

# u n i v e r s i

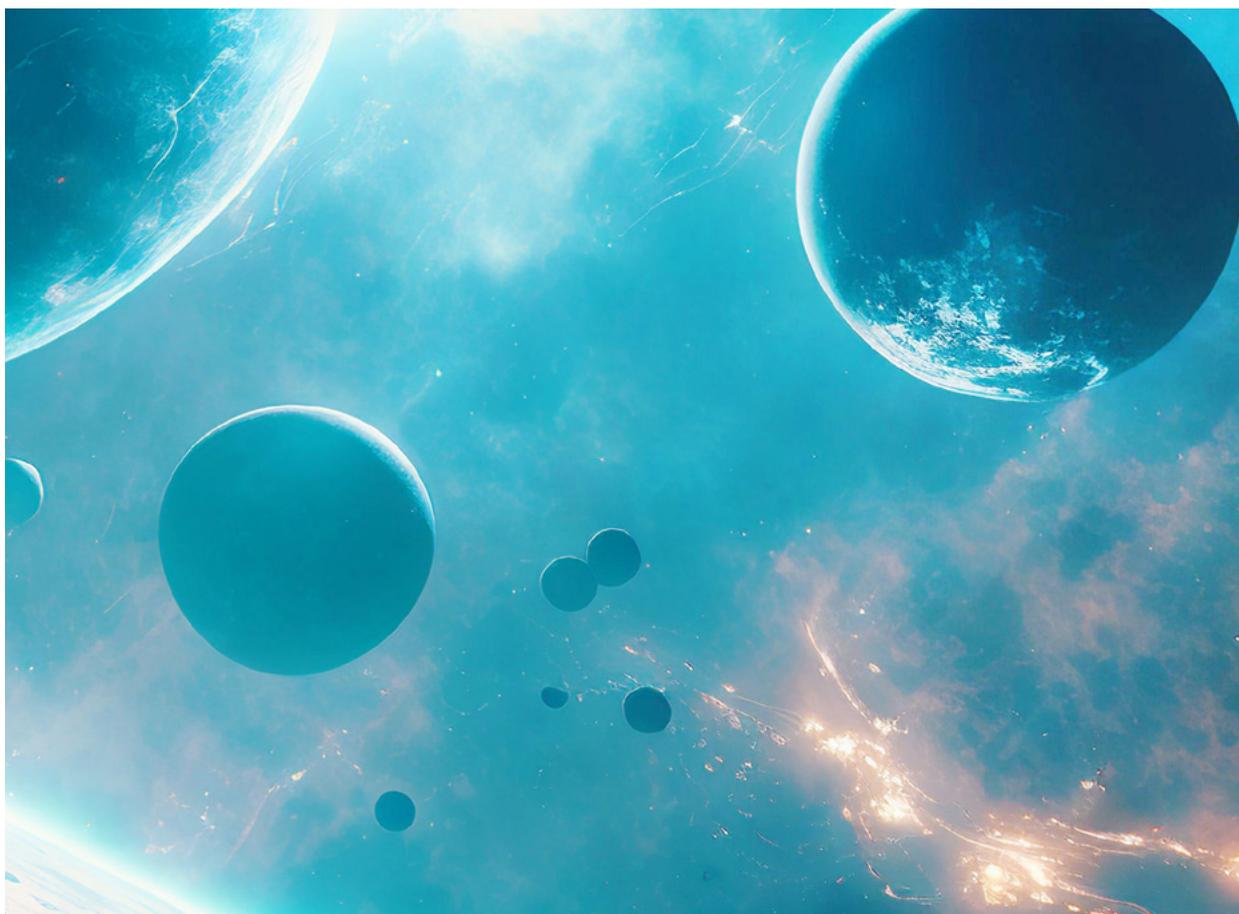


**rivista semestrale**  
**dicembre 2023**

**2**  
**inaf**

**8** Ecco le galassie che hanno reionizzato l'universo **16** Zona abitabile: e se l'acqua non bastasse? **24** LICIAcube, nanosatellite tutto italiano **32** Il lampo gamma più luminoso di tutti i tempi **40** Il percorso dei dati scientifici di Euclid **52** Le prime spettacolari immagini di Euclid **56** Macchine del tempo: a spasso per l'universo

# u n i v e r s i



**Universi: la rivista che racconta la straordinaria bellezza dell'universo.**

Universi è una rivista semestrale di divulgazione scientifica che presenta le attività e i risultati dell'Istituto nazionale di astrofisica. Un viaggio nello spazio, tra stelle, pianeti, satelliti e missioni fantastiche.

## colophon

Una rivista dell'Inaf  
Viale del Parco Mellini 84  
00136 Roma  
[www.inaf.it](http://www.inaf.it)

Registrazione n. 8582  
del 1 aprile 2022 presso  
il Tribunale di Bologna

**DIRETTORE RESPONSABILE**  
Maura Sandri

**DIRETTORE ARTISTICO**  
Davide Coero Borga

**IN REDAZIONE**  
Francesca Maria Aloisio,  
Davide Coero Borga,  
Eleonora Ferroni,  
Giuseppe Fiasconaro,  
Marco Galliani,  
Valentina Guglielmo,  
Laura Leonardi, Marco  
Malaspina, Claudia  
Mignone, Maura Sandri,  
Rossella Spiga

**COMITATO SCIENTIFICO**  
Marco Tavani, Filippo  
Maria Zerbi, Roberto  
Gilli, Ilaria Musella, Maria  
Elisabetta Palumbo,  
Melania Del Santo,  
Deborah Busonero

**COORDINAMENTO  
REDAZIONALE**  
Cecilia Toso

**PROGETTO GRAFICO  
E IMPAGINAZIONE**  
Chiara Athor Brolli

**IMMAGINI**  
Le immagini senza credito  
provengono dall'Archivio  
Inaf

**STAMPA**  
River Press Group srl  
Via Menalca 30  
00155 Roma

# universi 2

In questo numero

- 8 RSN 1 | GALASSIE E COSMOLOGIA** Ecco le galassie che hanno reionizzato l'universo
- 16 RSN 2 | STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE** Zona abitabile: e se l'acqua non bastasse?
- 24 RSN 3 | SOLE E SISTEMA SOLARE** LICIAcube, nanosatellite tutto italiano
- 32 RSN 4 | ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE** Il lampo gamma più luminoso di tutti i tempi
- 40 RSN 5 | TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE** Il percorso dei dati scientifici di Euclid

**4**

**EDITORIALE**  
Tasselli per la comprensione dell'universo

**8**

**RSN 1 |** Ecco le galassie che hanno reionizzato l'universo

**16**

**RSN 2 |** Zona abitabile: e se l'acqua non bastasse?

**24**

**RSN 3 |** LICIAcube, nanosatellite tutto italiano

**32**

**RSN 4 |** Il lampo gamma più luminoso di tutti i tempi

**40**

**RSN 5 |** Il percorso dei dati scientifici di Euclid

**52**

**INTERVISTA AD ANNA MARIA DI GIORGIO**  
Le prime spettacolari immagini di Euclid

**56**

**INTERVISTA A CATERINA BOCCATO**  
Macchine del tempo: a spasso per l'universo

**60**

**VISIONE**  
testi di Davide Coero Borga  
scatti di Riccardo Bonuccelli

**68**

**FLASH**  
di Eleonora Ferroni

**74**

**TECH**  
Verso un'astrofisica più intelligente?  
di Rossella Spiga

**76**

**INCONTRI**  
L'anno del Coniglio, Lapin incontra l'astrofisica  
di Francesca Maria Aloisio

**78**

**METAVERSO**  
Esploratori di stelle sulla terra  
di Laura Leonardi

**80**

**ART**  
Prove tecniche di primo contatto  
di Claudia Mignone

**82**

**GREEN**  
Maia, una missione per l'inquinamento e la salute  
di Valentina Guglielmo

**84**

**ASTROBIOLOGIA**  
Alla ricerca delle nostre origini cosmiche  
di Giuseppe Fiasconaro

**86**

**MUSEI**  
Strumenti Astronomici al MuSA di Napoli  
di Ginevra Trinchieri

**88**

**SCUOLA**  
EduINAF, una casa spaziale per la didattica  
di Maura Sandri

**90**

**HERITAGE**  
Look up! Sfoglia il cielo con un dito  
di Antonella Gasperini e Mauro Gargano

**92**

**LIBRI**  
Nastassja Cipriani, Edwige Pezzulli  
*Prospettive di genere nella scienza*  
di Silvia Piranomonte

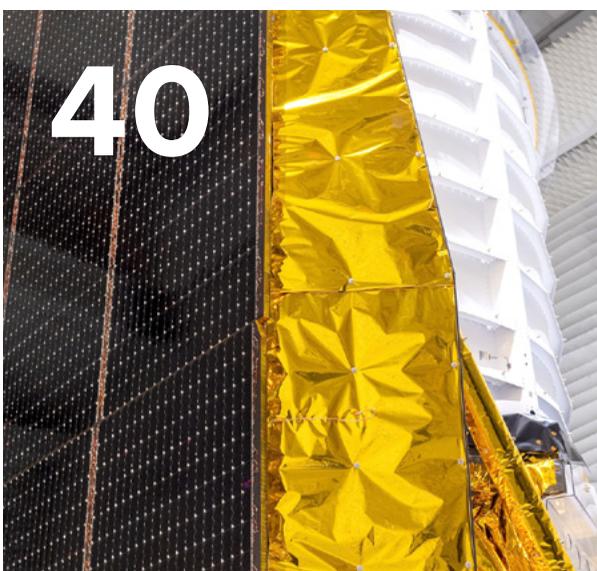
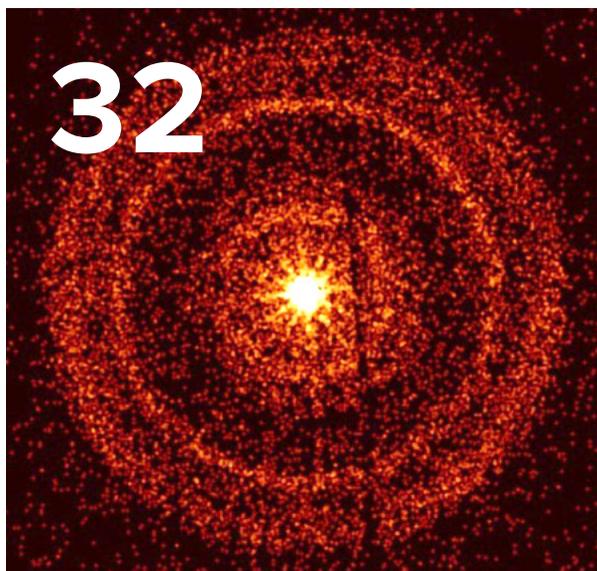
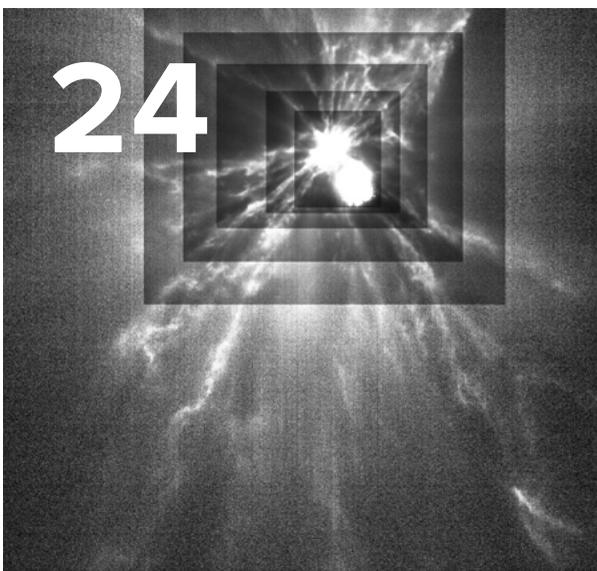
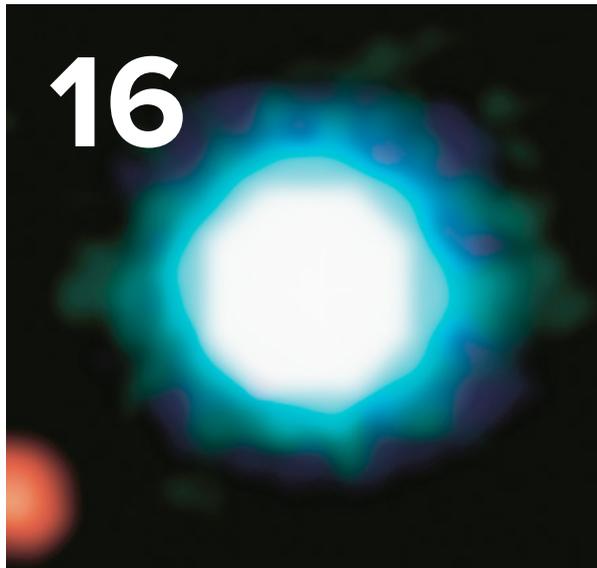
**94**

**DATATELLING**  
Prisma: a caccia di meteoriti  
di Daniele Gardiol



## in copertina

Esopianeti in orbita di una stella lontana. Un'illustrazione generata con intelligenza artificiale.



Palazzo  
Esposizioni  
Roma

# MACCHINE DEL TEMPO

IL VIAGGIO NELL'UNIVERSO  
INIZIA DA TE

UNA MOSTRA DELL'ISTITUTO  
NAZIONALE DI ASTROFISICA



## Macchine del Tempo

[macchinedeltimo.inaf.it](http://macchinedeltimo.inaf.it)

25.11.2023  
\_ 24.03.2024

Roma, via Nazionale 194  
[palazzo.esposizioni.it](http://palazzo.esposizioni.it)

ROMA  azienda speciale  
PALAEXPO



SKAO

cta

TAU

esa

STC

# editoriale

## TASSELLI PER LA COMPRESIONE DELL'UNIVERSO

**L'**astrofisica odierna offre straordinarie possibilità di studio dell'universo ed è multiforme nelle sue sfaccettature: questo numero di *Universi* lo rappresenta in pieno. L'Inaf, non dimentichiamolo, opera utilizzando strumentazione sia da terra sia dallo spazio.

Il primo degli argomenti affrontati in questo numero è il difficile dilemma della ionizzazione del mezzo intergalattico (sostanzialmente idrogeno) nelle prime fasi dell'evoluzione dell'universo. I nuovi dati del telescopio spaziale della Nasa James Webb sembrano indicare che la maggior parte delle galassie osservate nelle prime fasi evolutive contribuiscono alla ionizzazione in modo sostanziale, un tassello importantissimo nella comprensione dell'universo giovane.

Il tema affascinante ed estremamente complesso dell'origine della vita in pianeti extra-solari, deve includere anche uno studio della componente ultravioletta della radiazione incidente sul pianeta, che può favorire la formazione di molecole fondamentali per la vita. La ricerca della vita in esopianeti è tematica di grande interesse che vede Inaf proiettato nei prossimi 10-20 anni con studi

che utilizzeranno i telescopi di terra e spaziali attuali e del futuro.

L'impatto di una sonda umana per deviare la traiettoria dell'asteroide Dimorphos è l'incredibile risultato della sonda della Nasa Dart. *Universi* descrive in modo appassionante l'evento del 26 settembre 2022, che è stato documentato in situ dal nostro nano-satellite che ha seguito le fasi di avvicinamento e impatto, e le sue conclusioni.

Non poteva mancare un rapporto, anch'esso appassionante, sul lampo cosmico gamma (Gamma-Ray Burst, Grb) del 9 ottobre 2022, il più intenso mai rivelato dai satelliti di alta energia e da rivelatori terrestri che hanno incluso le altissime energie fin dall'inizio dell'evento. Il Grb è durato molti minuti.

Completa la cinquina degli articoli scientifici il contributo sul "percorso" dei dati scientifici della missione spaziale Euclid lanciata dall'Esa il 1 luglio di quest'anno. La missione è di enorme importanza scientifica e studierà l'universo plasmato dalla presenza della materia oscura e della cosiddetta energia oscura, che tanto appassiona noi tutti. L'Inaf ha un ruolo fondamentale nel trattamento e sfruttamento scientifico dei dati di Euclid in ciò che viene chiamato il Segmento di Terra scientifico. In questo numero esploriamo anche le prime cinque immagini a colori di Euclid rilasciate il 7 novembre scorso dall'Esa.

È importante enfatizzare la mostra dell'Inaf Macchine del Tempo che si terrà al Palazzo delle Esposizioni di Roma da dicembre 2023 a marzo 2024. È la prima volta che il nostro ente "apre" in questo modo i suoi "scritti scientifici" al pubblico di appassionati e curiosi. Ringrazio tutta la squadra dell'Inaf che ha permesso questo evento, e siamo lieti di offrire questo numero di *Universi* ai visitatori della mostra che speriamo diventi presto itinerante per l'Italia. ■

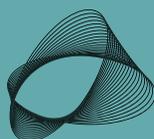
**Marco Tavani**  
Presidente dell'Inaf



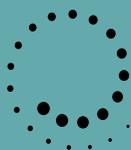
**L'astrofisica odierna offre straordinarie possibilità di studio dell'universo: questo numero di *Universi* ce lo racconta**

# RSN

I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI  
NAZIONALI DELL'INAF



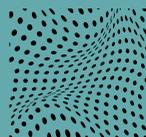
**GALASSIE  
E COSMOLOGIA**



**STELLE,  
POPOLAZIONI  
STELLARI E MEZZO  
INTERSTELLARE**



**SOLE E SISTEMA  
SOLARE**

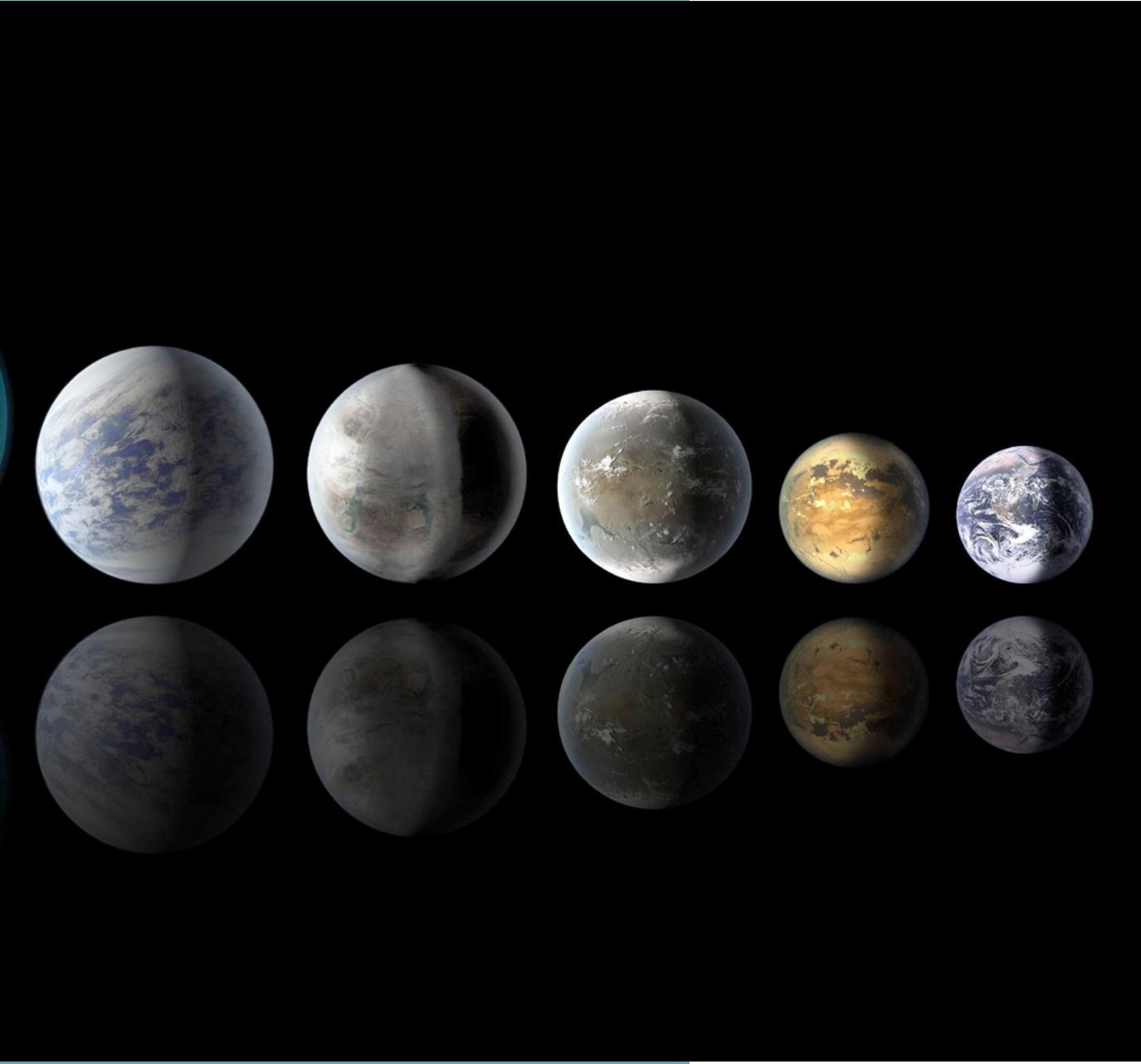


**ASTROFISICA  
RELATIVISTICA  
E PARTICELLE**



**TECNOLOGIE  
AVANZATE E  
STRUMENTAZIONE**

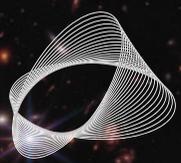




# Ecco le galassie che hanno reionizzato l'universo

di Sara Mascia e Laura Pentericci

Grazie al telescopio spaziale James Webb e all'aiuto dell'ammasso di Pandora che, come una lente, ha amplificato la luce proveniente dalle galassie ancora più distanti, per la prima volta è stato possibile stimare la frazione di luce da esse rilasciata in grado di ionizzare l'universo.





Il lancio del James Webb Space Telescope (Jwst), il telescopio spaziale sviluppato dalla Nasa in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Europea (Esa) e l'Agenzia Spaziale Canadese (Csa), ha suscitato un crescente interesse riguardo al fenomeno della reionizzazione cosmica. Ma di cosa si tratta di preciso? E quali sorgenti astronomiche ne sono le principali responsabili? Per provare a rispondere a queste domande abbiamo bisogno di fare un passo indietro e analizzare in dettaglio la storia dell'universo così come la conosciamo.

Il nostro viaggio inizia circa 400mila milioni di anni dopo il big bang, dopo un periodo chiamato "Età oscura", definita così perché con un po' di fantasia dovremmo riuscire a immaginare l'universo come un luogo scuro, caldo e inospitale, senza oggetti luminosi e avvolto da una coltre di idrogeno neutro. Col passare del tempo, l'universo continua a espandersi, ed espandendosi si raffredda sempre di più. Quando in astronomia parliamo di zone che vanno incontro a processi di raffreddamento, nella maggior parte dei casi parliamo anche di zone di formazione stellare: e infatti eccole, le prime stelle (che a oggi definiamo di popolazione III) che cominciano a illuminare l'universo e la cui nascita dà inizio all'epoca della reionizzazione.

## IL CONTINUO DI LYMAN

Nonostante siano proprio queste stelle ad aver reso l'universo così come lo conosciamo, noi ancora non le abbiamo mai osservate: questo perché le stelle primordiali erano molto diverse dalle stelle come il Sole. Costi-

tute solamente da idrogeno ed elio, erano infatti molto più massive e bruciavano velocemente il loro carburante, emettendo una quantità significativa di radiazione ultravioletta. Questa radiazione, nota come radiazione del continuo di Lyman, ha esattamente l'energia richiesta per trasformare l'idrogeno nel mezzo intergalattico dal suo stato neutro (stato in cui si trovava durante l'Età oscura) a quello ionizzato.

Per chiarire, i fotoni del continuo di Lyman sono i fotoni emessi dalle stelle a energie superiori al limite di Lyman. Fu infatti Theodore Lyman che, dal 1906 al 1914, osservò che l'idrogeno atomico assorbe la luce solo a frequenze specifiche (le frequenze caratteristiche della serie di Lyman, tutte nella banda dell'ultravioletto). Tuttavia, questo comportamento quantizzato si verifica solo fino a un limite di energia, noto come energia di ionizzazione. Nel caso dell'idrogeno atomico neutro, l'energia minima di ionizzazione è pari al limite di Lyman, dove il fotone ha un'energia sufficiente a ionizzare completamente l'atomo, dando origine a un protone e a un elettrone liberi. Al di sopra di questa energia, tutte le frequenze della luce possono essere assorbite. Questo forma un *continuum* nello spettro energetico – il continuo di Lyman, appunto – piuttosto che le molte righe che si vedono alle energie più basse. Il limite di Lyman è alla lunghezza d'onda di 91,2 nanometri, corrispondente alla frequenza di 3,29 milioni di GHz ed energia pari a 13,6 elettronvolt.

## LA REIONIZZAZIONE

Proviamo ora a immaginare l'universo come la tela di un ragno: nelle intersezioni dei fili ci sono gruppi di stelle di popolazione III che, per effetto della gravità, assieme alla materia a loro circostante formano le prime galassie. Gli spazi vuoti sono invece le zone che definiscono il mezzo intergalattico, al momento popolate da idrogeno neutro. Le prime galassie producono una radiazione del continuo di Lyman così intensa da iniziare a ionizzare l'idrogeno neutro contenuto nel mezzo intergalattico più vicino a loro. Progressivamente, la frazione di mezzo intergalattico che riescono a ionizzare aumenta, fino a

### LA VERSIONE DI HUBBLE

L'ammasso di Pandora (Abell 2744) piega la luce proveniente da quasi 3mila galassie distanti, facendole apparire più grandi e luminose in un fenomeno chiamato lente gravitazionale.

Crediti: Nasa/Esa, J. Lotz, M. Mountain, A.M. Koekemoer, HFF Team

### LA VERSIONE DI WEBB

Visto con la fotocamera a raggi infrarossi installata sul telescopio spaziale James Webb, l'ammasso di Pandora risplende di 50mila fonti di luce.

Crediti: Nasa/Esa/Csa, I. Labbe, R. Bezanson

**Il nostro viaggio inizia circa 400mila milioni di anni dopo il big bang, dopo un periodo chiamato Età oscura, definita così perché l'universo era un luogo scuro, caldo e inospitale, senza oggetti luminosi e avvolto da una coltre di idrogeno neutro**

## Ancora oggi non sappiamo quali siano le caratteristiche delle galassie che hanno contribuito maggiormente a reionizzare il mezzo intergalattico nei primi stadi

che, dopo circa un miliardo di anni dopo il big bang, quasi tutto il gas risulta ionizzato. Così finisce questo nostro viaggio nella storia dell'universo e così finisce l'epoca della reionizzazione.

Per quanto il processo così raccontato sembra chiaro, a oggi sono ancora tanti gli interrogativi che gli astronomi si pongono su questo periodo: non sappiamo infatti quali siano le caratteristiche delle galassie che hanno contribuito maggiormente a reionizzare il mezzo intergalattico nei primi stadi di questo processo, né quale percentuale di radiazione con energia sufficiente a ionizzare il gas circostante sia stata emessa dai diversi tipi di galassie presenti all'epoca. Le galassie responsabili della reionizzazione erano massicce e luminose oppure, come ritenuto dai principali modelli attuali, erano quelle più deboli, che erano anche più numerose?

### JWST, LA VEDETTA DELLO SPAZIO

Ecco dove Jwst entra in gioco con il suo potenziale rivoluzionario. Questo telescopio, lanciato con successo il 25 dicembre 2021 dallo spazioporto di Arianespace a Kourou, nella Guyana francese, con il suo specchio primario rivestito d'oro e dal diametro di 6,5 metri, è progettato per scrutare l'universo nell'infrarosso rivelando dettagli che i suoi predecessori, l'Hubble Space Telescope e lo Spitzer Space Telescope, non avrebbero mai potuto cogliere.

Con la sua elevata sensibilità, Jwst è infatti in grado di rivelare galassie sempre più distanti nel tempo e nello spazio, consentendo agli astronomi di mappare la loro distribuzione spaziale e caratterizzare le loro proprietà fisiche. Inoltre, le sue osservazioni consentono di ottenere informazioni preziose sulla composizione di queste prime sorgenti, che potrebbero potenzialmente

aiutarci a rivelare la presenza delle stelle di popolazione III.

Tra i primi programmi osservativi di Jwst, il progetto GLASS-JWST guidato da Tommaso Treu (University of California, Los Angeles - UCLA) ha come obiettivo quello di utilizzare il nuovo telescopio per cercare risposta ai quesiti ancora aperti sulla reionizzazione cosmica. Si tratta di una collaborazione internazionale di ricercatrici e ricercatori in 24 istituti di ricerca e università tra Italia, Stati Uniti, Giappone, Danimarca, Australia, Cina e Slovenia che, in sinergia, hanno pubblicato un articolo a guida dell'Inaf sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*.

Siamo stati in grado di osservare galassie molto lontane e molto deboli sfruttando il fatto che esse si trovano al di là dell'ammasso di galassie Abell 2744 (chiamato anche Ammasso di Pandora). L'effetto di lente



### IL PIÙ GRANDE SPETTACOLO DOPO IL BIG BANG

Il telescopio spaziale James Webb ha fotografato due degli oggetti celesti più lontani mai visti dall'uomo: due galassie risalenti a 350 e 450 milioni di anni dopo il big bang, avvenute 13,8 miliardi di anni fa.

Crediti: Nasa/Esu/Csa, Tommaso Treu



gravitazionale dato dall'ammasso, infatti, ha amplificato (e distorto) la luce proveniente da esse.

### LE LENTI GRAVITAZIONALI

In astronomia, una lente gravitazionale è una distribuzione di materia – una galassia, materia oscura, un buco nero o, come in questo caso, un ammasso di galassie – in grado di curvare la traiettoria della luce proveniente da una o più sorgenti poste dietro la lente stessa, in modo analogo a una lente ottica. Ovviamente, non sono i fotoni a essere curvati bensì lo spaziotempo su cui viaggiano, piegato dalla gravità prodotta dai corpi celesti. Le prime evidenze sperimentali di questo affascinante fenomeno furono raccolte nel 1919 durante un'eclissi totale di Sole, quando si osservò la deflessione dei raggi lumi-

nosi delle stelle prodotta dal Sole stesso. Da allora, è stato scoperto un grande numero di lenti gravitazionali grazie agli sviluppi tecnologici della strumentazione astronomica. L'ammasso di Pandora, oggetto dello studio trattato in questo approfondimento, è una di queste.

### NUOVE OSSERVAZIONI

Grazie quindi a uno degli effetti più suggestivi della relatività generale e al telescopio a oggi più potente mai realizzato, abbiamo potuto studiare, tramite osservazioni spettroscopiche e fotometriche, 29 galassie presenti quando l'universo aveva un'età compresa tra circa 650 milioni e 1,3 miliardi di anni. Prima di queste osservazioni, le proprietà ionizzanti di queste lontanissime galassie erano ignote, soprattutto per quanto

**Con la sua elevata sensibilità, Jwst è in grado di rivelare galassie sempre più distanti nel tempo e nello spazio, consentendo agli astronomi di mappare la loro distribuzione spaziale e caratterizzare le loro proprietà fisiche**

riguarda le galassie di piccola massa, molto difficili da rivelare e quindi da analizzare. Un'ulteriore complicazione è data dal fatto che a distanze così elevate non è possibile osservare direttamente la radiazione di continuo di Lyman, e quindi capire quanti fotoni ionizzanti abbiano emesso le galassie che stiamo osservando.

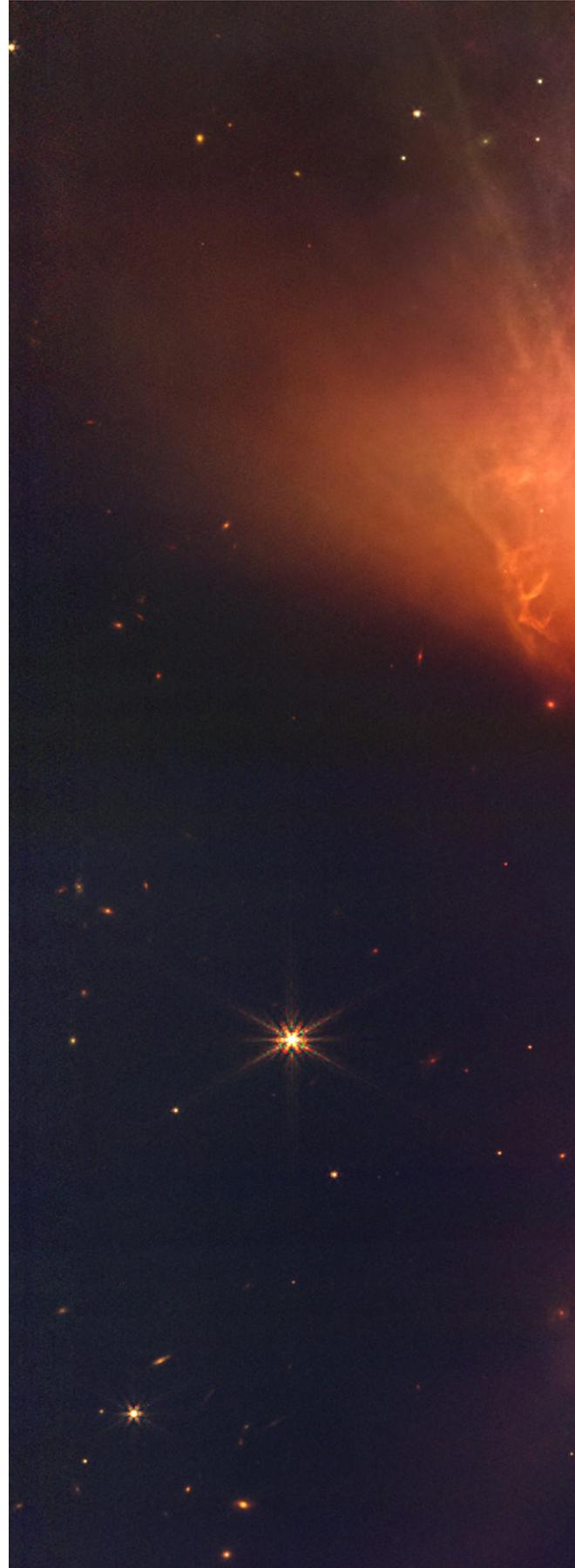
Grazie ai nuovi dati raccolti da Jwst e dopo una analisi accurata delle loro proprietà fisiche e un confronto con quelle delle galassie dell'universo locale, che sappiamo essere grandi produttrici di fotoni ionizzanti, siamo riusciti a stimare quanti fotoni ionizzanti fuoriescono dalle galassie di piccola massa. I nostri risultati indicano che oltre l'80% delle galassie osservate contribuisce in maniera significativa alla reionizzazione, in accordo con quanto previsto dai modelli attuali.

Nuove osservazioni, che saranno realizzate prossimamente anch'esse con Jwst, estenderanno questa analisi a campioni più grandi di galassie, includendo quelle con masse più elevate o ancora più distanti e ci permetteranno finalmente di capire un capitolo importante della storia dell'universo, e quindi della storia umana. ■

#### LA PROTOSTELLA NELLA NUBE OSCURA

Le espulsioni della stella all'interno della nube L1527 ripuliscono le cavità e i confini brillano di arancione e blu in questo scatto raccolto da James Webb negli infrarossi.

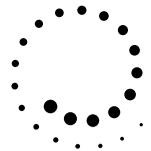
Crediti: Nasa/Esa/Csa/STScI, J. DePasquale, A. Pagan, A.M. Koekemoer





# 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 extraterrestre 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-

#### ESSERCIÈ 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

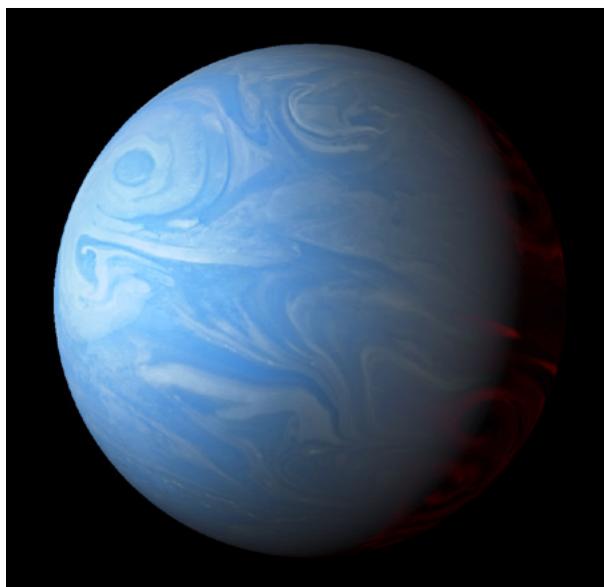
**SIMULAZIONI**  
Giganti gassosi, in orbita attorno a stelle lontane, ricreati da un software di simulazione 3D open-source che permette la navigazione e l'osservazione in tempo reale di oltre 100mila oggetti fra stelle, costellazioni, comete, pianeti, lune e asteroidi.  
Crediti: Celestia 17.0

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

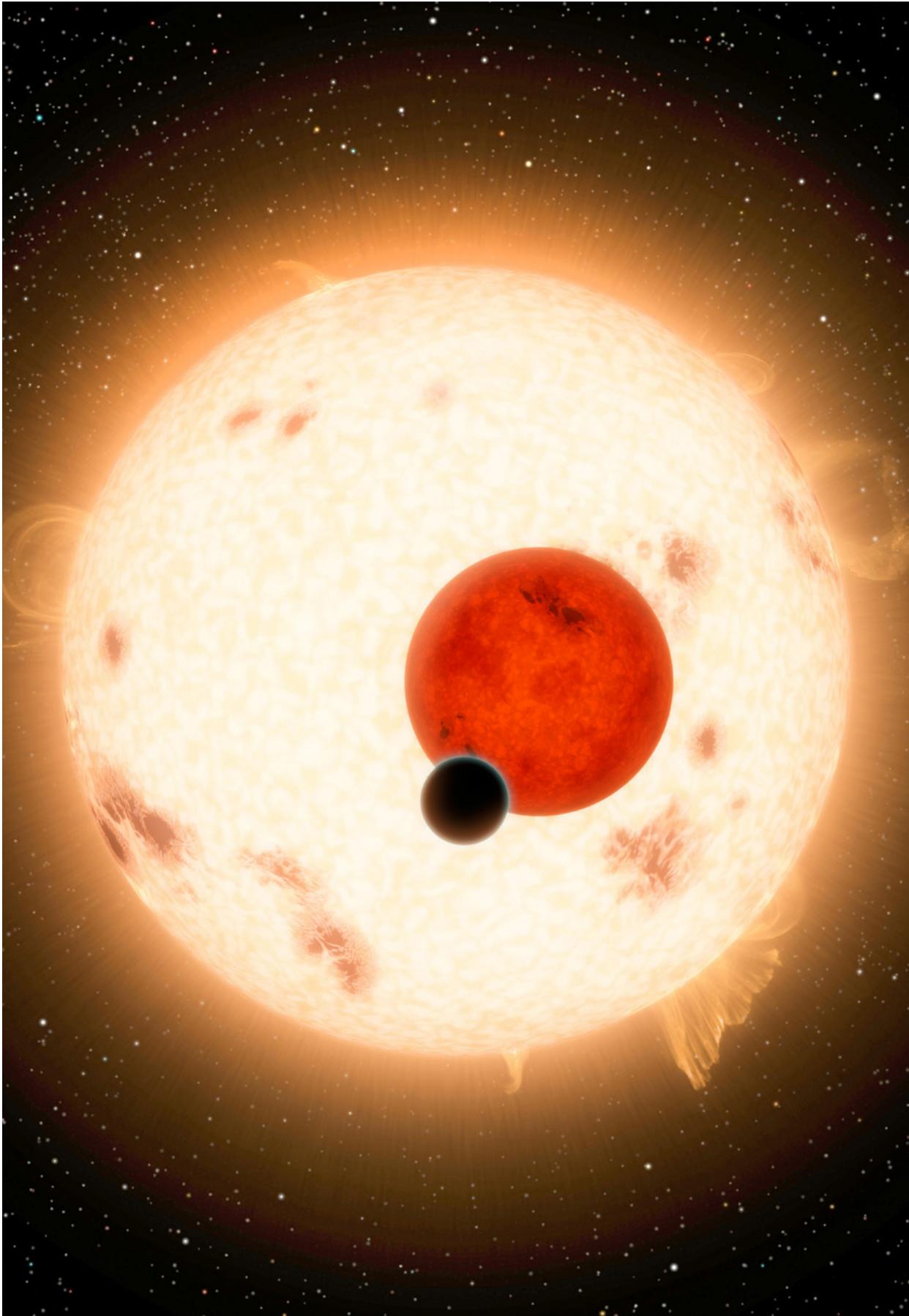
noi si è evoluta. Sappiamo, ad esempio, che la radiazione ultravioletta era la sorgente di energia libera più abbondante sulla Terra primordiale e in aggiunta osserviamo che l'Rna mostra una resistenza alla luce ultravioletta maggiore di altre macromolecole con simili proprietà. Questo potrebbe suggerire 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.

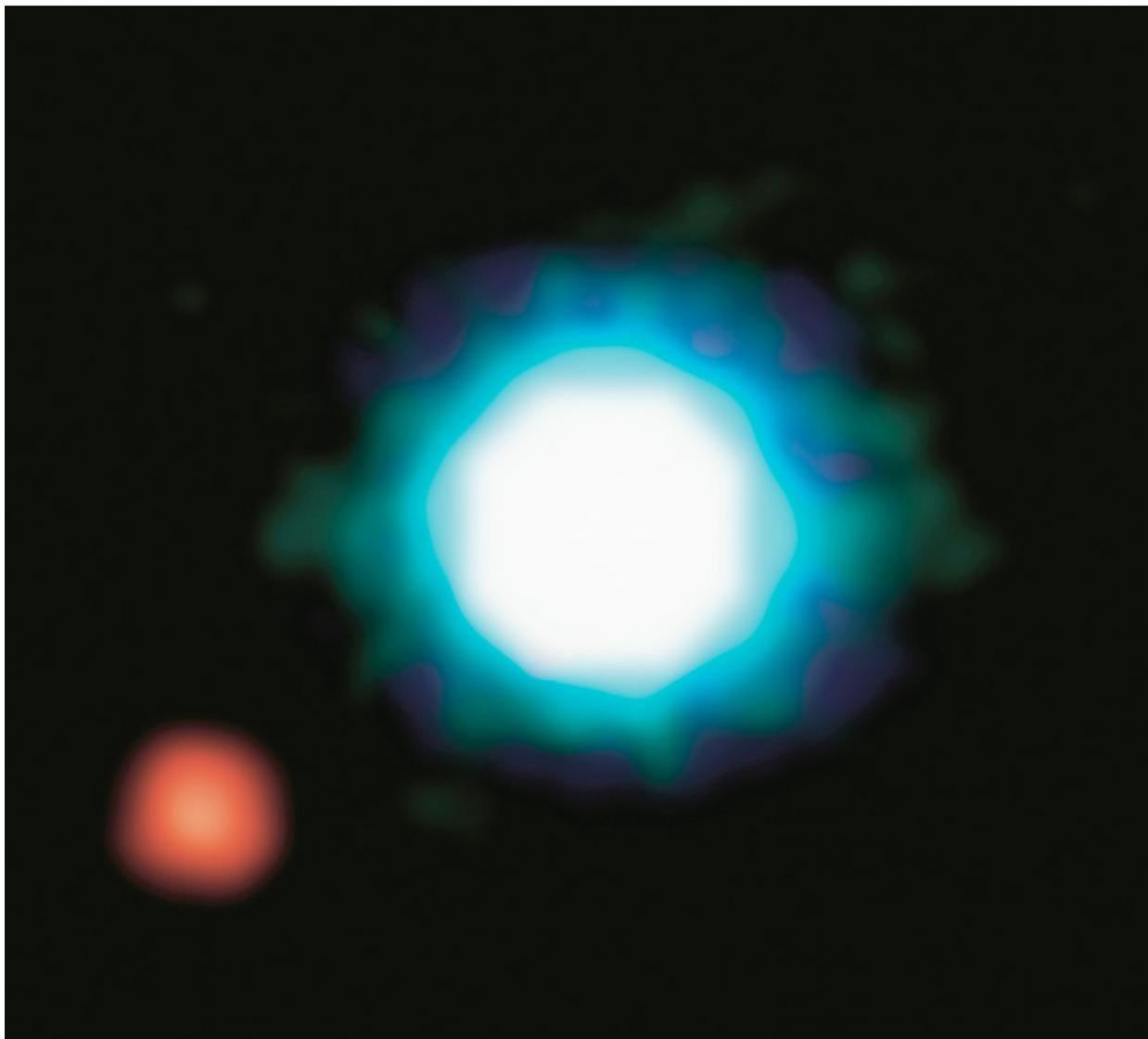
In un esperimento condotto nel 2018, Paul Rimmer, astrochimico dell'University of Cambridge, e John Sutherland, biochimico dell'Mrc Laboratory of Molecular Biology di Cambridge, hanno dimostrato che in un composto di ioni di acido cianidrico e di acido solfidrico in acqua, esposto a luce vicino-ultravioletta, 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. ■



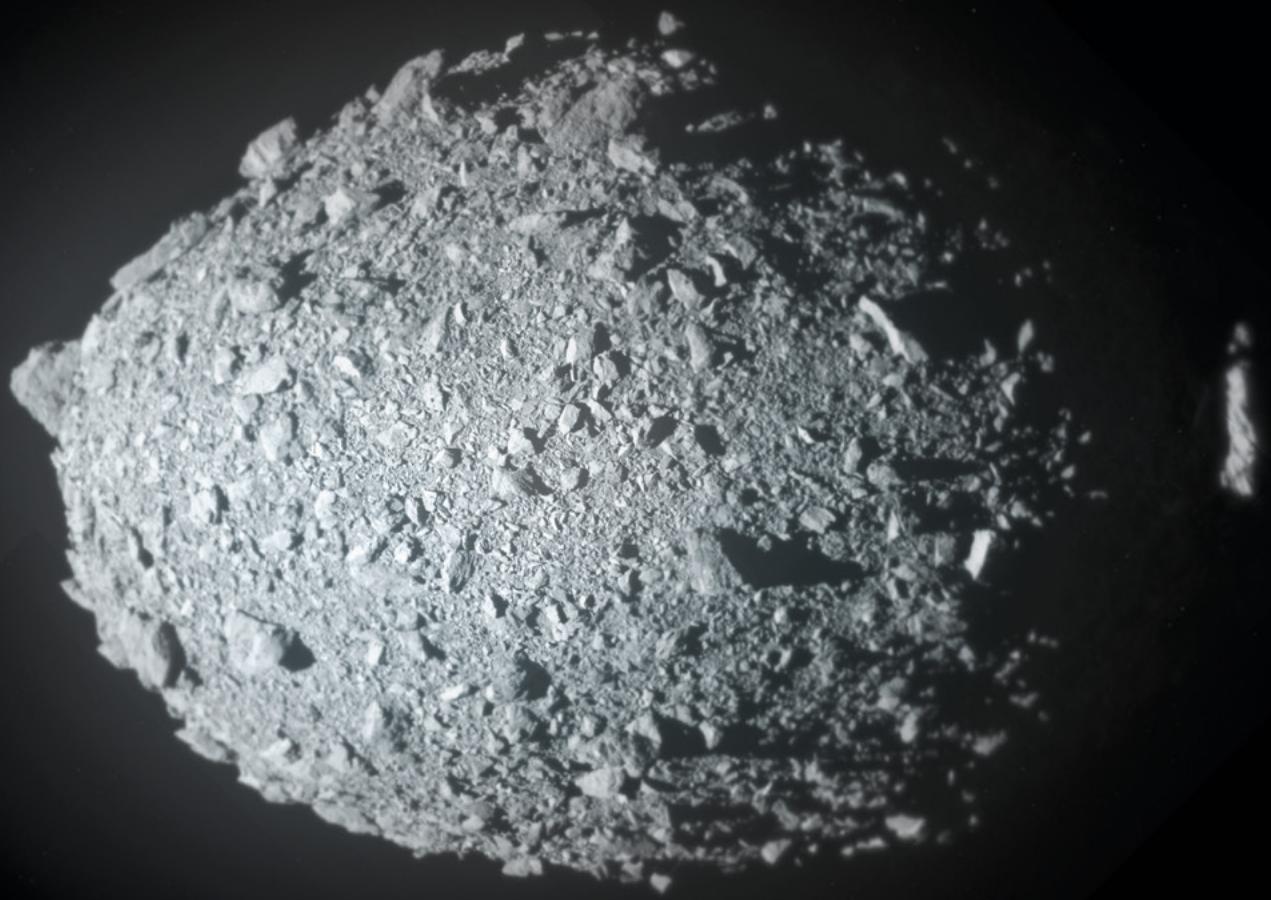
# LICIACube, nanosatellite tutto italiano

di **Elisabetta Dotto** e il **LICIACube Team\***



**SOLE E SISTEMA  
SOLARE**

**Il nanosatellite LICIACube ha partecipato alla prima missione di difesa planetaria, testimoniando l'impatto della sonda Nasa Dart su Dimorphos, il piccolo satellite dell'asteroide binario Didymos.**





Il 26 settembre 2022 Dart (Double Asteroid Redirection Test) ha portato a termine la prima missione di difesa planetaria, realizzando il primo esperimento di impattatore cinetico per deviare la traiettoria di un asteroide.

Nelle vicinanze dell'orbita della Terra c'è infatti una popolazione di piccoli corpi, chiamati Neo (dall'inglese Near Earth Objects), che si ritiene sia composta da circa 25mila oggetti con diametro maggiore di 140 metri. Abbiamo informazioni sui più grandi di loro, ma a oggi conosciamo meno della metà degli oggetti stimati attorno ai 140 metri di diametro. Sebbene la probabilità di impatto con il nostro pianeta di uno di questi oggetti non sia elevatissima – statisticamente pari a un evento ogni 25mila anni – la collisione potrebbe provocare un cratere di diametro fino a 2 chilometri, con conseguente distruzione di un'area molto vasta, di superficie pari a una metropoli europea. È quindi di fondamentale importanza scoprire e conoscere nel dettaglio le proprietà fisiche dei Neo di queste dimensioni. Per tale ragione, negli ultimi decenni agenzie spaziali e organi nazionali e internazionali (tra cui Esa, Nasa, Ue) hanno investito risorse nella difesa planetaria, sia per le osservazioni da Terra, dedicate alla scoperta e allo studio dei Neo che possono costituire un pericolo per il nostro pianeta, sia per la messa a punto di tecniche in grado di mitigare gli effetti di un possibile impatto. Sulla base delle attuali conoscenze, si valuta che la tecnica più efficace nel caso la Terra stia per essere colpita da un corpo di circa 100 metri di diametro, scoperto con qualche anno di anticipo rispetto alla

possibile collisione, sia quella dell'impatto cinetico, vale a dire lo schianto di una sonda spaziale sulla superficie dell'asteroide, con l'intento di modificarne l'orbita e scongiurarne la collisione con il nostro pianeta.

## L'IMPATTATORE CINETICO

In Europa nel 2005 Andrea Milani, dell'Università di Pisa, ideò la missione Don Quijote, di dimostrazione tecnologica per l'Esa, per modificare l'orbita di un asteroide mediante l'impatto di una sonda spaziale, mentre una seconda sonda acquisiva immagini scientifiche in situ. Nel 2010, la statunitense *National Academy of Sciences* pubblicò un report in cui individuò in un test sperimentale di impattatore cinetico la priorità per una missione spaziale di mitigazione.

Da tutto questo ha preso le mosse la collaborazione internazionale Aida (Asteroid Impact and Deflection Assessment) alla quale la Nasa ha contribuito con la missione Dart, che ha effettuato l'impatto nel settembre del 2022, mentre per il monitoraggio degli effetti prodotti Esa lancerà il prossimo ottobre la missione Hera, che raggiungerà lo stesso target nel 2026.

Trattandosi del primo test a scala reale, si è scelto un obiettivo "sicuro", con il quale fosse anche semplice verificare l'efficacia della tecnica utilizzata. Non è stato quindi selezionato un Neo in orbita attorno al Sole, ma il piccolo satellite di un asteroide binario. La scelta è caduta su Dimorphos, un piccolo corpo di circa 160 metri di diametro che orbita a una distanza di poco più di un chilometro attorno a un Neo più grande, chiamato Didymos, delle dimensioni di circa 780 metri.

Per testimoniare l'impatto, Dart ha portato con sé LICIAcube, un nanosatellite tutto italiano che ha avuto il compito di osservare l'evento e acquisire a distanza ravvicinata immagini degli effetti prodotti.

## LE DUE CAMERE DI LICIAcube

LICIAcube è stato sviluppato e gestito dall'Asi, costruito da Argotec, con un team scientifico coordinato dall'Inaf e comprendente il Politecnico di Milano, le Università di Bologna e Parthenope di Napoli, e l'Ifac-Cnr. È un nanosatellite della classe dei cubesat (satel-

### LUNA DRACONIANA

Alla pagina precedente: Dimorphos, la luna di Didymos. Questa immagine è frutto della combinazione di più immagini full-frame ottenute dalla Didymos Reconnaissance and Asteroid Camera for Optical Navigation (Draco) di Dart. Crediti: Nasa/Johns Hopkins APL

## È di fondamentale importanza conoscere nel dettaglio le proprietà fisiche dei Neo di 140 metri di diametro. Per tale ragione, negli ultimi decenni agenzie spaziali e organi nazionali e internazionali hanno investito risorse nella difesa planetaria

### FIG.1 - L'ESTREMO SALUTO

Le ultime due immagini raccolte da Dart prima dell'impatto con l'asteroide Dimorphos. Lo schianto si è verificato durante la trasmissione a Terra della seconda immagine, che risulta così del tutto parziale.  
Crediti: Nasa/Johns Hopkins APL

liti così chiamati perché composti da unità di base di forma cubica di circa 10 cm di lato), composto da sei unità, di dimensioni complessive di circa 10x20x30 cm e peso pari a circa 13 kg. Nonostante le ridotte dimensioni, LICIAcube è stato equipaggiato con due diverse camere, chiamate Liciacube Explorer Imaging for Asteroid (Leia) e Liciacube Unit Key Explorer (Luke). Leia ha avuto una doppia funzionalità: ha gestito le operazioni e i puntamenti del cubesat, acquisendo a intervalli regolari delle immagini ed elaborandole a bordo, con tecniche di intelligenza artificiale, per mantenere il puntamento del target; ha acquisito immagini a partire da 45 secondi prima dell'impatto nominale, per testimoniare l'evento e seguire l'evoluzione degli effetti da esso prodotti. Luke invece è una camera a grande campo (circa 10°) equipaggiata con un mosaico di filtri rossi, verdi e blu (filtri colorati a matrice di Bayer). I singoli colori vengono acquisiti contemporaneamente secondo un mosaico

predeterminato di filtri sul rivelatore, e l'immagine finale è ottenuta ricomponendo il mosaico.

### OBIETTIVI SCIENTIFICI

Gli obiettivi scientifici del satellite italiano sono stati i seguenti: testimoniare l'impatto di Dart; acquisire immagini della "plume" di materiale espulso dalla superficie di Dimorphos, in modo da studiarne la struttura e stimare le velocità delle particelle eiettate; acquisire immagini della superficie di Dimorphos per studiare, eventualmente, il cratere prodotto dall'impatto; acquisire immagini dell'emisfero non impattato di Dimorphos per contribuire alla determinazione della forma e del volume.

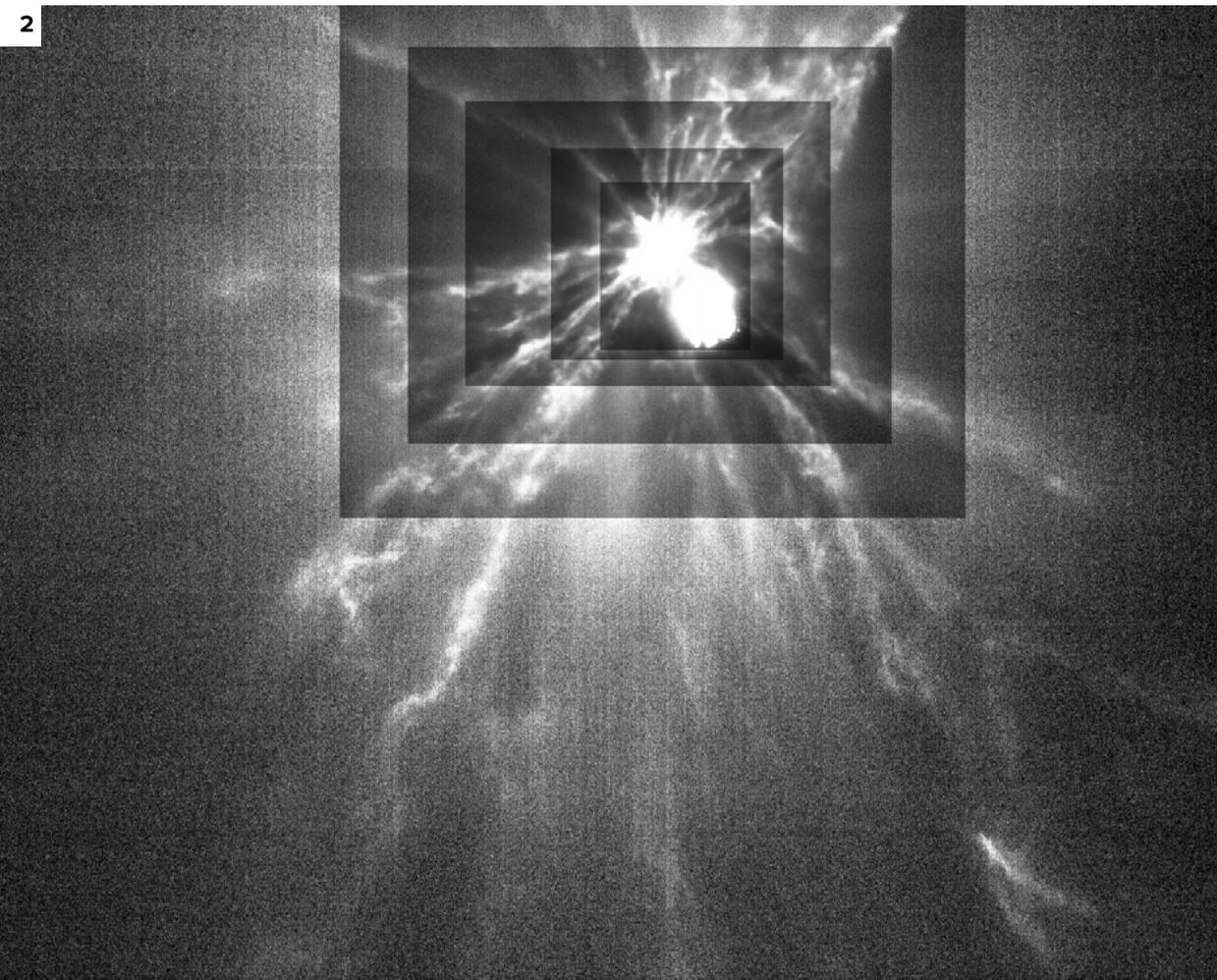
Queste informazioni sono infatti fondamentali per determinare l'impulso rilasciato dalla sonda impattante e studiare la struttura di Dimorphos, ottenendo per la prima volta una stima diretta della densità del corpo secondario di un asteroide binario.





Simeon Schmauß

2



## Nonostante le ridotte dimensioni, LICIACube è stato equipaggiato con due diverse camere, chiamate Leia e Luke, per documentare l'impatto di Dart e acquisire informazioni su Dimorphos

### IL RACCONTO DELL'IMPRESA

Dart è stato lanciato il 24 novembre 2021 e ha portato LICIACube a bordo con sé per i 10 mesi e mezzo di crociera, fino all'arrivo al sistema Didymos-Dimorphos. L'11 settembre 2022, 15 giorni prima dell'impatto, LICIACube è stato rilasciato, ha aperto i suoi pannelli solari e ha iniziato la fase di avvicinamento al target. In questa fase operativa, da una distanza di circa 10,5 milioni di chilometri dalla Terra, ha stabilito connessioni con le antenne del Deep Space Network (Dsn) per effettuare manovre correttive e ha acquisito immagini di stelle e pianeti per la calibrazione dei suoi strumenti.

L'impatto di Dart su Dimorphos è avvenuto il 26 settembre 2022 alle ore 23:14 UTC (il 27 settembre 2022 alle 1:14, ora italiana) e le immagini acquisite dalla camera Draco a bordo di Dart nelle fasi di avvicinamento al target, trasmesse in diretta streaming, hanno costituito una novità assoluta nel panorama della divulgazione di imprese spaziali. Nella figura 1 si vedono le ultime immagini acquisite da Draco prima dell'impatto, che mostrano una superficie piena di massi di varie dimensioni.

L'evento è stato seguito anche da una fitta rete di telescopi spaziali e a terra che, acquisendo per mesi immagini a grande distanza, hanno mostrato la formazione e l'evoluzione a lungo termine delle strutture prodotte dal materiale espulso, hanno consentito la stima della quantità di massa perduta da Dimorphos a causa dell'impatto – pari allo 0,3-0,5% della massa originaria – e hanno permesso di misurare la variazione di 32 minuti del periodo orbitale di Dimorphos attorno a Didymos – passato da 11 ore e 55 minuti a 11 ore e 23 minuti.

### LA TESTIMONIANZA DELL'IMPATTO

LICIACube invece, che al momento dell'impatto si trovava a una distanza di circa 1000 chilometri dal sistema Didymos-Dimorphos, ha fornito la visione eccezionale in situ dei primi istanti di formazione e di evoluzione del cono di polveri prodotto dall'impatto. Leia ha testimoniato il momento dell'impatto rilevando la differenza di luminosità di Dimorphos: nelle immagini precedenti all'evento si vede infatti chiaramente solo Didymos, mentre nelle immagini immediatamente successive all'impatto appare anche chiaramente Dimorphos, la cui luminosità è temporaneamente aumentata. Luke ha invece iniziato ad acquisire immagini 29 secondi dopo l'impatto.

LICIACube ha sorvolato l'asteroide alla stessa velocità con cui Dart ha impattato, cioè a 6,1 km/s (22 mila km/h), ha raggiunto la minima distanza dal target, pari a circa 58 km, 168 secondi dopo l'impatto, e ha osservato gli effetti prodotti fino a 320 secondi dopo il tempo nominale di impatto, acquisendo più di 420 immagini.

I dati ottenuti da LICIACube in fase di avvicinamento hanno mostrato un largo cono di detriti, con una struttura complessa e disomogenea, che ha completamente coperto la superficie di Dimorphos, rendendo impossibile la visione del cratere prodotto dall'impatto (figura 2). All'interno del cono di materiale espulso sono visibili strutture particolari: filamenti non rettilinei disposti a raggiera, granelli di polvere e massi singoli o raggruppati. Le immagini ottenute in fase di allontanamento hanno permesso di misurare l'apertura del cono (figura 3). I dati di LICIACube sono stati inoltre fondamentali per ottenere una stima quantitativa dell'im-

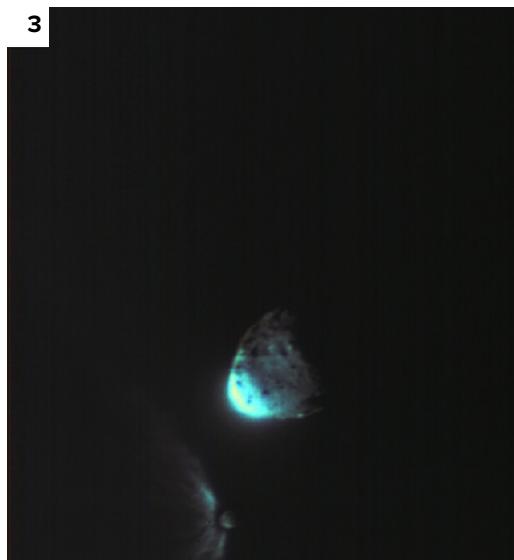
**FIG. 2 - IL REPORTER ITALIANO**  
L'impatto della sonda Nasa Dart sull'asteroide Dimorphos visto da LICIACube. L'immagine è stata poi elaborata con diversi livelli di contrasto per evidenziare la struttura dei pennacchi di materiale espulso.  
Crediti: Asi/Nasa/Johns Hopkins APL/S. Schmauß

**I dati acquisiti sono attualmente ancora in fase di analisi, ma è evidente che LICIAcube costituisce un primato assoluto nel panorama internazionale delle missioni spaziali**

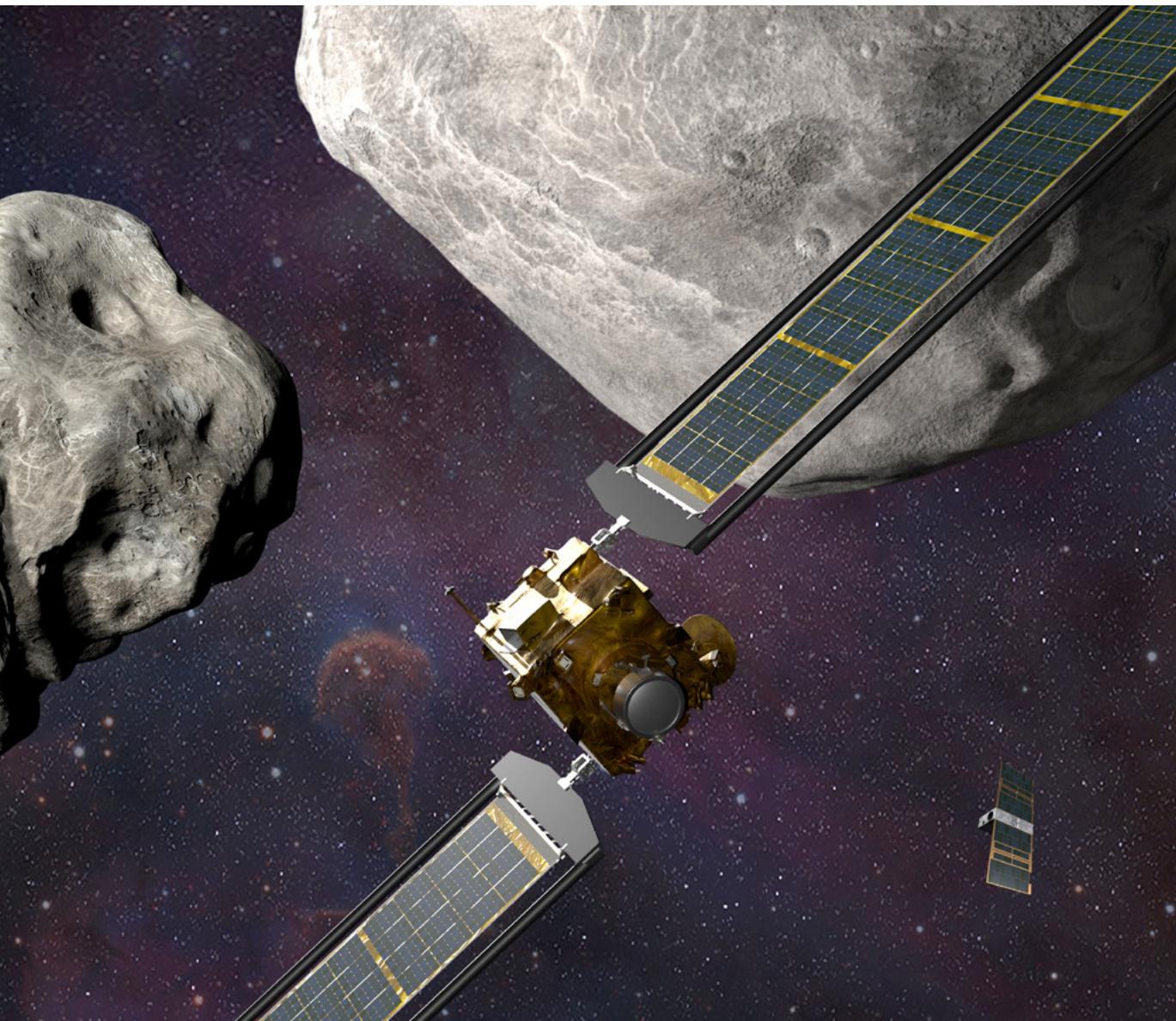
pulso rilasciato dall'impatto e per risalire alla struttura di Dimorphos, che è risultato essere un corpo poco coeso (*rubble pile*). Dall'analisi del materiale sollevato, appare possibile che l'impatto abbia modificato la forma di Dimorphos, rendendola più allungata.

### IL PRIMATO DI LICIAcube

I dati acquisiti sono attualmente ancora in fase di analisi, ma è evidente che LICIAcube abbia costituito un primato assoluto nel panorama internazionale delle missioni spaziali nella sua classe di dimensioni. Sono infatti diversi i record stabiliti: è stata la prima missione Asi nello spazio profondo; è stata la prima volta in cui l'Italia ha partecipato, insieme alle antenne del Dsn, alle attività di *ground segment* con



**FIG. 3** Un'immagine presa da LICIAcube in fase di allontanamento dal sistema Didymos-Dimorphos. Crediti: Asi/Nasa



**LUI, LEI E GLI ALTRI**  
 Illustrazione della sonda Nasa Dart e del cubesat Asi LICIACube nello spazio del sistema binario Didymos.  
 Crediti: Nasa/Johns Hopkins APL/S. Gribben

due centri, il Mission Control Center presso Argotec a Torino e il Science Control Center presso lo Space Science Data Center (SsdC) di Asi a Roma; è stato il primo cubesat che nello spazio profondo abbia realizzato il *flyby* di un asteroide (a una velocità di 6,1 km/s), acquisendo immagini e scaricandole a Terra. Il fatto che LICIACube abbia pienamente raggiunto i suoi obiettivi scientifici costituisce anche una pietra miliare nello studio degli asteroidi, avendo mostrato per la prima volta un asteroide binario. La missione ha inoltre dimostrato l'immenso potenziale dei nanosa-

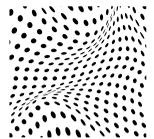
telliti e aperto la strada al loro utilizzo nello studio dello spazio profondo nel prossimo futuro.

Per quanto riguarda la difesa planetaria, ovviamente un singolo esperimento non ci permette di predire accuratamente il risultato di un impatto su un asteroide completamente diverso e con un diverso *spacecraft*, ma è certo che ora siamo più pronti di quanto non fossimo in passato, avendo verificato che la tecnica dell'impattatore cinetico funziona anche nel caso di un asteroide estremamente poroso. ■

\*La lista di autori di questo articolo include il Team LICIACube ([www.ssdC.asi.it/liciacube/lcc\\_team.php](http://www.ssdC.asi.it/liciacube/lcc_team.php)). Questa attività è stata condotta grazie al supporto finanziario dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI, contratto No. 2019-31-HH.0 CUP F84I190012600).

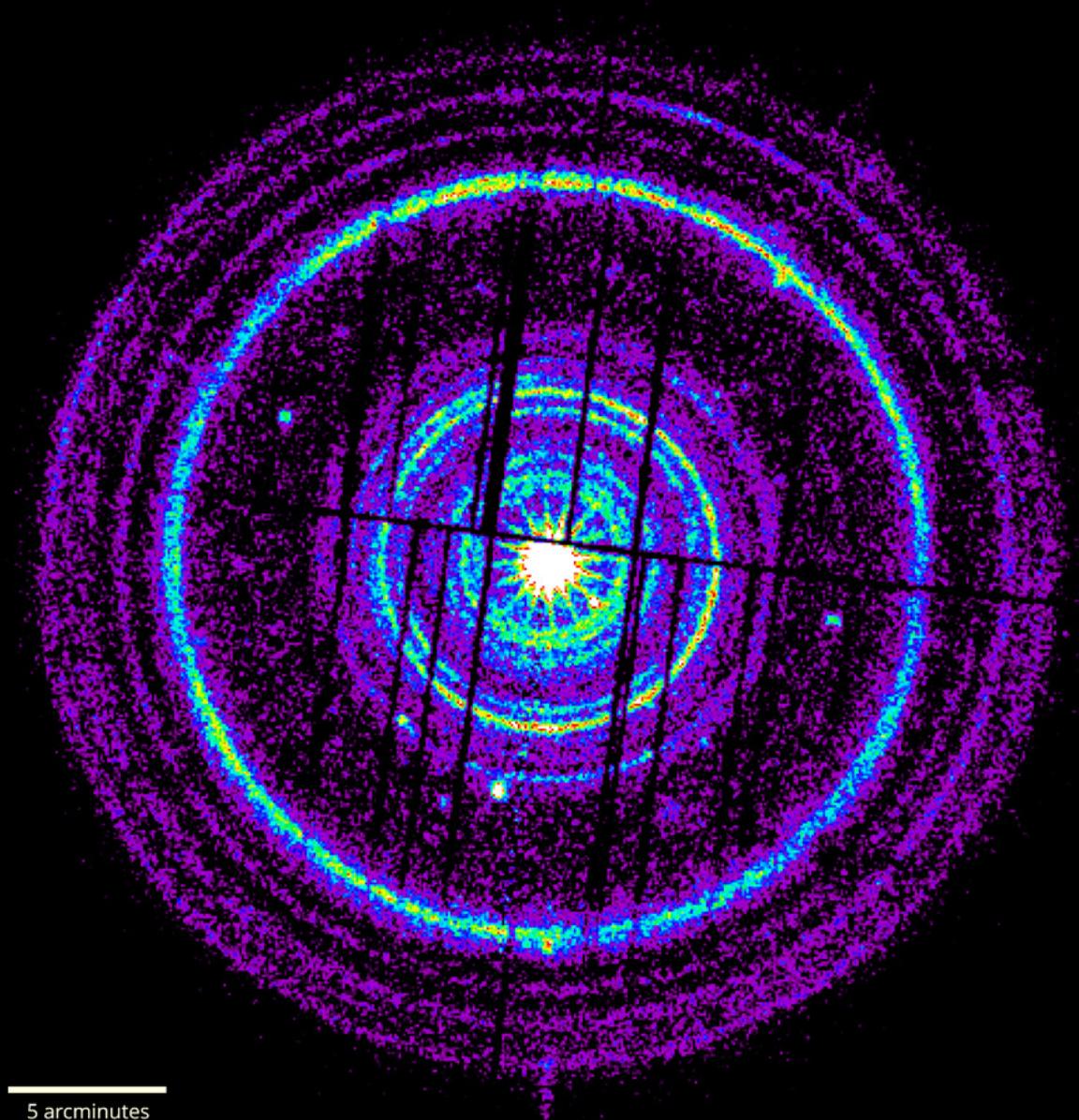
# Il lampo gamma più luminoso di tutti i tempi

di Ruben Salvaterra



ASTROFISICA  
RELATIVISTICA  
E PARTICELLE

**Che cosa è il Boat? A un anno di distanza dalla rivelazione del più brillante lampo nei raggi gamma di tutti i tempi, più di 50 articoli sono già stati pubblicati su questo evento eccezionale, che potrebbe rappresentare la Stele di Rosetta dei Gamma-Ray Burst.**



5 arcminutes



I lampi nei raggi gamma o Gamma-Ray Burst (Grb) sono potenti flash nei raggi gamma di durata compresa tra una frazione del secondo e qualche minuto, che vengono rivelati con una frequenza di circa uno o due eventi al giorno. Al flash nelle alte energie, detto *prompt*, segue una lunga coda di emissione, l'*afterglow*, rilevabile su tutto lo spettro elettromagnetico. Si conoscono due tipi di Grb, distinti generalmente sulla base della durata, legati a differenti progenitori: i corti e i lunghi. I lampi corti sono dovuti alla fusione di due stelle di neutroni o una stella di neutroni e un buco nero di massa stellare, e sono accompagnati dall'emissione di onde gravitazionali, come dimostrato dall'associazione di Grb 170817A con Gw 170817. I Grb lunghi, invece, sono generati durante la fase di collasso di una stella di massa 20-30 volte superiore a quella del Sole e sono generalmente associati a esplosioni di supernove di tipo Ib/c. In entrambi i casi, il lampo gamma è dovuto agli shock interni a un getto ultra-relativistico, mentre l'emissione di *afterglow* è prodotta dall'interazione del getto con il mezzo interstellare esterno.

I Grb sono stati scoperti alla fine degli anni Sessanta grazie ai satelliti americani Vela, in orbita per monitorare il rispetto della moratoria internazionale per la fine dei test nucleari nell'atmosfera. Riconosciuti come sorgenti astrofisiche, sono diventati in breve tempo un eccitante campo di ricerca. Alla fine degli anni Novanta, grazie al satellite italo-olandese BeppoSAX che ne ha permesso per la prima volta la precisa localizzazione, si è dimostrata la loro natura cosmologica. Le

grandi distanze da cui ci arrivano questi segnali indicano che i Grb rilasciano un'enorme quantità di energia: un tipico lampo gamma è in grado di emettere in pochi secondi la stessa energia prodotta dal Sole durante la sua intera esistenza.

## IL BOAT

Il 9 ottobre 2022, alle 13:16:59 del tempo universale, appariva nella direzione della costellazione della Freccia un evento eccezionale: Grb 221009A (il nome del Grb si riferisce alla data della rivelazione: anno, mese e giorno e una lettera maiuscola per distinguere eventi diversi rivelati nello stesso giorno).

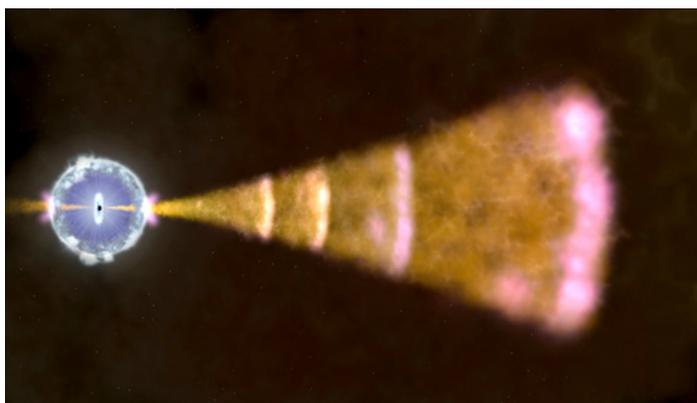
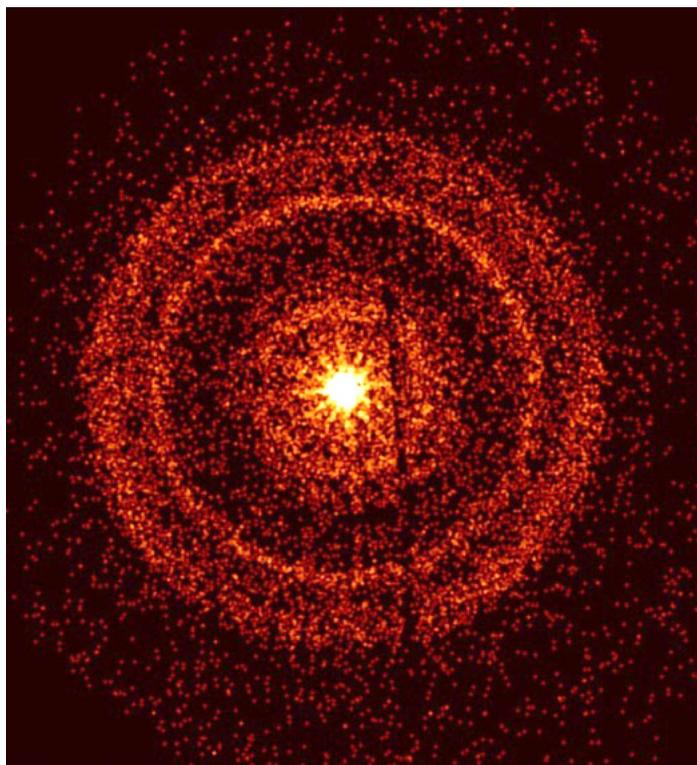
Questo Grb superava di gran lunga tutti i 10mila precedenti eventi raccolti in più di 50 anni di osservazioni, risultando 70 volte più brillante del precedente record. Si può stimare che un evento di tale portata si verifichi solo una volta ogni 1000-10mila anni. Per questo motivo Grb 221009A è confidenzialmente chiamato il Boat, dall'acronimo inglese Brightest Of All the Time ("il più brillante di tutti i tempi").

L'estrema brillantezza osservata in Grb 221009A è dovuta a una combinazione veramente rara: l'esplosione di un Grb estremamente potente a una distanza relativamente piccola dalla Terra. Infatti Grb 221009A ha un'energia intrinseca tra le maggiori mai rivelate, simile ai più luminosi lampi osservati nell'universo più lontano, ma è avvenuto a soli 1,9 miliardi di anni luce da noi. Esso rappresenta quindi una opportunità pressoché unica di studiare in dettaglio eventi che solitamente riveliamo a distanze molto maggiori, fino ai confini dell'universo conosciuto.

La curva di luce di Boat mostra un primo pulso molto luminoso, seguito da due picchi di emissione estremamente potenti, che hanno saturato la maggior parte degli strumenti atti alla rivelazione dei Grb. L'emissione si conclude infine circa otto minuti dopo il pulso iniziale con un terzo picco meno brillante ma sempre molto potente. L'evento è stato registrato da ogni satellite o strumento dedicato alla rivelazione di queste esplosioni nelle alte energie: dai cubesat cinesi GRB-Alpha ai veterani dei Grb come Swift, Fermi (Nasa), Integral (Esa), Konus (Russia) e Agile

### GRB 221009A

Alla pagina precedente: le immagini sovrapposte e raccolte dal telescopio XMM-Newton a due e cinque giorni dall'eruzione del Grb 221009A, mostrano una serie di anelli concentrici. Il più piccolo proviene da nubi di polvere situate a circa 61mila anni luce di distanza, dall'altra parte della nostra galassia. Crediti: Esa/XMM-Newton/M. Rigoselli (Inaf)



#### VISTO DA SWIFT

Il telescopio spaziale Nasa Swift ha fotografato il bagliore residuo del lampo di raggi gamma Grb 221009A circa un'ora dopo la prima misurazione. Crediti: Nasa/Swift/A. Beardmore

(Asi), ma anche da Solar Orbiter (Esa), Ge-CAM (Cina), la sonda interplanetaria Voyager I (Nasa), Gaia (Esa) e molti altri. Particolare è il caso di XMM-Newton (Esa) che, essendo uno strumento focalizzato nei raggi X molli, non è solito rivelare i Grb e che al momento del *burst* puntava una regione di cielo distante ben 40 gradi dalla posizione di Grb 221009A. Nonostante questo, lo strumento Epic a bordo di XMM-Newton è stato in grado di rivelare il BoAt. Infatti, i fotoni di alta energia emessi in questo evento, passando attraverso il satellite, hanno interagito con la struttura dello strumento, producendo una pioggia di particelle secondarie che sono

**Il 9 ottobre 2022 alle 13:16:59 del tempo universale, appariva nella direzione della costellazione della Freccia un evento eccezionale: Grb 221009A, confidenzialmente chiamato il BoAt, Brightest Of All the Time (“il più brillante di tutti i tempi”)**

state rivelate da Epic come un fondo strumentale. La segnatura del *burst* è quindi rimasta impressa nelle osservazioni di Epic, permettendo di ricostruire con precisione la parte più brillante della curva di luce del Grb

Oltre che dagli strumenti costruiti dall'uomo, BoAt è stato rivelato anche attraverso gli effetti sull'atmosfera terrestre, che si è comportata come un gigantesco detector. La radiazione X e gamma emessa da Grb 221009A ha prodotto infatti un improvviso disturbo nella ionosfera rilevato nelle onde radio, simile a quanto succede per i brillamenti solari. Considerando che il *burst* è avvenuto a circa due miliardi di anni luce dalla Terra, si può comprendere come lo scoppio di un Grb all'interno della nostra galassia potrebbe avere effetti distruttivi sulla nostra atmosfera e quindi sulle condizioni necessarie alla vita sulla Terra. Alcuni studi suggeriscono infatti che i Grb possano essere stati responsabili di alcune delle maggiori estinzioni di massa. Fortunatamente, la probabilità che eventi come Grb 221009A accadano a distanze di pericolo è estremamente bassa.

#### LA CAMPAGNA OSSERVATIVA

La campagna di follow-up di BoAt, cioè le osservazioni a tutte le lunghezze d'onda dell'*afterglow*, è stata una delle più ampie di



tutti i tempi nel campo dei Grb. Per la prima volta si sono anche potute sfruttare le straordinarie ottiche del James Webb Space Telescope (Jwst), lanciato dalla Nasa il 25 dicembre 2021. I dati di Jwst uniti a quelli di Very Large Telescope di Eso e altri telescopi e strumenti sia da terra sia nello spazio, hanno evidenziato discostamenti dal modello standard di *afterglow*, anche se non tali da ritenere questo evento appartenente a una nuova classe. D'altra parte, Grb 221009A si presenta come un comune *burst* brillante della classe dei lunghi. A esso è stata recentemente associata una supernova del

tutto simile a quelle che comunemente si osservano in eventi meno energetici rivelati a distanze simili. Inoltre, la galassia che ha ospitato l'evento è anch'essa tipica dei Grb lunghi: una galassia a spirale in formazione stellare non troppo massiva e di bassa metallicità, circa un decimo di quella del Sole. La bassa metallicità, che in astrofisica indica il contenuto di elementi più pesanti dell'elio, potrebbe essere la chiave per spiegare sia la rarità di eventi come Boat nell'universo locale sia la sua elevata luminosità. Infatti, galassie povere di metalli sono molto comuni nelle epoche più antiche dell'universo, ma



#### LHAASO

Fotografia aerea dello Large High Altitude Air Shower Observatory, che ha rivelato Grb 221009A alle altissime energie evidenziando l'emissione di fotoni con energie tra le centinaia di GeV e la decina di TeV.  
Crediti: Institute of High Energy Physics/Chinese Academy of Sciences

**La campagna di follow-up di Boat, cioè le osservazioni a tutte le lunghezze d'onda dell'*afterglow*, è stata una delle più ampie di tutti i tempi nel campo dei Grb. Per la prima volta si sono anche potute sfruttare le straordinarie ottiche del Jwst**

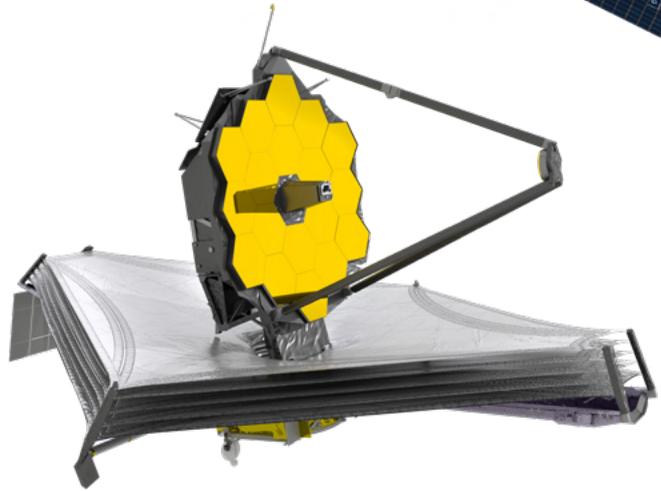
diventano via via più rare con il procedere del tempo cosmico. I modelli di evoluzione stellare prevedono inoltre che da nubi di gas a bassa metallicità tendano a formarsi stelle più massicce e rapidamente rotanti, due elementi chiave per poter formare il potente getto ultra-relativistico che produce il lampo gamma.

Non così sorprendente quindi? In realtà due risultati inaspettati sono stati riportati. Il primo è la rivelazione del Grb alle altissime energie da parte dell'esperimento cinese Large High Altitude Air Shower Observatory (Lhaaso) che evidenzia, nella prima circolare uscita a poche ore dall'evento, l'emissione di numerosi fotoni con energie tra le centinaia di GeV e la decina di TeV. In particolare, sarebbe stato osservato anche un fotone di energia pari a 18 TeV. La rivelazione di tale fotone è però problematica. Infatti, se pur emessi dalla sorgente, fotoni di così alta energia non dovrebbero poter raggiungere la Terra a causa della loro interazione con il fondo cosmico. La rivelazione di Lhaaso richiederebbe quindi di modificare le leggi fondamentali della fisica oppure potrebbe provare l'esistenza di particolari particelle, gli assioni, spesso indicate come possibili componenti della materia oscura. In attesa di una conferma dell'emissione al TeV, una seconda sorpresa è venuta dall'analisi spett-



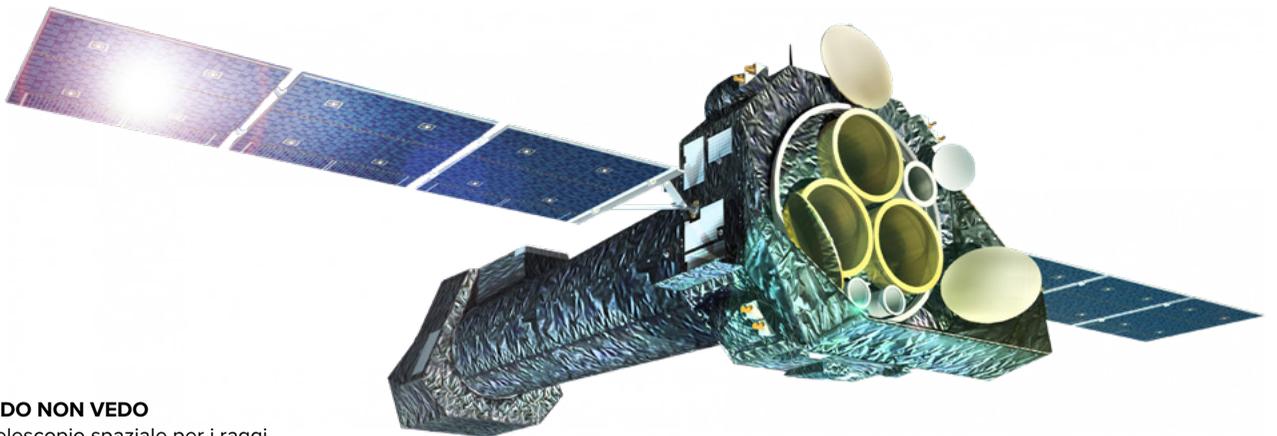
#### ANOMALIA

Dai primi dati raccolti dal telescopio spaziale per raggi gamma Fermi sembra esserci qualcosa di anomalo in Grb 221009A, mai rivelato in nessun burst precedente né previsto da alcun modello.  
Crediti: Nasa



#### JAMES WEBB SPACE TELESCOPE

Nella campagna di follow-up di Boat si sono anche potute sfruttare (e si tratta della prima volta) le straordinarie ottiche del James Webb Space Telescope.  
Crediti: Esa/Atg medialab



#### VEDO NON VEDO

Il telescopio spaziale per i raggi X dell'Agenzia spaziale europea XMM-Newton, anche se al momento dell'evento era puntato su un'altra regione di cielo, è stato in grado di rivelare il Boat grazie allo strumento di bordo Epic.  
Crediti: Esa/XMM-Newton

## Il Boat rappresenta una straordinaria opportunità non solo per studiare i lampi gamma ma anche per ricostruire una mappa delle polveri interstellari nella nostra stessa galassia

trale dei dati della fase *prompt* raccolti dallo strumento Gbm a bordo del satellite Fermi (Nasa), che mostra la presenza di una riga di emissione transiente a energie del MeV mai rivelata in nessun *burst* precedente né prevista da alcun modello. Si ipotizza che tale riga possa essere dovuta all'annichilazione di coppie elettrone-positrone formatesi nel getto durante i pulsii più brillanti. Il suo studio fornisce quindi importanti informazioni riguardo a come si possa produrre l'immensa energia emessa durante la fase di *prompt* all'interno del getto ultra-relativistico.

### GLI ANELLI NEI RAGGI X MOLLI

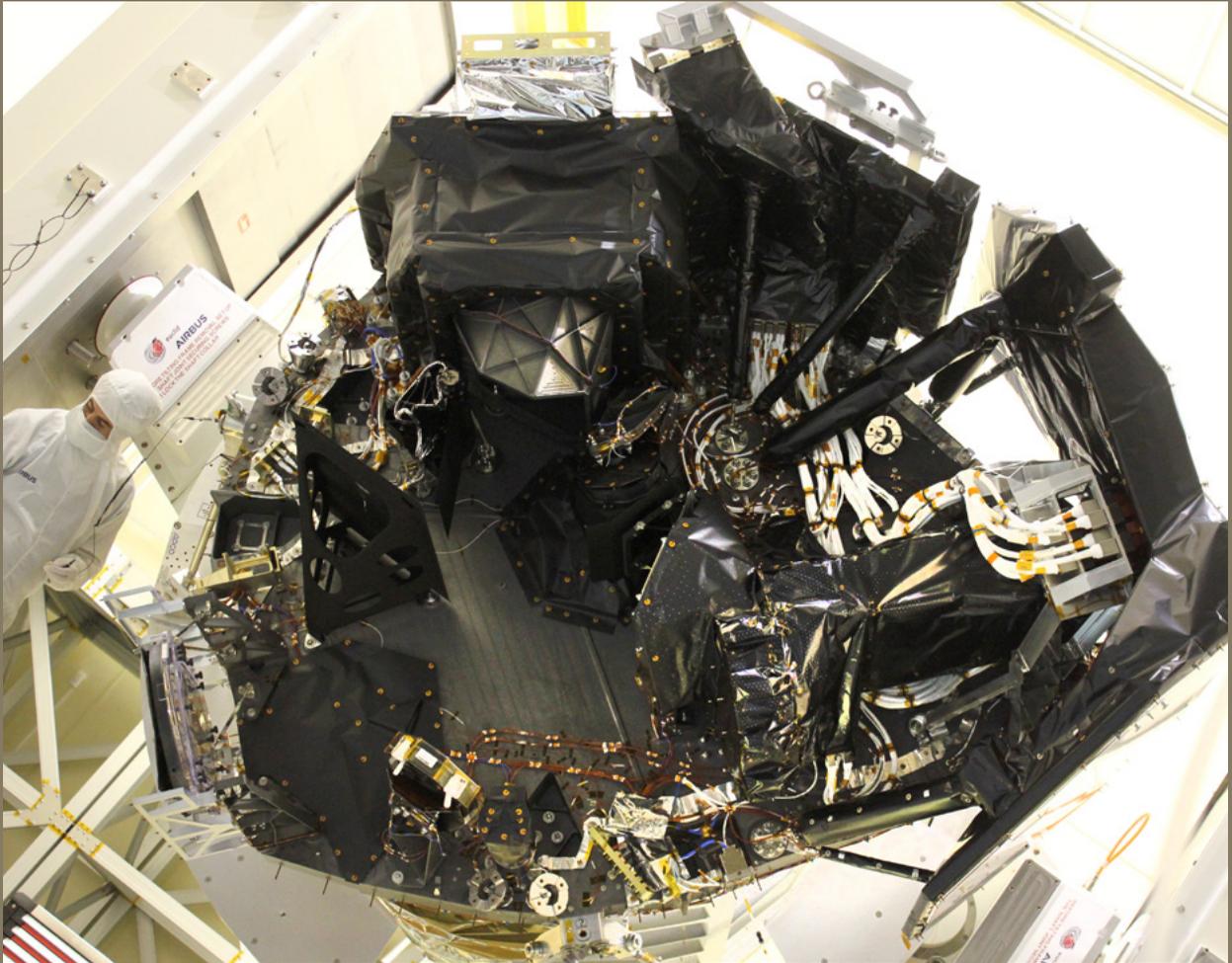
Le condizioni osservative per il follow-up di questo evento non si sono rivelate le migliori possibili. Infatti la linea di vista tra la Terra e la posizione in cielo del *burst* intercetta una buona porzione della Via Lattea. L'assorbimento del gas e della polvere sulla linea di vista rende quindi difficoltoso ricostruire l'emissione intrinseca del Boat alle lunghezze d'onda ottiche dove la maggior parte delle informazioni relative all'ambiente in cui il *burst* è esploso sono codificate. Come spesso succede, quello che per qualcuno è un problema, per altri rappresenta una opportunità. Infatti i raggi X molli del Grb vengono riflessi dalle polveri della nostra galassia, che ne deviano la traiettoria, aumentando così il tempo che impiegano per giungere fino a noi. Si formano così degli anelli concentrici visibili nei raggi X molli, uno per ogni nube di polvere incontrata lungo la linea di vista. In questo senso, la combinazione dell'estrema brillantezza di Grb 221009A con la particolare traiettoria attraverso la Via Lattea rappresenta un'opportunità unica per lo studio delle polveri nella nostra galassia. Grazie a

osservazioni dedicate di XMM-Newton sono stati rivelati ben 21 anelli corrispondenti a polveri situate a distanze tra i 1000 e i 61mila anni luce dalla Terra. L'anello più lontano è dovuto a polvere posta al limite della nostra galassia, a circa 4600 anni luce sopra al piano galattico in cui si trova il Sistema solare. Lo studio di questi anelli, oltre a permettere una misura indipendente della radiazione emessa dal Grb alle lunghezze d'onda dei raggi X molli, fornisce la morfologia e la composizione delle nubi di polvere della nostra galassia. Il Boat rappresenta quindi una straordinaria opportunità non solo per studiare i lampi gamma ma anche per ricostruire una mappa delle polveri interstellari nella nostra stessa galassia.

### I RISULTATI DELL'ANALISI

A un anno dall'evento, i dati raccolti hanno portato alla pubblicazione di un gran numero di articoli e molti altri sono ancora in preparazione. Una parte di essi è confluita in un volume speciale dell'*Astrophysical Journal*, dedicato alla memoria di Alexander Kann, giovane ricercatore tedesco da sempre impegnato nelle osservazioni dei Grb e prematuramente scomparso proprio durante la raccolta dati di Grb 221009A.

Le campagne osservative e gli studi teorici su questo evento eccezionale sono ancora in corso. Molte ricercatrici e ricercatori dell'Inaf – da sempre in prima linea nell'osservazione, interpretazione e modellizzazione dei Grb – hanno contribuito e stanno contribuendo allo studio del Boat. I dati raccolti e i modelli che si costruiranno su questi ci permetteranno di chiarire come si formano i Grb e i meccanismi di emissione dell'enorme energia veicolata da questi lampi. ■



# 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-

fetterà 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

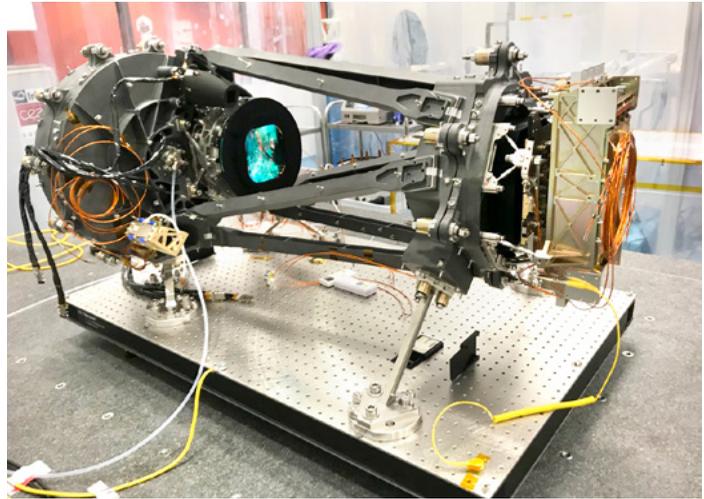
## Il lancio è un momento molto delicato, durante il quale Euclid ha ricevuto parecchie vibrazioni che sono potenzialmente in grado di produrre malfunzionamenti o spostamenti di parti mobili

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. Convalja

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



### 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



### 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

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

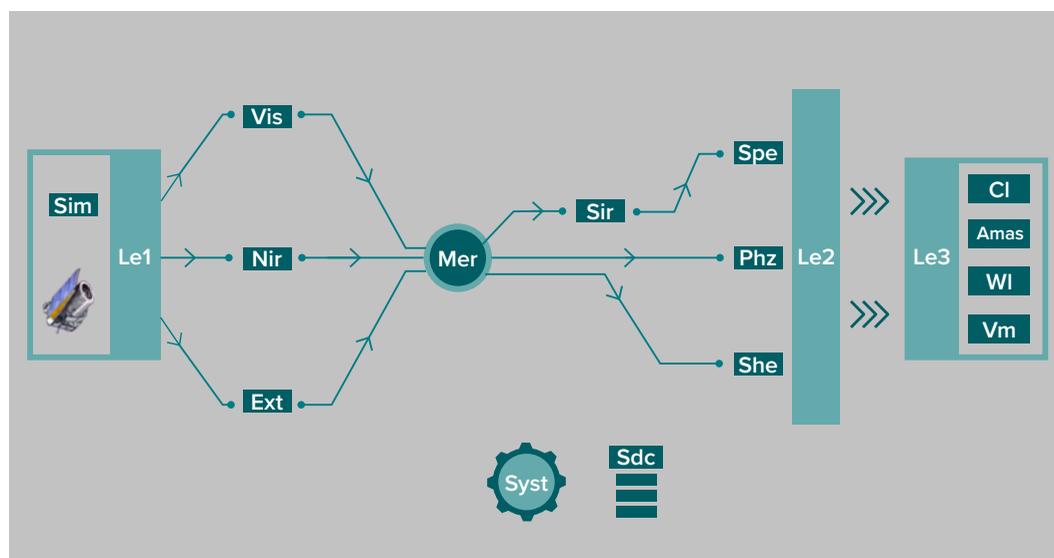
La figura sotto rappresenta la struttura dell'elaborazione dati nell'Sgs. Le immagini di Euclid e quelle delle survey esterne vengono elaborate in un primo momento dalle rispettive *processing function* (Vis, Nip, Ext), quindi Mer ne estrae un unico catalogo omogeneo. Dalle immagini spettroscopiche vengono 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.

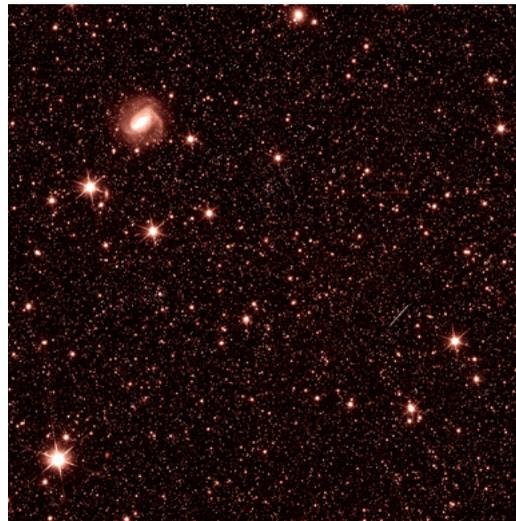
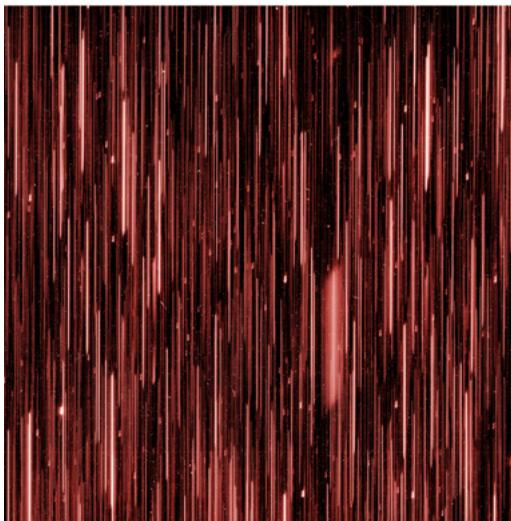
Per chi è costantemente impegnato nelle cosiddette operazioni di strumento, quello della fase di verifica è un momento



#### ELABORAZIONE DATI

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

Courtesy Euclid Consortium/Esai/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. ■

# VOCI

IL MONDO DELLA SCIENZA  
RACCONTA



**Interviste, temi cari alla ricerca e alla  
società, notizie e servizi fotografici  
raccontano i progressi della scienza  
dello spazio**



# LE PRIME SPETTACOLARI IMMAGINI DI EUCLID

## intervista

di Maura Sandri



**ANNA MARIA DI GIORGIO**  
Ricercatrice Inaf

Euclid, la missione dell'Agenzia spaziale europea che vuole comprendere la struttura e la composizione dell'universo, svela i suoi primi risultati. Cinque meravigliose immagini a colori di altrettanti soggetti cosmici: dal gigantesco ammasso di galassie di Perseo, passando per due galassie e un ammasso stellare, fino all'iconica Nebulosa Testa di Cavallo. *Universi* esplora queste immagini con Anna Maria Di Giorgio, Responsabile delle attività italiane per la missione Euclid finanziate dall'Asi.

**Il 7 novembre scorso l'Agenzia spaziale europea ha rilasciato le prime immagini a colori del telescopio spaziale Euclid, con una risoluzione che sfiora l'incredibile. Ce le può descrivere?**

La prima immagine (figura 1) si riferisce all'Ammasso di Perseo, una delle strutture più massicce conosciute nell'universo. Situato a 240 milioni di anni luce dalla Terra, contiene migliaia di galassie, immerse in una vasta nube di gas caldo. Nell'immagine si possono distinguere più di 50mila galassie: le galassie più grandi e luminose al centro fanno parte dell'ammasso; la maggior parte degli oggetti più deboli nello sfondo, invece, sono galassie lontane, appartenenti a epoche in cui l'universo era molto più giovane. La survey completa di Euclid avrà una dimensione pari a 30mila volte quella di questa immagine, e potrà osservare con una precisione sufficiente a determinare eventuali deformazioni dovute al *lensing* gravitazionale fino a 1,5 miliardi di galassie con distanze fino a redshift circa 2, corrispondente a un'età dell'universo primordiale di circa tre miliardi di anni, 10 miliardi di anni prima dell'epoca attuale. Delle cinque immagini pubblicate, questa è sicuramente quella che meglio permette di capire ciò che sarà in grado di produrre questa missione in termini di *core science*, e di confermare quanto l'intero sistema, strumenti più sistema di puntamento e inseguimento, stia lavorando come e meglio di quanto aspettato.

La seconda immagine (figura 2) è quella della galassia a spirale IC 342, che si trova a circa 11 milioni di anni luce di distanza. È posizionata molto vic-

**La potenza di Euclid sta proprio nel fatto che sarà possibile ottenere immagini dettagliate a grande campo in tempi brevi, assolutamente inimmaginabili per altri telescopi spaziali**



no al piano galattico e quindi l'oscuramento causato dalle polveri ne rende difficile l'osservazione nell'ottico. Per questo IC 342 è nota anche come "la galassia nascosta". Il vicino infrarosso, zona spettrale in cui opera Euclid, ha permesso di poter ottenere con una singola esposizione un'immagine molto dettagliata e non oscurata. Se osserviamo in dettaglio l'immagine, possiamo arrivare a distinguere le singole stelle e gli ammassi stellari presenti nella galassia. Le galassie irregolari (figura 3) sono gli elementi costitutivi delle galassie più grandi come la nostra. La galassia nana irregolare osservata da Euclid si chiama NGC 6822 e si trova a soli 1,6 milioni di anni luce dalla

## Grazie a Euclid sarà possibile studiare le code mareali negli ammassi globulari, scie di stelle che si estendono ben oltre l'ammasso a causa delle interazioni con l'ambiente circostante avute nei loro spostamenti attraverso la galassia

Terra. NGC 6822 è stata osservata molte volte in passato, la più recente dal telescopio spaziale James Webb, ma Euclid è sicuramente il primo osservatorio capace di catturare l'intera galassia e i suoi dintorni in alta risoluzione in una sola ora di osservazione. NGC 6822 è una galassia a bassa metallicità, e il suo studio ci permetterà di scoprire come le galassie si sono evolute nell'universo primordiale. Inoltre, i molti ammassi globulari presenti in questa immagine potranno fornire informazioni su come è stata assemblata la galassia stessa.

L'ammasso globulare galattico NGC 6397 (figura 4) è il secondo ammasso globulare più vicino alla Terra, situato a circa 7800 anni luce di distanza. Gli ammassi globulari contengono centinaia di migliaia di stelle tenute insieme dalla gravità e sono tra gli oggetti più antichi dell'universo. Per questo motivo contengono molti indizi sulla storia e sull'evoluzione delle galassie che li ospitano. Euclid ha osservato l'intero ammasso globulare in una sola esposizione, risolvendo la parte centrale nello stesso campo in cui si vedono le regioni esterne, che ospitano per lo più stelle deboli e di piccola massa. Grazie a Euclid sarà possibile studiare le code mareali negli ammassi globulari, scie di stelle che si estendono ben oltre l'ammasso a causa delle interazioni con l'ambiente circostante avute nei loro spostamenti attraverso la galassia. Lo studio di queste code mareali permetterà di calcolare in modo molto preciso il modo in cui gli ammassi orbitano attorno alla nostra galassia e fornirà informazioni su come è distribuita la materia oscura nella Via Lattea.

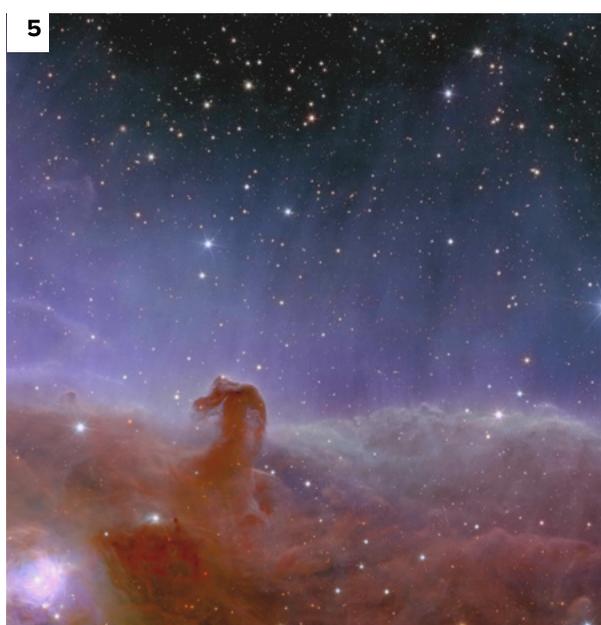
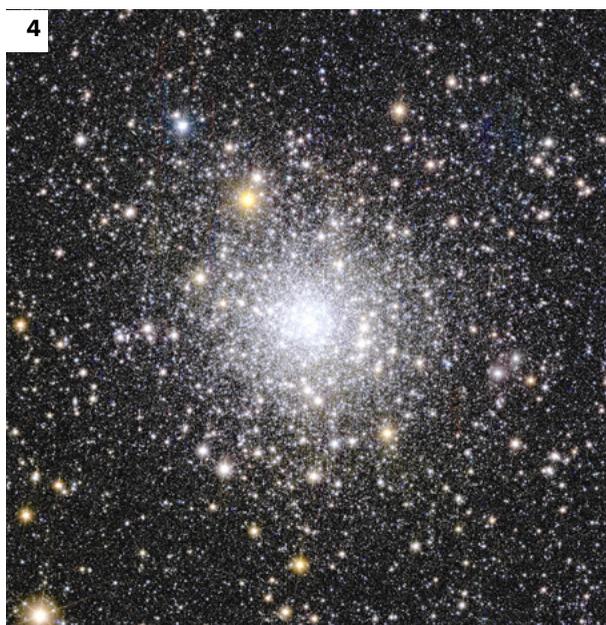
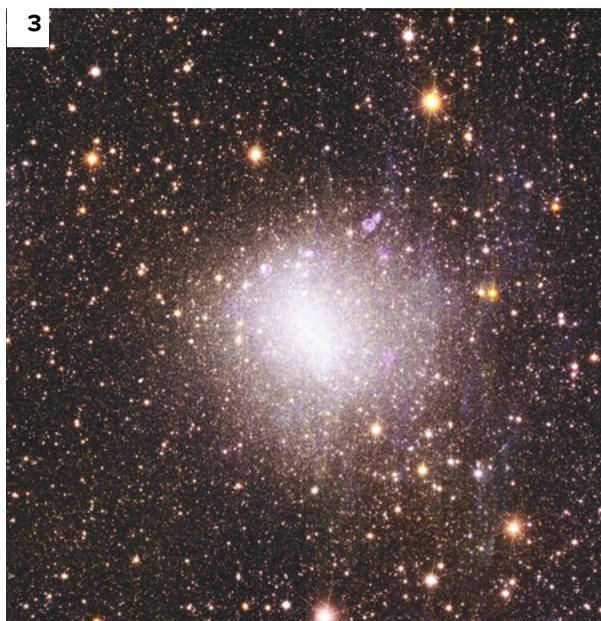
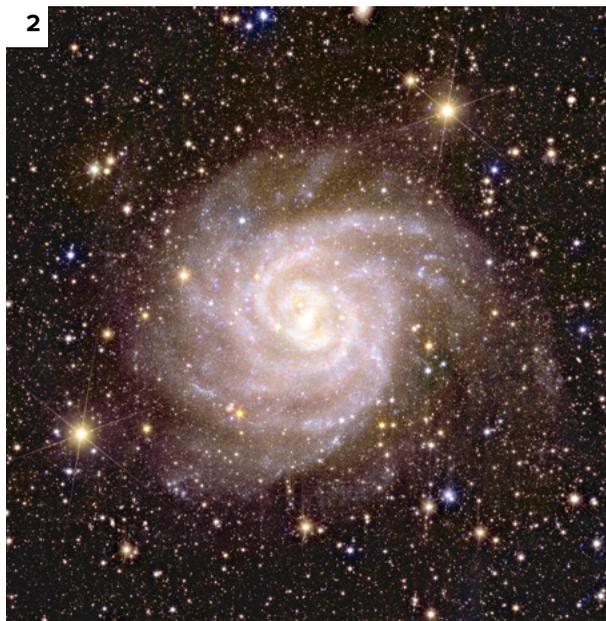
Infine, Euclid ci ha mostrato una spettacolare vista panoramica e dettagliata della Nebulosa Testa di Cavallo (figura 5), situata a circa 1375 anni luce di distanza dalla Terra, nella vasta nube molecolare di Orione. Euclid ha catturato questa immagine in una sola esposizione di circa un'ora, il che dimostra ancora una volta la capacità della missione di osservare molto rapidamente un'ampia area di cielo e con un elevato dettaglio. La nebulosa è quello che si dice un "vivaio stellare": una regione in cui la formazione stellare è attiva e il cui studio potrebbe dare nuove informazioni sulla presenza di nane brune e oggetti di massa planetaria.

### Le immagini hanno soddisfatto le vostre aspettative?

Queste immagini mostrano qualcosa che va ben oltre le migliori aspettative, tanto che gli scienziati e i tecnologi che hanno partecipato alla realizzazione della missione sono tra i primi a essere impressionati dalla loro bellezza e ricchezza di dettagli. Le centinaia se non migliaia di galassie visibili nello sfondo di ciascuna delle immagini presentate danno una misura di quello che sarà possibile ottenere dalla scansione di più di un terzo del cielo: l'idea

#### RELEASE DI IMMAGINI

In queste pagine, le prime cinque immagini di Euclid.  
Credit: SA/Euclid/Euclid Consortium/Nasa, image processing by J.-C. Cuillandre (Cea Paris-Saclay), G. Anselmi, CC-BY-SA 3.0 IGO



che sembrava fantascientifica di poter misurare la distorsione nella forma di più di un miliardo di galassie appare oggi ancora di più come un obiettivo perfettamente raggiungibile.

#### **Qual è stato il contributo dell'Italia, e dell'Inaf in particolare?**

Anche in questo caso l'Italia ha dato un contributo importante alla produzione di queste prime immagini, tre delle quali si riferiscono a oggetti proposti da scienziati dell'Inaf, che ne guideranno lo studio dettagliato e saranno i responsabili delle prime pubblicazioni associate: le immagini delle galassie IC 342 e NGC 6822 sono state ottenute su proposta della dott.ssa Leslie Hunt, associata all'Osservatorio di Arcetri, mentre l'osservazione dell'ammasso globulare NGC 6397 è stata proposta dal dott. Davide Massari, dell'Oas di Bologna. ■

# MACCHINE DEL TEMPO: A SPASSO PER L'UNIVERSO

## intervista

di Marco Malaspina



**CATERINA BOCCATO**  
Tecnologa Inaf

**Cosa aspettarsi dalla mostra *Macchine del tempo*, in programmazione a Palazzo Esposizioni a cavallo tra 2023 e 2024 ce lo spiega Caterina Boccato, tecnologa dell'Inaf che ne è anche la curatrice.**

Chi non vorrebbe viaggiare nel tempo e nello spazio? *Macchine del Tempo*, la mostra in programma al Palazzo Esposizioni di Roma dal 25 novembre 2023 al 24 marzo 2024, ne offre l'opportunità e ci riporta anche un po' indietro nel tempo, a quegli anni Ottanta che diedero l'ispirazione per creare una bellezza libera, come quella di *Ritorno al futuro*. Racconta Caterina Boccato: «Dove vi stiamo portando, proprio come dice Doc a Marty nel film, “non c'è bisogno di strade”. Basta la voglia di conoscere ed essere pronti a intraprendere un viaggio esplorativo nell'universo».

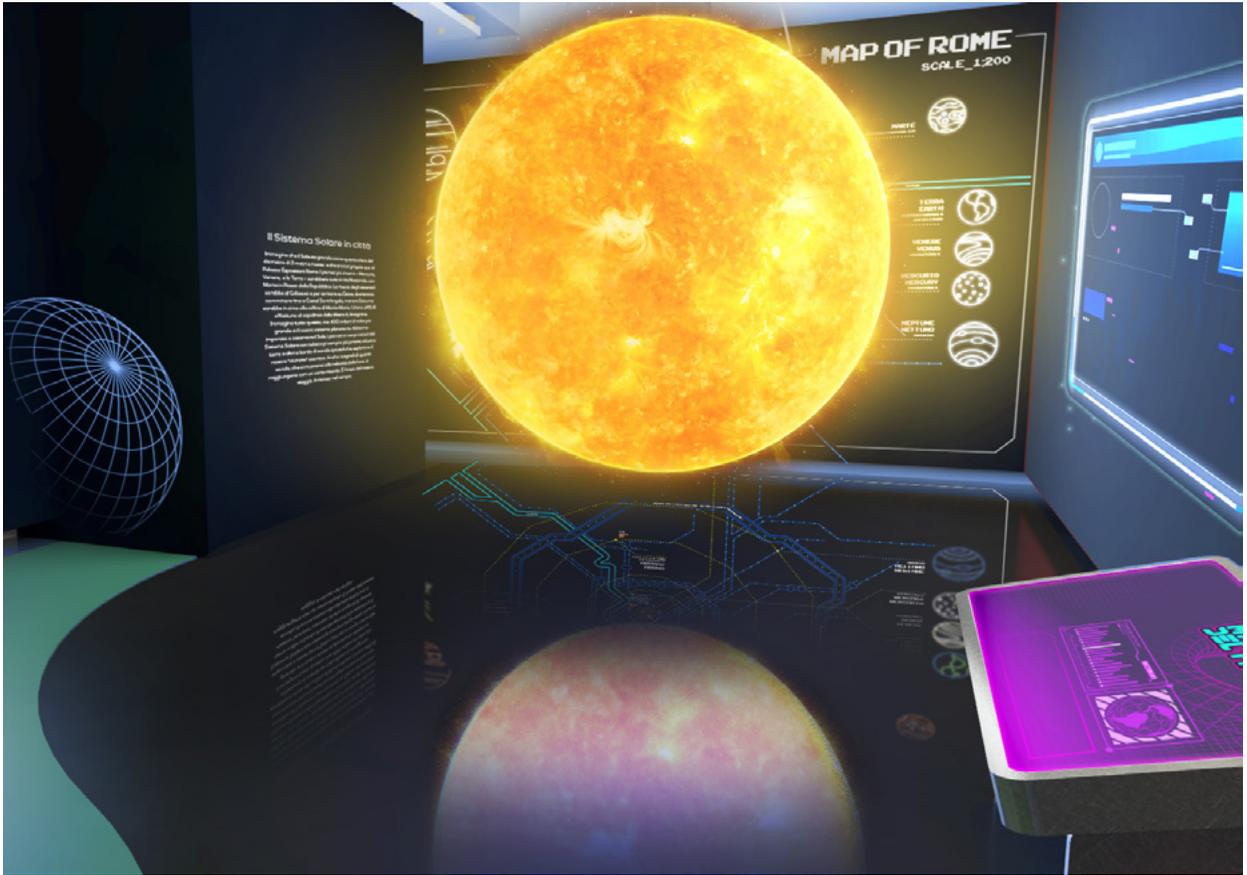
**In quali macchine del tempo ci imatteremo al Palazzo Esposizioni? Ci sarà anche la DeLorean?**

Purtroppo no, la DeLorean non ci sarà, abbiamo chiesto alla casa produttrice ma andava un po' oltre il nostro budget: o facevamo la mostra o prendevamo la DeLorean, diciamo. “Macchine del tempo” sono principalmente le nostre tecnologie e i nostri strumenti che – sia da terra sia in orbita – ci permettono di guardare *lontano nello spazio*, raccogliendo la luce che ha viaggiato per minuti, per ore, per millenni, anche per miliardi di anni: osservando questa luce possiamo così vedere *lontano nel tempo*. Anche solo guardando la stellina più vicina, Proxima Centauri, che si trova a quattro anni luce da noi, infatti, stiamo osservando la luce che è partita quattro anni fa.

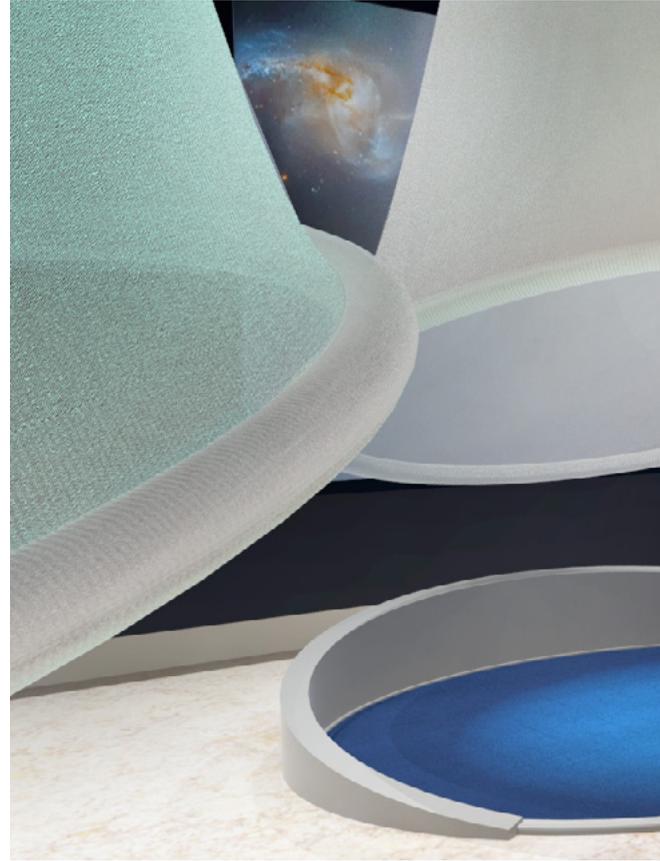
**Logo neon, locandina, sito... a proposito di viaggi nel tempo: la grafica della mostra ci porta dritti negli anni Ottanta. Come mai?**

Sarà che da un po' sono tornati di moda, sarà che io stessa, che sono la curatrice della mostra, sono una “ragazza degli anni Ottanta”... A parte gli scherzi, gli anni Ottanta hanno rappresentato un momento di esplosione di stili, di colori, di libertà. Libertà per le persone di esprimersi in ogni forma: arte, moda, musica, cinema. Ci sembravano dunque l'intervallo temporale più adatto per raccontare un viaggio nel tempo. Certo, abbiamo strizzato l'occhio a *Ritorno al futuro*, ma non solo a quello. È stato un decennio di grandi film di fantascienza legati allo spazio e – con lo Shuttle e il proliferare dei satelliti – anche un decennio cruciale per l'esplorazione spaziale.

**TIME MACHINES**  
Il progetto allestitivo della mostra *Macchine del Tempo – Time Machines* allestita a Palazzo Esposizioni Roma fra astrofisica, exhibit interattivi e un'inconfondibile atmosfera anni Ottanta.  
Crediti: Inaf/Pleiedi



**“Macchine del tempo” sono principalmente le nostre tecnologie e i nostri strumenti che – sia da terra sia in orbita – ci permettono di guardare *lontano nello spazio***



**Una mostra sull’astrofisica, ma anche una mostra sull’Istituto di astrofisica. Perché un ente di ricerca come l’Inaf ha sentito il bisogno di mettersi in mostra? E che Inaf è quello che i visitatori incontreranno?**

Più che mettersi in mostra, con questo progetto l’Istituto nazionale di astrofisica ha voluto coinvolgere il pubblico. È vero che lo facciamo già in tante altre forme, in tutt’Italia, con le nostre attività di comunicazione. Però una mostra come questa inaugurata a Roma ci permette non solo di portare e accompagnare i visitatori attraverso un viaggio nello spazio e nel tempo, ma anche di incontrarlo, il pubblico. Abbiamo infatti in programma, nel corso dei quattro mesi di apertura della mostra, oltre una decina di conferenze con personaggi come premi Nobel – come Michel Mayor, che ha scoperto il primo esopianeta – e astronauti, numerosi spettacoli scientifici, laboratori per le scuole e anche aperitivi scientifici, durante i quali i nostri ricercatori e le nostre ricercatrici parleranno con le persone *vis-à-vis*, davanti a un aperitivo appunto, raccontando cosa fanno e come lo fanno. Questo è l’Inaf che i visitatori incontreranno. Vedranno le nostre ultime scoperte, vedranno le tecnologie e la scienza che utilizziamo e produciamo, vedranno le persone. E quest’ultima è secondo me la parte più importante.

**Dunque sono tanti, gli eventi e le proposte che nei mesi di apertura ruoteranno attorno alla mostra. Quali suggerire, magari per fasce di pubblico?**

Sì, sono davvero tanti e per tutti. Ci sono incontri per la scuola dell’infanzia, spettacoli e *matinée*, sempre per le scuole, spettacoli che uniscono ironia e scienza pensati per stimolare, per imparare ridendo. Gli aperitivi scientifici si rivolgono perlopiù a studenti universitari, alle famiglie e, più in generale, a un pubblico adulto. Non mancheranno incontri per pubblici speciali, con



## Più che mettersi in mostra, con questo progetto l'Istituto nazionale di astrofisica ha voluto coinvolgere il pubblico

interpreti per la lingua dei segni, per esempio. Fra gli spettacoli, che saranno almeno cinque, ce ne saranno anche di già collaudati e noti al pubblico della capitale, come l'Astroconcert, coSmic e la Scienza Coatta. E per chi è interessato alla cultura ad ampio raggio, avremo anche dibattiti sul rapporto tra filosofia, arte e scienza con grandi nomi del panorama intellettuale italiano.

### Usiamo la macchina del tempo per guardare al futuro: dopo il 24 marzo 2024, giorno di chiusura, la mostra che fine farà?

Roma è solo l'inizio. Potremo trovare spazi nelle città nelle quali il nostro Istituto nazionale di astrofisica ha una sede, che già da sole sono una dozzina. Sempre nelle nostre sedi, che durante l'anno aprono regolarmente le porte al pubblico, potremo ospitare in modo permanente alcuni exhibit. E visto che la mostra è già interamente tradotta in inglese, vorremmo provare a proporla anche all'estero, sia nel contesto dell'International Astronomical Union sia alle ambasciate italiane – con le quali, come Inaf, abbiamo da tempo rapporti molto stretti e molto vivaci, sia per quanto riguarda la ricerca scientifica che per il *public engagement*. ■



Ph. Riccardo Bonuccelli

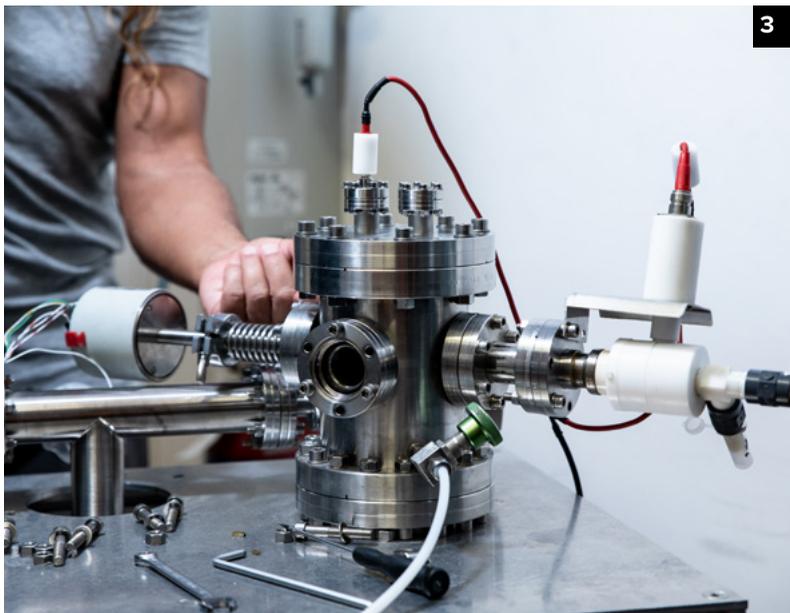
# Visione

Dunque. Tenete a mente che la fusoliera di un Boeing 737 è più corta. Di cinque metri buoni. Già questo può restituire un'idea di quanto sia complesso gestire una linea da vuoto lunga 35 metri, con sorgenti, rivelatori, filtri sottili quanto una bolla di sapone, in grado di resistere alle sollecitazioni di un razzo in fase di decollo, e che consente di effettuare test e calibrazioni su componenti e dispositivi satellitari. Tecnologia sofisticatissima, come quella che sarà utilizzata per Athena, il grande osservatorio a raggi X dell'Agenzia spaziale europea.

Siamo a Palermo, nei laboratori dell'Inaf di via Ingrassia, quelli della *fu* Specola Panormitana: l'Osservatorio Astronomico. I laboratori ospitano, per l'appunto, la struttura Xact (X-ray Astronomy Calibration and Testing), ma non solo. C'è il laboratorio Life (Light Irradiation Facility for Exochemistry) in cui si produce ghiaccio interstellare artificiale, fondamentale per chi vuole dare risposte alle grandi domande sulle origini della vita nell'universo. C'è il laboratorio di microtecnologie, per la caratterizzazione dei materiali dal punto di vista ottico e meccanico. C'è il laboratorio di criogenia, capace di riprodurre temperature prossime allo zero assoluto. E c'è un supercomputer che consente di effettuare dettagliatissime simulazioni tridimensionali di fenomeni astrofisici. Vi sembra manchi qualcosa? Beh, potete pur sempre fabbricarla *in house*, accedendo all'officina. Sapete come sono gli astrofisici: artigiani della qualità. Con buona pace di chi avrebbe preferito un divano.

visione





3



4



6



7

**1.** Il laboratorio Xact, che include anche un laboratorio di criogenia per lo sviluppo di rivelatori di raggi X, ha come attività primaria la ricerca e sviluppo e anche i servizi verso la comunità scientifica nel settore della strumentazione per astronomia nei raggi X. Opera anche nel trasferimento di tecnologie ad altri settori e collabora con il dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università di Palermo.

**2.** Alcuni degli strumenti studiati e realizzati presso il laboratorio Xact sono oggi in orbita a bordo di satelliti internazionali come Chandra, Hinode e Xmm Newton. Altri lo saranno presto, come Ariel e Athena o la missione sino-europea eXTP.

**3.** Prototipo di camera per la simulazione di atmosfere esoplanetarie.

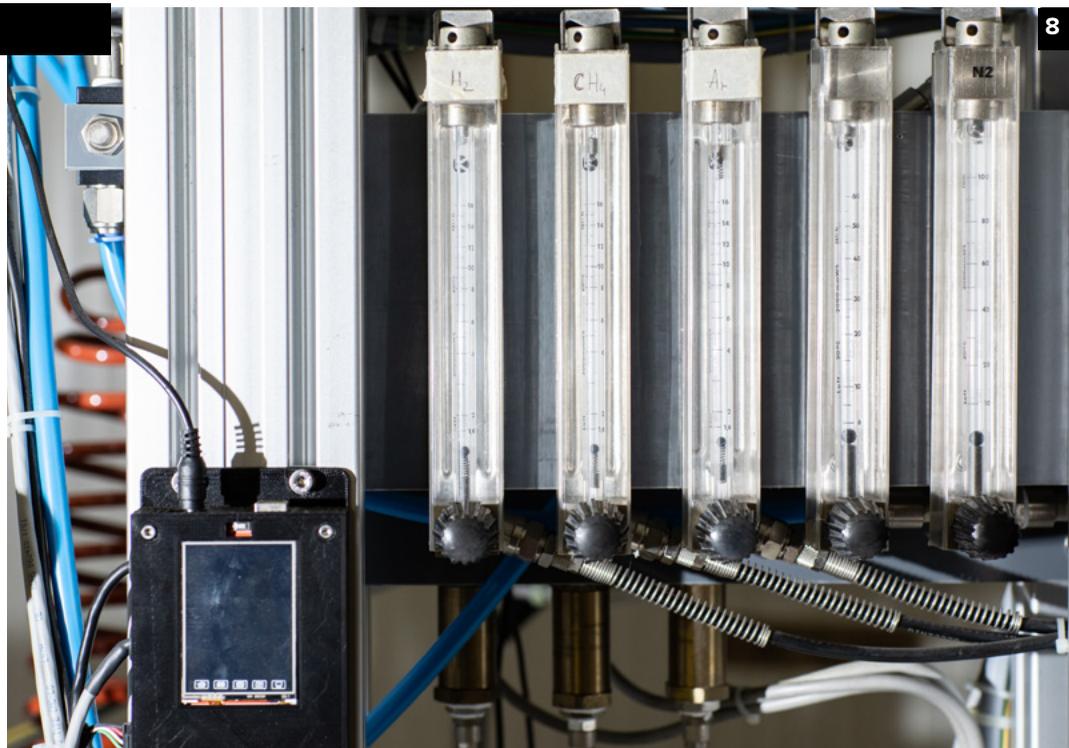
**4.** Pannello di controllo del laboratorio Life.

**5.** Nel laboratorio Life, ghiacci simili a quelli che si accumulano sulle superfici dei grani di polvere cosmica nei dischi circumstellari vengono bombardati con raggi X e ultravioletti, radiazioni che simulano una stella giovane.

**6.** Camera di miscelazione del laboratorio Life per la preparazione di analoghi di ghiacci interstellari.

**7.** Esperimento in corso: Angela Ciaravella e Antonio Jiménez-Escobar esaminano gli spettri infrarossi dell'irraggiamento di analoghi di ghiacci interstellari.

visione



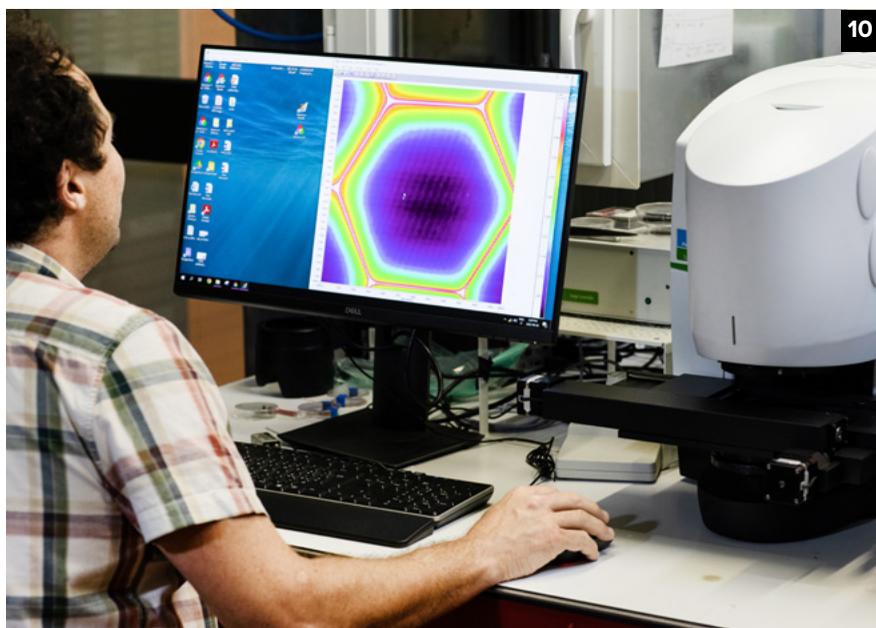
8

**8.** Il laboratorio di elettronica e microtecnologie svolge principalmente attività a supporto della ricerca, come il test dei filtri realizzati per la missione spaziale Athena, il futuro osservatorio spaziale per l'astrofisica a raggi X dell'Agenzia spaziale europea.



9

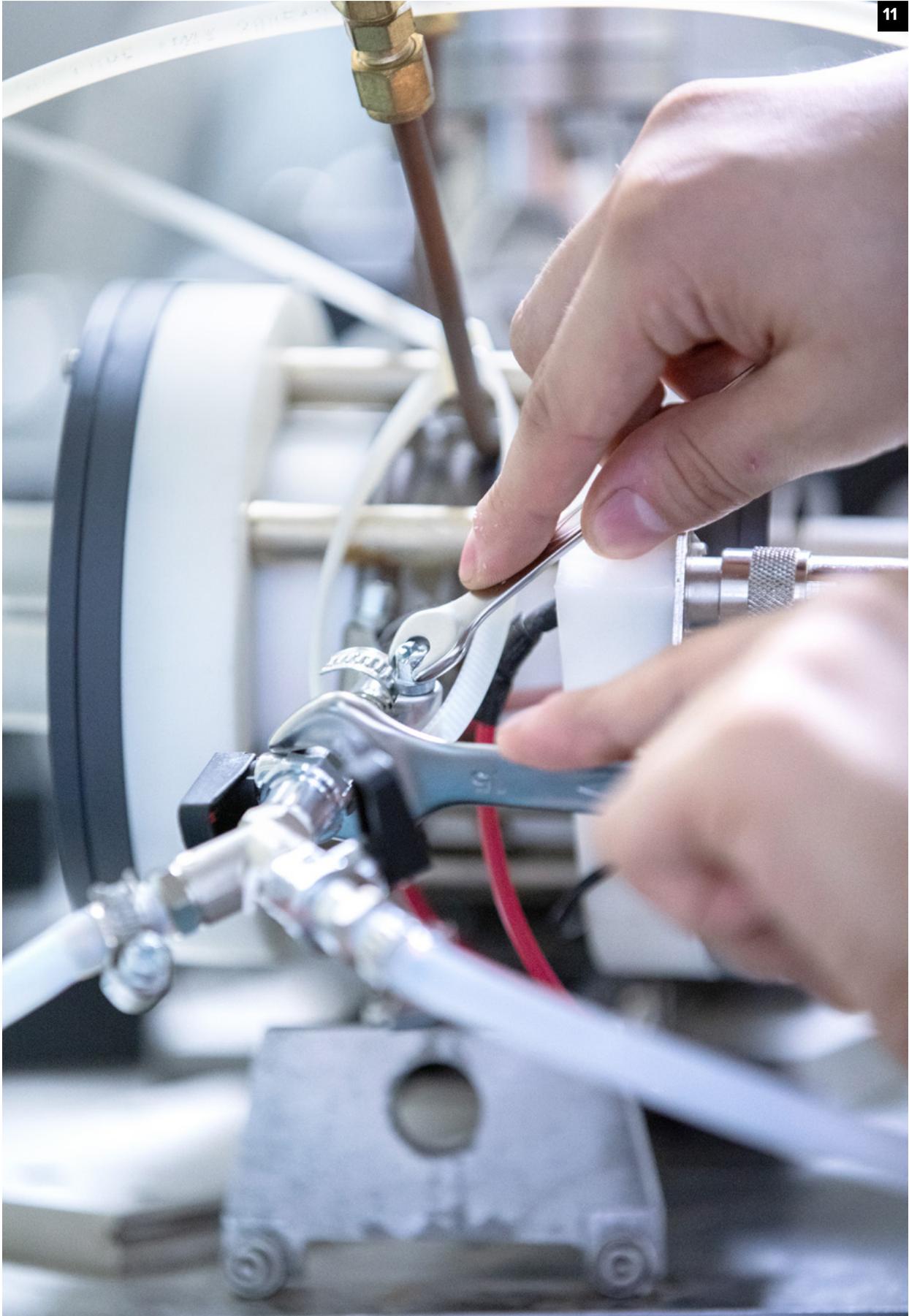
**9.** Michela Todaro in camera pulita. In primo piano: il microscopio digitale utilizzato per indagini morfologiche.



10

**10.** Paolo Pagano osserva al microscopio elettronico la superficie ultrasottile dei filtri realizzati per la missione Athena.

**11.** Il fascio di raggi X lungo 35 metri è costituito da 16 tubi di lunghezza variabile. I raggi X sono fotoni ad altissima energia, nell'universo vengono emessi da gas estremamente caldi (con temperature di milioni di gradi) o da processi che coinvolgono particelle con energie relativistiche.

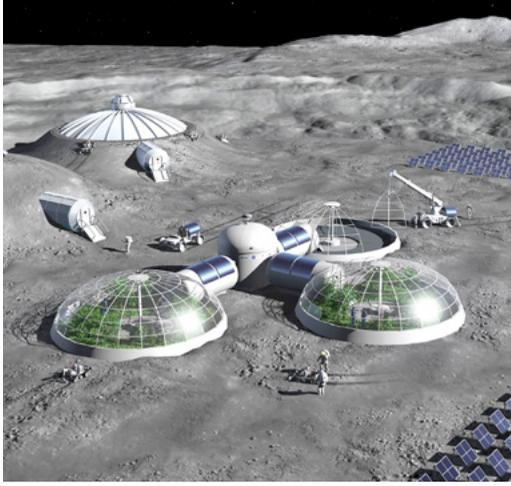


visione



**In queste pagine**  
 Ricercatori e personale ai  
 laboratori di via Ingrassia  
 dell'Inaf Osservatorio  
 astronomico di Palermo: Michela  
 Todaro, Paolo Pagano, Alfonso  
 Collura, Angela Ciaravella,  
 Edoardo Alaimo, Marco Barbera,  
 Alfonso Mangione e Antonio  
 Jiménez-Escobar.





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

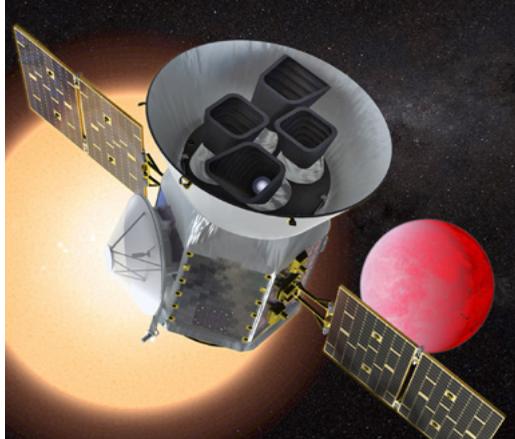


Curiosità dallo spazio

## 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

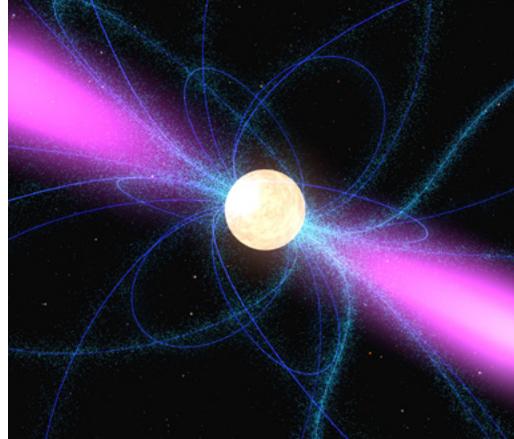


### Curiosità dallo spazio

## 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. Hudepohl



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. Otarola/Jao/Eso



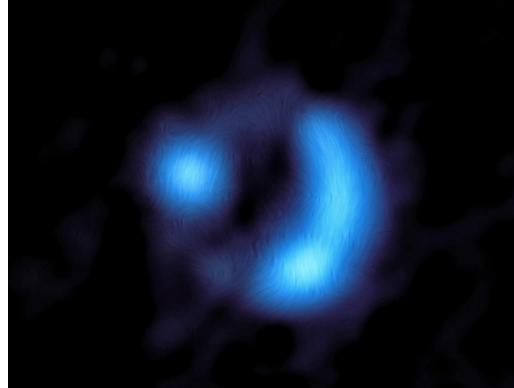
Grandi scoperte recenti

## 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



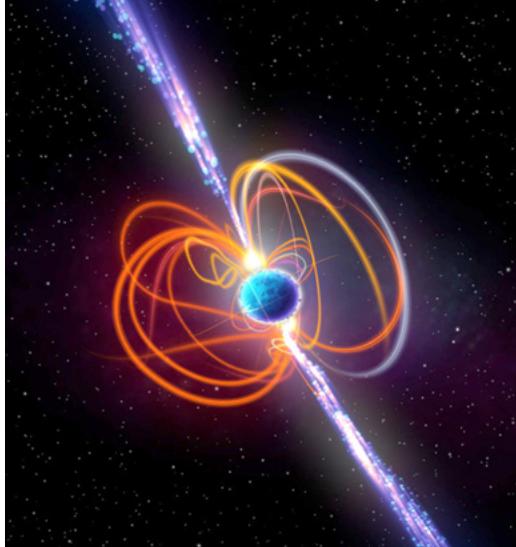
Grandi scoperte recenti

## 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 (Icar) 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: Icar

### 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-Irac "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

# 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? ■

# L'anno del Coniglio, Lapin incontra l'astrofisica

di Francesca Maria Aloisio

**Una residenza artistica itinerante dell'illustratore Lapin ha toccato tutte le sedi dell'Inaf in Italia per realizzare un albo illustrato dedicato alle sue strutture e al patrimonio storico che custodiscono, ma soprattutto alle persone che lo rendono vivo con le ricerche che portano avanti ogni giorno.**

L'incontro di cui vogliamo raccontarvi in questo numero di *Universi* è quello con l'illustratore Lapin, protagonista del progetto "Sketchtour" e autore delle tavole che comporranno un albo illustrato, *l'Atlante illustrato dell'Istituto Nazionale di Astrofisica*.

L'idea di realizzare un atlante illustrato dell'Inaf nasce da diverse considerazioni e con l'obiettivo di soddisfare una serie trasversale di esigenze, che riguardano tutte le attività che rientrano nella più vasta definizione di terza missione, ma anche il rafforzamento dello spirito di corpo.

L'incontro con i lavori dell'illustratore francese Lapin è stato fortuito e illuminante al tempo stesso: il suo immaginario artistico e lo stile dei suoi reportage si sposano perfettamente con l'idea alla base del progetto.

Lapin, francese di origine, spagnolo di adozione e cittadino del mondo per vocazione e professione, si definisce un "illustratore mobile": disegna dal vero, in modo rapido e preciso, raffigurando ciò che lo circonda, le persone che incontra e i luoghi in cui viaggia. I suoi reportage sono disegnati su libri contabili vintage, recuperati nei mercati delle pulci. Quella carta con linee rosse e blu, che racconta già una storia, ricorda all'artista "i primi disegni e osservazioni che riportavano le spedizioni scientifiche



## NEL QUADERNO DI LAPIN

Il telescopio Astri installato a Serra La Nave (la struttura alle pendici del Monte Etna gestita dall'Osservatorio astrofisico dell'Inaf di Catania) nell'albo illustrato dell'artista Lapin. Crediti: Lapin/Inaf

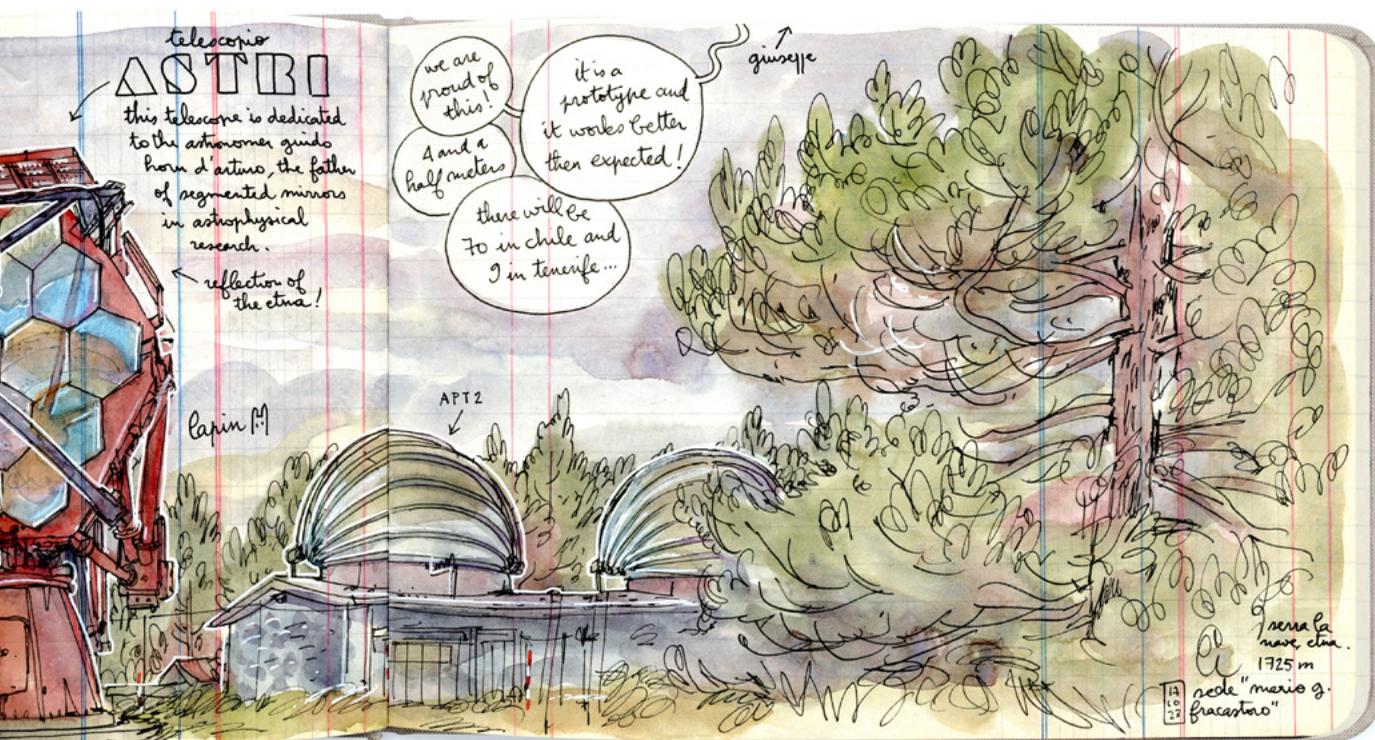
del XVIII secolo, come Cook o Laperouse, da civiltà e terre sconosciute”, un supporto adatto a pionieri del proprio tempo, come pionieri dell’astronomia di frontiera sono oggi i ricercatori del nostro Istituto.

Il lavoro è stato realizzato nel corso di una residenza artistica itinerante che ha toccato tutte le strutture dell’Inaf sparse dal nord al sud della penisola. In circa un mese Lapin ha visitato 13 città, 17 strutture e i siti dei radiotelescopi di Medicina, Noto e Cagliari. In questo viaggio Lapin ha disegnato edifici storici, sale affrescate, antichi strumenti e grandi antenne, ma soprattutto i volti e le parole di quelli che hanno avuto voglia di prestarsi al gioco e raccontargli delle proprie ricerche e del proprio lavoro all’Inaf. Grazie ai ritratti, Lapin prova a spiegare ciò che vede e ascolta, aggiungendo qualche nuvola di parole, presa in prestito ai codici del fumetto.

Lapin è curioso, ricettivo e non è nuovo alla produzione di lavori che riguardano la scienza: è stato nominato “Pittore dell’aria e dello Spazio” dall’Aeronautica francese, per cui ha già realizzato diversi albi e ha disegnato la collezione del Museo delle Arti e dei Mestieri di Parigi, oltre ai volti delle persone che ci lavorano e i suoi incredibili magazzini.

Tra le esperienze che lo hanno maggiormente colpito in questo suo viaggio alla scoperta dell’astrofisica ci sono sicuramente la bellezza dei luoghi, il realizzare dal vero la dimensione delle grandi antenne e la passione dei ricercatori nel raccontargli il proprio lavoro. Per non parlare del privilegio di poter riprodurre nel suo stile i disegni e le parole di Galileo e Copernico provenienti dai libri che hanno fatto – e a volte hanno cambiato – la storia della conoscenza. ■

**Il lavoro è stato  
realizzato nel corso  
di una residenza  
artistica itinerante,  
che ha toccato tutte  
le strutture dell’Inaf**



# Esploratori di stelle sulla terra

di Laura Leonardi

**Un tour nel metaverso tra le sale “aumentate” di Palazzo Esposizioni, per andare a caccia di stelle ed esplosioni stellari. Quel che sembrava impossibile sperimentare, oggi è in mostra a Roma.**

Immaginate di poter osservare alcuni degli eventi stellari più potenti dell’universo esposti in un museo come fossero dei manufatti artistici. Un colorato ambiente digitale che permette di interagire con animati oggetti 3D, dotati di brevi didascalie e immagini, esplorabili attraverso visori per la realtà virtuale e avatar.

Visitando la mostra *Macchine del Tempo* è possibile sperimentare il metaverso, imparando a conoscere lontanissimi oggetti celesti, intense esplosioni e interazioni stellari, e vivere dei “momenti di stupore” – *awe moments* come direbbe Kimberly Arcard, ricercatrice e comunicatrice scientifica della Nasa.

Le esperienze messe a disposizione dei visitatori nel percorso della mostra dell’Inaf sono tre; una di queste si serve di un software per lo sviluppo del metaverso. Questa parola, da non confondere con *multiverso*, compare per la prima volta nel romanzo fantascientifico di Neal Stephenson *Snow Crash* pubblicato nel 1992. L’autore descriveva il *metaverso* come un’enorme sfera nera su cui ogni persona poteva costruire in tre dimensioni tutto ciò che desiderava. Una realtà 2.0 potenzialmente visitabile anche da altri utilizzatori virtuali.

Sfruttando questa idea e le opportunità fornite dal software Frame, lo spazio fisico di Palazzo Esposizioni a Roma è stato virtualmente esteso per dare forma a una sala espositiva inedita e allestita con simulazioni di eventi astronomici ad altissima energia, ottenuti a partire dai dati astronomici che provengono dai telescopi spaziali, come Hubble, Chandra e Xmm Newton.

La sala “aumentata” è pensata per spiegare al grande pubblico non solo il lavoro che l’Inaf svolge nell’ambito dello sviluppo di

**Gli esploratori del metaverso, in visita alla mostra *Macchine del Tempo*, possono sperimentare un viaggio nel tempo e nello spazio per conoscere la storia delle “opere stellari” esposte**



#### CAMERA CON VISTA

Un'anteprima della sala "aumentata" di *Macchine del Tempo – Time Machines*, la mostra allestita a Palazzo Esposizioni Roma.  
Crediti: Inaf

modelli fisici di oggetti astronomici, ma anche l'importanza che lo studio dell'evoluzione e della composizione chimica di alcuni oggetti stellari molto energetici ha per la comprensione della nostra galassia. Eventi come le supernove, ad esempio, aiutano a formare gli elementi della vita, quali il ferro del nostro sangue e il calcio delle nostre ossa, confermando la teoria secondo la quale siamo fatti della stessa sostanza delle stelle.

Gli esploratori del metaverso, in visita alla mostra *Macchine del Tempo*, possono sperimentare un viaggio nel tempo e nello spazio per conoscere la storia delle "opere stellari" esposte – come nascono, si sviluppano e terminano la loro esistenza – adottando sempre nuovi punti di vista. Esplosioni di supernova, come Sn 1987A nella Grande Nube di Magellano, il resto stellare di Ic 443, conosciuta altresì come la Nebulosa Medusa, potenti getti stellari prodotti da una stella in formazione, o ancora U Scorpii, sistema di due stelle binarie che interagiscono tra loro vincolate dalla forza di gravità, nella costellazione dello Scorpione: questi sono solo alcuni dei modelli 3D che è possibile ammirare.

Ma, come dicevamo, non è finita qui. La mostra, per tutti gli appassionati di astronomia e non solo, ha in serbo altre due esperienze immersive e interattive che prevedono l'uso della realtà virtuale. Per scoprirle, vi invitiamo a visitare *Macchine del Tempo – Time Machines*, la mostra dell'Istituto nazionale di astrofisica, aperta fino al 24 marzo 2024. ■

# 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 ricevessimo 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)).

# Maia, una missione per l'inquinamento e la salute

di Valentina Guglielmo

**Una missione per valutare l'inquinamento atmosferico e i suoi danni sulla salute delle persone. Si chiama Maia ed è una collaborazione fra Nasa e Asi. In Italia osserverà Roma, Milano e Taranto.**



## Maia orbiterà a 740 km di quota e sarà in grado di distinguere diversi tipi di Ppm osservando come la luce del Sole si riflette sulla Terra e sulla sua atmosfera

La prima collaborazione fra agenzie spaziali, epidemiologi e ricercatori di sanità pubblica si chiama Maia (Multi-Angle Imager for Aerosols). Analizzerà la distribuzione di particolato (Pm) e aerosol nell'atmosfera in molte città del mondo e, con l'aiuto delle strutture sanitarie locali, cercherà di capire quali effetti hanno tali inquinanti sulla salute dell'uomo. L'Agenzia Spaziale Italiana (Asi) fornirà la piattaforma di supporto allo strumento scientifico, sviluppato dal Jpl della Nasa.

«L'inquinamento da particolato aereo è il principale rischio ambientale per la salute in tutto il mondo», dice a *Universi* Stacey Boland, ingegnere di sistema del progetto Maia a Jpl. «Alla Nasa siamo entusiasti di collaborare con Asi per migliorare la comprensione dei collegamenti tra diversi tipi di particelle aerodisperse e la salute umana».

Maia, il cui lancio è previsto nella primavera del 2025, orbiterà a 740 km di quota e sarà in grado di distinguere diversi tipi di Pm osservando come la luce del Sole si riflette sulla Terra e sulla sua atmosfera. Utilizzerà 14 filtri a lunghezze d'onda da 335 a 2220 nm, perché ciascuna particella diffonde la luce in modo più efficiente a lunghezze d'onda simili alla propria dimensione. Nel visibile si hanno informazioni sugli aerosol più piccoli di 2,5 micron, nell'infrarosso su quelli più grandi come la polvere e la cenere vulcanica, e nell'ultravioletto su composti minerali e organici. Lo strumento sarà ospitato nella piattaforma Platino, finanziata da Asi e sviluppata con quattro aziende italiane.

«Platino è una piattaforma all'avanguardia a livello europeo, ospiterà Maia e gli fornirà tutti i servizi di cui ha bisogno», dice a *Universi* Vincenzo Pulcino, ingegnere aerospaziale all'Asi e project manager del programma Platino. «Si tratta di un satellite grande circa 280x420x170 cm<sup>3</sup> in configurazione di volo e pesante 380 kg; contiene sistemi di bordo per garantire la stabilità termica, la controllabilità da terra, il download dei dati, il controllo di assetto e dell'orbita, e un computer che gestisce tutte le unità e memorizza temporaneamente i dati».

In tre anni di missione, Maia acquisirà i dati di diverse città. I target primari saranno osservati in media tre volte e mezzo la settimana, mentre i target secondari una volta la settimana. In Italia, fra i primi c'è Roma, fra i secondi Milano e Taranto. Il sensore acquisirà immagini con un'estensione a terra di 300x400 km<sup>2</sup>, e punterà ogni target con diversi angoli di vista a distanza di pochi minuti, per capire come le particelle riflettono e diffondono la luce e per stimarne dimensione, forma e proprietà ottiche.

Le informazioni sugli inquinanti presenti in una determinata zona verranno integrate con le statistiche sullo stato di salute degli abitanti, per indagare gli effetti sul breve e sul lungo termine. «Le particelle più grandi hanno effetti diretti sulle vie aeree, causando malattie respiratorie come tosse o infiammazioni», continua Pulcino. «Le particelle più piccole di 2,5 micron, una volta inalate, entrano più a fondo nel sistema respiratorio, possono arrivare nel flusso sanguigno causando problemi a vari organi inclusi il cuore, i polmoni e il cervello». ■

### IL BOSCO URBANO

Una vegetazione equivalente a quella di 30mila mq di bosco e sottobosco, concentrata su 3mila mq di superficie urbana: è il Bosco Verticale di Stefano Boeri, a Milano.  
Crediti: Pexels

# 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 inospitale, 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. Convalja

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. ■

# Strumenti Astronomici al MuSA di Napoli

di Mauro Gargano

**La più antica istituzione scientifica partenopea ospita dal 2012 il Museo degli Strumenti Astronomici. Visitarlo vuol dire mettersi nei panni di alcuni degli uomini di scienza più visionari della storia.**

«Magnifico sia l'edificio», esclamò il Monarca. «Magnifico sia», ripeterono i Consiglieri e i Ministri. Era l'8 marzo 1812 quando Gioacchino Murat determinò la fondazione di un nuovo edificio per l'Osservatorio di Napoli, la cui istituzione risale al 1791. L'architetto Stefano Gasse concepì uno splendido monumento in stile neoclassico che Franz Xaver von Zach definì "il Vesuvio dell'Astronomia". L'osservazione del 17 dicembre 1819 diede avvio alle attività di ricerca dalla sommità di Miradois a Capodimonte, la collina che domina la città e il golfo di Napoli. L'Osservatorio di Napoli è la più antica istituzione scientifica partenopea e la tutela, lo studio e la valorizzazione delle sue collezioni offrono una visuale unica per conoscere il contributo degli scienziati napoletani allo sviluppo dell'astronomia, "la più sublime scienza inventata dagli uomini".

Nel 2012 nasce il MuSA – Museo degli Strumenti Astronomici, l'unico museo dell'astronomia presente nel sud Italia continentale. Il rinnovato allestimento museale, fatto di strumenti e documenti, edifici e panorami, consente un viaggio affascinante negli oltre due secoli di vita dell'astronomia a Napoli.

Il MuSA, progettato per garantire una completa accessibilità ai vari ambienti, presenta oltre 200 oggetti tra strumenti scientifici, dipinti, stampe e una selezione di preziosi volumi antichi, nonché alcuni elementi moderni, come il tunnel che trasporta il visitatore in un percorso visionario e colorato nel Sistema solare, rivivendo il primo sbarco dell'uomo sulla Luna.

Tra i pezzi di maggior pregio, il MuSA espone due straordinari oggetti d'arte provenienti dalla Collezione Farnese, come il globo celeste (1589) e l'orologio astronomico (1567). Hanno un'importanza tecnologica e scientifica lo specchio di Herschel (1798), tra i maggiori telescopi riflettori



**MUSA DI NAPOLI**  
via Luciano Armanni 5, 80138 Napoli

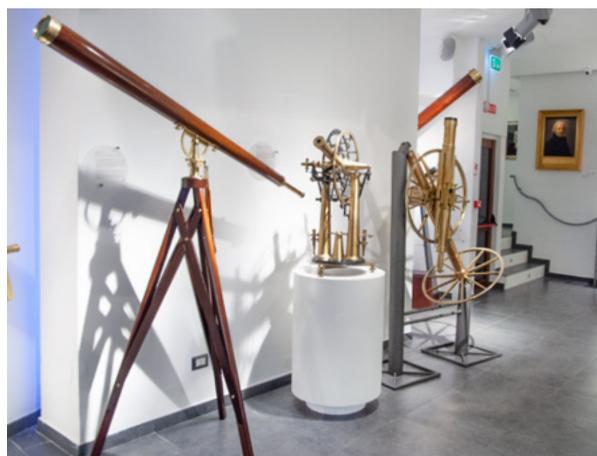


## LA COLLEZIONE DEL MUSA

In queste pagine: le sale del Museo degli Strumenti Astronomici all'Inaf Osservatorio astronomico di Capodimonte, un bene culturale di valore storico-documentario che testimonia lo sviluppo della ricerca astronomica che l'Osservatorio di Napoli ha attraversato e che ha contribuito a scrivere.  
Crediti: Inaf Capodimonte

realizzati dall'astronomo che nel 1781 scoprì il pianeta Urano, il telescopio di Fraunhofer (1814) che, con un obiettivo di 17,5 cm di diametro, è stato il più grande telescopio mai realizzato a inizio Ottocento, e il telescopio di Reichenbach (1814) che consentì ad Annibale de Gasparis di scoprire nove asteroidi, divenendo il più prolifico scopritore di pianeti in Italia del XIX secolo. Di grande fascino è il padiglione del cerchio meridiano, strumento acquistato nel 1869 anche grazie al contributo finanziario del Comune di Napoli.

Il percorso del MuSA si arricchisce di dipinti, stampe e di una selezione di volumi rari della biblioteca antica, come il *De spaere mundi* (1488) di Sacrobosco, la prima edizione del *De Revolutionibus orbium coelestium* (1543) di Copernico e le splendenti tavole di *Atlas coelestis* (1742) di Doppelmayr. Completano il viaggio nella storia dell'Osservatorio di Capodimonte le architetture dei suoi edifici come la sala delle colonne dove spicca il bassorilievo di Claudio Monti *Re Ferdinando incoronato da Urania* (1819) e la sala della direzione dove campeggia la *Mappa del duca di Noja* (1775), una carta geografica e topografica di Napoli di circa dodici metri quadrati. Le amenità del suo parco e la bellezza delle vedute fanno da cornice alla "più bella e preziosa collezione che mai non ho veduto in altro osservatorio", come scrisse l'astronomo Giuseppe Piazzi. ■



# EduINAF, una casa spaziale per la didattica

di Livia Giacomini

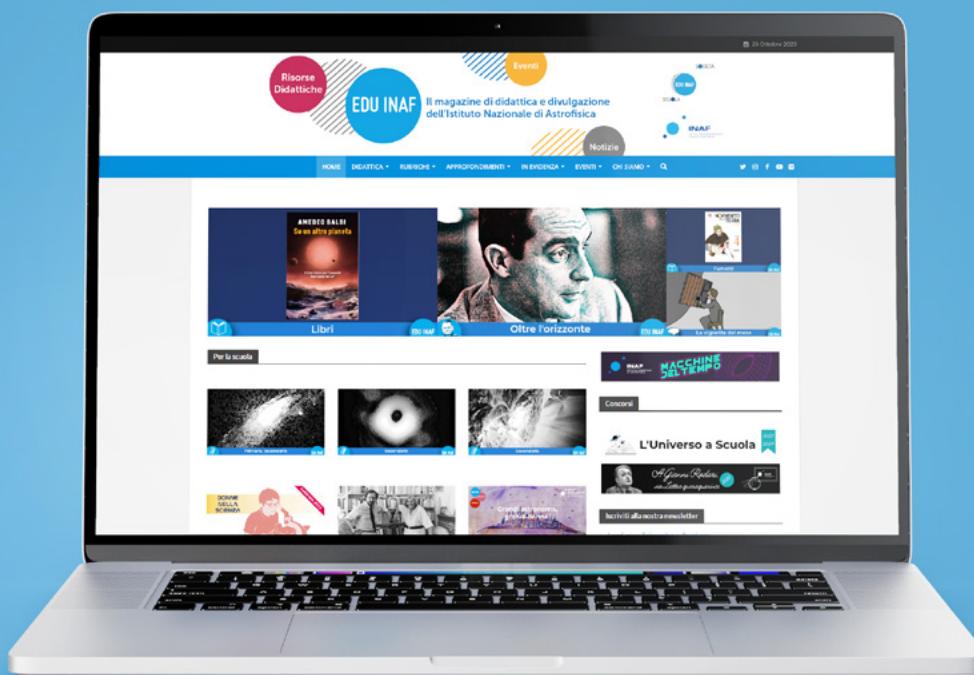
**Una comunità virtuale pronta ad accogliere insegnanti, ricercatori, studenti e chi è già appassionato di scienza. O chi, grazie a EduINAF, sta per diventarlo.**

Immaginate una grande casa gioiosa, con stanze che riecheggiano di voci, dove abitanti e ospiti scambiano idee, ispirazione e competenza: è così che amiamo descrivere EduINAF\*, il magazine della didattica e divulgazione dell'Inaf. Tra gli ambienti, non mancano un salottino accogliente dove insegnanti e ricercatori possono chiacchierare e mettere a punto nuove risorse per la scuola e una grande biblioteca multimediale dove trovare libri, riviste, fumetti, teatro, arte e tanto altro. Abbiamo anche un'attrezzata cucina-laboratorio dove fare esperimenti senza timore di sporcare, un giardino dal quale osservare insieme il cielo e, ovviamente, un ospitale salone dove cimentarsi in divertenti sfide tra amici.

EduINAF è un punto di riferimento per oltre 20mila visitatori unici mensili tra insegnanti, studenti, ricercatori e appassionati di scienza. Per rendere accogliente e utile questo spazio virtuale, lavora quotidianamente una redazione di circa venti ricercatori, esperti di didattica e comunicatori provenienti da tutte le sedi dell'Inaf. Alle loro spalle, tutta la variopinta e ispirata comunità della Didattica e Divulgazione del nostro ente. La storia nasce infatti da lontano: finanziato nel 2014 da un progetto dell'allora Miur, EduINAF è cresciuto diventando una testata registrata solo nel 2020. Questa scelta è avvenuta solo in parte come reazione all'emergenza sanitaria. Il fatto che la comunità fosse matura per questo cambio di marcia è dimostrato dal flusso di nuove proposte e iniziative che oggi inorgogliscono Inaf con premi internazionali e dalle prestigiose collaborazioni nate e cresciute in questi ultimi anni. Come quella con il Centro italiano dell'Office of Astronomy for Education, l'ufficio guidato dall'Inaf della International Astronomical Union che propone scuole, risorse e iniziative per insegnanti di tutto il mondo.

Tra le numerose proposte, spicca la serie "Il Cielo in salotto", un format online origina-

**EduINAF è un punto di riferimento per oltre 20mila visitatori unici mensili tra insegnanti, studenti, ricercatori e appassionati di scienza**



**EDU.INAF.IT**  
 La homepage del magazine di didattica e divulgazione dell'Istituto nazionale di astrofisica.  
 Crediti: Inaf

le che affianca il fascino di una serata al telescopio al coinvolgimento di un talk show in diretta. Per la prima volta, numerosi osservatori puntano i propri strumenti in contemporanea sul cielo, raggiungendo un pubblico inaspettato: nel 2020, erano in oltre 100mila ad assistere in diretta alla congiunzione di Giove e Saturno. Per coinvolgere insegnanti e studenti, EduINAF propone anche dei concorsi per le scuole. Per il 2023/2024 sono ben tre, pensati per tutti gli ordini scolastici: un concorso di disegno ispirato allo spazio per i più piccoli, un secondo di scrittura astronomica che ha come guida il maestro Gianni Rodari e infine, il nuovo arrivato, “L’Universo a scuola”, dedicato in questa prima edizione a Italo Calvino e destinato a divenire un appuntamento annuale per tutte le scuole secondarie.

Queste sono solo alcune tra le proposte del nostro spazio virtuale. Impossibile citarle tutte. Vi invitiamo a visitare la nostra casa per trovare la stanza più adatta a ospitarvi, sicuri che basterà varcare la nostra soglia per convincervi che l’astronomia e la scienza rappresentano strumenti insostituibili per ispirare le future generazioni e per migliorare, già da oggi, il mondo in cui viviamo. ■

\*Immergiti in EduINAF qui: <https://edu.inaf.it>

# Look up! Sfoggia il cielo con un dito

di Antonella Gasperini e Mauro Gargano

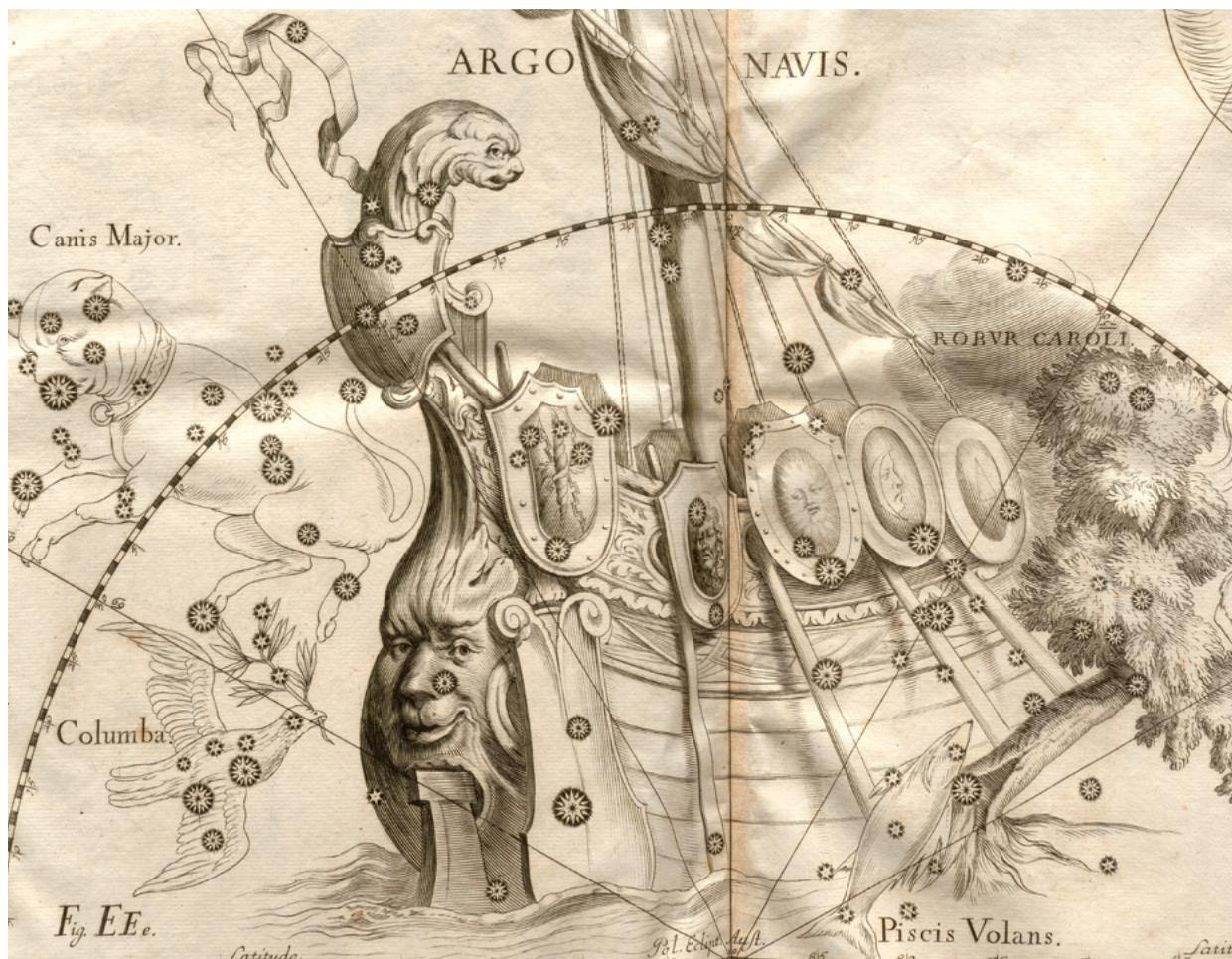
**Il patrimonio storico scientifico racconta molto delle scoperte degli uomini di scienza e anche della loro umanità. In particolar modo gli atlanti celesti, sfogliabili anche all'interno della mostra virtuale *Look up*, sono beni culturali in grado di raccontare lo sviluppo delle conquiste scientifiche.**

Osservare e interpretare il cielo è sempre stato uno degli istinti fondamentali dell'essere umano, a cui si è affiancato il desiderio di rappresentare la volta celeste e di cercare in essa sia elementi di vita quotidiana sia miti, eroi e figure fantastiche. Riconoscere la ciclicità del tempo e degli eventi astronomici è stata un'operazione di grande importanza, anche pratica, iniziata dai Caldei e Babilonesi e arrivata a noi attraverso l'antico Egitto e il mondo ellenistico. Ma è solo con l'introduzione della stampa, alla fine del Quattrocento, che gli atlanti celesti sono diventati uno strumento di lavoro per gli scienziati e oggetti di cultura astronomica e di raffinatezza artistica per gli appassionati di scienza. Con l'uso del telescopio, a partire dal 1609, il mondo celeste ha rivelato una complessità e profondità fino ad allora inimmaginabili e si è giunti alla realizzazione di opere di rara bellezza in cui si fondono scienza, arte e mito.

Sin dalla sua istituzione, l'Istituto nazionale di astrofisica ha promosso numerosi progetti per la conservazione e la valorizzazione del proprio patrimonio storico, fatto di strumenti scientifici, carte d'archivio e volumi antichi. All'interno delle sue biblioteche, l'Inaf conserva una collezione di atlanti stellari, di cometografie e selenografie di straordinaria rilevanza scientifica e iconografica che i progetti "Touch-Sky" e "Cosmic Pages" hanno inteso studiare, valorizzare e rendere accessibili. Il patrimonio storico scientifico, infatti, è in grado di raccontare lo sviluppo delle conquiste scientifiche, generando occasioni di incontro tra la scienza e gli altri campi del sapere che caratterizzano la vita dell'uomo.



**CASSIOPEA**  
La costellazione di Cassiopea dall'edizione del 1661 dell'Uranometria di Johann Bayer.  
Crediti: Inaf



L'approccio storico permette infatti di contestualizzare l'attività degli scienziati, umanizzandola e allontanando l'idea di una scienza astratta. Inoltre, attraverso una visione trasversale del sapere, la storia facilita la comprensione del ruolo giocato dalla scienza nella società, misurandone le ricadute pratiche in termini di aumento del benessere generato dai progressi scientifici.

La catalogazione sistematica di tutti gli atlanti celesti posseduti dalle biblioteche dell'Inaf ha consentito di identificare un nucleo particolarmente rilevante di questi volumi in grado di fornire una visione coerente dello sviluppo delle conoscenze scientifiche sull'universo. Questi testi sono stati digitalizzati con l'uso delle tecniche più innovative per la scansione e la metadattazione. Schede catalografiche e testi digitali sono stati, poi, integrati nel portale Inaf dei beni culturali "Polvere di stelle" per essere consultati e sfogliati.

La mostra virtuale *Look up! Sfoglia il cielo con un dito* ha creato uno spazio virtuale fantastico per un'avventura nelle sale del Cosmo, della Luna e dei pianeti, dedicate ciascuna alle mappe stellari, alla cartografia lunare e a quella planetaria. Infine, il documentario *Touch Sky Carte mappe atlanti stellari*, il primo realizzato dall'Inaf, accompagna il visitatore in un percorso attraverso gli osservatori italiani per raccontare come la rappresentazione del cielo si sia trasformata nel corso dei secoli. ■

# Nastassja Cipriani, Edwige Pezzulli

## Prospettive di genere nella scienza

di Silvia Piranomonte



**La scienza non è priva di discriminazioni di genere, ma per certi versi ha un potere in più per superarli. Un libro ci racconta che applicando il metodo scientifico si potrebbe riscrivere la cultura e i suoi inevitabili condizionamenti.**

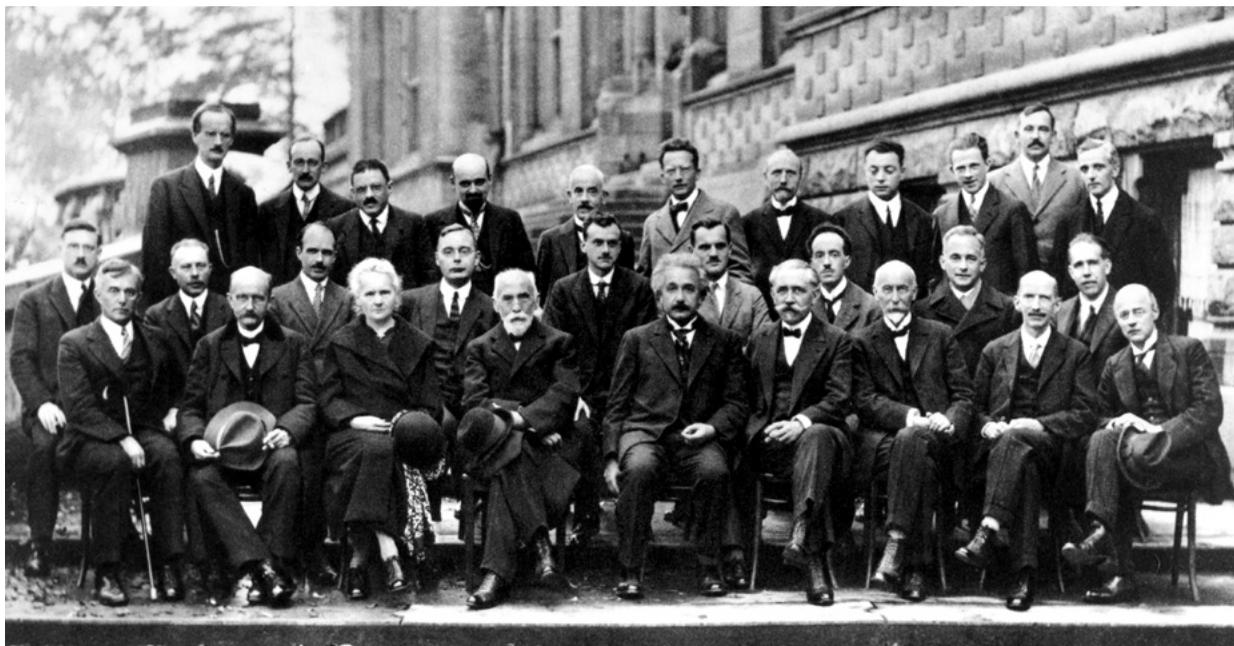
«Pur sapendo che la parità è ancora lontana, è di vitale importanza continuare a parlare di questo argomento. Perché è solo grazie a una maggiore consapevolezza, unita a una grande attenzione, che riusciremo a migliorare».

Con questo assist perfetto, Patrizia Caraveo introduce il libro *oltre marie* di Nastassja Cipriani e Edwige Pezzulli (ed. Le plurali), dedicato alle prospettive di genere nella scienza.

Uscito in libreria il 6 Settembre 2023, questo libro ha il potere di catturare la nostra attenzione e curiosità fin dalla copertina e dal titolo, dai quali si riesce immediatamente a intuire il messaggio che le autrici vogliono trasmettere: per riuscire a inquadrare nel modo più completo possibile un problema così grande e complesso come la parità di genere nella scienza bisogna andare oltre la singola realtà di una delle scienziate più brillanti che conosciamo.

Le autrici riescono a fare un'analisi dettagliata sulla discriminazione di genere nella scienza e ci mostrano quanto la struttura malleabile e plastica del cervello umano sia in grado di appren-

**Per riuscire a inquadrare nel modo più completo possibile un problema così grande e complesso come la parità di genere nella scienza, bisogna andare oltre la singola realtà di una delle scienziate più brillanti che conosciamo, Marie Curie**



**FEMMINILE SINGOLARE**  
 Conferenza di Solvay, 1927. Nel gruppo: Erwin Schrödinger,  
 Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Paul Dirac, Niels Bohr,  
 Max Planck, Albert Einstein. Unica donna Marie Skłodowska Curie.  
 Credit: B. Couprie, Institut International de Physique de Solvay

dere continuamente informazioni e al tempo stesso di costruire schemi e comportamenti a seconda dell'ambiente nel quale vive fin dalla nascita.

Ed è così che attraverso il racconto di diversi esperimenti scientifici e sociali, arriviamo a capire come i bambini siano influenzati in modo sottile, ma estremamente influente, da un condizionamento non dichiarato che diventa evidente all'età della scuola primaria. In questa fase, è sorprendente notare come gli stereotipi vengano rafforzati anche dagli stessi insegnanti, spesso non consapevoli di questa problematica.

«L'educazione al genere si costruisce dunque anche e soprattutto a colpi di inconsapevolezza», affermano le autrici, facendoci capire che è dalla parola "inconsapevolezza" che parte tutto.

Dai giudizi negativi di Aristotele, Darwin e Odifreddi sulle capacità intellettuali, mentali e spirituali delle donne, fino ai condizionamenti esterni causati da quella struttura complessa di norme e valori trasmessi attraverso la cultura e l'educazione, ecco quindi che ci ritroviamo ad avere bambine che ricevono meno attenzioni, che si sentono poco valorizzate e quindi non abbastanza brave e sicure di sé, fino ad arrivare alla sindrome dell'impostore, che ci porta inevitabilmente all'inferiorità numerica nelle discipline scientifiche e al famoso soffitto di cristallo, o al doverci per forza adeguare, per andare avanti, a un modello maschile che non ci appartiene, perché non nelle nostre corde. Come se ne esce? Le autrici di questo saggio ci dicono che si può fare *rifacendo la cultura*.

Non sarà facile, ci vorrà del tempo per smontare gli stereotipi di genere che fin dalla preistoria ci accompagnano, ma secondo Nastassja ed Edwige la scienza stessa potrebbe venirci in aiuto e darci la chiave di volta per poterlo fare: applicando il metodo scientifico e rendendo ogni individuo interessante.

Come arrivano a dirci questo? Lascio a voi lettrici e lettori di *Universi* questo piacere, invitandovi a leggere uno dei migliori saggi su questo tipo di tematica che io abbia mai letto.

► Vuoi scrivere la recensione di un libro divulgativo di astronomia per il prossimo numero di *Universi*? Contatta la redazione: [redazione.universi@inaf.it](mailto:redazione.universi@inaf.it)

datatelling

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

della dimensione di una bottiglietta da 1/2 l



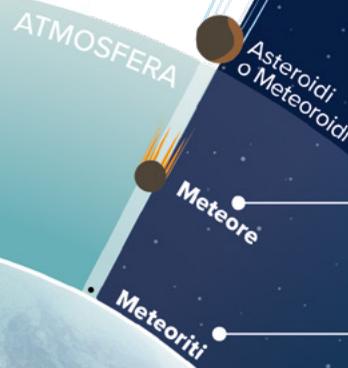
**80**  
telecamere

**30**  
fotogrammi/sec

La rete di telecamere all-sky

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



**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**



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.

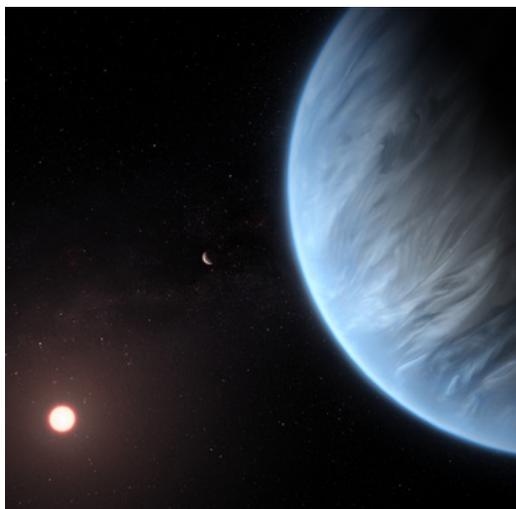
Prisma contribuisce al recupero di meteoriti "fresche", cioè appena cadute, e quin-

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**



**Finito di stampare**  
a dicembre 2023 presso  
Tipografia River Press (Roma)

**Universi è una rivista semestrale di divulgazione scientifica che presenta le attività e i risultati dell'Istituto nazionale di astrofisica.**

**Un viaggio nello spazio, tra stelle, pianeti, satelliti e missioni fantastiche.**

ISSN 2975-0938



9 772975 093806