

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

Ufficio redazionale: Valentina Pagnan

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

<http://giornaleastronomia.difa.unibo.it/>

Dal n. 1/2024 il *Giornale di Astronomia* è disponibile online al
sito www.sait.it/giornalediastronomia.html.

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

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

Fabrizio Bònoli
fabrizio.bonoli@unibo.it

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

Pubblicazione trimestrale
Vol. 52° · N. 3 · Settembre 2026



Fabrizio Serra · Editore
Pisa · Roma

Giornale di Astronomia, 2026, 3

Sommario

Astronomia oggi

- 2 Il Grande Attrattore: origine, significato e interpretazione di un termine cosmologico
C. PIANTA

Astronomia e società

- 6 *Laudatio* per il conferimento del Dottorato di Ricerca *Honoris Causa* alla prof.ssa Angela Misiano
R. C. BARBERI
8 Magnifico Rettore ...
A. MISIANO

Astronomia e letteratura

- 10 L'identità di genere letterario: il lascito umanistico di Galileo Galilei
A. ADAMO

Storia

- 19 Professione: astronoma. Il caso dell'Osservatorio di Torino
G. BERNARDI

Didattica

- 28 La misura delle distanze astronomiche. Proposta di una attività didattica in astrofisica
M. CITTÀ, A. M. CANGELOSI, M. GENCHI
37 Tunguska: ricostruire un cataclisma spaziale
F. GINANNESCHI

Rubrica dei lettori

- 42 La visibilità a occhio nudo delle Pleiadi
G. VANIN

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

- 43 L'epistolario Piazzzi-Oriani
I. CHINNICI, A. MANDRINO

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

- 46 Il concetto di tempo nella storia
A. D'ERCOLE

Biblioteca (a cura di A. Cappi)

- 54 A. ASPECT, *Se Einstein avesse saputo. Dalle rivoluzioni quantistiche a una nuova idea di realtà* (recens. di A. Cappi)
54 P. ATTIVISSIMO, *Ritorno sulla Luna. Dal sogno dell'Apollo alla sfida di Artemis* (recens. di A. Cappi)
56 A. CARBOGNANI, *Destinazione spazio profondo. Verso Proxima e Barnard per esplorare nuovi pianeti* (recens. di G. M. Stirpe)
57 A. FERRERO, *Rimasti a Terra. Eroi ed eroine dimenticati dell'avventura spaziale* (recens. di A. Calanchi)
59 C. ROVELLI, *La cattiva coscienza dei fisici. Ci sono atomiche sufficienti a bruciare viva l'umanità, e stiamo litigando* (recens. di A. Cappi)

61 Gli Incontri del «Giornale di Astronomia»

In copertina

A sinistra Giuseppe Piazzzi (ritratto del 1811 di Francesco La Farina), a destra Barnaba Oriani (ritratto del 1830 di Pietro Narducci). Nel bicentenario della morte di Piazzzi, si veda all'interno, nella rubrica *Cieli d'inchiestro*, l'articolo di I. Chinnici e A. Mandrino sulla corrispondenza tra i due astronomi.

Il Grande Attrattore: origine, significato e interpretazione di un termine cosmologico

Camilla Pianta

ESISTE davvero un centro gravitazionale invisibile verso cui le velocità peculiari delle galassie nell'universo locale stanno lentamente convergendo?

L'ipotesi del Grande Attrattore nacque proprio da questa domanda, come tentativo di spiegare l'evidenza di moti galattici collettivi incompatibili con l'espansione cosmica predetta dalla legge di Hubble-Lemaître. La risposta emersa durante l'evoluzione della cosmologia osservativa si rivelò, tuttavia, profondamente controintuitiva rispetto a quanto il nome stesso di "Grande Attrattore" facesse supporre.

Nel corso della prima metà del xx secolo, la descrizione dell'universo extragalattico subì una trasformazione concettuale radicale, passando da una concezione statica a una lettura dinamica su larga scala. Nella formulazione iniziale, ereditata dall'astronomia stellare ottocentesca, l'universo era ritenuto immutabile e organizzato in una gerarchia di sistemi gravitazionalmente legati, senza una distinzione netta tra strutture indipendenti e loro sotto-aggregati interni. Non si disponeva, infatti, di criteri osservativi sufficienti a stabilire se una data condensazione di materia fosse separata dall'ambiente circostante: per questa ragione, le nebulose erano originariamente considerate parte della Via Lattea. Solo in seguito, con il raffinamento delle tecniche di determinazione delle distanze e con la risoluzione delle singole stelle in alcuni di questi oggetti, esse vennero riconosciute come galassie esterne dotate di un moto proprio, ossia indipendente dall'espansione cosmica.

La necessità di interpretare tale deviazione rispetto al moto globale d'espansione impose un cambio di paradigma, che vide l'introduzione di un formalismo in cui la cinematica delle galassie veniva trattata come una proprietà collettiva della loro distribuzione. Ciò fu possibile grazie all'utilizzo di un campo di velocità, ovvero una funzione che assegna a ogni punto dello spazio la velocità media delle galassie contenute in un suo intorno, così da permettere una rappresentazione continua, anziché discreta, del loro moto. La velocità osservata risultò allora esprimibile come somma di due contributi: una componente associata al moto cosmologico, proporzionale alla distanza secondo la legge di Hubble-Lemaître, e una componente residua, detta velocità peculiare, indicante il moto proprio delle galassie. L'esistenza della velocità peculiare implicava che il campo di velocità non fosse lo stesso ovunque, ma presentasse variazioni sistematiche dovute alla disu-

niformità del campo di densità, la funzione che attribuisce a ogni punto dello spazio il corrispondente valore della densità di massa. In altre parole, la distribuzione spaziale della materia non era omogenea, poiché caratterizzata da differenze di densità che si ripercuotevano sul moto delle galassie: laddove la densità era più elevata, l'attrazione gravitazionale produceva una deviazione dal termine di Hubble-Lemaître che portava le galassie a convergere; laddove invece essa era minore, il loro moto subiva una perturbazione più debole e assumeva un comportamento divergente. Le regioni più dense agivano, cioè, da centri di attrazione, mentre quelle meno dense rappresentavano zone di svuotamento relativo che favorivano l'allontanamento.

Dall'accoppiamento tra il campo di velocità e quello di densità discendeva quindi che il moto delle galassie seguisse l'andamento del potenziale gravitazionale su larga scala, motivo per cui le velocità peculiari delle galassie non apparivano casuali. Al contrario, esse mostravano un alto grado di correlazione spaziale, attestandosi su valori simili per gruppi di galassie vicine ed evidenziando una tendenza statistica a moti collettivi orientati lungo direzioni preferenziali. Tale regolarità cinematica venne identificata con un flusso coerente (*bulk flow*) di velocità peculiari, che si manifestava in risposta al gradiente del potenziale gravitazionale su distanze dell'ordine di 10-100 Mpc.

Il quadro osservativo si rivelava tuttavia incompleto in prossimità del piano galattico, dove l'interferenza della "zona di evitamento" (*Zone of Avoidance*, ZoA) provocava una significativa lacuna informativa nella mappatura del campo di densità. Si trattava di una regione di cielo, centrata sul disco della Via Lattea, in cui la notevole concentrazione di polveri e gas interstellari attenuava la radiazione proveniente dalle galassie di fondo, limitando fortemente la loro rilevazione nelle *survey* ottiche: quasi come se le galassie sembrassero "evitare" (da cui il nome) quest'area del cielo. L'effetto risultava particolarmente critico proprio nelle direzioni dove i flussi di velocità erano più intensi, che venivano in questo modo occultate. Pertanto, una frazione delle strutture responsabile di questi flussi rimase non adeguatamente censita, con il conseguente insorgere di una discontinuità tra la popolazione osservata di sorgenti luminose e la dinamica derivata a partire dalla misura delle velocità peculiari. La mancanza di dati, causata dall'interposizione della zona di evitamento, richiese dunque la ricostruzione indiretta

della distribuzione di massa, in accordo con la relazione teorica tra campo di velocità e campo di densità nel regime lineare delle perturbazioni cosmologiche. Dal punto di vista operativo, l'approssimazione a tale regime poteva essere applicata una volta filtrato il campo di velocità al fine di eliminare le fluttuazioni non lineari su piccola scala e isolare la sua componente su larga scala, che tracciava il gradiente del potenziale gravitazionale. Questa procedura consentì, in sostanza, di rimuovere il rumore dinamico locale e di estrarre il *bulk flow*, rilevante per dedurre la distribuzione di massa nelle aree di cielo non accessibili.

Le informazioni così ottenute vennero successivamente integrate con cataloghi di galassie esterne in bande spettrali diverse, con l'obiettivo di correggere i *bias* indotti dall'incompletezza del campionamento ottico. Nello specifico, le osservazioni nel vicino infrarosso e quelle radio basate sull'emissione a 21 cm dell'idrogeno neutro furono impiegate per mitigare l'impatto dell'estinzione interstellare, mentre le indagini nel dominio X consentirono di sondare l'emissione del gas *intracluster* riscaldato a temperature dell'ordine di milioni di gradi K all'interno degli ammassi. Ciò rese possibili non solo il recupero delle sorgenti oscurate dalla polvere, ma anche la stima della massa degli ammassi, come vincolo alternativo per la densità di materia su estensioni cosmologiche.

Grazie alla combinazione di questi *dataset* si poté inferire la velocità peculiare del Gruppo Locale (comprendente la Via Lattea), la cui direzione puntava verso la costellazione del Centauro. Tale orientamento acquisì significato fisico quando venne confrontato con il campo di velocità di galassie situate a distanze comparabili: si scoprì, infatti, che esse possedevano tutte una componente di moto allineata lungo la medesima direzione, con ampiezza superiore a quella tipica delle velocità peculiari dell'universo locale. Sembrava quasi che le galassie fossero "agganciate" allo stesso campo gravitazionale, come se il loro moto fosse regolato da una struttura molto più grande e massiccia capace di agire simultaneamente su di esse. Da qui l'ipotesi dell'esistenza di una sovradensità di materia, responsabile dell'attrazione gravitazionale sull'insieme di galassie con velocità peculiari anomale, avente dimensione dell'ordine della decina di Mpc, ma non facilmente localizzabile in quanto celata dalla zona di evitamento, cui venne attribuita la denominazione di Grande Attrattore. [FIG. 1]

L'espressione si diffuse tra la fine degli anni Settanta e i primi anni Ottanta, periodo in cui si cominciava a far uso delle misure di *redshift* per le galassie limitrofe alla Via Lattea nella ricostruzione tridimensionale del campo di velocità su larga scala. Fondamentali in tal senso furono i lavori degli astronomi Donald Lynden-Bell, Richard Brent Tully, Sandra Faber e Alan Dressler, che misero in luce il flusso di velocità peculiari verso la costellazione del Centauro. Per comprendere l'essenza fisica del



FIG. 1. Immagine ottica dell'ammasso di galassie ACO 3627 (Norma Cluster), identificato come il nucleo centrale del Grande Attrattore e situato a circa 250 milioni di anni luce dalla Via Lattea. L'immagine, ottenuta con il Wide Field Imager del telescopio MPG/ESO da 2,2 m di La Silla, rivela centinaia di galassie membro, molte delle quali soggette a interazioni gravitazionali reciproche. La regione era rimasta a lungo inesplorata a causa dell'oscuramento del piano della Via Lattea operato dalle polveri della zona di evitamento. (Crediti: 2Pz Team, WFI, MPG/ESO 2.2-m Telescope, La Silla, ESO)

Grande Attrattore, si procedette in primo luogo a verificare la sua compatibilità con una sorgente puntiforme di campo gravitazionale, selezionando come candidato più plausibile l'ammasso della Norma, la cui posizione coincideva parzialmente con l'area di convergenza delle velocità peculiari. Campagne osservative dedicate permisero di identificare all'interno dell'ammasso, entro il raggio caratteristico di Abell (circa 3-5 Mpc), oltre 600 galassie con diametro angolare apprezzabile per effettuarne la classificazione morfologica. Il fatto che una frazione elevata di queste (circa 48%) fosse stata catalogata come di tipo ellittico e lenticolare (*early-type*) nella zona del nucleo era indice di un ambiente denso e dinamicamente evoluto, in cui le ripetute interazioni gravitazionali avevano già agito in modo efficace rimuovendo il contenuto di gas freddo indispensabile per la formazione stellare. La forma approssimativamente gaussiana della distribuzione delle velocità, ricavata dalle misure di *redshift* per alcune centinaia delle galassie risolte, pareva supportare lo scenario di rilassamento dinamico. Nondimeno, una più fine analisi di *follow-up* – osservazioni mirate – accertò che, al di là delle galassie *early-type* che ne costituivano la componente principale, l'ammasso comprendeva in realtà anche una componente secondaria cinematicamente distinta, formata da galassie a spirale (*late-type*) e ancora in fase di accrescimento. Questa evidenza, consistente con il paradigma di aggregazione gerarchica delle strutture cosmiche, dimostrava che l'ammasso della Norma non era un sistema isolato: esso si trovava anzi

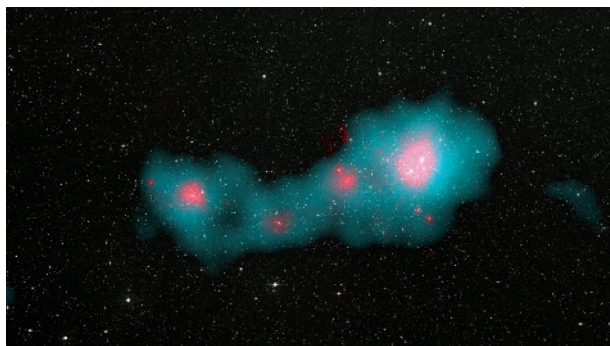


FIG. 2. Immagine composta del nucleo del complesso di Shapley, la struttura più massiva nell'universo locale entro circa un miliardo di anni luce dalla Via Lattea, con oltre 8000 galassie e una massa totale dell'ordine di 10^{16} masse solari. L'immagine combina l'emissione nelle microonde del gas *intracluster* rilevata dal satellite Planck (in blu), l'emissione in banda X dei singoli ammassi registrata dal satellite ROSAT (in rosa), e l'emissione ottica delle galassie della Digitised Sky Survey. I due principali addensamenti in raggi X corrispondono agli ammassi Abell 3558 (a destra) e Abell 3562 (a sinistra). (Crediti: ESA & Planck Collaboration / ROSAT / Digitised Sky Survey. Immagine utilizzata ai sensi della ESA Standard Licence)

all'intersezione tra due concentrazioni di materia che attraversavano il piano galattico. La prima era il Centaurus Wall, un filamento, con morfologia assimilabile a un muro per la marcata estensione bidimensionale rispetto allo spessore, osservato fino a *redshift* $z \sim 0,02$. La seconda, invece, era un aggregato ancora più ampio di galassie e ammassi, individuato nell'intervallo di *redshift* $0,013 \lesssim z \lesssim 0,027$ e denominato superammasso della Norma, che collegava il gruppo di Pavo con il complesso di Vela. A confermare che un singolo oggetto compatto massivo, come l'ammasso della Norma, non bastava a dar conto dell'influenza gravitazionale esercitata su così grandi distanze, fu il riconoscimento del ruolo del complesso di Shapley, una regione insolitamente ricca di ammassi di galassie. Poiché, contrariamente al caso dell'ammasso della Norma, nel complesso di Shapley la massa era sparsa in più centri gravitazionali vicini anziché essere raccolta in un centro soltanto, si generava un campo gravitazionale totale più vasto, tale da garantire una copertura spaziale maggiore. Si giunse così alla conclusione che, se da un lato l'ammasso della Norma fungeva da sorgente di potenziale gravitazionale locale, dall'altro il complesso di Shapley dominava la componente di potenziale a lungo raggio. [FIG. 2]

Studi più recenti, condotti attraverso il metodo più preciso delle fluttuazioni di brillantezza superficiale per la stima delle distanze galattiche, chiarirono infine che le velocità peculiari anomale tendevano ad annullarsi all'aumentare della distanza dal Gruppo Locale, convergendo in un volume di circa 70 Mpc. Ulteriori indagini simulative sottolinearono che la convergenza non avveniva sempre nello stesso punto, la cui posizione esatta dipendeva dal livello di filtraggio (*smoothing*) del campo di velocità. L'area di cielo verso la quale le velocità peculiari apparivano dirette cambiava infatti a seconda del dettaglio con cui esso veniva osservato, spostandosi

dalla regione di Hydra-Centaurus al complesso di Shapley nel passare da scale spaziali intermedie a scale spaziali maggiori.

Ne derivò una revisione sostanziale dell'interpretazione originaria del Grande Attrattore, che cessò di essere concepito come l'inevitabile destinazione terminale del Gruppo Locale. L'idea di un gigantesco pozzo gravitazionale capace di richiamare a sé intere popolazioni di galassie, trascinandole fino a farle collassare, fu a poco a poco sostituita da una visione assai meno intuitiva di quanto il termine di "Grande Attrattore" lasciasse immaginare. In un contesto cosmologico di espansione accelerata guidata dall'energia oscura, affermare che un oggetto celeste si muova verso un luogo ben definito dell'universo non implica necessariamente che quel luogo verrà raggiunto. Invero, sebbene continui ad agire tra galassie e ammassi vicini, oltre una certa scala oggi l'attrazione gravitazionale non è in grado di compensare l'effetto dell'espansione, di modo che la crescita delle strutture cosmiche si arresta progressivamente per via del più rapido incremento della loro reciproca separazione. Ecco perché il Gruppo Locale finirà per allontanarsi da qualsiasi sistema massivo a decine o centinaia di Mpc, incluso il complesso di Shapley. Il significato di "Grande Attrattore" assume perciò una connotazione prevalentemente storica: esso riflette la configurazione del campo gravitazionale dell'universo locale in un'epoca in cui le galassie conservavano ancora traccia delle disomogeneità primordiali di densità.

In un futuro remoto, il Grande Attrattore si dissolverà, frammentato in una serie di isole gravitazionali che non eserciteranno più alcuna influenza sul nostro vicinato galattico. Una sorte ineluttabile, dettata dalle leggi della dinamica cosmica, che suggellano l'umana consapevolezza della natura contingente di ogni tentativo di descrizione del reale.

Referenze bibliografiche

- J. BINNEY, S. TREMAINE, *Galactic Dynamics: Second Edition*, Princeton, Princeton University Press, 2008.
- K. BOLEJKO, C. HELLABY, *The Great Attractor and the Shapley Concentration*, «General Relativity and Gravitation», 2008, 40, p. 1771.
- D. BURSTEIN, S. M. FABER, A. DRESSLER, *The Great Attractor and large-scale streaming motions*, «The Astrophysical Journal», 1990, 354, p. 18.
- A. DEKEL, *Dynamics of cosmic flows*, «Annual Review of Astronomy and Astrophysics», 1994, 32, p. 371.
- A. DRESSLER, A. MONSON, *Return to the Great Attractor: Strong evidence for a steradian-sized flow converging at ~ 70 Mpc within the GA supercluster and aligned with the CMB dipole*, «arXiv preprint», 2026, arXiv:2604.02470.
- A. DRESSLER et al., *Spectroscopy and photometry of elliptical galaxies. I. New distance estimator*, «The Astrophysical Journal», 1987, 313, p. 42.
- M. J. HUDSON, *Peculiar velocities and large-scale structure*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 1994, 266, p. 475.

- N. KAISER, *Theoretical implications of deviations from Hubble flow*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 1988, 231, p. 149.
- D. LYNDEN-BELL *et al.*, *Spectroscopy and Photometry of Elliptical Galaxies. v. Galaxy Streaming Toward the New Supergalactic Center*, «The Astrophysical Journal», 1988, 326, p. 19.
- J. A. PEACOCK, *Cosmological Physics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.
- P. J. E. PEEBLES, *The Large-Scale Structure of the Universe*, Princeton, Princeton University Press, 1980.
- P. J. E. PEEBLES, *Principles of Physical Cosmology*, Princeton, Princeton University Press, 1993.
- C. M. SPRINGOB *et al.*, *The 6dF Galaxy Survey: peculiar velocity field and cosmography*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 2014, 445, p. 2677.
- R. STISKALEK *et al.*, *Revisiting the Great Attractor: The Local Group's streamline trajectory, cosmic velocity and dynamical fate*, «arXiv preprint», 2026, arXiv:2601.08524.
- M. A. STRAUSS, J. A. WILICK, *The density and peculiar velocity fields of nearby galaxies*, «Physics Reports», 1995, 261, p. 271.
- R. WATKINS, H. A. FELDMAN, M. J. HUDSON, *Consistently large cosmic flows on scales of $100 h^{-1}$ Mpc: a challenge for the standard Λ CDM cosmology*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 2009, 392, p. 743.
- P. A. WOUTT, R. C. KRAAN-KORTEWEG, A. P. FAIRALL, *The core of the Great Attractor*, in S. COURTEAU, J. WILICK (a cura di), *Cosmic Flows Workshop*, ASP Conference Series, vol. 201, San Francisco, Astronomical Society of the Pacific, 2000, p. 88.

Camilla Pianta è astrofisica e comunicatrice scientifica. Ha conseguito il dottorato di ricerca in Astronomia, specializzandosi in dinamica stellare e astrofisica computazionale, e un master in Comunicazione Scientifica, grazie a cui ha affinato le tecniche di traduzione della ricerca in forme adatte al pubblico generalista. È autrice di articoli su riviste internazionali *peer-reviewed* e di divulgazione astronomica, e collabora con istituzioni scientifiche e osservatori astronomici. Al di fuori dell'ambito professionale coltiva la passione per il violoncello, che studia con formazione classica, e per la fisica teorica, cui dedica la sua produzione letteraria.

Laudatio per il conferimento del Dottorato di Ricerca *Honoris Causa* alla prof.ssa Angela Misiano

MAGNIFICO Rettore,
Illustrissimi Componenti degli Organi Accademici,

Autorità civili e militari,
Care Colleghe, Cari Colleghi e Personale tecnico-amministrativo

Gentili Ospiti,
Care Studentesse e Cari Studenti,
oggi la nostra comunità accademica vive un momento di particolare significato. Non si tratta soltanto di un atto formale, né di un riconoscimento che si esaurisce nella sua dimensione istituzionale. Oggi celebriamo una storia, un impegno, una visione. Celebriamo una vita interamente dedicata alla conoscenza e alla sua diffusione.

Con profonda convinzione e autentica emozione, l'Università della Calabria conferisce il DOTTORATO DI RICERCA *HONORIS CAUSA* IN SCIENZE E TECNOLOGIE FISICHE, CHIMICHE E DEI MATERIALI alla professoressa ANGELA MISIANO.

Questo conferimento si inserisce nella tradizione più nobile dell'università: quella di riconoscere non soltanto i risultati della ricerca scientifica in senso stretto, ma anche il valore di chi ha contribuito in modo determinante alla costruzione e alla trasmissione del sapere.

La professoressa Angela Misiano ha conseguito la laurea in Matematica presso l'Università degli Studi di Messina nel 1967. Da quel momento ha intrapreso un percorso lungo oltre quarant'anni come docente di Matematica e Fisica nei licei scientifici di Reggio Calabria e il suo insegnamento non è mai stato una semplice trasmissione di contenuti. È stato, piuttosto, un atto generativo: un processo capace di accendere negli studenti il desiderio di comprendere, di interrogarsi, di guardare oltre. L'attività di insegnamento non è poi rimasta confinata alla scuola, ma si è estesa alla società con molteplici iniziative di grande rilievo ed impatto. Chi ha avuto la fortuna di incontrarla nel proprio percorso formativo non ha soltanto appreso formule o leggi fisiche. Ha imparato a pensare. Ha scoperto che la scienza non è un insieme di risposte, ma un metodo per porre domande sempre più profonde. E questo è, forse, il contributo più alto che un educatore possa offrire.

Come ho accennato, l'opera della professoressa Misiano non si è mai esaurita nello spazio, pur fondamentale, dell'aula scolastica. Sin dall'inizio della sua carriera, ella ha avvertito con chiarezza che la cultura scientifica non può rimanere confinata nei



luoghi tradizionali della formazione, ma deve essere resa accessibile, condivisa, partecipata.

Da questa consapevolezza nasce una delle sue realizzazioni più significative: il Planetario "Pythagoras" di Reggio Calabria. Non si tratta soltanto di una struttura dedicata all'astronomia. Il Planetario è, prima di tutto, un'idea. È la concretizzazione di una visione: quella di uno spazio in cui la scienza diventa esperienza, in cui il sapere si trasforma in meraviglia, in cui il cielo stellato torna a essere patrimonio comune. Sotto la sua guida, il Planetario è diventato negli anni un punto di riferimento nazionale, capace di dialogare con scuole, università, istituzioni scientifiche e cittadini. Migliaia di giovani hanno attraversato le sue sale, portando con sé, spesso per la prima volta, la percezione della vastità dell'universo e del posto che l'uomo occupa al suo interno.

E in questo incontro tra conoscenza e stupore si realizza una delle funzioni più alte della scienza: quella di ampliare gli orizzonti dell'esperienza umana.

Parallelamente, la professoressa Misiano ha svolto un ruolo fondamentale all'interno della Società Astronomica Italiana, contribuendo in maniera decisiva alla diffusione della cultura astronomica nel nostro Paese. In particolare, il suo impegno nei Campionati Italiani di Astronomia ha prodotto risultati di straordinario rilievo. Ogni anno, migliaia di studenti calabresi partecipano alle selezioni, rappresentando una quota significativa del totale nazionale. Ma dietro questi numeri vi è qualcosa di più profondo: vi è la costruzione di una comunità educante, vi è la capacità di coinvolgere docenti, scuole e istituzioni in un progetto condiviso, vi è la dimostrazione concreta che l'eccellenza può nascere e crescere ovunque, quando è sostenuta da passione, competenza e visione.

È importante sottolineare che tutto questo è avvenuto in un contesto che, per lungo tempo, non è stato semplice. Negli anni Settanta, Reggio Calabria era segnata da forti tensioni sociali, da fragilità strutturali, da condizioni che rendevano complesso lo sviluppo di iniziative culturali di ampio respiro. Eppure, proprio in quel contesto, la professoressa Misiano ha scelto di operare con determinazione e fiducia. Ha scelto di investire nei giovani, nella scuola, nella cultura scientifica come strumenti di crescita e di riscatto. In questo senso, il suo lavoro assume un valore che va ben oltre la dimensione educativa: diventa un contributo concreto allo sviluppo civile del territorio.

Un ulteriore esempio della sua capacità di coniugare scienza e società è rappresentato dal Premio Cosmos, oggi riconosciuto a livello internazionale. Il Premio non è soltanto un riconoscimento per opere di divulgazione scientifica. È un progetto culturale complesso, che coinvolge attivamente gli studenti nella selezione delle opere, rendendoli protagonisti di un processo di valutazione critica e consapevole.

A esso si affianca il Festival della Scienza, che trasforma la città di Reggio Calabria in un luogo di incontro tra scienziati, divulgatori, studenti e cittadini. In quei giorni, la scienza esce dai laboratori e si riversa nelle piazze, nei palazzi, nelle strade, diventando parte integrante della vita collettiva.

Questa capacità di portare la scienza tra le persone, di renderla accessibile senza banalizzarla, di mantenerne il rigore senza rinunciare alla comunicazione è uno dei tratti distintivi dell'opera della professoressa Angela Misiano.

Nel corso della sua carriera, ella ha inoltre prodotto numerosi contributi nel campo della didattica della fisica e dell'astronomia, ricevendo premi e riconoscimenti a livello nazionale e internazionale per l'innovazione nell'insegnamento. Nel 2022, il Presidente della Repubblica Sergio Mattarella le ha conferito l'onorificenza di Ufficiale dell'Ordine al Merito della Repubblica Italiana, a testimonianza del valore civile del suo impegno.

E tuttavia, se dovessimo individuare il nucleo più profondo del suo contributo, dovremmo forse guardare oltre i titoli e le onorificenze. Dovremmo guardare alle migliaia di studenti che, grazie a lei, hanno

scoperto la passione per la scienza. Dovremmo guardare ai docenti che hanno trovato in lei un punto di riferimento. Dovremmo guardare a un territorio che, anche grazie al suo lavoro, ha visto crescere la propria consapevolezza culturale.

La professoressa Angela Misiano ha dimostrato, con la forza dei fatti, che la diffusione del sapere scientifico non è un'attività accessoria, ma una componente essenziale della missione educativa e sociale. Ha costruito ponti: tra scuola e università, tra scienza e società, tra conoscenza e cittadinanza. E in un'epoca in cui la complessità del mondo richiede strumenti sempre più raffinati per essere compresa, questo lavoro assume un valore strategico.

Per queste ragioni, il conferimento del Dottorato *Honoris Causa* che oggi celebriamo non è soltanto un riconoscimento individuale. È anche un'affermazione di principi. È il riconoscimento del valore della didattica, della divulgazione, dell'impegno civile nella costruzione di una società più consapevole.

Professoressa Angela Misiano,

nel Suo lungo e fecondo cammino si riflette il senso più autentico della missione educativa: trasmettere conoscenza, generare consapevolezza, aprire orizzonti. La Sua opera ha illuminato il percorso di generazioni di giovani e ha contribuito in modo duraturo alla crescita culturale del nostro territorio e del Paese.

L'Università della Calabria, nel riconoscere l'alto valore scientifico, didattico e civile del Suo impegno, è oggi lieta e onorata di accoglierLa nella propria comunità accademica, conferendole il grado di Dottore di Ricerca *Honoris Causa* in Scienze e Tecnologie Fisiche, Chimiche e dei Materiali.

Ad honorem scientiae, ad utilitatem communitatis, ad memoriam posteritatis, te, Angela Misiano, in numerum Doctorum huius Universitatis adscribimus, omnia iura, honores ac privilegia tibi tribuentes quae ad hunc gradum pertinent.

Possa questo riconoscimento accompagnare e rinnovare nel tempo il valore del Suo esempio, a beneficio delle generazioni presenti e future.

Ad multos annos

13 aprile 2026

prof. Riccardo Cristoforo Barberi

Riccardo Cristoforo Barberi, professore ordinario di Fisica applicata e ricercatore associato all'istituto Nanotec del CNR, è stato direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università della Calabria, nonché responsabile scientifico di STAR l'infrastruttura di ricerca a proiezione europea nel campus dell'Università della Calabria.

MAGNIFICO RETTORE, autorità, accademiche, civili ed istituzionali, colleghi, cari studenti,

ricevere questo riconoscimento è un onore che va oltre le parole.

Se guardo indietro al mio percorso, non vedo solo libri, formule o lavagne: vedo volti. Vedo lo stupore negli occhi di chi, per la prima volta, comprende che la caduta di una mela e il moto dei pianeti sono governati dalla stessa, identica mano invisibile della natura.

Oggi provo un'emozione che non ha eguali.

Guardando questa Commissione di Dottorato, non vedo solo professionisti competenti: vedo i "miei" ragazzi. Sapere che voi, che un tempo sedevate tra i banchi ad ascoltare le mie lezioni, siete oggi professori universitari è, per me, la gioia più grande. Siete la prova che la didattica, quando è fatta con passione, genera frutti. Siete il mio lascito più prezioso alla scienza e alla nostra amata regione.

Oggi, a 82 anni, guardo questo titolo non come un traguardo di arrivo, ma come il riconoscimento di un cammino che non ha mai conosciuto la parola "fine". La pensione, per chi vive di scuola è solo un cambio di prospettiva, non un congedo. In fisica, la risonanza avviene quando un sistema viene stimolato alla sua frequenza naturale. L'insegnamento è esattamente questo: non è riempire un vaso, ma trovare la frequenza di ogni studente affinché inizi a vibrare di luce propria. Ho dedicato tutto il mio insegnamento a cercare quella frequenza.

All'inizio pensavo che insegnare significasse spiegare bene, essere chiari e rigorosi. Poi ho capito che non bastava. La fisica e l'astronomia sono state la mia bussola morale, palestra di legalità: insegnare le leggi della natura significa insegnare l'onestà. La natura non mente. Se un esperimento fallisce, non è la natura a sbagliare: siamo noi a non aver posto la domanda giusta. La scienza insegna l'umiltà di fronte all'evidenza e il coraggio di cambiare idea.

Permettetemi ora una riflessione su un punto che mi sta molto a cuore: il confine, spesso frainteso ed abusato tra divulgazione e didattica.

La divulgazione è una finestra aperta sul mondo: incuriosisce, rende accessibile il complesso, genera meraviglia. È fondamentale. Ma la didattica è qualcosa di più profondo e strutturato: non è solo raccontare la scienza, ma costruire, mattone dopo mattone, le basi del pensiero critico e del rigore logico. Se la divulgazione può fermarsi al "cosa", la didattica deve arrivare al "come" e al "perché". E qui entra in gioco la competenza: non si può divulgare ciò che non si possiede nel profondo. Non si può semplificare davvero un concetto senza dominarne tutte le sfumature. I nostri giovani meritano la guida di esperti che sappiano tradurre la complessità senza tradire il rigore scientifico. Perché, se la scienza perde il rigore, diventa opinione.

Ho sempre creduto profondamente nell'importanza sociale della cultura scientifica. Il percorso non è stato semplice. Ricordo gli inizi, quando bus-



savo alle porte delle istituzioni per convincerle di quanto fosse importante investire, anche, in cultura scientifica. E confesso che, a volte, mi chiedevo: ha senso parlare di astronomia in una terra segnata da problemi sociali profondi?

Oggi, a distanza di 48 anni dalla prima lettera inviata al professor Leonida Rosino, consegnata a mano da Agatino [Rifatto], il mio primo astronomo, in cui chiedevo consigli su come introdurre correttamente l'astronomia nei programmi di fisica, e a 40 anni dalla costituzione della Sezione Calabria della Società Astronomica Italiana, posso dire che sì: ne è valsa la pena. Perché essere cittadini è un processo di conquista, e passa attraverso la conoscenza.

Questo traguardo è anche il frutto di visioni condivise con le istituzioni. Dopo una prima fase di collaborazione con la Regione Calabria, è stata la Provincia di Reggio Calabria, oggi Città Metropolitana, a credere con determinazione nel progetto. Ringrazio profondamente questa istituzione per aver investito in maniera significativa e costante nella cultura scientifica, rendendo possibile la costruzione e la vita del nostro Planetario, un "oratorio laico", come lo definisce il professor Pierluigi Veltri.

Da questa esperienza voglio lanciare un messaggio: la cultura non ha colore politico, è un bene comune. Le istituzioni hanno il dovere morale di collaborare tra loro, al di sopra delle contingenze, perché solo la sinergia può garantire ai cittadini, e soprattutto ai giovani, presidi di conoscenza permanenti e di eccellenza.

Non posso non ringraziare: il Ministero dell'Istruzione e del Merito, nella persona della professoressa Anna Brancaccio, guida e supporto tecnico prezioso, e la Società Astronomica Italiana, oggi qui rappresentata dalla Presidente, la professoressa Patrizia Caraveo, che ringrazio sentitamente per la sua

presenza. La professionalità e il carisma che contraddistinguono l'intera Società ci hanno garantito autorevolezza e forza presso tutte le sedi istituzionali; il Dipartimento di Fisica tutto, e in modo speciale il professor Pierluigi Veltri, che mi ha guidata e sostenuta in ogni fase del mio percorso. Un grazie sincero va anche allo staff del Planetario, e in particolare a Marica [Canonico] e Rosario [Borrello], per il loro aiuto concreto e quotidiano, per supportarmi e sopportarmi con affetto e dedizione.

Chiudo con un pensiero commosso alla mia famiglia. Alle mie figlie, ai miei tre splendidi nipoti: Luca, Elena e Irene e a mio marito, che non c'è più ma che porto nel cuore. In un'epoca in cui non era affatto scontato, non ha mai ostacolato la mia carriera: ha rispettato la mia indipendenza e sostenuto ogni mio passo. Senza di lui, questa mia dedizione totale non sarebbe stata possibile. E poi mia madre, che ripeteva: «Ma che ci guadagni? Ti pagano di più? E perché ti esalti, ogni volta, quando guardi Saturno? Non è lo stesso dell'anno scorso?». Poi si avvicinava al telescopio guardava ... e diceva: «Però è bello davvero».

Ai giovani qui presenti voglio dire: non abbiate fretta. La competenza non si costruisce con un click, ma con la pazienza dello studio e la fatica del dubbio. Non abbiate paura dei "non so": la fisica è nata dai dubbi, non dalle certezze. Siate come particelle cariche: portate energia ovunque andiate e create legami, perché la conoscenza ha valore solo se condivisa.



La prof.ssa Angela Misiano con il Rettore dell'Università della Calabria, prof. Gianluigi Greco.

Oggi questo titolo viene conferito a me, ma lo dedico a tutti i docenti che, ogni mattina, entrano in aula convinti che la cultura sia l'unica forza capace di contrastare l'entropia sociale. La didattica, quella vera e competente, è il testimone che oggi vi passo con infinita gratitudine. Perché l'insegnamento non è un "mestiere" che finisce con un contratto di lavoro, ma una vocazione che non va mai in pensione.

Grazie.

Angela Misiano

Angela Misiano è stata docente di Matematica e Fisica a Reggio Calabria dalla fine degli anni Sessanta. La sua importante attività, non solo didattica, è stata ricordata nella *Laudatio* (pubblicata in questo stesso numero), con la quale l'Università della Calabria le ha conferito il Dottorato di Ricerca *Honoris Causa* in Scienze e Tecnologie Fisiche, Chimiche e dei Materiali. È stata membro del Consiglio Direttivo della Società Astronomica Italiana ininterrottamente dal 2 aprile 1998 ad oggi.

L'identità di genere letterario: il lascito umanistico di Galileo Galilei

Angelo Adamo

INAF · IRA NOTO (SR)

CHI ama la scienza è di solito devoto a una mitologia popolata da numi stranieri – spesso in cima a questo Pantheon vi è Albert Einstein, grande scienziato, ma anche umanista (filosofo e pacifista). Se poi si è italiani, accanto a quei numi stranieri si venerano pure altre divinità nostrane, titolari di una singolare squadra nazionale composta da Enrico Fermi, Ettore Majorana, Guglielmo Marconi ..., ma soprattutto da lui: Galileo Galilei (FIG. 1).

Scoprire quindi che tra tutti questi rappresentanti del pensiero *scientifico puro*, lo scienziato pisano è l'unico che avrebbe potuto tranquillamente giocare anche nella *nazionale dei letterati*, e che avrebbe addirittura potuto ricoprirne il ruolo di capitano, lascia piacevolmente sorpresi. E lo si è specie venendo a sapere che, in risposta a una lettera aperta della scrittrice Anna Maria Ortese (FIG. 2) pubblicata sul *Corriere della Sera* del 24 dicembre del 1967 nella quale si dichiarava contraria alla corsa alla Luna che all'epoca infuocava gli animi, a convocarlo in quel *dream team* di umanisti era stato addirittura Italo Calvino (FIG. 3), irrinunciabile titolare della squadra azzurra. In quella risposta, infatti, egli affermava che:

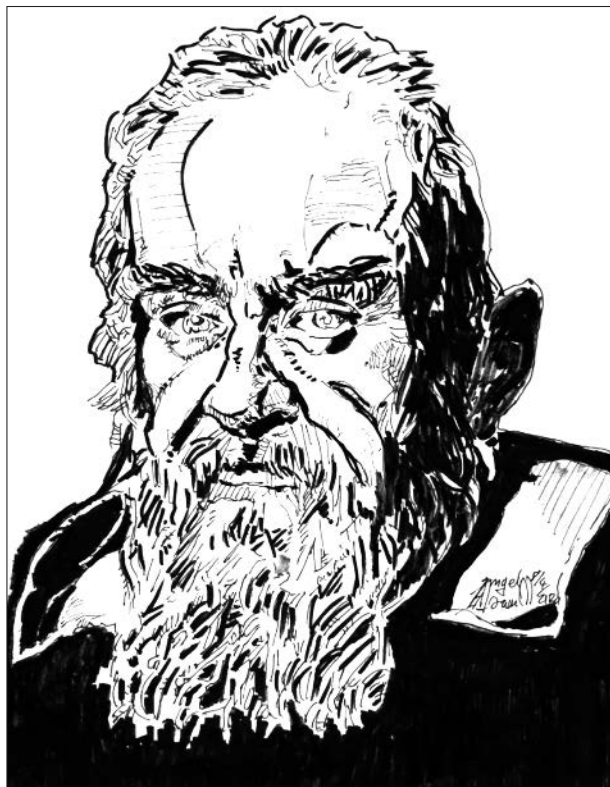


FIG. 1. Galileo Galilei (crediti: A. Adamo).



FIG. 2. Anna Maria Ortese (crediti: A. Adamo).

Chi ama la Luna davvero non si accontenta di contemplarla come un'immagine convenzionale, vuole entrare in un rapporto più stretto con lei, vuole vedere di più nella Luna, vuole che la Luna dica di più. Il più grande scrittore della letteratura italiana di ogni secolo, Galileo, appena si mette a parlare della Luna innalza la sua prosa ad un grado di precisione e di evidenza ed insieme di rarefazione lirica prodigiose. E la lingua di Galileo fu uno dei modelli della lingua di Leopardi, gran poeta lunare. [...]¹

Come è facile immaginare, in quegli ultimi giorni del '67 l'affermazione di Calvino scatenò diverse

¹ P. GRECO, *Galileo, secondo Calvino*, 2009: www.scienzainrete.it/book/export/html/384. Una valutazione che poi in parte preciserà parlando a proposito del concetto letterario di "rapidità" (CALVINO 1988, pp. 43-44) e asserendo che «La metafora del cavallo per la velocità della mente credo sia stata usata per la prima volta da Galileo Galilei. Nel *Saggiatore*, polemizzando col suo avversario che sosteneva le proprie tesi con una gran quantità di citazioni classiche, scriveva: "Se il discorrere circa un problema difficile fosse come il portar pesi, dove molti cavalli porteranno più sacca di grano che un caval solo, io acconsentirei che i molti discorsi facessero più che un solo; ma il discorrere è come il correre, e non come il portare, ed un caval barbero solo correrà più che cento frisoni". "Discorrere", "Discorso" per Galileo vuol dire ragionamento, e spesso ragionamento deduttivo. "Il discorrere è come il correre": questa affermazione è come il programma stilistico di Galileo, stile come metodo di pensiero e come gusto letterario: la rapidità, l'agilità del ragionamento, l'economia degli argomenti, ma anche la fantasia degli esempi sono per Galileo qualità decisive del pensar bene».

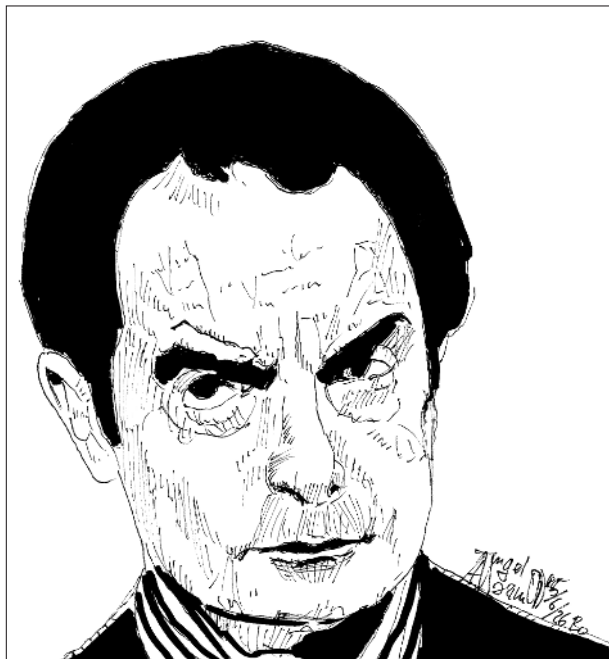


FIG. 3. Italo Calvino (crediti: A. Adamo).

reazioni di segno opposto, e la più nota recava la firma dello scrittore Carlo Cassola (FIG. 4), il quale, sempre sulle pagine del *Corriere*, il 31 dicembre osservò:

Domenica scorsa, su questo giornale Italo Calvino ha affermato che Galilei è il più grande scrittore italiano di ogni secolo. Io credevo che Galilei fosse il più grande scienziato, ma che la palma di massimo scrittore spettasse a Dante. Mentirei se dicessi che l'affermazione di Calvino mi ha scandalizzato. Lo spirito di dimissioni di molti miei colleghi è giunto a un punto tale che non mi scandalizzo più di niente. L'augurio che rivolgo loro è di liberarsi del complesso di inferiorità nei confronti della cultura scientifica e della tecnologia. E se no, che cambino mestiere.

Che si fosse d'accordo o meno, grazie a queste colte polemiche così lontane dalle finissime dispute oggi dibattute sui quotidiani, il primo gennaio del '68 l'Italia si svegliò con una nuova consapevolezza del proprio valore e della propria eredità culturale: era molto probabile che Galilei, lo scienziato italiano più noto e geniale, fosse da considerarsi non solo il paladino della scienza, ma addirittura l'"eroe dei due mondi", quello umanistico e quello scientifico. L'onore e l'onere della chiusura alla *querelle* iniziata dalla Ortese toccò, infine, ancora una volta, all'autore italo-cubano (Calvino era nato non lontano da L'Avana da genitori italiani) il quale, in risposta a Cassola, sulla rivista *L'Approdo letterario*, e a 1968 oramai iniziato, chiuse la partita precisando che:

Intendevo dire scrittore di prosa; e allora lì la questione si pone tra Machiavelli e Galileo, e anch'io sono nell'imbarazzo perché amo molto pure Machiavelli. Quel che posso dire è che nella direzione in cui lavoro adesso, trovo maggior nutrimento in Galileo, come precisione di linguaggio, come immaginazione scientifico-poetica, come costruzione di congetture.

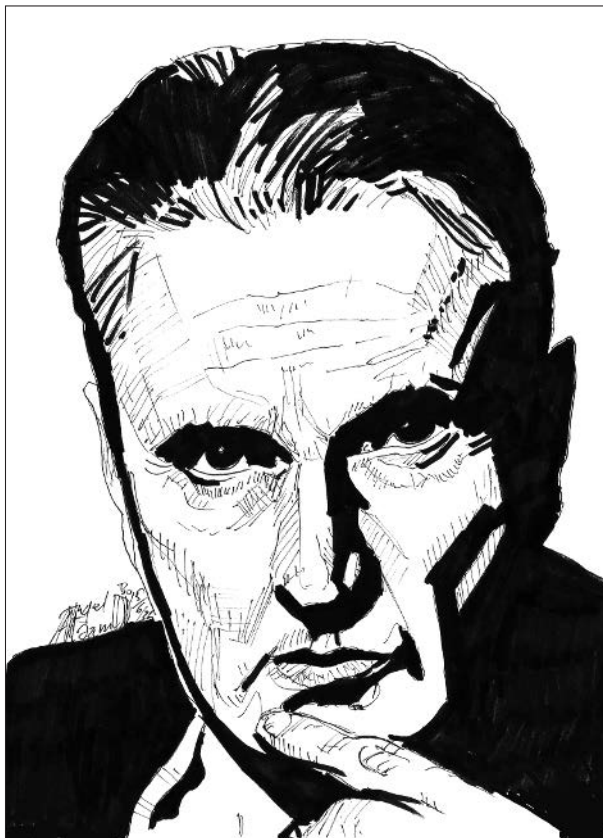


FIG. 4. Carlo Cassola (crediti: A. Adamo).

Con buona pace di tutti i vari Cassola, indagando sul tema dell'apporto di Galilei alla letteratura nostrana, si ha modo di comprendere che il punto di vista di Calvino, autore di tanti articoli, novelle, romanzi tra i quali diversi di dichiarata ispirazione scientifica (*Le Cosmicomiche*, *Ti con Zero*, *Palomar*, ...),² si inseriva in un percorso di idee battuto da molti altri intellettuali italiani e stranieri. Lo sottolinea Ezio Raimondi (FIG. 5) il quale, per il tramite di Feyerabend, afferma:

Uno storico eterodosso della scienza uscito dalla scuola del Popper, Paul Feyerabend, il quale al mito del metodo sostituisce la tesi di un'epistemologia anarchica e meno di altri dimentica le condizioni fisiche e storiche sempre così complesse che influenzano un mutamento scientifico, se è vero che la scienza è un processo diacronico eterogeneo che contiene anticipazioni incerte e incoerenti di ideologie future insieme con sistemi teorici raffinati e con forme di pensiero arcaiche e pietrificate, dà alla consapevolezza linguistica dello scienziato che parla a un lettore il nome di propaganda, ossia di retorica e di astuzia dialogica, e ne riconosce il maestro in Galileo. Per modificare i nessi correnti tra parole e parole e tra parole e impressioni, adoperando nuovi principi che trasforma-

² Interessante l'inciso «nella direzione in cui lavoro adesso» presente nella risposta a Cassola. Risalgono infatti a quegli anni *Le cosmicomiche* (1965) e *Ti con zero* (1967), mentre *Palomar* (1983) fu pubblicato anni dopo, forse a dimostrazione di una persistente fascinazione per la scienza che, piuttosto che riguardare un breve periodo della sua attività, guiderà a fasi alterne tutta l'esperienza letteraria dello scrittore.



FIG. 5. Ezio Raimondi (crediti: A. Adamo).

no la base sensibile delle proposizioni osservative e introducono nell'esperienza un elemento non empirico, non serve soltanto il metodo della ragione ordinata e per dir così, neutra e impersonale, ma occorre soprattutto una tecnica discorsiva dell'esempio, l'evidenza eloquente della presentazione, il gusto della sorpresa, l'arte di mettere a frutto l'imprevisto e d'interpretare gli umori, le ellissi del senso comune. Nella formazione di una nuova immagine del mondo e del linguaggio corrispondente, che è un processo a lungo termine dove solo a poco a poco i nuclei concettuali si distribuiscono, s'intrecciano e si integrano in una trama razionale, anche il temperamento, la *parola* del ricercatore, assume secondo il Feyerabend una funzione metodologica perché qualifica il movimento della conoscenza, che è anche un problema di stile, una figura profonda del comportamento verbale. (RAIMONDI 1978, p. 44)

Nelle pagine successive, il critico fa poi intuire, senza mai dichiararlo in modo netto, che sia il resoconto scientifico di stampo divulgativo, sia quello più tecnico destinato agli stessi scienziati, rappresentano forme di comunicazione introdotte da Galilei e aventi la piena dignità di genere letterario. Ne consegue che Raimondi ritenga tali forme di comunicazione non appartenenti alla sola letteratura scientifica, suggerendo piuttosto, e tra le righe, che siano da far afferire alla letteratura *tout court*. E se, tra le volute di concetti e termini tipici di una saggistica colta e a tratti autoriferita, il critico mostra simili idee solo in filigrana, a esplicitarle in modo chiaro è Andrea Battistini (FIG. 6) il quale, nell'introduzione al *Sidereus Nuncius*, dichiara (BATTISTINI 1993, 15):

L'esito [della pubblicazione del *Sidereus Nuncius*, nota mia] fu la fondazione di un genere letterario nuovo che in seguito avrebbe goduto di una fortuna ininterrotta: il rendiconto scientifico con cui si comunicava [trasparente il significato del *Nuncius*] il riassunto di fenomeni fino al-

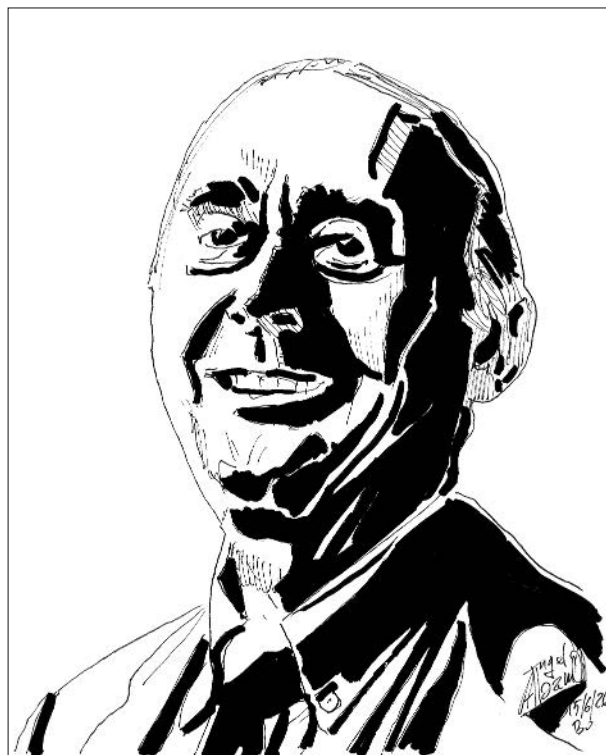


FIG. 6. Andrea Battistini (crediti: A. Adamo).

lora ignoti, esposti con quella prosa incisiva, agile nel ragionamento ed economica nell'argomentazione, che tanto è piaciuta al Calvino delle *Lezioni americane*.

Facendo ora nostre le posizioni di Calvino, Raimondi, Feyerabend, Battistini ..., i quali, fatta eccezione per l'ultimo, hanno tutti chiarito di riferirsi esclusivamente agli scritti in volgare di Galilei, tenderemo di evidenziare la presenza nel *Sidereus Nuncius* di elementi della sua prosa latina che, ritrovandosi a distanza di quattro secoli sostanzialmente identici per forma negli articoli scientifici, sembra proprio "abbiano fatto scuola" divenendo "invarianti" di una certa retorica scientifica del tutto funzionale al metodo da lui stesso introdotto.

Nel farlo, ci concentreremo quasi esclusivamente sulle ultime ventidue pagine delle cinquantotto totali di cui si compone il suo libretto, rimandando a pubblicazioni future l'analisi di altri aspetti importanti di quel libro, ed evidenziandone le similitudini – gli *invarianti*, appunto – con sezioni, oggetto, argomenti, prosa, ecc., di una qualsiasi, moderna pubblicazione di ricerca. Per rendere più agevole un raffronto comunque non immediato, scegliamo di usare un articolo, quello di Michel Mayor e Didier Queloz del 1995:³ una scelta che potrebbe apparire arbitraria, almeno fintanto che non venga esplicitato che, per il tema trattato, la brevità e per le novità in esso annunciate, si tratta di un articolo che può davvero costituire un valido termine

³ Grazie allo studio descritto in questo articolo, nel 2019 i due autori hanno ricevuto il premio Nobel per la fisica.

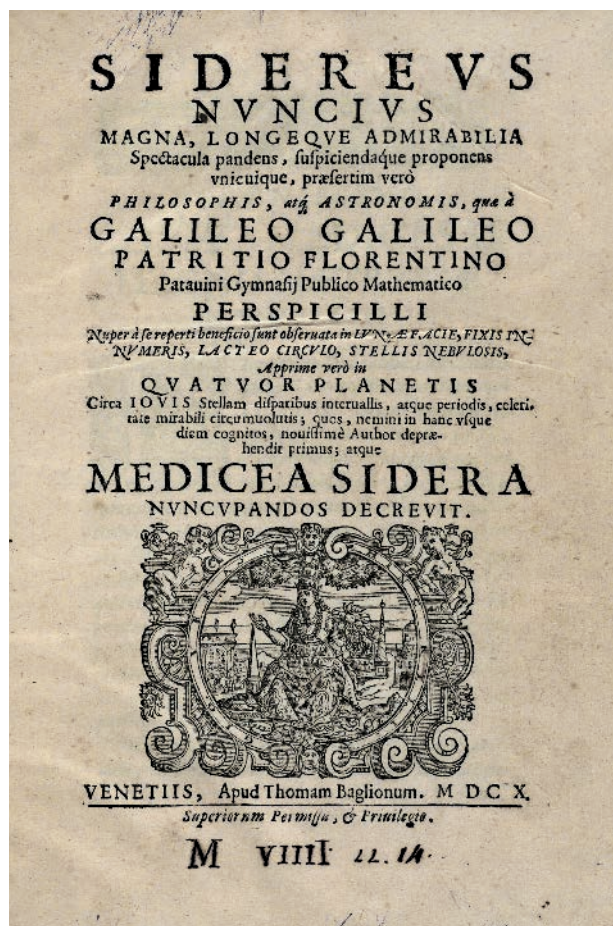


FIG. 7. Frontespizio del *Sidereus Nuncius* di Galileo Galilei, 1610 (Biblioteca Houghton, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35420870>).

moderno di paragone di quel testo galileiano. Tra l'altro, val la pena rimarcare che, se in ambito letterario il "pomo della discordia" tra i vari Calvino, Cassola, Ortese era esclusivamente il valore letterario, vero o presunto, del Galilei scrittore in volgare, affrontare il *Sidereus* equivarrà a spostare l'attenzione sulla sola incidenza del nostro nella letteratura e nella cultura scientifica, quella cara a Raimondi e a Battistini.

Il "vestito": affiliazione, titolo e ciò che esso promette

Cominciamo senza indugi il raffronto proposto a partire dal frontespizio delle due "opere". Analizzando quello del libro di Galilei, e confrontandolo con la pagina 355 del numero della rivista *Nature* che ospita l'articolo dei due astrofisici svizzeri (FIGG. 7 e 8), si intuisce come ci sarebbe materiale a sufficienza per far prendere al presente articolo una direzione diversa e incentrata piuttosto sul lungo percorso che la figura di scienziato – figura che dall'età di Galilei impiegherà ancora più o meno un secolo per affermarsi – compirà a partire dalla singolare dichiarazione di affiliazione del pisano. Mentre, infatti, in quel frontespizio il nostro si definiva

ARTICLES

A Jupiter-mass companion to a solar-type star

Michel Mayor & Didier Queloz

Geneva Observatory, 51 Chemin des Maillettes, CH-1290 Sauverny, Switzerland

The presence of a Jupiter-mass companion to the star 51 Pegasi is inferred from observations of periodic variations in the star's radial velocity. The companion lies only about eight million kilometres from the star, which would be well inside the orbit of Mercury in our Solar System. This object might be a gas-giant planet that has migrated to this location through orbital evolution, or from the radiative stripping of a brown dwarf.

FIG. 8. Titolo e abstract dell'articolo di MAYOR e QUELOZ, da «Nature», 1995.

«Patrizio Fiorentino dello Studio Padovano Pubblico Matematico», quindi dipendente del governo locale della Serenissima Repubblica di Venezia, i due astrofisici nostri contemporanei dichiarano in modo più stringato di appartenere all'Osservatorio di Ginevra (segue indirizzo), un ente facente parte della pubblica amministrazione della confederazione elvetica.

Nel caso di Galilei, la copertina del suo libro in lingua latina datato 13 marzo 1610 si presenta davvero "rumoroso", anche se decisamente in linea con lo stile delle altre pubblicazioni dell'epoca. A questa pagina, arricchita da una illustrazione, da scritte con font diversi e di diversa dimensione, fa da contraltare la pagina 355 della rivista *Nature* nella quale il 23 Novembre del 1995 è comparso in inglese, nuovo idioma internazionale in sostituzione del latino in voga nel XVII secolo, il titolo dei due astrofisici dell'Osservatorio di Ginevra. Il titolo del lavoro di Galileo è *Sidereus Nuncius* ("Annuncio sidereo") cui, in quello stesso frontespizio, segue una specie di anticipazione del riassunto (*abstract*) vero e proprio che troviamo all'interno di questo libello di sole cinquantotto pagine.⁴ La ricchezza decisamente barocca di quella prima pagina dell'opera di Galilei di sicuro trova giustificazione non solo nella consuetudine editoriale dell'epoca, ma anche nel fatto che si trattava di un libro, appunto, e non di un semplice articolo come invece nel caso dello scritto di Mayor e Queloz, posto all'interno di una rivista scientifica – una tipologia di pubblicazione inesistente nel Seicento – che prevede la presenza di tanti altri contributi e di almeno altrettanti autori impegnati su differenti problemi di ricerca fisica, astrofisica, chimica, geologica, ... È interessante riportare qui cosa riferisce il Krasnov (KRASNOV 2022) quando spiega come scrivere un articolo scientifico,

L'obiettivo di ogni autore è essere letto, compreso e apprezzato. Per raggiungere questo traguardo, è indispensabile che i risultati presentati abbiano il massimo valore scientifico. Tuttavia, non basta: è altrettanto importante che lo stile sia adeguato alle esigenze della comunicazione contemporanea. Un articolo scientifico dovrebbe raccontare una storia chiara, lineare e facilmente assimilabile. Proprio come un film hollywoodiano ben costruito, deve avere un prologo, uno sviluppo e una conclusione

⁴ <https://archive.org/details/SidereusnunciusooGali/page/n5/mode/2up>.

soddisfacente. In altre parole, deve guidare il lettore verso la risposta alle tre domande fondamentali che ogni ricerca dovrebbe affrontare: perché? che cosa? e quindi, quale significato o quale impatto ne deriva?

Di sicuro il titolo “Nunzio sidereo” incontrò le “esigenze della comunicazione contemporanea” dell’epoca in cui Galilei scriveva, e altrettanto efficace in tal senso, tenendo bene a mente il ritratto del lettore medio di una rivista specialistica come «Nature»,⁵ risulta essere pure il titolo «Un compagno di massa gioviana per una stella di tipo solare». Nel primo caso, quindi all’inizio del XVII secolo, che con *nunzio sidereo* si intendesse un messo, un banditore in arrivo dalle stelle, o una rivelazione dettata proprio dagli astri, un titolo siffatto trovava di sicuro un pubblico pronto a sentire qualcuno o qualcosa che (ri)portasse notizie da quelle altezze spiegabili solo, secondo la Chiesa, con i mutamenti e i capricci della volontà divina; parimenti, alla fine del XX secolo, l’annuncio circa l’esistenza di un pianeta simile al “nostro” Giove, sorpreso a girare intorno a un’altra stella simile al Sole, attirò l’attenzione di numerosi specialisti e appassionati da tempo in attesa di una simile notizia che, nell’aria da quando lo teorizzò Giordano Bruno (se non da prima), finalmente offriva la prova definitiva del crollo del paradigma della centralità e unicità della nostra Terra.⁶

Le prime politiche della scienza

Di tutte le sezioni, dichiarate da un titolo o semplicemente discernibili all’interno dei due lavori a confronto, quella dei ringraziamenti (*acknowledgments*) è la più problematica in quanto – forse perché non vi era nessuno da ringraziare, o forse a causa dell’esiguo spazio messo a disposizione dalla rivista *Nature* – nell’articolo di Mayor e Queloz non ve ne è traccia. In ogni caso, sappiamo che non è infrequente trovare nelle pubblicazioni scientifiche contemporanee una sezione dedicata ad omaggiare chi ha fornito un’immagine, un grafico, un dato, uno strumento o un aiuto di qualche tipo.⁷ In ogni caso, quando presente, la sezione dedicata a omaggiare qualcuno per simili contributi è oggi

⁵ Rivista che tende a pubblicare sempre articoli “rivoluzionari”, cosa che costituisce un ulteriore parallelo tra la pubblicazione di Galilei e quella di Mayor e Queloz.

⁶ Un paradigma che già da tempo si sapeva dovesse essere rigettato per via logica e statistica, ma che attendeva ancora una prova empirica. In realtà, tale paradigma, già da tempo ritenuto falso per motivi aventi a che fare con altri studi di astrofisica, cosmologia e statistica, era stato abbandonato dal 1990 grazie alla scoperta compiuta da Aleksander Wolszczan e Dale Fraile di due pianeti orbitanti attorno alla pulsar PSR B1257+12.

⁷ Ad esempio, si può trattare di una preventiva lettura dell’articolo compiuta da uno o più colleghi in vista dell’invio del *paper* a una rivista, con lo scopo di far emergere eventuali criticità, prima ancora che a segnalare sia l’anonimo *peer reviewer* di fiducia dell’editore.

estremamente stringata e viene posta alla fine, addirittura dopo le conclusioni e prima della bibliografia.

L’opera di Galilei qui analizzata invece si apre subito con un panegirico lungo ben quattro facciate col quale l’autore dedica quel lavoro, e la scoperta più importante che in esso si *annuncia*, a Cosimo II dei Medici, granduca di Toscana. I motivi di un tale, debordante tributo – Battistini ne parla in termini di «cerimoniose genuflessioni verbali»⁸ – sono diversi: si va dalla nostalgia per la sua terra natia dove spera di tornare a vivere, alla speranza che il granduca, nel quale Galilei cerca la figura di protettore e mecenate, quindi di finanziatore dei suoi studi, possa affrancarlo dagli obblighi didattici caratterizzanti la sua vita universitaria padovana, così da potersi dedicare *in toto* all’attività di ricerca. Inoltre, confida in una remunerazione più alta che lo aiuti a far fronte agli impegni della sua vita privata resa complicata dalla necessità di mantenere tre figli e due sorelle. Ed è proprio all’affermarsi successivo di enti come università e osservatori che, senza piaggeria alcuna, ai moderni estensori di un articolo scientifico basta citare a quali istituzioni facciano capo (ovvero da quale istituzione vengono stipendiati in modo regolare). Tutto ciò che è avvenuto tra il 1610 e il 1995 è una storia di conquiste e sconfitte politiche e sociali che, dalla progressiva sparizione di protettorati e piccoli domini di singoli baroni locali, hanno gradualmente condotto alla nascita delle nazioni e, in un secondo momento, pure alla loro sensibilizzazione nei confronti delle istituzioni in cui si fa cultura e ricerca. In definitiva, se proprio vogliamo trovare nel *Sidereus* una sezione della quale non è rimasta più traccia nei moderni lavori scientifici, di sicuro dobbiamo rivolgere la nostra attenzione a quanto contenuto nelle prime pagine di quel libro, la cui pomposità imposta dallo stile dell’epoca e da quanto detto prima circa gli obiettivi del suo autore, contrasta fortemente con la “secchezza” delle pagine successive.

Catturare l’attenzione con un sunto

Ciò che salta facilmente all’occhio di chi si pone a leggere il lavoro di Galilei come anche qualsiasi altro articolo scientifico moderno e/o contemporaneo è invece la presenza di un riassunto iniziale (*abstract*) che racconti a grandi linee quali concetti verranno approfonditi nel prosieguo. Come si può verificare leggendo le due traduzioni in italiano sia del riassunto iniziale scritto da Galilei, sia di quello di lunghezza confrontabile a firma di Mayor e Queloz, si scopre che non vi sono sostanziali differenze nella forma e nel contenuto informativo, e già questi due elementi, lunghezza e forma, possono far so-

⁸ BATTISTINI, p. 17.

spettare che l'adozione di questo particolare stragemma comunicativo di Galilei abbia fatto, e continui a fare scuola:

Galilei: Avviso Astronomico che contiene e chiarisce recenti osservazioni fatte per mezzo di un nuovo occhiale nella faccia della Luna, nella Via Lattea e nelle stelle nebulse di innumerevoli stelle fisse, nonché in quattro pianeti non mai finora veduti, chiamati col nome di ASTRIMEDICEI. (in latino, 253 caratteri spazi inclusi)

M. & Q.: La presenza di un compagno di massa gioviana della stella 51 Pegasi è stata ottenuta dalle osservazioni di variazioni periodiche nella velocità radiale della stella. Tale compagno dista dalla stella solo di circa otto milioni di chilometri, una distanza che nel nostro Sistema solare risulterebbe essere molto minore di quella dell'orbita di Mercurio. Questo oggetto potrebbe essere un pianeta gigante e gassoso migrato in quella zona grazie all'evoluzione orbitale, oppure rimasto dalla sottrazione di gas compiuta ai danni di una nana bruna. (in inglese, 437 caratteri, spazi inclusi)

E ricordandoci quanto detto da Krasnov circa le domande importanti in un articolo scientifico, qui troviamo molto bene esemplificate le risposte a quei tre quesiti fondamentali “perché dovrei leggere questo lavoro?”, “di cosa si parla?”, “quindi quale significato o quale impatto deriva dalle scoperte annunciate?”

Si tratta di una notevole svolta stilistica: dal Seicento ad oggi è chiaro che, sempre grazie alla sintesi galileiana (da contrapporre alla verbosità kepleriana), nel mondo accademico ha agito il tentativo di raccontare storie che non subissero il *bias* dell'esperienza personale, delle credenze soggettive, dei sogni, delle convinzioni irrazionali di chi scrive, così da far posto a una narrazione oggettiva, realistica, asettica di ciò che gli strumenti come il cannocchiale, ottusi per definizione, raccontano. Ed ecco spiegato come mai le tre *“W”*, «why, what and so what?» cui fa cenno il Krasnov differiscano in numero e natura dalle famose cinque *“W”* del giornalismo «who, what, where, when, why?»: a meno di indagini particolari, ad esempio di tipo psicologico, l'elemento umano, il “chi?”, e gli altri elementi quasi da *gossip* come il “dove?” e il “quando?”, se riferiti agli autori, vengono puntualmente esclusi dal resoconto scientifico e, al limite, contemplati nelle conclusioni finali. Ma tutto ciò non è affatto banale. Come infatti il solito Battistini fa notare:

Alla veste editoriale disadorna corrispondeva una prosa che, per indirizzarsi come s'è detto a «studiosi di professione», aveva fatto ricorso alla lingua internazionale del latino che, per quanto padroneggiato da Galileo, non possedeva, nel suo andamento scolastico e funzionale, l'eleganza nativamente arguta ed espressiva della sua inimitabile prosa italiana. A qualcuno anzi lo stile del *Sidereus parve* addirittura «aridus» e per qualche verso la definizione non era del tutto sbagliata, specie se il corrispondente cui si confidava questa censura era Keplero, uno scienziato dotato di «poderosa cultura umanistica» e grande virtuoso della lingua latina, raffi-

nato imitatore tanto dell'armoniosa sintassi ciceroniana quanto del lessico sempre sorprendente di Plauto. Non dimeno, malgrado le apparenze, Galileo era rivoluzionario anche nella scelta stilistica adottata, modernissimo nella scrittura limpida e fattuale, facile a leggersi, sobrio e asciutto ancorché ardente di un fervore sotterraneo che qua e là fa trasparire un'emozione vibratile e commossa.

Confido nel fatto che il lettore avvezzo alla lettura di articoli scientifici riconoscerà nei giudizi espressi nei confronti dello stile di Galilei gli stessi che di solito vengono espressi allorché si parla dello stile dei lavori scientifici, nonché di scienza in generale, attività dipinta, di solito da chi non se ne occupa, come “arida”, mentre per gli scienziati è appunto “sobria”, da trattare con discorsi “disadorni” e “asciutti”: un modo del tutto diverso da quello del suo “rivale” Keplero il quale puntualmente cedeva alle lusinghe dell'autobiografismo, del citazionismo e della digressione umanisticamente colta ma che, proprio grazie alla lettura di Galilei e alla scoperta dell'incisività del suo modo di parlare di scienza, tenderà ad adottarne lo stile, apprezzando soprattutto la suddivisione in sezioni data dal pisano al materiale testuale.

Pur essendovi ancora qui e là nel testo galileiano concessioni a un certo egocentrismo⁹ – quello che potremmo far rientrare nella prima *“W”* del giornalismo, corrispondente alla domanda *“Who?”* –, come già detto più sopra, siamo qui di fronte alla nascita di un genere e di un modo di raccontare la scienza ancora vivo e in uso perché efficace.

Insegnare a pescare, piuttosto che regalare un pesce. La riproducibilità delle osservazioni

Nella parte introduttiva del suo scritto, Galilei compie pure un'altra operazione comunicativa del tutto inedita per il suo tempo: appare consapevole del fatto che, volendo che tutti credano ai risultati delle sue osservazioni, deve prima fornire ai suoi potenziali lettori la possibilità di riprodurle. Ed è così che, dopo aver dedicato qualche pagina alla pura propaganda della sua attività – una parte che potremmo definire, appunto, “introduzione” e che con questo titolo ancora sopravvive nei moderni articoli scientifici – e al tentativo di tenere avvinto il lettore fino alla fine del testo, in circa due facciate gli spiega come costruire uno strumento uguale al suo per forma e, soprattutto, prestazioni, così da soddisfare quella condizione prevista dal metodo scientifico nella sua formulazione moderna che va sotto il nome di “riproducibilità”:

perché è necessario in primo luogo che si procurino un cannocchiale perfettissimo, il quale rappresenti gli og-

⁹ Val la pena qui ricordare che, in assenza di riviste scientifiche accreditate cui inviare gli articoli contenenti i resoconti di nuove scoperte, la loro paternità era cosa difficile da dimostrare.

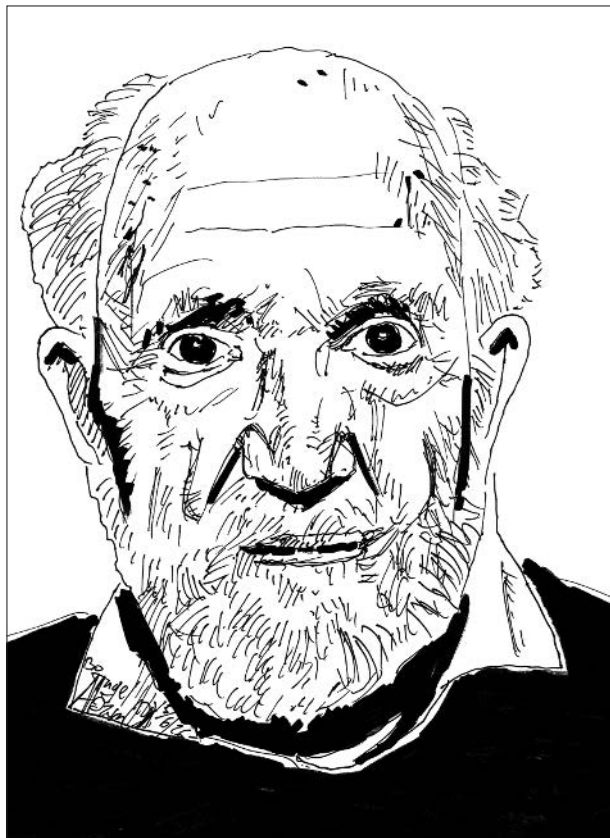


FIG. 9. Michel Mayor (crediti: A. Adamo).

getti chiari, distinti e sgombri d'ogni caligine, e che li ingrandisca almeno di quattrocento volte, poiché allora li farà apparire venti volte più vicini; che se tale non sarà lo strumento, invano si tenterà di osservare tutte quelle cose che da noi furono viste nel cielo e che più oltre saranno enumerate.

Pur senza entrare in dettagli costruttivi¹⁰ come invece fa Galilei, per lo stesso motivo che ha spinto il pisano a farlo, subito dopo la breve introduzione, all'inizio del paragrafo «Scoperta del compagno di massa gioviana», pure Mayor e Queloz (FIGG. 9 e 10) descrivono ELODIE: lo spettrografo montato sul telescopio francese dell'osservatorio di Haute-Provence senza il quale la loro scoperta non sarebbe stata possibile:

Le misure presentate in questo lavoro sono state ottenute con ELODIE, il nuovo spettrografo *echelle* a fibre ottiche installato presso l'Osservatorio di Haute-Provence, in Francia. Questo strumento consente di determinare la velocità radiale di stelle fino alla nona magnitudine con una precisione dell'ordine di pochi metri al secondo. Tale risultato è reso possibile da una tecnica di correlazione incrociata che concentra l'informazione Doppler contenuta in circa 5.000 linee di assorbimento dello spettro stellare. La posizione della funzione di correlazione incrociata permette di ricavare la velocità radiale della stella, mentre la sua larghezza fornisce informazioni sulla

¹⁰ Confidavano sul fatto che si tratta di informazioni facili da reperire in altri resoconti scientifici già pubblicati e interamente dedicati a quegli aspetti squisitamente tecnici.



FIG. 10. Didier Queloz (crediti: A. Adamo).

velocità di rotazione dell'astro. L'elevatissima accuratezza raggiunta nelle misure deriva dalla combinazione di due elementi fondamentali: da un lato, l'effetto di omogeneizzazione del segnale garantito dalle fibre ottiche; dall'altro, il monitoraggio continuo delle variazioni strumentali durante l'esposizione mediante una lampada di calibrazione. Grazie a queste soluzioni tecnologiche, ELODIE rappresenta uno strumento particolarmente efficace per studi che richiedono misure di velocità radiale estremamente precise.

«Homo sum» – L'introduzione in un articolo scientifico

Poco più su abbiamo parlato di alcuni residui di autobiografismo sopravvissuti nella prosa comunque estremamente depurata di Galilei. Ad esempio, ne troviamo giusto uno subito dopo la descrizione tecnica del suo strumento e dei suggerimenti su come riprodurlo. Dopo aver raccontato delle sue incredibili osservazioni della Luna, della Cintura di Orione e delle Pleiadi, Galilei infatti inizia dicendo:

Pertanto il giorno 7 gennaio del corrente anno 1610, alla prima ora della notte seguente, mentre guardavo gli astri celesti col cannocchiale, mi si presentò Giove, [...].

Sembra quasi che, costretti dalla consuetudine in uso nella comunità scientifica, la quale impone di riprodurre la "forma classica di articolo scientifico così come inizialmente fatto da Galilei", i due astrofisici svizzeri, dimostrando di non essere immuni da tendenze comunque umane, subito dopo la descrizione dello spettrografo da loro usato, iniziano la narrazione di quella loro avventura scientifica raccontando:

Le prime osservazioni di 51 Peg iniziarono nel settembre 1994. Nel gennaio 1995, una prima orbita di 4,23 giorni è stata computata e confermata da osservazioni intensive durante otto notti consecutive nel luglio 1995, e otto in settembre 1995.

Questa parte del loro articolo, classificabile come “introduzione” anche se non vi è qui un titolo a classificarla come tale, è quella nella quale, insieme alle conclusioni, è consentito presentare caratteri più o meno autobiografici. In essa si descrive lo stato dell’arte, dando le coordinate della propria ricerca rispetto alla mappa generale dell’intero ambito di studi. Inoltre, quando Galilei racconta di avere trovato attorno a Giove «quattro PIANETI, non mai dalle origini del mondo fino ai nostri tempi veduti» e che essi «compiono i loro giri attorno a esso, nello stesso tempo che effettuano tutti insieme i periodi dodecennali attorno al centro del mondo»,¹¹ si tratta di un passo che, ancora una volta, può essere messo in diretta connessione con ciò che si legge all’inizio dell’articolo usato come confronto, allorché i due estensori rivelano di aver finalmente, per la prima volta, osservato un pianeta simile a Giove attorno a una lontana stella di tipo solare:

Per oltre un decennio, diversi gruppi di ricerca hanno monitorato le velocità radiali di decine di stelle nel tentativo di individuare i moti orbitali indotti dalla presenza di compagni planetari massicci. L’obiettivo era semplice nella sua formulazione ma estremamente ambizioso nella pratica: rilevare indirettamente pianeti simili a Giove attraverso la lieve oscillazione gravitazionale impressa alla stella ospite. Nonostante i notevoli progressi tecnologici raggiunti, le campagne osservative basate sulla tecnica Doppler non avevano finora fornito alcuna evidenza convincente dell’esistenza di pianeti gioviani o di nane brune attorno alle stelle studiate. A partire dall’aprile 1994 abbiamo avviato un programma sistematico di monitoraggio di 142 stelle nane di tipo spettrale G e K, ottenendo misure di velocità radiale con una precisione di circa 13 m/s. Dopo diciotto mesi di osservazioni, un numero ristretto di stelle ha mostrato variazioni di velocità significative. Sebbene la maggior parte dei candidati richieda ulteriori verifiche osservative, uno dei risultati emerge con particolare evidenza. Presentiamo infatti la scoperta di un compagno planetario con una massa minima pari a circa metà di quella di Giove, in orbita a soli 0,05 unità astronomiche da 51 Pegasi, una stella molto simile al Sole. Si tratta di una scoperta destinata a segnare una svolta nella ricerca extrasolare: la prima evidenza

¹¹ Qui Galilei, seguendo Copernico, intende il Sole. Lo esplicita nell’introduzione allorché scrive: «Ma quello che supera di gran lunga ogni immaginazione, e che principalmente ci ha spinto a farne avvertiti tutti gli Astronomi e i Filosofi, è l’aver noi appunto scoperto quattro Stelle erranti, da nessun altro prima di noi conosciute né osservate, le quali, a somiglianza di Venere e di Mercurio attorno al Sole, hanno lor propri periodi intorno a una certa Stella principale del numero di quelle conosciute [...]». Un periodo nel quale sapientemente l’autore tiene alta l’attenzione omettendo di svelare subito che quella «Stella principale del numero di quelle conosciute» altro non è se non il pianeta Giove.

convincente di un pianeta orbitante attorno a una stella di tipo solare al di fuori del nostro Sistema solare.

Dai due passi citati, tra l’altro, emerge anche un’altra esigenza rimasta del tutto immutata dal Seicento ai giorni nostri: stabilire la propria priorità delle scoperte. Si è già detto più su che nel Seicento, in assenza di riviste specializzate, era davvero difficile dimostrare di essere arrivati prima a effettuarne una. E se questo era un problema per Galilei e i suoi contemporanei, si scopre che uno analogo ha assillato pure i due astrofisici svizzeri alle prese con la “gara” per la rilevazione della presenza di un pianeta extrasolare: una gara che impegnava già da tempo molti gruppi di ricerca sparsi per il mondo. La scelta di non inserire le date delle loro osservazioni nella tabella insieme agli altri dati preferendo piuttosto, ancora una volta, la “forma galileiana”, ovvero la narrazione verbosa del calendario delle loro osservazioni, appare proprio essere una sottolineatura importante in tal senso. In pratica, sia il pisano che i due svizzeri stanno dicendo ai rispettivi concorrenti: “arrendetevi all’evidenza: anche se abbiamo pubblicato l’articolo in data odierna, la nostra scoperta è di molto precedente (= “when”). Siamo noi i vincitori!” (= “who”).

Da Giove a gioviano in 385 anni

Interessante pure la chiusura dei due lavori a confronto. Mentre Galilei ovviamente si sofferma sulla dimostrata possibilità che vi siano anche altri luoghi, oltre a quelli occupati dalla Terra e dal Sole, attorno ai quali possono svolgersi rotazioni di pianeti

perché ora, non più abbiamo un solo Pianeta rotante intorno ad un altro [la Luna attorno alla Terra, nota mia], mentre ambedue percorrono una grande orbita intorno al Sole, bensì quattro Stelle l’esperienza sensibile ci mostra erranti intorno a Giove, a somiglianza della Luna intorno alla Terra, mentre tutte insieme con Giove, nello spazio di 12 anni, tracciano un gran giro intorno al Sole,¹²

Mayor e Queloz sottolineano come finalmente si possa affermare con decisione che esistono altri pianeti che ruotano attorno ad altre stelle come la nostra:

Se le evidenze raccolte finora verranno confermate, [...] 51 Pegasi potrebbe rappresentare il primo esempio noto di sistema planetario extrasolare associato a una stella di tipo solare. Una prospettiva che apre scenari del tutto nuovi nello studio della formazione ed evoluzione dei sistemi planetari e che suggerisce, per la prima volta in modo concreto, che il Sistema solare potrebbe non essere un caso unico nell’universo.

Ed è proprio in simili periodi – la cui similitudine, nonostante la distanza temporale che li separa, pare

¹² G. GALILEI, *Sidereus Nuncius*, 1610, pp. 28-29.

ancora una volta indicare operativamente ciò che non è possibile dimostrare, ovvero l'appartenenza di entrambi a un preciso genere letterario-scientifico – che è possibile intravedere, sia nel testo di Galilei che in quello dei due astrofisici svizzeri, ciò che Battistini notava allorché si riferiva a «un fervore sotterraneo che qua e là fa trasparire un'emozione vibratile e commossa»: qui, oltre alla bellezza del fare scienza, vi è l'inconsapevolezza di fare letteratura, ma la piena consapevolezza di tutti che si sta facendo la storia.

Referenze bibliografiche

- I. CALVINO, *Lezioni americane*, Milano, Garzanti, 1988.
G. GALILEI, *Sidereus Nuncius*, Marsilio, Venezia, 1993, con l'introduzione di A. Battistini.
V. M. KRASNOV, *How to Write a Contemporary Scientific Article?*, «Education Research International», 2022, online library.wiley.com/doi/10.1155/2022/5156888.
M. MAYOR, D. QUELOZ, *A Jupiter-mass companion to a solar type star*, «Nature», 378 (23) November 1995, p. 355.
E. RAIMONDI, *Scienza e letteratura*, Torino, Einaudi, 1978.

Angelo Adamo, PhD e Master in Comunicazione della Scienza, è Primo Tecnologo presso l'INAF-IRA di Noto (SR). Laureato in Astronomia, in Linguaggi del fumetto e in Musica ad Applicazione Multimediale, lavora anche come musicista, illustratore-fumettista e recita in due suoi spettacoli teatrali su temi astronomici. Dirige il gruppo *AsCultA* di ricerca in Astronomia Culturale e il gruppo di divulgazione del gruppo *GraWita*, si occupa di osservazioni per il progetto *ASTRI* e fa parte della commissione C5 dell'International Astronomical Union. Scrive e disegna sul suo blog *Squid Zoup*, tiene la rubrica *Altriversi* nel semestrale dell'INAF *Universi*, ha illustrato vari libri altrui e scritto e illustrato i suoi: *Pianeti tra le note - Appunti di un astronomo divulgatore* (Milano, Springer, 2009), *Storie di Soli e di Lune - Racconti di sogni, racconti di scienza* (San Lazzaro di Savena, Giraldi, 2009), *La pazza scienza* (con Luca Perri, Milano Sironi, 2017), *Stelle di neutroni* (collana «Viaggio nell'Universo», Milano, RCS Media Group, 2020), *Domicili cosmici - Lontani pianeti ai confini dello sguardo* (Torino, Codice, 2022).

Professione: astronoma.

Il caso dell'Osservatorio di Torino

Gabriella Bernardi

INAF • Osservatorio Astronomico di Torino

Sebbene partigiano del sistema dei concorsi, io devo però riconoscere che in alcuni casi essi non sono il modo più indicato per provvedere alle cariche. Prendo un esempio fra i tanti. La Facoltà di matematica di Torino è frequentata da non poche signorine, alcune delle quali hanno veramente attitudine per quegli studi severi. Se poi il posto di assistente alle cattedre del primo biennio si desse per concorso, facilmente questo sarebbe vinto da una delle Dottoresse ora dette. Ora, sarebbe prudente mettere come assistente di cattedra, per esempio di Geometria descrittiva e corrispondente disegno, una giovinetta in mezzo a 180 studenti?

QUESTE righe, scritte nel 1906, compaiono in una nota di un contributo firmato da padre Giovanni Boccardi (1859-1936), allora direttore del R. Osservatorio Astronomico di Torino, in merito all'introduzione dei concorsi pubblici per il reclutamento del personale universitario. Il dubbio che porta come esempio sulla possibile presenza femminile non era affatto ipotetico: si deve infatti proprio a lui l'ingresso delle prime astronome professioniste in Piemonte. Un processo inaugurato con l'inizio della sua direzione nel 1903 e concretizzatosi con le prime assunzioni dal 1904; le scienziate operarono inizialmente presso la sede centrale di Palazzo Madama in Piazza Castello e successivamente, dopo il trasferimento dell'Osservatorio, sulla collina torinese. Prima di comprenderne le cause vediamo qual è stato il contesto storico di partenza.

Contesto Storico dell'Osservatorio

La storia dell'Osservatorio Astrofisico di Torino inizia ufficialmente in altre sedi e prima, nel 1759, anno della sua fondazione come piccola torre osservativa adiacente all'edificio universitario in via Po, sotto la direzione del padre Giovanni Battista Beccaria (1716-1781). Questa istituzione rispondeva a una necessità formale documentata sin dal 1714 negli Archivi di Stato di Torino, decenni dopo l'introduzione dell'astronomia nei programmi di matematica della città. Nel corso di due secoli e mezzo, la sede dell'Osservatorio è stata trasferita più volte per motivazioni logistiche o accademiche: nel 1790 presso il Collegio dei Nobili, sede della Reale Accademia delle Scienze, e nel 1822, grazie al supporto del re Vittorio Emanuele I, sopra una delle quattro torri del Castello Reale, noto oggi come Palazzo Madama.

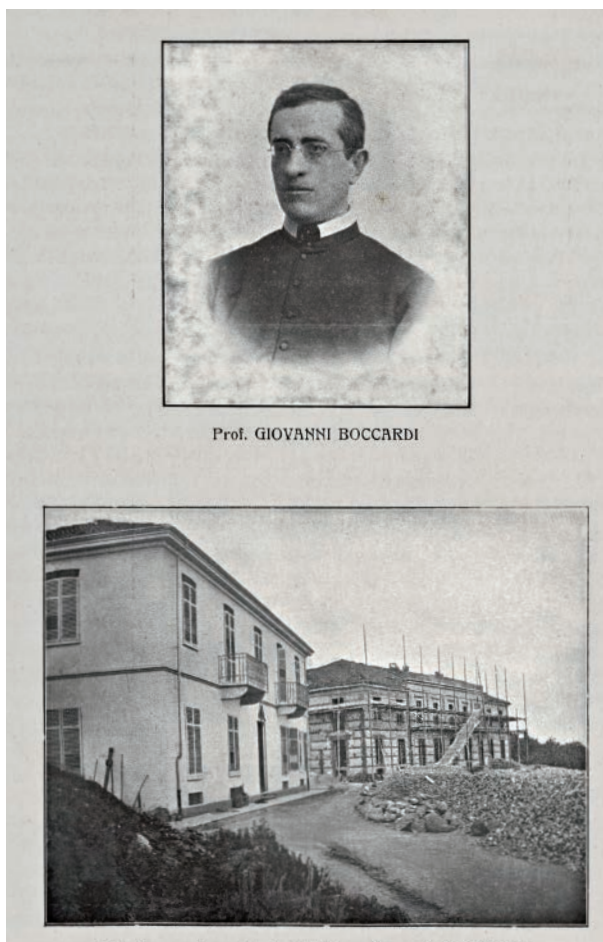


FIG. 1. Fotografia storica della nuova sede dell'Osservatorio Astronomico di Torino a Pino Torinese durante la sua costruzione e ritratto del direttore Boccardi. (Su gentile concessione: Biblioteca dell'Osservatorio di Torino)

Alla fine del XIX secolo, l'aumento dell'illuminazione pubblica cittadina e il malfunzionamento del telescopio equatoriale resero imperativo un ulteriore trasferimento, unito al bisogno di spazi più ampi per le attività istituzionali. Il nuovo direttore, Francesco Porro (1861-1937), individuò la sede ideale sulla collina meridionale di Torino, presso il sito denominato "Bric Torre Rotonda" a Pino Torinese, dopo un iniziale e parziale ripiego presso il giardino dell'Hotel Grande Albergo di Superga. I lavori di costruzione della strada d'accesso iniziarono nel 1907 e le attività di ricerca scientifica nella nuova sede presero il via nel 1913 (FIG. 1). Fu in questo contesto di transizione geografica e istituzionale che il successore di Porro, padre Giovanni Boccar-



FIG. 2. Il verbale nel registro ufficiale dell'Università di Torino che riporta la data e l'esito dell'esame di laurea, del 9 dicembre, della dott.ssa Viriglio, la prima astronoma professionista ad essere stata assunta, immediatamente lo stesso anno (su gentile concessione: Archivio storico dell'Università di Torino).

di, scelse di impiegare per la prima volta personale femminile.

Le Fonti Archivistiche e la Svolta Giuridica del 1923

La ricostruzione storica della presenza femminile a Torino è scaturita da alcune lastre fotografiche da scansionare dell'inizio dello scorso secolo. Dovendo indentificare gli autori delle foto astronomiche, sono stati consultati gli annuari del personale. Da qui, osservando il personale presente, sono emersi diversi nomi femminili, distribuiti su un ventennio. Smesso il lavoro delle lastre (in realtà arrestato per mancanza di fondi), per curiosità è poi iniziata una ricerca basata su un incrocio metodologico di diverse fonti documentarie come:

- gli *Annuari del R. Osservatorio di Torino* (pubblicati dal 1905 al 1926 sotto la direzione di Boccardi), i quali riportavano l'organigramma del personale nella prima pagina, sebbene tale consuetudine si sia interrotta nel 1913;
- gli *Annuari dell'Università degli Studi di Torino*, che hanno registrato i dipendenti dell'Osservatorio dal 1876 fino al 1924;
- i registri delle carriere studentesche, i registri degli esami di laurea e i ruoli paga conservati presso l'Archivio Storico dell'Università di Torino;
- i fascicoli personali dei dipendenti custoditi nell'Archivio dell'Osservatorio Astrofisico di Torino.

Il tracciamento del personale femminile subisce un brusco arresto a causa di un cambiamento legislativo fondamentale: l'emanazione del Regio Decreto numero 3160 del 31 dicembre 1923. Questo decreto

istituì gli Osservatori Astronomici italiani come enti giuridicamente indipendenti e separati dalle università. Di conseguenza, negli Annuari universitari successivi all'anno accademico 1924-1925 compare unicamente il Direttore dell'Osservatorio (in quanto titolare della cattedra di Astronomia), mentre gli altri dipendenti, privati del legame formale con l'ateneo, cessano di essere menzionati. L'assenza di dettagli nei fascicoli amministrativi dell'Osservatorio crea un lungo vuoto documentale di circa quarant'anni.

Le 'Pioniere Laureate'

L'accesso delle donne all'Osservatorio di Torino fu strettamente legato alle riforme sociali della fine del XIX secolo, che consentirono l'ingresso femminile nelle università. Nel 1888 Ida Terracini fu la

prima donna a iscriversi alla Facoltà di Scienze di Torino, laureandosi in Matematica nel 1892. La matematica rappresentava all'epoca l'unico corso scientifico accessibile anche a diplomati di istituti tecnici e costituiva la via d'accesso preferenziale alla ricerca astronomica.

Un elemento accademico di cruciale importanza emerge dall'analisi dei registri: le prime astronome torinesi compirono i loro studi sotto l'insegnamento diretto di padre Giovanni Boccardi. La figura del Direttore guidava attivamente la loro formazione e la sua firma compare regolarmente tra quelle dei professori verbalizzanti e dei membri della commissione nei registri ufficiali degli esami di laurea delle studentesse, a testimonianza di una continuità didattica e scientifica tra l'ateneo e l'istituto di Pino Torinese.

In TAB. 1, si propone il quadro sinottico delle studiose laureate che hanno prestato servizio nella struttura e che si fermarono in media un paio d'anni, per poi proseguire nella carriera didattica.

DOTT.SSA LUISA VIRIGLIO (1904-1906)

Nata a Torino l'8 settembre 1879 e figlia di un noto scrittore della cultura e della storia locale, Luisa (o Luigia) Giuseppina Viriglio si iscrisse l'università nel 1895, laureandosi in Matematica il 9 dicembre 1904. La sua tesi principale, intitolata *Monografia sui gruppi d'ordine finito di sostituzioni lineari*, fu accompagnata da una dissertazione secondaria di impronta astronomico-geodetica (*Lunghezza di un arco di parallelo. Elementi dell'ellissoide dedotti da due archi differenti*), che ne svelò l'immediata attitudine per la disciplina (FIG. 2).

Assunta subito dopo la discussione di laurea, come Assistente Volontaria presso la sede storica di Pa-

Nome	Periodo di attività	Ruolo in Osservatorio	Tesi di Laurea / Focus Scientifico	Note Principali
Dott.ssa Luisa Viriglio	1904-1906	Assistente Volontaria	<i>Lunghezza di un arco di parallelo, Elementi dedotti da due archi differenti</i>	Prima firma femminile su una pubblicazione ufficiale dell'istituto (1905). Curò progetti didattici con il matematico Giuseppe Peano.
Dott.ssa Ernesta Fasciotti	1905-1906	Assistente Volontaria	Esame di Astronomia superato con Boccardi con la votazione di 27/30	Primo caso di studentessa proveniente da un istituto tecnico; poi frequentò l'Università di Palermo.
Dott.ssa Giovanna Greggi	1911-1913	Assistente Soprannumeraria	Pubblicazioni su Sistemi di equazioni integrali e bollettini meteorologici	Tenne tre conferenze di divulgazione per la Società Urania nel 1912.
Dott.ssa Teresa Castelli	1914-1917	Assistente	<i>Variazione nell'eccentricità orbitale di un pianeta</i>	Membro attivo della Società Urania, per la quale curò la recensione di testi scientifici.
Dott.ssa Tiziana Comi	1914-1917	Assistente Soprannumeraria	<i>Teorema di Lambert sulla curvatura apparente delle orbite planetarie</i>	Curò gli Annuari durante la penuria di personale della prima grande guerra
Dott.ssa Jeannette Mongini	1919-1920	Assistente	<i>Rotazione della Terra e variazioni di latitudine a breve periodo</i>	Laureata con 110/110; redasse il manoscritto delle lezioni di astronomia di Boccardi.
Dott.ssa Lina Graneris	1923-<1926	Assistente Volontaria	Perturbazioni speciali delle orbite. Perturbazioni della Cometa Pons-Winnecke	Pubblicò la propria tesi d'ateneo e collaborò alla stesura dell'Annuario del 1926 con il direttore Volta.

TAB. 1. Personale scientifico femminile laureato in Matematica presente in Osservatorio tra il 1903 e il 1926.

lazzo Madama, la Viriglio potrebbe aver stabilito un doppio primato storico fondamentale: fu forse la prima donna in Italia a diventare un'astronoma professionista e anche a firmare una pubblicazione scientifica ufficiale presso un osservatorio astronomico.

Purtroppo non ho traccia di altre ricerche condotte in altri Osservatori, ma nel 1905, la Viriglio compare tra le firme di un lavoro di astronomia posizionale intitolato *Posizioni apparenti di stelle del Catalogo di Newcomb per il 1906*, redatto in collaborazione con i colleghi Vittorio Balbi e Ubaldo Nicolis (FIG. 3).

Il suo impegno successivo si spostò sulla didattica e sulla divulgazione: divenne insegnante di Matematica presso la Regia Scuola Berti, il più antico liceo magistrale italiano. Nonostante questo il legame intellettuale della Viriglio con l'ambiente accademico torinese rimase saldo anche negli anni successivi al suo assistentato in Osservatorio, portandola a stringere un importante e documentato rapporto con uno dei massimi esponenti della scienza mondiale dell'epoca: il celebre matematico Giuseppe Peano.

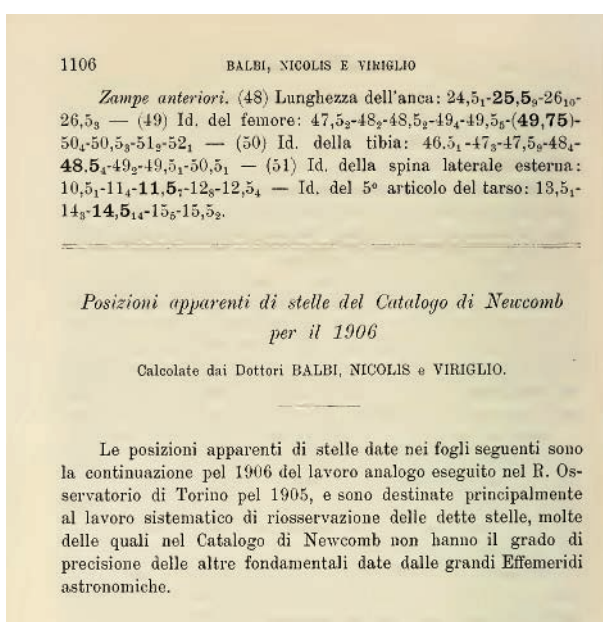


FIG. 3. Prima pagina del lavoro co-firmato dalla dott.ssa Viriglio sull'astronomia di posizione: prima opera scientifica a firma femminile presso il R. Osservatorio Astronomico di Torino.

FIG. 4. Esempio dei registri delle carriere studentesche universitarie. In questa immagine è riportata la pagina relativa alla dott.ssa Giovanna Greggi (su gentile concessione: Archivio Storico dell'Università di Torino).

In questo ambito la studiosa assunse un ruolo fortemente propositivo, presentando i risultati di sue ricerche originali interamente dedicate alla storia della matematica e alla pedagogia, indagini che successivamente diedero vita a specifiche pubblicazioni accademiche. Per la qualità dei contributi della Viriglio, lo stesso matematico Peano ritenne doveroso ringraziarla esplicitamente all'interno di alcune delle sue opere, a testimonianza della stima intellettuale e del riconoscimento di cui la ricercatrice godeva presso i vertici accademici.

Nel 1911 curò personalmente l'edizione italiana del celebre volume *The First Book of Geometry*, scritto dai rinomati matematici Grace Chisholm e William Young. Un'impresa culturale che coniugava il rigore geometrico con le moderne istanze pedagogiche dell'epoca, confermando lo spessore di una pioniera capace di lasciare il segno sia nel calcolo astronomico sia nella modellizzazione didattica nazionale.

DOTT.SSA ERNESTA FASCIOTTI (1905-1906)

Originaria di Castagnole Lanze, Ernesta Fasciotti si laureò in Matematica il 7 luglio 1905 con la votazione di 87/100. La sua vicenda introduce un tema accademico per l'epoca: la Fasciotti fu infatti il primo caso di studentessa dell'Osservatorio proveniente da un istituto a indirizzo tecnico e non dal tradizionale "Liceo".

Nel contesto normativo di inizio Novecento, la scelta della facoltà universitaria non era libera, ma predeterminata dal titolo di scuola superiore posseduto. Mentre il diploma di Liceo garantiva un accesso universale a qualsiasi corso di laurea, il diploma ottenuto presso gli istituti tecnici no, ad eccezione dalla Facoltà di Matematica. Per potersi laureare do-

vette sostenere un esame integrativo di lingua italiana e latina nel 1903. Sotto la guida didattica di padre Boccardi superò l'esame di Astronomia con il punteggio di 27/30, lavorando successivamente come Assistente Volontaria tra il 1905 e il 1906. La sua traiettoria in Piemonte si interruppe nel 1906 quando scelse di iscriversi al corso di laurea in Scienze Naturali a Torino per poi essere ammessa presso l'Università di Palermo.

DOTT.SSA GIOVANNA GREGGI (1911-1913)

Nata ad Agliè il 3 dicembre 1886, Giovanna Luigia Greggi si laureò in Matematica il 4 dicembre 1911 con il punteggio di 102/120. Appena dodici giorni dopo la laurea conseguì l'abilitazione all'insegnamento della matematica nelle scuole superiori con il voto di 20/30 (FIG. 4). Assunta da Boccardi come Assistente Soprannumeraria, si distinse nel campo della divulgazione scientifica. Nel gennaio 1911, Boccardi aveva fondato i *Saggi di Astronomia Popolare*, bollettino mensile della locale Società Astronomica Urania, i cui membri si riunivano a Palazzo Madama a Torino per seguire conferenze o partecipavano a gite "di istruzioni" (FIG. 5).

La Greggi divenne una delle conferenziere della società nel 1912, tenendo tre interventi divulgativi: il 31 gennaio presentò una relazione sui metodi storici per la determinazione dell'ora esatta; il 20 marzo parlò di meteorologia popolare; l'11 dicembre discusse le comete di quell'anno.

Accanto alla divulgazione, produsse lavori accademici, pubblicando uno studio matematico sui sistemi di equazioni integrali negli *Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze* e redigendo il *Bollettino meteorologico del R. Osservatorio di Torino per l'anno 1912*. Dopo il 1914 non si trova il suo nome presso l'Osservatorio, ma nell'Annuario del Ministero della Pubblica Istruzione del 1927 è presente come Professoressa di Matematica e Fisica presso l'Istituto Tecnico di Mondovì.

Accanto alla divulgazione, produsse lavori accademici, pubblicando uno studio matematico sui sistemi di equazioni integrali negli *Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze* e redigendo il *Bollettino meteorologico del R. Osservatorio di Torino per l'anno 1912*. Dopo il 1914 non si trova il suo nome presso l'Osservatorio, ma nell'Annuario del Ministero della Pubblica Istruzione del 1927 è presente come Professoressa di Matematica e Fisica presso l'Istituto Tecnico di Mondovì.

DOTT.SSA TERESA CASTELLI (1914-1917)

Proveniente da Edolo, in provincia di Brescia, Teresa (o Teresita) Castelli si laureò a Torino il 10 luglio 1914 con la votazione di 107/110, ottenendo la licenza di insegnamento undici giorni più tardi. Una delle sue dissertazioni scientifiche affrontava il problema della variazione dell'eccentricità orbitale di un pianeta. Venne assunta come Assistente nell'ottobre 1914 con uno stipendio annuo di 2.000 lire – poco meno di 10.000 euro odierni: il Direttore percepiva 7.000 lire annuali, oltre a 700 lire di indennità – e si unì immediatamente alla Società Urania.



FIG. 5. Il R. Osservatorio fu meta, nel lontano 25 maggio 1913, della gita “di istruzione” della Società Astronomica Urania, fondata dal direttore Boccardi. In questo scatto vediamo alcuni soci con le loro famiglie, ma non sappiamo se fossero presenti anche alcune astronome (su gentile concessione: Archivio dell'Osservatorio di Torino).

All'interno della vita societaria, per il bollettino della società si occupò di recensioni di libri e calcolò gli elementi orbitali di un asteroide di nuova scoperta. Diede acclamate conferenze divulgative su temi astronomici per i soci appassionati.

DOTT.SSA TIZIANA COMI (1914-1917)

Teresilla Leonarda Alessandra Tiziana Comi nacque il 17 settembre 1891 a Pieve di Cadore. Dopo aver conseguito il diploma presso il Regio Istituto Tecnico Sommeiller di Torino, si iscrisse al corso di studi universitari in Matematica, laureandosi il 9 luglio 1914 con la votazione di 85/100 e discutendo una tesi sul *Teorema di Lambert sulla curvatura apparente delle orbite planetarie*. Subito dopo la laurea entrò all'Osservatorio come Assistente in soprannumero, percependo uno stipendio annuo di 1.600 lire.

Nonostante la temporaneità del mandato, il suo operato sul piano scientifico e istituzionale si rivelò determinante per la sopravvivenza stessa dell'ente durante il primo conflitto mondiale. Nel 1914 pubblicò le *Osservazioni Meteorologiche dell'anno 1914* negli *Atti dell'Accademia delle Scienze di Torino* e, nel 1916, calcolò interamente le *Effemeridi del Sole e della Luna per l'anno 1917* per l'*Annuario* dell'istituto.

Coerentemente con il percorso delle colleghe, in seguito divenne insegnante di scuola superiore; mantenne comunque vivi i rapporti con l'ateneo, come fece la Viriglio, partecipando alle conferenze didattiche organizzate da Giuseppe Peano e publi-

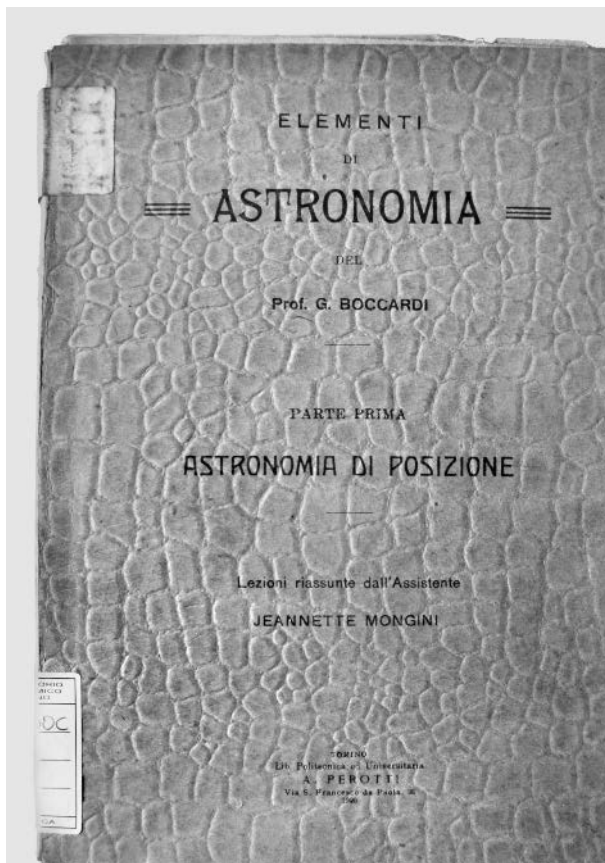


FIG. 6. Frontespizio del manoscritto delle dispense per il corso universitario di Astronomia di Giovanni Boccardi, preparate dalla dott.ssa Mongini (su gentile concessione: Biblioteca dell'Osservatorio di Torino).

cando alcuni lavori di matematica negli *Atti della Reale Accademia*.

DOTT.SSA JEANNETTE MONGINI (1919-1920)

Nata a Caselle Torinese, Jeannette Mongini si iscrisse a Matematica nel 1915 dopo il diploma tecnico. Frequentò i corsi di Astronomia di Boccardi superando l'esame con il massimo dei voti (30/30) e si laureò con 110/110 il 28 gennaio 1920, discutendo la tesi *Rotazione della Terra e variazioni di latitudine a breve periodo*. Nel 1919 pubblicò una ricerca in cui utilizzava le osservazioni di quattro stelle realizzate a Pino Torinese per calcolare una nuova stima della costante di aberrazione e determinare le correzioni ai parametri di nutazione.

La chiarezza espositiva e il talento didattico della Mongini spinsero Boccardi ad affidarle un compito di grande responsabilità scientifico-didattica: la revisione e la preparazione delle note delle lezioni del suo corso universitario di Astronomia. Questo lavoro si concretizzò nel volume manoscritto *Elementi di astronomia del Prof. G. Boccardi. Parte I: Astronomia di posizione. Lezioni riassunte dall'Assistente Jeannette Mongini* (1920), utilizzato come testo di riferimento per gli studenti dell'ateneo (FIG. 6). Dopo aver ottenuto l'abilitazione all'insegnamento nel maggio 1920, divenne una prolifica autrice di testi scolastici, pubblicandone ben dieci per le scuole primarie e se-

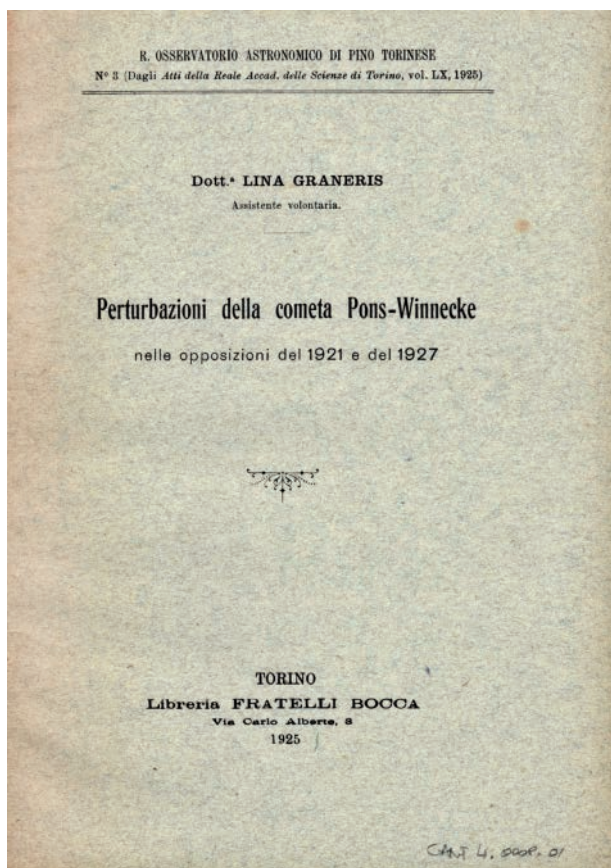


FIG. 7. Frontespizio della monografia della dott.ssa Graneris, tratta dal suo lavoro di tesi di laurea.

condarie, catalogati e conservati presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze.

DOTT.SSA LINA GRANERIS (1923-<1926)

Originaria della provincia di Cuneo, Bartolomea o Lina Graneris si laureò il 1° febbraio 1923 con il vo-

to di 85/100. Fu la prima donna a Torino a pubblicare direttamente la propria tesi di laurea, intitolata *Perturbazioni della Cometa Pons-Winnecke nelle opposizioni del 1921 e del 1927*, stampata due anni dopo negli *Atti della Reale Accademia delle Scienze* (FIG. 7). Assunta come Assistente Volontaria nel 1923, svolse un ruolo di supporto istituzionale durante la transizione della direzione al dottor Luigi Volta, il quale, nell'*Annuario dell'Osservatorio* del 1926, la ringraziò pubblicamente per aver curato la preparazione del volume (risulterà l'ultimo della serie).

Le “calcolatrici” della collina

Accanto al personale accademico, l'indagine storica svela una realtà tecnica sommersa e di fondamentale importanza: quella delle «calcolatrici». Mentre le assistenti laureate entravano in Osservatorio per brevi periodi, la continuità quotidiana delle riduzioni matematiche era affidata a personale privo di laurea. Queste donne svolgevano a mano il ripetitivo e oneroso compito di calcolare le effemeridi e ridurre i dati grezzi delle osservazioni notturne.

L'esempio più lampante è rappresentato da Clara Gregg (da non confondere con la laureata Giovanna Gregg) come emerge dal libro paga (FIG. 8), assunta il 15 ottobre 1912 come Aiuto tecnico. Priva di titoli dottorali, la Gregg rimase in servizio continuativo fino al 1920 e surclassando per longevità lavorativa tutte le colleghe laureate. Paradossalmente, proprio il personale non laureato dimostrò il maggiore attaccamento istituzionale, affrontando le pesanti ripercussioni del trasferimento della sede sulla cima della collina di Pino Torinese.

La vita al “Bric Torre Rotonda” era caratterizzata da un profondo isolamento logistico. Mancavano collegamenti rapidi con Torino e il personale dimorava in alloggi interni alla struttura. Per ottimizzare i lunghi spostamenti e ridurre i disagi del viaggio, era il custode dell'Osservatorio a scendere lungo la collina fino in centro a Torino, negli uffici dell'Università, per raccogliere le buste paga e gli stipendi in contanti di tutto il personale rimasto in quota. Tutto questo emerge dai registri contabili, come una piccola curiosità, dove la stessa firma del custode compare, mese dopo mese, per la riscossione sia dello stipendio del direttore che di tutto il personale.

Questo isolamento logistico e le condizioni abitative, sommati non solo al conflitto bellico della prima guerra mondiale, ma anche a quello antecedente del 1911, legato alla

Nome	Posizione	Stipendio Mensile	Stipendio Annuale
Greggi Clara	Aiuto tecnico	10.00	75.00
Greggi Giovanna	Assistente	15.00	150.00

FIG. 8. Estratto dai ruoli paga dell'Università di Torino, nel quale si possono leggere lo stipendio annuale e mensile della dott.ssa Giovanna Gregg e di Clara Gregg. Forse erano imparentate e la differenza di stipendio è dovuta alla presenza o meno del titolo di studio. Si notino le firme del custode Demaria (su gentile concessione: Archivio dell'Università di Torino).

Tripolitania (attuale Libia), fece assottigliare ancora di più i candidati maschili, dando maggior spazio e permanenza alle donne. La carenza di organico era tale che nel 1921 Boccardi, anche dopo il trasferimento e le dimissioni di Clara Greggi (forse si sposò), continuò a commissionarle riduzioni di dati astronomici, spediti via posta, fino a Varallo Sesia, a ben 120 km di distanza; un precursore del “lavoro agile” o *smart working*, come emerge da una lettera ritrovata nell’Archivio dell’Osservatorio (FIG. 9).

Parità salariale, brevità dei mandati e personale ridotto

Dall’esame incrociato dei registri contabili e dei ruoli paga dell’Università di Torino emerge un dato storico di interesse su un tema oggi molto dibattuto soprattutto in campo privato: la parità di genere negli stipendi. A parità di ruolo, livello e inquadramento contrattuale, i decreti di nomina non facevano alcuna distinzione economica tra uomini e donne. Ad esempio, lo stipendio annuo di un’assistente soprannumeraria come Giovanna Greggi o Tiziana Comi era fissato a 1.600 lire, esattamente in linea con le controparti maschili di pari livello. L’unica reale differenziazione nelle retribuzioni era determinata dall’anzianità di servizio e dagli scatti di carriera previsti dai regolamenti civili.

Tuttavia, per le giovani scienziate laureate, questa anzianità si rivelò drammaticamente breve, attestandosi su una media di appena due anni. Quasi nessuna donna riuscì a trasformare il proprio operato in una carriera di ricerca a lungo termine, né a raggiungere il grado di “Astronomo” effettivo. Esaurito il biennio di assistentato volontario o soprannumerario, tutte le pioniere, come già anticipato precedentemente, abbandonarono la ricerca per diventare professoressi di Matematica e Fisica presso i licei o gli istituti regi di Torino e del Piemonte.

Questo trapasso sistematico verso l’insegnamento secondario era il chiaro segno che i tempi della società italiana non erano ancora maturi per consentire alle donne una stabile carriera nella ricerca accademica e scientifica. L’Osservatorio veniva vissuto come un’eccellente ma transitoria palestra intellettuale, prima di transitare nel più sicuro e socialmente accettato alveo della docenza scolastica.

Bisogna inoltre considerare che, all’epoca, l’organico dell’Osservatorio era estremamente ridotto: l’intero personale scientifico e tecnico, escluso il Direttore, si contava letteralmente sulle dita delle mani, oscillando solitamente tra le quattro e le dieci unità complessive. In un nucleo così ristretto, ogni attrito interpersonale, ogni eccellenza e ogni dinamica di genere assumeva un peso specifico enorme, amplificando i conflitti e rendendo la convivenza complessa, come in alcuni casi è stato riportato.

Ch^{mo} Signor Direttore,
 Oggi 5 Gennaio Le ho spedito
 le 50 stelle senza la riduzione
 di Greenwich e spero che presto Le
 riceverà.
 La spesa del pacco postale è di
 lire 2 ch'ella avrà la cortesia di
 unire al compenso delle stelle, essendo
 già minimo il mio guadagno.
 Ringraziandola ricorra i miei distinti
 saluti ed ossequi
 Clara Greggi
 Corso Roma 14
 Varallo Sesia 5 Gennaio 1921

FIG. 9. Lettera inviata da Clara Greggi, da Varallo Sesia, a padre Boccardi per annunciare la spedizione di un pacco contenente i calcoli richiesti e per domandare il compenso dovuto. È uno dei pochissimi documenti autografi delle astronome ritrovati negli archivi (su gentile concessione: Archivio della Biblioteca Storica dell’Università di Torino).

Il caso Corinna Gualfredo e la fine dell’era Boccardi

L’equilibrio della direzione Boccardi crollò definitivamente a causa delle vicende legate all’ultima donna assunta nel periodo di Pino Torinese: Corinna (o Carolina) Gualfredo. Incrociando i dati di diversi archivi, non sempre concordanti o perché mancano del tutto in alcune annate, è difficile chiarire la sua qualifica. Attenendoci a quelli più ufficiali, entrò in Osservatorio come volontaria nel 1915 e venne assunta il 30 ottobre 1919 con la qualifica contrattuale di custode (il precedente custode Demaria era andato in pensione). Ciononostante, a causa della cronica scarsità di scienziati maschi partiti per il fronte della Grande Guerra, Boccardi, le affidò, anche se priva di diploma di laurea, mansioni di profilo scientifico, inclusa la calibrazione del cerchio meridiano di Bamberg e la conduzione di osservazioni astronomiche al “primo verticale”.

Nel 1916, venne pubblicato a nome Gualfredo, un contributo (FIG. 10) intitolato *Il piccolo cerchio meridiano dell’Osservatorio di Pino Torinese (Determinazione delle costanti, ecc.)* da Corinna Gualfredo (sotto la direzione del Prof. Boccardi), dove la prefazione scritta da Boccardi illustrava nel dettaglio l’aiuto fornito. Col tempo questa situazione scatenò un vero e proprio scandalo istituzionale. Il personale scientifico di ruolo – guidato dal neo-assunto assistente dottor



FIG. 10. Prima pagina del lavoro svolto da Corinna Gualfreda per la calibrazione del cerchio meridiano di Bamberg.

Ettore Martin – manifestò un profondo risentimento: lo staff mal sopportava che una donna non laureata, formalmente inquadrata come semplice custode o subalterna, comparisse come autrice principale di articoli astronomici ufficiali, venendo addirittura anteposta nell'elenco delle pubblicazioni agli astronomi di professione.

Nel settembre del 1921, l'intero corpo degli assistenti firmò una formale e durissima lettera di protesta indirizzata alle autorità accademiche, denunciando diverse irregolarità direzionali di Boccardi, una fra tutte, scalare dallo stipendio degli astronomi il riscaldamento, ovvero il corrispettivo in legna e scopercchiando così anche il caso della Gualfreda. Questa guerra intestina, unita ai gravi e progressivi problemi di vista del Direttore, ormai quasi completamente cieco, compromise irrimediabilmente la sua autorità. Travolto dalle polemiche del personale e minato dalla salute, padre Giovanni Boccardi fu costretto a rassegnare le dimissioni e a ritirarsi nel 1923, ponendo fine alla stagione più tumultuosa e scientificamente audace della presenza femminile a Torino.

Gruppo degli anni Quaranta e l'emergenza della seconda guerra mondiale

Dopo il lungo vuoto documentale coinciso con la direzione, dal 1925 al 1942, di Luigi Volta (1876-1952), nipote del famoso Alessandro, la presenza femmini-

le riemerse brevemente durante la seconda guerra mondiale sotto la direzione di Gino Cecchini (1896-1978). Questo gruppo operò in condizioni di estrema emergenza: tra il gennaio 1944 e l'aprile 1945 i locali dell'Osservatorio furono confiscati dall'esercito tedesco, imponendo lo sgombero del personale e il trasferimento della biblioteca e degli arredi a Chieri, mentre il personale si rifugiò in case private.

DOTT.SSA FRANCESCA DEMICHELIS (1942-1946)

Nata il 26 aprile 1921, si laureò in Matematica e Fisica il 18 dicembre 1943 con la votazione di 95/100, discutendo una tesi metodologica sull'elettricità e sul magnetismo in Maxwell. Lavorò in Osservatorio dal 1942 al 1946, nella sua cartella emergono diagrammi microfotometrici utilizzati per l'analisi delle curve di luce delle stelle variabili. Fu l'unica tra tutte le pioniere torinesi a conseguire una completa e brillante carriera accademica a lungo termine: nel 1965 divenne Professore Ordinario di Fisica Generale presso il Politecnico di Torino, dedicando le sue ricerche alla fisica nucleare, alla radioattività e agli effetti fotovoltaici.

DOTT.SSA ERNESTA TEDESCHINI (1943-1946)

In servizio dal 1° dicembre 1943 al 30 novembre 1946, si laureò discutendo la tesi *Lo studio delle variazioni di magnitudine di AK Herculis e la loro interpretazione se questo sia un sistema binario*. Questa ricerca, di forte impianto astrofisico, si tramutò in una pubblicazione ufficiale nel 1946 sotto l'egida dei *Contributi dell'Osservatorio*. Accanto alla ricerca teorica, svolse un'intensa attività osservativa di utilità pubblica, contribuendo alla determinazione delle orbite di numerose comete e pianeti minori.

DOTT.SSA ENRICHETTA LAGUTAINÉ (1946-1947)

Laureatasi in Matematica il 26 luglio 1946 con 90/100 e una tesi critica sulla teoria di H. N. Russell per la determinazione orbitale dei sistemi binari fotometrici, fu assunta per un singolo anno come "responsabile di studi e ricerche". Oltre a figurare come osservatrice attiva nei cataloghi scientifici di Cecchini, si dedicò alla divulgazione e al servizio pubblico: curò e calcolò interamente i dati astronomici e calendariali per l'anno 1948, pubblicando orari di alba e tramonto del Sole e della Luna a Torino, date delle festività religiose e parametri per il calcolo ecclesiastico del tempo.

Dopo il 1947, l'istituto registrò un secondo vuoto di quasi vent'anni, interrottosi stabilmente solo nel 1966 con l'assunzione di Teresina Tamburini.

Conclusioni

La parabola delle donne all'Osservatorio di Torino dimostra come l'accesso femminile alla ricerca scientifica nei primi decenni del Novecento sia stato un fenomeno dettato più da necessità contingenti

come lo spopolamento maschile dovuto alle guerre e le condizioni logistiche sfavorevoli della sede colinare che da una pianificata politica di inclusione. Ciononostante, l'eccellenza metodologica e l'impegno dimostrati dalle prime assistenti e calcolatrici sia nella ricerca sia nella diffusione della cultura scientifica hanno gettato le basi storiche per la successiva normalizzazione professionale, culminata nella seconda metà del secolo con il progressivo bilanciamento di genere all'interno dell'istituto.

La presente indagine è frutto di una ricerca indipendente condotta dall'autrice a titolo gratuito senza un sostentamento ufficiale, mossa da puro intento scientifico e biografico per riscoprire queste figure dimenticate. Un sentito ringraziamento per la disponibilità va al personale delle biblioteche e degli archivi di Pino Torinese e di Torino; in particolare, si ringraziano le dottoresse Luisa Schiavone, Tullia Carriero e Paola Novaria per i preziosi consigli e i chiarimenti fondamentali nella ricostruzione di queste storie. L'augurio è che questo contributo possa fare da apripista a ricerche parallele negli altri osservatori astronomici italiani, così da tracciare una mappa nazionale dell'avvento delle donne nella ricerca astronomica.

Referenze bibliografiche

- V. BALBI, U. NICOLIS, L. VIRIGLIO, *Posizioni apparenti di stelle del Catalogo di Newcomb per il 1906*, «Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino», 1905, 40, 1106.
- G. BERNARDI, *The Unforgotten Sisters. Female Astronomers and Scientists before Caroline Herschel*, Cham (Switzerland), Springer International Publishing, 2016.
- G. BERNARDI e A. VECCHIATO, *The Advent of Female Astronomers at Turin Observatory*, «The Journal of Astronomical History and Heritage», 2018, 21, 13.
- G. BOCCARDI, *Il miglioramento economico del personale assistente universitario*, «Studium, Rivista Universitaria», 1906, Anno I, N. 8.
- G. BOCCARDI, «Saggi di Astronomia Popolare», 1911, 1.
- G. BOCCARDI, *Annual Report of the Royal Astronomical Observatory*, Torino, Osservatorio Astronomico, 1918.
- G. BOCCARDI e J. MONGINI, *Elementi di astronomia del Prof. G. Boccardi. Parte I: Astronomia di posizione. Lezioni riassunte dall'Assistente Jeannette Mongini*, Torino, Viretto, 1920.
- G. BOCCARDI, *Relazione sull'attività scientifica del R. Osservatorio di Pino Torinese durante l'anno scolastico 1920-21*, Torino, Osservatorio Astronomico, 1921.
- G. BOCCARDI, *Relazione sull'attività scientifica del R. Osservatorio di Pino Torinese durante l'anno scolastico 1921-22 fino al 1 dicembre*, Torino, Osservatorio Astronomico, 1922.
- G. CECCHINI, A. FRESA, E. LAGUTAIN, N. MISSANA, E. TEDESCHINI, A. M. VERGNANO, *Osservazioni di comete, di piccoli pianeti e varie, eseguite all'Osservatorio Astronomico di Torino (Pino Torinese) dal 1942 al 1948*, «Contributi dell'Osservatorio Astronomico di Torino, Nuova serie», N. 16, Estratto da «Memorie della Società Astronomica Italiana», 1950, XXI, 2.
- L. GRANERIS, *Perturbazioni della cometa Pons-Winnecke nelle opposizioni del 1921 e del 1927*, «Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino», 1925, LX.
- G. GREGGI, *Le formole risolutive e i teoremi di Schmidt per i sistemi di Equazioni Integrali*, «Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti», 1912, LXXI, 541.
- C. GUALFREDO, *Il piccolo cerchio meridiano dell'osservatorio di Pino Torinese (determinazione delle costanti, ecc.) da Corinna Gualfredo (sotto la direzione del Prof. Boccardi)*, Torino, tipografia San Giuseppe degli Artigianelli, 1916.
- L. HERSCH, *La mortalité causée par la guerre mondiale*, «Metron - The International Review of Statistics», 1927, 7, 52.
- E. LAGUTAIN, *Dati del calendario per l'anno 1948 (bisestile)*, Archivio della Biblioteca dell'Osservatorio Astrofisico INAF di Torino, 1947, MISC-B 0019 04.
- E. LUCIANO e C. S. ROERO (a cura di), *Numeri, Atomi e Alambicchi. Donne e scienza in Piemonte dal 1840 al 1960. Parte I*, Torino, Centro Studi e Documentazione Pensiero Femminile, 2008.
- J. MASCARAT, *Recensione dell'opera di C. Gualfredo*, «Saggi di Astronomia Popolare», 1916, VI, 88.
- J. MONGINI, *Ricerche sulle osservazioni di latitudine di Pino Torinese*, «Annuario Astronomico per l'anno 1923», Appendice, 1919.
- G. MORTARA, *La Salute pubblica in Italia durante e dopo la Guerra*, New Haven, Yale University Press, 1925.
- L. SCHIAVONE, *History of the Astronomical Observatory of Turin*, Pagine web dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, 2017.
- E. TEDESCHINI, *Curva di luce ed orbita fotometrica di "AK Herculis"*. «Contributi dell'Osservatorio Astronomico di Torino», Nuova serie, N. 7, Estratto da «Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino (1944-45)», 1946, 80.
- THE WAR OFFICE, *Statistics of the Military Effort of the British Empire During the Great War 1914-1920*, Londra, Her Majesty's Stationery Office, 1922.

Gabriella Bernardi, laureata in Fisica e Master in Comunicazione Scientifica, è giornalista scientifica e scrive per riviste scientifiche nazionali e internazionali. Autrice di nove libri di divulgazione pubblicati da Springer e altre case editrici, tra cui *The Unforgotten Sisters - Female Astronomers and Scientists before Caroline Herschel* (2016), all'interno del quale è inserita la ricerca sulle prime astronome piemontesi. Membro IAU e associata INAF. Membro del Collegio dei Proviviri e coordinatrice del gruppo Scienze delle Tecnologie Digitali dell'UGIS (Unione Giornalisti Italiani Scientifici).

La misura delle distanze astronomiche.

Proposta di una attività didattica in astrofisica

Michele Città¹ · Anna Maria Cangelosi² · Massimo Genchi³

¹ già ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile

² Istituto d'Istruzione Superiore «L. Failla Tedaldi», Castelbuono (PA)

³ già Liceo Scientifico - Istituto di Istruzione Secondaria Superiore «G. Salerno», Gangi (PA)

UNO dei problemi più importanti in astronomia è la misura delle distanze. L'impatto dello sviluppo tecnologico ha esteso a tutto lo spettro elettromagnetico i metodi per la misura delle distanze astronomiche. Per comprendere quale fosse la corretta descrizione dell'universo è stato necessario sviluppare diversi modi per misurare la distanza degli oggetti nel cielo. Questi metodi, nella prima metà del secolo scorso, hanno avuto un profondo impatto nella comprensione delle dimensioni e dell'età dell'universo e hanno portato una nuova visione dello stesso come realtà in evoluzione.

La presente unità didattica è stata pensata e programmata, in un contesto curriculare di fisica del quinto anno del liceo scientifico, con il precipuo obiettivo culturale di approfondire il delicato tema della misura delle distanze astronomiche, individuato come contesto significativo per l'acquisizione e lo sviluppo delle competenze scientifiche. In conformità alle Indicazioni Nazionali, gli studenti possono affrontare argomenti di astrofisica in maniera complementare, come occasione di applicazione dei concetti fisici acquisiti, senza che tali contenuti costituiscano nuovi nuclei disciplinari obbligatori. L'unità presentata si pone l'obiettivo di consolidare e rendere operative conoscenze già acquisite, quali geometria, trigonometria, ottica, onde elettromagnetiche e concetti inerenti alle grandezze fisiche e ai logaritmi, attraverso la modellizzazione di fenomeni astronomici. In particolare, la misura delle distanze all'interno del Sistema solare e nelle stelle a noi più vicine offre l'opportunità di sviluppare abilità di analisi, interpretazione dei dati e *problem solving*. Attraverso l'uso dei diversi metodi di misura, dall'astronomia radar alla parallasse, fino all'impiego di candele standard e alla legge di Hubble-Lemaître, gli studenti vengono guidati alla comprensione di come le conoscenze teoriche possano essere applicate in contesti reali, e come le approssimazioni e i modelli matematici permettano, ancora una volta, di stimare grandezze inaccessibili all'esperienza diretta. In tal modo, l'unità favorisce lo sviluppo ulteriore di competenze trasversali, quali il ragionamento critico, la capacità di astrazione, la capacità di modellizzare fenomeni naturali oltre che l'acquisizione della consapevolezza dei limiti delle misure scientifiche.

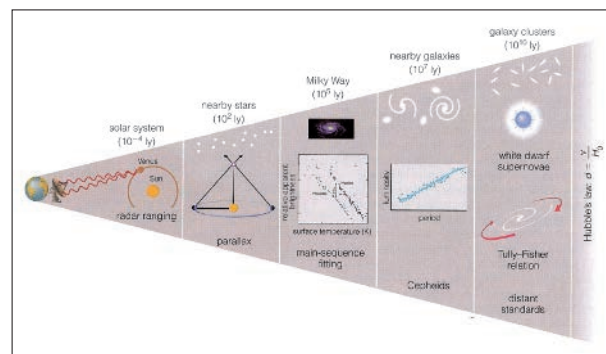


FIG. 1. La misura delle distanze cosmiche si basa su una catena di tecniche interconnesse. (Crediti: The Center for Planetary Objects)

Per la determinazione delle distanze, in astronomia ci si basa su una serie di tecniche diverse applicate a scale di distanza via via crescenti nello spazio-tempo (FIG. 1). Nel presente lavoro, pensato come unità didattica di approfondimento di fisica per gli studenti del quinto anno del liceo scientifico, vengono presi in esame i vari metodi di misura, schematizzati nel quadro sinottico seguente (TAB. 1).

Obiettivi

Saper applicare metodi di misura delle distanze astronomiche utilizzando strumenti, modelli, analogie, leggi, quali:

- metodo dell'uso del radar (nel Sistema solare);
- metodi trigonometrici per la misura delle distanze astronomiche: parallasse stellare;
- uso del diagramma H-R: parallasse spettrale;
- metodo delle candele standard;
- legge di Hubble.

Prerequisiti

Conoscenza di:

- logaritmi ed esponenziali;
- elementi di trigonometria;
- grandezze fotometriche;
- spettro di emissione degli elementi chimici;
- principio cosmologico;
- spostamento Doppler nello studio delle onde elettromagnetiche.

Una migliore conoscenza dei fenomeni fisici, in base alle metodologie applicate nella stima delle distanze astronomiche, può avere un impatto più

Tecnica e oggetti utilizzati	Ordine di grandezza delle distanze misurate	Descrizione
Onde radio	dai milioni di chilometri a 10^{10} a.l.	Si basa sulla riflessione delle onde radio inviate da una sorgente verso un oggetto celeste.
Parallasse trigonometrica	fino a 10^2 a.l.	Si basa sulla trigonometria e utilizza l'unità astronomica come unità di misura.
Parallasse spettroscopica	fino a 10^6 a.l.	Si basa sul confronto fra magnitudine apparente e assoluta, sfruttando il diagramma H-R.
Variabili cefeidi	da 10^2 a 10^7 a.l.	Si basa sulla legge che pone in relazione il periodo e la luminosità delle variabili.
SN Ia	da 10^6 a 10^9 a.l.	Si basa sul confronto fra la magnitudine assoluta massima con quella apparente di queste esplosioni stellari.

TAB. 1.

significativo nell'accuratezza delle misurazioni effettuate.

Le distanze astronomiche si misurano con unità di misura adeguate alle dimensioni delle stesse. La più importante è la velocità della luce pari a $c = 2,997 \cdot 10^8$ m/s. Dato questo valore, il tempo di percorrenza della luce in un anno, definito anno luce (a. l.), è pari a:

$$a. l. = 2,997 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 365 \text{ g} \cdot 24 \text{ h/g} \cdot 60 \text{ m/h} \cdot 60 \text{ s/m} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}.$$

Misure delle distanze col metodo degli impulsi di onde radio

Nel Sistema solare, per distanze inferiori a circa 10^{-3} a. l., si usa l'astronomia radar, un metodo basato sul radar o su un radiotelescopio. Il radiotelescopio, o l'antenna radar, invia un impulso di onde radio verso un oggetto celeste di cui si vuole misurare la distanza e le onde radio, che viaggiano alla velocità della luce c , vengono riflesse e captate dalla stessa antenna o da un'altra antenna posta nelle vicinanze. La distanza dell'oggetto celeste si ottiene misurando il tempo impiegato dal segnale per andare e tornare (tempo di volo), moltiplicandolo per la velocità della luce e dividendo il risultato per due (poiché il segnale ha percorso la distanza due volte, andata e ritorno):

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \text{ m}$$

Questo metodo è particolarmente utile per misurare le distanze di pianeti, asteroidi e altri corpi celesti del nostro Sistema solare ed è stato fondamentale per la determinazione dell'Unità Astronomica, UA, definita come la distanza media fra la Terra e il Sole e pari a $1,495978707 \times 10^{11}$ m.

Metodo della parallasse

All'interno del Sistema solare, per misurare la distanza di stelle vicine si usa il metodo della parallasse

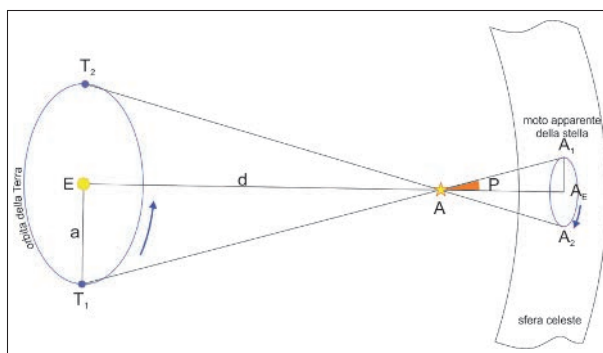


FIG. 2. La parallasse trigonometrica.

se trigonometrica che consiste nel misurare la variazione apparente della posizione in cielo di una stella attraverso osservazioni fatte dalla Terra a distanza di sei mesi (FIG. 2).

Si definisce angolo di parallasse stellare l'angolo sotto il quale una stella è vista dai due estremi del semiasse maggiore dell'orbita terrestre. Il metodo della parallasse consente di introdurre una nuova misura di distanze denominata *parsec* (pc, da parallasse e arco secondo) definita come la distanza di un punto dal quale il semiasse maggiore dell'orbita terrestre è visto, perpendicolarmente, sotto l'angolo di 1". In realtà, il Sole non si trova esattamente al centro dell'orbita terrestre, essendo questa un'ellisse di cui il Sole occupa uno dei due fuochi. Attualmente il valore dell'eccentricità dell'ellisse descritta dalla Terra nel suo moto di rivoluzione è di circa 0,017, un valore tanto piccolo da rendere trascurabile l'errore determinato assumendo la posizione del Sole nel punto di intersezione dei semiasse dell'ellisse.

Se osserviamo dalla Terra una delle stelle vicine sullo sfondo delle stelle lontane in un intervallo temporale di sei mesi, possiamo notare che la sua posizione angolare varia lievemente e che le direzioni che congiungono la stella con la Terra quando questa si trova in due posizioni opposte nella sua orbita definiscono, con il diametro dell'orbita stessa, un triangolo. In FIG. 2 consideriamo il triangolo ret-

tangolo EAT_1 . Indicati con p l'angolo di parallasse, $\overline{ET}_1$ la distanza Sole-Terra e $\overline{AT}_1$ la distanza stella-Terra, si ha: $\text{sen} p = \overline{ET}_1 / \overline{AT}_1$, poiché però l'angolo p è molto piccolo, misurandolo in radianti si ha $\text{sen} p \approx p$ e quindi, in definitiva, $\overline{AT}_1 = \overline{ET}_1 / p$.

Assumendo come unità di misura la distanza $\overline{ET}_1$, che si denomina Unità Astronomica (UA), si ottiene $\overline{AT}_1 = 1UA / p$ dove la distanza Terra-Sole in UA è data da $1UA = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

Tenuto conto che $1 \text{ pc} = 1UA / 1''$ si ottiene che $1 \text{ pc} = 206265 \text{ UA} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ m}$.

Ricordando ora che $1 \text{ a.l.} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$, si ricava che:

$$1 \text{ pc} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ m} = (3,09 \cdot 10^{16} / 9,46 \cdot 10^{15}) \text{ a.l.} = 3,26 \text{ a.l.}$$

Il metodo della parallasse per determinare le distanze delle stelle vicine è utilizzabile fino a qualche centinaio di anni luce, poi l'angolo di parallasse, diventando troppo piccolo, produce apprezzabili errori nella stima delle distanze.

Conoscendo la distanza d di una stella dalla Terra, misurata in modo diretto con il metodo della parallasse, e misurando la sua magnitudine apparente (m), cioè la luminosità osservabile dalla Terra, si può ricavare la magnitudine assoluta (M), definita come la luminosità che avrebbe quello stesso oggetto ad una distanza standard di 10 parsec, corrispondente a $32,6 \text{ a.l.}$, si è stabilita la relazione:

$$M = m + 5 - 5 \log d \quad (1)$$

Se conosciamo la magnitudine assoluta di una stella possiamo ricavare la luminosità vera, cioè l'energia effettivamente emessa, mediante la legge di Stefan-Boltzmann:

$$L = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

dove L è la luminosità vera, misurata in J/s , r è il raggio della superficie emittente, T la sua temperatura assoluta e σ la costante di Stefan-Boltzmann pari a $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J/m}^2 \text{K}^4 \text{s}$.

Il diagramma H-R

Quando le stelle sono troppo lontane per la misurazione diretta attraverso la parallasse trigonometrica, si può utilizzare la parallasse spettroscopica, un metodo indiretto che si basa sul diagramma di Hertzsprung-Russell.

Le caratteristiche principali di una stella sono:

- la massa espressa in masse solari ($M_\odot$);
- la luminosità relativa rispetto a quella solare ($L_\odot$);
- la temperatura superficiale espressa in K .

Queste tre variabili sono fortemente correlate nel diagramma di Hertzsprung-Russell, o diagramma H-R. Ma prima occorre definire che cosa è la magnitudine di una stella.

Gli astronomi misurano la luminosità delle stelle con la scala delle magnitudini. La più antica classificazione delle stelle fu effettuata dall'astronomo

greco Ipparco di Nicea (194-120 ca a.C.) in base alla magnitudine apparente m , la luminosità che appare ai nostri occhi. La magnitudine apparente, tuttavia, non è un parametro fisico della stella perché dipende anche dalla distanza alla quale si trova rispetto a noi. Ipparco definì sei classi distinte, dalla prima magnitudine, le stelle più luminose, alla sesta, quelle meno luminose. Grazie ai telescopi che hanno ampliato le osservazioni delle stelle rispetto all'osservazione a occhio nudo, la scala delle magnitudini si è estesa in entrambe le direzioni: oggi conosciamo stelle poco luminose con magnitudini superiori a 6 e stelle molto luminose con magnitudini negative.

Il danese Ejnar Hertzsprung e lo statunitense Henry Norris Russell, in modo indipendente l'uno dall'altro, costruirono una rappresentazione grafica della relazione esistente fra il tipo spettrale, o temperatura superficiale, e la luminosità intrinseca, o magnitudine assoluta M , delle stelle. Il tipo o classe spettrale si indica con una lettera dell'alfabeto: O, B, A, F, G, K, M, in ordine decrescente di temperatura superficiale, secondo la cosiddetta classificazione di Harvard. Le lettere possono essere ricordate attraverso la frase "Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!". Le stelle O sono le più calde e le K le più fredde. A ogni classe viene associato un colore: le O sono dette "blu", le B "bianco-blu", le A "bianche", le F "bianco-gialle", le G "gialle", le K "arancioni" e le M "rosse".

Nel diagramma H-R (Fig. 3) sono riportate in ascissa le temperature superficiali crescenti da destra verso sinistra e in ordinata la luminosità intrinseca in unità solari con scala logaritmica crescente dal basso verso l'alto. Si può osservare che le stelle non sono distribuite uniformemente ma occupano particolari regioni corrispondenti a particolari coppie di valori temperatura/luminosità. Ciò significa che sono possibili solo alcune relazioni fra luminosità e classe spettrale. La grande maggioranza delle stelle si trova nella sequenza principale che va dai valori in alto a sinistra a quelli in basso a destra. La sequenza principale comprende le stelle che si trovano nella fase più stabile della loro vita, quella in cui il processo di fusione nucleare, tipico di una stella, converte l'idrogeno in elio. Queste stelle hanno la massa proporzionale alla luminosità e le loro dimensioni sono paragonabili a quella del Sole. In alto a sinistra si situano le stelle molto calde ed estremamente luminose, di tipo spettrale O, A e B o *stelle azzurre*, mentre andando dall'alto a sinistra verso il basso a destra, temperatura e luminosità diminuiscono fino alle *nane rosse*, passando per i tipi spettrali, in ordine decrescente, F, G, K e infine M. Le masse variano anch'esse lungo la sequenza principale: le masse più grandi si trovano in alto a sinistra, quelle più piccole in basso a destra. La massa influisce sulla velocità con la quale la stella brucia il suo combustibile e la vita di una stella azzurra è minore di quella di una nana rossa perché, a temperature più elevate, la velocità della fusione nucleare è maggiore. Ri-

mangono fuori dalla sequenza principale due tipi di stelle: le giganti e le supergiganti rosse e le nane bianche.

Dopo che nel nocciolo di una stella tutto l'idrogeno viene consumato, nelle stelle della sequenza principale si spezza l'equilibrio fra due forze opposte: la pressione di radiazione verso l'esterno, dovuta all'energia prodotta dalle reazioni nucleari, e la forza gravitazionale verso l'interno. Venendo a mancare la forza di espansione, prende il sopravvento il collasso gravitazionale che fa aumentare la temperatura e determina la successiva espansione degli strati esterni della stella. Questa diviene una gigante rossa situata in alto a destra nel diagramma H-R: si tratta di stelle con temperature relativamente basse ma luminosità elevata a causa dell'enorme superficie radiante. A questo punto, il destino di una stella dipende dalla massa iniziale che determina il fatto che si possano avviare o meno ulteriori reazioni di nucleosintesi, con una successione di espansioni e contrazioni dovute agli squilibri tra le due forze. Se la massa è maggiore del limite di Chandrasekhar, $m = 1,44 M_{\odot}$, una complessa catena di reazioni di fusione nucleare produce gli elementi più pesanti, carbonio, ossigeno, neon, magnesio e così via fino al ferro, elemento per il quale le reazioni si fermano perché la fusione del ferro in elementi più pesanti è endoenergetica. La stella in cui sono avvenute tutte le successive reazioni di nucleosintesi fino al ferro contiene i vari strati degli elementi ed è estremamente instabile (Fig. 4). Senza la stabilizzazione dell'energia nucleare, le forze gravitazionali causano l'implosione del nucleo con un aumento di pressione e temperatura tali da innescare la formazione di una *supernova*, nella quale le condizioni estreme di temperatura e pressione consentono la formazione degli elementi più pesanti del ferro che vengono rilasciati nello spazio. Se invece la massa è minore del limite di Chandrasekhar, non si raggiungono delle temperature sufficienti a innescare successive reazioni di nucleosintesi. Il nucleo della stella continuerà a contrarsi e la stella collaserà fino a divenire un corpo con dimensioni simili a quelle della Terra e con densità elevatissime, detto nana bianca, posizionata in basso a sinistra nel diagramma H-R: si tratta di stelle con temperature molto alte ma luminosità bassa a causa della piccola superficie radiante.

Il diagramma H-R per la stima delle distanze delle stelle si utilizza fino a distanze di 10^6 a.l. Hertzsprung e Russell hanno costruito il loro diagramma

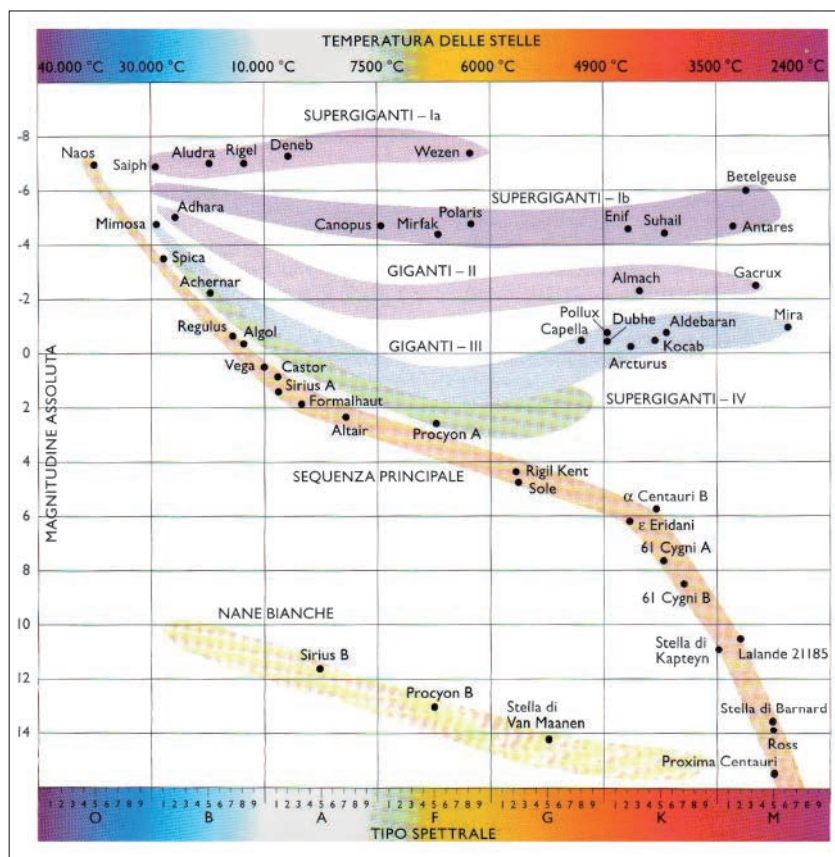


FIG. 3. Il diagramma H-R di Hertzsprung e Russell confronta la luminosità di una stella (riportata in ordinata) e la sua temperatura superficiale (riportata in ascissa) ed è basato sulla relazione relativa a un 'oggetto' che emette radiazione termica come un corpo nero.

sprung e Russell hanno costruito il loro diagramma disponendo delle distanze di un certo numero di stelle. Dal momento che, per tali stelle, esiste una relazione molto stretta tra la classe spettrale e la magnitudine assoluta, tale relazione dovrebbe valere anche per le altre stelle di cui non sono note le distanze, per una sorta di principio di uniformità. Pertanto, conoscendo la classe spettrale, dal diagramma H-R si può risalire alla magnitudine assoluta della stella e, dal confronto con la magnitudine apparente, si può risalire alla distanza.

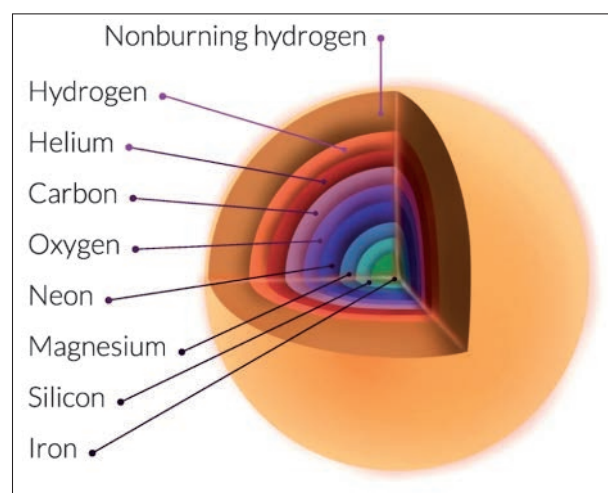


FIG. 4. Schema della nucleosintesi stellare.

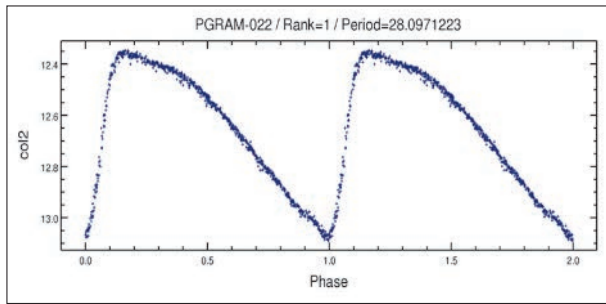


FIG. 5. Curva di luce di una cefeide che mostra la variazione della luminosità con il tempo.

Il calcolo si basa sulla relazione (1), già vista, fra magnitudine apparente m , magnitudine assoluta M e distanza d espressa in parsec:

$$M = m + 5 - 5 \log d$$

da cui

$$d = 10^{(m - M + 5)/5} \quad (2)$$

Per misurare distanze a scale maggiori, come ad esempio al di fuori della nostra Galassia, si utilizzano metodi indiretti che si basano sull'identificazione di indicatori di distanza detti candele standard, oggetti celesti dei quali si conosce la magnitudine assoluta o luminosità intrinseca.

All'interno della Via Lattea si sfrutta il fatto che gli ammassi globulari di stelle sono formati di popolazioni analoghe di stelle e pertanto caratterizzate da una luminosità quasi uniforme. Conoscendo la distanza di un ammasso globulare, attraverso il metodo della parallasse, si può determinare opportunamente la distanza dell'ammasso globulare più distante, sapendo che l'intensità luminosa varia secondo la legge dell'inverso del quadrato della distanza. Tale metodo viene adottato fino a qualche milione di anni luce. Analizzeremo due tipi di candele standard: le cefeidi e le supernovae di tipo Ia.

Metodo delle Cefeidi

Per distanze comprese tra 10^2 e 10^7 a.l., si utilizza la relazione tra periodo e luminosità delle stelle variabili denominate cefeidi, dal nome di δ *Cephei*, la prima cefeide ad essere scoperta.

Le stelle variabili presentano variazioni casuali della magnitudine o variazioni con intervalli di tempo regolari. In quest'ultimo caso si definisce il periodo T come l'intervallo di tempo fra due massimi o due minimi successivi di luminosità. Delle variabili fanno parte le variabili pulsanti che variano di magnitudine a causa di periodiche contrazioni ed espansioni della superficie, dovute sia a variazioni dell'attività interna che della temperatura superficiale. La famiglia più importante di variabili pulsanti è quella delle cefeidi. Si tratta di giganti o supergiganti gialle che, nel diagramma H-R, si trovano poco sopra la posizione del Sole e hanno un periodo molto regolare, variabile da 1 a 50 giorni, e luminosità compresa fra 0,7 e 2 magnitudini. La curva di lu-



FIG. 6. Henriette Swan Leavitt (1868-1921).

ce è un grafico che rappresenta proprio questa variazione di luminosità in funzione del tempo (FIG. 5). La pulsazione avviene secondo un ciclo:

1. contrazione della stella con conseguente aumento della temperatura;
2. aumento della velocità delle reazioni nucleari e della produzione di energia;
3. conseguente espansione della stella con dissipazione dell'energia e diminuzione della temperatura;
4. diminuzione della velocità delle reazioni nucleari;
5. prevalenza della contrazione gravitazionale sull'espansione.

Catalogando le cefeidi della Piccola Nube di Magellano, Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) (FIG. 6), un'astronoma che lavorava nell'Osservatorio di Harvard negli Stati Uniti, notò una relazione fra la luminosità e il periodo di pulsazione. Poiché le cefeidi osservate erano tutte alla stessa distanza dalla Terra, nella Nube di Magellano, Leavitt intuì che se si fosse riusciti a determinare la magnitudine assoluta di una sola delle stelle della Piccola Nube di Magellano, si sarebbe potuta ricavare la relazione tra la magnitudine assoluta di una cefeide e il periodo. Hertzsprung riuscì a misurare la distanza di alcune cefeidi della Galassia e a calcolare la loro magnitudine assoluta mediante la relazione (1). Fu così possibile formulare la relazione fra la magnitudine assoluta (media) della cefeide e il suo periodo:

$$M = a - b \log(T), \text{ con } a \text{ e } b \text{ costanti.}$$

Mediante questa relazione, dal periodo di pulsazione di una cefeide posta a distanza incognita si risale alla magnitudine assoluta e, misurando la magnitudine apparente, sempre con la relazione (1) si può calcolare la distanza. In questo modo le stelle variabili cefeidi (FIG. 7) possono essere usate come "candele standard" nell'universo, utilizzabili sia come indicatori di distanza, sia per calibrare indicatori di distanza di altro tipo.

Metodo delle supernovae

Per distanze ancora superiori, fino a 10^9 a.l., si utilizza attualmente un altro tipo di candele standard, le

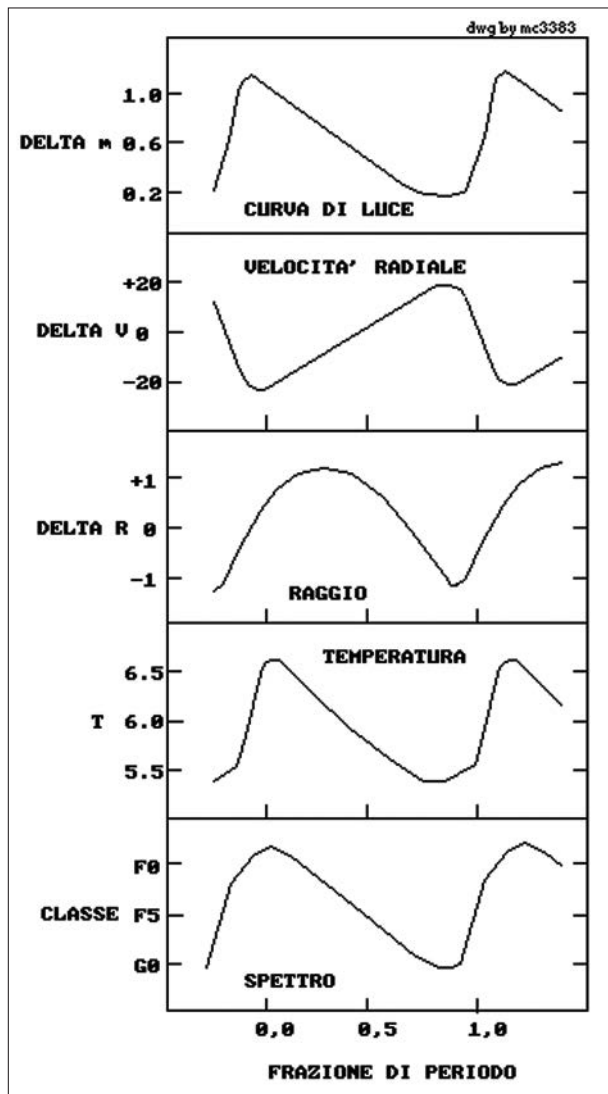


FIG. 7. I grafici mostrano la variazione di alcuni parametri fisici di una variabile cefeide confrontati con la sua curva di luce osservata.

cosiddette supernovae di tipo Ia (SN Ia). Quando una stella si trova molto vicina a una nana bianca, si forma il cosiddetto sistema binario, in cui due stelle sono legate gravitazionalmente e ruotano attorno a un centro di massa comune. Un sistema binario può avere tre possibili evoluzioni: nova classica, variabile cataclismica e SN Ia.

Le SN Ia si formano quando una nana bianca di un sistema binario accresce la sua massa strappando materia da una stella compagna fino a raggiungere il limite critico di massa, il limite di Chandrasekhar. A questo punto si innesca un'esplosione termoneucleare e, poiché la massa di innesco è quasi sempre la stessa, la luminosità massima (magnitudine assoluta) raggiunta è "quasi" costante e pari a -19^m . Quasi, perché la luminosità osservata non dipende solo dalla fisica dell'esplosione, ma anche dall'età e dalla composizione chimica della stella generatrice, dalla polvere e dalle caratteristiche della galassia in cui la stella si trovava. Tali esplosioni sono così luminose da essere visibili anche in galassie lontane e permettere quindi di determinare distanze fino a miliardi di a.l.

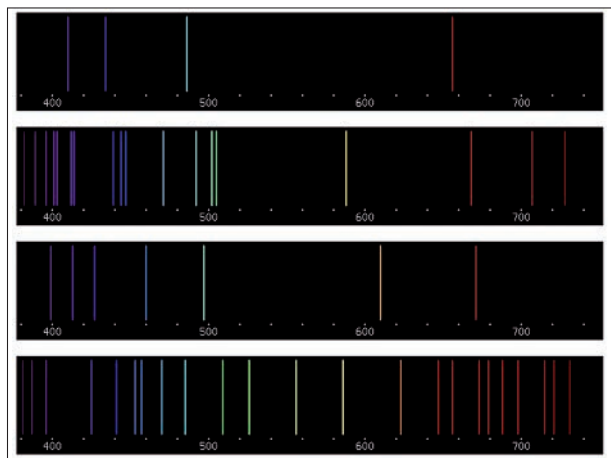


FIG. 8. L'immagine mostra le righe di emissione negli spettri di (dall'alto) idrogeno, elio, litio e berillio.

La misurazione della distanza si basa sul fatto che la luminosità apparente diminuisce con il quadrato della distanza. Avendo una luminosità intrinseca costante, misurando la luminosità apparente e la curva di luce, è possibile determinare la distanza attraverso le relazioni tra magnitudine assoluta, magnitudine apparente e distanza (1) e (2).

Questo metodo ha permesso di misurare distanze fino a 7 miliardi di anni luce e ha portato alla scoperta dell'espansione accelerata dell'universo nel 1998.

Redshift

In tempi recenti, l'utilizzo di tali candele, ha consentito di avere le prime evidenze di un universo in accelerazione. Negli anni Venti del secolo scorso, grazie alle osservazioni di Hubble, che per primo osservò una cefeide in una galassia diversa dalla nostra, la galassia di Andromeda, il dibattito sulla natura delle galassie venne risolto a favore dell'ipotesi che le nebulose a spirale fossero galassie come la Via Lattea, esterne ad essa. Ne derivava che l'universo fosse molto più grande di quanto fosse stato supposto fino a quel momento. Hubble continuò a studiare le galassie fino a darne una classificazione: ellittiche, lenticolari, spirali, tra cui le spirali barrate, e irregolari.

Hubble, inoltre, si dedicò all'analisi degli spettri emessi dalle diverse galassie. Lo spettro di ogni elemento chimico è caratterizzato da un insieme peculiare di righe spettrali: ad esempio, gli spettri di emissione di idrogeno, elio, litio e berillio (FIG. 8) presentano delle linee la cui posizione, tipica per ciascun elemento, corrisponde esattamente alla posizione delle righe dei relativi spettri di assorbimento (FIG. 9). Osservando lo spettro di assorbimento di un oggetto celeste, la posizione delle righe rivela quali elementi sono presenti in esso. Negli spettri delle galassie si osservano righe simili ma collocate in posizioni diverse. In particolare, in molti di questi

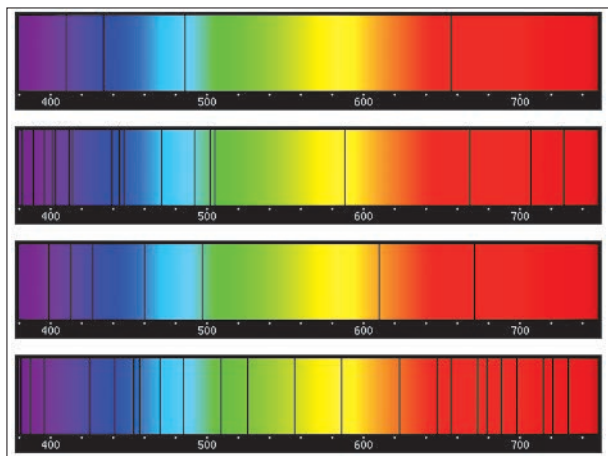


FIG. 9. Le righe di assorbimento negli spettri di H, He, Li e Be.

spettri si osserva un *redshift*, uno spostamento verso il rosso delle righe spettrali che avviene per effetto Doppler. Tale fenomeno consiste nella variazione apparente della frequenza e della lunghezza d'onda di un fenomeno ondulatorio di tipo sonoro o elettromagnetico, misurate da un osservatore in moto relativo rispetto alla sorgente. Il suono di una sirena, ad esempio, ci appare più acuto, quindi con frequenza maggiore, se la sorgente sonora si sta avvicinando, e più grave, quindi con frequenza minore, se la sorgente si sta allontanando. Analogamente, le onde luminose si accorciano, spostandosi verso il blu con frequenza maggiore, *blueshift*, se la sorgente si sta avvicinando, mentre si allungano, spostandosi verso il rosso con frequenza minore, quando una sorgente luminosa si allontana. Il *redshift* cosmologico è legato all'espansione dell'universo.

Il *redshift* z è definito come la variazione della lunghezza d'onda osservata λ_{oss} rispetto alla lunghezza d'onda a riposo λ_0 di una particolare riga in emissione o in assorbimento:

$$z = \frac{\lambda_{\text{oss}} - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\lambda_{\text{oss}}}{\lambda_0} - 1$$

Dalla relatività sappiamo che fra le lunghezze d'onda vale la relazione:

$$\lambda_{\text{oss}} = \lambda_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \Rightarrow \frac{\lambda_{\text{oss}}}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$$

Tenendo conto dell'espressione di z appena trovata si ha:

$$z = \frac{\lambda_{\text{oss}}}{\lambda_0} - 1 = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1$$

Tenendo conto che $c \gg v$ si può considerare $\sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} = 1 + \frac{v}{c}$, per cui $z = \frac{v}{c}$ e, infine, $v = c \cdot z$.

Ad esempio, una galassia il cui parametro di *redshift* è uguale a 0,002 si allontana ad una velocità $v = c \cdot z = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 0,002 = 6 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ovvero $v = 600 \text{ km/s}$.

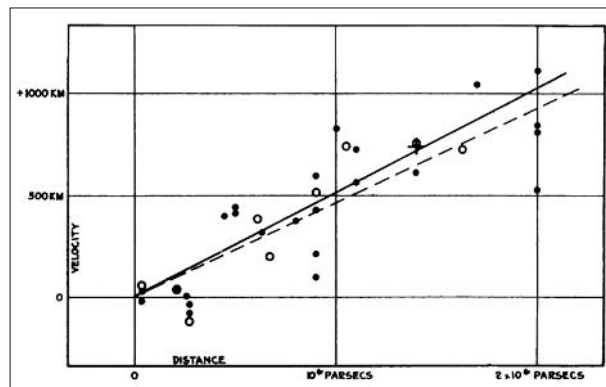


FIG. 10. La relazione velocità-distanza delle nebulose extra-galattiche nell'articolo di Edwin Hubble del 1929: *A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*, «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America», 15(3), March 1929, pp. 168-173. Per un evidente errore tipografico, nell'asse delle ordinate si legge *km* invece di *km/s*.

Nel 1929 Hubble stimò la distanza di 18 galassie con il metodo delle stelle cefeidi e confrontò le distanze stimate con le rispettive velocità di recessione, determinate sulla base dei loro spostamenti Doppler (*redshift*). Lo spostamento verso il rosso poteva essere interpretato come la prova che le galassie fossero in allontanamento dalla Terra. Si può dunque affermare che l'universo è soggetto a un moto di espansione e ogni punto di esso può essere considerato come il centro dell'espansione. È importante sottolineare altresì che l'espansione dell'universo non avviene in uno spazio vuoto, ma è lo spazio stesso, cioè l'intero universo di materia ed energia, che si espande creando lo spazio-tempo.

A partire dai pochi dati a sua disposizione, Hubble ipotizzò che vi fosse una relazione lineare tra la velocità di allontanamento da parte delle galassie e la loro distanza ed espose la sua teoria in un articolo inviato il 17 gennaio 1929 alla rivista «Proceedings of the National Academy of Sciences» (PNAS), *A Relation between Distance and Radial Velocity between Extra-Galactic Nebulae* (FIG. 10). Tuttavia è doveroso rilevare che già due anni prima, nel 1927, Georges Lemaître, un fisico e sacerdote belga, aveva pubblicato su una rivista scientifica belga poco conosciuta, gli «Annales de la Société Scientifique de Bruxelles», un articolo in francese dal titolo *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques*, nel quale descriveva e calcolava la relazione tra la velocità radiale e la distanza delle galassie in una teoria dell'universo in espansione, in anticipo su Hubble di ben due anni. L'articolo rimase a lungo sconosciuto fino a quando l'astronomo inglese Arthur Eddington cita l'articolo di Lemaître del 1927, a sostegno di un suo lavoro. A seguito di questa improvvisa notorietà, l'articolo di Lemaître viene pubblicato nella traduzione in inglese, ma la parte che riguarda le conclusioni relative alla trovata relazione lineare tra le velocità radiali e le distanze delle nebulose extra-galattiche non viene inserita, a quanto sembra su decisione dello stesso autore, assicurando così la

primogenitura a Edwin Hubble. Per approfondimenti relativi ai risultati e all'articolo scientifico di Lemaître e alle attuali discussioni relative alla cosiddetta "tensione di Hubble", si rimanda ai diversi articoli apparsi sul «Giornale di Astronomia», alcuni dei quali si riportano in bibliografia.

Nel 2018, l'Unione Astronomica Internazionale (IAU) approva una risoluzione che, riconoscendo il contributo fondamentale di Georges Lemaître, ha rinominato la legge di Hubble. Oggi conosciuta come legge di Hubble-Lemaître, si esprime come $v = H_0 \cdot d$: dove v è la velocità della galassia espressa in km/s , d la sua distanza in Mpc e H_0 è la costante di Hubble, il cui valore stimato attualmente vale circa $70 (\text{km/s})/\text{Mpc}$ e che rappresenta la pendenza della retta che interpola la relazione velocità-distanza.

Il diagramma pubblicato da Hubble nel suo lavoro del 1929 (FIG. 10), relativo ai risultati delle osservazioni da lui effettuate, evidenzia l'errore (di poco conto) nell'etichetta dell'asse delle ordinate dove si dovrebbe leggere ovviamente km/s e non km (trattandosi di velocità). In esso, si legge abbastanza facilmente il valore $H_0 = 500 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Questo valore è significativamente diverso da quello attuale, in quanto Hubble aveva stimato la distanza usando come indicatori le cefeidi, mentre in realtà si trattava di un altro tipo di stelle variabili, le RR Lyrae. Hubble e Humason, per le loro osservazioni, stavano usando il telescopio più grande allora esistente. M31 è riconoscibile come il cerchio vuoto in basso a sinistra; Humason ne aveva determinato la velocità in direzione della Via Lattea pari a 220 km s^{-1} mentre il valore di oggi è 110 km s^{-1} . Con la legge di Hubble-Lemaître si misurano distanze di ammassi galattici fino a 10^{10} a.l.

Cenni sugli errori delle misure delle distanze astronomiche

Ogni metodo della «scala delle distanze cosmiche» porta con sé incertezze specifiche che qui di seguito si richiamano brevemente.

Parallasse stellare: l'errore principale sta nella risoluzione degli strumenti. Anche con satelliti come Gaia, piccoli errori nella posizione della stella si traducono in grandi errori di distanza per oggetti molto lontani.

Candele standard (Cefeidi e Supernovae): l'errore tipico è l'estinzione interstellare. La polvere tra noi e l'oggetto assorbe luce, facendolo apparire più debole (e quindi più lontano) di quanto sia in realtà.

Legge di Hubble-Lemaître (Redshift): qui l'errore deriva dai moti peculiari. Le galassie non si allontanano solo per l'espansione dell'universo, ma anche per la gravità reciproca, alterando il calcolo basato sulla velocità di recessione.

Effetto sistematico: dal momento che ogni gradino della scala si appoggia su quello precedente, un piccolo errore iniziale nella calibrazione (p.e., la distan-

za esatta della Luna o del Sole) si propaga geometricamente su tutto l'universo osservabile.

I margini d'errore, tipici per i principali metodi di misurazione sono:

Parallasse (Satellite Gaia): per le stelle vicine l'errore è piccolissimo, oscillando fra $0,001\%$ e $0,01\%$. Per oggetti al centro della Galassia, l'incertezza sale a percentuali comprese fra il 10% e il 20% .

Cefeidi (Stelle variabili): grazie alle calibrazioni del telescopio Hubble, l'errore si attesta intorno al $3\%-5\%$.

Supernovae Tipo Ia: fondamentali per le distanze extragalattiche, hanno un margine d'errore del $5\%-7\%$.

Legge di Hubble (Redshift): per galassie molto lontane, l'incertezza è legata alla costante, con un errore sistematico compreso fra il 5% e il 10% , dovuto alla discrepanza tra diversi metodi di misura e nota come «tensione di Hubble».

Radar (Sistema solare): all'interno del nostro Sistema, l'errore è praticamente trascurabile, nell'ordine di pochi metri, vale a dire frazioni infinitesime di punto percentuale.

Conclusioni

Nella presente unità didattica sono stati trattati i metodi principali utilizzati per determinare le distanze astronomiche, arrivando così alla realizzazione della scala delle distanze cosmiche (vedi FIG. 1 e relativa tabella).

Referenze bibliografiche

- U. AMALDI, *Il nuovo Amaldi per i licei scientifici. Blu*, vol. 3, Zanichelli 2020.
- A. CAFORIO, A. FERILLI, *Fisica! Le regole del gioco*, vol. 3, Le Monnier, 2012.
- T. CAVATTONI, *Il cielo sopra di noi*, Zanichelli, 2013.
- M. CRIPPA, M. FIORANI, *Geografia generale*, A. Mondadori Scuola, 2015.
- J. D. CUTNELL, K. W. JOHNSON, D. YOUNG, S. STADLER, *La fisica di Cutnell e Johnson*, vol. 3, Zanichelli, 2024.
- G. CUTISPOTO, *La scala delle distanze astronomiche*, «Giornale di Astronomia», 36(2), 2010, pp. 30-35.
- M. DELLA VALLE, *L'espansione del cosmo e la misura della incostante di Hubble*, «Giornale di Astronomia», 50(3), 2024, pp. 2-14.
- R. MARAZZINI, M. E. BERGAMASCHINI, L. MAZZONI, *Fenomeni e Fisica*, vol. 3, Minerva Scuola, 2008.
- G. P. PARODI, M. OSTILI, G. MOCHI ONORI, *Fisica in evoluzione*, vol. 3, Pearson, 2014.
- F. SENZANI PEZZI, *Georges Lemaître, il cosmologo che percorse i tempi*, «Giornale di Astronomia», 48(4), 2022, pp. 6-11.
- A. TRIOZZI, *Scala delle distanze in astrofisica*, Tesi di laurea in Astronomia, relatore prof.ssa Marcella Brusa, a.a. 2023/2024.
- J. S. WALKER, *Fisica. Modelli teorici e problem solving. Per le Scuole superiori*, Linx, 2016.

Sitografia (consultati giugno 2026)

<https://digilander.libero.it/madscience/parametri%20stellari.pdf>.
<https://frosinonemeteo.it/le-stelle/la-luminosita-delle-stelle.html>.

<https://scisyn.com/umuc/astro/ASTR100Notes/spectra-examples.html>.
www.researchgate.net/figure/Hubbles-original-diagram-from-Hubble-1929-Despite-the-typo-on-the-labelling-of-the-y_fig1_354379309.

Michele Città è un ingegnere nucleare, ha lavorato all'ENEA e nelle scuole come tecnico di laboratorio. Nel «Giornale di Astronomia» ha pubblicato *A proposito delle leggi di Keplero* (2018), *Sull'effetto Compton* (2021), *Interazioni fondamentali e particelle* (2022). michele-citta@libero.it

Anna Maria Cangelosi insegna scienze nel liceo, con i suoi alunni nel 2014 e nel 2016 ha vinto il concorso “Lo studente ricercatore” indetto dall'IFOM di Milano, è risultata premiata al concorso “Mad for Science 2020” indetto dalla Diasorin di Torino con il progetto “Forme di economia circolare dell'acqua in una ECOCITY”. Nel «Giornale di Astronomia» ha pubblicato una *Lettera al Ministro dell'Istruzione* (2012) di protesta contro l'eliminazione dell'astronomia dai programmi triennali dei licei. annamaria.cang@gmail.com

Massimo Genchi ha insegnato matematica e fisica nei licei e si è occupato di storia e didattica della matematica e della fisica, ha pubblicato *Sulla risoluzione qualitativa dell'equazione di terzo grado* (Progetto Alice, Roma, 2009) e, nel «Giornale di Astronomia», *A proposito delle leggi di Keplero* (2018), *Sull'effetto Compton* (2021), *Interazioni fondamentali e particelle* (2022). massimo.genchi@gmail.com

Tunguska: ricostruire un cataclisma spaziale★

Francesco Ginanneschi

Studente del Master in Divulgazione scientifica dell'Università degli Studi di Siena

FARE riferimento alla Siberia evoca, in genere, una proiezione mentale verso condizioni ambientali estreme: si pensa al gelo indicibile dei suoi interminabili inverni, alla natura selvaggia che connota una regione di vertiginosa vastità e minimo radicamento umano, ma anche alle colonie penali e ai famigerati campi di lavoro forzato ivi allestiti, di cui si servirono l'Impero zarista e l'Unione Sovietica e di cui si serve l'odierno regime russo per confinarvi gli elementi dissidenti (FIG. 1).

La Siberia, ossia la parte asiatica della Russia, si estende per oltre tredici milioni di chilometri quadrati, pari al 9% delle terre emerse del globo, dai versanti orientali dei Monti Urali alle coste bagnate dall'Oceano Pacifico. Questo immenso territorio è popolato da appena trentacinque milioni di persone, talmente disperse che la densità abitativa è ridottissima, di soli 2,6 abitanti per chilometro quadrato.

Con la locuzione di Evento di Tunguska si identifica una deflagrazione avvenuta alle ore 7:14 locali del 30 giugno 1908, nello spazio soprastante il bacino del fiume Podkamennaja Tunguska (FIG. 2), nella Siberia centrale. Forniscono importanti informazioni le testimonianze di chi ebbe diretta percezione dell'evento e delle sue ricadute. Un contadino di nome Semen Semenov, che si trovava a qualche decina di chilometri dall'epicentro (quindi pericolosamente vicino) riferì di una spaccatura nel cielo, seguita da un fuoco che si innalzava sopra le chiome della foresta, un boato assordante, un terremoto e infine il suo corpo perdeva l'equilibrio venendo scagliato indietro di alcuni metri dall'onda d'urto.

Un lampo accecante, un rumore inaudito, l'improvvisa impennata della temperatura dell'aria e un sinistro tremore del terreno furono avvertiti anche dai pastori nomadi e dagli abitanti dei villaggi sparpagliati a considerevoli distanze fra loro nel territorio degli *oblast* della Siberia centrale. Ma il colpo era stato talmente potente che i suoi effetti si manifestarono su una vastissima porzione dell'Eurasia. Fino a centinaia di chilometri di distanza, la circolazione ferroviaria risultò alterata dagli effetti dei movimenti sismici, tanto che alcuni convogli a titolo precauzionale furono fermati, mentre in Europa, per diverse notti consecutive, il cielo venne rischiarato da inspiegabili luminescenze.

In un'area di circa 2100 km² erano stati divelti ottanta milioni di alberi della taiga. L'ambiente radi-



FIG. 1. Scorcio di foresta siberiana. (Crediti: Vyacheslav Argenberg, CC BY 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, via Wikimedia Commons)



FIG. 2. Veduta aerea del fiume Podkamennaya Tunguska. (Crediti: ShavPS, CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>, via Wikimedia Commons)

calmente trasformato, con una distesa di piante incenerite o mutilate e ridotte a moncherini a perdita d'occhio e un'ecatombe di animali selvatici straziati, dischiuse a chi passò di lì un panorama di spettrale devastazione. Fu una catastrofe ecologica, ma sarebbe stato anche uno sterminio di esseri umani se invece che in remote regioni disabitate fosse accaduto sopra un'area densamente urbanizzata. Basti pensare che l'energia di 15 megatoni che si stima essere stata sprigionata a Tunguska è di mille volte superiore a quella dissipata dagli ordigni atomici lanciati sul Giappone sul finire della Seconda guerra mondiale (risultato ricavato incrociando la valutazione dei danni tangibili con le registrazioni della pressione e delle onde sismiche).

Perlomeno in epoca moderna, non si ha notizia di un altro evento equivalente per potenza e ampiezza della distruzione. Tuttavia, nonostante si ab-

* Questo articolo è il frutto di una esercitazione nel Master in Divulgazione Scientifica dell'Università degli Studi di Siena. [Ndr]



FIG. 3. Alberi abbattuti a seguito dell'Evento di Tunguska, fotografati nel 1929. (Crediti: Leonid Kulik, la spedizione all'evento Tunguska, Public domain, via Wikimedia Commons)

bia cognizione delle coordinate spazio-temporali dell'evento e si disponga di molteplici testimonianze nonché dei macroscopici esiti al suolo, le indagini per individuarne le cause e la dinamica sono state estremamente lente e hanno generato svariate e contrastanti teorie. Oltre un secolo dopo, malgrado sia stato raggiunto un sostanziale largo consenso circa la riconducibilità dell'esplosione a un corpo esterno alla Terra (il cosiddetto Tunguska Cosmic Body, ТCB, ossia corpo o oggetto cosmico di Tunguska), le controversie non sono sopite.

In primo luogo, la Russia profonda di inizio Novecento era un mondo di difficile penetrabilità, in ragione della sua grandezza e dell'ambiente inospitale. Quindi, la remota collocazione geografica del territorio interessato non predisponendo al rapido approntamento di missioni sul posto, stante anche le difficoltà tecniche nello stabilire le comunicazioni. A San Pietroburgo la notizia arrivò con estrema lentezza e senza sollevare grande interesse. In ogni caso, il potere pubblico era contrassegnato da inefficienze e da un'impostazione retrograda. Ad ulteriore aggravamento di queste difficoltà, si aggiunga che gli anni successivi alla catastrofe videro consumarsi dei rivolgimenti politici e bellici che sconvolsero dalle fondamenta la stessa esistenza e continuità dello Stato: dapprima l'ingresso dell'Impero zarista nella Prima guerra mondiale, poi il rovinoso ritiro dal conflitto, il collasso dell'autocrazia, l'instaurazione della dittatura bolscevica e lo scontro civile tra comunisti e controrivoluzionari.

L'inizio dell'indagine diretta sui fatti di Tunguska si deve al mineralogista russo Leonid Alekseevič Kulik, il quale, partito da San Pietroburgo dove ricopriva un prestigioso incarico all'Accademia delle scienze, guidò varie spedizioni tra il 1927 e il 1939 (FIG. 3). Come se l'operazione non fosse già abbastanza complicata, le superstizioni e le leggende dei nativi intralciarono persino il reperimento di guide per arrivare nell'area dell'Evento. Solo verso la fine degli anni '30 fu compiuto il primo sorvolo aereo del sito. Kulik, esperto di meteoriti, era persuaso che si fosse trattato della caduta di un oggetto celeste ma

rimase perplesso a causa dell'assenza del classico cratere d'impatto, la tipica e inequivocabile prova di una collisione.

Negli anni sbocciarono dunque teorie eterogenee, alcune indimostrate ma plausibili (come la risalita in superficie di una sacca di metano poi incendiandosi), tante altre invece completamente infondate e assurde, tra cui la maldestra manovra di un'astronave aliena, l'apparizione di un buco nero e la propagazione di un impulso energetico dalla Torre Wardencliff durante i pionieristici esperimenti sulle comunicazioni via ionosfera diretti da Nikola Tesla. Queste fantasiose spiegazioni sono state proposte sia in ambienti non ufficiali che come materiale per imbastire avvincenti trame romanzesche.

Ma tornando alle inchieste serie, l'intuizione che Kulik non riuscì a dimostrare a causa dello scoppio della Seconda guerra mondiale e della sua prematura scomparsa nel conflitto, fu coltivata da nuove generazioni di scienziati, sia sovietici che di altre nazionalità.

Osservando l'andamento di caduta e la combustione dei tronchi ma anche la posizione dei pochi fusti superstiti, è stato possibile ipotizzare che il corpo extraterrestre dovesse essere esploso a circa otto o nove chilometri di quota. È stato poi calcolato che lo stesso si sarebbe avvicinato alla superficie terrestre con una inclinazione compresa in un intervallo fra 30° e 45° , seguendo una traiettoria da sud-est a nord-ovest (sul punto, testimonianze raccolte molti anni dopo avevano indicato angoli inferiori, ma le moderne simulazioni computerizzate hanno suggerito rimodulazioni al rialzo peraltro compatibili con la forma della "ferita" tracciata sulla foresta).¹

Il fatto che probabilmente un oggetto spaziale si sia disintegrato in atmosfera, costituisce una buona base di partenza che spalanca le porte su una ridda di successivi problemi.

Per cominciare, ci si è domandati cosa fosse quel misterioso oggetto. Lo stupore di Kulik sull'assenza di una conclamata depressione da impatto era figlia della sua convinzione che il proiettile dovesse essere un meteorite ferroso, quindi qualcosa di estremamente robusto e duro.² Egli comunque propose che, essendo trascorsi degli anni, paludi e torbiere nel frattempo avessero inghiottito eventuali crateri. Altri ritengono che il TCB fosse un asteroide roccioso o una cometa, caratterizzati in ogni caso da ridotte dimensioni e composizione friabile.

La corrente cometaria ha dominato a lungo nel dopoguerra in URSS. Secondo gli scienziati sovietici, identificare il TCB come una cometa permetteva di spiegare l'assenza di un cratere, giacché il corpo si

¹ Cfr. <https://asteroidiedintorni.blog/2023/11/01/il-mistero-delle-meteoriti-mancanti-di-tunguska/>.

² Esemplificativo della forza dei corpi ferrosi è uno dei più celebri crateri al mondo, il Meteor Crater in Arizona, lasciato circa 50.000 anni fa da un oggetto che molto probabilmente superò con successo il passaggio in atmosfera per poi scomparire con lo schianto a terra.

sarebbe vaporizzato in troposfera, ma anche l'avvicinamento per più notti consecutive dopo l'evento di luci in cielo fino a migliaia di chilometri dal punto dell'esplosione. Tuttavia, questa teoria cade considerando che una cometa intera di piccole dimensioni o un frammento della stessa, sarebbe andata incontro a frantumazione a una quota ben più alta di quella stimata per l'*airburst* (la detonazione in aria) del TCB (15-20 km contro 8-9), stante la sua scarsa coesione interna. In altre parole, avrebbe retto molto meno all'attrito opposto dall'atmosfera terrestre, rispetto allo scenario reale per come ricostruito. Inoltre, la luminosità notturna può ascrivere anche alla capacità delle polveri liberate da un bolide roccioso e trasportate dai venti di diffondere la radiazione solare.³

Ecco quindi riprendere quota, è il caso di dire, l'ipotesi dell'asteroide. Considerando parametri come l'eccentricità dell'orbita e l'inclinazione (entrambe variabili con valori bassi nel caso di asteroide, alti invece per una cometa), è stato calcolato che la probabilità che il corpo di Tunguska fosse un asteroide è statisticamente molto superiore rispetto a quella che si trattasse di una cometa. Non solo, inserendo nell'equazione dell'energia cinetica ($E = 0,5 mv^2$) una possibile velocità compresa tra 15 e 20 km/s, un'energia sprigionata di 15 megatoni e una densità media pari a 3300 kg/m³, si è trovato che il proiettile spaziale potesse avere una massa nell'intervallo $2 - 8 \times 10^8$ kg, diametro compreso tra 50 e 80 metri e che appartenesse al nostro Sistema solare, perché se fosse arrivato da fuori sarebbe verosimilmente stato molto più veloce.⁴

Fin dagli anni Novanta (CHYBA, HILLS, GODA), si è fatta strada la teoria della "frittella" (*pancake model* in inglese). Il corpo spaziale, attraversando l'atmosfera, sarebbe stato frenato dall'attrito esercitato dall'aria, perdendo dunque energia cinetica (decelerazione) e massa (per via della consumazione progressiva della sua superficie). La compressione sempre più intensa ne avrebbe causato dapprima lo schiacciamento con conseguente deformazione a frittella, poi la rottura in modo violento e repentino, che assunse quindi una dinamica esplosiva, determinando l'*airburst*.

Il modello della frittella ha necessitato di un aggiustamento. Siccome la versione originale ipotizzava che la soglia di rottura del corpo (quindi il punto in cui la pressione da attrito dell'aria supera la resistenza del solido) si mantenesse costante a ogni successiva frammentazione dei pezzi derivanti dall'oggetto progenitore, in modo da giustificare l'assenza di residui al suolo, il confronto con altri

passaggi asteroidali che invece hanno lasciato tracce d'impatto ha suggerito di rendere più realistica la dinamica teorica, introducendo l'aumento della pressione necessaria col procedere della frantumazione. Ciò significa che, man mano che l'impattore si frantuma, i nuovi frammenti sono sempre più resistenti, fino a che dei superstiti riescono a schiantarsi sulla superficie terrestre.⁵

A questo punto, pertanto, si apre un rilevante interrogativo sollevato dall'evento di Tunguska: cosa ne è stato dei frammenti del TCB? La domanda è strettamente intrecciata con la ricerca di uno o più eventuali crateri da impatto.

Nel 1991, una squadra di scienziati italiani riuscì a mettere a segno un importante ritrovamento tramite uno studio di dendrocronologia, la disciplina che si occupa della datazione degli alberi osservandone gli anelli: microparticelle conservate nella resina delle conifere,⁶ ricche di elementi pesanti di probabile origine asteroidale. Poi nel 1998, uno studio cinese dette conto della presenza di un picco di iridio in campioni di torba prelevati nei pressi dell'epicentro dell'Evento. L'iridio è rarissimo sulla Terra e viceversa abbondante negli asteroidi.⁷

Nel 1999, una nuova spedizione italiana del CNR-Isma e delle Università di Trieste e Bologna, si concentrò sul Lago Cheko, un bacino situato giusto a qualche chilometro dall'epicentro dell'evento. La pista parve promettente, anche in virtù del fatto che non era originale, bensì già presa in considerazione negli anni Sessanta, quando un breve e circoscritto dibattito tra alcuni ricercatori russi aveva dapprima portato a ipotizzare che quello specchio d'acqua dolce fosse di origine meteorica e poi a rifiutare la suddetta possibilità. Le nuove indagini miravano a ricostruire l'origine e la morfologia lacustre.

Il gruppo di lavoro, battendo il lago a bordo di un catamarano e servendosi di ecoscandagli, radar e strumenti per l'esecuzione di carotaggi, studiò accuratamente il fondale, le pareti e i materiali sedimentari e già dall'analisi visuale emersero aspetti apparentemente contraddittori. In primo luogo, fu accertato come sul fondale giacesse sedimenti spessi una decina di metri. Stimando un ritmo di accrescimento dei depositi pari a un centimetro all'anno (lago non grande, ghiacciato per diversi mesi e alimentato da un unico immissario, il Kimchu), un'altezza così notevole suggeriva che la formazione del bacino risalisse a un'epoca molto anteriore al 1908 e che quindi non vi fosse alcun collegamento con il cataclisma di Tunguska. Altre evidenze raccolte, però, parevano offrire un diverso scenario. Si notò infatti come la depressione si restringa con la discesa, il che le conferisce una peculiare forma a imbuto che raggiunge circa i cinquanta metri nel

³ Cfr. A. CARBOGNANI, *L'asteroide di Sodoma e Gomorra – Gli asteroidi e il rischio di collisione con la Terra: da Chicxulub ad Apophis senza dimenticare Oumuamua*, Bologna, In Riga, aggiornamento 2023, p. 120.

⁴ Cfr. <https://asteroidiedintorni.blog/2023/11/01/il-mistero-delle-meteoriti-mancanti-di-tunguska/> e A. CARBOGNANI, *op. cit.*, p. 117.

⁵ Cfr. <https://asteroidiedintorni.blog/2023/11/01/il-mistero-delle-meteoriti-mancanti-di-tunguska/>.

⁶ Cfr. www.geopop.it/evento-di-tunguska-lenorme-esplosione-e-stata-davvero-causata-da-una-meteora/.

⁷ Cfr. A. CARBOGNANI, *op. cit.*, pp. 122-123.



FIG. 4. Il luogo dell'impatto dell'evento Tunguska nella Siberia centrale. In rosso, l'epicentro con l'area della foresta distrutta su un raggio di circa 20 km; in arancione, dove si sono avuti danni pesanti, 100 km; con la sfumatura blu sono indicate le zone nelle quali si è esteso il rumore prodotto, 1500 km. (Crediti: Denys, in https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89v%C3%A9nement_de_la_Toungouska)

punto più profondo, invece di presentare il piatto fondale tipico di un lungo processo di accumulo di sedimenti, al pari degli altri laghi della regione.⁸ Altri indizi sembrano avvalorare il fatto che l'origine del lago sia ascrivibile a un impatto, come le testimonianze dei locali che ne ricollegano la formazione all'evento di Tunguska e la sua assenza da una mappa ottocentesca visionata dai ricercatori italiani.

Studi più recenti hanno offerto una possibile spiegazione dell'enigma dei sedimenti, che, come visto, in prima battuta porterebbe alla forte retrodatazione del processo geologico di formazione dello specchio d'acqua. Secondo le nuove risultanze, solo il primo metro di sedimento sarebbe il prodotto degli apporti fluviali (una buona stratificazione tipicamente lacustre, sedimenti argillosi e residui di piante acquatiche), mentre gli strati sottostanti si sarebbero formati con un'azione diversa, repentina e caotica (si evidenzia la mancanza di stratificazione e la presenza di fanghi grossolani poveri di materia organica).⁹

L'origine del lago Cheko, per come caldeggiata dai fautori dell'ipotesi spaziale, è da far risalire a un frammento del corpo celeste di Tunguska, che dopo la frantumazione aerea avrebbe raggiunto terra per piantarsi nel terreno acquitrinoso, scavare un profondo avvallamento e fondere il permafrost (il sottosuolo congelato tipico delle regioni subpolari). La depressione si sarebbe poi riempita di acqua. Una piccola ma significativa anomalia magnetica/sismica riscontrata al di sotto del fondale, lascia fantasticare sul fatto che essa promani dalla materia celeste forse sepolta laggiù da oltre un secolo e che la stessa

sia rocciosa e non metallica, stante proprio la debolezza del segnale registrato dalle strumentazioni.¹⁰

Non disponendo di prove inconfutabili, l'origine del Cheko rimane controversa; la suggestiva teoria dei ricercatori italiani è stata prevedibilmente avversata da altri membri della comunità scientifica internazionale. Si segnala uno studio pubblicato nel 2017 da scienziati russi che ha dato conto di conclusioni diametralmente opposte, ossia che il ritmo di accrescimento dei sedimenti sarebbe in realtà molto inferiore e che il lago ai primi del Novecento esisteva già da molto tempo. In tempi molto recenti (2023), un gruppo di ricerca russo ha poi formalizzato uno studio in cui contesta la peculiarità morfologica del lago supposta anni prima, asserendo che essa sarebbe in realtà comune ad altri bacini siberiani. A pochi mesi di distanza, i ricercatori italiani hanno direttamente replicato sottolineando come, a quanto risulta, nessun altro lago dell'Altopiano della Siberia centrale sembri possedere le medesime caratteristiche geomorfologiche del Cheko, ribadendo dunque la peculiarità di quest'ultimo.¹¹

¹⁰ Cfr. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012GC004054>. C'è un precedente significativo: nel febbraio del 2013 la Siberia è stata nuovamente teatro di uno spettacolare ingresso asteroidale, sopra la città di Chelyabinsk (fortunatamente senza un'esplosione devastante ma comunque con innumerevoli feriti a causa delle schegge di vetro delle finestre frantumate dall'onda d'urto) e qualche mese dopo un bel meteorite è stato portato a galla dai sommozzatori nel vicino Lago Chebarkul.

¹¹ Il confronto tra le ricostruzioni divergenti di italiani e russi è consultabile alle seguenti fonti: www.researchgate.net/publication/320846908_Sedimentation_rate_in_Cheko_Lake_Evenkia_Siberia_New_evidence_on_the_problem_of_the_1908_Tunguska_Event; www.researchgate.net/publication/370476798_Morphology_of_Lakes_of_the_Central_Tunguska_Plateau_Krasnoyarsk_Krai_Evenkiya_New_Data_on_the_Problem_of_the_

⁸ Cfr. L. GASPERINI, E. BONATTI, G. LONGO, *Il mistero di Tunguska*, «Le Scienze», 479, 2008, pp. 38-44.

⁹ *Ibidem*.

La controversia rimane aperta e probabilmente solo il rinvenimento del corpo cosmico in fondo al lago, se davvero riposa lì, potrà fornire la prova definitiva.

Allargando la visuale, si è ipotizzato un possibile campo sparso, ossia la distribuzione dei rimasugli dell'oggetto progenitore di Tunguska all'interno di una certa area. A rendere particolarmente impervio il rinvenimento di queste rocce (la cui effettiva esistenza, si ricorda, non è affatto certa) sono il lungo lasso di tempo trascorso e la particolare conformazione del suolo, acquitrinoso e ricco di vegetazione, in grado di occultare eventuali frammenti, come supposto già ai tempi di Kulik.

Secondo i calcoli effettuati da ricercatori italiani, questi resti potrebbero essere disseminati in un'area di circa 140 km² ed essere sepolti relativamente in profondità, coperti dal ghiaccio e dal fango.¹²

In conclusione, l'enigma che avvolge i fatti accaduti a Tunguska 118 anni fa è stato in parte dipanato. Oggi possiamo affermare che con buona probabilità avvenne la distruzione in aria di un oggetto cosmico di ridotte dimensioni che, bruciandosi e rallentando per attrito durante la caduta, produsse un ventaglio di effetti acustici, luminosi, tellurici e meccanici al suolo e in atmosfera di estesa e potente portata. Non sappiamo se l'oggetto in questione fosse un asteroide o una cometa, ma è più probabile la prima opzione. Dando per vero che fosse un asteroide, non sappiamo se fosse metallico o roccioso, ma è più facile che fosse roccioso, perché i corpi metallici tendono a rompersi raramente. Non si hanno prove dell'esistenza di resti, ma è plausibile che questi possano essere disseminati nella taiga, conficcati nel permafrost, sigillati dal fango o inabissati sul fondale di qualche lago. Proprio un lago pare avere l'aspetto ideale per poter essere l'ipotetico cratere scavato da un residuo del TCB sufficientemente robusto e voluminoso.

Il tempo trascorso e la parzialità dei risultati raggiunti testimoniano la difficoltà dell'impresa, ma in futuro nuove spedizioni di scienziati volenterosi e

attrezzati potrebbero finalmente vincere questa appassionante sfida.

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare Vincenzo Millucci, Silvia Cantara, Claudia Ricci e Alessandro Marchini, tutti dell'Università degli Studi di Siena.

Referenze bibliografiche

- A. CARBOGNANI, *L'asteroide di Sodoma e Gomorra – Gli asteroidi e il rischio di collisione con la Terra: da Chicxulub ad Apophis senza dimenticare Oumuamua*, Bologna, In Riga, aggiornamento 2023.
E. PEROZZI, *Il cielo che ci cade sulla testa – Impatti cosmici e incontri ravvicinati*, Bologna, il Mulino, 2016.
L. GASPERINI, E. BONATTI, G. LONGO, *Il mistero di Tunguska*, «Le Scienze», 479, luglio 2008.

Sitografia

- www.media.inaf.it/2023/10/30/meteorite-tunguska-strewn-field/.
www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019103523004244?via%3Dihub.
<https://asteroidiedintorni.blog/2023/11/01/il-mistero-delle-meteoriti-mancanti-di-tunguska/>.
www.geopop.it/evento-di-tunguska-lenorme-esplosione-e-stata-davvero-causata-da-una-meteora/.
<https://ingvambiente.com/2020/04/07/tunguska-e-il-mistero-del-lago-cheko/>.
www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019103523004244?via%3Dihub.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012GC004054>.
www.cnr.it/it/comunicato-stampa/4644/verso-la-soluzione-del-mistero-di-tunguska.
www.researchgate.net/publication/320846908_Sedimentation_rate_in_Cheko_Lake_Evenkia_Siberia_New_evidence_on_the_problem_of_the_1908_Tunguska_Event.
www.researchgate.net/publication/370476798_Morphology_of_Lakes_of_the_Central_Tunguska_Plateau_Krasnoyarsk_Krai_Evenkiya_New_Data_on_the_Problem_of_the_Tunguska_Event_of_1908.
www.researchgate.net/publication/373854602_Comment_on_Rogozin_et_al_2023_Morphology_of_Lakes_of_the_Central_Tunguska_Plateau_Krasnoyarsk_Krai_Evenkiya_New_Data_on_the_Problem_of_the_Tunguska_Event_of_1908.

Tunguska_Event_of_1908; www.researchgate.net/publication/373854602_Comment_on_Rogozin_et_al_2023_Morphology_of_Lakes_of_the_Central_Tunguska_Plateau_Krasnoyarsk_Krai_Evenkiya_New_Data_on_the_Problem_of_the_Tunguska_Event_of_1908.

¹² Cfr. www.media.inaf.it/2023/10/30/meteorite-tunguska-strewn-field/ e www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019103523004244?via%3Dihub.

Francesco Ginanneschi: sono nato a Castel del Piano (Grosseto) nel 1989. Ho conseguito il diploma di maturità scientifica e la laurea magistrale in giurisprudenza, per poi trovare impiego come funzionario del Ministero dell'istruzione e del merito. Ho conseguito il Master in Divulgazione scientifica dell'UNISI. Ho un grande interesse per la storia e la scienza.

La visibilità a occhio nudo delle Pleiadi

Gabriele Vanin

Centro Astronomico "Giuliano Vanin", Feltre (BL)

DIVERSI autori antichi riportarono uno strano dualismo nel numero di stelle visibili nelle Pleiadi. Così Arato di Soli (c. 315-c. 240 a.C.):

Come sette sentieri tra gli uomini sono cantate, sebbene sei soltanto ne siano visibili agli occhi.

Così Eratostene di Cirene (c. 276-c. 194 a.C.):

Sul taglio del dorso si trova la Pleiade, che ha sette stelle, perciò viene chiamata anche "di sette stelle". Se ne vedono di fatto solo sei, perché la settima è molto debole.

Ipparco di Nicea (190-120 a.C.) nel suo commento ad Arato affermò:

Gli sfugge [ad Arato] però che a chi guarda intensamente in una notte serena e senza Luna appaiono sette stelle comprese nell'ammasso.

Ovidio (43 a.C.-17 o 18 d.C.) riporta:

... che si dicono sette, ma di solito ce ne sono sei ...

E Igino (I sec. a.C. - I sec. d.C.):

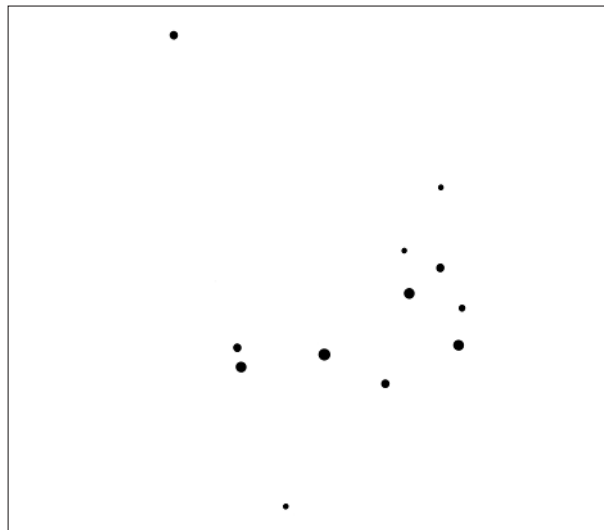
Sono così vicine fra loro che è difficile contarle, e a occhio nudo non si può distinguere con certezza se siano sei oppure sette.

Perfino Galileo, quando descrisse l'ammasso osservato al telescopio, dichiarò:

... ho disegnato le sei Stelle del Toro, dette Pleiadi (dico sei, in quanto la settima non appare quasi mai), ...

Questo nell'antichità diede anche origine alla leggenda della cosiddetta Pleiade Perduta. Tuttavia, le cose sono un po' più complesse, nel senso che chi riesce a vedere sette stelle spesso ne scorge anche otto o nove. Prima dell'invenzione del telescopio, Michael Mastlin (1550-1631), per esempio, riuscì a vederne 11. Quindi, è abbastanza strano che gli antichi non parolino di altre stelle oltre alla settima. Sembra anche che, per chi vede la settima stella, questa sia diversa per i vari osservatori.

Questo è un invito ai lettori del *Giornale di Astronomia* a collaborare ad una campagna di osservazione delle Pleiadi, con lo scopo di chiarire appunto, fra le altre cose, quanto ci sia di fondato nel dualismo attribuito alla presentazione del gruppo (sei o sette stelle visibili), nella leggenda della Pleiade Perduta o Mancante e sulla possibilità di attribuire questo titolo ad una stella particolare dell'ammasso.



Vi chiedo perciò di contrassegnare quante e soprattutto quali stelle riuscite a scorgere a occhio nudo. Per semplificare la situazione, vista anche la difficoltà a collocare abbastanza precisamente le stelle in un disegno, con le conseguenti difficoltà di identificazione, si allega una mappa muta, da stampare in scala 1:1 o, se preferite, ingrandita. Vi prego anche di contrassegnare eventualmente, se la vedete, la stella in alto, fuori ammasso, perché serve da stella campione, essendo stata catalogata da Tolomeo e dai suoi successori.

Sulla mappa è sufficiente contornare con un cerchio tutte le stelle che riuscite a vedere. Scegliete una serata senza la Luna, dopo che la notte è cominciata, lontano da fonti di inquinamento luminoso e attendete una decina di minuti per dare modo agli occhi di adattarsi all'oscurità. Per illuminare la mappa si può far uso di una debole luce di colore arancione o rossa, assolutamente non bianca; evitare la torcia del telefono. Ancor meglio, per non correre il rischio di interrompere il processo di adattamento, memorizzare la mappa con una luce tenue, attendere l'adattamento, osservare con calma, e poi contrassegnare le stelle. Contrassegnare solo quelle sicure, non quelle incerte.

Inviare la mappa compilata al seguente indirizzo mail: rheticus@tiscali.it

Grazie a tutti coloro che vorranno collaborare.

Gabriele Vanin

Gabriele Vanin è Presidente emerito dell'Unione Astrofili Italiani e direttore del Centro Astronomico di Feltre. Autore di 33 libri, alcuni dei quali tradotti anche in Francia, Germania, Canada e Stati Uniti, ha pubblicato circa 500 articoli su varie riviste nazionali e internazionali.

L'epistolario Piazzzi-Oriani

Ileana Chinnici¹ · Agnese Mandrino²

¹ INAF · Osservatorio Astronomico 'G. S. Vaiana' di Palermo

² INAF · Osservatorio Astronomico di Brera

NEL 1875, Giovanni Virginio Schiaparelli e Gaetano Cacciatore, rispettivamente direttori degli Osservatori di Brera e Palermo, pubblicarono la corrispondenza intercorsa tra la fine del XVIII e gli inizi del XIX secolo tra Giuseppe Piazzzi, fondatore e primo direttore dell'Osservatorio di Palermo, e Barnaba Oriani, astronomo a Brera.

Era evidente fin da allora l'importanza di questo carteggio. Schiaparelli, che aveva un interesse personale per la storia dell'astronomia e per quella dell'Osservatorio di cui era a capo, si fece carico della sua edizione. La stampa fu infatti raccomandata dal Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere (di cui Piazzzi era stato socio), fu supportata finanziariamente dal Ministero della Pubblica Istruzione (Schiaparelli era influente referente politico per le questioni astronomiche) e fu realizzata a Milano da Ulrico Hoepli, l'editore delle pubblicazioni e il fornitore dei libri dell'Osservatorio di Brera fino (se ci viene concessa una digressione contemporanea) alla deplorabile chiusura di qualche settimana fa. Le lettere di Oriani erano originariamente ubicate all'Osservatorio di Palermo, mentre quelle di Piazzzi furono acquistate nel 1860 dall'Osservatorio di Brera per ordine del Governo sabaudo, dopo una trattativa con gli eredi di Oriani durata oltre vent'anni.

In una nota preliminare, i due direttori, in qualità di curatori dell'edizione, spiegano il motivo per cui avevano ritenuto opportuno dare alle stampe le lettere che i due astronomi lombardi si erano scambiate.

I curatori sottolineavano che la trascrizione effettuata era da considerarsi integrale, con poche omis-

* 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.

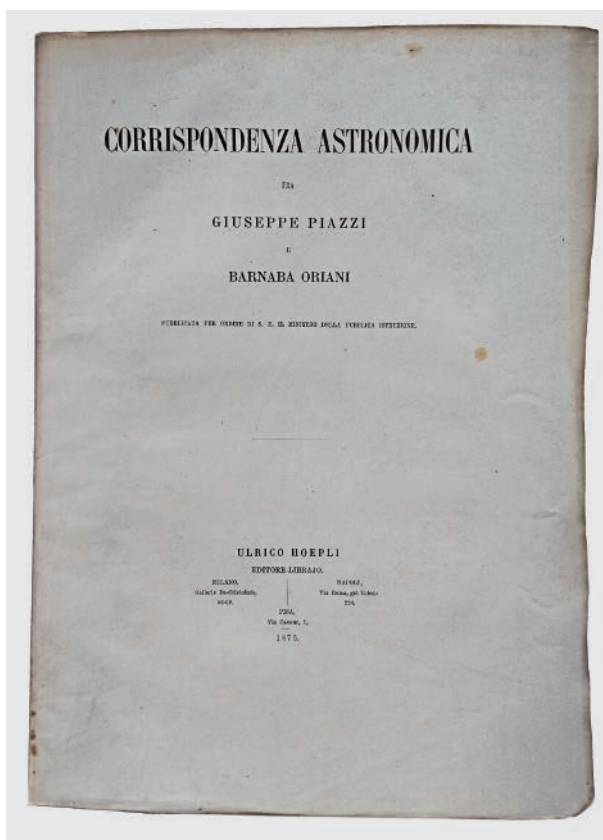


FIG. 1. Il frontespizio del volume, curato da G.V. Schiaparelli e G. Cacciatore, con il carteggio tra Giuseppe Piazzzi e Barnaba Oriani. (Biblioteca dell'Osservatorio astronomico di Brera)

sioni, relative a passi contenenti «cose di poco o nessun interesse oppure altri la cui divulgazione sarebbe stata inopportuna e poco gradita» (*Corrispondenza Astronomica fra Giuseppe Piazzzi e Barnaba Oriani*, Milano, Hoepli, 1875, p. 5). Inoltre, spiegavano che si era scelto di corredare il testo con poche note, poiché una «illustrazione completa» (*ibid.*) avrebbe richiesto una «discussione critica» (*ibid.*) che non erano pronti ad intraprendere. Essi pertanto decisero

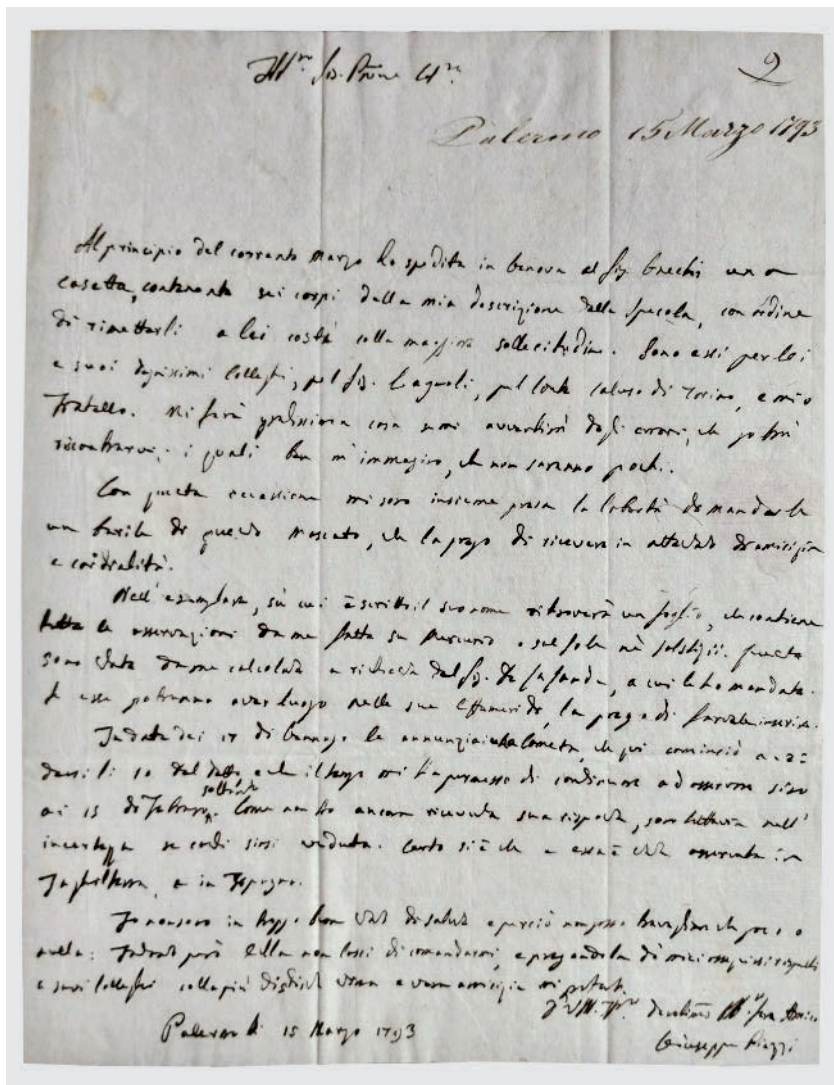


FIG. 2. IL DOCUMENTO: lettera di Giuseppe Piazzi a Barnaba Oriani, 15 marzo 1793. Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Brera, "Corrispondenza Scientifica", cart. 88.

di pubblicare questi documenti «non a titolo di storia, ma a titolo di documento per l'istoria» (*ibid.*).

Interessante poi l'auspicio dei curatori che, leggendo tale carteggio, il «giovane studioso dell'astronomia [...] imparerà come la via di salire alla eccellenza nel sapere scientifico non sia quella dell'amor proprio, e delle ambizioni personali, ma il sincero e perseverante culto del lavoro e della verità» (*ibid.*).

Quest'anno, il bicentenario della morte di Piazzi ci offre l'opportunità di rimettere mano a queste lettere, in vista di una possibile edizione critica e una trascrizione completa (ad un primo esame, circa una quarantina di lettere presentano omissioni), anche in considerazione del fatto che l'edizione curata da Schiaparelli e Cacciadore è difficilmente reperibile. Si tratta di un corpus di 212 lettere, datanti dal 1791 al 1826, anno della morte di Piazzi. Di queste, 78 sono le lettere di Oriani e 134 quelle di Piazzi. Numerose sono le tematiche trattate, dalla preparazione del catalogo stellare che Piazzi pubblicò in due edizioni nel 1803 e nel 1814, alla controversa scoperta del primo asteroide Cerere (oggi classificato come

pianeta nano), alla qualità degli strumenti astronomici, alla costruzione dell'Osservatorio di Napoli, (che Piazzi fu chiamato a portare a termine, trasferendosi nella città partenopea, dove concluse i suoi giorni), alla situazione politica europea, ecc.

Le lettere evidenziano sì la collaborazione tra i due scienziati, ma anche la loro profonda amicizia. La prima è dimostrata dallo scambio di dati, osservazioni, formule, consigli tecnici, informazioni scientifiche, ecc.; la seconda, da confidenze, sfoghi, preoccupazioni, incoraggiamenti, notizie reciproche sulla salute, ecc. Personale o scientifico che fosse, il legame tra i due astronomi era veramente stretto, come dimostra il fatto che quando Barnaba Oriani andò in pensione, nel 1817, interruppe tutti i suoi numerosissimi contatti epistolari, mantenendo solo quello con Piazzi.

In particolare, si nota come Piazzi – piuttosto isolato geograficamente – si appoggi molto al collega di Brera per procurarsi libri e strumenti, per avere notizie scientifiche e altro. Da parte sua, Oriani revisiona i manoscritti di Piazzi e cura gli interessi economici dell'amico a Milano – ad esempio, il riconoscimento della pensione come socio dell'Istituto Nazionale, nonostante la sua residenza fuori

dal Lombardo-Veneto.

Oggi, purtroppo, le lettere autografe originali di Oriani a Piazzi sono andate perdute: non sono più presenti nell'archivio dell'Osservatorio di Palermo e non è da escludere che siano state disperse proprio in fase di trascrizione, ovvero che non siano state più riposte in archivio. Di esse, tuttavia, si conserva a Brera, nel "Fondo G.V. Schiaparelli", la trascrizione (di mano ignota, ma forse identificabile – un aspetto che merita approfondimenti), insieme agli originali delle lettere di Piazzi a Oriani.

Segno ulteriore della fiducia e della stima tra i due astronomi è la presenza all'Osservatorio di Brera del manoscritto originale delle osservazioni eseguite da Piazzi dal 1792 al 1813 a Palermo, che Oriani avrebbe voluto pubblicare a sue spese e che sarà invece poi pubblicato da Karl von Littrow, direttore dell'Osservatorio di Vienna, tra il 1845 e il 1849.

IL DOCUMENTO (FIG. 2)

Lettera di Giuseppe Piazzi a Barnaba Oriani, 15 marzo 1793. Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Brera, "Corrispondenza Scientifica", cart. 88. Le lettere

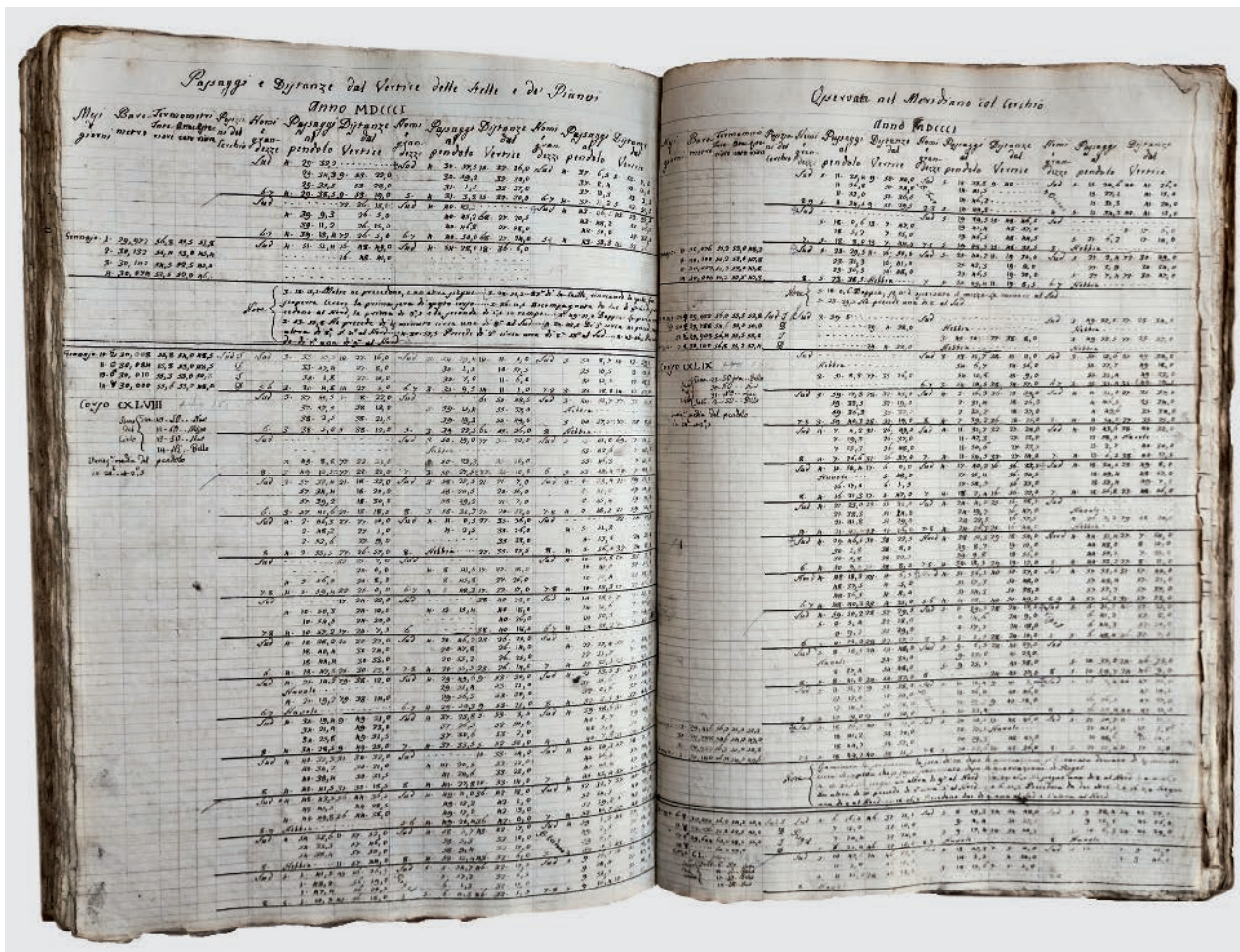


Fig. 3. Le osservazioni originali di Giuseppe Piazzi conservate nel "Fondo B. Oriani" dell'Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Brera.

tra Piazzi ed Oriani trattano molti e diversi argomenti, intrecciando questioni scientifiche e situazioni personali: in questa si parla della spedizione di alcuni volumi di opere di Piazzi, accompagnati da un barile di moscato, di osservazioni di Mercurio, del Sole e di una cometa osservata a gennaio, nonché di alcuni acciacchi che affliggono Piazzi, impedendogli di "travagliare".

Ileana Chinnici è ricercatrice astronoma presso l'INAF Osservatorio Astronomico 'G.S. Vaiana' di Palermo, dove svolge principalmente studi di storia dell'astronomia. È responsabile scientifico delle collezioni storiche del-

l'Osservatorio. Autrice di varie pubblicazioni in riviste specializzate e collane di carattere nazionale ed internazionale, è stata insignita dell'*Osterbrock Book Prize* nel 2021 per la sua biografia scientifica del gesuita e scienziato Angelo Secchi. Nel 2018 è stata eletta membro dell'Organizing Committee della Commission C3 (History of Astronomy) dell'International Astronomical Union per il successivo triennio.

Agnese Mandrino è responsabile della Biblioteca e dell'Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera a Milano. È autrice di diverse pubblicazioni di carattere archivistico e storico.

Agnese Mandrino è responsabile della Biblioteca e dell'Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera a Milano.

Mauro Gargano, laureato in Astronomia presso l'Università di Padova, è primo tecnologo dell'INAF e responsabile del Museo degli Strumenti Astronomici presso l'Osservatorio di Capodimonte, dove si occupa anche di studi storici sull'astronomia e di iniziative per la tutela e la valorizzazione delle collezioni dell'Ente con l'Unità Scientifica Centrale-Valorizzazione della Conoscenza dell'INAF. È segretario della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia (SISFA).

Antonella Gasperini è responsabile MAB (Musei Archivi Biblioteche) della USC INAF Valorizzazione della conoscenza. È coinvolta in molte iniziative e progetti per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio storico astronomico italiano ed è autrice di pubblicazioni di storia dell'astronomia.

Il concetto di tempo nella storia¹

Annibale D'Ercole

«L'INTUIZIONE e la rappresentazione della modalità secondo la quale i singoli eventi si susseguono...; intuizione peraltro condizionata da fattori ambientali... e psicologici... e diversificata storicamente da cultura a cultura», così è definito il tempo nel Vocabolario Treccani; ma anche «Successione di istanti... capace di essere suddivisa, misurata e distinta...; è in genere in questa accezione... che viene considerato il tempo in fisica». Due tempi sembrano dunque sussistere, quello della fisica (detto anche obiettivo, o reale) e quello della psicologia (detto anche soggettivo, o fenomenico). Si presuppone in genere che soltanto il tempo della fisica sia reale, e che il tempo soggettivo sia una brutta copia di quello oggettivo: come la percezione del calore è relativa e la temperatura vera è data dal termometro, così gli intervalli temporali veri sono quelli misurati dall'orologio. In realtà nessuno sa cosa sia il tempo. Alcuni lo ritengono un fatto di natura, con il soggetto immobile spettatore di un divenire esterno reale; altri considerano il tempo un fatto dello spirito, tramite il quale il soggetto esplora un mondo sostanzialmente immobile. Con una certa dose di ironia, il filosofo inglese George Berkeley (1685-1753) afferma che «tempo, luogo e moto, presi in particolare e nel concreto sono ciò che ognuno sa, ma dopo essere passati per le mani di un metafisico divengono troppo astratti e sottili per essere compresi da uomini di senso comune». D'altra parte, ne

anche il tempo dei fisici è esente da contraddizioni. Si ritiene che la freccia del tempo punti nella direzione indicata dai processi irreversibili che introducono maggior disordine, come l'evaporazione del profumo che abbandona spontaneamente la boccetta che lo contiene senza farvi più ritorno. Non vi è tuttavia accordo sulle origini di tale irreversibilità né sulle cause che, in apparente contraddizione con la freccia temporale, permettono la formazione spontanea di strutture sempre più complesse – e dunque più *ordinate* – quali, ad esempio, gli organismi viventi.

Noi non tratteremo direttamente né del tempo dei fisici né di quello dei filosofi, ma della concezione che del tempo ebbero gli uomini nel corso dei millenni. Tale concezione, lungi dall'essere un contenitore inerte delle azioni umane, influenzò queste azioni ed esse, di riflesso, modificarono la percezione del tempo in un continuo interscambio che portò l'uomo, nel corso della sua storia, a trasformare la sua visione della natura da un cosmo ciclico ed immutabile ad un mondo in continua evoluzione.

Ne *Il mito dell'eterno ritorno* l'antropologo e storico delle religioni romeno Mircea Eliade (1907-1986) ha sostenuto che, nella vita del genere umano, i popoli si ribellano contro la nozione storica di tempo e si sono aggrappati per lo più all'idea del ciclo temporale, nel quale il passato è futuro, non esiste una vera storia, e l'umanità si dispone a rinascere e a ri-

* Questa rubrica, iniziata nel 1999, raggiunge con questa *Spigolatura* il numero 100 e la redazione del «Giornale di Astronomia» ringrazia sentitamente il dott. Annibale D'Ercole per la costanza e l'impegno con i quali si è dedicato alla sua cura per quasi trent'anni, rendendo queste pagine tra le più seguite dai nostri lettori.

La 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 a un pubblico non specialistico. Questi «fondamenti di astronomia», volutamente trattati in uno spazio limitato, possono essere letti a due livelli; eventuali approfondimenti per i lettori che desiderino ampliare la conoscenza dell'argomento vengono esposti in carattere corsivo e incorniciati. Si suggerisce questa rubrica, quindi, a studenti dei vari tipi e livelli di scuole. Le *Spigolature astronomiche* si possono trovare anche in rete, nel sito Web del «Giornale di Astronomia», <http://giornaleastronomia.difa.unibo.it/giornale.html>.

¹ In occasione del centesimo numero delle *Spigolature* abbiamo ritenuto adatto ripubblicare (con minimi aggiornamenti) un articolo comparso nel volume «Leggere il cielo» che raccoglie le lezioni dei corsi di aggiornamento per insegnanti tenutosi a Bologna nel 1999-2000 ed organizzati dall'Osservatorio Astronomico di Bologna e dal Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna (Supplemento al n. 1/2000 del «Giornale di Astronomia»: www.oas.inaf.it/wp-content/uploads/2019/03/Leggereilcielo2000.pdf). Il titolo di quell'articolo – «Breve e parziale storia del tempo» – è stato qui modificato per sottolineare una certa affinità con l'articolo sul tempo del numero scorso. Se in tale numero è stata descritta la visione del tempo in fisica, nel presente articolo l'argomento è affrontato da una prospettiva totalmente diversa mettendo in luce una relazione reciproca tra tempo e storia perché, se è vero che la nostra idea di storia è basata sul tempo, il concetto di tempo è a sua volta una conseguenza della nostra storia. Data l'omogeneità dell'esposizione, eccezionalmente in questo articolo manca la tradizionale suddivisione in due livelli di lettura.



FIG. 1. Guido Reni; *Aurora* (1613-1614). Le Ore danzano attorno ad Apollo sul carro del Sole. (Casino dell'Aurora Pallavicini, ex Casino Borghese)

generarsi. Si può cercare sollievo al tempo storico compiendo riti religiosi, come la ripetizione di frasi o gesti che ricreano simbolicamente gli eventi originari. Fuori all'Occidente, Cinesi, Indiani, Buddisti e civiltà mesoamericane, tutti considerano un tempo che si rinnova periodicamente. In Occidente, non c'è dubbio che il mito egiziano di Osiride, simbolo del sole nascente, fatto a pezzi dal fratello Seth e resuscitato per opera di Iside sua sposa, sia ispirato alle inondazioni del Nilo che rivitalizzavano ciclicamente il terreno. In Osiride si identificava il faraone, che si assicurava così l'immortalità.

Anche la Mesopotamia veniva inondata dal Tigri e dall'Eufrate, ma si trattava, in questo caso, di eventi disastrosi ed erratici. Per poter prevedere ed avere un qualche controllo sugli eventi avversi, i Babilonesi rivolsero l'attenzione al cielo. Il moto periodico dei corpi celesti testimoniava infatti di un ordine cosmico rassicurante a cui fare riferimento. Ad ogni evento astronomico venne associata una controparte terrena, dando origine così all'astrologia.

Non è possibile, nell'antica Grecia, isolare un'unica concezione del tempo. La civiltà greca vide nascere i primi filosofi, molti dei quali portatori di una visione personale del tempo. Eraclito (VI-V sec. a.C.), sulla base dei continui mutamenti del mondo circostante, riteneva il tempo essenziale nel regolare il perenne cambiamento derivante dall'antagonismo degli opposti quali freddo e caldo, secco e umido, e così via. Parmenide (V sec. a.C.) e Platone (427-347 a.C.), al contrario, sottolinearono l'inconsistenza del tempo, un'illusione derivante dal mutevole mondo dell'apparenza contrapposto alla realtà rivelata dalla ragione, fissa e atemporale. Zenone di Elea (V sec. a.C.), un discepolo di Parmenide, architettò diversi paradossi, tra cui quello celeberrimo di Achille e la tartaruga, per evidenziare le contraddizioni a cui si va incontro nell'attribuire realtà al tempo. Per Aristotele (384-322 a.C.) il tempo è identificato dal processo di numerazione degli eventi associato alla nostra percezione del "prima"

e del "dopo". Rimane aperto il problema della realtà del tempo nel caso non vi sia un soggetto a percepirlo (su questo tema dell'autoconsapevolezza Aristotele sembra aver anticipato di oltre duemila anni i moderni psicologi).

Anche nella Roma del II e III secolo d.C. coesistono diverse concezioni del tempo derivanti dal fiorire di nuove religioni. Gli Stoici, ad esempio, ritenevano che, una volta che Luna, stelle e pianeti avessero ripreso sulla sfera celeste la stessa posizione relativa iniziale, la storia si sarebbe ripetuta, sarebbero rinati gli stessi uomini, costruite le stesse città, etc. Ma a prevalere fu infine la concezione ebraico-cristiana di una storia con una direzione, volta ad un fine, la storia della salvezza e del compimento del disegno divino. Questa concezione lineare della storia era destinata a rivoluzionare la percezione del tempo e la visione del mondo in Occidente. Tuttavia, tale rivoluzione si sarebbe compiuta pienamente solo dopo molti secoli.

Nella vita quotidiana vigeva invece una certa indifferenza verso il concetto di tempo originata essenzialmente dall'incapacità di misurarlo. Infatti, i metodi pratici per la misurazione del tempo erano ancora quelli ereditati dagli Egizi, e non cambiarono fino alla fine del XIII secolo. Gli egiziani calibravano i quadranti delle meridiane con dodici suddivisioni ineguali, in modo da compensare la diversa lunghezza dell'ombra dello *gnomone* (l'asta della meridiana) in periodi diversi della giornata. L'intervallo diurno era dunque suddiviso in dodici ore, ed altre dodici coprivano l'arco della notte. Pertanto la lunghezza delle ore del giorno e della notte differivano tra loro e variavano durante l'anno. I Romani non avevano dimestichezza né interesse verso la misurazione delle ore. La prima meridiana pubblica arrivò a Roma da Catania nel 264 a.C. e segnò per oltre un secolo l'ora sbagliata, giacché i Romani ignoravano la necessità di correzioni di taratura dipendenti dalla latitudine. Le ore notturne venivano misurate mediante orologi ad acqua, in cui il livello



FIG. 2. Giorgio Vasari: *La mutilazione di Ouranos da parte di Cronos* (1556-1564). Con l'uccisione del padre Urano, Crono – il Tempo – dà inizio allo scorrere del tempo. (Sala degli Elementi di Palazzo Vecchio, Firenze)

del liquido variava uniformemente per riempimento o svuotamento. Solo in pochi casi, quali, ad esempio, lo scandire dei turni di guardia, questi orologi venivano incontro ad esigenze reali; per il resto essi rappresentavano una curiosità, uno *status symbol* ad appannaggio dei più ricchi. Contrariamente alle meridiane, gli orologi ad acqua avrebbero potuto permettere agli antichi di misurare ore sempre uguali che scandiscono il passaggio di un tempo uniforme. Ma questo non accadde. Al contrario, gli orologi ad acqua recavano segni di calibrazione distanziati in modo diseguale per simulare il tempo “vero” delle meridiane. I tempi non erano maturi per astrarre il tempo dalla realtà del passaggio giornaliero del Sole. Questo stato di cose ebbe termine alla fine del Duecento, grazie a un'invenzione destinata a sovvertire profondamente sia la vita quotidiana e sociale, sia la visione del mondo dell'uomo occidentale.

Pare che l'orologio meccanico sia stato inventato alla fine del XIII secolo, ma non sappiamo dove né da chi. È tuttavia ragionevole credere che esso sia stato realizzato all'interno di qualche monastero, perché in quel tempo gli uomini di chiesa erano gli unici ad avere un reale interesse nella misura del tempo, dovendo scandire la giornata in fasi di preghiera e di lavoro. Inoltre, solo nei monasteri era allora possibile trovare persone culturalmente in grado di pervenire alla costruzione di un oggetto di così alto contenuto tecnologico.

I primi orologi non avevano lancette e segnalavano l'ora tramite i rintocchi di una campana. Gli orologi erano posti in cima ad una torre sia per motivi di ingombro che per avere uno spazio sufficiente lungo cui far scendere il peso che comunicava il moto ai ruotismi. L'errore di 15 minuti al giorno era decisamente elevato per gli attuali standard, ma assolutamente inessenziale per i ritmi della vita quotidiana di allora. Nel Seicento, tuttavia, si ottenne un balzo nella precisione passando ad un errore di 10 secondi grazie all'applicazione del pendolo, il

cui isocronismo era stato scoperto da Galileo (1564-1642).

La diffusione degli orologi pubblici in Europa occidentale fu alquanto rapida e portò all'adozione di un'ora uniforme di 60 minuti di cui si avvalsero principalmente le industrie, adottandola come unità di tempo lavorativo. Gli operai nelle fabbriche e i professori nelle scuole, così come molti professionisti, cominciarono ad andare al lavoro in orari precisi. Sapere l'ora divenne un'esigenza sempre più stringente e incentivò la produzione di orologi trasportabili da poter mettere in casa. Con l'introduzione della molla come forza di trascinamento si giunse, già nel Cinquecento, alla realizzazione di orologi sufficientemente piccoli da poter essere portati in una tasca. Si dovette però attendere la fine della prima guerra mondiale per assistere alla diffusione dell'orologio da polso. Gli uomini ritenevano infatti poco virile adornare il proprio braccio, sia pure con uno strumento tecnologico. Ma per esigenze belliche e pratiche l'esercito degli Stati Uniti dotò i suoi soldati di orologi da polso, e il tabù venne infranto.

Si è giunti così all'attuale asservimento nei confronti dell'orologio. Misurare il tempo che passa è un'ossessione che pervade ogni attività umana e anche i record più ottusi assurgono a dignità sportiva quando realizzati in competizione con il cronometro (maggior numero di salsicce mangiate in un minuto e amenità del genere). La ricerca di una misura sempre più precisa del tempo appare quasi maniacale, ma è in realtà resa necessaria dall'utilizzo delle attuali tecnologie (le modalità di funzionamento dei calcolatori si valutano sulla scala dei miliardesimi di secondo). Grazie agli orologi atomici siamo oggi giunti a misurare il tempo con un errore di un secondo in trecento milioni di anni. Una precisione davvero straordinaria per misurare qualcosa che per metà dei filosofi non esiste!

Ma più che i riflessi nella vita quotidiana e sociale, a noi interessa capire quale fu l'impatto dell'orolo-

gio meccanico nella visione scientifica del mondo. In effetti esso svincolò il tempo dal ciclico alternarsi dei giorni e delle stagioni, e contribuì in maniera essenziale alla percezione da parte dell'uomo di un tempo lineare ed uniforme. Fu grazie all'orologio che Isaac Newton (1642-1725) poté scrivere nei *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*: «Il tempo, per sua natura, scorre uniformemente, senza alcuna relazione con l'esterno». L'utilizzo di orologi nello studio dei moti celesti, e il successo della fisica newtoniana nel prevedere questi moti, generarono l'idea meccanicistica che il cosmo stesso fosse assimilabile a un grande orologio i cui movimenti potevano essere previsti, una volta data la carica iniziale. A Napoleone che gli chiedeva che fine avesse fatto Dio, il fisico e matematico Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) rispose che si trattava di «un'ipotesi non necessaria». Lo studio delle cause, e dello sviluppo temporale degli effetti da esse generati, portò l'uomo a volgere lo sguardo al suo passato e ad interrogarsi sulle proprie origini e su quelle del pianeta su cui vive. Da una cosmogonia statica e atemporale si giunse all'attuale concetto di evoluzione. Ma il percorso compiuto non sempre fu lineare e vecchi pregiudizi contrastarono nuove intuizioni rendendo laboriosa l'introduzione di un *passato* e di un *futuro* nella storia dell'uomo e dell'universo. Vale la pena considerare più da vicino questo percorso.

La domanda «quanto è vecchia la Terra?», che a noi appare oggi così naturale, non venne presa in considerazione da nessuna delle civiltà del passato, dai Babilonesi agli Egiziani, ai Greci e ai Romani. I Greci, ad esempio, erano ben consci che gli eventi naturali si originavano da meccanismi fisici e non da miti (si pensi all'atomismo di Democrito e Leucippo); essi avevano anche notato che la forma delle coste andava continuamente cambiando ad opera dell'incessante erosione delle onde. Ma queste osservazioni ebbero scarso impatto. L'uomo del passato, pienamente immerso in una natura che si rinnova regolarmente, rimase legato alla concezione di un tempo ciclico in cui tutto veniva periodicamente riproposto. Chiedersi quale fosse l'età della Terra all'interno di un ciclo destinato a ripetersi in eterno rappresentava una curiosità priva di reale interesse, e questo spiega la sostanziale indifferenza degli antichi per tale quesito. In questo clima culturale i fossili marini ritrovati sulle pendici delle montagne vennero in genere considerate stranezze di scarso interesse. Anassimandro, Pitagora ed Erodoto in Grecia, e successivamente Leonardo da Vinci (1452-1519), avevano correttamente dedotto che quelle montagne in passato dovevano trovarsi sott'acqua. Ma si trattava di voci isolate, e per tutto il Medioevo circolarono fantasiose interpretazioni riguardo tali fossili. Alcuni credevano che fossero prototipi difettosi di organismi che il Creatore aveva rinunciato a portare in vita. Altri pensavano che rappresentassero il vano tentativo di Satana di emulare l'azione creatrice di Dio. Altri ancora ritenevano che i fossili fossero stati trascinati sulle monta-



FIG. 3. Charles de Bovelles (Carolus Bovillus): *Libellus de nichilo*, Parisii, ex officina Henrici Stephani (1510). Dio crea dal nulla l'Universo e lo scorrere del tempo.

gne dall'azione del Diluvio Universale. Ancora nel Settecento un personaggio come Voltaire (1694-1778) poteva in tutta serietà avanzare l'ipotesi che i fossili fossero stati messi a bella posta da qualcuno.

Finalmente, nel XVII secolo, grazie anche alla recente invenzione del microscopio, fu possibile spiegare come la sostanza organica in un fossile possa essere lentamente rimpiazzata da sostanze inorganiche. La mineralizzazione di reperti organici mostrava che le rocce non erano sempre state solide, ma in passato dovevano avere avuto la consistenza della melma per potersi infiltrare all'interno degli scheletri animali. Questa melma trasportata dalle correnti marine si accumula in strati orizzontali e solidifica in rocce sedimentarie a causa della pressione. Strati rocciosi diversi, contenenti ognuno fossili specifici, hanno dunque età diverse, il successivo essendo più giovane del precedente. Le età implicate, benché non quantificabili, dovevano certamente essere superiori a quelle che potevano dedursi dalla Bibbia. Basandosi infatti sulla genealogia dei personaggi biblici, diversi studiosi (Lutero e Newton, tra gli altri) fissarono la nascita della Terra intorno al 4000 a.C. I seimila anni resi così disponibili erano decisamente pochi. Si ricorse pertanto alla teoria del catastrofismo con cui si ipotizzavano una serie di cataclismi a livello planetario in cui alluvioni e



FIG. 4. Guido Reni: *La separazione del Giorno dalla Notte* (1598). (National Trust Collection, Kingston Lacy, UK)

terremoti, causando violenti spostamenti di terra e di mari, erano in grado di produrre nel breve tempo a disposizione le discontinuità osservate tra i diversi strati di roccia. A questo punto, però, era chiaro che un unico Diluvio non era più sufficiente, e le discrepanze con la Bibbia, che si era tentato di lasciare fuori dalla porta, rientravano dalla finestra. Le implicazioni derivanti dallo studio dei fossili erano dunque di portata tale da non venire riconosciute ed accettate nell'immediato. Per circa un secolo si continuò a catalogare rocce e fossili accantonando il problema della datazione.

Fu James Hutton (1726-1797), un geologo scozzese, a gettare le basi del metamorfismo, ovvero lo studio dei processi di trasformazione delle rocce. Come Copernico si liberò in un colpo della complicata teoria degli epicicli e interpretò le traiettorie dei pianeti spostando il centro del Sistema solare dalla Terra al Sole, così Hutton si sbarazzò del catastrofismo e delle sue ignote cause mostrando che gli stessi processi attualmente in atto sulla superficie terrestre (erosione, sedimentazione, vulcani, terremoti) erano anche responsabili delle variazioni geologiche purché avessero a disposizione un tempo sufficientemente lungo. Già i Greci, come abbiamo detto, avevano messo in luce i continui cambiamenti delle rocce a causa dell'erosione. Ma lo scozzese fu il primo a sottolineare che le rocce venivano anche ripristinate dall'attività vulcanica dal cui magma si originano le rocce dette, appunto, ignee. Hutton, tuttavia, non aveva in mente un'evoluzione lineare della Terra, ma piuttosto un andamento ciclico di continue distruzioni e ricostruzioni il cui periodo, benché assai lungo a causa della lentezza dei meccanismi in atto, non era però quantificabile.

Nel XIX secolo la visione ciclica di Hutton era destinata ad essere smentita. L'accumulo di dati e la conseguente catalogazione degli strati di roccia avevano indotto la speranza di poter calcolare il tempo geologico. Ma non in tutti i luoghi la successione degli strati era la stessa, a causa delle diverse condizioni locali di calore e pressione derivanti dall'erosione e formazione di montagne o dalla collisione di continenti. Non è dunque banale ripercorrere la storia della Terra tramite gli strati dovuti a sedimentazioni successive. Fortunatamente i fossili racchiusi nelle rocce mostravano una regolarità assai maggiore. Anche se strati coevi sono composti da rocce diverse in luoghi diversi, essi contengono lo stesso tipo di fossili. Alcune specie perdurarono così a lungo che i loro fossili si ritrovano in numerosi strati, altri solo in pochi strati; la nascita e l'estinzione di alcune specie sono avvenute all'interno di un solo strato. Era chiaro che il succedersi dei fossili nei diversi strati rappresentava una sorta di calendario in cui erano registrati gli eventi geologici. Questo calendario mostrava un andamento lineare, e non ciclico, del susseguirsi degli eventi: man mano che ci si sposta a strati superiori, e dunque più recenti, i fossili in essi contenuti tendono a diventare sempre più complessi, e una volta che un determinato fossile sparisce esso non riappare più. Questo può avvenire solo per un tempo unidirezionale, e non ciclico. Chiaramente i fossili non erano in grado di fornire una stima assoluta del tempo trascorso, ma solo una scala relativa della successione degli eventi. Fu dunque possibile suddividere il passato della Terra nelle tre ormai familiari ere geologiche (cenozoica, mesozoica e paleozoica) con i loro periodi (quaternario, terziario, ecc.), ma l'estensione di tale passato rimaneva incognita. Data la lentezza dei processi considerati, paleontologi e geologi necessitavano di tempi abissali e la cronologia biblica risultava ovviamente scardinata. I tempi erano ormai maturi per azzardare l'ipotesi che, se il mondo inanimato evolveva, tale evoluzione doveva coinvolgere anche gli esseri viventi: nel 1859 Charles Darwin (1809-1882) pubblicò *L'Origine delle specie* – importante ricordare il titolo completo: *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* – in cui si sosteneva una comune ascendenza per l'intero mondo animale da cui si sarebbero evolute le varie specie. Anche in questo caso erano richiesti tempi enormi. Paradossalmente, a contrastare tale richiesta, ricoprendo in un certo senso il ruolo di conservatori, furono proprio i fisici e gli astronomi che pure, nei secoli precedenti, risultarono determinanti nello spezzare alcuni dogmi aristotelici difesi dalla Chiesa (si pensi a Copernico, Keplero e Galileo).

Già Cartesio (1596-1650) aveva proposto una teoria della formazione del Sistema solare tramite una sorta di gerarchia di vortici. Benché la teoria fosse sbagliata (la Terra risultava essere una sorta di Sole ormai spento), essa ebbe tuttavia il merito di affrancarsi da un'accettazione letterale della Genesi e di

stimolare nuove idee sulla evoluzione cosmica. Nel 1796 Laplace e, indipendentemente, Immanuel Kant (1724-1804), forti della dinamica newtoniana, pervennero all'ipotesi nebulare dell'origine del Sistema solare: inizialmente il Sole era avvolto da un'atmosfera rotante sul piano equatoriale. Con il passare del tempo alcune parti di questa atmosfera vennero a scontrarsi e a comprimersi condensandosi, tramite la gravità, negli attuali pianeti. Questa ipotesi spiega perché i pianeti si trovano più o meno sullo stesso piano e ruotano tutti nella stessa direzione. L'ipotesi nebulare, opportunamente aggiornata, è ancora oggi ritenuta valida. Se dunque la Terra si era formata dalla coalescenza di regioni gassose, essa doveva essere inizialmente assai calda ed è andata via via raffreddandosi fino alla temperatura attuale. Calcolare il tempo di raffreddamento della Terra equivale pertanto a scoprire la sua età. A questo scopo diversi ingegnosi metodi vennero utilizzati da vari studiosi nel corso del XVIII e XIX secolo. In particolare, William Thomson (1824-1907), divenuto poi Lord Kelvin, tenendo conto della conducibilità termica delle rocce e di altri fattori, giunse a fissare il tempo di raffreddamento nell'ordine di 40 milioni di anni. Un intervallo di tempo più lungo dei seimila anni biblici, ma decisamente troppo breve rispetto agli eoni richiesti dai geologi e dalla teoria darwiniana della selezione naturale (sappiamo oggi che i primi resti fossili animali risalgono a circa 550 milioni di anni fa, e che i primi organismi unicellulari apparvero 4 miliardi di anni fa). Data l'immensa reputazione di cui godeva Kelvin, tra i più celebrati scienziati inglesi con le sue oltre seicento pubblicazioni scientifiche, questa valutazione venne accettata acriticamente ed unanimemente dalla comunità scientifica. Ma sebbene nessuno ancora poteva rendersene conto, un anno prima che Lord Kelvin pubblicasse i suoi risultati era già stato scoperto un orologio naturale che li avrebbe smentiti. Per un singolare intreccio di destini che a volte si verifica nella storia non solo scientifica dell'umanità, alla scoperta di questo orologio parteciparono studiosi lontani, per formazione ed interessi, dai geologi, paleontologi e astronomi. Questi studiosi rivolgevano il loro interesse non al problema dell'età della Terra ma alla struttura interna dell'atomo e, in particolare, al suo nucleo.

Il fenomeno della radioattività dell'uranio venne scoperto casualmente nel 1896 da Henri Becquerel (1852-1908) e studiato approfonditamente da Marie Curie (1867-1934) insieme al marito Pierre (1859-1906). A pochi anni dalla sua scoperta due fatti divennero chiari riguardo alla radioattività. Il primo è

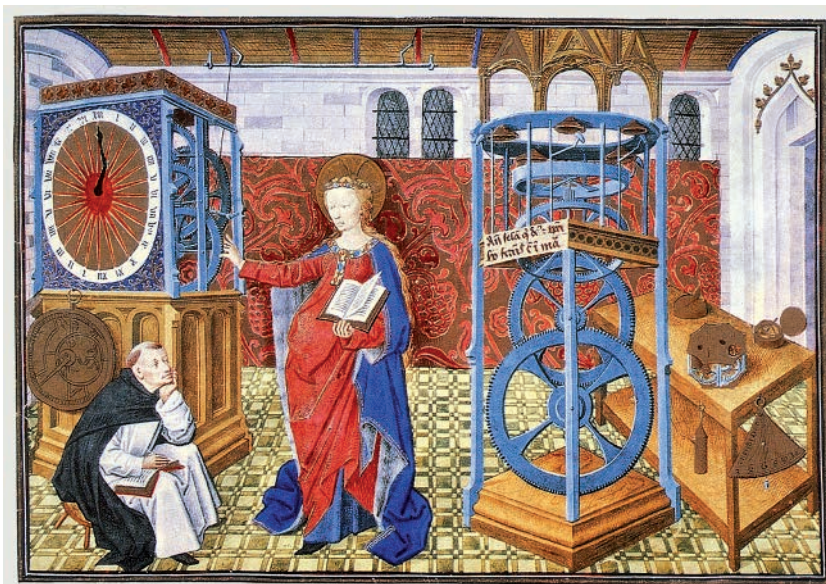


FIG. 5. Henri Suso: *Horologium Sapientiae* (1328-1330). Autore delle miniature nel manoscritto è l'anonimo Maître de Jean Rolin II. La Sapienza insegna al suo discepolo, l'autore del libro, i precetti della temperanza, mostrandogli la scrittura e il procedere del tempo misurato dal meccanismo dell'orologio. (ms. IV 111, fol. 13v, Bibliothèque royale de Belgique, Bruxelles)

che essa è un processo esotermico e produce, pertanto, calore: quando i raggi emessi da una sostanza radioattiva collidono con le molecole dell'aria, essi vengono assorbiti da queste molecole e la loro energia cinetica è trasformata in calore. La seconda caratteristica è che tracce di radioattività sono presenti ovunque attorno a noi, nel suolo, nelle rocce, nella pioggia e nella neve. La grande produzione di calore da parte di questa radioattività invalidava i calcoli di Lord Kelvin, dal momento che egli aveva assunto che il calore disperso dalla Terra fosse quello originario della formazione; ora invece divenne chiaro che l'energia termica irradiata veniva continuamente rimpiazzata attraverso i processi radioattivi. Pertanto la Terra non sta raffreddando e la cronologia di Kelvin si sgretolò lasciando campo libero a quella darwiniana.

Ma la radioattività ricopre un ruolo assolutamente peculiare nella storia che andiamo descrivendo perché non si limitò a discriminare una cronologia piuttosto che un'altra, ma rappresentò essa stessa un orologio affidabile con cui calcolare l'età della Terra. Ai tempi della scoperta della radioattività l'atomo era ancora considerato una singola entità indivisibile. Di lì a poco, tuttavia, si arrivò a capire che in realtà esso è costituito da elettroni con carica elettrica negativa che orbitano attorno ad un nucleo composto da protoni positivi e neutroni privi di carica elettrica. Ciò che distingue le diverse sostanze è il numero di protoni contenuti negli atomi che le costituiscono. I nuclei di una sostanza instabile si sfaldano emettendo raggi composti dai frammenti dovuti a questo sfaldamento. Quando i nuclei di una sostanza radioattiva (sostanza madre) perdono protoni, essi diventano necessariamente un'altra sostanza (sostanza figlia). Il processo di decadimento radioattivo è di tipo statistico: dati, poniamo, 1000

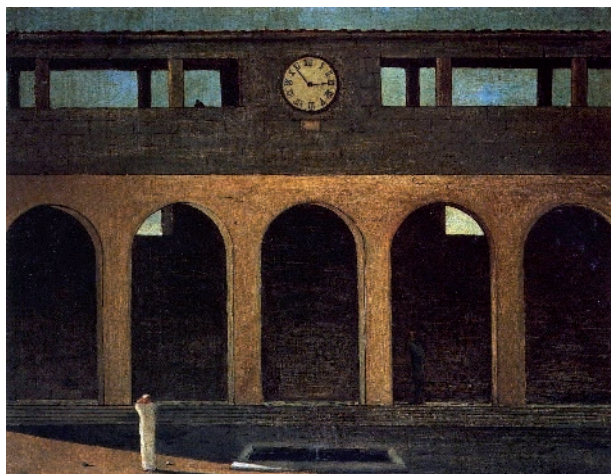


FIG. 6. Giorgio De Chirico: *L'enigme de l'heure* (1911).

nuclei della sostanza madre A, non è possibile dire quali nuclei si saranno trasformati nella sostanza figlia B dopo un tempo fissato. È però possibile definire un tempo, detto tempo di dimezzamento, passato il quale si avranno 500 atomi A e 500 B. Trascorso un altro tempo di dimezzamento si avranno 250 atomi A e 750 B; poi ancora 125 A e 875 B, e così via. Pertanto, conoscendo il tempo di dimezzamento caratteristico della sostanza A, è possibile risalire al tempo trascorso tramite il conteggio dei nuclei A e B. Il tempo di dimezzamento dell'uranio-238 (ovvero contenente 238 particelle nel nucleo), ad esempio, è di 4,5 miliardi di anni; quello dell'uranio-235 704 milioni di anni; quello del carbonio-14 5.730 anni. Anche se nella pratica la datazione tramite sostanze radioattive presenta alcune difficoltà su cui non ci soffermiamo, essa ha realizzato il sogno dei geologi del Settecento e siamo oggi in grado di datare in maniera assoluta, e non solo relativa, i vari strati rocciosi. Si è potuta anche misurare l'età degli asteroidi che cadono sulla Terra: essi sono coevi della Terra ed hanno il vantaggio di non aver subito alcuna trasformazione dal tempo della loro formazione, contrariamente a quanto accade alla superficie terrestre sottoposta a continue modifiche da parte di processi vulcanici ed erosivi. All'interno di uno scarto di 100 milioni di anni, l'età di tutti questi asteroidi, e dunque del Sistema solare, risulta essere 4,5 miliardi di anni.

Come abbiamo visto, non fu facile per i primi studiosi, adusi alla cronologia biblica, concepire simili intervalli temporali, ed anche per noi, oggi, risulta difficoltoso abbracciare con la mente un simile arco di tempo. Per meglio rendersi conto del peso relativo delle varie tappe della vita della Terra può essere utile considerare il seguente schema in cui il Sistema solare è assunto avere un anno di vita, un intervallo temporale con cui siamo decisamente più familiari. La Terra si forma il primo gennaio; le prime forme di vita acquatiche vengono alla luce alla fine di maggio; piante ed animali compaiono alla fine di novembre; il 25 dicembre si estinguono i dinosauri

(evento accaduto in realtà 65 milioni di anni fa); l'homo sapiens appare alle ore 23 del 31 dicembre; l'impero romano dura dalle 23:59:45 alle 23:59:50; la scoperta dell'America avviene alle 23:59:57.

Gli astrofisici, nel corso del Novecento, sono riusciti a valutare l'età di altre stelle oltre al Sole, scoprendo che ve ne sono di tutte le età, da quelle ancora in formazione nella nebulosa di Orione, a quelle molto giovani come le Pleiadi, a quelle molto vecchie (12-13 miliardi di anni) che si trovano negli ammassi globulari, grappoli contenenti fino a 10^6 stelle e presenti sia nella nostra che in altre galassie. Anche le stelle, che per millenni erano assunte a paradigma di immutabilità e stabilità, mostravano di nascere, invecchiare e infine morire (alcune tramite una spettacolare esplosione detta *supernova*) al pari degli organismi viventi. Ma il concetto di evoluzione si era ormai fatto strada e venne esteso senza traumi anche ai corpi celesti di ogni tipo. Le galassie, ad esempio, nel corso della loro vita mutano il contenuto di stelle e gas variando in luminosità e spesso anche in morfologia.

Nel 1929 Edwin Hubble (1889-1953) – contemporaneamente all'astronomo e sacerdote belga Georges Lemaître (1894-1966) – scoprì che le galassie, al pari degli acini di uvetta all'interno di un panettone in lievitazione, si allontanano le une dalle altre con velocità proporzionale alla reciproca distanza. Estrapolando questo moto indietro nel tempo, si concluse che in passato tutte le galassie e, più in generale, tutta la materia dovevano essere compresse in un ridottissimo volume con densità e temperature inimmaginabili. L'universo dunque si è originato dal Big Bang, una grande esplosione iniziale a seguito della quale esso continua ad espandersi. Nel 1965 Arno Penzias (1933-2024) e Robert Wilson (1936) rilevarono una radiazione cosmica di fondo uniforme ed isotropa che rappresenta il residuo dell'enorme calore iniziale dell'esplosione e costituisce la prova più stringente della teoria del Big Bang. Dall'analisi della radiazione di fondo l'età dell'universo viene valutata attualmente 13,8 miliardi di anni. È importante sottolineare che le varie età a cui abbiamo fatto riferimento (relativamente a Terra, stelle e universo) sono ottenute tramite tecniche diverse (radioattività, modelli stellari, misurazione della distanza delle galassie e della loro velocità di regressione, analisi della radiazione cosmica). Il fatto che tali stime non siano in contraddizione tra loro – come sarebbe accaduto se, ad esempio, l'universo fosse risultato più giovane della Terra – induce a guardare alla nostra attuale cosmogonia con una certa fiducia.

Se dunque l'universo ha avuto un inizio risulta naturale chiedersi cosa c'era prima. È possibile, in verità, che questa sia una domanda mal posta, legata alla concezione newtoniana di un tempo assoluto che scorre indifferente agli accadimenti. La teoria della relatività ci ha insegnato che questo non è vero, in quanto il tempo scorre diversamente per osservatori in moto relativo: è noto il cosiddetto paradosso

dei gemelli (verificato sperimentalmente) secondo cui un astronauta di ritorno da un viaggio spaziale compiuto a velocità paragonabile a quella della luce risulta più giovane del gemello rimasto a terra. Inoltre, già Gottfried Leibniz (1646-1716) aveva polemizzato con Newton sostenendo che noi deriviamo il tempo dal succedersi degli eventi, e non il contrario: se non ci fossero fenomeni non ci sarebbe il tempo. Esso è l'ordine con cui si susseguono gli eventi a partire, ad esempio, dalla Creazione. Chiedersi cosa c'era prima non ha senso, in quanto presuppone un tempo esterno agli eventi. Alcuni cosmologi contemporanei, tra cui Steven Hawking (192-2018), hanno riformulato il quesito in termini moderni chiedendosi come il tempo possa essere emerso dal Big Bang. Queste speculazioni affondano le loro radici nelle pieghe della meccanica quantistica e rappresentano, al momento, pionieristiche congetture.

Pochi anni prima della scoperta di Hubble, Albert Einstein (1879-1955) realizzò un modello matematico di universo basandosi sulla teoria della relatività generale da lui stesso formulata nel 1915. Questo modello prevedeva un universo instabile e propenso

ad espandersi. Dal momento che questo contrastava con l'opinione corrente di un universo statico, Einstein modificò *ad hoc* le equazioni in modo che l'universo risultasse effettivamente stazionario. Il fisico tedesco perse dunque l'occasione di prevedere, in base ai soli calcoli e senza alcun supporto osservativo, l'espansione dell'universo. Gli Egizi rifiutarono il tempo uniforme pur misurandolo con gli orologi ad acqua, ed i Greci non colsero l'occasione di anticipare il concetto di evoluzione pur osservando i fossili marini sulle pendici dei monti. Così Einstein – che pure aveva rivoluzionato gli abituali concetti di spazio e di tempo – rimase vittima del pregiudizio di un universo statico ed immutabile, nonostante che tale pregiudizio fosse già stato abbandonato da geologi e biologi. Molti episodi simili sono accaduti nel corso della storia della scienza, e molti ancora, presumibilmente, ne accadranno.

Un doveroso ringraziamento va a Fabrizio Bònoli, direttore di questa rivista, per aver impreziosito il presente articolo con bellissime riproduzioni di quadri di grandi autori che erano assenti nella versione originale.

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.

Se Einstein avesse saputo

Dalle rivoluzioni quantistiche a una nuova idea di realtà

Alain Aspect

con la collaborazione di Gautier Depambour

Traduzione di Giuseppe Bozzi

Raffaello Cortina Editore (Scienza e Idee), 2026

Copertina flessibile, pp. 372, € 25,00

ISBN 9788832858532

www.raffaellocortina.it

NELLA mia recensione al libro *Si Einstein avait su*, del fisico francese Alain Aspect, premio Nobel per la fisica nel 2022 (GdA 2025, vol. 51 n. 3, p. 46) confidavo che vi sarebbe stata presto una traduzione italiana. Segnalo che questo è avvenuto, grazie alla casa editrice Raffaello Cortina. Per i commenti sul libro, rimando quindi a quella recensione.

ALBERTO CAPPELLETTI

Alain Aspect, fisico sperimentale specializzato in ottica quantistica e informatica quantistica, è noto soprattutto per i suoi esperimenti pionieristici sull'entanglement quantistico e la verifica delle disuguaglianze di Bell. Nel 2022 ha vinto il premio Nobel per la fisica.

★

Ritorno sulla Luna

Dal sogno dell'Apollo alla sfida di Artemis

Paolo Attivissimo

Apogeo, 2026

Copertina flessibile, pp. 224 pagine, € 20,00

ISBN 9788850339471

www.apogeonline.com

SIAMO attualmente nel pieno della sfida fra Americani e Cinesi su chi per primo ritornerà sulla Luna, e non è affatto chiaro chi sarà il vincitore. Per avere un quadro chiaro della situazione, da dove siamo partiti e perché e dove si vuole arrivare, questo libro risulterà senz'altro molto utile. Scritto da Paolo Attivissimo (sì, come specificato in terza di copertina è il suo vero nome e non uno pseudonimo), giornalista, divulgatore e noto cacciatore di bufale, il libro è chiaro, si legge agevolmente e offre un'introduzione abbastanza dettagliata ma non troppo tecnica alle missioni lunari attuali e future. È suddiviso in nove capitoli, dei quali il primo (*Dove si va?*) e l'ultimo (*Chi ci andrà?*), lunghi poche pagine, fanno da introduzione ed epilogo.

Il secondo capitolo (*Ma non ci siamo già andati?*) racconta il passato delle missioni lunari e il progetto

Apollo, spiegando le motivazioni che hanno portato alla conquista della Luna, con la rivalità fra Stati Uniti e Unione Sovietica, e poi all'abbandono delle missioni umane sul nostro satellite.

Il terzo capitolo (*Perché ci torniamo?*) chiarisce invece le ragioni della nuova corsa alla Luna, e le differenze con la precedente. Naturalmente la gara è ora fra Stati Uniti e Cina.

Il punto cruciale è *Come ci andiamo?*, domanda che fa da titolo al quarto capitolo. Qui troviamo confrontati il programma lunare cinese e quello americano. Del programma cinese si conoscono meno dettagli, ma la strategia è chiara e la determinazione è fuori di dubbio: i Cinesi mirano a mettere piede sulla Luna entro il 2030, mentre gli Americani, in teoria, nel 2027, data che giustamente Attivissimo scrive «quasi sicuramente non verrà rispettata». Direi che al momento attuale possiamo togliere il «quasi».

Il capitolo cinque è intitolato *Ritorno alla Luna: Artemis II* e descrive in dettaglio le varie fasi della missione, che al momento della stesura del testo era ancora da compiere. La missione ha poi avuto luogo tra il primo e l'undici aprile di quest'anno e sappiamo che è stata un successo.

Voglio però qui soffermarmi su un dettaglio. Come Attivissimo spiega in un riquadro, non era ovvio che Artemis II avrebbe battuto il record di distanza dalla Terra per un equipaggio, fino ad allora detenuto dall'Apollo 13 (400.171 km nel 1970), in quanto la distanza della Terra dalla Luna varia con la data di lancio. Il record è stato poi effettivamente battuto (406.771 km). Credo sia opportuno notare che si tratta di un record privo di interesse, ma al tempo stesso di un tipico esempio dell'eccellente apparato propagandistico della NASA, che è riuscita a trasformare un punto debole della missione in un aspetto positivo da pubblicizzare. Il fatto che Artemis II abbia portato gli astronauti ad una distanza dalla Terra superiore a qualunque altra missione precedente è in effetti riecheggiato su tutti i giornali. Ma il motivo è che, al contrario dell'Apollo 8, entrato in orbita attorno alla Luna in un'orbita bassa ad un'altezza di 110 chilometri dalla superficie lunare, Artemis II ha effettuato un passaggio intorno alla Luna ad una distanza di migliaia di chilometri per ragioni di sicurezza: il rientro era così garantito anche con un eventuale problema ai motori. Dal punto di vista di traiettoria, si è trattato di un'impresa più facile e sicura di quella dell'Apollo 8. La cosa è risultata evidente per un altro evento ampiamente pubblicizzato: la foto della Terra con la Luna in primo piano, che voleva riprodurre quella iconica dell'Apollo 8. Come era prevedibile ed è risultato evidente una

volta ottenute e diffuse le nuove immagini, alla distanza di Artemis II dalla Luna la superficie lunare appariva visibilmente curva, e non poteva dare quell'effetto di Terra che sorge all'orizzonte lunare (*Earthrise*) dell'Apollo 8. Sull'impatto emotivo fra le due missioni (ricordo bene quella dell'Apollo 8) non c'è dunque paragone. Ciò non sminuisce ovviamente l'importanza di Artemis II, che ha permesso di collaudare tutti i sistemi della navicella e del modulo di servizio europeo.

Il capitolo sei (*Devo andare sulla Luna e non ho niente da mettermi*) tratta di un argomento meno spettacolare ma molto interessante, quello delle tute spaziali, tutt'altro che facili da realizzare date le condizioni lunari. Vi si parla fra l'altro delle tute Axiom e della collaborazione con Prada (recentemente è avvenuta una cerimonia di presentazione dello strato interno di queste tute a New York). Segnalo anche la parte relativa ai primi progetti di tute spaziali, come quello inglese risalente agli anni Quaranta del ventesimo secolo, di cui Attivissimo riporta un disegno che sembra veramente appartenere alla fantascienza *steampunk*.

Nel capitolo 7 (*Mi fermo all'autogrill prima di arrivare: la stazione Gateway*) l'autore discute il controverso progetto di stazione spaziale lunare, esponendo le ragioni e le giustificazioni della NASA ma elencando poi le serie e motivate critiche mosse da vari esperti. In particolare, Attivissimo sottolinea un altro caso di efficace propaganda della NASA: quello relativo all'orbita di *Gateway*, la *Near-Rectilinear Halo Orbit* (NRHO), ovvero "orbita ad aureola quasi rettilinea". La NASA ne tesse le lodi sulle sue pagine ma, come afferma l'autore, «è una cosa che viene spacciata per una soluzione geniale quando invece è un altro compromesso abilmente mascherato che serve a coprire le carenze del programma Artemis nella sua interezza». Ciononostante, conclude il capitolo osservando: «Sia come sia, il *Gateway* si farà. I contratti sono siglati, i soldi sono stanziati, molti componenti sono già stati costruiti, e sono coinvolti troppi grandi nomi dell'industria spaziale per poter prendere il toro per le corna e annullare tutto allo scopo di rifocalizzarsi sull'obiettivo originale di arrivare alla destinazione invece di fare tappa all'autogrill. Resta solo da vedere quanto verrà realmente utilizzato dopo anni di lavoro e oltre cinque miliardi di dollari spesi». Ebbene, qui Attivissimo ha apparentemente sbagliato la predizione: il nuovo amministratore della NASA, Jared Isaacman, alle prese con i fondi limitati e la necessità di accelerare i tempi per non farsi superare dai cinesi, ha messo da parte *Gateway* e ha deciso di concentrare gli sforzi sulla base lunare, che è l'argomento dell'ottavo capitolo (*Una casa sulla Luna*).

Il capitolo nove (*Chi ci andrà*) riguarda gli equipaggi e le nazionalità: di sicuro ci sarà la prima donna a mettere piede sulla Luna, e primi saranno astronauti americani e cinesi, con gli altri a fare da comprimari, tra cui gli europei, che collaborano con la NASA e avranno diritto a una loro quota.

Le incertezze politiche, economiche e tecnologiche non permettono di fare previsioni attendibili su come evolverà questa nuova corsa alla Luna. Per questi motivi, e come appare chiaro da quanto abbiamo visto finora, è naturale che diverse parti del libro risultino non aggiornate al momento della nostra recensione. Rimangono ancora grossi problemi da risolvere, fra i quali il lander. SpaceX è in ritardo con il programma *Starship* e la *Starship HLS* (*Human Landing System*), mentre il razzo *New Glenn* di *Blue Origin* è esploso in un test danneggiando la rampa di lancio. Mentre scrivo queste righe ho appena visto la presentazione degli astronauti per la missione Artemis III. Oltre alla bella notizia che di essa farà parte il nostro Luca Parmitano, è stato rivelato che nella missione Artemis IV gli astronauti trasborderanno dalla navicella Orion sulla *Starship HLS* in orbita terrestre, e sarà la stessa *Starship HLS* a portarli in orbita lunare, contrariamente ai piani precedenti; inoltre la *Starship HLS* potrà portare gli astronauti in orbita lunare bassa evitando la famigerata NRHO. Personalmente ritengo che il nuovo amministratore Jared Isaacman si stia muovendo bene, con lucidità e decisione, nell'intento di garantire il ritorno degli astronauti statunitensi sulla Luna il più presto possibile. A questo punto la responsabilità e la pressione su SpaceX sono notevoli: dovrà realizzare entro il prossimo paio d'anni una versione di *Starship* in grado di fare rifornimento in orbita e portare gli astronauti sulla Luna, anche se non avrà la responsabilità di lanciarli o farli rientrare a Terra (per questo ci saranno ancora SLS e Orion).

Se dunque il libro non è e non potrebbe essere pienamente aggiornato, ciò non significa che sia superato. Infatti rimane interessante seguire la storia di questo ritorno sulla Luna, e comprendere perché alcune strade sono state intraprese e poi abbandonate. Inoltre l'autore nel quinto capitolo dà il codice QR con l'indirizzo <https://attivissimo.me/ritornosullaluna> del suo sito dove si trovano gli aggiornamenti.

Il libro ha numerose illustrazioni, con bei disegni in bianco e nero (c'è solo un piccolo problema con la descrizione dei colori del logo Artemis, riprodotto anch'esso in bianco e nero, ma la corrispondenza è comprensibile e comunque basta dare un'occhiata su Internet per averne l'immagine a colori).

Completa il volume la bibliografia (si tratta di fonti e documenti in inglese), preceduta da una serie di schede tecniche relative ai diversi lanciatori e veicoli di allunaggio coinvolti nel ritorno alla Luna, naturalmente quasi tutti statunitensi tranne il lanciatore Ariane 64 e il lander Argonaut, entrambi europei, e il cargo giapponese HTV-XG.

ALBERTO CAPPI

Paolo Attivissimo è giornalista e divulgatore scientifico, conoscitore della storia e delle tecnologie delle missioni spaziali e delle teorie cospiratrici che le riguardano. Autore del documentario *Moonscape*, che ricostruisce il pri-

mo allunaggio usando solo immagini originali restaurate, ha conosciuto e intervistato molti degli astronauti e dei tecnici del progetto Apollo, curando le traduzioni italiane delle loro autobiografie. Ha portato in tour in Italia un campione di roccia lunare fornitogli dalla NASA, e da anni scrive articoli sui progressi dei piani di ritorno umano sulla Luna.

★

Destinazione spazio profondo

Verso Proxima e Barnard per esplorare nuovi pianeti

Albino Carbognani

edizioni Dedalo (scienzaFACILE), 2025

Copertina flessibile, pp. 260, € 18,00

ISBN 9788822069368

www.edizionidedalo.it

NEL suo nuovo libro Albino Carbognani, astronomo e divulgatore, ci porta in un ipotetico viaggio verso i pianeti che orbitano intorno alle stelle più vicine al nostro Sole. E si tratta di un esercizio importante, perché alla sua base ci sono un paio di domande fondamentali, ancora senza risposta, che il genere umano si pone da secoli, se non da millenni: esistono forme di vita al di fuori della nostra terra? Esistono altri mondi abitati da civiltà analoghe alla nostra?

Lo studio dei cosiddetti pianeti extrasolari è uno dei campi di ricerca più giovani dell'astronomia, dato che la prima scoperta accertata di un pianeta in orbita intorno ad una stella di tipo solare (51 Pegasi) avvenne nel 1995, dopo alcune false partenze, come ad esempio le ricerche di Van de Kamp sulla stella di Barnard, che Carbognani descrive in un capitolo dedicato. Per poter rilevare la presenza indiscutibile di sistemi planetari intorno ad altre stelle, anche le più vicine al Sole, fu necessario l'avvento di telescopi e strumenti più sensibili e accurati di quelli disponibili prima degli anni Novanta del secolo scorso. Tecnicamente, i primi due «pianeti extrasolari» furono scoperti nel 1992 dai radioastronomi Wolszczan e Frail. Trattandosi però di corpi che orbitano intorno ad una pulsar (il «fossile» residuo di una stella arrivata a fine vita ed esplosa come supernova), vengono considerati casi anomali per gli studi planetari e per la ricerca di forme di vita. Per questo l'onore della scoperta, e il premio Nobel, andarono a Mayor e Queloz, che tre anni dopo annunciarono l'identificazione del pianeta gassoso gigante 51 Pegasi b.

Il libro parte dalla spiegazione della natura delle stelle stesse: come si formano, come funzionano, come evolvono, ma soprattutto come la diversità delle caratteristiche stellari (temperatura, massa e tempi evolutivi) determinino i parametri per la potenziale abitabilità dei sistemi planetari. Segue una panoramica sulle scoperte dei pianeti esterni al Sistema solare negli ultimi trent'anni. Carbognani spiega bene le tecniche utilizzate per trovare nuovi

pianeti e studiarne, per quanto possibile, le caratteristiche fisiche e orbitali. In particolare, emerge la peculiarità di questa branca dell'astronomia: salvo pochissime eccezioni, non siamo in grado di osservare direttamente i pianeti extrasolari, e le informazioni sulle loro masse e orbite si ottengono indirettamente, misurando le variazioni della velocità radiale della stella madre (per effetto Doppler causato dalla rotazione intorno al centro di massa del sistema) o il calo di luminosità dovuto al transito del pianeta davanti al disco stellare. Da terra, quindi, possiamo solo trarre conclusioni approssimative sulle condizioni dei pianeti extrasolari, sulla loro abitabilità e sulla possibile presenza di vita.

Di conseguenza, i sistemi planetari che circondano le stelle più vicine, quali ad esempio la stella di Barnard o Proxima Centauri, diventano l'ipotetico obiettivo di esplorazioni umane dello spazio extrasolare, tramite sonde senza equipaggio in *fly-by* o *rendez-vous*, e successivamente di una eventuale colonizzazione. La seconda parte del libro discute diversi aspetti da considerare per implementare le future missioni a lungo termine: gli effetti relativistici delle alte velocità necessarie da raggiungere per svolgerle in tempi accettabili, i possibili metodi di propulsione (ancora avveniristici ma non inarrivabili), gli effetti sia biologici che sociologici di un lungo viaggio nello spazio su una comunità umana. Questi capitoli sono ricchi di riferimenti alla fisica che potrebbero risultare un po' ostici ai laici, ma l'autore traduce bene il loro significato in termini adatti a tutti i lettori, e discute in modo esaustivo, e soprattutto realistico, come andranno affrontate queste imprese. È molto efficace il capitolo conclusivo, che presenta e confronta i possibili tempi scala delle missioni interplanetarie, in base ai diversi metodi di propulsione.

Tutto questo presume che il genere umano riesca a sopravvivere abbastanza a lungo per sviluppare la scienza e la tecnologia necessarie per tentare questo nuovo passo della storia umana: devo confessare un personale pessimismo su questo aspetto, ma lo sguardo di Carbognani verso il futuro, sia pure con un'apprezzabile dose di *understatement*, fa leva sulla perenne curiosità e sul desiderio di spingere le frontiere sempre più lontano che caratterizzano la nostra natura. Dubito che siano già nati gli umani che vedranno realizzarsi questi viaggi estremi: questo libro però descrive efficacemente come dovranno arrivarci.

GIOVANNA M. STIRPE

Albino Carbognani è astronomo all'Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna. Lavora presso la Stazione Astronomica di Loiano nel campo della Sorveglianza spaziale. Ha pubblicato diversi libri di carattere astronomico fra cui *Ai confini della Via Lattea* e *L'asteroide di Sodoma e Gomorra*; scrive sul blog *asteroidie dintorni* e sul sito Media INAF.

★

Rimasti a Terra

Eroi ed eroine dimenticati dell'avventura spaziale

Andrea Ferrero

il Mulino (Farsi un'idea), 2025

Copertina flessibile, pp. 168, € 13,00

ISBN 9788815394170

www.mulino.it

FRA i numerosi volumi che affollano le librerie da quando è ripresa la corsa allo Spazio, complici la missione Artemis 2 e le scommesse sulla scadenza entro cui l'umanità andrà su Marte, il libro di Andrea Ferrero (ingegnere aerospaziale e vice-presidente del Cicap) spicca certamente per originalità: non si tratta, in questo caso, di seguire le osservazioni di astronomi famosi o le peripezie di astronauti altrettanto noti, bensì di rintracciare nomi e volti di persone che, chi per un motivo chi per un altro, non hanno viaggiato nello Spazio ma sono, appunto, rimaste (o precipitate, nel peggiore dei casi) a Terra. Tenterò qui di dare un'idea del libro, che consiglio però di leggere integralmente per rendere merito a tutti i personaggi citati e alle loro storie.

Il primo capitolo è dedicato a grandi figure del passato: il rumeno Hermann Oberth, poliglotta, collaboratore della Opel e di Fritz Lang; il francese Robert Esnault-Pelteire, pioniere dell'aeronautica e dell'astronautica; il russo Konstantin Eduardovič Ciolkovskij, quinto di diciotto figli; e l'americano Robert Hutchings Goddard, il cui padre aveva una piccola officina meccanica. Gli ultimi due soffrivano entrambi di salute, amavano i romanzi di Verne, e i loro nomi sono legati all'ideazione (Ciolkovskij) e alla costruzione (Goddard) del primo razzo a propellente liquido.

Mi sono attardata con questi nomi (a cui ne seguiranno molti altri) per mostrare come fin dalle prime pagine il volume porti in primo piano non gli eroi che tutti conosciamo, ma figure per lo più sconosciute, o incontrate frettolosamente sui testi di studio, a cui Ferrero riconosce invece un ruolo di prim'ordine nella storia dell'avventura spaziale. Non solo: accanto a Verne troviamo citato Wells, e poi anche la rivista pulp *Science Wonder Stories*: vi collaborarono, infatti, ben nove delle dodici persone che fondarono, nel 1930, l'American Interplanetary Society (poi ribattezzata American Rocket Society). Nel Regno Unito nasceva invece nel 1933 la British Interplanetary Society, che vide fra i propri membri il giovane Arthur C. Clarke, futuro co-sceneggiatore di *Odissea nello spazio* (Kubrick 1968). Tutto questo dimostra la vicinanza, anzi la profonda connessione fra la tecnologia e la scienza da un lato e la letteratura e il cinema dall'altro. Così come è giusto ricordare gli eroi rimasti a Terra e non solo chi è riuscito a volare nello Spazio, allo stesso modo è bene ricordare le arti, la cultura, l'immaginazione che hanno sempre accompagnato (a volte anticipato) le imprese dei personaggi reali.

Il secondo capitolo si apre con l'ucraino Sergej Pavlovic Korolev, allievo di Andrej Tupolev e «destinato a diventare uno dei personaggi più influenti in tutta la storia dell'astronautica»: deportato, torturato, imprigionato in un gulag, viene salvato in extremis dal suo Maestro che lo fa portare in una prigione più confortevole, dove porteranno avanti insieme i programmi militari richiesti dal regime. Saranno liberati solo nel 1944. Nel 1955 Korolev annuncia la costruzione del primo veicolo spaziale, ovvero di quello che sarebbe poi diventato lo Sputnik 1. Lavorerà poi allo Sputnik 2 (divenuto celebre per la cagnetta Laika che ospita al suo interno) e del 3. Nel 1959 vengono selezionati i primi candidati "cosmonauti" e nel 1961 Jurij Gagarin, a bordo del Vostok 1, è "il primo uomo a volare nello spazio", compiendo un'orbita completa intorno alla Terra; nel 1963 abbiamo la prima donna, Valentina Tereškova; nel 1964 il primo equipaggio multiplo; nel 1965 la prima attività extraveicolare della storia. Korolev muore l'anno dopo, e la sua scomparsa «segna anche simbolicamente il sorpasso degli Stati Uniti ai danni dell'Unione Sovietica nella corsa allo spazio [...] Appena tre anni dopo gli americani sbarcano trionfalmente sulla Luna».

Nel terzo capitolo la scena si sposta in Europa e nel nostro Paese, dove «Oltre a provocare una catastrofe umanitaria, le leggi razziali e la repressione del regime fascista hanno privato l'Italia di alcune delle sue menti migliori. Insieme alle attrezzature dell'Istituto di fisica, sembrano finite sottoterra anche le speranze di restituire dignità alla ricerca scientifica italiana». Proseguono a lavorare con tenacia il chimico Oscar D'Agostino, il fisico ventiseienne Edoardo Amaldi (che definirà la situazione italiana «quasi disastrosa»), l'ingegnere Gaetano Arturo Crocco, mentre alcuni tecnici affermati come Luigi Crocco e Antonio Ferri si trasferiscono negli Stati Uniti. Nel 1955 viene fondato il CERN e nel 1958, lo stesso mese in cui in America viene fondata la NASA, Amaldi propone la creazione di un istituto europeo di ricerca spaziale fra molte polemiche e indecisioni; alla fine nasceranno due organizzazioni distinte nel 1962 (ratificate nel 1964). Per l'ESA (agenzia Spaziale Europea) bisogna aspettare ancora. Ferrero ricorda anche, in questo capitolo, Francesco Giordani, presidente del CNR, e Luigi Broglio, presidente della commissione per le ricerche spaziali inaugurata nel 1959. Nel 1968 nasce il programma Sirio (acronimo di Satellite Italiano per la Ricerca Industriale Operativa), che verrà lanciato da Cape Canaveral nel 1977: resterà attivo a lungo, contribuendo anche allo sviluppo di Internet, e oggi, pur essendo spento, è tuttora in orbita.

Il quarto e il quinto capitolo mi hanno particolarmente appassionata per la presenza di molte donne protagoniste dell'esplorazione dello Spazio pur non avendo volato. Troviamo, fra queste, Irene Bredt, giovane scienziata della Renania folgorata dal film di Fritz Lang *Una donna nella Luna*, e Jerrie Cobb, nata in Oklahoma e candidata (invano) a diventare la

prima donna astronauta della storia, vera icona della lotta alla discriminazione di genere. Ho appreso leggendo queste pagine che dopo la formazione dei primi sette astronauti americani, i “Mercury 7” (tutti maschi, bianchi, protestanti, sposati con figli, e di origine anglosassone), William Randy Lovelace escogitò un programma per sole donne pilote. Nonostante i rigidi allenamenti, il superamento di tutti i test, e nonostante gli ottimi risultati a livello di resistenza, il programma delle “Mercury 13” verrà cancellato.

Solo fra il 1974 e il 1988 l'esercito, la marina e l'aviazione permetteranno alle donne di diventare pilote di test. Nel frattempo, varie organizzazioni per i diritti civili e la stessa Corte Suprema si esprimono contro la discriminazione. Ruth Bates Harris, africana americana, viene nominata direttrice di una commissione per le pari opportunità nella NASA, ma solo per venire subito declassata a vicedirettrice (alle dipendenze di un bianco). Licenziata nel 1973, sarà sostituita da Harriet Jenkins, anche lei africana americana, che grazie alla sua pazienza e diplomazia riuscirà a conservare l'incarico fino al 1992. Nel frattempo, nel 1978 si apre la prima campagna promozionale non discriminatoria. Fra i 35 nuovi astronauti figurano sei donne, di cui una ebrea, tre africani americani e un asiatico americano. Cinque anni dopo, ci informa Ferrero, «gli Stati Uniti portano finalmente nello spazio una donna, Sally Ride, e un nero, Guion Bluford. Ma ancora una volta sono stati anticipati dall'Unione Sovietica, che nel 1980 ha mandato nello spazio il cubano di origine africana Arnaldo Tamayo Méndez e nel 1982 una seconda donna, Svetlana Savickaja». Un ultimo pensiero è per Wally Funk, la più giovane delle “Mercury 13”, che nel 2021, all'età di 82 anni, è riuscita a trascorrere qualche minuto nello spazio grazie al razzo New Shepard di Jeff Bezos.

I capitoli già ricordati contengono anche vari riferimenti a Marte, alternativamente incluso ed escluso dai vari programmi nel corso del tempo. Voglio citare due nomi, quelli di Giulio Bono e Mariana Culcasi, sbarcati a Ellis Island il 7 gennaio 1920 insieme al figlioletto e a molti altri immigrati, il cui secondo figlio, Philip, ingegnere meccanico, lavorò nell'Operazione Paperclip con Wernher von Braun (autore, fra l'altro, del libro *Progetto Marte*, scritto nel 1949 e ambientato nel 1980 sul Pianeta Rosso, in cui il leader si chiama Elon. Vi ricorda qualcosa?). Se Philip Bono nel 1960 progetta un lancio con l'obiettivo di raggiungere Marte nel 1972, von Braun prevede il primo sbarco nel 1982 e la costruzione di una base marziana per cinquanta persone entro il 1989: purtroppo la sonda Mariner 7 mostrerà un pianeta arido, privo di vita e poco interessante, facendo sfumare definitivamente i progetti di cui sopra.

Il capitolo 6 prende l'avvio da un'altra giovane coppia: il geologo Gene Shoemaker e la moglie Carolyn Spellman, che nel 1952 iniziano a studiare il Meteor Crater e le zone circostanti. Shoemaker realizza la prima mappa geologica della Luna e dà ori-

gine alla disciplina che oggi chiamiamo astrogeologia. Dimessosi dal ruolo di responsabile scientifico delle prime missioni Apollo a causa di divergenze sulle modalità di analisi del terreno, fonda il laboratorio di paleomagnetismo di Flagstaff, Arizona, e insieme a Eleanor Helin si dedica allo studio degli asteroidi e delle comete, fino alla scoperta di una cometa «unica nella storia», chiamata sui giornali «collana di perle». Gene morirà tragicamente in un incidente, e la sua collaboratrice Carolyn Porco riuscirà a far accettare alla NASA l'invio di una sonda contenente una parte delle sue ceneri, con una citazione da *Romeo e Giulietta*. Ecco che di nuova scienza e letteratura si intrecciano.

L'ultimo capitolo è dedicato alle vittime di incidenti spaziali, a quei morti la cui scomparsa è chiamata con un eufemismo *loss of crew* (perdita dell'equipaggio). Tra queste, che sono purtroppo numerose e tutte puntualmente ricordate, voglio citare Kalpana Chawla, di origini indiane, a cui sono intitolate la facoltà di medicina e un mausoleo a cielo aperto a Karnal, a 130 km da New Delhi. Il suo nome, scelto da lei stessa, significa “immaginazione”, ed è proprio su questa parola che vorrei concludere le mie considerazioni. L'immaginazione è uno strumento potente, disarmato e non discriminatorio. È la forza più grande sia di chi scrive storie di fantasia, sia di chi dedica la vita alla ricerca scientifica. E si lega senza fatica all'internazionalismo, al multiculturalismo, alla multidisciplinarietà. Ricordo un piccolo libro scritto da una mia brillante ex-studentessa, Camilla Pazzaglia (*Barbie is no longer on the table*, Ventura 2024), che con grande immaginazione accosta alla bambola più celebre e controversa di ogni tempo i personaggi reali delle scienziate della NASA. E ricordo anche l'emozione condivisa quando, seguendo l'ammartaggio del febbraio 2021, scoprimmo che la responsabile delle operazioni di guida e controllo della missione era una donna, la scienziata indiana americana Swati Mohan! La quale esclamò: «*Perseverance is alive on the surface of Mars*». Se parlare di “vita” per un rover poteva suonare strano, questa frase pronunciata da una donna ci parve illuminante ed estremamente evocativa della vita che solo le donne possono dare – o riconoscere. Scienziata, ostetrica, madrina, questa scienziata ci portò a provare un sentimento di cura – non l'orgoglio di un grande passo per l'uomo o per l'umanità, ma la gioia per aver depositato qualcosa di vivo (quant'anche artificiale) sul grembo di Marte.

Altre donne sono emerse dall'oblio e continueranno ad emergere grazie a libri come questo. Penso al film *Il diritto di contare* di Theodore Melfi (2016), basato sul libro omonimo di Margot Lee Shetterly, che racconta la storia vera della matematica, scienziata e fisica africana americana Katherine Johnson, la quale, insieme alle sue colleghe, giocò un ruolo fondamentale nel lancio in orbita dell'astronauta John Glenn. Penso al fatto che Trump fin dall'inizio del suo secondo mandato ha imposto alla NASA (e tutte le amministrazioni pubbliche) di

evitare espressioni quali “la prima donna”, “la prima scienziata”, limitandosi a indicarne nome e cognome. Penso alla dottoressa Namrata Goswami, esperta di geopolitica spaziale, che nel prossimo mese di ottobre terrà la relazione plenaria al Congresso annuale della Mars Society. E ringrazio Ferrero per aver fatto uscire dall’oblio tante persone, uomini e donne, senza le quali l’esplorazione spaziale sarebbe rimasto solo un sogno.

ALESSANDRA CALANCHI

Andrea Ferrero ingegnere meccanico, vicepresidente del CICAP, lavora presso la Thales Alenia Space. Ha partecipato allo sviluppo di moduli abitati della Stazione Spaziale Internazionale e di satelliti scientifici. Attualmente lavora al *lander* lunare Argonaut dell’ESA. È anche autore dei libri *Sulla scena del mistero* (Sironi, 2010, con S. Bagnasco e B. Mautino) e *I ferri del mistero* (CICAP, 2014, con S. Bagnasco).

★

La cattiva coscienza dei fisici Ci sono atomiche sufficienti a bruciare viva l’umanità, e stiamo litigando

Carlo Rovelli

Solferino (Saggi), 2026

Copertina flessibile, pp. 144, € 15,50

ISBN 9788828219286

www.solferinolibri.it

In questo suo libriccino Carlo Rovelli riprende ed amplia il testo di una serie di video che ha realizzato per il *Corriere della Sera* in occasione dell’ottantesimo anniversario della distruzione di Hiroshima e Nagasaki, dedicata alla «storia delle armi nucleari e dell’attualità della minaccia nucleare».

Nella prefazione Rovelli stesso premette di non essere uno storico. Ovviamente non lo sono neppure io, dunque non starò a valutare l’attendibilità delle sue ricostruzioni. Credo però che un libro del genere sia interessante proprio per la prospettiva non neutra che ci propone: è la visione di un fisico che ha una sua visione politica del mondo e della società, e che si esprime su un problema capitale dell’umanità, una spada di Damocle che è diretta conseguenza del lavoro dei fisici (un tema fra l’altro riportato all’attenzione del grande pubblico dal film di Nolan *Oppenheimer*).

I brevi capitoli seguono un ordine cronologico: il ruolo di Enrico Fermi, il progetto Manhattan, l’atomica su Hiroshima e Nagasaki, lo sviluppo dell’atomica russa, l’equilibrio del terrore, i movimenti per il disarmo nucleare, le armi nucleari americane in Italia, l’atomica cinese, la rinuncia della Libia all’atomica (e il diverso destino che le è toccato rispetto alla Corea del Nord, che l’ha invece costruita). Il titolo del penultimo capitolo è quello del libro, ed esamina i differenti atteggiamenti dei fisici nei confronti dell’atomica. Nell’ultimo capitolo Rovelli ci

offre le sue riflessioni finali, nelle quali difende Heisenberg e critica invece l’atteggiamento verso la bomba atomica di John Wheeler e l’indifferenza morale di Enrico Fermi, oltretutto la sua accettazione del regime fascista. Su Fermi mi sembra che si mostri un po’ più moderato rispetto alle critiche che aveva espresso l’anno scorso e che avevano suscitato alcune vivaci reazioni. Mi pare giusto, come sostiene Rovelli, non mitizzare Fermi, d’altro canto nel dare giudizi bisogna inquadrare bene il contesto storico.

Ogni capitolo di questo libro potrebbe aprire un interessante dibattito, e non è ora il caso di analizzare ogni singola affermazione. Io mi limito qui a considerare quelle che Rovelli individua come le cause che spingono l’umanità a questa corsa folle verso il disastro. Nel capitolino sul progetto Manhattan, Rovelli immagina che «se l’arma atomica fosse nata in tempo di pace, tutto avrebbe potuto essere diverso». Forse. Si sarebbero evitate Hiroshima e Nagasaki. Ma una corsa a realizzare l’arma atomica ci sarebbe stata. E la prima potenza che avesse sviluppato l’arma atomica avrebbe avuto la tentazione di usarla in occasione di un nuovo conflitto. Scrive inoltre: «Il motivo per cui rischiamo seriamente, oggi più che mai, di morire tutti bruciati vivi, è la paura esagerata e immotivata che sviluppiamo gli uni degli altri. È la paura, la paura infondata e irrazionale, che (allora come oggi) ci rende aggressivi». Rovelli nota che siamo «in una girandola di paure reciproche che ci porta costantemente a massacrarci gli uni con gli altri. E se smettessimo? Non sarebbe meglio per tutti? Non è utopia. All’interno degli Stati, siamo riusciti, più o meno bene, a trovare il modo di non ammazzarci costantemente a vicenda. Possibile che siamo così stupidi da non riuscire a fare lo stesso *fra* Stati?». Il problema è che a livello di Stati la cosa è ben diversa. Mentre il rispetto delle regole fra individui in uno Stato è garantito da un’autorità che ha i mezzi per farle rispettare, non esiste un’autorità analoga a livello sovranazionale (l’ONU, come si è visto, non ha i poteri per mettere ad esecuzione le sue sentenze). Sono le Superpotenze che dettano legge. Appellarsi all’intelligenza e al buon senso degli esseri umani va bene, è un appello giusto, come giuste sono le parole del Papa contro la guerra. Occorre però accompagnarle con una visione realista. Le conferenze Pugwash sono state senz’altro importanti e utili ed occorre che gli scienziati facciano sentire la loro voce e si rifiutino di entrare in una logica bellicistica, ma la politica internazionale è un sistema complesso, e arrivare alla pace nel mondo è un obiettivo davvero molto difficile.

In conclusione, il libro è su una tematica importantissima, i brevi capitoli trattano argomenti complessi necessariamente semplificando, e semplificando probabilmente troppo. Rovelli ha uno sguardo critico sulla storia delle armi atomiche che differisce da quello dominante nei mass media. Su alcuni dei suoi giudizi mi trovo d’accordo, altri mi

lasciano perplesso. Ma credo sia importante che questi argomenti siano trattati in modo accessibile da una “star” come Rovelli perché così raggiungeranno anche persone che mai se ne sarebbero interessate.

Dissentito comunque dalla conclusione del libro: «Di sicuro arriveremo a una struttura politica ragionevole ed efficace, condivisa, per il pianeta intero. L'incertezza è se ci arriveremo prima o dopo la catastrofe nucleare. Dipende da noi. C'è qualche adulto nella stanza dei bottoni?». Mi suona come un abbozzo di “lieto fine” un po' forzato. Che si possa essere sicuri dell'avvento di una struttura razionale per il pianeta intero, mi sembra un atteggiamento purtroppo non fondato su tendenze attuali: non vedo segni che ci portino verso una tale situazione nei prossimi decenni. E dopo un'eventuale catastrofe

nucleare non ci sarà più nessuna struttura politica: sarà semplicemente la fine della civiltà umana.

ALBERTO CAPPI

Carlo Rovelli creatore di una delle principali linee di ricerca in gravità quantistica, è tra i fisici teorici più attenti alle implicazioni filosofiche dell'indagine scientifica. Membro dell'Istituto universitario di Francia e dell'Accademia internazionale di filosofia delle scienze, dirige il gruppo di ricerca in gravità quantistica dell'Università di Aix-Marsiglia. Collabora con il *Corriere della Sera*. Tra i suoi libri ricordiamo (pubblicati da Adelphi) *Sette brevi lezioni di fisica* (2014), *L'ordine del tempo* (2017), *Helgoland* (2020), *Buchi bianchi* (2023) e *Sull'eguaglianza di tutte le cose* (2025). Con Solferino, ha pubblicato *Ci sono luoghi al mondo dove più delle regole è importante la gentilezza* (ultima edizione 2020) e *Lo sapevo, qui, sopra il fiume Hao* (2023).

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

Gli Incontri del «Giornale di Astronomia»

IL «Giornale di Astronomia» è nato nel 1975 come rivista di informazione, cultura e didattica per soddisfare a uno dei fini della *Società Astronomica Italiana*: «promuovere la diffusione scientifica nel nostro paese». L'idea era – e ha continuato ad essere – quella di fornire a persone interessate all'astronomia e desiderose di approfondire la loro cultura scientifica un'informazione seria, sicura e aggiornata sugli studi astronomici, con articoli divulgativi di rassegna e di messa a punto ad opera di astronomi professionisti.

Il «Giornale di Astronomia» dedica ampio spazio ad argomenti di didattica e di analisi storica e si occupa anche di quel vasto campo interdisciplinare che è proprio dell'astronomia, evidenziandone e discutendone la presenza in gran parte degli aspetti culturali. In altre parole, si tratta del legame tra la scienza del cielo e le altre discipline, non solo scientifiche, quali arte, letteratura, filosofia, religione, società.

A causa del positivo riscontro presso il pubblico di questa linea editoriale e su proposta del Presidente della SAIT Roberto Buonanno, il Consiglio Direttivo ha deciso nel 2022 di allargare l'esperienza del «Giornale» presentando in rete, a cadenza regolare, alcuni dei temi pubblicati che hanno avuto maggiore interesse, con delle brevi chiacchierate tenute dagli autori che potranno interloquire col pubblico.

Di norma l'ultimo giovedì del mese, alle 17:00 per una mezz'ora o poco più, un astronomo, uno storico della scienza, un'insegnante o altri vi intratteranno su questo tipo di argomenti.

L'indirizzo web dell'*Incontro*, in diretta streaming su YouTube, viene fornito sulla pagina della SAIT (www.sait.it) qualche giorno prima dell'evento e via e-mail a chi lo chiede alla segreteria della Società (segreteria@sait.it).

2023

- 26 gennaio con FABIO GADDUCCI: *Le edizioni italiane e francesi della "Grande burla lunare"*.
- 23 febbraio con LICIA TROISI: *L'altro da sé: due millenni di alieni*.
- 30 marzo con RAFFAELLA SCHNEIDER: *Donne e scienza: si riparte dalle bambine*.
- 27 aprile con AGNESE MANDRINO: *Sotto lo stesso cielo? Gli astronomi e le leggi razziali in Italia*.
- 25 maggio con ALBERTO CAPPI: *La cosmologia moderna di Edgar Allan Poe*.
- 29 giugno con RAFFAELE GRATTON: *Formazione dei sistemi planetari: cosa sappiamo ad oggi e cosa ci piacerebbe sapere*.
- 28 settembre con ALESSANDRO PAPITTO: *Il cielo come orologio e bussola, dalle meridiane alle pulsar*.
- 26 ottobre con GIULIANO GIUFFRIDA: *Il "Diagramma dell'Orizzonte" e la nascita dell'astronomia araba*.

- 30 novembre con FLAVIA MARCACCI e SARA TAGLIAGAMBA: *Leonardo, la Luna, la nuova scienza*.

2024

- 25 gennaio con MARCELLA MARCONI: *La storia di formazione della Via Lattea: cosa ci raccontano le RR Lyrae*.
- 23 febbraio con GIANGIACOMO GANDOLFI: *«De fabricanda universi figura»: le volte astrali del Rinascimento*.
- 28 marzo con MARCO CASTELLANI: *Edu INAF, tra scienza e letteratura*.
- 18 aprile con MAURO CENTRONE: *L'arte di creare stelle*.
- 30 maggio con MASSIMO DELLA VALLE: *Le esplosioni di Supernova e l'origine della vita*.
- 27 giugno con MARCO SALVATI: *Domande scomode sul tempo*.
- 26 settembre con AGNESE MANDRINO: *Gli archivi della Società degli Spettroscopisti Italiani e della Società Astronomica Italiana: nuove fonti per la storia*.
- 24 ottobre con ANNA MARIA LOMBARDI: *Il cielo dalla Luna, un sogno astronomico di Keplero*.
- 28 novembre con GABRIELE GHISELLINI: *Oceani di luce*.
- 19 dicembre con ALBERTO CAPPI: *Le prime misure della velocità radiale delle stelle: revisione critica di una storia controversa*.

2025

- 30 gennaio con ILEANA CHINNICI: *Cerere Ferdinanda: storia di una scoperta*.
- 27 febbraio con FRANCESCA MATTEUCCI: *Archeologia della nostra Galassia usando le abbondanze chimiche come fossili*.
- 27 marzo con GIUSEPPE BONO: *I trent'anni che rivoluzionarono l'astrofisica*.
- 24 aprile con AMEDEO BALBI: *La fisica dei mondi abitabili*.
- 29 maggio con ANDREA COMASTRI: *Buchi Neri: un problema di estrema gravità*.
- 26 giugno con LUCIANO BURDERI: *L'esistenza degli Dei. Come il Paradosso dei Gemelli ed il Principio Copernicano forniscono una "soluzione relativistica" al Paradosso di Fermi: «Dove sono tutti quanti?»*.
- 25 settembre con IVAN AGOSTINELLI: *Ottica adattiva e intelligenza artificiale*.
- 30 ottobre con ALDO ALTAMORE: *Il carteggio Armellini-Gemelli*.
- 27 novembre con CESARE GUAITA: *Marte: molecole organiche naturali o biologiche?*

2026

- 8 gennaio con PATRIZIA CARAVEO: *Donne fra le stelle*.

- 29 gennaio con AGNESE MANDRINO e FABRIZIO BÒNOLI: *Astronomi e fantasmi*.
- 26 febbraio con LUCIO ANGELO ANTONELLI: *A caccia dei fotoni più energetici del Cosmo. L'astronomia Cherenkov dalle origini al CTAO*.
- 26 marzo con CRISTINA PUZZARINI: *La chimica tra le stelle. Come spettroscopia e meccanica quantistica ci raccontano il mezzo interstellare*.
- 30 aprile con ANNALISA CALAMIDA: *La vita delle stelle vista dal Telescopio Spaziale Hubble*.

- 28 maggio con ANGELO ADAMO: *Sonora è la notte - I concerti per notte stellata e orchestra di John Cage*.
- 25 giugno: CON I VINCITORI DEL PREMIO SCHIAPARELLI: *Le onde gravitazionali al concorso Schiaparelli*.

Gli incontri sono successivamente resi disponibili sul canale YouTube della Società Astronomica Italiana: www.youtube.com/@sait-societaastronomicaita3911/streams.

*Le nostre riviste Online,
la nostra libreria Internet*
www.libraweb.net



*Our Online Journals,
our Internet Bookshop*
www.libraweb.net



Fabrizio Serra
Editore®



Accademia
editoriale®



Istituti editoriali
e poligrafici
internazionali®



Giardini editori
e stampatori
in Pisa®



Edizioni
dell'Ateneo®



Gruppo editoriale
internazionale®

Per leggere un fascicolo saggio di ogni nostra rivista si visiti il nostro sito web:

To read a free sample issue of any of our journals visit our website:

www.libraweb.net/periodonline.php

