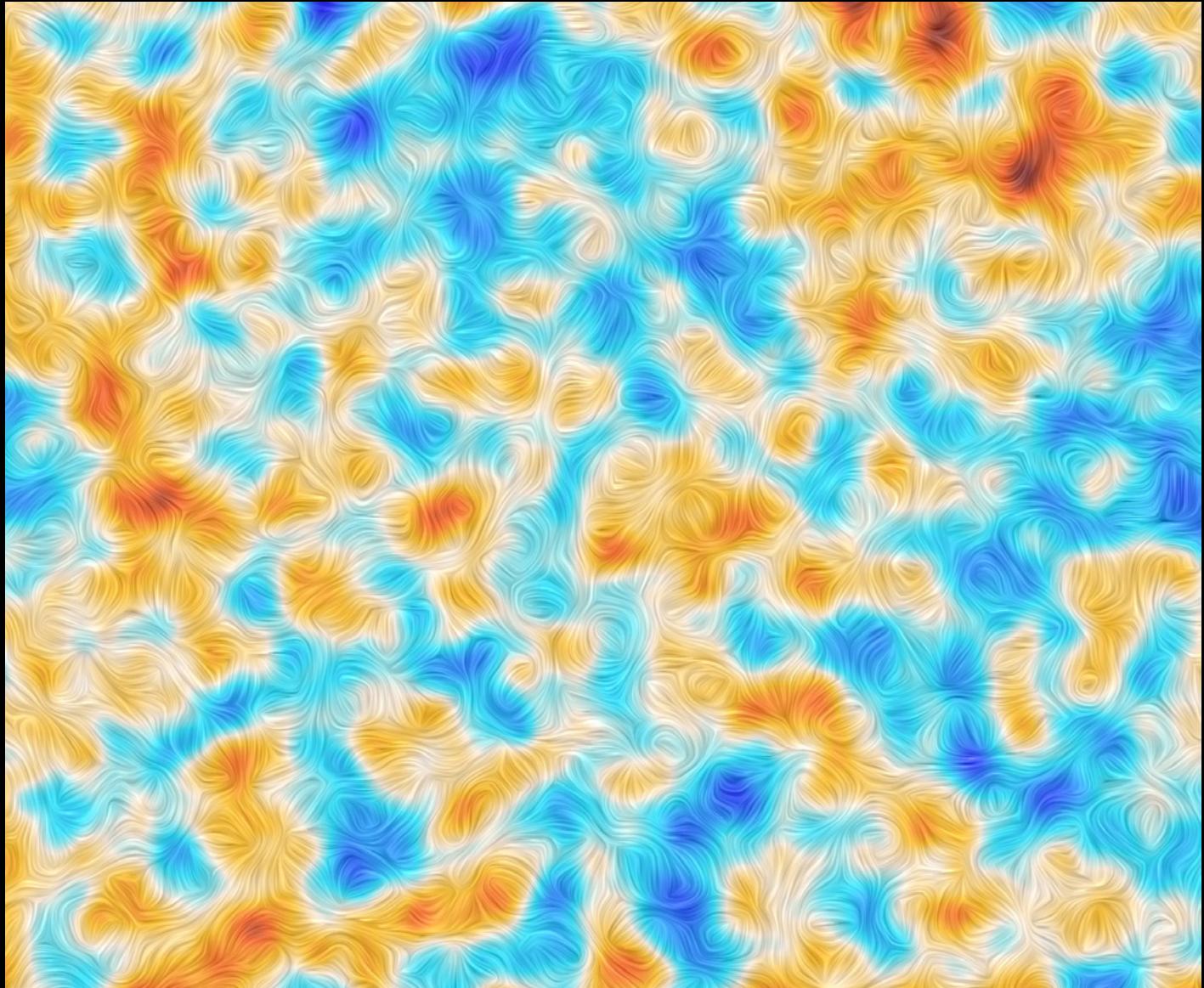


u n i v e r s i

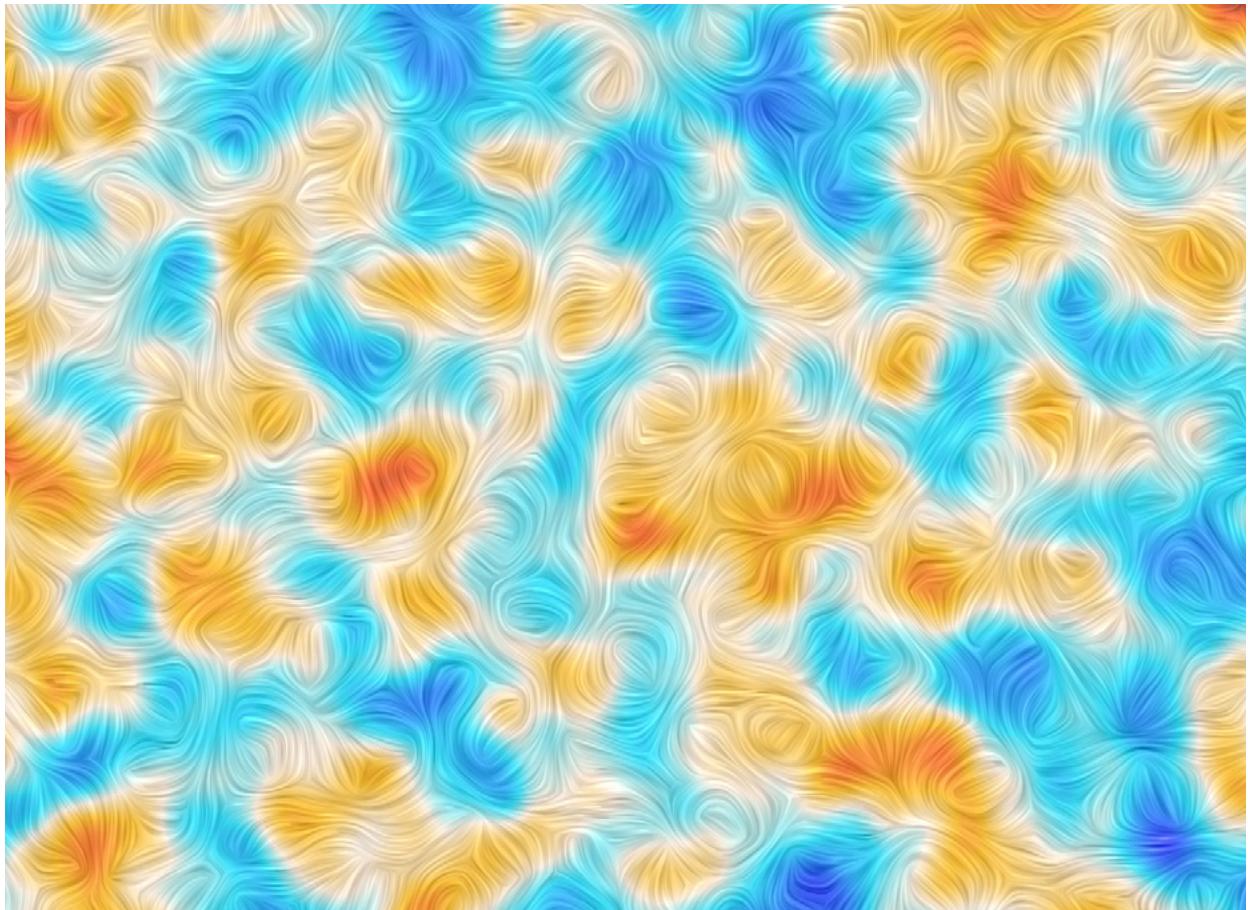


rivista semestrale
dicembre 2025

6
inaf

8 Euclid e le lenti gravitazionali forti **16** Dai clumps ai cores, verso la massa delle stelle **26**
Il Sole e l'origine del vento elicoidale **34** Stelle divorate da buchi neri **42** Soxs: pronti a osservare gli eventi transienti **52** Lampi gamma sopra le nuvole

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 Borga

IN REDAZIONE

Angelo Adamo,
Francesca Maria Aloisio,
Chiara Badia, Davide Coero
Borga, Eleonora Ferroni,
Giuseppe Fiasconaro,
Marco Galliani, Valentina
Guglielmo, Laura Leonardi,
Marco Malaspina, Claudia
Mignone, Maura Sandri,
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 6

In questo numero

- | | |
|-----------|---|
| 8 | RSN 1 GALASSIE E COSMOLOGIA Euclid e le lenti gravitazionali forti |
| 16 | RSN 2 STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE
Dai clumps ai cores, verso la massa delle stelle |
| 26 | RSN 3 SOLE E SISTEMA SOLARE Il Sole e l'origine del vento elicoidale |
| 34 | RSN 4 ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE Stelle divorate da buchi neri |
| 42 | RSN 5 TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE Soxs: pronti a osservare gli eventi transienti |

5

EDITORIALE

Bilanci cosmici

8

RSN 1 Euclid e le lenti gravitazionali forti

16

RSN 2 | Dai clumps ai cores, verso la massa delle stelle

26

RSN 3 | Il Sole e l'origine del vento elicoidale

34

RSN 4 | Stelle divorate da buchi neri

42

RSN 5 | Soxs: pronti a osservare gli eventi transienti

52

**INTERVISTA A
MARTINO MARISALDI**

Lampi gamma sopra le nuvole

56

VISIONE

testi di Davide Coero Borga
scatti di Riccardo Bonuccelli

64

FLASH

di Eleonora Ferroni

70

TECH

Vst sotto una nuova luce
di Rossella Spiga

72

INCONTRI

Seconda stella a destra:
itinerari di meraviglia
di Francesca Maria Aloisio

74

METAVERSO

Scoprire il cielo,
programmando
tra le stelle
di Laura Leonardi

76

ART

Un rifugio nello spazio
di Claudia Mignone

78

GREEN

LignoSat, il primo
satellite in legno
di Valentina Guglielmo

80

ASTROBIOLOGIA

Da Darwin al
Mediterraneo:
le origini della vita
di Giuseppe Fiasconaro

82

MUSEI

La Specola: cuore
astronomico di Padova
di Valeria Zanini e Federico
Di Giacomo

86

SCUOLA

Iniziative per il nuovo
anno scolastico
di Livia Giacomini

88

SOCIETÀ

Una nuova rete: la
Community degli
inventori
di Filide Calderini e Andrea
Merlo

90

LIBRI

Roberto Trotta
*Il cielo stellato sopra
di noi*
di Salvatore Lampitelli

92

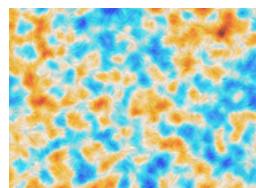
POP

Le stelle tra orchestra
e cinema
di Chiara Badia

94

ALTRIVERSI

Il buio si muove
di Angelo Adamo



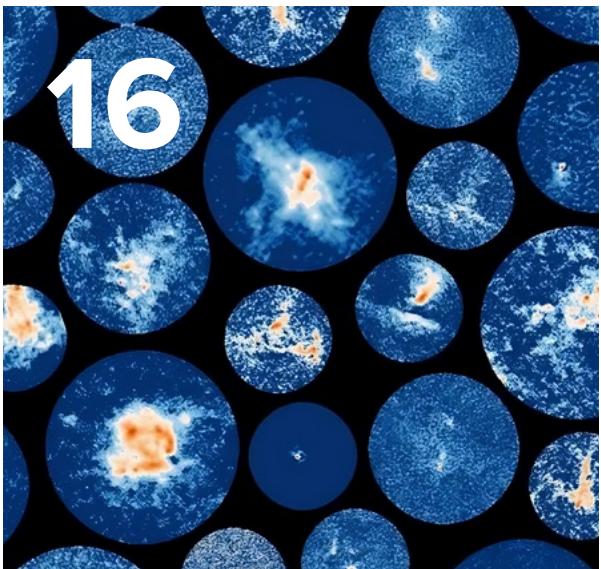
in copertina

La polarizzazione della
radiazione cosmica di fondo
a microonde su un piccolo
quadrato di cielo, così come
rilevata dal satellite Planck.
Crediti: Esa/Planck Collaboration

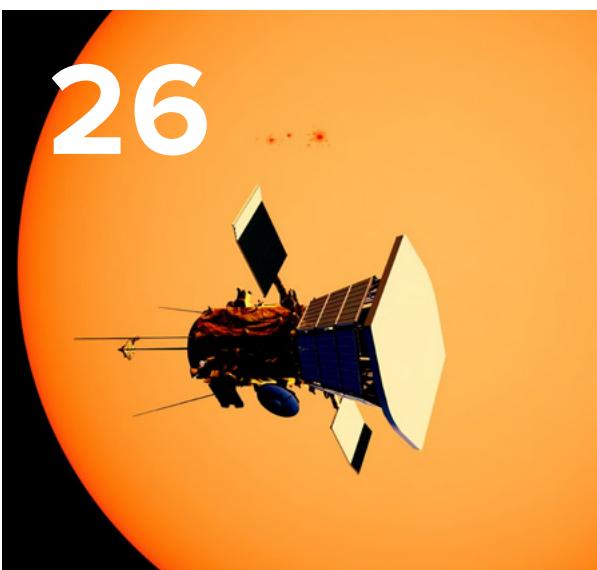
8



16



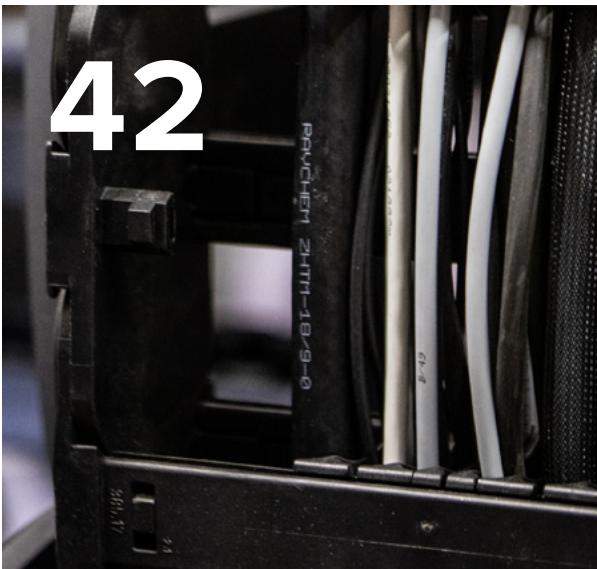
26



34



42



56



COSPAR 2026



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA



AUGUST 1-9, 2026
FLORENCE, ITALY
FORTEZZA DA BASSO
V.LE FILIPPO STROZZI, 1



editoriale

BILANCI COSMICI

La fine dell'anno è un evento del tutto convenzionale, e la durata stessa del suo intervallo è maledettamente antropica – dopotutto, conosciamo pianeti attorno a pulsar il cui periodo orbitale è di poco più di un'ora e mezza. Eppure, è inevitabile volgere lo sguardo all'indietro per tentare un bilancio.

Il 2025 è stato un anno ricco di anniversari di scoperte che hanno segnato la nostra visione dell'universo. Trent'anni fa Michel Mayor e Didier Queloz – premi Nobel per la Fisica nel 2019 – annunciavano la scoperta di 51 Pegasi b, il primo pianeta conosciuto in orbita attorno a una stella "normale" ma diversa dal Sole. A oggi, sappiamo dell'esistenza di oltre 6mila esopianeti, e questo numero è destinato a crescere inesorabilmente. Sessant'anni fa, Arno Penzias e Robert Wilson – premi Nobel per la Fisica nel 1978 – pubblicavano su *The Astrophysical Journal Letters* l'articolo sulla scoperta della radiazione cosmica di fondo, la traccia fossile del big bang. Una scoperta nata dal caso, ma destinata a rivoluzionare la cosmologia e la nostra conoscenza dell'universo primordiale. La copertina di questo numero di *Universi* è dedicata a George F. Smoot, scom-

parso lo scorso 18 settembre, che con John C. Mather ricevette il Nobel per la Fisica nel 2006 per la scoperta delle anisotropie della radiazione cosmica di fondo.

Sono due scoperte che si inseriscono in un flusso di ricerche portate avanti con tenacia da un grande numero di scienziate e scienziati, impegnati a esplorare un cielo che si è sempre rivelato – e con ogni probabilità continuerà a rivelarsi – imprevedibile. Scoperte che hanno portato a nuove domande, che richiederanno ulteriori osservazioni e la progettazione e costruzione di nuovi strumenti per scrutare il cosmo. Guardare avanti, dunque, non è solo naturale: è necessario.

Questo numero di *Universi* si apre all'insorga di grandi temi tra cui le lenti gravitazionali osservate da Euclid, i meccanismi che regolano la nascita e l'evoluzione delle stelle, fino alle spirali di plasma che attraversano lo spazio e agli strumenti come Soxs, pronti a osservare i fenomeni più rapidi, imprevedibili e misteriosi del cielo.

Un'occasione importante per valorizzare il ruolo dell'Inaf e dell'Italia nel panorama internazionale, e per consolidare le collaborazioni che rendono possibile la ricerca astrofisica di frontiera, sarà l'assemblea scientifica del Cospar (il Comitato internazionale per la ricerca nello spazio), uno degli appuntamenti più rilevanti per la ricerca spaziale mondiale, che si terrà a Firenze nel 2026, dopo l'ultima edizione del 2024 in Corea.

Nelle pagine di *Universi* ritroviamo l'energia di una comunità scientifica che unisce ingegno, innovazione e visione. Per noi l'universo che esploriamo non è solo un oggetto di studi, ma una frontiera aperta: un luogo dove la curiosità incontra il futuro. Con questo spirito, auguriamo a tutte le lettrici e ai lettori un 2026 di nuove scoperte, di collaborazione e di conoscenza condivisa.

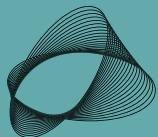
Roberto Ragazzoni
Presidente dell'Inaf



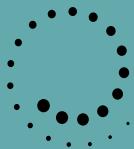
**Dedichiamo
la copertina
del numero
a George
F. Smoot,
scomparso il 18
settembre 2025**

RSN

I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI
NAZIONALI DELL'INAF



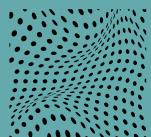
GALASSIE
E COSMOLOGIA



STELLE,
POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE



SOLE E SISTEMA
SOLARE



ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE

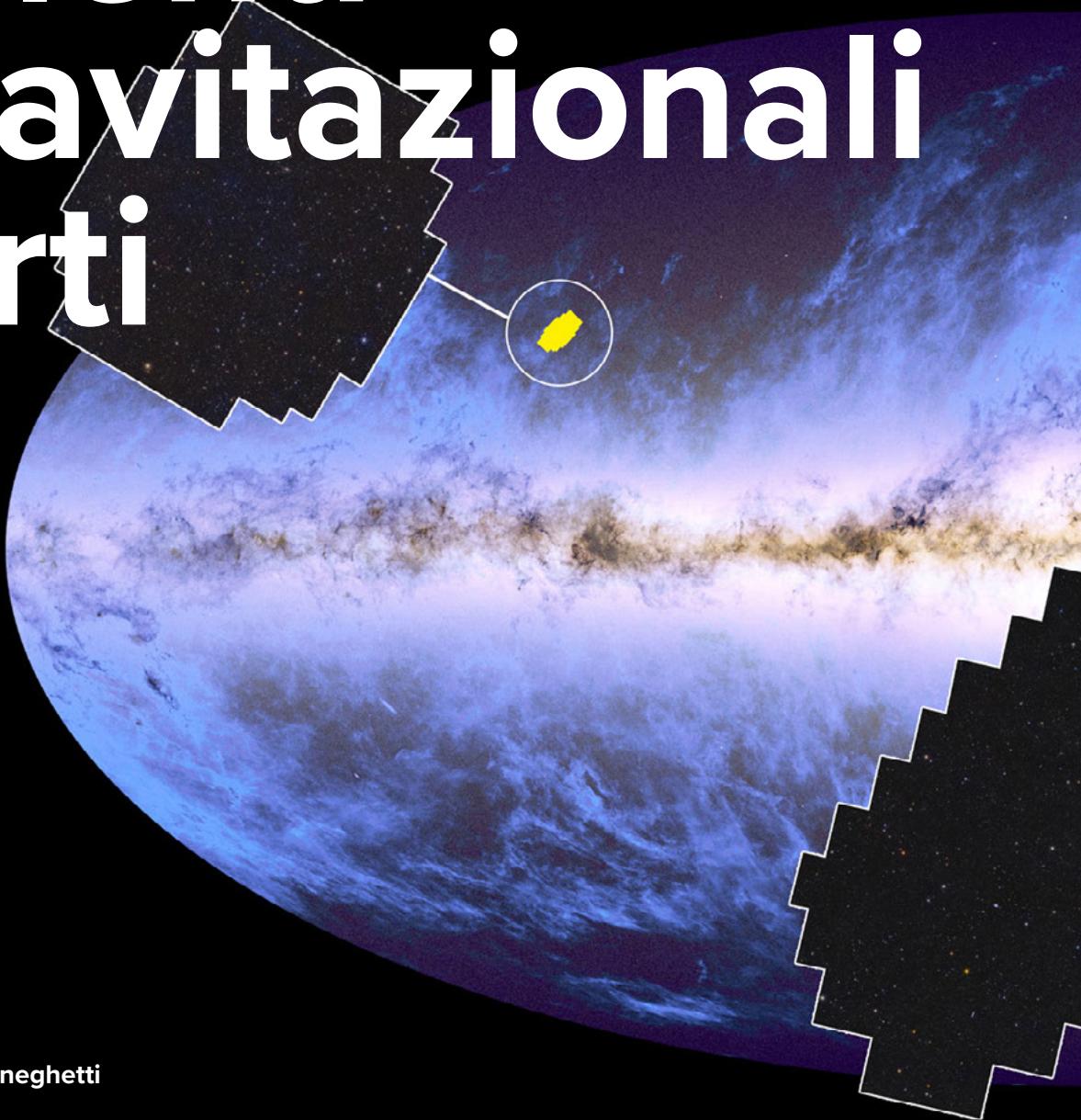


TECNOLOGIE
AVANZATE E
STRUMENTAZIONE



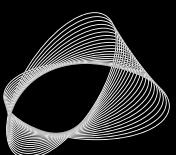
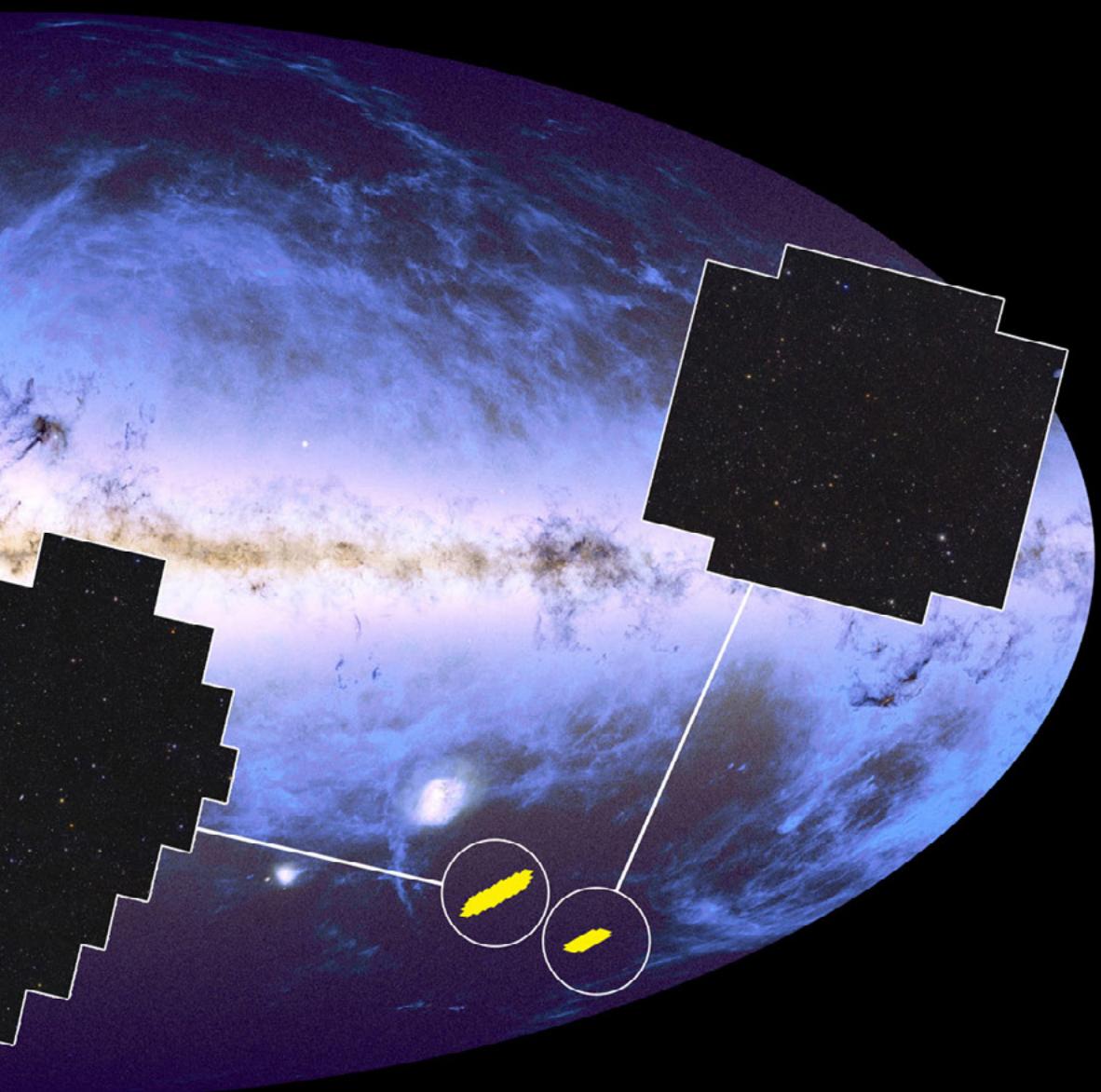


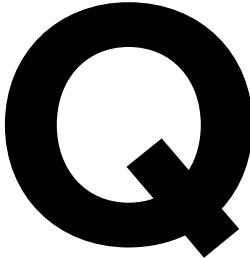
Euclid e le lenti gravitazionali forti



di Massimo Meneghetti

Una galassia vicina alla nostra e la sua croce di Einstein sono state solo la prima dimostrazione delle potenzialità incredibili di Euclid. La missione dell'Esa offre un'enorme opportunità per la ricerca delle lenti gravitazionali forti, ma anche una grande sfida: dotarsi di strumenti adeguati per analizzare l'enorme mole di dati che genererà.





Quando la missione Euclid dell'Agenzia spaziale europea ha iniziato a osservare il cielo nel 2023, è parso subito evidente che sarebbe stata in grado di trasformare la ricerca delle lenti gravitazionali forti – finora un campo fatto di scoperte episodiche – in un'indagine sistematica e su larga scala. La sfida è enorme: analizzare miliardi di galassie per individuare quei rarissimi allineamenti tra oggetti in cui la luce di uno lontano viene deflessa dalla gravità di una galassia, o di un ammasso di galassie, in primo piano e dà origine ad archi, immagini multiple e anelli spettacolari. Ma già i primi dati hanno mostrato che Euclid è all'altezza del compito.

LE SORPRESE DI NGC 6505

Uno dei primi casi di studio emblematici è NGC 6505, una galassia relativamente vicina alla Via Lattea, già nota da oltre 130 anni. Nessuno si era mai reso conto che questa galassia agisse da lente gravitazionale, trasformando una galassia più lontana in un anello completo. All'interno dell'anello, è racchiusa una configurazione di immagini nota come croce di Einstein: quattro immagini multiple del nucleo della galassia sorgente, disposte a croce attorno alla galassia lente a indicare un perfetto allineamento tra i due oggetti. È stato un banco di prova ideale per mostrare le capacità del telescopio: alta risoluzione ottica, sensibilità nel vicino infrarosso e campo di vista ampio. Studiando l'anello di Einstein e la dinamica stellare della galassia lente, i ricercatori hanno stimato la distribuzione di materia oscura e messo in evidenza come, nelle regioni centrali, la

componente stellare giochi ancora il ruolo dominante. Un risultato che conferma l'utilità di Euclid come strumento non solo per survey cosmologiche, ma anche per indagini dettagliate su singoli sistemi.

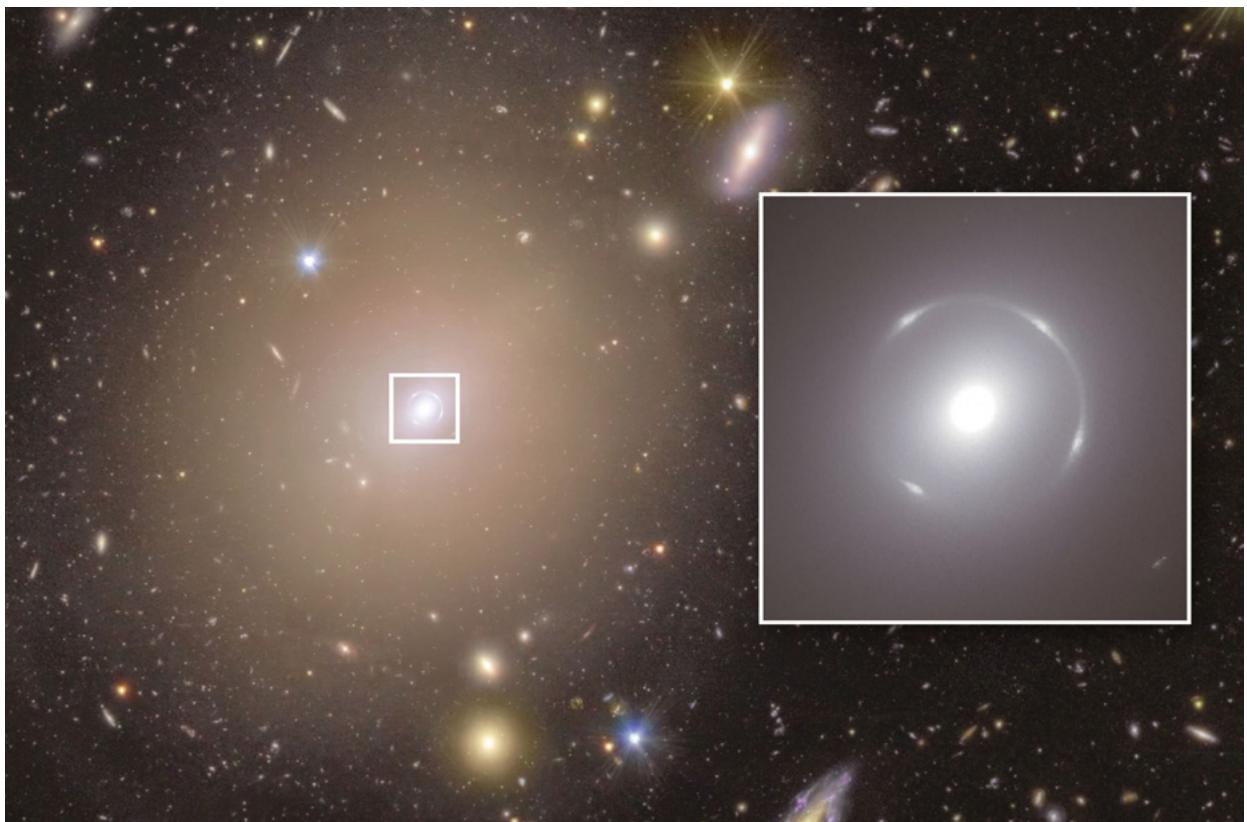
EARLY RELEASE OBSERVATIONS

Con le *early release observations* (Ero) – ovvero 17 regioni di cielo che rappresentano le prime osservazioni rese pubbliche dall'Esa – Euclid ha testato per la prima volta le pipeline di riduzione dati e le strategie per la ricerca di lenti gravitazionali forti. Un banco di prova importante è stato l'ammasso di Perseo, dove reti neurali convoluzionali (Cnn), inizialmente addestrate su dati simulati, sono state applicate alle osservazioni reali di Euclid. L'esperimento ha mostrato l'efficacia ma anche i limiti di queste tecniche: le Cnn generano infatti numerosi falsi positivi, che solo l'ispezione visiva riesce poi a scartare. Estendendo la ricerca, migliaia di candidati sono stati valutati con un approccio ibrido uomo-macchina: da oltre ottomila potenziali lenti di tipo galassia-galassia (nei quali sia la lente sia la sorgente sono galassie) si è arrivati a meno di un centinaio di candidati di buona qualità.

Parallelamente, è stata condotta un'analisi di lensing gravitazionale forte dell'ammasso di galassie Abell 2390, contenuto in un altro campo parte delle Ero. Questa analisi ha permesso di misurare la distribuzione di materia nella regione più centrale e più densa dell'ammasso. Successivamente, combinando le misure di lensing forte con quelle di lensing debole a più grande distanza dal

Con le *early release observations* (Ero) Euclid ha testato per la prima volta le pipeline di riduzione dati e le strategie per la ricerca di lenti gravitazionali forti

EUCLID DEEP FIELD NORTH, SOUTH, FORNAX
Alla pagina precedente, le regioni di cielo oggetto della *quick data release* 1 di Euclid. Si tratta di tre regioni che verranno osservate più volte dal telescopio spaziale dell'Esa nei prossimi anni.
Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa



centro – dove le forme delle galassie lontane sono leggermente deformate dalla gravità dell’ammasso –, è stato possibile misurare il profilo di massa della lente fino a oltre il raggio viriale. È stato il primo esempio di come Euclid possa combinare fenomeni di lensing che agiscono su scale molto diverse, fornendo misure coerenti della distribuzione di massa dai 30 Kpc centrali fino a 2 Mpc.

LA Q1 DATA RELEASE

Il salto di qualità è arrivato con la *quick data release 1* (Q1), pubblicata nel marzo 2025. Su un’area di 63 gradi quadrati, Euclid ha già dimostrato cosa significhi portare il lensing forte nell’era delle grandi statistiche. La collaborazione ha messo a punto lo *Strong lensing discovery engine* (Slde), un sistema integrato di algoritmi, *citizen science* e ispezione visuale da parte di esperti capace di filtrare milioni di immagini.

Con Q1 sono emersi circa 500 nuovi candidati lente galassia-galassia, tra cui spettacolari anelli di Einstein, sistemi di immagini multiple, lenti “viste di taglio” ed esempi rarissimi in cui una singola galassia distorce contemporaneamente due sorgenti retro-

stanti. Proprio questi ultimi casi, noti come *double-source-plane lenses*, sono particolarmente preziosi perché permettono di vincolare direttamente la geometria dell’universo. E il dato più sorprendente è che, dopo aver esplorato appena lo 0,4% del cielo che coprirà nei prossimi anni, Euclid ha già superato il numero totale di lenti precedentemente note.

Progressi altrettanto significativi sono arrivati sul fronte degli ammassi di galassie. Q1 ha portato alla pubblicazione del primo catalogo di ammassi-lente osservati da Euclid, frutto di una vasta ispezione visuale a cui hanno partecipato circa cinquanta esperti. Il catalogo raccoglie decine di sistemi, molti dei quali caratterizzati da archi spettacolari e immagini multiple.

In parallelo, tecniche di deep learning, come le *mask region-based Cnns*, hanno mostrato di poter identificare automaticamente gli archi luminosi prodotti da questi colossi cosmici. Un risultato cruciale: vista l’immensa mole di dati che Euclid genererà, non è pensabile affidarsi unicamente all’occhio umano. Questi strumenti di Intelligenza artificiale garantiranno la scalabilità neces-

L’ANELLO DI EINSTEIN

La Galassia Ngc 6505 vista dal telescopio spaziale Euclid. Il riquadro a destra mostra uno zoom della regione centrale che subisce l’effetto lente gravitazionale sulla luce proveniente dal nucleo della galassia.

Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa



saria per trasformare il lensing gravitazionale da fenomeno raro a risorsa statistica di precisione.

UN ARCHIVIO ENORME

I risultati della Q1 fanno intravedere la portata della rivoluzione che Euclid innescherà nello studio del lensing gravitazionale. Nel corso della missione, il telescopio scoprirà circa 200mila lenti su scala galattica e decine di migliaia di archi e immagini multiple in ammassi di galassie. Numeri che superano di gran lunga i cataloghi costruiti finora con Hubble, Jwst o con le survey da terra, e che permetteranno sia l'individuazione di casi

I risultati della Q1 fanno intravedere la portata della rivoluzione che Euclid innescherà nello studio del lensing gravitazionale. Il telescopio scoprirà circa 200mila lenti su scala galattica e decine di migliaia di archi e immagini multiple in ammassi di galassie

MA VISTE PRIMA

Una delle immagini pubblicate nell'ambito delle early release observations della missione spaziale Euclid. Si tratta di deboli galassie prima del tutto invisibili e così distanti che la loro luce ha impiegato 10 miliardi di anni per raggiungerci. Crediti: Esa/Euclid Consortium/Nasa



LA MAMMASSO DI PERSEO

L'immagine mostra mille galassie appartenenti all'ammasso stesso e oltre 100mila galassie aggiuntive più distanti, sullo sfondo, ciascuna contenente fino a centinaia di miliardi di stelle.
Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa

peculiari da studiare in dettaglio con l'ausilio anche di altri strumenti, sia studi statistici mai realizzati prima.

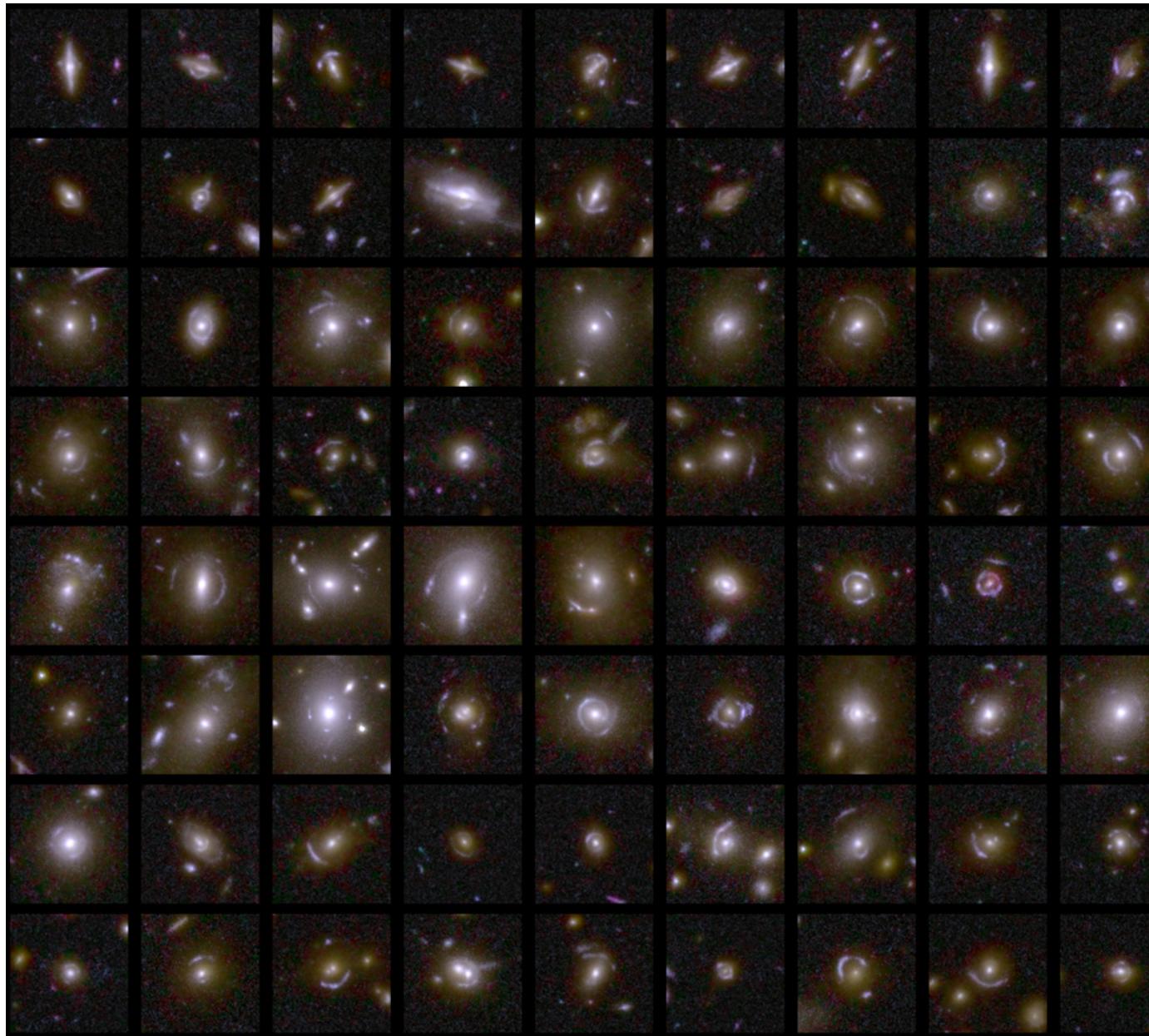
Un archivio di tali dimensioni diventerà la base di una nuova generazione di ricerche in astrofisica e cosmologia. Le lenti consentiranno di sondare la natura della materia oscura e la sua interazione con i barioni, di ricostruire come le galassie si formano ed evolvono, di porre vincoli su parametri cosmologici fondamentali come l'equazione di stato dell'energia oscura o il parametro di densità di materia (Ω_m). Non meno importante, gli ammassi-lente fungeranno da telescopi naturali, permettendo di osservare

galassie primordiali altrimenti invisibili e di esplorare le epoche più remote della storia cosmica.

LA MODELLIZZAZIONE DELLE LENTI

Per molte delle applicazioni scientifiche rese possibili dal lensing gravitazionale forte sopra menzionate è fondamentale costruire modelli accurati della distribuzione di massa nelle lenti. Talvolta la modellizzazione rende anche possibile distinguere se un candidato è davvero una lente o un falso positivo.

Il numero enorme di lenti che Euclid scoprirà rende impossibile un approccio tradizionale, basato su analisi manuali, len-

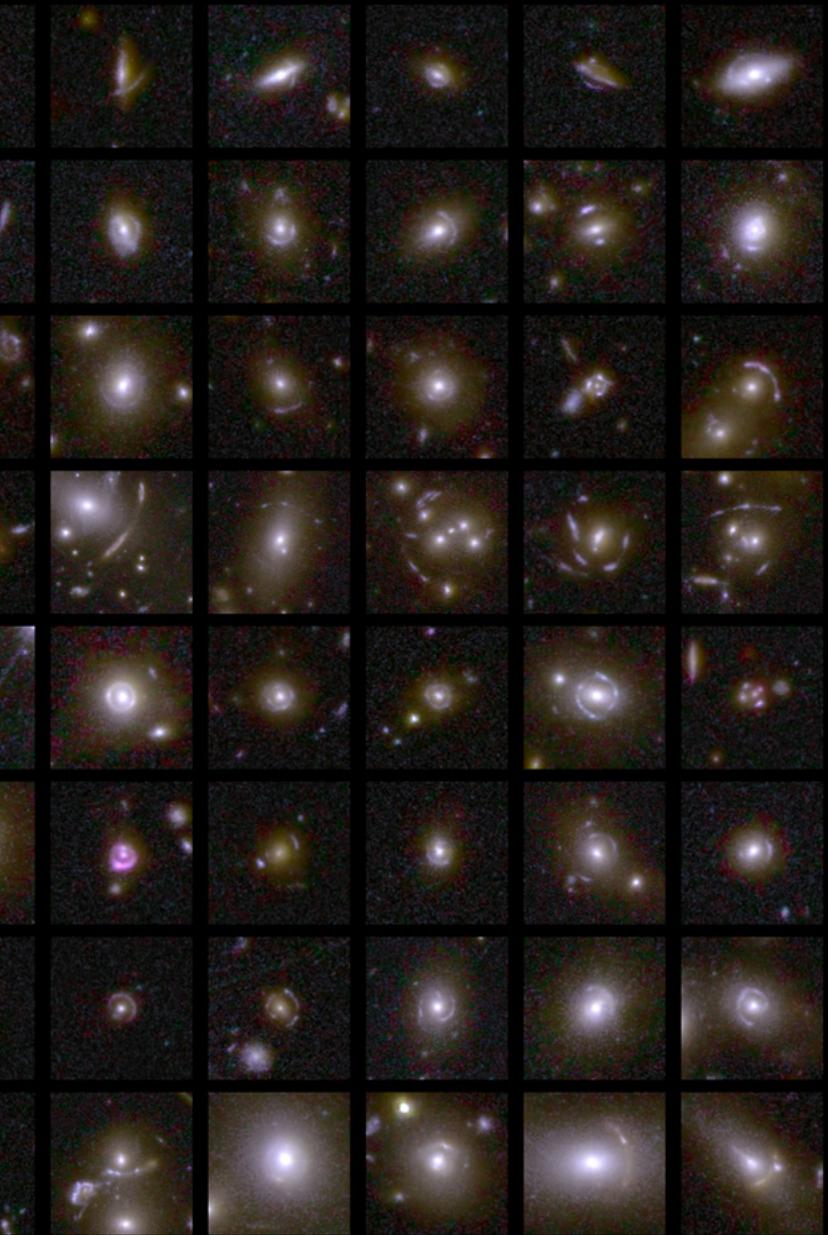


te e complesse. Servono strumenti rapidi e automatizzati come Lemon, basato su reti neurali bayesiane, o pyAutoLens, che hanno dimostrato già nell'analisi dei dati della Q1 di essere capaci di ricostruire i parametri principali di una lente in tempi molto ridotti. Sulla scala degli ammassi, l'automatizzazione del processo di modellizzazione è ancora più complessa, ma anche in questo ambito si stanno sviluppando strumenti per accelerare la procedura, usando supercomputer.

Un passaggio cruciale per la modellizzazione è la conoscenza dei redshift della lente e della sorgente. Senza queste informazioni non è possibile convertire gli angoli

osservati (come il raggio di Einstein) in quantità fisiche. Questi redshift dovranno essere ottenuti da misure spettroscopiche. Da un lato, sarà Euclid stesso con il suo strumento Nisp a permettere di ottenerle, almeno per le lenti più brillanti. Progetti come Elsa (<https://elsa-euclid.github.io/>) stanno sviluppando strumenti pensati proprio per sfruttare la spettroscopia di Euclid in sistemi complessi come le lenti forti.

Dall'altro lato, sarà necessario un vasto programma di follow-up spettroscopici da terra. Tra le iniziative già avviate spicca la 4MOST Strong lensing spectroscopic legacy survey (4SIsls), che si propone di ottenere



LENTI GRAVITAZIONALI
Una raccolta di lenti gravitazionali catturate da Euclid utilizzando un'analisi iniziale di modelli di Intelligenza artificiale, insieme a un progetto di citizen science e la conseguente verifica di un gruppo di esperti.
Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa

redshift per circa 10mila sistemi scoperti da Euclid, con misure aggiuntive di dispersione di velocità per 5mila galassie lente. Accanto a 4MOST, osservazioni mirate con strumenti di punta dell'Eso, come Muse e X-Shooter, giocheranno un ruolo decisivo nel confermare e caratterizzare le lenti più promettenti.

LA FORZA DEL NUMERO

Mettendo insieme un grande numero di galassie-lente e ammassi, Euclid potrà misurare come cambiano con il tempo le loro proprietà: la forma degli aloni di materia oscura, la concentrazione, il rapporto tra materia visibile e materia oscura nelle regioni centrali delle lenti

Mettendo insieme un grande numero di galassie-lente e ammassi, Euclid potrà misurare come cambiano con il tempo le loro proprietà: la forma degli aloni di materia oscura, la concentrazione, il rapporto tra materia visibile e materia oscura nelle regioni centrali delle lenti

sibile e materia oscura nelle regioni centrali delle lenti.

Si potrà misurare il numero di lenti in funzione del redshift, studiando come la prevalenza delle lenti dipenda dall'epoca cosmica e quindi dal modo in cui l'universo si espande sotto l'effetto delle sue componenti principali: materia ed energia oscura. Si potranno anche correlare le frequenze con cui si osservano fenomeni di lensing forte con altri quali la formazione stellare, merger tra ammassi, i feedback energetici da esplosioni di supernove e da nuclei galattici attivi.

Questi studi statistici ci permetteranno di studiare il processo di formazione e l'evoluzione delle strutture cosmiche e di capire meglio l'interazione tra materia oscura e barionica nelle regioni centrali delle lenti, fenomeni altrimenti difficili da comprendere con pochi esempi.

L'ALBA DI UN'ERA

Con le sue prime osservazioni, ovvero le *early release observations* e la data release Q1, Euclid ha dimostrato di essere un fenomenale cacciatore di lenti gravitazionali forti. È chiaro che stiamo vivendo l'alba di un'epoca nuova nello studio di questi fenomeni: non ci limiteremo più a poche centinaia di esempi, ma disporremo di numeri ampi e robusti che permetteranno un uso statistico delle lenti forti per applicazioni sia astrofisiche sia cosmologiche.

Dai clumps ai cores, verso la massa delle stelle

di **Sergio Molinari, Chiara Mininni e Alessandro Coletta**

Nel processo di frammentazione dei clumps in cores si nasconde il meccanismo che determina la massa delle stelle? Con il progetto Almagal l'interferometria millimetrica entra nell'era delle surveys galattiche statistiche. Analizzare come i cores nascono e come la loro massa cresce, ci avvicina a comprendere il meccanismo di formazione delle stelle.



STELLE, POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE

L

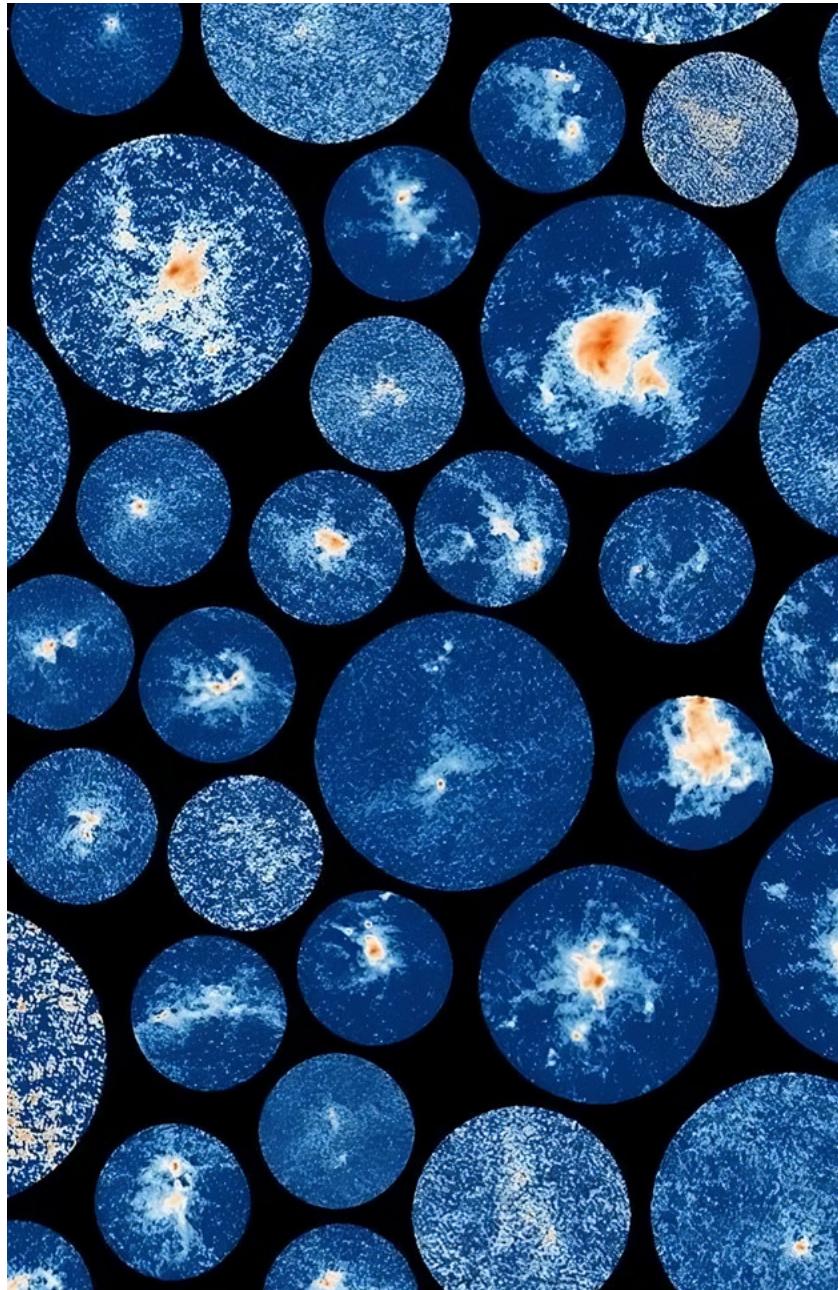
La Via Lattea, la nostra casa nell'universo, è un complesso ecosistema in cui un processo ciclico di trasformazione della materia bario-nica guidato dalla gravità, dalla turbolenza e dal campo magnetico, porta gas e polveri interstellari diffuse a condensarsi in strutture filamentari dense, lunghe anche molte decine di parsec. Gli stessi agenti fisici, con ruoli che ancora non conosciamo in dettaglio, sono poi responsabili della frammentazione dei filamenti in scale spaziali via via più piccole. Un primo stadio è costituito dalla formazione di strutture compatte dette *clumps*, con masse comprese fra decine e migliaia di masse solari e dimensioni dell'ordine del parsec. I clumps si frammentano ulteriormente fino a formare le unità elementari di materia densa, i *cores* in cui nascono le stelle, siano esse singole o in sistemi binari o multipli, con i rispettivi sistemi planetari. I cores hanno masse che vanno dal centesimo al centinaio di masse solari e dimensioni dell'ordine del centesimo di parsec.

LA MASSA DELLE STELLE

Una questione da sempre centrale nel panorama astrofisico è il perché le stelle abbiano la massa che hanno.

Le stelle di sequenza principale nella Galassia si trovano infatti distribuite con masse in accordo con una legge di potenza, la cosiddetta *initial mass function* (Imf). Ciò che sorprende è il fatto che la Imf abbia una pendenza “universale” con un esponente di circa -1,35.

Qualunque sia il meccanismo responsabile della massa finale delle stelle, esso dovrebbe essere attivo durante il punto più critico nel



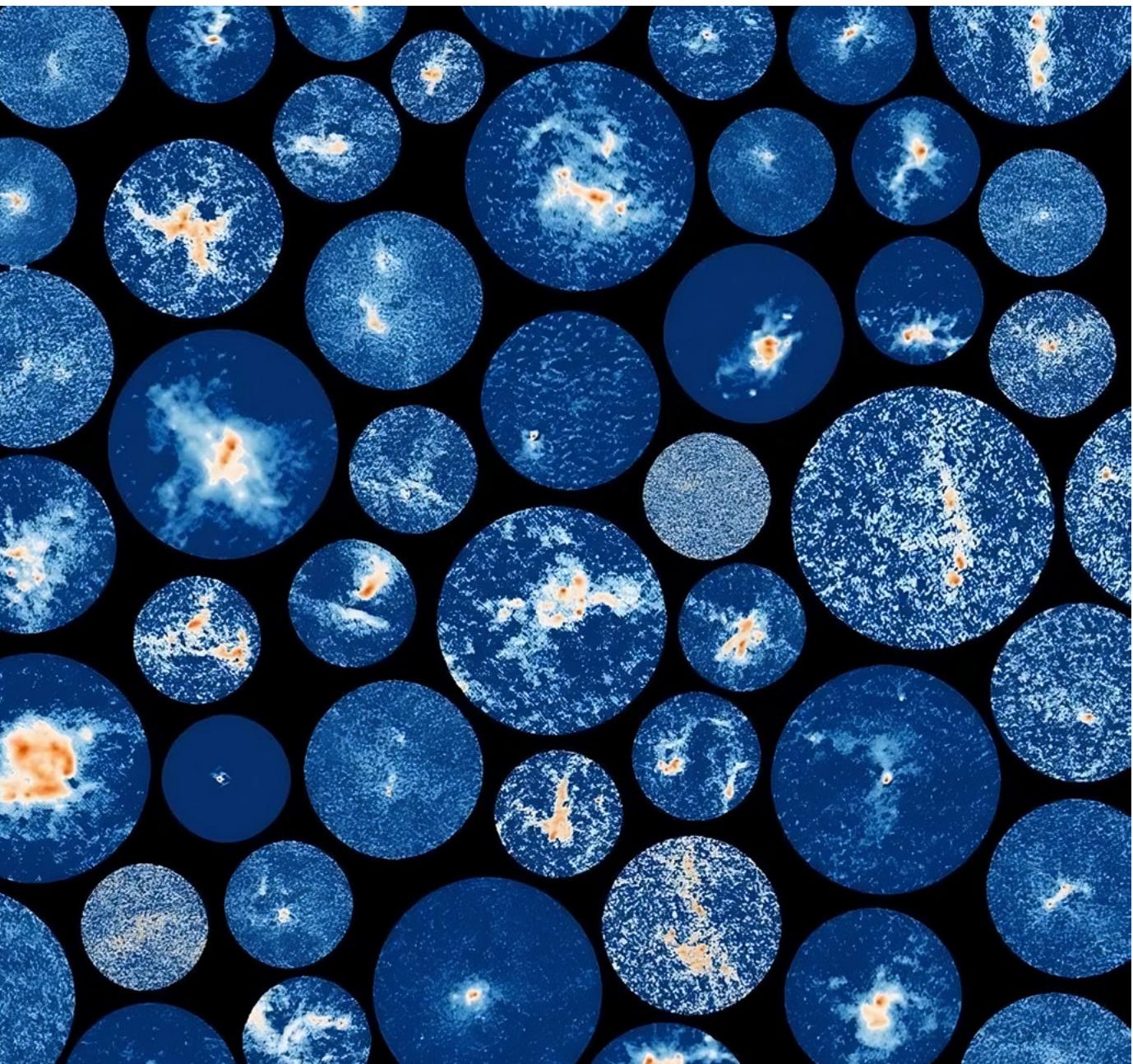
processo di frammentazione sopra descritto, e cioè quando i clumps si frammentano in cores. Come avviene questa frammentazione? I cores si formano tutti insieme con una massa già definitiva? O si formano con continuità nel tempo, accrescendo massa durante la frammentazione del clump? Qual è la funzione di massa dei cores? È simile a quella dei loro prodotti finale, e cioè le stelle?

ALMAGAL

Il progetto Almagal (un large project Alma coordinato dallo Iaps di Roma) è stato dise-

OVER THE RAINBOW

Alla pagina precedente, un raro arcobaleno sopra l'Operations Support Facility di Alma, che si trova a circa 2900 metri sul livello del mare, vicino a San Pedro de Atacama. Crediti: S. Otarola/Eso



VISTE DA ALMAGAL
Un collage di alcune fra le più di mille regioni di formazione stellare osservate in AlmaGal. Le immagini rappresentano l'emissione termica della polvere fredda nel continuo alla lunghezza d'onda di 1,38 mm.
Crediti: Eso/Alma/AlmaGal/C. Minniti

Il primo stadio è costituito dalla formazione di strutture compatte dette clumps. I clumps si frammentano ulteriormente fino a formare le unità elementari di materia densa, i cores, in cui nascono le stelle

gnato per rispondere a queste domande. Grazie alla potenza dell'interferometro millimetrico Alma (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array) situato sull'altopiano di Chajnantor, nel deserto di Atacama, in Cile, il team AlmaGal è riuscito a osservare più di mille clumps densi con la risoluzione spaziale di 1000 unità astronomiche, sia nel continuo termico della polvere fredda sia in fondamentali righe molecolari essenziali per tracciare densità e temperatura del gas. AlmaGal rappresenta un salto quantico rispetto ad altri progetti che hanno affron-



tato il problema della frammentazione clump-core. Con oltre mille regioni osservate, Almagal da solo è quattro volte più grande di tutti gli altri programmi Alma simili messi insieme e permette quindi per la prima volta studi quantitativi statisticamente significativi. Anche dal punto di vista tecnico il progetto ci ha spinto in territorio inesplorato. La ricostruzione delle immagini ottenute utilizzan-

LA GALASSIA DI BARNARD

Grazie alle osservazioni di Alma sappiamo che la fisica per descrivere la formazione stellare in galassie di piccola massa (come questa) è simile a quella che osserviamo nella Via Lattea.

Crediti: Eso/Alma/A. Schruba, Vla (Nrao)/Y. Bagetakos/Little Things

do Alma in tre configurazioni spaziali su più di mille puntamenti indipendenti è stata una sfida che nessun progetto aveva affrontato prima.



NURSERY STELLARE

Una bolla di gas ionizzato in espansione, larga circa dieci anni luce, sta causando il collasso del materiale circostante in clumps dove si formano nuove stelle. L'emissione submillimetrica è rappresentata dalle nubi blu che circondano il bagliore rossastro del gas.

Crediti: Eso/Apex/Dss2/SuperCosmos/Deharveng(Lam)

L'osservazione di un gran numero di sorgenti è necessaria per due motivi. Da un lato è importante osservare come il fenomeno della frammentazione varia in funzione delle caratteristiche dei clumps come densità, massa e collocazione nella Galassia. Dall'altro, il processo di frammentazione dura centinaia di migliaia di anni; un tempo pur brevissimo rispetto alla vita della Galassia, ma comunque impossibile da seguire nel tempo. A questo si ovvia osservando clumps di età molto diversa: mettendo insieme i dati di regioni in stadi evolutivi molto differenti si riesce ad assemblare una timeline realistica di un processo fisico che altrimenti non sarebbe osservabile nella sua totalità.

FRAMMENTAZIONE PROGRESSIVA

In questa prima fase l'analisi scientifica si è concentrata sull'emissione termica della polvere fredda. In totale sono stati identificati più di 6mila cores. Un primo risultato consiste nella grandissima varietà del grado di frammentazione rilevato, che appare fortemente correlato con la densità dei clumps in cui essa avviene. Ove la densità è minore si rivelano solo uno o pochissimi cores isolati, mentre nei clumps con maggiore densità se ne osservano decine (fino a circa 50). Anche la distribuzione spaziale dei cores, nei casi con maggiore frammentazione, è varia. Accanto a distribuzioni spaziali quasi uniformi, osserviamo anche cores distribuiti in catene filamentari relativamente lunghe, o organizzati in sottogruppi relativamente isolati l'uno dall'altro. L'altro parametro che vediamo correlato al grado di frammentazione è l'età del clump. Le popolazioni più consistenti di cores si trovano all'interno di clumps relati-

La frammentazione non è un fenomeno che accade in un periodo relativamente breve di tempo. Piuttosto, il suo processo appare svilupparsi con continuità temporale

vamente più evoluti. Questa evidenza da sola dà una prima risposta immediata a uno dei quesiti da cui siamo partiti, permettendo di escludere da subito classi di modelli che sono stati proposti in passato. La frammentazione non è un fenomeno che accade in un periodo relativamente breve di tempo, come prevedono modelli basati sull'origine puramente turbolenta dei clumps. Piuttosto, vediamo come nelle fasi iniziali, quando il clump è più giovane, il numero di frammenti sia molto limitato. Nel tempo, sotto l'azione costante della gravità stessa del materiale del clump, condizioni di instabilità termica si vengono a creare in un numero crescente di punti, originando sempre nuovi frammenti. Il processo di frammentazione appare quindi svilupparsi con continuità temporale.

MASSA IN CRESCITA

Anche la massa dei cores che si frammentano risente dell'evoluzione temporale. In quelli più giovani e quindi con basso grado di frammentazione, l'unico o i pochi cores presenti sono tutti di massa relativamente contenuta. Nei mille clumps osservati, infatti, non si rivelano mai cores molto massicci in corrispondenza di quelli giovani e poco densi. Se per ognuno di quelli osservati si prende la massa del core più massiccio e la si considera in funzione del tempo, si vede come questa cresce con il procedere dell'evoluzione. Lo scenario che immediatamente emerge è quindi quello di una frammenta-

zione che comincia a ritmi piuttosto ridotti, producendo pochi cores di massa limitata. Con il tempo, l'azione della gravità diventa più dominante rispetto alla pressione termica, che tende a stabilizzare il gas producendo un numero sempre crescente di cores. Mentre i nuovi di bassa massa continuano ad apparire, i primi che si erano formati continuano ad accrescere massa dal materiale del clump, fino a raggiungere in alcuni casi le 100 masse solari. Frammentazione e accrescimento, quindi, convivono come parte dello stesso processo di frammentazione dominato dalla gravità.

Questo comportamento ha ripercussioni immediate nella ricostruzione della funzione di massa dei cores. Nei risultati che abbiamo pubblicato abbiamo dimostrato che la pendenza della *core mass function* (o Cmf), infatti, cambia nel tempo. Nei clumps meno evoluti, la mancanza di cores massicci crea una Cmf molto ripida. Man mano che la nuova frammentazione aumenta il numero di cores, l'accrescimento aumenta la massa dei cores iniziali, sollevando la parte finale della funzione di massa e rendendone quindi la pendenza sempre meno accentuata. Nei clumps più evoluti la Cmf acquisisce una pendenza molto simile a quella della lmf stellare.

L'EMISSIONE IN RIGA

Le osservazioni di Almagal includono inoltre l'emissione di transizioni rotazionali di varie molecole, che cadono nella banda millimetrica. L'emissione avviene esclusivamente a frequenze ben specifiche e determinate dai salti fra i livelli di energia della molecola, che sono quantizzati, ed è per questo chiamata emissione in riga. Questo tipo di emissione permette di ricavare importanti informazioni riguardo alle proprietà non solo chimiche, ma anche fisiche e cinematiche del gas che le emette e di conseguenza anche dei cores. Queste informazioni sono cruciali per lo studio della frammentazione dei clumps e per capire come le stelle in formazione giungano alla loro massa finale.

La scelta della riga utilizzata per derivare alcuni di questi parametri fisici, come la temperatura o la dispersione di velocità del gas,

IN ASCOLTO
Le antenne che compongono l'Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (Alma), situato sull'altopiano di Chajnantor in Cile. In tutto sono 66. Crediti: Y. Beletsky (Lco)/Eso



è altrettanto importante. Infatti, a seconda dei percorsi chimici di formazione di queste molecole e di alcune proprietà intrinseche delle singole righe, come la densità critica – ovvero la densità tipica che deve avere il gas perché la riga sia osservabile – e la temperatura del gas necessaria a eccitare la transizione, diverse specie molecolari e transizioni riescono a sondare regioni in condizioni fisiche molto diverse all'interno di un clump in cui si stanno formando delle stelle. Grazie all'enorme numero di regioni osservate da Almagal, abbiamo potuto testare e soprattutto quantificare a livello statistico, per la prima volta, il grado di affidabilità nel tracciare la stessa emissione del continuo di alcune delle più comuni specie molecolari presenti in regioni di formazione stellare. Questo è stato possibile grazie all'utilizzo di una metodologia innovativa basata sul confronto della morfologia dell'emissione delle diverse righe e quella del continuo.

LE ASPETTATIVE

I risultati di questa analisi ci permettono di selezionare le migliori righe molecolari per i prossimi studi che coinvolgono la derivazione della temperatura dei cores e lo studio della dinamica, sia dei cores sia del gas all'interno del clump. La stima precisa della temperatura ci permetterà, insieme all'analisi degli *outflows*, di stabilire quali cores siano ancora prestellari e quali ospitino una protostella. Infatti non tutti si trovano allo stesso stadio evolutivo, e alcuni continuano a formarsi nel tempo. Inoltre, questa nuova stima della temperatura ci permetterà di rifiinire e perfezionare anche la stima della loro massa.

Dal punto di vista dinamico uno studio pilota ha individuato, in un sottocampione di circa 100 clumps, la presenza di flussi di gas molecolare che trasportano materia dalla scala del clump a quella dei cores, con tassi di accrescimento in media fra 10^{-5} e 10^{-4} masse solari all'anno. Questi numeri mostrano una grande variabilità, ma rimangono compatibili con i tempi scala previsti teoricamente e con quelli stimati da altri studi per la



formazione di stelle di alta massa. Lo studio della dinamica all'interno dei clumps non si limita però solo a questo, e sarà cruciale, per avere una visione esaustiva del processo, derivare la dispersione delle velocità dei cores all'interno di un clump, la stabilità gravitazionale dei cores e, grazie alla rivelazione di righe otticamente spesse, il tasso con cui il gas dei cores accresce verso il centro gravitazionale, andando a formare la protostella e infine la stella. Inoltre il confronto delle proprietà dinamiche dei cores con quelle dei clump ci permetteranno di capire come esse siano influenzate dall'ambiente.

Per una comprensione quantitativa dei processi fisici e dei tempi-scala in gioco,



SULL'ALTOPIANO

Il clima estremamente secco del deserto di Atacama, combinato con l'alta quota (siamo sopra i 5 mila metri), è ideale per ottenere le migliori osservazioni possibili.
Crediti: S. Otario/Eso

però, è necessario ricorrere al confronto dei risultati osservativi con previsioni teoriche dettagliate. Il progetto Rosetta Stone, che, insieme ad Almagal, è parte del più grande progetto Erc Synergy Ecogal, si sta occupando di creare una griglia predittiva di simulazioni numeriche del processo di collasso e frammentazione clump→core che esplorano un'ampia varietà nelle condizioni fisiche e ambientali iniziali dei clumps. Ciò che rende questo studio altamente innovativo è il processamento dettagliato che, a partire dalla simulazione, produce il cosiddetto “osservabile sintetico”, ossia come la simulazione teorica apparirebbe se venisse osservata da Alma. Un'ulteriore linea di svi-

luppo per il team di Almagal sarà quello di studiare più in dettaglio come il gas fluisce dal clump ai cores, e come l'azione dell'energia rilasciata dalle stelle in formazione influisca su questo afflusso di gas. Lo studio di questi processi di feedback sarà reso possibile anche grazie alle nuove osservazioni con il radiotelescopio MeerKAT (e in futuro con Ska), progetto in cui l'Inaf è fortemente impegnato.

Nel complesso, grazie all'ampio e diversificato set di dati che Almagal produrrà, siamo in una posizione ottimale per comprendere in dettaglio meccanismi che regolano la nascita delle stelle e, in prospettiva, dei loro sistemi planetari. ■

Il Sole e l'origine del vento elicoidale

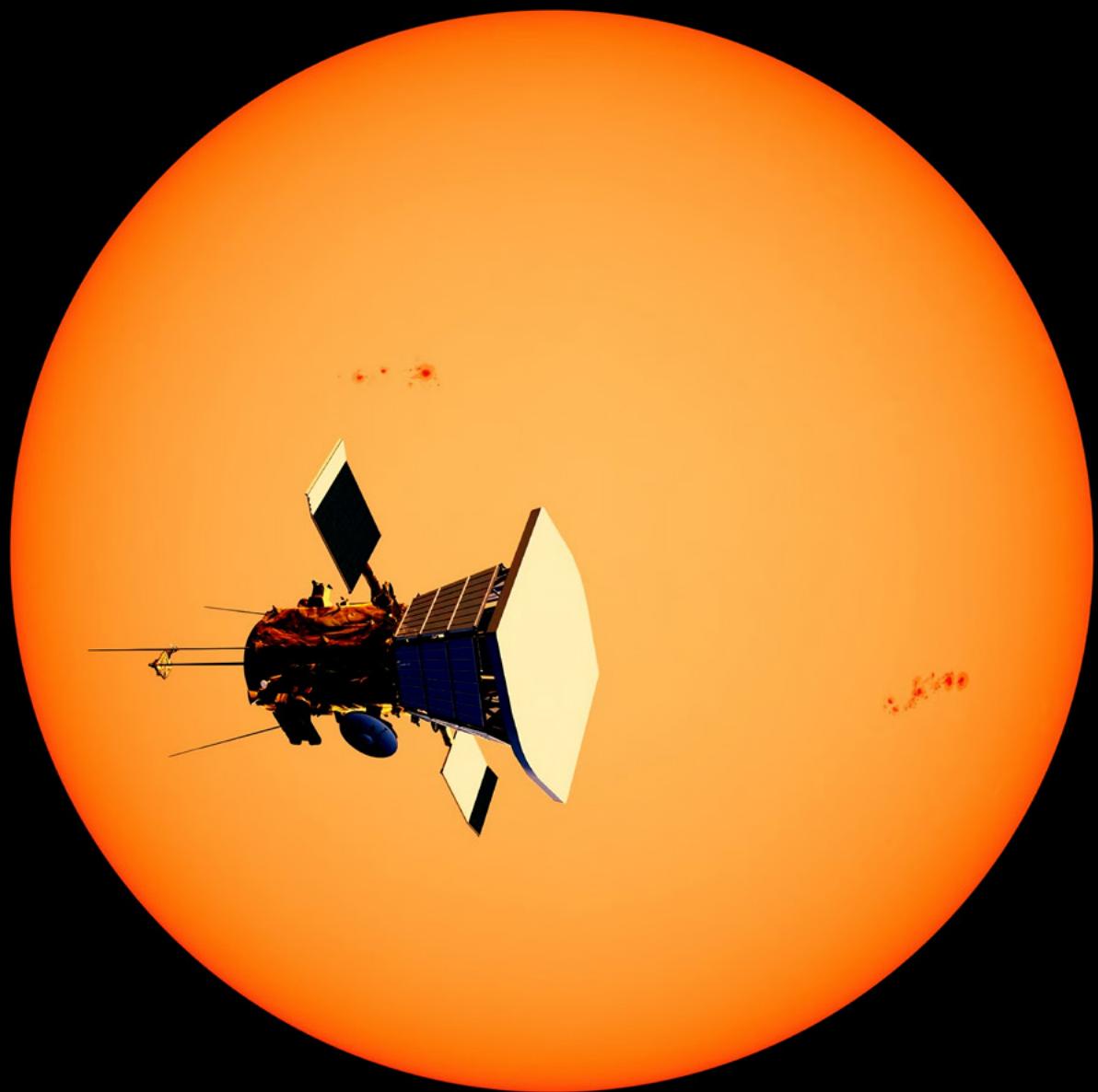
di Paolo Romano e Vincenzo Andretta

universti



SOLE E SISTEMA
SOLARE

Dal Sole dipende la vita sulla Terra e per questo il suo studio è così importante. Oggi comprendere fenomeni come il vento solare non è solo affascinante, ma è anche fondamentale per migliorare le previsioni meteorologiche spaziali in un mondo sempre più dipendente dalle infrastrutture tecnologiche.



A

A occhio nudo il Sole sembra immobile, un disco che ogni giorno sorge e tramonta uguale a sé stesso. In realtà, è un corpo celeste turbolento, composto di gas permeato da campi magnetici che si deformano, si spezzano e si ricompongono senza sosta. La sua atmosfera, la corona solare, è un ambiente fragile e al tempo stesso potentissimo: raggiunge milioni di gradi, genera esplosioni improvvise e lancia nello spazio getti di plasma che si propagano per milioni di chilometri.

Tra i fenomeni più affascinanti che riguardano il Sole c'è il vento solare, un flusso di particelle che non si arresta mai e che investe costantemente la Terra e gli altri pianeti. Non è un vento uniforme: esiste una componente lenta, una rapida e un'altra, detta alfvénica, che porta con sé onde magnetiche. A queste componenti relativamente stabili del vento si aggiungono poi improvvise e gigantesche eruzioni di massa coronale, che vengono lanciate in tutte le direzioni. Da decenni i fisici del Sole cercano di capire come nascano: una domanda cruciale, perché queste onde trasportano energia e condizionano l'intero equilibrio del Sistema solare.

Inoltre, il vento solare non è solo un fenomeno fisico: è un vero e proprio filo conduttore che lega la nostra stella al resto dell'eliosfera, la gigantesca bolla magnetica che avvolge tutti i pianeti. Ogni variazione del vento si ripercuote nello spazio interplanetario, modulando l'arrivo dei raggi cosmici e influenzando persino il clima spaziale che avvolge la Terra. Capire la sua origine significa dunque comprendere

meglio il "respiro" del Sole e i suoi effetti sull'ambiente che rendono possibile la vita sul nostro pianeta.

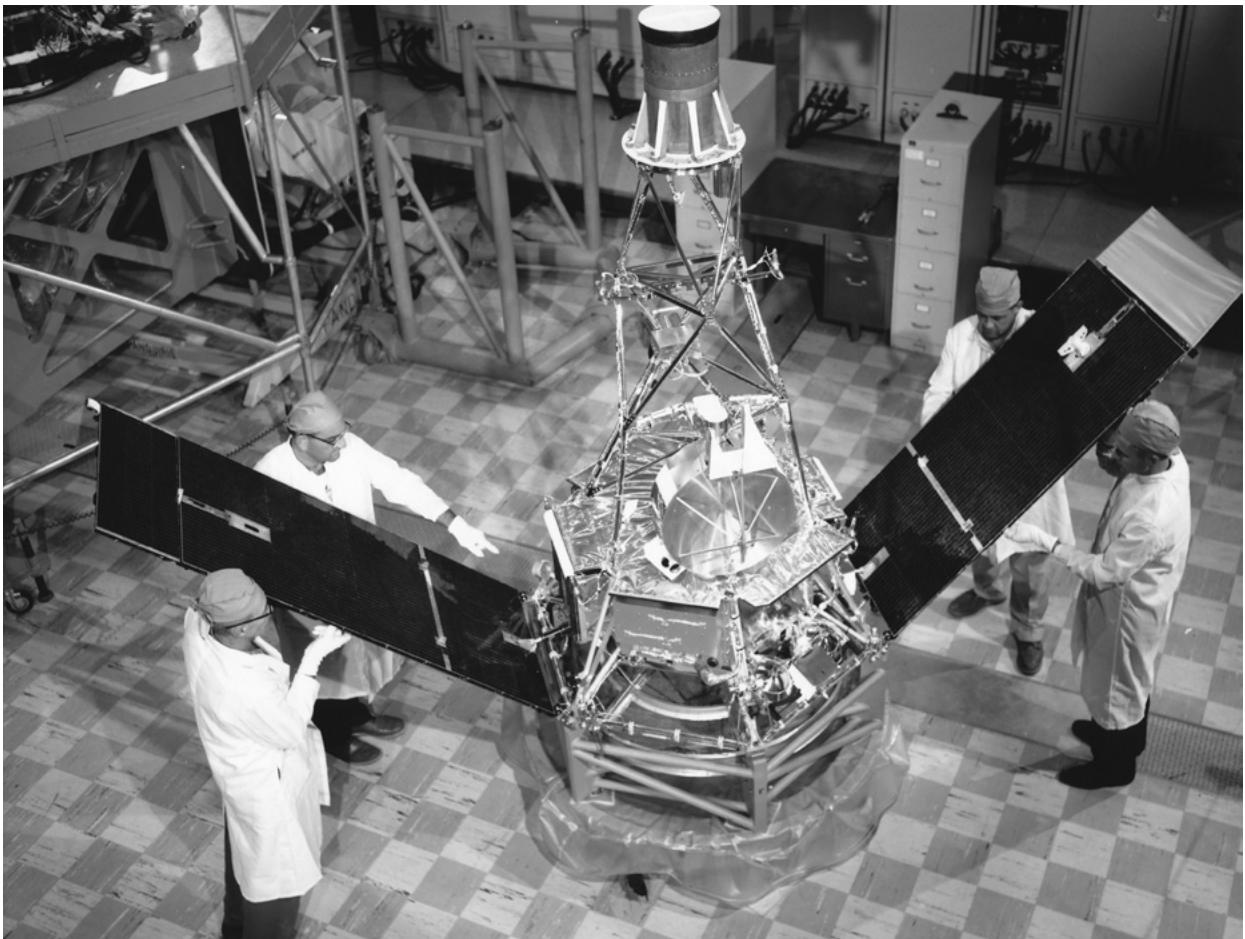
UN PO' DI STORIA

Il concetto di vento solare è relativamente recente. Negli anni Cinquanta l'astrofisico Eugene Parker suggerì che la corona, troppo calda per rimanere confinata, fosse costretta a espandersi nello spazio. La sua intuizione fu accolta con scetticismo, ma le prime sonde interplanetarie – come Mariner 2 negli anni Sessanta – dimostrarono che aveva ragione: lo spazio interplanetario è permeato da un flusso costante di particelle solari.

Con il tempo si scoprì che questo vento non è uniforme. Nei decenni successivi, missioni come Ulysses e più recentemente la Parker Solar Probe – la sonda Nasa lancia-

PARKER SOLAR PROBE
Alla pagina precedente, la sonda Parker Solar Probe. Nella sua missione per "toccare il Sole" è diventata la prima sonda spaziale a sorvolare la corona, l'atmosfera superiore dell'unica stella che possiamo studiare da vicino.
Crediti: Nasa





LA RISPOSTA È NEL VENTO
 La sonda Mariner 2 è stata la prima a esplorare lo spazio interplanetario con successo. In queste immagini, la stampa dei dati inviati durante il suo primo contatto ravvicinato con un pianeta, Venere, avvenuto il 14 dicembre 1962, e le operazioni di preparazione al decollo.

Crediti: Nasa/Jet Propulsion Laboratory

ta nel 2018 che come e più di Solar Orbiter si avvicina al Sole, fino a entrare quasi nella corona solare – hanno misurato raffiche irregolari, veri e propri colpi di frusta magnetici, soprannominati *switchbacks*. Da dove provengono? È qui che entra in gioco lo studio dei processi magnetici alla base del Sole.

Il problema è che osservare direttamente questi fenomeni non è facile: la corona è luminosa ma evanescente, e solo con strumenti capaci di occultare il bagliore del disco solare si possono distinguere i dettagli più fini. Per questo lo studio del vento solare ha richiesto decenni di sviluppo tecnologico, culminati con le missioni attuali che combinano osservazioni in remoto e misure dirette del plasma.

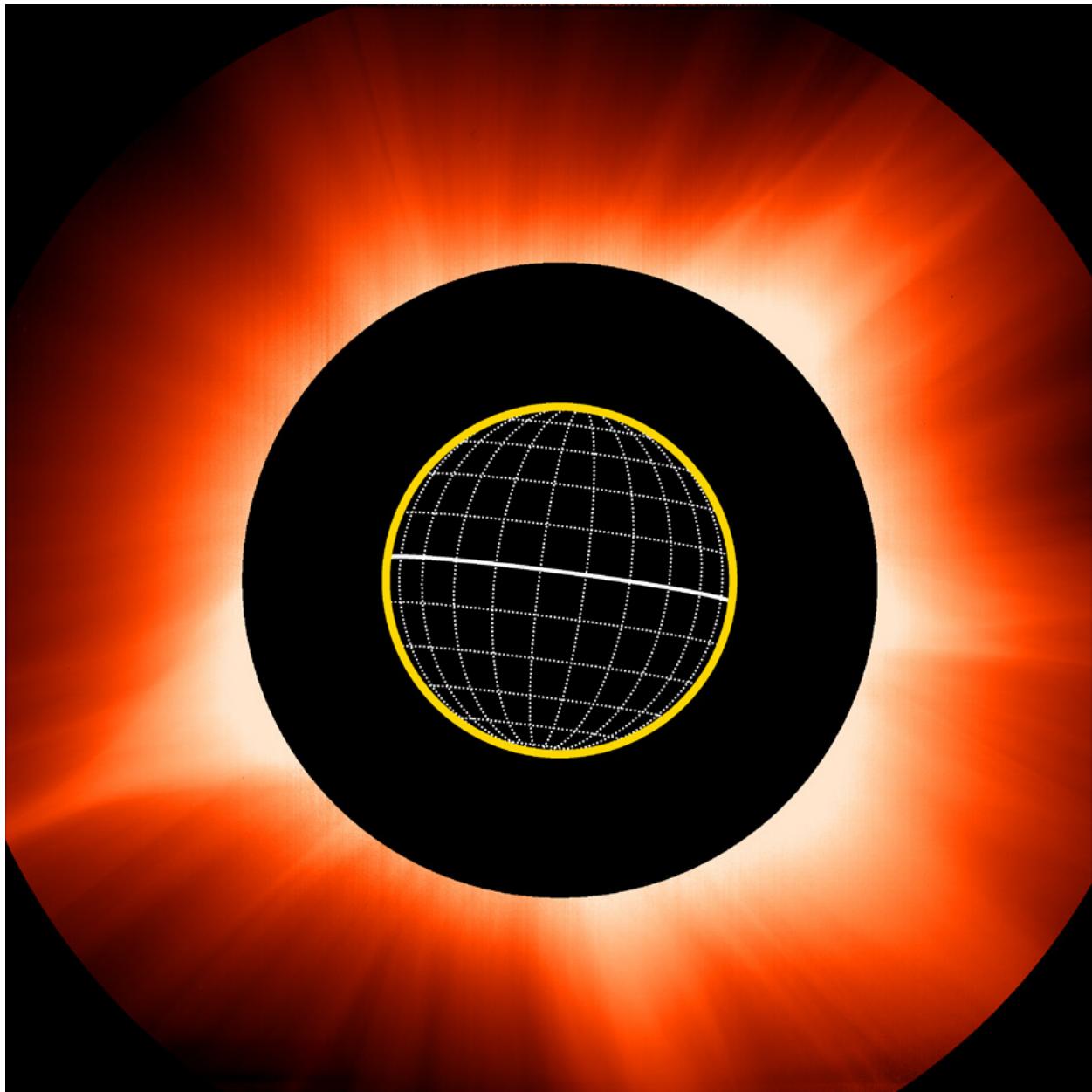
L'OCCHIO DI METIS

Per rispondere a queste domande, nel 2020 l'Agenzia spaziale europea, con la collaborazione della Nasa, ha lanciato la sonda Solar Orbiter. La sua traiettoria è particolare: si avvicina molto al Sole e già a partire da

Capire l'origine del vento solare significa comprendere meglio il “respiro” del Sole e i suoi effetti sull'ambiente che rendono possibile la vita sul nostro pianeta

quest'anno si sta progressivamente inclinando rispetto al piano dell'eclittica per osservare anche i poli della nostra stella, regioni ancora misteriose.

Tra i suoi strumenti c'è Metis, un coronografo ideato, costruito e gestito da un consorzio con una forte partecipazione italiana (Asi, Inaf, partner industriali, università). Un coronografo è un telescopio che in pratica produce al suo interno un'eclisse artificiale: oscura il disco solare con un occultatore e



consente di osservare la luce più debole della corona. Rispetto ad altri coronografi, Metis è speciale perché lavora contemporaneamente nella luce visibile e nell'ultravioletto, producendo con cadenze elevatissime immagini ad alta risoluzione, arrivando a ottenere fino a un'immagine al secondo. È un po' come avere la possibilità di guardare al rallentatore e con una lente d'ingrandimento gli eventi più rapidi e spettacolari dell'atmosfera solare.

Solar Orbiter è anche una missione internazionale di grande respiro: coinvolge decine di istituti di ricerca e università in Europa

e negli Stati Uniti. L'Italia ha un ruolo di primo piano, avendo guidato la realizzazione di Metis: ne gestisce le operazioni e ne pianifica le osservazioni. Questo significa che i dati raccolti sono non solo un patrimonio globale ma anche un successo della nostra comunità scientifica.

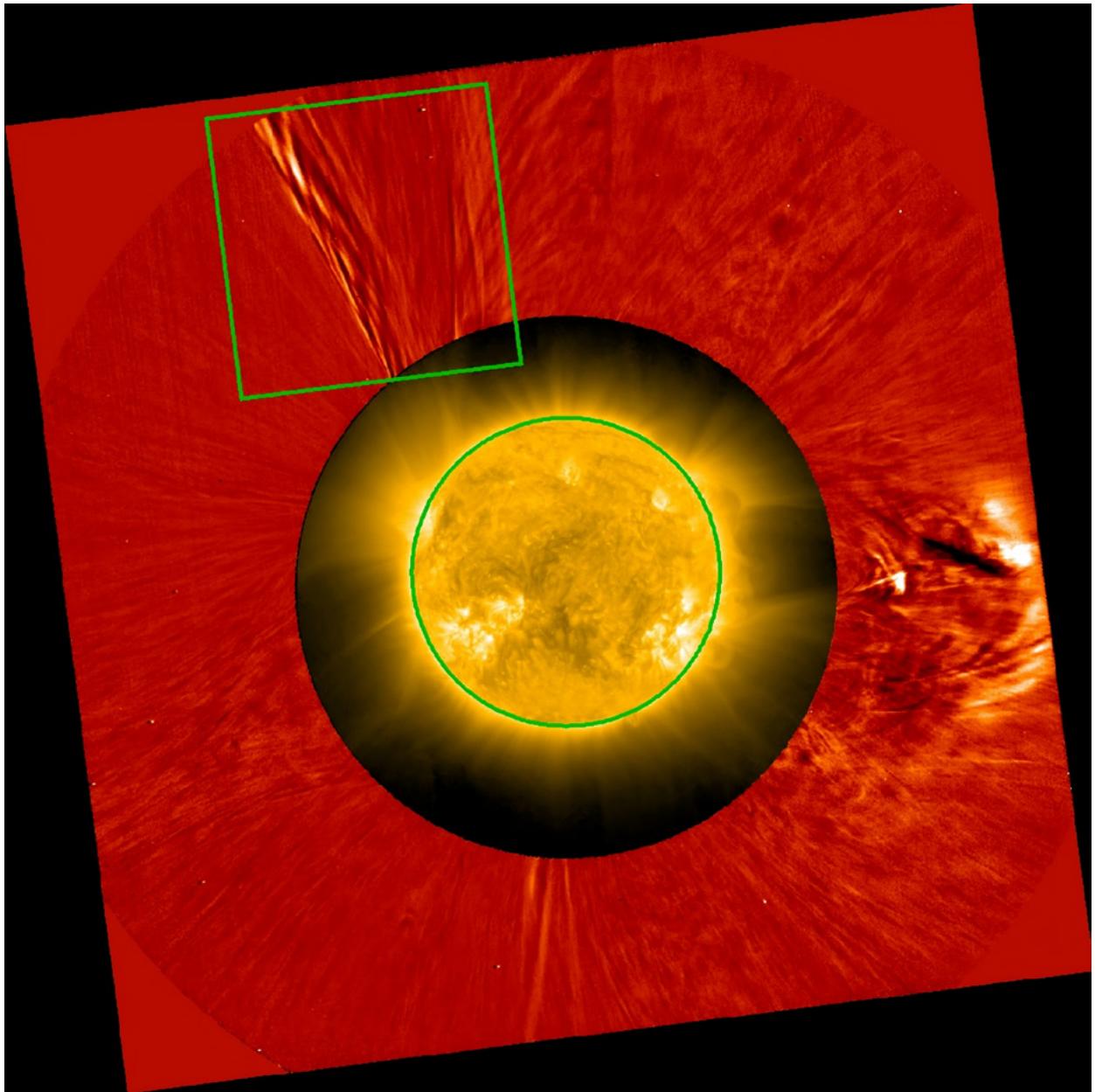
L'EVENTO DEL 12 OTTOBRE 2022

Il 12 ottobre 2022, durante un passaggio ravvicinato, Metis ha catturato un fenomeno eccezionale. Tutto è iniziato con l'eruzione di una protuberanza vicina al polo nord solare, una nube di plasma che si estendeva per

CORONA SOLARE

L'atmosfera esterna del Sole si estende nello spazio, come mostra questa immagine raccolta dal coronografo Metis a bordo della sonda Solar Orbiter.

Crediti: Esa/Solar Orbiter/Metis team



12 OTTOBRE 2022

Immagine in luce visibile ottenuta dal coronografo Metis durante il passaggio al perielio della sonda Solar Orbiter. Il riquadro giallo ritrae la struttura elicoidale oggetto dello studio.

Crediti: Metis ed Eui (Solar Orbiter/Esca), Inaf/V. Andretta studio.

Il 12 ottobre 2022, durante un passaggio ravvicinato, Metis ha catturato un fenomeno eccezionale: un'eruzione seguita da un getto elicoidale che è durato più di tre ore, molto più a lungo delle tipiche eruzioni coronali

decine di migliaia di chilometri sopra il bordo solare, trattenuta da arcate magnetiche. All'improvviso la struttura è collassata, liberando energia e producendo un getto simile a una piccola espulsione di massa coronale.

Fin qui nulla di sorprendente: eventi simili sono comuni nella corona. Ma le ore successive hanno regalato una novità assoluta. Nelle immagini di Metis sono comparsi sottili filamenti di plasma disposti a spirale, che si propagavano verso l'esterno fino a tre raggi solari di distanza, cioè oltre due milioni di chilometri. Ancora più sorprendente, questo

moto elicoidale è durato più di tre ore, molto più a lungo delle tipiche eruzioni coronali.

Per avere un termine di paragone, tre raggi solari equivalgono a più di duecento volte il diametro della Terra: la spirale osservata era dunque una struttura colossale, che si estendeva nello spazio con un ordine geometrico inatteso. Vederla svilupparsi e persistere per ore è stato come osservare dal vivo la firma di un processo fisico teorizzato da tempo ma mai documentato su scala così vasta.

UNA DANZA INVISIBILE

Per capire cosa è stato osservato dal punto di vista fisico, bisogna introdurre il concetto di riconnessione magnetica, ovvero il meccanismo con cui linee di campo magnetico di orientamento opposto si spezzano e si ricombinano. È un processo capace di accelerare particelle, generare onde e lanciare plasma nello spazio.

Nel caso osservato da Metis, linee di campo chiuse, che intrappolavano la protuberanza, si sono riconnesse con linee aperte dirette verso l'esterno. Così hanno trasferito al plasma non solo energia ma anche torsione: da ciò la spirale osservata. È un fenomeno noto come riconnessione per scambio, già ipotizzato in teoria e nelle simulazioni numeriche, ma mai visto così chiaramente su larga scala.

Un aspetto affascinante è che la riconnessione magnetica non è un processo esclusivo del Sole: la troviamo in molte situazioni astrofisiche, dalle magnetosfere planetarie alle regioni di formazione stellare. Studiare questi eventi nella nostra stella significa quindi avere una chiave per interpretare fenomeni simili in tutto l'universo.

DAL COMPUTER AL CIELO

Proprio le simulazioni numeriche hanno giocato un ruolo importante. Modelli magnetodinamici ad alta risoluzione avevano previsto che, in seguito a riconnessioni di questo tipo, si sarebbero formati vortici di plasma e onde di tipo Alfvén. Confrontando le immagini reali di Metis con quelle sintetiche prodotte dai modelli, la somiglianza è

Il vento solare interagisce con la magnetosfera terrestre, comprimendola e innescando tempeste geomagnetiche che possono disturbare satelliti artificiali, reti elettriche e sistemi di comunicazione

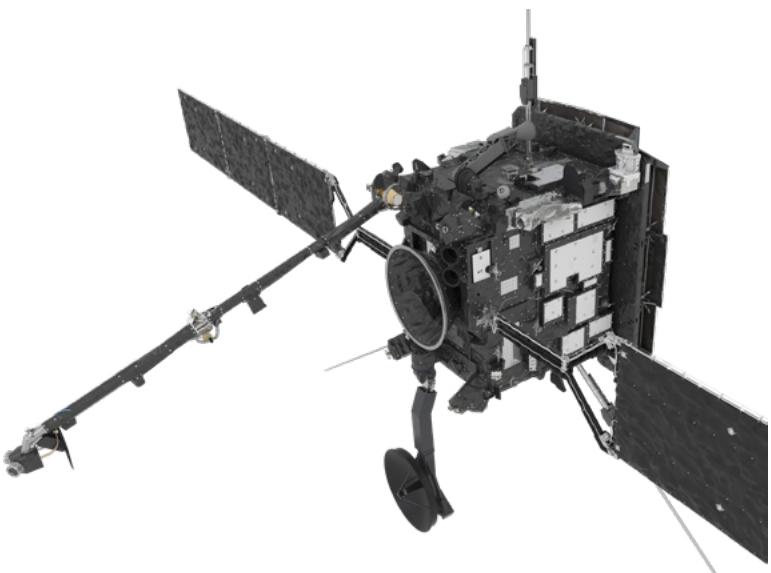
risultata impressionante: le stesse eliche, la stessa evoluzione temporale, la stessa propagazione verso l'esterno. Si è trattato di una conferma preziosa, capace di collegare per la prima volta teoria e osservazione.

Questo dialogo tra simulazioni e osservazioni è la vera forza della ricerca moderna: i modelli numerici permettono di esplorare scenari impossibili da riprodurre in laboratorio, mentre gli strumenti spaziali forniscono i dati che li validano. È un circolo virtuoso in cui teoria e realtà si rincorrono, affinando di volta in volta la nostra comprensione dei processi fisici.

IMPLICAZIONI SULLA TERRA

Potrebbe sembrare un dettaglio lontano dalle nostre vite quotidiane, e invece ha implicazioni dirette. Il vento solare interagisce con la magnetosfera terrestre, comprimendola e innescando tempeste geomagnetiche che possono disturbare satelliti artificiali, reti elettriche e sistemi di comunicazione. Capire l'origine del vento e le sue caratteristiche è essenziale per migliorare le previsioni di *space weather*, un campo sempre più strategico in una società che dipende da tecnologie vulnerabili alle condizioni del campo magnetico terrestre. Negli ultimi decenni e col progredire della dipendenza da infrastrutture spaziali, questa vulnerabilità è sempre più evidente.

Non va dimenticato che fenomeni di questo tipo possono avere anche conseguenze economiche e sociali. Nel 1989, per esempio, una tempesta geomagnetica



provocò un blackout di nove ore in Québec, lasciando milioni di persone senza elettricità. Oggi, con la dipendenza crescente dai satelliti per comunicazioni, navigazione e osservazione della Terra, comprendere e prevedere il comportamento del Sole è una necessità sempre più urgente.

L'evento del 12 ottobre è stato un banco di prova perfetto: ha mostrato che i grandi vortici osservati da Metis sono probabilmente la versione "macro" di processi che avvengono continuamente su piccola scala. Milioni di minuscoli getti e microvortici, invisibili ai nostri strumenti, alimentano ogni giorno il vento solare, mantenendolo costante.

DOMANDE APERTE

Il lavoro pubblicato su *The Astrophysical Journal* "Metis Observations of Alfvénic Outflows Driven by Interchange Reconnection in a Pseudostreamer" non chiude la questione: la apre. Abbiamo visto come nasce un flusso elicoidale, ma restano molte domande. Quanti se ne verificano? Quanto contribuiscono al vento totale? E come si collegano agli *switchbacks* osservati nel vento solare?

La sinergia tra Solar Orbiter e Parker Solar Probe sarà cruciale: una guarda da lontano, l'altra misura sul posto. Insieme ci permetteranno di collegare cause ed effetti, dal Sole alla Terra.

In prospettiva, anche le prossime missioni spaziali avranno un ruolo fondamentale.

Strumenti sempre più sofisticati ci permetteranno di osservare la corona solare con maggiore risoluzione e di seguire l'evoluzione dei campi magnetici quasi in tempo reale. È una sfida tecnologica e scientifica, ma anche culturale: conoscere il Sole significa conoscere la nostra stella madre, quella da cui dipende la vita sul pianeta.

UN LABORATORIO NATURALE

Ma non è solo per ragioni pratiche che vale la pena studiare il Sole: in fondo, il Sole è il più grande laboratorio naturale a nostra disposizione. Studiare i suoi vortici magnetici non significa solo capire meglio la nostra stella ma anche acquisire strumenti per leggere fenomeni analoghi in altre stelle e persino in galassie lontane. Ogni nuova scoperta ci ricorda che la fisica che governa il cosmo è la stessa che agisce a pochi minuti luce da noi.

Il messaggio finale è che quello che fin dall'origine dell'umanità è apparso come un disco tranquillo, affidabile e prevedibile, continua a rivelarsi un universo di dinamiche complesse, intrecci e torsioni invisibili che danno vita al vento che ci accompagna ogni giorno, silenzioso ma incessante, nel nostro viaggio intorno al Sole. I vortici elicoidali scoperti da Metis ci dicono che il Sole parla un linguaggio fatto di magnetismo e plasma, lo stesso che caratterizza l'universo intero. E imparare a decifrarlo è uno dei compiti più affascinanti dell'astrofisica contemporanea.

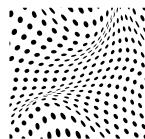
SOLAR ORBITER

Una sonda progettata per studiare il Sole a distanza ravvicinata e al di fuori dell'eclittica (fino a 33 gradi) per fornire osservazioni delle regioni polari solari.
Crediti: Esa/Nasa

Stelle divorate da buchi neri

di Francesca Onori

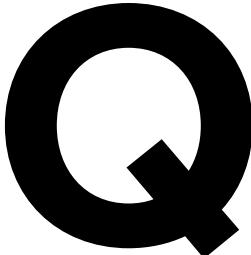
universti



ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE

Quasi tutte le galassie ospitano nel loro nucleo un buco nero supermassiccio, spesso dormiente. A volte, però, può capitare che una stella si avvicini troppo al buco nero, tanto da essere distrutta dalle intense forze mireali. Grazie a questi eventi di distruzione mireale, parte del materiale stellare viene divorato dal buco nero che, di conseguenza, si risveglia.





Quando una sfortunata stella si trova a passare nelle vicinanze di un buco nero supermassiccio (Smbh) può essere distrutta dalle forti forze mareali in gioco. Il risultato è un evento transiente detto di distruzione mareale, o, in inglese, *tidal disruption event* (Tde). Durante questi fenomeni, la forte gravità esercitata dal Smbh è in grado di superare quella che tiene insieme la stella, e quindi riesce a distruggerla, allungandola sino a formare sottili filamenti di materiale stellare in un processo detto di "spaghettificazione". Una parte di questo materiale sfugge all'attrazione gravitazionale del buco nero ed è espulsa sottoforma di forti venti (*outflows*). Invece, i filamenti di materiale stellare che rimangono gravitazionalmente legati tra loro cominciano a muoversi su orbite fortemente ellittiche, in un processo detto di circolarizzazione, che si conclude con la costruzione di un nuovo disco di materiale stellare in accrescimento sul Smbh (disco di accrescimento). Un'enorme quantità di energia viene rilasciata ed è osservabile da Terra sotto forma di brevi ma luminosi, bagliori di radiazione elettromagnetica – con durate tipiche di mesi/anni –, provenienti da nuclei di galassie che fino a quel momento non avevano mai mostrato una simile attività (per questo dette *quiescenti*). Questo fenomeno di fatto risveglia un Smbh dormiente, innescando una nuova ma temporalmente limitata fase di attività in cui il Smbh risucchia materiale stellare che, cadendo verso il Smbh, si riscalda fino a raggiungere temperature altissime. Esso, quindi, emette radiazioni intense alle

frequenze X, Uv e ottico che lo rendono finalmente visibile agli astronomi.

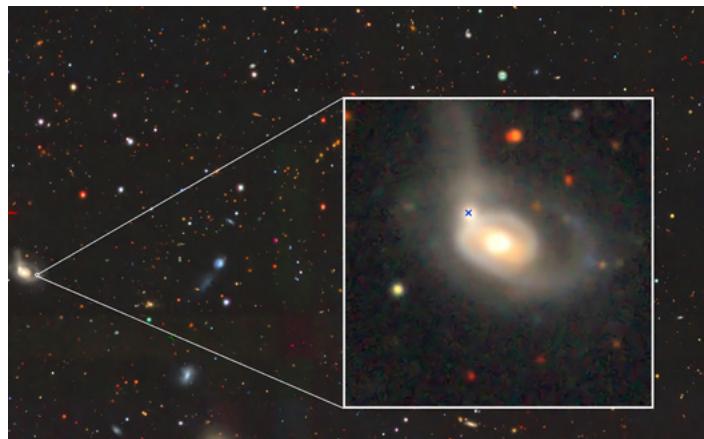
OSSERVARE UN TDE

Affinché la stella venga distrutta e non direttamente inglobata dal Smbh (caso in cui non si avrebbe nessuna emissione elettromagnetica), i buchi neri coinvolti devono essere necessariamente piccoli. Questo comporta che i Tde possono avvenire solamente attorno a Smbh caratterizzati da piccole masse e che sono i più rari e difficili da studiare. Tra questi sono inclusi anche i più elusivi buchi neri di massa intermedia (Imbh), ma, a oggi, nessun caso conclamato è stato annunciato. L'osservazione di un Tde, rappresenta, quindi, un potentissimo strumento di indagine per fare luce sulla natura, l'origine e l'evoluzione di quei Smbh dormienti e con piccole masse che altrimenti non sarebbe possibile rivelare. Questa popolazione di buchi neri è complementare a quella tipicamente selezionata negli studi dedicati ai Smbh attivi (come gli Agn, i nuclei galattici attivi, o i quasar). Conoscerne le caratteristiche ha importanti ripercussioni per gli studi sulla formazione ed evoluzione dei Smbh in generale e, poiché i loro destini sembrano essere fortemente legati, anche delle galassie che li ospitano. I Tde, inoltre, permettono di studiare in dettaglio sia le caratteristiche intrinseche dei Smbh coinvolti (ad esempio, la massa e lo spin) sia tutti i fenomeni fisici collegati all'accrescimento di materia su un buco nero. Ne sono un esempio la formazione ed emissione di jet o l'emissione di forti

STEP BY STEP

Alla pagina precedente, ricostruzione di un evento di distruzione mareale attorno a un buco nero supermassiccio, quando una stella viene catturata e dilaniata nel processo conosciuto come "spaghettificazione". A destra, l'ultimo step del processo.

Crediti: Artwork: NASA, ESA, STScI, Ralf Crawford (STScI)



AT2022WTN
A sinistra, nel riquadro una croce blu indica il transiente che si è verificato nel nucleo della meno massiccia di una coppia di galassie. Sono ben visibili le code mareali, risultato dell'interazione gravitazionale e della fusione tra le due galassie.
Crediti: Legacy Survey/D. Lang (Perimeter Institute)/Inaf/F. Onori

La forte gravità esercitata dal Smbh è in grado di superare quella che tiene insieme la stella, e quindi riesce a distruggerla, allungandola sino a formare sottili filamenti di materialestellare in un processo detto di “spaghettificazione”

venti. Poiché le tempistiche tipiche dei Tde sono accessibili all'essere umano, con durate complessive di alcuni mesi, o al massimo qualche anno, gli astronomi che studiano questi eventi hanno la preziosa possibilità di essere testimoni diretti di tutte le varie

fasi dell'accrescimento di materia: dalla costruzione di un disco di accrescimento all'emissione di jet di materiale ultraveloce, fino all'esaurimento del fenomeno stesso.

I Tde sono anche squisite sorgenti multimessaggere, capaci di emettere neutrini ad alte energie e di produrre onde gravitazionali di bassa frequenza, rivelabili dai rivelatori di onde gravitazionali di futura generazione come Lisa e Lgwa. Quindi, conoscere in dettaglio le loro caratteristiche oggi può essere di grande rilevanza per lo sviluppo e l'applicazione di un efficace approccio multimessaggero in futuro e per realizzare importanti conquiste scientifiche, facendo luce sulle origini dei buchi neri supermassicci.

UN'IPOTESI CONFIRMATA

Gli eventi di distruzione mareale sono stati teorizzati per la prima volta nel 1975 da Jack Hills e successivamente approfonditi nel 1988 da Martin Rees. Essi descrissero accuratamente i possibili effetti che l'intensa forza gravitazionale di un buco nero supermassiccio poteva provocare su una stella, se sufficientemente vicina. Tra i vari



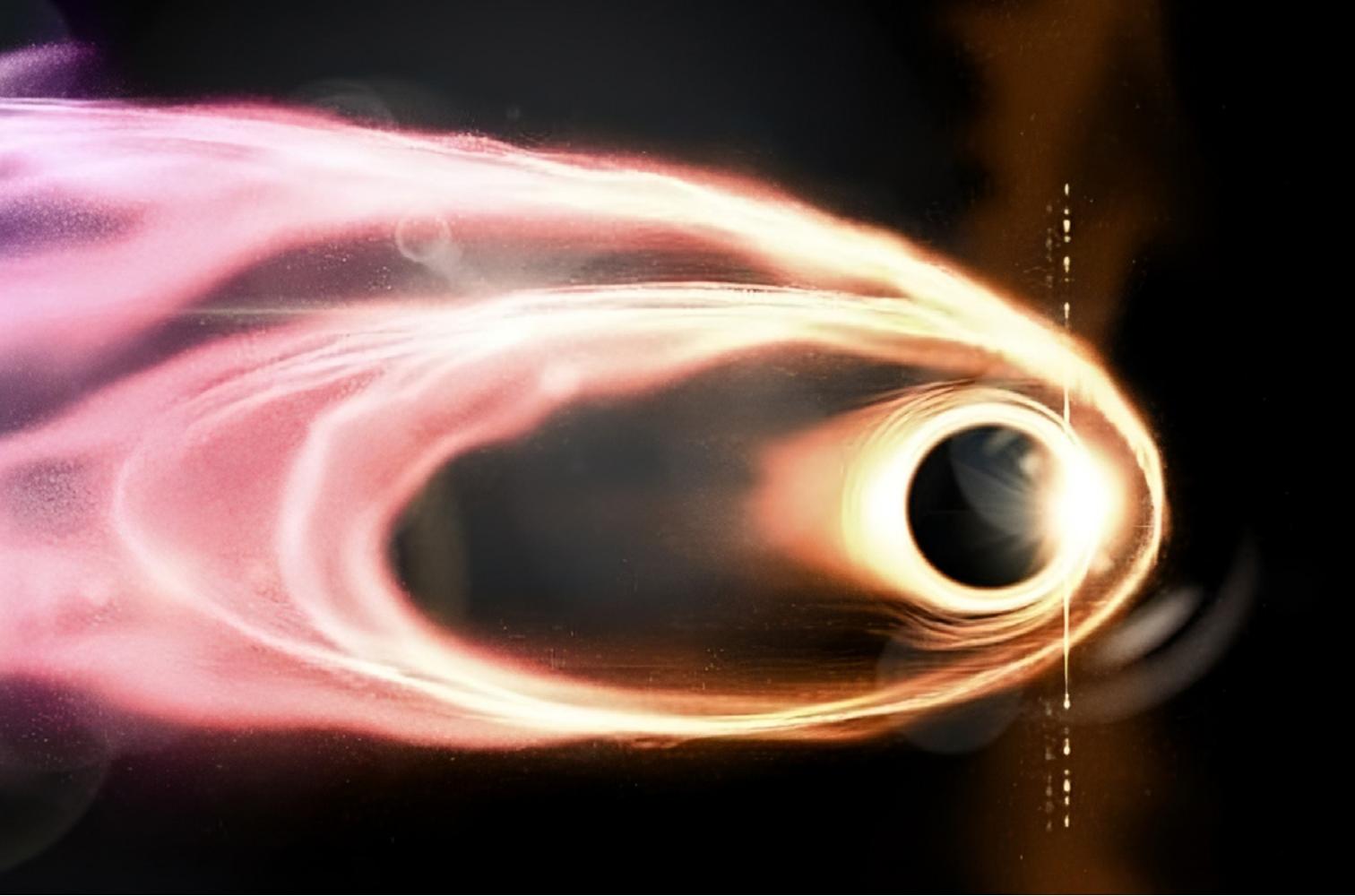
scenari, quello più intrigante era proprio la disintegrazione per spaghettificazione. Tuttavia, per la prima osservazione di un Tde si è dovuto aspettare un decennio, poiché negli anni Ottanta non era ancora disponibile una strumentazione adeguata alla loro rivelazione. Fu solo agli inizi degli anni Novanta che, in seguito a ricerche eseguite sui dati collezionati dalle osservazioni del telescopio X-ray ROSAT (la ROSAT All Sky Survey), vennero casualmente rivelate delle emissioni transienti provenienti da nuclei di galassie quiescenti che, sorprendentemente, si comportavano proprio come descritto nelle teorie di Hills e Rees. Esse furono quindi spiegate come eventi di distruzione mareale e rappresentarono, in assoluto, la prima evidenza osservativa dell'esistenza di tali fenomeni e, contemporaneamente, una fortissima prova della presenza di buchi neri dormienti nei nuclei delle galassie. Da allora, il crescente interesse della comunità scientifica ha portato allo sviluppo di sempre più accurate strategie osservative culminate, negli anni immediatamente successivi, con

la scoperta di molti altri candidati Tde, emersi da osservazioni in banda X realizzate con numerosi telescopi che si resero disponibili nel tempo, come Swift/Xrt, XMM, Chandra, Nicer. A oggi, survey X specificatamente progettate e dedicate alla ricerca di transienti, come eROSITA, Einstein Probe e Svom, continuano ad ampliare il catalogo di candidati Tde osservati in banda X e ad arricchirlo di casi sempre più intriganti e peculiari.

UN EVENTO FREQUENTE

Attualmente, lo studio di questa popolazione di transienti sta vivendo un periodo di grande sviluppo su molti fronti (teorico, demografico, osservativo). Solo nel corso dell'ultimo decennio, grazie allo sviluppo di sempre più potenti survey ottiche a grande campo, specificatamente dedicate alla ricerca di transienti (come, Atlas, Pan-starrs, Asassn e Ztf) si è assistito a un repentino aumento del numero di Tde rivelati in questa frequenza, che è passato da qualche candidato a quasi un centinaio di eventi coniugati, con un attuale tasso di rivelazione di circa 10 Tde

OUTFLOW
Illustrazione di una stella "divorata" da un buco nero supermassiccio. Una parte di materiale sfugge all'attrazione gravitazionale del buco nero ed è espulsa sotto forma di forti venti.
Crediti: CAS, Norwegian Academy of Science and Letters



Gli eventi di distruzione mareale sono stati teorizzati per la prima volta nel 1975 da Jack Hills e poi approfonditi nel 1988 da Martin Rees. Fu solo agli inizi degli anni Novanta che vennero rivelate delle emissioni transienti provenienti da nuclei di galassie quiescenti che potevano essere spiegate tramite un Tde

l'anno. Grazie alla rapida identificazione dei candidati, allo sviluppo di campagne di monitoraggio mirate, accurate e temporalmente estese, e all'utilizzo di un approccio sempre più multibanda, il campione di Tde è in continua e costante crescita, e ha svelato una popolazione di transienti con distinte proprietà osservative nelle diverse bande, ma anche con numerosi casi peculiari che continuano a stupire e a sfidare le teorie sviluppate per spiegare le osservazioni. Infatti, nonostante questo rapido sviluppo, i meccanismi responsabili della radiazione osservata e le caratteristiche della regione da cui tale radiazione è emessa rimangono ancora

un mistero. Ad esempio, un fatto particolarmente interessante è emerso dal sistematico monitoraggio in banda X dei candidati Tde selezionati nell'ottico. Contrariamente a quanto atteso dai modelli teorici, non tutti i Tde identificati nelle frequenze del visibile sono accompagnati anche da un'emissione di radiazione in banda X. Solo poche eccezioni sono state osservate, e includono anche casi in cui l'emissione in banda X è stata osservata con un ritardo di mesi/anni rispetto alla luce visibile. Sono stati teorizzati alcuni scenari per spiegare questo dualismo osservato, ma ad oggi sono ancora in discussione.

Con l'inizio delle operazioni di Vro-Lsst, gli astronomi si aspettano un ulteriore ed entusiasmante incremento del tasso di rivelazione dei Tde, che dovrebbe raggiungere i 10 al giorno, e che avrà il prezioso potenziale di fare luce sulle ancora numerose domande riguardo a questi transienti e la popolazione di Smbh in essi coinvolta.

LO STRANO CASO DI AT2022WTN

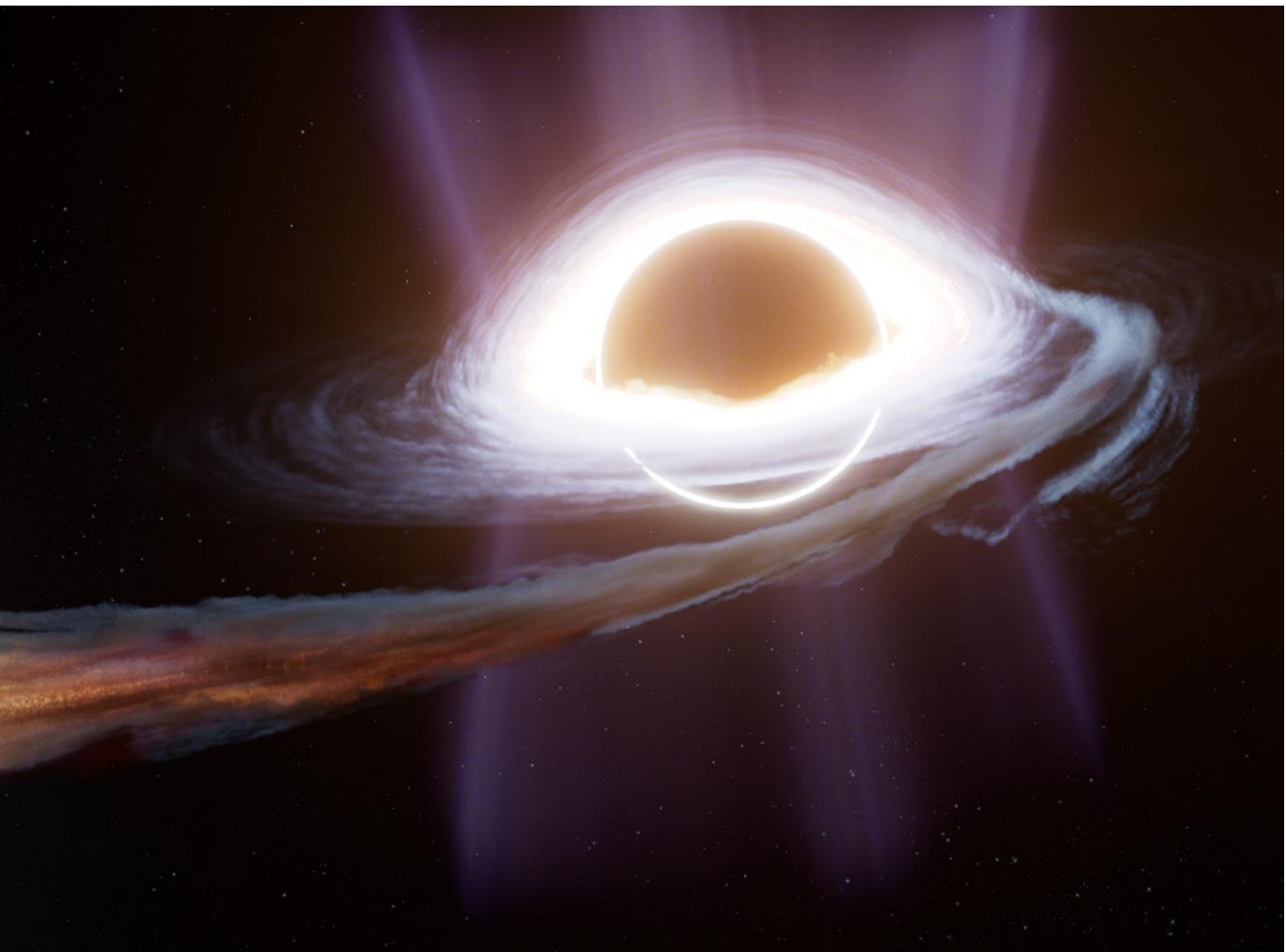
Nell'ottobre del 2022, la survey ottica Zwicky Transient Facility (Ztf) ha annunciato la rivelazione di un evento transiente – denominato AT2022wtn – localizzato nel nucleo della galassia SDSSJ232323.79+104107.7, la più piccola di una coppia di galassie in interazione. Questo transiente ospitato in un ambiente così particolare ha immediatamente attirato l'attenzione degli astronomi delle collaborazioni ePessto+ e Ztf, che hanno attivato una campagna di classificazione e monitoraggio in multifrequenza per identificare la natura e studiarne le caratteristiche. Osservazioni nel visibile – arricchite dall'acquisizione di numerosi e ben cadenzati spettri ottici e accompagnate da una serie di osservazioni in banda X (con il satellite Swift), nell'infrarosso e nel radio – hanno svelato che si trattava di un raro evento di distruzione mareale. Lo studio è stato pubblicato sulla rivista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, in un articolo scientifico guidato dalla dottoressa Francesca Onori, assegnista di ricerca dell'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf). Il lavoro riporta dettagliatamente la strategia osservativa applicata e i risultati ottenuti, offrendo nuove prospettive sui processi che si innescano in un Tde e quali sono le implicazioni derivate dall'osservazione di un tale evento in una coppia di galassie in interazione.

AT2022wtn si è verificato nel nucleo della galassia meno massiccia – circa dieci volte più piccola della sua compagna – di una coppia in una fase iniziale del processo di fusione tra galassie, e mostra caratteristiche particolarmente insolite rispetto agli eventi mareali già noti. La sua curva di luce (l'evoluzione nel tempo della luminosità del transiente) mostra un andamento peculiare: un plateau al massimo valore della sua lumino-



Con l'inizio delle operazioni di Vro-Lsst, gli astronomi si aspettano un ulteriore ed entusiasmante incremento del tasso di rivelazione dei Tde, che dovrebbe raggiungere i 10 Tde rivelati al giorno

sità della durata di circa 30 giorni, accompagnato da un repentino calo di temperatura, spettri ottici dominati da elio e azoto, ma con profili delle righe di emissione caratterizzate da un doppio picco e l'assenza di emissio-



DISTRUZIONE MAREALE

Illustrazione di una stella blu massiccia fatta a pezzi da un buco nero. Gli eventi di distruzione mareale si verificano quando una stella si avvicina all'orizzonte degli eventi da esserne sopraffatta.

Crediti: R. Crawford (STScI)

ne X, anche dopo molti mesi di monitoraggio. Tra gli aspetti più sorprendenti riportati nell'articolo c'è anche l'identificazione di una serie di indizi che segnalano la presenza di forti venti stellari prodotti dal Tde: la rilevazione di un'emissione radio transiente e forti variazioni nel tempo delle velocità delle linee spettrali. Lo scenario proposto dagli autori dell'articolo per spiegare tutti i dati a loro disposizione è la completa distruzione mareale di una stella di bassa massa da parte di un buco nero supermassiccio quiescente di circa un milione di masse solari. Questo fenomeno ha generato un nuovo disco di accrescimento attorno al buco nero e una sorta di "bolla" quasi sferica di gas, espulso in rapida espansione, che ha oscurato la radiazione X emessa dal materiale del disco di

accrescimento ed è responsabile dell'emissione della radiazione ottica osservata.

Una caratteristica intrigante di questo Tde è l'ambiente che lo ha ospitato. AT2022wtm, infatti, è il secondo Tde osservato in una coppia di galassie in interazione, cosa che, a questo punto, risulta essere molto più che una semplice casualità. Infatti, l'aver osservato ben due eventi in questo tipo di sistemi di galassie rafforza la recente teoria che le fasi iniziali delle fusioni tra galassie potrebbero di fatto causare un aumento della frequenza di questi fenomeni estremi. I primi passaggi dell'interazione tra galassie, infatti, potrebbero favorire la deviazione delle orbite di alcune stelle verso le regioni nucleari, dove risiedono Smbh dormienti che potrebbero distruggerle. ■



Soxs: pronti a osservare gli eventi transienti

di Sergio Campana, Pietro Schipani e
Paolo D'Avanzo

Osservare un cielo in continuo mutamento è una sfida che necessita di strumenti, tempo e personale adeguati. Per questo l’Inaf, in collaborazione con l’Eso, ha dato vita a Soxs, un nuovo spettrografo, e a una strategia osservativa che colga gli eventi transienti quando questi si manifestano.

A

Alzando gli occhi, durante una notte buia, il cielo ci sembra immutabile, con le stesse stelle e costellazioni da millenni. Già gli antichi però si erano resi conto, grazie all’osservazione di eclissi, comete e stelle nuove (supernove), che il cielo immutabile non è.

Il novero degli eventi transienti, cioè passeggeri, che il cielo può offrire è enorme, e comprende oggetti nel nostro sistema solare (asteroidi e comete), nella nostra galassia (sistemi binari contenenti una stella di neutroni o un buco nero, esplosioni magnetiche in stelle di neutroni isolate, variabili cataclismiche), nell’universo locale (esplosioni di supernove in tutte le loro sfumature, distruzioni mareali di stelle da parte di buchi neri massimi), fino ai confini dell’universo con i lampi di luce gamma.

PRONTI A OSSERVARE

La durata di questi eventi varia da qualche mese (per esempio le supernove) a meno di un giorno. Se si vogliono osservare questi eventi transienti, bisogna essere sempre pronti. Essere pronti significa avere scritto in precedenza delle proposte osservative per quella classe di oggetti (ed essere riusciti a

farsene approvare dai vari comitati) e poi, al palesarsi dell’evento, essere pronti ad attivare le osservazioni. Questo deve accadere 24 ore su 24 e 7 giorni su 7, perché i transienti esplodono quando vogliono loro!

Pur mettendoci tutta la buona volontà e l’impegno necessari, non sempre si riesce a osservare quello che si vuole: a volte lo strumento non è disponibile o qualcun altro sta già utilizzando il telescopio per osservazioni che non possono essere interrotte.

Per questo motivo noi abbiamo pensato di costruire uno strumento sempre montato a un telescopio e completamente dedicato alle osservazioni di fenomeni transienti. Sembra banale, ma al momento non esistono strumenti e telescopi così.

Con questa idea abbiamo risposto alla richiesta dell’European Southern Observatory (Eso, che raccoglie le migliori eccellenze europee e gestisce i telescopi più grandi al mondo nei deserti cileni) di nuovi strumenti da montare al telescopio di 4 metri di diametro New Technology Telescope (Ntt) a La Silla (Chile). L’Ntt è un telescopio famoso tra gli astronomi, perché è il primo telescopio al mondo ad aver utilizzato un sistema di ottica attiva per correggere le aberrazioni del telescopio.

LO SPETTROGRAFO SOXS

L’Eso ha selezionato il nostro progetto per la costruzione di uno spettrografo che abbiamo chiamato Son Of X-Shooter (Soxs), con riferimento a un altro strumento Eso, l’X-shooter appunto, al quale ci siamo ispirati.

Cosa fa Soxs? Si tratta di uno spettrografo che scomponete la luce visibile (ottica) e infrarossa in un arcobaleno di colori. Questo spettro continuo è solcato da innumerevoli piccole bande nere, o luminose: le righe

IL FIGLIO DI X-SHOOTER
Soxs è l’acronimo di Son of X-Shooter. X-Shooter è uno spettroscopio installato sull’unità 3 del Very Large Telescope presso l’Osservatorio Eso del Paranal, in Cile.
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

Cosa fa Soxs? È uno spettrografo che scomponete la luce visibile e infrarossa in un arcobaleno di colori. Questo spettro dà preziose informazioni sulla composizione chimica della sorgente che stiamo osservando, sulla sua distanza e sulle sue condizioni fisiche



di assorbimento (o emissione), che danno preziose informazioni sulla composizione chimica della sorgente che stiamo osservando, sulla sua distanza e sulle sue condizioni fisiche. La spettroscopia, infatti, inventata dall'astronomo italiano e sacerdote gesuita padre Secchi, è un potentissimo metodo di indagine di tutte le sorgenti astronomiche.

Come in ogni famiglia, il "figlio" Soxs assomiglia al "padre" X-Shooter: ad esempio, Soxs ha due bracci spettroscopici, uno visibile e uno infrarosso, mentre X-Shooter ne ha tre; Soxs, poi, ha una camera di acquisizione di immagini migliore di quella di X-Shooter. Insomma, ispirazione e somiglianze tra i due strumenti, ma nulla più.

COLLABORARE E COSTRUIRE

Ci siamo quindi imbarcati nella costruzione di Soxs. L'Inaf è il capofila della collaborazio-

ne. Ha costruito uno dei due bracci spettroscopici, quello infrarosso, e la struttura che separa la luce visibile da quella infrarossa, mentre una collaborazione internazionale ha costruito il ramo spettroscopico visibile e la camera per acquisire le immagini.

Si è partiti da un disegno preliminare di tutti i sottosistemi, che è stato visto, scrutato e approvato dall'Eso. Si è poi passati ai disegni operativi finali, anch'essi visti e approvati dall'Eso. Dopo queste fasi iniziali, che sono durate due anni e mezzo, si è passati alla fase vera e propria di acquisizione di tutti i pezzi ottici, elettronici e meccanici e alla costruzione dei diversi sottosistemi, sempre sotto la supervisione dell'ufficio del progetto in capo all'Inaf.

I diversi sottosistemi sono stati costruiti in giro per il mondo. Il ramo infrarosso è stato costruito, assemblato e testato presso

LA SILLA
È stato il primo sito di osservazione dell'Eso. Siamo nella parte meridionale del deserto di Atacama, a 2400 metri sul livello del mare e 600 chilometri a nord di Santiago del Cile.
Crediti: Eso



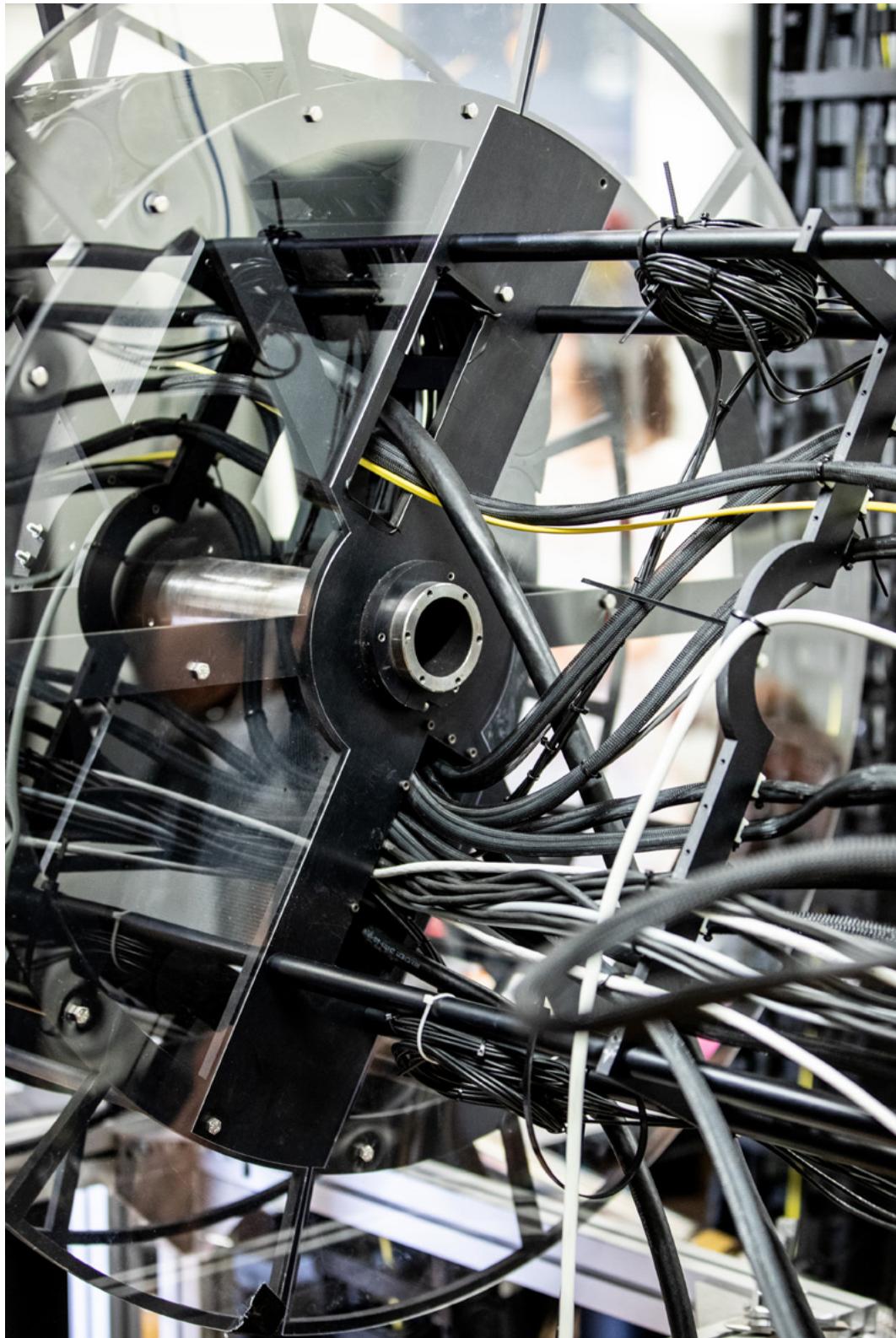
RIFLESSI
Il New Technology Telescope e il telescopio Eso da 3,6 metri (a sinistra) fanno capolino in uno degli specchi stradali che punteggiano le strade dell'Osservatorio di La Silla.
Crediti: Eso/L. Zychova

la sede Inaf dell'Osservatorio astronomico di Brera a Merate, mentre il *common path*, la parte centrale che divide la luce nei due rami spettroscopici, presso la sede Inaf dell'Osservatorio astronomico di Padova. Tutti i sottosistemi sono stati validati e accettati e quindi spediti e riuniti a Padova, dove l'intero Soxs è stato montato su un simulatore del telescopio Ntt. Purtroppo, questa fase costruttiva è coincisa con l'inizio della pandemia da Covid-19, rallentando non poco i nostri lavori.

L'ORA DEI TEST

Soxs è stato assemblato ed estensivamente testato a Padova per molti mesi. Una volta pronti, l'Eso è venuto a farci le pulci, testando e provando lo strumento per diverse settimane, spalmate su tre mesi. Messi a posto gli ultimi dettagli, l'Eso ci ha dato il permesso di spedire Soxs in Cile e di montarlo all'Ntt. Come "regalo di Natale" del 2024, 28 casse sono uscite dai laboratori dell'Osservatorio astronomico di Padova per essere imbarcate su un aereo e quindi spedite in Cile.

L'Inaf ha costruito uno dei due bracci spettroscopici, quello infrarosso, e la struttura che separa la luce visibile da quella infrarossa

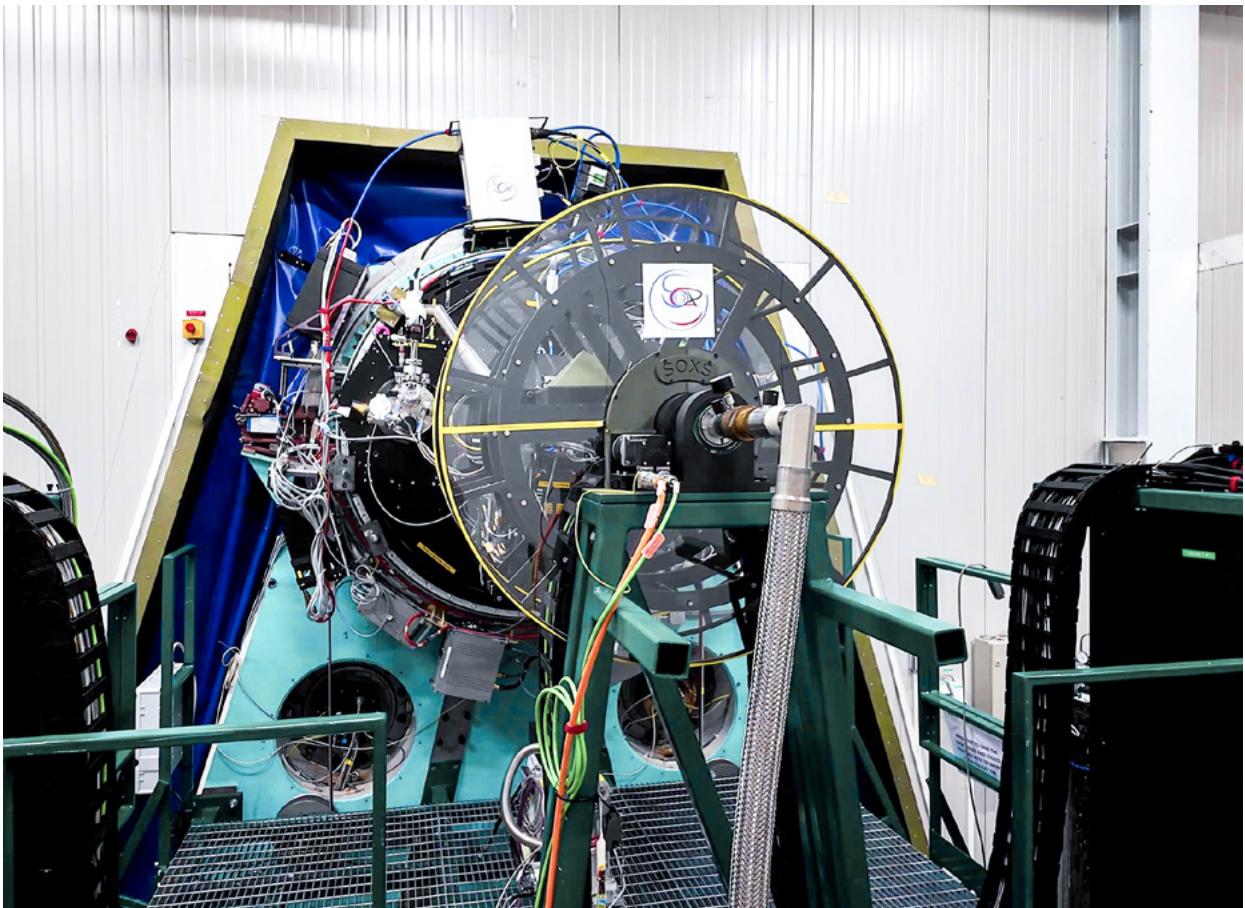


SINCRONIZZATO

Un dettaglio del braccio meccanico che accompagna i movimenti di Soxs installato al New Technology Telescope dell'Osservatorio Eso di La Silla, durante le notti di osservazione.
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

**PIÙ MANI**

Soxs è stato progettato da un consorzio internazionale guidato dall'Inaf Osservatorio astronomico di Brera per il New Technology Telescope dell'ESO.
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

**COMMISSIONING**

Al telescopio Ntt, da settembre 2025, si procede con il *commissioning* di Soxs per caratterizzare e definire le capacità osservative dello spettrografo.

Crediti: Inaf/D. Coero Borga

Lo scopo è riuscire a osservare gli oggetti nelle migliori condizioni, cioè quando sono più alti sull'orizzonte e hanno meno atmosfera da attraversare

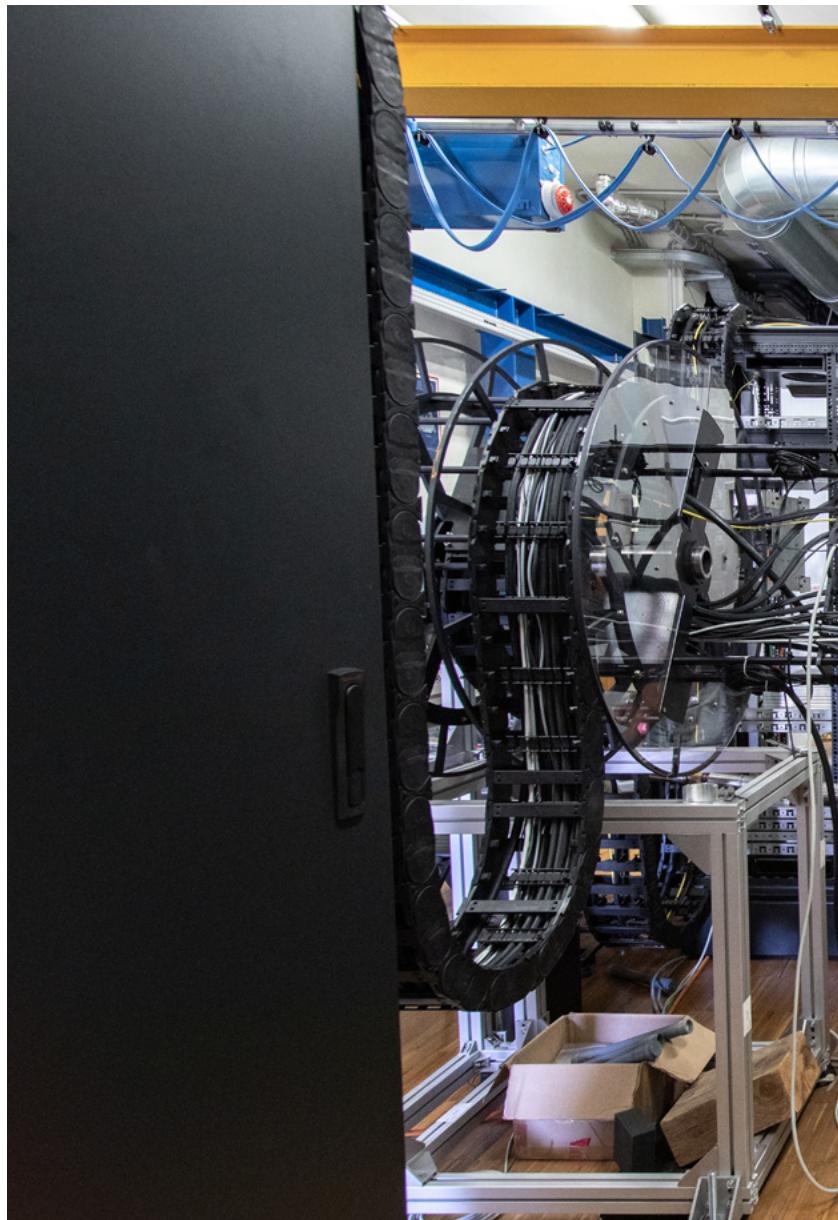
Arrivate le casse, è iniziato il lento riconnaggio di Soxs, questa volta attaccato al vero telescopio Ntt e non a un simulatore. È stato necessario poco più di un mese per avere Soxs pronto a guardare, per la prima volta, il cielo.

Dopo l'incredibile lavoro fatto dai tecnologi per la progettazione, costruzione e messa in opera di Soxs, la palla passava adesso agli astronomi per quello che si chiama il *commissioning* dello strumento, cioè la caratterizzazione delle sue prestazioni e la creazione di quegli automatismi informatici che rendono possibile la fruizione dello strumento senza intoppi. Tecnologi e astronomi continuano a lavorare insieme anche in questa fase, per mettere a punto lo strumento in base alle informazioni che le osservazioni del cielo forniscono. In questa fase, infatti, Soxs viene puntato verso sorgenti note e ben conosciute, e i dati raccolti vengono usati per caratterizzare e definire le capacità osservative dello strumento.

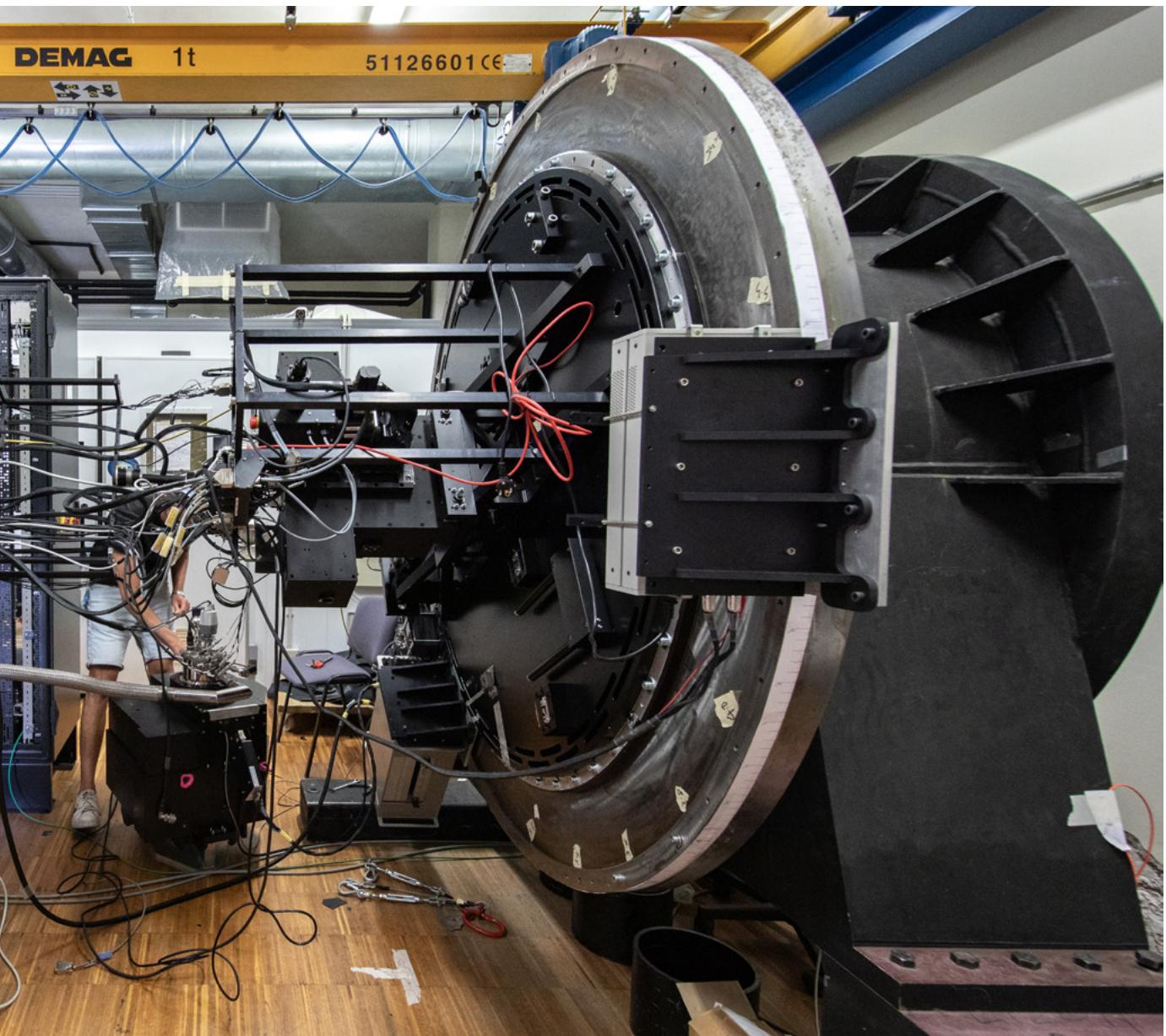
Purtroppo, la vita degli astronomi e dei tecnologi non è sempre rose e fiori. La storia di Soxs è stata costellata da una serie di piccoli, e meno piccoli, inconvenienti (rotture impreviste di pezzi, ritardi nelle consegne, ecc.), che abbiamo sempre superato con caparbia e abnegazione. Da settembre 2025 stiamo finalmente ultimando il *commissioning* di Soxs e iniziando a vedere i frutti del nostro duro lavoro.

OSSERVARE È UN'ARTE

Cosa rimane della visione iniziale? Tutto! Abbiamo lo strumento (quasi) pronto e funzionante. Per la costruzione di Soxs, l'Eso ci ha ripagato mettendo a disposizione 180 notti osservative all'anno, per cinque anni. Dopo



diverse di discussioni con ESO, in cui ci dicevano che non sarebbero riusciti a supportare il "normale" modo osservativo, con astronomi del consorzio Soxs che andavano a La Silla a osservare, abbiamo deciso di gettare il cuore oltre l'ostacolo e di inventare uno *scheduler*, cioè un sistema informatico che facesse quello che fa un astronomo quando va a osservare: selezionare le osservazioni da fare durante la notte, tenendo conto delle priorità scientifiche, delle condizioni meteo, della Luna, del vento e di eventuali ritardi nella schedula delle osservazioni. Lo scopo è riuscire a osservare gli oggetti nelle migliori condizioni, cioè quando sono



A PADOVA Soxs è stato assemblato ed estensivamente testato per molti mesi presso i laboratori Inaf dell'Observatorio astronomico di Padova, ai piedi della storica Torlonga.
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

più alti sull'orizzonte e hanno meno atmosfera da attraversare. Non è Intelligenza artificiale, ma quasi. In questo modo siamo riusciti a superare il concetto di notte osservativa affidata a un astronomo e il tempo di osservazione diventa dinamico e flessibile e si adatta all'imprevedibilità delle sorgenti transienti. Se una notte ci sono tante sorgenti transienti da classificare o seguire, osserveremo per tutto il tempo necessario, anche tutta la notte, andando a pescare dal monte ore che Soxs ha a disposizione; in altre notti invece più tranquille osserveremo meno sorgenti transienti o anche nessuna, lasciando spazio alle osservazioni selezionate dall'Eso

per le altre 185 notti. Tutto questo in modo dinamico, tenendo conto delle restrizioni imposte dalle condizioni osservative a La Silla, e sempre pronti a reagire nel caso esploda una nuova sorgente transiente veloce come un lampo di luce gamma o una sorgente di onde gravitazionali.

Perché la sfida dell'astronomia delle sorgenti transienti è sempre quella: può esplodere il lampo gamma associato alla sorgente più distante dell'universo o l'evento gravitazionale associato alla produzione di oro e altri metalli pesanti, ma noi dobbiamo essere sempre pronti, in qualsiasi momento, a osservarli.

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**



LAMPI GAMMA SOPRA LE NUVOLE

intervista

di **Marco Malaspina**



MARTINO MARISALDI
Fisico, Università di Bergen

Da Bologna a Bergen, in Norvegia, inseguendo i lampi gamma terrestri, fenomeno del quale è uno fra i maggiori esperti al mondo. Ora, grazie al generoso finanziamento che gli ha assegnato lo European Research Council a giugno di quest'anno, li sta studiando dall'alto, volando sopra le nubi temporalesche per osservare per la prima volta le regioni responsabili dell'emissione gamma e vedendo come evolvono in seguito a un fulmine. Si chiama Martino Marisaldi ed è un fisico bolognese che dopo aver lavorato per anni in Italia, all'Istituto nazionale di astrofisica al quale è tuttora associato, ha deciso di accettare una posizione all'Università di Bergen. Lo abbiamo intervistato.

Che cosa sono i lampi gamma terrestri? Quando sono stati scoperti e a che punto siamo nella loro comprensione?

I lampi gamma terrestri, o *Terrestrial Gamma-ray Flash* (Tgf), sono brevissimi impulsi di raggi gamma emessi dalle nubi temporalesche e associati ai processi di scarica elettrica all'interno delle nubi. La durata tipica va da un centesimo a un decimo di millisecondo e l'energia dei singoli fotoni si estende a oltre 100 volte quella usata nelle normali radiografie mediche. Rappresentano, di fatto, la manifestazione dei processi di accelerazione di particelle di più alta energia che hanno luogo naturalmente sulla terra. Questi acceleratori di particelle naturali si trovano nelle nubi temporalesche, pochi chilometri sopra di noi. Sono stati osservati per la prima volta dallo strumento Batse a bordo del satellite Nasa Compton, dedicato all'astrofisica nei raggi gamma, e pubblicati per la prima volta nel 1994. Batse era uno strumento progettato specificamente per osservare i *gamma-ray burst*, transienti cosmici che hanno luogo a grande distanza dalla Terra e che non hanno niente a che vedere con i Tgf, ma condividono con loro la breve durata e le elevate intensità ed energia. Per questo i Tgf sono stati inizialmente osservati da satelliti dedicati all'astrofisica nei raggi gamma come, appunto, Compton, e in seguito Rhessi della Nasa e il satellite Agile dell'Agenzia spaziale italiana, con il quale ho avuto l'onore e il piacere di lavorare per tanti anni. A oggi sono stati catalogati migliaia di Tgf osservati dallo spazio, alcuni da terra e circa un centinaio da aereo, grazie a una recente campagna sperimentale coordinata dal nostro gruppo dell'Università di Bergen. A oggi, gli scienziati che lavorano nel campo sono concordi sui meccanismi fisici alla base della produzione dei Tgf, come vengono accelerati e moltiplicati gli elettroni all'interno degli elevati campi elettrici nelle nubi temporalesche. Anche l'associazione con i fulmini è assodata, ma i suoi dettagli e le relazioni di causa ed effetto sono ancora oggetto di studio. Dalle misure più recenti

SCINTILLE IN QUOTA
Illustrazione dell'aereo Nasa ER-2 mentre trasporta la strumentazione della missione Aloft per registrare i raggi gamma che si formano nelle nubi temporalesche.
University of Bergen / Mount Visual



è emerso un quadro eccitante, che mostra come i processi di accelerazione di particelle, di cui i Tgf sono la manifestazione più eclatante, ma non l'unica, sono una componente importante e dinamica della vita delle nubi temporalesche, fortemente interconnessa con i più evidenti processi di convezione e fulminazione. In trent'anni di studio, la nostra percezione di Tgf e fenomeni correlati è cambiata radicalmente: da rare curiosità, come considerati inizialmente, a una componente fondamentale della dinamica delle nubi, come ritenuti oggi. La comprensione olistica del ruolo di questi processi nella dinamica delle nubi temporalesche è al momento, secondo me, la sfida più appassionante del campo.

Può descriverci il progetto recentemente finanziato dedicato allo studio dei lampi gamma terrestri?

Nel 2023 abbiamo fatto una campagna aerea in Florida e nel Golfo del Messico, usando un aereo della Nasa in grado di volare ad alta quota, 20 km sopra le nubi temporalesche. Abbiamo ottenuto risultati eccezionali che stanno trasformando questo campo di ricerca. Abbiamo scoperto nuovi fenomeni e abbiamo mostrato che tutto quello che sapevamo prima, grazie a osservazioni dallo spazio, era solo la punta dell'iceberg. Con questo nuovo progetto torneremo a volare sopra le nubi temporalesche, questa volta con strumenti in grado di ottenere l'immagine delle nubi in raggi gamma e, contemporaneamente, l'immagine dei fulmini usando dei ricevitori radio direttamente a bordo dell'aereo. Una cosa del genere non è mai stata fatta prima d'ora e permetterà di "vedere" le regioni responsabili dell'emissione gamma nelle nubi e come queste evolvono in seguito a un fulmine. Inoltre,

In trent'anni di studio, la nostra percezione di Tgf e fenomeni correlati è cambiata radicalmente: da rare curiosità, come considerati inizialmente, a una componente fondamentale della dinamica delle nubi, come ritenuti oggi

permetterà di testare una delle ipotesi sulla formazione dei fulmini, che è ancora uno dei principali problemi irrisolti in questo campo di ricerca.

Voli ad altissima quota sopra i temporali: sembra un'esperienza piuttosto avventurosa, per un ricercatore. Ci sarà anche lei, a bordo dell'aereo?

Essere in Florida nel 2023 e osservare in tempo reale le misure del nostro strumento in volo a centinaia di chilometri di distanza è stato il momento scientificamente più eccitante della mia carriera dai tempi del lancio di Agile. Non vedo l'ora di ripetere questa esperienza, questa volta con la responsabilità completa della missione. Purtroppo, non ho potuto, e non potrò, salire sull'aereo: è un monoposto e i piloti volano in una specie di tuta spaziale sotto ossigeno, necessario per la quota di volo quasi doppia rispetto a quella di un normale aereo passeggeri. Ma essere là al centro di controllo, vedere i dati dipanarsi davanti ai miei occhi in tempo reale e condividere questo momento con altri ricercatori che hanno speso anni di carriera sullo stesso progetto sarà per me come volare ancora più in alto dell'aereo stesso.

Ecco, a proposito di aerei passeggeri: c'è anche la sicurezza aerea fra le possibili ricadute dei suoi studi?

L'obiettivo del progetto è ricerca fondamentale. Non vedo ricadute pratiche immediate, anche se non posso escluderle per il futuro, soprattutto per quanto riguarda la comprensione dell'impatto delle nubi temporalesche sulla chimica e la dinamica dell'atmosfera, ed eventualmente sul clima. Oppure, dal punto di vista tecnologico, per l'ottimizzazione degli strumenti per la rivelazione di fulmini da terra. Non sono invece un grande fan dell'associazione dei Tgf a problematiche di sicurezza aerea. Ci sono molti ottimi motivi da parte di un pilota per evitare di volare dentro una nube temporalesca, prima di pensare ai Tgf. Studi recenti hanno mostrato che bisogna essere veramente vicino alla regione di produzione di un Tgf brillante, entro poche centinaia di metri, perché i passeggeri ricevano una dose di radiazione preoccupante. Tali zone sono all'interno delle regioni convettive delle nubi, che gli aerei passeggeri tendono a evitare comunque per via dell'elevata turbolenza. È vero che abbiamo mostrato che ci sono molti più Tgf di quanto si pensava, ma questi sono anche fino a decine di migliaia di volte meno intensi.

Gli advanced grant, come quello che le è stato assegnato, sono tra i finanziamenti dell'Erc probabilmente i più ghiotti. E sono riservati ai ricercatori di maggior successo, «leader eccezionali in termini di originalità e importanza dei loro contributi di ricerca», recita il bando. È stato difficile aggiudicarsene uno? E come lo spenderà?

Riguardo gli Erc *advanced grant*, ci sono state un totale di 2534 proposte inviate, e solo 281 sono state approvate, l'11,4%. La Norvegia ha avuto cinque *grant* approvati, di cui solo due in discipline Stem, entrambi all'Università di Bergen. Un bel risultato, direi, sia per me sia per la mia università. Quanto all'utilizzo dei 3,5 milioni di euro, un milione è destinato alla sola campa-

FULMINE INTRANUVOLA
È il nome di questa particolare tipologia di fulmine: si verifica all'interno della nube temporalesca o da una nube all'altra.
Crediti: M. Clark, Cloud Atlas



gna di volo. Il progetto finanzierà poi in parte ricercatori e tecnici che fanno già parte del nostro gruppo a Bergen, che si occuperanno della realizzazione dello strumento gamma, delle simulazioni necessarie per ottimizzare gli strumenti e della pipeline di analisi dati. Il progetto finanzierà anche un nuovo studente di dottorato, che si occuperà delle calibrazioni dello strumento gamma e dell'estrazione delle immagini. Inoltre, il progetto finanzierà attività sperimentale di molti collaboratori, fra Stati Uniti, Spagna e Messico.

L’Italia non attrae scienziati, anzi, sembra quasi respingerli: a fronte di numerosi italiani vincitori di grant Erc, sono relativamente pochi quelli – italiani e non – che scelgono di condurre le proprie ricerche qui, anche se quest’anno la situazione è assai migliorata. Quali sono secondo lei i motivi e quali le possibili soluzioni?

Questa è una domanda complessa, che ovviamente merita una risposta complessa. Posso presentare il mio caso personale, che forse è un po’ atipico. Ho deciso di trasferirmi all'estero a quarant'anni suonati, nonostante una posizione permanente all'Inaf, per un mix di ambizione scientifica e prospettive di carriera. È stata una scelta rischiosa, che per mia fortuna ha pagato. Mi rendo conto che molti ricercatori non hanno il "lusso" di questa scelta, e quando si trasferiscono lo fanno magari per necessità, perché non vedono altre possibilità per restare nella ricerca in Italia. Questa situazione si può sicuramente curare. In parte con l'aumento delle risorse destinate alla ricerca, ma questa è la parte semplice e ovvia della risposta. Meno ovvio è come le risorse vengono impiegate e con quali condizioni al contorno. Penso a un'amministrazione e a una burocrazia che siano di supporto, e non di intralcio. Penso a prospettive di carriera chiare e basate sul merito. Penso anche e soprattutto a un ambiente culturale che consideri la ricerca e l'attività intellettuale in generale non come una perdita di tempo ma come una risorsa fondante per il futuro.



Visione

Ph. Riccardo Bonuccelli

Quando si scende dalla funivia ce lo si trova di fronte, immerso nella neve. Le pareti di sasso, le cupole che riflettono la luce del sole. A destra si aprono le piste da sci, con gli impianti di risalita. E c'è l'altopiano, incorniciato dalle cime dei monti della Laga.

L'idea di costruire un osservatorio sul Gran Sasso è venuta a Giuseppe Armellini, direttore dell'Osservatorio astronomico di Monte Mario, a Roma. All'inaugurazione della stazione osservativa, nel 1965, c'erano anche Massimo Cimino, Piero Tempesti e Margherita Hack. Nel 2017 l'Istituto nazionale di astrofisica ha deciso di superare la

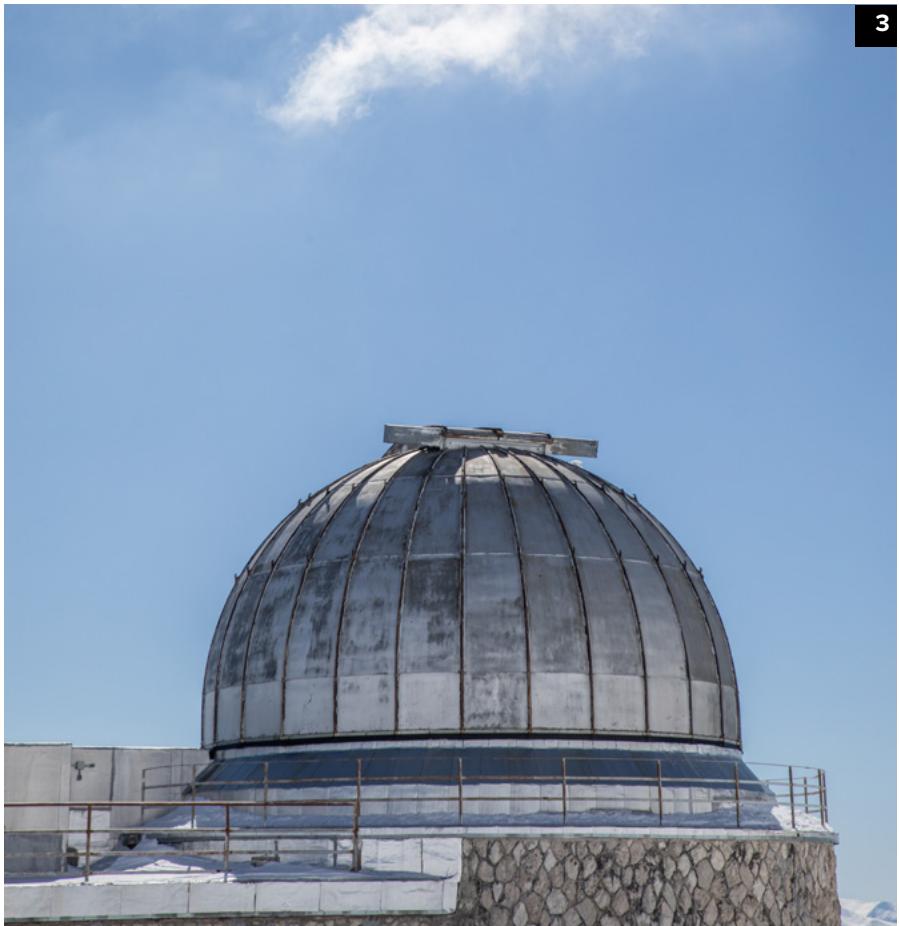


dicotomia storica di due osservatori astronomici in Abruzzo, a Teramo e a Campo Imperatore, unificando i due siti sotto un'unica struttura: l'Osservatorio astronomico d'Abruzzo.

È un luogo perfetto per fare astronomia: Campo Imperatore si trova spesso al di sopra dello strato di inversione termica atmosferico, quello dove si formano le nuvole, e gode di un cielo completamente sereno, mentre le nubi sottostanti schermano la luce artificiale delle valli limitrofe. Sono molti i programmi scientifici nazionali e internazionali in cui è stata coinvolta la stazione negli ultimi decenni: ricerca di supernovae extragalattiche nel vicino infrarosso, monitoraggio dei piccoli corpi che, nel Sistema solare, si avvicinano o intersecano periodicamente l'orbita terrestre – risultando potenzialmente pericolosi per il nostro pianeta –, studio di buchi neri e nuclei galattici attivi.

Oggi il lavoro di ricerca è dedicato in larga parte alla scoperta e al monitoraggio ottico e infrarosso dei transienti, ovvero quelle sorgenti la cui luminosità cambia improvvisamente e in modo spesso inaspettato. La strumentazione di Campo Imperatore partecipa, inoltre, ai programmi di ricerca e monitoraggio di detriti spaziali, fornendo dati utili a determinare la posizione e la traiettoria di frammenti di satelliti e lanciatori, più o meno grandi, a rischio di ricaduta sulla superficie terrestre.





1. Il telescopio ottico Wot di tipo Schmidt all'interno della prima cupola costruita presso la stazione osservativa di Campo Imperatore, negli anni Cinquanta.

2. L'albergo di Campo Imperatore, già albergo Amedeo di Savoia Duca d'Aosta, costruito negli anni Trenta del Novecento su progetto di Vittorio Bonadè Bottino e divenuto celebre per essere stato prigione di Benito Mussolini nell'estate del 1943.

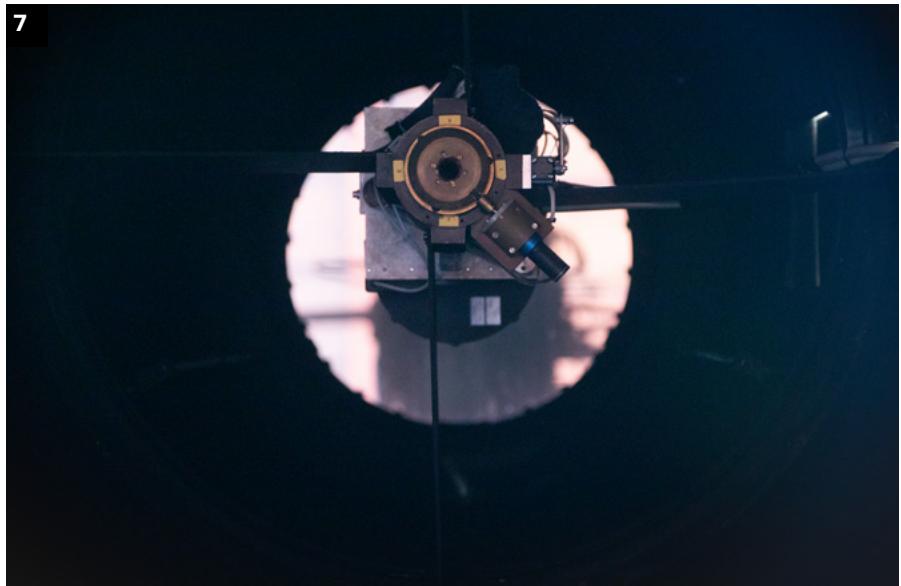
3. La cupola ovest, che ospita il telescopio ottico di tipo Schmidt Wide-Field Optical Telescope (Wot).

4. Il telescopio ottico Wot di tipo Schmidt all'interno della prima cupola costruita presso la stazione osservativa di Campo Imperatore, negli anni Cinquanta.

5. Il telescopio infrarosso Vit: la cupola e il relativo telescopio sono stati installati negli anni Novanta. Con lo sviluppo dell'astronomia infrarossa, Campo Imperatore ha rappresentato un sito

osservativo ideale, grazie alle basse temperature (soprattutto invernali) e alla ridotta umidità dell'aria.

6. Il Giardino botanico alpino “V. Rivera” dell'Università dell'Aquila: fondato nel 1952, è una realtà unica nel panorama scientifico e naturalistico italiano.



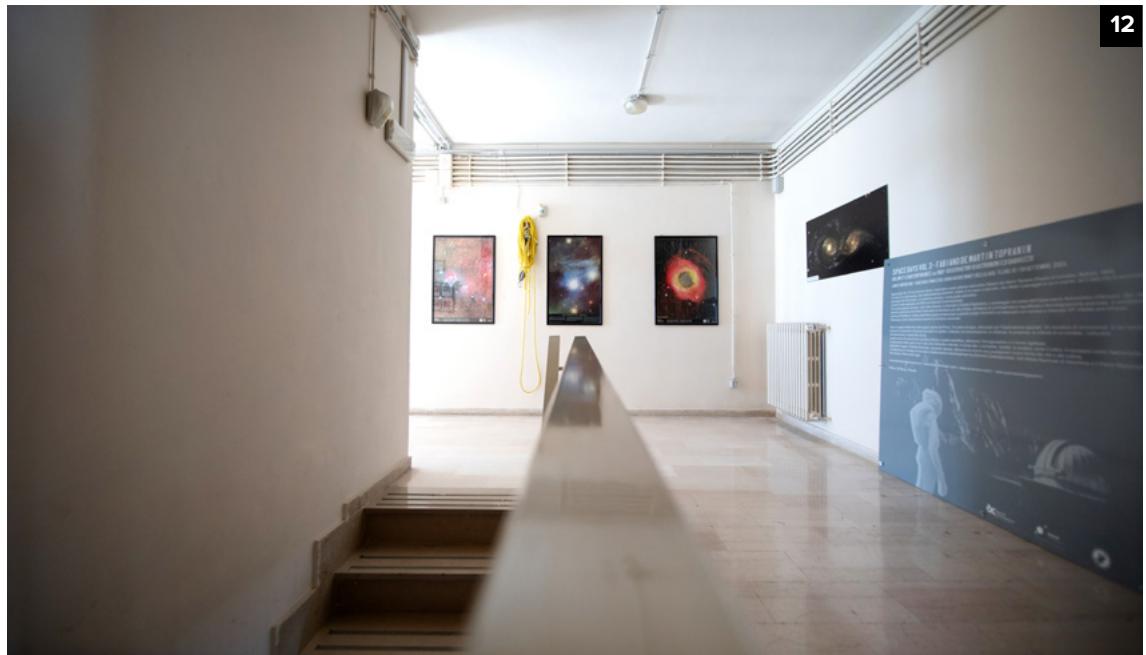
7. L'interno del tubo ottico del Wot. Si notano i supporti del sistema di acquisizione delle immagini posti nel fuoco del telescopio. Sullo sfondo è visibile anche lo specchio primario.

8. Il telescopio ottico Wot.
9. Il telescopio infrarosso Vit: la cupola e il relativo telescopio sono stati installati negli anni Novanta. Con lo sviluppo dell'astronomia

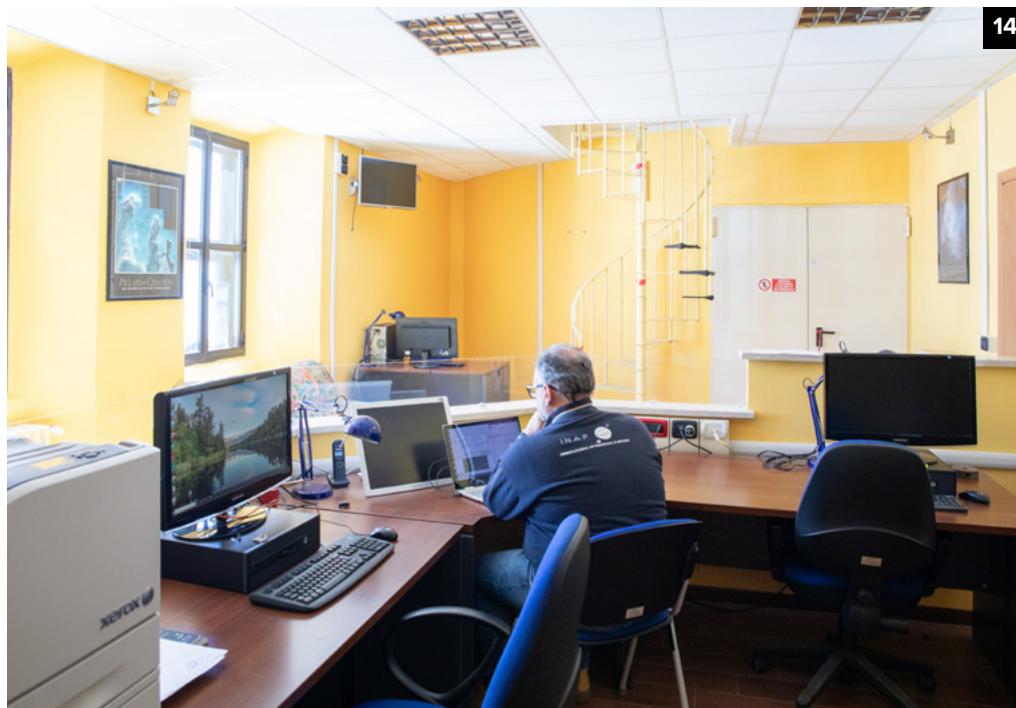
infrarossa, Campo Imperatore ha rappresentato un sito osservativo ideale, grazie alle basse temperature (soprattutto invernali) e alla ridotta umidità dell'aria.







12



14

10. Il pilastro che supporta il telescopio Vit. In primo piano l'attrezzatura che si utilizza per la movimentazione degli specchi durante le operazioni di alluminatura.

11. Amico Di Cianno, tecnico dell'Osservatorio astronomico d'Abruzzo, durante lavori di manutenzione del Visible-Infrared Telescope. Grazie ai fondi del Pnrr il telescopio a breve sarà equipaggiato con un moderno sensore infrarosso, assistito da un sistema di ottica adattiva che ne migliorerà ulteriormente le prestazioni. Sarà possibile anche sviluppare, sperimentare e mettere a punto tecniche di ricerca basate su algoritmi di Intelligenza artificiale.

12. La zona della foresteria nella stazione osservativa.

13. Vista dalla cupola ovest, dove è ospitato il telescopio di tipo Schimdt.

14. Gaetano Valentini, responsabile della divulgazione all'Osservatorio astronomico d'Abruzzo, al lavoro nella sala di controllo della stazione osservativa.



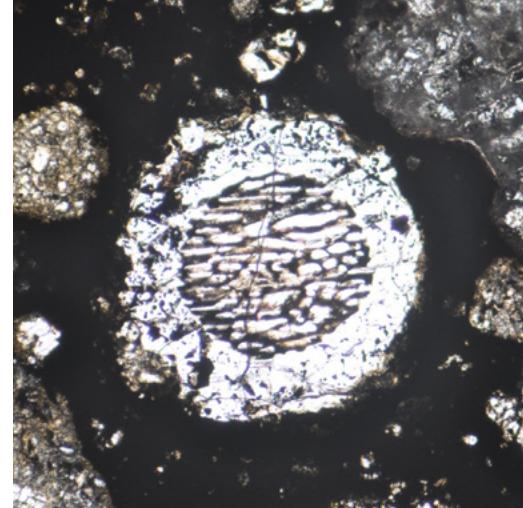
Curiosità dallo spazio

Perseverance trova una potenziale biofirma

Un campione raccolto dal rover Perseverance della Nasa, da un antico letto fluviale prosciugato nel cratere Jezero, potrebbe conservare tracce di antica vita microbica su Marte. A dirlo è un gruppo di ricerca (del quale fa parte anche Teresa Fornaro dell'Istituto nazionale di astrofisica) che, in un articolo pubblicato sulla rivista *Nature*, descrive la scoperta. Gli autori dello studio hanno condotto un'analisi dettagliata del campione, chiamato Sapphire Canyon. È stato prelevato lo scorso anno dalla roccia denominata Cheyava Falls, nella quale il rover si era imbattuto mentre esplorava la formazione Bright Angel, una serie di affioramenti rocciosi sui bordi settentrionali e meridionali della Neretva Vallis, un'antica valle fluviale. L'analisi condotta in situ ha consentito di identificare, in alcune chiazze colorate presenti sulla roccia, la firma di due minerali ricchi di ferro: la vivianite e la greigite. Questi due minerali sono presenti anche sul nostro pianeta: la vivianite si trova spesso nei sedimenti, nelle torbiere e intorno alla materia organica in decomposizione; allo stesso modo, alcuni microrganismi possono produrre greigite.

▲
Perseverance ha scoperto macchie su una roccia soprannominata "Cheyava Falls" che potrebbero indicare potenziali biofirme; sono allo studio anche altre spiegazioni.

Crediti: Nasa/Jpl-Caltech/Msss



Curiosità dallo spazio

Contare gli anni di Giove con le condrule

Un nuovo studio guidato da ricercatori dell'Inaf e dell'Università di Nagoya (in Giappone) ha dimostrato che la nascita di Giove ha innescato la formazione delle condrule nei meteoriti, permettendo così di stabilire che il massiccio pianeta si è formato 1,8 milioni di anni dopo l'inizio del Sistema solare. Quattro miliardi e mezzo di anni fa, Giove crebbe rapidamente fino a diventare il pianeta più grande del Sistema solare. La sua forte attrazione gravitazionale sconvolse le orbite di piccoli corpi rocciosi e ghiacciati, noti come planetesimi. Queste perturbazioni provocarono drammatiche collisioni, capaci di fondere le rocce e le polveri contenute in questi "piccoli" oggetti celesti. Il materiale fuso si frammentò in goccioline incandescenti di silicato – le condrule (o condri) – che oggi troviamo conservate nei meteoriti. Recentemente, due ricercatori hanno per la prima volta chiarito nel dettaglio il processo della loro formazione e, grazie a ciò, sono riusciti a datare con precisione la nascita di Giove. Lo studio, pubblicato su *Scientific Reports*, mostra che alcune caratteristiche delle condrule sono spiegabili grazie all'acqua contenuta nei planetesimi impattanti. Questo risultato dimostra che la formazione delle condrule è stata una conseguenza diretta della nascita dei pianeti.

▲
Condrule tonde visibili in una sezione sottile del meteorite Allende al microscopio.
Crediti: Akira Miyake, Università di Kyoto



Curiosità dallo spazio

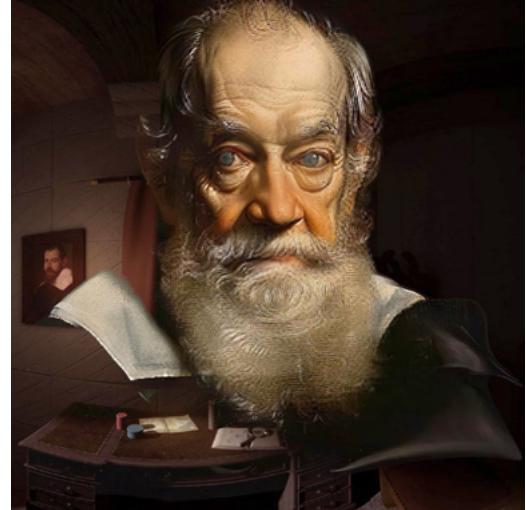
Tesoro, mi si sta restringendo il pianeta!

Secondo un nuovo studio condotto grazie ai dati dell'Osservatorio a raggi X Chandra della Nasa, un pianeta appena nato si starebbe rapidamente rimpicciolendo, passando da dimensioni paragonabili a quelle di Giove (con una densa atmosfera) a un piccolo mondo sterile. Questa trasformazione sta avvenendo perché la stella madre attorno a cui orbita (una nana rossa a circa 330 anni luce dalla Terra) emette forti raffiche di raggi X, che stanno spazzando via la sua atmosfera a un ritmo impressionante. Parliamo di Toi 1227 b, un giovanissimo esopianeta di circa 8 milioni di anni che si trova molto vicino alla sua stella, a meno di un quinto della distanza di Mercurio dal Sole. Di questo passo, il pianeta perderà completamente la sua atmosfera entro circa un miliardo di anni. A quel punto, avrà perso una massa pari a circa due masse terrestri delle circa 17 attuali (come Nettuno, quindi, anche se il suo diametro è più simile a quello di Giove). In particolare, gli esperti stimano che il pianeta stia perdendo una massa equivalente a un'intera atmosfera terrestre circa ogni 200 anni. Toi 1227 b è il secondo pianeta più giovane mai osservato transitare davanti alla sua stella. I dettagli su *The Astrophysical Journal*.



Un'illustrazione dell'esopianeta Toi 1227 b in orbita attorno a una nana rossa, a circa 330 anni luce dalla Terra.

Crediti: Nasa/Cxc/Sao/M. Weiss/N. Wolk



Partner e progetti dell'Inaf

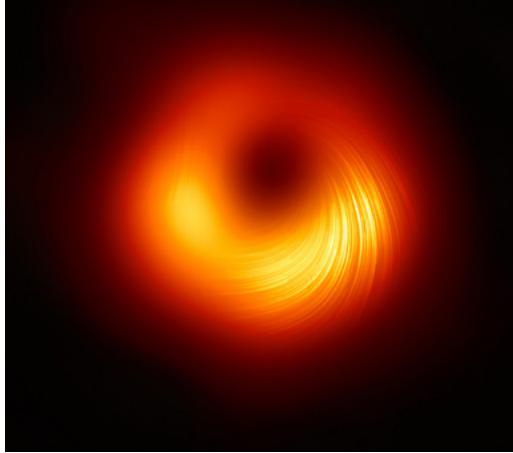
L'Italia all'Expo 2025 di Osaka con Galileo

Lo scorso settembre, l'Inaf, il Museo Galileo e Vis - Virtual Immersions in Science, in collaborazione con l'Office for Astronomy Outreach e l'Italian Office of Astronomy for Education dell'Unione astronomica internazionale, hanno presentato Galileo's Legacy, il progetto di didattica e divulgazione astronomica che è stato protagonista al padiglione Italia all'Expo 2025 di Osaka. Promossa dalla Direzione scientifica dell'Inaf, Galileo's Legacy è un'iniziativa che intende valorizzare la figura e l'eredità di Galileo Galilei, padre del metodo scientifico, attraverso il linguaggio universale della scienza e delle tecnologie immersive. Organizzato nell'ambito della Settimana italiana dell'Expo, l'evento ha previsto tre momenti principali. Due classi di studenti liceali giapponesi hanno ripercorso le osservazioni solari di Galileo, utilizzando strumenti moderni e un approccio critico e sperimentale, per poi vivere un'esperienza immersiva con un video a 360 gradi in realtà virtuale, che racconta i momenti salienti della vita del celebre scienziato pisano. L'iniziativa si è conclusa con una tavola rotonda internazionale aperta al pubblico del Padiglione Italia, con la partecipazione di scienziati, divulgatori e rappresentanti istituzionali provenienti da diversi paesi.



Un frame del video *Galileo VR. The Life, the Discoveries, the Trial* presentato al Padiglione Italia di Expo 2025 Osaka.

Crediti: Museo Galileo, Vis



Partner e progetti dell'Inaf

L'inatteso voltafaccia in polarizzazione di M87*

La collaborazione Event Horizon Telescope (Eht), che vede impegnati ricercatori dell'Inaf, dell'Istituto nazionale di fisica nucleare e dell'Università Federico II di Napoli, ha presentato nuove, dettagliate immagini del buco nero supermassiccio al centro della galassia M87*. Queste hanno rivelato un ambiente dinamico, con configurazioni di polarizzazione variabili vicino al buco nero. Per la prima volta, sono stati individuati inoltre i segnali dell'emissione estesa del getto in prossimità della sua base, collegata all'anello attorno a M87*. Le osservazioni, pubblicate su *Astronomy & Astrophysics*, forniscono nuove prospettive su come materia ed energia si comportino negli ambienti estremi che circondano i buchi neri. «Per garantire la solidità dei risultati, abbiamo utilizzato diverse tecniche di ricostruzione dell'immagine, del tutto indipendenti tra loro», commenta Rocco Lico, ricercatore dell'Inaf e information technology officer dell'Eht. «Per raggiungere questi nuovi traguardi è stato anche necessario sviluppare nuovi strumenti di analisi». I risultati confermano la previsione teorica pubblicata nel 2023, secondo cui l'emissione polarizzata osservata sarebbe generata dall'interazione tra il vento della pulsar e la materia del disco di accrescimento.



Immagine del buco nero al centro della galassia M87 in luce polarizzata.

Crediti: The Eht Collaboration



Partner e progetti dell'Inaf

Il segreto di una pulsar svelato da IXPE

Un team internazionale guidato dall'Inaf ha individuato nuove prove su come le pulsar al millisecondo transizionali, una particolare classe di resti stellari, interagiscono con la materia circostante. Il risultato, pubblicato su *The Astrophysical Journal Letters*, è stato ottenuto grazie a osservazioni effettuate con l'Imaging X-ray Polarimetry Explorer (Ixpe) della Nasa, il Very Large Telescope (Vlt) dell'European Southern Observatory (Eso) in Cile e il Karl G. Jansky Very Large Array (Vla) nel New Mexico. Si tratta di una delle prime campagne osservative di polarimetria multi-banda mai realizzate su una sorgente binaria a raggi X, coprendo simultaneamente le bande X, ottica e radio. La sorgente analizzata è Psr J1023+0038. «Le pulsar al millisecondo transizionali sono laboratori cosmici che ci aiutano a capire come le stelle di neutroni evolvono nei sistemi binari», spiega Maria Cristina Baglio, ricercatrice dell'Inaf e prima autrice dello studio. Per la prima volta, gli esperti hanno misurato simultaneamente la polarizzazione della luce emessa da questa sorgente in tre bande dello spettro elettromagnetico. In particolare, Ixpe ha rilevato un livello di polarizzazione nei raggi X di circa il 12%, il più elevato mai osservato finora in un sistema binario come quello di J1023.



Maria Cristina Baglio, prima autrice dello studio su Psr J1023+0038 pubblicato su *The Astrophysical Journal Letters*.

Crediti: New York University

Crediti: New York University



Grandi scoperte recenti

Pianeta di acqua svelato dai cieli delle Canarie

Sono state determinate la massa e la densità del pianeta Kepler-10c con una precisione e un'accuratezza senza precedenti. Grazie a circa 300 misure di velocità radiale raccolte con lo spettrografo Harps-N, installato al Telescopio nazionale Galileo (Tng) alle Isole Canarie, un team internazionale guidato da ricercatori dell'Inaf ha stimato la sua composizione, arrivando alla conclusione che probabilmente Kepler-10c è un water world, ovvero un pianeta con gran parte della sua massa in acqua allo stato solido (ghiaccio) e forse, in piccola percentuale, anche liquido. I ricercatori ritengono che il pianeta si sia formato oltre la cosiddetta linea di condensazione dell'acqua a circa due o tre unità astronomiche dalla sua stella, e che poi si sia progressivamente avvicinato fino alla sua attuale orbita. Kepler-10 ospita Kepler-10b, la prima super-Terra rocciosa scoperta dalla missione spaziale Kepler della Nasa con un periodo orbitale inferiore al giorno terrestre, e Kepler-10c, un pianeta con un periodo orbitale di 45 giorni, classificato come sub-Nettuno, ovvero un pianeta con raggio e massa inferiori a quelli di Nettuno. Per anni, Kepler-10c è stato oggetto di grande incertezza: stime discordanti avevano reso difficile capire di cosa fosse fatto. I nuovi risultati sono stati riportati su *Astronomy & Astrophysics*.



Lo spettrografo Harps-N è in grado di misurare la velocità radiale delle stelle con una precisione di 1 metro al secondo.

Crediti: Inaf, Tng



Grandi scoperte recenti

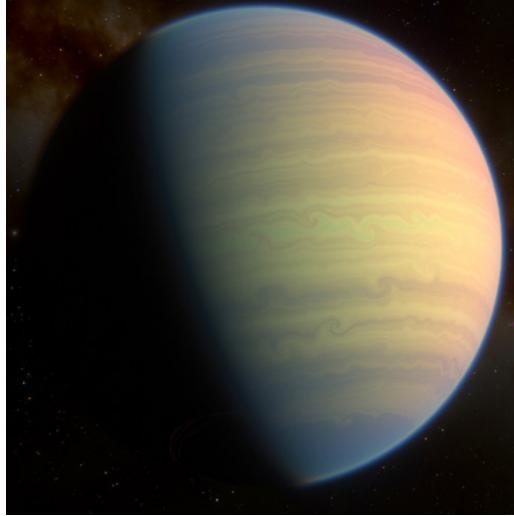
Il risveglio del buco nero

Un buco nero supermassiccio al centro di una galassia situata a 300 milioni di anni luce dalla Terra ha recentemente iniziato a rilasciare intensi e regolari lampi di raggi X, attirando l'attenzione degli astrofisici. Dopo decenni di inattività, questo colosso si è improvvisamente "risvegliato", dando vita a un fenomeno raro, che offre una straordinaria opportunità per studiare il comportamento di un buco nero in tempo reale. L'osservazione di questi lampi, resa possibile grazie al telescopio spaziale XMM-Newton dell'Agenzia spaziale europea, ha portato a scoperte senza precedenti sugli eventi energetici generati dai buchi neri supermassicci. Ans (così è stato soprannominato il buco nero), rimasto inattivo per decenni al centro della galassia Sdss1335+0728, si è "riacceso" nel 2019, emettendo spettacolari lampi di raggi X. Dal 2024 gli astronomi osservano eruzioni quasi periodiche con i telescopi spaziali, un evento rarissimo mai visto prima in un buco nero risvegliato. Questa scoperta offre l'occasione unica di studiare in tempo reale il comportamento di questi oggetti estremi. I risultati del lavoro condotto da un team di ricercatori internazionali, di cui fa parte anche l'Inaf, sono stati pubblicati sulla rivista *Nature Astronomy*.



Illustrazione del disco di accrescimento attorno al buco nero massiccio Ans'ky' che interagisce con un piccolo oggetto celeste.

Crediti: Esa



Grandi scoperte recenti

Tre freddi pianeti nel deserto dei nettuniani

Un team internazionale guidato dall'Inaf e dall'Università di Roma Tor Vergata ha confermato tre nuovi esopianeti della categoria dei nettuniani caldi, pianeti simili a Urano e Nettuno, ma con orbite strettissime attorno alle loro stelle. Le scoperte, frutto del programma Hot Neptune Initiative (Honei), combinano i dati del telescopio spaziale Tess con le misure di alta precisione degli spettrografi Harps (Eso, in Cile) e Harps-N (Telescopio nazionale Galileo, alle Canarie). Tra i tre pianeti spicca Toi-5800 b, il nettuniano più eccentrico mai osservato nel cosiddetto deserto dei nettuniani caldi, una regione dello spazio povera di pianeti di questo tipo a causa di fenomeni come migrazione orbitale, evaporazione atmosferica o interazioni gravitazionali. Toi-5817 b, con un'orbita più ampia (15,6 giorni), è ideale per studi atmosferici grazie alla luminosità della stella ospite, mentre Toi-5795 b è un super-Nettuno che orbita intorno a una stella povera di metalli in 6,14 giorni. Questi risultati pongono basi solide per lo studio futuro delle atmosfere planetarie con il James Webb Space Telescope e con i telescopi terrestri di nuova generazione come l'Extremely Large Telescope, contribuendo a chiarire la diversità dei sistemi planetari e l'evoluzione del Sistema solare.

▲
Rappresentazione artistica di Toi 5800 b, l'esopianeta più eccentrico mai osservato all'interno del cosiddetto deserto dei Nettuniani caldi.

Crediti: Inaf



Premi, nomine & elezioni

Premiati in Cina gli studi sulla “doppia pulsar”

Per il secondo anno consecutivo, le ricerche sulle stelle pulsar si sono rivelate meritevoli del premio Frontiers of Physics Award, uno dei riconoscimenti assegnati ogni anno dall'International Congress of Basic Science (Icbs), un congresso internazionale dedicato a matematica, fisica e scienze dell'informazione che si tiene a Pechino, in Cina. Dopo i risultati ottenuti dalla collaborazione Pulsar Timing Array nel 2024, questa volta il riconoscimento è andato a un complesso studio a guida tedesca avente come oggetto la celebre doppia pulsar, la prima coppia di pulsar mai rilevata: Psr J0737-3039, scoperta dall'astrofisica dell'Inaf Marta Burgay all'interno del gruppo di ricerca di Nichi d'Amico e Andrea Possenti. Il lavoro di ricerca premiato, condotto da Michael Kramer del Max Planck Institute for Radio Astronomy di Bonn, in Germania, porta alla luce effetti di natura gravitazionale mai osservati in precedenza, almeno non con altrettanta evidenza. L'articolo che lo descrive, intitolato "Strong-Field Gravity Tests with the Double Pulsar", è stato pubblicato sulla rivista *Physical Review X* alla fine del 2021.

▲
Marta Burgay e Michael Kramer ricevono il premio Frontier of Science Award all'International Congress of Basic Science di Pechino.

Crediti: Icbs



Premi, nomine & elezioni

Premiata l'eccellenza italiana di Ixpe

Il premio internazionale Antonio Feltrinelli per le scienze fisiche, matematiche e naturali, destinato all'astronomia, è stato conferito ai fisici Ronaldo Bellazzini dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, Enrico Costa dell'Inaf e Martin Weisskopf della Nasa, per il loro straordinario contributo alla realizzazione e al successo della missione spaziale Imaging X-ray Polarimetry Explorer (Ixpe), lanciata nel 2021 e tuttora operativa. Il premio è stato consegnato lo scorso giugno dall'Accademia nazionale dei Lincei, la più antica accademia scientifica del mondo (1603), alla presenza del presidente della Repubblica Sergio Mattarella. La missione Ixpe rappresenta un traguardo storico per l'astrofisica contemporanea perché ha permesso, per la prima volta, l'osservazione sistematica della polarimetria X di sorgenti cosmiche con sensibilità, risoluzione spaziale e capacità di analisi senza precedenti. Ixpe è una delle missioni più avanzate mai realizzate nel campo dell'astrofisica delle alte energie, sintesi di decenni di lavoro nel perfezionamento di ottiche a incidenza radente e di rivelatori innovativi.



Enrico Costa riceve il premio internazionale Antonio Feltrinelli per le scienze fisiche, matematiche e naturali.
Crediti: Accademia nazionale dei Lincei



Premi, nomine & elezioni

Tre bronzi per l'Italia alle Ioaa 2025

Ottimo debutto per la squadra italiana nella categoria Senior e Master delle International Olympiad on Astronomy and Astrophysics (Ioaa) 2025, svoltesi lo scorso agosto a Mumbai, in India. Alla loro prima partecipazione in questa sezione della competizione, gli studenti azzurri hanno conquistato tre medaglie di bronzo: Riccardo Brunetta (Pordenone) e Andrea Cusimano (Roma) per la categoria Master e Francesco Leccese (Lecce) per la categoria Senior. La squadra, composta da cinque giovani, era guidata da Marco Citossi (Inaf Trieste) e Benedetta Dalla Barba (Inaf Brera). L'edizione indiana delle Olimpiadi, organizzata dall'Homi Bhabha Centre for Science Education del Tata Institute of Fundamental Research, ha visto un numero record di oltre 320 partecipanti da 64 paesi. Le Ioaa, nate nel 2007 su iniziativa di Thailandia e Indonesia e oggi presiedute dal professor Aniket Sule, propongono ogni anno due eventi: uno per studenti dai 16 ai 20 anni e uno dedicato ai più giovani (Ioaa Junior).



La squadra italiana sul palco alla cerimonia di apertura delle Olimpiadi internazionali di astronomia e astrofisica a Mumbai, in India.

Crediti: Marco Citossi/Inaf

Vst sotto una nuova luce

di Rossella Spiga

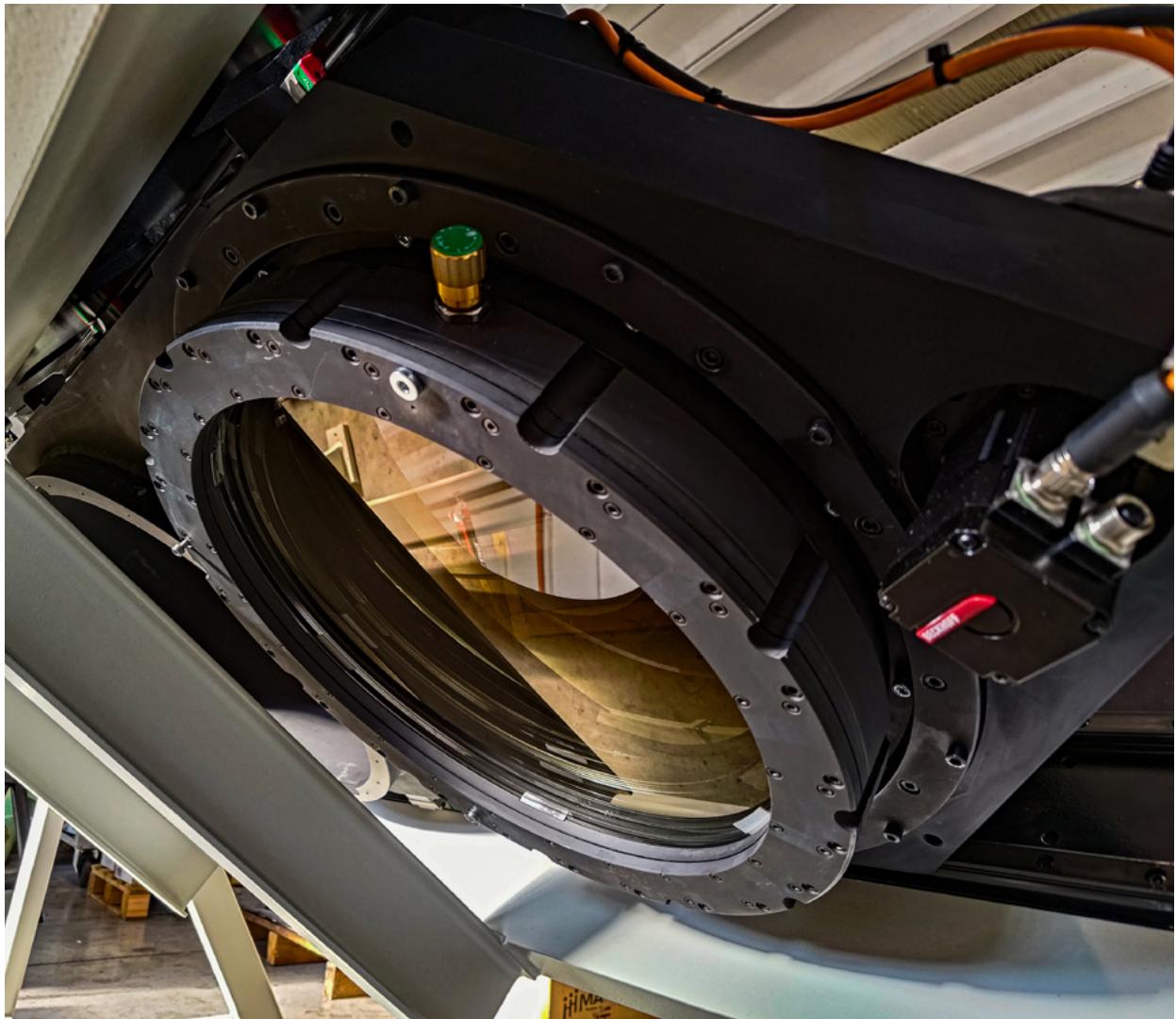
Il Vlt Survey Telescope si prepara a un'evoluzione che lo renderà unico, Vstpol è un progetto a guida Inaf che punta a dotare il Vst di una modalità polarimetrica, rara – se non unica – in telescopi di classe media.

In un'onda elettromagnetica, l'oscillazione del campo elettrico (e magnetico) lungo direzioni privilegiate è un fenomeno chiamato polarizzazione. La polarizzazione della luce deviata da polveri, elettroni o campi magnetici è un'informazione preziosa che ci aiuta a svelare l'architettura nascosta dell'universo. Ricostruire la polarizzazione della radiazione elettromagnetica è possibile grazie alla polarimetria, una tecnica in grado di misurare la direzione e l'intensità dei campi elettromagnetici nell'universo, permettendo di descrivere i processi di diffusione della luce.

Dalla polvere interstellare che permea la Via Lattea alle atmosfere planetarie, fino alle regioni dove nascono stelle e galassie, i fenomeni fisici che inducono polarizzazione della luce sono ovunque. La polarizzazione è un'informazione potenzialmente sempre disponibile, ma che non viene misurata nella maggior parte delle osservazioni astronomiche perché spesso vengono effettuate con una strumentazione che non è in grado di rilevarla.

Il Vlt Survey Telescope (Vst) in funzione all'Osservatorio Eso del Paranal, in Cile, è dal 2011 uno degli strumenti più efficienti per l'imaging ottico a grande campo, grazie a un'eccellente qualità delle immagini dovuta alla combinazione tra un telescopio a ottica attiva, ottime prestazioni ed elevata affidabilità, in uno dei siti astronomici migliori del mondo. Dotato di uno specchio primario di 2,6 metri di diametro, con i 268 megapixel di OmegaCAM, il Vst è capace di coprire un grado quadrato di cielo con una singola esposizione: due volte più ampio della Luna piena. Il Vst ha contribuito a survey e ricerche su larga scala, dalla struttura della Via Lattea alla caratterizzazione di galassie lontane. Ma lo scenario sta rapidamente cambiando con l'arrivo di telescopi molto più grandi e di nuova generazione: nei prossimi

Unire grande campo e polarimetria ad alta qualità creerà un binomio che aprirà nuove possibilità per studiare fenomeni magnetici e processi di scattering ma anche comete e asteroidi



anni, la Legacy Survey of Space and Time (Lsst) del Vera C. Rubin Observatory offrirà infatti prestazioni rivoluzionarie in questo settore.

Per mantenere un ruolo di primo piano, il Vst si prepara a una trasformazione con Vstpol, un progetto a guida Inaf che punta a dotarlo di una modalità polarimetrica, al momento rara – se non unica – in telescopi di classe media. Grazie all'inserimento di un grande polarizzatore rotante installato sull'ottica del correttore di campo, il Vst sarà dotato di una nuova ottica intercambiabile con quella del correttore non polarimetrico, mentre dal punto di vista di chi osserva non cambierà niente.

La polarimetria astronomica a grande campo è ancora poco esplorata: gli strumenti polarimetrici disponibili sono pochi e generalmente adatti a studiare singole sorgenti. Viceversa, i rari strumenti polarimetrici dotati di un discreto campo di vista sono alloggiati su telescopi di piccolo diametro. Unire grande campo e polarimetria ad alta qualità creerà un binomio che aprirà nuove possibilità per studiare fenomeni magnetici e processi di *scattering*, ma anche per analizzare la composizione di piccoli corpi del Sistema solare come comete e asteroidi.

Con Vstpol, il Vlt Survey Telescope – pensato come telescopio dedicato a survey ottiche – si prepara così a un'evoluzione che lo renderà unico: diventare il primo strumento capace di “mappare” il cielo in polarizzazione. ■

VSTPOL
Un dettaglio del polarizzatore rotante che verrà installato sull'ottica del correttore di campo, al Vlt Survey Telescope dell'Osservatorio Eso del Paranal, in Cile.
Crediti: Inaf/S. Savarese

Seconda stella a destra: itinerari di meraviglia

di Francesca Maria Aloisio

Una guida astro-turistica può cambiare il modo in cui parliamo di e guardiamo una città? Il progetto *Seconda stella a destra* è la conferma che la scienza può promuovere un territorio e che c'è molto più da raccontare di un luogo di quel che si pensa.

Ci sono progetti che nascono sotto una buona stella e incontri che dalle stelle nascono.

È così che dieci anni fa è cominciata la collaborazione fra l'Istituto nazionale di astrofisica e Bas Bleu, casa editrice e studio di comunicazione, e che è nato il progetto editoriale *Seconda stella a destra*, una collana di guide astro-turistiche che unisce scienza, storia e meraviglia. Un anniversario importante, che celebriamo quest'anno: segno che le stelle hanno davvero favorito l'incontro.

L'idea è semplice e al tempo stesso ambiziosa: raccontare le città attraverso l'astronomia. Non soltanto il cielo da osservare, ma anche i segni celesti impressi nella pietra e nella memoria: l'orientamento astronomico di chiese e palazzi, le costellazioni dipinte negli affreschi, gli strumenti scientifici custoditi nei musei, le tracce delle conoscenze antiche nelle tradizioni locali. *Seconda stella a destra* è insieme progetto editoriale e percorso di divulgazione: astro-turismo nel senso più ampio, capace di intrecciare arte, architettura, storia della scienza e vita quotidiana, con un linguaggio chiaro e coinvolgente.

La prima guida, del 2015, riguarda Padova; segue quella di Firenze nel 2019. Il successo delle prime uscite allarga subito l'orizzonte: tra il 2020 e il 2025 arrivano Palermo, Roma e Napoli, Catania è in uscita. Nel frattempo, nel 2023 entra in gioco il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale: la Direzione generale Promozione Sistema Paese riconosce il valore dell'iniziativa e sostiene la produzione della guida di Roma, realizzata in italiano e inglese per la conferenza annuale degli addetti scientifici del 2024, e poi messa a disposizione della rete delle ambasciate.

***Seconda stella a destra* ci suggerisce che la scienza abita le città e che, seguendo la rotta delle stelle, possiamo ritrovare stupore, conoscenza e identità**



Visto l'interesse, la guida viene ampliata con l'edizione francese e quella spagnola.

Quest'anno la stella brilla su Napoli: *Napoli. Seconda stella a destra* è stata presentata nel corso della Conferenza degli addetti scientifici e spaziali e degli esperti agricoli, la cui sessione istituzionale si è tenuta lo scorso 12 settembre all'Auditorium nazionale Inaf presso l'Osservatorio astronomico di Capodimonte. Come per Roma, anche la guida su Napoli è stata voluta dal ministero per promuovere l'immagine dell'Italia a livello internazionale: un segnale concreto di come la diplomazia scientifica possa dialogare con la cultura e il turismo, trasformando la ricerca in racconto e il racconto in esperienza.

Dietro le pagine, una rete di competenze: l'Inaf garantisce rigore scientifico e selezione dei luoghi con astronomi e storici della scienza; Bas Bleu cura il progetto editoriale e grafico, rendendo i contenuti accessibili e visivamente riconoscibili; musei, università, soprintendenze ed enti culturali collaborano su fonti e materiali iconografici. A completare il quadro, per Padova è nata anche un'edizione illustrata per ragazze e ragazzi, perché l'incontro con le stelle sia davvero per tutte e tutti.

Dieci anni dopo il primo incontro, *Seconda stella a destra* continua a suggerirci che la scienza abita le città e che, seguendo la rotta delle stelle, possiamo ritrovare stupore, conoscenza e identità. È la direzione da tenere quando si vuole incontrare davvero un luogo: seconda stella a destra e poi diritti fino al prossimo appuntamento con il cielo.

UNA GUIDA ASTROTURISTICA

L'ultima uscita della collana *Seconda stella a destra* è dedicata alla città di Napoli, che quest'anno celebra i 2500 anni dalla fondazione. Crediti: Inaf

Scoprire il cielo, programmando tra le stelle

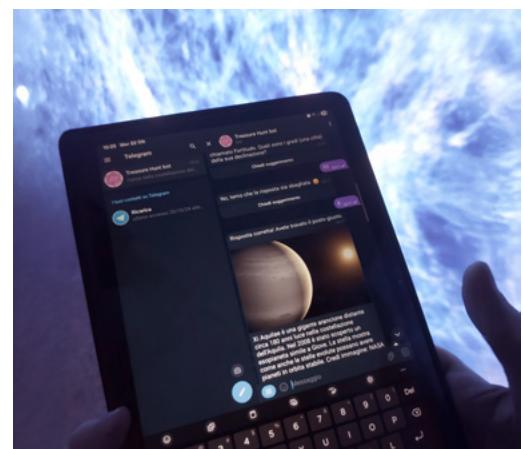
di Laura Leonardi

Cercare galassie, stelle e nebulose con un tablet, imparando a programmare? Il gruppo Play dell'Istituto nazionale di astrofisica, insieme a Digit Srl e Cineca, ci prova davvero. E il risultato funziona.

Integrare il pensiero computazionale e le dinamiche di gioco nella scoperta dell'universo: questa è l'idea alla base della Code Hunting Game nel Cielo, un progetto sviluppato dal gruppo Play dell'Inaf, in collaborazione con Digit Srl e con il supporto del Cineca, che ha realizzato un video immersivo per accogliere i giocatori sotto un cielo stellato.

L'attività combina la conoscenza del cielo con il coding e la realtà aumentata, trasformando la didattica in un'esperienza interattiva che, grazie a strumenti familiari come smartphone e tablet, permette ai partecipanti di immergersi in ambienti di simulazione astronomica. Il debutto al Festival della Scienza di Genova 2025 ha visto studenti, famiglie e curiosi mettersi in gioco, trasformando i dispositivi in veri e propri strumenti di esplorazione scientifica. Il meccanismo è tanto semplice quanto efficace: i partecipanti, organizzati in squadre, ricevono una serie di indizi, da un bot di Telegram, che li guidano alla ricerca di oggetti celesti nel cielo. Per avanzare devono affrontare piccole sfide di programmazione con CodyRoby, un metodo di programmazione unplugged ideato da Alessandro Bogliolo per sviluppare in bambini e ragazzi il pensiero computazionale.

Le proiezioni immersive, realizzate con il supporto grafico del VisitLab del Cineca, hanno permesso di estendere l'esperienza a un ambiente tridimensionale su larga scala, in cui la visualizzazione scientifica di dati reali – dalle strutture filamentari della materia oscura fino alla scala dei pianeti – rende tangibili concetti complessi di astrofisica e cosmologia. Le pareti della sala del Telegafo di Palazzo della Borsa di Genova si sono illuminate di costellazioni, le nebulose hanno avvolto i giocatori e il viaggio tra le galassie è diventato un'esplorazione simu-





lata dell'universo. Ma c'è di più: l'elemento che rende questa esperienza particolarmente interessante è la sua scalabilità. L'attività, infatti, non è vincolata a un contesto museale o a un evento specifico, bensì può essere replicata outdoor, ovunque, semplicemente puntando lo smartphone verso il cielo reale.

Code Hunting Game nel Cielo rappresenta un modello di come l'unione tra strumenti digitali e metodi ludici possa supportare sia la diffusione della cultura scientifica sia lo sviluppo di competenze trasversali, dal pensiero computazionale all'alfabetizzazione digitale. La scienza e il cielo appartengono a tutti. Trasformare l'osservazione del cielo in un'esperienza interattiva permette di avvicinare pubblici diversi, dai più giovani agli adulti, dagli appassionati amatoriali ai più esperti, favorendo la comprensione dei fenomeni astronomici e la partecipazione attiva alla cultura scientifica.

Con questo progetto, l'Inaf e i suoi partner hanno dimostrato che, se ben impiegata, la tecnologia può trasformare la complessità della scienza in esperienza, perché a volte, per imparare a leggere il cielo, basta un'app e la voglia di perdersi tra le stelle.

CACCIA AL TESORO FRA LE STELLE

L'ambiente immersivo sviluppato dal Cineca VisitLab in collaborazione con Inaf, realizzato per la Code Hunting Game di Inaf, sviluppata con Digit Srl e presentata al Festival della Scienza di Genova. Crediti: Inaf/L. Leonardi

Code Hunting Game nel Cielo rappresenta un modello di come l'unione tra strumenti digitali e metodi ludici possa supportare sia la diffusione della cultura scientifica sia lo sviluppo

Un rifugio nello spazio

di Claudia Mignone

Moduli abitativi, ologrammi biotecnologici ma anche opere d'arte che invitano a riflettere su chi, come e perché esplora lo spazio oggi. Allo Universe Pavilion di Venezia.

Igloo di mattoni a base di regolite. Coltivazioni idroponiche à la Matt Damon di *The Martian*. Acqua estratta dai crateri polari, dove l'ombra perenne custodisce una delle risorse lunari più preziose. Sono queste alcune delle immagini più comuni che associamo all'esplorazione umana del cosmo: un'impresa fatta di scienza e tecnologia spinte fino ai limiti, popolata da emissari asettici, quasi robotici. Gesta eroiche dietro le quali si intravedono a fatica sogni, paure, emozioni.

Ma l'avventura spaziale non è fatta solo di sfide tecniche e barriere fisiche da superare. È un atto profondamente umano in cui si ritrovano tutte le persone che, a bordo del pianeta Terra, solcano gli spazi interplanetari e ancora si meravigliano dinanzi al cielo stellato. Così la mostra *Sheltering in space – A guide*, tenutasi dal 10 maggio al 31 luglio 2025 presso lo Universe Pavilion della Biennale di Architettura a Venezia, supera le visioni di habitat e stazioni spaziali, all'insegna della collaborazione e dello scambio interculturale: un dialogo tra scienza, tecnologia, ingegneria e arte.

Chi siamo quando varchiamo quel confine artificioso tra l'atmosfera terrestre e l'universo? Siamo esploratori? O profughi? Sono le domande da cui parte l'austriaca Claudia Schnugg, curatrice della mostra, organizzata da Claudia Kessler e Janine Thüngen-Reichenbach. A quale comunità apparteniamo, quando ci affacciamo al cospetto del cosmo, e cosa significa appartenere a una comunità? Domande che plasmano l'idea di rifugio nello spazio, come nel titolo dell'iniziativa. «Rifugiarsi significa riappropriarsi di un luogo, tracciare un fragile confine tra la vita e l'ignoto» scrive Schnugg nel catalogo della mostra. «Nello spazio, rifugiarsi assume un nuovo significato. Non si tratta semplicemente di





costruire muri o di risolvere sfide ingegneristiche; è un atto di sopravvivenza, adattamento e immaginazione».

Si comincia con visioni classiche, dai moduli spaziali realizzati dal gruppo LIQUIFER a microbi e sistemi di supporto alla vita nelle proiezioni olografiche di Kristina Pulejkova. Ma proseguendo nel percorso espositivo, lo sguardo si alterna tra spazio e terra, ripensando allo sfruttamento delle risorse e alla sostenibilità. C'è una cassetta dorata, la scultura *Sapiens' Space Shelter Home* di Thüngen-Reichenbach, fatta di quei teli isolanti multistrato che riportano alla mente tanto sonde e satelliti quanto chi approda sulle nostre coste in cerca di asilo, protezione, rifugio. E poi c'è l'emu, grande costellazione che i popoli indigeni dell'Australia leggono non tra le stelle del cielo ma nelle chiazze scure – nubi di polvere interstellare – che cospargono la Via Lattea: un grande uccello celeste che guida le comunità aborigene lungo i ritmi della terra nel corso dell'anno. È l'opera *Spacey Blak Emu* di Karla Dickens, artista di origine Wiradjuri, con la quale rivendica il concetto di rifugio come senso di appartenenza alla comunità. Un'appartenenza spaziotemporale, segnata dal profondo legame con il cielo. ■

IN BIENNALE

L'allestimento di *Sheltering in space – A guide*, presso lo Universe Pavilion della Biennale di Architettura a Venezia.
Crediti: Record Studio



Un assaggio di universo

Gli eventi dell'Universe Pavilion, un'audio guida, una gallery di immagini e altre informazioni utili si trovano nel sito internet dedicato.

green

LignoSat, il primo satellite in legno

di Valentina Guglielmo

Un esperimento che unisce innovazione tecnologica e responsabilità ambientale, offrendo una prospettiva completamente nuova: un futuro dove anche lo spazio può essere sostenibile.

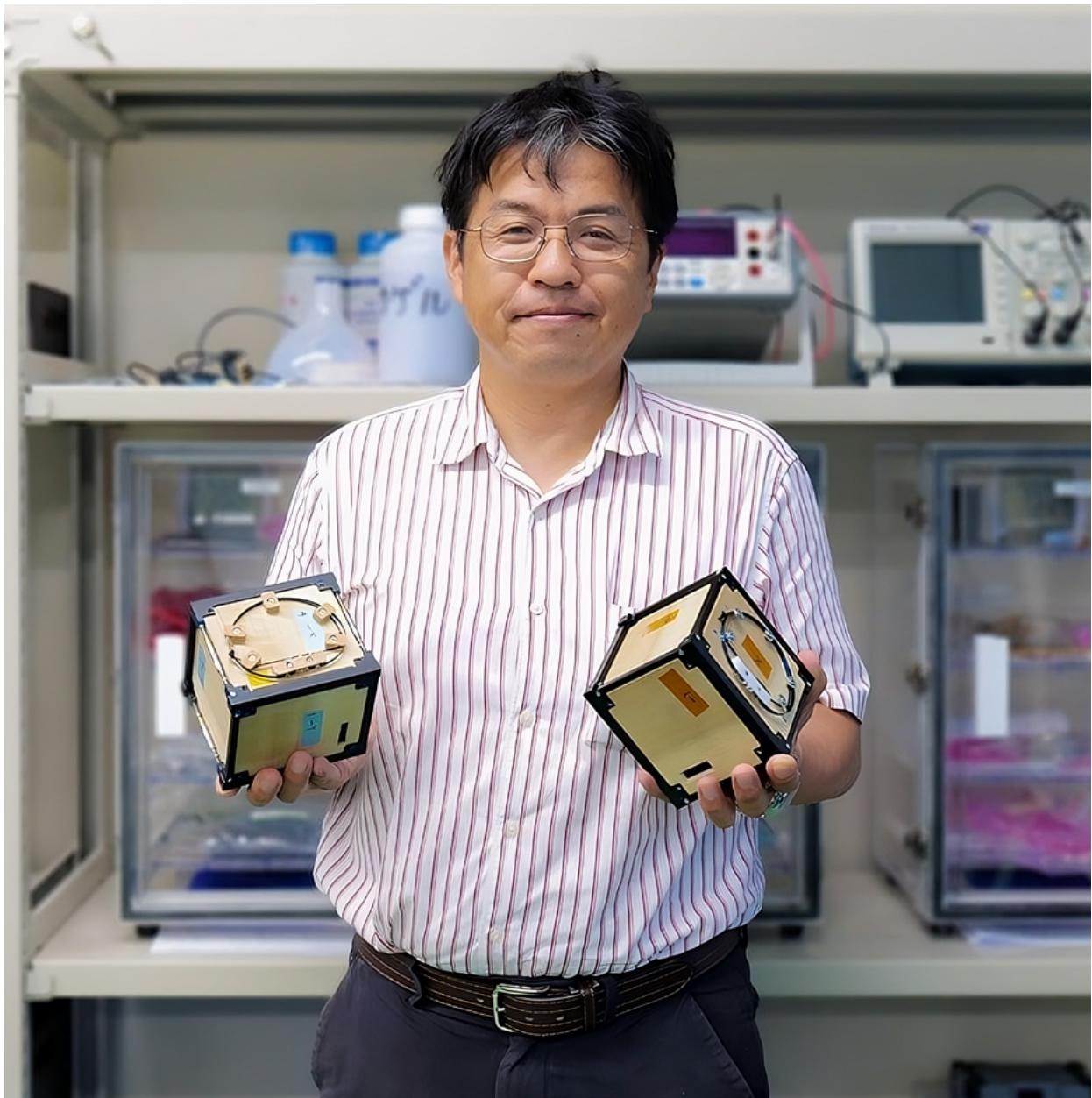
Nel novembre 2024, l'Università di Kyoto e l'azienda Sumitomo Forestry hanno realizzato un'impresa senza precedenti: il lancio del primo satellite costruito quasi interamente in legno, LignoSat. Si tratta di un piccolo cubo di appena 10 centimetri di lato, dal volume simile a quello di una tazza da caffè, realizzato con pannelli di legno di magnolia honoki – noto per la sua leggerezza, la resistenza alle crepe e l'uso tradizionale per fodere di spade giapponesi – assemblati secondo le antiche tecniche artigianali giapponesi, senza viti né colla. Dopo circa cinque mesi, Lignosat ha concluso la sua missione orbitale, rientrando e bruciando completamente in atmosfera.

Lo scopo era monitorare le potenzialità del legno in ambiente spaziale: il satellite, trasportato a bordo del cargo Dragon di SpaceX tramite il razzo Falcon 9, è arrivato alla Stazione spaziale internazionale il 5 novembre 2024, dove ne è stata testata la resistenza alle radiazioni e all'ambiente spaziale, per poi essere dispiegato in orbita il 9 dicembre 2024, a circa 450 chilometri d'altezza. Qui, avrebbe raccolto dati riguardo alla propria resistenza agli sbalzi termici (da +121 a -157 gradi centigradi), alle radiazioni e a particelle cariche del vento solare, al vuoto e persino all'effetto del campo magnetico terrestre su una struttura "innovativa" come quella lignea.

La motivazione principale? Ridurre l'impatto ambientale dei satelliti convenzionali: quando i satelliti metallici rientrano nell'atmosfera distruggendosi, infatti, rilasciano ossidi di alluminio e sostanze inquinanti che contribuiscono ad esempio al deperimento dello strato di ozono. Al contrario, un satellite di legno come LignoSat brucia lasciando solo cenere biodegradabile, vapore acqueo e CO₂, senza residui dannosi.

Secondo stime recenti, ci sarebbero attualmente circa 13.660 satelliti in orbita attorno alla Terra, 11mila dei quali ancora

Nel novembre 2024, è stata realizzata un'impresa senza precedenti: il lancio del primo satellite costruito quasi interamente in legno, LignoSat



funzionanti; il 2024 inoltre ha segnato il record di 950 rientri, un numero destinato a crescere con l'aumento delle flotte satellitari come Starlink. Se anche solo una parte fosse costruita con materiali biodegradabili, si ridurrebbe notevolmente l'inquinamento spaziale e atmosferico.

Si stima che LignoSat sia rientrato fra marzo e aprile 2025. Dal momento del rilascio in atmosfera, però, il satellite non è mai riuscito a mettersi in contatto con la Terra né a trasmettere dati. Il programma prevede già il lancio del suo successore, LignoSat 2, nel 2026, più resistente e comunicativo.

E a chi nutre ancora dubbi sull'utilizzo del legno rispetto al metallo, Koji Murata, professore di scienze forestali dell'Università di Kyoto, ricorda: «Gli aeroplani dei primi anni del 1900 erano fatti di legno. Il legno è più resistente nello spazio che sulla Terra perché non c'è acqua o ossigeno che lo farebbero marcire o infiammare».

BIG IN JAPAN

Koji Murata con alcuni dei prototipi di cubesat in legno sviluppati nei laboratori dell'Università di Kyoto.
Crediti: Jaxa

astrobiologia

Da Darwin al Mediterraneo: le origini della vita

di Giuseppe Fiasconaro

Le acque termali di un lago dell'isola di Pantelleria sono il laboratorio ideale per indagare i processi chimici che hanno preceduto la biologia. E, quindi, comprendere i meccanismi universali che potrebbero aver guidato la nascita della vita sulla Terra.

Nel 1871, il padre della teoria evoluzionistica, Charles Darwin, ipotizzò che la vita potesse essere nata in «un piccolo stagno caldo», un brodo primordiale dove molecole semplici avrebbero potuto trovare le condizioni per organizzarsi in strutture sempre più complesse.

Quell'intuizione trova oggi nuove conferme sulle sponde di un piccolo lago vulcanico dell'isola di Pantelleria, caratterizzato da acque alcaline ricche di minerali, alimentate da attività idrotermale e circondate da una straordinaria diversità geologica e microbiologica: il Bagno dell'Acqua, *u Vagnu i l'Acqua*, nel dialetto locale, anche noto come Lago di Venere.

Un gruppo di ricercatori italiani, tra cui scienziati dell'Istituto nazionale di astrofisica, ha scelto questo ambiente unico per verificare il suo potenziale nel favorire la sintesi prebiotica di molecole organiche fondamentali. I risultati della ricerca, pubblicati sull'*International Journal of Molecular Sciences*, hanno dato esito positivo: utilizzando acqua e sedimenti del lago, i ricercatori sono riusciti a ottenere molecole organiche rilevanti per la vita.

Per gli esperimenti, il team ha utilizzato una miscela semplice e plausibile di reagenti prebiotici: diaminomaleonitrile, formiato di ammonio e alfa-amminoacidi, molecole chiave nella chimica dell'origine della vita. Riscaldando questa miscela in acqua, in presenza delle microbialiti – strutture sedimentarie di origine batterica presenti nel lago – sono state sintetizzate tutte basi azotate dell'RNA e diversi costituenti dell'acido peptido nucleico (Pna), un probabile precursore di tutti gli acidi nucleici. I campioni di acqua del lago han-

La ricerca moderna continua a tracciare il percorso che ha portato dalla chimica alla biologia, dall'inerte al vivente. L'obiettivo è scoprire come, da un insieme di molecole semplici, possa essere emersa la complessità necessaria per generare la vita



no inoltre promosso la polimerizzazione della forma H del Gmp ciclico, una molecola biologica che favorisce la formazione di catene di acidi nucleici, portando alla produzione di catene di Rna lunghe fino a 15 unità.

Questi risultati confermano che il lago è un laboratorio naturale ideale per esplorare i processi che potrebbero aver portato all'origine della vita sia sulla Terra primordiale sia sull'antico Marte, rappresentando a tutti gli effetti un analogo planetario.

Il Bagno dell'Acqua si aggiunge a una rete di siti terrestri di interesse astrobiologico, dai deserti freddi dell'Antartide e dell'Atacama alle aree vulcaniche di Islanda, Hawaii ed Etna, fino al Río Tinto in Spagna. Lo studio di questi ambienti non solo permette di testare ipotesi sull'origine della vita, ma anche di sperimentare strumenti e metodologie che potranno essere impiegate nelle future missioni spaziali per la ricerca di biofirme.

Il lavoro di ricerca, sostenuto dall'Agenzia spaziale italiana con i programmi ExoMars e Migliora, e condotto in collaborazione con l'Ente Parco nazionale Isola di Pantelleria, rientra in una più ampia strategia nazionale di ricerca astrobiologica avviata nel 2020. I risultati ottenuti rappresentano un tassello fondamentale per comprendere i meccanismi universali che potrebbero aver guidato la nascita della vita sulla Terra e, forse, anche altrove.

Dal piccolo stagno caldo immaginato da Darwin a un lago del Mediterraneo, la ricerca moderna continua a tracciare il percorso che porta dalla chimica alla biologia, dall'inerte al vivente. L'obiettivo è scoprire come, da un insieme di molecole semplici, possa essere emersa la complessità necessaria per generare la vita. ■

SPECCHIO DI VENERE
Il lago Bagno dell'Acqua sull'isola di Pantelleria, all'interno del Parco nazionale dell'Isola di Pantelleria.
Crediti: T. Frascari

La Specola: cuore astronomico di Padova

di Valeria Zanini e Federico Di Giacomo

A Padova esiste un luogo che conserva affreschi incredibili, strumenti testimonianza di tempi passati e delle tecniche di osservazione dell'epoca, e che mostra la città da un altro punto di vista. È il Museo La Specola, da visitare tutto d'un fiato.

MCCXLII - QUAE QUONDAM INFERNAS TURRIS DUCEBAT AD UMBRA
NUNC VENETUM AUSPICIIS PANDIT AD ASTRA VIAM - MDCCLXVII
1242 - *La torre che un tempo conduceva alle ombre infernali ora, sotto l'auspicio dei Veneti, apre la strada verso le stelle - 1767*

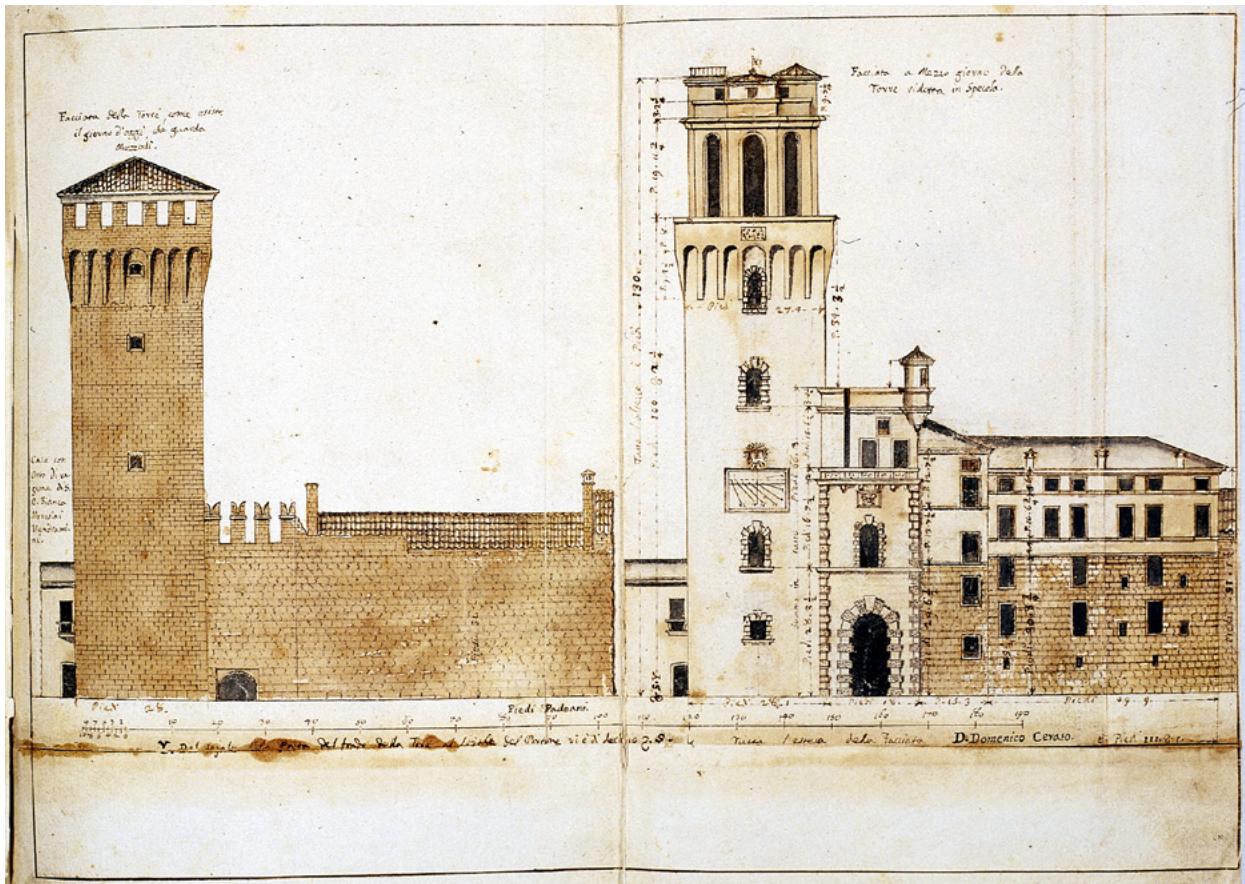
Questo epigramma, inciso alla base della torre della Specola, racconta la straordinaria trasformazione di uno dei luoghi più affascinanti di Padova. Fatta erigere da Ezzelino III da Romano come prigione, la torre fu poi inglobata nel castello dei Carraresi e, nel 1767, convertita dalla Repubblica di Venezia in uno degli osservatori astronomici più belli d'Europa. Contrariamente a una credenza diffusa, Galileo Galilei non vi mise mai piede, dato che l'osservatorio fu realizzato solo 150 anni dopo la sua partenza da Padova. Ma questo nulla toglie al fascino del Museo La Specola, che oggi offre un viaggio unico tra scienza, storia e bellezza.

La visita si snoda lungo l'intera torre, svelando gli ambienti di lavoro degli astronomi sette e ottocenteschi. Si parte dalla Sala dell'Iscrizione, dove una lapide del 1618 ricorda l'accesso all'antica prigione di Ezzelino. Quest'ambiente conserva ancora, sul soffitto, l'emblema trecentesco dei Carraresi, che raffigura il carro da cui deriva il nome della famiglia. Oggi la sala è dedicata alla misura del tempo e ospita la collezione di orologi a pendolo, cronometri e cronografi che furono strumenti essenziali per gli astronomi dell'epoca.

Si prosegue nella Sala Colonna, antico vestibolo per gli ospiti illustri, dove sono esposti i ritratti dei primi direttori e il più antico quadrante mobile della Specola. Gli armadi ottocenteschi custodiscono piccoli strumenti astronomici, testimoni di un'epoca di grande fervore scientifico.

IL MUSEO LA SPECOLA DI PADOVA
Vicolo dell'Osservatorio, 5, 35122 Padova PD





Il cuore del Museo è la Sala Meridiana, dedicata alla misurazione del passaggio degli astri al meridiano. Sul pavimento è incisa la linea meridiana che determinava il mezzogiorno vero, mentre sulla parete ovest troneggia il grande quadrante murale di Jesse Ramsden, installato nel 1779, utilizzato per misurare l'altezza delle stelle. Un affresco sulla parete est raffigura il sistema solare secondo le conoscenze dell'epoca di Giuseppe Toaldo, primo direttore dell'osservatorio.

La salita si conclude nella Sala delle Figure, il punto più alto del percorso, decorata con affreschi del pittore vicentino Giacomo Ciesa. Su indicazione di Giuseppe Toaldo, egli dipinse sulle pareti i ritratti a grandezza naturale di otto illustri personaggi che hanno segnato le principali tappe dello sviluppo dell'astronomia e della meteorologia: Tolomeo, Copernico, Tycho Brahe, Galilei, Keplero, Newton, Geminiano Montanari e Giovanni Poleni. Le figure, nascoste per oltre un secolo, sono tornate alla luce solo dopo i restauri del 1998, che le hanno liberate dalla sovrappittura applicata per rimediare ai danni provocati da infiltrazioni d'acqua nel corso dell'Ottocento. La visita si conclude sulla terrazza panoramica, che regala una vista mozzafiato a 360° sulla città di Padova.

Il Museo La Specola non è solo un luogo di scienza, ma è un vero e proprio scrigno di storia, arte e cultura, dove ogni passo e ogni sguardo raccontano lo straordinario cammino compiuto dagli astronomi nel corso dei secoli, per elevarsi sempre più verso le stelle.

TRASFORMAZIONE

Il progetto originale di trasformazione della torre da castello dei Carraresi a Osservatorio astronomico: la torre è stata sopraelevata con l'aggiunta della Sala delle Figure, mentre sul fianco è stata costruita la Sala Meridiana. Anche la cinta muraria è stata rialzata, diventando la casa dell'astronomo.
Crediti: Archivio storico dell'Osservatorio astronomico di Padova

Il Museo La Specola non è solo un luogo di scienza, ma è un vero e proprio scrigno di storia, arte e cultura

musei



SALA DELL'ISCRIZIONE

È la prima sala del percorso museale. Oltre alla collezione di orologi e strumenti per la misura del tempo, ospita il grande telescopio equatoriale Dembowski, il più importante strumento utilizzato dagli astronomi padovani dal 1883 fino alla costruzione dell'Osservatorio astrofisico di Asiago.

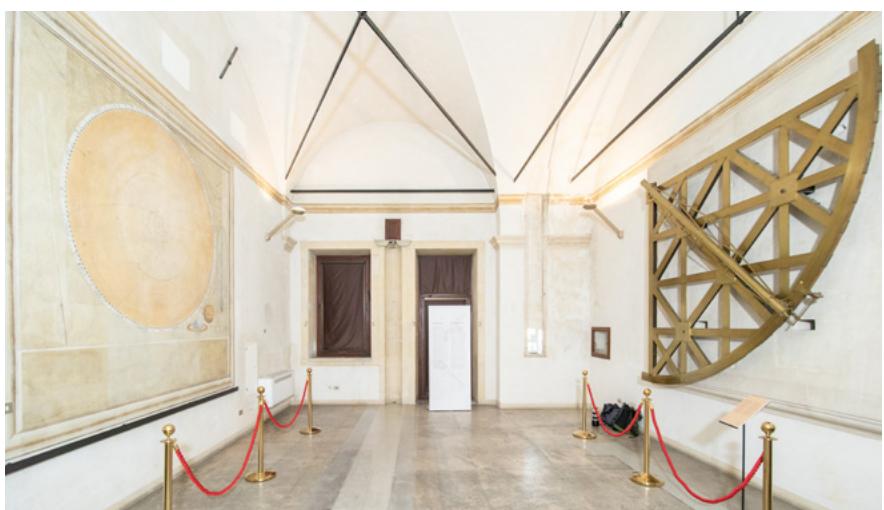
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



SALA DELLE FIGURE

Prende il nome dai grandi affreschi che raffigurano, in un solo colpo d'occhio, i principali protagonisti della storia dell'astronomia, dall'antichità al Settecento. Qui gli astronomi potevano osservare il cielo in tutte le direzioni, studiando gli astri visibili al di fuori del meridiano, come comete, asteroidi e pianeti.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



SALA MERIDIANA

La più antica sala osservativa della Specola: qui gli astronomi effettuavano osservazioni del transito degli astri al meridiano celeste, il cerchio ideale che passa per il polo nord celeste e per lo zenith.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



LA SPECOLA

La torre della Specola di Padova, uno dei primi osservatori astronomici italiani, è oggi sede del Museo La Specola, sezione museale dell'Inaf Osservatorio astronomico di Padova.

Crediti: J. Dobry

Iniziative per il nuovo anno scolastico

di Livia Giacomini

Tra proposte consolidate e novità, continua la missione didattica dell'Inaf. Portare la scienza fuori dai laboratori e far toccare con mano a studentesse e studenti cosa significa una scoperta astronomica non è solo importante, ma anche molto divertente.

Il 2025 è un anno davvero speciale: sono passati esattamente trent'anni dalla conferma della scoperta del primo pianeta extrasolare da parte degli scienziati Mayor e Queloz, un risultato che ha rivoluzionato la nostra visione del cosmo e confermato l'esistenza di migliaia di mondi oltre il Sistema solare. Un anniversario che abbiamo scelto di celebrare dal punto di vista della didattica anche con le attività per le scuole, in particolare con proposte capaci di unire creatività e conoscenza, trasformando una ricorrenza storica in un'occasione di scoperta per le nuove generazioni.

Una di queste iniziative è il concorso "C'è posta per ET" gestito dal gruppo di didattica innovativa Play, in collaborazione con Edulnaf, Media Inaf, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, Digit srl, Amsat Italia e il Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia (Diiie) dell'Università degli Studi dell'Aquila. Il concorso è rivolto alle scuole primarie e secondarie di primo e secondo grado. L'idea è semplice: invitare gli studenti a scrivere un messaggio in codice a un ipotetico extraterrestre. Un modo originale per spingere i partecipanti a immaginare come potremmo comunicare con queste civiltà, partendo da una delle più importanti scoperte astronomiche degli ultimi decenni.

Altra iniziativa promossa da Edulnaf è il concorso "Giovani Astronomi al Telescopio Nazionale Galileo", bandito dalla Società astronomica italiana (Salt), dall'Inaf e dal Telescopio nazionale Galileo (Tng), che porterà in vetta al Roque de los Muchachos a La Palma (Canarie) il team di studenti delle scuole secondarie di secondo grado che avrà preparato la proposta osservativa più meritevole. I fortunati vincitori potranno vivere in prima persona l'esperienza di ricerca al Tng, il più grande telescopio ottico italiano.

Una delle iniziative del 2025 è il concorso "C'è posta per ET" che invita gli studenti a scrivere un messaggio in codice a un ipotetico extraterrestre



30 ANNI DOPO
L'astrofisico Michel Gustave Édouard Mayor. Nel 1995 con Didier Queloz ha scoperto il primo pianeta extrasolare orbitante intorno a una stella simile al Sole, 51 Pegasi.
Crediti: F. Merz

Accanto a queste novità, continuano due appuntamenti storici dell'Inaf per le scuole, che da quest'anno hanno siti web dedicati. Il concorso "A Gianni Rodari, via Lattea quaraquarinci", organizzato dal gruppo Storie e rivolto ai più piccoli, si presenta rinnovato, pur conservando i suoi capisaldi. E "Osserva il cielo e disegna le tue emozioni", che nel 2025 ha festeggiato la sua 20^a edizione, continua a invitare bambini e ragazzi a raccontare con un disegno l'emozione di osservare il cielo. Non mancano poi gli eventi speciali, pensati per una sola edizione ma non per questo meno significativi. È il caso di "Guardare il cielo con nuovi occhi", organizzato dall'Istituto nazionale di fisica nucleare (Infn) in collaborazione con l'Inaf, che propone a studenti e docenti di esplorare l'universo con strumenti diversi e prospettive inedite.

Ma i concorsi sono solo una parte delle proposte Edulnaf. Tante rubriche, iniziative, risorse che fanno del portale non solo uno strumento per insegnare astronomia ma anche un luogo dove la scienza dialoga con la società in tutte le sue sfaccettature. Proposte diverse per pubblico e formato, ma accomunate da un obiettivo unico: far crescere la curiosità e dare voce alla creatività, facendo scoprire il ragionamento scientifico. Perché la scienza non vive soltanto nei laboratori o negli osservatori, ma anche nello sguardo di chiunque alzi gli occhi al cielo e si lasci ispirare dalle sue infinite possibilità. Scoprendo, per esempio, il primo esopianeta.

Una nuova rete: la Community degli inventori

di Filide Calderini e Andrea Merlo

Un'iniziativa nata dal basso mette insieme competenze, esperienze e creatività per rafforzare la capacità di innovazione dell'Istituto e aprire nuove strade al trasferimento tecnologico.

Il mondo della ricerca e della tecnologia vive ormai da anni un profondo cambiamento: l'innovazione non si sviluppa più soltanto all'interno dei confini di grandi laboratori o centri aziendali, ma nasce sempre più spesso da reti aperte e collaborative. È la logica della *open innovation*, dove la condivisione delle conoscenze diventa la scintilla che accende nuove idee e soluzioni. Anche l'Inaf, in linea con questa visione, ha iniziato a consolidare spazi e strumenti dedicati a favorire il confronto tra chi, ogni giorno, lavora allo sviluppo di tecnologie abilitanti per l'astrofisica e lo spazio.

Poco meno di due anni fa, in maniera spontanea, è emersa l'idea di mettere periodicamente attorno a un tavolo – fisico o virtuale – ricercatori e tecnologi che hanno dato vita a soluzioni innovative nel corso della loro attività. È così che è nata la Community degli inventori Inaf: un gruppo aperto che ha l'ambizione di raccogliere tutti coloro ai quali è stato riconosciuto almeno un brevetto e quanti si dedicano alla valorizzazione della ricerca e al trasferimento tecnologico.

La Community non è soltanto una sorta di archivio vivente delle invenzioni sviluppate all'interno dell'ente, ma anche un luogo di confronto. Qui si discute di come censire e valorizzare il patrimonio di brevetti dell'Inaf, di quali strategie adottare per partecipare a fiere ed eventi di innovazione nazionali e internazionali, o di come gestire i rapporti contrattuali con partner esterni.

In questo scambio continuo, ciò che emerge è un nuovo modo di fare innovazione: non un processo isolato ma un dialogo costante tra esperienze diverse, che stimola ulteriori invenzioni e rafforza la cultura della condivisione. La Community diventa così un motore

**Con la Community
degli Inventori emerge
un nuovo modo di fare
innovazione: non un
processo isolato, ma
un dialogo costante tra
esperienze diverse, che
stimola invenzioni e
cultura della condivisione**

**CLEAN ROOM ZEEKO**

Gabriele Vecchi dell'Inaf Osservatorio astronomico di Brera opera con la macchina a controllo numerico della sede di Merate, in grado di lavorare componenti ottici di dimensioni fino a 1200 millimetri di diametro. Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

interno di crescita, capace di alimentare la capacità dell'istituto di trasformare la ricerca scientifica in soluzioni concrete e di impatto. Guardando avanti, tra i desideri più condivisi c'è quello di organizzare degli eventi, aperti a tutto il personale dell'Inaf, quali occasioni per presentare pubblicamente le attività svolte finora, raccogliere nuove adesioni e rafforzare ancora di più la rete di interazioni tra inventori e innovatori.

La sfida che la Community degli inventori porta con sé non riguarda solo l'Inaf, ma tocca il ruolo stesso della ricerca pubblica nel contesto più ampio dell'innovazione. Creare connessioni, condividere esperienze e stimolare nuove idee significa accrescere la competitività scientifica e tecnologica dell'istituto, ma anche generare valore per la società. In un mondo in cui la complessità dei problemi cresce insieme alla necessità di risposte rapide ed efficaci, la strada dell'innovazione aperta e condivisa consente di trasformare la ricerca in un bene comune. La Community degli inventori Inaf rappresenta un passo concreto in questa direzione. ■

Roberto Trotta

Il cielo stellato sopra di noi

di Salvatore Lampitelli



La storia degli esseri umani e dei loro riti è legata indissolubilmente a quella degli astri. Non ne siete convinti? Allora è tempo di leggere *Il cielo stellato sopra di noi*, e di ricredersi.

Quando ero piccolo avevo un libro di miti e favole greche, era uno dei miei preferiti: un piccolo volume didattico di colore blu, con sopra disegnate delle costellazioni. Lo portavo con me ovunque e, anche quando ormai era logoro per le innumerevoli letture, continuavo a stupirmi: ogni storia, da Apollo che trasporta il Sole alla dolce vicenda delle sorelle Pleiadi, sembrava legarsi in qualche modo a una costellazione o a un astro.

Il libro di Roberto Trotta: *Il cielo stellato sopra di noi* ha riacceso in me quella curiosità infantile, svelando il legame profondo che esiste tra i miti, le leggende umane e le nostre stelle.

Con uno stile accessibile ma rigoroso, Roberto Trotta ci porta alla scoperta della storia dell'astronomia, legandola indissolubilmente a quella dell'essere umano. Si parte dal primo osso di Lebombo, uno degli strumenti di calcolo più antichi utilizzato dagli ominidi, fino all'introduzione del *machine learning*, descritto come un demone di Laplace.

Senza mai risultare pedante o saccante, l'autore alterna capitoli dal taglio storico e scientifico, che raccontano l'evoluzione dell'astronomia, ad altri più narrativi e immaginifici, ambientati in un mondo alternativo, dove il cielo è sempre coperto da nuvole e le stelle non si vedono mai. Un'alternanza che non solo incuriosisce, ma spinge anche a riflettere su quanto profondamente gli

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



astri abbiano influenzato la nostra cultura e su come sarebbe vivere senza mai «uscir a riveder le stelle».

È una lettura che consiglio a tutti, ma indispensabile per ogni scienziata e scienziato. Non solo per il valore altamente didattico di ogni capitolo, ma soprattutto per riscoprire il motivo più profondo del fare scienza. Ci ricorda come il cielo, che oggi studiamo con strumenti sempre più precisi, è stato per millenni fonte di miti e religioni. Di come 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.

Ecco, pensate alla potente connessione, spiegata da Trotta, tra il mito mitriaco e... Gesù. Se noi festeggiamo il Natale proprio il 25 dicembre, lo dobbiamo al legame tra l'antico culto del sole e la ricorrenza del solstizio d'inverno (*Natalis Solis Invicti*).

Un libro che riesce a farci capire a fondo la citazione di Wright: «Non riesco mai a guardare le stelle senza chiedermi perché tutti gli esseri umani non diventino astronomi». - Thomas Wright, *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe*.

Voltata l'ultima pagina, posato il libro sullo scaffale, mi è venuta voglia di uscire a guardare il cielo a occhi nudi. Ammirarlo con lo stupore di un bambino. Per riconnettermi con quel racconto antico che scriviamo da millenni insieme, notte dopo notte, tracciando la nostra storia proprio là, in quel cielo stellato sopra di noi.

A PORTATA DI MANO
Il cielo del Paranal, l'osservatorio
astronomico realizzato e gestito dallo
European Southern Observatory, situato sul
Cerro Paranal nel deserto di Atacama.
Crediti: Eso/B. Tafreshi

pop

Le stelle tra orchestra e cinema

di Chiara Badia

Dopo le visioni romantiche e intimiste dell'Ottocento, nei primi anni del ventesimo secolo, il cielo non si osserva soltanto con i telescopi, ma entra nelle sale da concerto e nei primi cinema. Compositori e registi trasformano pianeti, stelle e galassie in musica, immagini e colonne sonore, aprendo un dialogo inedito tra arte e scienza destinato a ispirare generazioni.

Se nel Romanticismo l'universo era cantato come emozione interiore e mistero poetico, nel primo Novecento la musica trovò nel cosmo ancora un territorio inesauribile di suggestioni. L'inizio del ventesimo secolo è un'epoca in cui la scienza ha rivoluzionato le nostre prospettive con telescopi sempre più potenti, la comprensione più profonda delle stelle e delle galassie, la scoperta di Plutone nel 1930, le teorie di Einstein che curvano lo spazio e il tempo. I compositori, immersi in questo clima di meraviglia e vertigine, iniziarono a dare voce all'universo con linguaggi nuovi e spesso visionari.

Punto di partenza imprescindibile è Gustav Holst che, in due anni, scrisse i sette pezzi che compongono la suite orchestrale per due pianoforti *The Planets* (1914-1916). Ogni movimento della composizione rappresenta un pianeta del Sistema solare (esclusa la Terra), non in senso astronomico o scientifico ma mitologico e simbolico, evocando emozioni profonde: *Marte, il portatore di guerra* è un brano percussivo e minaccioso, *Venere, il portatore della pace* è dolce e lirico. Nell'opera, Plutone è assente, perché non ancora scoperto, e Nettuno viene destinato all'organo, strumento che Holst ritiene più adatto a descrivere il mondo lontano e misterioso di quel pianeta. L'opera, pur ancorata al linguaggio tonale, apre la strada a un modo nuovo di pensare il rapporto tra musica e spazio, in un viaggio sonoro che anticipa, in modo sorprendente, l'immaginario della fantascienza e persino certe atmosfere

La meraviglia per il cosmo si tradusse anche nella ricerca di nuove forme musicali. Alexander Scriabin, con *Mysterium*, immaginò un'opera da rappresentare ai piedi dell'Himalaya, destinata a coinvolgere suoni, luci e persino profumi



delle colonne sonore hollywoodiane. Non a caso, il brano su Marte ha influenzato John Williams per la scrittura della musica di *Star Wars*.

La meraviglia per il cosmo si tradusse anche nella ricerca di nuove forme musicali. Alexander Scriabin, con il suo incompiuto *Mysterium*, immaginò un'opera totale e mistica da rappresentare ai piedi dell'Himalaya, destinata a coinvolgere suoni, luci e persino profumi per evocare la nascita di un nuovo universo.

Il cinema, che proprio in quegli anni muoveva i primi passi, non rimase indifferente. Nel 1902, Georges Méliès stupì il pubblico con *Le Voyage dans la Lune*, film muto in cui la musica – eseguita dal vivo in sala – trasformava le immagini in esperienza collettiva. Poco dopo, nel 1925, *La moglie dell'astronomo* di Ol'ga Preobraženskaja e Ivan Pravov portava lo spazio dentro una narrazione intima, mentre nel 1929 *Una donna nella Luna* di Fritz Lang, con musiche di Huppertz – lo stesso compositore della colonna sonora di *Metropolis* – offriva un realismo sorprendente nella descrizione di un viaggio sulla Luna, anticipando la fantascienza moderna.

In parallelo, la musica colta esplorava orizzonti inediti. Arnold Schönberg, con il suo *Erwartung* (1909) e la rivoluzione della dodecafonia, non scrisse direttamente dell'universo, ma sembrò evocare paesaggi sonori dissonanti tanto alieni quanto un cielo stellato.

Anche la musica leggera e popolare trovava eco nel cielo: dagli anni Trenta in poi proliferarono canzoni che sognavano la Luna, come *Blue Moon* (1934) di Richard Rogers, riflesso di un immaginario che portò il nostro satellite nelle radio e nei salotti di tutto il mondo. Il brano fu riproposto da numerosissimi artisti tra cui Ella Fitzgerald, Frank Sinatra, Elvis Presley, Rod Stewart e Mina, entrando a pieno titolo nel repertorio jazz dell'epoca. ■

FRAU IM MOND
Sul set del film *Una donna nella Luna* di Fritz Lang (1929) con l'attrice Gerd Maurus pronta a girare la scena finale circondata da attrezzi e troupe, immersa nella scenografia lunare.
Crediti: Bundesarchiv

Omaggio a Franco Sarnari (1933-2022) e alla sua Onda

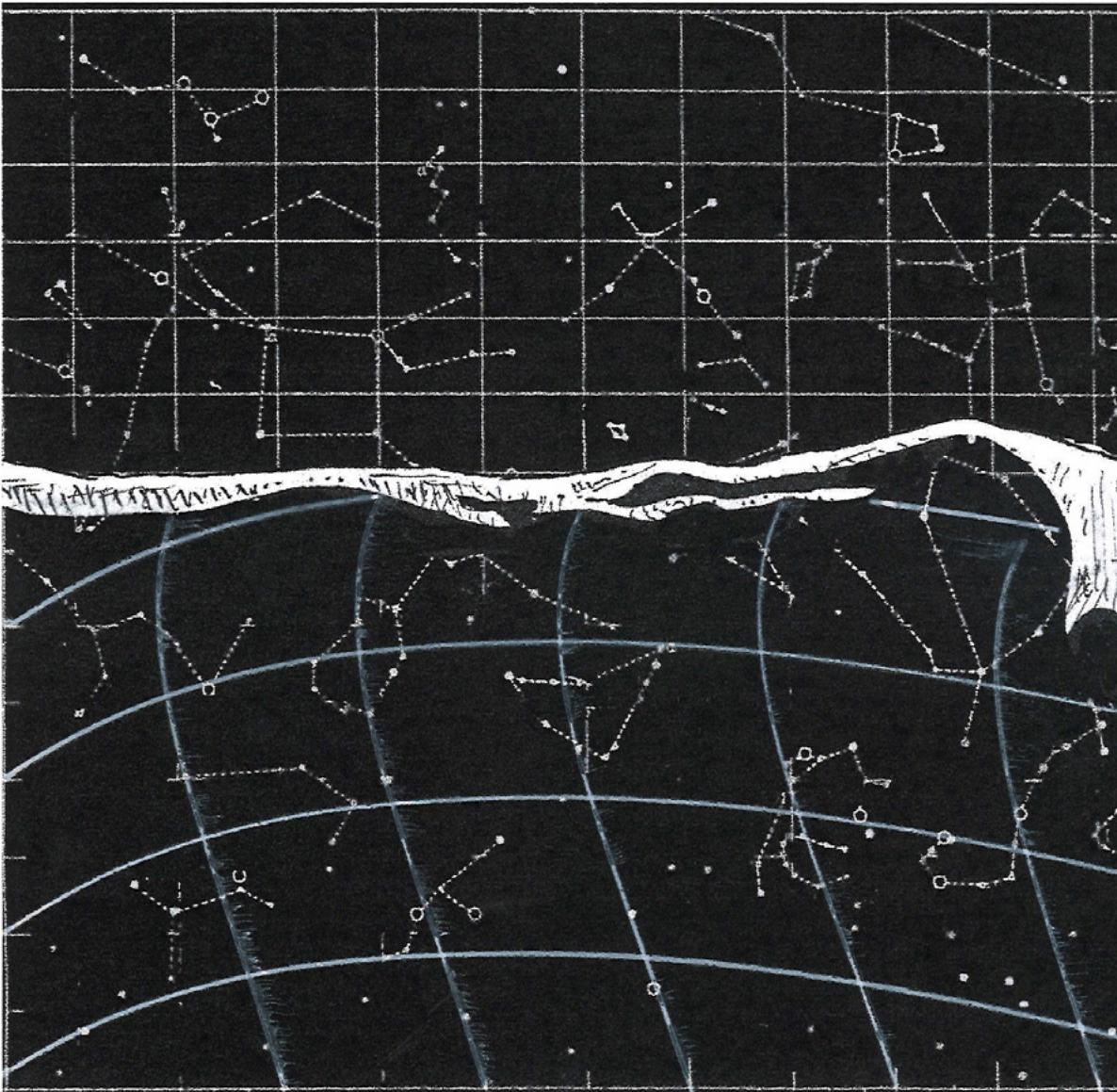
Il buio si muove

di Angelo Adamo

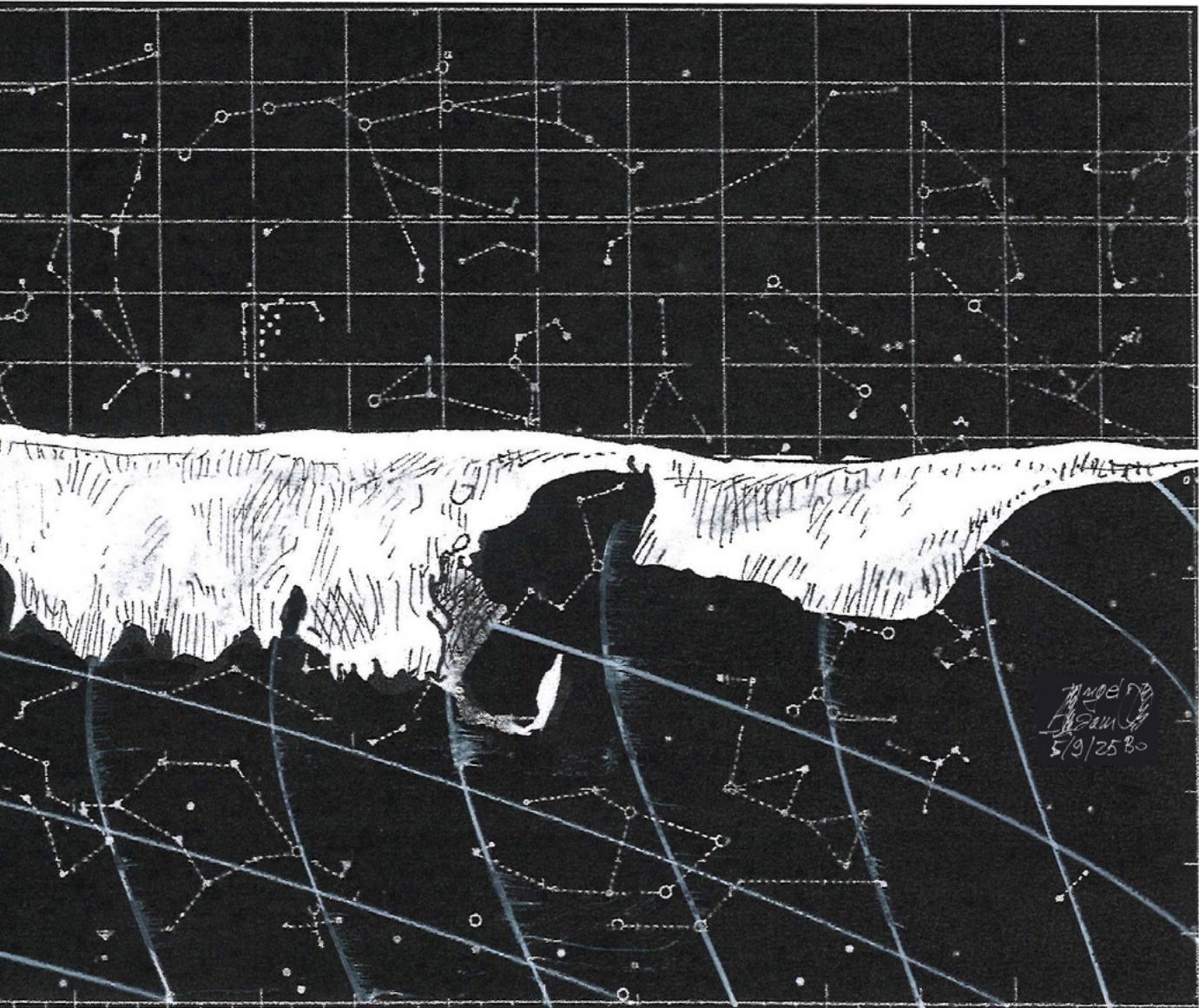
Onde sismiche, tsunami, onde sonore; onde gravitazionali, onde luminescenti e onde encefaliche, del pensiero; quindi flussi di idee come fantasie di spaventose onde primordiali non meglio definite che, si potrebbe immaginare, abbiano creato il cosmo.

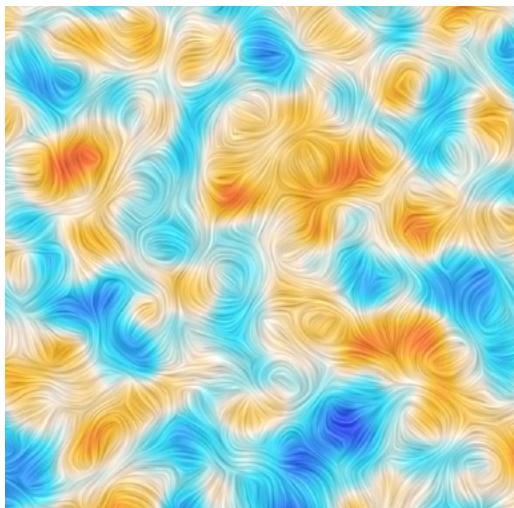
Quale sarà la più terrificante?

altriverzi



Quella bassa, silicea, sorda,
che scuote strade, muri,
e tu sicuro tremi;
quella alta, acquea, sonora,
che, rapida, invade e affoga,
e nel terrore anneghi;
quella buia, distante, scògnita,
che lacera spazio, tempo,
e dopo forse vedi,
risaccano perché vinte
da un mio incubo immane e imo:
(un) remoto spasmo arcaico,
neutro, pregno, primo.
E tu, magato, vegli.





Finito di stampare
a novembre 2025 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.**

