'arco, e si sono prese tre misure dell'allineamento, intervallate da due osservazioni complete del Sole. Data l'estensione angolare del disco solare un'osservazione completa consiste di quattro puntate: una per ciascun bordo est e ovest con le relative coniugate. I tempi nella scala UTC furono presi al decimo di secondo con un buon cronometro. L'azimut del Sole (nella scala di tempo UT1, con  $UT1 - UTC = -0,12$  s per quel giorno) furono ottenuti dal sito "Data Services" dello US Naval Observatory di Washington, che fornisce questi dati calcolati per siti di coordinate note con l'approssimazione del decimo di secondo d'arco. Il risultato della misura è sintetizzato nella tabella che segue:

coordinate del punto di stazione: long:  $7^{\circ}40'19''$  E; lat:  $45^{\circ}4'33''$  N  
 media degli azimut misurati della via:  $91^{\circ}45'22''$  ( $+/- 6''$ )  
 correzione d'indice dalla media azimut del Sole:  $24^{\circ}37'23,2''$  ( $+/- 3''$ )  
 azimut della via contato da nord verso est:  $116^{\circ}22'45''$  ( $+/- 7''$ ) =  $116,379^{\circ} +/- 0,002$ .

Gli errori formali calcolati dall'accordo interno delle osservazioni sono, molto probabilmente, un po' ottimistici di un fattore 2-3, dato che non tengono conto di tutti gli elementi di incertezza.

<sup>50</sup> Come ha scritto Gilles Sauron, dopo la battaglia di Azio il progetto di Augusto fu «quello di legare intimamente la propaganda fondata sul tema del compimento della storia, che faceva della pace – la *pax Augusta* – il termine ultimo della manifestazione di un piano divino iniziato con la nascita di Enea, con una visione d'insieme della mitologia greca e di tutta la storia, distribuita tra le età

susseguite secondo la tradizione di Esiodo – l'età degli Eroi e l'età del Ferro – considerate come periodi di inevitabile declino morale i cui unici elementi positivi erano quelli che preparavano il rinnovamento cosmico promosso dal nuovo re degli dei, Apollo, e realizzato sulla terra grazie ad Augusto», cfr. G. SAURON, *Mito e potere: la mistificazione augustea*, in *Augusto*, op. cit., p. 84.

**Mariateresa Crosta** dal 2008 è ricercatrice INAF presso l'Osservatorio Astrofisico di Torino. I suoi principali campi di ricerca sono la relatività generale applicata all'astrofisica, gli esperimenti di fisica fondamentale nello spazio, la cosmologia locale e la navigazione spazio-temporale. È impegnata nella missione astrometrica Gaia dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA).

**Sandro Caranzano** è archeologo. Laureato in Archeologia italiana presso l'Università degli Studi di Torino, si è specializzato in archeologia delle provincie romane sotto la guida di G. Gullini. Dal 2013 dirige la missione archeologica italiana alla necropoli di Selca (in collaborazione L. Mussi). Dal 2011 è direttore del Centro Studi Archeologici Herakles che si occupa di indagini sull'urbanistica e l'architettura dell'antichità.





# La stella di San Domenico

Filippina Caputo<sup>1</sup> · Nino Panagia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAF - Osservatorio Astronomico di Roma, ITALIA

<sup>2</sup> Space Telescope Science Institute, Baltimora (MD), USA

## Premessa

**N**ON tutti sanno che forse gli astronomi hanno un santo protettore. È Domenico di Guzmán, nato a Caleruega (Spagna) fra il 1170 e il 1175 da una famiglia di nobili origini e fondatore, nel 1216, dell'ordine religioso dei Padri Predicatori che porta il suo nome. Questo patronato sarebbe riconducibile a un episodio riportato nella biografia scritta da Giordano di Sassonia (1190-1237), suo primo successore alla guida dei domenicani. Si racconta che durante il battesimo una stella fu vista splendere sulla sua fronte, «volendo il Signore indicare che era destinato a illuminare chi giace senza fede nelle tenebre» e per questo una stella, che per antonomasia rischiara il cielo e serve da orientamento, divenne un simbolo dei domenicani e metafora della loro missione evangelizzatrice. In realtà, la stella ritratta nell'iconografia di San Domenico è di solito posizionata “al disopra” della fronte, come nel famoso affresco (FIG. 1) di Beato Angelico custodito nel convento di San Marco a Firenze, e ciò lascia supporre che la tradizione agiografica sia la testimonianza di una stella apparsa in cielo e precisamente di una supernova.

## Le supernovae nella storia

La più antica documentazione [1] scritta sulla comparsa di una supernova risale al dicembre 185 ed è riportata negli annali della corte imperiale cinese, dove gli astronomi descrissero l'apparizione di una “stella visitatrice”, non una cometa poiché la sua posizione in cielo non cambiava, che brillava come un quarto di luna e rimase visibile per oltre sei mesi. Tra gli eventi successivi documentati dagli astronomi orientali, è probabile [2] che quello del febbraio 393 sia stato per la prima volta menzionato nel mondo occidentale. All'epoca, l'imperatore Teodosio aveva diviso l'Impero romano tra Oriente e Occidente e il 23 gennaio 393 aveva proclamato Augusto d'Occidente il figlio Onorio. In suo onore, il poeta romano Claudio Claudiano scrisse un componimento nel quale lo paragonava a un astro splendente:

Mai fu l'incoraggiamento degli Dei più certo, mai il cielo mostrò presagi più favorevoli quando la stella dell'impe-

*In memoria del nostro caro amico Vito Francesco Polcaro*



FIG. 1. BEATO ANGELICO: “San Domenico di Guzmán”. Particolare dall'affresco *Cristo deriso* (ca. 1438-50) nel convento di San Marco a Firenze.

ratore Onorio apparve a mezzogiorno, in un momento quando anche la luna impallidiva.

Non sono pervenute notizie certe di altre apparizioni fino al 1006, quando in cielo comparve una stella talmente brillante da essere visibile di giorno e creare ombre di notte. La descrizione più accurata [3] fu dell'astronomo egiziano Ali ibn Ridwan (ca. 988-ca. 1061):

Un largo cerchio tre volte più grande di Venere è apparso nello Scorpione. Brillava più di un quarto di Luna e per la sua luce anche la notte era luminosa. Seguì il suo segno zodiacale finché il Sole raggiunse la Vergine e poi scomparve.

Anche astronomi cinesi e giapponesi scrissero che era in grado di illuminare il suolo notturno e che ri-





mase visibile per oltre un anno. In Europa, dove era ancora diffuso il terrore collettivo per l'anno Mille, il nuovo astro fu considerato un segno premonitore dell'Apocalisse descritta nei Vangeli e, come riportano gli annali delle abbazie benedettine di Benevento e di San Gallo, creò panico nella popolazione e fu associato a terremoti e lunghi periodi di siccità. Dopo soli quarantotto anni, nel luglio 1054, astronomi cinesi e giapponesi descrissero la comparsa di una stella tanto brillante da essere visibile di giorno per un mese e di notte per quasi due anni, ma nel mondo cristiano – sconvolto dal Grande Scisma fra Chiesa d'Occidente e Chiesa d'Oriente culminato nella reciproca scomunica fra il patriarca di Costantinopoli Michele Cerulario e papa Leone IX – quell'evento fu interpretato da ambo le parti come un segnale divino. Per Michele Cerulario, indicava che «una nuova stella era sorta accanto alla Chiesa Latina», mentre monaci irlandesi [4] scrissero che «un cerchio di fuoco apparve in cielo e molti uccelli neri passarono davanti con un grande uccello nero nel centro», con evidente allusione alla venuta dell'Anticristo, e negli annali della Chiesa di San Pietro di Oudenburg fu inserito [5] nel necrologio per la morte di Papa Leone IX:

Nell'ora stessa del suo trapasso non solo a Roma ma anche in tutto il mondo, agli uomini apparve in cielo un cerchio di straordinaria luminosità, con ciò volendo forse dire il Signore che egli era degno di ricevere in cielo la corona tra coloro che lo amano.

La reticenza nel fornire dati quantitativi per un fenomeno naturale non deve sorprendere poiché nel Medioevo cristiano l'interpretazione dei fenomeni celesti aveva basi mistiche e non poteva contraddire le Sacre Scritture. Non rispettare la centralità della Terra nell'Universo e la concezione aristotelica di cielo immutabile e perfetto equivaleva a un'eresia e si rischiava una condanna al rogo. Non esistono, infatti, documenti europei per la supernova apparsa il 6 agosto 1181 che astronomi cinesi e giapponesi descrissero brillante come un quarto di luna e visibile per circa sei mesi. L'unica possibile testimonianza [6] è fornita da un affresco del XII secolo nell'abbazia di San Pietro in Valle a Ferentillo, raffigurante l'Adorazione dei Magi, dove l'autore potrebbe aver prudentemente "mimetizzato" il nuovo astro con la più ortodossa stella che guidò i Magi verso Betlemme. È invece questa la stella che ci interessa, in quanto l'epoca corrisponde all'infanzia di Domenico e si accorda col racconto di Giordano di Sassonia poiché durante il Medioevo il battesimo era impartito ai neonati soltanto nelle classi più povere, dove maggiore era l'incidenza della mortalità infantile,



FIG. 2. Beata Giovanna d'Aza.



FIG. 3. Beata Giovanna d'Aza col figlio Domenico.

mentre per le famiglie più agiate a padrini e madrine erano richiesti rituali preparatori che potevano durare anni.

Questa ipotesi è confortata da una leggenda che riguarda Giovanna d'Aza, madre di Domenico, nella quale si narra che durante un pellegrinaggio alla tomba di San Domenico di Silos le fu predetta la nascita di un figlio che sarebbe diventato «luce della Chiesa e distruzione degli eretici». Giovanna d'Aza fu beatificata nel 1828 ed è spesso raffigurata (FIG. 2) con una stella a otto punte, stilisticamente simile a quelle dell'iconografia domenicana e dell'affresco di Ferentillo, ma sono le immagini che la ritraggono con Domenico dall'apparente età di cinque-sette anni ad avere maggiore importanza. Nella prima (FIG. 3) sono entrambi illuminati da un fascio di luce proveniente dal cielo e nella seconda (FIG. 4) mostra al figlio una stella che brilla nel firmamento. Appare quindi plausibile che un eccezionale evento celeste si fosse verificato durante l'infanzia di Domenico e che la supernova del 6 agosto 1181 avvalorasse agli occhi di una madre molto devota la profezia del santo di Silos e segnasse il destino di Domenico che fu affidato a uno zio arciprete col quale iniziò il suo percorso religioso.

### Che cosa è una supernova?

Pur appearing nel firmamento come un "nuovo" astro, una supernova (SN) rappresenta la fine catastrofica di una stella già esistente. Tutte le supernovae sono caratterizzate da un improvviso e repentino aumento della luminosità (fino a un miliardo di volte la luminosità del Sole) che diminuisce gradualmente nei mesi seguenti. In base alle caratteristiche e alla loro evoluzione sono classificate nei tipi Ia, Ib/c e II che corrispondono a diversi progenitori e meccanismi di esplosione. Senza entrare in detta-





FIG. 4. Beata Giovanna d'Aza col figlio Domenico.

gli scientifici che esulano dall'argomento di questo articolo, una SN Ia deriva da una stella di massa intermedia ( $\sim 3-8$  volte la massa del Sole), facente parte di un sistema binario stretto dove la fusione nucleare dal carbonio al ferro provoca la disintegrazione della stella, liberando circa  $0,7$  masse solari di ferro, mentre gli altri tipi provengono da stelle singole massicce ( $> 9$  masse solari) in cui l'esplosione è causata dal "rimbalzo" del catastrofico collasso gravitazionale del nucleo stellare prima che si raggiunga la fusione nucleare del ferro. Queste supernovae lasciano come residuo una stella di neutroni o, se la massa della stella progenitrice è particolarmente elevata, un buco nero. In tutti i casi, l'esplosione proietta nello spazio una grande quantità di energia cinetica (circa  $10^{51}$  erg) e di materia (almeno una massa solare) arricchita di elementi chimici pesanti.

Sulla base dei documenti attualmente disponibili [1], negli ultimi duemila anni sono state registrate nella nostra Galassia otto supernovae, suggerendo un tasso medio di  $4-5$  per millennio. Tuttavia, bisogna tener conto che la maggior parte delle supernovae è passata inosservata perché troppo lontane o troppo oscurate da nubi di gas e polvere interstellare per essere visibili. A testimoniare l'avvenuta esplosione resta comunque un "residuo di supernova" che i moderni telescopi sono in grado di analizzare ottenendo informazioni sull'epoca in cui fu os-

servabile dalla Terra. A titolo di esempio, l'ultima supernova documentata risale al 1604 e fu studiata in dettaglio da Giovanni Keplero ma è quasi certo che la radiosorgente Cas A sia stata generata dalla stella osservata nell'agosto 1680 da John Flamsteed, primo astronomo reale inglese e fondatore dell'osservatorio di Greenwich, e in seguito non confermata. Sono oltre duecento [7] i "residui di supernova" nella nostra Galassia e tenendo conto di questi dati un valore più realistico è circa una supernova ogni venti anni. L'attuale primato di più giovane residuo spetta alla radiosorgente  $G1.9+0.3$ , situata al centro della Galassia [8], e indica un'età di circa 100 anni, per cui i tempi sembrano maturi per una prossima esplosione. Potrebbe accadere fra un mese o decine di secoli ma non si può escludere che sia già avvenuta ma la sua luce debba ancora raggiungere la Terra.

### Che cosa sappiamo della supernova di San Domenico?

La supernova che brillò nell'estate del 1181 è stata studiata dagli astronomi moderni sin dagli anni Settanta del Novecento, quando le antiche cronache orientali iniziarono a rivelare eventi astronomici del passato e la disponibilità di potenti e moderni radiotelescopi aprì nuove porte alla conoscenza della Galassia. All'aumentare della scoperta di nuove radiosorgenti, si iniziò a distinguere le radiosorgenti termiche (regioni di idrogeno ionizzato associate a un'attiva formazione stellare) da quelle non-termiche (regioni con emissione continua radio con uno spettro tipico di radiazione di sincrotrone). All'interno di queste due categorie, le regioni erano separate sulla base di altri aspetti morfologici, quali le dimensioni, la compattezza, l'associazione con altri gruppi di sorgenti e la correlazione con proprietà del mezzo diffuso come la distribuzione e cinematica dell'idrogeno interstellare. Su tali basi, si notò [9] [10] che nella posizione celeste dove, secondo le antiche cronache cinesi e giapponesi, era apparsa la "stella visitatrice" dell'agosto 1181 si trovava la radiosorgente non-termica 3C 58 che si presentava compatta con emissione massima al centro e uno spettro continuo relativamente piatto. Diversamente da quanto si osserva nella maggior parte dei residui di supernova che hanno un aspetto a ciambella, come ci si aspetterebbe in un mezzo compresso dall'onda d'urto prodotta dall'esplosione, 3C 58 presenta molte analogie con un altro residuo, la famosa Nebulosa del Granchio prodotta dalla SN 1054. In entrambi i casi, l'esplosione aveva espulso gran parte degli strati stellari esterni ma anche compresso le zone più interne con una massa di poco maggiore di quella solare fino a un raggio di poche decine di chilometri. Il risultato è la formazione di una stella di neutroni estremamente compatta e fortemente magnetizzata che ruotando vertiginosamente su se stessa emette fasci di radiazione rotanti che la ren-





dono simile a un “faro cosmico”. Queste strutture stellari sono chiamate “pulsar” e nel caso di 3C 58 si tratta della pulsar PSR J0205+6449 che ruota su se stessa circa quindici volte al secondo (FIG. 5).

Utilizzando il valore [11] della distanza di 3C 58 dal Sole di circa 8,2 kpc e confrontando le antiche testimonianze con le osservazioni ottiche degli anni Settanta, si giunse inizialmente a concludere [12] che la SN 1181 fosse stata di tipo II, con una magnitudine assoluta al picco della luminosità pari a  $M_V \sim -17$ . Tuttavia, osservazioni successive mostrarono che alla distanza di 8,2 kpc le dimensioni assolute di 3C 58 sarebbe state di oltre tre volte maggiori di quelle della Nebulosa del Granchio. Inoltre, misure [13] della velocità di espansione e del periodo di rotazione della pulsar suggerivano un’età pari a circa 3000 anni, richiedendo l’esplosione di “due” supernove nella stessa regione di cielo: la prima attorno al 2000 a.C. e la seconda nel 1181. La ridiscussione dei dati sulla base di una distanza di 2 kpc, invece degli 8 kpc stimati in precedenza, ha successivamente permesso [14] [15] [16] di riconciliare gli aspetti osservativi di 3C 58 e avvalorare la sua associazione con la SN 1181. Il quadro risultante è di una supernova di modesta luminosità al momento dell’esplosione ( $M_V \sim -14$ , circa 30 milioni di volte la luminosità del Sole), ma con una notevole quantità di massa espulsa, prodotta dal collasso gravitazionale del nucleo di una stella con massa maggiore a 20 masse solari.

Possiamo concludere che la supernova del 1181 non sia stata “spettacolare” come quella del 1604 che superò in luminosità qualsiasi altra stella in cielo. Fu relativamente “modesta” ma allo stesso tempo “energica”, due proprietà che aggiunte alla presenza di un “faro cosmico” che serve da orientamento nell’intero universo, ben si addicono al nostro santo.

## Conclusioni

Non è stato possibile stabilire se e quando San Domenico sia stato proclamato patrono degli astronomi. Dubitiamo che lo fosse quando il domenicano Giordano Bruno, fra i primi sostenitori del modello eliocentrico di Nicolò Copernico, fu accusato di eresia da Ippolito Beccaria, maestro generale dell’Ordine, e condannato al rogo (17 febbraio 1600) anche per aver negato la natura “angelica” delle stelle e sostenuto l’esistenza di un Universo infinitamente esteso costituito da infiniti mondi. Né tantomeno quando Galileo Galilei, accusato di eresia per il sostegno alla teoria copernicana e perché aveva dimostrato che la “nuova stella” del 1604 sovvertiva la concezione aristotelica di un cielo immutabile [17], fu processato nel convento domenicano di Santa Maria sopra Minerva, a Roma, dal Tribunale del Sant’Uffizio, il cui commissario generale era il domenicano Vincenzo Maculani. Tutti i suoi libri furono inseriti nell’Indice dei libri proibiti e fu costret-

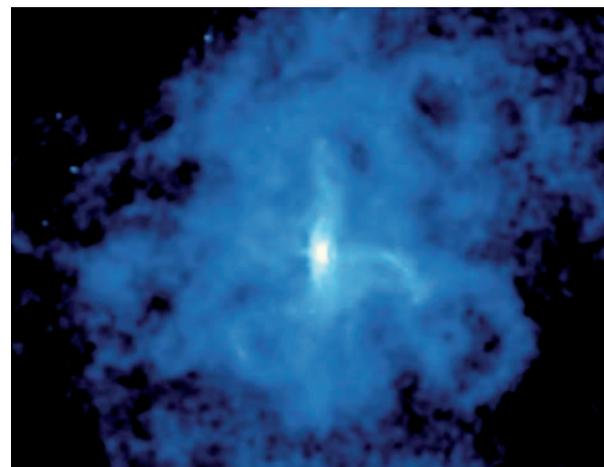


FIG. 5. Immagine di 3C 58 ottenuta dal telescopio spaziale Chandra X-ray Observatory. La pulsar PSR J0205+6449 è situata al centro (crediti: NASA/CXC/SAO).

to ad abiurare le proprie convinzioni astronomiche (22 giugno 1633) per scampare al rogo. Tuttavia, quello dei domenicani non fu l’unico ordine religioso che si oppose a Bruno e Galileo e alle nuove teorie astronomiche. Lo fecero soprattutto i gesuiti, fra i più tenaci sostenitori dell’ortodossia cattolica, e in una lettera dell’aprile 1615 indirizzata al carmelitano Paolo Antonio Foscarini, autore di un libro in difesa dell’eliocentrismo, il cardinale Roberto Bellarmino, un gesuita fra i più autorevoli membri del Sant’Uffizio, scriveva:

Volere affermare che realmente il sole stia nel centro del mondo, e si rivolti in se stesso senza correre dall’oriente all’occidente, e che la terra giri con somma velocità intorno al sole, è cosa molto pericolosa non solo d’irritare tutti i filosofi e teologi scolastici, ma anco di nuocere alla Santa Fede col rendere false le Scritture Sante [18].

Il lungo conflitto fra religione e astronomia è ormai alle nostre spalle. Senza dimenticare padre Angelo Secchi (1818-1878) – pioniere della spettroscopia stellare e fondatore della Società degli Spettroscopisti Italiani trasformatasi nella Società Astronomica Italiana – oggi il Vaticano possiede un moderno telescopio (VATT) in Arizona dove tutti gli astronomi sono gesuiti. Forse questa sinergia nello studio dell’universo è merito di San Domenico.

## Ringraziamenti

Questo lavoro ha avuto origine dalle celebrazioni per il quinto centenario della presenza dei Domenicani a Corato (Bari) organizzate da don Gino Tarantini, parroco della Chiesa di San Domenico.

## Referenze bibliografiche

- [1] D. H. CLARK, F. R. STEPHENSON, *The Historical Supernovae*, Oxford, Pergamon Press, 1977.





- [2] R. A. FESEN, R. KREMER, D. PATNAUDE, D. MILISAVLJEVIC, *The SN 393-SNR RX J1713.7-3946 (G347.3-0.5) Connection*, «The Astronomical Journal», 2012, 143, pp. 27-33.
- [3] F. R. STEPHENSON, D. H. CLARK, D. F. CRAWFORD, *The Supernova of AD 1006*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 1977, 180, pp. 567-584.
- [4] D. MC CARTHY, A. BREEN, *Evaluation of Astronomical Observations in the Irish Annals*, «Vistas in Astronomy», 1997, 41, pp. 117-38.
- [5] V. F. POLCARO, A. MARTOCCHIA, *Supernovae astrophysics from Middle Age documents*, Proceedings IAU Symposium No. 230, 2005, pp. 264-268.
- [6] M. INCERTI, F. BÒNOLI, V. F. POLCARO, *Transient Astronomical Events as Inspiration Sources of Medieval and Renaissance Art*, in *The Inspiration of Astronomical Phenomena VI*, E. M. Corsini ed., «Astronomical Society of the Pacific Conference Series», 2011, 441, pp. 139-150.
- [7] D. A. GREEN, *A catalogue of 294 Galactic supernova remnants*, «Bulletin of the Astronomical Society of India», 2014, 42, pp. 47-58.
- [8] S. P. REYNOLDS, J. KAZIMIERZ, K. J. BORKOWSKI, D. A. GREEN *et al.*, *The Youngest Galactic Supernova Remnant: G1.9+0.3*, «The Astrophysical Journal Letters», 2008, 680, pp. L41-L44.
- [9] K. W. WEILER, *Synthesis of the polarization properties of 3C 10 and 3C 58 at 1420 and 2880 megahertz*, PhD Thesis, 1970, California Institute of Technology.
- [10] F. R. STEPHENSON, *Suspected supernova in A.D. 1181*, «The Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society», 1971, 12, pp. 10-38.
- [11] D. W. R. WILLIAMS, *Observations of the 21 CM Absorption Spectra of 3C 10 and 3C 58*, «Astronomy and Astrophysics», 1973, 28, pp. 309-311.
- [12] N. PANAGIA, K. W. WEILER, *The absolute magnitude and type classification of SN 1181 equals 3C 58*, «Astronomy and Astrophysics», 1980, 82, pp. 389-391.
- [13] R. FESEN, G. RUDIE, A. HURFORD, A. SOTO, *Optical Imaging and Spectroscopy of the Galactic Supernova Remnant 3C 58*, «The Astrophysical Journal Supplement Series», 2008, 174, pp. 379-395.
- [14] P. SLANE, D. HELFAND, E. MURRAY, S. VAN DER SWALUW, *New Constraints on the Structure and Evolution of the Pulsar Wind Nebula 3C 58*, «The Astrophysical Journal», 2004, 616, pp. 403-413.
- [15] R. KOTHES, *On distance and age of pulsar wind nebula 3C 58*, «Astronomy and Astrophysics», 2013, 560, pp. 18-28.
- [16] R. KOTHES, *Supernova of AD 1181 and its Remnant: 3C 58*, in *Handbook of supernovae*, A. W. Alsabti, P. Murdin Eds, Springer International Publishing AG, 2017, pp. 97-115.
- [17] W. SHEA, *Galileo and the supernova of 1604*, «Astronomical Society of the Pacific Conference Series», 2004, 342, pp. 13-20.
- [18] A. FAVARO (a cura di), *Galileo Galilei, Opere*, vol. XII, Firenze, Giunti-Barbera, 1968, pp. 171-172.

**Filippina Caputo**, laureata in Fisica all'Università "La Sapienza" di Roma nel febbraio 1967, è stata ricercatrice CNR presso l'Istituto di Astrofisica Spaziale di Frascati e successivamente Astronoma Ordinaria presso l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte (Napoli) e l'Osservatorio Astronomico di Roma. I suoi maggiori interessi scientifici sono gli ammassi globulari, le variabili pulsanti tipo Cefeidi e RR Lyrae e la scala delle distanze cosmiche. È stata componente dei Consigli Direttivi degli Osservatori Astronomici di Catania, Napoli e Roma, della Società Astronomica Italiana e dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF). A sostegno del ruolo femminile nel campo della ricerca astronomica, ha partecipato al Comitato per le Pari Opportunità nell'INAF e curato la rubrica "A come astronomA" sul «Giornale di Astronomia».

**Nino Panagia** si è laureato in Fisica all'Università "La Sapienza" di Roma nel 1966 ed è stato ricercatore CNR presso l'Istituto di Astrofisica Spaziale (Frascati) e l'Istituto di Radioastronomia (Bologna). Successivamente, è stato Professore Ordinario di Astronomia all'Università di Catania e ESA Senior Astronomer allo Space Telescope Science Institute di Baltimore (USA). I suoi maggiori interessi scientifici sono fisica del mezzo interstellare, venti stellari, supernovae e resti di supernovae, formazione stellare in galassie del Gruppo Locale, espansione e accelerazione dell'universo. Nell'ambito di questi ultimi argomenti ha condiviso coi colleghi del Supernova Cosmology Project i premi «Gruber in Cosmology» del 2007 e «Breakthrough Prize in Fundamental Physics» del 2015.





# Le ricerche sui raggi cosmici a Firenze e a Roma. La nuova scienza astronomica

Salvo D'Agostino

Università degli Studi di Roma «La Sapienza»

## Introduzione

**I**N Italia, sin dagli anni precedenti la Prima guerra mondiale, Domenico Pacini (1878-1934) e Gian Alberto Blanc (1879-1966) avevano fatto ricerche su quella che allora si chiamava la «scarica spontanea» dell'elettroscopio, attribuite ad una «radiazione penetrante» di incerta provenienza. Ma nel 1912 il fisico tedesco Victor F. Hess (1883-1964), con un esperimento su un pallone aerostatico, aveva dimostrato che la radiazione entrava nella nostra atmosfera dall'alto e non proveniva dall'interno della Terra. Questo esperimento cambiò nell'opinione dei nuovi fisici il loro approccio alle ricerche sulla radiazione penetrante, alias raggi cosmici (RC).

Un'altra grande svolta nel tipo di ricerca e nell'attribuzione della sua rilevanza, si ebbe con l'opera di Bruno Rossi (1905-1993). Laureato in Fisica a Bologna, sin dal 1930-31 si appassionò ai nuovi fenomeni con intuizioni originali. Mentre negli anni Trenta del Novecento si tendeva a considerare i RC, una «radiazione gamma» molto penetrante, collegandola principalmente a fenomeni atomici e quindi non direttamente rilevante alle ricerche allora più avanzate, quelle sulla fisica nucleare, Rossi, sin dal 1930-31, pensava che i RC non fossero riconducibili a fenomeni noti e, pur ammettendo che fossero radiazioni elettromagnetiche di alta frequenza (raggi ultragamma), riteneva che la loro altissima energia avrebbe comportato il passaggio ad una nuova fisica pertinente alla ricerca fondamentale.

Sebbene la tesi di Rossi non fosse facilmente conciliabile con il quadro teorico del tempo, nel 1931, al Convegno Volta, egli aveva affermato che si trattava di una «radiazione corpuscolare», campo di ricerca fondamentale. La sua tesi sembrava presentare delle incongruenze, perché nella teoria allora adottata, se fossero stati corpuscoli, sarebbe stata evidente la contraddizione fra l'ordine di grandezza dell'energia desunta dalla perdita per ionizzazione e quella derivata dalla loro rigidità magnetica, che sembrava additare energie molto maggiori. Tale contraddizione verrà risolta quando si scopriranno altri processi di perdita energetica da parte delle particelle per produzione di coppie e irraggiamento, processi allora insospettati. È su questo sfondo che va oggi valutato il significato della ardita innovazione sostenuta da Rossi con la sua concezione particellare dei RC.

Rossi dovette superare altre difficoltà che riguardavano la maggiore priorità attribuita a un diverso programma da parte di un influente esponente della comunità scientifica italiana ed anche della politica fascista del tempo, Orso Mario Corbino (1876-1937). Corbino, che era il mentore di Enrico Fermi (1901-1954) a Roma, sosteneva che i fisici avrebbero dovuto «produrre artificialmente i proiettili naturali dei corpi radioattivi» servendosi di macchine acceleratrici di particelle, che comportavano investimenti finanziari rilevanti per quei tempi. Fortunatamente, Rossi trovò in Antonio Garbasso (1871-1933), sindaco di Firenze e senatore del regno, comprensione e valido appoggio per le sue idee.

## Le intuizioni di Bruno Rossi a Firenze

Le intuizioni di Rossi a Firenze furono nel giro di pochi anni spettacolarmente confermate, perché in quel trascurato fenomeno naturale esistevano proprio quei proiettili, come verrà provato dalla scoperta nei RC del positrone (1930) e del mesone (1935). Le nuove particelle, rivelate dai nuovi strumenti Geiger,<sup>1</sup> rivoluzionarono le teorie del nucleo negli anni Trenta, confermando un'altra delle intuizioni di Rossi, la sua ardita congettura della rilevanza dei RC per la fisica del nucleo. Egli aveva posto problemi a cui la fisica teorica avrebbe potuto rispondere solo più tardi, con le basilari innovazioni del positrone di Paul Dirac (1902-1984) e con la teoria dell'irraggiamento di Hans Bethe (1906-2005) e Walter Heitler (1904-1981), derivate dall'elettrodinamica quantistica.

Nell'opera di Rossi, le intuizioni teoriche si accompagnano a invenzioni di nuovi strumenti e ad un uso geniale della nuova strumentazione. Fra i nuovi strumenti ebbe grande efficacia nelle ricerche la costruzione di uno speciale «circuitto di coincidenze fra contatori di Geiger», che venne subito utilizzato nel «telescopio di contatori a coincidenze triple»,<sup>2</sup> che radicalmente innovava il sistema a coincidenze doppie adoperato nel 1925 dai tedeschi Walther Bothe (1891-1947) e Werner Kolhörster

<sup>1</sup> Il Geiger, inventato dai tedeschi, era uno strumento che a un piccolo impulso di ionizzazione faceva seguire un grande impulso a cascata.

<sup>2</sup> Le coincidenze multiple erano quelle simultanee di due o più Geiger elettronicamente collegati.





FIG. 1. Victor Hess (al centro) in una delle campagne di misurazioni effettuate a bordo di palloni aerostatici, tra il 1911 e il 1912. (Crediti: *New York Times*)

(1887-1946), sostituendo ai loro sistemi a rilevamento fotografico delle coincidenze un circuito elettronico a valvole. Le coincidenze triple consentivano, fra l'altro, un distanziamento fra i contatori estremi che rendeva possibile interporre grossi spessori di piombo, indispensabili a provare la grande penetrabilità dei  $\gamma$ . Inoltre, veniva migliorato di un ordine di grandezza il potere risolutivo delle coincidenze triple rispetto al sistema tedesco e si riducevano le coincidenze spurie.

Nello stesso anno 1931, mediante l'ingegnoso sistema delle coincidenze fra contatori di Geiger a triangolo e la non meno ingegnosa interpretazione dei dati sperimentali (la curva cosiddetta di Rossi), il fisico enunciava la tesi delle due componenti, le cosiddette componenti dura e molle dei  $\gamma$ , e distingueva la componente dura da quella «produttrice di sciami», prefigurando la distinzione fra componente mesonica ed elettronica che condurrà alla teoria mesonica dei  $\gamma$  (1938).

Nel 1938, a causa delle leggi razziali, Rossi dovette emigrare in Danimarca con Niels Bohr (1885-1962), poi con Patrick M. S. Blackett (1897-1974) in Inghilterra, e infine negli Stati Uniti, a Chicago e alla Cornell University, sempre attivo nelle sue ricerche sugli sciami. Morì a Cambridge (Mass.) nel 1993.

### I raggi cosmici e la fisica nucleare: la collaborazione fra il gruppo fiorentino di Arcetri e il gruppo romano

Mentre i fisici di Firenze e Roma avevano raggiunto, per merito di Rossi, una padronanza nella strumentazione con i Geiger e i circuiti di coincidenza, non altrettanto avveniva con la «camera a nebbia o di Wilson», uno strumento altrettanto basilare a quel tempo nella ricerca sulla fisica delle particelle elementari, il cui impiego in Inghilterra e negli Stati



FIG. 2. Domenico Pacini mentre esegue delle misurazioni il 22 ottobre 1910. (Crediti: famiglia Pacini)

Uniti aveva cominciato a dare contributi rilevanti, specie con l'introduzione delle osservazioni e misure in campo magnetico. Di questa lacuna si resero conto sia i fiorentini che il gruppo romano, tentando di porvi rimedio con l'invio all'estero di loro componenti. Giuseppe Occhialini (1907-1993), allora assistente e collaboratore di Rossi, si recò in Inghilterra da Blackett e da questa collaborazione nacque un nuovo strumento: la camera di Wilson pilotata dai contatori Geiger in coincidenza. Una sintesi dei due strumenti che porterà subito alla scoperta nei  $\gamma$  del positrone, identificato nella nuova particella prevista da Dirac.

Ma a Firenze operò e contribuì sia ai raggi cosmici che alla nascente fisica nucleare il fisico fiorentino Gilberto Bernardini (1906-1995). La consapevolezza di trovarsi davanti ad una ricerca che diverrà pertinente al nuovo quadro teorico della meccanica quantistica, ed anche alla fisica nucleare, presente a Rossi sin dal 1930, trova il suo naturale esito nella scelta di Gilberto Bernardini, uno dei suoi assistenti, di condurre ricerche sui due versanti dei  $\gamma$  e della fisica nucleare.

Negli anni Trenta Bernardini, cominciò a stabilire contatti fra la scuola di Roma e di Firenze che, oltre a rinforzare la fisica italiana sul piano nazionale e internazionale, dovevano servire subito, dopo lo sfacelo della guerra, a porre le basi per quella ricostruzione della fisica italiana a cui contribuì principalmente Edoardo Amaldi (1908-1989).

Le principali ricerche di Bernardini negli anni Trenta riguardavano la produzione di neutroni dal berillio per bombardamento con particelle alfa, ricerche svolte a Berlino-Charlottenburg nel 1933, la disintegrazione del berillio per irraggiamento con raggi gamma, con Manlio Mandò (1912-1988) ad Arcetri, la produzione di sciami con Daria Bocciarelli (1910-2006) sempre ad Arcetri, nel 1934, l'assorbimento dei  $\gamma$  per diverse inclinazioni zenitali, in cui rilevava un «assorbimento anomalo» che sarà poi spiegato con il decadimento del mesone, ancora con Daria Bocciarelli ad Arcetri nel 1935.





FIG. 3. Bruno Rossi nel laboratorio ad Arcetri, nel 1930.



FIG. 4. Bruno Rossi (a sinistra) ed Enrico Fermi, durante il Convegno Internazionale di Fisica Nucleare di Roma del 1931.

Dopo la scoperta nel 1937 del mesone nei RC, ad opera di Carl David Anderson (1905-1991), Bernardini, con Bernardo Cacciapuoti (1913-1979) e Bruno Ferretti (1913-2010), controllano la teoria della disintegrazione attraverso esperimenti di assorbimento sotto la volta della basilica di Massenzio a Roma, ricerche che continuano nel 1938-39 a Plan Rosà sul Cervino, con i precedenti collaboratori, a cui si aggiungono Oreste Piccioni (1915-2002), Gian Carlo Wick (1909-1992), Carlo Ballario (1915-2002), ed altri. Essi pongono in evidenza comportamenti anomali, che fanno già intravedere la possibilità che il mesone presente nei RC non sia quello «pesante», previsto dalla teoria del giapponese Hideki Yukawa (1907-1981) (le ricerche furono sovvenzionate dal CNR e dall'istituto Nazionale di Geofisica). La prova conclusiva che era presente un diverso mesone sarà data dagli esperimenti di Marcello Conversi (1917-1988), Ettore Pancini (1915-1981) e Oreste Piccioni negli anni della guerra, con un esperimento condotto fortunatamente nei locali del Regio Liceo Virgilio a Roma.

Nel 1940, Gilberto Bernardini, con Mario Ageno (1915-1992), Cacciapuoti e Ferretti, pubblicano su *Physical Review* la ormai definitiva conclusione che l'assorbimento anomalo è dovuto al decadimento del mesone e ne valutano la vita media.

### A modo di conclusione

Lo «stile di ricerca» dei fisici fiorentini dei raggi cosmici era stato incisivamente caratterizzato dallo stesso Rossi come «abilità nel condurre gli esperimenti, audacia e atteggiamento critico nell'interpretazione dei risultati sperimentali, inventiva nella teorizzazione» e, per quanto riguarda il metodo, esso era volto a «costruire la teoria pezzo a pezzo con dati puramente empirici». Infatti, dalla lettura degli originali si evince il carattere costruttivo del proce-

dimento di ricerca, un carattere «luminifero» degli esperimenti (secondo la classica immagine baconiana), in quanto questi non erano tanto rivolti al controllo di teorie fortemente strutturate ma essi stessi suggerivano ardite congetture teoriche che a loro volta contribuivano a rafforzare.

Si realizzava così nel procedimento di ricerca dei fisici a Firenze quell'armoniosa correlazione fra sperimentazione e concettualizzazione che rappresenterà uno degli aspetti più notevoli ed interessanti dello stile della scuola italiana dei raggi cosmici e, più in generale, delle ricerche di astronomia in Arcetri.

Cosicché quella differenziazione fra campo teorico e sperimentale che in Germania aveva avuto origine nell'ultimo quarto dell'Ottocento (Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) e Max Planck (1858-1947) a Bonn furono fra i primi ad avere cattedre di Fisica teorica), in Italia si affermò con circa cinquant'anni di ritardo. Ma la minore specializzazione fra fisici teorici e sperimentali produsse lo stesso frutti originali: senza questo ritardo forse l'opera di Fermi e Rossi non sarebbe stata possibile. Una benefica complessità della storia che si innesta sulla complessità del fenomeno scienza!

### Referenze bibliografiche

- E. AMALDI, *Personal notes on neutron work in Rome*, in *History of Twentieth Century Physics*, New York, Weiner, 1977.
- E. AMALDI, *Beta decay opens the way to weak interactions*, «Journal de Physique Colloques», 1982, 43 (C8), pp.C8-261-C8-300.
- G. HOLTON, *Fermi's Group and the recapture of Italy's place in Physics*, in *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge, Holton, 1978, pp. 155-198.
- R. MAIOTTA, *Einstein in Italia. La filosofia e le scienze italiane di fronte alla teoria della relatività*, Milano, Franco Angeli, 1987.





E. PERSICO, *I Raggi Cosmici*, «Scientia», 40, 1931.

A. ROSSI (a cura di), *Atti del XIII Congresso Nazionale di Storia della Fisica*, Palermo, ottobre 1982, CNR, Gruppo Nazionale di Coordinamento per la Storia della Fisica.

B. ROSSI, *Proceedings of the Nuclear Physics Conference*, October 1931, Reale Accademia d'Italia e Fondazione Volta.

E. SEGRÈ, *Enrico Fermi fisico*, Bologna, Zanichelli, 1978.

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





# Siamo stati sulla Luna con la meridiana della basilica di San Petronio

Giovanni Paltrinieri · Romano Serra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica e Astronomia, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

**P**ER quanti si interessano di astronomia antica, è notorio il fatto che all'interno della basilica di San Petronio a Bologna, Giovanni Domenico Cassini ha realizzato nel 1655 la più grande meridiana del mondo. Trattando in queste righe di inconsuete funzioni di questo strumento, è doveroso ricordarne sommariamente le sue fondamentali caratteristiche.

Alla sommità della volta della navata sinistra (FIG. 1) è fissata stabilmente, a 27 metri circa dal suolo, una piastra che reca un foro avente per diametro la sua millesima parte, cioè 2,7 cm. Lo spessore del foro è svasato, al fine di consentire ai raggi solari ogni giorno dell'anno (anche se bassi), di entrare nell'edificio e proiettare sul pavimento l'immagine luminosa dell'astro.

Uno degli scopi primari è quello di determinare, grazie a detta immagine, l'istante del mezzodì, ovvero le ore 12 "solari", quando cioè l'astro si trova esattamente a metà strada tra alba e tramonto, è alla sua massima altezza sull'orizzonte, e si trova in perfetta direzione sud rispetto all'osservatore. A tale scopo è tracciata al suolo la "linea meridiana": una lista marmorea che parte dalla verticale del foro e si dirige perfettamente a nord. Altro importante scopo è quello di determinare, ogni giorno, il valore di altezza angolare che il Sole assume rispetto all'orizzonte in quel medesimo istante.

Ogni giorno dell'anno – nubi permettendo – circa mezz'ora prima del mezzodì, l'immagine del Sole si proietta sul lato della navata centrale, portandosi progressivamente nel corso dei minuti in dirittura della linea meridiana. Quando la centra, è l'istante cercato: il Sole per questo luogo marca l'istante del mezzodì locale. Poi l'immagine prosegue per un certo tempo verso le cappelle laterali, quindi scompare; la rivedremo il giorno seguente.

Ma la proiezione solare al suolo non si ripete nello stesso punto: andando verso l'estate si porta quotidianamente sempre più vicina alla verticale del foro, raggiungendo il massimo in occasione del solstizio estivo (21 giugno); dopo di che, nei giorni progressivi si porterà verso l'inverno: vedremo l'immagine luminosa sempre più distante, sino a raggiungere la massima posizione al solstizio invernale (21 dicembre), andando quasi a sfiorare la parete interna della facciata della chiesa (FIG. 2).

Una particolarità di questo strumento è l'immagine stessa che si produce al suolo. Essendo il foro gnomonico (o stenopeico) di modeste dimensioni,

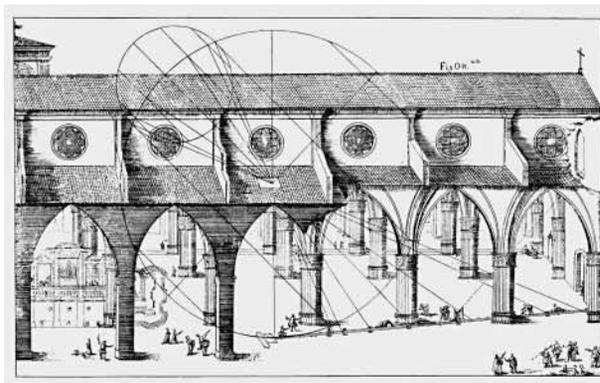


FIG. 1. Sezione laterale della basilica di San Petronio in Bologna. Incisione del 1695 di Egidio Maria Bordoni.

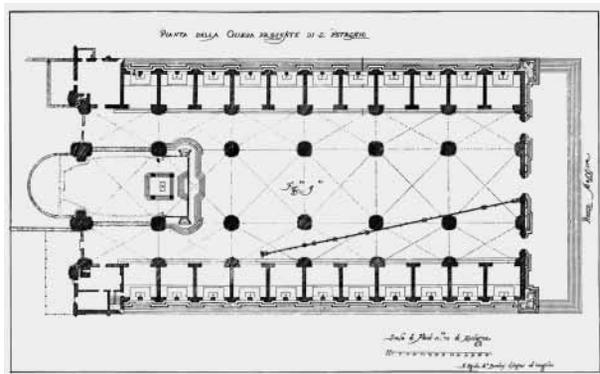


FIG. 2. Pianta della basilica di San Petronio con il tracciato della linea meridiana. Incisione del 1695 di Egidio Maria Bordoni.

si manifesta qui il fenomeno della "camera oscura" riproducendo esattamente sul piano l'immagine del Sole, sebbene ribaltata. All'occorrenza, si osservano chiaramente le macchie solari, oppure l'eclisse di Sole (FIGG. 3 e 4).

## La storicità di una singolare osservazione

Tra le tante curiosità scientifiche generate attorno alla meridiana petroniana, è da segnalare una singolare osservazione effettuata nella notte del 23 novembre 1779 dall'astronomo Eustachio Zanotti.

Era una notte di luna piena, ed in più si sarebbe avuta un'eclisse lunare: due ottime occasioni per osservare l'immagine del satellite in una postazione inusitata: sulla linea meridiana del Cassini.





FIG. 3. L'immagine solare proiettata sulla linea meridiana in periodo invernale.

Con uno strumento di tali dimensioni, la proiezione del Sole sappiamo essere di notevole grandezza; parallelamente, anche l'immagine della Luna risulta certamente interessante, sebbene non ci si debba aspettare una riuscita ottimale, avendo il satellite una luce notevolmente inferiore rispetto a quella del Sole, anche trattandosi di luna piena o nei giorni a lei prossima. Oltretutto, non va dimenticato l'inquinamento luminoso che attenua notevolmente la qualità dell'immagine lunare. In una situazione tanto disagiata, basta un minimo di cielo velato per ridurre notevolmente la qualità del risultato visivo dell'immagine proiettata al suolo. Ne risulta che, per ottenere una discreta immagine lunare sulla linea, si deve annullare qualsiasi tipo di luce circostante, seppur debole e lontana.

La prima documentata osservazione della proiezione lunare all'interno del tempio di San Petronio,

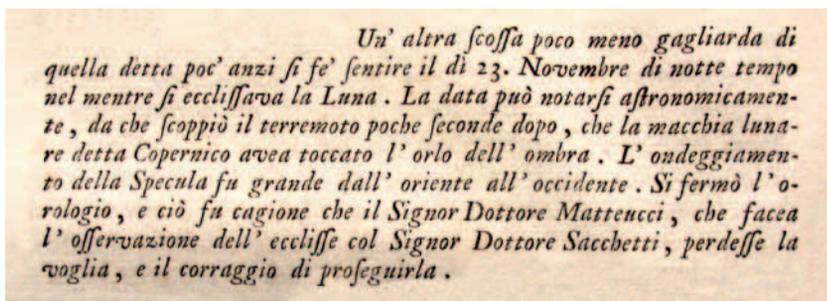


FIG. 5. Riproduzione del brano stilato da Eustachio Zanotti, pubblicato nel menzionato volume del 1779.



FIG. 4. Un eccezionale evento: l'eclisse solare parziale in San Petronio, avvenuta il 20 marzo 2015.

avvenne, come si è detto, nella notte del 23 novembre 1779 (FIG. 5). Gli astronomi dell'Università di Bologna avevano calcolato che si sarebbe verificata una eclisse, e dunque l'immagine del satellite proiettata sul pavimento della basilica sarebbe risultata doppiamente importante. Già una prima eclisse totale in quell'anno si era verificata il 30 maggio, alle 5<sup>h</sup>51<sup>m</sup>, ma quella seguente del 23 novembre avveniva in un orario decisamente migliore: le 19<sup>h</sup>15<sup>m</sup>.

Di questa osservazione ci fa un resoconto l'astronomo Eustachio Zanotti, il ricostruttore della meridiana di San Petronio creata dal Cassini, di cui egli ne ha rinnovati i marmi quali oggi li vediamo. La relazione che fa Zanotti è inserita nell'opera a stampa da lui curata a conclusione dei restauri appena conclusi, *La meridiana del tempio di San Petronio rinnovata l'anno MDCCLXXVI. In Bologna., Nell'Instituto delle Scienze, MDCCLXXIX* (p. 56: FIG. 6):

Non era per anche terminata la stampa di questo Libro, allor quando cominciarono a sentirsi diverse scosse di terremoto, e non essendo questa Città avvezza a soffrire simili disastri, non è meraviglia se più, che non conveniva, sia stata grande, e universale la costernazione, e lo spavento. Il dì primo di Giugno [1779] poco dopo la mezza notte s'ebbero di seguito sei, o sette scosse nel corso di due ore incirca, non tutte della stessa forza, e solo alcuna di esse fu capace di rovesciare qualche cammino sopra i tetti delle case. La mattina seguente alle ore 11½ d'Italia si senti un'altra scossa che fu giudicata più debole in confronto della più gagliarda succeduta la scorsa notte. Un'altra simile succedette la mattina del dì 4 a ore 12½; ed

un'altra il dì 10 a ore 13, che per comune sentimento superò tutte le precedenti. Persona degna di fede, che allora trovavasi nella Chiesa di S. Petronio, mi ha fatto un tragico racconto di quanto aveva osservato. Si vedeano, ha ella detto, agitati, e commossi i muri del Tempio, e le colonne, e particolarmente rendeano manifesto l'ondeggiamento della Tribuna, che sta sopra l'Altare maggiore. Contribuivano ad accrescere lo spavento, e il rumore tetto, e cupo di una romba, che risuonava d'ogni intorno, e lo stridore delle





vetriate, e delle chiavi di ferro tese sotto la volta, e sopra tutto le grida del popolo ivi concorso in occasione di celebrarsi un solenne triduo. La maggiore di tutte le scosse si crede da molti essere stata quella de' 14 Luglio mezz'ora dopo il tramontare del Sole, la quale durò seconde 12. Che se non convenono tutti in questo giudizio, potrebbe essere colpa del sito, e della casa, ove furono sorpresi, non essendo forse tutte le fabbriche egualmente atte a ricevere l'impresso movimento; e forse ancora, come è verisimile, per non essere l'azione del terremoto eguale per tutto. Un'altra scossa poco meno gagliarda di quella detta poc'anzi si fe' sentire il dì 23 Novembre di notte tempo, nel mentre si eclissava la Luna. La data può notarsi astronomicamente, da che scoppiò il terremoto poche seconde dopo, che la macchia lunare detta Copernico avea toccato l'orlo dell'ombra. L'ondeggiamento della Specula fu grande dall'oriente all'occidente. Si fermò l'orologio, e ciò fu cagione che il Signor Dottore Matteucci che faceva l'osservazione dell'eclisse col Signor Dottore Sacchetti, perdesse la voglia, e il coraggio di proseguirla. Non ho tenuto conto d'altre piccole scosse, che sono state frequenti, non essendo mio intendimento di fare una compiuta descrizione di questo orribile fenomeno, il quale per altro più di spavento, che di danno ha recato, poiché oltre i molti cammini rovesciati, o alcune fabbriche risentite, niuna casa trovata, che sia caduta, e niuna persona, che sia rimasta gravemente offesa. Dal poco, che si è detto si comprenderà la necessità, che vi era di fare un nuovo esame sopra lo stato della Meridiana, e particolarmente perciò, che riguarda l'altezza, e situazione del Gnomone. Questo esame si è fatto il dì 7 Gennaio 1780 sulla speranza, che sia terminato il corso di questa molestissima influenza. Si è sospeso sotto il foro, che tramanda la specie solare, quella catena di travicelli altre volte adoperata per misurare l'altezza del foro, o sia il Gnomone. Dopo usate le debite cautele altre volte indicate si è renduta manifesta una piccola depressione della lastra, ove è scolpito il foro, la quale per replicate prove tra loro concordi si è giudicata di parti centomillesime 12, che fanno ad un dipresso una linea e mezzo del piede di Parigi. Si è poi dimesso il filo di rame dal centro del foro, che si è trovato bensì corrispondente al principio della riga d'ottone, ma non al mezzo di essa, essendosene allontanato parti centomillesime 8 verso oriente, cioè una linea del piede di Parigi.

Il terremoto del 1779 venne registrato in diverse cronache locali. L'allora parroco della chiesa periferica di Bologna di Quarto Superiore, don Domenico Gatti, fece a quel tempo la seguente annotazione sul *Registro di Stato delle Anime* relativo a quell'anno:

Al 2 Giugno 1779 alle Ore 4½ tirò il terremoto, e si fece sentire nove volte: seguì di quando in quando giorno e notte, e nel venerdì dopo il Corpus Domini (4 Giugno) alle ore 13½ si sentì una fierissima scossa, e nel giovedì Ottava del Corpus Domini (10 Giugno) alle ore 13 in punto si sentì un'altra scossa anche più violenta. Caddero in

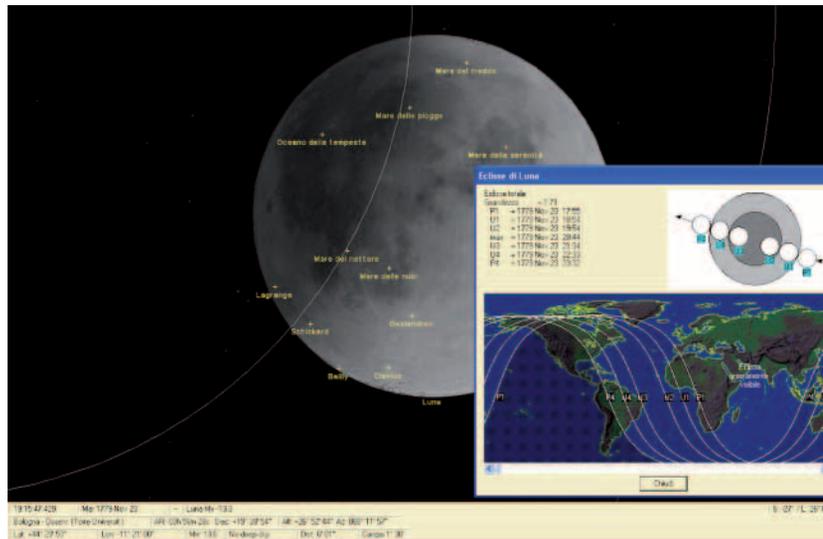




FIG. 7. La Cappella dei Santi Emidio ed Ivo in San Petronio.

tato di emularlo, se non altro per curiosità. Gli autori di queste righe hanno voluto ripetere l'osservazione, per verificare la qualità dell'immagine proiettata al suolo, ben consci che attualmente i cieli sono soggetti ad un notevole inquinamento luminoso che porta ad una minore qualità del risultato.

La funzionalità ottica di una meridiana a camera oscura, del tipo di quella realizzata nella basilica di San Petronio a Bologna – come si è detto – è la medesima di una macchina fotografica. Guarda caso, in lingua inglese, la macchina fotografica si chiama appunto "camera". Le caratteristiche fondamentali di questo apparecchio sono: distanza focale, la distanza tra la lente e lo schermo, e diametro della lente.

Per quanto riguarda una macchina fotografica, il suo valore di distanza focale è prefissato dal costruttore e quindi non muta, mentre invece si può modificare, attraverso il diaframma, il diametro della lente. Ipotizzando una fotocamera con distanza focale di 40 mm e una lente di diametro 5 mm, il suo rapporto focale – indice della luminosità del sistema ottico – indicato con "f/", sarà:  $40/5$ , cioè  $f/8$ . Si deduce, che aumentando il diametro della lente, il rapporto focale aumenta, e viceversa. Ne deriva che, se per ipotesi il diametro della lente fosse 10 mm, il valore  $f/$  risulterà pari a 4.

Rivolgendo queste considerazioni ad una meridiana a camera oscura, le caratteristiche strumentali sono le medesime, e vengono illustrate dalla FIG. 8.

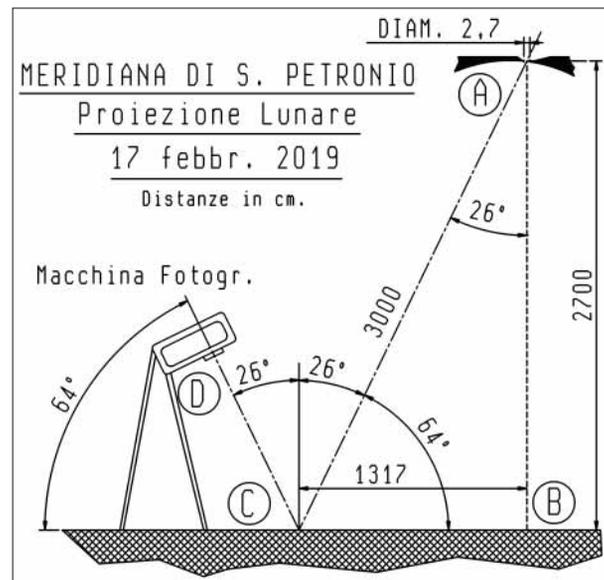


FIG. 8. Esempio di proiezione lunare sulla linea petroniana.

- Sia "A" il foro gnomonico della meridiana, simile alla lente in una macchina fotografica.
- "B" la verticale al suolo di "A".
- "C" il centro dell'immagine luminosa proiettata al suolo.
- "D" il punto ottimale di posizione di una macchina fotografica posto lungo l'asse di incidenza.

Ipotizziamo, come da figura, la meridiana di San Petronio di Bologna, avente per foro "A" un diametro di 2,7 cm e un'altezza "A-B" di 2700 cm. Ipotizziamo, inoltre, che il 17 febbraio 2019 l'asse centrale dei raggi solari al mezzogiorno formi con la verticale un angolo di  $26^\circ$ , ovvero un'altezza sull'orizzonte di  $64^\circ$ . Operando con la trigonometria, risulta che la distanza "B-C" è di 1317 cm, e la distanza "A-C" risulta circa di 3000 cm. Quest'ultimo valore possiamo considerarlo la distanza focale.

Dai valori appena definiti risulta che il rapporto di apertura è:

$$f/ = 3000/2,7 = 1111.$$

Sebbene il valore  $f/$  appena trovato risulti eccezionalmente grande, e di conseguenza la luminosità risulta notevolmente ridotta, la forte luce del Sole supplisce ad un simile inconveniente.

Ipotizziamo ora che anziché di giorno questa esperienza si faccia di notte, sostituendo alla luce del Sole quella della Luna. Ipotizziamo, inoltre, che per una indefinita notte l'asse del nostro satellite formi rispetto alla verticale un identico angolo di  $26^\circ$  (cioè ci manteniamo sull'esempio della figura). Ovviamente, tutti i valori sopra indicati si mantengono inalterati mantenendo il valore  $f/1111$ , ma purtroppo, in questo caso, si manifesta un notevolissimo calo di luminosità dell'immagine proiettata al suolo. Inoltre, a peggiorare le cose, la luna piena ha una luminosità di circa 400.000 volte inferiore rispetto a quella del Sole.





Ne deriva che, pur supponendo una luna piena e un cielo perfettamente terso, l'immagine lunare proiettata in terra risulta alquanto evanescente, pur distinguendosi discretamente le zone scure da quelle chiare in una situazione debole e sfocata. La soluzione più pratica sarebbe quella di aumentare il diametro del foro per abbassare il valore  $f/$ , ma in tale condizione si perderebbe al suolo la funzione stenopeica dello strumento, con la perdita dell'immagine stessa della Luna.

Sembra che la migliore soluzione a questo problema, pur tenendo conto delle problematiche appena accennate, sia quella di porre l'apparecchio fotografico sull'asse dell'angolo d'incidenza dell'asse lunare. In altre parole, per vedere la figura lunare, seppur debole, è necessario mettersi sulla linea meridiana lungo l'asse speculare che dal foro si proietta al suolo e che nel nostro esempio è di  $64^\circ$  rispetto all'orizzonte.

Questo genere di osservazioni notturne risulta sicuramente migliore nei mesi invernali, quando nel periodo di luna piena il satellite assume al transito una più spiccata verticalità. Operando invece in estate, la distanza focale è molto maggiore e di conseguenza anche il valore  $f/$  risulta proporzionalmente maggiore.

Volendo fotografare il transito lunare, il tempo di posa dipende dalla sensibilità della fotocamera. L'esempio fotografico qui riportato ha un tempo di posa di 10 secondi, un obiettivo da 50 mm di focale aperto a  $f/5$ , e a 1600 ISO. La foto non può mai risultare particolarmente nitida a causa del prolungato tempo di posa. Inoltre, è bene ricordarlo, l'immagine proiettata al suolo si mostra sempre "speculare" rispetto a quanto siamo soliti vedere in cielo: l'immagine nell'attraversare il foro stenopeico subisce l'obligato ribaltamento.

I risultati finali della presente verifica non sono davvero eccezionali ma, come si è appena detto, non si può pretendere di osservare nei dettagli ogni area lunare. Quando Eustachio Zanotti asserisce che «La data può notarsi astronomicamente, da che scoppio il terremoto poche seconde dopo, che la macchia lunare detta Copernico avea toccato l'orlo dell'ombra», non intende dire che egli distingue nettamente al suolo la zona «detta Copernico», ma dà un preciso riferimento orario a chiunque volesse effettuare una verifica col calcolo, oppure effettuare una diretta osservazione del satellite all'esterno del fabbricato.

Nel presente esperimento si sono effettuati numerosi tentativi fotografici al fine di ottenere il migliore risultato possibile: si è provato a proiettare l'immagine direttamente sul marmo, oppure su un



FIG. 9. Proiezione al suolo dell'immagine lunare sopra un tessuto atto ad esaltarne la luminosità. Fotografia scattata il 17 febbraio 2019. In alto a destra, la Luna osservata direttamente quella notte all'esterno.



FIG. 10. Mosaico di immagini della Luna proiettate sulla linea meridiana il 17 febbraio 2019.

foglio di carta lucida o non, oppure su un particolare tessuto (FIGG. 9 e 10).

A conclusione di questa esperienza, l'ottimizzazione di posa del risultato finale è quella mostrata in FIG. 8, dove la macchina fotografica viene posta sull'asse d'incidenza dei raggi lunari che dal foro giungono al suolo. Inoltre, si è visto che la visibilità accettabile sulla linea meridiana avviene quando l'altezza della Luna sull'orizzonte non è inferiore a  $45^\circ$ : quando invece è minore, la luminosità del satellite non è in grado di formare al suolo nemmeno una larvata immagine.<sup>2</sup>

E dunque, con una Luna proiettata al suolo su cui si può camminare sopra, si può scherzosamente dire quanto il titolo delle presenti pagine suggerisce: «Siamo stati sulla Luna».

<sup>2</sup> Per chi fosse interessato, si fa presente che foto e filmati del transito della Luna sulla linea meridiana di San Petronio in diversi mesi invernali, sono disponibili presso il sito del "Gruppo Astrofili Persicetani": [www.gapers.it](http://www.gapers.it).





FIG. 11. La doppia immagine del Sole e della Luna rappresentata all'inizio della linea meridiana, sopra al cassetto che contiene il "modulo" utilizzato da Giovanni Domenico Cassini per la realizzazione del grande strumento nella basilica petroniana.

Un'ultima curiosità, forse non casuale, sembra accreditare pienamente l'idea che con la meridiana a camera oscura si può osservare sia il Sole, sia la Luna. Sulla parete attigua al punto verticale della linea petroniana, è presente un'immagine che riunisce in una sola figura questi due corpi celesti (FIG. 11). Sarà solo un caso?

Inoltre, se vogliamo, il 2019 coincide con il 50° Anniversario dell'Uomo sulla Luna (20 luglio 1969): dunque, un'ulteriore occasione per considerare con attenzione il nostro satellite.

### Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento per la realizzazione del delicato servizio fotografico va ad Antonio Finazzi di Chiusduno, Bergamo, Valerio Canova di Castelfranco Emilia, Modena, e al Gruppo Astrofile Persicetani.

**Giovanni Paltrinieri**, gnomonista e studioso bolognese della misura del tempo. Autore di innumerevoli strumenti solari di varie dimensioni e caratteristiche tra cui quelli di Gal Hassin ad Isnello (PA). Molto numerose sono le sue pubblicazioni. Il suo sito è: [www.lineameridiana.com](http://www.lineameridiana.com).

**Romano Serra**, laureato in Astronomia e in Fisica, lavora presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna e segue come volontario l'attività del Museo del Cielo e della Terra di S. Giovanni in Persiceto (BO). L'asteroide 5302 porta il nome: Romanoserra.





# Un progetto di astronomia al Liceo IESS di Reggio Emilia

Francesca Ferrari

Istituto Europeo di Studi Superiori, Reggio Emilia

LE più moderne tecniche didattiche sono ispirate ai principi dell'apprendimento collaborativo e della didattica laboratoriale. Al Liceo IESS (Istituto Europeo di Studi Superiori) di Reggio Emilia, anche grazie alla disponibilità di lavagne multimediali e di un orario redatto in funzione della didattica, è diventato realtà il progetto di svolgere il corso di Fisica in laboratorio e di applicare le più avanzate tecniche didattiche. Ad ogni lezione gli studenti possono realizzare una applicazione sperimentale per mettere in pratica e consolidare quanto proposto durante la lezione introduttiva.

Oltre a disporre dei dispositivi in dotazione al laboratorio, gli studenti del corso scientifico hanno ricostruito alcuni strumenti con i quali hanno eseguito prove sperimentali.

Il progetto di Astronomia realizzato quest'anno nell'ambito del corso di Fisica ha coinvolto gli studenti della classe 2<sup>a</sup> A, indirizzo scientifico, ed ha portato alla ricostruzione di tre antichi strumenti, il cerchio indù, il cerchio di Ipparco e il plinto di Tolomeo. Questi strumenti sono stati utilizzati per realizzare misure e stime di orientazione e latitudine.

Gli studenti hanno quindi svolto misure manuali con gli strumenti ricostruiti e raccolto dati da confrontare con quelli acquisiti con alcune *app* installate sui loro iPad.

Questo lavoro ha consentito di raffinare capacità manuali che nei tempi moderni rischiano di essere sempre più marginalizzate e di verificare il funzionamento delle *app* con il confronto costante con la realtà, altra attitudine che rischia oggi di passare in secondo piano.

## Il cerchio indù: realizzazione ed applicazione

L'origine di questo strumento è molto antica e l'identità del suo ideatore è sconosciuta. Gli etruschi e i romani lo utilizzarono per individuare i punti cardinali e allineare i templi e le vie degli insediamenti urbani.

Per ricostruire il cerchio indù gli studenti hanno disteso un foglio di grandi dimensioni in una zona liscia del terreno ed hanno piantato nel suo centro un'asta verticale.

Al mattino è stata segnata con una crocetta la posizione della punta dell'ombra gettata dall'asta. È stato possibile, quindi, ricorrendo al metodo del giardiniere, tracciare sul foglio una circonferenza

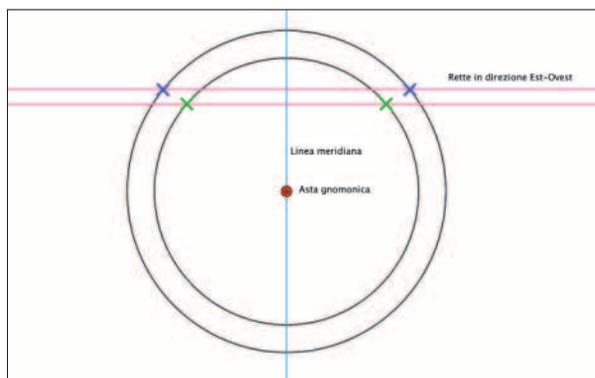


FIG. 1. Il cerchio indù.

centrata nella base dell'asta e passante per la crocetta.

Al pomeriggio gli studenti hanno atteso che la punta dell'ombra dell'asta toccasse la circonferenza ed hanno nuovamente segnato con una crocetta questo punto di contatto. La linea congiungente le due crocette indica la direzione est-ovest. La perpendicolare alla retta così individuata indica la linea meridiana nord-sud.

Al fine di raffinare il grafico, questa operazione è stata ripetuta diverse volte e a orari simmetrici rispetto al mezzogiorno locale. L'asta gnomonica, infatti, getta ombre di uguale lunghezza in orari equidistanti dal mezzodì e ci permette di individuare la famiglia di circonferenze in FIG. 1 e il fascio di rette parallele che indicano la direzione est-ovest.

Una volta individuata la linea meridiana come perpendicolare al fascio di rette, gli studenti hanno utilizzato la *app* "Science Journal" per verificare l'orientamento di tale linea.

Questa *app*, scaricabile su iPad o su dispositivi Android consente di ricavare la direzione nord mediante la funzione "Bussola".

## Il cerchio di Ipparco

La seconda parte del progetto ha portato alla determinazione della linea degli equinozi. Mediante semplici registrazioni in modalità *time-laps* è possibile verificare che, durante l'arco di una giornata, la punta dell'ombra gettata dall'asta gnomonica traccia archi d'iperbole.

Agli equinozi questi archi d'iperbole degenerano in segmenti di retta e questo avviene perché nei



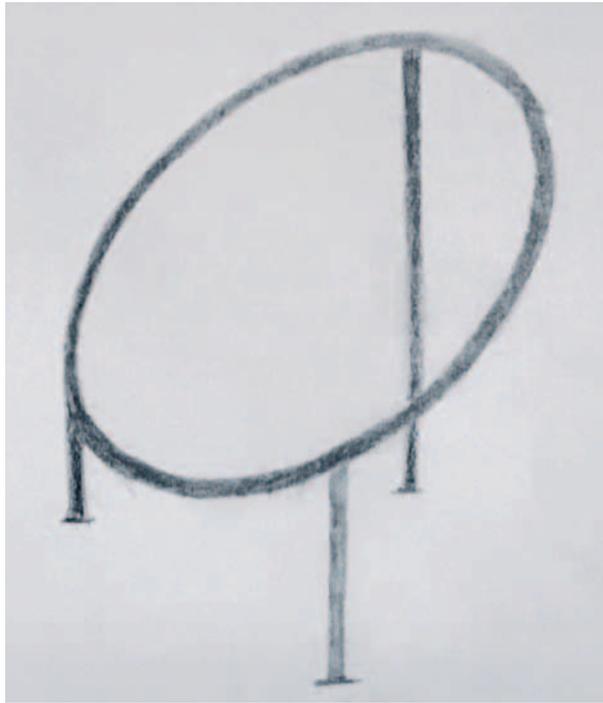


FIG. 2. Il disegno degli studenti per la costruzione del cerchio di Ipparco.

giorni degli equinozi il Sole è proiettato sull'equatore celeste che giace su un piano perpendicolare all'asse di rotazione terrestre.

L'astronomo Ipparco (11 sec. a.C.) ideò uno strumento che consentisse di tracciare la linea degli equinozi. In FIG. 2 il modello tracciato dagli studenti per realizzare il manufatto.

Costruire un cerchio di Ipparco non è stato complesso: è stato sufficiente riciclare una sagoma circolare alla quale sono stati connessi due sostegni.

L'operazione che ha richiesto più precisione è stata l'installazione del cerchio che deve essere orientato come l'equatore celeste. Dato che l'equatore celeste è la proiezione dell'equatore terrestre sulla volta del cielo, l'inclinazione del cerchio deve essere pari alla latitudine del luogo nel quale avvengono le misure.

L'altezza dei sostegni è stata regolata in modo da ottenere l'inclinazione voluta.

Per quantificare la latitudine è stata utilizzata la *app* "Science ToolBox" con la sua funzione GPS, determinando per Reggio Emilia  $44,70^\circ$ . Il cerchio è stato quindi installato con questa inclinazione, avendo la parte più elevata rivolta a sud.

### Il plinto di Tolomeo

Il plinto astronomico è uno strumento che consente di misurare l'altezza del Sole e di calcolare la latitudine del luogo nel quale viene utilizzato.

Come lo descrisse l'astronomo Tolomeo, vissuto in Egitto nel 11 secolo d.C., il plinto è costituito da un blocco di pietra squadrato, disposto con il lato lungo in direzione nord-sud.

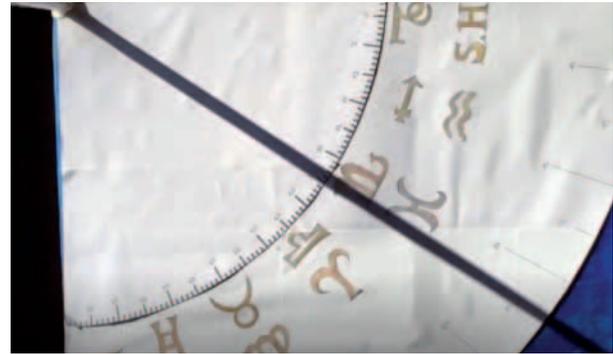


FIG. 3. Il plinto di Tolomeo: in alto, la faccia con i simboli dei segni zodiacali tratti da Ercole Lelli; in basso, la faccia con i disegni delle costellazioni zodiacali tratti da Hevelius.

Sugli spigoli superiori di ciascuna delle facce laterali è installata un'asta gnomonica. Le aste gnomoniche gettano, sulle scale graduate, un'ombra la cui inclinazione dipende dalla altezza del Sole.

Per la ricostruzione del plinto i ragazzi hanno utilizzato due scatole di cartone: una ha costituito la base e l'altra è stata fissata in verticale sulla prima. Per conferire stabilità la struttura è stata ricoperta di carta da giornale, imbevuta di colla vinilica. Uno strato di carta di riso ha reso la superficie più liscia e due strati di carta velina hanno reso colorato il manufatto.

Su ciascun lato della parte superiore della struttura è stato fissato il quadrante con la scala graduata. Al centro di ciascuna scala è stata fissata l'asta gnomonica che si diparte perpendicolarmente alla struttura.





Gli studenti hanno voluto decorare la struttura applicando sulle due facce disegni che riproducono, rispettivamente, i simboli dei segni zodiacali realizzati nel Settecento dall'artista e ceroplasta Ercole Lelli accanto alla linea meridiana del Museo della Specola di Bologna (FIG. 3a) e quelli tratti dalle illustrazioni delle opere secentesche dell'astronomo Hevelius (FIG. 3b). In FIG. 4 si vede il plinto ultimato.

Gli studenti hanno misurato l'inclinazione dell'ombra ( $\theta$ ) nell'ora del mezzogiorno locale in diversi giorni dell'anno. Con questo dato è possibile calcolare la latitudine ( $\lambda$ ) nel luogo in cui viene eseguita la misura con una semplice formula:

$$\lambda = 90^\circ - \theta - \delta$$

dove  $\delta$  è la declinazione del Sole (angolo che i raggi solari formano con il piano equatoriale terrestre). Il valore di  $\delta$  per il giorno specifico della misura è stato ricavato da tabelle apposite.

Per il giorno 22 settembre 2018 gli studenti hanno determinato:  $\theta = 45^\circ$ . La declinazione nei giorni degli equinozi è  $\delta = 0$ .

È stato quindi possibile ricavare:

$$\lambda = 90^\circ - 45^\circ - 0^\circ = 45,$$

compatibile con il valore  $44,70^\circ$ , misurato con il GPS in Reggio Emilia, a dimostrazione della correttezza delle procedure e dell'abilità degli studenti.

Ci piace ricordare, inoltre, che questi ultimi due strumenti – il cerchio di Ipparco (o armilla equinoziale) e il plinto di Tolomeo (o quadrante astronomico) – sono gli stessi che, nella seconda metà del Cinquecento, l'astronomo domenicano Egnazio Danti realizzò sulla facciata della chiesa di Santa Maria Novella a Firenze, dove sono tuttora ben riconoscibili.

### Materiali online realizzati

Gli studenti hanno anche realizzato filmati didattici sulla costruzione e sull'utilizzo degli strumenti qui descritti e di altri ancora, oltre ad alcune schede divulgative, disponibili sulla bacheca online "Laboratorio di Astronomia": [https://padlet.com/ferrari\\_fmaria/LaboAstroIESS](https://padlet.com/ferrari_fmaria/LaboAstroIESS) (FIG. 5).



FIG. 4. Il plinto di Tolomeo ultimato.

### Conclusioni

Questo progetto ha consentito agli studenti di realizzare un percorso attraverso il quale sviluppare diverse competenze: progettuali, pratiche e teoriche.

I concetti di orientamento e di latitudine appaiono a volte troppo banali a chi li deve proporre agli studenti e non viene tenuto in considerazione il fatto che queste idee rimangono astratte fino a quando non le si applica a qualche esperienza pratica.

Ritengo, quindi, che gli studenti siano stati agevolati nella comprensione teorica dei concetti proprio grazie allo svolgimento di misure ed applicazioni sperimentali.

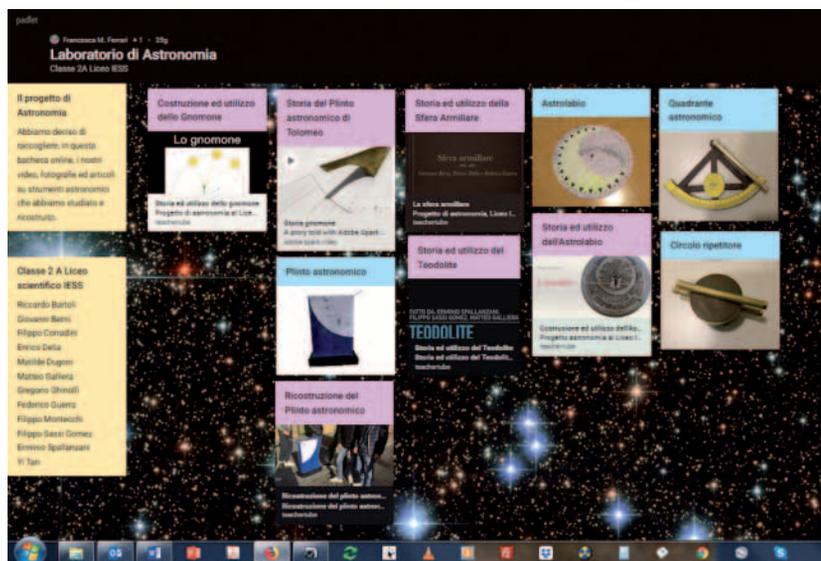


FIG. 5. La pagina Web del "Laboratorio di Astronomia".

**Francesca Ferrari** ha conseguito la laurea magistrale in Astrofisica e Cosmologia nel 2007, presso l'Università di Bologna, presentando una tesi sui Nuclei galattici attivi con il prof. Gabriele Giovannini. Attualmente insegna Fisica e Matematica presso il Liceo IESS di Reggio Emilia.





# Cent'anni fa\*

A cura di Donatella Randazzo, Ileana Chinnici

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

Elia Millosevich

(p. 99)

QUESTO volume di *Memorie* si chiude purtroppo con l'annuncio della morte di Elia Millosevich, intervenuta mentre Egli, rimasto unico superstito dell'antico Consiglio direttivo degli "Spettroscopisti", si accingeva ad assumere la direzione del nostro Periodico.

Millosevich era nato in Venezia il 5 Settembre 1848, e morì in Roma il 5 Dicembre 1919.

Chi scrive era amico dell'Estinto da presso che 40 anni, e lo ha visto all'opera da giovane e da vecchio. Ma l'opera stessa fu sempre giovanile. Suo carattere costante l'entusiasmo. In Lui erasi trasfusa la poesia patriottica della sua Venezia, ed i ricordi freschi del 1848 avevano imbevuta di idealità l'anima sua fin dalla fanciullezza. Se egli diventò astronomo, fu per vera e sincera vocazione. Nella scienza degli astri c'era qualche cosa che portava in alto il suo spirito, ed ineffabilmente lo seduceva, così da suggerirgli una professione che altri, in circostanze pari alle sue, non si sarebbe neanche sognato di abbracciare.

Per capire la vocazione bastava vederlo al canocchiale, e sentir le espressioni del vivo interessamento con cui assisteva allo svolgersi dei fenomeni celesti. Quando io lo conobbi, nel 1882, aveva da poco iniziata, al Collegio romano, l'osservazione sistematica dei pianetini. Il piacere che gli derivava da quello studio, gli traspariva dagli occhi, onde io giovinetto ebbi a pensare che la vita più lieta fosse quella dell'astronomo.

L'entusiasmo rivelatore della vocazione non era però nato allora, ma parecchi anni prima, quando Millosevich per i rovesci della fortuna paterna, s'era dovuto impiegare a Venezia in un ufficio postale. Nelle poche ore di libertà egli aveva avuto per le mani l'"Astronomia" del Santini, e vi aveva appresi gli elementi, tutto da sé, senza altro maestro. Un problema fissò più degli altri la sua attenzione: il calcolo delle parabole cometarie. Egli gustò nelle *approssimazioni successive* del metodo Olbersiano come una forma nuova di Bellezza, e questa ammirazione estetica fu potente al segno di far di Lui fin da quel giorno un *appassionato* calcolatore di orbite. I suoi primi lavori in questo campo, non disuniti da altri esercizi numerici sopra eclissi e sopra i passaggi di



PROF. ELIA MILLOSEVICH

Venere del 1874 e del 1882, furono apprezzati dagli astronomi dello Studio di Padova, i quali intuirono subito il servizio che avrebbero reso alla scienza italiana, iniziando il Millosevich nella carriera astronomica. In seguito ad esame sostenuto avanti ad autorità come lo stesso Santini, ed il Lorenzoni, Millosevich fu nominato (1872) professore di Astronomia nautica nel R. Istituto di Marina mercantile di Venezia, ove non solo poté attendere ai suoi calcoli con molto maggior libertà di prima, ma anche ebbe il modo di addestrarsi nell'impiego dei piccoli strumenti e darsi all'osservazione.

Ma all'infuori di distanze lunari e di misure di tempo e di latitudine, altro non poteva farsi colà. In quel torno di tempo il Tacchini, venuto a Roma a fondare l'Istituto centrale di Meteorologia, in connessione con la Specola del Collegio romano, stata già del P. Secchi, sentì il bisogno, riserbando per sé le osservazioni fisiche del Sole, di aggiungersi un altro astronomo per la restante parte del programma

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





di osservazioni della Specola. Egli possedeva indubbiamente il talento di *Organizzatore* e l'arte del *sapersi circondare*. Ne die' prova in quella occasione, chiamando il Millosevich al Collegio Romano (1879).

Qui l'attività del Millosevich dovette per parecchi anni dividersi fra l'Astronomia e la Meteorologia, non senza suo rammarico, l'interesse suo principale essendo per le leggi matematiche dei movimenti celesti, anziché per le tuttor empiriche regole della previsione del tempo. Ciò non vuol dir peraltro che egli non attendesse con grande zelo anche a quella parte di lavoro meteorologico che giustamente il Direttore stimò doversi affidare a Lui e non ad altri. Intendiamo lo Studio sulla "distribuzione della pioggia in Italia". Millosevich ci si mise con tutto il suo ardore, e seppe far opera così pregevole, da meritare elogi della prima autorità meteorologica di quei tempi, il Prof. Hann di Vienna.

Quando poi egli poté concentrarsi tutto nell'Astronomia, attorno al 1885, e più quando, per il collocamento a riposto del Tacchini, rimase a Lui la direzione della Specola, allora veramente si rivelarono le sue grandi doti di osservatore e di calcolatore.

Il suo gusto, formatosi, come abbiám detto, nella prima giovinezza, era specialmente per il calcolo numerico delle orbite. Trovò un campo magnifico di esercitazioni nello studio teorico e pratico dei piccoli pianeti fra Marte e Giove. Questi *asteroidi* egli osservava la notte al refrattore di 25 e poi di 40 centimetri, e calcolava il giorno, con tanta assiduità che si formò in pochi anni in tal materia una grande competenza, da tutti riconosciutagli. Il suo entusiasmo, che mai si smentiva, gli faceva apparire questo studio molto più importante di quel che lo ritenessero allora gli astronomi in generale. Egli intuiva genialmente che fra le molte orbite *comuni*, per le quali si può, se si vuole, lamentare che troppo tempo vada *perduto* ad osservarle e calcolarle, ne sarebbero venute certamente fuori, col tempo, delle *straordinarie*, capaci di interessar in sommo grado gli astronomi, sia per la vicinanza del pianeta in questione alla Terra, sia per la vicinanza all'orbita di Giove, sia infine per la eventualmente forte eccentricità, che avrebbe stabilito un nesso fra i pianeti, e le comete periodiche. Per ciò applaudiva egli al Palisa che s'indugiava nello scoprir pianeti, senza paura di dover passare per un *dilettante*, e più ancora applaudì al Wolf quanto questi ebbe applicata la fotografia alla ricerca sistematica degli asteroidi. Egli stesso passò molte notti nello estenuante lavoro del confrontare il cielo con le carte di Peter, e non se ne ritrasse prima di avere scoperti, a un mese di distanza l'uno dall'altro, i due pianeti, da lui chiamati **Unitas** e **Iosephina** (1891).

Questi due pianeti egli osservò poi in tutti i loro ritorni all'opposizione, e ne calcolò e perfezionò successivamente le orbite, e non cessò di occuparsene se non alla vigilia della morte.

Ma dove l'opera sua culminò, fu nei calcoli di **Eros**, uno di quei pianeti di orbita *straordinaria* che, in conferma delle sue previsioni, cominciarono a

scoprirsì attorno al 1900. È noto che nella stessa notte il pianeta **Eros** restò impresso su due lastre, una a Nizza, l'altra a Berlino. Però l'osservatore nizzardo non sviluppò subito la sua lastra, onde l'onore della scoperta rimase tutto all'astronomo di Berlino (Witt). Come il Millosevich si accorse della eccezionalità del movimento del pianeta, tosto si mise all'opera di calcolarne l'orbita, ed il lavoro gli si venne di giorno in giorno moltiplicando, per il fatto che da tutte, si può dire, le Specole del mondo, arrivavano nuove posizioni del pianeta, delle quali bisognava tener conto. Circa mille osservazioni ebbe egli così da discutere, e l'orbita che gliene risultò per Eros, fu assai precisa fin da quel primissimo anno (1899). Tanto precisa che l'anno appresso, essendo venuto Eros vicinissimo alla Terra, ed avendo voluto gli astronomi utilizzarlo per una nuova misurazione della parallasse solare, non poterono prender le mosse da migliori elementi del pianeta che non fossero quelli calcolati da Millosevich. I risultati di questi memorabili calcoli di Eros furono esposti dal Millosevich in un'opera cui giustamente la R. Accademia dei Lincei assegnò il premio reale per l'Astronomia nel 1904, e più tardi (nel 1911) l'Accademia delle Scienze di Parigi un terzo del premio Pontécoulant [si tratta del premio dell'Académie des Sciences di Parigi, intitolato all'astronomo Philippe Gustave le Doulcet, comte de Pontécoulant (1796-1874); NdR].

Oltre **Eros** la fotografia ha segnalato parecchi altri pianeti *straordinari*. Millosevich era lieto sentirne accumular le scoperte, poiché egli si confermava sempre più in mente l'antica sua idea dell'*importanza dei pianetini*. E non mancava mai al telescopio, a farne le prime posizioni, o a ritrovarli in base a calcoli propri o di altri, quando l'astro non era soverchiamente debole, così da trascendere la potenza del telescopio del Collegio Romano.

Faceva ciò sempre con passione, anche in questi suoi ultimi anni, quando sarebbe stato prudente l'astenersi dal lavoro notturno al cannocchiale. E la sua attività attorno agli asteroidi prometteva anzi di anche maggiormente intensificarsi, dopo che, osservando **Interamnia**, si era accorto di fluttuazioni di luce, analoghe a quelle mostrate da **Eros** nel 1900. La *variabilità dei pianeti* cominciava quindi ad occuparlo, e l'Osservatorio del C.R. avendo acquistato in questi ultimi tempi un fotometro di Zöllner, è da pensare che il Millosevich non avrebbe saputo trattenersi dal prender parte con i suoi colleghi a questa nuova specie di ricerche fotometriche.

Non sentiva egli, del resto, gli acciacchi dell'età, neanche dopo la grande malattia che lo aveva travagliato e fin tratto all'orlo della tomba nell'autunno del 1918. Se qualche piccola sofferenza gli era rimasta, valeva a dissimulargliela quel fondo naturale di allegrezza operosa che gli abbelliva l'anima, e gli faceva apparir il lavoro come rimedio a tutti i mali.

[...]

Ma l'opera astronomica del Millosevich non sarebbe esaurientemente commemorata, se ci limitassimo alle sue innumerevoli osservazioni di pianete





ti, ai suoi calcoli d'orbite, ai suoi Cataloghi stellari. In altri apprezzati lavori egli ha mostrato di saper mettere l'Astronomia al servizio di altre scienze che non gli stavano meno di essa a cuore, ed erano la Cronologia, la Calendariografia, la Geografia. Era rimasto colpito di ammirazione per il **Canone delle eclissi** di Oppolzer, e perché l'ammirazione non restasse sterile, volle rendersi conto del grado di attendibilità della iconografia annessa a detto Canone, della quale, più che dei dati numerici, era presumibile che gli storici si sarebbero serviti. Calcolò pertanto due eclissi remotissime, quella detta di **Archiloco** (638 a.C.) e quella di **Benedetto IX** (1033 d.C.) e paragonò i suoi risultati con l'Iconografia.

[...]

Un altro lavoro utile alla Cronologia fu quello "sull'anno che serve di origine alle Olimpiadi", che da Petavio [i.e. Denis Pétau, 1583-1652] in poi, sulla base di due eclissi di sole ed uno di luna, ricordati da Tucidide, era stato fissato al 776 a.C. Avendo l'astronomo Stockwell creduto di dover anticipar di un anno tal'epoca in considerazione dell'eclisse di Nicea (24 nov. del 29 d.C.), Millosevich ricalcolò tutte le eclissi in questione e concluse non esservi ragione sufficiente per riformare il numero di Petavio.

Un terzo studio molto apprezzato fra i cultori di studi biblici è quello sul sorgere eliaco di Sirio, apparso nel 1917.

[...]

Da circa 40 anni Millosevich pubblicava il Calendario del Collegio romano, piccoli volumetti, densi di notizie preziose su tutti i cosiddetti articoli del Calendario, nonché sulle concordanze fra il computo gregoriano ed i computi giuliano, maomettano, giudaico, abissino e copto. Nella 13<sup>a</sup> pag. di ogni volumetto viene opportunamente rammentato il numero d'ordine dell'anno nel secolo, e si dice, per esempio, nel Calendario di quest'anno, che l'anno 1920 è, *in base alle convenzioni storiche*, il 20° del xx secolo. Ciò faceva il Millosevich per prevenire le oziose discussioni, rinnovantisi ad ogni principio di secolo, fra quelli che lo mettono all'anno *uno* e quegli altri che lo vogliono nell'anno *zero*. Nel 1900 erano stati parecchi giornalisti ad *intervistarlo* su questo tema, e n'era rimasto parecchio seccato.

A proposito di giornalisti possiamo aggiungere che un'altra serie di interviste, a cui il Millosevich dovè sobbarcarsi, fu in occasione del ritorno della cometa di **Halley** nel 1910. I giornali quotidiani crearono allora attorno al suo nome come un'aureola di

popolarità, che egli era ben lontano dal vagheggiare, dal momento che la vedeva ambita, e sovente con successo, da ignoranti e ciarlatani. Il pericolo, anzi, che il gran pubblico si abituasse ai suoi responsi, e lo distraesse dai suoi lavori, gli si rappresentava così vivace allo spirito, da indurlo a farsi burbero con gli intervistanti, mentre suo vero carattere era una grande ed espansiva cordialità.

Ciò non vuol dire, per altro, che egli rifuggisse dalla pubblicità al segno da non vedere quanto utile rechi alla scienza il farsene banditori per entro un pubblico scelto e capace di apprezzarla. Fu anzi notevole l'opera sua di conferenziere. Con profitto si leggono [...] il discorso **dalla Torre di Babel al Laboratorio di Groninga** letto ai Lincei, in presenza dei Reali, nell'adunanza solenne del 2 giugno 1912, ed il discorso su **Urania e Clio**, letto in un Congresso della Società italiana per il progresso delle Scienze.

[...]

All'attività scientifica propriamente detta, congiunse il Millosevich una grande attività pratica, sempre in servizio della scienza, nelle diverse cariche che l'alta stima e fiducia dei Colleghi gli ebbe affidate. Fu segretario operosissimo per la classe delle scienze nella R. Accademia dei Lincei, Consigliere di Presidenza nella R. Commissione geodetica e nella nostra Società degli Spettroscopisti, Vice-Presidente nella Società geografica; appartenne inoltre alla Commissione superiore metrica, e fu membro ad amministratore della Società dei *Quaranta*.

Quest'uomo, animato da tanto e così sincero amore per la scienza degli astri, non poteva mancare di un cuore eccellente. Nell'alta posizione a cui i suoi meriti lo avevano sollevato, egli si trovò in grado di rendersi utile ai giovani che si avviavano per la carriera astronomica. Ed utile e benefica e bene spesa fu in effetti la sua opera in loro riguardo, di rado essendosi egli ingannato circa le loro attitudini. Talora anche beneficò con soverchia indulgenza, e ne raccolse volgare ingratitudine. Ma di questa non mostrò di rammaricarsi gran fatto. L'astronomia lo rendeva ottimista, e più che i difetti degli uomini, si compiaceva scoprirne ed esaltarne i pregi.

Gli è che altamente pregevole era il suo animo, e lascia di sé desiderio imperituro. Chi lo ha pianto non sono solo i suoi ottimi tre figliuoli, e la sua affettuosa consorte, ma tutti i buoni che ebbero la fortuna di avvicinarlo.

V. CERULLI

Roma, Dicembre 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 Mandrino<sup>1</sup>, Mauro Gargano<sup>2</sup>, Antonella Gasperini<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INAF · Osservatorio Astronomico di Brera

<sup>2</sup> INAF · Osservatorio Astronomico di Capodimonte

<sup>3</sup> INAF · Osservatorio Astrofisico di Arcetri

## Quando una foto ci fa volare

Roberto Della Ceca

INAF · Osservatorio Astronomico di Brera

**O**GNI tanto mi capita di curiosare tra il materiale in riordino del nostro archivio storico, scoprendo sempre qualcosa di prezioso e particolare.

Qualche tempo fa, proprio dopo avere tenuto alcuni seminari pubblici sullo sviluppo dell'astrofisica e planetologia in Italia, sono rimasto colpito da una bellissima fotografia, che ha solleticato il mio interesse e che, insieme alla domanda che mi è stata rivolta da alcuni amici («Ma cosa succedeva in campo spaziale in quegli anni?») mi ha offerto lo spunto per questo numero di *Cieli d'inchiostro*.

La foto (FIG. 1) rappresenta una vista panoramica a volo d'uccello ed è stata presa dal dirigibile italiano M10. Essa riporta la seguente didascalia «Viaggio Pontedera Ferrara M 10. 29 dicembre 1916. prora dirigibile» e la dedica «Al carissimo prof. Bianchi» con la firma «Luigi», con cognome illeggibile. La collocazione della fotografia nel *Fondo Emilio Bianchi* dell'Archivio storico ci rimanda al fatto che, prima di essere direttore dell'Osservatorio di Brera (dal 1921 al 1941, periodo nel quale fondò anche la sede di Merate), Bianchi fu impegnato soprattutto presso l'Istituto centrale aeronautico a Roma, dalla fine del 1913 alla metà del 1919. Egli fu uno dei primi astronomi "classici" a dimostrare un interesse profondo verso il settore aeronautico, tenendo corsi sul problema della determinazione del punto da bordo di aeronavi e relativi esperimenti in volo, i primi fatti in Italia, partecipando personalmente al montaggio e collaudo delle nuove aeronavi e svolgendo corsi di navigazione aerea e di aeronautica (statica e dinamica dei dirigibili) per gli allievi piloti dell'esercito e della marina. Le sue lezioni furono pubblicate, e i due volumi sulla statica e sulla dinamica dei dirigi-

\* 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.

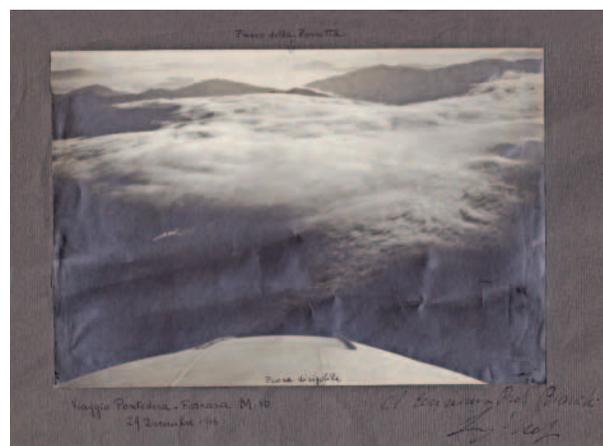


FIG. 1. «Viaggio Pontedera Ferrara M 10. 29 dicembre 1916. prora dirigibile»; si riconosce in primissimo piano la prua del dirigibile [Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Brera, *Fondo Emilio Bianchi*, cart. 783, fasc. 14]

bili furono tradotti in inglese per l'istruzione dei primi piloti nordamericani.<sup>1</sup>

Bene: cosa succedeva in quegli anni relativamente all'ambito spaziale? Ovviamente, di concreto, molto poco o quasi nulla.

Si era appena agli albori del volo umano, con i fratelli Wilbur e Orville Wright che erano riusciti a fare alzare in volo una "macchina motorizzata" con pilota a bordo in modo "duraturo e controllato" soltanto 13 anni prima.

A quei tempi (tra il 1900 ed il 1920), il problema del volo spaziale, cioè il volo molto al di sopra dell'atmosfera terrestre, diciamo al di sopra di qualche decina di chilometri, era giusto oggetto di interesse e di curiosità per pochissimi "visionari" quali il peruviano Pedro Eleodoro Paulet Mostajo (1874-1945), il russo Konstantin E. Tziolkovsky (1857-1935), l'americano Robert Goddard (1882-1945) ed il tedesco Herman

<sup>1</sup> Si veda la voce "Emilio Bianchi" curata da Enzo Pozzato sul *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol. 10, 1968.





FIG. 2. Giulio Cesare Costanzi (1875-1965). [da: *Grande Enciclopedia Aeronautica*, 1936]

Oberth (1894-1989), considerati universalmente i padri dell'astronautica moderna. Tra questi "visionari" meriterebbe tuttavia una menzione anche l'italiano Giulio Cesare Costanzi (1875-1965; FIG. 2).

Giulio Costanzi fu un ingegnere civile italiano e un ufficiale di Artiglieria e Genio nell'Esercito. Nella sua lunga e variegata carriera ricoprì il ruolo di comandante di squadriglia aerea durante la Grande Guerra, di direttore del laboratorio di aerodinamica presso lo Stabilimento di costruzioni aeronautiche di Roma, di rappresentante del Comando generale dell'aeronautica italiana presso il Supremo Consiglio di Guerra a Versailles, di capo della Direzione sperimentale dell'aviazione italiana, di consigliere di Stato e di presidente del Registro aeronautico italiano durante gli anni della Seconda guerra mondiale. Fu congedato con il grado di generale.

Personaggio dagli interessi multiformi, Costanzi pubblicò articoli e monografie in diversi campi di indagine che vanno dalla geodesia alle costruzioni aeronautiche – tra l'altro progettò l'aereo CC 20 insieme ad un altro grande pioniere italiano nel campo dell'aeronautica, l'ingegnere Gaetano Arturo Crocco (1877-1968) – all'aerodinamica e alla politica economica.

In campo "spaziale", Costanzi pubblicò nel 1914, sul periodico «Aer-Rivista mensile di aviazione e aeronautica» (n. 5, 1914), un articolo dal titolo *Per uscire dal Pianeta*, inquadrando in termini scientifici il problema di "uscire nello spazio". Questo articolo, che può essere considerato il primo contributo italiano allo studio del volo spaziale, è molto interessante, semplice e ben scritto, ma soprattutto si rimane stupefatti dal grado di "visionarietà" del Costanzi stesso!

Egli inizia chiedendosi se sia il caso di considerare di abbandonare la Terra al fine di fondare nuove colonie nello spazio; passa quindi ad esaminare come uscire dall'attrazione terrestre e, soprattutto, come muoversi nello spazio basandosi sul principio di azione e reazione. Continuando, Costanzi formula un'ipotesi di viaggio Terra-Luna e, con tanto di trattazione quantitativa e dettagliata, dimostra che l'energia necessaria per sfuggire dalla gravità terrestre è così grande da avere bisogno di una fonte adeguata: a tal fine propone l'energia nucleare associata al radio. Il viaggio Terra-Luna ipotizzato da Costanzi in tre diverse fasi sarebbe dovuto durare in totale 48 ore e 58 minuti, da confrontare con le 51 ore e 49 minuti realmente occorsi all'Apollo 11 nel luglio del 1969: non male come stima per la durata del viaggio. L'autore calcola anche la durata di un possibile viaggio verso Venere (47 giorni e 20 ore) e su Marte (90 giorni e 15 ore).

Nella parte finale dell'articolo, infine, il Costanzi discute alcuni possibili rischi e sensazioni che un eventuale viaggiatore spaziale si troverebbe a dover affrontare: menziona il problema della temperatura, delle radiazioni dallo spazio e si concentra sugli effetti causati dalla forte accelerazione e dalla successiva assenza di peso, che darebbe all'astronauta l'impressione di cadere insieme al suo veicolo. Per ovviare al problema legato alla mancanza di peso, propone un'accelerazione costante come "surrogato" alla forza di gravità.

La conclusione del Costanzi – «le difficoltà che ci impediscono di realizzare quest'ultimo sogno [il volo spaziale, N.d.C.] non sono al di là della ragione umana, ma dipendono solo dalla possibilità di realizzare in pratica i mezzi necessari» – è chiaramente un "inno" alla capacità intellettuale dell'essere umano.

È d'obbligo menzionare un altro grande militare italiano legato al dirigibile italiano M10 che ha ispirato questo mio scritto, ma prima vorrei spendere due parole sul dirigibile stesso.

L'M10<sup>2</sup> era un dirigibile da bombardamento di tipo MA (M Alta Quota; FIG. 3) destinato all'Esercito. Fu gonfiato nel luglio del 1916, venne trasferito dal cantiere di montaggio di Pontedera a Casarsa, in zona di guerra, il 9 (o 10) gennaio 1917 ed ebbe il battesimo del fuoco il 26 febbraio di quell'anno, con un'incursione sul campo d'aviazione di Prosecco, da cui rientrò con un motore fuori uso e un vistoso cedimento della struttura dell'irrigidimento di prua. I danni lo resero inutilizzabile fino al 16 maggio quando, nonostante il maltempo, uscì dall'hangar per lanciare il suo carico di esplosivo sui baracamenti di Vogersko e Ovcia Draga.

<sup>2</sup> Vorrei segnalare due siti web interessanti per approfondire la storia dei dirigibili: [www.avia-it.com/act/cera\\_una\\_volta/regia\\_aeronautica/CUV\\_ra\\_agg\\_genn\\_07/11\\_La\\_storia\\_della\\_RA\\_raccon\\_da\\_Ali/3\\_Ali\\_nuove\\_28\\_marzo\\_1960/Ali\\_nuove\\_28\\_marzo\\_1960.pdf](http://www.avia-it.com/act/cera_una_volta/regia_aeronautica/CUV_ra_agg_genn_07/11_La_storia_della_RA_raccon_da_Ali/3_Ali_nuove_28_marzo_1960/Ali_nuove_28_marzo_1960.pdf), e [www.cesmamil.org/wordpress/wp-content/uploads/2017/05/10-Gen.-Isp.-B.-Di-Martino-\\_-Relazione.pdf](http://www.cesmamil.org/wordpress/wp-content/uploads/2017/05/10-Gen.-Isp.-B.-Di-Martino-_-Relazione.pdf)





FIG. 3. La postazione difensiva dorsale prevista sui dirigibili tipo M Alta Quota (MA): è molto probabile che la foto del documento qui discusso sia stata scattata da una postazione come questa. [da: B. DI MARTINO, *I più leggeri dell'aria: dirigibili e palloni*, 2012]

Dopo 11 azioni militari di bombardamento, il 22 settembre 1917 l'M10 venne colpito a poppa dalla difesa contraerea nemica, ma riuscì a ripassare le linee ed atterrò non lontano da Latisana, dove si decise di sgonfiarlo e smontarlo sul posto. Il dirigibile venne portato in salvo grazie all'azione eroica del tenente Giuseppe Castruccio (1887-1985; FIG. 4), che si portò sulla prua dell'aeronave per tentare di raddrizzarne l'asse con il suo peso e che, per questa azione, fu premiato con la medaglia d'oro al valor militare, onorificenza rara per una persona vivente e l'unica (dalle fonti in mio possesso) concessa a un dirigibilista. Giuseppe Castruccio, oltre che per il salvataggio eroico del dirigibile M10, è noto per essere stato un calciatore (giocatore del Genoa) e un diplomatico.

E non è solo per i suoi meriti militari, seppure importanti e lodevoli, che vorrei ricordarlo, ma per i suoi meriti civili, ben più importanti. Nel 1943, mentre ricopriva la carica di console italiano a Salonico, falsificando, a suo rischio, diversi documenti, riuscì ad evitare la deportazione di circa 450 ebrei nei campi di sterminio. È terribile pensare che in quell'anno partirono da Salonico per Auschwitz 19 convogli, 48.286 persone: oltre 37.000 vennero subito eliminate con il gas. Tra coloro che furono assegnati al lavoro, se ne salvò circa un migliaio.

Oggi, la rotonda di fronte all'aeroporto di Genova (sua città natale) e un albero nel Giardino dei Giusti di Salonico sono intitolati a Castruccio.

Chissà se questi due grandi italiani, Giulio Cesare Costanzi e Giuseppe Castruccio, si siano mai conosciuti in vita. Si ritrovano insieme qui, a cento anni

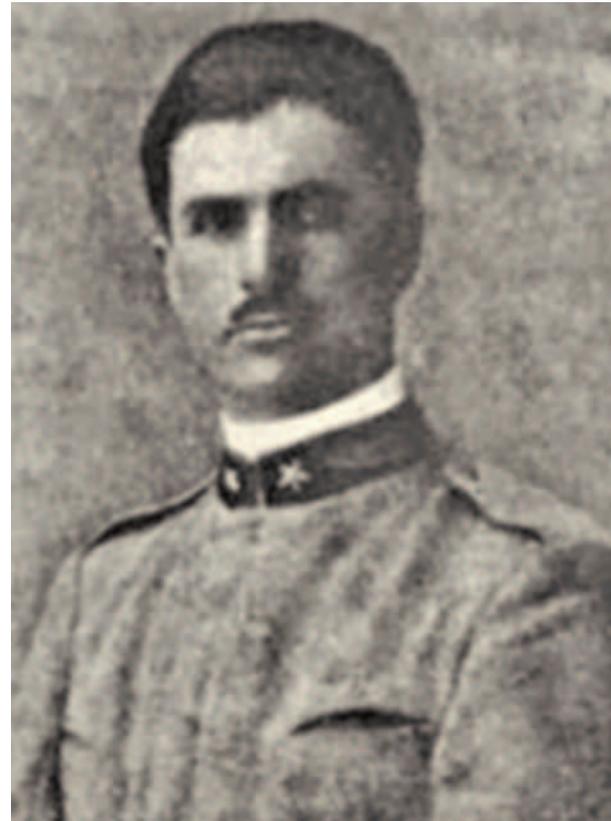


FIG. 4. Giuseppe Castruccio (1887-1985). [da: Gariwo, *Gardens of the Righteous Worldwide*, <https://it.gariwo.net/>]

di distanza, magari sconosciuti dai più. Mi sembrava doveroso ricordarli parlando di queste vicende "spaziali" italiane.

#### IL DOCUMENTO (FIG. 1)

Fotografia intitolata «Viaggio Pontedera Ferrara M 10. 29 dicembre 1916. prora dirigibile», Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Brera, *Fondo Emilio Bianchi*, cart. 783, fasc. 14.

**Roberto Della Ceca** ha conseguito il Dottorato di ricerca in Astronomia e astrofisica presso l'Università di Bologna nel 1993 e dal 1996 ha una posizione permanente presso l'Osservatorio Astronomico di Brera (Milano). Dirigente di Ricerca, attualmente ricopre gli incarichi di Coordinatore nazionale delle attività spaziali dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) ed *advisor* INAF presso lo *Science Program Committee* dell'Agenzia Spaziale Europea. Si interessa di astrofisica delle alte energie, principalmente con studi legati ai buchi neri super-massivi presenti nei centri delle galassie. È autore di circa 140 pubblicazioni su riviste internazionali con *referee* e appassionato collezionista di materiale filatelico e di giornali e riviste a tema spaziale.

**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)

## L'età del Mondo: dalla Bibbia alle reazioni nucleari

Annibale D'Ercole

**G**LI studiosi cristiani valutavano l'età della Terra consultando le cronologie delle Sacre Scritture che elencavano le nascite e i decessi. La datazione più famosa è quella ottenuta dall'arcivescovo anglicano irlandese James Ussher (1581-1656) il quale stabilì che Dio aveva creato il mondo a mezzogiorno di domenica 23 ottobre del 4004 a.C. Date simili furono ottenute anche da altri autori, compresi Giovanni Keplero (1571-1630) e Isaac Newton (1642-1727). In questo quadro i fossili erano interpretati come una sorta di "scherzi della natura", tentativi non riusciti di plasmare esseri viventi. La presenza di fossili marini sui monti era attribuita al Diluvio, anche se non mancarono antichi pensatori egizi e greci – e più recenti, come Leonardo (1452-1519) – i quali dedussero correttamente che i siti dove tali fossili venivano rinvenuti un tempo si trovavano al di sotto del livello del mare.

L'avvento del microscopio nel diciassettesimo secolo portò alla corretta interpretazione dei fossili come organismi pietrificati, e indusse gli scienziati a ritenere che fossero avvenuti cambiamenti geologici su scale di tempi ben superiori ai circa 6.000 anni dettati dalla Bibbia. All'inizio del diciannovesimo secolo i geologi avevano imparato a capire la sequenza degli eventi che avevano plasmato il paesaggio studiando sia la velocità di accumulo dei vari strati di roccia sovrapposti uno sull'altro, sia il loro tasso di erosione dovuto a fattori atmosferici. Ne dedussero che la Terra era molto più vecchia dell'intera storia umana. Anche la teoria della selezione naturale di Charles Darwin (1809-1882) richiedeva scale

di tempo lunghe per permettere alle specie di evolvere, ed egli cercò di sostenere quest'idea basandosi sui metodi dei geologi. Darwin calcolò il tasso di erosione nel Weald, una regione dell'Inghilterra meridionale, dove le intemperie avevano scavato una struttura rocciosa a cupola, scoprendo gli strati sotto la superficie. Ne concluse che la Terra aveva almeno 300 milioni d'anni.

Naturalmente, un simile intervallo temporale doveva valere anche per il Sole, senza il quale nessun fenomeno vitale può svilupparsi sulla Terra. Il Sole è un'immensa sfera di gas incandescente, di massa  $M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$  g, che emette radiazione con luminosità  $L_{\odot} = 4 \times 10^{33}$  erg/s; per verificare se possa effettivamente "rimanere acceso" così a lungo mantenendo la sua attuale luminosità, è necessario conoscere il meccanismo che ne alimenta lo splendore, ma nel XIX secolo esso era sconosciuto. Nel 1854, il fisico e fisiologo tedesco Hermann von Helmholtz (1821-1894) suggerì che la radiazione proveniente dal Sole derivi da una continua contrazione dell'astro sotto l'azione della sua stessa gravità. In effetti, una stella tende a un equilibrio in cui la pressione termica che indurrebbe a farla espandere è contrastata dalla gravità che tende invece a comprimerla. Il raffreddamento causato dall'irraggiamento provoca una perdita di energia termica e una conseguente diminuzione di pressione; la stella tenta di compensare questo sbilanciamento contraendosi e facendo così rialzare la pressione e la temperatura,<sup>1</sup> e alimentando perciò la luminosità (FIG. 1).

Lord Kelvin (al secolo William Thomson, 1824-1907) perfezionò lo schema proposto da Helmholtz e calcolò che il tempo scala perché il Sole irradia tutta la sua riserva di energia gravitazionale è di circa 20 milioni di anni; tale tempo rappresentava dunque l'età del Sole (e della Terra). Pur costituendo certamente un abisso rispetto alla datazione bibli-

\* 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>.

<sup>1</sup> È noto, infatti, che un gas sottoposto a compressione si scalda, com'è facile verificare quando, gonfiando le ruote della bicicletta, riscontriamo un aumento della temperatura dell'aria compressa (e della pompa stessa) perché parte della nostra energia muscolare è andata a riscaldare il gas.



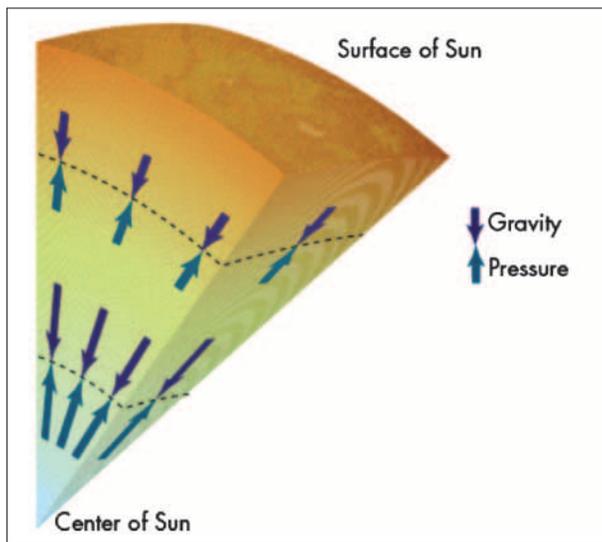


FIG. 1. Equilibrio idrostatico del Sole. Ad ogni distanza dal centro la pressione termica si contrappone alla gravità e la stella nel suo complesso rimane in equilibrio, senza espandersi e senza contrarsi.

ca, questo intervallo temporale rimaneva ancora troppo breve rispetto alle richieste di paleontologi e naturalisti.

L'affossamento definitivo del meccanismo di Kelvin-Helmholtz venne da parte dell'astronomo inglese Arthur Eddington (1882-1944) sulla base delle sue conoscenze delle stelle Cefeidi. Queste rappresentano una famiglia di stelle la cui luminosità varia con un periodo molto preciso, dell'ordine di 1-100 giorni: maggiore è la luminosità della stella, maggiore è il suo periodo (si vedano le "Spigolature" del n. 4 del 2010); la variazione è dovuta ad una pulsazione della stella (oscillazione del raggio rispetto ad un valore medio). Eddington dimostrò che il periodo  $\Pi$  è legato alla densità media  $\rho$  tramite la relazione  $\Pi \propto \rho^{-0.5}$ . Se, per il meccanismo di Kelvin-Helmholtz, la stella si contraesse al punto da aumentare apprezzabilmente la propria densità media, il suo periodo di oscillazione dovrebbe diminuire. In particolare,  $\delta$  Cephei (la stella variabile più studiata ai tempi di Eddington), data la sua luminosità (e la contrazione necessaria per sostenerla), avrebbe dovuto ridurre il proprio periodo di pulsazione in maniera misurabile nei vari decenni durante i quali era stata costantemente monitorata. Il periodo invece risulta costante, a dimostrazione che ci deve essere "qualcos'altro" ad alimentare la luminosità stellare.

Questo "qualcos'altro" venne suggerito dallo stesso Eddington, sempre nel 1920. In quell'anno, il fisico e premio Nobel britannico Francis William Aston realizzò accurate misure della massa di vari atomi, tra cui idrogeno ed elio; scoprì così che un

<sup>2</sup> Senza alcuna pretesa di rigore, possiamo giustificare questa relazione tramite un'analogia con il più classico dei fenomeni periodici, ossia il pendolo. Come riportato in ogni manuale di fisica, il periodo di oscillazione del pendolo è  $\Pi = 2\pi (g/l)^{-1/2}$ , dove  $g$  è l'accelerazione di gravità e  $l$  la lunghezza del pendolo. Se ad oscillare è una stella, possiamo porre  $l \sim R$  e  $g \sim GM/R^2$ , dove  $G$  è la costante di gravità; otteniamo pertanto  $\Pi \propto (GM/R^3)^{-1/2} \propto \rho^{-1/2}$ .

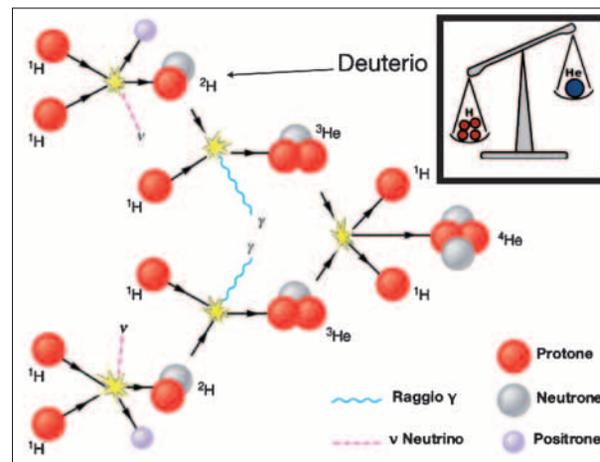


FIG. 2. Le reazioni nel ciclo protone-protone. Nella prima reazione due protoni si uniscono creando un nucleo di deuterio ( $^2\text{H}$ ), e rilasciando un neutrino e un positrone, cioè un elettrone elettricamente positivo (nell'angolo in alto e in basso a sinistra). Nella seconda reazione un nucleo di deuterio ed un protone si uniscono per creare un nucleo dell'isotopo 3 dell'elio ( $^3\text{He}$ ), emettendo un fotone  $\gamma$  (in alto e in basso a sinistra). Nella terza reazione due nuclei  $^3\text{He}$  danno luogo all'isotopo 4 di elio ( $^4\text{He}$ ) più due protoni che si rendono disponibili per un nuovo ciclo. Il riquadro in alto a destra evidenzia la differenza in massa tra 4 nucleoni (protoni e neutroni) liberi e il nucleo di elio. Quest'ultimo ha una massa ridotta dello 0,7%; la massa mancante  $\Delta m = 0,007(4m)$ , dove  $m$  è la massa di un nucleone, si è trasformata in energia secondo la nota formula di Einstein  $E = \Delta mc^2$ , dove  $c$  è la velocità della luce.

nucleo di elio (composto da due protoni e due neutroni) ha una massa inferiore a quella di quattro protoni considerati separatamente (neutroni e protoni hanno sostanzialmente la stessa massa). L'importanza di questo risultato fu immediatamente compresa da Eddington che intuì che tale differenza era dovuta al fatto che, nel formare elio, parte della massa  $m$  dei neutroni e dei protoni si trasforma in energia secondo la celebre formula  $E = mc^2$  (dove  $c = 3 \times 10^{10}$  cm/s è la velocità della luce) ottenuta da Einstein nel 1905. L'intuizione di Eddington risulta particolarmente brillante (si tenga conto che il neutrone è stato scoperto solo nel 1932), ma si dovette aspettare la fine degli anni Trenta per comprendere i dettagli della fusione nucleare che si realizza al centro delle stelle, grazie al fisico tedesco naturalizzato statunitense Hans Bethe (1906-2005) – la massima autorità di allora nel campo della fisica nucleare – che per questi suoi studi ricevette il premio Nobel nel 1967.

La fusione nucleare si realizza quando dei nuclei atomici si incontrano dando luogo a nuclei di elementi diversi (si vedano le "Spigolature" n. 2 del 2006) e rilasciando particelle elementari e fotoni; ad esempio, tramite una serie di passaggi che costituiscono la cosiddetta catena p-p (protone-protone), nuclei di idrogeno (ossia, semplici protoni) danno luogo alla costituzione di nuclei di elio, composti da due protoni e due neutroni (FIG. 2). La fusione nucleare in un gas avviene quando questo gas è allo stato di *plasma*, ossia quando possiede un'alta temperatura, e i suoi atomi sono completamente ioniz-





zati. La necessità di alte temperature è dovuta al fatto che, per incontrarsi, due nuclei atomici devono superare la cosiddetta “barriera coulombiana”, ossia la repulsione elettrica originata dalla carica positiva di entrambi. Questo può accadere se i nuclei, nel loro moto di agitazione termica, sono dotati di alte velocità come conseguenza di temperature elevate.

Semplici calcoli mostrano che la temperatura al centro del Sole è di circa 15 milioni di gradi (si veda il livello avanzato). Tuttavia, l'energia cinetica dei protoni associata a questa temperatura è di gran lunga inferiore a quella necessaria per superare la barriera coulombiana (si veda ancora il livello avanzato). Se, dunque, nell'“infinitamente piccolo” valesse la fisica classica il Sole non potrebbe splendere di luce propria. Ma, fortunatamente (per noi), le particelle sono soggette alle leggi probabilistiche della fisica quantistica, e, in particolare, al cosiddetto “effetto tunnel”.

Classicamente, una pallina in fondo a una buca non ne può fuoriuscire, a meno di non fornirle un'energia cinetica sufficiente. Dal punto di vista quantistico, tuttavia, la particella ha ugualmente una qualche probabilità di risalire la parete della buca anche se non in possesso, mediamente, dell'energia cinetica necessaria. Questo comportamento deriva dal principio di indeterminazione di Heisenberg: non è possibile conoscere al contempo con esattezza posizione e velocità di una particella. Se questa è confinata in uno spazio  $\Delta x$ , l'incertezza sulla sua velocità,  $\Delta v$ , è tale per cui  $\Delta x \Delta v \sim h/2\pi$ , dove  $h$  è la costante di Planck (si vedano le “Spigolature” nel n. 1 del 2009). Se dunque la buca è molto stretta, la velocità può fluttuare fino a valori così grandi da permettere alla particella di fuoriuscire. Pertanto, la particella non ha una energia (cinetica)  $E$  ben definita, ma può assumere valori all'interno di un intervallo  $\Delta E$ . Il principio di indeterminazione può anche essere formulato come  $\Delta E \Delta t \sim h/2\pi$ : maggiore è l'energia “presa in prestito” dalla particella durante la fluttuazione, minore è l'intervallo di tempo dopo il quale tale prestito va restituito. Può dunque succedere con probabilità non nulla che si realizzi l'effetto tunnel, ossia che la particella riesca a superare la parete della buca proprio durante il breve intervallo temporale  $\Delta t$ , anche se la sua energia media non sarebbe sufficiente a oltrepassare la barriera.

Tornando ora alla fusione nucleare, l'effetto tunnel prevede che due protoni, pur non avendo l'energia necessaria per superare la barriera coulombiana, abbiano comunque una probabilità di riuscirci pari a  $\sim 10^{-10}$ ; benché piccolissima questa probabilità è non zero, per cui un certo numero di reazioni si può realizzare, dato anche il grande numero di protoni e collisioni presenti nel nucleo del Sole. Come illustrato in FIG. 2, queste collisioni generano fotoni  $\gamma$ , estremamente energetici e assolutamente letali. Ma nel loro viaggio verso la superficie questi fotoni urtano continuamente contro gli elettroni (che so-

no liberi) ed il cammino libero medio, tra un urto e l'altro, è dell'ordine di 2 cm (se consideriamo la densità media; nel centro, dove la densità è più alta, il cammino libero medio è di qualche millimetro). Si calcola che i fotoni urtino circa  $\sim 10^{21}$  volte e seguano una traiettoria a zig-zag, impiegando circa 25.000 anni per fuoriuscire (si vedano le “Spigolature” nel n. 1 del 2007). Ad ogni urto il fotone si “degrada” un poco, perdendo energia; arrivato in superficie, il fotone si ritrova ad avere frequenze (e dunque energie) che partengono allo spettro visibile.

Oggi sappiamo che durante la formazione di un nucleo di elio lo 0,7% della massa dei suoi componenti è convertito in energia;<sup>3</sup> ammettendo che solo un decimo della massa del Sole partecipi alla fusione (la frazione centrale più densa e più calda), si calcola che ogni secondo 600 milioni di tonnellate d'idrogeno si trasformano in 595 milioni di tonnellate di elio.<sup>4</sup> Quindi, dopo questa trasformazione, manca all'appello una massa  $\Delta M$  pari a 5 milioni di tonnellate di idrogeno, ossia  $\Delta M = 5 \times 10^{12}$  g, trasformata in una quantità di energia pari a  $E = \Delta M c^2 \sim 4 \times 10^{33}$  erg, proprio la luminosità solare  $L_{\odot}$ .

Se dividiamo la “riserva di carburante”  $0,1 \times M_{\odot}$  per il carburante  $\Delta M$  consumato ogni secondo, otteniamo un ordine di grandezza del tempo di vita aspettato per il Sole:

$$\tau \sim 0,007 \times 0,1 \times M_{\odot} / \Delta M \sim 10 \text{ miliardi di anni}$$

(per questa valutazione si è tenuto conto che un anno contiene  $3,16 \times 10^7$  s). Questo risultato riconcilia dunque le esigenze di fisici, paleontologi e geologi.

*Prima della scoperta delle reazioni nucleari si riteneva che la luminosità  $L$  del Sole fosse alimentata dalla “riserva energetica” costituita dalla sua energia gravitazionale mediante una continua contrazione dell'astro. Ma il tempo di vita del Sole derivante da tale meccanismo, detto meccanismo di Kelvin-Helmholtz, risulta più breve della scala dei tempi dedotta dallo studio dei fossili. Per verificarlo, cominciamo con l'assumere, per semplicità, che il Sole abbia una densità costante; la massa racchiusa entro un raggio  $0 \leq r \leq R$  (dove  $R$  è il raggio solare) vale quindi  $m(r) = (4\pi/3)\rho r^3$ .*

*Posto  $G = 6,67 \times 10^{-8}$  (in CGS) la costante gravitazionale, l'accelerazione di gravità in  $r$  è pari*

$$a \ g = \frac{Gm(r)}{r^2} \text{ perché, com'è noto, essa dipende solo}$$

<sup>3</sup> Il motivo per cui solo una frazione della massa si trasforma in energia invece della sua totalità risiede nel fatto che le leggi di conservazione vanno rispettate. Ad esempio, se nel processo di fusione i protoni venissero completamente trasformati in energia, scomparirebbe la loro carica elettrica e verrebbe meno la conservazione della carica.

<sup>4</sup> Seicento milioni di tonnellate, pari a  $6 \times 10^{14}$  g, sono trascurabili rispetto all'intera massa del Sole di  $2 \times 10^{33}$  g.





da  $m(r)$  e non dalla massa posta a distanze dal centro maggiori di  $r$ . Se consideriamo un corpo di massa  $dm$ , esso viene attratto verso il centro da una forza

$$F = gdm = G \frac{4\pi}{3} \rho r dm.$$

La forza, dunque, varia linearmente con  $r$  all'interno del Sole. Per semplificare il calcolo del lavoro  $\mathcal{L}$  compiuto dalla forza di gravità nello spostare il corpo da  $R$  fino al centro assumiamo per  $F$  un valore costante pari al suo valore medio calcolato in  $r = 0,5R$ ; avremo pertanto

$$\mathcal{L} = F \times R = 0,5G \frac{4\pi}{3} \rho R dm R = 0,5 \frac{GM dm}{R}.$$

Se ora ipotizziamo che il Sole possa contrarsi a causa della propria gravità, se cioè ipotizziamo che, in un certo senso, il Sole "attragga se stesso", l'energia gravitazionale spesa (ossia, il lavoro compiuto) dalla nostra stella si ottiene dalla formula precedente sostituendo  $dm$  con  $M$ :

$$E \sim 0,5 \frac{GM^2}{R} \sim 2 \times 10^{48} \text{ erg.} \quad (1)$$

Nonostante la procedura alquanto rozza seguita per ottenere questa equazione, il risultato raggiunto è assai vicino a quello corretto.<sup>5</sup> Il valore numerico è stato ottenuto tenendo conto che per il Sole  $M = 2 \times 10^{33} \text{ g}$  e  $R = 7 \times 10^{10} \text{ cm}$ .

Possiamo finalmente concludere che, dal momento che ogni secondo il Sole irradia  $L = 4 \times 10^{33} \text{ erg/s}$ , esso potrebbe "rimanere acceso" per un tempo massimo

$$t_r \sim \frac{E}{L} \sim 2 \times 10^7 \text{ anni.}$$

Il valore numerico è stato ottenuto tenendo conto che un anno è composto da  $3,16 \times 10^7 \text{ s}$ . Il tempo ottenuto, decisamente molto breve, sta ad indicare che la sorgente di energia solare non può essere quella gravitazionale.

Come abbiamo visto nel livello base, fu Arthur Eddington a suggerire per primo che il Sole potesse essere sede di reazioni nucleari. Perché questo avvenga è necessario che la temperatura sia molto alta. In quel che segue vedremo come sia possibile valutare la temperatura centrale del Sole tramite argomentazioni di carattere generale.

<sup>5</sup> Per coloro che già conoscono il potenziale di un oggetto centrale e sanno maneggiare un integrale, diciamo che l'espressione corretta dell'energia gravitazionale di una sfera autogravitante è

$\int_0^R \frac{Gm(r)}{r} dm$ , dove  $dm = 4\pi r^2 \rho dr$  è la massa di un guscio sferico di raggio  $r$  e spessore  $dr$ . Nel caso di densità costante l'integrale, dopo una semplice manipolazione, risulta essere pari a  $0,6GM^2/R$ .

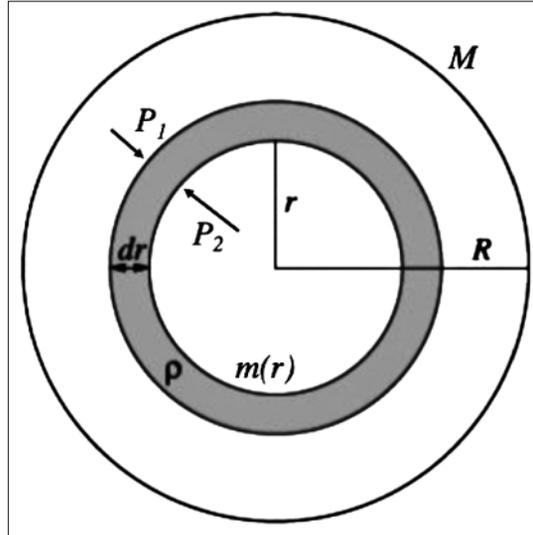


FIG. 3. Schema dell'equilibrio di una stella. Il cerchio esterno rappresenta l'intera stella di massa  $M$  e raggio  $R$ . L'anello grigio indica un guscio sferico di raggio  $r$  che racchiude una porzione  $m(r)$  della massa stellare. Il guscio è sottoposto ad un effetto netto  $P_2 - P_1$  rivolto radialmente verso l'esterno e che contrasta la forza gravitazionale (non riportata in figura).

Immaginiamo un modello di stella "a buccia di cipolla", composto cioè da una serie di gusci sferici concentrici. Un guscio generico di raggio  $r$  ha una superficie  $S = 4\pi r^2$ , uno spessore  $dr$ , un volume  $dV = Sdr$  e una massa  $dm = \rho dV$ . Su questo guscio si esercita una pressione  $P_2$  diretta verso l'alto dovuta al gas sottostante, e una pressione  $P_1$  dovuta al gas sovrastante e diretta verso il basso (FIG. 3). Quando ci tuffiamo in mare è facile verificare che la pressione dell'acqua sui nostri timpani aumenta con la profondità; analogamente, nella stella abbiamo  $P_2 > P_1$ . Ricordando che la pressione è una forza per unità di superficie, la forza totale netta esercitata su tutto il guscio dalla pressione è pari a  $F_p = (P_2 - P_1)S$ . Per quanto detto più sopra, questa forza è diretta verso l'esterno e tende a far espandere il guscio. Affinché la stella rimanga in equilibrio, è necessario che  $F_p$  sia bilanciata dalla forza di gravità  $F_g = Gm(r)dm/r^2$  che tende ad attirare il guscio verso il centro. Dall'uguaglianza  $F_p = F_g$  otteniamo

$$P_2 - P_1 = \frac{Gm(r)}{r^2} \rho dr;$$

La soluzione esatta di questa equazione necessita il ricorso al calcolo analitico. Per un calcolo approssimato assumiamo, analogamente a quanto fatto per l'eq. (1), che la stella sia composta da un unico grande guscio di spessore  $dr \sim R$ ; in questo caso abbiamo  $r \sim R$  e  $m(r) \sim M$ . Inoltre  $P_2 \sim P_c$  rappresenta la pressione centrale, mentre  $P_1 = 0$ , giacché la pressione alla superficie della stella è nulla. Otteniamo pertanto



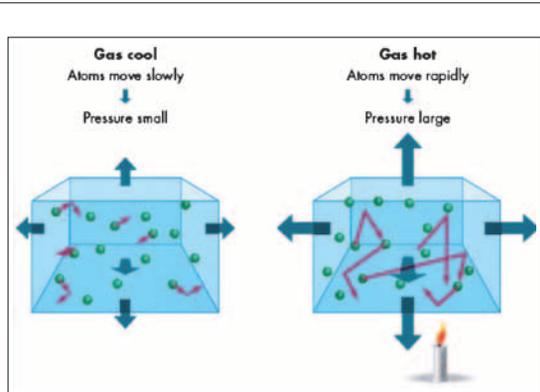


FIG. 4. Andamento della pressione di un gas con la temperatura. Gli atomi di un gas si muovono più velocemente ad alta temperatura, pertanto urtano più violentemente e più frequentemente che in un gas freddo. Questo comporta una maggiore pressione sulle pareti del contenitore, che è infatti determinata dalla frequenza e dalla violenza degli urti.

$$P_c \sim \frac{GM}{R} \rho.$$

Dobbiamo ricordarci ora della definizione generale di pressione data dalla termodinamica<sup>6</sup> (FIG. 4):

$$P = \kappa n T = \frac{\kappa}{\bar{m}} \rho T = \frac{\kappa}{0,6 m_p} \rho T, \quad (2)$$

dove  $\kappa = 1,38 \times 10^{-16}$  (in CGS) è la costante di Boltzmann,  $n$  è il numero di particelle di gas per centimetro cubo,  $\bar{m}$  è la massa media per particella,  $m_p = 1,64 \times 10^{-24}$  g è la massa del protone, e la temperatura  $T$  del gas è misurata in gradi Kelvin.<sup>7</sup>

Uguagliando le due equazioni precedenti ricaviamo un valore della temperatura centrale

$$T_c \sim 0,6 \frac{m_p}{\kappa} \frac{GM}{R} \sim 14 \times 10^6 \text{ K}$$

sostanzialmente simile al valore ottenuto con calcoli accurati.

<sup>6</sup> La dimostrazione di questa formula è al di là degli scopi di questa nota, tuttavia possiamo darne una giustificazione intuitiva. La pressione esercitata da un gas contro le pareti di un contenitore è data dal "bombardamento" delle particelle di gas contro quest'ultime a causa del loro moto di agitazione termica. Risulta pertanto chiaro che la pressione è tanto maggiore quanto maggiore è  $n$ , e dunque  $P \propto n$ . Inoltre, riscaldando il gas si aumenta la velocità – e dunque l'energia cinetica – delle sue particelle le quali, pertanto, urtano con maggiore violenza contro le pareti, e perciò  $P \propto T$  (FIG. 4). Quindi possiamo ragionevolmente scrivere  $P \propto nT$ .

<sup>7</sup> Il rapporto tra  $\bar{m}$  e  $m_p$  si ottiene come segue. Nel Sole, su 10 nuclei atomici 9 sono di idrogeno (H) e 1 di elio (He). Com'è noto, il nucleo di H è composto da un singolo protone, mentre quello di He da 2 protoni e 2 neutroni; pertanto la massa totale di questi 10 nuclei  $\sim 13m_p$ , è perché la massa dei neutroni è sostanzialmente simile a quella dei protoni. Data l'alta temperatura nel Sole, gli atomi sono completamente ionizzati e gli elettroni possono muoversi liberamente; nell'eq. (2),  $n$  si riferisce a tutte le particelle libere, sicché ai dieci nuclei atomici dobbiamo aggiungere 11 elettroni (9 derivanti da H e 2 da He) per un totale di 21 particelle. La massa dell'elettrone è circa 2000 volte inferiore a quella del protone ed è pertanto trascurabile. Staticamente, allora, la massa media di ciascuna particella è  $\bar{m} = 13m_p/21 \sim 0,6m_p$ .

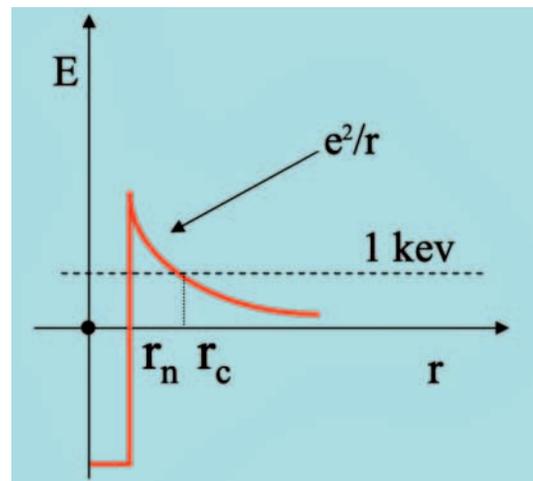


FIG. 5. Effetto tunnel. La linea rossa rappresenta la barriera coulombiana che circonda il protone (pallina nera) posto all'incrocio degli assi. La linea tratteggiata rappresenta l'energia media (1 keV) dei protoni al centro del Sole. Questa linea è più bassa della barriera e i protoni potrebbero avvicinarsi al massimo fino alla distanza  $r_c$ , dove la barriera è alta 1 keV. In realtà, è possibile che i protoni riescano, sia pure raramente, ad attraversare la barriera e raggiungere il protone centrale ad una distanza  $r_n \sim 10^{-3}r_c$ .

Per capire se 14 milioni di gradi sono sufficienti per innescare la fusione tra protoni, dobbiamo prima di tutto capire l'ammontare di energia cinetica delle particelle a questa temperatura. Nel commentare l'eq. (2) (vedi qui la nota 6) abbiamo visto che la pressione varia con l'energia cinetica delle particelle, che a sua volta varia con  $T$ . Facendo riferimento all'eq. (2), e ponendo  $n = 1$ , possiamo allora scrivere l'energia media  $\varepsilon_p$  per particella come<sup>8</sup>

$$\varepsilon_p \sim \kappa T \sim 1 \text{ keV};$$

in questa equazione abbiamo utilizzato l'elettronvolt come unità di misura dell'energia, com'è usuale in fisica delle particelle ( $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-12}$  erg,  $1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$ ).

Questa energia va confrontata con l'energia necessaria ai protoni per superare la repulsione coulombiana ed avvicinarsi a distanza dell'ordine di  $d \sim 10^{-13}$  cm, a cui "scatta" la forza nucleare attrattiva che tiene legati i protoni. Com'è noto, la forza di Coulomb varia, analogamente alla gravità, come l'inverso del quadrato della distanza. In analogia all'eq. (1) possiamo allora scrivere

$$\varepsilon_c \sim \frac{q^2}{d} \sim 10^3 \text{ keV}, \quad (3)$$

dove  $q = 4,80 \times 10^{-10}$  in CGS è la carica elettrica del protone. Mentre l'eq. (1) rappresenta l'energia necessaria per "smembrare" una stella allontanando ogni sua parte all'infinito, l'eq. (3), nel caso di due

<sup>8</sup> Un calcolo esatto per un gas monoatomico dà luogo a  $\varepsilon = 1,5\kappa T$ .





particelle con carica dello stesso segno, misura l'energia necessaria per avvicinarle fino ad una distanza  $d$ .

Confrontando le due ultime equazioni, dovremo concludere che nel centro del Sole le reazioni nucleari non possono avvenire dal momento che

$\varepsilon_p < \varepsilon_v$ . Ma le particelle elementari seguono le leggi della meccanica quantistica le cui fluttuazioni statistiche permettono ad alcune di esse di "attraversare" la barriera coulombiana anche se in difetto di energia (FIG. 5); questo fenomeno è detto "effetto tunnel" (vedi il livello base).

**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.





# Biblioteca

## A cura di Alberto Cappi

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

### L'altra faccia dell'universo

#### I segreti della materia oscura e dell'energia oscura

Luca Amendola

il Mulino (Intersezioni), 2018

Copertina flessibile, pp. 168, € 14,00

ISBN 9788815279514

www.mulino.it

**L**UCA AMENDOLA è un cosmologo teorico italiano che, prima di trasferirsi in Germania, dove insegna Fisica teorica all'Università di Heidelberg, ha lavorato a lungo all'Osservatorio Astronomico di Roma. In precedenza, ha già pubblicato un volume divulgativo di cosmologia, *Il cielo infinito*, (2000, Sperling & Kupfer, recensito su questa rivista nel 2002, n. 2), che non ho letto ma di cui mi avevano parlato molto bene. Non posso che accodarmi alla lista di coloro che ne lodano le capacità di divulgatore. Anche quest'opera è un trattato di cosmologia con intento divulgativo, con qualche attenzione supplementare verso il "lato oscuro" dell'universo, ovvero verso quelle componenti di materia ed energia che ne dominano l'evoluzione su larga scala e di cui vediamo gli effetti ma non conosciamo la natura.

*L'altra faccia dell'universo* è chiaro, conciso e ben scritto. Si legge di un fiato ma ha il merito di discostarsi un po' dalle strade ormai canoniche dei libri di cosmologia per il grande pubblico. Non moltissimo, ma quel che basta per apprezzare la differenza.

In particolare, mi ha piacevolmente colpito l'attitudine a non ritirarsi davanti alla complessità, a trovare con pazienza una via che permetta al lettore di cogliere il senso generale, ad esempio, della metrica dello spazio-tempo o della nucleosintesi primordiale (argomento, quest'ultimo, non sempre affrontato in questo tipo di opere).

A mio avviso, Amendola riesce ottimamente a condurre il lettore per sentieri che altri hanno giudicato impervi, stimolandolo a superare la pigrizia del pre-digerito verso il piacere della comprensione, e infine della bellezza: «... a volte nello studio del cosmo occorre distogliersi dai mille infiniti dettagli e contemplare il tutto. È il nostro universo, è bello, e fa parte di noi», recita molto appropriatamente la quarta di copertina.

In estrema sintesi, una visione fresca, interessante e davvero istruttiva della cosmologia moderna, con un retrogusto di robusta cultura classica e romanza che, naturalmente, è raro trovare negli autori anglofoni che dominano il mercato della divulgazione.

Non ho davvero molto altro da dire se non raccomandarne la lettura.

MICHELE BELLAZZINI

**Luca Amendola** insegna Fisica teorica all'Università di Heidelberg in Germania; ha pubblicato *Il cielo infinito* (Sperling & Kupfer, 2000) e *Dark Energy. Theory and Observations* (con S. Tsujikawa, Cambridge University Press, 2010; qui recensito nel 2011, n. 2) e più di 150 articoli scientifici. È coordinatore del *Theory Working Group* della collaborazione internazionale *Euclid*.

\*

### L'ultimo uomo sulla Luna

Eugene Cernan, Don Davis

Traduzione di Diego Meozzi

Cartabianca Publishing, 2018

Copertina flessibile, pp. 384, € 17,90

ISBN 9788888805238

www.cartabianca.com

**F**RA i tanti libri sulla Luna che stanno uscendo in questo periodo, in cui ricorre il cinquantenario del primo sbarco umano sul nostro satellite, *L'ultimo uomo sulla Luna* può contare su un vantaggio non indifferente: è stato scritto da uno dei protagonisti principali del programma Apollo, uno dei soli 12 uomini in tutto il genere umano che abbiano camminato sul suolo lunare. Gene Cernan, comandante della missione Apollo 17, come indica il titolo del libro, è stato l'ultimo dei 12 a lasciare le proprie orme sulla Luna, chiudendo così quel triennio di esplorazione che era stato aperto nel 1969 da Neil Armstrong. Non solo, ma è stato uno dei soli tre astronauti che hanno lasciato due volte lo spazio orbitale terrestre per andare verso la Luna. E le sue vicende sono interessanti tanto quanto quelle del primo uomo sulla Luna.

Questa traduzione in italiano del suo libro, pubblicato in originale circa 20 anni fa, esce purtroppo dopo la scomparsa dell'autore, avvenuta nel 2017. L'editore italiano l'ha arricchita con alcuni contenuti nuovi, come ad esempio una postfazione scritta dalla figlia di Cernan.

Per chi, come la sottoscritta, ha una curiosità insaziabile per tutto quello che riguarda il programma Apollo, il libro è imperdibile. Il racconto in prima persona di uno degli astronauti Apollo non può che essere il modo migliore per avvicinarsi a





quegli avvenimenti, e Cernan è un bravo narratore. Con uno stile scorrevole e discorsivo, ma anche rigoroso ed essenziale (come ci si aspetta da un militare) ripercorre la propria vita: le origini modeste, la carriera, le vicende famigliari e gli avvenimenti che lo hanno portato ad essere l'ultimo uomo sulla Luna, passando prima per altre due missioni spaziali (Gemini 9 e Apollo 10). Colpiscono la lucidità con cui descrive non solo i momenti trionfali, ma anche quelli più tragici, come le morti di colleghi astronauti, o quelli drammatici in cui ha rischiato la vita. E non teme di descrivere anche i propri errori e le relative conseguenze, primo fra tutti il non rendersi conto di quanto la sua carriera da astronauta fosse pesata sulla sua famiglia. Così la lettura delle oltre 300 pagine risulta scorrevole e sempre interessante.

Questo libro ha qualcosa da offrire a chiunque abbia interesse per le missioni spaziali, sia a una persona giovane che cerca ispirazione, sia a chi ha vissuto quegli anni e vuole ricordarli. Descrive una delle imprese che hanno segnato il xx secolo attraverso gli occhi di uno dei suoi protagonisti, ed ha per questo anche un notevole valore come testimonianza storica.

GIOVANNA M. STIRPE

**Eugene Cernan** (1934-2017) è entrato alla NASA nel 1963 e ha partecipato a tre missioni spaziali. Si è laureato alla Purdue University e ha conseguito un Master in Ingegneria aeronautica presso la Naval Postgraduate School (NPS) a Monterey in California. Nel 1976 si è ritirato dalla NASA e dalla Marina col grado di capitano e ha ricoperto incarichi dirigenziali presso varie compagnie. Ha ricevuto lauree *ad honorem* e onorificenze militari e civili, che spaziano dalla *Hall of Fame* spaziale statunitense a un premio *Emmy* per la televisione.

**Donald Allan Davis** è stato corrispondente di agenzie e quotidiani negli Stati Uniti e all'estero, con esperienze di guerra in Vietnam, di imprese spaziali a Capo Kennedy e di politica alla Casa Bianca prima di diventare un autore di successo del *New York Times* con la sua serie di romanzi *Kyle Swanson sniper*.

\*

### Alla ricerca di una nuova Terra Esopianeti, esplorazioni spaziali e vita extraterrestre

Stuart Clark

Traduzione di E. Filoramo

Edizioni Dedalo, 2018

Copertina flessibile, pp. 212, € 17,00

ISBN 9788822068774

www.edizionidedalo.it

UN libro decisamente *sui generis*, questo di Clark, autore di numerosi saggi, alcuni dei quali tradotti in italiano, come *L'universo, questo sconosciuto* (Dedalo 2017), *L'oscuro labirinto del cielo* (Dedalo,

2012), *Universo* (Dedalo, 2012; qui recensito nel 2012, n. 4), *I re del sole. Il racconto dell'astronomia moderna*, (Einaudi, 2009; qui recensito nel 2010, n. 1).

A una prima e sommaria occhiata, infatti, salta subito alla vista che, eccezion fatta per la bella ed evocativa immagine di copertina, nel testo non vi è nemmeno una immagine. Da astronomo, divulgatore e illustratore scopro così di essere talmente tanto abituato a pensare che non possa esistere un bel libro di astronomia senza un adeguato repertorio di fotografie e illustrazioni, da rimanere almeno per un momento spiazzato di fronte a questa distesa di più di duecento pagine riempite solo con caratteri tipografici.

Essi di certo hanno una loro resa grafica, ma si tratta di una resa di sicuro monotona: servono più che altro a ricordarmi una verità lapalissiana e spesso trascurata: i libri vanno innanzitutto letti.

Allora raccolgo questo invito implicito e mi immergo in quel mare di parole, cercando di capire se si tratta di acqua alla temperatura giusta per poter "trovare dolce il naufragar" o se desidererò tornare presto a riva dove dedicarmi ad altro.

La lettura si rivela subito piacevole: il linguaggio di Clark è semplice, diretto, chiaro. Se proprio devo trovare un difetto, penso sia il seguente: copertina, titolo e sottotitolo a mio parere non riflettono abbastanza bene la cifra di questa splendida narrazione.

Sì, perché di narrazione si tratta: sin dalle prime pagine, l'autore ordisce una fitta trama di eventi storici, storie personali di scienziati e ingegneri, dati scientifici spiegati con chiarezza, la cui lettura sarebbe finalmente capace di rendere chiaro, a chi non ha mai frequentato un ambiente di ricerca, quanto umana sia l'avventura dell'investigazione scientifica: a condividere le pagine con i concetti fisici, in questo libro vi sono le invidie, le frustrazioni, le sopraffazioni, la politica, il potere, le furbizie, le occasioni, le quali rivestono il ruolo di veri protagonisti di un saggio che a ben vedere altro non è se non un compendio di storia dell'astronomia moderna e contemporanea.

Apparentemente incentrato sull'argomento dichiarato in copertina (titolo originale: *The search for Earth's Twin*), esso invece sorprende, capace com'è di offrire uno sguardo panoramico su quella che è la vera essenza di una delle avventure culturali in assoluto più avvincenti: la ricerca di un altro posto nel cosmo che in futuro potrà ospitare l'umanità.

Complice una certa immagine che noi stessi, che in quell'ambiente lavoriamo, amiamo dare di noi all'esterno, molti immaginano il ricercatore quadratico medio come una specie di asceta che si bea di una certa necessaria lontananza dal mondo reale dove vivono tutti i suoi simili non scienziati.

E se non tutti ci vedono così, forse il "merito" va proprio ai così detti "complottoisti", i quali invece cercano, da qualche decennio, di vendere l'idea totalmente opposta ed estrema (e proprio per questo sbagliata) che gli scienziati siano in realtà schiavi vo-





lontani del potere: vere e proprie pedine; soldati al servizio di un grande progetto teso a lasciare le decisioni di tutto ciò che conta in mano a grandi e oscuri manovratori: un'oligarchia alla quale saremmo tutti, assunti a tempo indeterminato e precari, devoti e felicemente sottomessi.

Dalla lettura di questo libro di Clark emerge invece evidente il dato che le donne e gli uomini coinvolti nell'avventura scientifica sono persone fragili e soggette a dinamiche del tutto simili a quelle che animano la vita di una qualsiasi azienda, di una industria, di un gabinetto politico, di un ospedale, dove individui forti sono capaci di imporre la propria volontà politica (e non sempre quindi le idee scientifiche) agli altri, ai subalterni.

Questa narrazione di Clark – che a mio parere potrebbe meritare una resa cinematografica sotto forma di serie di episodi – non credo capiti a caso fra i tipi di una casa editrice votata alla divulgazione la quale, caso più unico che raro, a fianco di altre collane più canoniche, mostra orgogliosa una vera e propria sezione di letteratura scientifica popolata da romanzi e racconti (e nella quale, tra l'altro, compaiono anche altri titoli dello stesso Clark).

I numeri che il lettore di questo libro troverà lungo il cammino saranno quindi masse, luminosità, magnitudini, distanze, velocità, ma anche date, costi, percentuali di successo, budget, e tutte insieme queste cifre coopereranno per disegnare un quadro complesso del mondo della ricerca. Un mondo complesso come complessa è anche la realtà vera, quella di tutti e quella di tutti i giorni.

Un quadro nel quale il dato scientifico, la scoperta epocale, l'intuizione geniale vengono a galleggiare in equilibrio instabile tra tanti fattori ed eventi umani, storici, politici e che hanno il pregio di risultare facilmente comprensibili anche a quei lettori che scienziati non sono.

A lettura del libro conclusa, trovo eccitante essermi accorto di vivere in un periodo storico del quale questo libro parla: siamo infatti abituati a pensare che la storia riguardi sempre il passato e scoprire invece che, pur partendo da secoli lontani, questo libro arriva a descrivere fatti ai quali ho assistito o che indirettamente mi hanno coinvolto, mi ha regalato una vertigine.

Se qualcuno mi chiedesse di riassumere in una sola immagine il contenuto di un libro che immagini non ne ha, confesserei allora che mi è rimasta in testa quella di un grande organismo chiamato "ricerca", il quale tenta di sopravvivere in mezzo ad altri organismi sociali e antropologici e alle tempeste di fattori esterni che intervengono quando programmati, quando non previsti, a sconvolgere la sua esistenza soggetta ancora una volta alla dura legge della selezione naturale.

ANGELO ADAMO

**Stuart Clark** è autore del best-seller *The Sun Kings (I re del Sole. Il racconto dell'astronomia moderna*, Einaudi, 2009) e

di altri libri fra i quali, tradotti in italiano, *L'oscuro labirinto del cielo* (Dedalo, 2012) e *L'universo, questo sconosciuto* (Dedalo, 2017). È stato *editor* della nota rivista di divulgazione astronomica britannica *Astronomy Now*, e *Visiting Fellow* all'università di Hertfordshire; attualmente scrive per l'Agenzia Spaziale Europea e contribuisce regolarmente alle riviste *New Scientist* e *BBC Focus*.

★

### Le onde gravitazionali Una nuova porta sul cosmo

Federico Ferrini

Il Mulino (Farsi un'idea), 2018

Copertina flessibile, pp. 144, € 11,00

ISBN 9788815275325

www.mulino.it

**P**ER tutta la comunità astrofisica, la detezione, irrefutabile, di onde gravitazionali rappresenta uno spartiacque. Fino a ieri l'astronomia era fatta quasi esclusivamente di osservazioni elettromagnetiche (cioè segnali luminosi, con frequenze che spaziano dalle onde radio agli "energeticissimi" fotoni gamma, passando per le bande infrarossa, visibile, ultravioletta e X). Lo spettro elettromagnetico era l'unica fonte di informazione sull'universo, con le sole eccezioni dei raggi cosmici (particelle cosmiche che vengono intercettate dalla Terra), dei meteoriti, e del materiale raccolto e studiato nel corso dell'esplorazione spaziale all'interno del Sistema solare. Le prime rilevazioni di onde gravitazionali aprono una finestra tutta nuova: per la prima volta, non ci serve che un fenomeno sia "luminoso" perché noi possiamo scoprirlo, identificarlo e caratterizzarlo. Inizia così l'epoca dell'astronomia "multimessaggera".

Al di là del nuovo veicolo di informazione, ci sono ovviamente anche altri motivi di interesse per la comunità astrofisica. Un secolo dopo la formalizzazione della rivoluzionaria teoria della relatività generale di Einstein, una delle sue più intriganti predizioni viene confermata sperimentalmente: due masse in rapido moto una intorno all'altra liberano energia, creando delle onde nello spazio-tempo, le onde gravitazionali. Solo una diretta connessione fra la gravità e la metrica dello spazio-tempo (quale prevista nella teoria einsteiniana) può spiegare tale processo: quindi, la scoperta delle onde gravitazionali dimostra una volta per tutte la correttezza del modello di Einstein. Inoltre, per la prima volta si ottiene evidenza sperimentale dell'esistenza di buchi neri con masse decine di volte superiori a quella del Sole. Tanti altri risultati meriterebbero qui menzione (la prova dell'origine di alcuni tipi di lampi gamma; i primi indizi sulla genesi di elementi pesanti; la possibilità di porre dei limiti indipendenti su alcuni parametri cosmologici; e molto altro). Insomma, la scoperta offrirà lavoro agli astronomi e astrofisici per molti anni a venire.





Ma come si è giunti a tale scoperta? Perché ci è voluto un intero secolo? La risposta sta nella complessità della misura. Onde gravitazionali vengono emesse di continuo da qualsiasi massa in movimento, ma il segnale prodotto è incredibilmente debole. Pure nel caso degli eventi più estremi – due buchi neri a piccole separazioni che orbitano l'uno intorno all'altro e arrivano a scontrarsi – il segnale dell'onda gravitazionale risultante modifica la distanza fra due oggetti posti a una separazione di alcuni chilometri di pochissimo, l'equivalente dello spessore di un capello. Per raggiungere tali precisioni occorrono tecnologie raffinatissime. Il libro di Ferrini ci accompagna nella sfida tecnologica dal concetto iniziale einsteiniano alle prime rilevazioni. Lo fa dall'autorevole punto di vista di colui che, all'epoca, era direttore dell'osservatorio gravitazionale Virgo, uno dei soli due strumenti esistenti al mondo (insieme alla controparte americana, la coppia di interferometri LIGO) sensibili al segnale di onde gravitazionali. Ferrini offre al lettore un'inedita prospettiva sulla complessità della sofisticata strumentazione utilizzata per raggiungere il livello di precisione indispensabile per la misura. Il grande merito del libro è proprio quello di far riflettere il lettore sull'infinità di accorgimenti che ingegneri e astrofisici hanno dovuto approntare nello sviluppo delle apparecchiature.

Il livello di scrittura, soprattutto nella prima metà del testo, richiede al lettore almeno una conoscenza di base di fisica, e in particolare di astrofisica e di relatività generale. Ma l'asperità tecnica ripaga con un viaggio interessante e per molti aspetti inedito alla scoperta di un campo che, dopo decenni di duro lavoro, sta finalmente sbocciando.

ROBERTO DECARLI

**Federico Ferrini** è professore di Fisica all'università di Pisa. Ha diretto lo *European Gravitational Observatory-EGO*, infrastruttura di ricerca internazionale e sede di *Virgo*, uno dei tre grandi interferometri costruiti per osservare le onde gravitazionali. Attualmente dirige il *Cherenkov Telescope Array Observatory*.

\*

### La musica nascosta dell'universo La mia vita a caccia delle onde gravitazionali

Adalberto Giazotto

A cura di Andrea Parlange

Einaudi, 2018

Copertina flessibile, pp. 128, € 15,00

ISBN 9788806239244

www.einaudi.it

**Q**UESTO libro, curato dal fisico e giornalista Andrea Parlange, raccoglie la testimonianza della pluridecennale caccia alle onde gravitazionali che ha segnato la carriera di Adalberto Giazotto, ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

(INFN), uno dei pionieri in questo settore di ricerca che, insieme al francese Alain Brillet del CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*), è considerato il padre dell'interferometro Virgo situato a Cascina (Pisa) e oggi in versione potenziata ("advanced").

Nel testo, ultimato poco prima della morte di Giazotto, avvenuta il 16 novembre 2017, Parlange ci racconta, con grande maestria, la biografia e l'impegno scientifico del fisico italiano.

Nato a Genova nel 1940, durante la seconda guerra mondiale Giazotto visse a Cogne, in Valle d'Aosta e si trasferì poi a Milano e Roma. Fin da bambino mostrò grande curiosità e interesse nella costruzione di apparecchiature legate alla comunicazione, come le radio e i trasmettitori. Nel 1964 conseguì la laurea in Fisica, presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", con una tesi teorica seguita da Rosario Liotta. In seguito lavorò nel gruppo di Edoardo Amaldi e Gherardo Stoppini a esperimenti di fisica delle particelle. Nel 1968, insieme ad altri fisici, si trasferì in Inghilterra, nel laboratorio di Daresbury, e poi al CERN.

Nel periodo dal 1981 al 1984 dei gravi problemi di salute limitarono la sua attività ed è proprio in quegli anni difficili che riemerse il suo interesse per la relatività generale. Decise così di voler effettuare esperimenti per la rivelazione delle onde gravitazionali, previste da Albert Einstein, e sviluppare una nuova generazione di rivelatori. Giazotto è stato tra i primi fisici a voler progettare un rivelatore in grado di rivelare onde gravitazionali alle frequenze più basse di quelle esplorabili con i rivelatori a barra, ideati dal fisico statunitense Joseph Weber.

L'interesse per le basse frequenze era suggerito da studi teorici sui sistemi binari di stelle di neutroni e di buchi neri come potenti (in termini energetici) sorgenti di onde gravitazionali. Negli anni '60-'70 del secolo scorso, però, la frequenza minima dei segnali di onde gravitazionali rivelabili dalle antenne in funzione era ben maggiore di quella necessaria a catturare fenomeni astrofisici come quelli dovuti alla fusione di due oggetti compatti. Pertanto, all'inizio in molti considerarono questa una vera follia, un'impresa impossibile.

Per poter rivelare onde gravitazionali alle basse frequenze Giazotto e colleghi, superando via via varie sfide tecnologiche, ben descritte nel libro, giunsero allo sviluppo del "superattenuatore", una particolare struttura meccanica capace di isolare sismicamente e da tutti i disturbi le componenti ottiche di Virgo. Il suo principio di funzionamento è basato su quello di un pendolo multi-stadio dove il delicatissimo specchio costituisce l'ultimo stadio.

In definitiva, una sequenza di "ammortizzatori", l'uno sospeso all'altro; ad ogni stadio le vibrazioni sono fortemente attenuate. La soluzione di Giazotto e collaboratori è stata applicata anche negli statunitensi *Advanced LIGO*.

L'obiettivo era raggiungere una sensibilità sufficiente per registrare le oscillazioni dello spazio-tempo prodotte dall'esplosione di supernovae fino alla





distanza dell'ammasso di galassie della costellazione della Vergine (circa 60 milioni di anni luce); ecco spiegato il nome "Virgo" dato all'interferometro di prima generazione. Come riportato nel testo, Virgo non sarebbe mai nato senza IRAS (Interferometro per la Riduzione Attiva del Sisma), utilizzato per comprendere in quali modi si potessero sostenere gli specchi in maniera da eliminare il più possibile il rumore sismico.

La storia di Virgo è dunque iniziata concettualmente nella metà degli anni '80, per iniziare a concretizzarsi poi nella metà degli anni '90, grazie alla ferma volontà di Giazotto e Brillet. Dopo cinque anni di lavoro (dal 2012 al 2016), Virgo è stato potenziato con l'obiettivo di migliorarne la sensibilità di un fattore 10 e, di conseguenza, consentire l'esplorazione di un volume di universo 1000 volte maggiore che in precedenza.

Dal 2017, finalmente, i primi segnali! Per fortuna Giazotto ha potuto gioire dei primi successi di *Advanced Virgo*, ben descritti nella parte conclusiva del libro. In particolare, è riportato l'evento noto con la sigla GW170814 (generato dalla collisione di due buchi neri), il primo osservato da tutti e tre gli interferometri (i due *Advanced LIGO* e *Advanced Virgo*), e l'evento GW170817 (generato nella collisione di due stelle di neutroni) che, rivelato sia con le onde gravitazionali sia con la radiazione elettromagnetica, ha segnato la nascita dell'astronomia multi-messaggera.

Un libro avvincente, che si legge tutto d'un fiato e che consiglio fortemente ai giovani, dato che Giazotto è da considerare un vero e proprio modello per la nuova generazione di fisici.

ANDREA SIMONCELLI

**Adalberto Giazotto** (1940–2017) è stato un fisico italiano, pioniere della ricerca sulle onde gravitazionali e padre dell'interferometro Virgo che, insieme a LIGO, sta rivoluzionando l'astronomia.

**Andrea Parlange** è fisico e giornalista, caporedattore del mensile *Focus*. Si è laureato in Fisica presso l'Università di Pisa e ha conseguito il diploma della Scuola Normale Superiore. Ha ottenuto il dottorato di ricerca presso l'Università di Nijmegen, nei Paesi Bassi. È autore di numerosi libri di divulgazione.

\*

## Storia dell'esplorazione spaziale

### Tutte le scoperte dal mondo antico al futuro extraterrestre

Roger D. Launius

Traduzione di S. Marozz, C.V. Mattioli, E. Ricci

Atlante, 2018

Rilegato, pp. 400, € 29,50

ISBN 978887451484

www.atlantelibri.com

**R**OGER D. LAUNIUS, americano di origini lituane, è un valente storico con all'attivo molte

opere dedicate a diversi argomenti tra le quali, cosa che più ci interessa in questo momento, una trentina di volumi dedicati alla storia dell'aeronautica e dell'astronautica. Per due di queste opere si è aggiudicato il premio *AIAA History Manuscript Award*. Per inquadrare ancora meglio il personaggio e le sue competenze, aggiungo che è stato storico civile presso l'USAF dal 1982 al 1990, *chief historian* presso la NASA dal 1990 al 2002 e, successivamente, fino al 2016, titolare di vari incarichi per la parte storica presso lo *Smithsonian National Air and Space Museum*.

Questa storia dell'esplorazione spaziale in edizione illustrata è un libro sorprendente. Uso questo termine perché di primo acchito e sfogliato in maniera superficiale potrebbe richiamare alla mente uno di quei volumi stenna patinati, ricchi di tante belle fotografie ma irrimediabilmente scarsi quanto a contenuto, che vengono pubblicati in occasioni e ricorrenze storiche particolari.

In realtà invece, e qui sta la sorpresa (non poi tanto sorprendente se ci si è prima premurati di dare una scorsa al cv professionale dell'Autore), è un libro importante sotto tutti i punti di vista, non ultimo quello della completezza informativa.

L'imponente apparato iconografico è di tutto rispetto, con molte immagini di grande interesse, e devo dire che, nonostante lunghe frequentazioni nell'ambito dell'editoria specializzata in tematiche aerospaziali, sia italiana che anglosassone, ne ho trovate parecchie che non ricordo di aver mai visto in pubblicazioni simili, in particolare per quanto riguarda il periodo pionieristico (anni '40 e '50) antecedente l'inizio della gara spaziale tra USA e URSS del secolo scorso.

Dato il giusto merito alla parte illustrativa, va detto che l'opera è davvero completa, sia dal punto di vista della trattazione dei singoli argomenti sia da quello della varietà degli argomenti trattati (mi si perdoni l'involontario gioco di parole). Tornando infatti a quanto avevo anticipato alcune righe più sopra, il testo si rivela ben più di un esile filo di parole messo lì apposta per collegare un discorso fatto sostanzialmente di belle immagini: in realtà è vero il contrario, perché non solo lo sviluppo della storia dell'astronautica è ben delineato fin dai primordi come sequenza temporale, ma anche la scansione testuale ed informativa delle singole parti è ben approfondita e, pur nella snellezza dei capitoli e dei paragrafi, traccia un quadro esaustivo e pienamente soddisfacente – anche dal punto di vista dell'approfondimento delle informazioni storiche fornite – degli argomenti trattati.

La trattazione si sviluppa sostanzialmente in due parti. Nella prima – i primi cinque capitoli – l'Autore inizia il suo racconto dalle origini dell'esplorazione spaziale, intesa ancora come studio del cosmo da parte delle civiltà più antiche succedutesi sulla faccia del nostro pianeta, per illustrare poi l'evoluzione del concetto di astronomia e passare quindi alla storia della progettazione e del-





l'utilizzo dei razzi, visti come un prezioso strumento bellico, prima ancora che come mezzo per intraprendere l'esplorazione degli spazi esterni. In questa parte sono compresi interessanti accenni alla fantascienza e al rapporto, più stretto di quanto si possa immaginare, tra l'evoluzione della tecnologia missilistica reale e la sua trasposizione immaginifica operata dagli scrittori di *science fiction*. In particolare gli anni Cinquanta del secolo scorso si confermano in quest'opera come uno dei periodi più rimarchevoli e interessanti della storia aeromissilistica recente, prodromico com'è all'era spaziale in USA e URSS in virtù della messa a punto dei primi vettori autoctoni a valle dell'intensa sperimentazione operata, già dal 1945, sulle V-2 tedesche di preda bellica.

La prima parte prosegue poi con l'illustrazione delle fasi salienti della gara spaziale tra Sovietici e Americani degli anni Sessanta per concludersi con gli sbarchi lunari del programma Apollo.

La seconda parte (altri cinque capitoli: "Nuove nazioni, nuove missioni", "Aerei spaziali e stazioni orbitali", "Il richiamo del pianeta rosso", "Oltre Marte", "Prospettive transterrestri") prende invece in esame sostanzialmente tutto ciò che è avvenuto dopo il programma Apollo: i nuovi attori via via entrati in scena (a cominciare dall'Europa e dai colossi asiatici come Cina, Giappone e India) nella nuova corsa allo spazio, un settore da ormai parecchi anni sfuggito al monopolio delle due superpotenze "classiche", l'avvento dello Space Shuttle e delle stazioni in orbita terrestre, le sperimentazioni rivolte alle missioni verso Marte e oltre, con altri ambiziosi programmi allo studio anche se previsti per un futuro più lontano.

Non manca praticamente nulla di collegato all'esplorazione umana e automatica del cosmo, come pure all'astronomia dallo spazio e allo studio dell'universo.

Il libro inoltre si presenta molto bene, con la copertina dedicata a uno degli eroi senza tempo dell'esplorazione spaziale, Alan Bartlett Shepard Jr. ripreso all'interno della sua Mercury Freedom 7, è robusto e gestibile nonostante la mole e gode sicuramente di un buon rapporto qualità/prezzo.

Per concludere, un'opera seria e ben documentata in grado di fornire risposte puntuali ed esaustive all'appassionato in cerca di informazioni su questo affascinante argomento.

MARCO ORLANDI

**Roger D. Launius** è stato direttore delle collezioni e delle mostre presso lo *Smithsonian National Air and Space Museum*. Dal 1990 al 2002 è stato *chief historian* presso la NASA. È autore e coautore di numerosi libri, fra i quali *The Smithsonian History of Space Exploration*.

\*

## L'epopea delle lunatiche Storie di astronome ribelli

Valeria Palumbo

Hoepli (Microscopi), 2018

Copertina flessibile, pp. 160, € 12,90

ISBN 9788820385545

www.hoeplieditore.it

**L**EGGENDO questo piccolo volume che ripercorre il ruolo delle donne nell'astronomia attraverso i secoli, ci si rende conto di quante ce ne fossero, anche in tempi molto antichi, di cui non si è mai o quasi mai sentito parlare. In meno di 150 pagine l'autrice è riuscita a riassumere le vicende di molte decine di studiosse, partendo dall'antica Grecia e arrivando ai nostri giorni.

Il titolo in realtà è un po' ingannevole: nel libro non si parla solo di astronome, ma anche di scrittrici e giornaliste, di matematiche e di astronome. Ma questo è secondario rispetto alla missione nobile del libro, che è quella di rendere il giusto tributo alla popolazione femminile nel mondo della scienza. Spicca, ad esempio, una (bella) intervista con l'ingegnere aerospaziale Amalia Ercoli Finzi (una delle grandi menti dietro alla missione spaziale Rosetta), che fa da introduzione al libro. Il resto è distribuito in dieci capitoli a tema – mi ha particolarmente colpito quello dedicato alle studiosse che non appartengono al nostro mondo occidentale. Ovviamente, l'autrice ha voluto soffermarsi sulle figure più rappresentative o interessanti, senza pretendere di fare una summa completa della presenza femminile nella scienza attraverso i secoli – ma personalmente mi è dispiaciuto non trovare il nome di Margaret Hamilton nella parte dedicata alle matematiche che hanno lavorato per la NASA; o, nel capitolo sul Novecento, non vedere menzione di Margaret Burbidge, prima donna che ha presieduto l'*American Astronomical Society*, dopo aver subito numerose discriminazioni nella sua carriera: ad esempio, quando fu nominata Direttore del *Royal Greenwich Observatory*, si vide negato il titolo di *Astronomer Royal*, tradizionalmente associato a questo incarico (il titolo di *Astronomer Royal* fu invece dato ad un eminente radioastronomo).

A parte queste mie personali riserve, il libro è un contributo importante alla necessità di rendere tutti (non solo noi donne) consapevoli del ruolo avuto nella scienza, attraverso il tempo, da tante donne intelligenti e motivate, che si sono dovute scontrare con i limiti imposti dagli uomini nei tempi in cui sono vissute. Ed è una consapevolezza che è necessario avere per andare verso una vera parità, che ancora oggi, nonostante i molti progressi fatti, purtroppo non è stata ancora raggiunta.

GIOVANNA M. STIRPE

**Valeria Palumbo** è giornalista Rcs e storica delle donne. È stata caporedattore centrale de *L'Europeo* e di *Global Foreign Policy* e ha lavorato alla edizione digitale della *Gazzetta dello Sport* e al *Corriere della Sera*; collabora con





giornali, siti, radio, tv, con l'Istituto per gli studi di politica internazionale (ISPI) e associazioni culturali, tiene corsi universitari, scrive testi teatrali e conduce letture, corsi e incontri a festival storici e letterari.

\*

## Luna nuova

### Tra mito e scienza dalle eclissi alle basi lunari

Ettore Perozzi

il Mulino, 2019

Copertina flessibile, pp. 144, € 14,00

ISBN 9788815280077

www.mulino.it

COME riportato in una delle alette di copertina di questo libro, Ettore Perozzi è attualmente responsabile dell'Ufficio per la sorveglianza spaziale dell'ASI. Ma si è dimostrato anche un buon divulgatore di scienze astronomiche, come testimoniano i suoi libri sull'argomento (per esempio, prima di questo *Luna nuova* e sempre per il Mulino, *Il cielo che ci cade sulla testa. Impatti cosmici e incontri ravvicinati*, del 2016 (qui recensito nel 2017, n. 2), dedicato ai rischi di impatto sulla Terra di corpi celesti vaganti nello spazio). *Luna nuova. Tra mito e scienza dalle eclissi alle basi lunari* conferma questa sua buona attitudine.

Il libro è dedicato al nostro satellite naturale e alle sue caratteristiche fisiche e astronomiche, che lo legano strettamente ai fenomeni naturali terrestri e alle attività umane, una correlazione più stretta di quanto il profano possa immaginare di primo acchito, al punto che l'Autore la definisce «un'attrazione ostinata e irresistibile» che unisce la Terra e la Luna, rendendole quasi un pianeta doppio piuttosto che due distinti corpi celesti.

Questa stretta relazione si riflette su tutti i campi dello scibile umano, non solo su quello scientifico, il più ovvio, ma trova anche ampi riscontri in discipline più spiccatamente umanistiche, come la poesia (un esempio per tutti Giacomo Leopardi, più volte citato dall'Autore). Non solo, si pensi agli effetti che i cicli lunari e le eclissi hanno avuto sulla determinazione dei comportamenti umani – e sullo sviluppo delle mitologie – fin dalla notte dei tempi. Una fenomenologia naturale studiata già nell'antica Mesopotamia da quegli instancabili osservatori del cielo che erano i Caldei, ai quali si deve la scoperta di un nuovo ciclo lunare – della durata di 18 anni e 11 giorni, o 10, a seconda del numero di anni bisestili compresi nell'intervallo – denominato Saros dall'astronomo Edmond Halley e illustrato in dettaglio dall'Autore.

Perozzi dedica due capitoli – di fatto una buona metà del suo libro – alla descrizione delle caratteristiche del moto astronomico che rendono la Luna così presente nella nostra vita, coi suoi cicli e il ripetersi delle eclissi, spiegando adeguatamente questa non facile materia e rendendola comprensibile an-

che a chi, come il sottoscritto, non sia particolarmente addentro agli studi di meccanica celeste. A questo proposito, posso dire di aver trovato particolarmente interessanti le parti dedicate alla storia degli studi della meccanica orbitale lunare e a quanto essi si siano nel tempo diversificati e approfonditi nell'osservazione di un movimento celeste che qualcuno potrebbe considerare ormai compreso fino ai minimi termini, mentre leggendo il libro di Perozzi si impara che l'argomento è tutt'altro che semplice e che vi sono domande ancora oggi in attesa di risposte.

Ad un primo superficiale scorrimento dell'indice del volume si potrebbe avere l'impressione di una scarsa coesione d'insieme tra le sue varie parti. Quella iniziale è dedicata alla rievocazione di alcuni momenti salienti del programma Apollo degli anni Sessanta: lo storico discorso di John F. Kennedy del 12 settembre 1962 alla Rice University di Houston (retrodatato nel libro all'anno precedente, ma è una svista evidentemente sfuggita in sede di revisione del testo, perché al 1961 risale invece quello – altrettanto storico – che il Presidente USA aveva tenuto al Congresso, sullo stesso argomento, il 25 maggio), la discesa di Apollo 11 sulla Luna, l'esperimento compiuto con la piuma e il martello sulla superficie lunare dal comandante di Apollo 15 David Scott, con la successiva, soddisfatta citazione «*Mr. Galileo was correct in his findings*», l'ultima missione lunare, quella di Apollo 17 del dicembre 1972, più altre interessanti curiosità. Non molti gli episodi citati, ma scelti con criterio per dare al lettore un'idea precisa di quella che ad oggi rimane la più emblematica avventura scientifico/tecnologica intrapresa dall'Umanità e degli uomini coraggiosi che l'hanno portata a termine con successo.

La parte finale spiega invece quando e come torneremo sulla Luna, questa volta non per una toccata e fuga, ma con ben precisi piani di colonizzazione e sfruttamento delle risorse minerarie presenti sul nostro satellite. È un capitolo molto interessante, che fornisce al lettore una completa visione d'insieme delle tecnologie allo studio per il ritorno sulla Luna, degli attori impegnati nel gravoso ma entusiasmante compito, dell'accessibilità della Luna (traiettorie dei veicoli spaziali, costruzione di una base lunare, utilizzo della stessa per svariate attività di natura scientifica e commerciale ecc.) e del ruolo che le agenzie spaziali nazionali, ma anche i privati, andranno a svolgervi negli anni a venire.

Tra le due parti iniziale e finale vi sono i due già citati capitoli dedicati alle eclissi e ai moti celesti della Luna. L'opera è poi completata da una appendice dal suggestivo titolo «*Rock Around the Moon*» che – spaziando dalla letteratura alla musica al cinema – traccia un ideale percorso tematico fra alcune delle più significative opere dell'ingegno umano ispirate dalla Luna o ad essa rivolte.

Si potrebbe quindi avere l'impressione che l'Autore abbia voluto realizzare un volume monografico sulla Luna mettendo insieme varie componenti,





tutte attinenti alla materia ma tra loro non correlate più di tanto. In realtà non è così, perché la correlazione in effetti invece esiste. L'Autore, infatti, riesce a mettere in luce il solido collegamento esistente tra le antiche conoscenze acquisite nel corso dei secoli riguardo alla Luna e gli influssi di quest'ultima sulla nostra vita di tutti i giorni, influssi che hanno spinto artisti e sognatori a creare opere in cui il nostro satellite naturale assume una valenza evocativa fondamentale, fino a determinare le condizioni per cui, ad un certo punto della nostra storia, l'Umanità decidesse che era giunto il momento di andare di persona a farle visita. Ma non potremmo capire fino in fondo da cosa sia motivato questo anelito di esplorare e di andare oltre i nostri confini se non ci fosse spiegato esaurientemente – come l'Autore riesce indubbiamente a fare – perché e in forza di cosa la Luna è in grado di influenzare così pesantemente le nostre menti e i nostri stili di vita con la sua presenza e i suoi movimenti nel firmamento. A questo punto il collegamento tra le varie parti del libro si dimostra in tutta evidenza e bisogna dare atto a Perozzi di aver saputo sviluppare la propria tesi in maniera adeguata, per di più con uno stile espositivo accattivante e pienamente consona ad un'opera divulgativa; e in molti passaggi – va sottolineato – è proprio questa sua attitudine alla divulgazione scientifica a rendere un po' più facilmente fruibile una materia che oggettivamente così facile poi non è.

Da appassionato di astronautica posso eccepire che avrei preferito un maggior approfondimento delle tematiche legate ai voli spaziali, con particolare riguardo alle esplorazioni lunari compiute negli anni Sessanta e Settanta, così come avrei gradito una trattazione più ampia – vista la competenza in

materia che l'Autore dimostra di possedere – nella piacevole appendice finale.

Ma sono gusti personali magari non condivisi da altri, ed evidentemente lo spazio concesso all'Autore non permetteva di andare oltre; comunque, ciò che si trova nel libro costituisce già un sostanzioso stimolo rivolto al lettore per andare ad approfondire per proprio conto gli argomenti che lo hanno interessato di più. Missione primaria di chi scrive libri di divulgazione, scientifica e non, dovrebbe infatti essere quella di riuscire ad appassionare il lettore non competente della materia, che grazie al testo divulgativo si incuriosisce, si pone domande e matura il desiderio di cercare risposte che, quasi inevitabilmente, porteranno ad ulteriori domande e ad ulteriori approfondimenti.

Non essendo un particolare cultore di moti celesti e di meccanismi generatori di eclissi, posso dire di aver imparato parecchie cose interessanti dalla lettura di questo libro, senz'altro consigliabile a chiunque sia curioso di conoscere di più su questi argomenti affascinanti.

E considerando il «Continua...» che Perozzi pone alla fine della sua trattazione, non si può che restare in attesa con curiosità della prossima fatica di questo Autore.

MARCO ORLANDI

**Ettore Perozzi** è responsabile dell'ufficio per la sorveglianza spaziale dell'Agenzia Spaziale Italiana. Ha lavorato al CNR, all'Osservatorio di Parigi, a Telespazio, a Deimos Space e presso i centri ESOC e ESRIN dell'Agenzia Spaziale Europea. L'asteroide n.10027 porta il suo nome. Per il Mulino ha già pubblicato *Il cielo che ci cade sulla testa* (2016).

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





# Errata corrige

Vol. 45, N. 1, marzo 2019

---

Solo a pubblicazione avvenuta l'autore dell'articolo "*Luna e dintorni: Apollo 11 e quel piccolo passo di mezzo secolo fa*" («Giornale di Astronomia», 45 (1), marzo 2019) si è reso conto di una svista consistente nell'er-

ronea indicazione a p. 7 dell'astronauta Charles Duke come pilota del modulo di comando di Apollo 16, mentre invece era pilota del modulo lunare. L'autore si scusa con i lettori e con l'interessato.

