

# Meridiana

astroticino.ch

## Di sonde e fionde

I viaggi interplanetari risparmiano  
carburante appoggiandosi  
alla gravità dei pianeti

a pagina 28



## Elogio dell'oculare

Riusciranno app sempre più sofisticate (e allora si che avrai l'universo in tasca con le descrizioni aggiornate di tutti gli oggetti che lo popolano) a distoglierci da telescopi e binocoli? Riusciranno nuovissime tecnologie, o l'Intelligenza artificiale, a privarci dello stupore che suscita la visione all'oculare di una galassia, di un ammasso, di una nebulosa? In fondo erano le stesse domande che come astrofili ci ponevamo quasi mezzo secolo fa quando le sonde Pioneer prima e (soprattutto) Voyager dopo inviavano a Terra le immagini ravvicinate, e mozzafiato, di Giove. Avremmo riapprezzato all'oculare il pianeta, il gigante del Sistema solare? Sì. Anzi, le missioni Pioneer e Voyager hanno stimolato l'osservazione visuale e avvicinato diverse persone all'astronomia.

Perché - nonostante l'invasione odierna dei social, di piattaforme e tv h 24 - l'emozione che si prova guardando 'in diretta' un oggetto celeste resta forte ed è indescrivibile. Posizionare (correttamente) il telescopio, orientarsi in cielo grazie a cartine (anche elettroniche) e costellazioni, individuare l'oggetto che si vuole osservare e poi portare lo strumento sul campo... beh, possono essere operazioni difficili ma le fatiche vengono appagate dal fascino del corpo celeste al centro dell'oculare. È un po' come in montagna raggiungere in bicicletta un passo dopo decine di tornanti e una pendenza media del dieci per cento. Nulla di impossibile, ma servono buone gambe. (E allora forza, fuori a osservare!)

### In copertina

La nebulosa M1, residuo di una supernova osservata nel 1054 d.c. fotografata da Nicola Beltraminelli con i filtri Ha, SII, OIII e luce totale. "Image of the Day" su Astrobin il 13 febbraio.

### Vuoi abbonarti?

Non perdere nemmeno un numero di Meridiana è semplice: basta diventare soci della Società Astronomica Ticinese ([www.astroticino.ch](http://www.astroticino.ch)) e/o dell'Associazione Specola Solare Ticinese.

La quota sociale della SAT è di 40.- franchi all'anno (20.- per i ragazzi con meno di 20 anni)

e può essere versata sul conto corrente postale n. 65-157588-9 intestato alla Società Astronomica Ticinese. L'iscrizione alla SAT comprende l'abbonamento a "Meridiana" (valore di 30.-), garantisce di poter prendere in prestito il telescopio e la ccd della società, nonché l'accesso alla biblioteca. È possibile anche solo abbonarsi a Meridiana al prezzo di 30.- franchi all'anno.

## Attività pratiche

Le seguenti persone sono a disposizione per rispondere a domande sull'attività e sui programmi di osservazione.

### Stelle variabili

**A. Manna**

[andreamanna@bluewin.ch](mailto:andreamanna@bluewin.ch)

### Sole

**R. Ramelli**

[renzo.ramelli@irsol.usi.ch](mailto:renzo.ramelli@irsol.usi.ch)

### Meteorite, Corpi minori, LIM e Pianeti

**S. Sposetti**

[stefanosposetti@ticino.com](mailto:stefanosposetti@ticino.com)

### Astrofotografia

**Carlo Gualdoni**

[gualdoni.carlo@gmail.com](mailto:gualdoni.carlo@gmail.com)

### Inquinamento luminoso

**S. Klett**

[stefano.klett@gmail.com](mailto:stefano.klett@gmail.com)

### Osservatorio 'Calina', Carona

**F. Delucchi**

[fausto.delucchi@bluewin.ch](mailto:fausto.delucchi@bluewin.ch)

### Osservatorio Monte Lema

**G. Luvini**

079 621 20 53

### Gruppo giovani

Davide Speziga

[davide@speziga.ch](mailto:davide@speziga.ch)

### Astroticino.ch

Anna Cairati

[acairati@gmail.com](mailto:acairati@gmail.com)



[www.astroticino.ch/abbonati](http://www.astroticino.ch/abbonati)

# Sommario

Numero 287 - Gennaio - Febbraio 2024



### In copertina

## Propulsione celeste

Un viaggio alla scoperta delle fionde gravitazionali, dal movimento di un pendolo alle missioni interstellari. Ecco come le sonde risparmiano carburante chiedendo aiuto alla gravità dei pianeti cui passano vicini.

- 4** **Agiornamenti**  
**Astronotizario**  
Le novità dal mondo astronomico.
- Ricerca**  
**13** **L'effetto Seeliger**  
Dimostrazione pratica della natura corpuscolare degli anelli di Saturno.
- Pillole di astronomia**  
**14** **Perché il 2024 è bisestile?**  
È tutta colpa di una piccola discrepanza tra il giorno terrestre e la durata di un anno.
- Gruppi SAT**  
**16** **L'occultazione di Betelgeuse**  
L'indimenticabile esperienza di veder sparire una stella. Il racconto di quel 12 dicembre 2023.

### Astronomia da divano

## 20 Selene, il pianeta Luna

Centinaia di volte più grande e otto volte più distante di un quanto ci si aspetterebbe: la nostra Luna potrebbe essere unica. O quasi

### I miti

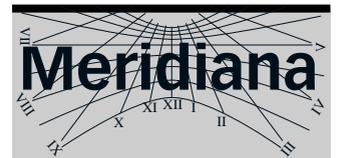
## 26 Le fatiche del giovane Ercole

Ecco come e perché l'eroe si trova a dover compiere le sue imprese.

### Osservare

## 37 Cartina, eventi ed effemeridi

Il cielo e gli eventi dei prossimi mesi.



### Bimestrale di astronomia

#### Editore

Società Astronomica Ticinese  
c/o Specola Solare Ticinese  
6605 Locarno Monti

#### Redazione

Luca Berti e Andrea Manna (co-direttori), Michele Binda, Anna Cairati, Philippe Jetzer

#### Hanno collaborato

William Berni, Paola Rebecchi, Stefano Sposetti, Carlo Gualdoni, Daniel Barta

#### Stampa

Tipografia Poncioni SA  
Losone

#### Abbonamenti

Importo minimo annuale  
Svizzera CHF 30.-  
Estero CHF 35.-

Con il sostegno della Repubblica e Canton Ticino / Aiuto federale per la lingua e cultura italiana

La responsabilità del contenuto degli articoli è degli autori

# Astronotiziario

## Una danza perfetta

di Paola Rebecchi

**L**a Svizzera, e l'Università di Berna in particolare, hanno una consolidata partecipazione a missioni di esplorazione spaziale. Nel corso della missione in cui gli astronauti americani posero per la prima volta il piede sul nostro satellite, tra gli incarichi del "secondo uomo sulla Luna", "Buzz" Aldrin, era compresa l'installazione dell'esperimento bernese SWC sul suolo lunare.

Questo esperimento era stato interamente progettato e costruito da un gruppo dell'Università di Berna ed è stato il primo grande evento nella storia dell'esplorazione spaziale svizzera e bernese.

E oggi grazie alla missione CHEOPS, il telescopio spaziale che la Svizzera ha in condivisione con l'ESA, e alla collaborazione con gli scienziati che lavorano con i dati del satellite TESS della NASA, il team internazionale ha potuto scoprire il sistema planetario unico nel suo genere, composto da sei pianeti in risonanza orbitale, che ruotano attorno alla loro luminosa stella HD110067.

I pianeti del sistema HD110067 ruotano intorno al loro astro in una sorta di danza gravitazionale davvero perfetta: infatti mentre il pianeta più vicino alla stella compie tre giri completi intorno a essa, il secondo ne compie esattamente due. Questa situazione viene chiamata risonanza 3:2.

La risonanza orbitale non è una cosa rara e neppure i sistemi con più pianeti: la rarità sta nell'imbattersi in una serie di sei corpi orbitanti.

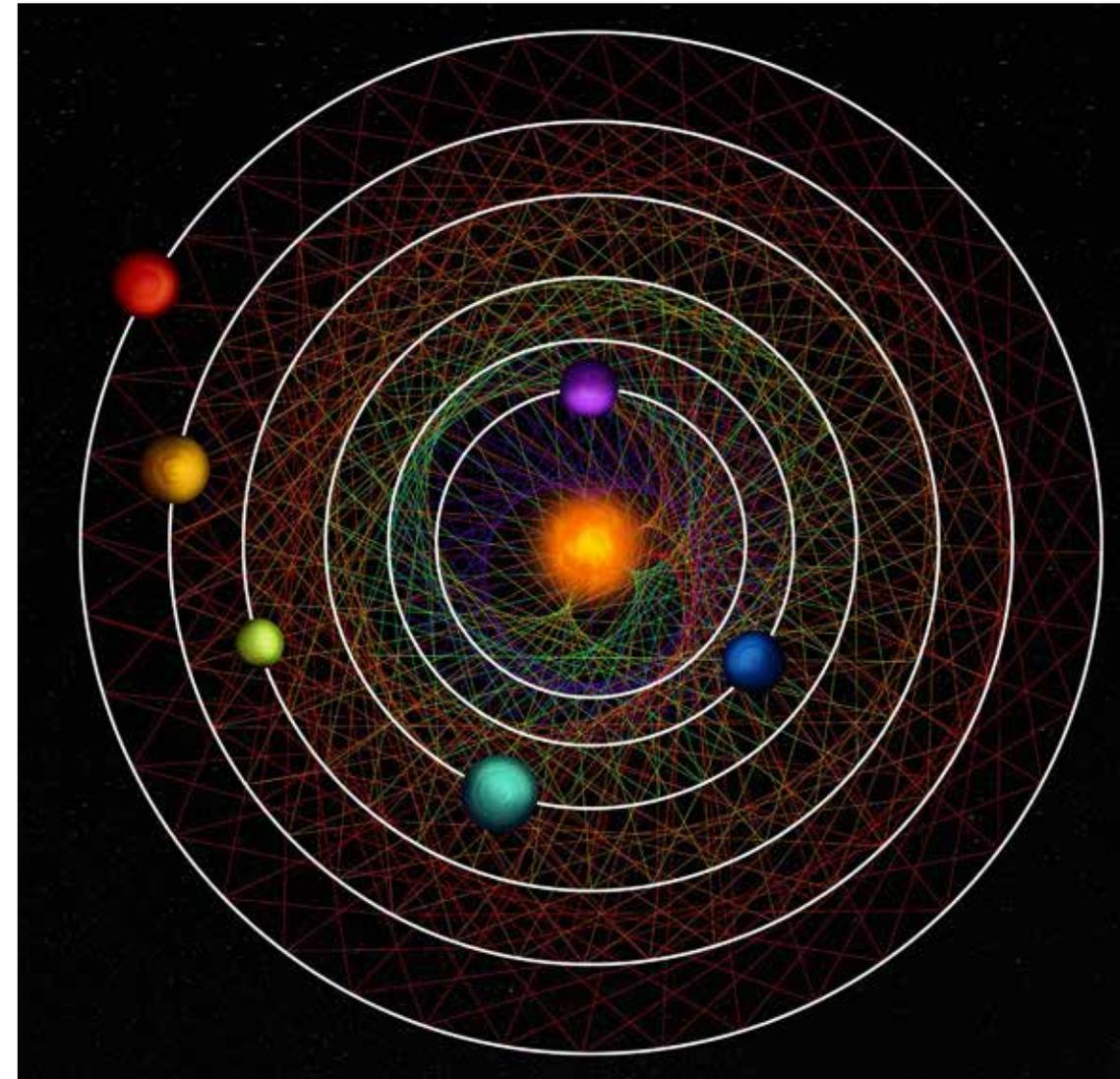
HD110067 è un caso davvero raro e particolare, perché le coppie di pianeti "danzano" con risonanze 3:2, 3:2, 3:2, 4:3 e 4:3. Qual è il risultato di tutto questo? Mentre il pianeta più vicino compie sei orbite, quello più esterno ne compie una.

Il problema sembrava veramente avere una difficile soluzione, ma il team di scienziati svizzeri ha osservato molto bene le risonanze e la loro "danza" gravitazionale.

Grazie alla cooperazione con TESS è stato possibile capire che i due pianeti interni, chiamati fantasiosamente "b" e "c", hanno periodi orbitali rispettivamente di 9 e 14 giorni, ma non si sapeva molto degli altri quattro pianeti rilevati, poiché due sono stati visti transitare una volta nel 2020 e una volta nel 2022, con molta discrepanza dei dati raccolti nei due anni, mentre gli altri due sono transitati solo una volta, nel 2022.

La soluzione al problema l'ha proposta il telescopio CHEOPS, che si è concentrato su HD110067, facendo scoprire agli studiosi che il periodo del pianeta "d" era di 20,5 giorni. Ed è questo che ha fatto capire al team ginevrino e bernese, come i tre pianeti interni alla stella si muovano con un preciso movimento di risonanza 3:2, 3:2 e cioè: quando il corpo più interno ruota nove volte intorno all'astro, il secondo ruota sei volte e il terzo quattro.

Dopodiché gli scienziati, facendo un paio di conti, hanno pensato che anche gli altri tre pianeti "e", "f" e "g" potessero avere a loro volta delle interazioni gravitazionali risonanti



### Geometria orbitale

L'immagine artistica mostra la geometria orbitale dei pianeti attorno alla stella HD110067. Credit: ESA, Thibaut Roger/NCCR PlanetS

con gli altri due, così hanno capito che i periodi dei pianeti esterni erano rispettivamente 31, 41 e 55 giorni.

Programmando l'utilizzo di alcuni telescopi al suolo per osservare ulteriormente i transiti dell'esopianeta "f", i ricercatori sono riusciti a verificare che in effetti le supposizioni erano esatte: infatti si trovava nel punto dove le teorie lo avevano diligentemente posto. Poi rielaborando le analisi di TESS, si sono scovati due transiti che erano rimasti inosservati, confermando in tal modo i periodi dei sei esopianeti.

E questa è una spettacolare scoperta che dà risalto ancora una volta alla Svizzera.



### Potrebbe essere così

Un'illustrazione di come potrebbe essere il sistema stellare, presupponendo che l'oggetto al centro sia un buco nero. (Daniëlle Futselaar ,artsource.nl)

## Buco nero, stella di neutroni o qualcosa di mai visto?

di Coelum Astronomia

**U**n articolo pubblicato su Science ci svela la presenza di un oggetto dalla natura misteriosa all'interno dell'ammasso globulare NGC 1851, visibile nella costellazione della Colomba a oltre 39 mila anni luce dalla Terra. Di cosa si tratta? Un team internazionale di astronomi, guidato da ricercatori dell'Istituto Max Planck per la Radioastronomia di Bonn e a cui partecipano anche ricercatori dell'Istituto Nazionale di

Astrofisica (INAF) e dell'Università di Bologna, ha sfruttato la sensibilità delle antenne del radiotelescopio sudafricano MeerKAT per scoprire un oggetto massiccio dalle caratteristiche uniche: è più pesante delle stelle di neutroni più pesanti conosciute e allo stesso tempo è più leggero dei buchi neri più leggeri trovati finora. Altro particolare non di poca rilevanza: l'indagato speciale è in orbita attorno a una pulsar al millisecondo in rapida rotazione. Questa potrebbe essere il primo rappresentante del tanto ambito sistema binario radio pulsar-buco nero: una coppia stellare che consentirebbe nuovi test della teoria della relatività generale di Einstein.

Luminose e intermittenti come dei potenti fari cosmici puntati verso la Terra, le pulsar sono stelle di neutroni, ossia i resti compatti (una ventina di chilometri di diametro) ed estremamente densi, derivati da potenti esplosioni di supernove. La teoria mostra che deve esistere una massa massima per una stella di neutroni. Il valore di tale massa massima non è noto con precisione, ma esistono indicazioni sperimentali che almeno fino a una massa totale pari a circa 2,2 volte la massa del Sole, la stella continua comunque a essere una stella di neutroni. D'altro canto, molteplici evidenze osservative indicano che i buchi neri (oggetti così densi e compatti per cui nemmeno la luce può allontanarsi da essi) si formano dal collasso che ha luogo alla fine dell'evoluzione di stelle molto più massicce di quelle che producono le stelle di neutroni. In questo caso la massa minima osservata finora per il nascente buco nero è circa 5 volte la massa del Sole. Bisogna allora domandarsi quale tipo di oggetto compatto si formi nell'intervallo di masse fra 2,2 e 5 volte la massa del Sole, in quello che i ricercatori chiamano "gap di massa per i buchi neri": una stella di neutroni estremamente massiccia, un buco nero estremamente leggero o altro? A oggi non esiste una risposta chiara.

Nell'ambito delle due collaborazioni internazionali "Transients and Pulsars with MeerKAT" (TRAPUM) e "MeerTime", gli esperti sono stati in grado prima di rilevare e poi di studiare ripetutamente i deboli impulsi provenienti da una delle stelle dell'ammasso, identificandola come una pulsar radio, un tipo di stella di neutroni che gira molto rapidamente ed emette onde radio nell'universo come un faro cosmico. Questa pulsar, denominata NGC 1851E (ossia la quinta pulsar nell'ammasso globulare NGC 1851), ruota su se stessa più di 170 volte al secondo, e ogni rotazione produce un impulso ritmico, come il ticchettio di un orologio.

Spiega Ewan Barr, dell'Istituto Max Planck per la Radioastronomia di Bonn e primo autore (assieme alla dottoranda Arunima Dutta dello stesso istituto) dello studio: "Il ticchettio di questi impulsi è incredibilmente regolare. Osservando come cambiano i tempi dei ticchettii, tramite una tecnica chiamata pulsar timing, siamo stati in grado di effettuare misurazioni estremamente precise del moto orbitale di questo oggetto".

L'estrema regolarità degli impulsi osservati ha permesso anche una misurazione molto precisa della posizione del sistema, dimostrando – tramite osservazioni col telescopio spaziale Hubble – che l'oggetto in orbita attorno alla pulsar non era una normale stella, bensì un residuo estremamente denso di una stella collassata. Inoltre, il fatto che l'orbita stia progressivamente cambiando l'orientamento rispetto a noi (un effetto chiamato tecnicamente "precessione del periastro" e previsto dalla relatività generale) ha mostrato che la compagna ha una massa che è contemporaneamente più grande di quella di qualsiasi stella di neutroni conosciuta e tuttavia più piccola di quella di qualsiasi buco nero conosciuto, posizionandola esattamente nel gap di massa dei buchi neri.

Alessandro Ridolfi, primo autore della scoperta di NGC 1851E (conosciuta anche col nome alternativo PSR J0514-4002E), nel 2022, co-autore della pubblicazione su Science, nonché postdoc presso l'INAF di Cagliari, sottolinea: "Sin dalle prime osservazioni successive alla scoperta, questo sistema binario mostrava caratteristiche peculiari, in particolare per

quanto riguarda l'elevata massa della stella compagna. Ulteriori osservazioni hanno evidenziato che si trattava addirittura di un sistema unico, con una stella compagna avente una massa in quella che per ora è la "terra di nessuno" per gli oggetti compatti, ovvero sia quell'intervallo di masse per le quali la teoria non è oggi in grado di stabilire se si abbia a che fare con un buco nero leggero o una stella di neutroni pesante". Ridolfi è uno dei vincitori del bando "Astrofit-INAf" e lavora alla ricerca di nuove pulsar esotiche ospitate in ammassi globulari.

Cristina Pallanca, ricercatrice al Dipartimento di Fisica e Astronomia "Augusto Righi" dell'Università di Bologna, prosegue: "Se si rivelerà essere un buco nero, avremo individuato il primo sistema binario composto da una pulsar e un buco nero, una sorta di Santo Graal dell'astronomia. Grazie a esso avremo un'opportunità senza precedenti per testare con altissima precisione la teoria della relatività generale di Albert Einstein e, di conseguenza, per comprendere meglio le proprietà fisiche dei buchi neri".

E aggiunge Marta Burgay, un'altra ricercatrice di INAF-Cagliari coinvolta nel progetto: "Se invece si trattasse di una stella di neutroni, la sua massa elevata imporrà nuovi vincoli alla natura delle forze nucleari, vincoli che non si possono ottenere con nessun esperimento di laboratorio".

Il sistema si trova nell'ammasso globulare NGC 1851, un denso insieme di vecchie stelle molto più fitte rispetto alle stelle del resto della galassia. Mario Cadelano, ricercatore al Dipartimento di Fisica e Astronomia "Augusto Righi" dell'Università di Bologna, lo descrive: "Un sistema binario così non poteva che crearsi in un ambiente altrettanto straordinario: l'ammasso globulare NGC 1851 è un insieme di centinaia di migliaia di stelle mantenute unite dalla loro stessa forza di gravità, formatosi circa 13 miliardi di anni fa, quando l'universo aveva appena 800 mila anni e la nostra galassia stava attraversando le prime fasi di formazione. All'interno degli ammassi globulari, le stelle interagiscono continuamente durante il corso della loro vita: si scambiano energia, collidono, si uniscono in nuovi sistemi binari e così via. Il nucleo di NGC 1851 è dinamicamente molto attivo, anche più rispetto a quello di altri ammassi globulari, e questo ha favorito la formazione del sistema binario unico nel suo genere che abbiamo scoperto".

Le regioni centrali di NGC 1851 sono così affollate che le stelle possono interagire tra loro, sconvolgendo le loro orbite e nei casi più estremi scontrandosi. Si ritiene che sia stata una di queste collisioni tra due stelle di neutroni a creare l'oggetto massiccio che ora orbita attorno alla radio pulsar. Tuttavia, prima che venisse creata l'attuale binaria, la radio pulsar deve aver acquisito materiale da un'altra stella in una cosiddetta binaria a raggi X di piccola massa. Un tale processo di "riciclaggio" è necessario per riportare la pulsar alla velocità di rotazione attuale.

La scoperta di questo oggetto misterioso mette in luce le potenzialità degli strumenti utilizzati in questa survey e delle antenne che arriveranno nel futuro. Andrea Possenti, ricercatore anch'egli presso la sede sarda dell'INAf, commenta: "Questa scoperta è l'apice degli studi finora condotti, grazie al sensibilissimo telescopio MeerKAT, sulle pulsar negli ammassi globulari, un campo di ricerca dove INAF, tramite il gruppo di Cagliari, ricopre dall'inizio un ruolo primario. Ruolo importante sia sul fronte della ricerca di nuove pulsar, 87 quelle scoperte fino a oggi con il solo radiotelescopio sudafricano, sia ai fini dello studio di quelle note. Il bello è che c'è ancora tanto da scoprire in questi densi sistemi stellari, sia con le osservazioni a MeerKAT, sia, ancor più, con l'avvento del rivoluzionario radiotelescopio SKA. Senza contare – conclude Possenti – che collisioni fra stelle di neutroni come quella ipotizzata per spiegare l'origine di questo sistema potrebbero costituire ulteriori eventi, rari ma di grande interesse, per telescopi per onde gravitazionali, come Virgo, Ligo e il futuro Einstein Telescope".



### Ritaglio di universo

Euclid mostra una piccola parte di NGC 6822 ad alta risoluzione. (ESA)

## Una mappa spaziotemporale

di Paola Rebecchi

**E**uclid è una navicella spaziale dell'ESA che è stata lanciata nello spazio il 1. luglio 2023 da Cape Canaveral in Florida; la sonda ha a bordo un telescopio spaziale dal diametro di 1,2 m e due fotocamere, una per la lunghezza d'onda visibile chiamata anche VIS e l'altra per il vicino infrarosso o NISP; ciò consentirà agli scienziati di studiare in dettaglio le proprietà chimiche, fisiche e cinematiche di molti oggetti.

Euclid è stato realizzato per mappare in 3D l'universo e osserverà miliardi di galassie lontane fino a 10 miliardi di anni luce da noi, questo vuol dire che esplorerà più di un terzo del cielo. La qualità delle osservazioni che il telescopio produrrà sarà estremamente elevata e le sue immagini potranno essere almeno quattro volte più nitide di quelle ottenute dai telescopi situati a Terra.

Con Euclid gli astronomi cercheranno di comprendere meglio come si è espanso l'universo attraverso lo spazio e il tempo, fornendo dati su come si è formata la sua struttura nel corso della storia cosmica, rivelando nuovi indizi sul ruolo della gravità, sulla natura e sull'evoluzione dell'universo nel corso degli ultimi 10 miliardi di anni.

# K2-18 e i suoi “bambini”

di Paola Rebecchi

**E**PIC 201912552 o K2-18, è una nana rossa a 120 anni luce di distanza dalla Terra in direzione della costellazione del Leone, mentre i suoi “bambini”, cioè i due pianeti che le orbitano attorno, sono EPIC 201912552b e EPIC 201912552c, chiamati anche K2-18b e K2-18c.

Questi due oggetti hanno dimensioni comprese tra Nettuno e la Terra e sono differenti anche da qualsiasi pianeta del nostro Sistema solare: questi “sub Nettuni” sono poco conosciuti, come anche la loro atmosfera.

K2-18 b, in particolare, possiede quasi nove volte la massa della Terra e ha un’orbita di 33 giorni; l’ipotesi che i ricercatori fanno su questo sub-nettuno, è che possa essere un esopianeta hycean. L’acronimo inglese è formato da Hydrogen (idrogeno) e Ocean (oceano): si tratterebbe di un ipotetico tipo di pianeta abitabile, con un oceano globale e un’atmosfera ricca di idrogeno che sarebbe in grado di ospitare la vita.

L’abbondanza di metano e anidride carbonica, insieme alla scarsità di ammoniaca, supportano l’ipotesi che su questo esopianeta possa esserci un oceano d’acqua sotto un’atmosfera ricca di idrogeno. Queste osservazioni iniziali sono state ottenute con il telescopio Webb, che inoltre ha prodotto un possibile rilevamento di una molecola chiamata DMS. Il DMS o dimetilsolfuro, con formula chimica  $(CH_3)_2S$ , è prodotto sulla Terra principalmente dalla degradazione del dimetilsolfoniopropionato (DMSP), un metabolita di alcune alghe marine. La presenza su K2-18b del DMS non è ancora chiara, poichè la maggior parte del DMS presente nell’atmosfera terrestre è emesso dal fitoplancton negli ambienti marini. Anche se non c’è certezza che questa molecola complessa sia davvero presente sull’esopianeta, gli studiosi sono certi che con le prossime osservazioni che il Webb eseguirà, potranno essere in grado di stabilire se il DMS sia effettivamente presente nell’atmosfera di K2-18b.

Tuttavia questa catena di deduzioni non significa che, malgrado K2-18b si trovi in una zona considerata “abitabile” e ospiti molecole contenenti carbonio, necessariamente il pianeta possa supportare la vita. Le grandi dimensioni del pianeta implicano che al suo interno esista probabilmente un ampio mantello di ghiaccio ad alta pressione come su Nettuno, ma

con un’atmosfera più sottile e ricca di idrogeno e una superficie oceanica. Anche se si suppone che questi mondi oceanici abbiano “oceani” d’acqua, è anche possibile che i bacini oceanici siano troppo caldi per essere abitabili o liquidi.

I subnettuniani sono una tipologia di esopianeti diffusi nella galassia, ma la loro osservazione è difficoltosa a causa delle elevate dimensioni e luminosità delle stelle attorno a cui orbitano.

# Quarzo di un altro pianeta

di Paola Rebecchi

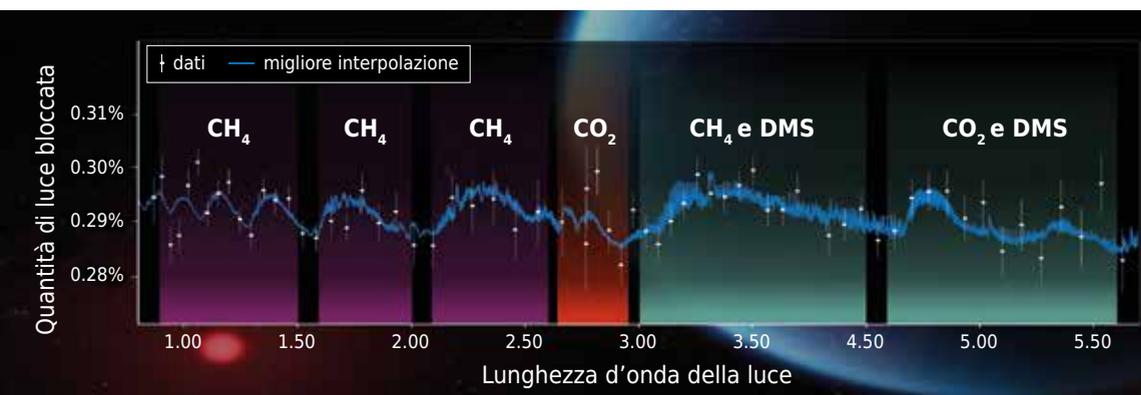
**W**ASP 17b è un esopianeta gigante, avente un volume di ben sette volte superiore a quello di Giove e una massa del 50% inferiore a quella di Giove.

WASP-17b è uno degli esopianeti più grandi conosciuti finora e grazie anche al suo breve periodo orbitale di soli 3,7 giorni terrestri, è il pianeta ideale per gli esperimenti di spettroscopia a trasmissione. Utilizzando questo metodo e il telescopio Webb, in particolare il suo strumento MIRI, i ricercatori hanno rilevato la presenza di nanocristalli di quarzo nelle nubi ad alta quota di WASP-17b. Questa è la prima volta in cui particelle di silice sono state individuate nell’atmosfera di un esopianeta; la cosa davvero incredibile è che dovevano esserci degli aerosol ma nessuno si aspettava che fossero fatti di puro quarzo. I silicati, cioè i minerali ricchi di silicio e ossigeno, costituiscono la maggior parte della Terra, della Luna e di altri oggetti rocciosi del nostro Sistema solare e sono estremamente comuni in tutta la galassia. Ma i grani di silicato rilevati in precedenza nelle atmosfere di esopianeti e nane brune, sembrano essere costituiti da silicati ricchi di magnesio, come l’olivina e il pirosseno, e non dal solo quarzo, che è puro  $SiO_2$ . Osservando così il sistema WASP-17 per quasi 10 ore, raccogliendo più di 1’275 misure nell’infrarosso medio mentre il pianeta si interponeva tra noi e la sua stella, si è osservato uno spettro nel quale è emersa una “protuberanza” inaspettata a 8,6 micron. Questa è una caratteristica che non ci si aspetterebbe se le nubi fossero costituite da silicati di magnesio o da altri possibili aerosol ad alta temperatura come l’ossido di alluminio.

Ma ciò avrebbe perfettamente senso se fossero costituite da quarzo: infatti sebbene questi cristalli abbiano probabilmente una forma simile ai prismi esagonali appuntiti che si trovano nelle geodi terrestri, ognuno di essi ha un diametro di soli 10 nanometri, cioè un milionesimo di centimetro. A differenza delle particelle minerali che si trovano nelle nubi sulla Terra, i cristalli di quarzo rilevati nelle nubi di WASP-17b non sono stati spazzati via da una superficie rocciosa. Hanno invece origine nell’atmosfera stessa.

WASP-17b ha una temperatura estremamente elevata e una pressione atmosferica molto bassa, solo un millesimo di quella che si registra sulla superficie terrestre ed è proprio in queste condizioni che i cristalli solidi possono aggregarsi direttamente dal gas, senza passare prima per la fase liquida. Per questo motivo capire di cosa sono fatte le nubi è fondamentale per comprendere il pianeta in tutto il suo complesso. I Giovi caldi, incluso WASP-17b, sono composti principalmente da idrogeno ed elio, con piccole quantità di altri gas come il vapore acqueo e l’anidride carbonica.

Quanto quarzo ci sia esattamente e quanto siano diffuse le nubi è davvero difficile da determinare perché esse sono probabilmente presenti lungo il terminatore, e siccome il pianeta è bloccato dal punto di vista mareale, con un lato diurno molto caldo e un lato notturno più freddo, è probabile che le nubi che circolano attorno al pianeta vaporizzino quando raggiungono il lato più caldo. Oltre a questo potrebbero esserci venti che spostano le minuscole “sabbie” vetrose a migliaia di chilometri all’ora.

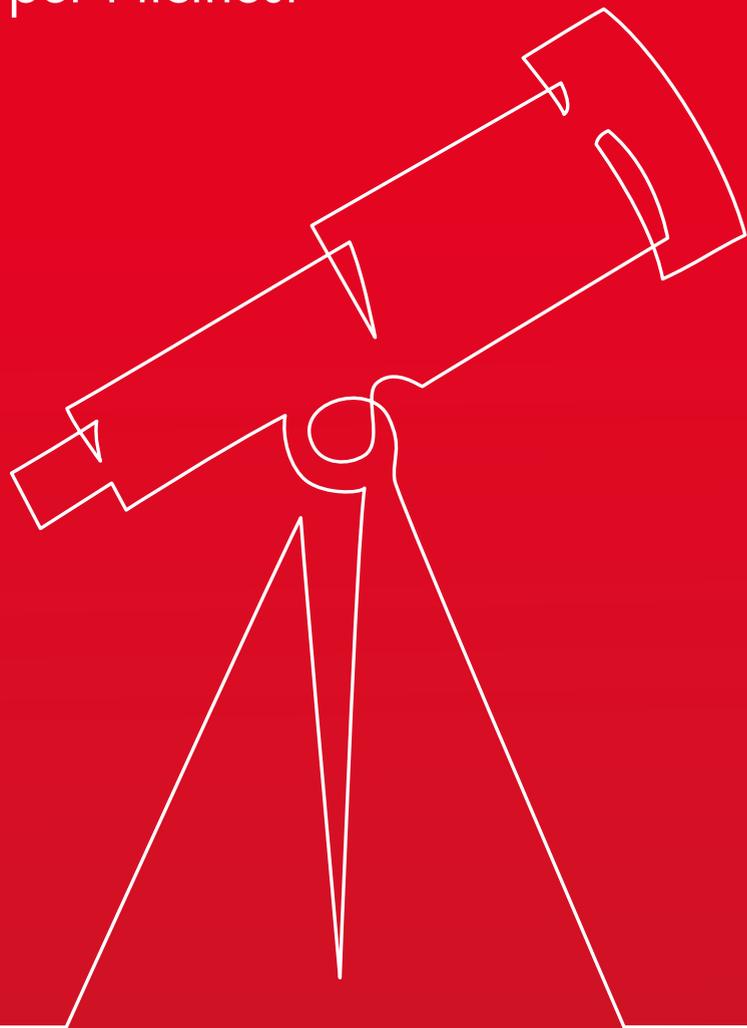


## L’atmosfera di K2-18b

L’immagine mostra gli spettri ottenuti con gli strumenti Nirlss e NirSpec di Webb. (Nasa, Csa, Esa, R. Crawford (Stsci), J. Olmsted (Stsci), N. Madhusudhan (Cambridge University))

# Pacchetti BancaStato

I nostri pacchetti per i ticinesi



## Pacchetto GIOVANE

CHF 0

AL MESE

## Pacchetto INDIVIDUALE

CHF 12

AL MESE

## Pacchetto FAMIGLIA

CHF 20

AL MESE

# L'effetto Seeliger

**Dimostrazione pratica della natura corpuscolare degli anelli di Saturno**

di Carlo Gualdoni

Nel 1887 l'astronomo tedesco Hugo von Seeliger pubblicò un testo dal titolo *"Zur Theorie der Beleuchtung der grossen Planeten insbesondere des Saturn"* (Sulla teoria dell'illuminazione dei grandi pianeti, in particolare di Saturno) nel quale furono poste le basi del fenomeno fisico chiamato effetto Seeliger.

In pratica il fenomeno alla base di questo effetto consiste nel fatto che la quantità di luce riflessa da una superficie composta da tanti corpuscoli cambia a seconda dell'angolo presente tra la direzione della luce incidente sulla superficie e la posizione dell'osservatore. Questo angolo è chiamato angolo di fase.

L'osservazione di questo fenomeno sugli anelli di Saturno ha permesso di confermare la natura corpuscolare di queste strutture. Infatti quando Saturno è in opposizione, la luce solare incide sugli anelli con un angolo di fase pari a zero e la percentuale riflessa dai corpuscoli che formano gli anelli è massima. Quando il pianeta si allontana dall'opposizione, l'angolo di fase aumenta e di conseguenza diminuisce la superficie illumi-

nata dei corpuscoli, diminuendo la luminanza di tutto il sistema di anelli.

Questo effetto è stato osservato anche sulla superficie di asteroidi e sulla Luna. Infatti la luminanza superficiale delle zone illuminate della superficie lunare e di alcuni asteroidi, a seconda della fase cambia significativamente proprio a causa dell'effetto Seeliger.

Per contro le strutture gassose come la superficie di Saturno non sono soggette in modo significativo a questo fenomeno e quindi mantengono una luminanza costante al variare dell'angolo di fase. Nell'immagine vediamo Saturno ripreso utilizzando un telescopio Schmidt - Cassegrain da 255 mm di diametro e 2'800 mm di lunghezza focale. L'immagine di sinistra è stata ripresa il 23 agosto 2023 solo 4 giorni prima dell'opposizione avvenuta il 27 agosto, mentre quella di destra il 29 settembre, 33 giorni dopo l'opposizione. La diminuzione di luminosità degli anelli post opposizione è evidente. La luminosità del disco post opposizione invece non appare significativamente cambiata.

(Si ringrazia: Wikipedia, l'enciclopedia libera).



# Perché il 2024 è bisestile?

**È tutta colpa di una piccola discrepanza.**

**Perché 365 giorni in realtà non bastano alla Terra per compiere un'intera orbita attorno al Sole**

di Luca Berti

L'inghippo è presto spiegato: la Terra ruota su sé stessa un po' troppo veloce rispetto a quanto gira attorno al Sole. Detta meglio: un anno di calendario, ovvero 365 giorni, non bastano al nostro pianeta per compiere un'intera rivoluzione attorno al Sole. Al nostro pianeta servono infatti altre 5 ore, 48 minuti e 48 secondi per ritornare nella stessa posizione dell'anno precedente. Ciò significa che ogni anno la Terra è in anticipo di circa un quarto di giorno rispetto al completamento dell'intera orbita e per correggere questa discrepanza è quindi necessario aggiungere un giorno ogni quattro anni.

Siccome però il meccanismo che regola gli astri non è perfetto, anche questa correzione porta a un piccolo scarto. In effetti alla fine del 29 febbraio di ogni anno bisestile, la Terra ha

già completato la sua orbita da circa 45 minuti, pari a 0,03 giorni di troppo. In questo caso la mossa per rimettere tutto a posto è di saltare un anno bisestile ogni 100 anni al compimento del secolo, tranne per quei secoli la cui cifra è divisibile per 400. Non sono quindi bisestili il 1700, il 1800, il 1900 e il 2100 mentre lo sono il 1600, il 2000 e il 2400.

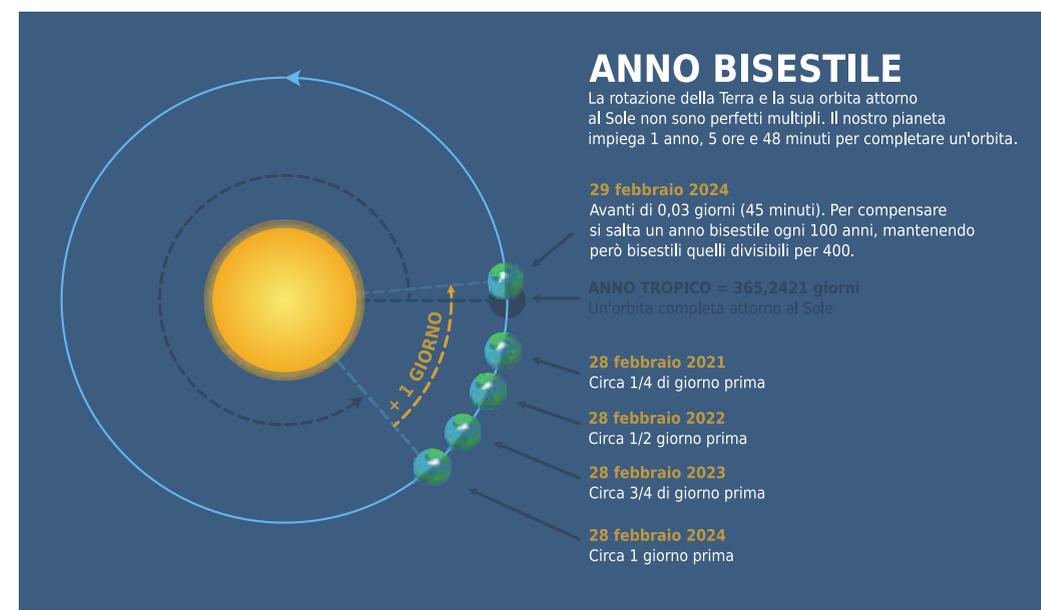
La correzione introdotta con gli anni bisestili permette di mantenere invariato, in termini generali, il rapporto tra stagioni e mesi dell'anno. Se si dovesse decidere di non più applicarla, nel giro dei prossimi 400 anni, il calendario si sposterebbe di un'intera stagione. Ciò significa che a fine dicembre inizierebbe l'autunno e non l'inverno.

La difficoltà di allineare la rotazione della Terra con la rivoluzione attorno al Sole (e quindi

evitare che le stagioni pian piano si spostassero) era nota sin dall'antichità. Il calendario romano, istituito per tradizione nel 753 avanti Cristo e perfezionato da Numa Popilio, durava 355 giorni e introduceva, in genere ad anni alterni, a metà febbraio un mese supplementare della durata di 22 giorni oppure di 23 giorni. La media, su uno schema ventennale, risultava di 365,25 giorni per ogni anno, molto vicino all'anno tropico di 365,24. Tuttavia, l'introduzione del mese intercalare, che spettava al pontefice massimo, fu decisa così tanto arbitrariamente che nel 46 avanti Cristo i mesi che dovevano cadere d'inverno erano ormai scivolati nell'autunno, con uno sfasamento di ben 67 giorni. Per porre rimedio, l'astronomo Sosigene di Alessandria propose di introdurre, oltre al mese intercalare di 23 giorni pure altri due mesi. Il 46 avanti Cristo durò così ben 15 mesi, per un totale di 456 giorni.

Sosigene propose inoltre di introdurre un anno di 365 giorni e di aggiungerne uno ogni 4 anni. Il nuovo calendario fu promulgato da Giulio Cesare, da cui prese il nome di calendario giuliano. Siccome il giorno veniva introdotto dopo il

24 febbraio (detto sexto die ante Calendas Martias), il nuovo giorno era definito "bix sexto die ante Calendas Martias". Da qui la definizione di anno bisestile. La precisione del nuovo calcolo, come abbiamo visto, era impressionante per l'epoca, ma non perfetta. Il calendario giuliano guadagna infatti un giorno ogni 128 anni circa. A fine 1500 la differenza rispetto alle stagioni era quindi di nuovo particolarmente evidente, tanto che l'equinozio di primavera arrivava in anticipo e si era spostato dal 21 marzo all'11 marzo. La correzione avvenne per bolla papale da parte di papa Gregorio XIII, che stabilì di sopprimere dieci giorni nel mese di ottobre del 1582 (che passò da giovedì 4 ottobre a venerdì 15 ottobre) per correggere lo sfasamento, di mantenere l'anno bisestile ogni quattro anni, ma di diminuire il numero di anni bisestili con un ciclo di 400 anni. Il calendario gregoriano, nella sua essenza, è quello che usiamo ancora oggi, che riduce l'errore tra anno di calendario e anno tropico a 26 secondi all'anno, ovvero un giorno di scarto ogni 3'233 anni circa. Ci vorrà quindi un bel po' prima di porsi di nuovo il problema.



## Un orologio non perfetto

La rotazione della Terra non è un multiplo perfetto del periodo di rivoluzione.

# Betelgeuse è sparita

L'indimenticabile esperienza di veder sparire una stella molto luminosa. Il racconto di quella notte del 12 dicembre 2023 al liceo Euclide di Cagliari

di Stefano Sposetti

**La squadra in posizione**  
L'ambiente al liceo Euclide di Cagliari, luogo dell'osservazione.

Quella di andare a Cagliari per osservare la sparizione di una stella come Betelgeuse è stata un'esperienza che sarà difficile da scordare. Non solo per l'eccezionalità dell'evento ma anche, e in maggior parte, per l'ambiente che si è creato durante la sera dell'attesa e la notte dell'osservazione.

Il liceo statale Euclide di Cagliari propone un corso di astronomia nei primi due anni di studio. Al corso sono iscritti una ventina di allievi. Sono loro che hanno fatto da sfondo ma soprattutto mi hanno coinvolto in un'esperienza molto diversa da quelle che sono abituato a vivere. Quasi sempre osservo questo genere di fenomeni da solo: preparo la strumentazione da solo e vivo in silenzio il momento culminante dell'occultazione, positiva o negativa che sia. Lo sguardo sempre rivolto alla stellina sullo schermo del computer nell'attesa che sparisca, sono solo ad assaporare quell'istante che dura normalmente qualche manciata di secondi. Ebbene, la notte di martedì 12 dicembre 2023 è stato tutto diverso. C'era gente, c'erano giovani e c'era entusiasmo.

## Premessa

Durante un'eclissi di Sole, la Luna si interpone fra la Terra e il Sole. La Luna transita di fronte al disco solare e qualche ora dopo ne esce, ma la totalità dura solo qualche minuto. La Luna è 400 volte più piccola del Sole ed è anche 400 volte più vicina, quindi è apparentemente delle stesse dimensioni angolari o, detto altrimenti, i due dischi sembrano avere le stesse dimensioni. Quasi la stessa cosa è avvenuta durante l'occultazione di Betelgeuse da parte dell'asteroide (319) Leona. La distanza di Betelgeuse è di 500 anni-luce, quella di Leona di 15 minuti-luce. Betelgeuse ha un diametro di 1 miliardo di chilometri, Leona di 50 chilometri. I due appaiono però in cielo con quasi la stessa dimensione angolare. La durata del transito di Leona davanti alla stella è durata solo una decina di secondi (a confronto di alcune ore per un'eclissi di Sole). In questo caso gli astronomi prevedevano che l'occultazione non sarebbe stata uguale a un'eclissi solare totale ma piuttosto a una anulare, nel senso che Leona non avrebbe coperto interamente il disco di Betelgeuse ma ne avrebbe lasciato

scoperto un anello esterno. Quindi la caduta di luce sarebbe stata probabilmente solo parziale.

Come per un'eclissi solare e come già scritto sul numero precedente di questa rivista, l'evento avrebbe potuto essere osservato solo lungo una ristretta fascia che va dalla Georgia all'Europa del sud per terminare sulla costa est degli Stati Uniti. L'occultazione sarebbe inoltre stata osservabile a occhio nudo in quando Betelgeuse, la stella alfa della costellazione di Orione, è una delle più brillanti in cielo. La posizione sarebbe stata molto agevole, con l'astro a un'elevazione di una cinquantina di gradi a sud-sudovest e la Luna nuova non avrebbe disturbato.

Si trattava della prima volta che si sarebbe potuto osservare e misurare la sparizione di una stella così brillante e la comunità professionale si era messa all'opera da tempo per cercare di coordinare e consigliare al meglio gli astrofili interessati. Come per tutti gli eventi astronomici inusuali vi era anche una certa incertezza. Il fenomeno si sarebbe manifestato come previsto? Che forma avrebbe avuto la curva di luce? Come sarebbe stata la silhouette di Leona al momento del transito? E la fotosfera di Betelgeuse? La traccia al suolo era "sicura"? Molte domande sarebbero state sciolte, forse, solo durante quei dieci secondi. Ad altre si poteva rispondere subito, una fra molte quella dell'affidabilità della traccia al suolo.

Fino a qualche mese fa, l'orbita di Leona era conosciuta in maniera alquanto approssimativa. Erano state fatte delle occultazioni positive nel 2010 ma le corde erano poche. Per fortuna durante l'ultima estate salta fuori la previsione di un'occultazione settembrina con una stella di 12ma magnitudine, visibile dai cieli europei. La traccia passava sopra la Spagna e molti astrofili locali si sono attivati per realizzare questa misura di notevole importanza al fine di meglio pianificare l'evento di dicembre con Betelgeuse. Il cielo sereno di settembre ha consentito a una ventina di gruppi di ricavare quasi altrettante corde e di ottenere finalmente una buona stima della posizione di Leona lungo l'orbita, della forma e delle dimensioni dell'asteroide. La traccia al suolo dell'evento del 12 dicembre appariva dunque ben consolidata. Rimanevano comunque ancora delle incognite relative al profilo tri-

dimensionale e al periodo di rotazione di Leona. Si giunge quindi a qualche settimana prima dell'evento. Le previsioni meteo si precisano e tendono a favorire il sudest della Spagna. Molti astrofili in effetti decideranno di andare laggiù. Alcuni andranno in Calabria, come gli amici svizzeri Mike Kohl, Stefan Meister e Andreas Schweizer. Io scelgo la Sardegna.

### L'osservazione

Già da settembre inizio a organizzare il materiale che mi accompagnerà. La luminosità della stella non necessita di un grande telescopio. La strumentazione da portare in aereo sarà ridotta: un piccolo treppiede, un rifrattore da 50 mm, la videocamera, un po' di cavi, il computer.

L'intenzione è di recarmi in un luogo libero da luci parassite e un paio di settimane prima contatto Manuel Floris, direttore del Planetario di Cagliari, per comunicargli che mi sarei spostato sulla sua isola e che mi avrebbe fatto piacere se lui o altri astrofili avessero voluto aggregarsi. In risposta mi propone di osservare assieme ai docenti e agli studenti del corso di astronomia del Liceo Euclide di Cagliari e di posizionarci sul piazzale dell'istituto. La cosa mi piace. Divulgare l'astronomia presso i giovani mi sta a cuore e questo evento rappresenta una bella opportunità.

Atterro a Cagliari la sera di domenica 10 dicembre. L'aria è tiepida, il cielo velato. Il giorno dopo controllo la strumentazione e con mia moglie ci prepariamo all'incontro con studenti e docenti. Il cielo cambia frequentemente.

Momenti di sereno si alternano a nuvole. Controllo regolarmente vari portali meteo: alcuni sono ottimisti, altri meno. Per le due di notte (ora dell'occultazione) tutti prevedono nuvole a bassa, media, o ad alta quota. Vedremo.

L'appuntamento con il direttore Floris è per le 17.30. Per le 18 ha organizzato una serie di conferenze per il pubblico che illustrano l'eccezionalità dell'evento che sta per avvenire. Non c'è molta gente forse a causa della contemporanea partita di calcio della squadra cittadina. Le presentazioni terminano dopo le 21, quindi manca il tempo per andare al ristorante e i docenti ordinano più di una ventina di pizze che mangiamo assieme nell'aula di astronomia. Deliziosi dolci fatti in casa terminano la cena. Verso le 22, in un andirivieni generale, tutti si vestono con abiti pesanti e iniziano ad allestire le postazioni osservative sul piazzale esterno. Vi sono diversi telescopi, cavi elettrici, prolunghe, ciabatte, lampade con luce rossa, tavoli, sedie (immagine 1). Gli strumenti vengono installati abbastanza rapidamente. Non fa freddo. Il cielo è coperto, alcune stelle principali sbucano qua e là fra le nuvole. Manuel mi propone di usare il rifrattore da 80 mm della scuola, su montatura equatoriale. Questo strumento è in effetti più comodo rispetto al mio su treppiede fisso. Allineare la montatura con due o tre stelle è un po' laborioso ma siamo accompagnati da tre bravissimi studenti molto volenterosi. È circa mezzanotte. Il cielo rimane coperto e l'impostazione dei parametri delle videocamere va

per le lunghe. Tre quarti d'ora prima delle 2 il cielo si libera parzialmente. Inizia la frenesia: centrare nuovamente Betelgeuse... regolare ancora gli strumenti... Transitano alcune velature e, quando giungiamo a una decina di minuti dall'occultazione, iniziamo la procedura che con scrupolo avevo annotato su carta: "prima ripresa", "dark", "flat", "controllo del gain", e via a seguire. Sarà Giulia, una dei tre studenti che ci accompagnano fin dall'inizio, che cliccherà col mouse sul tasto di avvio della registrazione principale, quella che dovrà memorizzare l'evento. Mancano ormai 45 secondi. Samuele, un altro degli studenti del nostro gruppetto, inizia a scandire i secondi mancanti. I docenti responsabili esclamano ad alta voce: "Adesso basta guardare lo schermo dei computer. Guardate la stella. Guardate la stella!" Tutti aspettano con gli occhi all'insù e cercano di assaporare quell'istante tanto atteso.

Finalmente arriva! Betelgeuse si affievolisce, rimane debole per un po' e una manciata di secondi dopo riappare a splendore pieno. Applausi, grida di gioia. Il momento è speciale. Ci rendiamo conto che il cielo è ora sereno e che abbiamo avuto molta fortuna. Orione e altre costellazioni si vedono nella loro interezza. Attorno a noi c'è entusiasmo. Dopo alcuni minuti gruppetti di studenti iniziano a smontare le attrezzature, nella nostra postazione dobbiamo ancora terminare la procedura scritta sul foglio. Poco dopo smontiamo definitivamente.

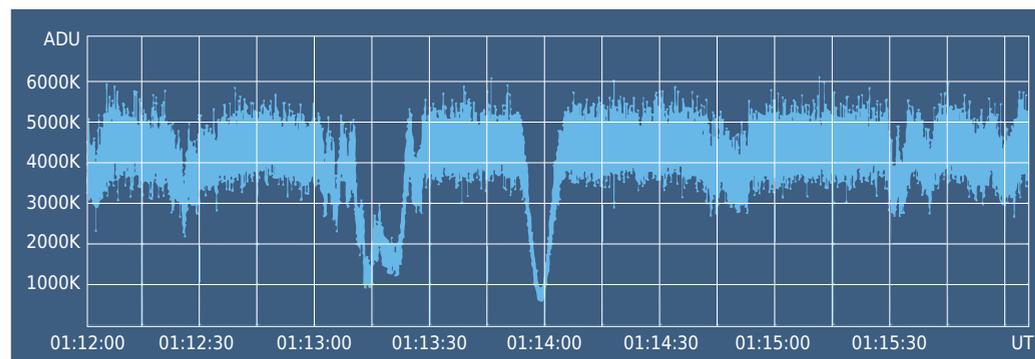
I telescopi, le sedie, i tavoli, i cavi rientrano nell'e-

dificio. Nelle aule gli allievi preparano i loro materassi gonfiabili, cuscini, pigiama, sacchi a pelo. Regna un'allegria euforia per ciò che resta della notte, fuori dalle mura di casa. Le lezioni dell'indomani per loro cadono. Mia moglie e io rientriamo all'appartamento verso le 5, ma i messaggi su Whatsapp e per posta elettronica sono tanti da leggere e rispondere prende tempo. Il sonno arriva solo qualche ora dopo.

### Il post evento

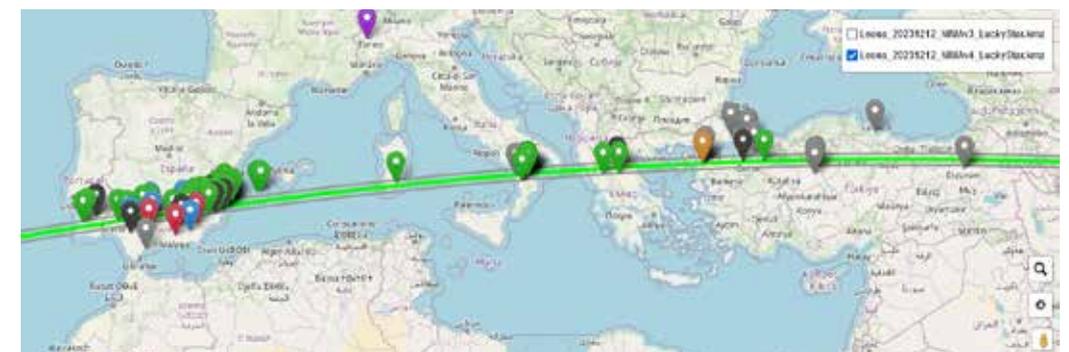
La curva di luce di Betelgeuse mostra un bel calo di oltre 2 magnitudini e della durata fra i 5 e i 10 secondi (immagine 2). Vengo a sapere che un centinaio di postazioni osservative hanno inoltrato i loro filmati al sito appositamente allestito alla raccolta. Alcuni gruppi hanno avuto cielo nuvoloso. Quelli più a bordo traccia hanno registrato un evento negativo (immagine 3). Gli astronomi specialisti in strutture stellari, assieme a coloro che si sono adoperati per coordinare questo evento, si aspettano sottili differenze nelle numerose curve di luce, differenze che dovrebbero evidenziare le celle convettive di Betelgeuse. Il loro lavoro sfocerà probabilmente in una o più pubblicazioni e sarà allora che potremo capire quanto gli sforzi di molti astrofili saranno ripagati. La scienza astronomica avrà alla fine fatto un piccolo passo avanti.

Per la mia spedizione a Cagliari ringrazio tutti coloro che mi hanno aiutato e sostenuto, anche solo col pensiero, e più in particolare Marina, Fausto, la SAT, Raoul, Aurelia, Luca.



### La curva di luce registrata

La caduta più pronunciata al centro è quella dell'occultazione, avvenuta alle 2.14 ora locale di martedì 12 dicembre. Le altre cadute sono causate dal transito di velature davanti alla stella.



### La traccia al suolo delle zone dalle quali si è potuta osservare l'occultazione

I segnaposto in colore verde indicano coloro che hanno osservato positivamente il fenomeno (da: <https://occultation.tug.tubitak.gov.tr>).

# Selene, il pianeta Luna

Centinaia di volte più grande e otto volte più distante di un quanto ci si aspetterebbe da un satellite. La nostra Luna potrebbe essere unica. O quasi

di Luca Berti

## Il grande scontro

Illustrazione che mostra l'istante della collisione tra Prototerra e Theia.

C'è una leggenda che racconta di Selene, dea e Luna piena, figlia di Iperione, titano della luce, e Teia. Quest'ultima a sua volta figlia di Gaia, la divinità della Terra. Selene è una bella donna, pallida, con lunghe vesti argentee che sfreccia in cielo su una biga. Una divinità minore, ma speciale, anche perché ai tempi il calendario era scandito anche, se non soprattutto, dalla Luna.

E a ben guardare, anche migliaia di anni dopo, agli occhi degli astronomi, la Luna ha qualcosa di speciale. Di unico: non ne esistono altre conosciute. Non così grandi in proporzione al pianeta madre e non in quella posizione. La Luna è un astro raro, non facile da trovare e, forse, non facile da formare.

### Pianeta doppio

Da sempre, il nostro satellite ha affascinato l'umanità, diventando presto un metronomo per contare il passare del tempo e delle stagioni, ma anche un astro incombente capace di stuzzicare la fantasia e le superstizioni, finendo in storie, tradizioni e leggende. È lì da sempre, da memoria d'uomo. E forse proprio per questo, pur considerandola affascinante, la si dà per scontata.

La sua particolarità va però oltre una sua bellezza. La Luna è centinaia di volte più grande di quanto ci si aspetterebbe da qualsiasi altra luna. È come se Giove avesse un satellite grande quasi quanto Nettuno. Il suo raggio è il 27% quello terrestre (praticamente la dimensione di Mercurio) e la sua distanza è nettamente più grande di quella che avrebbe un normale satellite. Tutto ciò ha portato, più volte nella storia dell'astronomia, a chiedersi se il sistema Terra-Luna non debba in realtà essere considerato un pianeta doppio. Tra i sostenitori di questa vi fu anche lo scrittore americano Isaac Asimov, che in un saggio del 1963 fece notare come la distanza attesa per un satellite naturale formatosi nei pressi del pianeta fosse di al massimo 46'600 chilometri (e un minimo di 15mila chilometri, il cosiddetto limite di Roche, al di sotto del quale un corpo viene disintegrato dalla gravità del corpo attorno al quale orbita), ovvero poco più in là dell'orbita geostazionaria dove oggi trovano posto i satelliti per le comu-

nicazioni televisive. La Luna si trova otto volte più distante di così, a 384mila chilometri e lì la gravità del Sole ha una certa importanza persino rispetto all'influenza terrestre. Per questo Asimov sostenne che la Luna doveva essere in realtà considerata come orbitante intorno al Sole, impegnata in una danza duale con la Terra. Due pianeti in orbita uno intorno all'altro.

### Di fatto, un pianeta doppio

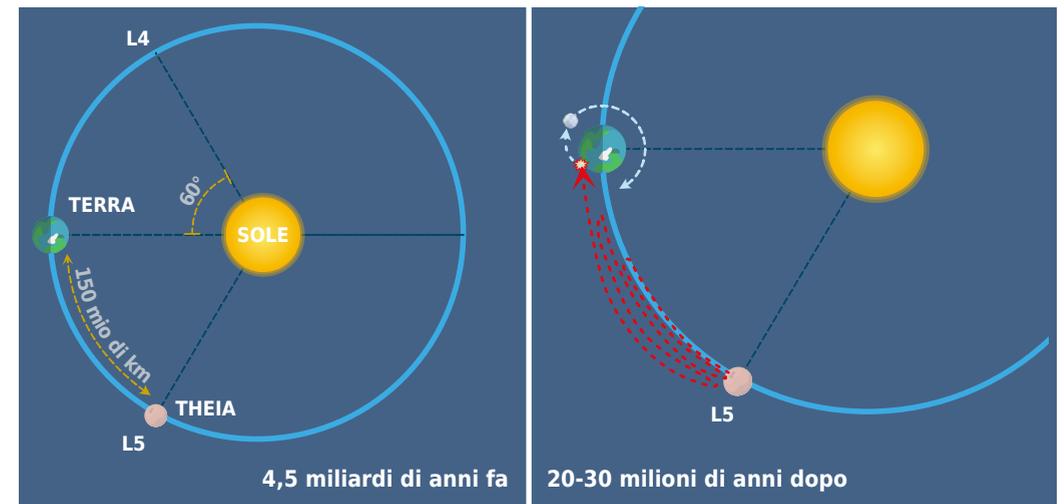
Quella del pianeta binario è in realtà un'interpretazione minoritaria, che tuttavia era stata più volte avanzata anche in tempi recenti. Ad esempio, l'Agenzia Spaziale Europea nel 2003 promosse e la prima missione europea sulla Luna (SMART-1) con la frase "Benvenuti presso il pianeta doppio". E poi, quando si trattò di decidere le sorti di Plutone nella classificazione internazionale, la questione riemerse, anche perché Plutone e Caronte, di fatto, hanno dimensioni tutto sommato paragonabili e ruotano entrambi attorno a un centro di massa comune che si trova tra i due. Alla fine fu deciso di considerarli comunque dei pianeti nani, e la questione della binarietà fu rimandata. Con buona pace anche di chi ricordava che pure Terra e Luna potrebbero essere un pianeta doppio.

### Ci vorrebbe criterio

Benché la definizione di pianeta doppio non sia mai stata codificata, esistono alcune regole che si possono applicare per stabilire se un sistema deve essere considerato formato da una luna e un pianeta oppure da due pianeti.

Secondo una definizione proposta dall'Astronomical Journal, per essere considerato un pianeta binario, entrambi i corpi che lo formano devono soddisfare il criterio per cui un pianeta è un corpo in grado di ripulire, aggregandolo, il materiale interstellare che si trova sulla sua orbita.

La massa può essere un criterio. Più i due pianeti hanno massa uguale, più possono essere considerati effettivamente pianeti. I satelliti di Marte, Giove, Saturno e Urano hanno un rapporto di massa di 1 contro 4'000, mentre tra Terra e Luna il rapporto è di 1 contro 81, decisamente più vicino. Plutone e Caronte hanno



### Il lento avvicinamento

Tra le ipotesi, anche quella che Theia si sia formata nel punto L1 e poi "caduta" verso la Terra.

un rapporto di 1 su 4. In base a questa definizione potrebbero dunque essere considerati un pianeta nano doppio, anche se non lo è ufficialmente.

Un altro modo per distinguere un pianeta doppio, in parte dipendente dal rapporto di massa, è stabilire dove si trova il centro di massa comune, ovvero quel punto attorno a cui i due corpi orbitano. Se il baricentro del sistema si colloca tra i due corpi, allora - in base a questa definizione - il sistema può essere considerato doppio. Un criterio rispettato da Plutone e Caronte, ma non da Terra e Luna. Il baricentro del sistema terrestre si trova infatti a 1'700 chilometri sotto la superficie terrestre. Siccome, tuttavia, la Luna si sta allontanando di circa 4 centimetri all'anno, entro qualche miliardo di anni, il baricentro del sistema sarà al di fuori della superficie terrestre.

Un ultimo criterio per definire un pianeta doppio è quello del tiro alla fune proposto da Asimov. Il calcolo va a indagare la differenza di influenza gravitazionale tra il pianeta principale e il Sole. Per tutte le lune del Sistema solare, il pianeta principale vince il tiro alla fune con il Sole. Per esempio Titano sente un'influenza da parte di Saturno di 380 volte maggiore rispetto a quella del Sole. In altri casi il numero si av-

vicina di più al pareggio, ma conferma tuttavia la supremazia del pianeta principale. L'unica eccezione è la Terra: in questo caso è il Sole a vincere il tiro alla fune, di quasi il doppio. Per questo Asimov ha proposto l'idea del sistema Terra-Luna come un pianeta binario.

### La formazione della Luna

Pianeta doppio o no, la dimensione della Luna rispetto alla Terra ha stuzzicato da subito la curiosità degli astronomi, che hanno dovuto trovare un modo per spiegare cosa ci facesse lì un corpo tanto grande e in una posizione difficile da spiegare. Certo, esisteva sempre la possibilità che la Luna, passando nei pressi della Terra, fosse stata "catturata", visto che si tratta di uno dei metodi con cui altri pianeti hanno ottenuto le loro lune. Tuttavia funziona bene quando la differenza di dimensione tra i corpi è notevole. Un po' come Fobos e Deimos, i due satelliti di Marte, che però sono di fatto asteroidi di una ventina di chilometri di diametro che orbitano estremamente vicini al pianeta.

Per spiegare la presenza della Luna serviva altro. La teoria oggi più accreditata è quella di una collisione catastrofica - avvenuta nell'infanzia dell'allora proto-Terra (grande all'incirca il 90% del pianeta attuale) - con un altro

## QUATTRO MODI PER CREARE LA LUNA

Quando la principale teoria sulla formazione della Luna non ha saputo spiegare alcune osservazioni, gli scienziati hanno sviluppato delle varianti.

### La teoria classica - il grande impatto

La teoria classica, sviluppata negli anni Settanta, stabilisce che un pianeta delle dimensioni di Marte - denominato Theia - si è entrato in collisione con l'allora proto-Terra. L'impatto ha creato un disco di detriti che, aggregandosi, hanno formato la Luna. Tuttavia alcune simulazioni suggeriscono che, se questo è quanto è accaduto, la Luna dovrebbe riflettere la composizione di Theia e non quella della Terra, come invece succede.



### Vaporizzazione

Un'ipotesi per spiegare la composizione della Luna è che in realtà Theia abbia colpito la proto-Terra talmente violentemente da vaporizzare entrambi i pianeti. Si sarebbe poi formata un campo di detriti dalla forma toroidale con al centro solo il "piccolo" nucleo della futura Terra. Il materiale dei due pianeti si è così mescolato.



### Mini-Lune

Questa teoria ipotizza che alla base della formazione della Luna non ci sia un solo, gigantesco, impatto, ma una serie di collisioni più piccole con oggetti della dimensione della Luna. Ogni collisione crea un campo di detriti e una mini-luna. Queste, poi si sarebbero unite.



### I gemelli

Per spiegare come mai la Luna sia composta da materiale molto simile alla Terra, si potrebbe anche semplicemente supporre che - già in primo luogo - anche Theia fosse formata dalla stessa materia di cui è formata anche la Terra. Questa ipotesi contrasta tuttavia con quanto si sa finora della formazione dei pianeti.



### Le ipotesi

Come si crea una luna così grande in proporzione al pianeta?

pianeta delle dimensioni circa di Marte. Un pianeta soprannominato Theia, costituitosi nello stesso grembo che ha dato vita alla Terra. Addirittura nel 2004 il matematico Edward Belbruno e l'astrofisico John Richard Gott III ipotizzarono che il luogo di formazione di Theia potesse essere uno dei due punti di Lagrange che precedono o seguono la Terra sulla sua orbita (detti punti L4 o L5). Lì la combinazione dell'attrazione gravitazionale esercitata da Terra e Sole si compensano e un corpo in quel punto rimane fondamentalmente immobile per rapporto alla Terra. In questo modo la Terra e Theia avrebbero mantenuto la rispettiva distanza fino a che Theia - circa 95 milioni di anni dopo la formazione del Sistema Solare - ebbe raggiunto un decimo della massa terrestre, ovvero circa quella di Marte. A quel punto la stabilità della sua orbita relativa si sarebbe rotta, facendo "precipitare" gradualmente Theia verso la Prototerra, colpendola di striscio, perdendo buona parte del materiale e finendo in orbita per formare l'attuale Luna. L'alternativa è quella che, dopo l'impatto, si sarebbe formata solo la Terra, mentre il resto del materiale sarebbe stato espulso in orbita sotto forma di un disco di polveri da cui avrebbe poi preso forma il nostro satellite.

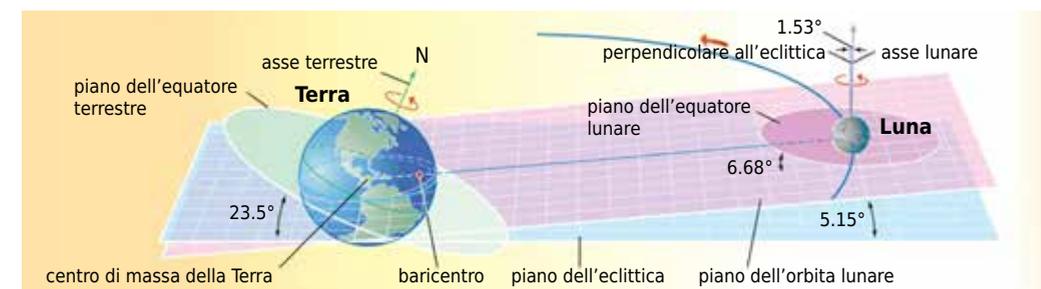
La teoria del grande impatto ha avuto di recente nuova linfa dalla scoperta di due lobi irregolari nelle viscere della Terra che potrebbero essere niente di meno che quanto rimasto di Theia: inglobato per sempre nel nostro pianeta.

Il problema principale rimaneva tuttavia la composizione molto simile tra Terra e Luna: le

simulazioni del grande impatto prevedevano infatti che la Luna fosse formata per una gran parte del materiale di cui era composto Theia. Un dilemma non ancora pienamente risolto, che tuttavia mette sul tavolo almeno due teorie. La prima è che, essendosi formate idealmente nello stesso luogo, Terra e Theia non siano mai state molto diverse dal punto di vista della loro composizione. La seconda è che, in realtà, a ben vedere Terra e Luna hanno elementi simili, ma sottoforma di isotopi diversi.

### Unica, anche per caso

Unica perché tanto grande. Unica perché forse deve essere considerata un pianeta. Unica anche per caso: perché la Luna si trova attualmente in una posizione che ne rende il disco grande tanto quanto quello del Sole. Perché il Sole è sì 400 volte più grande della Luna, ma è anche (quasi esattamente) 400 volte più lontano. Questa particolarità rende possibile le eclissi totali di Sole: se la Luna fosse più vicina o più grande, bloccherebbe la luce di tutta la stella, compresa quella della corona, che invece oggi incornicia il disco lunare durante l'evento. Se fosse stata invece più piccola (o più lontana) non sarebbe stato possibile avere eclissi totali. Ed in effetti è quello che accadrà tra circa 600 milioni di anni, quando la Luna si sarà allontanata abbastanza dalla Terra da non riuscire più a schermare tutto il disco solare. Ma questa è una storia che racconteranno tra milioni di anni. Ed entro allora, chissà quante altre leggende saranno nate su Selene, la creazione di una discendenza che coinvolge Gaia e Theia.



### La geometria del sistema Terra-Luna

I due corpi celesti si muovono su piani quasi allineati.

Prima parte

# Le fatiche del giovane Ercole

Ecco come e perché l'eroe si trova a dover compiere le sue imprese

di Anna Cairati



La vita di Ercole, Eracle in greco, è stata un casino. A cominciare dal suo nome: in realtà si chiamava Alcide. Stupiti, vi immagino stupiti.

In effetti Eracle significa "gloria di Era". Se avete letto la puntata precedente dovrete ricordare che Era, moglie di Zeus, non aveva nessun motivo per amare il figlio illegittimo di suo marito. E vorrei vedere...

E allora perché persino il suo nome, o meglio il suo soprannome, rende gloria alla dea? Forse perché proprio grazie, o a causa, di Era il ragazzo diventerà un famosissimo eroe (e magari alla fine se ne vantava pure lei: "Vedete? L'ho allattato io! E ha fatto un sacco di cose!". Falsissima!).

Dunque: Era odia davvero Ercole perché è una prova dell'infedeltà di Zeus anche se non si può certo dire che Zeus abbia "inciampato" su un'altra donna solo per quella volta...capita-

va un giorno sì e l'altro pure. Ma qui c'è anche un motivo di successione ed eredità: in ballo ci sono i troni di Tirinto e Micene. Questi due regni sono riassunti in Alcmena che è figlia di Elettrione, re di Micene, e moglie di Anfitrione, re di Tirinto. Ancora più difficile: Elettrione è figlio di Perseo e Anfitrione è suo nipote, quindi Alcmena è la quintessenza della "perseitudine" e mamma del nostro eroe. E pensate che Era digerisca bene il fatto che Ercole, l'illegittimo, si becchi ben due troni e la bandiera di discendente di Perseo? Io penso di no e infatti, mentre trama su come rendergli la vita insopportabile, briga per ritardare la sua nascita e accelerare quella del cugino Euristeo che erediterà tutto quanto.

Dopo la nascita la prima sua cattiveria è quella di mettergli due serpenti vicino alla culla nella speranza di levarlo di torno: non funziona,

il bebè li strangola in contemporanea: uno per mano. Chi invece va veramente fiero di quel piccolo semidio, è Anfitrione, il padre adottivo, che cerca di allevarlo nel migliore dei modi e con i migliori maestri. A Ercole però le arti non vanno a genio, lui è un tipo più da giochi rudi con gli amici e un giorno, dopo un duro rimprovero del maestro di musica, reagisce male e lo colpisce a morte con la lira che avrebbe dovuto suonare. Non esistendo i collegi, Anfitrione si vede costretto a spedirlo a fare il pastore, sperando che non faccia altri pasticci. Beh, già lo sapete: ne combinerà di ogni. Però bisogna dire che tutte le sue bravate sono fatte in buona fede: il giovane è un pochino irruento e manesco, però è animato da buona volontà. Vuole aiutare gli oppressi e rendere pane per focaccia ai prepotenti. E sembra non colpisca mai per primo...semmai è quello che colpisce per ultimo.

Invece di crescere bianco, rosso e rubicondo come Heidi, accoppa e mutila molti nemici e per errore anche un paio di amici, ha una cinquantina di figli, combatte guerre e parte per missioni navali. Che volete: è fatto così.

Una volta adulto Ercole si sposa. No, non con Deianira che, come abbiamo visto sarà la causa della sua morte, ma con Megara, che gli dà numerosi figli. Immagino che la loro felicità coniugale dia terribilmente sui nervi a Era che perfidamente causa all'eroe un improvviso stato di follia che lo porta a uccidere inconsapevolmente tutta la sua famiglia.

Riavutosi si rende conto di cosa ha fatto e disperato si rivolge all'oracolo di Delfi che, perfidissimo, lo manda da Euristeo, il cugino usurpatore: sarà lui che, oltre ad aver avuto i troni della discordia, potrà sbizzarrirsi ad architettare le famose dodici fatiche espiatorie.

E allora vediamo queste fatiche...

Per prima cosa deve uccidere il leone che tormenta la popolazione della città di Nemea. Una belva immensa, coperta da una pelliccia impenetrabile a qualsiasi arma e con artigli capaci di aprire armature ed elmi come scatolette di tonno. Come primo tentativo Ercole lo prende a mazzate, ma ottiene solo qualche nervosa zampata di rimando; le frecce scagliate con il suo poderoso arco provocano solo un paio di rug-

giti stizziti. Ok, bisogna agire d'astuzia: quando il leone rientra nella sua tana, Ercole blocca un'entrata, si infila da un'altra apertura e, complice il buio, lo prende alle spalle e lo strangola con le sue portentose braccia.

Finita la lotta e viste le proprietà della pelle della belva, Ercole pensa di scuoiarlo e tenercela. Ma siamo da capo: il coltello che ha alla cintura non la scalfisce nemmeno. Pensa che ti ripensa, e con un aiutino di Atena, dea della saggezza, ha un'illuminazione: usa un artiglio del leone e ottiene la pelle in men che non si dica. Se la mette in spalla, si aggiusta il cranio a mo' di elmo e non se la leverà più.

Che ve lo dico a fare? La costellazione del Leone ricorda l'impresa.

Seconda fatica: uccidere l'antenato di Nessie, la terribile idra maschio del lago di Lerna. Il biscione ha sei, nove o forse anche cinquanta teste, non è facile contarle anche perché sul moncone di ogni testa mozzata ne ricrescono due e poi c'è la testa centrale che è immortale. È velenosissimo: il suo fiato può uccidere un uomo in un attimo e il suo sangue è talmente tossico che sarà causa della morte di Ercole, ma questo lo sapete già.

Ercole, con bocca e naso coperti da uno straccio, la stana con delle frecce infuocate e poi comincia a tirar fendenti a destra e a manca con l'unico risultato di far moltiplicare le teste e quindi il fiato mortifero. No, così non funziona. A sbloccare la situazione interviene il nipote di Ercole, Iolao, che ha un'idea brillante: raccoglie un tizzone ardente e cauterizza ogni moncherino, sprezzante del sangue pestifero. È il colpo di mano che ci voleva. La cara Era vede che la bestiolina sta perdendo la lotta e invia un granchio enorme a pizzicare i calcagni ai due, ma viene prontamente spiacciato. Finalmente anche la testa immortale viene tagliata con la spada d'oro donata all'eroe da Atena e la lotta finisce.

Due a zero per Ercole che anche questa volta ne esce più potente di prima. Infatti intinge le sue frecce nel sangue del mostro rendendole assolutamente letali.

Le costellazioni corrispondenti? Beh, è facile: l'Idra e il Cancro.

*Continua...*

# Propulsione celeste

Un viaggio alla scoperta delle fionde gravitazionali, dal movimento di un pendolo alle missioni interstellari

di Daniel Barta



In astrofisica un planetary flyby, in italiano fionda gravitazionale, è una manovra che viene eseguita da sonde e razzi che utilizzano il campo gravitazionale di corpi celesti, ad esempio pianeti, per trarne in modo naturale (senza dispendio di energia e carburante) un'accelerazione e quindi una modifica della propria velocità in termini di modulo e direzione. Il

mio lavoro di ricerca ha come tema principale proprio le fionde gravitazionali. In particolare, dopo aver ricavato le equazioni più importanti che regolano tali manovre, ho messo in collegamento quest'ultime con quelle che definiscono la propulsione di un razzo e il suo dispendio di energia per capire quanto carburante può essere risparmiato grazie ad un planetary flyby.

Qualcuno potrebbe lecitamente pensare che iniziare con “fin da quando ero bambino” sia banale e tradizionale. Eppure, in questo caso è proprio così che inizia la storia e quindi penso che darò la priorità alla verità più che alla necessità di essere alternativo. Probabilmente a quell'età non mi rendevo conto e non sentivo neanche la necessità di interrogarmi sulla natura di quella mia forte propensione verso tutto ciò che era razionale, verso tutto ciò che era definito univocamente, nero su bianco, senza la possibilità di sbagliare. Crescendo, questo aspetto della mia personalità non si è alleviato e, al contrario, è diventato sempre più chiaro, sempre più limpido.

E allora anche le domande esistenziali che prima o poi, come timide ombre, iniziano ad emergere nell'animo di qualsiasi persona, anche tali domande si trasformavano in quesiti da tradurre in linguaggio matematico. Da dove viene tutto ciò da cui siamo circondati? In che modo è nato il tutto dal nulla? E via dicendo... e ogni volta mi ritrovavo a pensare e desiderare che esistesse una formula, sintetica, meravigliosa, immacolata e indiscutibile, che desse una risposta a tali domande. Una formula dell'universo che attendesse soltanto di venir rivelata. Così si è sviluppato dunque il mio amore per la matematica, la mia fiducia nei numeri, che mai tradiscono e sempre parlano con tono risoluto. “È tutto sotto controllo” sembrano dire ogni qual volta vengono interrogati.

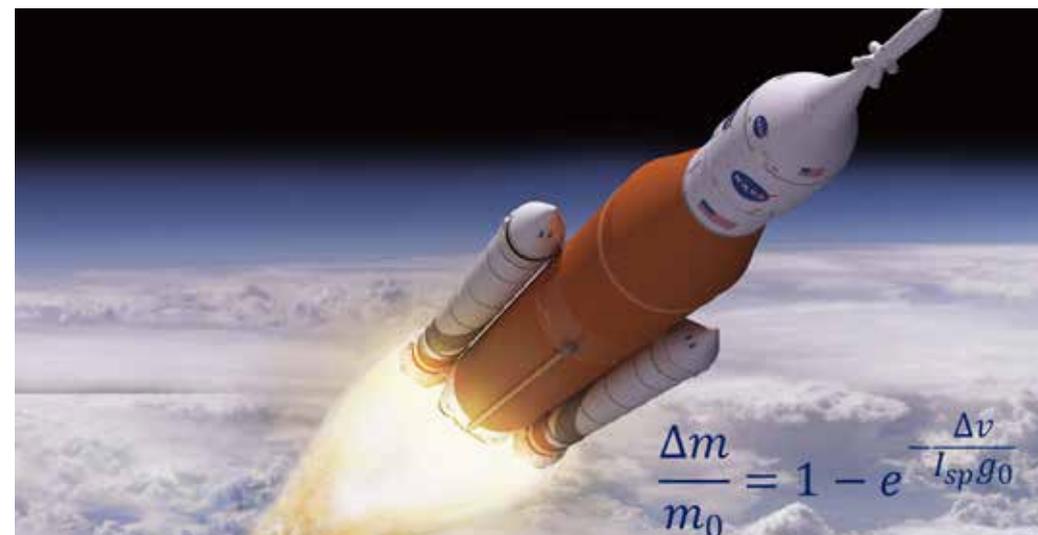
E dall'altro lato, tuttavia, la matematica può essere considerata il mondo più ignoto e inesplorato di tutti. Quante leggi si nascondono ancora dietro ogni singola particella dell'universo? Il concetto stesso di leggi non può forse essere una parte infinitesima di ciò che in realtà ci circonda? È da qui quindi che deriva la mia insaziabile curiosità, la voglia di spingersi oltre, di superare qualsiasi limite, mentale e spaziale. Negli anni si è delineato così il mio vero ed immenso sogno, che univa l'amore per i numeri, l'abitudine a farmi trascinare alla deriva dalle domande filosofiche esistenziali e l'estremo interesse verso ciò che ancora non si conosce: diventare astronauta. Diventare astronauta per poter passare una vita in mezzo alle stelle, vivendo e sopravvivendo grazie ai precisi e rassicuranti calcoli matematici che regolano la

vita nello spazio e cambiando la prospettiva da cui osservare il mondo. Da una posizione rispetto alla Terra e allo spazio che porta la mente a percepire la vita in un senso totalmente nuovo ed affascinante, ad apprezzare come non mai l'unicità del nostro pianeta e realizzare l'insignificanza e piccolezza dell'uomo rispetto all'infinito universo che respira silenzioso da tempi immemorabili.

Il mio lavoro sulle fionde gravitazionali intende essere allo stesso tempo un viaggio di esplorazione verso l'universo interplanetario e interstellare e un viaggio di immersione nelle formule fisiche che dominano una manovra spaziale complessa come quella del flyby. Da un lato quindi, l'immensità dell'universo diventerà sopraffacente e inconcepibile, facendoci sentire estremamente piccoli ed insignificanti, ma avremo sempre la fisica e la matematica accanto a noi, ad accompagnarci e guidarci, un po' come Virgilio per Dante nei gironi infernali sempre più profondi.

### La partenza del viaggio: propulsione

Come è iniziato il mio viaggio attraverso le formule delle fionde gravitazionali? La mia intenzione non era semplicemente quella di produrre una carrellata di formule che descrivano moti di corpi nello spazio, siccome in fondo anche una pietra qualsiasi vagante nell'universo può compiere un flyby attorno ad un pianeta. Volevo che fosse presente l'aspetto concreto del razzo o della sonda e dell'essere umano che si avventura nello spazio e non semplicemente fredde formule che descrivono il moto di un corpo attorno ad un altro. La domanda che sorgeva era quindi: cosa distingue un razzo da un corpo qualsiasi? E la risposta è che ha un motore proprio, che può muoversi nello spazio autonomamente grazie a una propulsione. Prima di partire alla volta delle fionde gravitazionali ho quindi descritto le equazioni che dominano il processo di propulsione del razzo, le forze che agiscono su di esso, ricavando la nota equazione del razzo di Ciolkovskij, che esprime la differenza di velocità del razzo  $\Delta v$  causata dall'espulsione di una certa quantità di massa  $\Delta m$  di carburante bruciato.



In questa equazione  $m_0$ ,  $e$ ,  $1_{sp}$  e  $g_0$  sono delle costanti.

L'equazione del razzo di Ciolkovskij.

Un'altra equazione di straordinaria importanza per la propulsione dei razzi è la cosiddetta "thrust equation", che esprime la forza di propulsione  $T$  (dall'inglese thrust, propulsione) che è possibile produrre con un flusso di espulsione di massa  $m_e$  di carburante bruciato dai propulsori del razzo:

$$T = (p_e - p_a) A_e + m_e \cdot c_a$$

In quest'ultima equazione  $p_e$ ,  $p_a$ ,  $A_e$  e  $c_a$  sono delle costanti e dipendono dal tipo di razzo considerato.

### La manovra del planetary flyby

Cosa succede esattamente durante una fionda gravitazionale? Quando viene effettuato un planetary flyby, una navicella spaziale o un razzo si avvicina in modo molto significativo a un pianeta (o ad un qualsiasi corpo celeste), tanto che il suo moto risulta influenzato in modo rilevante dal campo gravitazionale di tale corpo.

Sul razzo agirà quindi una forza che chiameremo  $F_{grav}$  rappresentata dall'attrazione gravitazionale:

$$F_{grav} = -G \frac{mM}{r^2}$$

In questa formula  $m$  e  $M$  sono le masse del razzo e del pianeta,  $G$  è la costante di gravitazione universale di Newton. La navicella si avvicinerà tuttavia al centro di attrazione in modo tale da non rimanervi perennemente incatenata (cioè sviluppando una traiettoria ellittica), bensì cambiando la sua direzione e proseguendo lungo un percorso iperbolico.

La cosa veramente affascinante di tali fionde gravitazionali è che la navicella, dopo aver superato il pianeta si allontana da quest'ultimo con una velocità diversa da quella di arrivo e viene quindi rallentata o, più frequentemente, accelerata dal campo gravitazionale stesso del pianeta. Ciò significa che il razzo è in grado di trovare una fonte di accelerazione perfettamente naturale che gli permette di risparmiare grandi quantità di carburante e di regolare la direzione e l'intensità della propria velocità semplicemente grazie alla forza di gravità esercitata da un pianeta sullo spazio circostante!

In particolare, una fionda gravitazionale si può dividere in **tre fasi fondamentali**.



## Giove

Uno scatto di una luna gioviana ripresa dalla Voyager 2 durante il suo flyby attorno al pianeta.

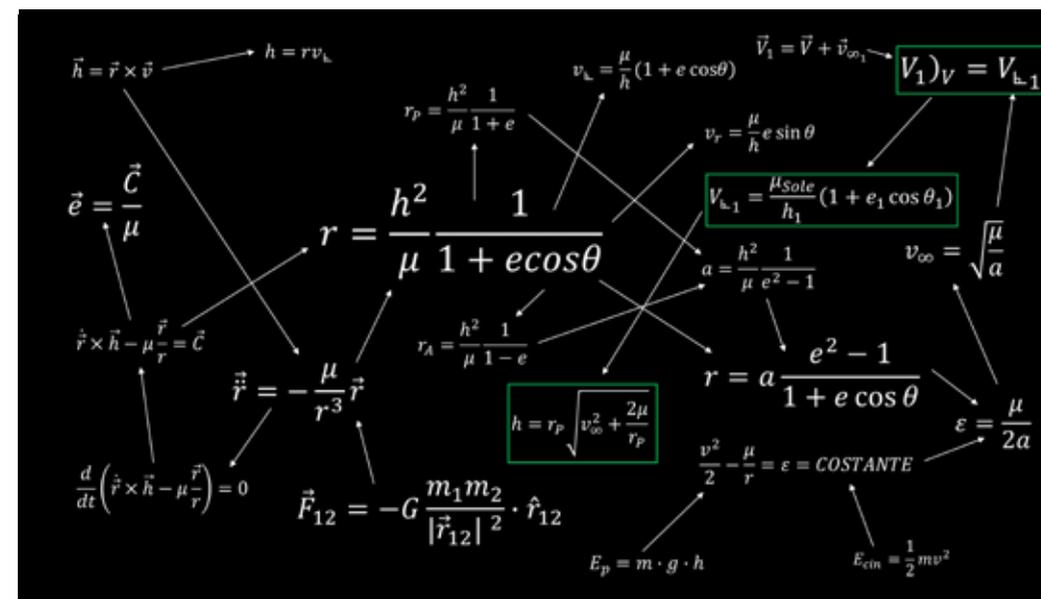
- 1) Nel primo momento il razzo è lontano dal pianeta e quindi non ne viene praticamente influenzato gravitazionalmente. L'unica forza che agisce sul razzo è quella di attrazione gravitazionale del Sole e, eventualmente, quella della propria propulsione. In questo caso si dice che il razzo è fuori dalla sfera di influenza del pianeta.
- 2) In un secondo momento, il razzo grazie alla propria velocità, e quindi alla sua propria propulsione, arriva al confine della sfera di influenza del pianeta e inizia ad essere attratto e accelerato da esso in modo significativo.
- 3) Nella terza fase, dopo aver compiuto una traiettoria iperbolica attorno al pianeta, il razzo si riallontana, accelerato, ed esce dalla sfera di influenza del pianeta, tornando a venir attratto in modo significativo soltanto dal Sole.

Le formule ricavate in questa parte del mio lavoro, principalmente incentrata quindi sulla meccanica orbitale di un flyby, sono estremamente utili proprio perché permettono di passare dalle grandezze che descrivono il moto

del razzo nella fase 1 a quelle che lo descrivono nella fase 2 e nella fase 3 e spiegano perciò come varia la traiettoria del razzo quando questo viene accelerato da un pianeta.

Abbiamo detto che il razzo o la sonda orbiteranno attorno al pianeta seguendo una traiettoria iperbolica. Tuttavia, la situazione non è così semplice, siccome il pianeta intanto si sta muovendo lungo una traiettoria ellittica intorno al Sole e quindi il razzo disegnerà un'iperbole mobile che si sposta lungo un'ellissi. L'iperbole inoltre ruota anche su sé stessa mentre percorre l'ellissi.

Tali manovre di rendez-vous planetario sono state effettivamente performate da veicoli spaziali prodotti dall'uomo. Un esempio eclatante è la missione interplanetaria e interstellare della sonda Voyager 2, lanciata dalla Nasa nel 1977 che ha effettuato addirittura 4 flyby nella sua rotta verso lo spazio profondo: attorno a Giove, Saturno, Urano e Nettuno. Tali flyby le hanno permesso degli incontri ravvicinati con i pianeti che hanno fornito una quantità immensa di dati su di essi, oltre a foto stupende.



## Un'elegante ragnatela di formule

Quelle incorniciate rappresentano dei punti di arrivo del mio lavoro, ossia delle relazioni che descrivono le varie fasi di un flyby.

### Un'elegante ragnatela di formule

Addentrandomi sempre più in profondità nella meccanica orbitale di un planetary flyby, ho ricavato un grande numero di formule, dando vita ad una vera e propria ragnatela di conoscenze in merito alla fionda gravitazionale. Sono partito dalle formule di base come la legge di gravitazione universale e la conservazione dell'energia meccanica di un corpo orbitante. Queste sono state ricavate partendo dal concetto di energia cinetica ed energia potenziale gravitazionale e da un semplicissimo esperimento con un pendolo, per poi approdare a formule sempre più complesse ed elaborate, passando dall'importantissima equazione dell'orbita, giungendo sempre più vicino alle formule che descrivono effettivamente un flyby.

$$r = -G \frac{h^2}{\mu} \frac{1}{1 + e \cos \theta}$$

In quest'ultima formula  $r$  denota la distanza del corpo orbitante (per esempio la nostra sonda) dal centro di massa che genera il campo gravitazionale (per esempio il pianeta), ed è espressa in funzione dell'angolo  $\theta$  che il vettore-posizione della sonda forma con la cosiddetta *apse line*, una retta che passante dai due fuochi della traiettoria iperbolica della sonda.  $h$ ,  $\mu$  ed  $e$  sono delle costanti dell'orbita e rappresentano rispettivamente il momento angolare specifico, il parametro gravitazionale e l'eccentricità dell'orbita.

### Il risparmio di carburante grazie ad un flyby

Vogliamo ora raccogliere gli elementi e le formule ricavate nel capitolo sulla dinamica e propulsione dei razzi e quelli che descrivono una manovra di planetary flyby e collegarli per ricavare un'informazione di vitale importanza pratica: quanto carburante si può risparmiare ricorrendo a una manovra di planetary flyby? In altre parole, in quale misura si riesce a sostituire il lavoro prodotto dalla propulsione dei bo-

oster semplicemente facendo in modo che sia il campo gravitazionale di un pianeta a produrre la forza necessaria per accelerare e deviare il razzo?

Si tratta di un calcolo che, se portato a termine, costituisce un importante risultato di questo lavoro perché possiede immediati sbocchi pratici nelle missioni reali. Si tratta inoltre dell'informazione che chiude il cerchio che abbiamo iniziato a disegnare con questo percorso, passando inizialmente dalle equazioni che dominano il razzo "dall'interno" ovvero quelle che descrivono la propulsione, proseguendo con quelle che lo descrivono "dall'esterno", ovvero le equazioni della manovra di flyby e infine collegando questi due ambiti. Nel mio lavoro ho sperimentato e sviluppato diversi metodi per mettere a confronto una situazione in cui vien fatto uso della propulsione con una situazione in cui il razzo viene accelerato e indirizzato grazie al campo gravitazionale del pianeta attorno a cui effettua un flyby. Ciascuno di questi metodi era basato su considerazioni e approssimazione diverse. Sono partito considerando semplicemente la differenza di velocità  $\Delta v$  del razzo che viene prodotta da un planetary flyby tra l'inizio e la fine della manovra. Inserendo tale valore nella formula, è possibile risalire alla massa del carburante necessario per produrre tale differenza di velocità.

Tale metodo tiene però conto soltanto della situazione iniziale e finale e non contempla cosa accade al razzo durante il flyby. Il prossimo metodo considera quindi il lavoro  $W_{grav}$  compiuto dalla forza di gravità  $F$  del pianeta sul razzo lungo tutto il flyby, calcolabile come l'integrale di tale di forza lungo tutta la traiettoria:

$$W_{grav} = \int F_{grav} dx = \int \frac{GmM\mu^2}{h^4} \cdot (1 + e \cdot \cos\theta)^2 dx$$

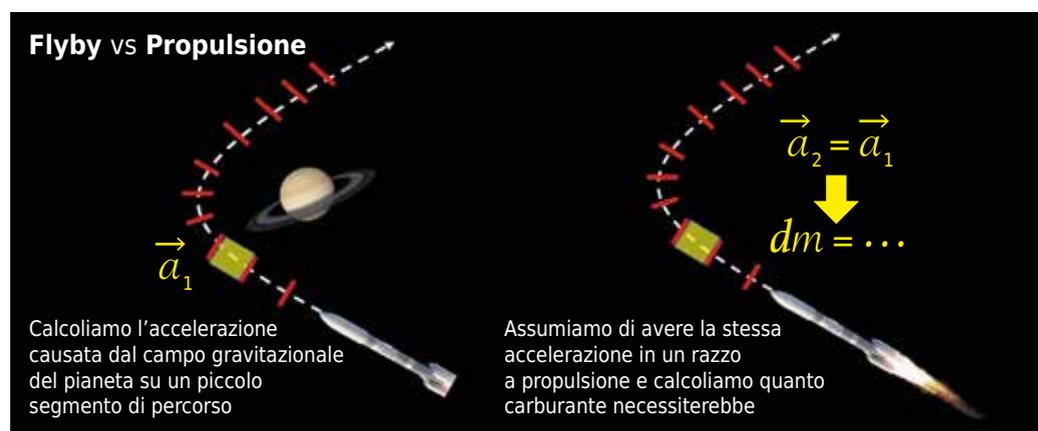
In questa formula la forza  $F$  viene riscritta come

$$\frac{GmM\mu^2}{h^4} \cdot (1 + e \cdot \cos\theta)^2 dx$$

utilizzando le formule 3 e 4. Se poniamo ora che tale lavoro deve essere compiuto anche dalla propulsione in una situazione analoga, possiamo ricavare la massa di carburante necessaria:

$$W_{prop} = \int T dx$$

In cui al posto di  $T$  inseriamo la formula 2. Anche in questo caso, tuttavia, si considera e si eguaglia soltanto il lavoro totale complessivo delle due situazioni senza considerare in dettaglio cosa succede durante il flyby. L'ultimo metodo, quello più accurato, suddivide invece la traiettoria gravitazionale e quella propulsiva in tanti segmenti infinitesimali, per



#### La traiettoria del flyby gravitazionale viene suddivisa in segmenti infinitesimali

Per ciascuno di essi viene ricavata l'accelerazione  $a_1$  del razzo e viene poi calcolata la massa  $dm$  di carburante necessaria per produrre la stessa accelerazione  $a_2 = a_1$  in un razzo a propulsione.



#### Daniel Barta

L'autore del lavoro che ha vinto il Premio Fioravanzo 2023. Su questo numero potete apprezzare un estratto della sua ricerca.

Razzo	Soyuz $m = 308'000 \text{ kg}$ $A_e = 83.3 \text{ m}^2$											
Pianeta	Urano $M = 8.7 \cdot 10^{25} \text{ kg}$											
$r_p(m)$	5'000'000						10'000'000					
	1.6		2.5		1.6		2.5		1.6		2.5	
$P_t(\text{Pa})$	500'000	20'000'000	500'000	20'000'000	500'000	20'000'000	500'000	20'000'000	500'000	20'000'000	500'000	20'000'000
mach number	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20
RISPARMIO CARBURANTE (KG)	14'094'000	14'026'000	14'090'000	14'026'000	5'717'900	5'690'700	5'715'500	5'690'400	6'946'000	6'913'100	6'938'200	6'912'000
coppia razzo-pianeta				variabili orbitali				variabili del sistema di propulsione				

### Per qualche gallone in meno

Risultati ottenuti con l'algoritmo generale per la quantità di carburante risparmiata grazie a flyby di vario tipo. I parametri che possono essere variati nel programma sono le masse del razzo e del pianeta, i parametri orbitali  $r_p$  ed  $e$  ossia la distanza minima dal pianeta raggiunta dal razzo e l'eccentricità dell'orbita, e le caratteristiche del motore del razzo  $P_t$  e mach, che rappresentano la pressione totale nella camera di combustione del razzo e la velocità con cui i gas di scarico vengono emessi dai propulsori.

ciascuno calcola quanto vale la forza di gravità responsabile per il movimento del razzo (e quindi la sua accelerazione) e ricava infine quanta massa di carburante sarebbe necessaria per produrre tale accelerazione con la propulsione in ogni singolo tratto del percorso. La quantità totale di carburante risparmiata è data infine dalla somma (integrale) di questi valori su tutto il percorso.

Il risultato finale è la programmazione di un algoritmo che calcola il risparmio di carburante di un qualsiasi flyby, attorno a qualsiasi pianeta, con un razzo di massa qualsiasi. È inoltre possibile impostare anche le variabili che definiscono il funzionamento della propulsione del razzo, vale a dire la superficie dei propulsori  $A_e$  la pressione totale presente nella camera di combustione  $P_t$  nonché il mach number, che è un'indicazione della velocità dei gas di scarico prodotti dalla propulsione. Possiamo infine anche scegliere la forma della traiettoria del flyby, modificando l'eccentricità  $e$  e la distanza minima razzo-pianeta  $r_p$  (perielio) che vogliamo venga raggiunta. Supponiamo per esempio di avere a disposizione 30 razzi diversi, ciascuno dei quali può funzionare con 3 valori diversi di pressione nella camera di combustione e per ciascuno di questi valori, 3 valori di mach number sono disponibili; abbiamo inoltre a disposizione 8 pianeti attorno ai quali compiere dei flyby e per ciascun flyby abbiamo 3 opzioni di

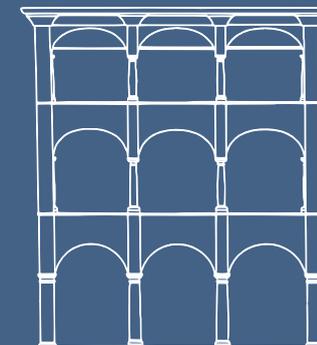
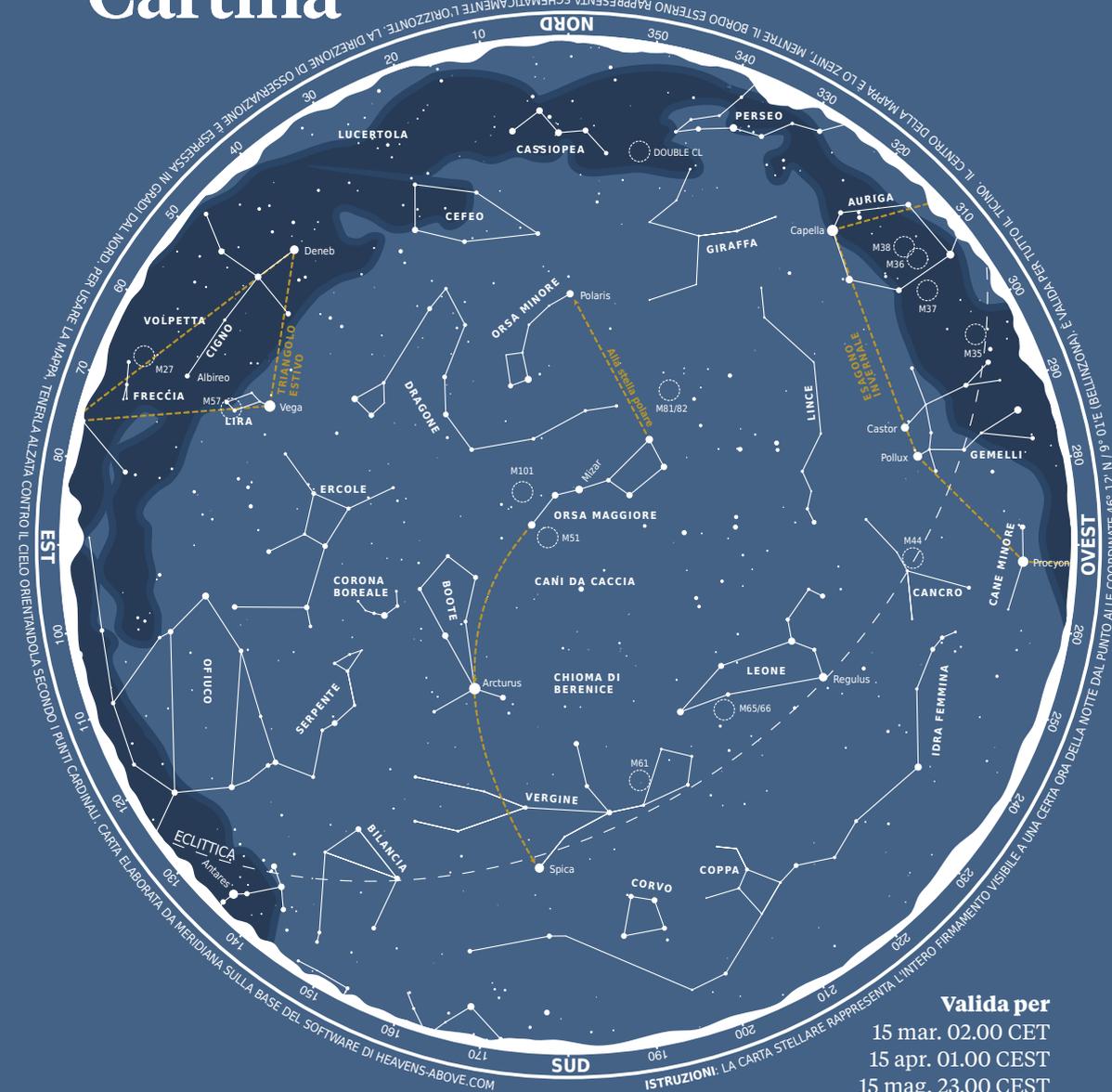
eccentricità e 3 opzioni di distanza minima dal pianeta. Già solo in questo modo si ottengono  $30 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 3 = 19440$  situazioni valutabili in un clic grazie all'algoritmo che dà come output il risparmio di carburante grazie al flyby considerato.

### Conclusione

Con il mio lavoro ho spaziato quindi dagli argomenti che costituiscono la base della fisica dei moti orbitali fino ad arrivare a parlare e comprendere temi estremamente complessi e affascinanti come i planetary flybys. Il viaggio da me intrapreso ha quindi toccato le basi più semplici e formali (ma non per questo meno belle) della matematica ed è arrivato alle meraviglie del mondo aerospaziale. Spesso si dice che un viaggio non è definito e descrivibile mediante il punto di partenza e quello di arrivo. È la via che definisce il viaggio, si dice.

Siccome però la via è lunga più di 100 pagine non può diventare la definizione del viaggio, ovvero il titolo. Ho fatto quindi un'eccezione alla regola e ho deciso di scegliere uno degli argomenti più semplici ed umili che ho incontrato, ovvero il purissimo ed immacolato, elegante movimento del pendolo e uno degli argomenti più complessi e appariscenti a cui sono giunto, per definire ed intitolare questo viaggio: "Planetary flyby, dal movimento di un pendolo alle missioni interstellari".

# Cartina



## LIBRERIA CARTOLERIA LOCARNESE

PIAZZA GRANDE 32  
6600 LOCARNO  
Tel. 091 751 93 57  
[libreria.locarnese@ticino.com](mailto:libreria.locarnese@ticino.com)

Libri divulgativi di astronomia  
Atlanti stellari  
Cartine girevoli "SIRIUS"  
(modello grande e piccolo)

# Appuntamenti

Lun  
26  
feb

## XXIV meeting online del gruppo Astrofotografia della SAT

dalle 20:30

Occasione per poter discutere, porre domande e condividere le ultime immagini scattate. L'incontro, che si terrà su Skype, è aperto a tutti gli interessati. Chi si volesse collegare come "guest" è pregato di inserire il nome. Il link è reperibile sul sito [www.astroticino.ch](http://www.astroticino.ch).

Ven  
1  
mar

## Osservazione pubblica al Calina

dalle 20:30

Come di consueto, il primo venerdì del mese, all'osservatorio Calina di Carona si terrà una serata di osservazione pubblica. Massimo 15 persone con prenotazione gratuita obbligatoria. Per informazioni rivolgersi a Fausto Delucchi allo +41 (0) 79 389 19 11 o scrivendo a [fausto.delucchi@bluewin.ch](mailto:fausto.delucchi@bluewin.ch)

Lun  
4  
mar

## Corso di astronomia avanzato

dalle 20

L'associazione AstroCalina, a partire dal 4 marzo, presso l'osservatorio Calina di Carona, organizza il corso "Amici dell'astronomia". Maggiori informazioni su [www.astrocalina.ch](http://www.astrocalina.ch).

Sab  
9  
mar

## Osservazione del Sole alla Specola

dalle 10

Mattinata divulgativa per ammirare il Sole e le macchie solari. È richiesta la prenotazione che sarà aperta 6 giorni prima della data prevista. La mattinata si terrà solo in caso di cielo sereno. Ulteriori informazioni e prenotazioni su [www.irsol.ch/cal/](http://www.irsol.ch/cal/)

Ven  
15  
mar

## Serata osservativa alla Specola

dalle 20

Serata divulgativa per ammirare la Luna al primo quarto, Giove e altri oggetti del cielo profondo. È richiesta la prenotazione che sarà aperta 6 giorni prima della data prevista. Info e prenotazioni: [www.irsol.ch/cal/](http://www.irsol.ch/cal/)

Sab  
23  
mar

## Giornata dell'astronomia

dalle 14

Sarà l'occasione per gli appassionati di cielo in Ticino per trovarsi, conoscersi, assistere alle presentazioni dei lavori degli altri e presentare i propri. L'appuntamento è al Campus Est dell'USI a Viganello.

Sab  
23  
mar

## Assemblea generale 2024 e cena sociale della SAT

dalle 18

Dopo la Giornata dell'astronomia, si terrà, l'assemblea della SAT. Alle 19.00 presso il ristorante Canvetto Luganese (via Simen, 14) è invece in programma la cena sociale e la consegna del Premio Fioravanzo 2023. Menu e prenotazioni (entro il 14 marzo) possibili su [www.astroticino.ch](http://www.astroticino.ch).

Su [www.astroticino.ch](http://www.astroticino.ch) trovate l'agenda sempre aggiornata sugli appuntamenti

## Specola Solare

L'osservatorio si trova a Locarno- Monti, presso MeteoSvizzera. È raggiungibile in auto. [www.irsol.ch/cal](http://www.irsol.ch/cal)

## Monte Lema

Maggiori informazioni sono sempre reperibili all'indirizzo: [www.lepleiadi.ch](http://www.lepleiadi.ch).

## Calina di Carona

L'osservatorio si trova in via Nav 17. Responsabile: Fausto Delucchi (tel. +41 79 389 19 11, email: [fausto.delucchi@bluewin.ch](mailto:fausto.delucchi@bluewin.ch))

# Cosa guardare

da febbraio ad aprile 2024

## Per l'intero periodo

### Galassia di Andromeda M31

La galassia più vicina alla Terra è visibile nell'omonima costellazione. È generalmente troppo debole per essere vista ad occhio nudo.

### M38

Ammasso globulare aperto con le stelle che sembrano formare un Pi greco o una croce.

### Presepe M44

Brillante ammasso globulare aperto visibile nella costellazione del Cancro. È uno dei più vicini a noi. È uno degli oggetti più facili da osservare e in un cielo nitido e senza inquinamento luminoso può essere visibile a occhio nudo come una nebulosa.

### Almach - $\gamma$ Andromedae

Interessante stella doppia. La principale spicca di colore arancio con una compagna blu di 5 magnitudine. In realtà il sistema si compone di 4 stelle, ma solo due sono visibili al telescopio.

### Granatum Sidus - $\mu$ Cephei

Una delle stelle più rosse visibile in cielo.

## Marzo

### Giove

Visibile la sera sempre più basso sull'orizzonte, fino a sparire nel tramonto a inizio aprile.

### Mesarthim - $\gamma$ Arietis

Stella doppia blu-bianca. Visibile dopo il tramonto. Fino a inizio aprile.

### Pleiadi M45

Ammasso aperto nella costellazione del Toro composto di centinaia di stelle relativamente vicine tra l'oro con una origine comune. Si consiglia l'osservazione anche col binocolo.

## Ora legale

L'ora legale sarà introdotta alle 2 di notte di domenica 31 marzo. Le lancette andranno avanti di un'ora.

## Aprile

### Triangolo estivo

Asterismo che congiunge le stelle Vega (Lira), Altair (Aquila) e Deneb (Cigno). È tipico dei mesi estivi e comincia ad alzarsi sempre più nella notte di metà-fine aprile.

### Albireo - $\beta$ Cygni

Stella bicolore, con una componente blu e una componente arancio. Si trova praticamente al centro del triangolo estivo.

### Liridi

Sciame meteorico con picco nella notte tra il 21 e il 22 aprile. Si attendono un massimo di 18 meteore per ora. L'evento sarà però "offuscato" dalla Luna quasi piena.

## Fasi lunari

<b>Primo quarto</b>	16 febbraio	17 marzo
<b>Luna Piena</b>	24 febbraio	25 marzo
<b>Ultimo quarto</b>	3 marzo	2 aprile
<b>Luna Nuova</b>	10 marzo	8 aprile

## Legenda

- Visibile a occhio nudo 
- Visibile con un binocolo 
- Visibile con un telescopio 

**shop online**



**www.bronz.ch**

**GAB**  
CH-6605 Locarno 5  
P.P. / Journal

**LAPOSTA** 