

# Indice

Introduzione.....	3
Gli autori .....	5
Le associazioni e gli enti.....	11
La strana coppia che ha portato lo spazio in TV.....	15
Fragole, pompieri e GPS.....	23
L'astronomia nella Biblioteca Apostolica Vaticana .....	31
Astrolinguistica: breve introduzione alla scienza di parlare con gli alieni .....	47
All'anagrafe: buco nero. Storia di un buco che ha più volte cambiato nome .....	58
La realtà dei fumetti: gli esopianeti.....	69
Uno starnuto stellare.....	81
Entrare in orbita lunare è più facile a farsi che a dirsi.....	89
Teoria e pratica della difesa planetaria: la missione di deflessione asteroidale DART/LICIACube.....	97
Tanto tempo fa... In una galassia nana, non troppo lontana! .....	113
Il ciclo del carbonio e il clima di Venere, Terra e Marte .....	125
«ASTROSpigolature».....	143
Note e collegamenti.....	177

## Introduzione

Questo è un libro collettivo, nato in seno all'associazione Caffè-Scienza APS, ma che poi si è esteso ad altre associazioni ed enti, e che ha visto la partecipazione di molti autori, sia di testi che di disegni (Martina Rossi).

Il tema, come avrete già capito, è quello di trattare argomenti, spigolature, aspetti poco noti legati allo spazio, ovvero temi di astronomia, astrofisica e astronautica.

Siamo rimasti piacevolmente stupiti dall'entusiasmo e dalla professionalità mostrata dai vari autori, per cui siamo sicuri che la lettura sarà stimolante.

Il copyright dei vari articoli è dei rispettivi autori, quindi se l'argomento vi interessa e volete ampliarlo, contattateli (eventualmente scrivendo a [info@caffescienza.it](mailto:info@caffescienza.it)).

Non dimenticate di dare un'occhiata alle attività delle varie associazioni ed enti, elencate nella sezione apposita, sono tutte composte da persone che lavorano con entusiasmo per fornire un servizio alla collettività.

Le note e i link sono stati messi collettivamente in una sezione apposita, così chi legge l'edizione cartacea non deve digitare la url, ma basta che segua il qr code qui accanto (che punta a <http://www.caffescienza.it/aaa>).



Buona lettura.

Franco Bagnoli e Giovanna Pacini

## Gli autori

### Maria Giulia Andretta



Maria Giulia Andretta è PhD in Storia della Scienza e delle Tecniche all'Università di Bologna e dopo la laurea in Astronomia e in Scienze Filosofiche ha integrato il suo percorso con il Master in Comunicazione delle scienze presso l'Università di Padova.

È coautrice di "Stregati dalla Luna" (Carocci, 2019) scritto con Marco Ciardi, con prefazione di Piero Angela e autrice di "Dalla Terra a Marte" (Carocci, 2022). La sua tesi di dottorato sulla conquista della Luna è stata premiata dall'*International Astronomical Union per la Division: Education, Outreach and Heritage*. Si interessa dei rapporti tra scienza, cinema e mass media e della storia della scienza.

Ha al suo attivo diverse pubblicazioni nazionali e internazionali ed è stata docente a contratto di Divulgazione e giornalismo scientifico presso il corso di Didattica e comunicazione delle Scienze naturali dell'Alma Mater. Inse-

gna Filosofia e Storia al liceo scientifico ed è consulente di Genus Bononiae e della Fondazione Golinelli.

### Franco Bagnoli



Franco è un fisico teorico della materia e lavora nel Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. È stato direttore del Centro Interdipartimentale per lo Studio di Dinamiche Complesse (CSDC, Università di Firenze), ed è stato il coordinatore nazionale o locale di vari progetti europei, nazionali e dell'INFN.

Studia la fisica dei sistemi complessi con applicazioni alle scienze cognitive, biologia evuzionistica, dinamica delle popolazioni e delle opinioni. Si occupa anche di didattica della fisica, divulgazione e partecipazione.

È presidente dell'Associazione Caffè-Scienza di Firenze, co-autore dei libri della collana caffè-scienza (Apice Libri) e co-conduttore della trasmissione RadioMoka su NovaRadio.

### Stefano Ciabattini



Stefano Ciabattini è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze.

Le sue aree di interesse e di ricerca riguardano molti settori dell'Astrofisica, dalla Cosmologia alla Fisica delle Galassie, dalla Fisica Stellare alla formazione di pianeti, nonché l'abitabilità dal punto di vista astrofisico. Ha conseguito la Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche con la sua Tesi "Le Prime Galassie Abitabili" presso l'Università di Firenze, dove a breve inizierà il Corso di Dottorato in Fisica e Astronomia.

### Alessio Coppola



Studente del corso di laurea magistrale in Scienze fisiche e astrofisiche dell'Università degli studi di Firenze. Ha conseguito la laurea triennale in Fisica e Astrofisica presso la stessa università.

È interessato alla divulgazione scientifica, collabora con il Planetario della Fondazione Scienza e Tecnica, dove ha svolto un tirocinio curriculare e dove attualmente si occupa di attività divulgative di astronomia con scuole e pubblico generico. Collabora inoltre con l'Associazione Caffè-Scienza APS e con OpenLab-Centro di Servizi per l'educazione e la divulgazione scientifica,<sup>1</sup> partecipando con quest'ultimo ad eventi divulgativi come la Notte europea delle Ricercatrici e dei Ricercatori.

### Alessio Focardi



Laureato in Fisica e Astrofisica presso l'Università degli studi di Firenze divide il suo tempo fra l'insegnamento liceale in fisica e matematica, il tutoring universitario e la divulgazione e comunicazione della scienza sui social e dal vivo.

Alessio collabora attivamente con molte associazioni che si occupano di comunicazione della scienza fra cui:

Associazione Astrofili Fiorentini, Minerva Divulgazione, OpenLab - Centro di Servizi per l'educazione e la divulgazione scientifica, Caffè - Scienza APS. Sui social fa parte del team di Cronache dal Silenzio ed è moderatore della pagina Facebook ad esso associata: Spazio Astronomia.

Recentemente ha creato la sua pagina dal nome "Spazi di Fock" in cui tratta temi riguardanti l'astrofisica, la fisica e la matematica, anche attraverso aneddoti e storie.

### Giuliano Giuffrida



Giuliano Giuffrida lavora per il Coordinamento dei Servizi Informatici della Biblioteca Apostolica Vaticana, è coinvolto nella gestione dei database di catalogazione dei manoscritti e nel progetto di digitalizzazione dei manoscritti antichi della Biblioteca.

In particolare, Giuliano è coinvolto nella gestione dell'archivio a lungo termine basato sul FITS, studia nuove metodologie di preservazione del dato digitale e collabora ad attività di ricerca sul digitale, dalla codicologia quantitativa all'applicazione di tecniche di intelligenza artificiale sui manoscritti digitalizzati, si interessa anche di Storia dell'Astronomia.

Giuliano ha una laurea in Fisica e un Dottorato di ricerca in Astronomia, entrambi conseguiti presso l'Università di Roma Tor Vergata. Ha lavorato presso l'Osservatorio Astronomico di Roma, l'*European Southern Observatory*, l'Agenzia Spaziale Italiana e collaborato con l'Agenzia Spaziale Europea, prima di arrivare in Biblioteca Apostolica Vaticana nel 2016.

### Lorenzo De Piccoli



Lorenzo De Piccoli è un neolaureato in Storia della Scienza presso l'Università degli Studi di Firenze.

I suoi interessi di ricerca riguardano principalmente la storia e l'epistemologia delle scienze spaziali, con particolare riferimento all'astrobiologia, al SETI, e ai precursori di questi ultimi. La sua tesi di laurea magistrale, intitolata *Silentium Universi. Storia del SETI e del Paradosso di Fermi*, è stata premiata con il Premio di Laurea SISFA 2023 della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia.

### Aldo Piombino



Laureato in Scienze Geologiche, si interessa di vari ambiti delle Scienze della Terra. Ha collaborato con l'*International Institute of Humankind Studies* diretto dal prof. Brunetto Chiarelli e con l'autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Centrale.

Collabora con il gruppo di Geologia applicata dell'Università di Firenze diretto dal prof. Nicola Casagli per il quale si occupa di monitoraggi satellitari e di divulgazione sulle problematiche dell'assetto del territorio. Studia anche i rapporti tra fenomeni geologici, cambiamenti climatici ed evoluzione della vita lungo la storia della Terra.

Appassionato di divulgazione scientifica, nel 2007 crea "*Scienzeedintorni*", un blog di divulgazione scientifica, in cui tratta argomenti che vanno dalle Scienze della Terra a biologia, ambiente, energia, antropologia e storia della Scienza e collabora attivamente alle attività dell'associazione Caffè-scienza APS. Ha anche scritto un saggio sulle cause geologiche degli eventi di estinzione di massa.

### Alessandro Rossi



Alessandro Rossi si occupa di dinamica del volo spaziale, meccanica celeste e scienze planetarie presso l'Istituto di Fisica Applicata (IFAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Sesto Fiorentino. È membro dello science team delle missioni DART/LICIACube e Hera.

Autore di oltre 100 articoli su riviste internazionali con revisione, nel 2016 ha ricevuto il Premio Edoardo Kramer della Fondazione Edoardo Kramer; e dell'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere per i suoi studi sulla dinamica dei detriti spaziali in orbita terrestre. L'asteroide 1990 RV2 è stato nominato (5185) Alerossi in riconoscimento del suo contributo allo studio degli asteroidi e dei detriti spaziali.

### Martina Rossi



Martina ha appena conseguito il titolo di Dottorato di ricerca in Astronomia presso l'Università di Firenze e attualmente lavora come assegnista di ricerca presso l'università degli studi di Bologna. Il suo campo di ricerca è prevalentemente la cosmologia e l'evoluzione chimica dell'universo con un particolare focus sulle prime stelle. Collabora con il gruppo NEFERTITI e fa parte di 4MOST-4DWARFS, un progetto di studio di galassie nane. Nel tempo libero si diletta nel disegno digitale creando illustrazioni, disegni e loghi.

Martina è autrice dei disegni nel libro.

### Stefania Salvadori



Stefania Salvadori è Professore Asso-

ciato presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze dove è rientrata nel 2017 con una borsa Rita Levi Montalcini. Dal 2019 è coordinatrice del progetto europeo NEFERTITI (ERC starting) con il quale ha potuto creare il proprio gruppo di ricerca per studiare le prime stelle e le prime galassie attraverso l'archeologia stellare.

### Domitilla Tapinassi



Laureata in fisica ed astrofisica presso l'Università degli studi di Firenze, si interessa di diversi ambiti divulgativi dell'astrofisica.

Dopo la laurea ha affrontato un percorso di divulgazione scientifica che l'ha portata al Planetario della Fondazione Scienza e Tecnica, dove occupa il ruolo di planetarista con attività di divulgazione per scuole e famiglie. Collabora inoltre con l'associazione Caffè-Scienza APS con la quale ha partecipato ad eventi come ad esempio "La fisica dei supereroi".

# La strana coppia che ha portato lo spazio in TV

## Maria Giulia Andretta

Agli inizi degli anni Cinquanta due personaggi apparentemente distantissimi per formazione, interessi e storie personali iniziano a collaborare negli Studios

animati guidati da una comune passione per l'esplorazione dello Spazio: Wernher von Braun ed Walter Elias Disney.

Von Braun è un ingegnere tedesco, famoso per il suo ruolo chiave nella progettazione e nello sviluppo dei razzi V2 che il Terzo Reich aveva lanciato contro le coste britanniche nell'estate del 1944. Al termine della Seconda Guerra Mondiale si arrende alle truppe statunitensi e, insieme a molti suoi colleghi, viene portato negli Stati Uniti e inserito nel programma Paperclip, un'operazione segreta per reclutare scienziati tedeschi di rilievo da utilizzare nel programma militare e poi spaziale americano.

A dieci anni dalla fine della guerra, l'ingegnere tedesco aveva già riabilitato la sua immagine e gli era chiara la possibilità che gli veniva fornita di coronare il suo avveniristico sogno di portare l'uomo sulla Luna. Per diffondere le sue idee e arrivare a un pubblico più ampio, aveva iniziato una collaborazione con la rivista Collier, molto diffusa a livello nazionale, dove sosteneva le sue tesi sulla esplorazione dello Spazio.

Questi articoli, che gli avevano dato la prima vera e propria opportunità per parlare dei piani di conquista americani, erano inoltre arricchiti da illustrazioni di artisti rinomati che lavorano fianco a fianco con gli scienziati.

In questo modo, tutti gli inserti risultavano realistici e mostravano tecnologie avanzate e pionieristiche che si spingevano oltre le visioni fantascientifiche, con un taglio divulgativo che rendeva i contenuti, normalmente adatti solo ad esperti, accessibili a tutti. I lettori non faticano ad appassionarsi alla visione del futuro di von Braun e il giornale raggiunge una tiratura di circa quattro milioni di copie. L'ex nemico diventa una risorsa sotto molti punti di vista.



*Figura 1: Werner von Braun con vari modelli di razzi.*

Su un altro fronte, Walter Elias Disney, avrà un ruolo significativo nella crescita dell'industria dell'intrattenimento grazie al suo amore per il disegno e alla sua passione per l'arte e l'animazione.

Dopo un breve periodo a Hollywood, dove studia per diventare regista cinematografico, nel 1923 fonda, insieme a suo fratello Roy Disney, i Disney Brothers Studios, nota oggi come *The Walt Disney Company*. Il papà di Topolino, presentato al pubblico nel 1928 nel famoso cortometraggio *Steamboat Willie*, cavalca l'onda del successo delle sue produzioni e, da grande imprenditore, si lancia nella realizzazione di parchi tematici tanto che nel 1955 inaugura Disneyland, in California.

In ogni parco riserverà sempre una delle aree a Tomorrowland, una sezione creata con l'idea di guardare al passato non con un senso di nostalgia, ma come premessa per una vera e propria esaltazione del futuro e delle possibilità del progresso.

La passione di Walt Disney per l'esplorazione dello Spazio e la tecnologia è nota, ed è stata un elemento importante nella creazione dell'immagi-

# Fragole, pompieri e GPS

## Alessio Coppola

Domenica mattina. Neil ha dimenticato le fragole per la torta di sua figlia Daisy, che oggi compie dieci anni. Neil si precipita in auto e cerca con il GPS il supermercato aperto più vicino. Lo trova, accende il motore, parte. Tra gli scaffali ecco le fragole, rosse e fresche. Le mette nel carrello, paga alla cassa con la carta di credito e torna in auto. Accende il motore e corre verso casa. La festa sta per iniziare. Ad un tratto un bagliore dietro di lui. Un camion dei pompieri ha acceso la sirena e vuole superarlo. Neil accosta e li fa passare. Mancano cinque minuti alla festa. Arriva a casa, mette le fragole sulla torta e la porta in salotto. La festa di Daisy è appena iniziata.

Neil sarà forse felice di aver trovato le fragole per sua figlia, ma lungo la strada non ha fatto caso a qualcosa. Anzi, a più di una cosa. Forse anche tu che stai leggendo non hai notato le invenzioni spaziali che Neil ha incontrato.

Tecnologie spaziali. Oggetti che abbiamo sotto gli occhi ogni giorno e che forse, come Neil, diamo per scontati, senza sapere che sono nati per risolvere questioni legate allo spazio e agli astronauti. Molte di queste invenzioni sono state sviluppate dalla NASA (National Aeronautics and Space Administration), l'agenzia governativa civile responsabile del programma spaziale e della ricerca aerospaziale degli Stati Uniti d'America.

A partire dal 1976 la NASA pubblica ogni anno un catalogo<sup>11</sup> in cui vengono presentati i 50 brevetti tecnologici che hanno avuto le maggiori ricadute nella società negli ultimi 12 mesi. Dalla medicina ai trasporti, dall'ambiente alla sicurezza pubblica. Fino a oggi sono state pubblicate più di 2000 invenzioni.

Torniamo ora alle fragole di Neil e cerchiamo le invenzioni spaziali nascoste tra le righe della storia.

## **GPS (Global Positioning System)**

Per trovare il supermercato aperto più vicino, Neil ha usato il GPS. Questa tecnologia, che usiamo per capire quali strade percorrere, è nata nell'ambito spaziale.

Il Global Positioning System (GPS) è un sistema di radionavigazione spaziale che può individuare una posizione sulla Terra con precisione a livello del metro. Il ricevitore GPS sulla Terra riceve il segnale da almeno 3-4 satelliti, che sono sincronizzati tra loro tramite orologi atomici. In base alla posizione dei satelliti e al tempo impiegato dai segnali per arrivare al ricevitore, si calcola la posizione sulla Terra.

La storia del GPS parte dalla Guerra Fredda. Nel 1957 l'Unione Sovietica lanciò lo Sputnik I, il primo satellite artificiale a orbitare attorno alla Terra. Durante il volo, lo Sputnik I emetteva un segnale radio. Due fisici statunitensi, William Guier e George Weiffenbach, dell'Applied Physics Laboratory (APL) della Johns Hopkins University, monitorano le trasmissioni del satellite.

Durante le osservazioni si accorsero che la frequenza dei segnali aumentava man mano che il satellite si avvicinava e diminuiva quando il satellite si allontanava. Questo fenomeno si chiama Effetto Doppler. A partire da questo, gli scienziati usarono i segnali radio per tracciare la posizione e il movimento di Sputnik I da terra.

In seguito, nacque la domanda: se la posizione di un satellite può essere determinata da terra tramite lo spostamento di frequenza del suo segnale radio, si può fare il contrario? Si può individuare la posizione di un punto sulla Terra, data quella del satellite? Da qui nacque l'idea del GPS.

Nel 1958, l'*Advanced Research Projects Agency* (ARPA) utilizzò questo principio per sviluppare Transit, il primo sistema di navigazione satellitare globale al mondo. Il primo satellite fu lanciato nel 1960 e forniva informazioni a utenti militari e commerciali, compresi i sottomarini missilistici della Marina.

Il programma fu trasferito alla Marina a metà degli anni '60 e nel 1968 una costellazione di 36 satelliti era pienamente operativa. La tecnologia di Transit fornì una precisione di decine di metri e fu nota per "aver migliorato l'accuratezza delle mappe delle aree terrestri della Terra di quasi due ordini di grandezza".

Nel 1967, la Marina degli Stati Uniti sviluppò il satellite Timation, che dimostrò la fattibilità di collocare orologi precisi nello spazio, una tecnologia necessaria per il GPS.



*Figura 1: Scrubber per la rimozione di etilene.<sup>12</sup>*

All'inizio degli anni '70, il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, per garantire la disponibilità di un sistema di navigazione satellitare per la difesa, progettò Navstar, dotato inizialmente di 24 satelliti.

Nel 1983 il volo 007 della *Korean Air Lines*, con a bordo 269 persone, fu abbattuto da un aereo sovietico, dopo essersi addentrato, a causa di errori di navigazione, in uno spazio aereo proibito. Dopo questo evento il presidente degli USA Ronald Reagan emise una direttiva per rendere il GPS disponibile per l'aviazione civile.

Con il tempo la tecnologia GPS si diffuse sempre più nella vita quotidiana. Nel 1999 la società Benefon rilasciò Benefon Esc!, il primo telefono dotato di GPS che avrebbe aperto la strada a molti altri. In seguito, questa tecnologia iniziò a comparire anche nelle automobili.

### **Fragole fresche**

Al supermercato Neil ha trovato fragole rosse e fresche. Come fanno le fragole a restare fresche così a lungo? Perché le mele sono così lucenti sugli scaffali?

Senza la NASA le fragole marcirebbero prima e le banane diventerebbero nere in breve tempo. Per la conservazione dei cibi, infatti, si usa una tec-

# L'astronomia nella Biblioteca Apostolica Vaticana

## Giuliano Giuffrida

Fondata a metà del XV secolo, ma erede diretta di Biblioteche papali precedenti, la Biblioteca Apostolica Vaticana – da qui in avanti semplicemente Biblioteca – è indubbiamente una di quelle più antiche e conosciute al mondo.

Formalmente è la Biblioteca del Papa, ma è frequentata quotidianamente da studiosi di tutto il mondo, e preserva innumerevoli tesori: libri stampati (più di 1 milione), incunaboli (9000 circa), manoscritti antichi (più di 80000), lettere e archivi, monete e medaglie.

Poco noto però è quanta astronomia ci sia in Biblioteca, e non mi riferisco solo ai numerosissimi libri, stampati o manoscritti, a carattere astronomico, autentici pezzi fondamentali di storia dell'astronomia.

L'astronomia è presente prima di tutto nel cuore del progetto di digitalizzazione, con l'uso del formato FITS, ma moltissime sono anche le tecniche ideate o utilizzate dagli astronomi che possono essere applicate al patrimonio digitale della Biblioteca.

Di seguito presenterò innanzitutto il progetto di digitalizzazione del patrimonio librario della Biblioteca, mostrando le caratteristiche del formato FITS tanto noto agli astronomi e spiegando perché è utile alla Biblioteca. Passerò quindi a parlare della norma UNI 11845:2022, "Processi di gestione della conservazione a lungo termine di immagini digitali con l'uso del formato FITS", della quale sono relatore e che è ora al centro dell'archivio di conservazione a lungo termine digitale della Biblioteca. A seguire descriverò tecniche di analisi immagini utilizzate in Biblioteca, dalla codicologia digitale all'analisi dei palinsesti, e infine parlerò degli studi sulla storia dell'astronomia.

## Il progetto di digitalizzazione

Tra i circa 80000 manoscritti antichi custoditi in Biblioteca vi sono pezzi di inestimabile valore storico e culturale; elencare i più pregiati e noti

# **Astrolinguistica: breve introduzione alla scienza di parlare con gli alieni**

**Lorenzo De Piccoli**

Fin dall'antichità, da quando gli esseri umani hanno iniziato a osservare e studiare il cielo, l'idea che su altri pianeti possano esistere esseri viventi, in particolare creature dotate di intelligenza, ha affascinato filosofi naturali, scrittori, poeti e intellettuali. Molte opere speculative sugli "abitanti dei pianeti" e sulla "pluralità dei mondi" sono state scritte nel corso dei secoli. Tuttavia, nel ventesimo secolo, una profonda innovazione nell'astronomia e nelle scienze spaziali fece intravedere ad alcuni scienziati la possibilità di abbandonare la speculazione puramente teorica e di mettersi attivamente alla ricerca dei nostri lontani cugini interstellari.

Tale innovazione fu la comparsa della radioastronomia: con tale termine si indica l'insieme delle tecniche che studiano gli oggetti celesti mediante l'analisi delle onde radio che essi emettono. Mentre l'astronomia tradizionale si limita a osservare e a studiare la piccola porzione dello spettro elettromagnetico corrispondente alla luce visibile, la radioastronomia permette di ottenere una conoscenza più ampia e precisa dei corpi celesti, specialmente di quelli molto distanti; infatti, la natura delle onde radio, dalla lunghezza d'onda molto più ampia rispetto alla luce visibile, fa sì che esse si propaghino più facilmente attraverso lo spazio interstellare e l'atmosfera terrestre.

La radioastronomia nacque intorno agli anni '30 del secolo scorso, ed impiegò qualche decennio a diffondersi e a mettere stabilmente radici tra la comunità scientifica internazionale; alla fine degli anni '50, due scienziati, Giuseppe Cocconi e Philip Morrison, si resero conto che le onde radio, per i motivi appena spiegati (e anche perché, ovviamente, si muovono alla velocità della luce), sono il miglior mezzo immaginabile per comunicare su distanze interstellari. Questo significa che, se esistesse una qualche forma di intelligenza extraterrestre intenzionata a comunicare con noi o con altre forme di vita intelligente nello spazio, allora il mezzo ideale per una simile comunicazione sarebbero le onde radio, che potrebbero essere intercettate dai nostri radiotelescopi.

Quest'idea spinse molti scienziati a puntare i radiotelescopi verso lo spazio, nella speranza di intercettare un messaggio da qualche fonte extraterrestre: nacque così il programma di ricerca oggi noto come SETI, o *Search for Extraterrestrial Intelligence*. Naturalmente, questo pone tutta una serie di domande: anche ammesso che degli extraterrestri intelligenti esistano, e che stiano inviando messaggi via radio, come faremmo a riconoscere un messaggio alieno (magari codificato in un modo per noi del tutto inimmaginabile) dal rumore di fondo o da fonti naturali di onde radio? E anche ammesso che un radiotelescopio riesca a ricevere un segnale che è incontrovertibilmente un messaggio extraterrestre, saremmo in grado di decifrarlo?

Domande come queste hanno stimolato l'immaginazione di molti scrittori di fantascienza: Stanisław Lem, in particolare, ha esplorato queste tematiche in capolavori del genere come *La Voce del Padrone* e *Il Pianeta del Silenzio*. Tuttavia, nel mondo reale, non abbiamo ricevuto nessun segnale tale da indurci anche solo a sospettare ragionevolmente di avere tra le mani un messaggio dagli extraterrestri: a più di sessant'anni dalle prime ricerche SETI, l'universo rimane un posto molto silenzioso. Gli scienziati sulla Terra hanno però provato a rispondere anche a un'altra domanda: ammesso che esistano degli extraterrestri intelligenti capaci di ricevere messaggi radio, come dovrebbe essere fatto il messaggio per poter convogliare un contenuto informativo agli stessi extraterrestri? In altre parole: come possiamo noi comporre un messaggio tale che sia compreso da eventuali ascoltatori extraterrestri?

Questa domanda era ricorrente tra gli scienziati fin dall'inizio della storia del SETI, che infatti era un tempo più noto come CETI, o *Communication with Extraterrestrial Intelligence*. Come instaurare una comunicazione con creature che postuliamo essere intelligenti (qualsiasi cosa voglia dire esattamente intelligenza, una definizione non facile da indicare con certezza), ma che potrebbero comunicare tra di loro in modo totalmente diverso da noi, e che ovviamente (ammesso che abbiano qualcosa di simile al linguaggio) non parlano nessuna cosa simile alle lingue terrestri?

Una prima soluzione fu di utilizzare delle immagini. Molti sistemi di comunicazione, antichi e moderni, utilizzano pittogrammi o rappresentazioni per convogliare contenuti semantici: è facile capire come il disegno di una casa sia un buon modo per convogliare con abbastanza chiarezza e precisione l'idea astratta di "casa, domicilio, abitazione", ma anche in-

# All'anagrafe: buco nero.

## Storia di un buco che ha più volte cambiato nome

**Alessio Focardi**

*Lasciati guardare un po' più a fondo  
finché si può  
un ultimo saluto al nostro tempo  
e tutto finisce qui*

*È futile comprendere perché  
a volte i pensieri si confondono  
e mischiano speranze e realtà  
segnali che si perdono così  
un radar pronto quando chiude il cielo e noi  
colpevoli di troppa oscurità*

Subsonica - Lasciati



**Figura 1:** Opera di Anish Kapoor fotografata alla mostra dal titolo "Untrue unreal" presso Palazzo Strozzi a Firenze.

Si sa, come diceva il buon vecchio Galileo ne "Il Saggiatore", che la matematica è la lingua adatta a descrivere la natura e la fisica non può che farne buon uso. Non sorprendetevi quindi se inizio questo capitolo con una breve analisi linguistica delle parole! Pronti? Cominciamo!

La parola "buco" fa venire subito a mente una cavità, solitamente tondeggiante, capace di accumulare gli oggetti che ci cadono dentro, come potrebbe essere ad esempio un pozzo. Mentre la parola "nero" (intesa come colore) si utilizza, citando fonti lessicografiche quali il Vocabolario Treccani, per un oggetto che "assorbe integralmente tutta la luce che lo investe".

Secondo questa prima impressione linguistica un buco nero dovrebbe essere qualcosa capace di inglobare luce e oggetti, mostrando solo la sua oscurità. La verità non è molto lontana da quanto appena detto, ed è sui "perché" che si gioca tutta la differenza fra la sensazione che suscitano le parole e la realtà fisica descritta da questi misteriosi oggetti fisici.

I concetti fisici, spesso, non sono direttamente accessibili alla nostra conoscenza come lo è la nostra conoscenza del pozzo menzionato prima. In quel caso, si ha esperienza del concetto “buco”, acquisita attraverso l'esperienza corporea con il mondo e gli oggetti. In fisica (e in altre branche del sapere) si utilizzano spesso delle strategie in grado di estendere la nostra conoscenza del mondo a ciò che non conosciamo ancora o che non possiamo esperire, utilizzando parole che abbiamo già per descriverlo.

Questo meccanismo è di fatto un'analogia (nota in linguistica come *metafora concettuale* [1]) e porta con sé una specifica prospettiva che non riflette interamente la complessa realtà dei buchi neri. Vedremo nel corso del capitolo che altre analogie si sono succedute nella tortuosa storia che ha portato alla nascita del nome “buco nero”.<sup>49</sup>

Volendo parlare di buchi neri e più in generale di astrofisica, non possiamo non parlare di gravità e partire quindi dal padre della teoria della gravitazione universale: Sir Isaac Newton. Grazie a Newton (1642 - 1727) sappiamo che due corpi con massa sono reciprocamente attratti gravitazionalmente sia che siano molto massivi come, ad esempio, il Sole e la Terra, sia che abbiano masse piccole. Questa è la ragione per cui una mela lanciata verso l'alto tende a tornare in basso, cadendo talvolta sulla testa del povero Sir Isaac.

Se lanciassimo la mela, o forse vi è più familiare un razzo, con una velocità abbastanza elevata scopriremmo che, nonostante la forza di gravità sia ancora presente, l'energia può risultare sufficiente a far scappare il fuggitivo dalle grinfie terrestri. Questa velocità, senza troppa fantasia, viene chiamata “velocità di fuga”:  $v_{\infty} = \sqrt{2GM/R}$

Questa equazione lega la velocità  $v_{\infty}$  necessaria a scappare da un pianeta alla sua massa  $M$  ed al suo raggio  $R$ , in particolar modo ci informa che più il pianeta è massivo e compatto più sarà difficile compiere questo atto. Se ad esempio volessimo fuggire dalla Terra sarebbe necessaria una velocità di circa 11 km/s, mentre per lanciare qualcosa dal Sole avremmo bisogno di raggiungere ben 620 km/s.

Ma cosa accadrebbe se, per magia, il nostro pianeta diventasse sempre più piccolo e compatto? Anche se la massa rimanesse la stessa la diminuzione del raggio porterebbe ad un incremento della velocità di fuga. Ad un certo punto la velocità diventerebbe così grande da eguagliare

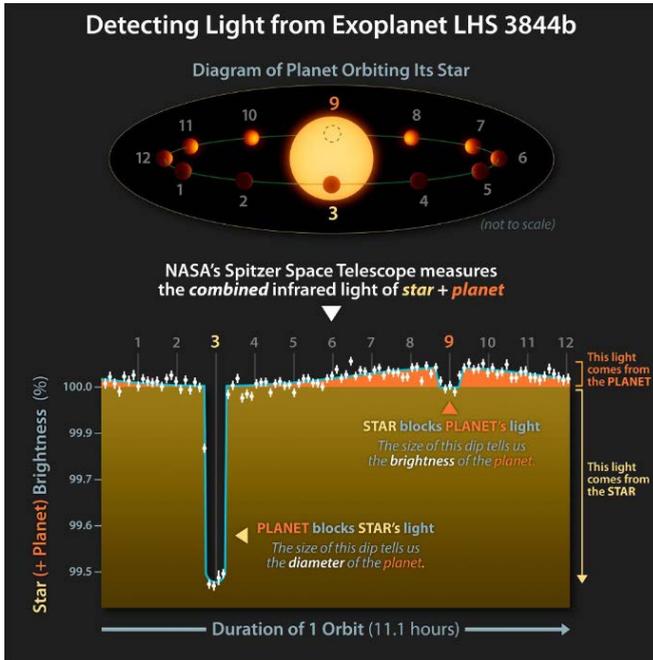
# La realtà dei fumetti: gli esopianeti

## Domitilla Tapinassi

In questo capitolo parleremo di oggetti celesti, che sono stati spesso protagonisti del mondo cinematografico, videoludico e fumettistico: gli *esopianeti*. In generale con esopianeta si indicano pianeti al di fuori dei confini del nostro sistema solare. Al 31 luglio 2023 risultano 5.483 esopianeti *confermati*, 9.770 *candidati* e 4.087 sistemi planetari. Avrete notato l'utilizzo di due diversi aggettivi che possono essere così spiegati: quando un ipotetico esopianeta viene individuato, entra a far parte della lista di possibili candidati e soltanto dopo adeguate verifiche viene confermato come tale.

Prima di vedere come si individua un pianeta, prendiamo in esame le tipologie di quelli conosciuti, partendo da quello a noi più familiare: la Terra. Il nostro pianeta, assieme a Mercurio, Venere e Marte, appartiene al sistema solare interno, ovvero la zona del sistema solare più vicina alla nostra stella madre. È importante sottolineare quanto in fisica ed in particolare in astrofisica le scale possano essere diverse. La nostra Terra è infatti il terzo pianeta rispetto alla distanza dal Sole e dista da esso solo 1AU (unità astronomica) che è pari a  $1,49 \cdot 10^{11}$  m, che nello spazio è l'equivalente di una passeggiata per andare a comprare il latte sotto casa. Con un raggio di soli 6.371 km, la nostra Terra ha ribattezzato gli altri pianeti del sistema solare interno come "terrestri", indicando con questo termine pianeti piccoli, composti perlopiù da roccia e metalli (da cui i nomi alternativi di pianeti rocciosi o tellurici).

Allontanandoci dal Sole ed entrando nella zona fredda nota come sistema solare esterno troviamo l'altra tipologia di pianeti ovvero quelli "giganti", rappresentati da Giove, Saturno, Urano e Nettuno, che sono anche denominati pianeti gioviani (da Giove). Giove e Saturno sono composti in gran parte da idrogeno ed elio, e sono chiamati anche pianeti gassosi, perché lo strato più esterno è in tale fase; a profondità adeguate, la pressione dei gas sovrastanti fa condensare i gas a liquidi e poi a solidi. Urano e Nettuno sono detti giganti "ghiacciati", perché hanno una composizione diversa, con molto meno idrogeno e presenza di sostanze più dense come l'acqua. Le condizioni di temperatura sono tali tali sostanze non sono in forma di gas (alle pressioni di tali pianeti la fisica dello stato condensato è molto diversa da quella terrestre). Giove, il più grande dei gi-



*Figura 1: Curva di luce della stella Lhs3844 in seguito al transito del pianeta b. Fonte: NASA/JPL/Caltech.*

ganti ma anche del sistema solare stesso, ha un raggio di ben 69.911 km e dista 5,2 AU da Sole. Saturno, l'ultimo pianeta del sistema solare visibile ad occhio nudo, dista dal Sole 9,5 AU e Nettuno, l'ultimo pianeta del sistema solare, ben 30 AU.

Siamo ora pronti a domandarci: come si individua un pianeta?

La ricerca di esopianeti risale alla metà del 20° secolo, ma il primo pianeta extrasolare, individuato attorno a una stella simile al nostro Sole, è stato scoperto solo nel 1995 [1], una scoperta tanto importante da valere il Premio Nobel per la Fisica nel 2019.

I metodi di individuazione di esopianeti sono molteplici: metodo dei transiti, metodo delle osservazioni dirette, metodo delle velocità radiali

# Uno starnuto stellare

## Domitilla Tapinassi

Questo capitolo si propone di rispondere a due interessanti quesiti, antichi quanto l'umanità. Il primo è stato oggetto di vere e proprie "Guerre stellari": lo spazio è vuoto? La seconda domanda è meno comune: "è giusto soffrire di allergia nello spazio?"

La risposta non è banale, tantomeno di facile deduzione. Nel 1887, l'esperimento di Michelson-Morley, volto a dimostrare l'esistenza dell'etere luminoso, fu la prima prova dell'indipendenza della velocità della luce rispetto all'ipotetico vento d'etere, dimostrando così la non esistenza di quest'ultimo.

La fisica del XIX secolo iniziò così a prendere la distanza dalle teorie degli eteri, teorie nate non solo dall'esigenza di allontanarsi dall'idea metafisica dell'"orrore della natura per il vuoto", ma anche per spiegare alcuni fenomeni fisici, per esempio per fornire un "supporto" per la propagazione delle onde elettromagnetiche e quindi della luce. La presenza di tale mezzo però aveva la conseguenza che il moto dei pianeti doveva avvenire attraverso l'etere, e quindi la velocità della luce doveva risentire della velocità del pianeta, cosa appunto confutata dall'esperimento di Michelson-Morley. Non fu però la sola scoperta del XIX secolo riguardo al vuoto cosmico.

Nel 1904 il fisico tedesco Johannes Franz Hartmann scoprì l'esistenza di un materiale collocato nello spazio tra le stelle: il mezzo interstellare. Prima di spiegare cosa sia e che ruolo abbia all'interno di questo capitolo, è utile e importante spiegare come sia stato scoperto.

Hartmann stava studiando lo spettro del sistema binario  $\delta$  Orion, all'interno della costellazione del cacciatore Orione, nota per la famosa Cintura di Orione. Spendiamo qualche parola per descrivere cosa si intende per spettro di un corpo celeste, oggetto di una branca della fisica detta spettroscopia.

Quando la luce bianca (detta ottica o visibile) attraversa un prisma o un altro mezzo dispersivo, forma una striscia colorata che appare alla vista come un arcobaleno (fenomeno che si presenta in natura proprio dopo pioggia, perché causato dall'attraversamento delle gocce di acqua da par-

te della luce del Sole che emerge dalle nubi). Questa divisione in colori corrisponde alla scomposizione della luce in componenti che hanno una precisa lunghezza d'onda, e che determinano, appunto, lo spettro della sorgente luminosa.

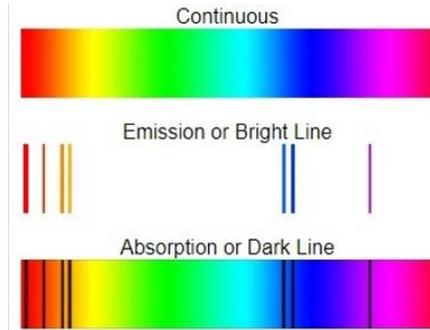
Si può dire quindi che la capacità dell'occhio umano di distinguere i colori costituisca una, seppur grossolana, analisi spettrale.

Nel XIX secolo si cominciò ad analizzare la luce emessa da

diverse sostanze rese incandescenti con una fiamma (si può provare gettando del sale su un fornello di casa). Si scoprì che la luce emessa era caratteristica della sostanza incandescente (gialla per il sodio), e ad estendere l'astronomia non solo allo studio delle immagini del cielo, ma anche allo spettro della luce proveniente dai corpi celesti.

Dall'esigenza di tali analisi nacque lo spettroscopio, uno strumento che consente appunto di separare le varie componenti di un fascio di luce. Applicando questa analisi anche allo spettro della luce proveniente dai corpi celesti si è riusciti a comprendere la composizione atomica dell'oggetto osservato, poiché ogni elemento chimico emette ed assorbe determinate lunghezze d'onda, e questo vale anche per una stella. L'elemento presente negli strati esterni di una stella produce una riga in assorbimento, cioè, assorbe quella lunghezza d'onda della luce proveniente dalla stella, lasciando una riga oscura nel suo spettro.

Ora che abbiamo tutti gli strumenti per comprendere il ragionamento di Hartmann, torniamo alle sue osservazioni. Lo spettro della regione  $\delta$  Orion aveva una peculiarità, l'assorbimento dalla linea "K" del calcio appariva, riportando le parole di Hartman, "straordinariamente debole, ma quasi perfettamente nitido" e riportava anche il "risultato abbastanza sorprendente che la linea del calcio a 393,4 nm (un nanometro equivale a  $10^{-9}$  m, ovvero un miliardesimo di metro) non condivide gli spostamen-



*Figura 1: Spettro continuo (prima riga) a confronto con righe di emissione (seconda riga) e righe di assorbimento (terza riga).*

# Entrare in orbita lunare è più facile a farsi che a dirsi

**Gianmarco Vespia**

Il 25 novembre 2022 la NASA ha dichiarato che la capsula Orion della missione Artemis I era entrata in orbita lunare. È stato un grande successo, soprattutto perché c'era grande aspettativa prima del lancio di questa missione, annunciata circa un decennio fa e vittima di continui ritardi.

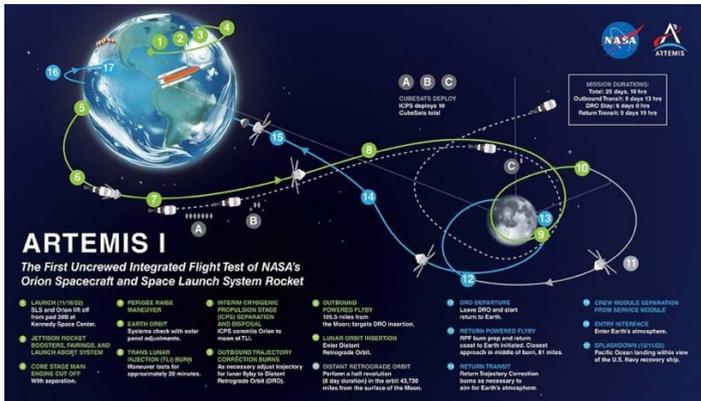
Artemis è il programma statunitense che ha annunciato il grande ritorno sulla Luna, con astronauti dopo più di 50 anni, e questa volta per rimanere. Fa parte di un disegno più grande, con una stazione spaziale a supporto in orbita attorno alla Luna, accordi internazionali per collaborare in questa grande impresa e programmi collaterali a supporto di attività secondarie.

Artemis I è stata la prima missione di questo programma e ha pienamente raggiunto i suoi obiettivi principali. È stata lanciata con il razzo Space Launch System, SLS, al suo volo inaugurale, e il carico principale era la capsula Orion, un validatore tecnologico di quella che con Artemis II porterà gli astronauti a sorvolare la Luna.

Gli obiettivi erano, appunto, partire, arrivare in prossimità della Luna, inserirsi in orbita, e tornare a Terra. L'orbita scelta era un po' particolare, in gergo si chiama DRO, Distant Retrograde Orbit, e Orion ha viaggiato in questa orbita tra 65.000 km e 85.000 km di distanza dalla superficie lunare. In tutto ha completato mezza orbita DRO durante la sua missione.

In realtà, questi valori dovrebbero già mettere un po' in allarme un appassionato attento. È difficile parlare di orbite quando ci sono più corpi celesti che hanno un'influenza gravitazionale non trascurabile e in questo caso ce ne sono ben tre, il Sole, la Terra e la Luna. Le orbite, quando sono coinvolti più corpi celesti perdono un po' significato, non sono più, a meno di casi particolarissimi, chiuse ed ellittiche e le leggi di Keplero non vengono più rispettate.

Tutto questo da un punto di vista puramente matematico. Da un punto di vista pratico, fisico e di meccanica orbitale, invece, si fanno delle ap-



*Figura 1. Traiettoria (viola) della capsula Orion della missione Artemis I vista in un sistema di riferimento inerziale solidale con la Terra (blu, al centro). Orion è partita dalla Terra verso la Luna (verde) e dopo il primo incontro si è inserita in un'orbita DRO, mezza ellisse, prima di incontrare nuovamente la Luna ed essere dirottata a Terra.*

prossimazioni e si introducono altri concetti, asserendo che le leggi del fisico tedesco comunque valgono ma ci sono perturbazioni.

Queste assunzioni si possono fare entro un certo limite, che ha formalizzato George William Hill circa 200 anni dopo che Keplero enunciassero le leggi che oggi prendono il suo nome. Il pensiero che ha guidato Hill nella formulazione della sua teoria era abbastanza semplice: se un oggetto orbita abbastanza vicino alla Terra, la formula che descrive la sua traiettoria sarà solamente funzione delle caratteristiche del nostro pianeta, massa e distanza da esso in primis. Se lo stesso oggetto si trova molto lontano, allora più il Sole che la Terra influenzerà maggiormente il suo moto.

In un sistema a due corpi, Hill definì una zona attorno al corpo più piccolo, chiamata appunto sfera di Hill, dentro la quale un terzo oggetto poteva orbitare con delle condizioni di velocità iniziale appropriate.

Ad esempio: attorno alla Terra orbitano tanti satelliti artificiali, la cui traiettoria può essere perturbata solo leggermente dal Sole. La sfera di Hill della Terra nel sistema Terra-Sole ha un raggio di 1,5 milioni di chilometri. Il che vuol dire che un satellite artificiale in orbita bassa, a 400 km dalla superficie, sarà perturbato in maniera impercettibile dalla forza

# Teoria e pratica della difesa planetaria: la missione di deflessione asteroidale DART/LICIACube

**Alessandro Rossi**

Non succede.... ma se succede, cosa facciamo? Cosa facciamo se un bel giorno scopriamo che un oggetto celeste ha un'alta probabilità di impattare contro la Terra? Il film del 2021 "Don't look up" proponeva una soluzione non proprio geniale: fare finta di niente, non guardare in cielo e sperare (spoiler..... non funziona, va a finire male).

Gli oggetti che potrebbero arrivarci addosso appartengono alla popolazione dei cosiddetti *piccoli corpi* del Sistema Solare. Essa comprende diverse tipologie di oggetti che possiamo, molto schematicamente, dividere in asteroidi e comete, resti della formazione del sistema solare che non si sono aggregati a formare corpi planetari. I primi sono oggetti rocciosi, la maggior parte dei quali si trova in una regione compresa tra le orbite di Marte e di Giove nella cosiddetta fascia asteroidale principale (*Main Asteroid Belt*, MAB), tra poco più di 2 e poco meno di 4 UA dal Sole (UA, Unità Astronomica, ovvero distanza media tra la Terra ed il Sole, circa 150 milioni di km). Al momento sono noti più di 1.300.000 asteroidi nella MAB. Tuttavia, la massa totale contenuta nella MAB è assai ridotta (circa il 3% della massa della Luna) ed è concentrata per lo più nei 4 oggetti maggiori: Cerere (il più grosso, ora classificato come pianeta nano, con un diametro di circa 950 km), Vesta, Pallade ed Hygiea.

Al di là dell'orbita di Nettuno troviamo una popolazione assai più numerosa di oggetti, detti, appunto, trans-nettuniani, che occupano per lo più un disco (chiamata di fascia di Edgeworth-Kuiper) tra circa 30 e 50 UA. Si tratta in questo caso di corpi ghiacciati con una massa totale superiore di circa 100 volte a quella contenuta nella MAB. A questa famiglia di oggetti appartiene Plutone che, per questo motivo (ovvero il non essere un unicum nella sua zona orbitale), è stato declassato a *pianeta nano*.

Molto più lontano da noi, tra 2000 e 200.000 UA, si trova poi la nube di Oort, mai osservata direttamente a causa delle enormi distanze e delle

dimensioni ridotte degli oggetti in essa contenuti, ma che sappiamo essere composta da centinaia di miliardi di oggetti ghiacciati che si palesano a noi sotto forma di comete di lungo periodo quando, a causa di perturbazioni dovute a maree galattiche o a stelle in transito ai margini del sistema solare, vengono immessi in orbite che li portano verso il Sole.

Per completezza occorre poi menzionare oggetti “ibridi” che troviamo su orbite, per lo più instabili, che incrociano quelle dei pianeti esterni. Si tratta dei cosiddetti “centauri” che, analogamente agli esseri mitologici metà uomo e metà cavallo, presentano caratteristiche fisiche proprie sia delle comete (ghiacci volatili) che degli asteroidi (materiale roccioso).

Come detto sopra, la “maggior parte” degli asteroidi si trova nella MAB. Tuttavia, alcuni asteroidi vengono rimossi dalla MAB grazie a meccanismi dinamici complessi che coinvolgono perturbazioni gravitazionali, dovute principalmente all’influenza di Giove e Saturno, e non-gravitazionali, dovute alla radiazione solare, e vengono immessi nel sistema solare interno. Qui vengono “catturati” dai pianeti interni (Mercurio, Venere, Terra e Marte) che li portano su orbite tra circa 0.98 e 1.3 UA. Questi oggetti formano la popolazione dei cosiddetti *Near Earth Objects* (NEO) o oggetti incrociatori della Terra.

Proprio per via dei meccanismi responsabili del loro trasporto, si tratta di oggetti di dimensioni generalmente ridotte; il più grosso NEO è Ganimede, di circa 37 km di diametro. Al momento sono noti oltre 35.000 NEO, di cui solo circa 900 di dimensioni maggiori di 1 km. A causa dei ripetuti incontri con i pianeti sopra menzionati le orbite dei NEO sono instabili e il loro destino finale è principalmente di finire contro il Sole o, in minima parte, contro uno dei pianeti interni, inclusa la Terra. I NEO di dimensioni maggiori di circa 140 m e che hanno un’orbita che li può portare a meno di 0.05 UA dalla Terra vengono classificati come *Potentially Hazardous Asteroids* (PHAs), asteroidi potenzialmente pericolosi. Al momento più di 2200 NEO sono classificati come PHAs ma nessuno di loro pone un rischio reale per il nostro pianeta.

I pianeti interni, e chiaramente la nostra Luna, mostrano segni evidenti degli impatti avvenuti da miliardi di anni a questa parte. Anche la Terra ha subito (e subisce) costantemente un bombardamento da parte di oggetti naturali di varie dimensioni. Per nostra fortuna, l’atmosfera ci scherma da impatti contro corpi di dimensioni ridotte (al di sotto di un paio di decine di metri). Senza bisogno di scomodare il gigantesco impac-

# Tanto tempo fa... In una galassia nana, non troppo lontana!

**Stefano Ciabattini, Stefania Salvadori**

*“Siamo soli nell’Universo?”* Probabilmente, no.

Eppure, per averne la certezza dobbiamo trovare mondi abitabili e le tracce della vita oltre la Terra e il Sistema Solare, attorno ad altre stelle appartenenti alla nostra Galassia, la Via Lattea. In questo modo sono implicitamente escluse tutte le forme di vita esistite nel passato e in altre galassie, e che sono ormai estinte. Dobbiamo infatti tenere conto che la vita sulla Terra è apparsa poco dopo la formazione del nostro pianeta e del Sole, avvenuta 4 miliardi e mezzo di anni fa quando la Via Lattea esisteva già da circa 8 miliardi di anni.

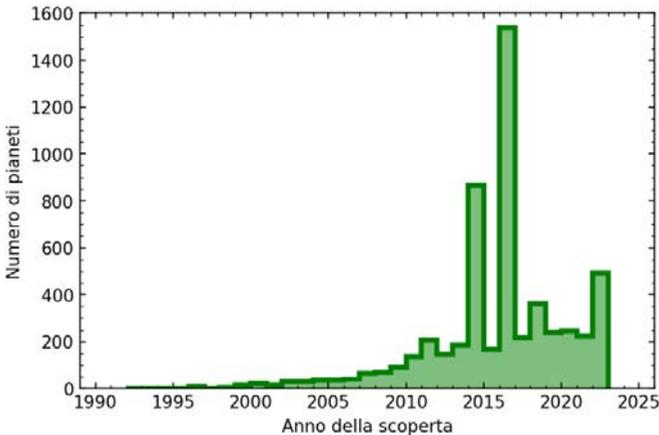
La nostra Galassia infatti è molto antica, e il sistema solare potrebbe non essere stato il primo sistema planetario a formarsi in condizioni favorevoli alla nascita e allo sviluppo della vita. Estendendo ulteriormente l’orizzonte, nell’Universo si osservano miliardi di galassie, alcune relativamente vicine e addirittura più antiche della nostra. Non possiamo quindi escludere l’ipotesi che la Via Lattea non sia stata la prima galassia a diventare abitabile.

Poniamoci, dunque, la seguente domanda: quali galassie hanno raggiunto, per prime, le condizioni necessarie per la nascita e lo sviluppo della vita? Chiameremo tali galassie le “prime galassie abitabili”.

## La ricerca di altri mondi abitabili

Iniziamo inquadrando il problema della ricerca di altre forme di vita nella nostra Galassia.

La Via Lattea contiene circa 400 miliardi di stelle, e si pensa che molte di queste possano essere dotate di pianeti. Infatti, si osservano sempre più stelle attorno a cui viene rivelata la presenza di un sistema planetario. Il primo esopianeta, ovvero un pianeta attorno a una stella diversa dal Sole, fu scoperto<sup>63</sup> nel 1995 da Michel Mayor e Didier Queloz; ad oggi<sup>64</sup> se ne conoscono ben 5504, distribuiti in 4063 sistemi planetari di cui 877 multipli, ovvero con più pianeti attorno alla stella ospite.



**Figura 1:** Numero di esopianeti rivelati e confermati in funzione dell'anno della scoperta. Da notare il progressivo aumento del numero di esopianeti noti, e in particolare i due picchi attorno all'anno 2015, frutto della missione Kepler della NASA. Il grafico è stato realizzato dagli autori, utilizzando i dati aggiornati a Settembre 2023 e disponibili online.<sup>65</sup>

In Figura 1 viene mostrato il numero di esopianeti scoperti di anno in anno fino ad oggi. Come vediamo, nell'ultimo decennio sono stati confermati circa 200 pianeti ogni anno. In particolare, attorno all'anno 2015, c'è stato un enorme contributo da parte della missione Kepler della NASA, appositamente dedicata a questo scopo. Questi dati osservativi suggeriscono che la formazione di pianeti attorno a una stella sia un fenomeno alquanto comune.

Considerando inoltre che circa il 20% dei sistemi planetari noti sono sistemi multipli, il numero totale di pianeti nella nostra Galassia potrebbe essere pari, se non addirittura superiore, al numero totale di stelle: oltre 400 miliardi. Tuttavia, la vita per come la conosciamo noi sulla Terra richiede una stella ospite con caratteristiche simili a quelle del nostro Sole, in particolare la sua massa<sup>66</sup>.

Tali stelle vengono appunto dette "di tipo Sole", hanno una massa compresa tra metà e una volta e mezza quella solare, e rappresentano circa il 20% delle stelle della Galassia. Si stima che tra esse, una su cinque potrebbe ospitare un pianeta simile alla Terra [1]. Inoltre, risulta che



*Disegno di Martina Rossi.*

# Il ciclo del carbonio e il clima di Venere, Terra e Marte

**Aldo Piombino**

Più di 4 miliardi di anni fa, all'inizio della storia del Sistema Solare Venere, Terra e Marte condividevano la presenza di acqua liquida in superficie e un'atmosfera formata da almeno il 95% di CO<sub>2</sub>. Venere e Marte presentano ancora atmosfere dalla composizione simile, ma se quella di Venere è ancora estremamente densa, l'atmosfera marziana è diventata molto tenue e non è ancora chiaro quanto sia stata pesante all'inizio della storia del pianeta. L'atmosfera terrestre attuale è molto diversa, ma chiare prove stratigrafiche e geochimiche indicano che anche questa fosse composta, fino a 2 miliardi e 400 milioni di anni fa, al 95% di CO<sub>2</sub>, priva di ossigeno, e con una pressione inferiore a quella odierna [1]. La vita sulla Terra è iniziata almeno 3.8 miliardi di anni fa, e si è evoluta quindi per oltre un miliardo di anni in queste condizioni anossiche.

Anche l'interno dei tre pianeti doveva essere simile e tutti e tre avevano una tettonica globale di qualche forma, probabilmente una tettonica a "coperchio stagnante" (*Stagnant lid*), in cui i movimenti convettivi del mantello non erano in grado di produrre anche i movimenti orizzontali della litosfera tipici della tettonica a placche, che si è poi sviluppata solo sulla Terra.

Le traiettorie delle temperature atmosferiche nei tre pianeti si sono successivamente diversificate, e non di poco: Venere si è riscaldato terribilmente, Marte si è raffreddato ed entrambi hanno perso la loro acqua superficiale. Soltanto la Terra è stata in grado di mantenere temperature tali da consentire la presenza di acqua liquida in superficie, con conseguenze importanti per la sua storia biologica ma anche per quella geologica, che si sono svolte in parallelo, influenzandosi vicendevolmente.

Perché i tre pianeti le cui atmosfere iniziali erano così simili hanno seguito traiettorie termiche, ambientali e chimiche così diverse? E quali sono le conseguenze sulla potenzialità di ospitare forme di vita di questi diversi percorsi?

Dalle analisi e dai modelli sono emersi indizi secondo i quali il motivo fondamentale a lungo termine alla base di queste storie differenti è la

dinamica di un solo elemento, il carbonio, capace di influenzare massivamente le temperature planetarie: a parità di insolazione troppo carbonio nell'atmosfera può rendere il pianeta troppo caldo per poter avere acqua liquida sulla sua superficie, come troppo poco carbonio può rendere il pianeta una palla di ghiaccio: solo il giusto mix fra carbonio atmosferico e insolazione è in grado di mantenere queste condizioni ideali. Se questo succede per un lungo periodo, allora è possibile l'insorgenza della vita sulla superficie e la sua evoluzione.

### **Acqua liquida nei sistemi stellari**

Con il termine "*Zona Goldilocks*" gli astrobiologi individuano la fascia intorno ad una stella nella quale è possibile sulla superficie di un eventuale pianeta la presenza di acqua liquida, considerata generalmente la *conditio sine qua non* per la vita. Il termine deriva da una favola dello scrittore inglese Robert Southey "*Goldilocks and the three bears*": Goldilocks è una bambina che arriva in una casa nel bosco e vi entra, trovando una tavola apparecchiata con 3 piatti pieni di zuppa di orzo. La casa è abitata da tre orsi che volevano fare colazione, ma visto che la zuppa era troppo calda, Papà Orso aveva proposto di fare una passeggiata aspettando che si raffreddasse. Quando Goldilocks è arrivata i tre orsi non erano ancora tornati a casa.

La bambina aveva fame, ma la zuppa nella ciotola grossa (quella di Babbo Orso) era troppo calda, quella della ciotola media (quella di Mamma Orsa) era troppo fredda, quella della ciotola piccola (quella dell'orsetto) andava bene e se la mangiò tutta (tralasciamo il resto della favola che non ci interessa).

La *zona Goldilocks* è appunto la fascia di un sistema stellare dove è possibile che un pianeta ospiti in superficie acqua liquida: corrisponde alla zuppa del piccolo orso, quella ad una temperatura mangiabile; la zuppa di babbo orso corrisponde alla troppo calda fascia interna rispetto alla zona di Goldilocks, mentre quella di mamma orsa alla fascia troppo fredda dal lato opposto.

Dunque quando ne viene scoperto uno dai nostri moderni telescopi in caccia di pianeti in orbita intorno ad altre stelle, un esopianeta viene preliminarmente giudicato potenzialmente abitabile se la sua orbita rientra in questa zona del proprio sistema stellare. Ovviamente la zona Goldilocks varia in base alle dimensioni e alla energia emessa dalla stella: nei

Pensando alla celebra rubrica della Settimana Enigmistica “Spigolature” (ed anche

a “Forse non tutti sanno che...”), ho compilato un elenco di argomenti “astro\*” che mi hanno stimolato.

All’inizio volevo passarle a qualche esperto, ma poi ho pensato che nessuno

## «ASTROSpigolature»

**Franco Bagnoli**

avrebbe avuto il tempo di rispondere a così tanti quesiti. Quindi mi sono messo a cerca-

re in rete le risposte più plausibili, spesso prendendo degli abbagli che per fortuna in molti casi mi sono stati segnalati. Per il resto, gli errori sono tutti dovuti alla mia imperizia

### **Quali lingue si pensava sarebbero state le prime parlate nello spazio nel 1968?**

Usiamo come riferimento il classico film di Stanley Kubrick “2001 Odissea nello spazio”.



*Figura 1: Le lingue parlate nella Stazione Spaziale Internazionale secondo Stanley Kubrick. Fonte: 2001 Odissea nello spazio.*

Quando Heywood Floyd, presidente del Comitato Nazionale Americano per l'Astronautica, fa scalo sulla Stazione Spaziale V in orbita intorno alla Terra (che è anche un hotel gestito da Hilton), viene selezionata la sua lingua preferita, e c'è una veloce inquadratura che mostra quelle disponibili: inglese, olandese, russo, francese, italiano e giapponese.

Dopotutto l'Italia è stata la quarta nazione (nel 1964) a lanciare un satellite, dopo URSS, USA e UK. Nel 1965 è la volta della Francia e del Canada, nel 1967 dell'Australia, nel 1969 della Germania Ovest (ma niente tedesco in 2001), nel 1970 del Giappone e della Cina (ma niente cinese).

L'Olanda arriva solo nel 1976, dopo l'India...<sup>69</sup>

### **Perché Cooper non si è “spaghetificato” quando è caduto nel buco nero in Interstellar?**

La “spaghetificazione”,<sup>70</sup> ovvero il fatto che la gravità può “strizzare” un corpo fino a farlo diventare uno spaghetti, è dovuto allo stesso effetto che causa le maree sulla Terra. Il fatto è che la forza di gravità dipende dall'inverso del quadrato della distanza; quindi varia con questa in maniera non-lineare.

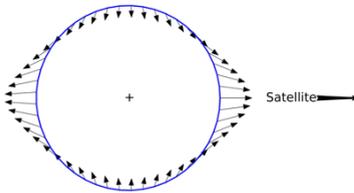
Nel caso della Terra e della Luna, entrambe stanno girando intorno al cen-

tro di gravità comune (che è all'interno della Terra), e, approssimando le orbite con dei cerchi e i corpi con delle sfere radialmente simmetriche, restano in orbita perché la forza di gravità compensa esattamente la forza centrifuga nel loro centro.



**Figura 2:** Il buco nero "Gargantua" come rappresentato in *Interstellar*.

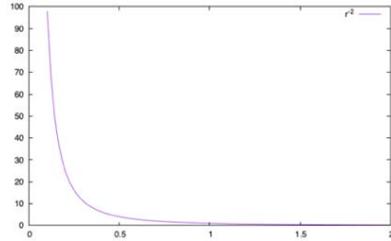
Ma la forza centrifuga aumenta linearmente con la distanza, mentre la forza di gravità diminuisce con l'inverso della distanza, quindi queste due forze non possono essere uguali in ogni punto, e in effetti il campo residuo tende a "spaghetificare" la Terra.



**Figura 3:** Il campo gravitazionale differenziale di un corpo (ovvero: sottraendo la componente del centro di massa);

Ovviamente la superficie della Terra è poco influenzata da queste forze, mentre l'acqua, che è mobile, cerca di adattarsi alla situazione dando origine alle maree. Sulla Luna le "maree" causate dalla Terra deformano molto di più la superficie. Una volta la Luna ruotava con un periodo diverso da quello di

rivoluzione (ed era molto più vicina alla Terra).



**Figura 4:** Il campo gravitazionale (forza) in funzione della distanza dalla sorgente.

Queste "maree di Terra" hanno causato il rallentamento della sua rotazione, così che oggi la Luna guarda sempre con la stessa faccia alla Terra, è molto più lontana (le maree causano una specie di effetto fionda) e la sua distribuzione di massa non è uniforme, ma è spostata dalla parte della Terra<sup>71</sup>, anche se la forma esterna della Luna è schiacciata, perché si è raffreddata quando ancora stava ruotando.<sup>72</sup>

Quindi l'effetto "spaghetti" non dipende dall'intensità della forza di gravità, ma dalla sua variazione sulle dimensioni dell'oggetto in questione.

Questo fa sì che ci sia un limite (di Roche) per cui un satellite viene distrutto da queste forze se si avvicina troppo al pianeta intorno a cui orbita,<sup>73</sup> ma fa anche sì che le maree "di Sole" sulla Terra siano molto più piccole di quelle causate dalla Luna, non perché la forza del Sole sia minore (Terra e Luna girano essenzialmente attorno a Sole, e solo in secondo ordine attorno al loro centro di massa

comune) ma perché è così lontano che il suo campo è quasi lineare.

Perciò, la “spaghetizzazione” di un astronauta può avvenire solo molto vicino al “centro” della forza, ma questo punto può essere all’interno dell’orizzonte degli eventi, e quindi non osservabile.

Ci vuole quindi un buco nero piccolo (dell’ordine di poche masse solari), o, anche meglio, una stella di neutroni o una nana bianca, certamente non può accadere per un buco nero tipo Gargantua (quello di *Interstellar*) che è un buco nero supermassiccio. In *Interstellar* giustamente Cooper può attraversare l’orizzonte degli eventi senza subire effettivamente forze di marea.

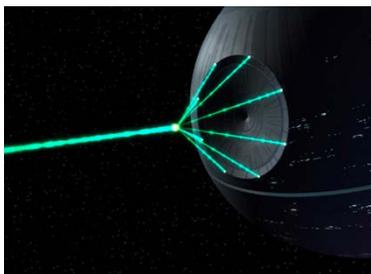
Che possa poi uscirne invece non è per nulla plausibile.

### Cosa c’è di fisicamente sbagliato nella Morte Nera di *Star Wars*?

La prima morte nera, conosciuta ufficialmente come Stazione Orbitale da Battaglia DS-1, che è l’unica che è stata completata prima di venire distrutta, è una sfera di oltre  $D = 160$  km di diametro e massa  $M = 5 \cdot 10^{17}$  kg.<sup>74</sup>

L’arma principale di cui dispone è un enorme cannone laser alimentato da un reattore a ipermateria che, utilizzando 8 cristalli kyber, è in grado di distruggere un pianeta delle dimensioni della Terra in pochi secondi; ma richiede molto tempo per essere ricaricato.

Per fortuna abbiamo a disposizione il *Death Star Technical Companion*<sup>75</sup> che ci permette di capire come funziona il superlaser, dato che dalle immagini del film sembrerebbe che gli otto laser sparati dai cristalli kyber si uniscano da soli quando si incontrano, una cosa che è ovviamente impossibile, dato che i fotoni non interagiscono tra loro e quindi i raggi laser si attraverserebbero senza fare un plissé, come del resto dovrebbero fare le spade laser della saga.



*Figura 5: Il superlaser della morte nera in azione.*

Ma a pagina 65 del manuale si scopre che la convergenza è dovuta ad un cristallo di amplificazione, posto però nel centro dell’“occhio”, invece che nel fulcro di amplificazione.

Peccato che anche così non vada bene (per la fisica)... Non esistono “cristalli” che possano deviare i fotoni a distanza. Forse il sistema potrebbe funzionare se il cristallo fosse messo nel punto di convergenza dei laser.

Un altro problemuccio comune a tutte le navi da battaglia è il raggio traente. A pagina 40 del manuale si legge che la Morte nera ha 24 raggi trattori pesanti, che possono concentrarsi per crea-

# Note e collegamenti

- 1 <https://www.openlab.unifi.it/>
- 2 [www.caffescienza.it](http://www.caffescienza.it)
- 3 <https://www.fisica.unifi.it/>
- 4 <https://www.isaa.it/>
- 5 <http://forumastronautico.it/>
- 6 <http://astronautinews.it/>
- 7 <http://astronauticast.it/>
- 8 <https://www.vaticanlibrary.va/>
- 9 <https://www.fstfirenze.it/>
- 10 <http://www.osservatoriochianti.it/>
- 11 NASA Spinoff <https://spinoff.nasa.gov/>
- 12 <https://spinoff.nasa.gov/spinoff2001/er1.html>
- 13 [https://en.wikipedia.org/wiki/Polybenzimidazole\\_fiber](https://en.wikipedia.org/wiki/Polybenzimidazole_fiber)
- 14 <https://ntrs.nasa.gov/citations/20020090888>
- 15 <https://www.media.inaf.it/2017/01/23/spinoff-nasa-2017/>
- 16 [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)
- 17 [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/what\\_is\\_gps](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/what_is_gps)
- 18 [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS\\_History.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS_History.html)