

u n i v e r s i



rivista semestrale
giugno 2026

7
inaf

8 Filamenti radio in Abell 2255 **16** SN 2024bch: una supernova asociale **24** Organici “sotto sale” su Marte **32** Il segreto del litio nella Via Lattea **40** I guardiani del Sole **50** Le strane meraviglie di Webb **54** L’ombra dei buchi neri

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

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

universi.inaf.it

DIRETTORE RESPONSABILE
Maura Sandri

DIRETTORE ARTISTICO
Davide Coero Borgia

IN REDAZIONE
Angelo Adamo,
Francesca Maria Aloisio,
Chiara Badia, Davide Coero
Borgia, Eleonora Ferroni,
Giuseppe Fiasconaro,
Marco Galiani, Valentina
Guglielmo, Laura Leonardi,
Marco Malaspina, Claudia
Mignone, Maura Sandri,
Paolo Soletta, Rossella Spiga

COMITATO SCIENTIFICO
Roberto Ragazzoni,
Isabella Pagano,
Roberto Gilli, Ilaria Musella,
Vincenzo Andretta,
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
Grafiche Zanini srl
Via Emilia 41e
40011 Anzola dell'Emilia

universi 7

In questo numero

- 8 **RSN 1 | GALASSIE E COSMOLOGIA** Filamenti radio in Abell 2255
- 16 **RSN 2 | STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE**
SN 2024bch: una supernova asociale
- 24 **RSN 3 | SOLE E SISTEMA SOLARE** Organici “sotto sale” su Marte
- 32 **RSN 4 | ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE** Il segreto del litio
nella Via Lattea
- 40 **RSN 5 | TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE** I guardiani del Sole

5

EDITORIALE

Vecchie pupille,
nuovi occhi

8

RSN 1 Filamenti radio in
Abell 2255

16

RSN 2 | SN 2024bch:
una supernova asociale

24

RSN 3 | Organici “sotto
sale” su Marte

32

RSN 4 | Il segreto del litio
nella Via Lattea

40

RSN 5 | I guardiani del
Sole

50

INTERVISTA A

ROBERTO MAIOLINO
Le strane meraviglie
di Webb

54

INTERVISTA A MARIAFELICIA DE LAURENTIS

L'ombra dei buchi neri

56

VISIONE

testi di Davide Coero Borga
scatti di Riccardo Bonuccelli

66

FLASH

di Eleonora Ferroni

72

TECH

Oltre il limite di
diffrazione
di Rossella Spiga

74

METAVERSO

Il Sistema solare passo
dopo passo
di Laura Leonardi

76

ART

Desideri senza fine
di Claudia Mignone

78

GREEN

Il lockdown e l'aumento
del metano
di Valentina Guglielmo

80

ASTROBIOLOGIA

L'impatto della ricerca
sulla Terra
di Giuseppe Fiasconaro

82

MUSEI

Bologna: la torre della
Specola si veste di
nuovo

di Marcella Brusa e
Paola Focardi

86

SCUOLA

L'universo è fatto di
storie
di Adamantia Paizis

88

LIBRI

Rebecca Boyle
La nostra luna
di Marco Castellani

90

POP

Se lo spazio diventa
sonoro
di Chiara Badia

92

ALTRIVERSI

Don Chisciotte
De La Palma
di Angelo Adamo

94

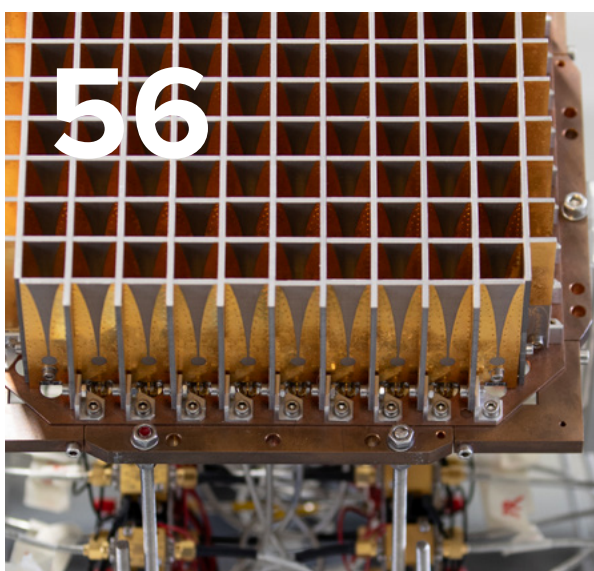
INFOGRAFICA

Gli esopianeti scoperti
in Italia



in copertina

L'immagine catturata
dall'equipaggio di Artemis II
il 6 aprile 2026 richiama la
celebre *Earthrise*, scattata
58 anni prima dall'astronauta
Bill Anders, mentre Apollo 8
orbitava attorno alla Luna.
Crediti: Nasa





editoriale

VECCHIE PUPILLE, NUOVI OCCHI

C'è una costante nella storia della scienza: cambiano gli strumenti e, con essi, cambia anche il nostro modo di osservare. Ogni nuovo "occhio" puntato sul cosmo ridefinisce ciò che possiamo vedere e, spesso, anche ciò che pensiamo di poter capire. Le nostre pupille da sole non bastano, ma continuano a guidare l'ingegno con cui costruiamo strumenti sempre più sofisticati.

In questo numero di *Universi* l'intreccio tra visione e invenzione emerge con chiarezza. Un esempio emblematico è la super-risoluzione ottenuta grazie alla superficie attiva del Sardinia Radio Telescope, che affonda le sue radici nell'intuizione dell'italiano Giuliano Toraldo di Francia. Le sue "pupille" trovano oggi una realizzazione concreta, mostrando che anche i vincoli ritenuti fondamentali possono essere aggirati. Infatti, modificando il modo in cui l'apertura modella il fronte d'onda è possibile superare il limite di diffrazione, che per decenni ha guidato la progettazione degli strumenti astronomici. Non abbiamo costruito un telescopio più grande: abbiamo imparato a usarlo meglio.

Dallo spazio, gli occhi del telescopio James Webb offrono immagini e dati che arri-

vano da epoche remote. Webb ci permette di osservare direttamente le prime fasi dell'universo, fino al "mezzogiorno cosmico", dove oggetti come Bird, il grande "piccolo punto rosso", mettono in discussione i modelli sulla formazione delle galassie e dei buchi neri. Di nuovo, è lo strumento a trasformare la conoscenza, aprendo lo sguardo a panorami che prima non esistevano nemmeno come possibilità teorica.

Ma lo sguardo scientifico non si spinge solo lontano: si concentra anche su ciò che abbiamo vicino. Su Marte, il rover Perseverance ha individuato tracce di materia organica preservata all'interno di sali nel cratere Jezero. Gli studi di laboratorio condotti dall'Inaf mostrano come questi minerali possano agire da veri archivi geochimici, capaci di conservare molecole organiche per miliardi di anni. Resta aperta la questione più importante – l'origine abiotica o biotica – ma il risultato indica con chiarezza che comprendere l'abitabilità di Marte richiede di integrare osservazioni *in situ* e analisi sempre più raffinate.

E poi c'è lo spazio abitato, non solo osservato. La missione Artemis II segna il ritorno dell'essere umano verso la Luna, riportando l'esplorazione con equipaggio – anche italiano, in prospettiva – al centro della scena.

Il filo conduttore è l'ingegno: non solo nelle tecnologie ma anche nella capacità di connettere strumenti, idee e persone. È questo che *Universi* racconta anche nei contributi di questo numero.

In un'epoca in cui le sfide tecnologiche sembrano richiedere sempre più risorse, queste storie ricordano una lezione essenziale. Spesso la soluzione non sta nel fare di più ma nel fare meglio. Nel cambiare prospettiva. Nel trasformare quelli che vediamo come limiti in opportunità. ■

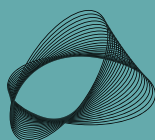
Roberto Ragazzoni
Presidente dell'Inaf



**La missione
Artemis II
segna il ritorno
dell'essere
umano verso la
Luna dopo oltre
mezzo secolo**

RSN

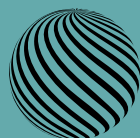
I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI
NAZIONALI DELL'INAF



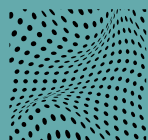
**GALASSIE
E COSMOLOGIA**



**STELLE,
POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE**



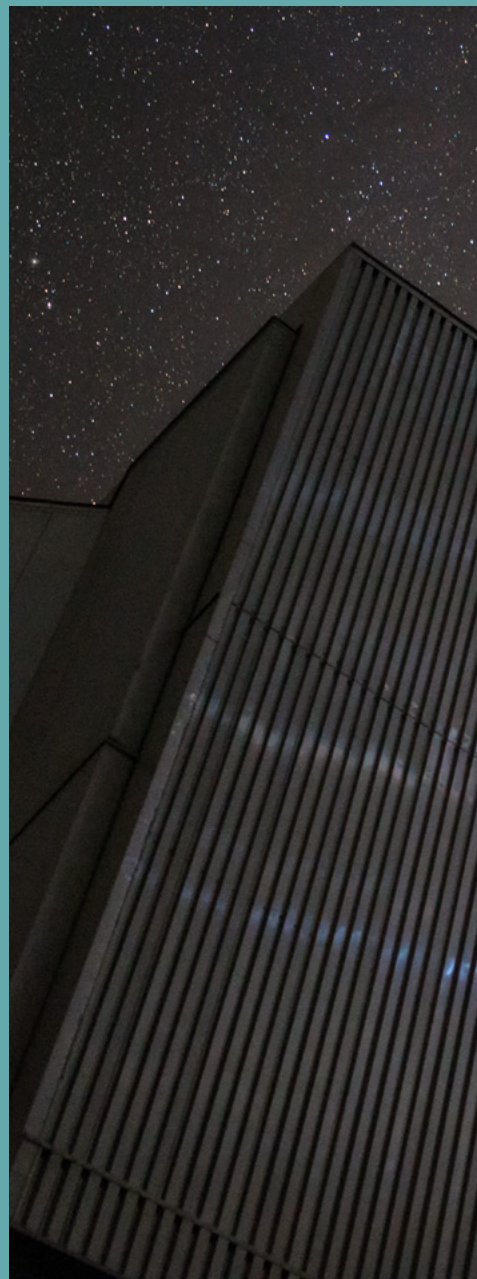
**SOLE E SISTEMA
SOLARE**



**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**



**TECNOLOGIE
AVANZATE E
STRUMENTAZIONE**





Filamenti radio in Abell 2255

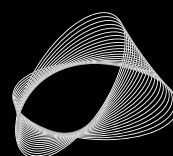
di Emanuele De Rubeis e Marco Bondi



L'elevata sensibilità dell'attuale generazione di interferometri permette oggi di rivelare strutture radio filamentari negli ammassi di galassie mai osservate prima. In particolare, nell'ammasso Abell 2255, sfruttando l'esclusiva combinazione di alta risoluzione e copertura alle basse frequenze offerta da Lofar-Vlbi, un gruppo di ricerca Inaf ha scoperto un'intricata rete di filamenti estesi per centinaia di migliaia di anni luce.



universi





Tra i fenomeni radio più intriganti degli ultimi anni ci sono certamente i cosiddetti filamenti radio o filamenti non termici. Queste strutture sono state osservate in corrispondenza di radiogalassie in ambienti densi, come ammassi e gruppi di galassie. I filamenti si estendono per decine o centinaia di migliaia di anni luce e sono globalmente caratterizzati da spettri radio ripidi (ossia, l'intensità dell'emissione diminuisce rapidamente all'aumentare della frequenza) e da un'elevata frazione di polarizzazione, segno della presenza di campi magnetici ben ordinati nella regione di emissione. La loro origine è ancora ignota: negli ultimi anni in letteratura sono stati proposti diversi modelli, ma lo scarso numero di casi osservati, unito alla mancanza di riscontri su tali strutture nelle simulazioni cosmologiche, impedisce di chiarire definitivamente questo aspetto.

Fenomeni di questo tipo emergono sempre più spesso grazie all'elevata sensibilità dei moderni interferometri, come i precursori del progetto Square Kilometre Array (Ska), e offrono preziose opportunità per indagare le proprietà magnetiche del gas caldo che permea gli ammassi di galassie e l'evoluzione delle particelle in questi ambienti.

IL LOW FREQUENCY ARRAY

Uno dei precursori di Ska è il Low Frequency Array (Lofar): un grande radiotelescopio situato nei Paesi Bassi, completato nel 2012 e gestito da Astron, l'Istituto olandese per la radioastronomia e la ricerca scientifica dei Paesi Bassi, e dai suoi collaboratori internazionali. A differenza dei radiotelescopi a

parabola singola, Lofar è una rete di migliaia di antenne, supportata da un'infrastruttura informatica all'avanguardia che gestisce volumi di dati enormi. Sebbene sia nato come progetto nazionale nei Paesi Bassi, attualmente l'infrastruttura di ricerca è composta da decine di migliaia di antenne distribuite in diversi paesi europei (in particolare Germania, Polonia, Svezia, Regno Unito, Irlanda, Francia e Lettonia) che vanno a costituire il telescopio a bassa frequenza più sensibile al mondo nella banda compresa tra circa 10 e 240 MHz. Entro la fine del 2026 è prevista l'installazione di una stazione Lofar di nuova generazione (Lofar 2.0) presso la stazione radioastronomica dell'Inaf a Medicina (Bologna), e sarà dotata di capacità osservative avanzate che consentono di monitorare simultaneamente due aree del cielo. Alcune stazioni possono essere utilizzate in modalità di interferometria a lunghissima base, *very long baseline interferometry* (VLBI), permettendo così osservazioni ad altissima risoluzione angolare (fino a circa 0,3 secondi d'arco) a una frequenza radio di 144 MHz; questo sistema è noto come Lofar-VLBI. I segnali raccolti dalle antenne vengono digitalizzati e combinati tramite elaborazione software, simulando un gigantesco interferometro digitale.

ABELL 2255

L'ammasso di galassie Abell 2255, situato a circa 800 milioni di anni luce dalla Terra, è caratterizzato da complesse strutture radio

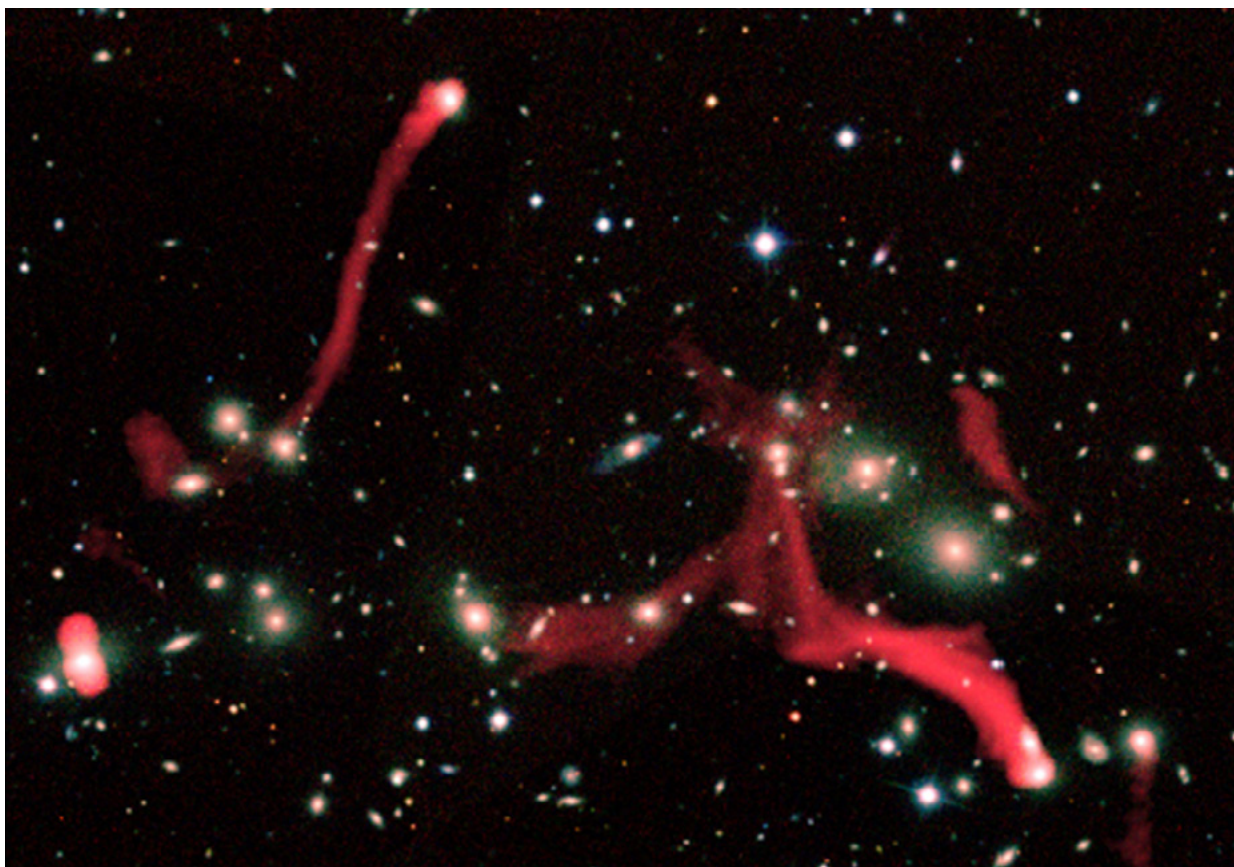
Fenomeni come i filamenti emergono sempre più spesso grazie alla sensibilità dei moderni interferometri, permettendo di studiare le proprietà magnetiche del gas caldo negli ammassi di galassie e l'evoluzione dei raggi cosmici

A2255

Alla pagina precedente: un'immagine composta dell'ammasso di galassie Abell 2255, che mostra un'area di circa 18 milioni di anni luce di estensione.

Crediti: Rosal/LoFar/Sdss/Botteon et al.

AL CUORE DI A2255
 Immagine ottica (Sdss) e radio (Lofar 144 MHz, in rosso) della regione centrale di A2255. Sono visualizzate le sorgenti radio Double, Goldfish, Trail, T-bone, Original Trg, Ghost e Sidekick.
 Crediti: A. Botteon et al.



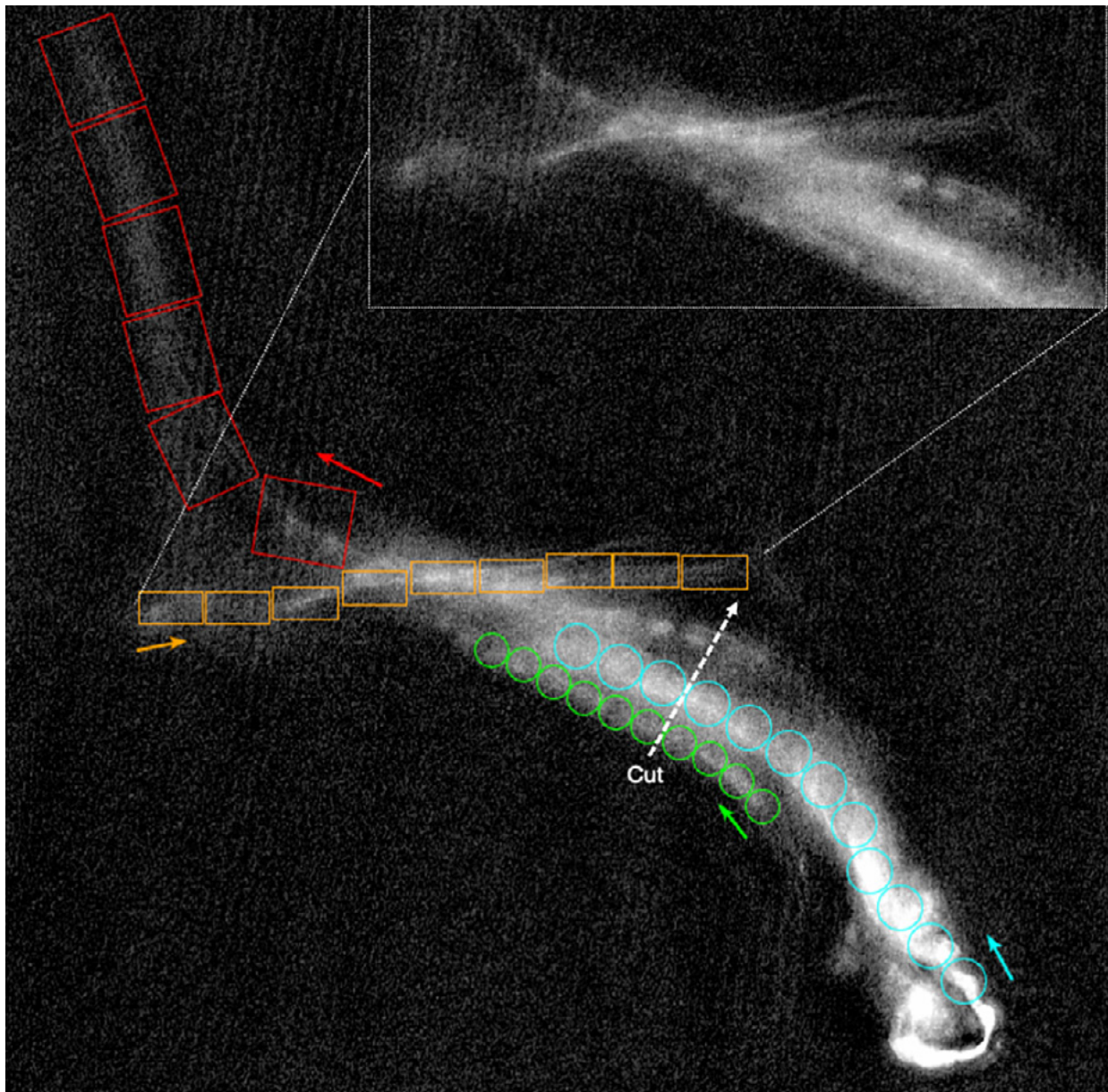
su molteplici scale, osservate negli ultimi decenni da numerosi studi. Recentemente, le prime immagini profonde ottenute con le stazioni olandesi di Lofar hanno rivelato, tra le altre, la presenza di strutture simili a filamenti vicine al centro dell'ammasso, che però non era possibile distinguere nitidamente alla risoluzione angolare consentita dalle sole stazioni olandesi di Lofar (sei secondi d'arco). Per questo motivo, abbiamo deciso di utilizzare anche le stazioni cosiddette "internazionali" di Lofar, per aumentare la risoluzione angolare e risolvere la struttura dei filamenti, così da studiarne le proprietà e cercare di capirne l'origine. L'utilizzo di queste stazioni è stato, per molti anni, estremamente limitato, principalmente a causa delle difficoltà nella calibrazione dei dati e dell'elevato volume di dati prodotto. Basti pensare che durante una tipica osservazione Lofar da otto ore vengono prodotti circa 20 terabyte di dati finali. Solo recentemente, grazie a un'evoluzione delle tecniche di calibrazione, la comunità ha iniziato a utilizzare con efficacia questo strumento, aprendo una nuova finestra sul mondo radio

alle basse frequenze. Data la combinazione di alta risoluzione angolare e basse frequenze, Lofar-VLbi rappresenta uno strumento unico per studiare i filamenti radio, in quanto sembrano essere caratterizzati da spettri radio ripidi.

Combinando 56 ore di osservazione con Lofar-VLbi, abbiamo ottenuto immagini a una risoluzione angolare fino a 0,3 secondi d'arco delle principali radiogalassie appartenenti all'ammasso di galassie Abell 2255: queste sono alcune delle immagini più profonde mai ottenute utilizzando tale strumento, oltre che alcune delle più profonde mai ottenute nel radio per un ammasso di galassie, e hanno richiesto un elevato sforzo computazionale, legato perlopiù all'enorme mole di dati prodotta dal telescopio. Ognuna delle sette osservazioni, da otto ore ciascuna, è stata calibrata individualmente, richiedendo circa un mese. Complessivamente, la mole di dati prodotta è stata di circa 140 terabyte.

ORIGINAL TRG

La nostra attenzione si è concentrata in particolare sulla cosiddetta Original Tailed



Radio Galaxy (Original Trg), una radiogalassia caratterizzata da una lunga coda che si estende per circa 880mila anni luce all'interno di Abell 2255. Le code di questo genere di radiogalassie sono dovute a getti di particelle che viaggiano a velocità relativistiche, espulse dal buco nero centrale delle cosiddette galassie ospiti. Per via dell'interazione col mezzo caldo che permea l'ammasso di galassie, i getti vengono piegati sotto l'effetto della cosiddetta *ram pressure* (pressione d'ariete), formando queste code di particelle che osserviamo alle frequenze del radio. Grazie alle immagini profonde ottenute con Lofar-VLbi, siamo riusciti a rivelare per la pri-

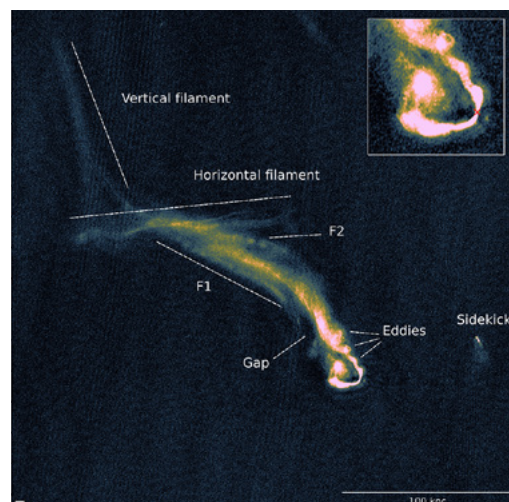
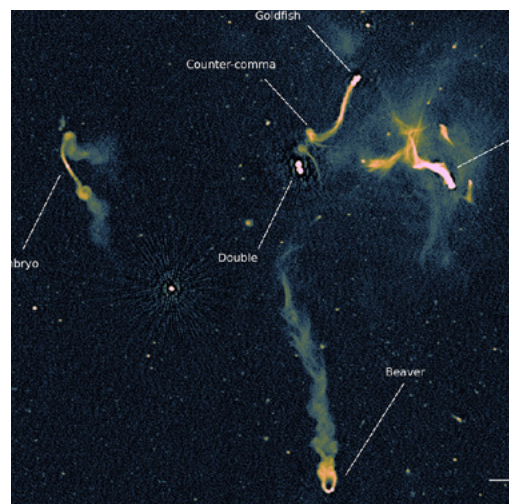
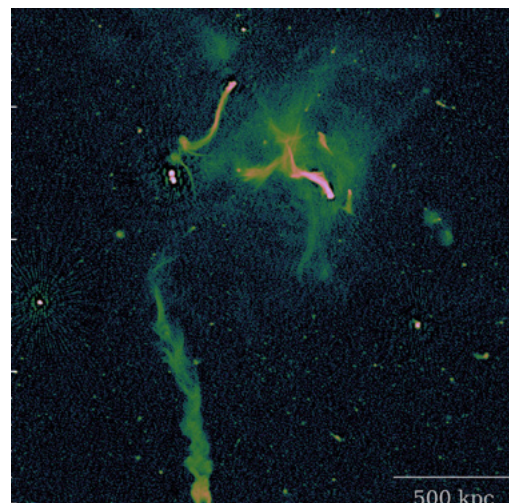
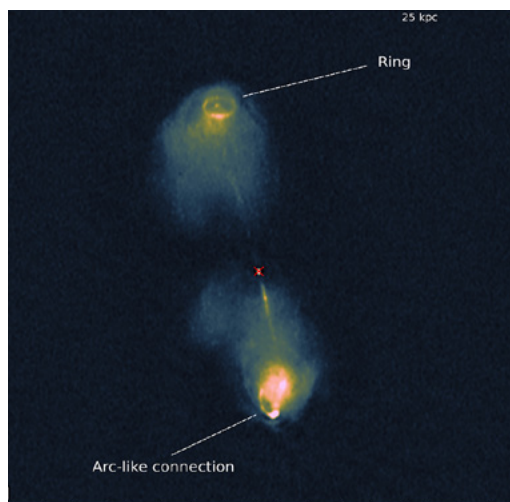
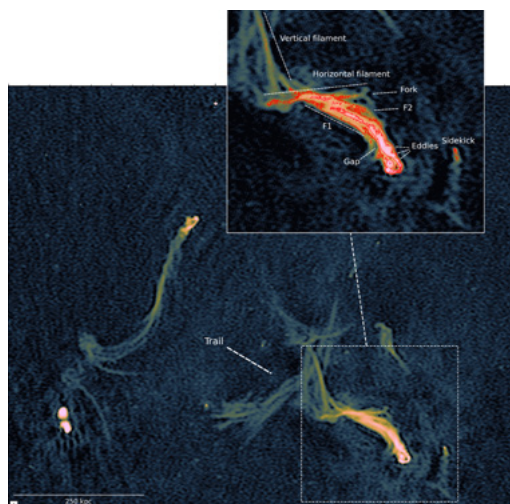
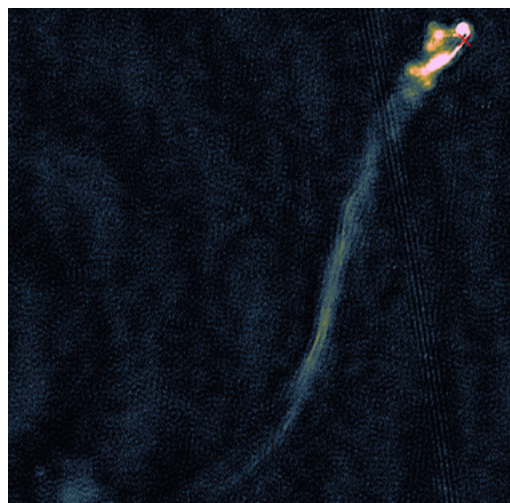
L'inclusione delle stazioni internazionali e la combinazione di alta risoluzione e basse frequenze del Lofar-VLbi hanno permesso di rivelare, per la prima volta, una complessa rete di filamenti nell'ammasso di galassie Abell 2255

7C 1712+6406

Mappa Lofar-VLbi della Original Tailed Radio Galaxy, con evidenziate in diversi colori le regioni utilizzate per analizzarne le principali caratteristiche morfologiche. Crediti: E. De Rupeis (Università di Bologna, Inaf) et al.

CLOSE-UP

Mappe Lofar-Vlbi della regione centrale di A2255 mostrano una struttura complessa e ricca di filamenti evidenziati in diversi colori.
Crediti: E. De Ruiseis (Università di Bologna, Inaf) et al.



ma volta un'intricata rete di sottili filamenti che popolano la coda della radiogalassia. Queste strutture, con spessore intorno a una decina di migliaia di anni luce al più, emettono radiazione non termica di sincrotrone os-

servabile a bassa frequenza. La loro origine, tuttavia, è ancora sconosciuta.

Le nuove immagini rivelano inoltre dettagli inediti di altre radiogalassie all'interno dell'ammasso – come la Goldfish, la Beaver

In futuro, nuovi dati X-ray ci aiuteranno a far luce sulle proprietà dei filamenti in relazione al mezzo ambiente, ma i principali punti di sviluppo riguarderanno la capacità di riprodurre queste nuove e affascinanti strutture attraverso le simulazioni

e l'Embryo – caratterizzate da morfologie distorte e lunghe code radio che si estendono per oltre 200 mila anni luce fino a più di 3 milioni di anni luce. Insieme ai filamenti nella coda dell'Original Trg, ce ne sono altri più estesi e deboli che popolano le regioni centrali di Abell 2255. Questi filamenti, per poter essere osservati con Lofar-Vlbi, richiedono l'utilizzo di tecniche di calibrazione più avanzate e complesse dal punto di vista computazionale. Serve infatti calibrare l'intero campo di vista dell'ammasso, attraverso una procedura nota come *wide-field* (campo largo).

Per Abell 2255, abbiamo quindi ricalibrato le 56 ore di osservazione, così da avere un'immagine ad alta risoluzione angolare (1,5 secondi d'arco) che permettesse di osservare completamente le strutture filamentari che caratterizzano l'ammasso. È stata la prima volta in cui tale tecnica è stata applicata a un ammasso di galassie, e ha permesso di osservare e di districare molteplici filamenti radio nelle strutture conosciute come Trail e T-bone, così come nelle misteriose Comma e Counter-Comma, dove l'origine delle particelle che costituiscono i filamenti resta, se possibile, ancora più misteriosa. In questo caso, data la grande dimensione della regione d'interesse, ottenere l'immagine ha rappresentato un enorme collo di bottiglia in termini di tempo di calcolo. Per via delle 56 ore di osservazione combinate, la produzione dell'immagine finale ha richiesto circa 45 giorni per essere completata. Questo tempo sottolinea la criticità dell'elaborazione dei



dati provenienti dai più moderni interferometri che sta ponendo importanti sfide nel campo in ottica dell'arrivo di Ska, il più grande radiointerferometro mai costruito prima.

NON SOLO A BASSA FREQUENZA

A partire dall'immagine del campo largo di Abell 2255, abbiamo ampliato l'indagine sulla natura dei filamenti combinando i dati di Lofar-Vlbi con osservazioni a frequenze più elevate, ottenute con l'upgraded Giant Metrewave Radio Telescope (uGMRT) e con il Karl G. Jansky Very Large Array (VLA). Questo ci ha permesso di ottenere informazioni sulla forma dello spettro radio a una risoluzione mai raggiunta, necessaria per separare la



IL SUPERTERP DI LOFAR
Una parte del radiotelescopio esteso situato vicino
a Exloo, nei Paesi Bassi.
Crediti: Lofar / Astron

struttura dei diversi filamenti. Un altro aspetto cruciale è la polarizzazione. Nelle strutture in cui è stato possibile effettuare l'analisi, si è osservato che i filamenti presentano un'elevata polarizzazione, segno della presenza di un campo magnetico ordinato e ben allineato lungo l'intera estensione del filamento.

Dalle informazioni raccolte con questa analisi, si è giunti all'idea che i filamenti in Abell 2255 vengano generati dall'elevato grado di turbolenza e instabilità che caratterizza la regione della coda, a causa dell'interazione tra la radiogalassia e il mezzo ambiente dell'ammasso. In futuro, nuovi dati X-ray ci aiuteranno a far luce sulle proprietà dei filamenti in relazione al mezzo ambiente,

ma i principali punti di sviluppo riguarderanno la capacità di riprodurre queste nuove e affascinanti strutture attraverso le simulazioni.

Con l'avvento di Ska, possiamo aspettarci sempre più osservazioni di filamenti radio, grazie all'enorme sensibilità che si raggiungerà nelle osservazioni radio. Far luce sull'origine dei filamenti e capirne la presenza negli ammassi di galassie permetterà di scoprire potenzialmente un regime completamente nuovo che caratterizza il mezzo ambiente negli ammassi, specialmente in relazione al proprio campo magnetico che influenza in modo unico l'evoluzione e il trasporto delle particelle attraverso scale di centinaia di migliaia di anni luce. ■

SN 2024bch: una supernova asociale

di **Leonardo Tartaglia** e **Giorgio Valerin**

La scoperta della supernova SN 2024bch nella galassia NGC 3206 ha messo alla prova i modelli classici dell'evoluzione stellare. Nonostante le righe spettrali rivelino la presenza di materiale in rapida espansione, la particolarità di questa supernova sembra risiedere in un meccanismo fisico che non richiede violente collisioni. Un risultato che ridefinisce i criteri di ricerca per l'astronomia multimessaggera.





Il 29 gennaio 2024, il cielo sopra la costellazione dell'Orsa maggiore ha rivelato un nuovo, violento sussulto cosmico. L'astronomo amatoriale e "cacciatore" di supernove Patrick Wiggins, scrutando la vicina galassia a spirale NGC 3206 (distante circa 65 milioni di anni luce), ha individuato un bagliore improvviso, poi denominato SN 2024bch. L'evento è stato immediatamente segnalato alla comunità scientifica internazionale, dando il via a una delle campagne di osservazione più dettagliate degli ultimi anni per una supernova di tipo II.

Le supernovae di tipo II rappresentano l'atto finale di stelle massicce che, esaurito il combustibile nucleare, crollano sotto il proprio peso per poi rimbalzare in un'esplosione cataclismica. Tuttavia, SN 2024bch ha mostrato fin da subito un carattere singolare. Nei suoi primi spettri apparivano righe di emissione strette e ad alta ionizzazione, una firma che solitamente gli astronomi associano a una "supernova interagente": un'esplosione in cui i detriti urtano violentemente contro un guscio denso di materiale espulso dalla stella negli anni precedenti la sua morte. Ma, come spesso accade in astrofisica, le apparenze possono ingannare.

LA FORZA DEI DATI

Per decifrare l'enigma di SN 2024bch, il team guidato dai ricercatori dell'Istituto nazionale di astrofisica, principalmente dell'Osservatorio astronomico d'Abruzzo e da quello di Padova, ha messo in campo una vera e propria flotta di strumenti. La tempestività è stata fondamentale. Grazie all'utilizzo del te-

lescopio Schmidt da 67/92 cm e del telescopio Copernico da 1,82 metri, situati presso l'osservatorio di Asiago (Cima Ekar), è stato possibile ottenere una copertura fotometrica e spettroscopica quasi quotidiana nelle prime fasi dell'evento. A questo si è aggiunto il contributo fondamentale del telescopio Wot (Wide-field Optical Telescope) di Campo Imperatore. Questa sinergia tra osservatori italiani ha garantito un dataset di altissima qualità, permettendo di misurare con estrema accuratezza come la luminosità della supernova variesse nel tempo e quali elementi chimici venissero forgiati ed espulsi nel caos dell'esplosione.

UNA FISICA SENZA URTI

L'analisi dei dati ha rivelato una realtà sorprendente. Tradizionalmente, la presenza di righe spettrali strette nelle supernovae viene spiegata attraverso l'urto tra gli *ejecta* (i detriti dell'esplosione) e il mezzo circumstellare (Csm). In questo processo, parte dell'energia cinetica degli *ejecta* viene convertita in luce, aggiungendo un contributo di luminosità supplementare rispetto alle classiche supernove. Tuttavia, per SN 2024bch, i modelli teorici applicati dal team hanno mostrato che la curva di luce poteva essere modellata perfettamente senza ipotizzare alcuno scontro violento.

L'energia che alimenta il bagliore di questa supernova proviene "semplicemente" dal decadimento radioattivo del nichel-56 prodotto durante l'esplosione e dalla ricombinazione dell'idrogeno negli strati esterni. Il grosso della massa espulsa dalla stella è di circa cinque volte la massa del Sole, ed è

La supernova di tipo II SN 2024bch ha mostrato fin da subito un carattere singolare. Nei suoi primi spettri apparivano righe di emissione strette e ad alta ionizzazione, tipiche di una supernova interagente

CASSIOPEIA A

Di fianco: la near-infrared camera del telescopio spaziale James Webb mostra il guscio di materiale in espansione che si scontra con il gas espulso dalla stella prima che esploda.
Crediti: Nasa/Esa/Csa/STScI/D. Milisavljevic/I. De Looze/T. Tennin

NELLA GALASSIA GIRANDOLA

Alla pagina precedente: rappresentazione artistica di SN 2023ixf, una delle supernovae di tipo II più vicine dell'ultimo decennio, e a oggi tra le più brillanti.
Crediti: M. Weiss/CfA



circondata da un involucro esteso ma estremamente rarefatto di appena 0,2 masse solari. È un comportamento “asociale”: la stella muore circondata dai suoi stessi resti, ma senza interagire con essi in modo distruttivo.

RIGHE IN MOVIMENTO

Un dettaglio cruciale a supporto di questa interpretazione proviene dall’analisi spettroscopica e in particolare dallo studio delle righe strette visibili nei primi giorni dell’evento. Infatti, se il guscio di gas circumstellare si trova sufficientemente vicino alla sorgente luminosa, la luce della supernova esercita

una costante pressione su di esso, causando un progressivo aumento della sua velocità. Questo fenomeno, già osservato in altre supernove (per esempio SN 2023ixf) è noto come accelerazione radiativa. Tuttavia, in SN 2024bch è stata osservata un’evoluzione opposta: i picchi delle righe strette, inizialmente spostati verso il blu di circa 240 km/s, sono progressivamente tornati verso le loro lunghezze d’onda a riposo, stabilizzandosi su un *blueshift* di soli 30 km/s.

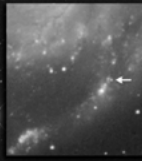
Questo fenomeno è stato interpretato come un effetto geometrico simile a un’eco di luce.



IN DUE GALASSIE LONTANE

Sopra: la supernova SN 2023ixf scoperta nel maggio 2023 e visibile come un punto luminoso nella galassia Girandola. Sotto: la supernova di tipo II SN 2024bch nella galassia NGC 3206 e osservata nel febbraio 2024.

Crediti: M. Marchini/G. Masi





GENEALOGIA DI UNA SUPERNOVA
 Illustrazione della perdita di massa di una stella progenitrice di supernova di tipo II, prima che avvenga la sua esplosione.
 Crediti: M. Weiss/CfA

Analizzando il tempo di percorrenza impiegato dai fotoni necessari per raggiungere il picco di luminosità di queste righe (avvenuto circa 3,4 giorni dopo l'esplosione), i ricercatori hanno stimato che il guscio di idrogeno si trovi a ben 44 miliardi di chilometri dalla stella che lo ha prodotto. In SN 2024bch, l'interazione tra i detriti della supernova e il mezzo circumstellare non ha contribuito alla luminosità iniziale semplicemente perché gli *ejecta* erano ancora troppo lontani dal gas circostante.

LA SPALLA BLU

La conferma definitiva di questa “distanza di sicurezza” è arrivata 69 giorni dopo l'esplosione. Solo a quel punto i detriti scagliati dall'esplosione, a velocità di quasi 10mila km/s, hanno finalmente raggiunto il materiale circumstellare. La prova fisica di questo contatto è la comparsa di una “spalla blu” (*blue shoulder*) nel profilo della riga H-alfa, un segnale inequivocabile dell'inizio dell'interazione fisica tra *ejecta* e Csm. Tuttavia, anche in questa fase, la conversione di energia cinetica in radiazione è rimasta

Il team a guida Inaf ha messo in campo una vera e propria flotta di strumenti. La sinergia creata tra osservatori italiani ha permesso di misurare accuratamente come la luminosità della supernova variesse nel tempo e quali elementi chimici venissero forgiati ed espulsi nel caos dell'esplosione

marginale, non influenzando in modo significativo la luminosità totale della supernova.

L'ILLUSIONE DELLA FLUORESCENZA

Se non c'è interazione dinamica tra *ejecta* e materiale circumstellare, come si spiegano quelle righe spettrali così energetiche nelle



prime fasi dell'esplosione? La risposta è da ricercare in un peculiare fenomeno fisico: la fluorescenza di Bowen. Nei primi istanti dopo l'esplosione, un flash intensissimo di radiazione ultravioletta (lo *shock breakout*) investe il gas circostante. Questi fotoni estremamente energetici eccitano e ionizzano gli atomi di elio, azoto e ossigeno presenti nel guscio di gas esterno, costringendoli a emettere luce a frequenze specifiche: è un'emissione indotta dall'irraggiamento, non per collisione.

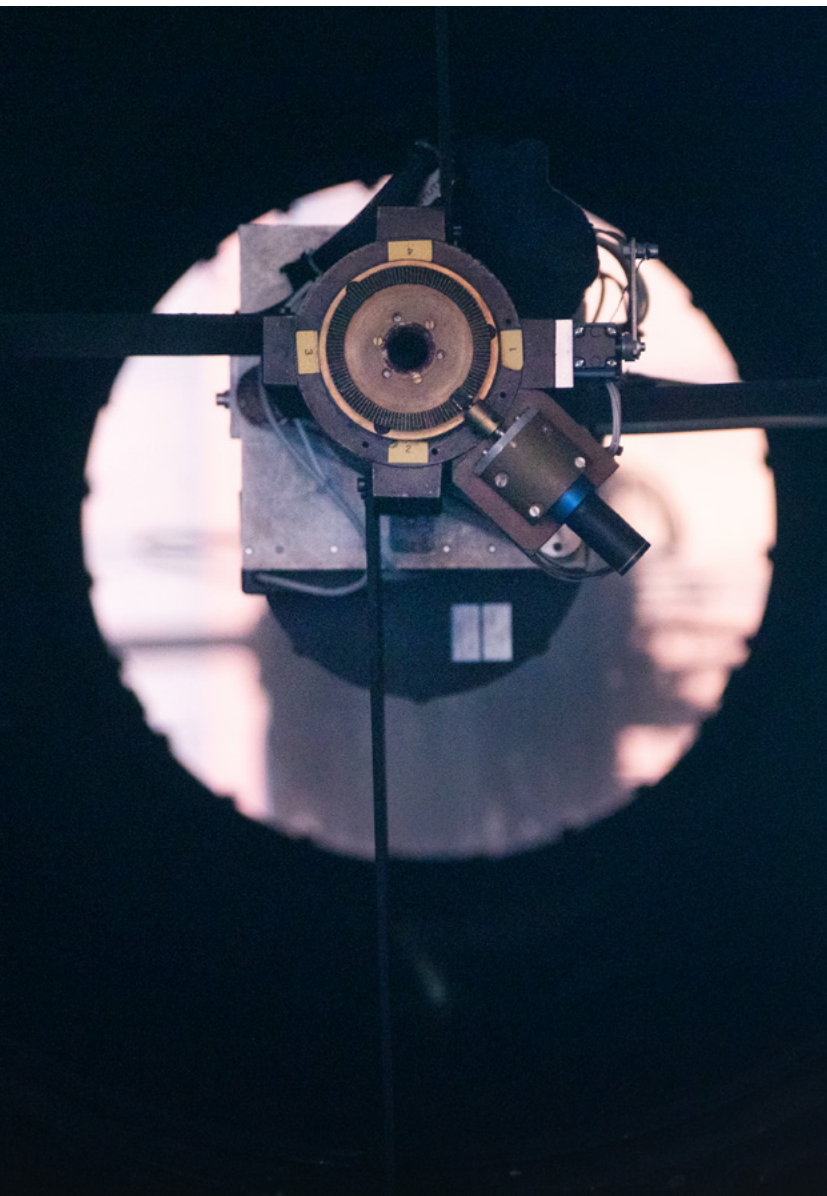
L'IDENTIK DEL PROGENITORE

Analizzando la fase nebulare – ovvero quando i detriti diventano abbastanza tra-

sparenti da permetterci di vedere nelle viscere dell'esplosione, dove la materia è stata sottoposta a vari cicli di bruciamenti nucleari – il team ha potuto stimare la massa di ossigeno prodotta dall'evento: tra 0,8 e 1,4 masse solari. Questi valori sono la “pistola fumante” che ci permette di risalire alla massa originaria della stella prima che morisse. Il “colpevole” è una stella massiccia, un colosso con una massa iniziale compresa tra le 15 e le 20 masse solari. Negli ultimi anni della sua vita, questa stella ha subito una perdita di massa significativa ma non catastrofica, creando quel guscio leggero che ha tratto in inganno gli osservatori iniziali. SN 2024bch appartiene

TELESCOPI DI ALTA QUOTA

A sinistra: il telescopio riflettore da 182 cm di diametro Copernico a Cima Ekar, Asiago. A destra: il tubo ottico del Wide-Field Optical Telescope di Campo Imperatore, sul Gran Sasso. Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



dunque alla classe di supernove di tipo II a declino veloce, oggetti che rappresentano un anello di congiunzione fondamentale per capire come le stelle più grandi dell'universo perdono i loro strati esterni prima di collassare.

I FALSI CANDIDATI

La scoperta di SN 2024bch non è solo un successo dell'astronomia ottica, ma lancia un monito cruciale a tutto il settore dell'astronomia multimessaggera. Oggi la comunità scientifica investe enormi risorse in esperimenti come KM3NeT, il gigantesco telescopio per neutrini in costruzione nelle profondità del mar Mediterraneo, o IceCube

SN 2024bch appartiene alla classe di supernove di tipo II a declino veloce, oggetti che rappresentano un anello di congiunzione fondamentale per capire come le stelle più grandi dell'universo perdono i loro strati esterni prima di collassare

in Antartide. L'obiettivo è captare i neutrini ad alta energia, particelle elusive che dovrebbero essere generate proprio negli urti violentissimi tra supernovae e mezzo circumstellare.

Spesso, l'osservazione di righe spettrali ad alta ionizzazione (la cosiddetta *flash spectroscopy*) viene interpretata come il segnale inequivocabile di un'interazione in corso, rendendo l'evento un candidato perfetto per la ricerca di neutrini. Tuttavia, il caso di SN 2024bch dimostra che questa deduzione può rivelarsi fallace. Se il meccanismo dominante è la fluorescenza e non l'urto cinematico, vengono a mancare le condizioni fisiche per l'accelerazione di particelle, necessarie alla produzione di flussi misurabili di neutrini.

In un'epoca in cui la caccia alla scoperta del secolo e la ricerca di visibilità mediatica possono spingere a conclusioni affrettate, lo studio rigoroso dell'Inaf su SN 2024bch ci ricorda l'importanza di un'analisi fisica profonda. Non tutto ciò che brilla intensamente è una sorgente multimessaggera. Distinguere tra interazioni dinamiche reali e fenomeni radiativi diventa quindi fondamentale, soprattutto in un'epoca in cui grandi infrastrutture dedicate all'astronomia multimessaggera richiedono strategie osservative mirate ed efficienti. Episodi come SN 2024bch invitano a mantenere un approccio cauto e rigoroso nell'identificazione delle sorgenti più promettenti, così da valorizzare al meglio le risorse scientifiche disponibili.

Organici “sotto sale” su Marte

di Teresa Fornaro



SOLE E SISTEMA
SOLARE

Il rover Perseverance della missione della Nasa Mars 2020 ha trovato evidenze di materia organica preservata all'interno di sali in rocce del cratere Jezero su Marte, la cui origine abiotica o biotica è ancora dibattuta.



D

Durante l'esplorazione del cratere Jezero, antico bacino lacustre e delta fluviale su Marte, lo strumento Sherloc a bordo del rover Perseverance della Nasa ha rilevato segnali Raman complessi nei target Quartier, sul fondo del cratere, e Pilot Mountain, sulla sommità del ventaglio deltizio. Un approfondito studio condotto presso il laboratorio di astrobiologia dell'Inaf-Osservatorio astrofisico di Arcetri a Firenze ha permesso di collegare questi segnali alla presenza di idrocarburi policiclici aromatici preservati all'interno di sali di solfato di magnesio e calcio. Questo studio suggerisce che i sali marziani possano fungere da veri e propri archivi geochimici, preservando materia organica per miliardi di anni.

STUDI DI LABORATORIO

Già durante la prima campagna di esplorazione del fondo del cratere Jezero caratterizzato da rocce vulcaniche, Perseverance, che utilizza la spettroscopia Raman e di fluorescenza per investigare la composizione mineralogica e organica dei target rocciosi, aveva individuato dei segnali interessanti perché potenzialmente dovuti a organici in alcuni dei target rocciosi analizzati con lo strumento Sherloc (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals), denominati Quartier e Montpezat. Tali segnali risultavano essere associati a sali come carbonati (in Montpezat) e solfati (in Quartier), che indicano processi di alterazione acquosa delle rocce vulcaniche presenti nel fondo del cratere. L'associazione tra organici e sali suggerisce che le molecole organiche siano state

trasportate e depositate in queste rocce vulcaniche attraverso processi acquosi. Incuriositi da questa associazione, abbiamo voluto analizzare più approfonditamente gli 839 spettri acquisiti da Sherloc sul fondo del cratere e sul ventaglio deltizio in cui erano presenti in particolare i solfati. Oltre al target Quartier, abbiamo trovato simili segnali anche sulla sommità del ventaglio deltizio, nei target Pilot Mountain e Dragon's Egg Rock, e abbiamo voluto investigare più nel dettaglio la loro possibile origine organica, cercando dei candidati molecolari che potessero spiegare quei segnali e i loro possibili meccanismi di formazione. L'interpretazione dei dati spettroscopici ottenuti *in situ* rappresenta una delle sfide più ardue dell'esplorazione planetaria, a causa delle limitazioni diagnostiche della strumentazione di bordo. Per risolvere l'enigma, presso il laboratorio di astrobiologia dell'Inaf-Osservatorio astrofisico di Arcetri, abbiamo condotto una rigorosa campagna sperimentale utilizzando simulanti marziani e analoghi di Sherloc. Specificamente, abbiamo preparato dei simulanti dei campioni investigati da Perseverance, "drogando" alcuni solfati con molecole organiche aromatiche, facilmente rivelabili da Sherloc, seguendo processi che mimano quanto potrebbe essere accaduto

IL CRATERE JEZERO

Alla pagina precedente: Jezero è stato scelto come sito di atterraggio per il rover Nasa Perseverance perché offre l'accesso a un grande ammasso di rocce situato alla fine di una valle fluviale prosciugata.

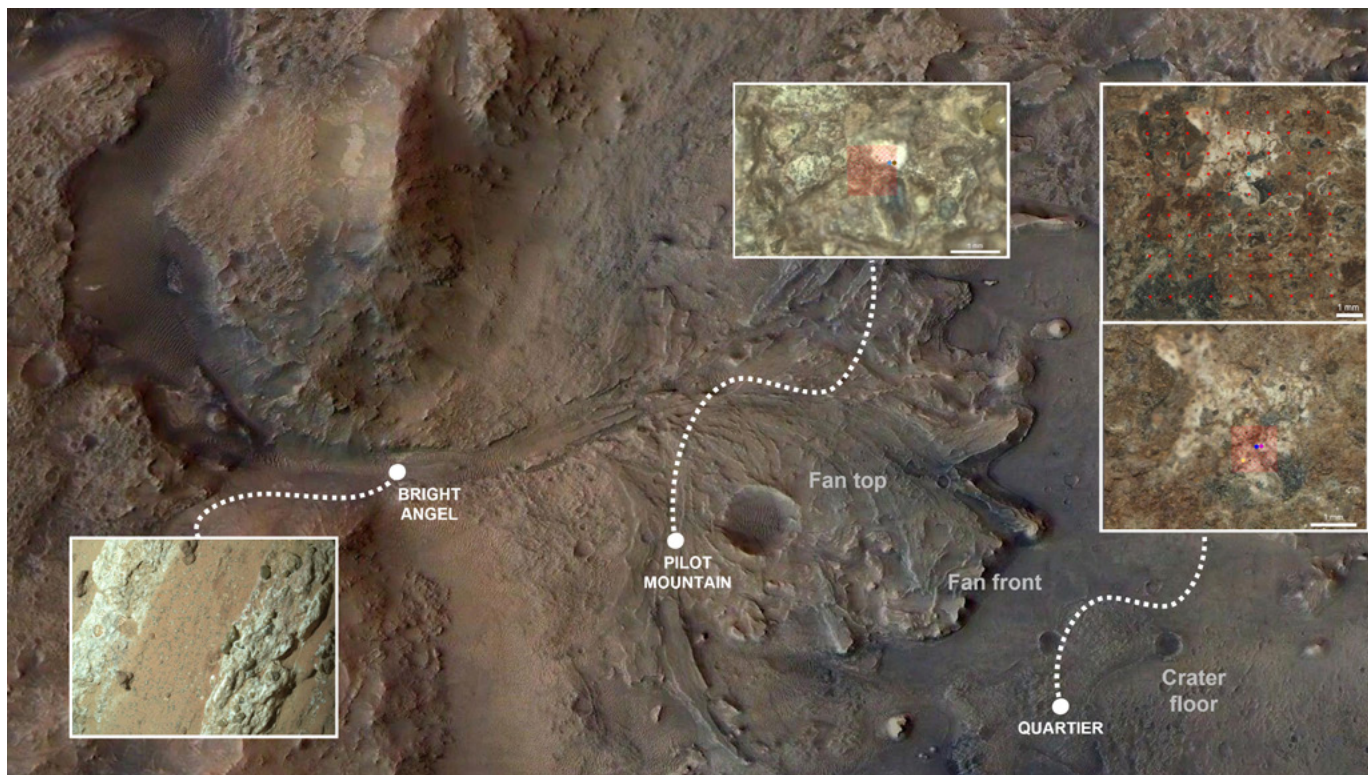
Crediti: Esa/FU-Berlin

SELFIE CON VISTA

Uno scatto delle telecamere di navigazione a bordo del rover Nasa Perseverance guardando indietro verso l'area Bright Angel il 30 luglio 2024, il 1224° giorno marziano della missione.

Crediti: Nasa/Jpl-Caltech





in un antico ambiente acquoso su Marte. Analizzando questi campioni con strumenti analoghi a Sherlock, abbiamo ottenuto un dataset di riferimento fondamentale per interpretare correttamente le osservazioni *in situ*. I risultati, pubblicati sulla rivista *Nature Astronomy*, hanno permesso di attribuire alla sola matrice minerale i segnali interessanti osservati nel target Dragon's Egg Rock, ipotesi che è stata esclusa nel caso dei target Quartier e Pilot Mountain. L'analisi comparativa ha invece identificato come probabili responsabili per i segnali osservati in Quartier e Pilot Mountain degli idrocarburi policiclici aromatici a due o tre anelli, come l'1,3-diidrossinaftalene e il 9-metilantracene. Ulteriori studi effettuati presso il nostro laboratorio e pubblicati sulla rivista *Scientific Reports* confermano che i solfati sono minerali d'elezione per la ricerca astrobiologica, grazie alla loro capacità di schermare le molecole organiche dalla degradazione ossidativa e radiativa.

POSSIBILI SCENARI

Una delle ipotesi sulla formazione di questi idrocarburi policiclici aromatici riguarda i processi magmatici endogeni che potrebbero essere avvenuti nel cratere Jezero. In

Uno studio sperimentale effettuato a partire dall'esplorazione fatta da Sherlock del cratere Jezero su Marte suggerisce che i sali marziani rinvenuti possano fungere da veri e propri archivi geochimici, preservando materia organica per miliardi di anni

questo scenario, gas magmatici intrappolati nei pori delle rocce vulcaniche avrebbero reagito con gli ossidi di ferro presenti nelle rocce stesse formando queste molecole organiche attraverso processi abiotici. Tali idrocarburi sarebbero poi stati preservati da solfati precipitati nei pori delle rocce vulcaniche come conseguenza della loro alterazione acquosa.

Alternativamente, queste molecole organiche potrebbero essere state sintetizzate fuori dal cratere Jezero e successivamente

ITINERARIO MARZIANO

Sopra: i target più interessanti per quanto riguarda la rivelazione di organici individuati da Perseverance all'interno del cratere Jezero, Bright Angel, Pilot Mountain e Quartier.
Crediti: Nasa/Jpl-Caltech



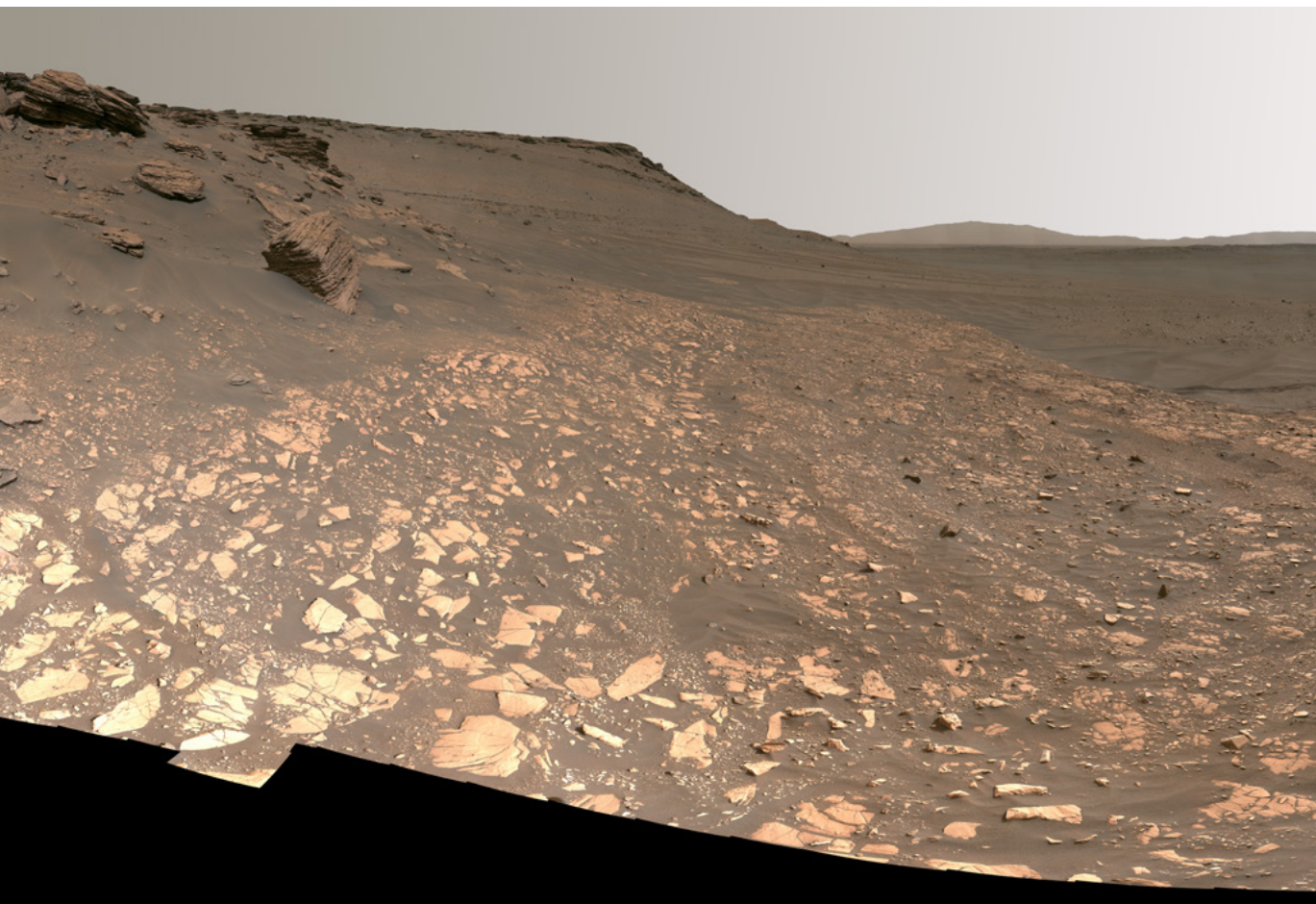


te mobilitate da fluidi idrotermali o acque sotterranee verso il cratere, favorendone la coprecipitazione e/o l'intrappolamento all'interno di cristalli di solfati durante la loro formazione in seguito all'essiccamento del sistema lacustre-fluviale-deltaico.

È poco probabile che gli idrocarburi policiclici aromatici siano stati sintetizzati nello spazio in maniera esogena e portati sul pianeta da meteoriti, oppure che si siano formati in seguito a un impatto meteoritico, poiché non c'è evidenza che queste rocce si siano formate per impatti.

Una possibilità estremamente suggestiva è che vi sia una relazione tra il materiale organico individuato nel cratere Jezero e quello rinvenuto in Neretva Vallis, nella regione denominata Bright Angel. Qui, sul letto dell'antico fiume che un tempo si riversava nel bacino, Perseverance ha individuato rocce argillose contenenti carbonio macromolecolare, noduli submillimetrici scuri di fosfato ferroso, noduli submillimetrici scuri di fosfato ferroso e macchie millimetriche più chiare di solfuro ferroso circondate da un alone scuro

di fosfato ferroso. Sulla Terra, tali strutture sono spesso prodotte da microorganismi eterotrofici sottosuperficiali che utilizzano ferro e zolfo per il proprio metabolismo, e che rappresentano alcune delle comunità più antiche di batteri che si sono sviluppate sul nostro pianeta. Data l'abbondanza di ferro e zolfo su Marte, tali forme di vita potrebbero plausibilmente essersi sviluppate all'interno delle rocce, schermate dalle radiazioni dannose. Simili microorganismi avrebbero potuto promuovere reazioni chimiche che portano alla formazione dei minerali osservati, alle basse temperature in cui si ritiene si siano formate le rocce di Bright Angel. Sulla Terra, processi ad alta temperatura e acidità possono portare alla formazione di questi minerali, ma non ci sono evidenze di simili condizioni a Bright Angel. L'insieme di evidenze organiche, mineralogiche, morfologiche e di contesto rappresentano molteplici indizi per affermare che siamo di fronte alla più convincente potenziale biofirma mai rinvenuta su un altro pianeta. Per confermare



PIANETA ROSSO, IN 118 SCATTI SINGOLI
Realizzato con il sistema di telecamere Mastcam-Z di Perseverance, questo mosaico da 2,5 miliardi di pixel è il panorama più dettagliato mai inviato da Marte.
Crediti: Nasa/Jpl-Caltech

Una possibilità suggestiva sull'origine degli idrocarburi policiclici aromatici ritrovati è che vi sia una relazione tra il materiale organico individuato nel cratere Jezero e quello di origine potenzialmente biotica rinvenuto in Neretva Vallis, nella regione denominata Bright Angel

che effettivamente queste siano tracce di vita passata, sarebbe fondamentale capire la natura del carbonio macromolecolare trovato in queste rocce. Questo, tuttavia, rappresenta lo stadio più avanzato della degradazione ossidativa e radiativa subita dal

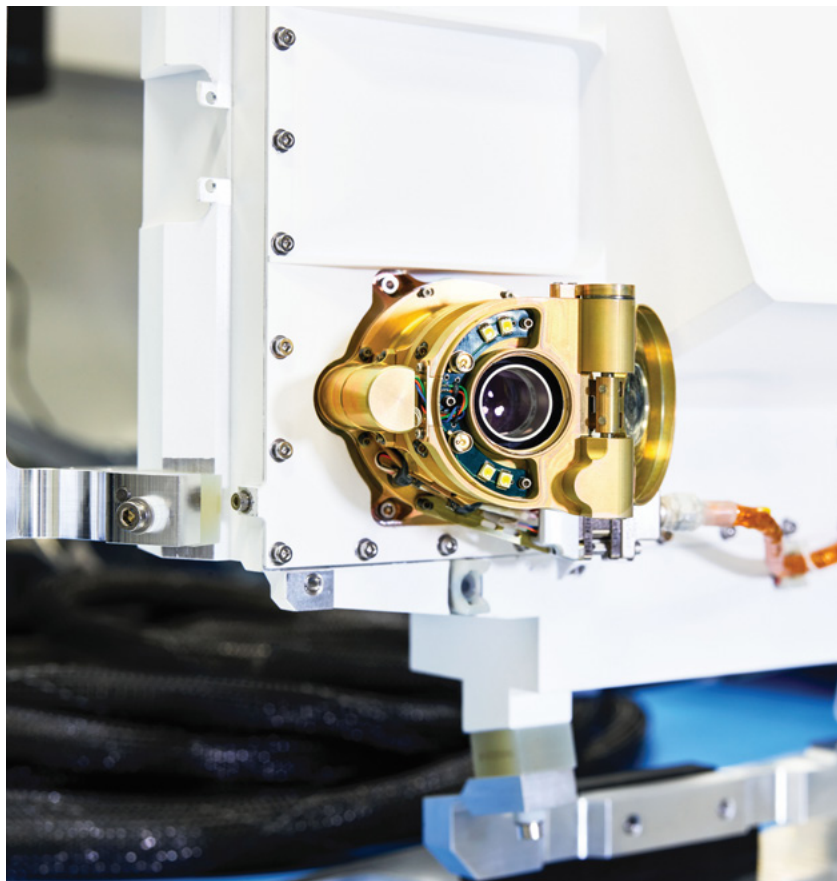
materiale organico originario nel corso del tempo su Marte, a cui è quindi estremamente difficile risalire. L'analisi della composizione di materiale carbonioso macromolecolare trovato comunemente nelle meteoriti mostra la presenza di unità aromatiche contenenti da uno a tre anelli, simili agli idrocarburi policiclici aromatici rinvenuti nel cratere Jezero. Questo lascia ipotizzare che vi sia una relazione tra il carbonio macromolecolare di potenziale origine biotica rinvenuto a Bright Angel e gli idrocarburi policiclici aromatici trovati nel cratere Jezero. Infatti, sebbene il carbonio macromolecolare sia solitamente insolubile, e quindi tenda a restare confinato nel luogo originario, le sue frazioni più piccole, quelle con pochi anelli, sono più solubili e potrebbero essere state trasportate dalle acque sotterranee insieme a solfati solubili, migrando verso il delta e il fondo del cratere. Questo spiegherebbe l'arricchimento di idrocarburi policiclici aromatici osservato in associazione ai solfati nel cratere Jezero e la loro relativa scarsità nelle argille di Bright

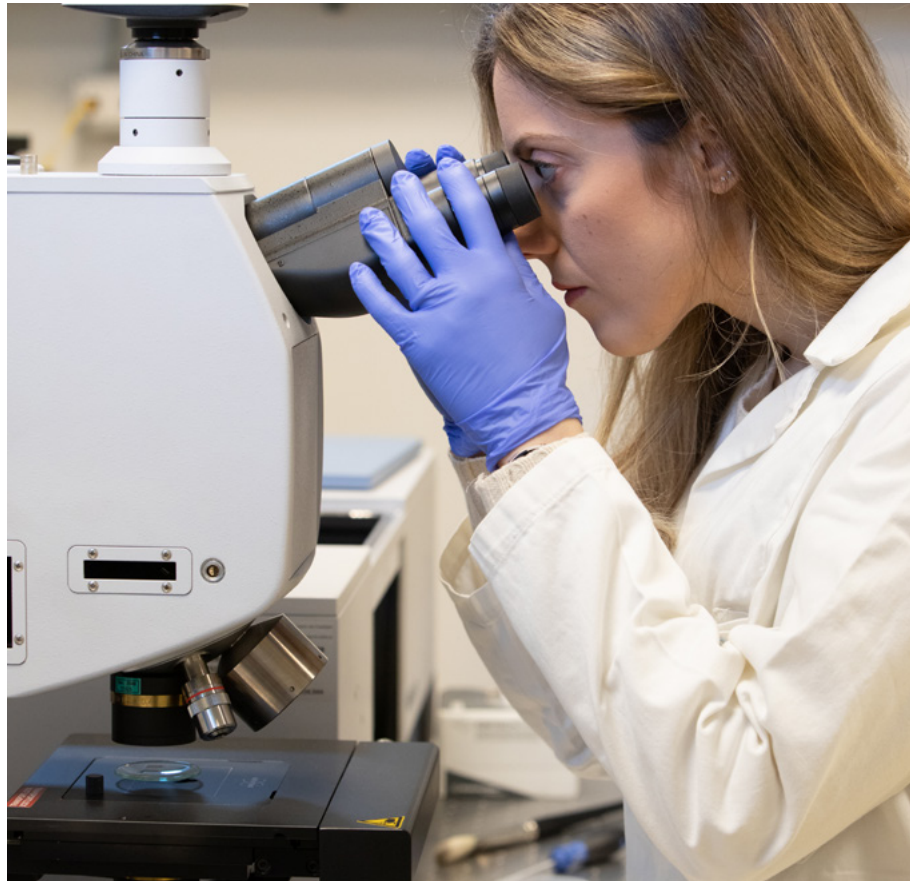
Gli studi di laboratorio sono fondamentali per decifrare la storia evolutiva del carbonio marziano e la passata abitabilità del cratere Jezero, in attesa che i campioni analizzati da Perseverance siano portati sulla Terra

Angel. In tal caso, gli idrocarburi policiclici aromatici osservati nel cratere Jezero potrebbero essere dei prodotti di alterazione di antica materia microbica.

PROSPETTIVE FUTURE

Nonostante l'eccezionalità dei dati raccolti da Sherloc, la spettroscopia Raman rimane intrinsecamente meno diagnostica rispetto ad altri metodi di indagine molecolare, come per esempio la spettrometria di massa utilizzata dal precedente rover della Nasa Curiosity e che sarà utilizzata dal futuro rover dell'Agenzia spaziale europea ExoMars Rosalind Franklin. Per distinguere definitivamente tra un'origine abiotica e una biotica, la nostra ricerca si concentra ora su ulteriori studi di laboratorio volti a ricostruire i complessi processi di alterazione chimica avvenuti nel cratere Jezero che avrebbero potuto portare agli organici osservati. Questi esperimenti sono fondamentali per decifrare la storia evolutiva del carbonio marziano e la passata abitabilità del cratere Jezero, in attesa che i campioni analizzati da Perseverance siano portati sulla Terra per essere analizzati nei laboratori terrestri. L'analisi diretta dei campioni nei laboratori terrestri potrà avvenire con le tecniche più avanzate e sensibili disponibili, che non possono essere miniaturizzate per andare a bordo di un rover. Questi studi potranno confermare se le tracce rinvenute siano il "respiro" geologico di un vulcano o l'ultima testimonianza di una vita passata sul pianeta rosso. ■





ARCETRI ASTROBIOLOGY LABORATORY

Teresa Fornaro al lavoro in laboratorio. La facility Inaf ospita strumentazione scientifica per lo studio astrobiologico e planetologico in condizioni spaziali simulate, e una vasta collezione di materiali analoghi.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

ELEMENTARE, WATSON

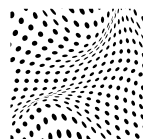
Di fianco: lo strumento Sherloc a bordo di Perseverance. Situato all'estremità del braccio robotico del rover, lavora in combinata con la telecamera a colori Watson.

Crediti: Nasa/Jpl-Caltech

Il segreto del litio nella Via Lattea

di Luca Izzo e Paolo Molaro

universi



ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE

È onnipresente nella Via Lattea, ma la sua origine è stata per molto tempo avvolta dal mistero. Come si forma il litio? Uno studio dell'Istituto nazionale di astrofisica potrebbe aver svelato questo segreto grazie a un'operazione quasi archeologica che ha come protagoniste le novae classiche.



G

Gli elementi chimici che compongono l'universo non condividono un'unica genesi. Alcuni sono stati forgiati nelle convulse fasi iniziali del big bang, quando l'universo era un plasma primordiale estremamente caldo e denso; altri sono comparsi molto più tardi, sintetizzati nel cuore delle stelle o durante eventi catastrofici come esplosioni di supernovae e collisioni tra resti stellari. Esistono poi elementi nati da processi meno convenzionali, come la spallazione: l'impatto dei raggi cosmici ad alta energia con nuclei atomici preesistenti, che li frammentano in specie chimiche più leggere e rare.

IL LITIO MANCANTE

In questo mosaico cosmico, il litio occupa una posizione singolare e rappresenta, da decenni, uno degli enigmi più complessi dell'astrofisica. Pur essendo il terzo elemento più leggero della tavola periodica e risultando onnipresente, dalla Terra ai confini della Via Lattea, la sua origine è rimasta a lungo avvolta nel mistero. Per oltre mezzo secolo, la sintesi del litio è stata attribuita a tre soli canali principali: alla nucleosintesi primordiale (avvenuta tra 10 secondi e 20 minuti dopo il big bang), alla frammentazione di nuclei pesanti operata dai raggi cosmici e ad alcuni processi nucleari altamente specifici in determinate fasi dell'evoluzione stellare. Tuttavia, il bilancio cosmico non tornava: sommando tutti questi contributi, si riusciva a giustificare meno del 30% del litio attualmente osservato nella Galassia. L'origine del restante 70% rappresentava un vero e pro-

prio "buco nero" nella nostra comprensione dell'evoluzione chimica galattica. Oggi, grazie a una serie di studi all'avanguardia condotti anche da ricercatori dell'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf), il tassello mancante sembra finalmente essere andato al suo posto: la fonte principale di questo elemento è stata identificata in una specifica classe di fenomeni stellari, le novae classiche.

L'INVENTARIO DEL LITIO

Stimare l'inventario totale di questo elemento nella Via Lattea è una sfida complessa. Il litio è infatti un nucleo estremamente fragile, che viene facilmente distrutto nelle fornaci stellari non appena la temperatura raggiunge pochi milioni di gradi. Un'informazione cruciale per risolvere l'enigma ci arriva però dai meteoriti, considerati dei "fossili" chimici, che preservano la composizione del

Il contributo della nucleosintesi primordiale è ormai ben delineato: nei primi concitati minuti di vita dell'universo si formarono deuterio, elio e una quantità infinitesimale di berillio-7 che, decadendo, ha poi generato il litio-7

UVES, PARANAL, CILE

Alla pagina precedente: una suggestiva vista grandangolare del Very Large Telescope dell'Eso, sul Cerro Paranal nel deserto di Atacama.

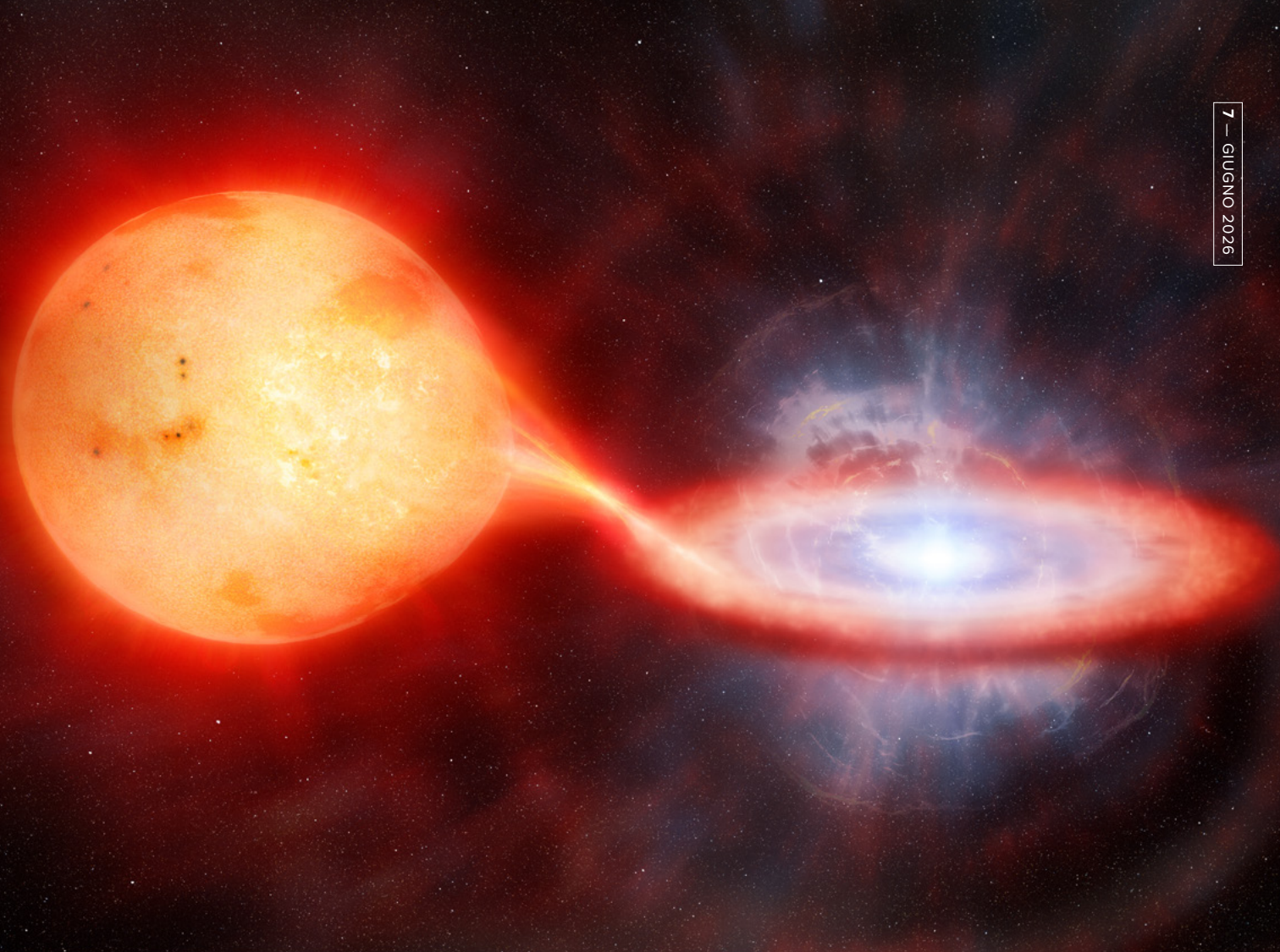
Sotto: lo spettrografo echelle ultravioletto Uves, installato su UT2. Crediti: M. Lefranc/H.H.Heyer/Eso



ESPLOSIONE DI UNA NOVA

L'illustrazione mostra che cosa si verifica in sistemi stellari binari in cui una nana bianca sottrae continuamente materiale stellare a una stella compagna.

Crediti: Gemini Observatory/NoirLab/Nsf/Aura/M. Garlick/M. Zamani



materiale primordiale da cui si è formato il Sistema solare. Utilizzando l'abbondanza misurata nei meteoriti come parametro di riferimento per la densità di litio nel mezzo interstellare, possiamo stimare che la Via Lattea contenga complessivamente circa mille masse solari di litio: una quantità enorme, che i modelli classici non erano assolutamente in grado di spiegare.

Il contributo della nucleosintesi primordiale è ormai ben delineato: nei primi concitati minuti di vita dell'universo si formarono deuterio, elio e una quantità infinitesimale di berillio-7 che, decadendo, ha poi generato il litio-7. Tuttavia, questo processo spiega solo una modesta frazione del totale, oscillante tra il 10% e il 20%.

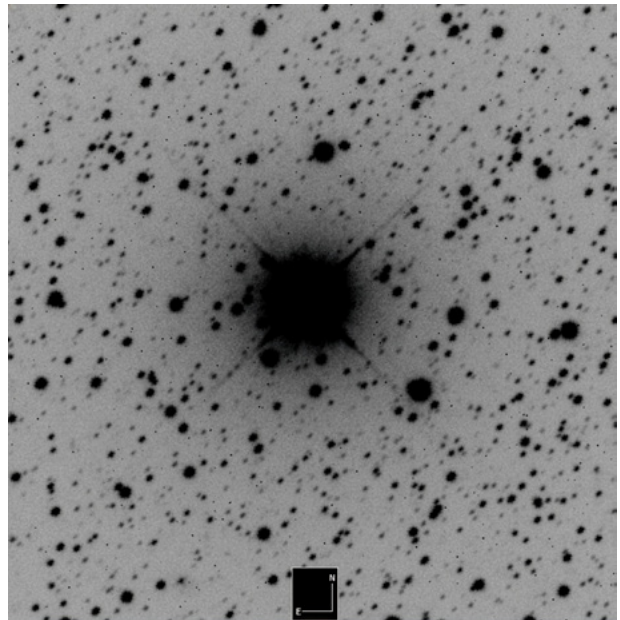
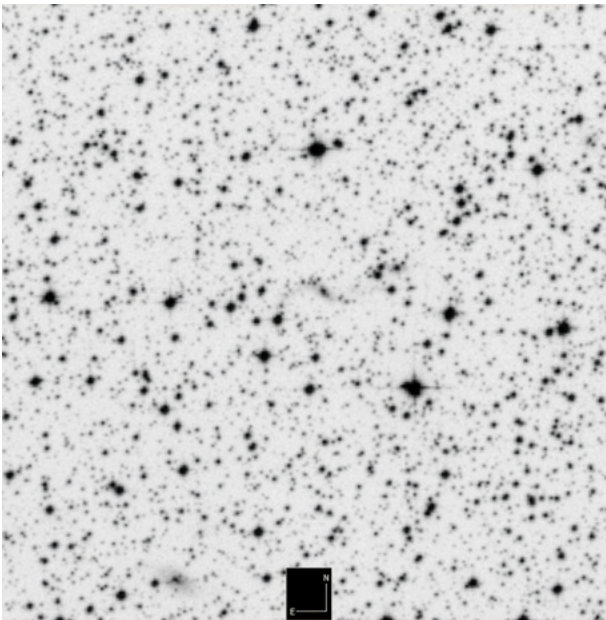
Come già segnalato, un altro meccanismo noto è la spallazione dei raggi cosmici: pur essendo l'origine principale dell'isotopo più leggero (litio-6), il suo apporto alla variante più abbondante, il litio-7, rimane mar-

ginale, contribuendo per circa un ulteriore 10% al bilancio galattico.

Un'ultima sorgente identificata in passato è rappresentata dalle stelle giganti rosse che, in specifiche fasi evolutive, sintetizzano berillio-7 e riescono a trasportarlo verso i propri strati esterni prima che venga distrutto, rilasciandolo poi nello spazio tramite i venti stellari. Nonostante l'importanza teorica, anche questo canale contribuisce solo per pochi punti percentuali. Facendo i conti, la somma di tutti i processi conosciuti copre a malapena il 30% del litio osservato. Rimane dunque un enorme vuoto di conoscenza: dove e come viene prodotto il restante 70% di questo elemento?

LA FIRMA DEL LITIO

La svolta risolutiva è giunta nel 2015 spostando i riflettori sulle novae classiche. Questi spettacolari eventi cataclismici avvengono in sistemi binari dove una nana bianca, il re-



Grazie a sofisticate osservazioni spettroscopiche ad alta risoluzione, condotte con lo strumento Uves presso il Vlt, i ricercatori hanno potuto rilevare direttamente la firma del litio sotto forma del berillio-7, suo elemento padre, nei resti delle esplosioni delle novae classiche

NOVA CENTAURI 2013

La prima nova in cui è stata trovata evidenza di litio brilla al centro di questa immagine ottenuta dal New Technology Telescope presso l'Osservatorio La Silla dell'Eso.
Crediti: ESO

NOVA VELORUM 2025

La differenza in luminosità tra la quiescenza e la fase brillante di una nova classica in due immagini della recente esplosione della Nova Velorum 2025.
Crediti: E. Guido/M. Rocchetto/Spaceflux

siduo denso e compatto di una stella simile al Sole nelle ultime fasi della sua vita, “cannibalizza” la propria compagna (solitamente una stella di piccola massa di tipo spettrale K o M, o in rari casi una gigante rossa nelle cosiddette novae simbiotiche) attraverso un meccanismo di accrescimento di materia che proviene dalla compagna stessa tramite il punto lagrangiano interno alle due stelle. Quando l'idrogeno accumulato sulla superficie della nana bianca raggiunge una pressione e una temperatura critiche, si innesca una violenta esplosione termonucleare. Il sistema brilla improvvisamente di una luce accecante e disperde nello spazio enormi quantità di gas arricchito di nuovi elementi pesanti. Con una frequenza media di circa 30 eventi all'anno nella Via Lattea, le novae rappresentano un motore fondamentale dell'evoluzione chimica galattica.

Grazie a sofisticate osservazioni spettroscopiche ad alta risoluzione, condotte con lo strumento Uves presso il Very Large Telescope (Vlt), i ricercatori hanno potuto rilevare direttamente la firma del litio sotto forma del berillio-7, suo elemento padre, nei resti di queste esplosioni. I dati sono sbalorditivi: in un singolo evento è stata misurata una produzione di litio superiore di ben quattro ordini di grandezza rispetto al valore riscontrato nei meteoriti. Inserendo questi dati nei modelli di evoluzione chimica, che tengono conto del numero di esplosioni avvenute nell'intera storia della Galassia, il mistero si è dissolto: le novae sarebbero in grado di spiegare interamente quel 70% di litio mancante.

NOVA V1369 CENTAURI

Nonostante l'evidenza dei dati, restava un'ultima discrepanza: le abbondanze misurate spettroscopicamente apparivano superiori a quelle predette dai modelli teorici dell'epoca, alimentando lo scetticismo

di parte della comunità scientifica. La prova definitiva, capace di dissipare ogni dubbio, è giunta dall'osservazione diretta della radiazione gamma emessa dal decadimento del berillio-7, un isotopo con un'emivita di circa 53 giorni. Questo segnale rappresenta una firma indipendente e inequivocabile: osservare il berillio-7 mentre decade significa assistere “in diretta” alla nascita del litio-7.

L'occasione d'oro si è presentata con la nova V1369 Centauri, esplosa nel dicembre 2013. Grazie ai dati raccolti dal satellite Integral dell'Agenzia spaziale europea (Esa), è stata rilevata una debole ma significativa emissione gamma a 478 keV, esattamente l'energia prodotta dal decadimento del berillio-7. L'analisi, corroborata da una stima della distanza estremamente precisa ottenuta con la missione spaziale Gaia, ha dimostrato che la quantità di berillio prodotta è perfettamente coerente con le abbondanze di litio misurate nelle frequenze dell'ottico. Questa scoperta costituisce la conferma definitiva: le novae classiche sono le principali “fabbriche di litio” dell'universo. Dopo oltre mezzo secolo di incertezze, l'origine dell'elemento numero tre della tavola periodica è finalmente svelata. Sebbene restino da definire i dettagli più fini della fisica nucleare durante le fasi esplosive, il grande enigma del litio mancante può dirsi risolto.

UNA RICETTA NUCLEARE

Il processo che trasforma una nova in una fabbrica di litio segue una precisa catena di reazioni nucleari, nota come meccanismo di trasporto del berillio. Inizialmente, durante l'esplosione termonucleare sulla superficie della nana bianca, la fusione tra nuclei di elio-3 ed elio-4 genera il berillio-7. Tuttavia, il litio è un elemento estremamente termolabile: se si formasse direttamente nelle regioni più profonde e calde della nova, verrebbe immediatamente distrutto dagli urti con i protoni.



Il litio è un elemento estremamente termolabile: se si formasse direttamente nelle regioni più profonde e calde della nova, verrebbe immediatamente distrutto dagli urti con i protoni

FASCI LASER

I laser sparati verso il cielo dai telescopi del Vlt “creano” stelle artificiali a circa 90 km dalla superficie terrestre. Servono a misurare la turbolenza atmosferica e a correggere le osservazioni in corso.

Crediti: A. Trigo/Eso



Il berillio-7 funge quindi da “veicolo” sicuro: viene sintetizzato e grazie ai moti convettivi rapidamente trasportato verso gli strati esterni e più freddi dell’involucro in espansione. Una volta lontano dalle temperature proibitive del nucleo esplosivo, il berillio-7 (che ha un’emivita di circa 53 giorni) decade in litio-7 tramite la cattura elettronica: un protone del nucleo cattura un elettrone orbitale e si trasforma in un neutrone, emettendo un neutrino ν . Circa nel 10% dei casi,

il nucleo di litio-7 non si forma nel suo stato fondamentale, ma in uno stato eccitato. Per raggiungere la stabilità, esso libera l’energia in eccesso emettendo un fotone gamma ad altissima energia, precisamente a 478 keV. È proprio l’intercettazione di questi fotoni da parte di osservatori spaziali come Integral a fornire la prova regina: la riga gamma a 478 keV è la “firma spettrale” che conferma che il litio si sta effettivamente formando in quel momento tra i detriti stellari. ■



I guardiani del Sole

di Alberto Pellizzoni e Simona Righini

Osservare il Sole per affinare la nostra capacità di prevedere fenomeni che potrebbero creare instabilità nella nostra vita. La meteorologia spaziale è un'arte, oggi possibile anche grazie alla presenza in Italia di radiotelescopi potenti e alla localizzazione strategica di altri fondamentali strumenti.



Il Sole non è soltanto la stella che alimenta la vita sulla Terra; è un immenso e irrequieto laboratorio di magnetoidrodinamica. Nonostante la sua prossimità, la nostra stella conserva enigmi profondi legati alla natura dei fenomeni che avvengono al suo interno e nella sua atmosfera, la cui comprensione è diventata oggi una priorità non solo accademica ma strategica. In un'era definita dalla dipendenza tecnologica, la meteorologia spaziale (o *space weather*) rappresenta infatti un pilastro fondamentale per la sicurezza delle nostre infrastrutture. In questo scenario, l'Italia riveste un ruolo di primo piano attraverso due progetti coordinati dall'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf): SunDish e Solaris.

SPACE WEATHER

Il concetto di meteorologia spaziale si riferisce al monitoraggio e alla previsione delle condizioni ambientali nello spazio interplanetario, influenzate prevalentemente dall'attività solare. Il Sole emette costantemente un flusso di particelle cariche, il vento solare, ma sono gli eventi episodici e violenti a destare preoccupazione: i brillamenti (*flare*) e le espulsioni di massa coronale (Cme).

Un brillamento è un'improvvisa e intensa liberazione di energia elettromagnetica che avviene quando i campi magnetici solari, attorcigliati e compressi nelle regioni attive, si riconnettono bruscamente. L'espulsione di massa coronale consiste invece in plasma caldo e particelle cariche che il Sole proietta nello spazio a velocità elevate. Quando avviene una Cme, il Sole può espellere miliardi di tonnellate di plasma magnetizzato nello spazio interplanetario. Giunte in prossimità della Terra, queste nubi di plasma interagiscono con il campo magnetico terrestre, scatenando tempeste geomagnetiche.

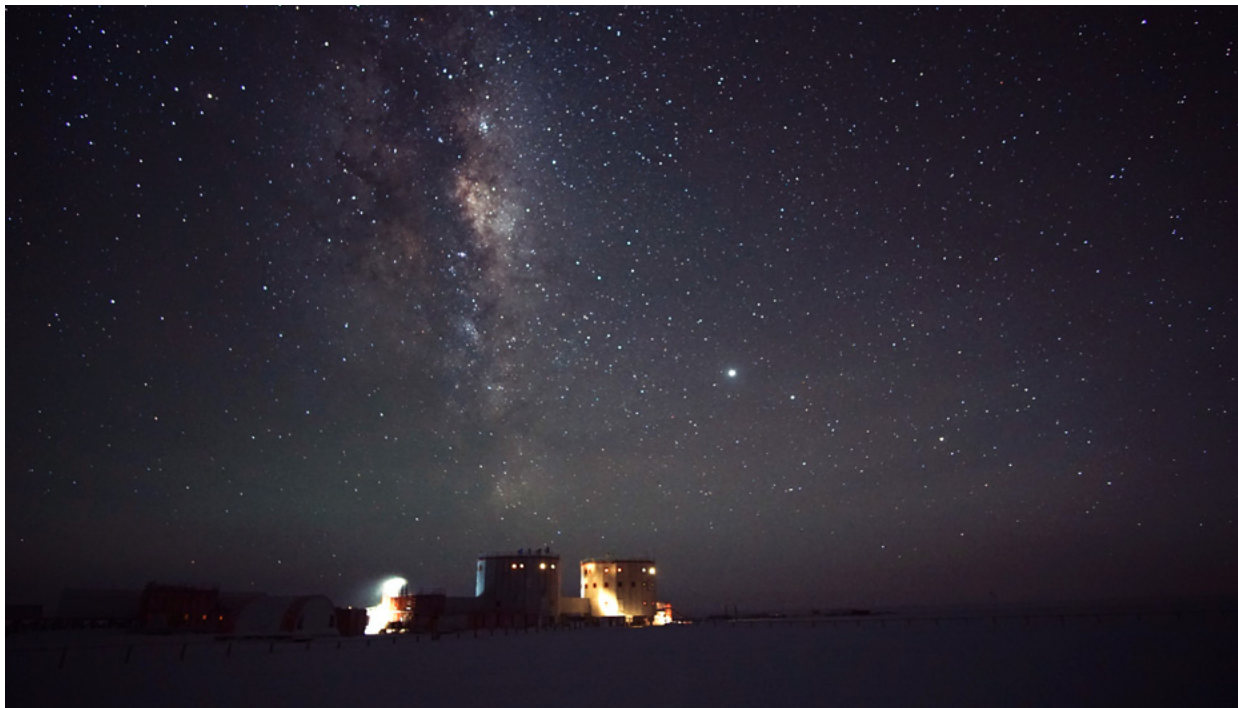
L'impatto sulla nostra civiltà, in caso di fenomeni estremamente energetici, può essere enorme. Le particelle ad alta energia possono danneggiare l'elettronica dei satelliti, interrompendo le comunicazioni globali. Nella ionosfera, le perturbazioni alterano la propagazione dei segnali radio, causando errori nei sistemi di posizionamento globale (Gps) che possono arrivare fino a decine di metri; un rischio inaccettabile per la navigazione aerea o per quella autonoma. A terra, le correnti indotte possono sovraccaricare le reti elettriche; un esempio storico è il blackout del Quebec del 1989, che lasciò milioni di persone senza energia per nove ore a causa della fusione dei trasformatori. La necessità di strumenti di previsione robusti e sensibili è dunque una sfida che riguarda anche la sicurezza planetaria.

I GIGANTI DELLA RADIOASTRONOMIA

Il progetto SunDish nasce da una mossa audace: utilizzare i grandi radiotelescopi a parabola italiani, solitamente dedicati allo studio di oggetti come pulsar e nuclei galattici attivi, per monitorare la stella a noi più vicina. Lo studio si avvale principalmente del radio-

SOLARIS
L'osservatorio solare radio per monitorare il Sole ad alte frequenze sviluppato in Italia e attivo nelle basi antartiche.
Crediti: Inaf/Pnra

L'impatto sulla nostra civiltà, in caso di fenomeni estremamente energetici, può essere enorme. Le particelle ad alta energia possono danneggiare l'elettronica dei satelliti, interrompendo le comunicazioni globali



telescopio G. Grueff di Medicina (Bologna), una parabola da 32 metri, e del Sardinia Radio Telescope (Srt) di San Basilio (Cagliari), un colosso da 64 metri.

L'adattamento di questi strumenti per l'osservazione solare ha richiesto soluzioni ingegneristiche dedicate. Nella banda K (18-26 GHz), il flusso solare è oltre mille volte superiore a quello delle sorgenti radioastronomiche standard. Puntare queste parabole direttamente verso il Sole avrebbe potuto comportare il rischio di saturazione elettronica e di danni termici alle ottiche e ai ricevitori. Per garantire l'operatività, sono stati installati filtri attenuatori variabili nella catena di amplificazione dei ricevitori, permettendo al sistema di mantenere una risposta lineare anche sotto l'impatto del potente segnale solare.

Un elemento critico per il successo di SunDish è l'accuratezza della calibrazione delle mappe radio solari prodotte. Non ci sono altre sorgenti celesti direttamente im-

piegabili come riferimento stabile da confrontare con il segnale solare, perché i livelli di potenza sono troppo diversi e il confronto diretto, a parità di configurazione dei dispositivi, non è possibile. È stato quindi necessario sviluppare complesse tecniche di auto-calibrazione, che sfruttano la porzione del disco solare non interessata da regioni attive: il cosiddetto "Sole quieto". In questo modo, ogni osservazione del Sole contiene già tutte le informazioni che occorrono per ottenere la mappa finale calibrata.

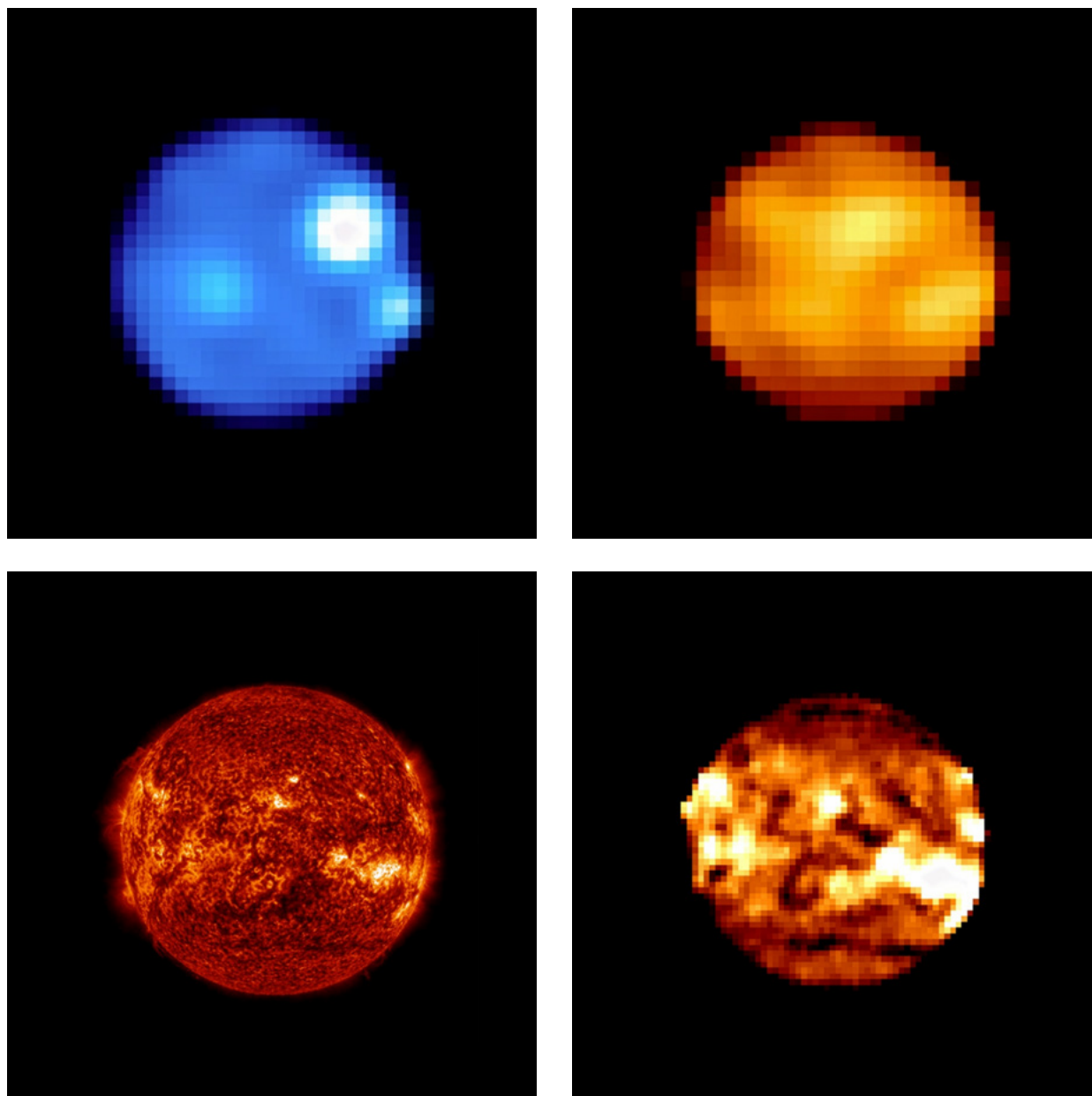
LA FISICA DELLA PREVISIONE

SunDish opera in una finestra di frequenza che permette di "affettare" l'atmosfera solare, osservando specificamente la regione di transizione tra la fotosfera e la cromosfera. In condizioni normali, l'emissione in banda K è dominata dal cosiddetto *bremsstrahlung* termico, un tipo di radiazione elettromagnetica prodotta quando elettroni liberi vengono accelerati o decelerati a

STAZIONE DI RICERCA CONCORDIA

Frutto della collaborazione tra l'Istituto polare francese e il Programma antartico italiano, Concordia si trova sull'altopiano montuoso Dome C. In primo piano: l'osservatorio astronomico della base.

Crediti: Ipev/Pnra/Esa/S. Thoolen



A CONFRONTO

In alto: un confronto tra, a sinistra, un'immagine simulata e, a destra, la prima luce di Solaris. In basso: il Sole visto nell'ultravioletto dal Solar Dynamics Observatory e nel radio dal Sardinia Radio Telescope. Crediti: Solaris/Sundish/Sr/Nasa/Sdo

causa della presenza di ioni carichi in un plasma caldo. In pratica, mentre gli elettroni si avvicinano agli ioni, la loro traiettoria viene deviata, e questa variazione di velocità genera l'emissione di fotoni. Poiché coinvolge elettroni già liberi, senza legarsi ad atomi o ioni, viene anche chiamata emissione *free-free*.

Tuttavia, le ricerche condotte dal team guidato dall'Inaf e pubblicate su *Scientific Reports* hanno rivelato che le regioni attive sul Sole cambiano comportamento prima di un'esplosione. Analizzando circa 450 mappe solari raccolte tra il 2018 e il 2023, i ricercatori hanno monitorato un parametro fundamenta-

le: l'indice spettrale, che misura come la luminosità radio varia con la frequenza.

In una regione solare calma, lo spettro è ripido (ossia la luminosità cala nettamente all'aumentare della frequenza). Quando invece una regione attiva sta per scatenare un brillamento, lo spettro subisce un appiattimento caratteristico. Questo mutamento è causato dalla giro-risonanza: elettroni accelerati da campi magnetici intensissimi (fino a 2000 Gauss) spiraleggiano lungo le linee del campo magnetico, emettendo un segnale radio piatto – la cui intensità rimane costante al variare della frequenza – che sovrasta l'emissione termica.



Il progetto SunDish nasce da una mossa audace: utilizzare i grandi radiotelescopi a parabola italiani, che di solito studiano oggetti galattici ed extragalattici, per monitorare il Sole



SARDINIA RADIO TELESCOPE

A sinistra: il radiotelescopio altazimutale da 64 metri di diametro costruito in località Pranu Sanguni a San Basilio, in provincia di Cagliari, e gestito dall'Inaf e dall'Asi.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

RADIOTELESCOPIO GAVRIL GRUEFF

Sopra: la storica antenna parabolica da 32 metri di diametro situata presso la Stazione radioastronomica di Medicina, vicino a Bologna, e gestita dall'Inaf.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

L'obiettivo è creare un sistema globale che includa stazioni nelle Alpi e nelle regioni artiche della Scandinavia, garantendo una sorveglianza del Sole senza soluzione di continuità per tutto l'anno

I dati mostrano che quando questo indice scende sotto una certa soglia ($< 1,5$), la probabilità di un forte brillamento entro le successive 30 ore raggiunge l'89%. Integrando ulteriori parametri, come la polarizzazione circolare (fino al 40%) e la luminosità di picco, la precisione del sistema può raggiungere il 97%. SunDish offre quindi informazioni molto preziose per la previsione dei brillamenti, a oggi ottenibili solo mediante osservazioni in questa banda di frequenza.

LA TECNOLOGIA DI SUNDISH

La qualità delle immagini di SunDish dipende da *backend* digitali di ultima generazione, in particolare il sistema Sardara (Sardinia Roach2-based Digital Architecture), un *backend* spettro-polarimetrico ad alta risoluzione capace di processare segnali con una larghezza di banda di 1,5 GHz. Questo strumento permette di ottenere contemporaneamente informazioni sulla densità del plasma e sulla configurazione del campo magnetico attraverso i parametri di Stokes, un insieme di quattro grandezze che descrivono completamente lo stato di polarizzazione della radiazione elettromagnetica.

Le osservazioni avvengono con la tecnica *on-the-fly* (Otf), che consiste nella scansione rapida del cielo lungo direzioni di ascensione retta e declinazione, producendo mappe con una risoluzione che varia tra 0,7 e 2 arcominuti. Queste immagini permettono di identificare non solo le grandi regioni attive (Ar), ma anche strutture più deboli come i semi-AR: piccoli incrementi di luminosità associati ai buchi coronali e ai

punti brillanti magnetici, fondamentali per studiare l'attività a lungo termine, anche durante le fasi di minimo del ciclo solare. Nell'arco del 2026 è previsto che anche le antenne Inaf di Noto (Siracusa) e Basovizza (Trieste) si aggiungano alla squadra.

SENTINELLE TRA I GHIACCI

Mentre SunDish utilizza la potenza dei giganti per analisi di dettaglio settimanali, il progetto Solaris nasce con l'obiettivo del monitoraggio costante e in tempo reale. Solaris non punta sulla dimensione delle antenne ma sulla loro collocazione strategica e sull'avanguardia tecnologica dei ricevitori, derivati da quelli sviluppati per il grande interferometro Alma (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), a frequenze radio di 95-100 GHz.

Il nemico principale delle osservazioni radio a tali frequenze è il vapore acqueo atmosferico, che assorbe e distorce il segnale. Per questo Solaris sfrutta le basi in Antartide, sia la Mario Zucchelli (sulla costa) sia la Concordia (nell'entroterra, molto più remota). Il clima antartico offre un'aria cristallina e "congelata", priva di umidità, permettendo osservazioni che sarebbero impossibili in qualsiasi altra parte del mondo. Inoltre, durante l'estate australe, il Sole resta sopra l'orizzonte per molte ore (anche 24, in certi periodi) e questo garantisce una visibilità continua per oltre 20 ore al giorno, eliminando i buchi osservativi notturni.

Le antenne di Solaris sono sistemi intelligenti, capaci di produrre una mappa radio del Sole in meno di 20 minuti. La rete è in espansione: l'obiettivo finale è creare un si-



STAZIONE MARIO ZUCHELLI

È la base italiana situata a Baia Terra Nova, nel Mare di Ross, una zona extraterritoriale senza alcuna sovranità nazionale. Non a caso l'Antartide è definito il continente della scienza.

Crediti: Fototeca Pnra

stema globale che includa stazioni nelle Alpi (Osservatorio Testa Grigia) e nelle regioni artiche della Scandinavia, garantendo una sorveglianza della nostra stella senza soluzione di continuità per tutto l'anno.

VERSO UN “SEMAFORO SPAZIALE” AUTOMATIZZATO

L'integrazione dei dati prodotti da SunDish e Solaris sta gettando le basi per un sistema di allerta precoce automatizzato, un vero e proprio “semaforo spaziale”. La sfida futura consiste nella capacità di distinguere in tempo reale i *flare* eruttivi (associati alle Cme) da quelli puramente energetici. I team a guida Inaf stanno già lavorando per integrare le mappe radio con i dati provenienti dai satelliti operanti nell'ultravioletto e nei raggi X (come Sdo e Hinode). La sinergia

tra osservazioni da terra e dallo spazio permetterà di costruire modelli tridimensionali del campo magnetico solare, anticipando non solo il momento dell'eruzione ma anche la sua probabile efficacia nei confronti dei fenomeni che interessano la Terra.

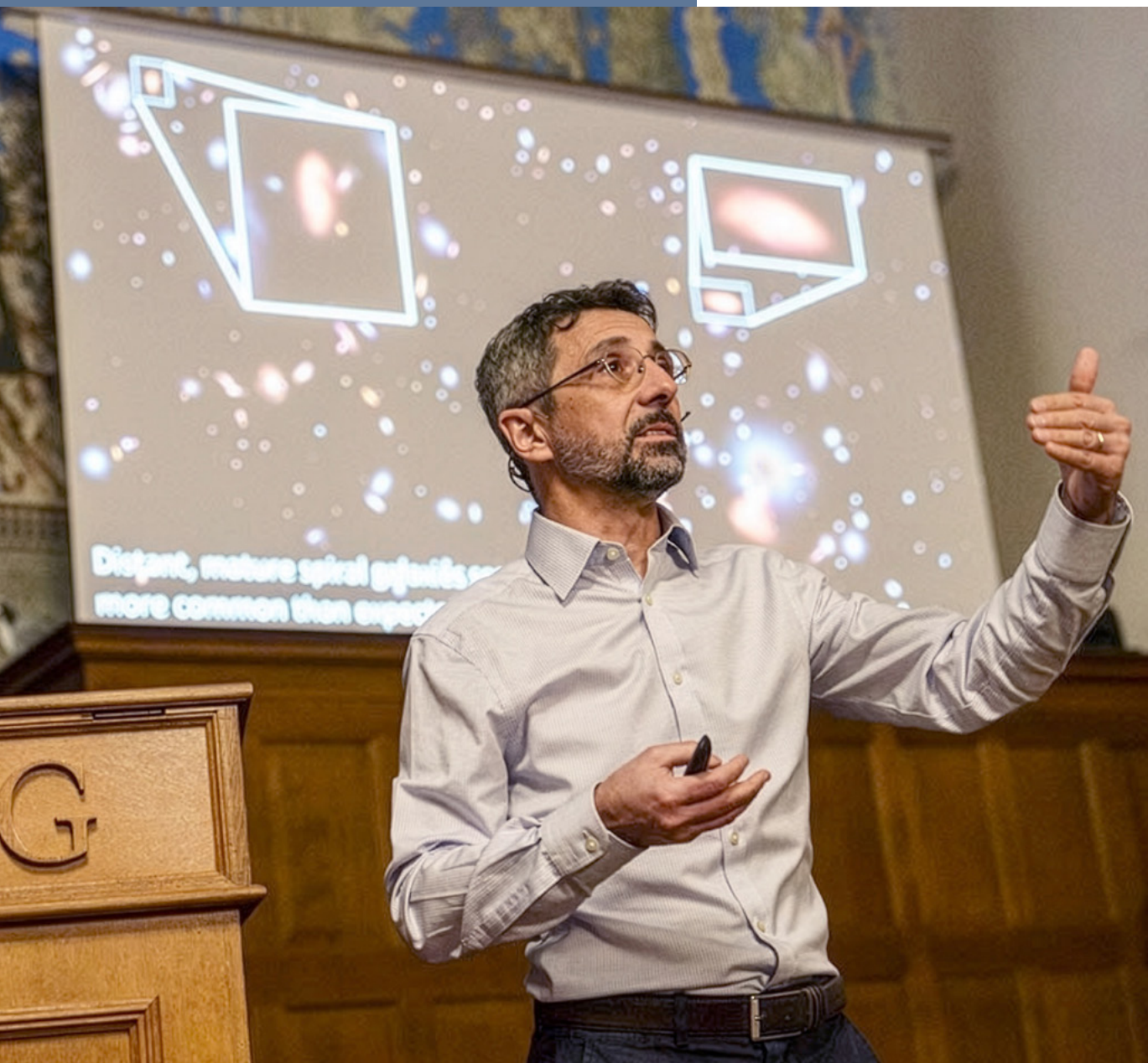
Con l'imminente potenziamento della rete Inaf con nuovi ricevitori in grado di osservare simultaneamente in banda K, Q (33-50 GHz) e W (75-116 GHz), la capacità di scrutare i segnali più deboli e i meccanismi non termici aumenterà ulteriormente. L'Italia, grazie alla sua eccellenza nella radioastronomia e alla sua presenza storica nei territori polari, si trova in prima linea nello studio del Sole e della meteorologia spaziale, fornendo un monitoraggio dell'emissione radio solare in grado di aiutarci a prevedere i fenomeni più distruttivi. ■

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 STRANE MERAVIGLIE DI WEBB

intervista

di **Maura Sandri**



ROBERTO MAIOLINO
Prof. Astrofisica sperimentale,
Università di Cambridge

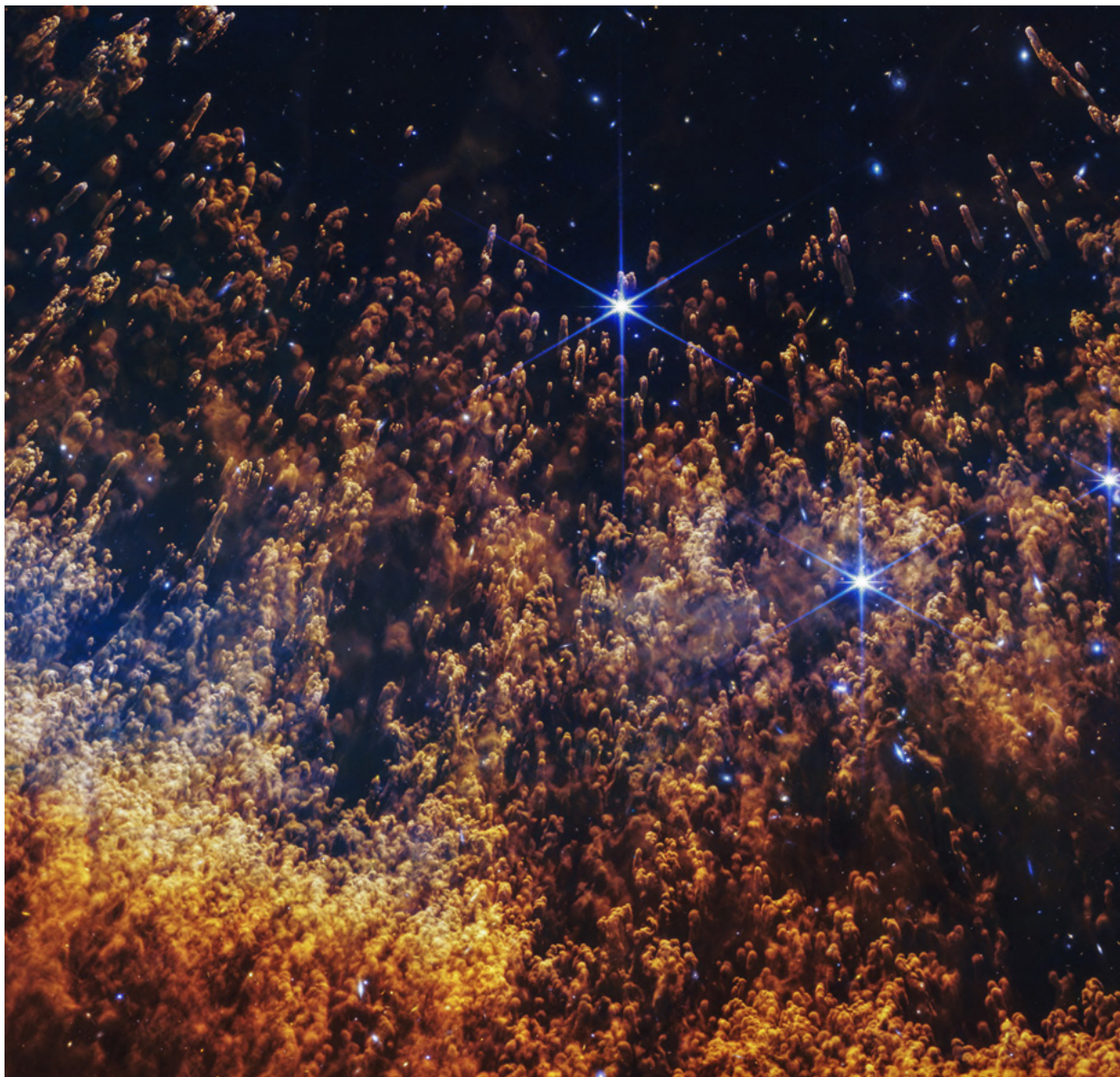
Così come la paleontologia studia la vita del passato della Terra attraverso i fossili, l'astronomia indaga il passato dell'universo analizzando la luce raccolta dai telescopi, sia terrestri sia spaziali. A differenza della paleontologia, che ricostruisce in modo indiretto come poteva essere la vita in epoche remote a partire da tracce fossili, l'astronomia osserva direttamente il passato: le immagini astronomiche sono infatti istantanee di come stelle e galassie apparivano nel momento in cui la loro luce è stata emessa. Il James Webb Space Telescope (Jwst) è lo strumento che, a oggi, si è spinto più lontano – nel tempo e nello spazio – nell'osservazione di stelle, galassie e buchi neri supermassicci, offrendo risultati sorprendenti e spesso inattesi. Ne abbiamo parlato con Roberto Maiolino, professore di Astrofisica sperimentale al Cavendish Laboratory dell'University of Cambridge e ricercatore di fama internazionale nel campo della formazione ed evoluzione delle galassie e dei buchi neri.

Jwst sta scoprendo galassie che erano già massicce e mature quando l'universo aveva solo 300-400 milioni di anni – troppo presto secondo i modelli attuali. Stiamo assistendo a una crisi del modello cosmologico standard o c'è una spiegazione alternativa che salva la teoria?

I risultati ottenuti con Jwst sono effettivamente sorprendenti e, per molti aspetti, anche enigmatici. Tuttavia, direi che non sia necessario, almeno per ora, invocare questi risultati per mettere in dubbio il modello cosmologico standard. Anzitutto, nonostante la qualità dei dati Jwst, la massa delle galassie in queste epoche così remote è soggetta a incertezze, come pure lo è la ricostruzione della loro storia di formazione. In diversi casi, analisi più approfondite hanno portato a ridimensionare le masse inizialmente stimate; in altri, sorgenti che sembravano galassie estremamente massicce si sono rivelate dominate dall'emissione di buchi neri in accrescimento. È tuttavia vero che alcune delle galassie scoperte da Jwst nelle prime centinaia di milioni di anni dopo il big bang sono estremamente luminose, ed è proprio questo l'aspetto più intrigante. Tuttavia, senza dover mettere in discussione la cosmologia, sono stati proposti diversi scenari astrofisici in grado di spiegare queste proprietà. Alcune fra le spiegazioni che sono state avanzate includono: formazione stellare altamente efficiente ed episodica; assenza di oscuramento da polvere nel mezzo interstellare; un modo di formazione stellare che favorisce la formazione di stelle massicce; un contributo da buchi neri in accrescimento. È probabile che non esista una singola spiegazione, ma che queste galassie primordiali riflettano una combinazione di più processi fisici.

LA NEBULOSA ELICA

Una porzione della Nebulosa Elica, vista da James Webb, mette in evidenza nodi simili a comete, modellati da intensi venti stellari, e strati di gas e polvere espulsi da una stella morente che interagisce con l'ambiente circostante.
Crediti: Nasa/Esa/Csa/STScI/A. Pagan



Analogamente, Jwst ha individuato buchi neri supermassicci già formati quando l'universo era giovanissimo, alcuni con masse di miliardi di soli. Com'è possibile che siano cresciuti così velocemente?

Le proprietà dei buchi neri che sono stati identificati da Jwst nell'universo distante sono sconcertanti. Non solo erano estremamente massicci già quando l'universo era molto giovane, ma lo erano anche rispetto alle loro galassie ospiti. È stato proposto che le masse di questi buchi neri siano state sovrastimate; tuttavia, misure dirette per alcuni di essi confermano masse molto elevate. Direi che è ormai chiaro che è estremamente improbabile il classico scenario che vede questi buchi neri originati da altri di massa stellare risultanti dal collasso delle prime stelle, e che hanno accresciuto gas al limite imposto dalla teoria standard (il cosiddetto "limite di Eddington"). Sono stati proposti diversi scenari alternativi, fra questi: buchi neri che sono nati già molto massicci (ad esempio buchi neri formati dal collasso diretto di massicce nubi di gas primordiali, oppure buchi neri "primordiali", ovvero formati immediatamente dopo il big bang, originariamente proposti da Ste-

I risultati ottenuti con Jwst sono sorprendenti e anche enigmatici. Tuttavia, senza mettere in discussione la cosmologia, sono stati proposti diversi scenari astrofisici in grado di spiegarli

phen Hawking); oppure, ancora, buchi neri che si sono formati dalla rapida fusione di stelle e buchi neri in densi ammassi stellari, nelle regioni centrali delle galassie primordiali; alternativamente, è possibile che questi buchi neri abbiano superato il limite teorico di Eddington e che siano riusciti ad accrescere gas a livelli estremamente alti, sebbene per brevi periodi di tempo. Nel complesso, sta emergendo l'idea che non esista un unico percorso evolutivo: buchi neri diversi, in ambienti diversi, potrebbero essersi formati ed essere cresciuti attraverso canali differenti.

In questi primi anni, ogni articolo basato su dati di Jwst sembra aver settato un nuovo record: più lontano, più massiccio, più debole... ma che cosa abbiamo capito finora?

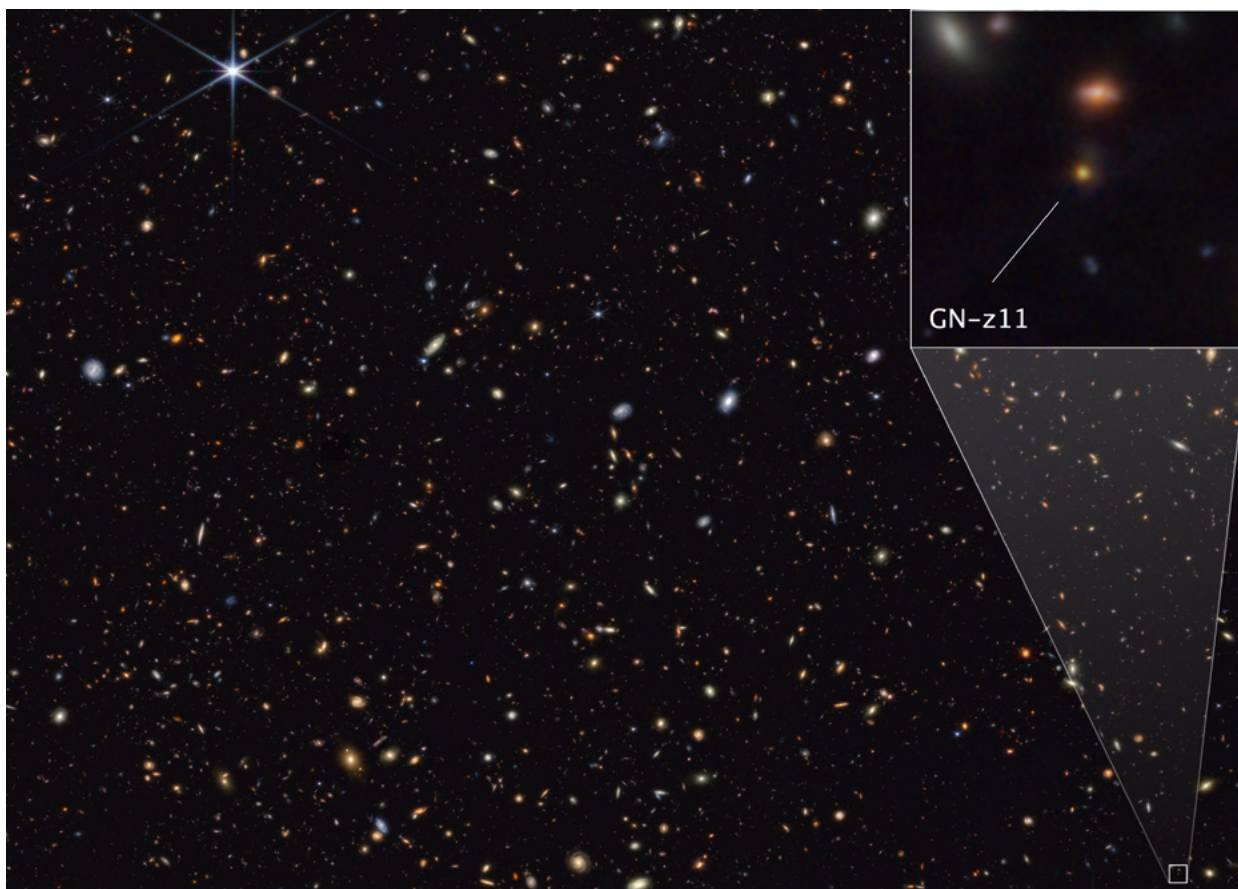
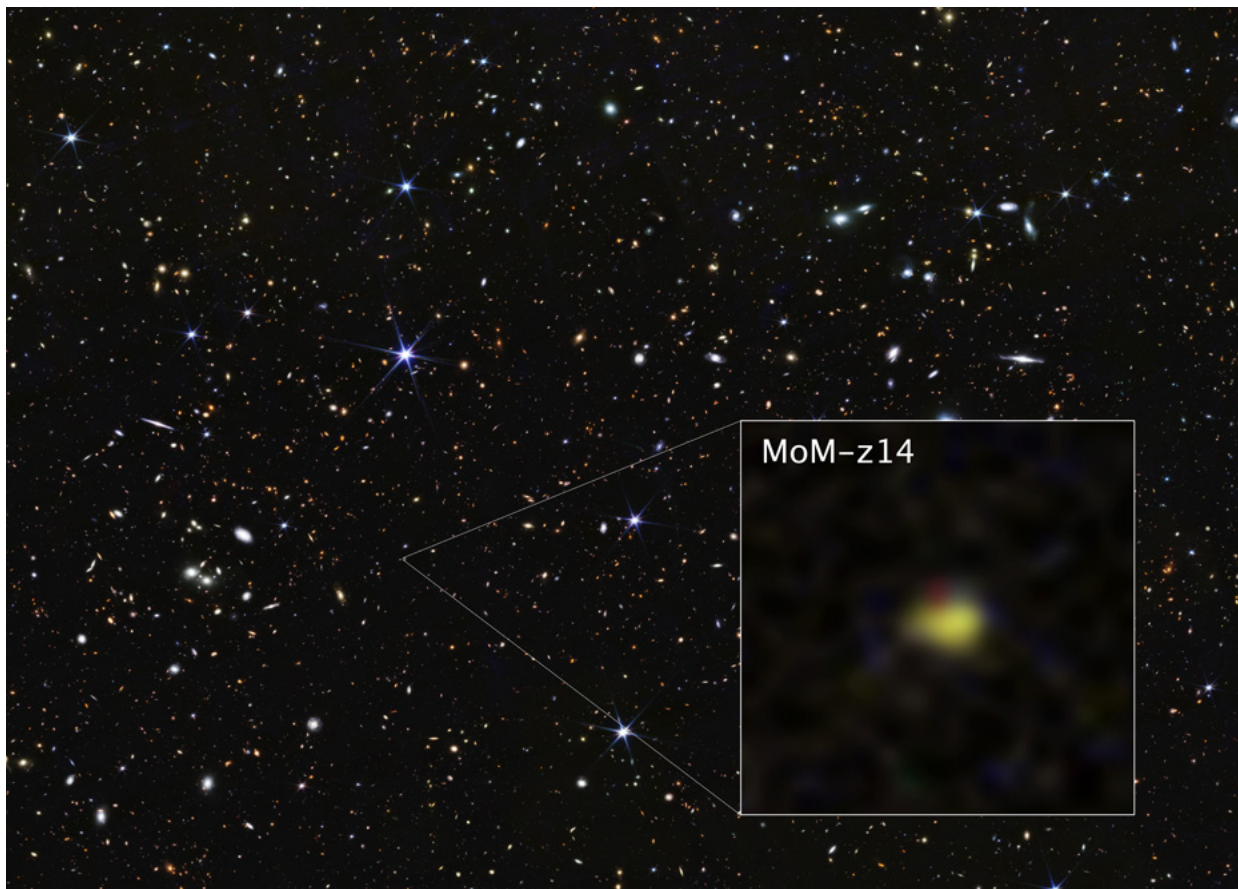
Non è sorprendente che Jwst abbia stabilito nuovi record, visto che ha offerto capacità osservative enormemente superiori a quelle dei precedenti telescopi. Quello che è importante, e molto interessante, è che le nuove osservazioni hanno rivelato proprietà e popolazioni che non erano note in precedenza, e per certi versi completamente inaspettate. Oltre alle elevate luminosità di alcune galassie primordiali e le estreme masse dei buchi neri nell'universo giovane, la complessità dell'arricchimento chimico nelle prime fasi della formazione delle galassie, come pure gli spettri veramente peculiari di diverse galassie e buchi neri in accrescimento, sono fra le scoperte più sorprendenti. L'identificazione di queste proprietà sta portando allo sviluppo di nuovi modelli e teorie. L'interpretazione di questi risultati è ancora in pieno sviluppo, e il dibattito è molto attivo su diversi fronti. Quello che appare già chiaro è che la formazione delle galassie e dei buchi neri nell'universo primordiale è stata più rapida e complessa di quanto immaginato in precedenza.

Infine, le misurazioni di Jwst sembrano confermare la discrepanza nel valore della costante di Hubble tra universo locale e primordiale. Questo suggerisce una nuova fisica o qualcos'altro? Qual è la sua scommessa personale?

I risultati di Jwst su questo tema sono estremamente interessanti e si inseriscono in un dibattito già molto acceso. La cosiddetta "tensione di Hubble" potrebbe avere diverse spiegazioni: da effetti sistematici ancora non completamente compresi nelle misure, fino alla possibilità – più radicale – di nuova fisica oltre il modello cosmologico standard. Prima di trarre conclusioni definitive, è però fondamentale comprendere a fondo tutte le possibili fonti di errore sistematico. Se dovessi fare una scommessa, direi che è ancora probabile che la discrepanza sia legata a effetti osservativi o metodologici non del tutto controllati. Tuttavia, la possibilità che stia emergendo nuova fisica resta aperta ed è, senza dubbio, molto interessante. ■

VISTE DA JAMES WEBB

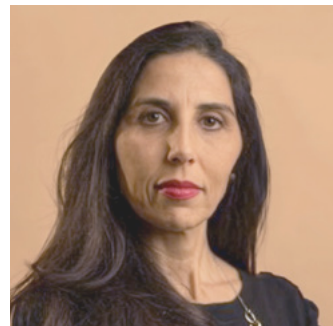
Sopra: la galassia MoM-z14, attualmente la più lontana mai rilevata, vista dalla near-infrared camera a bordo del telescopio spaziale James Webb. Sotto: una porzione del campo di galassie GOODS-North.
Crediti: Nasa/Esa/Csa/STScI



L'OMBRA DEI BUCHI NERI

intervista

di **Marco Malaspina**



MARIAFELICIA DE LAURENTIS
Prof.ssa Astronomia, Università degli Studi di Napoli Federico II

Il 10 aprile 2019 veniva presentata al mondo la prima immagine dell'ombra di un buco nero, quello al centro della galassia Messier 87 (M87). Ottenuta dalla collaborazione Event Horizon Telescope (Eht) – grazie all'elaborazione dei dati di numerose antenne sparse per il globo usate come se fossero un unico, immenso telescopio grande quanto la Terra – e ribattezzata da subito “la prima foto d'un buco nero”, mostrandoci l'oggetto invisibile per antonomasia ha catturato immediatamente l'attenzione del pubblico e dei media. Ma sulla scienza che impatto ha avuto? Ne parliamo con una delle protagoniste dello storico risultato, Mariafelicia De Laurentis, professoressa di Astronomia e astrofisica all'Università degli Studi di Napoli Federico II e, dal 2025, *project scientist* di Eht.

Immagine, foto, rappresentazione: comunque la si voglia chiamare, cos'ha significato per voi astrofisici quell'indimenticabile ciambella arancione?

Per noi astrofisici quella “ciambella” ha rappresentato molto più di un'immagine suggestiva. È stata la prima evidenza osservativa diretta che ciò che per decenni avevamo descritto con equazioni e modelli teorici, l'ombra di un buco nero prevista dalla teoria di Einstein, esiste davvero in natura. Da quel momento i buchi neri non sono più stati solo oggetti inferiti indirettamente, ma fenomeni osservabili con i quali confrontare modelli e fare test quantitativi. È stato l'inizio di una nuova fase, in cui lo studio della gravità in condizioni estreme è entrato pienamente nel dominio dell'osservazione.

Per noi, come scienziati, è stato anche il privilegio raro di partecipare a una scoperta epocale, una di quelle che cambiano davvero il modo di fare e pensare la scienza.

Collaborazione, esperimento, strumento, rete di telescopi... Cos'è stato e cos'è per lei Eht?

Eht è stato prima di tutto un grande lavoro di squadra. Una collaborazione internazionale in cui centinaia di persone, con competenze molto diverse, hanno lavorato per anni su un obiettivo comune, condividendo dati, responsabilità e scelte scientifiche.

Certo, Eht è anche una rete di radiotelescopi distribuiti su tutta la Terra, ma senza questo sforzo collettivo non sarebbe stato possibile né costruire l'esperimento né interpretarne i risultati. Per noi è un esempio concreto di come oggi la ricerca di frontiera richieda cooperazione, fiducia reciproca e una visione scientifica condivisa.

LA PRIMA IMMAGINE DI UN BUCO NERO
Publicata il 10 aprile 2019, ritrae il buco nero supermassiccio nel nucleo della galassia ellittica Messier 87 nella costellazione della Vergine.
Crediti: Collaborazione Eht



Per noi scienziati è stata la prima evidenza osservativa diretta che l'ombra di un buco nero prevista dalla teoria di Einstein esiste davvero in natura

Dopo quella di M87* c'è stata l'immagine del buco nero al centro della nostra galassia, Sgr A*. Poi, una serie di prodotti di grande rilievo scientifico ma più per addetti ai lavori, come quelli sulla polarizzazione e sui getti. Quale sarà il prossimo risultato di grande impatto di Eht?

Il prossimo passo non sarà tanto una nuova immagine quanto la capacità di usare i dati di Eht per studiare come evolve nel tempo ciò che accade attorno a un buco nero. Questo significa passare da una visione statica a una dinamica, osservando il comportamento della materia e dei campi magnetici su scale temporali sempre più brevi.

Non posso entrare nei dettagli, ma è chiaro che ci stiamo avvicinando a una fase nuova: il 2026 sarà un anno di risultati importanti, sia dal punto di vista osservativo sia per i test fondamentali della teoria di Einstein in condizioni estreme. L'impatto maggiore sarà nella qualità delle domande che potremo porre: non solo come appare un buco nero, ma come funziona e quali leggi fisiche lo governano. ■



Visione

Ph. Riccardo Bonuccelli

Isola. La radice latina è *insŭla*. Deriva forse da *in-sal-a*, ovvero “in mezzo al sale”, com’è la Sardegna, la seconda isola più grande del Mediterraneo. Oppure da *in-solum*, “in mezzo al suolo”, come il Gerrei – il territorio che si estende tra la provincia del Sud Sardegna e la Città Metropolitana di Cagliari, composto dai comuni di Armungia, Ballao, Escalaplano, Goni, San Basilio, San Nicolò Ger-



rei, Sant'Andrea Frius, Silius e Villasalto – che con le sue valli e gli altipiani poco popolati, avvolti nel silenzio, è il luogo perfetto per chi vuole osservare il cielo nelle onde radio e ha bisogno di un ambiente lontano dalle interferenze elettromagnetiche di smartphone e tv. Il Sardinia Radio Telescope è questo: un'isola in un'isola. E un'oasi per chi frequenta la radioastronomia, come capita a tanti dei ricercatori che si dividono fra San Basilio, il sito che ospita questo gigante dell'astrofisica (che raggiunge i 70 metri di altezza), e l'Inaf-Osservatorio astronomico di Cagliari a Selargius, a pochi chilometri dal centro del capoluogo sardo. La nuova sede dell'osservatorio è stata inaugurata nel 2013, quando sono terminati i lavori di riconversione della ex-polveriera di Selargius in Campus della Scienza e della Tecnica. Oltre al lavoro di ricerca scientifica e tecnologica, la nuova sede svolge anche un importante lavoro di divulgazione per pubblico generico e scuole. *Sà domo de sas isteddas*, la casa delle stelle.

visione



3



1. Il Sardinia Radio Telescope si trova nel Gerrei, caratterizzato da altipiani e da profonde valli coperti da folta macchia mediterranea. Siamo nel territorio di San Basilio, a circa 40 chilometri da Cagliari. Il nome Pranusanguni, la piana “del sangue” su cui è stato costruito Srt, sembra sia legato alla vegetazione rossastra che in primavera ricopre la piana circondata da pini e querce secolari.

2. Le scale di accesso al gregoriano, lo spazio che ospita i ricevitori del Sardinia Radio Telescope, a un'altezza di circa 50 metri. È disponibile anche un comodo ascensore, cui si accede risalendo la prima rampa.

3. Lungo il suo diametro (64 metri) potrebbero comodamente “parcheggiare” cinque o sei autobus. La sua superficie (oltre 3mila m²) corrisponde a circa la metà di un campo da calcio. È la parabola di Srt: fa sì che il segnale si concentri in un fuoco primario, sostenuto da quattro bracci e che può contenere un



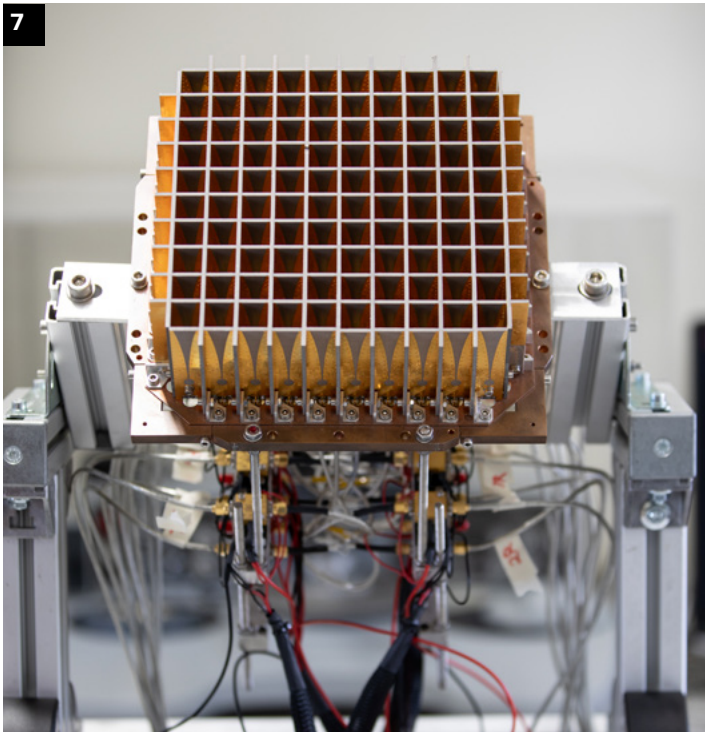
6

gruppo di ricevitori. Appositi specchi possono indirizzare a loro volta il segnale verso un fuoco secondario, che ospita altri ricevitori.

4. L'ingresso all'area museale dell'Osservatorio astronomico di Cagliari a Selargius. L'enorme cubo in ferro preossidato ospita la cupola da 10,5 metri del planetario Inaf da 75 posti.

5. La complessa struttura di supporto ai quasi mille pannelli che compongono la parabola di Srt.

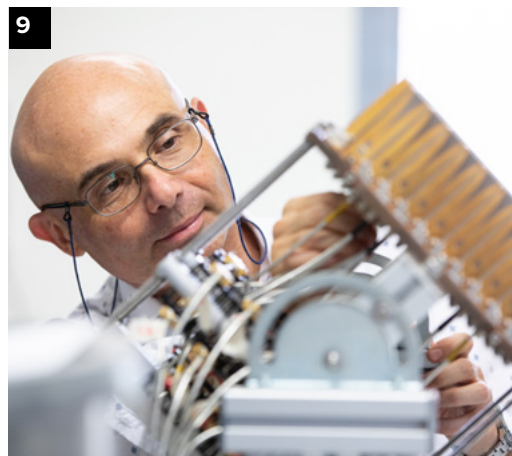
6. Le essenze mediterranee circondano gli edifici del Campus della Scienza e della Tecnica a Selargius. In alto a sinistra: la cupola dell'osservatorio, che oggi ospita piccoli telescopi ottici a fini divulgativi e didattici.



7



8



9

7. Dettaglio del prototipo di un'antenna sperimentale per osservazioni radioastronomiche: composta da una matrice di 100 canali che, tradotti in ottico, corrispondono ai pixel che compongono un'immagine, è un esemplare oggi disponibile in due sole copie, custodite nei laboratori di Cagliari e in quelli del Max Planck Institute, in Germania.

9. Paolo Maxia, ingegnere elettronico. Si occupa del design delle antenne e del loro funzionamento.

10. L'astrofisica specializzata in astrobiologia, Silvia Casu. Da quasi vent'anni si occupa di didattica e divulgazione e coordina tutte le attività di questo tipo all'interno dell'osservatorio. Qui a San Basilio, al lavoro sul Sardinia Radio Telescope.

8. Silvia Leurini, astrofisica specializzata in formazione stellare.







13



15

11. L'ingegnere elettronico Pierluigi Ortu con la scheda di controllo Gaia, che regola da remoto la potenza di ricevitori con emissioni radio bassissime, frutto di sette anni di duro lavoro. Nessuno al mondo, al momento, ha fatto di meglio.

12. La porta che chiude la camera schermata, dove sono ospitati i server a disposizione degli astronomi per le osservazioni con il Sardinia Radio Telescope. La camera schermata protegge il radiotelescopio dalle interferenze prodotte dai computer al lavoro.

13. Il fisico Silvio Pilia alle prese con un generatore di segnale, durante un test di laboratorio.

14. Pasqualino Marongiu, responsabile del laboratorio di meccanica a Selagius, mentre programma una macchina a controllo numerico prima di effettuare un taglio o una fresatura.

15. Sergio Poppi, responsabile delle operazioni a Srt, nel corridoio interno alla camera schermata.

visione



16. Un dettaglio del laboratorio di meccanica dell'Osservatorio astronomico di Cagliari.

17. Il Sardinia Radio Telescope rivolto verso est, durante una fase di osservazioni. Sullo sfondo il monte Ixi, quota 800 metri slm.

18. Alessandro Cabras, ingegnere informatico, mentre regola un criostato: uno strumento in grado di raggiungere temperature prossime allo zero assoluto e fondamentale per testare il corretto funzionamento dei ricevitori.

19. Mariano Muscas nel centro elaborazione dati dell'osservatorio, a Selargius.

20. Sardinia Aperture Array Demonstrator: il mini array composto da decine di antenne Vivaldi e in grado di osservare simultaneamente tutto il cielo senza bisogno di puntamento, realizzato accanto al radiotelescopio di San Basilio.





Curiosità dallo spazio

Stelle cadenti su Venere?

2021 PH27 e 2025 GN1, un duo di asteroidi con le orbite più rapide mai osservate nel Sistema solare, potrebbero essere all'origine di uno sciame di meteore nell'atmosfera di Venere. È quanto emerge da uno studio guidato dall'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf) e pubblicato su *Icarus*, il primo a suggerire un collegamento diretto tra la coppia di asteroidi e le meteore venusiane, analogamente a quanto avviene sulla Terra con l'asteroide Phaethon, progenitore dello sciame delle Geminidi. Prima di questo articolo, infatti, nessuno aveva associato in modo convincente uno sciame meteorico su Venere a corpi asteroidali: si riteneva che tutte le possibili correnti meteoriche venusiane derivassero esclusivamente da comete, come quella di Halley. 2021 PH27 e 2025 GN1 appartengono al rarissimo gruppo degli Atira e completano la loro rivoluzione in soli 115 giorni, il periodo più breve mai registrato tra gli asteroidi del nostro sistema planetario. Dal momento che l'orbita della coppia passa a soli due milioni di chilometri da quella di Venere, questi piccoli frammenti potrebbero intercettare l'atmosfera del pianeta, dando origine a uno sciame di meteore. La prossima data favorevole per l'osservazione è il 5 luglio 2026.

▲ Nel corso della storia del Sistema solare, le collisioni nella fascia tra Marte e Giove hanno dato origine a famiglie di asteroidi.
Crediti: Nasa/Jpl-Caltech



Curiosità dallo spazio

Le argille e il passato abitabile di Marte

È a firma Inaf la mappa più dettagliata mai realizzata sulla distribuzione e composizione delle argille che ricoprono la superficie di Marte. Lo studio, recentemente pubblicato sulla rivista *Journal of Geophysical Research: Planets*, è un traguardo fondamentale per la planetologia moderna. La ricerca si basa sull'analisi sistematica di quasi 1500 osservazioni, dati preziosi acquisiti dallo spettrometro Crism a bordo della sonda Mars Reconnaissance Orbiter della Nasa. Grazie a questa analisi è stato possibile interpretare le firme spettrali nell'infrarosso dei fillosilicati presenti sulla superficie del pianeta. Questi minerali sono tracce dirette dell'acqua che un tempo ha modellato Marte, creando ambienti in cui la vita avrebbe potuto svilupparsi. Alcune regioni sono infatti considerate "scrigni" per la conservazione di biofirme; per questo, mapparne la composizione è cruciale sia per ricostruire la storia geochimica del pianeta, sia per selezionare i siti di atterraggio delle future missioni. L'articolo fornisce una caratterizzazione minuziosa della diversità dei minerali, che riflette una storia geologica complessa, legata a diversi processi di alterazione in presenza di acqua liquida, svelando un passato marziano molto più dinamico di quanto appaia oggi.

▲ Marte: l'area circostante Mawrth Vallis e Oxia Planum evidenzia nuovi affioramenti ricchi di argille.
Crediti: J. Brossier/Inaf (Brossier et al. 2026)



Curiosità dallo spazio

Scoperto il sistema planetario al contrario

Il sistema planetario orbitante attorno alla stella LHS 1903 sta mettendo a dura prova le teorie classiche sulla formazione dei mondi. Le recenti osservazioni del satellite Cheops dell'Agenzia spaziale europea hanno infatti evidenziato anomalie strutturali capaci di scardinare i modelli consolidati da decenni di studi. Tradizionalmente, ci si aspetta di trovare pianeti piccoli e rocciosi vicino alla stella e altri giganti gassosi nelle zone più esterne e fredde. Tuttavia, i dati di Cheops hanno rivelato l'esatto opposto: un quarto pianeta roccioso situato nell'orbita più remota, ben oltre i due giganti gassosi del sistema. Questa singolare configurazione suggerisce che i corpi celesti non siano nati simultaneamente da un unico disco protoplanetario, ma in successione. La scoperta fornisce così la prova più concreta della teoria *inside-out* (dall'interno verso l'esterno): il pianeta roccioso esterno si sarebbe formato quando il sistema aveva ormai esaurito il gas, un'ipotesi finora ritenuta quasi impossibile e che apre nuovi scenari sulla varietà dei sistemi extrasolari. Il lavoro, che vede il coinvolgimento dell'Inaf, dell'Agenzia spaziale italiana e delle università di Padova e Torino, è stato recentemente pubblicato sulla rivista *Science*.



Rappresentazione artistica del sistema planetario attorno alla stella LHS 1903.
Crediti: Esa



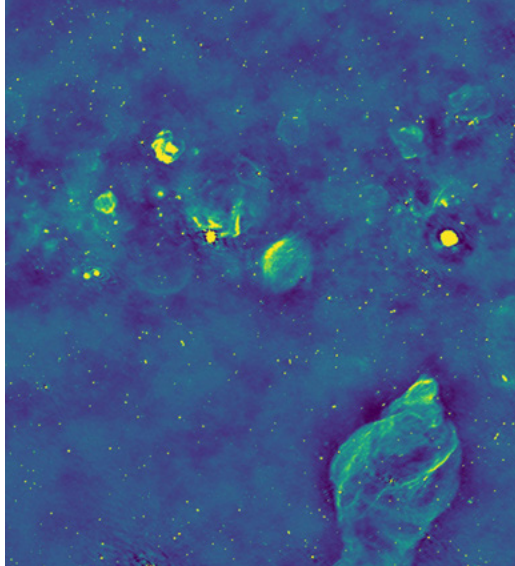
Partner e progetti dell'Inaf

I primi alert scientifici del Rubin Observatory

La diffusione dei primi alert scientifici del Rubin Observatory ha segnato un passaggio storico per l'astrofisica internazionale e ha avviato l'osservazione dinamica e in tempo reale del cielo notturno. Gli alert sono segnali automatici generati ogni volta che viene rilevato un cambiamento nel cielo, come una nuova sorgente luminosa o lo spostamento di un oggetto, e vengono diffusi pubblicamente entro circa due minuti dall'osservazione. Le notifiche generate nella notte del 24 febbraio scorso sono state 800mila – destinate ad aumentare fino a raggiungere i sette milioni per notte – e hanno già portato alla scoperta di supernove, stelle variabili, nuclei galattici attivi e asteroidi in movimento nel Sistema solare. Si tratta di uno dei passaggi di avvio della Legacy Survey of Space and Time, il programma decennale che vedrà il Rubin Observatory scandagliare ogni notte il cielo dell'emisfero australe con la più grande fotocamera digitale mai costruita, da 3200 megapixel. Nel primo anno di attività, l'osservatorio produrrà immagini di un numero di oggetti superiore a quello complessivamente raccolto da tutti gli altri osservatori ottici finora. Il progetto vede anche il coinvolgimento dell'Inaf, con una partecipazione scientifica alle attività di ricerca e di analisi dei dati.



La posizione del Rubin Observatory sul Cerro Pachón nel nord del Cile, a un'altitudine di 2700 metri, offre condizioni di osservazione eccezionali.
Crediti: Nsf-Doe Vera C. Rubin Observatory



Partner e progetti dell'Inaf

La più grande mappa radio del cielo

Una vasta collaborazione internazionale, con la significativa partecipazione dell'Inaf, ha reso pubblico il terzo set di dati della Lofar Two-metre Sky Survey (LoTss-Dr3), uno dei più ambiziosi programmi di mappatura del cielo radio a bassa frequenza mai realizzati. Sfruttando il radiotelescopio europeo Low Frequency Array (Lofar), il team di ricerca ha identificato 13,7 milioni di radiosorgenti. Il nuovo set di osservazioni ha consentito di produrre una mappa del cielo radio a bassa frequenza di straordinario dettaglio e di realizzare il censimento più completo mai ottenuto dei buchi neri supermassicci in fase di accrescimento, un traguardo di grande rilievo per la radioastronomia e la cooperazione scientifica internazionale. Questo nuovo catalogo rappresenta un salto di qualità rispetto ai precedenti. La seconda data release, pubblicata nel 2022, comprendeva quasi 4,4 milioni di sorgenti radio e copriva poco più di un quarto dell'emisfero settentrionale. Con la Dr3, il numero di sorgenti catalogate cresce di oltre il triplo, mentre l'area di cielo mappata si estende fino a circa l'88% dell'emisfero nord, pari a circa 19mila gradi quadrati. I risultati sono disponibili sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*.



La grande Nebulosa Lamantino (in basso a destra) e molti altri resti di supernova a forma di bolla. Sullo sfondo un gruppo di galassie radio lontane. Crediti: Lofar Surveys Collaboration



Partner e progetti dell'Inaf

L'universo in banda 5B con MeerKat

La collaborazione tra Italia e Sudafrica nella ricerca astrofisica raggiunge una nuova, fondamentale tappa: il potenziamento del radiotelescopio MeerKat, che si è dotato di 64 nuovi digitalizzatori in banda radio 5B, nell'ambito del progetto Pnrr Stiles (Strengthening the Italian Leadership in ELT and SKA) dell'Inaf. Tra gli altri obiettivi, Stiles ha previsto anche la collaborazione strategica tra l'Inaf e il South African Radio Astronomy Observatory per potenziare le capacità ad alte frequenze di MeerKat, radiotelescopio precursore del progetto SKA situato nel deserto del Karoo, in Sudafrica. Questo investimento ha finanziato lo sviluppo e l'implementazione complessiva di 64 sistemi di ricezione in banda 5B (con ricevitori sviluppati e realizzati in Germania dal Max Planck, sotto contratto con l'Inaf, e digitalizzatori progettati e realizzati dal Sarao) da installare su ciascuna delle antenne che compongono MeerKat, ampliandone la gamma di frequenza. Il sistema di ricezione coprirà la banda di frequenza da 8,3 a 15,4 GHz (attualmente vengono utilizzati ricevitori che coprono il range da 0,58 a 3,5 GHz). Raggiungere questa nuova banda consentirà agli scienziati di esplorare l'universo in un intervallo di frequenze prima inaccessibile al radiotelescopio sudafricano.



Uno dei 64 nuovi digitalizzatori per la banda 5B realizzati nell'ambito del progetto Pnrr Stiles per il potenziamento del radiotelescopio MeerKat. Crediti: Inaf



Grandi scoperte recenti

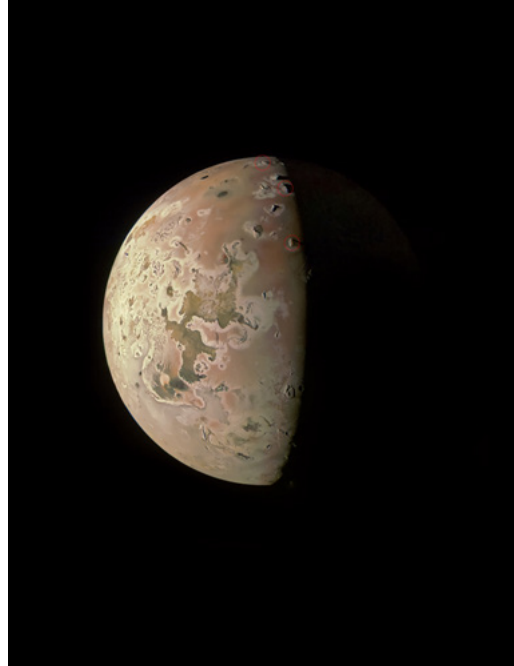
Il successo di Artemis II

Il 1° aprile 2026 alle 18:35 CEST (00:35 UTC del 2 aprile), un razzo Sls Block 1 è decollato da Cape Canaveral, Florida, con a bordo quattro astronauti – Gregory Reid Wiseman, Victor Glover, Christina Koch e Jeremy Hansen – all'interno della capsula Orion, diretti verso la Luna per la prima missione con equipaggio dopo 54 anni. La missione Artemis II ha stabilito il record di massima distanza dalla Terra mai raggiunta da un veicolo con equipaggio umano, toccando i 406.771 km. Durante il sorvolo lunare sono state acquisite immagini del lato nascosto e della regione del polo sud, considerata strategica per future basi grazie alla presenza di ghiaccio d'acqua nei crateri permanentemente in ombra. Il 10 aprile Orion è rientrata nell'atmosfera terrestre e ha ammarato con successo nell'oceano Pacifico, al largo di San Diego. Artemis II ha dimostrato la capacità di effettuare missioni lunari con equipaggio, aprendo la strada ad Artemis III, un'esercitazione in orbita terrestre bassa, il cui lancio non è previsto prima del 2027. Per lo sbarco dovremo attendere Artemis IV.



L'immagine catturata dall'equipaggio di Artemis II il 6 aprile 2026 richiama la celebre *Earthrise*, scattata 58 anni prima dall'astronauta Bill Anders, mentre Apollo 8 orbitava attorno alla Luna.

Crediti: Nasa



Grandi scoperte recenti

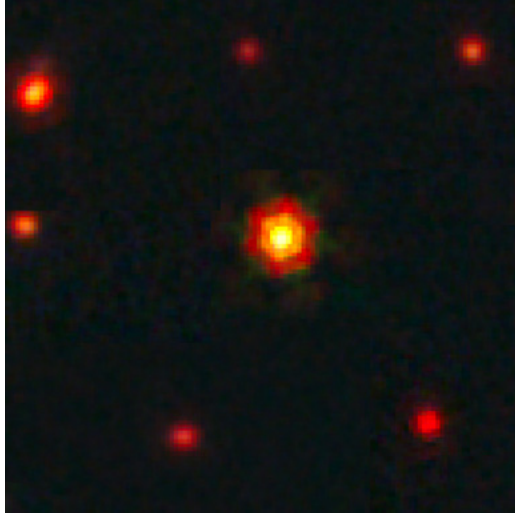
Io: eruzione vulcanica senza precedenti

A fine 2024, la missione Juno della Nasa ha osservato un evento vulcanico incredibile su Io, il satellite di Giove più attivo dal punto di vista geologico: l'eruzione più energetica mai rilevata su Io e, in generale, in tutto il Sistema solare al di fuori della Terra. Le osservazioni nell'infrarosso, condotte con lo strumento italiano Jiram dell'Agenzia spaziale italiana, a bordo della sonda Juno, mostrano un'eruzione che ha interessato una vastissima regione, pari a circa 65mila chilometri quadrati nell'emisfero meridionale del satellite. I dati indicano un rilascio di energia compreso tra 140 e 260 terawatt, un valore che supera di gran lunga quello delle più grandi eruzioni osservate in precedenza. Il risultato suggerisce l'esistenza di enormi serbatoi magmatici sotterranei interconnessi, in grado di attivarsi simultaneamente e di rilasciare energia su scala planetaria. Queste osservazioni cambiano in modo sostanziale la nostra comprensione del corpo vulcanicamente più attivo del Sistema solare. Il lavoro, guidato dall'Inaf, è stato pubblicato sulla rivista *Journal of Geophysical Research: Planets*.



La regione polare settentrionale della luna gioviana Io, in uno scatto della fotocamera JunoCam a bordo della sonda Nasa Juno.

Crediti: Nasa/Jpl-Caltech/SwRI/Msss



Grandi scoperte recenti

Bird, il grande “piccolo punto rosso”

Un team internazionale guidato dall'Inaf ha individuato, grazie al telescopio spaziale James Webb, un raro oggetto cosmico denominato Bird (*big red dot*). Situato in una regione remota del cielo risalente al mezzogiorno cosmico (10-11 miliardi di anni fa), Bird appartiene alla classe dei *little red dot* (Lrd), piccoli punti rossi identificati di recente nelle frequenze infrarosse. A produrre l'eccezionale luminosità sarebbe un buco nero supermassiccio con una massa stimata in cento milioni di volte quella del Sole. La scoperta, pubblicata sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*, è avvenuta quasi per caso: l'oggetto è stato infatti rilevato nel campo circostante al quasar J1030+0524, una porzione di cielo che il gruppo monitora da anni. Analizzando i dati dello strumento NirCam, i ricercatori hanno individuato questa sorgente puntiforme, che mette in discussione le conoscenze attuali sulla crescita dei motori galattici. Infatti, i punti rossi erano ancora estremamente numerosi durante il mezzogiorno cosmico, smentendo i modelli teorici precedenti che ne ipotizzavano un calo drastico già in epoche più arcaiche. Bird rappresenta un tassello fondamentale per comprendere come i buchi neri supermassicci abbiano raggiunto masse così elevate in tempi relativamente brevi.

▲ I “puntini rossi” individuati nella regione di cielo attorno al quasar J1030. Bird è l'oggetto al centro.
Crediti: F. Loiacono, Nasa/Esa/Csa



Premi, nomine & annunci

Medaglia Ferraro a Sofia Randich

All'astrofisica Sofia Randich è stata conferita la medaglia internazionale Vincenzo Ferraro, prestigioso riconoscimento che celebra i traguardi scientifici raggiunti in una carriera interamente dedicata all'eccellenza. Randich, dirigente di ricerca presso l'Inaf-Osservatorio astrofisico di Arcetri, è stata premiata lo scorso marzo durante una cerimonia svoltasi presso la sede dell'Inaf di Napoli. L'iniziativa è promossa dall'associazione no-profit Vincenzo Ferraro Onlus, presieduta da Maddalena Ferraro, per onorare le personalità che si distinguono nel panorama scientifico mondiale. Il premio, istituito nel 2008, è dedicato a Vincenzo Ferraro, pioniere della magnetoidrodinamica e autore dei primi modelli della magnetosfera terrestre. Il conferimento celebra il contributo di Randich all'archeologia galattica, una branca dell'astronomia che ricostruisce il passato della nostra galassia attraverso l'analisi minuziosa delle stelle e della loro composizione chimica primordiale. Durante la consegna, Randich ha voluto dedicare un messaggio alle nuove generazioni di studenti, spingendoli a «coltivare sempre la curiosità e seguire con determinazione la propria passione».

▲ Sofia Randich dell'Inaf - Osservatorio Astrofisico di Arcetri.
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



Premi, nomine & annunci

A Palermo l'eredità del “papà” di Cerere

A duecento anni dalla morte di Giuseppe Piazzi (1746-1826), fondatore e primo direttore dell'Osservatorio astronomico di Palermo, la comunità scientifica internazionale si riunirà per un convegno dedicato ai principali ambiti di ricerca legati alla sua eredità scientifica. Piazzi è celebre soprattutto per la scoperta di Cerere nel 1801 – oggi classificato come pianeta nano – e per la realizzazione di due importanti cataloghi stellari pubblicati nel 1803 e nel 1814, oltre che per l'uso innovativo del Cerchio di Ramsden, un telescopio altazimutale realizzato dal costruttore inglese Jesse Ramsden. Il congresso, in programma dal 30 settembre al 2 ottobre 2026 a Palazzo Chiaramonte Steri a Palermo, affronterà temi ancora oggi centrali per l'astronomia, e il programma scientifico sarà articolato in quattro sessioni: dall'astrometria allo studio dei piccoli corpi del Sistema solare – asteroidi, pianeti nani, oggetti trans-nettuniani, comete e meteoriti – fino alle nuove tecnologie osservative. L'evento rientra nel programma di iniziative promosso dal Comitato nazionale per le celebrazioni del bicentenario della morte di Giuseppe Piazzi, istituito dal Ministero della Cultura e promosso dall'Accademia nazionale delle scienze detta dei XL.



Cerchio altazimutale di Ramsden. L'introduzione di strumenti come questo consentì a Piazzi di migliorare enormemente l'accuratezza delle misure astronomiche.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



Premi, nomine & annunci

Engrave riceve il premio Into Change

La collaborazione scientifica Engrave è stata insignita del premio Into Change dal Ministero danese dell'istruzione superiore e della scienza. Into Change premia i gruppi di ricerca europei che hanno condotto studi eccezionali e innovativi ai massimi livelli internazionali. La prima edizione del premio è stata assegnata a Engrave in riconoscimento delle sue scoperte rivoluzionarie all'intersezione tra fisica, cosmologia e astrofisica, e in particolare per la scoperta dell'origine degli elementi pesanti nelle fusioni di stelle di neutroni. Il premio – pari a circa un milione di euro – è stato destinato come finanziamento quadro per la ricerca scientifica, con un riconoscimento individuale per ciascuno dei sei membri nominati della collaborazione, tra cui due astrofisiche italiane: Marica Branchesi (Gran Sasso Science Institute e Istituto nazionale di fisica nucleare) ed Elena Pian (Inaf). Grazie ai contributi scientifici di Engrave, la tavola periodica può oggi essere letta alla luce delle sue origini cosmiche. Nel rispondere alla domanda “da dove veniamo?”, Engrave ci ha permesso di ricostruire la storia della formazione degli elementi che compongono il nostro pianeta, il nostro corpo e la materia che ci circonda.



Illustrazione dell'origine degli elementi pesanti nelle fusioni di stelle di neutroni.

Crediti: Eso/L. Calçada/M. Kornmesser

Oltre il limite di diffrazione

di Rossella Spiga

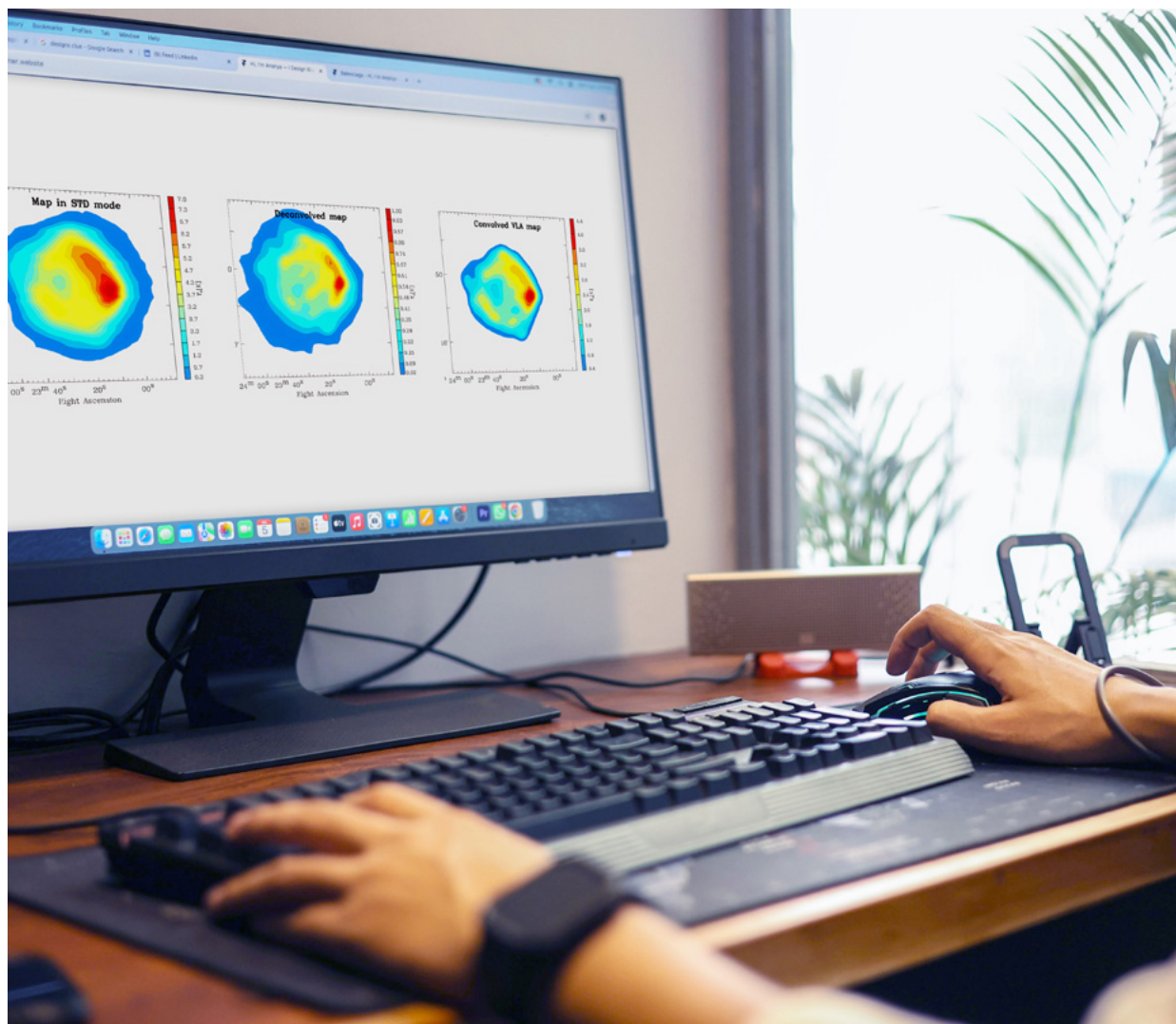
Per superare i limiti in astronomia non è sempre necessario aumentare le dimensioni degli strumenti né rinunciare a prestazioni migliori. Un esempio di versatilità arriva dalle sperimentazioni sulla diffrazione in corso al Sardinia Radio Telescope.

Per più di un secolo, il limite di diffrazione è stato considerato una frontiera invalicabile dell'osservazione astronomica. Non importa quanto perfetto sia uno strumento: quando la luce attraversa un'apertura finita, si diffrange. È una conseguenza diretta della natura ondulatoria della radiazione elettromagnetica. Il risultato è che una sorgente puntiforme non appare mai come un punto, ma come una figura estesa: un massimo centrale circondato da anelli concentrici, il cosiddetto disco di Airy. Quando due sorgenti sono troppo vicine, queste figure si sovrappongono e diventano indistinguibili. Due sorgenti si dicono risolte quando la loro separazione angolare supera il limite di Rayleigh; nel caso limite, il massimo dell'una cade sul primo minimo dell'altra. Da qui deriva una relazione semplice: la risoluzione angolare è proporzionale alla lunghezza d'onda e inversamente proporzionale al diametro dell'apertura del nostro strumento.

È questa regola ad aver guidato per decenni lo sviluppo degli strumenti astronomici: per vedere più in dettaglio, occorrono telescopi più grandi. Ma diametri maggiori significano anche costi crescenti, sfide ingegneristiche e limiti pratici difficili da superare. In alternativa, si può ricorrere a strumenti ancora più complessi, come gli interferometri, in grado di combinare costruttivamente segnali diversi.

E se invece il limite non fosse un muro invalicabile ma una conseguenza del modo in cui osserviamo? Già negli anni Cinquanta del secolo scorso, il fisico italiano Giuliano Toraldo di Francia propose un'idea controintuitiva: modificare la "pupilla" di un sistema ottico, cioè il modo in cui l'apertura trasmette la radiazione, suddividendola in zone concentriche e introducendo opportuni sfasamenti. Queste configurazioni permettono di alterare la figura di diffrazione, in particolare restringendo il suo

Cambiando le regole cambiano anche i limiti operativi: la risoluzione non si conquista solo con la scala, ma anche con l'ingegno



SUPER-RISOLUZIONE

Le mappe radio del resto di supernova Cassiopea A a 20 GHz mostrano (da sinistra) l'immagine ottenuta in modalità standard, a super-risoluzione e, per confronto, con il Very Large Array.

Credit: L. Olmi/Inaf

lobo centrale. In altre parole, in teoria è possibile ottenere una risoluzione superiore a quella prevista dal limite classico senza violare la fisica, ma intervenendo sulla distribuzione dell'energia, che si concentra maggiormente al centro, a scapito delle regioni laterali. Si tratta di un compromesso, non di un trucco. Il prezzo da pagare è inevitabile: aumentano i lobi laterali e si riduce la sensibilità alle sorgenti più deboli. Le recenti dimostrazioni sperimentali al Sardinia Radio Telescope (Srt) – frutto di una collaborazione tra gli osservatori Inaf di Cagliari e Firenze guidata da Luca Olmi – hanno riportato queste idee al centro della scena, mostrando che è possibile ottenere una “super-risoluzione” anche con strumenti a singola apertura, senza aumentarne il diametro. In particolare, radiotelescopi dotati di superficie attiva – costituita da pannelli mobili controllabili – permettono di manipolare la propagazione del fronte d'onda e realizzare, di fatto, pupille modificate. I primi test osservativi sono molto incoraggianti e sembrano confermare che sia possibile aumentare significativamente il potere risolutivo del telescopio rispetto alla configurazione standard. Il risultato più interessante non è solo l'incremento di prestazioni ma il cambio di prospettiva. Cambiando le regole – cioè il modo in cui l'apertura modella il fronte d'onda – cambiano anche i limiti operativi. E questa è una lezione preziosa: la risoluzione non si conquista solo con la scala, ma anche con l'ingegno. ■

Il Sistema solare passo dopo passo

di Laura Leonardi

Dal centro città fino a Nettuno: la realtà aumentata trasforma le distanze del Sistema solare in un'esperienza educativa da percorrere.

Se il Sole si trovasse davanti a noi, nel centro della città, quanto dovremmo camminare per giungere fino a Nettuno? Molto più di quanto immaginiamo. La nostra mente fatica, infatti, a rappresentare le scale cosmiche. Nei libri e nei film i pianeti sono spesso mostrati troppo vicini tra loro, quasi affollati nello spazio. In realtà il Sistema solare è dominato dal vuoto, e proprio questa enorme distanza tra i corpi celesti è difficile da percepire.

Per dare una dimensione reale a queste distanze, l'Inaf ha sviluppato *Space Walk*, un progetto di realtà aumentata che trasforma la città in un Sistema solare in scala da percorrere passo dopo passo. Attraverso lo smartphone o il tablet, i pianeti compaiono in tre dimensioni tra piazze, parchi e viali. Venere appare vicino a una fontana, Marte tra i portici, Giove svetta in piazza con la sua grande macchia rossa. E Nettuno? È lontano... molto lontano. Per fare un paragone, se il Sole fosse una palla di 1 metro di diametro nel centro della città, la Terra sarebbe una pallina di 9 millimetri a circa 100 metri di distanza e Nettuno una piccola sfera di 3,6 centimetri di diametro, a oltre 4 chilometri di distanza.

Il progetto nasce da un'idea di Livia Giacomini dell'Inaf e dalla collaborazione tra Explora, Il Museo dei Bambini di Roma e la società ArkadIA, e rappresenta l'evoluzione digitale di un'installazione realizzata per la mostra *Macchine del Tempo* dell'Inaf. In quell'occasione, una grande mappa della città che ospitava la mostra, disposta sulle pareti, permetteva ai visitatori di individuare la posizione dei pianeti rispetto al Sole. Con la realtà aumentata, la stessa idea diventa portatile e replicabile in qualsiasi città, che può così trasformarsi in un Sistema solare su scala umana.

Alla base dell'esperienza c'è un principio educativo sempre più utilizzato nella didattica delle scienze, l'*embodied learning*: imparare attraverso il corpo e il movimento. Le

Attraverso lo smartphone o il tablet, Venere appare vicino a una fontana, Marte tra i portici, Giove svetta in piazza con la sua grande macchia rossa. E Nettuno? È lontano... molto lontano



REALTÀ AUMENTATA INTERPLANETARIA
 Un sole virtuale si accende nelle sale del museo dei bambini Explora, grazie all'app Space Walk, sviluppata dall'Istituto nazionale di astrofisica.
 Crediti: Inaf/Explora

distanze astronomiche, difficili da immaginare sulla carta, diventano in questo modo un'esperienza tangibile e immediata. Un singolo passo di una persona adulta di media altezza corrisponde a circa 830mila chilometri; dunque per raggiungere Nettuno occorre percorrere diversi chilometri.

Dal punto di vista tecnologico, *Space Walk* è una WebAR app, non richiede installazioni né download dagli store. Basta aprire una pagina web, attivare il gps e la fotocamera, e seguire il percorso suggerito. I pianeti appaiono immersi nel paesaggio reale, accompagnati da schede scientifiche e materiali educativi collegati a *EduINAF*, il magazine di didattica e divulgazione dell'Inaf. Per ciascuna città coinvolta in *Space Walk*, gli itinerari collegano i pianeti a luoghi simbolici, costruendo percorsi tra astronomia, tecnologia e spazio urbano.

Presentato alla fiera Didacta 2025, il progetto è pensato per le scuole, attività di divulgazione e percorsi educativi sul territorio. Così le distanze del Sistema solare, che restano astratte, nascoste dietro a numeri difficili da immaginare, diventano uno spazio da attraversare. Il cosmo smette di essere soltanto una scala di chilometri e torna a essere ciò che è sempre stato per l'umanità: un cammino da esplorare. ■

Desideri senza fine

di Claudia Mignone

Con *Shooting Stars*, il duo artistico Antonello Ghezzi prende in prestito le “stelle cadenti” osservate dal radio-telescopio di Medicina per veicolare messaggi di pace e unità sotto lo stesso cielo.

«Guarda, una stella cadente.» «Dove?» «Lassù, in cielo.» «Presto, esprimi un desiderio!»

A tante persone sarà capitato di trovarsi in una situazione simile, almeno una volta nella vita. Ma come massimizzare la probabilità di osservare queste stelle cadenti e, secondo la tradizione, formulare un grandissimo numero di desideri? È la domanda che si pone da molti anni Antonello Ghezzi, pur sapendo che «non sono stelle, e nemmeno cadenti».

Se vi aspettate di imbattervi in un signore di nome Antonello, siete sulla strada sbagliata. Dietro l'epiteto si celano infatti Nadia Antonello e Paolo Ghezzi, duo artistico formatosi sui banchi dell'Accademia di Belle Arti di Bologna.

Sognando copiose meteore e altrettanto ricchi prospetti di desideri da esprimere, il duo ha immaginato che per catturarne il più possibile con lo sguardo una persona corresse in lungo e in largo per il pianeta, inseguendo la notte e i cieli sereni. Evidentemente, non era possibile. Hanno ipotizzato un canale tv che trasmettesse visioni della volta celeste in diretta h24, entrando in contatto con osservatori astronomici di tutto il mondo. Nemmeno questo era realizzabile. Hanno progettato una webcam da installare al polo nord, pregustando sei mesi di ininterrotta notte polare solcata da miriadi di stelle cadenti. Ma il risultato sarebbe stato al più un *timelapse*: una serie di istantanee scattate in tempi ravvicinati. Un effetto visivo ben diverso dall'emozione di rimirare il firmamento a occhio nudo.

«C'è stato un po' di scoramento», ammettono, «ma abbiamo capito una cosa che ci ha formato: quando fai ri-





SHOOTING STARS

Sopra e a sinistra: le opere del duo Antonello Ghezzi in mostra al Kalamata Dance Megaron, in Grecia, e a Faenza.
Crediti: Marco Parollo/Albert Vidal



Alla fine del 2026, presso l'Opificio Golinelli di Bologna, si terrà la mostra delle opere create durante il laboratorio multidisciplinare di arte e scienza "Marino e le Stelle", a cura di Antonello Ghezzi.

cerca non è detto che il risultato sia quello che ti aspetti». Il processo ha riportato il duo vicino a casa, intercettando l'Istituto nazionale di astrofisica e in particolare la stazione radioastronomica di Medicina, nella Bassa bolognese, dove da oltre mezzo secolo si osserva il cielo nelle onde radio. Usando una metafora infelice, con buona pace dell'accuratezza scientifica, si potrebbe dire che da qui "si ascolta" l'universo.

Grazie alle onde radio, Antonello Ghezzi riesce a ricreare la versione sonora di quella fantomatica diretta. Mentre il radiotelescopio scruta il cosmo – e il bello è che può farlo anche di giorno, dunque h24 – un software cattura il passaggio di frammenti spaziali che si disintegrano in atmosfera sui cieli della Pianura Padana. Un sibilo. E lo trasforma in un flash. Strisce di led luminosi posizionate a Bologna, nei pressi dei giardini Margherita, e in giro per il mondo, si accendono per un attimo. Allora sì che si può esprimere un desiderio.

Shooting stars, così si chiama l'installazione, ha portato le meteore di Medicina dal Libano al Cile, dall'Argentina alla Palestina. A Madrid, sulla facciata dell'Istituto italiano di cultura, a un passo dalla centralissima Plaza Mayor, era diventata consuetudine fermarsi dinanzi all'edificio in attesa di un fugace lampo, al punto che l'opera è rimasta esposta molto più a lungo del previsto. A Faenza e Dubai, invece, l'installazione è stata ospitata all'interno della *Casa della Via Lattea*, un altro progetto di Antonello Ghezzi che immagina la Terra come un'unica nazione sotto una sola bandiera, quella della nostra galassia. ■

Il lockdown e l'aumento del metano

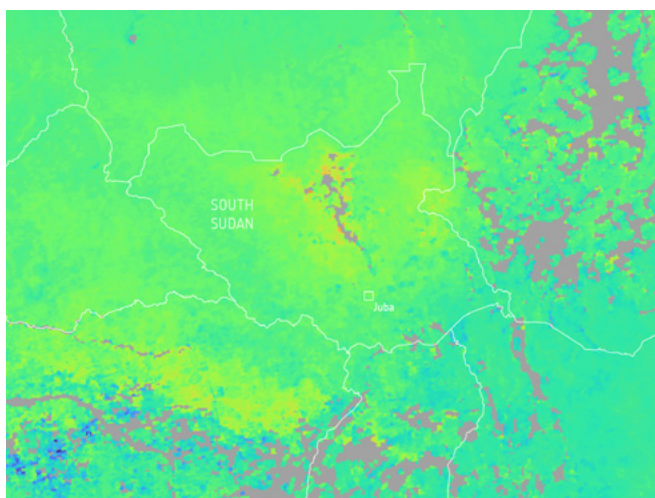
di Valentina Guglielmo

Durante la primavera del 2020, l'atmosfera è diventata meno efficiente nel rimuovere il metano, proprio mentre le emissioni naturali provenienti dalle zone umide aumentavano a causa di condizioni climatiche insolite.

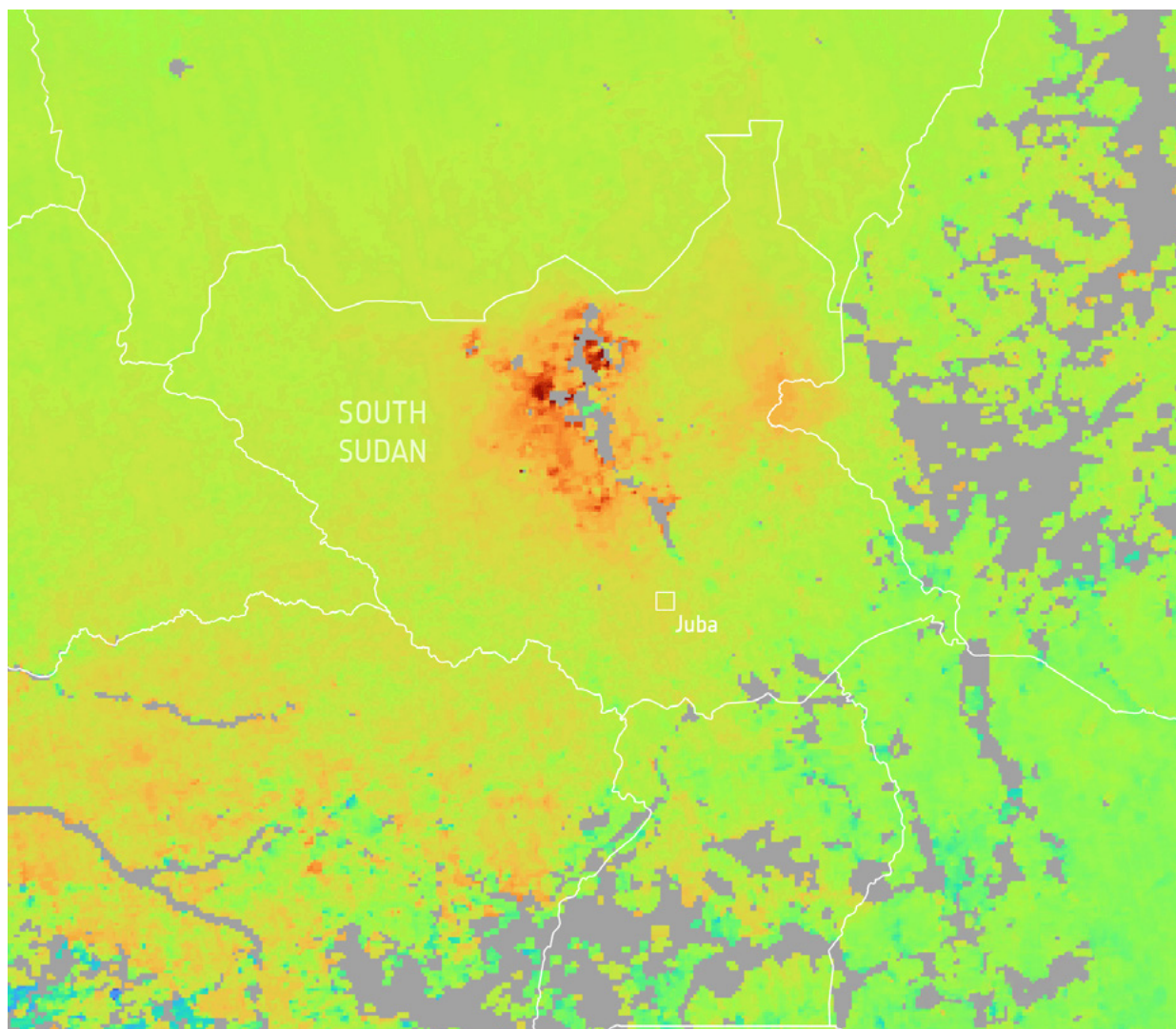
Si è parlato molto del calo delle emissioni e degli inquinanti nell'aria durante la primavera del 2020, in corrispondenza del primo lockdown per la pandemia da Covid-19. Secondo uno studio Enea pubblicato nel dicembre 2022 sulla rivista *Atmospheric Pollution Research*, a diminuire maggiormente sono stati gli ossidi di zolfo (-15%), gli ossidi di azoto (-11%), i composti organici volatili non metanici (-10%) e il monossido di carbonio (-4%). Sarebbe invece aumentato il metano, un potente gas serra. Il perché lo spiega uno studio condotto nell'ambito del progetto Reccap-2 dell'Iniziativa sul cambiamento climatico dell'Agenzia spaziale europea, pubblicato lo scorso febbraio su *Science*.

Dopo l'anidride carbonica, il metano è il secondo maggiore contributore al riscaldamento climatico. Una tonnellata di metano, nei suoi dieci anni di permanenza nell'atmosfera, può trattenere circa 30 volte più calore rispetto a una tonnellata di anidride carbonica nell'arco di un secolo. Tra il 2020 e il 2022, le concentrazioni globali di metano sono aumentate al ritmo più rapido mai registrato, raggiungendo un picco di 16,2 parti per miliardo all'anno, prima di ridursi a 8,6 ppb all'anno entro il 2023. La motivazione, si legge nel nuovo studio, sarebbe il cambiamento chimico temporaneo ma significativo registrato nell'atmosfera durante il primo lockdown.

Al centro della questione ci sarebbe la diminuzione dei radicali ossidrilici (OH), molecole altamente reattive spesso descritte come il "detergente" dell'atmosfera. Questi radicali



green



EMISSIONI ANOMALE

A sinistra e sopra: variazioni della concentrazione di metano nel periodo 2019-2022 nell'area geografica del Sudan del Sud, in Africa.
Crediti: Esa/Copernicus Sentinel

normalmente degradano il metano, riducendone la permanenza nell'atmosfera. I radicali ossidrilici si formano attraverso reazioni chimiche che coinvolgono la luce solare, l'ozono, il vapore acqueo e gas come gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio e i composti organici volatili. A seguito del lockdown, le emissioni di questi gas sono diminuite e, di conseguenza, anche i radicali ossidrilici – che normalmente distruggono il metano – si sono ridotti. Secondo lo studio, questo indebolimento della capacità ossidante dell'atmosfera spiega circa l'80% della variabilità annuale della crescita del metano nel periodo considerato.

Con una minore disponibilità di radicali ossidrilici, quindi, il metano si è accumulato più rapidamente del normale. Non solo: dal 2020 al 2023 si è registrata una fase prolungata di La Niña, che ha portato più umidità della media in gran parte delle regioni tropicali, creando condizioni ideali per il proliferare di microrganismi produttori di metano, soprattutto nell'Africa tropicale e nel Sudest asiatico. Secondo i ricercatori, questi risultati dimostrano che le sorprese climatiche non dipendono solo da ciò che emettiamo, ma anche da come l'atmosfera risponde. Le future tendenze del metano dipenderanno non solo dalla capacità dell'umanità di controllare le emissioni, ma anche dalle politiche sulla qualità dell'aria e dai cambiamenti climatici che influenzano il ciclo naturale del metano a livello globale. ■

L'impatto della ricerca sulla Terra

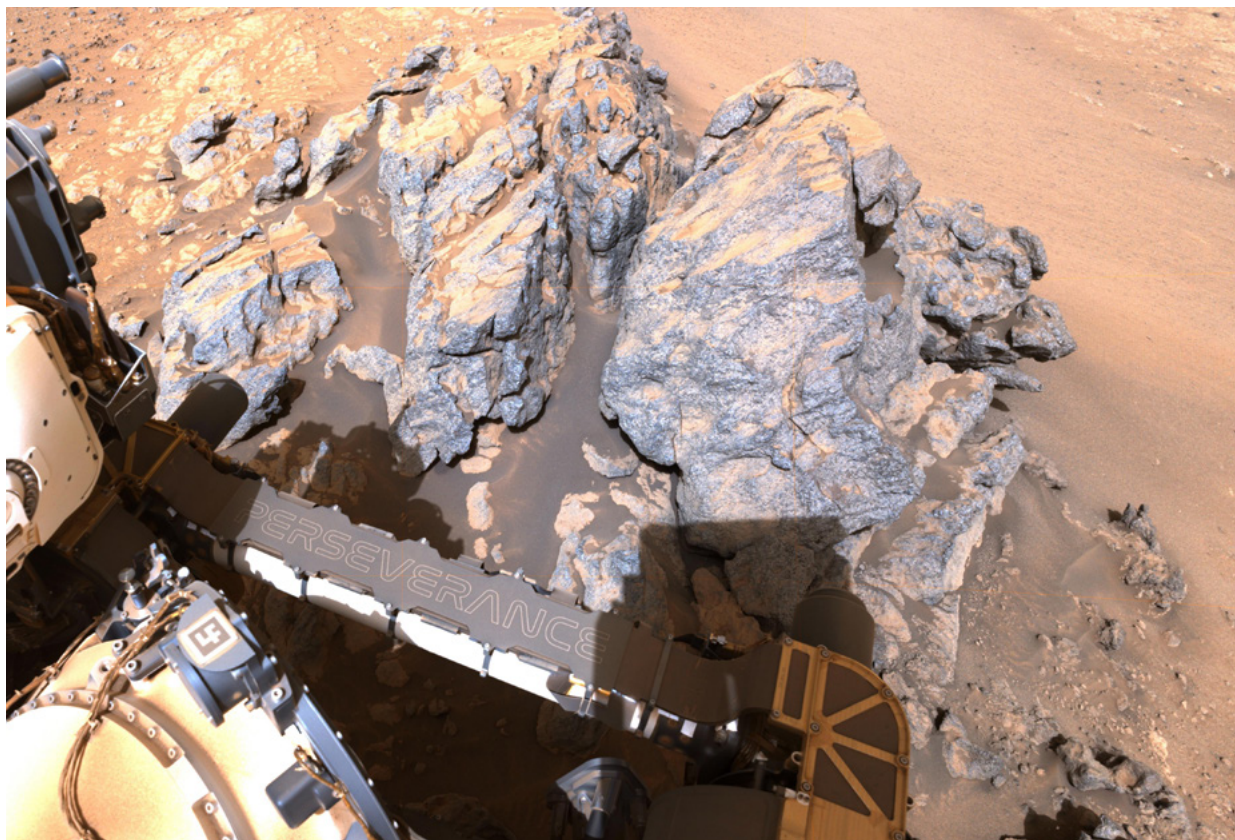
di Giuseppe Fiasconaro

Lo studio dell'origine della vita nell'universo ha risultati inaspettati. Dall'astrobiologia, infatti, stanno giungendo risposte su come proteggere il benessere del pianeta Terra: energia verde, stoccaggio della CO₂ e diagnostica ambientale sono solo alcune delle opportunità che si stanno facendo strada.

Astrobiologia e astrochimica studiano, rispettivamente, l'origine e la diffusione della vita nell'universo e i processi chimici che potrebbero aver contribuito alla sua comparsa. Le conoscenze in questi ambiti sono fondamentali per progettare missioni verso mondi potenzialmente abitabili. Negli ultimi anni, tuttavia, questo sapere sta diventando utile anche per affrontare alcune delle grandi sfide ambientali e tecnologiche della Terra. Dai sistemi di riciclo dell'acqua ai biosistemi autosufficienti, dalle tecnologie di biofabbricazione alla cattura del carbonio, molte soluzioni nate dalla ricerca astrobiologica stanno trovando applicazioni in settori come l'agricoltura, la gestione sostenibile delle risorse e la tutela degli ecosistemi.

Un esempio arriva dallo studio degli ambienti estremi. Da decenni gli astrobiologi analizzano sistemi geologici e chimici che potrebbero sostenere forme di vita microbica in condizioni ostili. Tra questi ci sono gli ambienti in cui avviene la serpentinizzazione, un processo geochimico in cui rocce ultramafiche (ossia rocce ignee con un contenuto in silice molto basso, generalmente inferiore al 45%, e ricche in minerali ferro-magnesiacei) reagiscono con l'acqua producendo idrogeno molecolare, un gas che alimenta ecosistemi microbici nel sottosuolo. Questi ambienti sono diventati di grande interesse anche per il settore dell'energia. L'idrogeno generato da questo processo, spesso indicato come GeoH₂, rappresenta infatti una potenziale fonte di energia pulita: la sua ossidazione produce energia senza generare emissioni di CO₂ né nella fase di produzione né durante l'utilizzo. La possibilità di raccogliere e sfruttare questo idrogeno verde è al centro di diversi progetti pilota che coinvolgono università, centri di ricerca e industria.

Studiare i sistemi geochimici e microbiologici più estremi significa anche immaginare nuove strategie per preservare il nostro pianeta



THE MARTIAN CANDIDATE

Diverse evidenze mostrano che processi di serpentinizzazione sono attivi su Marte. Nell'immagine un dettaglio del suolo fotografato dal rover Nasa Perseverance. Credit: Nasa/Jpl-Caltech

Gli ambienti serpentinizzati stanno emergendo anche come possibili alleati nella lotta al cambiamento climatico, in particolare nel contesto della cosiddetta cattura e stoccaggio del carbonio (*carbon capture and storage*, Ccs), una strategia chiave per la decarbonizzazione del pianeta che prevede la raccolta della CO₂ prodotta da grandi impianti industriali, il suo trasporto e il suo stoccaggio in profondità nel sottosuolo.

In questo contesto la serpentinizzazione gioca un ruolo importante: favorendo la trasformazione di anidride carbonica in carbonati stabili, offre un metodo di stoccaggio permanente e contribuisce agli sforzi globali per ridurre le emissioni di CO₂. Sono allo studio diverse strategie che prevedono la cattura diretta della CO₂ dall'atmosfera, la sua concentrazione e l'iniezione in falde acquifere sotterranee per favorire questi processi di mineralizzazione, che potrebbero sequestrare oltre l'80% del carbonio immesso nel sistema.

Un altro ambito in cui la ricerca astrobiologica ha avuto ricadute importanti riguarda i protocolli di protezione planetaria. Sviluppati per prevenire contaminazioni biologiche tra la Terra e altri corpi celesti, questi metodi stanno trovando applicazione anche nella biosorveglianza, nella diagnostica ambientale e nella tutela di ecosistemi estremi e incontaminati.

Questi esempi mostrano come una disciplina nata per esplorare i limiti della vita nell'universo possa contribuire anche alla sostenibilità del nostro pianeta. Studiare i sistemi geochimici e microbiologici più estremi non significa soltanto prepararsi a cercare vita oltre la Terra ma anche acquisire conoscenze per sviluppare tecnologie energetiche più pulite, migliorare la gestione delle risorse e affrontare le sfide climatiche del presente. In questo senso l'astrobiologia non guarda soltanto allo spazio: aiuta anche a comprendere meglio la Terra e a immaginare nuove strategie per preservarla. ■

Bologna: la torre della Specola si veste di nuovo

di Marcella Brusa e Paola Focardi

Tra antichi strumenti che gli astronomi del passato utilizzavano per esplorare il cielo e grandi infrastrutture dell'astrofisica contemporanea, il Museo della Specola di Bologna offre a chi lo visita un'esperienza incredibile.

La torre della Specola di Bologna, edificata nel 1726 sulla sommità di Palazzo Poggi, all'epoca sede dell'Istituto delle Scienze, è stata per più di duecento anni l'Osservatorio astronomico della città e, in seguito, il luogo in cui si sono formati gli astronomi bolognesi negli anni Settanta e Ottanta. Divenuta gradualmente un museo, dal 30 gennaio di quest'anno si presenta al pubblico con un aspetto rinnovato, sia per quanto riguarda l'esterno (oggetto di importanti lavori di consolidamento) sia soprattutto per quanto riguarda l'allestimento degli interni. Quest'ultimo è stato possibile grazie al progetto del Pnrr Cta+, finanziato dall'Unione Europea e coordinato dall'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf).

Nucleo centrale del riallestimento è stata la valorizzazione della figura di Guido Horn d'Arturo, l'ideatore della tecnologia dello specchio a tasselli. Il nuovo percorso museale mette in risalto la relazione tra l'innovativa intuizione di Horn d'Arturo, poco apprezzata all'epoca perché era "in anticipo" sui tempi, e il Cherenkov Telescope Array Observatory (Ctao), mostrando anche come tutti i grandi telescopi terrestri e, non ultimo, il telescopio spaziale Webb siano dotati di specchi a tasselli.

Il Museo, come si è detto, è ospitato all'interno di una torre e il rinnovato percorso espositivo si articola, di conseguenza, su diversi piani. Il piano più basso è interamente dedicato a Horn d'Arturo e alla sua storia personale, oltre che di astronomo. Qui si può ammirare anche il primo specchio a tasselli esagonali della storia, ultimato da Horn d'Arturo nel 1952, proprio nel luogo da cui effettuò le osservazioni. Successivamente, la salita lungo una suggestiva scala a chiocciola settecentesca fa accedere a un piano dedicato al Ctao e a tutti gli strumenti moderni che hanno sfruttato (e sfrutteranno) la tecnologia a tas-

MUSEO DELLA SPECOLA
DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Via Zamboni 33, 40126 Bologna





NELLA TORRE

Il percorso espositivo del Museo della Specola (ospitato nella storica Torre astronomica costruita tra il 1712 e il 1726 su iniziativa del conte bolognese Luigi Ferdinando Marsili) si sviluppa su quattro piani e termina con la terrazza panoramica, da cui si può godere una visione suggestiva della città di Bologna. Crediti: Museo della Specola dell'Università di Bologna

selli. Salendo ancora si compie, idealmente, un salto all'indietro di svariati secoli con il quale si riscopre la bellezza dei globi terracquei e celesti, delle carte geografiche su pergamena, degli astrolabi, delle sfere armillari e degli strumenti nautici. Sempre sullo stesso piano si trova una sala dedicata a Maria Clara Eimmart, astronoma e artista della fine del 1600: della sua vasta produzione rimangono solo i dipinti di natura astronomica, mostrati in questo spazio espositivo.

Al piano superiore si trovava l'Osservatorio astronomico vero e proprio, come testimoniato dalla presenza di pareti finestrate esattamente allineate ai punti cardinali. I numerosi telescopi, esposti in questa grande sala, restituiscono la suggestione delle osservazioni effettuate dagli astronomi attraverso i secoli. Esattamente al centro, sotto il foro zenitale, si può vedere quanto rimane dello specchio a tasselli trapezoidali, il primo costruito da Horn d'Arturo, che è stato ricollocato nella posizione originaria.

Il riallestimento del Museo della Specola crea un dialogo tra un patrimonio straordinario di strumenti antichi, l'opera innovativa di Guido Horn d'Arturo e le grandi infrastrutture dell'astrofisica contemporanea, ed evidenzia come la torre della Specola sia un luogo vivo, in cui la storia dell'astronomia non è un capitolo concluso ma una fonte che continua a ispirare la moderna astrofisica e la ricerca tecnologica. ■

La torre della Specola di Bologna si presenta oggi al pubblico con un aspetto rinnovato, sia per quanto riguarda l'esterno sia per quanto riguarda l'allestimento degli interni



NELLO STUDIO DI HORN D'ARTURO

Il primo piano del Museo è interamente dedicato all'astronomo triestino Guido Horn d'Arturo che, proprio tra le mura di palazzo Poggi, sfidò i limiti tecnologici dell'epoca costruendo il primo telescopio con specchio a tasselli esagonali della storia, oggi uno dei pezzi principali dell'esposizione.

Crediti: Museo della Specola dell'Università di Bologna



GLOBO CELESTE

Opera di Gerhard e Leonard Valk, riproduce sul globo le 56 tavole dell'Uranographia di Johannes Hevelius, una pietra miliare dell'astronomia pubblicata nel 1690. È montato per riprodurre l'orizzonte di un osservatore collocato ad Amsterdam, la città natale dei fratelli Valk.

Crediti: Museo della Specola dell'Università di Bologna



TELESCOPI CHERENKOV

Al quinto piano della Specola sono esposti alcuni dei tasselli che compongono lo specchio primario dei telescopi Cherenkov dell'Astri mini array dell'Inaf (nel modellino, in scala 1:4). La struttura a tasselli di Horn d'Arturo è lo standard per i progetti internazionali più ambiziosi, dal Cherenkov Telescope Array Observatory all'Extremely Large Telescope dell'Eso, passando per il James Webb Space Telescope.

Crediti: Museo della Specola dell'Università di Bologna



SFERA ARMILLARE COPERNICANA

Questa sfera armillare, con il Sole al centro secondo il modello copernicano, fu donata nel 1726 dal cardinale Antonio Davia all'Istituto delle Scienze di Bologna. Poiché all'epoca vigeva ancora il divieto della Chiesa di insegnare la teoria eliocentrica, nel ricevere il dono l'Assunteria dell'Istituto ordinò che ne fossero costruite altre due, per affiancarla, rappresentanti rispettivamente i modelli geocentrici di Tolomeo e di Tycho Brahe. Non risulta, tuttavia, che questo ordine sia mai stato eseguito.

Crediti: Museo della Specola dell'Università di Bologna

RAPPRESENTAZIONI DI FENOMENI CELESTI

Le opere di Maria Clara Eimmart, della fine del 1600, per accuratezza e rigore, costituiscono una preziosa testimonianza storica, scientifica e artistica dell'osservazione astronomica prima dell'avvento della fotografia. Crediti: Museo della Specola dell'Università di Bologna



L'universo è fatto di storie

di Adamantia Paizis

La nostra vita è costellata di storie. E perché allora non utilizzare la narrazione anche per avvicinare studentesse e studenti ad argomenti percepiti così lontani e poco tangibili? L'astrofisica diventa un racconto avvincente, da comprendere e ricordare.

Parlare con un buco nero. Incontrare un alieno in un vortice spaziotemporale. Piantare su Marte una bandiera (fatta di biancheria intima: adulti, siete avvertiti).

Dove sta scritto che l'universo è lontano? Che non appartiene a chiunque abbia voglia di stropicciarlo? Se sta scritto da qualche parte, noi non siamo d'accordo. Tanto che nel 2020 abbiamo creato un gruppo di lavoro apposta, il Gruppo Storie dell'Inaf, per dirlo; per raccontare – e far raccontare – il cosmo.

Infatti, come diceva la poetessa Muriel Rukeyser, «L'universo è fatto di storie, non di atomi».

Ecco, dunque, il concorso di scrittura creativa *Gianni Rodari via Lattea quaraquarinci*, per la scuola primaria e secondaria di primo grado. Un concorso a cui oltre 5300 partecipanti hanno già preso parte, rielaborando a modo proprio argomenti come il Sistema solare, i buchi neri o gli alieni. Un appuntamento annuale per chi vuole «raggiungere il Sole e vedere se l'universo è infinito», «imparare concetti complessi in modo divertente e creativo» intrecciando «tante materie, come arte, scienze e italiano». Perché «l'astrofisica non è fatta solo di numeri e formule, ma anche di immaginazione». (I virgolettati e i tre spunti iniziali dell'articolo sono dei partecipanti).

A chi invece preferisce raccontare la scienza proponiamo le *Briciole Spaziali*, una rubrica su EduINAF per condividere la recensione di un libro o un argomento astronomico che appassiona.

Anche qui le sorprese non mancano e uno dei nostri giovani autori ci racconta che è stato contento di vedere che quanto ha scritto per la rubrica si lega agli argomenti che studia a scuola, riscoprendo, relativamente alla fisica,

Nel 2020 abbiamo creato il Gruppo Storie dell'Inaf per raccontare, e far raccontare, il cosmo. Perché «L'universo è fatto di storie, non di atomi»



che: «pensavo di non essere portato, invece sto vedendo che non solo la capisco ma mi piace».

La scrittura non è mai sola e ha una fedele compagna: la lettura.

Nasce così *Frammenti di cielo*, un fumetto avventuroso tra terra e cielo in compagnia di Aurora, ostinata undicenne, e della sua amica cagnolina. Pubblicato dall'Inaf, il fumetto, alla scoperta dei sassi spaziali, si presta all'uso in classe come supporto didattico per avvicinare ai contenuti scientifici anche chi non li ama a priori, affiancando lo studio del Sistema solare. Una storia ricca di curiosità scientifiche, storiche e di attualità. *Spoiler*: è in arrivo il secondo volume!

Per finire, passiamo dalla parola scritta e letta a quella ascoltata: il podcast astronomico *Martina Tremenda nello spazio*, che vede la protagonista, curiosa dodicenne, viaggiare nell'universo con la sua astronave a pedali, tra virate, scoperte e pasticci. Quale sarà il suo prossimo incontro?

«Con le storie e i procedimenti fantastici per produrle noi aiutiamo i bambini a entrare nella realtà dalla finestra, anziché dalla porta. È più divertente: dunque è più utile» scriveva Gianni Rodari.

La narrazione può essere anche uno strumento per incontrare l'astronomia, rafforzando le proprie competenze trasversali.

C'era una volta...

Impossibile resistere. ■

UN VIAGGIO A FUMETTI

È quello compiuto da Aurora tra cielo, Terra, umani, cani e sassi spaziali in *Frammenti di cielo*, a cura di Inaf e con le illustrazioni di Mattialettrica.

Crediti: Inaf/Mattialettrica



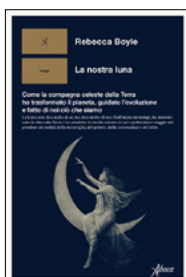
storie.inaf.it

Il Gruppo Storie dell'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf) è nato nel 2020 con l'idea di raccontare, e far raccontare, la scienza e le sue voci attraverso le storie. Rappresenta una delle aree strategiche della didattica e divulgazione dell'ente. I progetti sono in collaborazione con realtà professionali interne ed esterne all'Inaf fra cui: Sorvegliati Spaziali, Prisma, EduINAF, Univers@Il, Realtà Debora Mancini, Emanuela Bussolati, Francesca Poppi e Cesare Sottocorno.

Rebecca Boyle

La nostra luna

di Marco Castellani



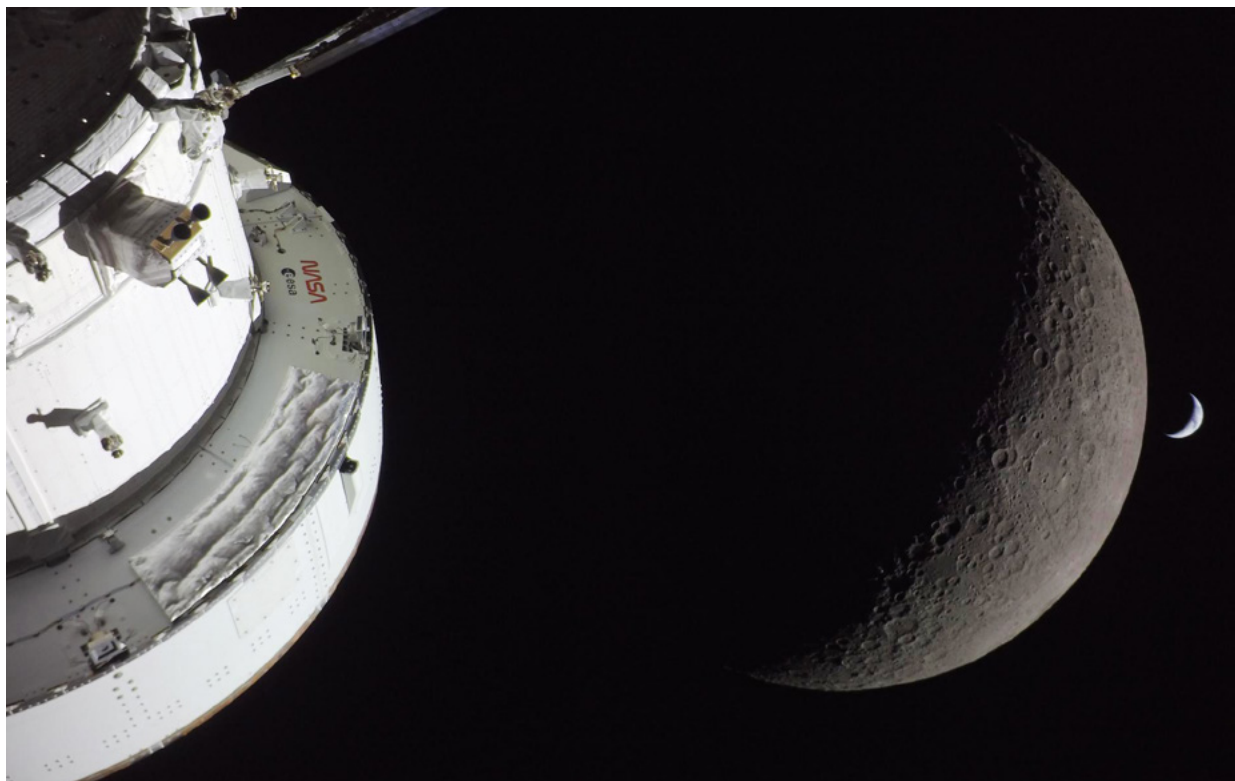
In questo momento in cui gli occhi e le attenzioni si concentrano sulla possibilità per l'essere umano di rimettere piede sulla Luna, questo libro offre un viaggio ricco di fascino e scoperta. Perché la Luna è ancora lì a osservarci e pronta a essere osservata e studiata.

La Luna è la parte più contigua a noi del cosmo; è dove l'universo ci viene davvero a trovare, ci "tocca": non vi è necessità di alcuna sofisticata strumentazione per ammirarla. Rebecca Boyle con *La nostra luna* (Aboca, 2025) scrive un'opera importante e necessaria, in quest'epoca di "ritorno alla Luna" attraverso le missioni Artemis (e non solo).

In tre estese sezioni (*Come si è formata la Luna*, *In che modo la Luna ci ha creati* e *In che modo abbiamo creato la Luna*) Boyle ci guida infatti attraverso un viaggio affascinante di (ri)scoperta del nostro unico satellite naturale, condotto con sguardo felicemente panoramico, capace di abbracciare la scienza, la storia, la mitologia, le missioni spaziali, la storia dell'origine della vita, lo studio del cosmo in senso più vasto. Restituendoci, alla fine, un quadro della Luna che va oltre il semplice trattato scientifico – sia pure di taglio divulgativo – e ambisce piuttosto a osservarla da una feconda molteplicità di angoli.

Per infiniti motivi, siamo ciò che siamo anche grazie alla Luna: questo testo, prodigo di informazioni e redatto in modo limpido e chiaro, ci aiuta finalmente a comprenderlo. Con autentico spirito scientifico, non vengono elargite certezze

Questo libro ci ricorda come il cielo abbia plasmato un'umanità che, per la maggior parte della sua esistenza, ha vissuto a stretto contatto con il Sole, la Luna e gli astri



SIAMO RIMASTI IN TRE
 La navicella spaziale Orion, la Luna e la Terra insieme nello scatto raccolto dall'equipaggio di Artemis II la sera del sesto giorno di missione.
 Crediti: Nasa

statiche nel testo: piuttosto, di pagina in pagina si avverte il fermento delle varie teorie riguardo l'influenza della Luna su mille ambiti della vita umana (perfino quello riproduttivo).

Contribuisce non poco alla sua appetibilità il fatto che si tratti di un libro di incontri e di relazioni. Non un arido elenco di nozioni, piuttosto un itinerario ragionato in cui l'autrice ci invita a prendere posto accanto a lei per accompagnarla nei suoi diversi viaggi di esplorazione, per andare a parlare con esperti di una o l'altra disciplina: con il desiderio, mai esausto, di farsi raccontare, di gettare luce su un ennesimo punto di vista, su un ulteriore spicchio di Luna.

Con lei entriamo dunque nella sala riservatissima del Johnson Space Center della Nasa a Houston, dove si conservano i campioni di rocce lunari. E sempre in sua compagnia, varchiamo l'entrata di musei, ripercorriamo i pensieri avanzati da filosofi e scienziati nel corso dei millenni, scopriamo come la Luna abbia sorprendentemente influenzato la vita sulla Terra, o addirittura – secondo alcune ipotesi – ne sia stata causa imprescindibile. Con una particolare attenzione al lato umano della storica impresa, seguiamo gli astronauti di Apollo 11 non soltanto durante l'arrivo sulla Luna ma anche dopo il ritorno, apprendendo come un'esplorazione di tale portata abbia rivoltato completamente il seguito della loro vita sulla Terra.

Un aspetto da menzionare – insolito in un libro di alta divulgazione come questo – è la completa mancanza di illustrazioni. Se questa scelta all'inizio può lasciare perplessi, proseguendo nella lettura la si avverte come pienamente funzionale al racconto della Luna condotto nel testo, all'attitudine di Boyle di evocare e non appena di illustrare.

Entrare nella nuova epoca lunare con libri come questo aiuta anche a vivere il presente con maggiore consapevolezza. E, cosa non meno importante, alimenta il nostro senso di meraviglia per il cosmo, di cui la Luna rimane certamente l'avamposto più suggestivo e più evidente. ■

Se lo spazio diventa sonoro

di Chiara Badia

Nel Novecento, con le scoperte astronomiche e l'era spaziale, il cielo smette di essere solo un simbolo poetico ma si consolida come un vero e proprio territorio musicale. Musicisti e compositori traducono il moto delle stelle in strutture sonore, evocano la vastità e la spiritualità del cielo o trasportano l'ascoltatore nello spazio attraverso elettronica e improvvisazione, creando un linguaggio unico per raccontare il cosmo.

Durante tutto il Novecento, la musica ha costruito un dialogo con l'universo traducendo l'immensità, il silenzio e il mistero dello spazio in suoni, atmosfere e strutture complesse. Un po' come se la musica sentisse e immaginasse ciò che la scienza osserva e misura.

Tra i pionieri di questa sensibilità vi è Edgard Varèse, che negli anni Cinquanta definisce la musica come «proiezione di corpi sonori nello spazio». In *Déserts* fonde strumenti tradizionali e nastri magnetici per evocare paesaggi sonori alieni, anticipando la musica elettronica e la spazializzazione sonora. Tra i principali innovatori della musica del ventesimo secolo, seppur le sue prime opere si siano perse in un incendio durante la Prima guerra mondiale, il suo uso pionieristico di percussioni e tecnologie elettroniche ha influenzato profondamente l'avanguardia e la musica elettronica contemporanea. Ancora più radicale è Iannis Xenakis, ingegnere e architetto oltre che musicista, che in opere come *Metastaseis* e *Pithoprakta* utilizza modelli matematici per imitare il moto delle particelle e le dinamiche universali. Sfruttando computer per gestire migliaia di minuscoli eventi sonori, crea un suono "globale", elementare e organico, a dir poco spaziale. Nelle sue opere, il suono diventa una sorta di "materia in movimento", evocando strutture e processi di ordine e caos come quelli studiati in astrofisica.

La musica diventa una sorta di "astronomia sonora" e gli anni Sessanta e Settanta segnano l'ingresso del cosmo nell'immagi-

Con l'aumento delle missioni spaziali, intorno agli anni Ottanta, la musica elettronica diventa strumento privilegiato per rappresentare il vuoto siderale

pop



MUSICA NUOVA
Vangelis in studio fra tastiere e sintetizzatori: il compositore greco è stato tra i primi a utilizzare gli strumenti elettronici per creare paesaggi sonori inediti.
Crediti: Vangelis Foundation

nario contemporaneo. Le composizioni di György Ligeti, come *Atmosphères* e *Lux Aeterna*, sospendono melodia e ritmo, creando nuvole sonore che evocano lo spazio infinito. Olivier Messiaen, con *Des canyons aux étoiles...*, e Alan Hovhaness in *Vision of Andromeda*, intrecciano osservazione astronomica e misticismo, mentre George Crumb, con il ciclo *Makrokosmos*, integrando simboli zodiacali e meccaniche celesti, spesso citando stelle e galassie (come nei brani *Spiral Galaxy* e *Alpha Centauri*), trasforma il pianoforte in una navicella per viaggi interstellari.

Con l'aumento delle missioni spaziali, intorno agli anni Ottanta, la musica elettronica diventa strumento privilegiato per rappresentare il vuoto siderale. Brian Eno, in *Apollo: Atmospheres and Soundtracks*, offre atmosfere sospese in assenza di gravità e immerse nel silenzio cosmico. Il compositore greco e premio Oscar, Vangelis, nei suoi due concept album *Albedo 0.39* e *Rosetta* – ispirato dall'omonima missione e da una telefonata con l'astronauta André Kuipers – fonde sintetizzatori e *sequencer* per tradurre in suono pianeti, dati astronomici, satelliti e missioni spaziali.

Ma il cosmo entra anche nel jazz e nel rock psichedelico. Nell'album *Space is the place*, il visionario Sun Ra combina elettronica afro o jazz sperimentale con la filosofia cosmica, dichiarandosi originario di Saturno. Nel rock psichedelico, band come i Pink Floyd hanno esplorato lo spazio in brani come *Astronomy Domine*, composta da Syd Barrett fondendo elettronica e riverberi per creare viaggi siderali tra i pianeti.

Nella seconda metà del Novecento, cinema e televisione hanno amplificato questa tendenza, trasformando il cosmo in qualcosa di percepibile non solo con la mente. Ciò accade nel film *2001: Odissea nello spazio* di Kubrick, con i brani di Ligeti, e in *Solaris* di Tarkovskij, con musiche di Artemiev. I toni elettronici e atmosferici si fondono con immagini e visioni, rendendo l'universo non più solo un concetto astratto, scientifico, distante ma uno spazio quasi tangibile, capace di suscitare meraviglia e senso di appartenenza. ■

Don Chisciotte De La Palma

di Angelo Adamo

Per volere di un modesto scribacchino, dopo cinque secoli Don Chisciotte, Ronzinante, Sancho Panza e il suo mulo ricompaiono sulla sommità del Taburiente, vulcano dell'isola di La Palma. Oggi lì vi sono molti strumenti della ricerca astrofisica, tra i quali pure i due grandi telescopi Cherenkov della collaborazione Magic.

– Che succede? Ricordavo d'esser morto. Questa, poi, non par affatto esser la Mancha, ma non importa: anche su quest'isola ci saranno occasioni di battaglia per un cavaliere che si rispetti. Ad esempio, Sancho, vedi quei due giganti? Ho intenzione di ucciderli, giacché è giusto combattere in nome di Dio per liberare la Terra da simili mostruosità.

– Quali giganti? – chiese lo scudiero. – Pensavo fosse rinsavito, messer Alonso Quijano, e invece vaneggia di nuovo di giganti, uccisioni e combattimenti. Ricordi cosa le capitò con i mulini a vento, piuttosto!

– Non so davvero di cosa vai blaterando. Io sono Don Chisciotte della Mancha, cavaliere e devoto di Dulcinea del Toboso! E quelli laggiù dalle facce così larghe senza dubbio sono giganti!

– Ritorni in sé e guardi meglio – aggiunse Sancho Panza. – Non so bene cosa quegli affari siano, ma a me sembrano grandi telai pieni di specchi che ogni tanto si muovono...

– Si vede che ancora non sei pratico di avventure. Se hai paura, scansati e prega. Io vado a sconfiggerli!

Dette queste parole, il vecchio e smilzo Alonso, ignorando i tentativi dell'amico di farlo ragionare, lancia in resta, spronò Ronzinante urlando all'indirizzo dei telescopi Cherenkov:

– Non fuggite, codarde creature, ché è un cavaliere solo che vi assale!

In quel mentre un astronomo, preparandosi alla nottata di lavoro al chiostro dell'osservatorio e ignaro dell'arrivo della strana e anacronistica figura, diede i comandi per muovere i due enormi telescopi. Vedendoli in moto, Don Chisciotte si allarmò e spinse con maggior foga la sua cavalcatura. Arrivato che fu a folle velocità sotto il più vicino dei due, infilò, invasato, la lancia tra gli specchi proprio nel momento in cui quel poderoso strumento stava ruotando veloce verso le alte declinazioni. La leva operata sull'arma dalla

L'INGENOSO GENTILUOMO
Il testo in queste pagine è liberamente ispirato a
Don Chisciotte della Mancha di Miguel de Cervantes.
Illustrazione di Angelo Adamo

struttura metallica, dopo aver scagliato in aria cavallo e cavaliere, la spezzò in due tronconi, e la calma piatta di quella vetta fu sconvolta da un urlo, un lungo nitrito e uno schiocco secco e ligneo. L'ex scudiero accorse — per quanto il suo mulo potesse "accorrere" — in aiuto del poveretto ansimante, steso malconco tra massi e arbusti.

— Proprio come con i mulini! L'avevo avvertito di stare attento a ciò che faceva!

— Caro Sancho, per un crudele e beffardo inganno del tempo e della letteratura siamo tornati a esistere, e nonostante la mia periodica follia, la botta appena ricevuta mi ha fatto di nuovo rinsavire. Questo mondo non lo riconosco. Non è più adatto a noi e ai miei sogni popolati da mostri antichi, e non certo da altri moderni come questi. Prima di morire mi ero raccomandato che non venisse mai più scritto un'ulteriore capitolo delle avventure di quel pazzo che fui. Ora confido solo nella pietà del nuovo autore, che ci faccia tornare al nostro tempo e che, con la fine della pagina, faccia terminare pure questa estensione non richiesta della nostra esistenza.

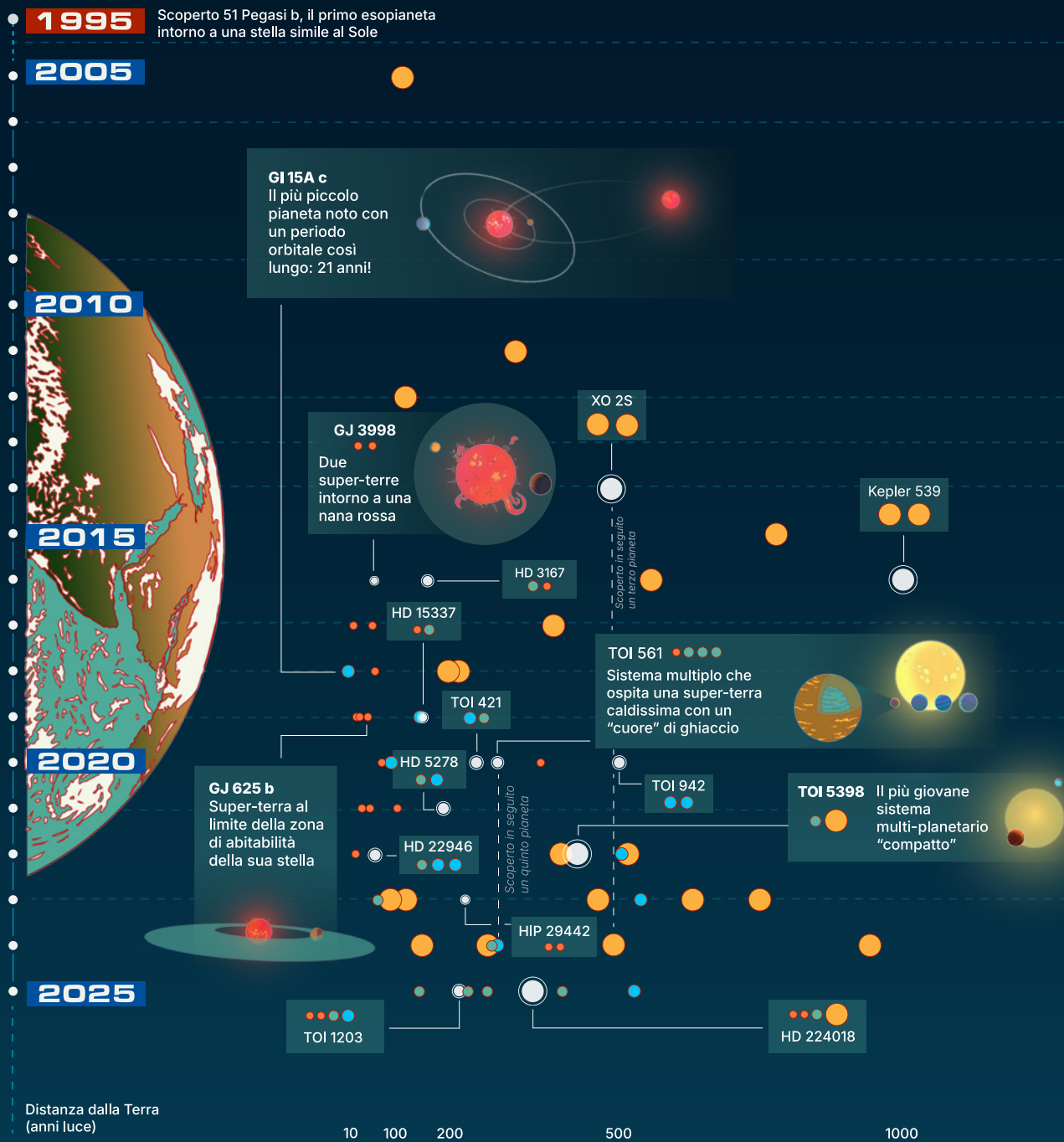
E così come erano apparsi, Don Chisciotte, Sancho Panza, Ronzinante e il mulo evaporarono nella tenue nebbia serale. Ma non svanì l'arma spezzata, e il mistero di un moncone di lancia del quattordicesimo secolo, incuneato fra gli specchi di quel telescopio, ancora impegna storici e astrofisici con ipotesi fantascientifiche. ■



Gli esopianeti scoperti in Italia

di Fortuna, Mignone, Sicilia, Benatti, Rainer

universi



Degli oltre 6mila pianeti extrasolari noti, **84** sono stati svelati per la prima volta in studi guidati da ricercatrici e ricercatori affiliati a enti, atenei e progetti italiani. Queste scoperte sono solo la punta dell'iceberg del grande contributo scientifico dell'Italia alla ricerca sugli esopianeti, che vanta oltre **2700** pubblicazioni scientifiche dedicate anche, e soprattutto, alla caratterizzazione di questi mondi lontani.

NON SOLO SCOPERTE

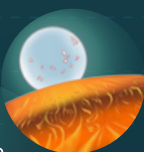
Negli ultimi 30 anni, la comunità di ricerca italiana ha anche caratterizzato moltissimi pianeti e le loro atmosfere. Ecco alcuni dei più bizzarri:



TRES-4 b

Gioviano caldo, poco denso: potrebbe galleggiare sul mare!

Il più studiato!



Kelt-9 b

Il più caldo gioviano noto, con atomi di ferro in atmosfera

TOI-1807 b

Pianeta roccioso, il più giovane con orbita ultra-breve: solo 13 ore!



HARPS @ ESO 3.60M

COROT

KEPLER

HARPS-N @ TNG

GAIA

SPHERE @ VLT

GIANO-B @ TNG

TESS ESPRESSO @ VLT

CHEOPS

JWST

SHARK VIS & NIR @ LBT

- Gigante gassoso
- Nettuniano
- Mini-nettuno
- Super-terra
- Sistema multiplanetario

100+
persone coinvolte

2700 +
pubblicazioni
di cui
2000 +
peer reviewed

6
strumenti su
telescopi a terra
+2 previsti

1
missione
spaziale
+2 previste

1500

2000

2500



Finito di stampare
a maggio 2026 presso
Grafiche Zanini, Anzola dell'Emilia (Bologna)

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