



*Ministero dell'Istruzione e del Merito*



**INAF**  
ISTITUTO NAZIONALE  
DI ASTROFISICA



# Campionati Italiani di Astronomia 2025 XXIII edizione

## **DOSSIER FASE DI PRESELEZIONE SENIOR E MASTER**



Curiosità dallo spazio

## Scoperti due nuovi minerali in un meteorite

In un meteorite di 15 tonnellate trovato nel settembre 2020 in Somalia, il nono più grande mai recuperato, un team di ricercatori ha scoperto almeno due nuovi minerali mai visti prima sulla Terra. I due minerali provengono da una fetta di 70 grammi che è stata inviata alla University of Alberta per la classificazione, e sembra già esserci un potenziale terzo minerale in esame. Secondo Chris Herd, professore presso il Dipartimento di scienze della Terra e dell'atmosfera e curatore della collezione di meteoriti della University of Alberta, se i ricercatori riuscissero a ottenere più campioni, potrebbe esserci la possibilità di trovarne altri.

Intanto i due nuovi minerali sono stati chiamati elalite ed elinstantonite. Il primo prende il nome dal meteorite stesso – soprannominato meteorite “El Ali” perché rinvenuto nei pressi della città di El Ali, nella regione di Hiiraan in Somalia – mentre il secondo è stato chiamato così in onore di Lindy Elkins-Tanton, vicepresidente dell'Asu Interplanetary Initiative, professoressa alla School of Earth and Space Exploration dell'Arizona State University e principal investigator della missione Psyche della Nasa.

▲ Una fetta del meteorite di El Ali, ospitata nella collezione di meteoriti della University of Alberta, contiene due minerali mai visti prima sulla Terra. Crediti: Università dell'Alberta

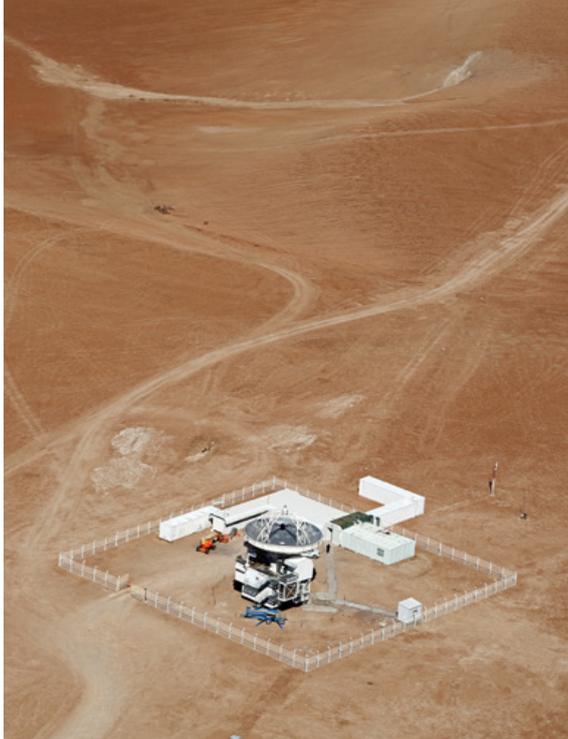


Partner e progetti dell'Inaf

## Dart-LiciaCube: il successo della prima missione di difesa planetaria

Arrivano le prime pubblicazioni sui risultati scientifici dell'entusiasmante missione di difesa planetaria Nasa Dart-LiciaCube, che vede la collaborazione dell'Agenzia spaziale italiana con il coordinamento scientifico dell'Istituto nazionale di astrofisica. Il 26 settembre 2022 la sonda Dart (Double Asteroid Redirection Test) ha colpito con successo l'asteroide Dimorphos, satellite naturale dell'asteroide Didymos, modificandone la traiettoria. L'impatto è stato documentato dal cubesat dell'Asi, LiciaCube. I preziosi dati acquisiti dalla missione sono stati oggetto di studio da parte della comunità scientifica mondiale. Sulla rivista *Nature* sono stati pubblicati i primi cinque articoli sui risultati scientifici della missione, tre dei quali coinvolgono il team di LiciaCube composto da ricercatori di Asi, Inaf, Ifac-Cnr, Politecnico di Milano, Università di Bologna e Università Parthenope. Le immagini acquisite da LiciaCube si confermano essere una sorgente di informazione unica per svelare la natura di corpi celesti di grande fascino e interesse come gli asteroidi. Questa missione ha permesso di valutare per la prima volta l'efficacia di una tecnica per la rimozione di asteroidi potenzialmente pericolosi.

▲ L'asteroide Dimorphos, poco prima dell'impatto con la sonda Dart della Nasa, il 26 settembre 2022. Crediti: Nasa



Curiosità dallo spazio

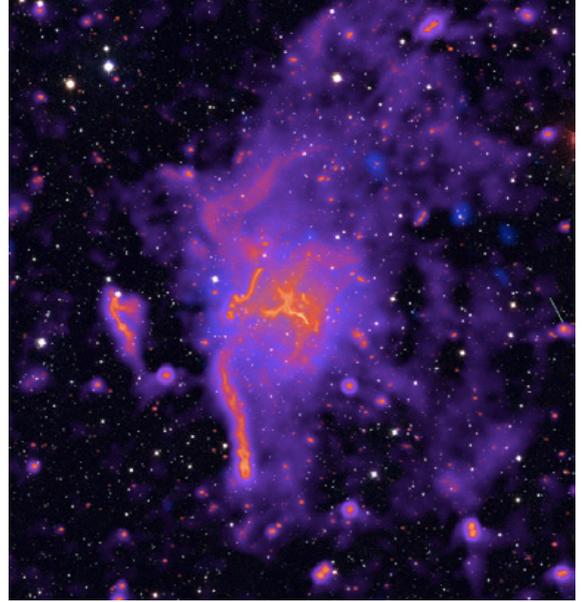
## Se gli alieni ci contattano, che si fa?

In caso di contatti del “terzo tipo” dobbiamo tenerci pronti. Per questo è nato il Seti Post-Detection Hub, un centro di ricerca internazionale che fungerà da hub di coordinamento per uno sforzo globale, che riunisce diverse competenze, sia scientifiche sia umanistiche, per definire valutazioni d’impatto, protocolli, procedure e trattati per consentire una risposta responsabile a un eventuale contatto con forme di vita intelligente extraterrestri. Il Seti Post-Detection Hub colmerà una sostanziale lacuna politica e prenderà in considerazione anche una comunicazione scientifica responsabile nell’era dei social media. Il Seti Post-Detection Hub fornisce per la prima volta una “casa” permanente per coordinare lo sviluppo di un quadro completo, riunendo membri interessati del Seti e più ampie comunità accademiche, nonché esperti di politica, per lavorare su argomenti che vanno dalla decifrazione dei messaggi e analisi dei dati allo sviluppo di protocolli normativi, diritto spaziale e strategie di impatto sociale.



Un radiotelescopio a quota 5mila metri, presso l’Osservatorio di Llano de Chajnantor nel deserto di Atacama, Cile.

Crediti: Eso/Clem & Adri Bacri-Normier



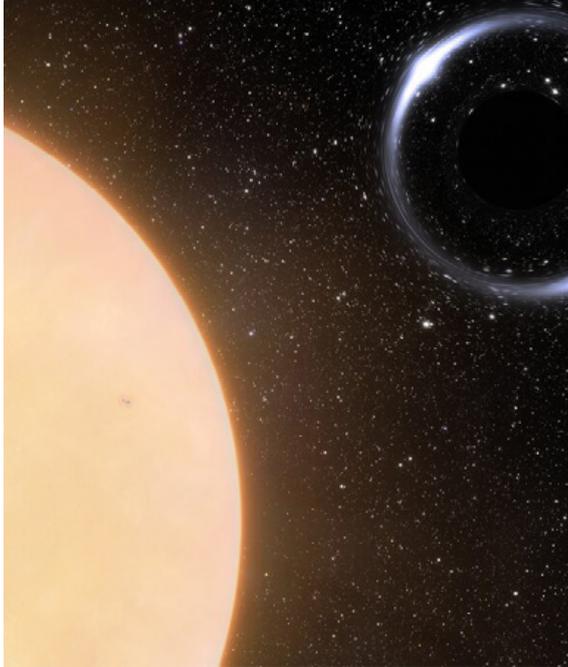
Partner e progetti dell’Inaf

## Lofar fotografa il bagliore radio di Abell 2255

Sfruttando la potenza del radiotelescopio europeo Low Frequency Array (Lofar), la più estesa rete al mondo attualmente operativa per osservazioni radioastronomiche a bassa frequenza, un team europeo di astronomi in Italia, Olanda e Germania ha osservato l’enorme emissione di onde radio diffusa intorno all’ammasso di galassie Abell 2255. Per 18 notti, le sensibili antenne Lofar hanno “ascoltato” un’area di cielo delle dimensioni apparenti di quattro lune piene, distante circa un miliardo di anni luce dalla Terra (in direzione della costellazione del Dragone). Per la prima volta gli astronomi hanno studiato un ammasso di galassie con osservazioni così profonde. Gli astrofisici – coordinati da Andrea Botteon dell’Osservatorio di Leida, nei Paesi Bassi, recentemente trasferito al Dipartimento di fisica e astronomia “Augusto Righi” dell’Università di Bologna in qualità di assegnista di ricerca e associato presso l’Inaf di Bologna – hanno pubblicato i dati delle loro osservazioni sulla rivista *Science Advances*. Le immagini ottenute dal gruppo di ricerca sono 25 volte più nitide e hanno un rumore 60 volte inferiore rispetto ai dati ottenuti in passato con altri strumenti. I risultati sono stati pubblicati su *Science Advances*.



L’immagine composta dell’ammasso di galassie Abell 2255 misura circa 18 milioni per 18 milioni di anni luce. Crediti: Rosat/Lofar/Sdss/Botteon et al., Frits Sweijen



Grandi scoperte recenti

## Ecco il buco nero più vicino alla Terra

La contesissima corsa alla scoperta del buco nero più vicino alla Terra ha un nuovo primati: un oggetto di massa stellare che orbita attorno a una stella simile al Sole. Una scoperta priva di ambiguità – per caratteristiche orbitali osservate e derivate – asseriscono gli autori di un articolo uscito sul *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Il buco nero in questione si chiama Gaia BH1 e fa parte di un sistema doppio che è stato inizialmente osservato con il telescopio spaziale Gaia, in seguito riosservato con il telescopio Gemini North alle Hawaii. Questo buco nero quiescente è circa 10 volte più massiccio del Sole e si trova a 1600 anni luce di distanza nella costellazione dell'Ofioco. Il buco nero sarebbe tre volte più vicino alla Terra del precedente detentore del record, una binaria a raggi X nella costellazione di Monoceros. A differenza di Gaia BH1 però, quest'ultimo fa parte della categoria dei buchi neri stellari "attivi", gli unici di massa stellare confermati finora, più semplici da scoprire perché emettono radiazione energetica nei raggi X mentre consumano materiale dalla stella compagna.

▲ Rappresentazione artistica di un sistema binario formato da una stella simile al Sole e un buco nero di massa stellare quiescente.



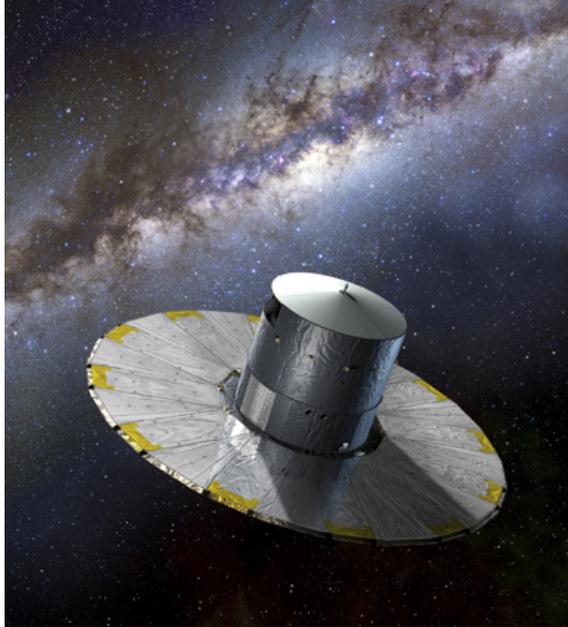
Grandi scoperte recenti

## Il protoammasso più giovane l'ha trovato il telescopio James Webb

Ogni gigante è stato un tempo un bambino, ma riuscire a immaginarlo senza averlo mai visto può essere difficile. Un esercizio che hanno dovuto fare per anni gli astronomi, dovendo ricostruire come si sono formate le strutture cosmiche più grandi, come gli ammassi di galassie, senza poterne vedere direttamente i progenitori. Fino a oggi. Grazie al telescopio spaziale James Webb di Nasa ed Esa, e grazie all'aiuto della lente gravitazionale di un ammasso di galassie vicino, l'inaccessibile è diventato accessibile. In un articolo pubblicato su *The Astrophysical Journal Letters* arriva la conferma dell'osservazione del protoammasso più giovane e più lontano di sempre, risalente a un'epoca in cui la formazione e l'assemblaggio delle galassie era cominciato da poco. Redshift 7.9, o 650 milioni di anni dopo il big bang: a tanto si è spinto lo specchio dorato di Webb. In quel momento cominciava a formarsi questa struttura destinata – secondo i calcoli – a diventare un enorme ammasso di galassie.

Grazie alle osservazioni di spettroscopia infrarossa di Webb, un gruppo di astronomi, fra cui alcuni dell'Inaf, ha confermato che si possono contare almeno sette galassie legate gravitazionalmente all'interno del protoammasso, e molte altre sono destinate a finirci dentro.

▲ Il James Webb Space Telescope durante un test del centro di curvatura al Goddard Space Flight Center nel Maryland, nel 2018.  
Crediti: Nasa/Chris Gunn



Un premio importante

## Collaborazione Gaia: premio Berkeley 2023

Il team alla guida del satellite Gaia dell'Agenzia spaziale europea è stato insignito del premio Lancelot M. Berkeley 2023. Il riconoscimento, per meriti nell'ambito astrofisico, viene conferito annualmente, dal 2011, dall'American Astronomical Society ed è sostenuto da una sovvenzione del New York Community Trust. La collaborazione Gaia è onorata con il premio Berkeley 2023 per aver reso possibile la creazione della più rivoluzionaria, precisa e completa mappa multidimensionale della Via Lattea. Dal suo lancio nel 2013, il telescopio spaziale Gaia ha rilevato posizioni stellari, distanze, colori e moti propri di quasi due miliardi di stelle nella nostra galassia. Sulla motivazione del premio si legge che «le tre *data release* di Gaia saranno a lungo considerate eventi importanti nella storia dell'astronomia, per aver permesso la creazione di una partnership globale al fine di comprendere meglio l'origine, la struttura e il destino della nostra galassia». Il team di Gaia viene premiato, in particolare, per un articolo pubblicato su *Astronomy & Astrophysics* nel maggio 2021 che descrive i primi dati contenuti nel più recente catalogo di dati della missione Gaia.

▲  
Il satellite europeo Gaia nel rendering di un artista.  
Crediti: Esa/D. Ducros

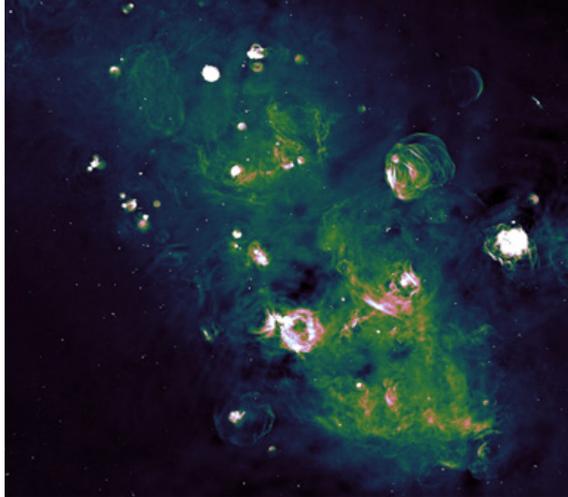


Grandi scoperte recenti

## Ixpe svela i misteri di una storica supernova

In uno studio pubblicato su *The Astrophysical Journal*, un team di astronomi guidato da Riccardo Ferrazzoli dell'Inaf ha usato il telescopio spaziale X-ray Polarimetry Explorer (Ixpe) per studiare i raggi X polarizzati emessi dal resto della supernova Tycho – vista esplodere in direzione della costellazione di Cassiopea più di 450 anni fa – scoprendo nuove informazioni sulla geometria dei suoi campi magnetici. È una missione da record quella dell'osservatorio spaziale Ixpe, nata dalla collaborazione tra la Nasa e l'Agenzia spaziale italiana (Asi). La sonda sta sfornando nuove immagini che sono una fonte inesauribile di preziosi dati per i ricercatori di tutto il mondo. Infatti è stato proprio un team internazionale di scienziati che ha scoperto nuove informazioni sui resti di una stella esplosa nel 1572. I risultati hanno fornito nuovi indizi sulle condizioni fisiche presenti nelle onde d'urto create in queste titaniche esplosioni stellari chiamate supernove. Lanciata nello spazio il 9 dicembre 2021, Ixpe è una missione interamente dedicata allo studio dell'universo attraverso la misura della polarizzazione dei raggi X. Utilizza tre telescopi installati a bordo con rivelatori finanziati dall'Asi e sviluppati da un team di scienziati dell'Istituto nazionale di fisica nucleare e dell'Inaf, con il supporto industriale di Ohb-Italia.

▲  
Immagine composta del resto di supernova Tycho con riprese dei raggi X delle missioni Ixpe e Chandra e nel visibile del progetto Nasa Digital Sky Survey.

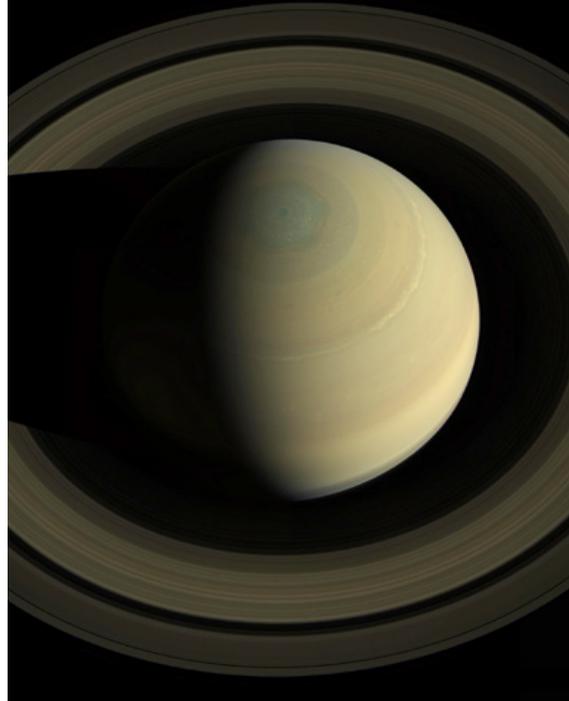


Partner e progetti dell'Inaf

## Con Pegasus la mappa dell'1 per cento del piano galattico

Di recente sono state portate a termine le osservazioni radio di una vasta sezione del piano galattico della Via Lattea (circa l'1%) con i radiotelescopi Askap e Parkes (Murriyang), entrambi sviluppati e gestiti dall'agenzia scientifica australiana Csiro. Alcuni radioastronomi dell'Inaf hanno coordinato il gruppo internazionale di ricerca che ha utilizzato il grande disco di Parkes per "fotografare" una porzione del disco della nostra galassia, nell'ambito del progetto di ricerca Pegasus (Possum Emu Gmims All Sky Uwl Survey), uno dei numerosi progetti di esplorazione del più ampio programma Emu, che consiste nell'osservazione di tutto l'emisfero sud con Askap, uno dei precursori del progetto Ska. L'immagine è stata unita a quella realizzata con le antenne Askap, ottenendo un risultato di straordinaria qualità. L'immagine, ampia 12-14 volte il diametro apparente della Luna, mostra una regione caratterizzata da un'emissione estesa associata all'idrogeno gassoso che riempie lo spazio tra le stelle; stelle alla fine del loro ciclo evolutivo chiamate resti di supernova e bolle calde di idrogeno gassoso ionizzato legate alla nascita di nuove stelle. Questa nuova fotografia della nostra galassia mostra aspetti dell'evoluzione delle stelle visibili solo ai radiotelescopi.

▲ Una grande porzione del disco della nostra Galassia, di circa 6-7 gradi pari a 12-14 lune piene in lunghezza. Crediti: R. Kothes (Nrc), E. Carretti (Inaf), i gruppi Pegasus, Emu, e Possum



Grandi scoperte recenti

## Saturno e le sue lune: raggiunta quota 145

Saturno torna al primo posto nel Sistema solare per numero di satelliti naturali in orbita: sono state identificate attorno al sesto pianeta 62 nuove lune, che portano il numero totale a 145, sorpassando così Giove, fermo a quota 95. La scoperta è stata annunciata dal gruppo internazionale guidato dall'Istituto di astronomia e astrofisica dell'Accademia Sinica di Taiwan e getta luce sul passato di questo pianeta: il nuovo gruppo di lune è probabilmente nato da collisioni tra satelliti avvenute nel recente passato, circa cento milioni di anni fa. Lo studio dimostra anche l'efficacia della tecnica utilizzata, che ha permesso di individuare corpi di soli 2,5 chilometri di diametro. Localizzare satelliti intorno a Giove e Saturno è però molto impegnativo: viste le loro dimensioni, superano in luminosità qualsiasi cosa si trovi intorno. Inoltre, per confermare la presenza di una luna non basta semplicemente individuarla accanto al suo pianeta: l'oggetto deve essere tracciato, idealmente per diverse orbite, in modo che il suo percorso possa essere analizzato per determinare se è stabile.

▲ La sonda Cassini fotografa Saturno e i suoi anelli principali, a colori naturali come visti dall'occhio umano. Crediti: NASA/JPL-Caltech/SSI/Cornell



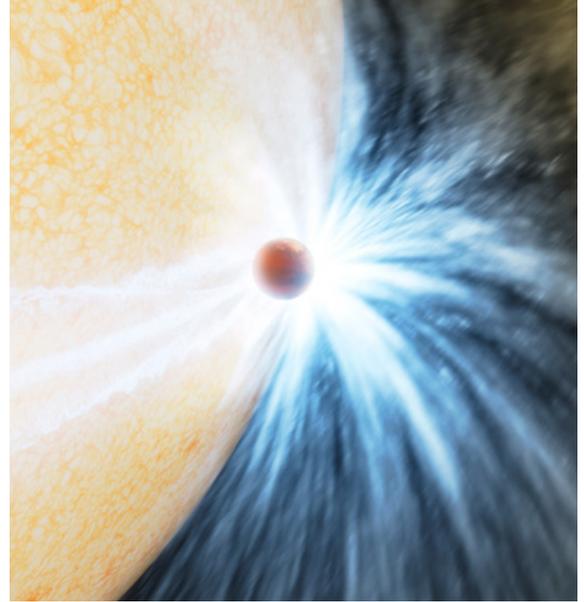
Grandi scoperte recenti

## BepiColombo osserva la magnetosfera di Mercurio

BepiColombo ha fatto centro. Un team di ricercatori guidati dall'Inaf riporta, in un articolo pubblicato su *Nature Communications*, le prime osservazioni della magnetosfera di Mercurio effettuate con l'esperimento Serena (Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances), montato a bordo della missione Esa-Jaxa per lo studio di Mercurio. La suite di strumenti Serena, a guida Inaf, ha effettuato misure senza precedenti di particelle sia solari sia planetarie con due dei suoi quattro strumenti, Picam e Mipa, già operativi. Gli altri due strumenti, Strofio ed Elena, inizieranno a lavorare dopo la messa in orbita. Il tutto con il supporto dell'Agenzia spaziale italiana.

I ricercatori hanno catturato gli spettrogrammi in energia delle particelle misurate sia fuori sia dentro la magnetosfera di Mercurio. I dati descritti nello studio fanno riferimento al primo volo ravvicinato della sonda attorno a Mercurio, nell'ottobre 2021. L'arrivo della missione su Mercurio è previsto nel 2025. Dopo i cinque voli ravvicinati già effettuati (attorno alla Terra e a Venere nel 2020, un secondo in prossimità di Venere e i primi due di Mercurio nel 2021 e nel 2022), saranno necessari altri quattro *flyby* del pianeta più vicino al Sole prima di poter inserire nella sua orbita le due sonde che compongono la missione: l'Mpo dell'Agenzia spaziale europea (Esa) e il Mercury Magnetospheric Orbiter (Mmo) dell'Agenzia spaziale giapponese (Jaxa).

▲ Il satellite BepiColombo vola su Mercurio nel rendering di un artista.  
Crediti: Esa/Jaxa



Grandi scoperte recenti

## Come muore un pianeta? Ecco la fine di un mondo

In uno studio pubblicato su *Nature*, un team di ricercatori ha riportato di aver colto sul fatto per la prima volta in assoluto – a 12mila anni luce da noi, nella costellazione dell'Aquila – il momento esatto in cui una stella morente, espandendosi, ha inghiottito un pianeta simile a Giove. Verso la fine della sua vita, il Sole si espanderà rapidamente fino a diventare una gigante rossa, inglobando tutti i pianeti interni del Sistema solare, compresa la Terra. Questo macabro spettacolo non deve tuttavia preoccuparci: esso avrà luogo quando la nostra stella avrà terminato il suo combustibile nucleare, l'idrogeno, tra circa cinque miliardi di anni. E questo è proprio il modo in cui molte stelle si avviano verso il termine della propria vita. Fino a oggi, gli astronomi erano stati in grado di osservare i momenti appena precedenti, quando i pianeti orbitano molto vicino alla loro stella, e quelli successivi, quando la stella ha ormai raggiunto dimensioni considerevoli, inghiottendo ogni cosa nelle vicinanze, compresi i pianeti. Lo studio descrive il tragico evento: la stella in questione ha aumentato la sua luminosità di circa cento volte in pochi giorni. A seguire, il lampo dell'esplosione è stato accompagnato da un segnale infrarosso più freddo e duraturo.

▲ Rappresentazione artistica di un pianeta mentre sfiora la superficie della stella che sta per inghiottirlo.  
Crediti: K. Miller/R. Hurt (Caltech/Ipac)



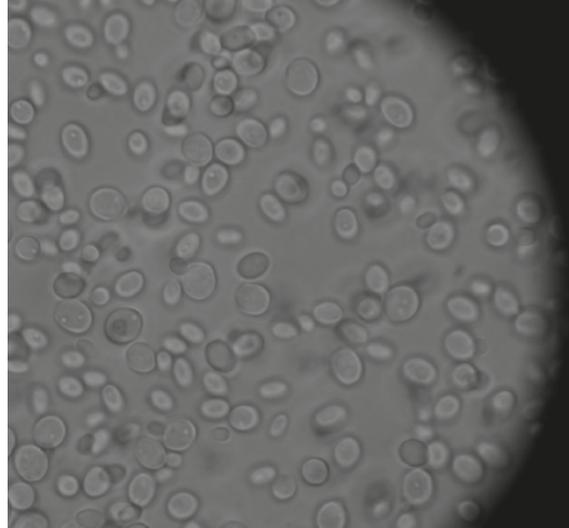
Partner e progetti dell'Inaf

## Juice alla scoperta dei segreti di Giove e delle sue lune ghiacciate

Si chiama Juice (Jupiter Icy Moon Explorer) la missione dell'Esa selezionata dallo Space Programme Committee per esplorare Giove e le sue lune ghiacciate – Ganimede, Europa e Callisto. Dopo il rinvio di 24 ore causa maltempo, è partita con successo il 14 aprile alle 14:14 UTC(IT) dallo spazioporto di Kourou, nella Guyana Francese a bordo del lanciatore Ariane 5. La missione vede una forte partecipazione italiana attraverso l'Asi. Dopo un viaggio di circa otto anni, con i suoi 10 strumenti di bordo, quattro flyby planetari per raggiungere il gigante gassoso e 35 attorno alle sue lune, Juice effettuerà osservazioni dettagliate del pianeta e dei suoi tre grandi satelliti "Galileiani", cercando di studiare quali sono le condizioni per la formazione dei pianeti, la comparsa della vita e il funzionamento del Sistema solare. Monitorerà anche il complesso ambiente magnetico, radiativo e plasmatico di Giove e la sua interazione con le lune. Gli strumenti a guida italiana sono il radar Rime, la camera Janus e lo strumento di radio scienza 3GM. A questi si aggiunge la forte partecipazione nello spettrometro Majis, guidato dall'Agenzia spaziale francese Cnes.



L'ultima missione interplanetaria dell'Esa, Juice, prende il volo dallo spazioporto europeo in Guyana Francese. Crediti: Esa/M. Pédoussaut



Curiosità dallo spazio

## Quel che serve per sopravvivere su Marte

Nonostante gli enormi sforzi della comunità scientifica, finora la ricerca di vita su Marte ha dato esito negativo. Ma se esistesse, probabilmente nella forma più semplice che riusciamo a immaginare, che tipo di sfide dovrebbe affrontare? Le condizioni ambientali sul Pianeta rosso sono a dir poco sfavorevoli. Non tanto per l'assenza di acqua, che potrebbe formarsi in piccole quantità da un processo noto come deliquescenza, quanto per la presenza di sali in grado di distruggere la struttura tridimensionale di Dna, Rna e proteine. Per capire quali adattamenti fisiologici siano necessari affinché un ipotetico microrganismo marziano possa sopravvivere a questi stress, un team di ricercatori guidato dalla Technische Universität Berlin ha studiato la risposta specifica a queste condizioni e i processi cellulari correlati in un organismo modello in grado di sopportare bene differenti concentrazioni saline: il lievito *Debaryomyces hansenii*. Il risultato? I ricercatori hanno scoperto che le risposte allo stress causato dai due sali condividono molte caratteristiche metaboliche comuni – ad esempio le stesse vie di segnalazione dello stress, l'aumento del metabolismo energetico e la formazione di composti in grado di regolare l'equilibrio salino all'interno delle cellule e mantenere il corretto volume cellulare.



Osservazione al microscopio di *Debaryomyces hansenii*.

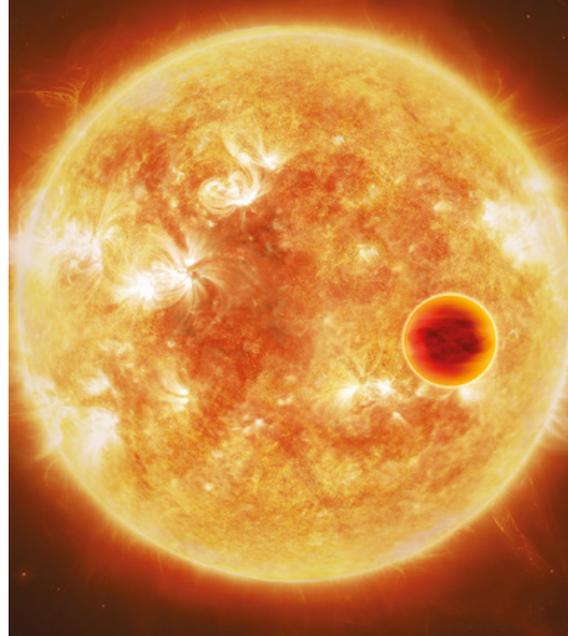


Partner e progetti dell'Inaf

## Il progetto Ska è realtà

Dopo oltre 30 anni di ideazione, progettazione e test, il progetto Ska è ufficialmente una realtà. Nel mese di dicembre hanno avuto luogo, in Australia e in Sudafrica, le cerimonie ufficiali di inizio lavori per quello che sarà il radiotelescopio più importante al mondo. Durante le celebrazioni è stato dato anche l'annuncio dell'assegnazione di quattro grandi contratti del valore di oltre 300 milioni di euro. I gruppi di antenne denominati Ska-Low e Ska-Mid costituiranno le due reti di radiotelescopi più grandi e complesse mai costruite. Promosso dall'Osservatorio Ska (SkaO), questo radiotelescopio è considerato da molti uno degli sforzi scientifici globali più ambiziosi del 21° secolo, coinvolgendo 16 Paesi in cinque continenti. L'Italia vanta una lunga tradizione nel campo della radioastronomia e tramite l'Inaf è una delle prime nazioni ad aver preso parte al progetto. Tutta la comunità scientifica italiana godrà di un coinvolgimento trasversale in Ska. I quattro contratti annunciati riguardano la costruzione delle infrastrutture in Australia e in Sudafrica (200 milioni di euro) e la produzione delle antenne a media e bassa frequenza (100 milioni di euro). Il totale dei contratti assegnati finora supera i 450 milioni di euro.

▲  
Le antenne Skala 4.1AL all'Osservatorio Radioastronomico di Murchison, nel deserto australiano.  
Crediti: Icrar

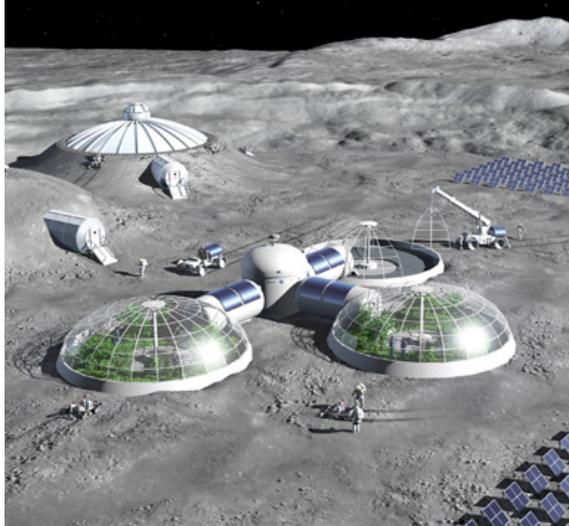


Curiosità dallo spazio

## Due "Terre" potenzialmente abitabili a 16 anni luce

Un team internazionale di ricercatori, tra cui alcuni dell'Inaf, ha scoperto la presenza di due pianeti di massa comparabile a quella della Terra in orbita attorno alla stella GJ 1002, una nana rossa distante 16 anni luce dal Sistema solare. Entrambi i pianeti orbitano all'interno della zona del sistema considerata potenzialmente abitabile, cioè a una distanza ideale dalla loro stella per mantenere in superficie acqua allo stato liquido. Condizione, quest'ultima, considerata fondamentale per ospitare forme di vita. Un anno su GJ 1002 b, il pianeta più interno, dura solo 10 giorni: tanto, infatti, il pianeta impiega per completare un'orbita attorno alla sua stella. Il secondo corpo celeste del sistema, GJ 1002 c, più distante, percorre interamente la sua orbita in 21 giorni. Questa scoperta è stata possibile grazie alle osservazioni combinate degli strumenti Espresso e CARMENES. La vicinanza della stella al nostro sistema solare rende entrambi i pianeti, GJ 1002 c in particolare, ottimi candidati per la caratterizzazione atmosferica attraverso lo studio della loro luce riflessa o dell'emissione termica.

▲  
Un esopianeta transita di fronte al disco della sua stella ospite, nel rendering di un artista.  
Crediti: Esa/Atg medialab



Curiosità dallo spazio

## Una boccata di ossigeno per future missioni spaziali

In uno studio pubblicato su *Nature Communications*, un team di ricercatori guidati dall'University of Warwick descrive un rivoluzionario dispositivo in grado di risolvere il problema dell'approvvigionamento di ossigeno a partire da una fonte di energia verde, rinnovabile e inesauribile, almeno per i prossimi circa cinque miliardi di anni: l'energia della nostra stella, il Sole. Se pensiamo che il futuro per l'umanità sia quello di esplorare e colonizzare mondi lontani, una delle sfide che dovranno essere affrontate per garantire il successo delle missioni è la necessità di produrre autonomamente in loco la preziosa molecola per la sopravvivenza degli astronauti. Questo dispositivo è simile a una cella fotoelettrochimica, al cui interno avviene la produzione, assistita dalla luce del Sole, di ossigeno a partire da anidride carbonica e acqua. Si tratta di uno strumento in grado di fare ciò che sulla Terra le piante fanno di "mestiere" con la fotosintesi clorofilliana: convertire l'acqua e l'anidride carbonica in ossigeno utilizzando la luce solare. Secondo i ricercatori, la tecnologia potrebbe essere utilizzata anche per produrre una varietà di molecole a base di carbonio come ad esempio il metano.



Rappresentazione artistica di una futura base lunare.  
Crediti: Esa/Pierre Carril



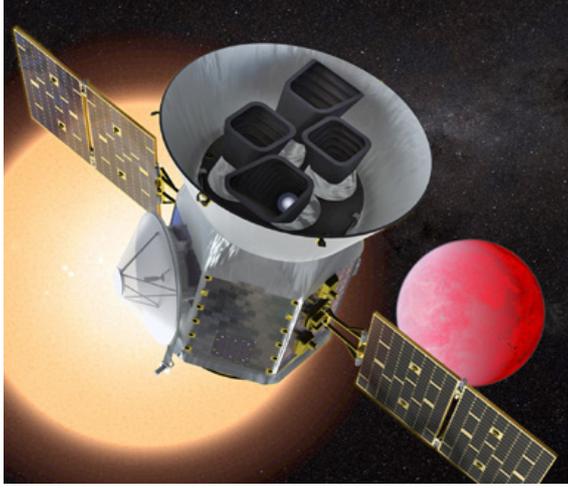
Curiosità dallo spazio

## Luna: la Russia si schianta, l'India approda

Se tutto fosse andato come previsto, la Luna avrebbe avuto due nuovi coinquilini. Ma gli imprevisti, soprattutto nello spazio, accadono di frequente: solo una delle due navicelle spaziali lanciate alla volta del nostro satellite è riuscita ad approdare. Le due protagoniste di questa storia sono le missioni Chandrayaan-3 e Luna-25, la prima battente bandiera indiana, la seconda russa. Ad aggiudicarsi un posticino sulla Luna sono stati però gli indiani, precisamente mercoledì 23 agosto, alle 14:34 ora italiana. La sonda russa, invece, probabilmente sulla Luna ci è arrivata, ma schiantandosi al suolo: alle 13:57 ora italiana di sabato 19 agosto le comunicazioni con la navicella si sono interrotte. Per adesso, quindi, la missione indiana prosegue indisturbata; fra gli obiettivi scientifici previsti ci sono soprattutto misure termiche, sismiche e mineralogiche del sito. La speranza è quella di trovare tracce della presenza di ghiaccio d'acqua. La coppia vincente prevede il lander Vikram e il rover Pragyan. Comunque vada, la missione Chandrayaan-3 è in ogni caso già un pieno successo: è la prima in assoluto ad atterrare vicino al polo sud della Luna, una regione potenzialmente ricca di ghiaccio d'acqua.



La sonda indiana Chandrayaan-3 vista dal rover Pragyan il 30 agosto 2023.  
Crediti: Isro

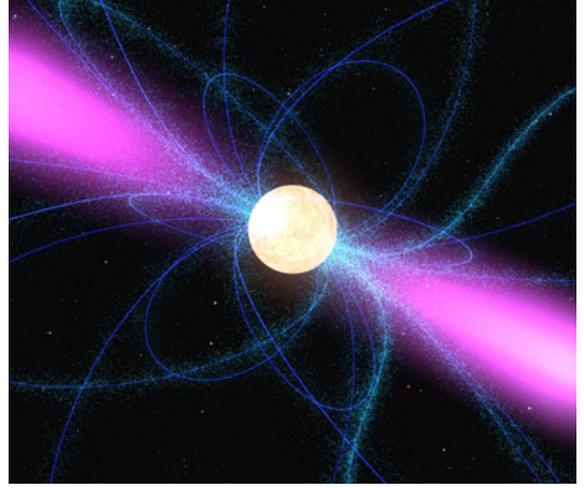


Curiosità dallo spazio

## Tess scopre l'esopianeta con l'anno più lungo

Un gruppo di scienziati dell'University of New Mexico e del Massachusetts Institute of Technology ha scoperto due degli esopianeti con il periodo più lungo trovati da Tess, il Transiting Exoplanet Survey Satellite della Nasa: Toi-4600 b e Toi-4600 c, in orbita attorno a una nana arancione, Toi-4600, una stella leggermente più piccola e più fredda del Sole. Per riuscire a rilevare un pianeta extrasolare e stabilirne correttamente il periodo, Tess deve osservare il suo transito almeno due volte. Poiché il 74% della copertura totale del cielo di Tess viene osservata solo per 28 giorni, la maggior parte degli esopianeti rilevati da Tess hanno periodi inferiori a 40 giorni. Pertanto, i periodi di 82,69 giorni (quasi 3 mesi) di Toi-4600 b e 482,82 giorni (circa 16 mesi) di Toi-4600 c riscontrati dai ricercatori, rendono la scoperta ancora più preziosa. Toi-4600 b ha un raggio che è poco meno di sette volte il raggio terrestre, tra le dimensioni di Nettuno e quelle di Saturno, e una temperatura stimata di circa 75 gradi Celsius. Il secondo pianeta scoperto, Toi-4600 c, ha un raggio che è circa nove volte e mezzo quello terrestre, ossia ha all'incirca le dimensioni di Saturno. Vista la durata del suo periodo orbitale, la prima volta che Tess l'ha osservato l'ha visto transitare solo una volta, per poi vederlo passare davanti alla sua stella una seconda volta quasi tre anni dopo.

▲ Rappresentazione artistica del Transiting Exoplanet Survey Satellite (Tess).  
Crediti: Nasa



Partner e progetti dell'Inaf

## Le pulsar ci svelano il respiro dello spaziotempo

Dai dati raccolti in oltre 25 anni da sei dei radiotelescopi più sensibili del mondo, fra cui il Sardinia Radio Telescope dell'Inaf, emergono i segni distintivi dell'esistenza di onde gravitazionali a bassissima frequenza. Si tratta di una scoperta che apre una nuova finestra osservativa nella scienza delle onde gravitazionali, e conferma l'esistenza di onde gravitazionali ultra lunghe generate da coppie di buchi neri supermassicci durante il processo di fusione fra due galassie. Il tutto è stato descritto in una serie di articoli pubblicati sulla rivista *Astronomy and Astrophysics*, firmati dagli scienziati dello European Pulsar Timing Array (Epta), in collaborazione con i colleghi indiani e giapponesi dell'Indian Pulsar Timing Array (InPta). Lo scopo è quello di utilizzare le osservazioni degli impulsi ultra regolari provenienti da stelle di neutroni chiamate pulsar per costruire un rilevatore di onde gravitazionali delle dimensioni della nostra galassia. Le pulsar si comportano come orologi naturali di alta precisione e dalla misura ripetuta di piccolissime variazioni nei tempi di arrivo dei loro impulsi è possibile misurare le minute dilatazioni e compressioni dello spaziotempo provocate dal passaggio di onde gravitazionali provenienti dall'universo lontano.

▲ Rappresentazione artistica di una pulsar, una stella di neutroni.  
Crediti: Nasa

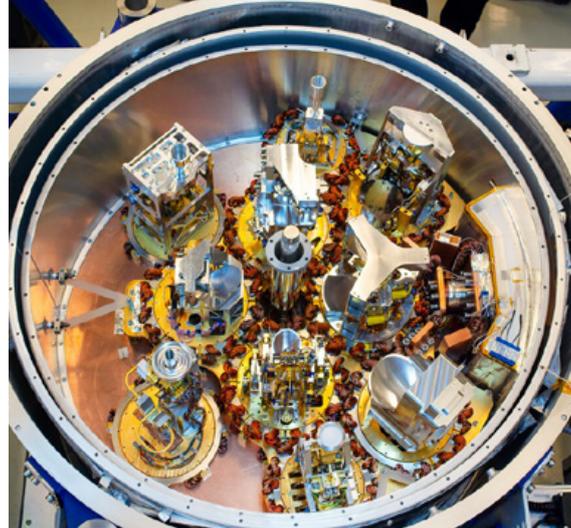


Partner e progetti dell'Inaf

## Il futuro dell'ultravioletto si chiama Cubes

La nuova generazione di telescopi giganti non manderà in pensione i grandi telescopi attualmente in uso, che potranno avvalersi di strumentazione specializzata ed efficiente per tipi particolari di onde elettromagnetiche. Nasce così l'idea di progettare e realizzare uno strumento ottimizzato per le osservazioni nell'ultravioletto, mettendo a frutto le caratteristiche del noto Very Large Telescope (Vlt), che nonostante abbia un'area di raccolta minore rispetto a Extremely Large Telescope (Elt) è però caratterizzato da delle specifiche tecniche che lo rendono molto efficiente nell'ultravioletto. Questo strumento è denominato Cassegrain U-Band Efficient Spectrograph (Cubes) e sarà il più efficiente in questo intervallo spettrale anche quando il grande Elt diventerà operativo. Cubes è uno spettrografo, ovvero uno strumento che suddivide la radiazione ricevuta nelle sue componenti spettrali. Pensiamo, per semplicità, a cosa accade quando un raggio di luce solare attraversa un prisma, ma ovviamente a un livello di sofisticazione molto maggiore. Questo permetterà agli astronomi di poter studiare con dettaglio problemi di grande rilevanza scientifica e che attendono da molto tempo di poter essere studiati in maniera efficace. Cubes è in fase di realizzazione da parte di un consorzio internazionale a guida italiana e si prevede potrà avere la "prima luce" nel 2028.

▲ Lo spettrografo Cubes verrà installato in un fuoco Cassegrain del VLT in Cile.  
Crediti: ESO/G. Hühdepohl



Partner e progetti dell'Inaf

## Prima luce interferometrica per la Banda 2 di Alma

Un gruppo internazionale di astronomi e ingegneri di Alma (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), di cui l'Eso è partner, ha effettuato le prime misure con nuovi ricevitori installati sulle antenne cilene. I ricevitori consentono ad Alma di osservare su tutto l'intervallo di frequenza finale – con lunghezze d'onda comprese tra 2,6 e 4,5 millimetri (67-116 GHz) – del progetto completo. La cosiddetta Banda 2 apre una nuova finestra sulle nostre origini cosmiche, consentendo misure che rivelano come si formano stelle e galassie lontane, fino alle origini dei pianeti e ai mattoni della vita. Alma, situato sull'altopiano di Chajnantor in Cile, è costituito da un totale di 66 antenne, ciascuna dotata di un arsenale di ricevitori molto sensibili. Ogni tipo di ricevitore osserva all'interno di una particolare banda, o intervallo di lunghezze d'onda, nella regione submillimetrica/millimetrica dello spettro elettromagnetico. In totale le varie bande coprono una finestra da 0,3 a 8,6 millimetri (da 950 a 35 GHz; bande da 10 a 1, rispettivamente). La Banda 2 apre una finestra completamente nuova a 67-84 GHz, ampliando al contempo la larghezza di banda disponibile nell'intervallo di frequenze 84-116 GHz, coperto anche dalla Banda 3.

▲ Il criostato di una delle 66 antenne di Alma completo di tutti e dieci i ricevitori.  
Crediti: S. Otavola/Jao/ESO

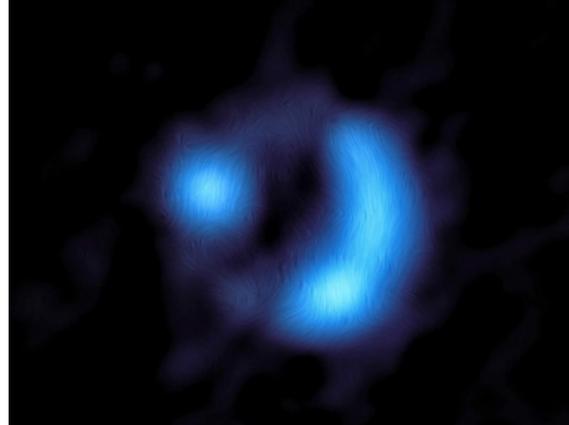


Grandi scoperte recenti

## Propulsori ad acqua sulla punta delle dita

I propulsori dei nanosatelliti del prossimo futuro potrebbero funzionare con un pieno, ma di acqua: molecole d'acqua scisse in idrogeno e ossigeno attraverso l'elettrolisi, così da ottenere un propellente a chilometro zero, direttamente nello spazio. A stupire sono le dimensioni dei nuovi "razzi" in grado di usare questa miscela: tra ugello e camera di combustione, meno d'un millimetro. Parliamo dell'Ice-Cube Thruster (dalle iniziali di Iridium Catalysed Electrolysis cubesat Thruster): un micro razzo sviluppato all'Imperial College di Londra nell'ambito del General Support Technology Program (Gstp) dell'Esa. Talmente miniaturizzato che per realizzarlo si ricorre allo stesso approccio adottato per i Mems (sistemi micro elettromeccanici), l'equivalente meccanico dei microchip. Negli ultimi test condotti in laboratorio ha consentito di ottenere una spinta di 1,25 millinewton (e generare un impulso specifico di 185 secondi). Questi propulsori non sono pensati per manovrare grosse sonde spaziali: il loro campo d'applicazione è quello dei satelliti piccoli e piccolissimi, i cubesat e i nanosat. I vantaggi che un micro razzo come questo può offrire sono enormi.

▲ Ice-Cube Thruster: ugello e camera di combustione sono all'estremità a destra.  
Crediti: Ura Thrusters

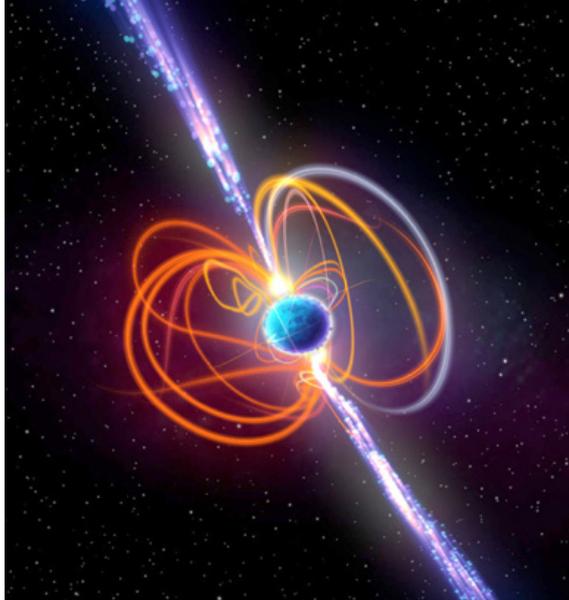


Grandi scoperte recenti

## Il campo magnetico galattico più lontano di sempre

Utilizzando l'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (Alma), un gruppo di astronomi ha rilevato il campo magnetico di una galassia così lontana che la sua luce ha impiegato più di 11 miliardi di anni per raggiungerci: la vediamo com'era quando l'universo aveva appena 2,5 miliardi di anni. Il risultato fornisce agli astronomi indizi vitali su come si sono formati i campi magnetici delle galassie come la Via Lattea. I campi magnetici sono comuni a molti corpi astronomici nell'universo, siano essi pianeti, stelle o galassie. Le galassie, per esempio come la Via Lattea, sono permeate da campi magnetici, che si estendono per decine di migliaia di anni luce. I ricercatori hanno scoperto un campo magnetico già completamente formato in una galassia distante, simile nella struttura a quello osservato nelle galassie vicine a noi. Il campo è circa mille volte più debole del campo magnetico terrestre, ma si estende per oltre 16 mila anni luce. Per effettuare questa rilevazione, pubblicata su *Nature*, l'equipe ha cercato la luce emessa dai grani di polvere in una galassia distante, 9io9. Quando Alma ha rilevato e mappato un segnale polarizzato proveniente da 9io9, è stata confermata per la prima volta la presenza di un campo magnetico in una galassia molto distante.

▲ Quella di 9io9 è la rilevazione più lontana mai effettuata del campo magnetico di una galassia.  
Crediti: Alma (Eso/Naoj/Nrao)/J. Geach et al.



### Grandi scoperte recenti

## Raro esempio di magnetar di periodo ultra-lungo

Un team internazionale guidato da astronomi della Curtin University e dell'International Center for Radio Astronomy Research (Icrar) ha scoperto un nuovo tipo di oggetto stellare che sfida la nostra comprensione della fisica delle stelle di neutroni. L'oggetto potrebbe essere una magnetar a periodo ultra-lungo, un raro tipo di stella con campi magnetici estremamente forti in grado di produrre potenti esplosioni. Fino a poco tempo fa, tutte le magnetar conosciute rilasciavano energia da pochi secondi a pochi minuti. L'oggetto appena scoperto emette onde radio per ben cinque minuti ogni 21 minuti, rendendolo la magnetar con il periodo più lungo rilevato finora. La ricerca è stata pubblicata sulla rivista Nature e nel team ci sono anche due ricercatori dell'Inaf. L'oggetto si chiama Gpm J1839-10 ed è stato scoperto utilizzando le antenne del Murchison Widefield Array (Mwa), un radiotelescopio in Australia Occidentale. La magnetar si trova a 15 mila anni luce dalla Terra ed è visibile nella costellazione dello Scudo. L'oggetto stellare è la seconda magnetar a periodo ultra-lungo mai rilevata.



Rappresentazione artistica di una magnetar a periodo ultra-lungo.  
Crediti: Icrar



### Premiazioni

## Gli attosecondi vincono il Nobel della fisica

Si chiamano Anne L'Huillier, Pierre Agostini e Ferenc Krausz e hanno vinto il premio Nobel per la fisica 2023 «per i metodi sperimentali che generano impulsi di luce ad attosecondi per lo studio della dinamica degli elettroni nella materia». In altre parole, per aver abbattuto numerose barriere sperimentali e aver dimostrato che esiste un modo per creare impulsi di luce così brevi da poter «vedere» i tempi in cui si muovono gli elettroni nella materia. Cos'è un attosecondo? Prendiamo un secondo, la durata del battito cardiaco, e lo dividiamo cinque volte per mille: otterremo il tempo scala su cui avviene il moto di un atomo. Dividiamo ancora per mille (sei volte in totale, quindi), e otterremo il tempo scala su cui si muove un elettrone all'interno di un atomo, di una molecola, e in generale della materia. Un tempo talmente piccolo che non solo è difficile da immaginare, ma anche da scrivere, ma avendo accesso al quale è possibile rispondere a domande di fisica fondamentale e che può avere ricadute pratiche in diversi campi, dall'industria dei semiconduttori alla medicina, alla chimica che studia le reazioni di catalisi e che, grazie a questa scoperta, ha aperto un nuovo campo di ricerca: l'attochimica.



Anne L'Huillier è la quinta donna in oltre un secolo a vincere il Nobel per la fisica.  
Crediti: Lund University



## Premiazioni

# L'astrofisica premiata da L'Oréal e Unesco

L'Oréal Italia, insieme alla Commissione Nazionale Unesco, ha premiato sei ricercatrici scientifiche con una borsa di studio di 20mila euro ciascuna, che permetterà loro di portare avanti i loro progetti di ricerca. Tra queste c'è anche Alice Borghese, astrofisica all'Institute of Astrophysics of the Canary Islands, che svolgerà il suo progetto dedicato allo studio delle magnetar all'Inaf di Roma. La giovane ricercatrice commenta: «Con questo premio spero di essere anch'io fonte di ispirazione per le generazioni future, soprattutto per le giovani donne che si avvicinano alla ricerca». Il bando di questa edizione ha raccolto oltre 200 candidature da tutta Italia. Il programma L'Oréal-Unesco For Women in Science si impegna per permettere a un numero sempre maggiore di scienziate di superare le barriere all'avanzamento di carriera e contribuire a risolvere le grandi sfide dei nostri tempi, a beneficio di tutti. In 25 anni il programma ha sostenuto oltre 4100 ricercatrici di oltre 110 paesi, premiando l'eccellenza scientifica e ispirando le generazioni di giovani donne a perseguire la loro carriera.

Cinque di queste scienziate, dopo aver vinto il premio L'Oréal-Unesco, sono state insignite del premio Nobel: tra loro Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna, vincitrici del Nobel per la Chimica nel 2020.

▲  
Le ricercatrici premiate con il Presidente e AD di L'Oréal Italia Emmanuel Goulin.  
Crediti: L'Oréal Italia / Unesco



## Premiazioni

# A LICIACube il premio "Missione smallsat" dell'anno

Il microsatellite italiano LICIACube ha vinto il primo premio "Aiaa SmallSat Award", conferito dall'American Institute of Aeronautics and Astronautics (Aiaa). La selezione della "Missione dell'anno" è il culmine di un processo iniziato con l'individuazione di una rosa di nove finaliste, tra le quali LICIACube era l'unica missione italiana, seguito da un sondaggio online in cui persone di tutto il mondo hanno votato quella ritenuta la più meritevole. Il premio è andato infine all'Italia. Il nanosatellite LICIACube è stato progettato, costruito e operato dalla società Argotec, e la missione – coordinata e gestita dall'Agenzia spaziale italiana – ha visto il coinvolgimento di un ampio team nazionale guidato dall'Inaf e composto dal Politecnico di Milano, dall'Università di Bologna, dall'Università di Napoli "Parthenope" e dal Cnr-Ifac "Nello Carrara". LICIACube ha contribuito alla prima missione di difesa planetaria attiva dell'umanità, attuata con successo dalla sonda Dart della Nasa che il 26 settembre 2022, a una distanza di 11 milioni di km dalla Terra, ha impattato contro l'asteroide Dimorphos, il più piccolo del sistema doppio Didymos, al fine di testare la tecnica dell'impatto cinetico per deviare la traiettoria di un corpo celeste.

▲  
L'impatto di Dart sull'asteroide Dimorphos ripreso da LICIACube.  
Crediti: Asi/Nasa/Simeon Schmauß

# I tesori di Juice e Euclid

di Claudia Mignone

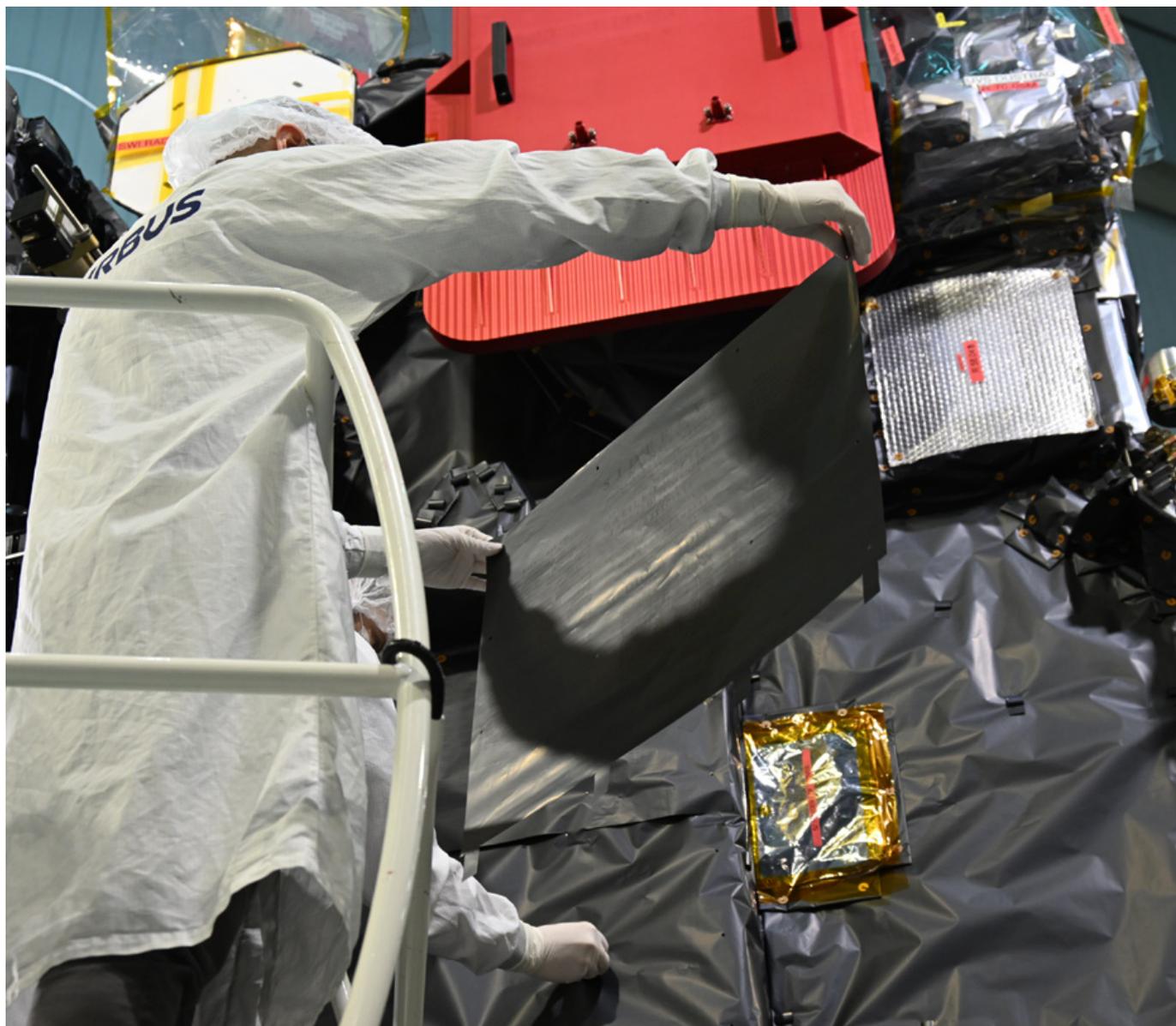
**Due missioni dell’Agenzia spaziale europea si fanno ricerca, ma anche testimonianza di bellezza. Juice ed Euclid studiano le nostre origini cosmiche portando con loro alcuni dei tratti più peculiari dell’umanità: la creatività artistica e il passato storico.**

Una ha per destinazione Giove, il più grande tra i pianeti alla corte del Sole, che a sua volta coltiva una ragguardevole corte di piccole e grandi lune, in cerca di condizioni favorevoli al fiorire della vita. L’altra è destinata a restare più vicino, un milione e mezzo di chilometri da Terra, in quel secondo punto lagrangiano attorno al quale si affollano satelliti tra i più ambiziosi concepiti dall’umanità; da lì si spingerà a distanze che sfidano l’immaginazione più ardita, miliardi di anni addietro nella storia del cosmo per comprendere la natura delle misteriose componenti che lo permeano: la materia oscura e l’energia oscura. Sono rispettivamente Juice (Jupiter Icy Moons Explorer) ed Euclid, due missioni dell’Agenzia spaziale europea che, oltre all’anno dell’atteso lancio, condividono la ricerca delle nostre origini cosmiche, dai primordi dell’universo ai primi tasselli della vita. Condividono pure tanto contributo italiano, dalla scienza alla tecnologia, e un altro piccolo dettaglio: entrambe portano a bordo un manufatto dell’ingegno e della creatività umana.

Juice studierà da vicino Ganimede, Europa e Callisto, tre delle quattro “lune galileiane” in orbita attorno a Giove, scoperte dal celebre astronomo italiano che per primo scrutò la volta celeste con un occhio potenziato. Galileo pubblicò le sue prime osservazioni al cannocchiale nel *Sidereus Nuncius*, stampato nel 1610 in 550 esemplari e celebrato oggi con una placca sulla navicella spaziale recante la riproduzione di alcune pagine iconiche. A fornire le pagine, stampate sull’isolante multistrato che avvolge la sonda per mantenerne stabile la tempe-

**SIDEREUS NUNCIUS**  
Una delle prime 550 copie stampate a Venezia nel 1610 è oggi custodita nella biblioteca del Museo astronomico Copernicano dell’Istituto nazionale di astrofisica, Roma.





#### GUARDA CHE LUNE

Il pannello della coperta termica, con incise le prime osservazioni delle lune di Giove da parte di Galileo, viene fissato sulla sonda Esa Juice.  
Crediti: ESA/M.Pedoussaut

ratura, è stato l'Istituto nazionale di astrofisica, che custodisce fra i suoi tesori storici ben due copie del rivoluzionario volume, presso le sedi di Roma e Milano.

Euclid, invece, punta i suoi due occhi – uno ottico e l'altro infrarosso – sull'universo lontano. Misurando minute distorsioni nelle immagini di miliardi di galassie proverà a dare un volto alla sfuggente materia oscura che pervade l'universo e deflette il percorso della luce proveniente da sorgenti più distanti. Ponderando le distanze in questo mare di galassie, potrà anche ricostruire la storia di espansione del cosmo e afferrare l'intangibile energia oscura. Un'impresa monumentale, immortalata dall'artista Lisa Pettibone nell'opera d'arte collettiva *The fingertip galaxy*, creata durante uno dei meeting annuali del consorzio che ha costruito Euclid. Nel corso di vari giorni, oltre 250 tra scienziati e ingegneri da tanti paesi d'Europa e del mondo hanno lasciato un segno su una tela con la punta delle dita intinta d'inchiostro, dando lentamente forma a una galassia. L'opera, incisa al laser su una placca di alluminio, fa bella mostra di sé su un fianco del telescopio spaziale, memento di quel pezzo d'umanità che ha concepito la missione e che, a bordo della sonda, vivrà ben oltre le nostre speculazioni sulla natura e il destino ultimo dell'universo. ■

# Con Ma\_Miss, a caccia di vita in punta di trapano

di Giuseppe Fiasconaro

**Esiste o è mai esistita vita oltre la Terra? È una domanda che gli astrobiologi si pongono da tempo. Rispondere a questo interrogativo significa trovare le tracce lasciate da eventuali esseri viventi. Firme biologiche, così le chiamano gli addetti ai lavori. Ma dove cercarle? Se restringiamo il campo di ricerca al Sistema solare, Marte è uno dei luoghi migliori.**

Marte oggi è un mondo freddo, secco e apparentemente inhospitale, ma circa quattro miliardi di anni fa era molto simile alla Terra primordiale. Entrambi erano pianeti caldi e umidi. Entrambi avevano vulcani attivi. Ma soprattutto, entrambi contenevano acqua, alla base della vita come la conosciamo. È dunque ragionevole pensare che qualunque sia stato il processo responsabile dell'affermarsi della vita sulla Terra, questo potrebbe essersi verificato anche su Marte. Ci sono poi almeno altre tre buone ragioni per cui il pianeta è un buon candidato per la ricerca di vita. La prima ragione è che, se esiste o è esistita, questa vita non dovrebbe essere così esotica da sfuggire al riconoscimento. La seconda è che, rispetto ad altri pianeti, Marte è più "facilmente" raggiungibile. La probabile persistenza nel sottosuolo di parte dell'acqua presente un tempo in superficie, infine, è la terza ragione. Per questi motivi, la ricerca di firme biologiche (anche dette bio-firme) sul pianeta è un campo di ricerca di grande interesse.

Una delle missioni che verranno lanciate nel prossimo futuro con quest'obiettivo è quella del rover Rosalind Franklin dell'Esa. Il programma di scienza ed esplorazione robotica della missione si chiama, non a caso, *Exobiology on Mars* (ExoMars). Rosalind Franklin sarà il primo rover europeo ad esplorare Marte e il primo in assoluto a combinare la capacità di muoversi sulla superficie con quella di studiare il pianeta in profondità grazie alla sua "unità di perforazione", un trapano capace di perforare fino a due metri sotto la superficie, acquisire campioni, estrarli e consegnarli all'interno del rover per la successiva analisi chimica. Situato all'interno di questa "unità di perforazione" c'è uno spettrometro miniaturizzato interamente

**Qualunque sia stato il processo responsabile dell'affermarsi della vita sulla Terra, potrebbe essersi verificato anche su Marte**



#### **SOTTO LE STELLE A TRAPANAR**

Marzo 2023: il gemello del rover Esa Rosalind Franklin scava per 1,7 metri in un terreno simile a quello marziano, in Italia, più di quanto qualsiasi altro rover abbia mai tentato su Marte.  
Crediti: Esa/S. Corvaja

costruito in Italia, la cui supervisione scientifica è dell'Inaf. Il suo nome è Ma\_Miss (*Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies*).

Ma\_Miss studierà le proprietà ottiche e fisiche delle rocce del sottosuolo. Ma non solo, però. Uno studio che coinvolge diversi ricercatori Inaf – condotto su terreni analoghi a quelli marziani arricchiti con molecole organiche (ad esempio la glicina, il più semplice tra gli amminoacidi), utilizzando il modello di laboratorio disponibile presso l'Inaf di Roma – ha dimostrato che lo strumento è in grado di rilevare anche sostanze organiche presenti all'interno di un campione fino alla quantità minima dell'1% in peso. Ovviamente, non tutti i composti organici sono di per sé un segno di vita. Alcune molecole organiche specifiche, tuttavia, si trovano nelle cellule viventi e, se scoperte, potrebbero fornire prove della vita su Marte. È vero, potrebbero trattarsi di tracce di vita estinta, ma poco importa se questo può fornire la prima indicazione diretta della presenza di vita oltre la Terra. ■

Sono coinvolti oltre **70** enti, associazioni pubbliche e private



della dimensione di una bottiglietta da 1/2 l

ATMOSFERA

Asteroidi o Meteoroidi

Meteorore

Meteoriti

**Le meteore** in grado di originare meteoriti sono grandi almeno quanto un **pallone da calcio** al loro ingresso in atmosfera

**Le meteoriti** sono quei frammenti di meteoroidi e piccoli asteroidi che sopravvivono al passaggio in atmosfera, e cadono al suolo

**Le dimensioni variano da pochi centimetri fino a qualche metro**

Osserva i cieli italiani in cerca di **meteore brillanti** (fireball o bolidi), ricava l'area di caduta al suolo di eventuali frammenti e coordina le ricerche sul campo delle meteoriti

La traiettoria degli oggetti individuati da Prisma permette di delimitare l'area di ricerca al suolo, ma anche di risalire all'asteroide da cui un corpo ha avuto origine



I cittadini partecipano attivamente alla ricerca delle meteoriti cadute e possono segnalare bolidi di cui sono stati testimoni oculari

Attività

**6**anni

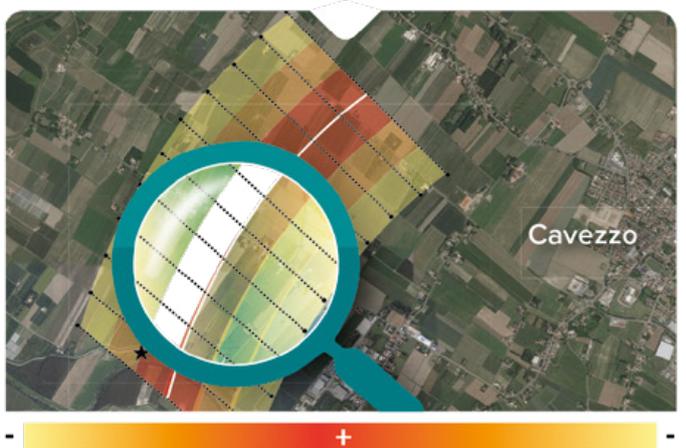
Avvistamenti

**~3.000**

**2** meteoriti recuperate in Italia grazie al **Progetto PRISMA**

**Mappa con fasce di probabilità della caduta**

Individuata l'area di caduta, sono attivate **squadre di recupero composte sia da professionisti sia da volontari** coinvolti grazie alla collaborazione della popolazione e delle autorità locali



# PRISMA: A CACCIA DI METEORITI

Il progetto di ricerca e di *citizen science* promosso e coordinato dall'Istituto nazionale di astrofisica

di **Daniele Gardiol**  
Coordinatore nazionale Prisma

**T**utto è cominciato all'Osservatorio Astrofisico di Torino nel dicembre 2015: l'idea di realizzare una rete italiana di telecamere per l'osservazione e il recupero di meteoriti. Una rete che poi è entrata in funzione a metà del 2017. La prima rete italiana per la sorveglianza sistematica di meteore e atmosfera, il cui acronimo è Prisma, fa parte del network internazionale Fripon da cui eredita la tecnologia. Nel tempo è diventata il principale punto di riferimento per la scienza di meteore e meteoriti in Italia.

Prisma contribuisce al recupero di meteoriti "fresche", cioè appena cadute, e quin-

di non contaminate dagli agenti terrestri. Si tratta di oggetti fondamentali per lo studio dei processi di formazione ed evoluzione del nostro Sistema solare. Invisibili anche ai più potenti telescopi terrestri e spaziali, gli asteroidi di piccole dimensioni, inferiori a 10 metri, sono invece intercettati da Prisma, che è così in grado di determinare la regione di provenienza e, in prospettiva, di individuare oggetti potenzialmente pericolosi per il nostro pianeta.

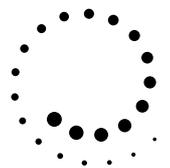
L'ultima battuta di caccia alla meteorite si è tenuta nei boschi vicino Armungia, un paesino a poco più di un'ora di auto da Cagliari. Tutto è cominciato la sera dell'8 ottobre 2023 quando due camere Prisma, al Sardinia Radio Telescope di San Basilio e sul Gennargentu, hanno avvistato un fireball. Si è "acceso" nel cielo della Sardegna a un'altezza di 78,3 chilometri per poi estinguersi a 28. La traiettoria percorsa, con direzione da sud-est verso nord-ovest, era molto inclinata rispetto alla superficie terrestre, tanto che i quasi 50 chilometri di caduta sono stati percorsi in appena 3,6 secondi. All'inizio della traiettoria luminosa, il meteoroido si muoveva a una velocità di 16,5 km/s, che è qualcosa di piuttosto comune per un corpo di origine asteroidale. Alla fine la velocità è scesa a 4,2 km/s.

Una meteorite è caduta a terra: è stata stimata una massa finale di  $160 \pm 60$  g, pari a un oggetto del diametro di circa 4-5 cm. Non è stato trovato. Se passate da quelle parti... occhi aperti. ■

**Prisma è la prima rete italiana per la sorveglianza sistematica di meteore e atmosfera. Il principale punto di riferimento per la scienza di meteore e meteoriti in Italia**

# Zona abitabile: e se l'acqua non bastasse?

di Riccardo Spinelli, Francesco Borsa  
e Giancarlo Ghirlanda



STELLE, POPOLAZIONI  
STELLARI E MEZZO  
INTERSTELLARE

**Nella definizione di abitabilità planetaria rientra la presenza di acqua allo stato liquido come condizione necessaria per lo sviluppo di un ecosistema vivente. Ma è sufficiente? Sembra di no. La radiazione ultravioletta è uno dei fattori chiave per innescare alcuni processi che portano alla formazione dei mattoni fondamentali della vita.**





La scoperta di sistemi planetari fuori dal Sistema solare ha fatto riaffiorare l'interesse per alcune domande che l'essere umano, istintivamente, si pone da sempre: siamo soli? siamo speciali? esistono altre forme di vita nell'universo?

La ricerca esoplanetaria studia per definizione gli *altri* sistemi planetari, ma può rispondere anche ad alcune domande su di *noi*. Studiando gli altri sistemi planetari, ad esempio, potremo capire quanto la struttura del Sistema solare sia comune nell'universo. Allo stesso modo, la ricerca di vita fuori dall'atmosfera terrestre potrebbe in futuro fornire alcuni indizi utili a capire quali condizioni siano davvero indispensabili per la vita (come la conosciamo noi) e anche come la vita si sia originata sulla Terra.

## PIANETI POTENZIALMENTE ABITABILI

Il più grande limite della ricerca di vita extra-terrestre è il fatto che l'unica vita che conosciamo è quella intorno a noi. Non sappiamo se è l'unica possibile, non sappiamo come si è originata, non sappiamo come sono avvenuti alcuni suoi fondamentali passaggi evolutivi. Nonostante ciò, una delle strategie adottate dai programmi di ricerca esoplanetaria e astrobiologica è identificare le condizioni che appaiono indispensabili per lo sviluppo della vita sulla Terra e concentrare gli sforzi osservativi in quelle regioni fuori dal Sistema solare dove possono esistere tali condizioni. Queste condizioni sembrano essere essenzialmente tre: la presenza di alcuni elementi chimici (carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, fosforo e zolfo), che sono i

mattoni fondamentali degli esseri viventi intorno a noi; una sorgente di energia stabile e duratura che consenta agli esseri viventi di portare a termine alcune reazioni fondamentali per la loro esistenza; la presenza di un solvente, come l'acqua liquida, dove le reazioni chimiche necessarie per la vita possano avvenire rapidamente. La condizione più stringente tra queste tre sembra essere l'ultima.

Difatti, l'universo è popolato da numerosissime fonti di energia (le stelle) e anche gli elementi chimici necessari alla vita sulla Terra sembrano essere molto diffusi (tanto che diverse molecole organiche sono state osservate anche nel mezzo interstellare). Questi requisiti ci suggeriscono, quindi, che il luogo più probabile dove trovare contemporaneamente queste tre condizioni è una regione a forma di anello attorno alle stelle, dove l'irraggiamento della stella consenta a un pianeta roccioso di avere una temperatura né troppo calda né troppo fredda, adatta alla presenza di acqua liquida sulla sua superficie. Questa regione è stata denominata "zona abitabile circumstellare", e un pianeta che si trova in questa zona può sperimentare queste condizioni, anche se ciò non significa che le sperimenti davvero né che sia abitato. A oggi sono stati scoperti circa una sessantina di pianeti rocciosi orbitanti nella zona abitabile delle loro stelle. Per ragioni osservative, la maggior parte di essi è stata scoperta attorno alle nane rosse, stelle più piccole (massa minore di 0,45 masse solari) e più fredde del Sole (temperatura inferiore a 3700K contro i 5800K della nostra stella), ma che rappresentano circa il 75% delle stelle della Galassia. Ovviamente queste stelle, essendo fredde, hanno una zona abitabile molto vicina a loro (circa il 10% della distanza Terra-Sole), con il risultato che i pianeti in zona abitabile orbitano attorno a queste stelle con un periodo anche minore di 20 giorni.

## NON TUTTE LE STELLE SONO UGUALI

Tutte le stelle hanno una zona abitabile intorno, è quindi lecito chiedersi se esistano stelle più adatte di altre per la vita. Una stella è un sistema che emette energia sotto for-

### ESSERCI È UN'ALTRA COSA

Alla pagina precedente: chi fa ricerca sugli esopianeti può fare ricorso a modelli tridimensionali della superficie dei pianeti rocciosi elaborati con supercomputer, a partire da versioni generalizzate del modello climatico terrestre.  
Crediti: Iau/L. Calçada

# La ricerca di vita fuori dall'atmosfera terrestre potrebbe in futuro fornire alcuni indizi utili a capire quali condizioni siano davvero indispensabili per la vita e come si sia originata sulla Terra

## SIMULAZIONI

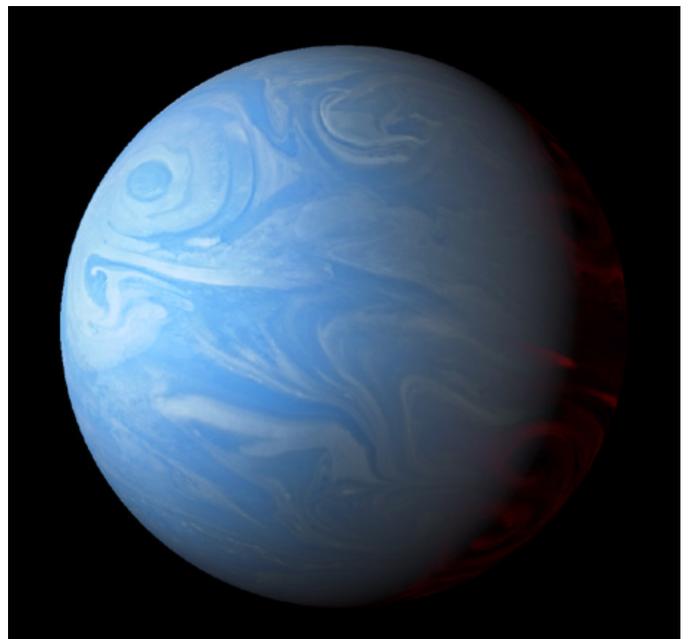
Giganti gassosi, in orbita attorno a stelle lontane, ricreati da un software di simulazione 3D open source che permette la navigazione e l'osservazione in tempo reale di oltre 100mila oggetti fra stelle, costellazioni, comete, pianeti, lune e asteroidi.  
Crediti: Celestia 1.7.0

ma di radiazione finché non si esauriscono le reazioni nucleari al suo interno. Che tipo di energia emette (ovvero con quale intensità e a quale frequenza) e per quanto tempo sono i due elementi fondamentali che determinano quanto una stella è adatta a ospitare la vita. Il tempo di fornitura stabile di energia dipende dalla massa della stella. Una stella massiccia per non collassare sotto l'effetto dell'alta gravità deve bruciare carburante in modo veloce; deve, in altre parole, emettere tanta radiazione, e riesce a farlo per poco tempo. Una stella di quattro masse solari, ad esempio, rimane stabile per circa 300 milioni di anni, e questo potrebbe non consentire alla vita il tempo necessario per originarsi ed evolversi. Al contrario le nane rosse, con masse minori di 0,45 masse solari, possono bruciare carburante in modo lento, offrendo alla possibile vita attorno a loro un tempo potenzialmente molto lungo: ad esempio, una nana rossa che ha un terzo della massa del Sole potrà offrire un tempo ai pianeti in zona abitabile di circa 160 miliardi di anni, 16 volte il tempo che offre il Sole alla Terra.

Ma, come accennato prima, non conta solo il tempo, conta anche che tipo di energia emette la stella.

## ZONA UV ABITABILE

L'emissione ultravioletta, ad esempio, può essere un fattore determinante nel definire l'abitabilità di un pianeta. Molti studi hanno evidenziato che un'alta dose di radiazione ultravioletta può essere dannosa per la vita, perché può erodere l'atmosfera di un pianeta abitabile e può distruggere molte biomolecole. D'altra parte, anche se non abbiamo una teoria condivisa sull'origine della vita sulla Terra, abbiamo alcuni indizi che suggeriscono che la radiazione ultravioletta (in particolare quella definita vicino-ultravioletta, compresa tra 200 e 280 nanometri) possa avere un ruolo fondamentale per creare alcuni mattoni indispensabili per la vita. Uno di questi mattoni, l'acido ribonucleico (Rna) è considerato secondo la teoria del mondo a Rna, la prima macromolecola in grado di immagazzinare l'informazione e autoreplicarsi e dalla quale poi tutta la vita intorno a



## Che tipo di energia una stella emette e per quanto tempo sono i due elementi fondamentali che determinano quanto la stella sia adatta a ospitare la vita

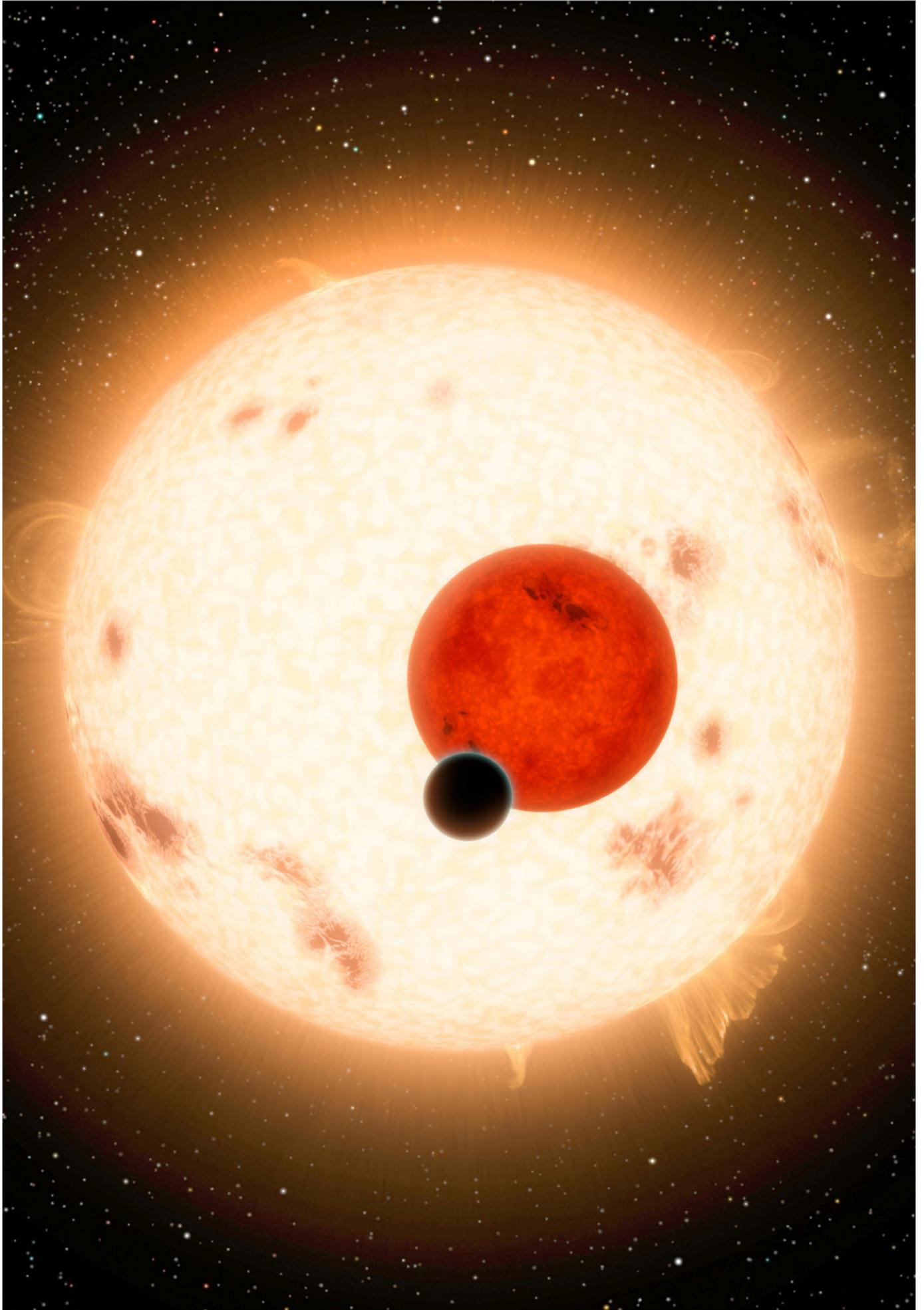
noi si è evoluta. Sappiamo, ad esempio, che la radiazione ultravioletta era la sorgente di energia libera più abbondante sulla Terra primordiale e in aggiunta osserviamo che l'Rna mostra una resistenza alla luce ultravioletta maggiore di altre macromolecole con simili proprietà. Questo potrebbe suggerire che l'Rna sia una molecola emersa ed evoluta in un ambiente con alto irraggiamento ultravioletto. Infine, numerosi esperimenti dimostrano che alcuni composti chimici sottoposti a radiazione ultravioletta producono efficientemente zuccheri, lipidi, amminoacidi e nucleotidi, tutte molecole fondamentali per la vita che conosciamo noi.

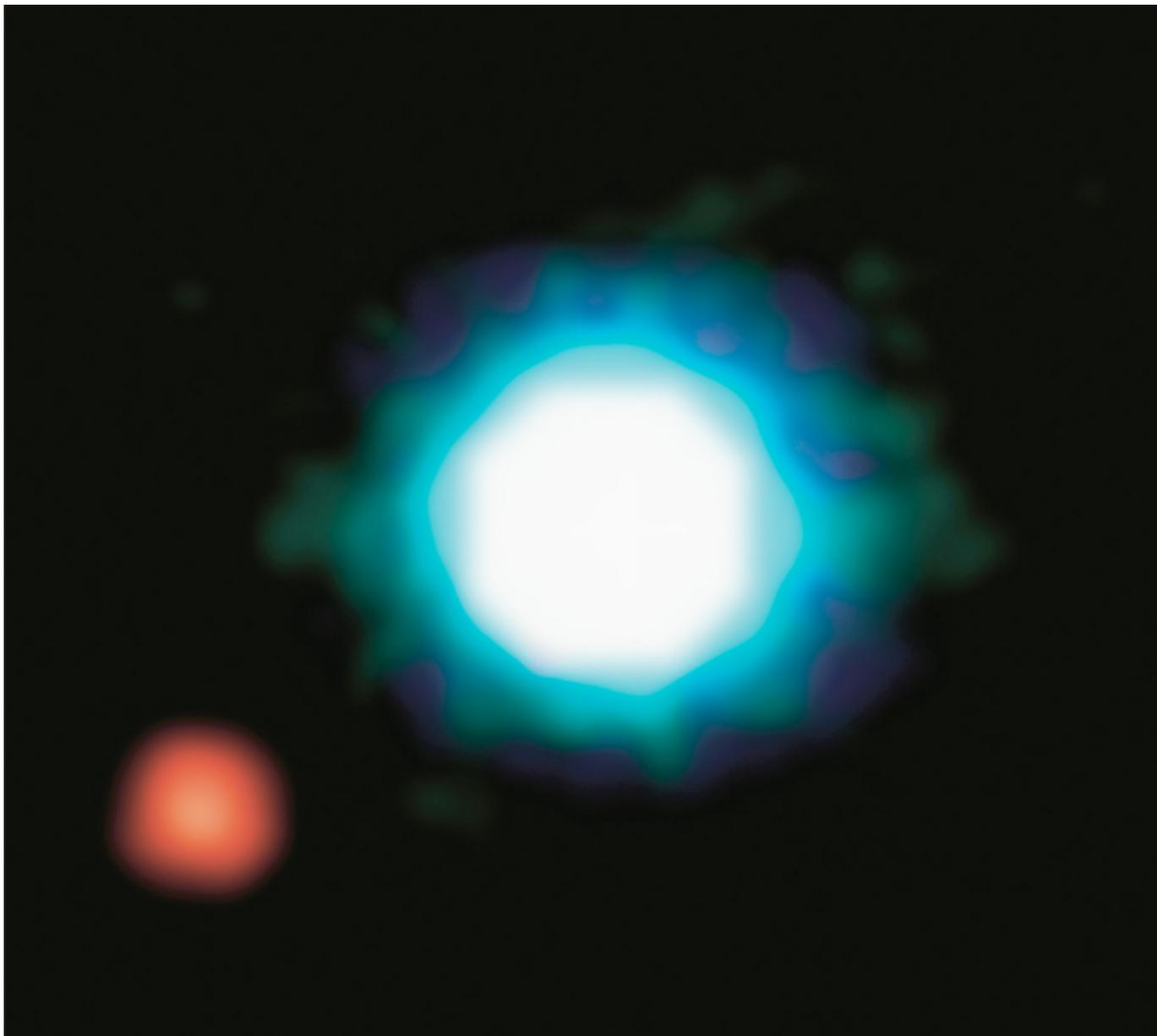
In un esperimento condotto nel 2018, Paul Rimmer, astrochimico dell'University of Cambridge, e John Sutherland, biochimico dell'Mrc Laboratory of Molecular Biology di Cambridge, hanno dimostrato che in un composto di ioni di acido cianidrico e di acido solfidrico in acqua, esposto a luce vicino-ultravioletta, vengono generati alcuni importanti precursori dell'Rna. Lo stesso esperimento condotto dal medesimo gruppo, non genera questi precursori in assenza di lampade ultraviolette. Tutto questo ci suggerisce che probabilmente esiste una dose di radiazione ultravioletta massima tollerabile per le macromolecole fondamentali per la vita e una dose minima necessaria per la loro formazione. Quanta radiazione ultravioletta investe un pianeta attorno a una stella dipende da quanta radiazione emette la stella e dalla distanza a cui il pianeta orbita. Ciò permette di definire una zona attorno alle stelle dove un pianeta può sperimentare delle condizioni adatte all'origine e alla persistenza della vita come la conosciamo noi. In questa zona un pianeta riceve abbastanza radiazione Uv per innescare la sintesi dei mattoni fondamentali della vita, ma non troppa da distruggerli. Un team di ricercatori dell'Inaf ha definito questa fascia

“zona Uv abitabile” e ha investigato se gli esopianeti scoperti che orbitano nella zona abitabile (e quindi hanno speranza di avere acqua liquida sulla loro superficie) orbitano anche nella zona Uv abitabile. L'indagine è stata condotta analizzando le osservazioni di un campione di 17 stelle che ospitano 23 pianeti in zona abitabile tramite l'Ultraviolet and Optical Telescope (Uvot), uno dei tre strumenti a bordo del Neil Gehrels Swift Observatory, osservatorio spaziale della Nasa con una importante partecipazione italiana dell'Asi e dell'Inaf. Dai dati raccolti è stato dedotto che le nane rosse nel campione in esame emettono troppa poca radiazione vicino-ultravioletta per innescare l'origine della vita secondo la chimica proposta da Rimmer e Sutherland, mentre le stelle più calde riescono a fornire ai pianeti orbitanti nella zona abitabile una radiazione ultravioletta sufficiente a innescare i processi per la formazione dei mattoni fondamentali per la vita senza distruggerli. Le nane rosse rappresentano il 75% delle stelle della Galassia e le loro proprietà facilitano l'osservazione dei pianeti in zona abitabile. L'analisi del gruppo di ricercatori dell'Inaf sembra suggerire dunque che la maggior parte delle stelle nella Galassia ha poca possibilità di innescare la formazione dei composti fondamentali per la vita nella loro zona abitabile secondo la chimica di Rimmer e Sutherland. Tuttavia, ulteriori osservazioni sono necessarie per confermare o smentire questo scenario, in quanto le nane rosse potrebbero innescare tali processi attraverso brillamenti in banda ultravioletta oppure durante le prime fasi di vita della stella, quando l'emissione Uv delle stelle è maggiore. L'estensione del campione in esame, formato finora solo da stelle vecchie con età maggiore di tre miliardi di anni, sta fornendo risultati promettenti suggerendo che per le nane rosse più calde la zona abitabile e la zona Uv abitabile potreb-

### SISTEMA BINARIO

Alcuni pianeti orbitano attorno non a una, bensì a due stelle. Il primo pianeta scoperto a farlo è stato Kepler 16b, rilevato dalla missione Nasa Kepler.  
Crediti: Nasa/Jpl-Caltech





**L'estensione del campione in esame potrebbe arrivare a suggerire che le condizioni per la formazione di vita come la conosciamo possano essere presenti attorno alla maggior parte delle stelle della Galassia, anche se in momenti diversi della loro evoluzione**

bero intersecarsi durante il primo miliardo di anni dell'evoluzione del sistema planetario, in una regione con radiazione Uv sufficiente per innescare la formazione dell'Rna in presenza di acqua liquida superficiale. Se confermato, questo risultato suggerirebbe che le condizioni per la formazione di vita come la conosciamo possano essere presenti attorno alla maggior parte delle stelle della Galassia, anche se in momenti diversi della loro evoluzione.

#### **ALLA RICERCA DELLA VITA**

Uno dei principali obiettivi dello studio delle atmosfere esoplanetarie è la ricerca di biomarcatori, cioè molecole che possono essere associate alla presenza di vita. In questo contesto, Andes, uno spettrografo ad alta

#### **LA PRIMA VOLTA**

2M1207b: è stato uno tra i primi esopianeti a essere stato osservato direttamente da Terra, nel 2004. Si tratta di pianeta che ha cinque volte la massa di Giove e orbita attorno a una nana bruna a circa 55 volte la distanza dalla Terra al Sole.

Crediti: Eso

## MONDI LONTANI

Un'illustrazione che mostra i sette pianeti del sistema solare di TRAPPIST-1 come potrebbero apparire se visti dalla Terra utilizzando un telescopio immaginario e incredibilmente potente.

Crediti: Nasa/Jpl-Caltech

risoluzione a guida dell'Inaf destinato all'Extremely Large Telescope (Elt), si pone tra gli obiettivi principali quello di rilevare segni di vita su pianeti simili alla Terra. Nei prossimi decenni la scoperta di vita in sistemi diversi dalla Terra potrebbe darci indicazioni sulle reali condizioni imprescindibili per la vita e anche sull'origine della vita sulla Terra. La caratterizzazione degli ambienti esoplanetari risulta cruciale per capire in quali condizioni la vita può emergere e prosperare. A tal proposito sarà rilevante la sinergia tra i telescopi dedicati all'osservazione delle atmosfere planetarie (come ad esempio Jwst e il futuro telescopio dell'Esa Ariel) e quelli dedicati allo studio dell'emissione stellare ultravioletta (come il futuro cubesat Nasa Mantis, con partecipazione dell'Inaf). L'e-

ventuale scoperta di vita in ambienti molto diversi da quelli sperimentati sulla Terra cambierebbe drasticamente le condizioni che ci appaiono imprescindibili per la sua esistenza. Ad esempio, la scoperta di vita su pianeti abitabili attorno a stelle molto fredde, che non riuscirebbero a fornire la radiazione ultravioletta necessaria per l'origine della vita secondo la chimica proposta da Rimmer e Sutherland, potrebbe farci rigettare l'ipotesi che la luce ultravioletta sia fondamentale per la formazione della vita. In qualche modo, i sistemi esoplanetari potrebbero rappresentare in un lontano futuro anche dei laboratori per studiare la vita come la conosciamo, indicandoci le condizioni che ne hanno permesso l'origine sulla Terra. ■



# Alla ricerca delle nostre origini cosmiche

di Giuseppe Fiasconaro

**Come rintracciare le nostre origini cosmiche? L'Inaf lo sta facendo attraverso la chimica e quindi lo studio di molecole interstellari in una fase di sviluppo di vita precedente a quello che noi conosciamo.**

Comprendere l'origine della vita sulla Terra è anche una questione di chimica extra-terrestre. Per essere precisi, di chimica del mezzo interstellare, il materiale rarefatto composto da gas e polveri che si trova tra le stelle in una galassia. All'interno di questo mezzo si trovano grandi addensamenti di gas, che sono il luogo di nascita di stelle e pianeti nonché un importante serbatoio di molecole che potrebbero aver giocato un ruolo cruciale nell'origine esogena della vita sulla Terra e, forse, anche altrove.

In queste culle stellari, gli atomi, al riparo dalla radiazione ultravioletta emessa dalle stelle, si uniscono a formare svariate specie chimiche. Le molecole organiche complesse interstellari (*Interstellar complex organic molecules*, iCOMs) sono tra queste. Si tratta di molecole composte da almeno sei atomi contenenti carbonio, alcune delle quali sono considerate prebiotiche, cioè specie chimiche antenate di molecole biologiche alla base dello sviluppo della vita così come la conosciamo. Sintetizzate sia sulla superficie ghiacciata dei grani di polvere interstellare sia in fase gassosa, l'identificazione di queste specie chimiche e la comprensione della loro evoluzione da molecole semplici a specie via via più complesse è uno degli aspetti più interessanti della ricerca astrofisica degli ultimi anni. La disciplina che si occupa del loro studio è l'astrochimica, che vede il coinvolgimento anche dell'Inaf.

In particolare, l'Inaf è leader a livello mondiale nella rilevazione e nello studio di molecole interstellari particolarmente interessanti nel campo dell'astrobiologia. Un risultato, questo, raggiunto partecipando insieme ad altri enti di ricerca nazionali e internazionali a grandi programmi osservativi, tra cui Guapos, acronimo di *G31 Unbiased Alma sPectral Observational Survey*. Guapos è una survey che, come suggerisce il nome, ha come obiettivo lo studio della composizione chimica della regione di formazione stellare G31.41+0.31, uno dei serbatoi di molecole più ricchi all'inter-

**Alcune delle iCOMs sono considerate prebiotiche, cioè antenate di molecole biologiche alla base dello sviluppo della vita**



**BAGLIORE ULTRATERRENO**  
 L'isolato altipiano di Chajnantor dove sorge l'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array sembra il luogo perfetto per un incontro ravvicinato del terzo tipo  
 Crediti: Y. Beletsky (LCO)/ESO

no della nostra galassia. Proprio nell'ambito di questo programma osservativo, puntando verso G31 le potenti antenne cilene di Alma, l'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, un team internazionale di scienziati ha rilevato le "impronte digitali uniche" di interessanti molecole organiche complesse; molecole che potrebbero aver contribuito alla nascita e all'evoluzione della vita sulla Terra primordiale.

Alla ricerca in oggetto hanno preso parte diversi ricercatori dell'Inaf, coinvolti nel Progetto Premiale iALMA: un programma scientifico tra i cui obiettivi c'è proprio la comprensione della chimica correlata alle molecole organiche complesse nello spazio, e in particolare il loro ruolo come elementi costitutivi delle molecole prebiotiche nei sistemi esoplanetari.

Nella regione di formazione stellare sono state rilevate diverse specie chimiche: acido isocianico, formammide, isocianato di metile e anche specie più complesse come l'acetammide e l'N-metilformammide. Sono tutte molecole osservate per la prima volta all'interno di G31 e al di fuori del centro galattico, contenenti una struttura chimica molto familiare: C(=O)-N, il ponte molecolare che unisce gli aminoacidi nelle proteine, insieme a Dna e Rna. La scoperta di tali molecole ha notevoli implicazioni scientifiche: la loro presenza nello spazio suggerisce che esse potrebbero aver svolto un ruolo fondamentale per la vita nel nostro pianeta, permettendo il salto dalla chimica prebiotica alla chimica complessa alla base della biologia sulla Terra primitiva. Inoltre, poiché l'ambiente in cui si è formato il Sistema solare potrebbe essere simile alle regioni di formazione stellare come G31.41+0.31, l'individuazione di queste molecole ci dà spunti sul patrimonio chimico che esso ha ricevuto dal suo ambiente nativo. ■

# Prove tecniche di primo contatto

di Claudia Mignone

**Da diversi mesi, centinaia di esperti e appassionati da tutto il mondo sono impegnati nell'interpretazione di un messaggio misterioso trasmesso da una sonda artificiale in orbita attorno a Marte. Proprio come se a inviarlo fosse stata una civiltà extraterrestre.**

Il 24 maggio 2023, alle 21:16 ora italiana, il radiotelescopio di Medicina, vicino Bologna, capta per circa mezz'ora un insolito segnale proveniente da Marte. Contemporaneamente, dall'altra parte del globo, anche il Green Bank Telescope, in West Virginia, e l'Allen Telescope Array, in California, ricevono lo stesso segnale. Nascosto nella telemetria, un file binario di 8212 byte racchiude un enigmatico messaggio. Un messaggio pseudo-alieno.

Dal titolo di calviniana memoria, *A sign in space* è una performance interplanetaria orchestrata dall'artista multimediale Daniela de Paulis in collaborazione con l'Agenzia spaziale europea, l'Istituto nazionale di astrofisica, il Seti Institute e il Green Bank Observatory. Lo scopo: simulare uno scenario di "primo contatto" in cui l'umanità riceve una comunicazione cifrata da una civiltà extraterrestre che tutto il mondo è invitato a decrittare.

Il primo atto ha una sceneggiatura dettagliata al secondo. Le prove, oltre all'artista, hanno coinvolto un team di astronomi e ingegneri spaziali per oltre un anno. Entra per primo in scena il Trace Gas Orbiter, sonda in orbita marziana, inviando il segnale verso la Terra. Dopo 16 minuti e quasi 300 milioni di chilometri, il segnale raggiunge puntuale il nostro pianeta, dove trova tre tra i maggiori radiotelescopi al mondo pronti a intercettarlo. Il secondo atto inizia l'indomani, quando i dati grezzi ricevuti dalle antenne vengono resi disponibili in rete e migliaia di entusiasti da ogni continente si collegano al sito web del progetto per cimentarsi nella sfida. Questa parte della performance ha solo un canovac-

**UN'ARTISTA INTERDISCIPLINARE**  
Daniela De Paulis ha collaborato con astronomi e scienziati per molti anni ed è attualmente artist in residence al Seti Institute.  
Crediti: Bas Czerwinski





**ORECCHIE APERTE**  
È l'antenna parabolica da 32 metri della Stazione Radioastronomica di Medicina ad aver captato il segnale proveniente da Marte il 24 maggio 2023.  
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

cio – un tutorial per maneggiare i dati – che va arricchendosi man mano con le conversazioni tra i partecipanti sulla piattaforma online Discord. In meno di 10 giorni, l'ingegno collettivo riesce a decifrare il messaggio, estraendo dal segnale la sequenza aggiunta dall'artista, composta da 65.696 tra zeri e uni. È la notte tra il 31 maggio e il primo giugno. Inizia il terzo e (forse) ultimo atto, ancora in corso. Qui si recita a soggetto: sono gli stessi decoder a comporre il testo teatrale attraverso discussioni che si snodano nel corso di settimane e mesi, portando a molteplici possibili interpretazioni del messaggio e del suo contenuto.

Tutto ruota intorno a un'immagine ricavata dai dati, convertita in tanti formati diversi per cercare di afferrarne il senso. Sequenze di codice Morse, modelli di automi cellulari, puzzle, mappe celesti, ologrammi, un canto di balene, una danza di api e persino ricette culinarie: le teorie proposte superano di molto la creatività di chi ha creato il messaggio. «È così importante ritrovare il significato originale?» si chiede De Paulis, che dietro le quinte, dal suo studio di Rotterdam, tiene le fila della performance globale. «Se ricevestimo un vero segnale extraterrestre, potrebbe essere impossibile trovare il suo vero significato, ma potrebbe fungere da prisma per la ricchezza dell'immaginazione umana. I decoder su Discord rappresentano una micro società che tenta di dare un significato all'ignoto. Un luogo dove apprendere nuovi concetti, trovare connessioni, mettere in discussione la conoscenza e i limiti umani». ■

---

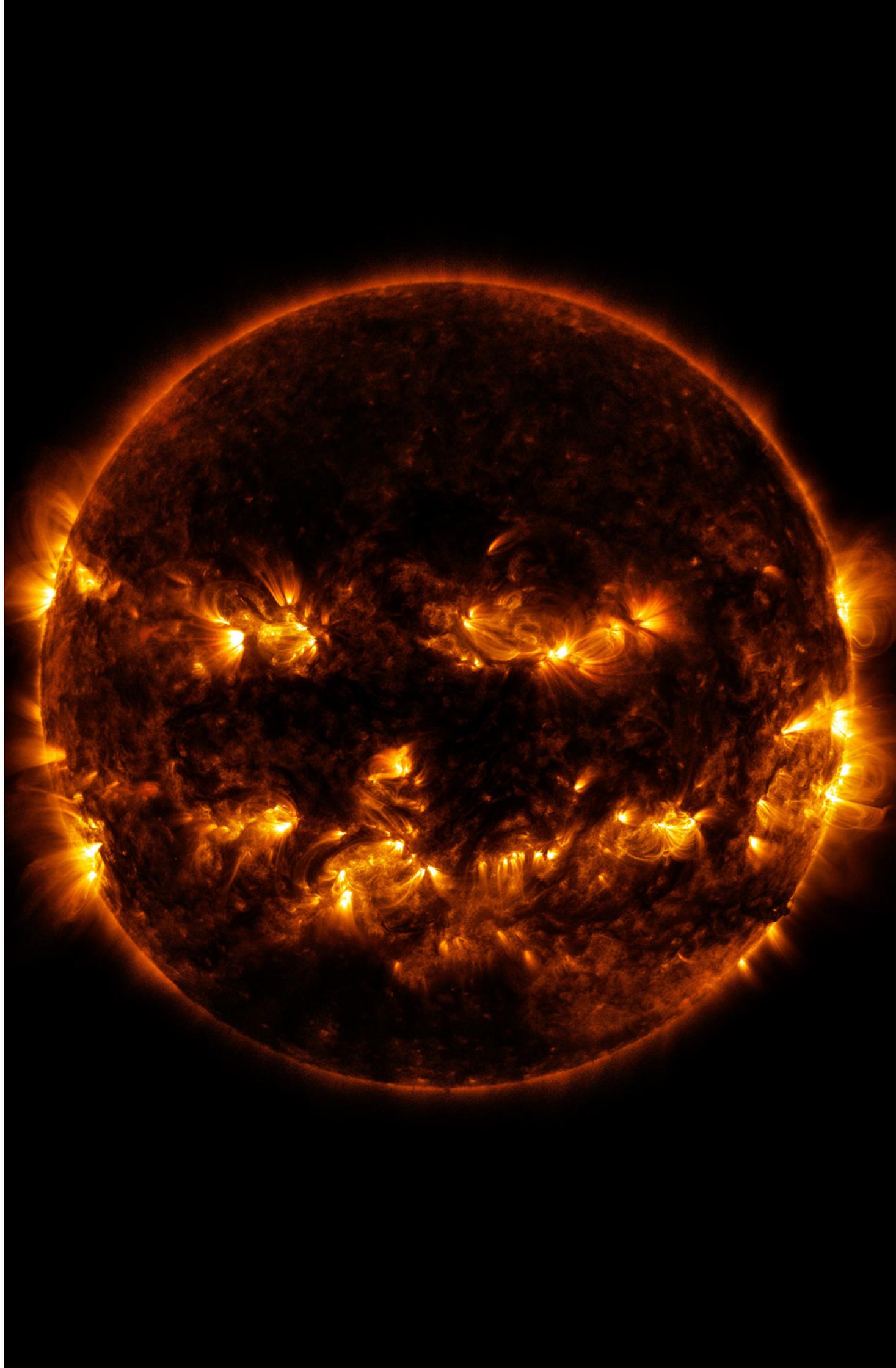
Migliaia di entusiasti da ogni continente si collegano al sito web del progetto per cimentarsi nella sfida ([asignin.space](http://asignin.space)).

# Così vicini: il Sole e il Sistema solare



SOLE E SISTEMA  
SOLARE

**Affacciarsi sull'universo a grande scala ha un fascino magnetico, ma anche il nostro vicinato cosmico non scherza. Sentiamo infatti di poterlo conoscere nel dettaglio, per afferrare quei particolari che invece, quando si va lontano nello spazio e nel tempo, ci scivolano tra le dita.**





Il Sole, il Sistema solare e le tematiche legate alla possibilità che esistano forme di vita nel nostro sistema planetario sono stati punti di partenza per l'astrofisica e sono un fondamentale riferimento per lo studio dell'universo in generale.

Il Sole è un laboratorio naturale in cui è possibile studiare in dettaglio fenomeni fisici che, per la loro scala, non sono accessibili alla sperimentazione terrestre e non possono essere indagati su stelle più lontane. Lo studio del Sole contribuisce in modo significativo al miglioramento delle nostre conoscenze dell'universo e delle leggi fisiche che lo regolano. L'evoluzione e la variabilità solare sono fondamentali per capire l'emergere e la sostenibilità della vita sul nostro pianeta e più in generale su altri oggetti del Sistema solare, un problema quest'ultimo di grande valenza per l'abitabilità planetaria. Lo sviluppo tecnologico ci rende sempre più vulnerabili ai disturbi che, provenendo dal Sole, si propagano nello spazio interplanetario fino a colpire il nostro pianeta (ad esempio il vento solare, le eruzioni solari e i fasci di particelle energetiche rilasciati dalla nostra stella). Queste problematiche sono oggetto di studio della meteorologia dello spazio (*space weather*), disciplina che studia l'attività solare e cerca di prevederne gli effetti sulla Terra, dalle aurore polari che incantano con i loro mutevoli colori sino alle temibili tempeste geomagnetiche. La variabilità solare è inoltre responsabile di complesse interazioni tra il Sole e il mezzo interstellare che portano alla formazione di quelli che sono i confini ultimi del Sistema solare: l'eliosfera.

Tutti questi ambiti vedono un coinvolgimento significativo della comunità scientifica dell'Istituto nazionale di astrofisica e l'investimento di risorse volte alla realizzazione di programmi e progetti per la comprensione dei processi fisici che regolano questa parte di universo: il nostro cortile cosmico.

## STRUMENTI PER STUDIARE IL SOLE

Lo studio del Sole avviene sia tramite telescopi da terra sia dallo spazio. Mentre le osservazioni da terra permettono di catturare immagini della superficie solare e della sua bassa atmosfera con elevata risoluzione spaziale e temporale, le osservazioni dallo spazio (nell'ultravioletto estremo e nei raggi X, oltre che in banda ottica) permettono di osservare le regioni più esterne dell'atmosfera solare e in particolare la sua corona, che raggiunge temperature di milioni di gradi. Oltre all'utilizzo dei telescopi che osservano il Sole da remoto, è fondamentale disporre di osservazioni acquisite *in situ* da diverse sonde, che permettono così di esplorare il flusso di particelle solari nello spazio interplanetario.

La comunità scientifica dell'Inaf è impegnata in tutte queste tematiche, principalmente tramite il proprio coinvolgimento nella missione spaziale Solar Orbiter di Esa e Nasa, e attraverso la propria partecipazione alla progettazione e costruzione del nascente telescopio solare europeo Est alle isole Canarie. A bordo della sonda Solar Orbiter, lanciata a febbraio 2020, il coronografo Metis targato Inaf ha catturato le prime immagini della corona solare, mai acquisite contemporaneamente in due diverse bande (nella luce visibile polarizzata e nell'ultravioletto Lyman-alpha). Metis permetterà di individuare le regioni della corona in cui ha origine il vento solare lento e quello veloce, di studiare l'effetto della configurazione del campo magnetico coronale sulle caratteristiche dinamiche delle sorgenti del vento solare, di monitorare l'espansione iniziale dei fenomeni transienti coronali e di individuare il loro ruolo nei processi di accelerazione delle particelle ad alta energia. A bordo di Solar Orbiter si trova anche lo strumento Solar Wind Analyser (Swa), guidato fra gli

### SOLE NERO

Alla pagina precedente: la miscela di luce a 171 e 193 angstrom, catturata dal Solar Dynamics Observatory, conferisce al Sole un aspetto particolarmente cupo. Crediti: NASA/GSFC/SDO

# Il Sole è un laboratorio naturale in cui è possibile studiare in dettaglio fenomeni fisici che non sono accessibili alla sperimentazione terrestre e non possono essere indagati su stelle più lontane

## UNA STELLA MUTANGHERA

L'array di quattro telescopi a bordo del Solar Dynamics Observatory visualizza l'atmosfera solare in più lunghezze d'onda per trovare nessi con i cambiamenti interni alla stella.  
Crediti: NASA/GSFC/SDO

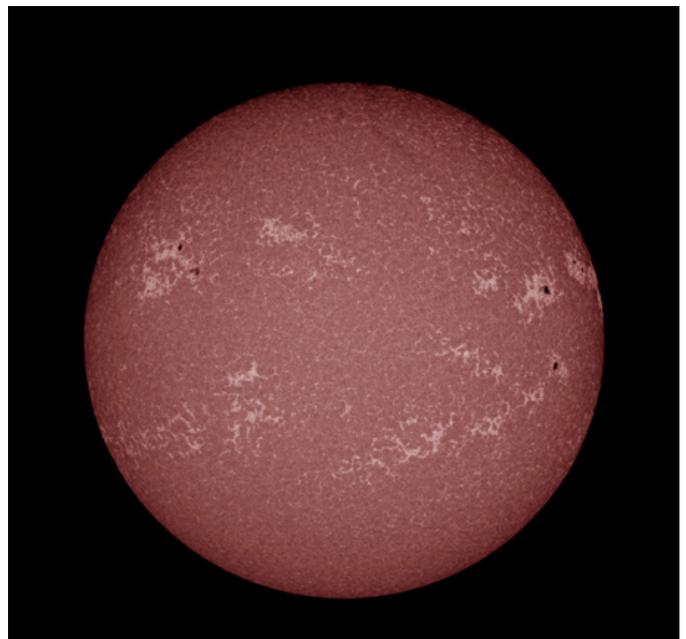
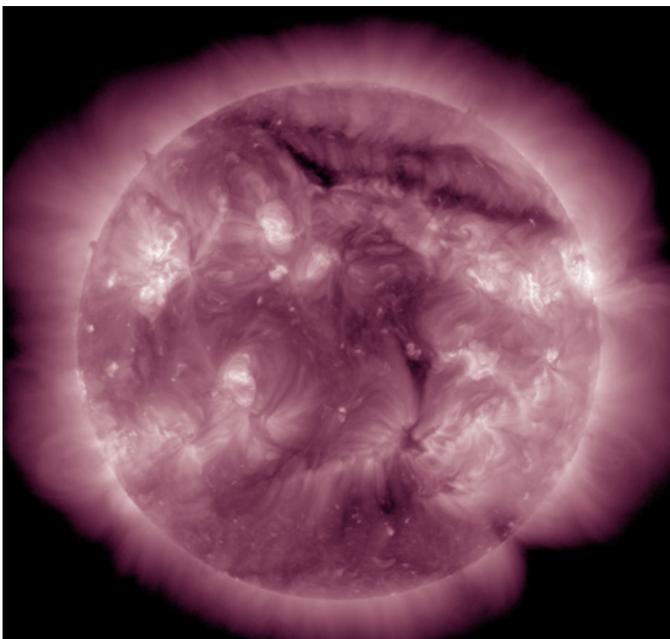
altri anche dall'Inaf, che fornisce misure *in situ* di protoni, elettroni, particelle alfa e ioni minori, a risoluzioni temporali mai raggiunte prima nell'eliosfera interna, fondamentali per individuare i meccanismi fisici alla base del riscaldamento e accelerazione del vento solare.

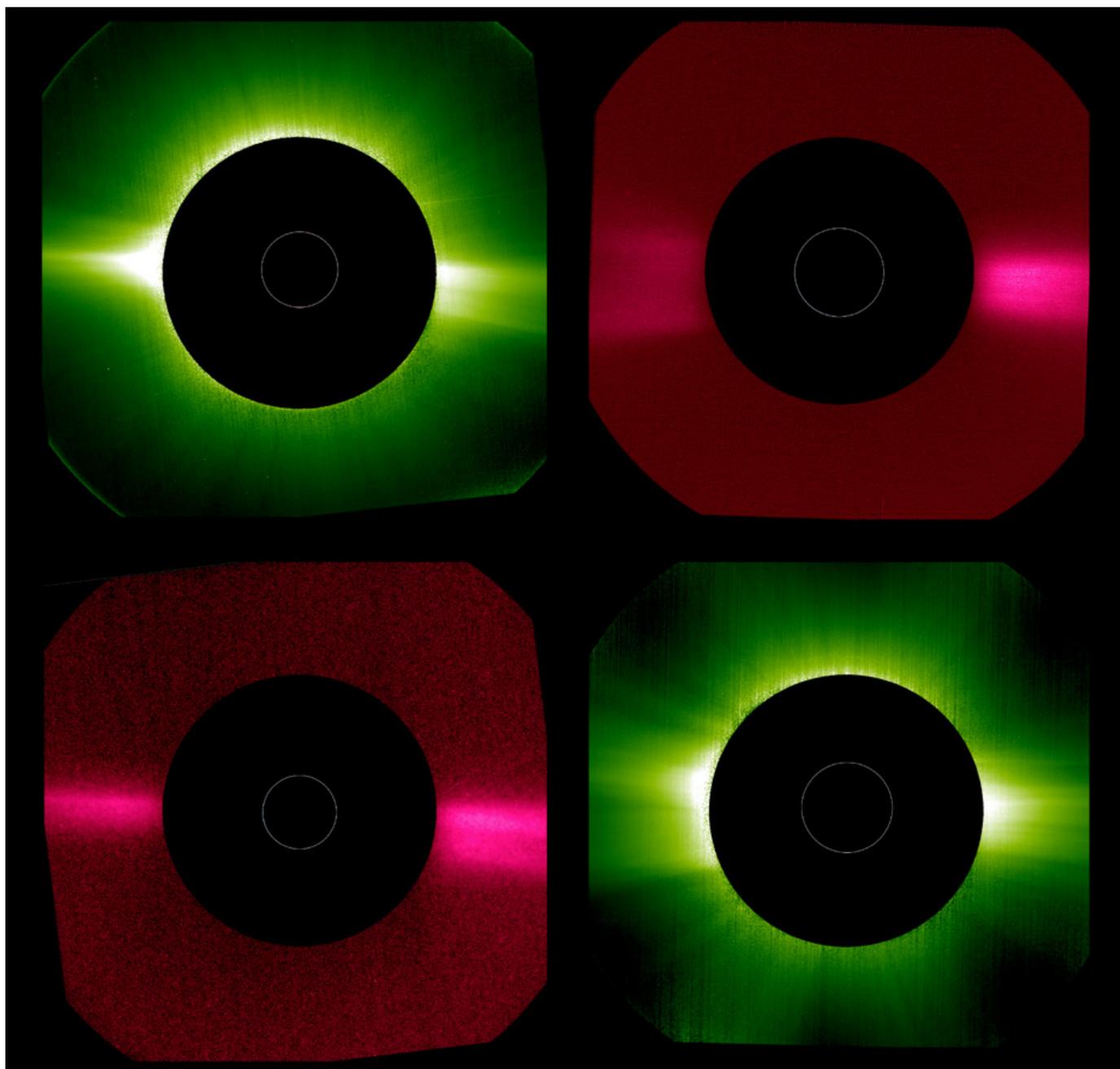
L'Inaf è anche coinvolto nel nuovo telescopio Est che sarà costruito tra il 2026 e il 2028 alle Canarie, ed effettuerà osservazioni spettro-polarimetriche di elevata precisione nell'infrarosso e nell'ultravioletto, che consentiranno di rivelare i meccanismi di trasporto di energia e confinamento in complesse configurazioni magnetiche, con ricadute in altri ambienti astrofisici e nel campo della fusione a confinamento magnetico. Queste osservazioni miglioreranno significativamente la nostra comprensione del campo magnetico solare e delle sue relazioni con l'eliosfera e la Terra.

## IL CASO DI MERCURIO

Allontanandosi dal Sole, Mercurio è il pianeta più interno del nostro sistema planetario ed è un caso particolarmente rilevante di

interazione Sole-pianeta. L'orbita di Mercurio, molto vicina al Sole, è interessata dalla curvatura dello spaziotempo causata dalla stella e quindi sono importanti le misure di fisica fondamentale, in particolare per affinare alcuni parametri della relatività generale. Per esplorare Mercurio e il suo ambiente circostante, Esa e Jaxa hanno lanciato nel 2018 la missione BepiColombo, particolarmente innovativa da un punto di vista tecnologico per via della sua complessità e dell'ostilità dell'ambiente in cui si trova a operare. In tutto, gli strumenti italiani a bordo della sonda spaziale sono quattro: Serena (Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances), Simbio-Sys (Spectrometers and Imagers for MPO BepiColombo Integrated Observatory), Isa (Italian Spring Accelerometer) e More (Mercury Orbiter Radio Science Experiment), per studiare la fisica fondamentale e la relatività generale, l'ambiente intorno a Mercurio e l'interazione con il vento solare, e la superficie del pianeta. Durante il primo volo ravvicinato della sonda attorno a Mercurio, avvenuto nell'ottobre 2021, con l'esperimento Serena i ricercatori





**Marte è un importante oggetto di studio per la comunità scientifica, perché è l'unico pianeta per il quale si prevede una futura visita dell'uomo**

hanno catturato gli spettrogrammi in energia delle particelle misurate sia fuori sia dentro la magnetosfera di Mercurio. Il 23 giugno

2022 BepiColombo ha effettuato il suo secondo assist gravitazionale di Mercurio, arrivando fino a circa 200 chilometri al di sopra della superficie del pianeta e regalandoci bellissime immagini in bianco e nero della sua superficie. L'arrivo a destinazione è previsto per la fine del 2025 e l'inizio delle operazioni scientifiche per il 2026.

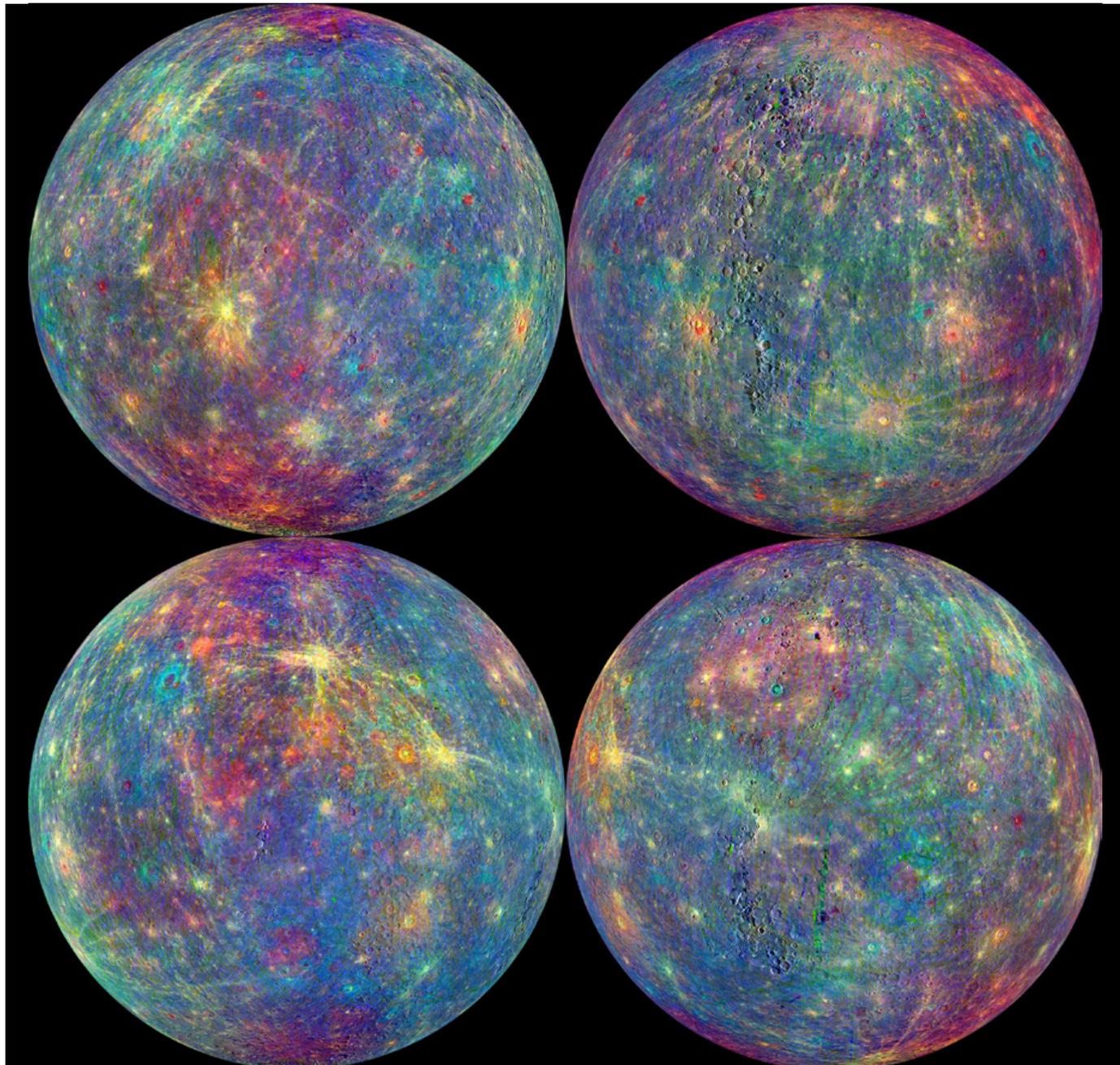
#### **MARTE, PROSSIMA FRONTIERA**

Marte è un importante oggetto di studio per la comunità scientifica, essendo l'unico pianeta per il quale al momento si prevede una futura visita dell'uomo, prossima fron-

#### **LA PRIMA VOLTA**

La prima immagine del coronografo Metis, a bordo di Solar Orbiter, è anche la prima immagine UV della corona solare estesa mai ottenuta.

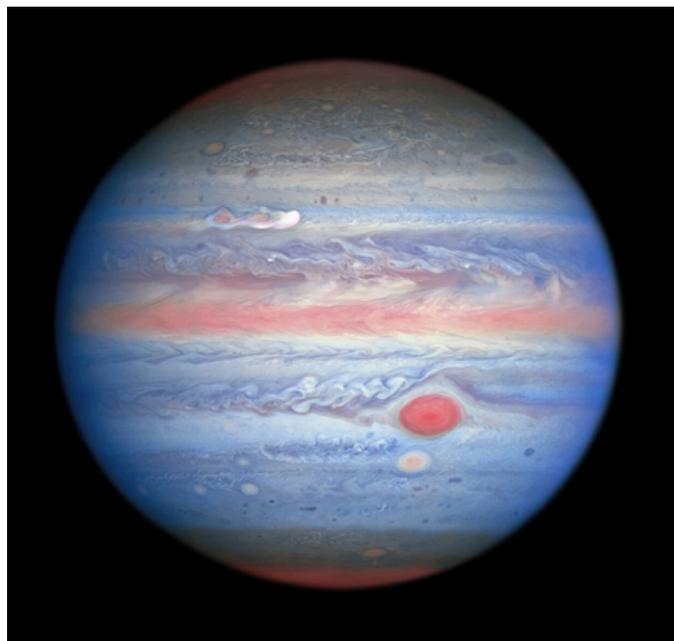
Crediti: Solar Orbiter/Metis Team/ESA & NASA



**MERCURIO SVELATO**  
 Il pianeta Mercurio negli scatti raccolti allo strumento Mercury Atmosphere and Surface Composition Spectrometer (MASCS) a bordo della sonda Messenger.  
 Crediti: NASA/Johns Hopkins University/Carnegie

tiera nello spazio dopo la Luna. Lo studio di Marte raccoglie competenze e conoscenze complementari relative all'atmosfera, alla geologia e al sottosuolo. Inoltre, la presenza di acqua liquida sotto la superficie marziana – scoperta realizzata nel 2018 da un team a guida dell'Inaf grazie ai dati della sonda Mars Express – e l'evidenza che in passato questa molecola, fondamentale per la vita come la conosciamo sulla Terra, fosse presente anche in superficie rende questo pianeta rilevante dal punto di vista astrobiologico. Molti ricercatori sono (e saranno, in futuro) impegnati nello studio di Marte con

i dati acquisiti dalle missioni spaziali a esso dedicate: Mars Express (Esa), operativa sin dal 2004, Mars Reconnaissance Orbiter (Nasa), operativa dal 2006, e il programma ExoMars (Esa/Roscomos) che comprende il Trace Gas Orbiter (Tgo), in orbita intorno al Pianeta Rosso dal 2016, e il rover Rosalind Franklin, con strumenti dedicati all'astrobiologia e alla caratterizzazione geologica del sito di atterraggio. La partecipazione dell'Inaf a queste missioni include anche la leadership di diversi strumenti, tra cui la camera Cassis, gli spettrometri Pfs, Omega, Nomad e Ma\_Miss, il radar Marsis e il sensore di



polvere Micromed. In particolare, la seconda missione del programma ExoMars – il cui lancio previsto per lo scorso settembre 2022 è stato rimandato a data da destinarsi, ma comunque non prima del 2028, a causa della sospensione della collaborazione fra Agenzia spaziale europea e Roscosmos – studierà il sottosuolo marziano fino a due metri di profondità, grazie al trapano e allo spettrometro interamente sviluppato in Italia, le proprietà della polvere atmosferica in prossimità della superficie e andrà alla ricerca di possibili firme biologiche. Infine, l'Inaf ha una partecipazione scientifica nelle missioni Nasa Mars 2020, operativa dal 2021 con il rover Perseverance, e Nasa/EsA Mars Sample Return, prevista nel 2031.

### CAPIRE LE ORIGINI GRAZIE A GIOVE

Giove e il suo sistema di satelliti rappresentano un punto chiave per la comprensione dell'origine e dell'evoluzione di tutto il Sistema solare, ma anche per lo studio di molti esopianeti, di cui i pianeti giganti sono considerati un analogo. Inoltre, alcuni dei satelliti di Giove e Saturno hanno un elevatissimo interesse astrobiologico, poiché ospitano oceani sotterranei di acqua liquida nei quali non si può escludere la presenza di vita, e sono quindi oggetto di specifiche roadmap di esplorazione della Nasa. Questa motivazione scientifica giustifica lo sforzo tecnologico necessario all'esplorazione di questi corpi. I pianeti esterni del Siste-

ma solare rappresentano infatti la frontiera più estrema dell'esplorazione spaziale: le missioni verso i giganti gassosi pongono una vera sfida tecnologica e scientifica, richiedendo un grande coinvolgimento degli istituti e delle agenzie spaziali, e un impegno – anche finanziario – rilevante. Si annoverano in questo campo importanti missioni di classe Large in cui l'Inaf è coinvolto. In particolare, Juno è una missione Nasa per lo studio di Giove e le sue lune, in orbita intorno al gigante gassoso dal 2016 e operativa fino al 2025, che ha l'obiettivo di comprenderne l'origine e l'evoluzione del pianeta, determinare la sua struttura interna e del suo eventuale nucleo solido. A bordo c'è Jiram, uno spettrometro nell'infrarosso a leadership Inaf per lo studio delle aurore e dell'atmosfera. I dati di Juno hanno reso possibili importanti scoperte sulla struttura interna, sul campo magnetico e sulla magnetosfera di Giove, svelando che le sue dinamiche atmosferiche sono molto più complesse di quanto gli scienziati pensassero in precedenza. La missione Esa Juice (Jupiter Icy Moon Explorer), alla quale ha fortemente collaborato l'Agenzia spaziale italiana, affiancata dalla comunità scientifica nazionale e dall'industria, è stata lanciata il 14 aprile 2023 e raccoglierà il testimone di Juno. Arriverà a destinazione nel 2031 e, oltre all'osservazione di Giove, ha come obiettivo specifico le tre lune Ganimede, Europa e Callisto per caratterizzare le con-

#### GIOVE TONANTE

Osservazioni a più lunghezze d'onda nella luce ultravioletta, visibile e vicino infrarosso del pianeta gassoso Giove, raccolte dal telescopio spaziale Hubble.

Crediti: NASA/ESA/A. Simon/M.H. Wong/OPAL team

## **I corpi minori – comete, asteroidi, meteore, oggetti trans-nettuniani – sono una delle chiavi principali nella comprensione dell'origine ed evoluzione del Sistema solare**

dizioni che possono aver portato alla nascita di possibili ambienti abitabili sui satelliti gioviani ghiacciati. Anche in questo caso ci sono due strumenti in cui l'Inaf ha un ruolo di leadership: la camera Janus per l'*imaging* e lo spettrometro Majis.

### **L'IMPORTANZA DEI CORPI MINORI**

I corpi minori – comete, asteroidi, meteore, oggetti trans-nettuniani – sono una delle chiavi principali nella comprensione dell'origine ed evoluzione del Sistema solare perché hanno conservato il materiale meno processato e più primordiale nel nostro sistema planetario. La comunità dell'Inaf è tradizionalmente molto attiva sia nelle osservazioni da Terra dei piccoli corpi sia nell'esplorazione di questi corpi con missioni spaziali dedicate, tra cui Rosetta dell'Esa – che ha realizzato il primo atterraggio morbido su una cometa, la 67P/Churyumov-Gerasimenko, seguendola e studiandola dall'orbita per oltre due anni – e Dawn della Nasa, che ha studiato da vicino il pianeta nano Cerere e il grosso asteroide Vesta. Per non parlare della sonda Dart (Double Asteroid Redirection Test) che lo scorso 26 settembre ha colpito con successo l'asteroide Dimorphos, satellite naturale dell'asteroide Didymos, modificandone la traiettoria e alterandone il periodo orbitale di ben 32 minuti. L'impatto è stato documentato dal cubesat dell'Asi, LiciaCube, di cui l'Inaf coordina il team scientifico. Dart è stata la prima missione di difesa planetaria mai intrapresa dalla Nasa, che ha segnato l'inizio di un'era in cui si potrà evitare che asteroidi di media grandezza cadano sulla Terra.

Altra missione degna di nota in cui l'Inaf è coinvolto è Comet Interceptor, per la quale Esa e Jaxa stanno collaborando, che prenderà un passaggio a bordo del razzo che lancerà il satellite Ariel. L'obiettivo è visitare una cometa primitiva, un oggetto mai arrivato nel Sistema solare interno e mai

studiato finora con una missione spaziale a causa delle tempistiche relativamente rapide di questi corpi. Per questo, la sonda sarà lanciata e "parcheggiata" nello spazio, a un milione e mezzo di chilometri dalla Terra, prima ancora di scegliere la sua destinazione: una cometa attualmente ancora sconosciuta, alla cui ricerca sono già dedicati svariati programmi di osservazione da terra.

L'attività dell'Inaf non si esaurisce nei temi menzionati finora, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti riguardanti la materia presente nello spazio, con lo scopo di comprendere i meccanismi chimico-fisici che ne regolano la formazione ed evoluzione, mediante l'analisi di materiali analoghi e la simulazione dei processi radiativi e particellari. Le ricerche che si svolgono nei sei laboratori di astrofisica dell'Inaf, sebbene richiedano competenze specifiche delle varie tematiche studiate, hanno come denominatore comune la multidisciplinarietà. Questa attività rappresenta un aspetto fondamentale per lo studio delle tematiche che riguardano la chimica organica e il materiale di interesse astrobiologico nel mezzo interstellare e nei sistemi protoplanetari, inclusi i processi che governano l'evoluzione dei pianeti e dei corpi minori, tracciatori della formazione ed evoluzione del Sistema solare. La ricerca si articola su diversi ambiti che comprendono la simulazione delle condizioni fisico-chimiche sulle superfici di pianeti, asteroidi e comete, gli studi sulla formazione di composti organici complessi, inclusi quelli rilevanti per l'origine della vita, lo studio delle atmosfere, la caratterizzazione di materiali extraterrestri collezionati a Terra (meteoriti e particelle interplanetarie), o riportati a Terra dai programmi spaziali (come nel caso delle missioni "acchiappa-asteroidi" Nasa Osiris-Rex e Jaxa Hayabusa 2), fino alle tematiche più generali connesse con lo studio delle polveri e dei ghiacci presenti nel mezzo interstellare. ■

# Verso un'astrofisica più intelligente?

di Rossella Spiga

**Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale (IA) ha iniziato a giocare un ruolo cruciale nel futuro dell'astrofisica, aprendo nuove strade alla comprensione dell'universo e diventando un alleato potente nell'analisi di enormi moli di dati generati da telescopi e rilevatori di nuova generazione, ormai non pienamente sfruttabili con i metodi tradizionali.**

Quale rapporto si sta delineando tra mondi così connessi come l'astrofisica e l'intelligenza artificiale? Si tratta di un incremento quantitativo delle nostre capacità di scoperta o di una rivoluzione anche qualitativa della ricerca? I vantaggi dell'uso dell'intelligenza artificiale nell'astrofisica sono indiscutibili. Oltre a un'accelerazione del processo di analisi dei dati, gli algoritmi di apprendimento automatico – adeguatamente istruiti – sono in grado di studiare oggetti celesti come stelle, galassie e pianeti con una precisione sorprendente. Gli esopianeti rappresentano un esempio evidente del ruolo cruciale dell'IA, in grado di individuare nelle curve di luce delle stelle piccole variazioni che potrebbero indicare la presenza di pianeti orbitanti attorno a esse. Nell'analisi degli spettri stellari, necessari per comprendere la composizione chimica e le proprietà fisiche delle stelle e della Via Lattea, l'IA può apportare significativi miglioramenti, facilitando così i nostri progressi nel campo dell'evoluzione stellare. Anche nella previsione di eventi astronomici futuri, come l'esplosione di una supernova o il passaggio di una cometa, l'IA potrebbe fare la differenza aiutandoci a pianificare le osservazioni e le missioni spaziali. Tutta la gestione delle osservazioni astronomiche potrebbe essere ottimizzata facilmente dall'IA, programmando i telescopi in modo che scelgano automaticamente quali oggetti osservare in base alle condizioni atmosferiche e alle priorità scientifiche. Tutto questo aumenterebbe certamente l'efficienza delle osservazioni, ma un'eccessiva automazione dei meccanismi di pianificazione delle ricerche potrebbe destare qualche legittima preoccupazione. Siamo a rischio di una dipendenza tecnologica?

**Nella previsione di eventi astronomici futuri, l'IA potrebbe fare la differenza aiutandoci a pianificare le osservazioni e le missioni**



#### SE LA REALTÀ SUPERA LA FANTASIA

Viene usata quando si parla di universo simulato ma la Nebulosa Bolla esiste davvero. Nella foto di Hubble i colori rivelano la presenza di ossigeno (blu), idrogeno (verde) e azoto (rosso).

Crediti: Esa/Nasa/Hubble Heritage Team

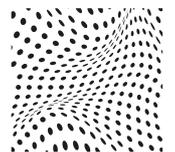
Potremmo sollevare anche altre questioni insidiose come l'accesso e la sicurezza dei dati, e la questione etica dell'attribuzione delle scoperte: chi merita il riconoscimento, l'algoritmo o gli scienziati che l'hanno creato?

A lungo termine, è possibile la compromissione delle competenze umane nell'interpretazione dei dati, in particolare di quelle anomalie che sono spesso fonte di nuove scoperte e da cui sempre la scienza trae ipotesi e conclusioni dopo un'attenta interpretazione. L'ingegno umano sarà concentrato solo sull'addestramento delle macchine, sul porre domande corrette, sul gestire le anomalie?

Siamo tenuti a fare queste riflessioni per affrontare le nuove sfide in modo responsabile e per essere sicuri che l'IA continui a svolgere un ruolo positivo nella nostra ricerca. Dobbiamo evitare che domande ben poste alle macchine possano soppiantare il nostro lavoro critico, fornendo risposte credibili in pochi secondi.

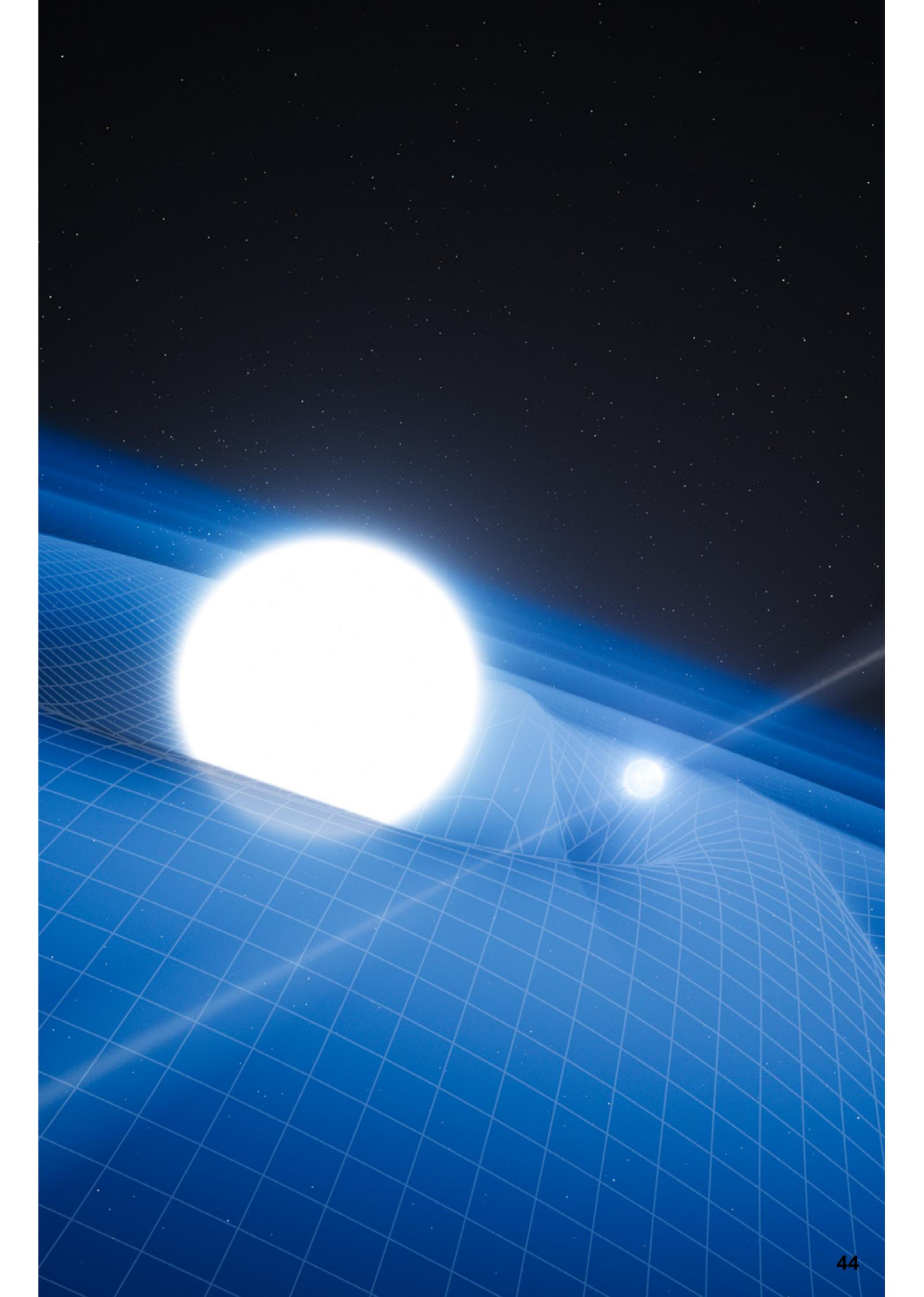
Chi potrà dire per esempio se un articolo – anche questo articolo – sia frutto di considerazioni umane o solo della ChatGPT già ben addestrata alle nostre richieste? ■

# Messaggi energetici dallo spazio



ASTROFISICA  
RELATIVISTICA  
E PARTICELLE

**Cosa succede alla materia in condizioni estreme? Cosa accade quando stelle di neutroni e buchi neri si scontrano? L'astrofisica con lo studio dell'emissione elettromagnetica di stelle morte, nane bianche e altre sorgenti possono aiutarci a capire meglio l'universo e a rispondere a molte domande.**





Cosa succede alla materia in condizioni estreme, quando densità e temperatura raggiungono valori elevatissimi? Come si modifica lo spaziotempo in presenza di oggetti collassati, come stelle di neutroni o buchi neri? Cosa succede quando stelle di neutroni e buchi neri si scontrano? Come vengono accelerati i raggi cosmici e che impatto hanno sulla formazione stellare e sull'evoluzione galattica? A buona parte di queste domande si può tentare di dare una risposta tramite l'osservazione e l'interpretazione teorica dell'emissione elettromagnetica proveniente da svariate sorgenti vicine e lontane. Tra esse troviamo oggetti compatti quali le nane bianche, le stelle di neutroni e i buchi neri di massa stellare, tutti resti di stelle morte, nonché i buchi neri supermassicci, presenti al centro di quasi tutte le galassie. Oltre a questi corpi, sia isolati sia in sistemi binari, l'astrofisica delle alte energie studia anche le esplosioni di supernova che caratterizzano le fasi finali dell'evoluzione di stelle massicce e la coalescenza degli oggetti compatti. Sebbene questi corpi emettano principalmente radiazione di alta energia (raggi X e gamma), la comprensione dei meccanismi che li governano riceve un forte impulso da campagne osservative multibanda che includono strumenti sensibili a tutte le lunghezze d'onda, tra cui anche onde radio, infrarossi e luce visibile. Inoltre, gli ultimi anni hanno testimoniato la nascita dell'astronomia multi-messaggera, basata sulla sinergia tra osservazioni di onde gravitazionali, raggi cosmici e neutrini con le più tradizionali osservazioni di emissione elettromagnetica.

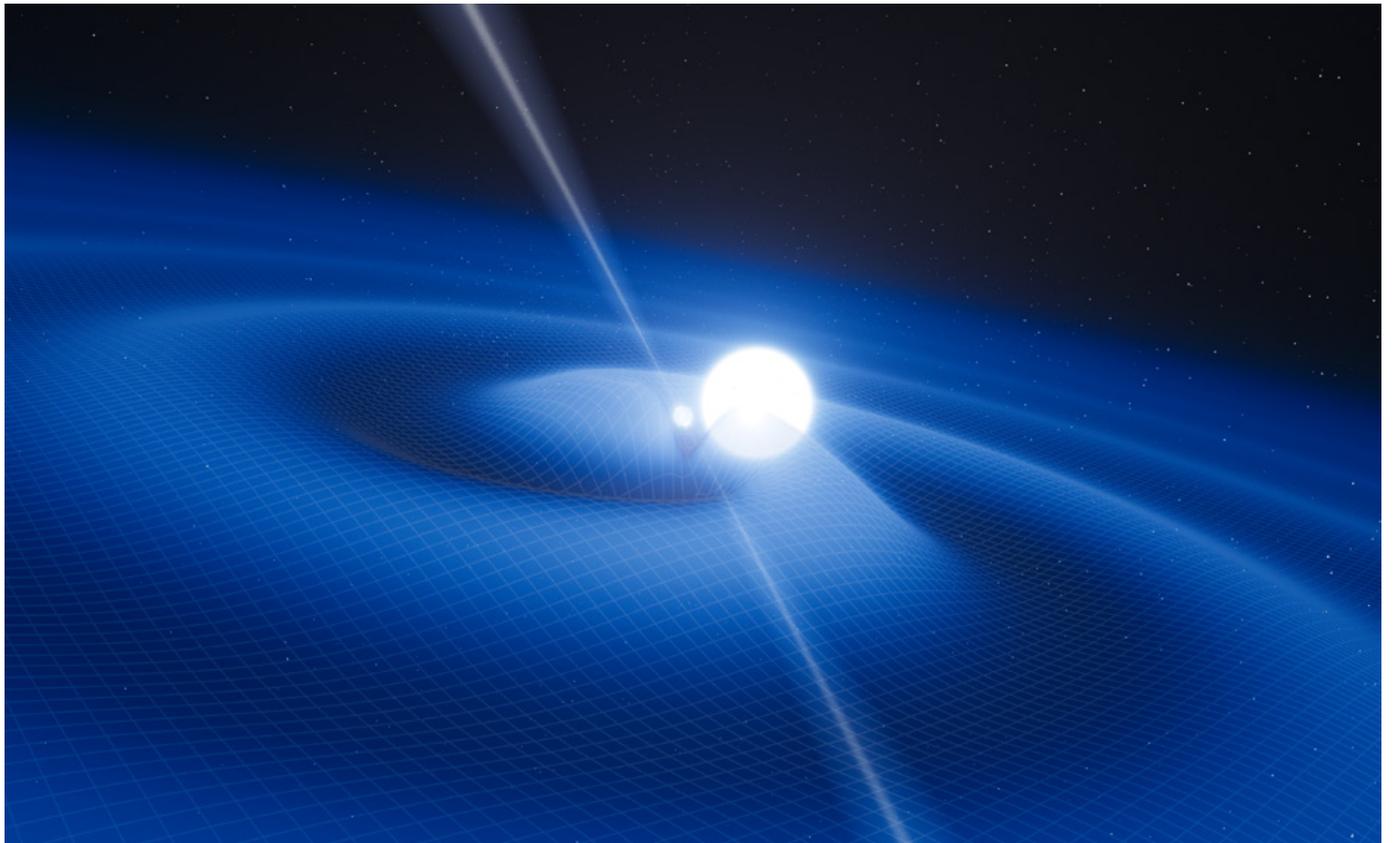
## L'ENERGIA DEI BUCHI NERI

Tra i vari oggetti compatti, i buchi neri hanno un potere straordinario sull'immaginario collettivo. Con un'attrazione gravitazionale così grande che persino la luce non riesce a uscire, i buchi neri sono impossibilitati ad avere interazioni dirette con l'esterno. Sono presenze oscure, che devono molto del loro successo al nome evocativo coniato negli anni Sessanta, secondo alcune fonti, dal fisico John Archibald Wheeler, esperto di relatività generale. Non è un caso che, nel 2015, proprio i buchi neri siano stati protagonisti della prima rivelazione delle onde gravitazionali da parte della collaborazione Ligo-Virgo – un risultato epocale, ottenuto giusto in tempo per festeggiare il centenario della pubblicazione dell'articolo di Einstein con i fondamenti della teoria che prevede l'esistenza di queste perturbazioni dello spaziotempo. Un successo analogo ha riscosso, nel 2019, anche la prima foto di un buco nero, quello supermassiccio al centro della galassia M87. "Scattata" utilizzando radiotelescopi sparsi su tutto il pianeta dal progetto Event Horizon Telescope, a cui partecipa anche la comunità dell'Istituto nazionale di astrofisica, la foto è diventata immediatamente un'icona mediatica globale, come quella scattata lo scorso maggio del buco nero a noi ancora più caro, quello al centro della nostra galassia.

Molte delle onde gravitazionali si sono generate proprio dallo scontro di due buchi neri. Ma in che modo? Le onde gravitazionali si formano quando oggetti massicci subiscono forti accelerazioni in grado di rompere ogni eventuale simmetria di tipo sferico o cilindrico preesistente. Partendo dal caso forse intuitivamente più semplice di due stelle compatte, ad esempio due stelle di neutroni, ciò che succede quando stanno per venire in contatto è che ognuna perde la propria identità e si forma una specie di "bozzolo" caotico di materia. La forma di tale bozzolo di materia in coalescenza è naturalmente molto irregolare e, cosa ancora più importante, muta rapidamente, facendo sì che le varie parti del bozzolo subiscano fortissime accelerazioni. Ricordando che le varie parti

### FISICA AL LIMITE

Sopra e nella pagina precedente: lo spaziotempo si increspa attorno a una minuscola, ma incredibilmente pesante, stella di neutroni. Una nana bianca le orbita intorno.  
Crediti: ESO/L. Calçada



**I Pulsar Timing Array (Pta) sono costituiti da una schiera di pulsar che possiedono una rotazione molto stabile, e per questa loro proprietà vengono utilizzate come rivelatori di onde gravitazionali su scala galattica**

del bozzolo sono tutte molto massicce, possiamo immaginare come se ognuna fosse emettitrice di intense onde gravitazionali. L'emissione complessiva è dunque breve e intensa e cessa poco dopo che il bozzolo si è assestato in uno stato finale. Nel caso di due buchi neri, che non hanno una superficie fisica ma solo un orizzonte degli eventi, la similitudine col bozzolo di materia è molto meno intuitiva e bisogna rifarsi alle simulazioni numeriche di relatività generale, ma i concetti di base restano gli stessi. Questo meccanismo – legato a grandi masse sottoposte a intense accelerazioni – è alla base dell'emissione di onde gravitazionali anche durante le fasi precedenti la coalescenza, quando le orbite delle due stelle si stringono e quindi spiraleggiano l'una verso l'altra.

L'emissione di onde gravitazionali durante questa fase avviene però a frequenze e con intensità molto più basse rispetto alla fase di coalescenza finale. A questo proposito, nell'ottobre 2021 la collaborazione Epta (European Pulsar Timing Array) ha pubblicato uno studio che riporta l'analisi di un segnale che potrebbe essere dovuto al cosiddetto fondo di onde gravitazionali, a cui gli astronomi di tutto il mondo stanno dando la caccia da tempo. Questo segnale sarebbe stato prodotto dall'energia gravitazionale rilasciata da coppie di buchi neri supermassicci durante il loro reciproco avvicinamento, che li porterà infine a fondersi. I risultati dello studio sono stati resi possibili grazie ai dati relativi alle pulsar raccolti, in ventiquattro anni di osservazioni, con cinque radiotelescopi europei di grande apertura – tra cui il Sardinia Radio Telescope (Srt) da 64 metri di diametro, situato vicino a Cagliari.

**RILEVARE LE ONDE GRAVITAZIONALI**  
I fasci di radiazione emessi dai poli magnetici delle pulsar – stelle di neutroni fortemente magnetizzate e in rapida rotazione – ruotano assieme alla stella, e noi li osserviamo come impulsi radio quando attraversano la nostra linea di vista, come i fasci di luce di



un faro lontano. I Pulsar Timing Array (Pta) sono costituiti da una schiera di pulsar che possiedono una rotazione molto stabile, e per questa loro proprietà vengono utilizzate come rivelatori di onde gravitazionali su scala galattica. In presenza di un'onda gravitazionale, lo spaziotempo viene deformato e la regolarissima cadenza degli impulsi radio di una pulsar viene a sua volta alterata. I Pta sono sensibili a onde gravitazionali a bassissima frequenza, nel regime del miliardesimo di hertz: un'onda gravitazionale di questo tipo compie una singola oscillazione in circa 30 anni. I Pta sono dunque in grado di ampliare la finestra di osservabilità delle onde gravitazionali, al momento limitata solo alle frequenze alte (dell'ordine delle centinaia di hertz), che sono studiate dai rivelatori a terra Ligo, negli Stati Uniti, Virgo, progetto europeo situato in Italia, e Kagra, in Giappone, quest'ultimo operativo a partire dal 2020. Questi strumenti sono in grado di captare i segnali gravitazionali generati nelle collisioni

di breve durata che coinvolgono buchi neri di massa stellare e stelle di neutroni, mentre i Pta possono rivelare le onde gravitazionali prodotte da coppie di buchi neri supermassicci situati nel centro delle galassie, durante il loro lento moto spiraleggiante di reciproco avvicinamento. L'effetto cumulativo dei segnali prodotti da questa popolazione di oggetti celesti estremi è, appunto, il fondo di onde gravitazionali. Come lo è stato per le onde gravitazionali di alta frequenza nel 2015, la rivelazione di onde gravitazionali di bassissima frequenza sarebbe un risultato epocale per la fisica, per l'astrofisica e per la cosmologia.

Da settembre 2015, sono un centinaio gli eventi di onde gravitazionali registrati fino al marzo del 2020 dagli interferometri della collaborazione Ligo-Virgo-Kagra: una ricchezza di osservazioni e dati sulla fisica dei buchi neri, a malapena immaginabile fino a pochi anni fa e destinata a crescere con l'inizio del nuovo run osservativo a maggio

#### IN UNA GALASSIA LONTANA LONTANA

Sopra: un'illustrazione del quasar 3C 279. A destra: il buco nero che si trova in NGC 300 legato indissolubilmente a una stella Wolf-Rayet, che diventerà a sua volta un buco nero. Crediti: ESO/L. Calçada/M.Kornmesser



**Le onde prodotte da una sorgente all'interno della galassia ellittica Ngc 4993, captate per la prima volta insieme il 17 agosto del 2017, hanno rivelato che quell'evento era una kilonova, l'ultimo, spettacolare atto della fusione di due stelle di neutroni**

di quest'anno. E proprio ad aprile sono stati stanziati i fondi per realizzare Ligo-India, il nuovo cercatore di onde gravitazionali in India del tutto affine ai due interferometri statunitensi. Questa aggiunta contribuirà a migliorare la capacità di triangolazione delle sorgenti in cielo, aumentando di un ordine di grandezza la precisione con cui è possibile localizzare gli eventi di onde gravitazionali, e colmerà anche i punti ciechi dell'attuale

rete di onde gravitazionali. Le osservazioni di eventi di coalescenza in sistemi binari forniscono dati fondamentali per comprendere la fisica degli oggetti compatti, dai processi di emissione relativistica alla determinazione delle masse coinvolte, dall'equazione di stato della materia che compone le stelle di neutroni alla nucleosintesi degli elementi pesanti.

**IMPRONTE DI STELLE DI NEUTRONI**

Anche le stelle di neutroni, non solo i buchi neri, danno spettacolo. Esse sono tra gli oggetti più affascinanti dell'universo, nate in seguito al catastrofico processo alla fine della luminosa e frenetica vita di una stella massiccia: sfere perfette di densità inimmaginabili, con frequenze di rotazione altissime e temperature e campi magnetici estremamente elevati. Se lo scontro di due buchi neri non produce altro segnale che nelle onde gravitazionali, infatti, la coalescenza di stelle di neutroni imprime nell'universo

## **È stato un team di scienziati coordinato dall'Inaf a scoprire anche Ngc 5907 Ulx, la più estrema tra le pulsar X finora conosciute: è infatti la più distante e la più luminosa tra quelle a noi note**

anche tracce luminose, a tutte le frequenze dello spettro elettromagnetico.

Le onde gravitazionali ed elettromagnetiche prodotte da una sorgente all'interno della galassia ellittica Ngc 4993, captate per la prima volta insieme il 17 agosto del 2017, hanno rivelato che quell'evento – siglato dagli astronomi At2017gfo – era una kilonova, ovvero l'ultimo, spettacolare atto della fusione di due stelle di neutroni. Le caratteristiche della radiazione emessa, come la sua lunghezza d'onda, la variazione della sua intensità e profilo al passare del tempo, registrate grazie alle innumerevoli osservazioni astronomiche, dalla banda radio ai raggi X e gamma, hanno permesso agli scienziati di capire moltissimi aspetti di questo fenomeno. In particolare, un team a guida Inaf ha condotto lo studio per la caratterizzazione spettroscopica della sorgente transiente ottica AT2017gfo. Questo evento ha segnato l'inizio di una nuova era per l'astronomia multi-messaggera, inaugurata trent'anni prima con l'osservazione di radiazione e neutrini dalla supernova 1987a.

È stato un team di scienziati coordinato dall'Inaf a scoprire anche Ngc 5907 Ulx, la più estrema tra le pulsar X finora conosciute: è infatti la più distante e la più luminosa tra quelle a noi note. Questo potentissimo faro cosmico è una stella di neutroni fortemente magnetizzata, che compie una rotazione completa attorno al proprio asse in appena 1,13 secondi mentre accresce materia da una stella compagna. Attorno alla pulsar i ricercatori hanno anche osservato una nebulosa che fornisce preziose informazioni su questo sistema, chiamato Ulx-1, e sulle pulsar ultraluminose in generale.

Nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri sono tra i motori più efficienti per la produzione di radiazione X, sia nelle binarie a raggi X, coppie formate da un oggetto compatto e una stella compagna, sia nei nuclei galattici attivi, galassie nel cui centro risiede un buco nero supermassiccio che si nutre della materia circostante a ritmi elevati, dando luogo a intense emissioni su tutto lo spettro elettromagnetico. In questi oggetti compatti, la conversione di energia gravitazionale in energia radiativa avviene con un tasso di efficienza tra i più alti misurati nell'universo, tramite il fenomeno di accrescimento della materia circostante. All'accrescimento spesso si associa il fenomeno di produzione di getti radio e venti relativistici. La connessione tra la produzione di getti e venti e il fenomeno di accrescimento è una delle principali domande aperte in questo campo. Altre sorgenti di alta energia sono gli eventi esplosivi che caratterizzano alcune fasi della vita stellare, tra cui nove, supernove, lampi gamma (o Grb, acronimo di *gamma ray burst*), eventi di distruzione mareale e lampi radio veloci (o Frb, acronimo di *fast radio burst*).

### **LAMPI NEL COSMO**

Rilevati per la prima volta nel 2007, i lampi radio veloci fanno parte dei cosiddetti fenomeni transienti cosmici, perché appaiono senza preavviso e si esauriscono nel giro di pochissimo tempo. Nel tentativo di spiegarli, gli scienziati hanno persino ipotizzato segnali provenienti da forme di vita aliena. Più probabilmente si tratta di intensi impulsi radio, della durata di pochi millesimi di secondo, emessi da magnetar, stelle di neu-

troni ipermagnetizzate. Una delle prove che suggeriscono un possibile collegamento tra questi oggetti altamente magnetici e alcuni tipi di lampi radio veloci è un segnale ricevuto il 28 aprile 2020, il primo lampo radio veloce rilevato nella Via Lattea, osservato in concomitanza con un lampo nei raggi X e proveniente dalla magnetar Sgr 1935+2154, registrato da diversi satelliti tra cui l'italiano Agile.

All'altro estremo dello spettro, nonostante gli enormi sforzi osservativi, ci sono voluti ben trent'anni dalla loro scoperta negli anni Sessanta per svelare l'origine cosmologica dei Grb, lampi di fotoni X e gamma rilevati circa una volta al giorno da direzioni casuali e così intensi da oscurare qualsiasi altra sorgente nel cielo ad alte energie. Sono stati poi necessari ulteriori vent'anni di sforzi da parte di molti telescopi spaziali e terrestri, oltre a un intenso lavoro teorico e a sofisticatissime simulazioni numeriche, per costruire e consolidare lo scenario attuale che ne spiega i progenitori: il collasso del nucleo di peculiari stelle molto massicce per i lampi di durata più lunga, e la coalescenza di un sistema binario formato da due stelle di neutroni o da una stella di neutroni e un buco nero per quelli più brevi.

Lo studio di queste classi di sorgenti e dei processi fisici in gioco viene condotto attraverso la sinergia tra osservazioni e teoria, essenziale per la comprensione dei meccanismi di emissione. L'identificazione dei sistemi progenitori e dei processi di accelerazione e collimazione alla base dei lampi gamma, così come l'identificazione di eventi di riconnessione magnetica da parte delle magnetar come possibile origine dei lampi radio veloci, sono alcuni esempi recenti del successo di tale strategia.

**Gli assioni – particelle elementari la cui esistenza è ancora ipotetica – sono attualmente considerati tra i principali contendenti al ruolo di componenti della materia oscura**

## **LE SORGENTI DI RAGGI X E GAMMA**

Storicamente, la comunità dell'Inaf ha svolto un ruolo fondamentale in ambito internazionale nello studio delle sorgenti di alta energia (raggi X e gamma), partecipando alla loro scoperta, all'identificazione e comprensione dei processi fisici in gioco e contribuendo allo sviluppo tecnologico, allo sfruttamento dei dati e al successo di missioni spaziali di varie agenzie, come Swift e Fermi (Nasa), Agile (Asi), Integral e Xmm-Newton (Esa). Nel dicembre 2021, il lancio di Ixpe, satellite Nasa in collaborazione con Asi che vanta un forte contributo scientifico e tecnologico dell'Inaf, ha aperto una nuova finestra sull'universo energetico, permettendo di osservare la polarizzazione dei raggi X con risoluzione e sensibilità mai raggiunte prima, mentre la comunità lavora al prossimo grande osservatorio a raggi X: la missione Esa Athena.

Se la radiazione ad alta energia viene assorbita dall'atmosfera terrestre, la porzione più energetica – i raggi gamma ad altissima energia – lascia una traccia caratteristica del suo passaggio nell'atmosfera stessa: la luce Cherenkov, che può essere osservata con appositi telescopi da Terra. Questo permette di osservare le sorgenti di potenti raggi gamma, dalle supernove ai Grb e i nuclei galattici attivi. In questo filone si colloca l'osservatorio Magic e il futuro Cherenkov Telescope Array (Cta), che sarà costruito tra le Isole Canarie e il Cile, a cui Inaf partecipa anche attraverso lo sviluppo del precursore Astri-Mini Array.

Grazie alle osservazioni del satellite Xmm-Newton, un gruppo di astronomi a guida Inaf ha scoperto un vero e proprio fiume di gas che scorre dal centro della Via Lattea, dove risiede un buco nero di grande massa. Questo gas caldo fluisce verso le cosiddette Bolle di Fermi, gigantesche zone che si estendono per migliaia di anni luce a nord e a sud del piano galattico, ricche di particelle molto energetiche, scoperte nel 2010 grazie ai dati raccolti dall'osservatorio spaziale Fermi della Nasa. La scoperta chiarisce in che modo l'attività del nucleo della Via Lattea, sia presente che passata, è connessa all'esistenza di strutture più

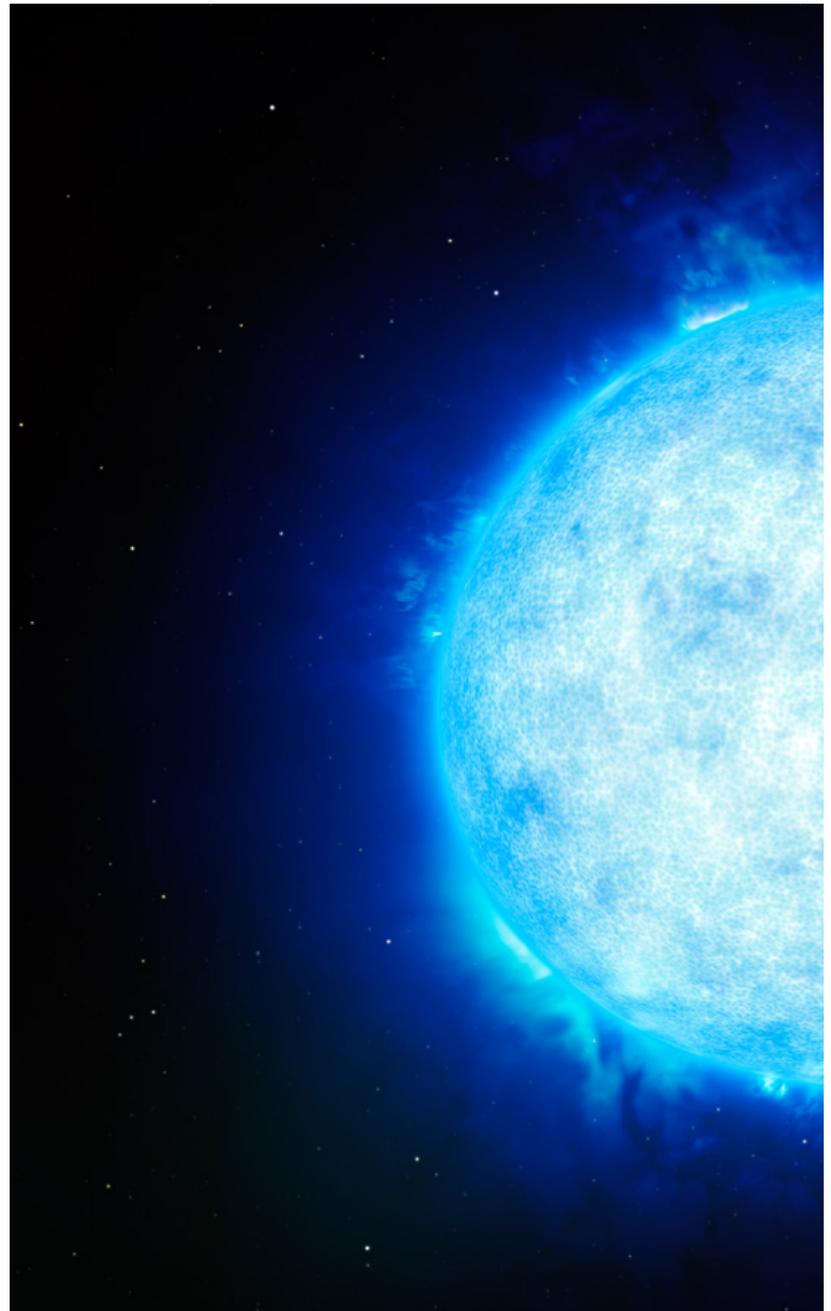
grandi attorno a essa. Il deflusso di gas ed energia individuato potrebbe essere una testimonianza del passato della nostra galassia, quando l'attività delle sue regioni centrali era molto più diffusa e potente, oppure potrebbe dimostrare che anche le galassie "non attive" – ovvero quelle che ospitano un buco nero supermassiccio relativamente quieto e mostrano una moderata attività di formazione stellare, come la Via Lattea odierna – possono comunque produrre enormi flussi di massa ed energia.

### CACCIA AGLI ASSIONI

A parte l'universo inquieto descritto finora, poche cose in astrofisica stuzzicano e necessitano di fantasia come la materia oscura, anche se in questo caso *fantasia* è più che altro un sinonimo di *ingegno*: la capacità di inventare soluzioni fuori dagli schemi per risolvere un problema che negli schemi non si fa trovare. In questo contesto, gli scienziati dell'Inaf lavorano alla ricerca della elusiva materia oscura mediante la rivelazione di possibili candidati particellari. In particolare, gli assioni – particelle elementari la cui esistenza è ancora ipotetica – sono attualmente considerati tra i principali contendenti al ruolo di componenti della materia oscura.

Mentre molti scienziati stanno dando loro la caccia sulla Terra, gli astrofisici guardano (anche) il cielo, poiché prevedono che queste particelle siano prodotte all'interno di ambienti estremi, come i nuclei delle stelle che stanno per esplodere in supernove. Gli assioni generati da queste stelle, incontrando un campo magnetico, dovrebbero infatti trasformarsi in fotoni, più facilmente rilevabili: potrebbero addirittura essere gli assioni la sorgente di emissione X ad alta energia che circonda alcune stelle di neutroni.

In generale, la possibilità che un qualunque plasma caldo – quindi in particolare le stelle – possa produrre assioni è prevista in maniera molto naturale da tutte le teorie proposte per superare i limiti del modello



standard della fisica delle particelle. Più in generale si parla di Alps, che sono *Axion like particles*, una generalizzazione della teoria originale degli assioni proveniente dalla branca della cromodinamica quantistica. C'è una forte motivazione teorica nel predire l'esistenza di assioni e un grosso interesse nel trovarli, perché se sono di massa molto piccola potrebbero essere naturalmente prodotti durante l'inflazione, il brevissimo periodo di espansione accelerata che avrebbe caratterizzato i primissimi istanti dell'universo, o forse ancora prima. Proprio in virtù di questa massa particolarmente piccola, oltre al fatto di essere bosoni – una delle due

#### DOPPIA, CALDA E MASSICCIA

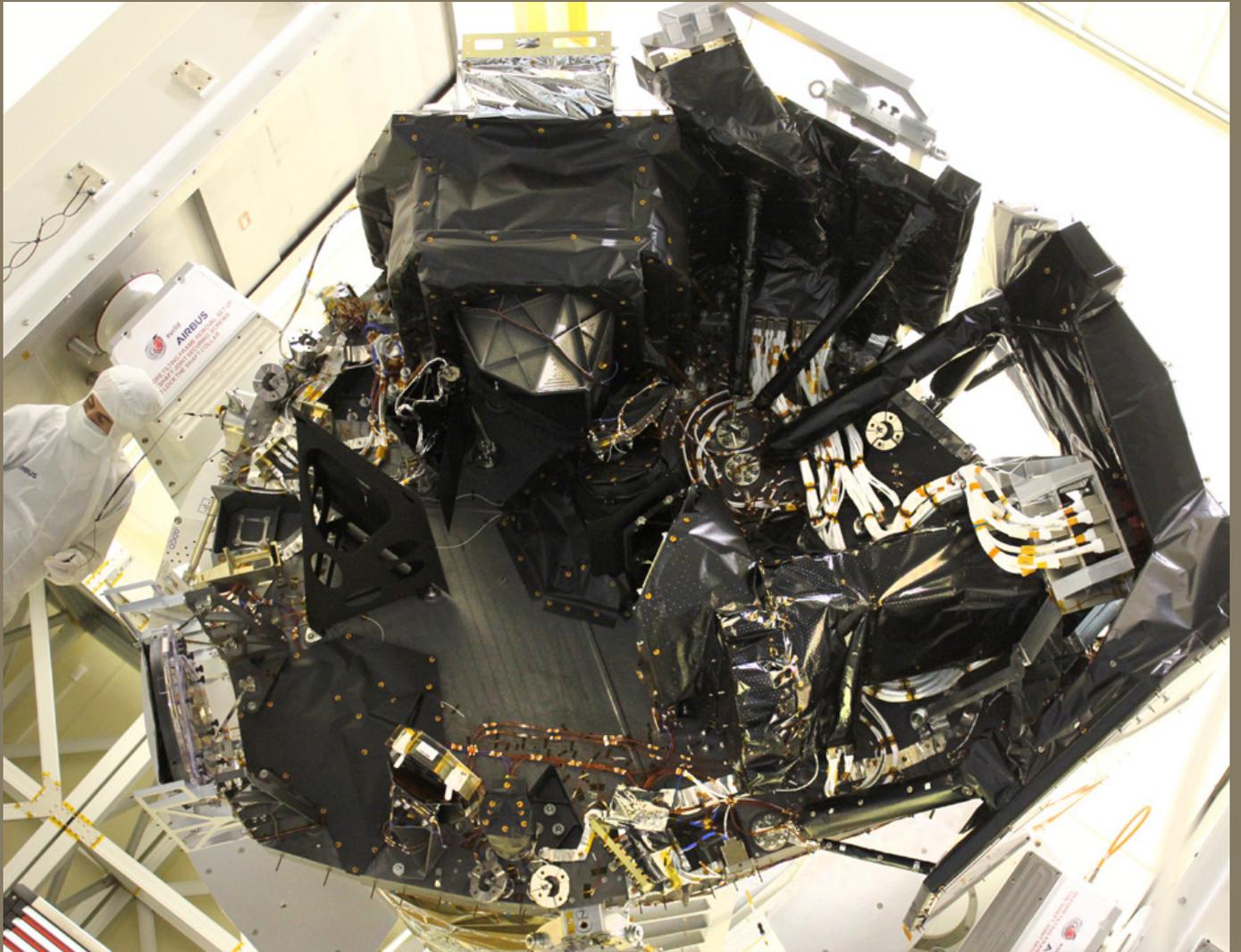
Un'illustrazione di VFTS 352, la stella doppia più calda e massiccia mai scoperta. Si trova nella Grande Nube di Magellano a circa 160 mila anni luce da qui.  
Crediti: ESO/L. Calçada



classi di particelle elementari – gli assioni possono condensare molto rapidamente in quello che si chiama gas di Bose-Einstein e avrebbero tutte le caratteristiche di una materia oscura fredda (*cold dark matter*), il tipo attualmente più quotato nei modelli cosmologici.

Fino a una decina di anni fa molti fisici avrebbero scommesso che la materia oscura fosse fatta da particelle massicce e debolmente interagenti, i cosiddetti Wimp (*weakly interacting massive particle*). Ma sebbene l'acceleratore di particelle Lhc del Cern sia stato potenziato e abbia cercato fino a energie oltre il TeV, non ha trovato nulla. Non è

escluso che ci siano particelle con masse ancora maggiori, ma questa situazione ha comunque generato dubbi sulla loro esistenza e soprattutto ha introdotto una certa delusione nei fisici teorici che si sono rivolti altrove per cercare le componenti della materia oscura. Gli assioni sono da tempo considerati un'ottima alternativa. I grandi acceleratori, come Lhc, sono stati concepiti per cercare particelle massicce, come il bosone di Higgs o il neutralino, ma non sono adatti per cercare piccole particelle che interagiscono molto debolmente. Al contrario, le stelle sono degli ottimi laboratori naturali per scovarle e studiarle. ■



# Il percorso dei dati scientifici di Euclid

di Paola Maria Battaglia, Fabio Pasian  
e Andrea Zacchei

## Come si passa da semplici bit ai dati scientifici della missione? Scopriamolo con una descrizione dettagliata del segmento di terra scientifico della missione Euclid e dei suoi due strumenti, Vis e Nisp.

# È

È noto che la missione Euclid è una missione scientifica dell'Agenzia spaziale europea (Esa) che ha come obiettivo quello di studiare l'origine dell'espansione dell'universo e altre tematiche cosmologiche di grande rilevanza, come la natura dell'energia oscura e della materia oscura e le condizioni iniziali che hanno portato alla formazione delle strutture cosmiche. La missione, lanciata il primo luglio 2023, ha completato la fase di *commissioning* e nel mese di ottobre ha intrapreso quella di *performance verification* (fase dedicata alla calibrazione sia degli strumenti sia del software di analisi, oltre che all'identificazione di eventuali sistematiche strumentali), dopo che i problemi individuati al sensore di guida fine (Fgs, dall'inglese Fine guidance sensor) sono stati risolti con l'upload da terra di un nuovo software per il sensore stesso. Quando il satellite e la sua strumentazione saranno pienamente operativi da un punto di vista scientifico, Euclid ef-

fettuerà la mappatura ad alta precisione del cielo nelle bande del visibile e del vicino infrarosso con lo scopo di misurare la struttura su larga scala dell'universo, e specificamente la forma e il *redshift* delle galassie oltre che la distribuzione degli ammassi di galassie in funzione del loro *redshift*.

Meno noto è il percorso che i dati scientifici seguono per trasformarsi da bit provenienti dall'elettronica dei due strumenti di bordo (Vis, il Visible Instrument e Nisp, il Near-Infrared Spectrometer and Photometer) in risultati scientifici utilizzabili per gli scopi sopra descritti. Questo percorso coinvolge diverse centinaia di persone con competenze tecniche e scientifiche molto diverse, collocate in una trentina di sedi distribuite in quattro continenti, e forma il cosiddetto Segmento di Terra.

### I DUE STRUMENTI VIS E NISP

Per sei anni Euclid osserverà circa un terzo del cielo dal secondo punto lagrangiano del sistema Terra-Sole, posto a una distanza di 1,5 milioni di chilometri dalla Terra, e raccoglierà la luce emessa da oltre due miliardi di galassie dopo un viaggio durato 10 miliardi di anni. La materia oscura e l'energia oscura, che insieme costituiscono il 95% circa dell'universo, fanno avvertire la loro presenza indirettamente, producendo immagini distorte di galassie lontane, che ci appaiono così come anelli o archi evanescenti, e accelerando l'espansione dell'universo stesso.

Il grande specchio che si trova nel telescopio a bordo di Euclid (di 1,2 metri di diametro) convoglia la luce raccolta nel piano focale, dove si trovano i due strumenti Vis e Nisp. Il Vis è dotato di una fotocamera di quasi 600 megapixel sensibile principalmente alla luce visibile, e verrà impiegato per realizzare immagini ad altissima risoluzione delle galassie osservate, in modo da misurare la loro forma. Nisp ha 16 sensori sensibili alla luce infrarossa e con i suoi 66 megapixel è la più potente fotocamera a infrarossi a essere mai stata lanciata nello spazio. Essendo dotata di filtri e reticoli di diffrazione, potrà fare fotometria multibanda e spettroscopia, misurando così lo spostamento verso il ros-

#### PAYLOAD

Gli strumenti ottici e infrarossi integrati nel modulo di carico utile del telescopio spaziale Euclid. In alto si intravede la fotocamera a più di 600 megapixel. Crediti: Airbus Defence and Space, Toulouse

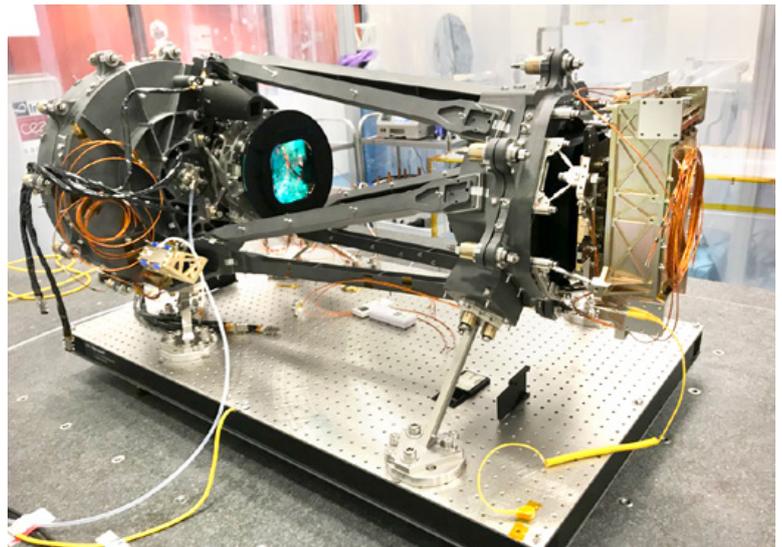
## Il lancio è un momento molto delicato, durante il quale Euclid ha ricevuto parecchie vibrazioni che sono potenzialmente in grado di produrre malfunzionamenti o spostamenti di parti mobili

so della luce proveniente dalle galassie osservate, e quindi la distanza.

### LA STORIA DAL LANCIO

Dal 1 Luglio, giorno del lancio da Cape Canaveral, abbiamo iniziato a seguire attraverso i vari canali di comunicazione la vita operativa di Euclid. Dalle sale di controllo realizzate appositamente per il *commissioning*, ogni notte, per quasi quattro settimane consecutive, gli esperti del satellite e degli strumenti hanno aspettato l'*acquisition of signal*, ovvero il momento in cui Euclid tornava a essere visibile dalla Terra. Da quel momento e fino al termine della visibilità, tutte le energie sono state dedicate all'analisi delle telemetrie: lunghe, lunghissime serie di parametri che scorrono senza sosta sui monitor di controllo e che raccontano a occhi allenati lo stato di "salute" del satellite.

Il lancio è un momento molto delicato, durante il quale Euclid ha ricevuto parecchie vibrazioni che sono potenzialmente in grado di produrre malfunzionamenti o spostamenti di parti mobili. Anche se tali vibrazioni vengono simulate in specifici test a terra, è necessario verificare che quando gli strumenti vengono accesi nuovamente in volo tutto funzioni come atteso. Nel caso di Nisp, ad esempio, una importante prima verifica è stata quella legata alle ruote porta filtri e reticoli, per capire se si trovavano ancora nella posizione di riferimento in cui erano state messe prima del lancio. Il momento tanto atteso, tuttavia, è stata l'accensione del piano focale. I rivelatori di Nisp hanno raccolto i primi fotoni provenienti dallo spazio il 14 luglio: nella sala di controllo l'emozione era altissima e quando, ad accensione ultimata, le tante luci sui monitor erano tutte verdi, è risultato evidente che Nisp aveva completato con successo la sequenza di accensione.



Per vedere le prime immagini e i primi spettri si è dovuto attendere il giorno successivo, quando durante la visibilità di Euclid, i dati sono stati scaricati dalle memorie di bordo. Qualche imprevisto, com'è normale che sia, c'è stato: è apparso subito evidente ai colleghi dello strumento Vis che la loro prima immagine era contaminata da luce che arrivava dall'esterno del telescopio. E la preoccupazione di tutti era legata al cattivo funzionamento del sensore di guida, che di fatto impediva al telescopio di inseguire correttamente i soggetti inquadrati, restituendo tante "belle" foto mosse.

Vediamo ora come avviene il trasferimento delle osservazioni a terra, e cosa succede poi.

### OPERATIONS GROUND SEGMENT

Durante specifiche finestre temporali, tre stazioni di terra (Cebreros in Spagna, Malargüe in Argentina, New Norcia in Australia) leggono, utilizzando un canale di trasmissione a 26 GHz (K-band), i dati raccolti a bordo di Euclid nelle ventiquattro ore precedenti

**ASSEMBLAGGIO**  
Il modello di volo completamente assemblato dello strumento Nisp nella camera bianca dei laboratori di astrofisica di Marsiglia.  
Crediti: Euclid Consortium/Nisp instrument team



**NEI MINIMI DETTAGLI**  
 Il team di ingegneri al lavoro sul modulo di carico utile di Euclid nella sede italiana di Thales Alenia Space a Torino. Il carico viene attentamente ancorato al modulo di servizio per ridurre qualsiasi tipo di sollecitazione allo specchio del telescopio.  
 Crediti: Esa/S. Corvaja

dagli strumenti Vis e Nisp ma anche da Fgs e da tutti i sensori che monitorano lo stato di satellite e strumenti (dati di telemetria). Le stazioni di terra sono distribuite geograficamente in modo tale da massimizzare la visibilità di Euclid; durante il periodo di *launch and early operations phase* sono state utilizzate stazioni di terra aggiuntive per garantire una copertura totale delle comunicazioni in tempo reale con il satellite.

Dopo una verifica di completezza, i dati raccolti dalle stazioni di terra vengono spediti al Mission Operations Centre (Moc) situato presso Esoc, la sede di Esa a Darmstadt in Germania. Qui i dati di telemetria vengono sottoposti a una serie di controlli che hanno lo scopo di verificare la salute di satellite e strumenti, in modo da poter intervenire tempestivamente per bloccare, se necessario, un sistema malfunzionante. Il Moc infatti è l'unico centro autorizzato a inviare i telecomandi al satellite: la sequenza di spostamenti e tempi di esposizione per poter far eseguire correttamente agli strumenti le esposizioni volute, la modifica dei parame-

tri di funzionamento per strumenti e sistemi accessori, l'upload di nuovo software (ad esempio quello recente per Fgs) e così via. Il Moc si incarica infine di rendere disponibile al Science Operations Centre (Soc) tutti i dati (scientifici e tecnici) acquisiti. La rete delle stazioni di terra e il Moc formano l'Operations Ground Segment (Ogs), interamente di responsabilità Esa.

### SCIENCE GROUND SEGMENT

Dopo la fase di controllo dello stato di salute di Euclid e dei suoi strumenti, la fase successiva riguarda il lavoro sui dati scientifici, e si svolge all'interno del segmento di terra scientifico (Science Ground Segment – Sgs). L'Sgs è di responsabilità Esa per quanto riguarda il Soc, situato nell'European Space Astronomy Centre (Esac), la sede di Esa a Villafranca del Castillo vicino a Madrid, in Spagna, e di responsabilità del Consorzio Euclid (Ec) per quanto riguarda la rete dei centri dati (Science Data Centres – Sdc) dove si svolgeranno le attività di verifica, elaborazione e analisi vere e proprie.

Il Soc è la sola interfaccia dell'Sgs verso il Moc, e quindi verso le operazioni della missione. Una delle principali attività del Soc comprende perciò l'invio della survey pianificata dal Consorzio Euclid sotto la guida scientifica italiana e creata sulla base di un programma di osservazione dedicato; il Soc verifica la compatibilità con i vincoli imposti dalla dinamica della missione e fornisce al Moc le sequenze di esposizioni necessarie per osservare i vari campi e ottenere le necessarie calibrazioni. Il Soc si occupa anche della gestione dei dati scaricati dal Moc e della loro verifica (per esempio mediante sistemi automatici e di *quick look*), generando rapporti giornalieri sulla qualità dei dati; esegue inoltre la formattazione dei dati di telemetria e prepara quelli che, una volta immessi nell'archivio, saranno a disposizione del Consorzio Euclid. Il Soc inoltre gestisce l'archivio ufficiale dei dati della missione e gli Euclid Archive Core Services (Eacs), cioè il sistema che tiene traccia di tutti i passi di elaborazione svolti nei vari Sdc e che permette di recuperare ogni dato di Euclid, indipendentemente dalla sede fisica in cui si trova.

L'Instrument Operation Team (Iot), elemento dell'Sgs a guida italiana, costituisce l'interfaccia tecnica, relativamente agli strumenti, con il Soc. L'Iot, infatti, ha la responsabilità di monitorare le performance degli strumenti sul breve e lungo periodo (*trend analysis*) e proporre, se necessario, modifiche alla loro configurazione per ottimizzarne i risultati. L'Iot è costituito da scienziati e tecnici che conoscono i dettagli degli strumenti: molti di essi hanno partecipato alla loro costruzione e test, e interagiscono con l'Sgs per la realizzazione di modelli da utilizzare durante l'analisi dei dati.

L'elaborazione e l'analisi dei dati, e la produzione dei risultati scientifici della missione sono invece realizzati dal Consorzio Euclid all'interno della parte dell'Sgs di propria responsabilità (Ec-Sgs), composta da nove Science Data Centres (Sdc) nazionali (situati in Finlandia, Francia, Germania, Italia, Olanda, Regno Unito, Spagna, Svizzera e Stati Uniti) e da altri contributi scientifici e tecnologici.



## **È di responsabilità dell'Inaf la gestione del Sdc italiano: tutto il lavoro di integrazione del codice relativo alle *processing function* assegnate all'Italia è stato svolto sotto il coordinamento di un team situato all'Osservatorio Astronomico di Trieste**

Gli Sdc sono specializzati, nel senso che codificano e integrano il codice dedicato a particolari analisi basandosi sul principio che il software sviluppato può essere eseguito in ogni Sdc indipendentemente dall'hardware sottostante e che soddisfi determinati requisiti di qualità. Complessivamente, i dati utilizzati per ottenere i risultati scientifici della missione saranno oltre 50 Petabyte contenuti in parecchi milioni di immagini.

È di responsabilità dell'Inaf la gestione del Science Data Centre italiano (Sdc-It): in particolare, tutto il lavoro di integrazione del codice relativo alle *processing function* assegnate all'Italia – quali Nip, Mer, Sir e parzialmente il Le3 – è stato svolto sotto il coordinamento di un team situato all'Osservatorio Astronomico di Trieste dell'Inaf. Anche l'industria italiana dà un contributo importante in questo campo: infatti la Altec di Torino ha realizzato e opera il Centro operativo scientifico di Sdc-It supportando la funzionalità e la continuità del servizio di hosting dei dati e del relativo calcolo scientifico.

### **LA VOCE DEL SILENZIO**

Il telescopio spaziale Euclid in camera anecoica, un ambiente di laboratorio strutturato in modo da ridurre il più possibile la riflessione di segnali sulle pareti.

Crediti: Esa/M. Pedoussaut





#### **PRONTI AL LANCIO**

Euclid viene incapsulato dalla carenatura SpaceX del Falcon 9. Alto 4,7 metri e con un diametro di 3,7 si adatta perfettamente alle forme del razzo.  
Crediti: SpaceX



**LA TRAVERSATA**  
Euclid salpa dal porto di Savona verso gli Stati Uniti e il porto vicino al sito di lancio a Cape Canaveral, in Florida.  
Crediti: Thales Alenia Space/Imagin



**LIFT OFF**  
Primo luglio 2023: il telescopio spaziale Euclid decolla sul cielo di Cape Canaveral, in Florida, a bordo di uno SpaceX Falcon 9.  
Crediti: SpaceX

Il coordinamento dell'intero Ec-Sgs è anch'esso di responsabilità dell'Inaf, e un *project office* guidato dall'Ec-Sgs manager si occupa degli aspetti di management tecnico/scientifico dell'Sgs, inclusi il controllo del progetto, il *quality assurance*, il coordinamento dell'Iot e la definizione della schedula.

## L'ELABORAZIONE DEI DATI

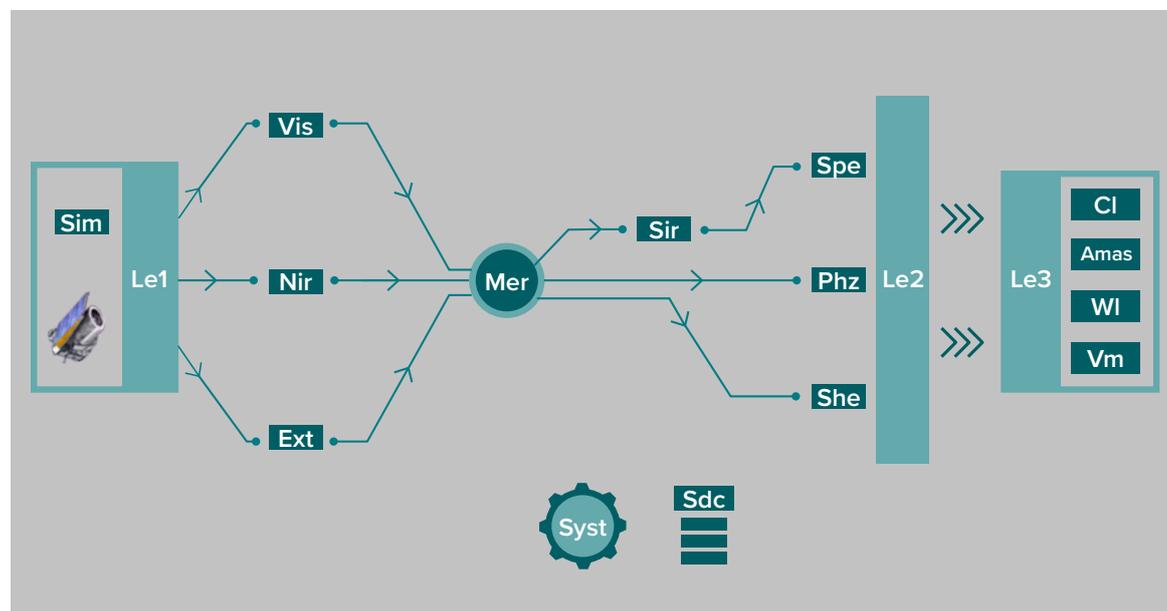
La figura sotto rappresenta la struttura dell'elaborazione dati nell'Sgs. Le immagini di Euclid e quelle delle survey esterne vengono elaborate in un primo momento dalle rispettive *processing function* (Vis, Nip, Ext), quindi Mer ne estrae un unico catalogo omogeneo. Dalle immagini spettroscopiche vengono ottenuti gli spettri (Nis), poi altre *pipeline* estraggono informazioni scientifiche dai dati ridotti: i parametri ricavabili dagli spettri (Spe), lo *shear* relativo al fenomeno del *lensing* (She), le velocità radiali calcolate fotometricamente (Phz). Il livello 3 dell'analisi (Le3) si occupa di preparare i prodotti scientifici finali della missione. Tutti i dati, intermedi e finali, vengono inseriti nell'archivio. Il software relativo alle varie *processing function* è stato sviluppato all'interno di team del Consorzio Euclid (Organisation Units) che hanno definito e sviluppato (e continuano a migliorare) gli algoritmi necessari. Questo software prototipale viene

poi integrato all'interno dell'ambiente Sgs dagli Sdc a ciò delegati, con il supporto del System Team (Syst). Nel corso degli anni le *processing function* (tramite Ou e Sdc) e il System Team hanno sviluppato molte decine di migliaia di righe di codice ciascuno, per un totale di diverse centinaia di migliaia di righe di codice, e oltre 200 Fte (anni-persona) di lavoro per anno.

## LA FASE DI VERIFICA

Per due mesi circa, durante la *performance verification phase*, si effettueranno delle osservazioni speciali, il cui scopo è quello di preparare Euclid a fare scienza: i rivelatori dei due strumenti verranno verificati nel loro funzionamento e calibrati. Gli Iot confronteranno la loro risposta in volo con quella vista durante i test a terra; si misureranno caratteristiche fondamentali come il rumore causato da diverse sorgenti, la *persistence*, i *dark*, i *flat field*, ecc. Questi ultimi sono delle speciali immagini di calibrazione che hanno lo scopo di mappare le differenze di sensibilità dei pixel del rivelatore e le disomogeneità del piano focale, come ad esempio la vignettatura, ovvero una perdita di luce ai bordi.

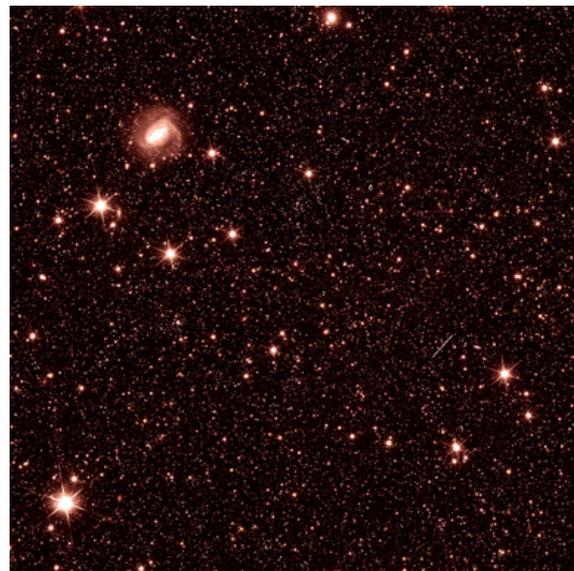
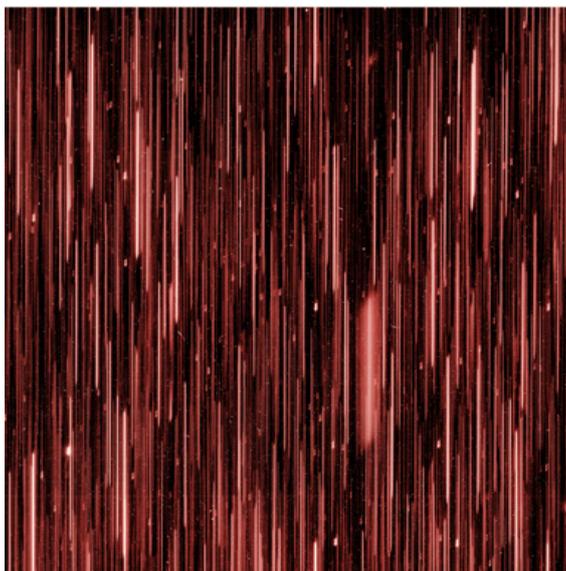
Per chi è costantemente impegnato nelle cosiddette operazioni di strumento, quello della fase di verifica è un momento



### ELABORAZIONE DATI

Struttura semplificata dell'elaborazione dati nel Science Ground Segment: spiegazioni nel testo.

Courtesy Euclid Consortium/ Esa/SGS Team



## Per due mesi circa, durante la *performance verification phase*, si effettueranno delle osservazioni speciali, il cui scopo è quello di preparare Euclid a fare scienza

### LO STRUMENTO NISP

Il Near-Infrared Spectrometer and Photometer di Euclid, misura la quantità di luce che le galassie emettono a ciascuna lunghezza d'onda.

Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa

### PROVA GENERALE

Il primo scatto di Nisp, il Near-Infrared Spectrometer and Photometer di Euclid. Uno scatto di prova con esposizione di 100 secondi.

Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa

di intensa attività in cui si calibrano gli strumenti e si mettono a punto tutte le strategie necessarie per controllare che tutto funzioni a dovere nei prossimi sei anni. Il team di ricercatori coinvolti è pronto ad affrontare eventuali problemi che potranno insorgere nella vita operativa degli strumenti. Questo periodo è molto importante, infatti, anche per provare tutte quelle procedure automatiche, e non, che sono state preparate nel corso dei lunghi anni di sviluppo. Quando questo articolo uscirà, Euclid avrà già terminato la fase di collaudo e avrà iniziato la sua osservazione del cielo alla ricerca di tracce di materia oscura ed energia oscura.

### IL FUTURO

La fase di *performance* e *verification* si è conclusa a fine novembre. I risultati acquisiti in questa fase saranno presentati a Esa durante la *mission commissioning readiness review*, con lo scopo di verificare se le performance strumentali reali sono in linea con quelle previste. La PV sarà poi seguita da un'altra fase di calibrazione detta Pdc (*phase diversity calibration*), della durata di circa due mesi, il cui scopo sarà quello

di determinare al meglio la forma della Psf (*point spread function*) con tecniche basate sull'acquisizione di immagini fuori fuoco. Alla fine della Pdc inizierà finalmente la prima fase di acquisizione scientifica chiamata *early survey operations phase* della durata di circa quattro mesi. In questa fase l'Sgs inizierà a estrarre i prodotti scientifici utilizzando le calibrazioni determinate durante la Pv e la Pdc. I risultati dell'analisi della Esop saranno presentati a Esa alla *data processing readiness review* nell'estate 2024, per verificare se soddisfano i requisiti scientifici della missione. Dopo la Esop, inizierà il periodo di osservazione nominale la cui durata prevista sarà di circa sei anni in cui l'Sgs lavorerà a pieno regime.

Euclid rilascerà i dati alla comunità astronomica in periodi cadenzati: la prima release, che comprenderà una piccola parte delle osservazioni, è prevista per l'inverno del 2024, ma la vera prima pubblicazione dei dati, che comprenderà circa un anno di osservazioni, è prevista per la fine del 2025. Le successive release sono previste a intervalli biennali fino al rilascio di tutti i sei anni di osservazioni.

Siamo certi che i risultati scientifici di Euclid, a cui l'Italia partecipa massicciamente grazie ad Asi, Inaf, Infn e al contributo di molte università, ripagheranno gli anni di lavoro e l'impegno delle molte persone che hanno partecipato alla progettazione e alla realizzazione del segmento di terra della missione, e che nei prossimi anni ne gestiranno le operazioni. ■