

u n i v e r s i

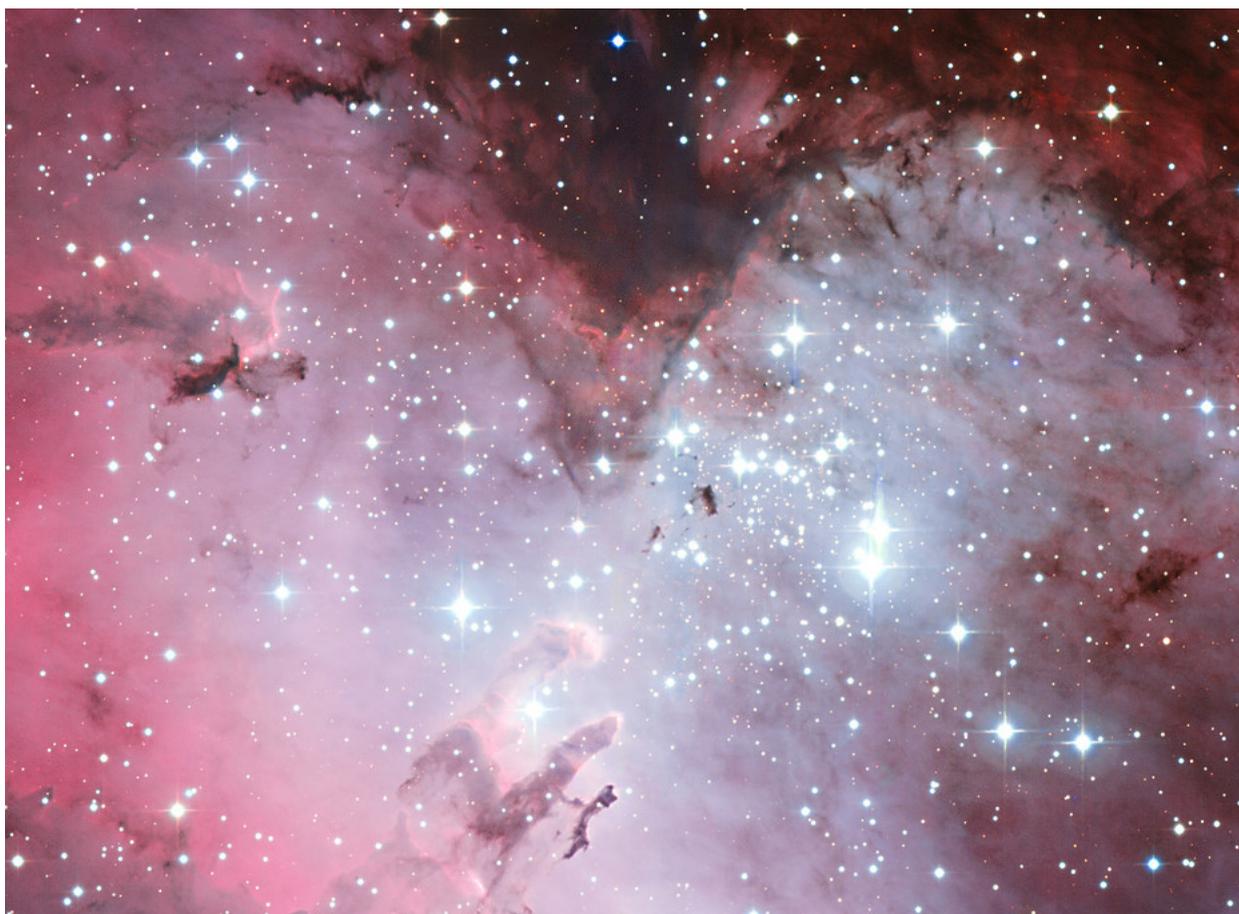


rivista semestrale
luglio 2023

1
inaf

10 L'universo sulle scale più grandi **18** Comprendere il cosmo, stella dopo stella **24** Così vicini: il Sole e il Sistema solare **32** Messaggi energetici dallo spazio **42** Tecnologia per studiare il cosmo **54** Oltre vent'anni di responsabilità scientifica **58** L'eccellenza artigiana della scienza

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

DIRETTORE RESPONSABILE
Maura Sandri

DIRETTORE ARTISTICO
Davide Coero Borga

IN REDAZIONE
Francesca Maria Aloisio,
Davide Coero Borga,
Eleonora Ferroni,
Giuseppe Fiasconaro,
Marco Galliani,
Valentina Guglielmo,
Laura Leonardi, Marco
Malaspina, Claudia

Mignone, Maura Sandri,
Rossella Spiga

**COORDINAMENTO
REDAZIONALE**
Cecilia Toso

**PROGETTO GRAFICO
E IMPAGINAZIONE**
Chiara Athor Brolli

IMMAGINI
Le immagini senza
credito provengono
dall'Archivio Inaf

STAMPA
River Press Group srl
Via Menalca 30
00155 Roma



universi 1

In questo numero

- 10 RSN 1 | GALASSIE E COSMOLOGIA** L'universo sulle scale più grandi
- 18 RSN 2 | STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE**
Comprendere il cosmo, stella dopo stella
- 24 RSN 3 | SOLE E SISTEMA SOLARE** Così vicini: il Sole e il Sistema solare
- 32 RSN 4 | ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE** Messaggi energetici dallo spazio
- 42 RSN 5 | TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE** Tecnologia per studiare il cosmo

4
EDITORIALE
Un universo plurale

6
INTRODUZIONE
Il primo numero di Universi

10
RSN 1 | L'universo sulle scale più grandi

18
RSN 2 | Comprendere il cosmo, stella dopo stella

24
RSN 3 | Così vicini: il Sole e il Sistema solare

32
RSN 4 | Messaggi energetici dallo spazio

42
RSN 5 | Tecnologia per studiare il cosmo

54
INTERVISTA A GAETANO TELESIO
Oltre vent'anni di responsabilità scientifica

58
INTERVISTA A FILIPPO ZERBI
L'eccellenza artigiana della scienza

62
VISIONE
testi di Davide Coero Borga
scatti di Riccardo Bonuccelli

68
FLASH
di Eleonora Ferroni

76
TECH
Sua maestà la tecnologia
di Rossella Spiga

78
INCONTRI
Sotto la stessa luna
di Francesca Maria Aloisio

80
METAVERSO
Un universo di dati astronomici da esplorare in 3D
di Laura Leonardi

82
ART
I tesori di Juice e Euclid
di Claudia Mignone

84
GREEN
L'astronomia può essere sostenibile?
di Valentina Guglielmo

86
ASTROBIOLOGIA
Alla ricerca delle nostre origini cosmiche
di Giuseppe Fiasconaro

88
MUSEI
MusAB: il museo astronomico di Brera
di Ginevra Trinchieri

92
SCUOLA
Un premio alla didattica digitale dell'Inaf
di Maura Sandri

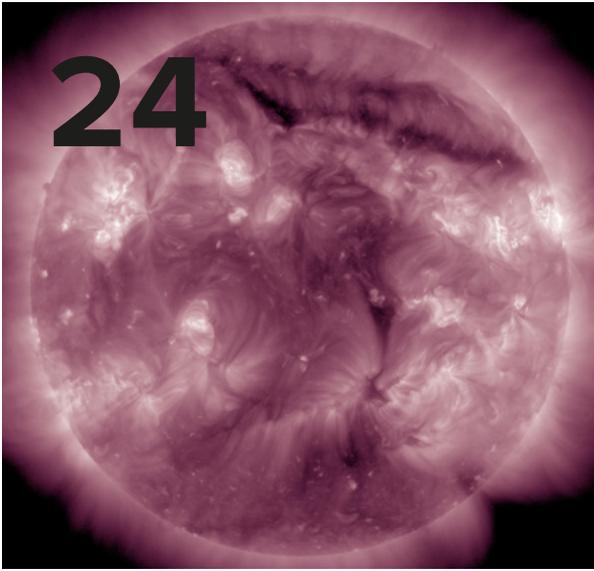
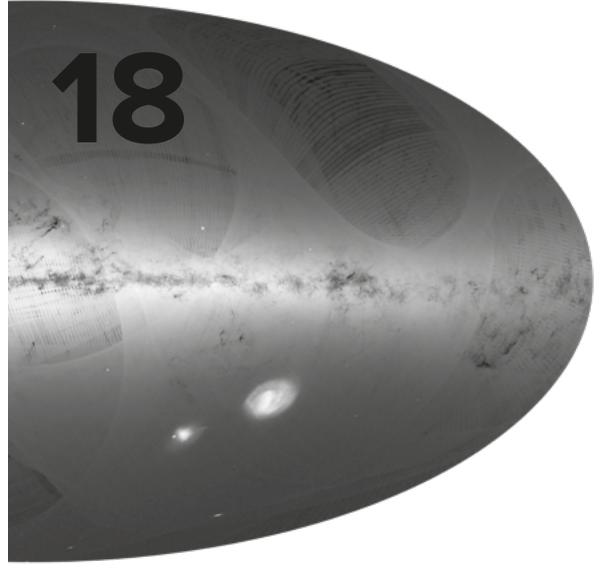
94
LIBRI
Janna Levin *Manuale di sopravvivenza ai buchi neri*
di Gabriele Ghisellini



in copertina

Nebulosa Aquila nella costellazione Coda del Serpente.

Crediti: ESO



UNIVERSO BAMBINO

Lavorando sul campo ultra profondo di Hubble, la survey Jades ha scoperto galassie che risalgono a quando l'universo aveva solo il 2 per cento della sua età attuale.

Crediti: NASA/ESA/CSA/M. Zamani



editoriale

UN UNIVERSO PLURALE

L' Istituto nazionale di astrofisica comincia oggi una nuova avventura, una sfida, per cui abbiamo scelto un nome plurale: *Universi*.

Universi perché la pluralità è caratteristica centrale del nostro istituto. Se l'universo dell'astronomia si presenta "unico" dal Timeo di Platone in poi, la varietà di aspetti e angolazioni ne fanno un sistema straordinariamente molteplice.

Il plurale si lega altresì alle differenti prospettive di osservazione e di studio del cosmo: le lune di Giove scoperte da Galileo Galilei, gli infiniti mondi di Niccolò Cusano e Giordano Bruno prefigurati a cavallo della rivoluzione copernicana, le migliaia di sistemi planetari extraterrestri scoperti dall'astronomia di oggi. Quali sorprese ci riserva il futuro della ricerca? E quale ruolo gioca l'Italia in questa partita?

L'Istituto nazionale di astrofisica, con la sua vitale comunità di ricercatrici e ricercatori, è leader nello studio di questo universo "dalle molte facce". Una realtà oggi in grande espansione, in crescita – non solo scientifica ma anche di comunità, di progettualità – e per questo il primo numero di *Universi* raccoglie una panoramica delle attività in corso nel nostro ente di ricerca.

Al direttore generale Gaetano Telesio abbiamo chiesto come l'Istituto sta cambiando per affrontare le sfide future. Al direttore scientifico Filippo Zerbi quali siano le grandi partecipazioni internazionali in cui l'Italia è coinvolta. Abbiamo scelto di dare voce alle nostre ricercatrici e ai nostri ricercatori per raccontare le ultime eccitanti scoperte (e l'astrofisica di frontiera) che vedono l'Istituto nazionale di astrofisica come protagonista. È un lavoro che si fa in modo sinergico, mettendo insieme tutta la tecnologia che abbiamo a disposizione, a terra e nello spazio. E grazie all'astrofisica, vengono sviluppate soluzioni utili alla nostra vita quotidiana e capaci di risolvere problemi nel campo della sensoristica di precisione, della navigazione, delle applicazioni spaziali, del trattamento di big data, oltre che per la salute, l'arte e il monitoraggio ambientale.

Vi racconteremo anche quello che facciamo per il grande pubblico: dai contenuti e le attività che portiamo a festival ed eventi nazionali e internazionali all'offerta innovativa di contenuti didattici che i ricercatori dell'Inaf portano direttamente nelle scuole di ogni ordine e grado, ma anche i tanti progetti nel campo dell'intercultura e dell'inclusione.

Vogliamo parlarvi di tutto questo e di molto ancora, per portarvi con noi a scoprire tutta la straordinaria bellezza che c'è nel nostro universo. Un universo plurale. ■

Marco Tavani

Presidente dell'Inaf



L'Istituto nazionale di astrofisica, con la sua vitale comunità di ricercatrici e ricercatori, è leader nello studio di un universo "dalle molte facce"



universi



rivista semestrale
luglio 2023

1
inaf

10 L'universo sulle scale più grandi. 18 Comprendere il cosmo, stella dopo stella. 24 Così vicini: il Sole e il sistema solare. 32 Messaggi energetici dallo spazio. 42 Tecnologia per studiare il cosmo. 54 Oltre vent'anni di responsabilità scientifica. 58 L'eccellenza artigianale

BRN inaf
BRN inaf
BRN inaf
BRN inaf
BRN inaf
BRN inaf

universi
universi
universi
universi
universi
universi

introduzione

IL PRIMO NUMERO DI UNIVERSI

Eccoci qui, alla prima uscita di *Universi*. Voluta dal Presidente dell'Inaf Marco Tavani e accolto con entusiasmo da quella che è diventata la sua redazione, *Universi* è un periodico di divulgazione scientifica che presenta, con una periodicità semestrale, le attività e i risultati scientifici dell'ente. Un vero e proprio *house organ* che, in formato cartaceo, verrà distribuito al personale interno, alle istituzioni e al pubblico per aggiornare circa le attività e gli obiettivi raggiunti e da raggiungere, per stimolare la partecipazione e il coinvolgimento del personale dell'ente e per favorire la circolazione delle informazioni con Ministeri, Istituti scientifici e culturali, e più in generale con chiunque sia interessato.

Mi prendo queste poche righe per dirvi che questo primo numero è un numero speciale, nel quale viene presentato l'ente e i principali progetti in cui è coinvolto. È stato preparato principalmente dai membri della redazione, a eccezione di alcune rubriche.

In particolare, i cinque articoli di approfondimento descrivono le ricerche dei cinque raggruppamenti scientifici nazionali. Se, leggendoli, non avrete l'impressione di avere a che fare con una brochure significa che abbiamo fatto bene questa parte nel nostro lavoro.

Nei numeri successivi la struttura della rivista sarà la medesima, ma i cinque articoli di approfondimento verranno scritti direttamente da ricercatori e ricercatrici dell'Istituto nazionale di astrofisica e saranno dedicati a uno studio rilevante (uno per raggruppamento scientifico) pubblicato negli ultimi mesi. Per mantenere un respiro più ampio, accanto a questi approfondimenti verrà pubblicata un'intervista a un personaggio, non necessariamente dell'ente, che ha ottenuto risultati rilevanti in campo internazionale nell'ultimo periodo.

Chiudono la rivista una serie di rubriche, solo in parte preparate dalla redazione, e un album fotografico che racchiude alcuni tra i migliori scatti di servizi fotografici realizzati per *Universi*. La rubrica dedicata ai musei, alla scuola e quella con le recensioni di libri ci piacerebbe venissero scritte dai ricercatori e dalle ricercatrici dell'ente. Più in generale, se avete proposte per gli approfondimenti e per le interviste, se avete notizie, premi, belle immagini da segnalarci, fatelo scrivendo alla redazione. Scriveteci anche se trovate errori, se volete fare integrazioni che potrebbero essere riprese nei numeri successivi, se avete critiche costruttive sulle nostre scelte.

Universi vuole portare la ricerca scientifica condotta all'interno dell'ente oltre le porte degli osservatori e degli istituti che ne fanno parte, usando un linguaggio comprensibile e coinvolgente. Per fare questo, abbiamo bisogno dell'aiuto di tutti voi. ■

Maura Sandri

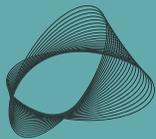
Direttore responsabile



***Universi* vuole portare la ricerca scientifica condotta all'interno dell'Inaf oltre le porte degli osservatori e degli istituti che ne fanno parte**

RSN

I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI
NAZIONALI DELL'INAF



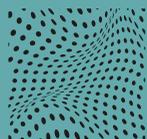
**GALASSIE
E COSMOLOGIA**



**STELLE,
POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE**



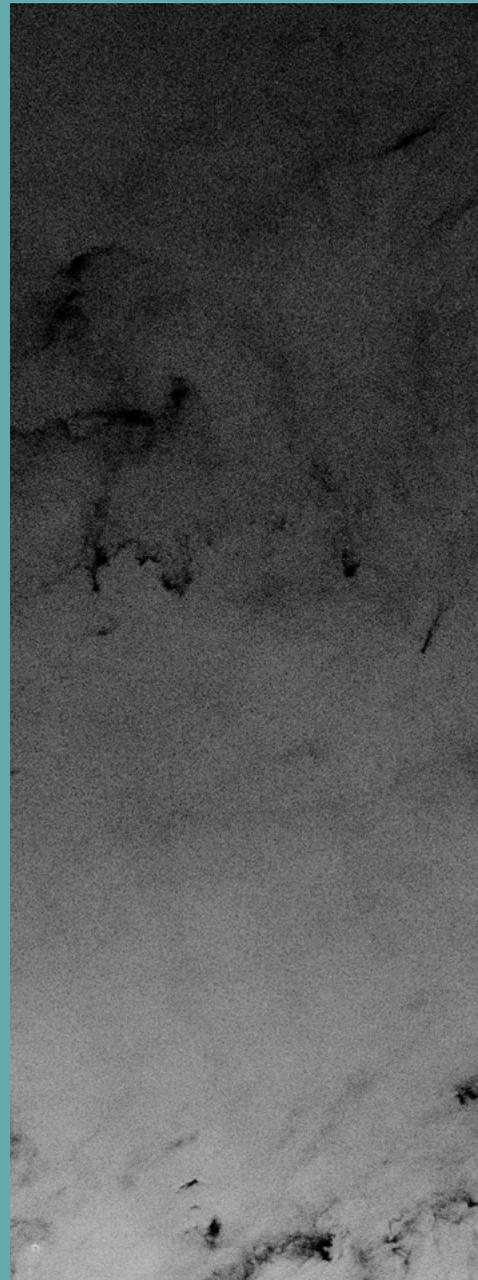
**SOLE E SISTEMA
SOLARE**

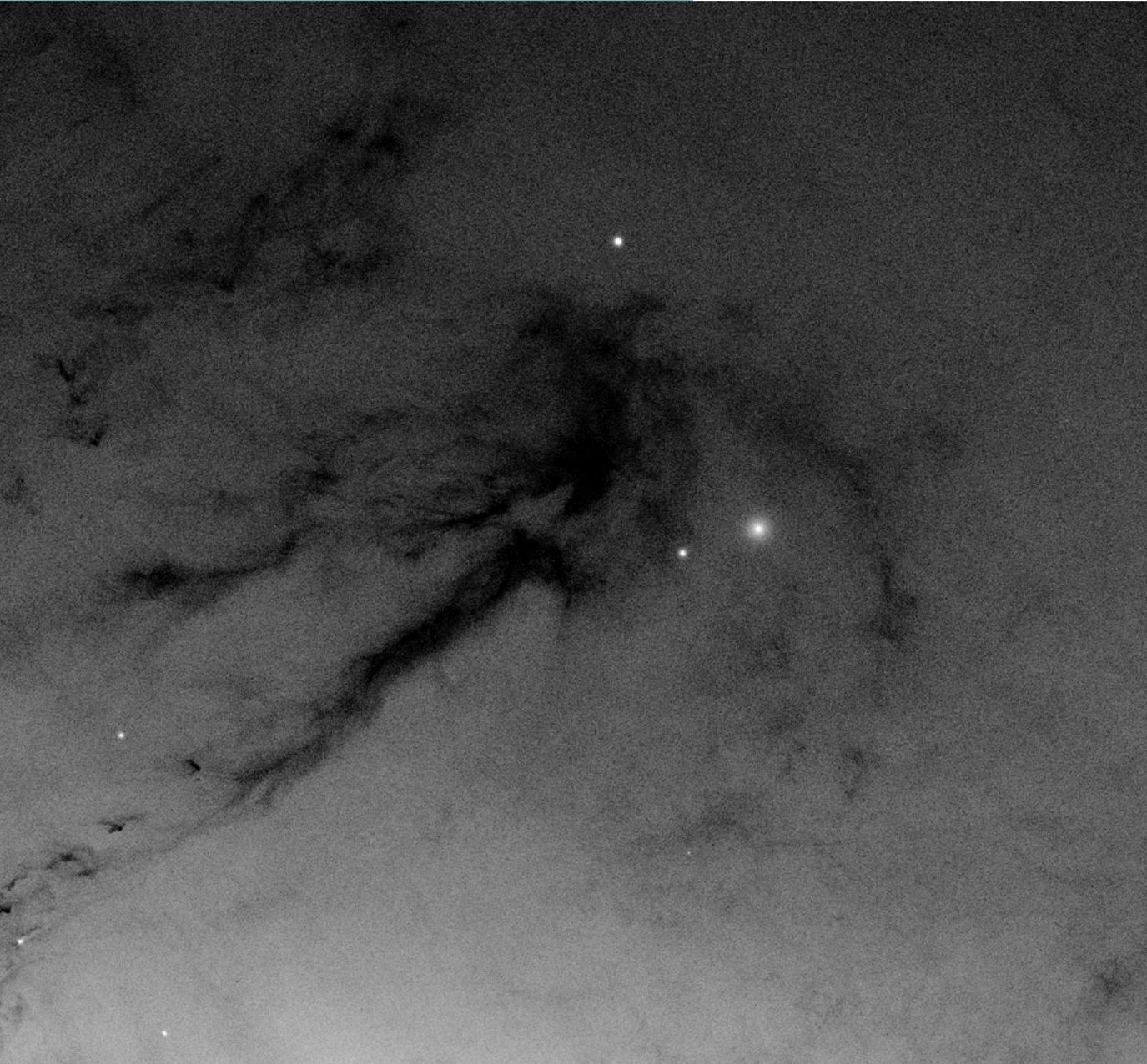


**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**



**TECNOLOGIE
AVANZATE E
STRUMENTAZIONE**





L'universo sulle scale più grandi

Quali processi regolano formazione ed evoluzione delle galassie? Qual è la struttura dell'universo su larga scala e a diverse epoche cosmiche? Come si comporta la gravità su scale cosmologiche? Queste sono solo alcune delle domande alle quali i ricercatori dell'Inaf stanno cercando di rispondere.





Comprendere i processi fisici, con quali tempistiche avvengono e la loro importanza relativa, a diverse epoche cosmiche e in diversi ambienti, rappresenta una delle principali sfide dell'astrofisica moderna. Per sperare di riuscire a rispondere a queste e altre domande occorrono studi osservativi, teorici e computazionali focalizzati sulle diverse componenti dell'universo, sull'astrofisica dei buchi neri, delle galassie e dei loro sistemi, dai gruppi agli ammassi. Studi che inevitabilmente hanno importanti ricadute anche nell'ambito della formazione stellare, dell'astrofisica delle alte energie e della fisica fondamentale (teorie della gravità e altre interazioni fondamentali).

UN MODELLO STANDARD

In cosmologia, il paradigma attualmente più accreditato è conosciuto come modello cosmologico standard. In questo modello, il budget di massa ed energia dell'universo è dominato per il 68% dall'energia oscura, che causa l'accelerazione odierna dell'espansione cosmica, con una significativa componente – circa il 27% – di materia non barionica (anch'essa detta *oscura* poiché non interagisce con la luce) e solo una piccola componente di materia ordinaria o barionica – circa il 5%. A oggi navighiamo quindi nell'oscurità, essendo la natura della materia e dell'energia oscura ancora un mistero.

Nel primo miliardo di anni rispetto a quella che viene considerata l'origine dell'universo – il Big Bang, circa 13,8 miliardi di anni fa – ombra e luce si sono susseguite fino a quella che prende il nome di epoca del-

la reionizzazione: il periodo in cui il gas primordiale, di cui era pervaso l'universo nelle prime fasi della sua evoluzione, passa dallo stato neutro a quello ionizzato. La storia di quest'epoca non è ancora chiara, così come non è ancora ben definito il periodo esatto in cui si svolse. Ciò che possiamo affermare con ragionevole certezza è che dalle piccole differenze nella densità della materia presenti circa 380mila anni dopo il big bang – impresse come differenze di temperatura dell'ordine di un centomillesimo di grado nella radiazione cosmica di fondo a microonde, la prima luce emessa nella storia dell'universo – si sono formate le prime strutture a larga scala nella storia dell'universo, già visibili all'epoca della reionizzazione. Col tempo, la gravità ha portato queste strutture ad aggregarsi, fino a formare le galassie e gli ammassi di galassie che osserviamo oggi.

Recentemente, un team internazionale di ricercatrici e ricercatori guidato dall'Istituto nazionale di astrofisica ha catturato la luce di due galassie tra le primissime dell'universo primordiale, tra 350 e 450 milioni di anni dopo il big bang. Un altro lavoro ha studiato ben 29 galassie ai primordi dell'universo, stimando per la prima volta la frazione di luce da esse rilasciata in grado di ionizzare il gas circostante. Questi lavori sono stati resi possibili grazie al telescopio spaziale James Webb (Jwst) e all'aiuto di un massiccio ammasso di galassie (Abell 2744, chiamato anche Ammasso di Pandora) che, come una lente, ha amplificato la luce proveniente dalle galassie ancora più distanti. Sempre Jwst è riuscito a osservare, grazie a una lente gravitazionale di un ammasso, una galassia lontanissima, in piena formazione stellare appena 510 milioni di anni dopo il big bang: la prima mai osservata che potrebbe aver contribuito in maniera sostanziale alla reionizzazione dell'universo.

La formazione delle prime stelle e delle galassie primordiali coincide con l'avvio del processo di reionizzazione e della sintesi dei "metalli" (tenuto conto che per gli astronomi sono considerati metalli tutti gli elementi più pesanti dell'elio), successivamente espulsi nel mezzo interstellare e intergalattico. Parallelamente all'evoluzione stellare, al

NGC 346

La Near-Infrared Camera a bordo del James Webb Space Telescope ritrae un ammasso stellare dinamico in una nebulosa a 200 mila anni luce di distanza.
Crediti: NASA/ESA/CSA/O.C. Jones/G. De Marchi/M. Meixner

NEBULOSA TARANTOLA

Alla pagina precedente: Webb ci regala un'immagine a mosaico che si estende per 340 anni luce con decine di migliaia di giovani stelle.
Crediti: NASA/ESA/CSA/STScI/Webb ERO Production Team

Nel primo miliardo di anni dall'origine dell'universo, ombra e luce si sono susseguite fino a quella che prende il nome di epoca della reionizzazione: il periodo in cui il gas primordiale di cui era pervaso l'universo passa dallo stato neutro a quello ionizzato

Dalle piccole differenze nella densità della materia che dovevano essere presenti circa 380mila anni dopo il big bang si sono formate le prime strutture a larga scala nella storia dell'universo, già visibili all'epoca della reionizzazione



centro delle galassie si formano buchi neri molto massicci, mostri cosmici dalla massa pari a milioni o addirittura miliardi di volte quella del Sole. Sia le ultime fasi dell'evoluzione stellare sia l'accrescimento del gas circostante sui buchi neri rilasciano enormi quantità di energia nel mezzo interstellare (sotto forma di radiazione, venti, fronti d'urto e getti), con importanti ripercussioni sulle proprietà fisiche e strutturali delle galassie stesse. Anche le interazioni fra galassie possono ovviamente modificare le proprietà fisiche e dinamiche delle galassie stesse, basti pensare ai meravigliosi esempi riportati nel famoso atlante delle galassie peculiari compilato da Halton Arp. Il ciclo barionico delle galassie – il processo che prevede la fuoriuscita di materiale che prima o poi sarà riassorbito dalle galassie ospitanti, oltre che il trasferimento di materia tra le galassie – è basato su una complessa rete di azioni, reazioni e auto-regolazioni, e per comprendere tutti questi aspetti gli astrofisici usano osservazioni su tutto lo spettro elettromagnetico, modelli e simulazioni.

LE SURVEY SULLE GALASSIE

Negli ultimi anni, la comunità dell'Inaf ha partecipato attivamente a importanti survey spettroscopiche per stimare la distribuzione spaziale delle galassie e degli ammassi di galassie, e per studiare le proprietà del gas diffuso che pervade gli spazi intergalattici. A titolo di esempio, recentemente sono

stati pubblicati i risultati scientifici basati sulle analisi dei dati prodotti dall'ultima release di Lega-C (Large Early Galaxy Census), un vero e proprio censimento di galassie lontanissime, realizzato con lo strumento Vimos installato sul Very Large Telescope dell'Eso in Cile tra dicembre 2014 e marzo 2018. Grazie a Lega-C sono disponibili per la prima volta osservazioni astronomiche di alcune migliaia di galassie, in un'epoca cosmica compresa tra cinque e otto miliardi di anni fa, con una precisione in grado di permettere agli astrofisici di ricavare le caratteristiche dettagliate delle popolazioni stellari presenti nelle galassie del campione. Questi risultati consentono di studiare il passato delle galassie, anche remoto, con maggiore dettaglio di quanto non si possa fare con galassie del nostro vicinato cosmico. Le misure accurate raccolte per questo campione di galassie hanno consentito, per la prima volta, di confrontare direttamente le predizioni dei modelli teorici con le osservazioni in quel particolare intervallo della storia dell'universo.

La madre di tutte le simulazioni con cui confrontare questo genere di osservazioni è Illustris-TNG: basata sulle leggi fondamentali della fisica, dalla gravità che fa addensare la materia alle equazioni della fluidodinamica e di Maxwell per l'elettromagnetismo, mostra come il cosmo si è evoluto dal big bang a oggi. C'è dentro tutto: la materia oscura, il gas intragalattico e intergalattico, le stelle,



con tanto di esplosioni di supernova, e persino i campi magnetici a grande scala. Un universo artificiale ma realistico, navigabile quasi come Google Maps e completo di tutto ciò che occorre a cosmologi, fisici e astrofisici per sviluppare e mettere alla prova, direttamente al computer, i loro modelli e le loro teorie sulla formazione delle galassie, delle singole stelle e del mezzo intergalattico. In questo modo è possibile migliorare i modelli stessi e la comprensione della fisica che regola l'evoluzione delle galassie.

Andando ancora più indietro nel tempo e spingendosi fino all'alba dell'universo, il satellite Planck dell'Esa – al quale l'Inaf ha contribuito guidando lo sviluppo dello strumento a bassa frequenza, la calibrazione e l'analisi dei dati – ha ottenuto la mappa più precisa a oggi della radiazione cosmica di fondo su tutto il cielo. Questo ha permesso di stimare i parametri cosmologici tramite la caratterizzazione statistica delle perturbazioni primordiali, e di misurare l'effetto Sunyaev-Zeldovich termico impresso dagli ammassi di galassie sulla radiazione di fondo.

PERCHÉ LE OSSERVIAMO

Gli studi degli ammassi di galassie – effettuati grazie a campagne osservative in molteplici lunghezze d'onda per valutare pressione, temperatura, densità e metallicità del gas caldo intergalattico, così come dei campi magnetici e delle particelle relativistiche che vi si trovano – sono fondamentali

per comprendere l'evoluzione delle strutture cosmiche e vincolare le proprietà della materia oscura. Nel caso di galassie relativamente "vicine", invece, numerosi sono stati i progressi resi possibili dall'utilizzo della spettroscopia a campo integrale, una tecnica che consente di costruire mappe ad alta risoluzione spaziale di diverse regioni delle galassie. La combinazione di osservazioni dedicate a diverse lunghezze d'onda è essenziale per tracciare le diverse componenti coinvolte nel ciclo barionico.

Il lavoro dei ricercatori dell'Inaf coinvolti in questo campo di ricerca ha portato a importanti risultati negli studi sulla variazione spaziale delle proprietà delle popolazioni stellari, sulla formazione e l'evoluzione di nubi molecolari e sulle condizioni fisiche del mezzo interstellare; ma anche sull'impatto dell'interazione con l'ambiente circostante e dei deflussi di gas generati da stelle oppure dai nuclei galattici attivi, i cuori delle galassie che ospitano buchi neri supermassicci con tassi molto elevati di accrescimento del gas circostante, che dà luogo a emissione intensa su tutto lo spettro elettromagnetico.

Anche nel contesto dell'evoluzione delle galassie, è fondamentale il continuo confronto con complessi modelli teorici che descrivono la formazione e l'evoluzione delle strutture cosmiche. In questo ambito, la comunità dell'Inaf ricopre un ruolo di rilievo, in particolare nello sviluppo di simulazioni numeriche, di modellistica semi-analitica,

I PILASTRI DELLA CREAZIONE

Webb rivisita una delle immagini più iconiche del telescopio spaziale Hubble. Gli strumenti NIRCam e MIRI, prima singolarmente e poi insieme, scandagliano le colonne di gas interstellare e polveri visibili nella Nebulosa Aquila. Credit: NASA/ESA/CSA/STScI

Gli studi degli ammassi di galassie sono fondamentali per comprendere l'evoluzione delle strutture cosmiche e vincolare le proprietà della materia oscura

di modelli di evoluzione spettrofotometrica e di trasporto radiativo. L'Inaf è un partner fondamentale nella missione Euclid dell'ESA, il cui lancio è previsto per luglio 2023. Euclid osserverà oltre un miliardo di galassie su più di un terzo dell'intero cielo nelle lunghezze d'onda del visibile e del vicino infrarosso, con una combinazione senza precedenti di nitidezza, sensibilità e area osservata. Tali osservazioni saranno combinate con una misura precisa del *redshift* per diverse decine di milioni di galassie – una stima dell'epoca cosmica a cui appartengono. Questa mappa tridimensionale della struttura a larga scala dell'universo permetterà di addentrarsi nei misteri della materia oscura che costituisce l'impalcatura invisibile del cosmo e dell'energia oscura che ne accelera l'espansione da diversi miliardi di anni, oltre a svelare le proprietà dei nuclei galattici attivi, delle galassie e degli ammassi di galassie, a livelli di dettaglio mai raggiunti prima.

I PROGETTI IN CORSO

Tanti sono i progetti in corso, o che verranno completati nel prossimo futuro nei quali l'Inaf è coinvolto, che saranno determinanti per lo studio della struttura dell'universo, come ad esempio la Legacy Survey of Space and Time (Lsst) condotta al Vera C. Rubin Observatory, attualmente in costruzione in Cile. Le osservazioni effettuate con telescopi ottici come il Very Large Telescope (in particolare



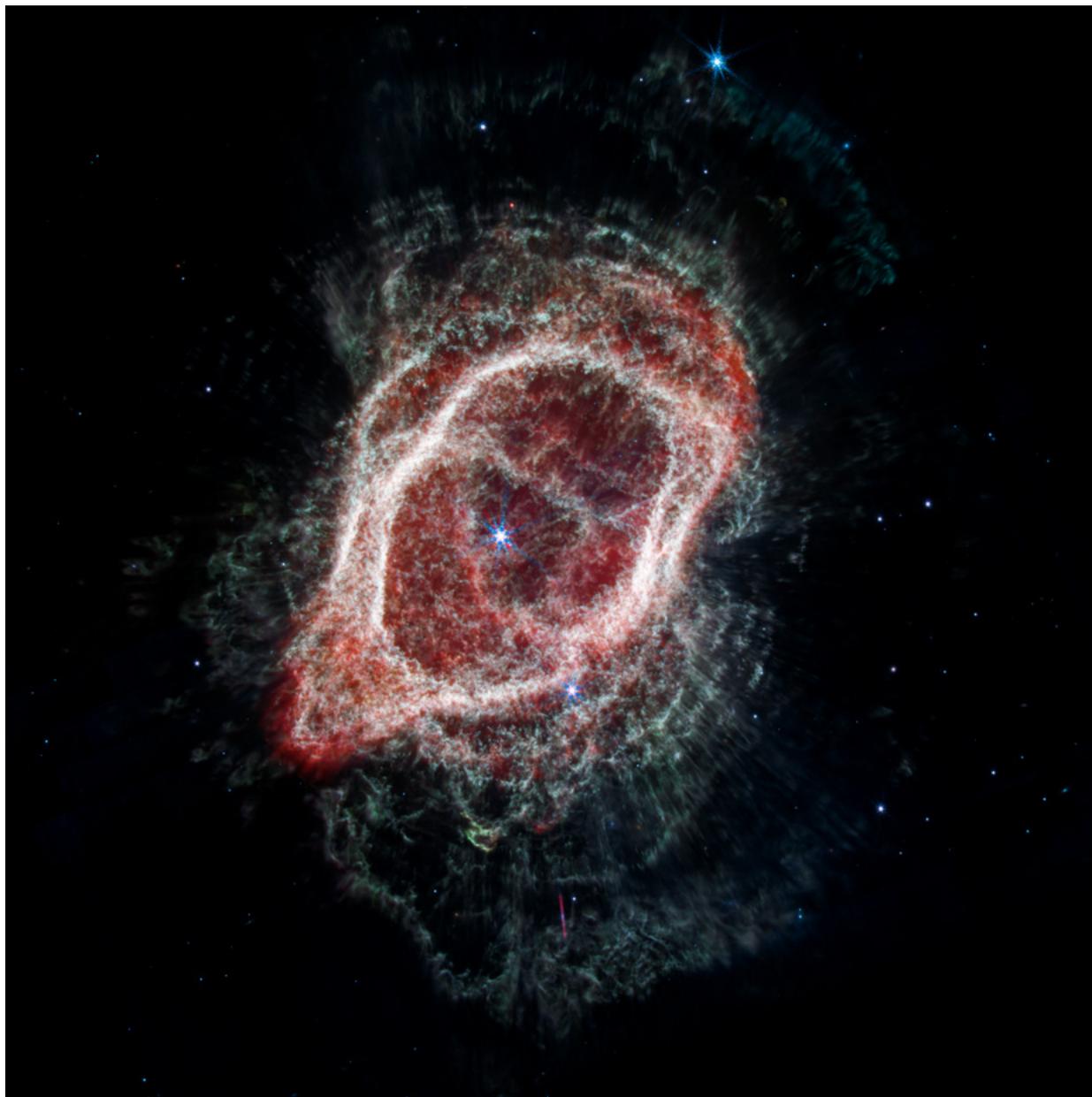
con lo strumento Muse) e il Large Binocular Telescope, e con interferometri radio come Alma, il Karl G. Jansky Very Large Array (JVLA) e Noema dell'Iram, e le osservazioni ad altissima risoluzione radio con le antenne italiane (VLBI Italiano e Internazionale con le reti Evm ed Eavn) sono determinanti per studiare e comprendere l'evoluzione delle galassie.

Nei prossimi anni entreranno in funzione, su alcuni dei maggiori telescopi al mondo, nuovi spettrografi multi-oggetto e a campo integrale come Weave, Moons e 4MOST, dedicati allo studio delle galassie in varie epoche cosmiche. I nostri ricercatori sono alla guida di grandi survey spettroscopiche e fotometriche, che si avvalgono di telescopi da terra e dallo spazio, per caratterizzare le proprietà integrate delle galassie e dei buchi neri supermassicci in funzione dell'ambiente, dall'epoca della reionizzazione fino a oggi. Campagne spettroscopiche e fotometriche ad alta risoluzione consentiranno studi tomografici del mezzo intergalattico e dell'effetto di *lensing* gravitazionale (sia forte sia debole). In sinergia con le osservazioni in banda X ottenute con i satelliti a raggi X Chandra, XMM-Newton, Swift ed eROSITA (e in futuro con l'osservatorio Athena) e in banda sub-millimetrica con Planck e SPT, queste campagne forniranno nuovi vincoli sul budget di materia oscura e barionica dell'universo, sulla struttura a larga scala, sugli ammassi di galassie e sui nuclei galattici attivi. Nuove survey di ammassi

LA NEBULOSA ANELLO

L'immagine composta degli strumenti NIRC2 e MIRI a bordo di Webb evidenzia il gas molto caldo che circonda le stelle al centro della Nebulosa Anello.

Crediti: NASA/ESA/CSA/STScI/O. De Marco



e nuclei galattici attivi, coadiuvate da follow-up in banda radio con le antenne di Jvla, Gmrt, Lofar, MeerKAT e Askap (radio-telescopi precursori e apripista del progetto Ska), offriranno una possibilità inedita di sondare regioni dello spazio dei parametri finora inesplorate.

Accanto alla parte osservativa, sul fronte dell'astrofisica teorica gli obiettivi principali di questa linea di ricerca includono simulazioni a grande scala di modelli alternativi a quello cosmologico standard; modelli della formazione delle galassie, dei buchi neri centrali e della loro interazione con l'am-

biente da piccole a grandi scale, dall'epoca di formazione delle prime galassie, in grado di fornire predizioni teoriche per osservatori di prossima generazione (Skao, Athena, Lisa); sviluppo di codici di simulazione innovativi che includono esplicitamente la trattazione di processi fisici e microfisici del gas e del plasma e che sfruttano a pieno la potenza di calcolo ad alte prestazioni. Tali simulazioni saranno cruciali in tutti gli ambiti della cosmologia e dell'astrofisica della formazione delle galassie per fornire predizioni teoriche e interpretare le osservazioni accessibili agli strumenti del futuro. ■

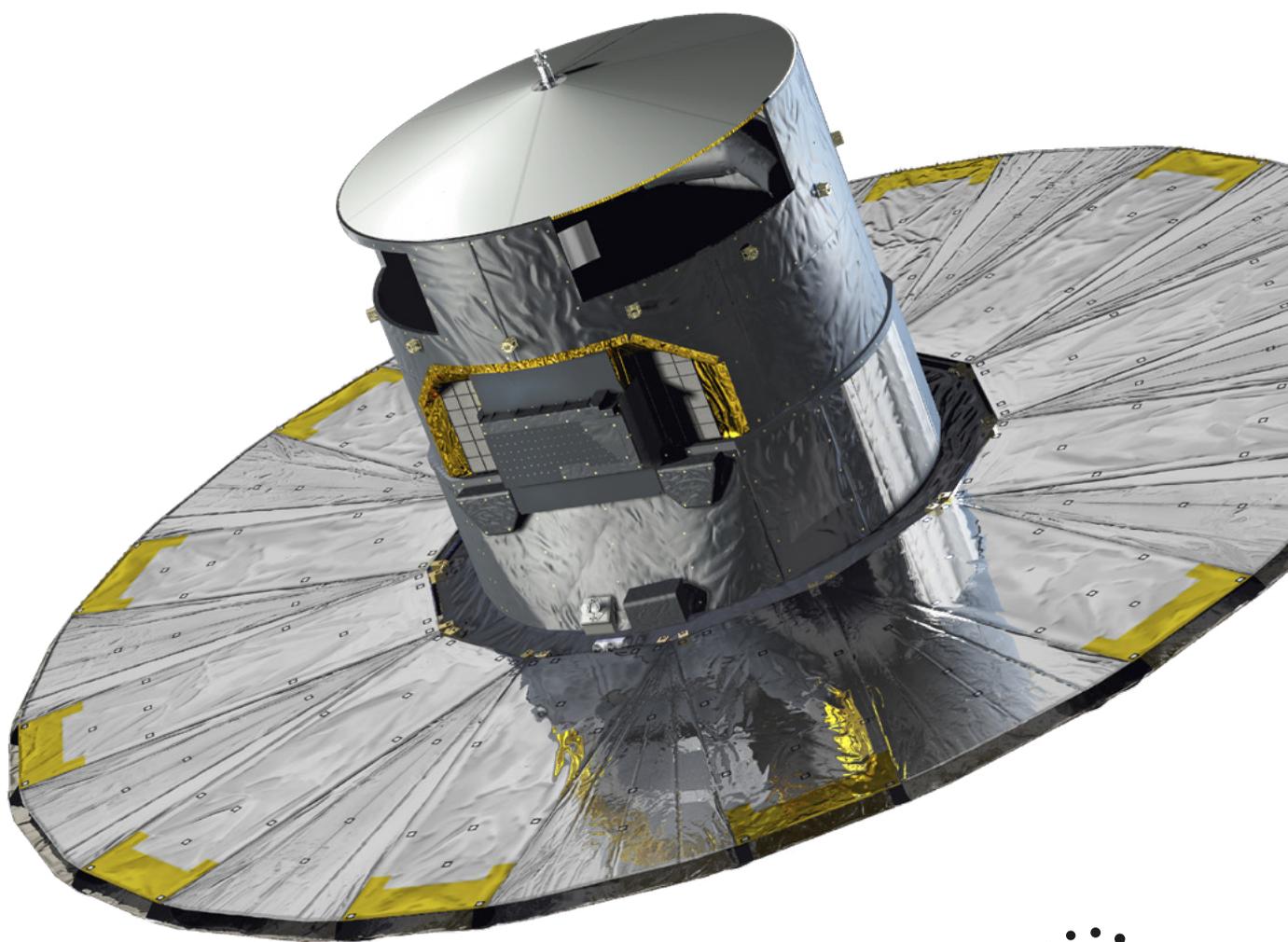
GEMELLA DIVERSA

In questa immagine, che fa il paio con quella alla pagina precedente, Webb evidenzia il gigantesco anello di polveri e gas che si allarga nello spazio interstellare.

Crediti: NASA/ESA/GSA/STScI/O. De Marco

Comprendere il cosmo, stella dopo stella

universi



IL SATELLITE EUROPEO GAIA

Ha lo scopo di ottenere una mappa tridimensionale della nostra galassia, rivelandone la composizione, la formazione e l'evoluzione.

Crediti: ESA



**STELLE, POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE**

Anche le stelle nascono, evolvono e muoiono, ma in un ciclo vitale lungo milioni o miliardi di anni. Essendo la nostra vita molto più breve, non ci resta che osservare popolazioni di stelle in diverse fasi della loro vita e poi costruire un modello che ci permetta di comprendere l'evoluzione stellare.

U

Uno degli strumenti più importanti nell'astronomia stellare è il diagramma di Hertzsprung-Russell (o diagramma H-R), che non può mancare nel bagaglio di chi si vuole avvicinare alla comprensione della vita di una stella. Si tratta di un grafico che mette in relazione la temperatura effettiva di una stella e la sua luminosità (o anche l'indice di colore e la magnitudine, nella sua versione osservativa conosciuta come diagramma colore-magnitudine). Entrambe queste proprietà sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche intrinseche della stella: massa, età e composizione chimica. Il diagramma fornisce informazioni fondamentali su molti tipi di stelle, in quanto da esso è possibile ricavare quantità da cui dipende la posizione della stella nel diagramma stesso: la dimensione, la metallicità e lo stato evolutivo. Si potrebbe dire che il diagramma H-R sia una specie di "ritratto di famiglia" che viene utilizzato per comprendere l'evoluzione stellare e le caratteristiche fisiche delle singole stelle e degli agglomerati stellari: ammassi aperti, ammassi globulari e galassie.

La comunità dell'Istituto nazionale di astrofisica ricopre un ruolo di rilievo a livello internazionale nel campo dell'astrofisica stellare, dal punto di vista teorico, osserva-

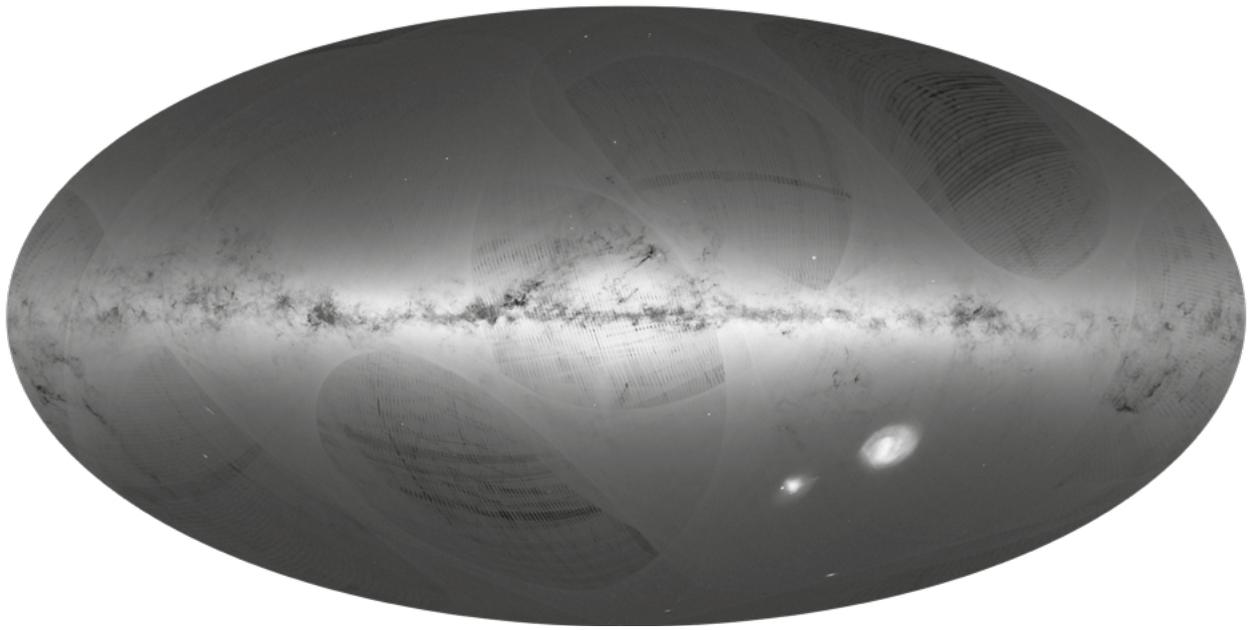
tivo e sperimentale: dallo studio della formazione ed evoluzione stellare a quello dei sistemi planetari extrasolari che tanto fanno presa sull'immaginario collettivo, fino all'analisi delle popolazioni stellari della Via Lattea e delle altre galassie.

SCALE SPAZIALI

La formazione stellare coinvolge scale spaziali che vanno dalle dimensioni dei complessi di nubi molecolari (superiori a 100 anni luce) all'ambiente intorno alla singola stella e al suo sistema planetario (fino a poche decine di anni luce). Per indagare queste scale occorrono strumenti diversi, caratterizzati da risoluzioni angolari differenti e da diverse bande osservative, dalle onde radio ai raggi X.

Su grande scala si ricercano le leggi generali che guidano la formazione stellare e l'impatto sull'evoluzione della Via Lattea, investigando al suo interno come sono distribuite le cosiddette *nursery* stellari. Per farlo si usano grandi set di dati relativi al piano Galattico, la regione della Via Lattea che ospita la maggior parte delle sue stelle, molti dei quali già disponibili e altri lo saranno a breve: i telescopi spaziali per raggi X Chandra e Xmm-Newton, rispettivamente di Nasa ed Esa, operativi da oltre vent'anni; i satelliti Gaia e Herschel dell'Esa; il Vera Rubin Observatory, attualmente in costruzione in Cile; i radiotelescopi internazionali del Green Bank Telescope e dell'Iram e l'italiano Sardinia Radio Telescope; e infine il telescopio spaziale James Webb (Jwst), le cui prime spettacolari immagini sono state rilasciate il 12 luglio dello scorso anno.

Su scale più piccole, a livello del singolo oggetto, vengono studiate le diverse condizioni ambientali che influenzano il collasso di una nube protostellare, dalla frammentazione dei filamenti all'insorgere del proces-



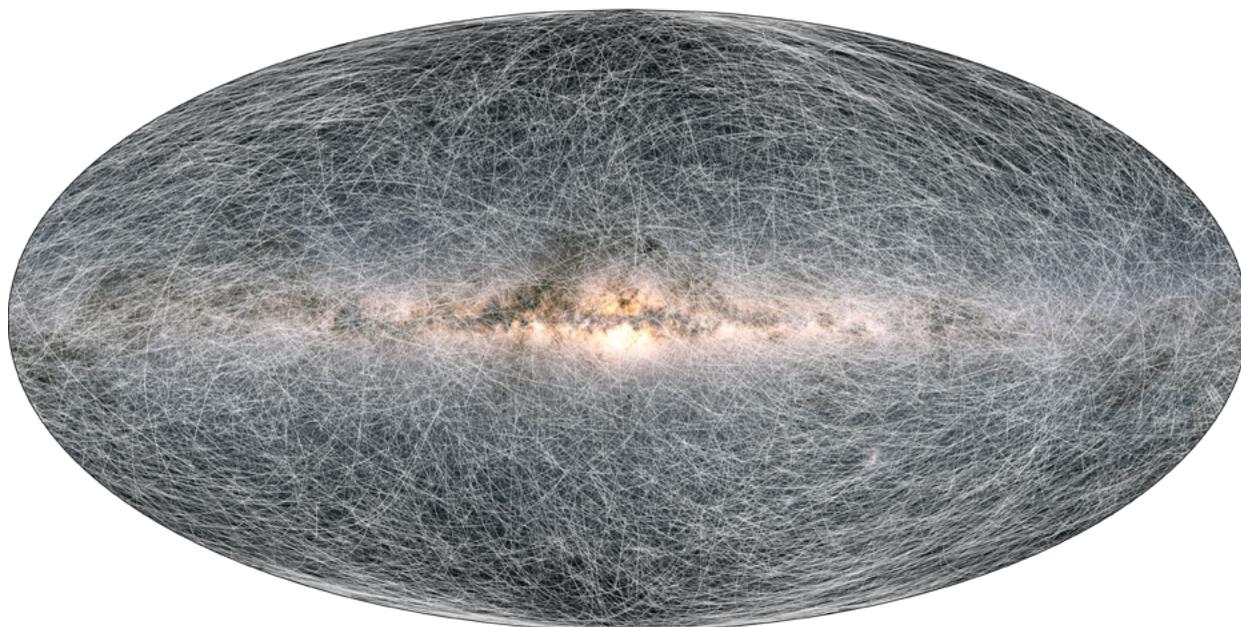
La formazione stellare coinvolge scale spaziali che vanno dalle dimensioni dei complessi di nubi molecolari (superiori a 100 anni luce) all'ambiente intorno alla singola stella e al suo sistema planetario (fino a poche decine di anni luce)

so di accrescimento che porterà alla formazione della stella. Per riuscire a distinguere i minuscoli dettagli in gioco si sfruttano le eccellenti risoluzioni angolari raggiunte con l'interferometria di Alma e Noema (e in prospettiva con Skao). Dall'analisi dei dati di questi esperimenti è possibile dedurre le proprietà fisiche e chimiche delle nubi che ospitano la formazione stellare, mentre con le simulazioni numeriche si cerca di riprodurre le varie fasi del collasso. Di particolare importanza in questo contesto sono gli studi di astrochimica, realizzati con osservazioni dedicate, modelli teorici e test di laboratorio.

Per le fasi evolutive successive al collasso della nube, si analizza in dettaglio la regione circumstellare e in particolare il disco protoplanetario, una struttura discoidale di gas e polveri in orbita attorno alla protostella, per cercare di capire come avviene l'accrescimento di materia sulla protostella stessa, la generazione di venti e getti, il trasferimento di momento angolare nel pro-

cesso di formazione, l'evoluzione chimica del mezzo, l'effetto dei campi magnetici, la definizione delle condizioni iniziali della formazione planetaria e le prime fasi di aggregazione in planetesimi.

Particolarmente rilevanti per questi studi sono i sistemi planetari giovani, che sono il prodotto immediato del processo di formazione. Un esempio è Toi-942, il più giovane scoperto dal satellite Tess della Nasa, scoperto da un team a guida Inaf e caratterizzato grazie anche a dati raccolti con il Telescopio nazionale Galileo (Tng), osservatorio dell'Inaf a La Palma, Isole Canarie. È costituito da due esopianeti caldi, grandi all'incirca come Nettuno. Con i dati spettroscopici ottenuti dallo strumento Harps-N al Tng, è stato possibile studiare a fondo la stella che ospita questi due pianeti e misurare in particolare l'età del sistema, compresa tra i 30 e gli 80 milioni di anni. Giovane e con più di un pianeta, questo sistema è un ottimo banco di prova per studiare come nascono e si evolvono i pianeti nell'universo.



È TUTTO QUANTO IN MOVIMENTO

Le tracce in questa immagine mostrano come 40 mila stelle del vicino Universo (fino 326 anni luce da qui) si sposteranno nel cielo nei prossimi 400 mila anni.

Crediti: ESA/Gaia/DPAC

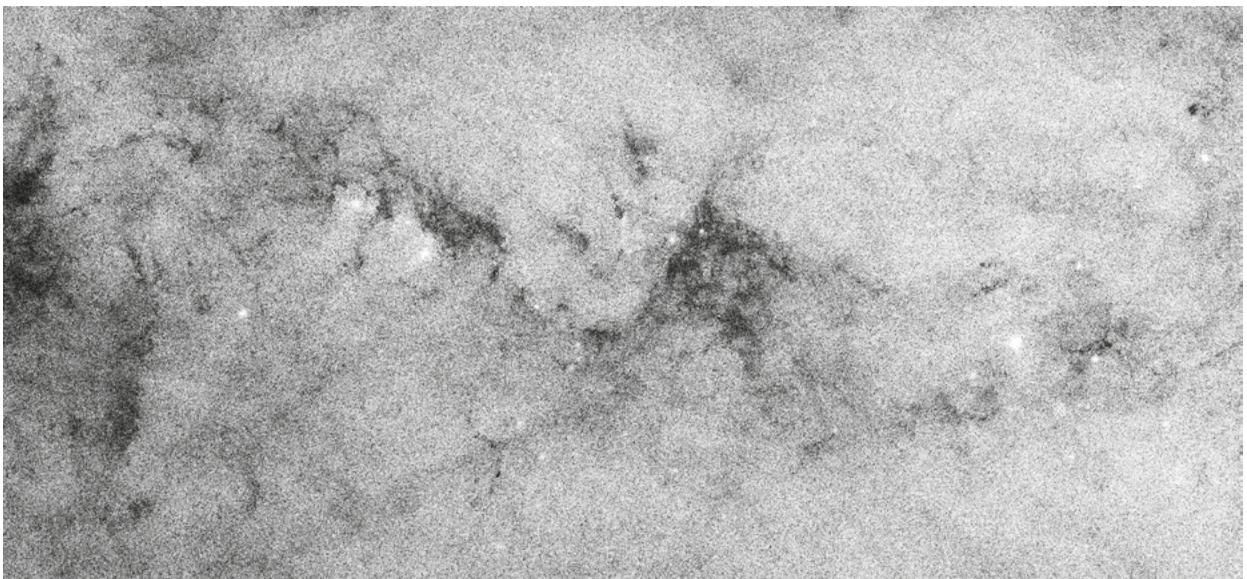
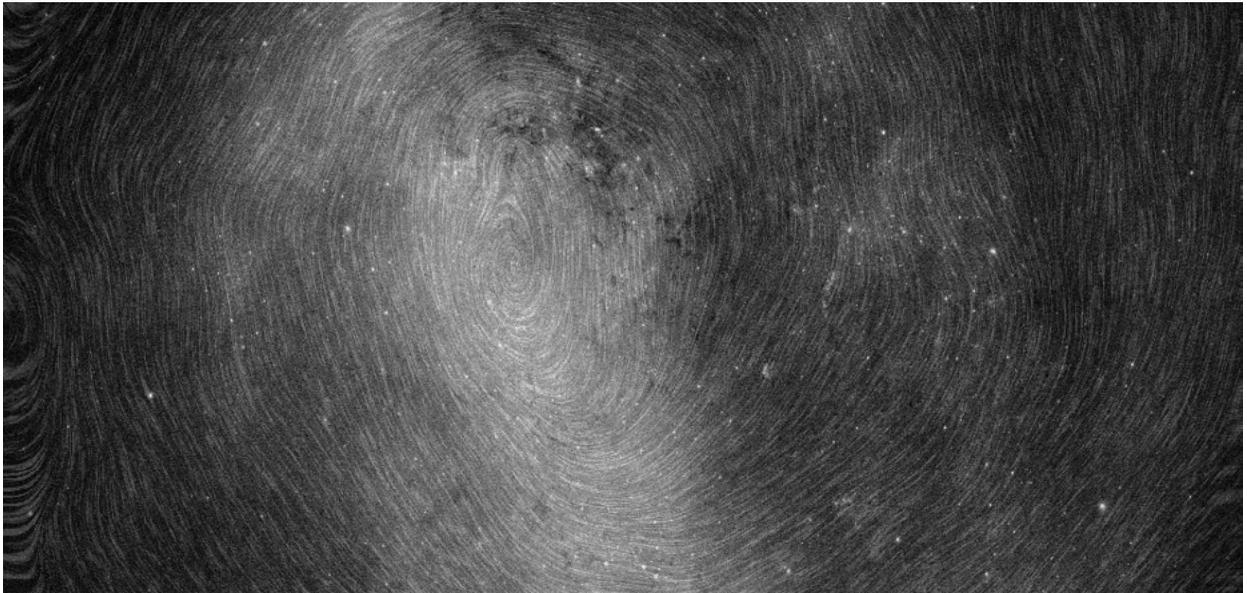
L'EVOLUZIONE PLANETARIA

Le tecniche osservative dipendono dalle regioni che si vogliono studiare e prevedono l'utilizzo della fotometria (sia dallo spazio, con Cheops e Tess, che da Terra), della spettroscopia ad alta risoluzione (con strumenti come Harps-N al Tng, Espresso al Very Large Telescope, o Vlt e, in futuro, Andes a Elt, l'Extremely large telescope dell'Eso), dell'astrometria (con Gaia) e dell'*imaging* (con gli strumenti Shark sul Large binocular telescope e Sphere al Vlt). Queste osservazioni permettono sia di scoprire nuovi esopianeti, dai giganti gassosi ai pianeti rocciosi, sia di analizzare, per quelli già noti, le proprietà fisiche e chimiche, la loro struttura interna, le proprietà dell'atmosfera, le condizioni climatiche e gli effetti ambientali, tra cui l'interazione con la stella. In questo modo si possono identificare i meccanismi di formazione ed evoluzione planetaria, nonché eventuali condizioni di abitabilità e traccianti biologici. Anche in questo caso, sono richieste osservazioni diversificate e multi-banda (dai raggi X al radio) da eseguire con i grandi telescopi da Terra, con interferometri radio e con missioni spaziali. Nei prossimi anni saranno lanciati due nuovi satelliti Esa in cui la comunità dell'Inaf è molto coinvolta: Plato, per individuare e studiare un gran numero di sistemi planetari extrasolari, in particolare esopianeti di tipo terrestre nella zona abitabile di

stelle di tipo solare; e Ariel, che realizzerà un censimento di un migliaio di esopianeti noti e delle loro atmosfere. Per l'interpretazione delle osservazioni vengono sviluppati metodi avanzati di analisi dei dati, inclusi algoritmi di intelligenza artificiale e modelli numerici sofisticati integrati da simulazioni ed esperimenti di laboratorio mirati.

LE OSCILLAZIONI DELLE STELLE

Per lo studio della struttura interna delle stelle, un supporto notevole viene dall'asterosismologia, che consiste nello studio dei modi di oscillazione interni delle stelle. Appena sotto la superficie di stelle come il Sole, il gas caldo sale, si raffredda e poi affonda, e si riscalda di nuovo, proprio come in una pentola di acqua bollente su una stufa calda. Questo movimento genera onde di pressione variabile che interagiscono, portando a oscillazioni stabili con periodi di pochi minuti che producono minuscoli cambiamenti di luminosità. Per il Sole, queste variazioni ammontano a poche parti per milione. Quando stelle simili in massa al Sole evolvono in giganti rosse – la penultima fase della loro vita stellare – i loro strati esterni si espandono di dieci o più volte. Questi vasti involucri gassosi pulsano con periodi più lunghi e ampiezze maggiori, il che significa che le loro oscillazioni possono essere osservate in stelle più deboli e più numerose.



Agli studi sulle proprietà interne delle stelle si affianca quello delle atmosfere stellari, delle magnetosfere e dei fenomeni di attività magnetica, che possono portare a notevoli progressi nello studio dell'interazione tra stella e mezzo circumstellare, ed eventualmente sistemi planetari, nonché dei plasmì magneto-attivi.

Infine, anche le stelle muoiono. Lo studio delle fasi finali della loro vita, rilevante anche perché esse arricchiscono di nuovi elementi chimici il mezzo interstellare, rappresenta una parte importante dell'attività di ricerca dell'Inaf. Osservazioni di stelle di grande massa – fino a circa cento masse solari – e del loro ambiente circumstellare, evidenzia-

no la storia della perdita di massa che, a sua volta, influenza l'evoluzione della stella e l'eventuale esplosione di supernova. Per le stelle di piccola massa, la ricerca si concentra sulla determinazione della composizione chimica del gas e della mineralogia della polvere che esse riversano nel mezzo interstellare nella fase detta di nebulosa planetaria, essendo di fatto i principali produttori di polvere nell'universo.

PERCHÉ STUDIAMO LE GALASSIE

Lo studio delle singole stelle è inscindibile da quello dell'ambiente in cui si formano ed evolvono: la Via Lattea, le galassie esterne e le loro sottostrutture. La Galassia e le sue

Per lo studio della struttura interna delle stelle, un supporto notevole viene dall'asterosismologia, che consiste nello studio dei modi di oscillazione interni delle stelle

immediate vicine, le nubi di Magellano, Andromeda e, più in generale, le galassie in cui si possono risolvere le stelle individualmente, rappresentano il laboratorio ideale per rispondere alle domande fondamentali sulla storia e l'evoluzione dell'universo che ci circonda. Le indagini osservative e teoriche sono moltissime e si focalizzano sulla caratterizzazione delle proprietà chimiche, morfologiche e dinamiche delle componenti galattiche e del mezzo interstellare, e sulla ricostruzione della loro storia di formazione ed evoluzione. Nella nostra galassia, in particolare, è stato possibile per la prima volta individuare, caratterizzare e datare tutti gli eventi che hanno contribuito alla formazione delle sue strutture (sferoide centrale, disco, alone, bracci di spirale). Questi studi sono il paradigma per la verifica locale delle teorie di crescita gerarchica delle galassie in ambito cosmologico e per la comprensione delle proprietà osservative dell'universo lontano non risolvibile in stelle.

IL RUOLO DI GAIA

Un grande balzo nella comprensione della struttura della Via Lattea è arrivato in anni recenti grazie al satellite Gaia, che sta realizzando la mappa tridimensionale di quasi due miliardi di stelle nella Galassia, misurandone con precisione mai raggiunta prima posizioni, distanze e moti. La comunità dell'Inaf contribuisce a questa missione in maniera significativa, partecipando direttamente al Data Processing and Analysis Consortium che realizza il catalogo stellare, oltre a studiarne i dati in dettaglio. La versione più recente del catalogo di Gaia ha permesso a un team a guida Inaf di ridefinire la forma dei bracci a spirale che formano la Via Lattea.

In questo campo giocano un ruolo fondamentale lo studio dell'origine e dell'evoluzione dei sistemi stellari (ammassi aperti, ammassi globulari, galassie nane, galassie nane ultra-deboli) attraverso l'analisi delle

proprietà chimiche e dinamiche delle popolazioni stellari che li compongono. Particolarmente significativa è la conoscenza dei processi fisici alla base delle variazioni delle abbondanze chimiche, delle proprietà cinematiche e delle età delle sotto-popolazioni in ammassi stellari e il loro utilizzo come traccianti della formazione e dell'evoluzione delle componenti galattiche.

L'interpretazione dei dati prodotti necessita di un adeguato avanzamento dei modelli teorici sulla struttura e l'evoluzione stellare e chimica, nonché della dinamica a differenti scale fino a quella galattica, dove i risultati si confrontano con simulazioni cosmologiche e con la gravità della relatività generale, permettendo di testare anche le teorie a essa alternative, il ruolo della materia oscura e dell'energia oscura, e altri aspetti della fisica fondamentale.

In tale contesto, un ingrediente importante sono le distanze stellari per tracciare mappe tridimensionali dei sistemi osservati e la calibrazione delle distanze extragalattiche. La scala delle distanze astronomiche è basata su indicatori di distanza primari di tipo stellare (Cefeidi Classiche, RR Lyrae, Mira) che a loro volta vengono utilizzati per calibrare indicatori secondari, come per esempio le supernove in galassie distanti, che permettono di stimare distanze di interesse cosmologico. Anche in questo ambito l'Inaf ha ottenuto risultati significativi, in particolare grazie ai dati di Gaia. Fondamentale è la standardizzazione di questi indicatori primari e la comprensione delle loro proprietà, sia attraverso osservazioni fotometriche e spettroscopiche sia attraverso modelli teorici in grado di riprodurre le proprietà delle stelle variabili osservate al variare della composizione chimica.

Studi, questi, che inevitabilmente hanno un impatto sulla comprensione della tensione esistente tra le stime della costante di Hubble basate sulla scala delle distanze e quelle relative all'universo primordiale, e sulla eventuale necessità di affinare il modello cosmologico di riferimento per la formazione e l'evoluzione dell'universo. ■

MAGELLANO E PERSEO

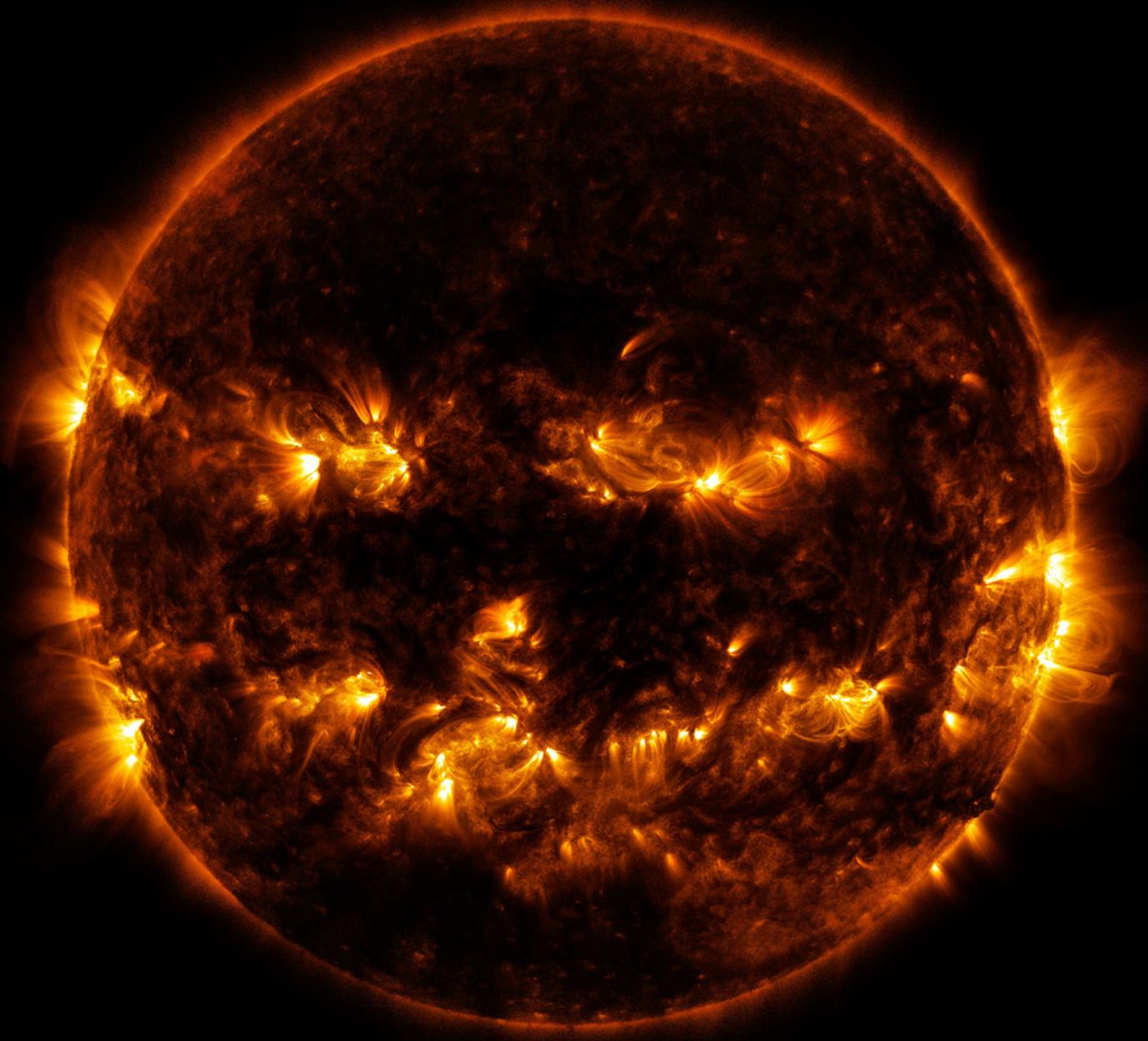
Sopra: il movimento proprio delle stelle conferisce alla Grande Nube di Magellano l'aspetto di un'impronta digitale. Sotto: un doppio ammasso nella costellazione di Perseo.
Crediti: ESA/Gaia/DPAC

Così vicini: il Sole e il Sistema solare



SOLE E SISTEMA
SOLARE

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





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

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

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

STRUMENTI PER STUDIARE IL SOLE

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

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

SOLE NERO

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

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

UNA STELLA MUTANGHERA

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

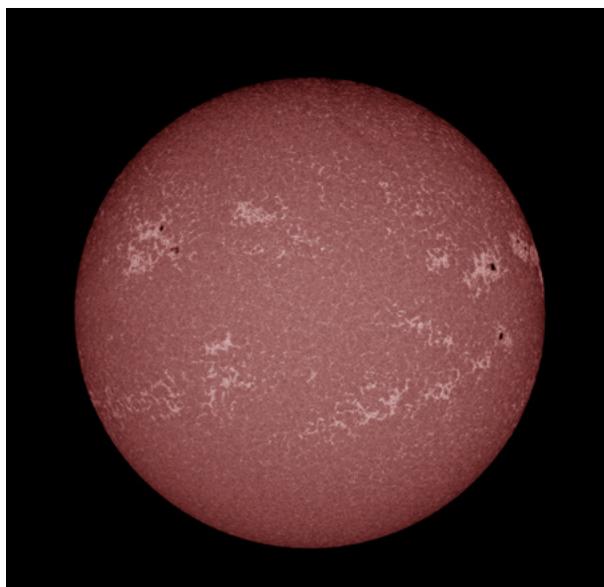
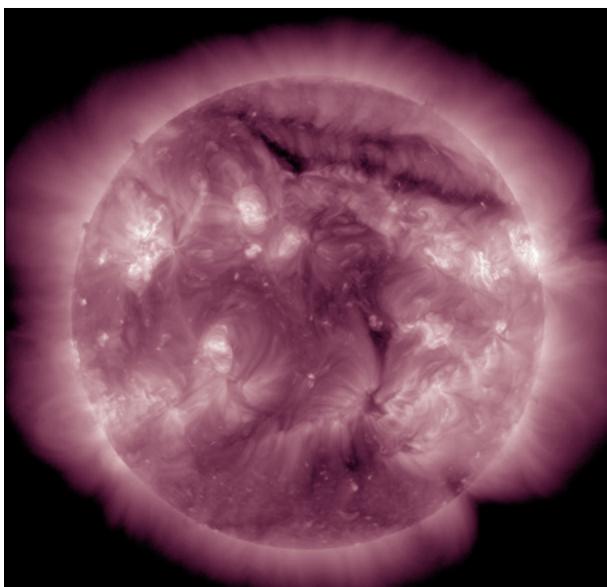
altri anche dall'Inaf, che fornisce misure *in situ* di protoni, elettroni, particelle alfa e ioni minori, a risoluzioni temporali mai raggiunte prima nell'eliosfera interna, fondamentali per individuare i meccanismi fisici alla base del riscaldamento e accelerazione del vento solare.

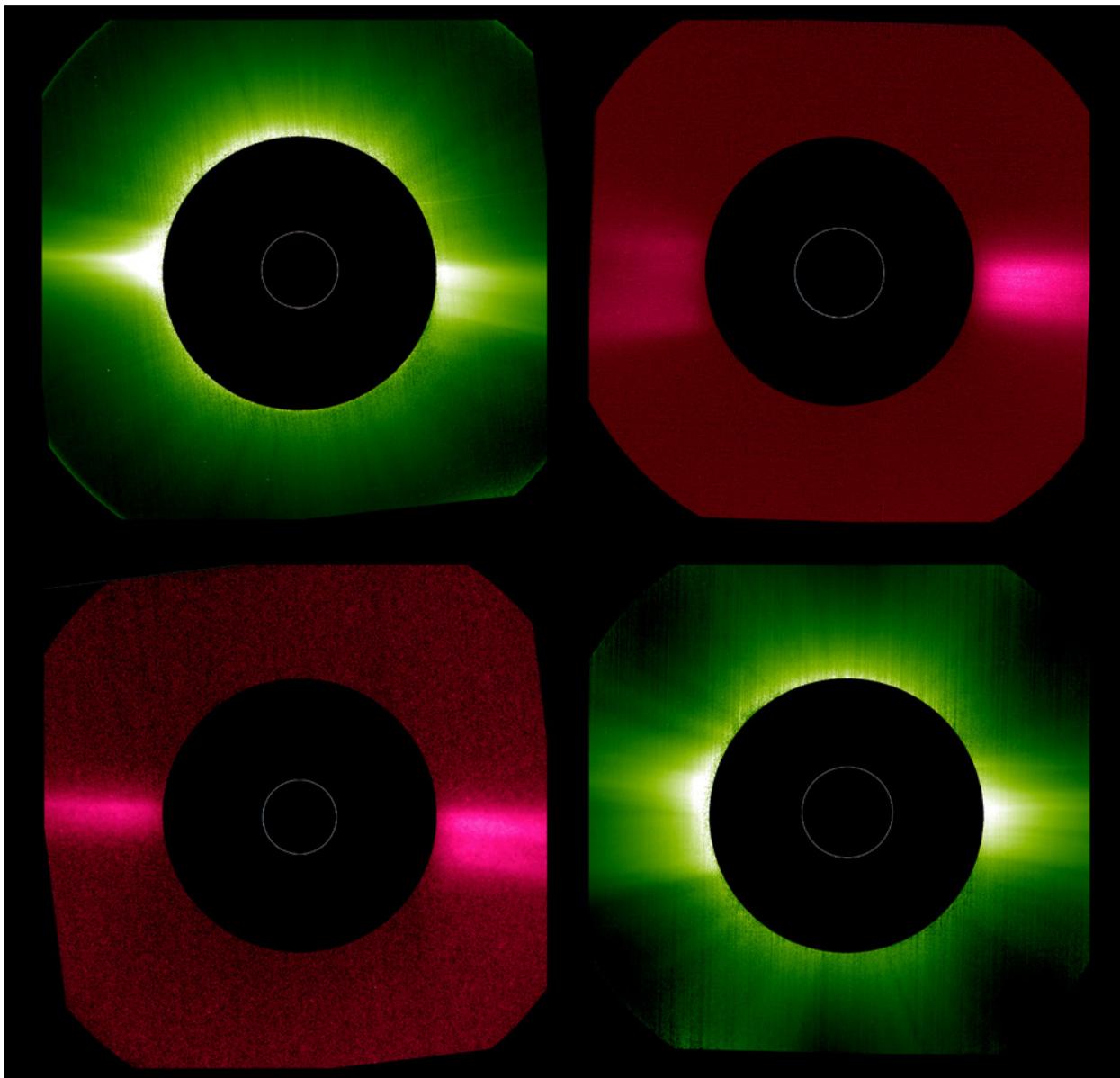
L'Inaf è anche coinvolto nel nuovo telescopio Est che sarà costruito tra il 2026 e il 2028 alle Canarie, ed effettuerà osservazioni spettro-polarimetriche di elevata precisione nell'infrarosso e nell'ultravioletto, che consentiranno di rivelare i meccanismi di trasporto di energia e confinamento in complesse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

IL CASO DI MERCURIO

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

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





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

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

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

MARTE, PROSSIMA FRONTIERA

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

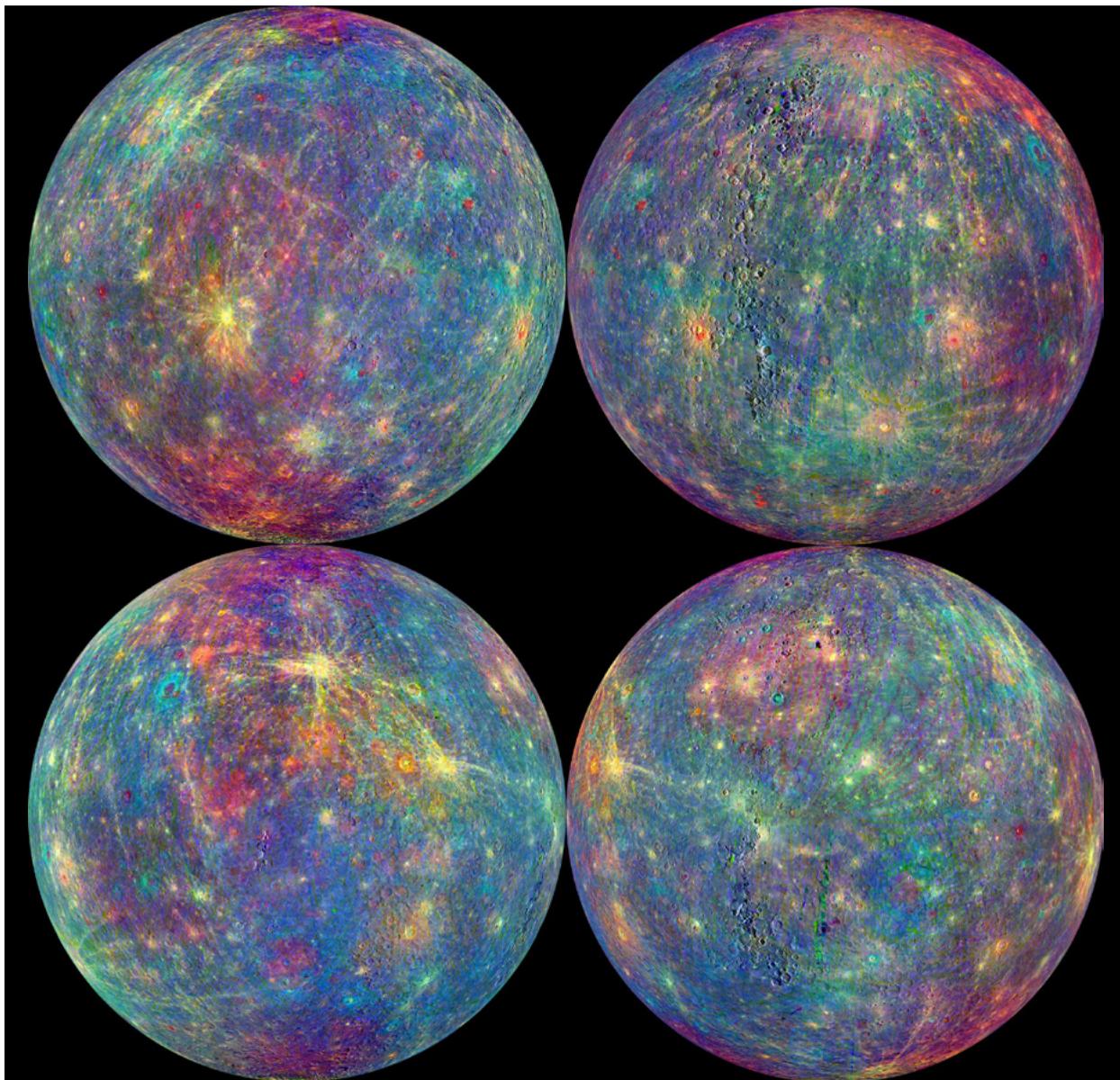
LA PRIMA VOLTA

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

Crediti: Solar Orbiter/Metis Team/ESA & NASA

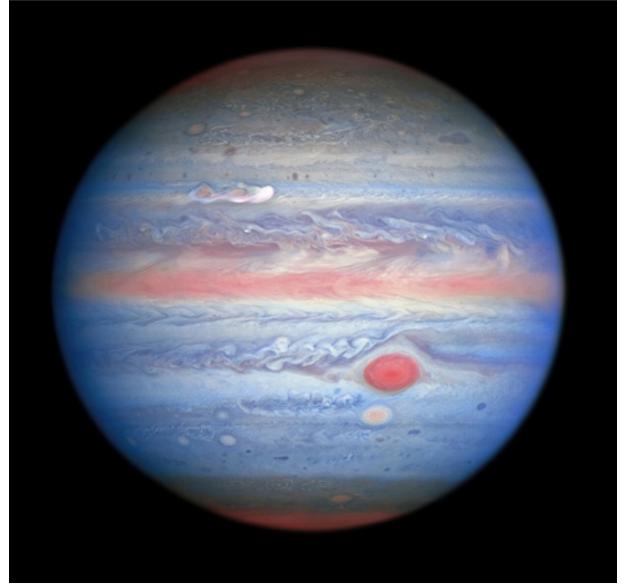
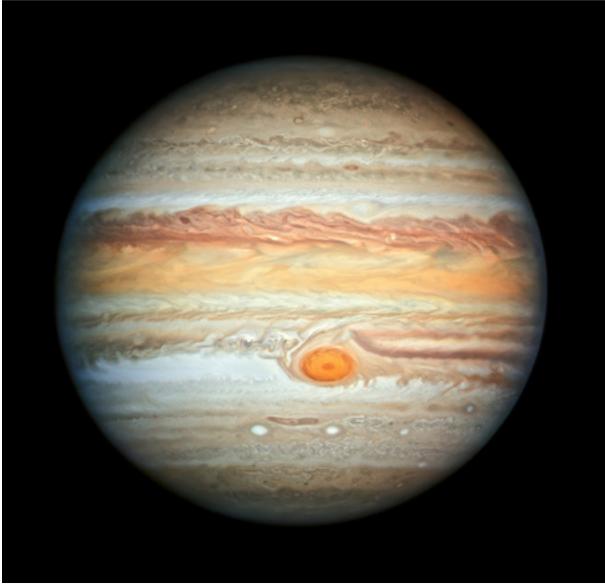
MERCURIO SVELATO

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



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

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



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

CAPIRE LE ORIGINI GRAZIE A GIOVE

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

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

GIOVE TONANTE
Osservazioni a più lunghezze d'onda nella luce ultravioletta, visibile e vicino infrarosso del pianeta gassoso Giove, raccolte dal telescopio spaziale Hubble.
Crediti: NASA/ESA/A. Simon/M.H. Wong/OPAL team

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

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

L'IMPORTANZA DEI CORPI MINORI

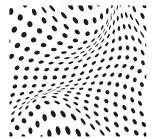
I corpi minori – comete, asteroidi, meteore, oggetti trans-nettuniani – sono una delle chiavi principali nella comprensione dell'origine ed evoluzione del Sistema solare perché hanno conservato il materiale meno processato e più primordiale nel nostro sistema planetario. La comunità dell'Inaf è tradizionalmente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

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

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

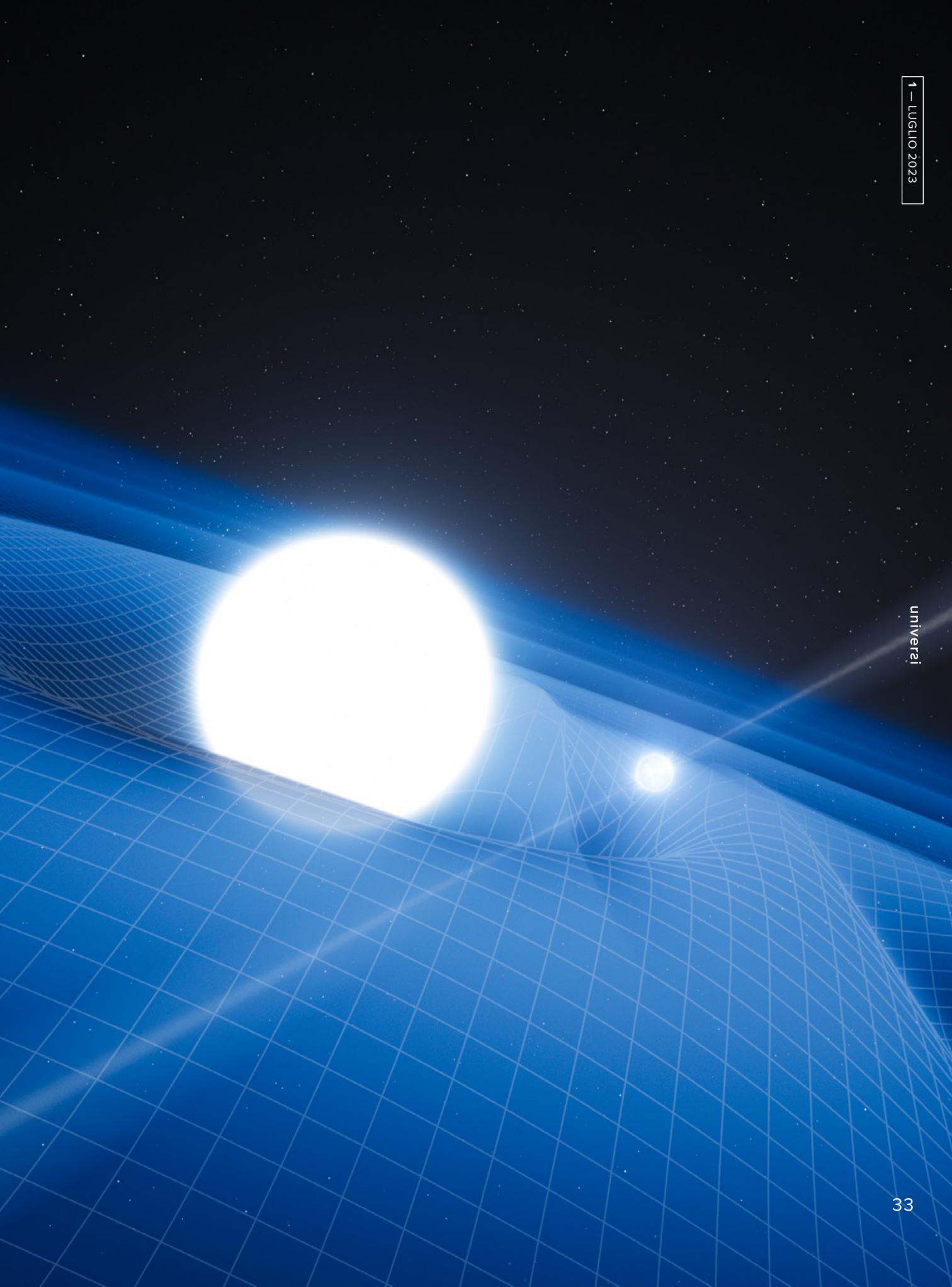
L'attività dell'Inaf non si esaurisce nei temi menzionati finora, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti riguardanti la materia presente nello spazio, con lo scopo di comprendere i meccanismi chimico-fisici che ne regolano la formazione ed evoluzione, mediante l'analisi di materiali analoghi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

Messaggi energetici dallo spazio



ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE

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



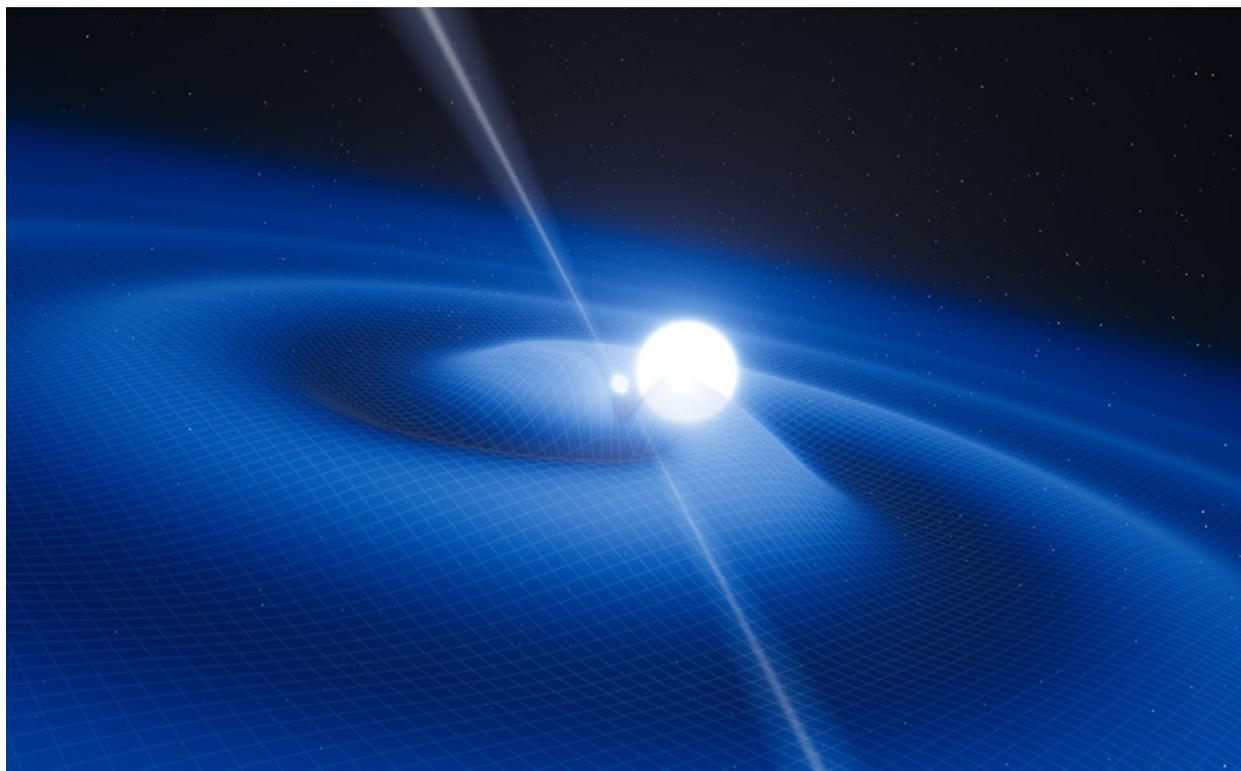


Cosa succede alla materia in condizioni estreme, quando densità e temperatura raggiungono valori elevatissimi? Come si modifica lo spaziotempo in presenza di oggetti collassati, come stelle di neutroni o buchi neri? Cosa succede quando stelle di neutroni e buchi neri si scontrano? Come vengono accelerati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

L'ENERGIA DEI BUCHI NERI

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

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



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

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

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

RILEVARE LE ONDE GRAVITAZIONALI

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



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

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

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

IN UNA GALASSIA LONTANA LONTANA

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



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

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

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

IMPRONTE DI STELLE DI NEUTRONI

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

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

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

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

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

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

LAMPI NEL COSMO

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

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

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

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

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

LE SORGENTI DI RAGGI X E GAMMA

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

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

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

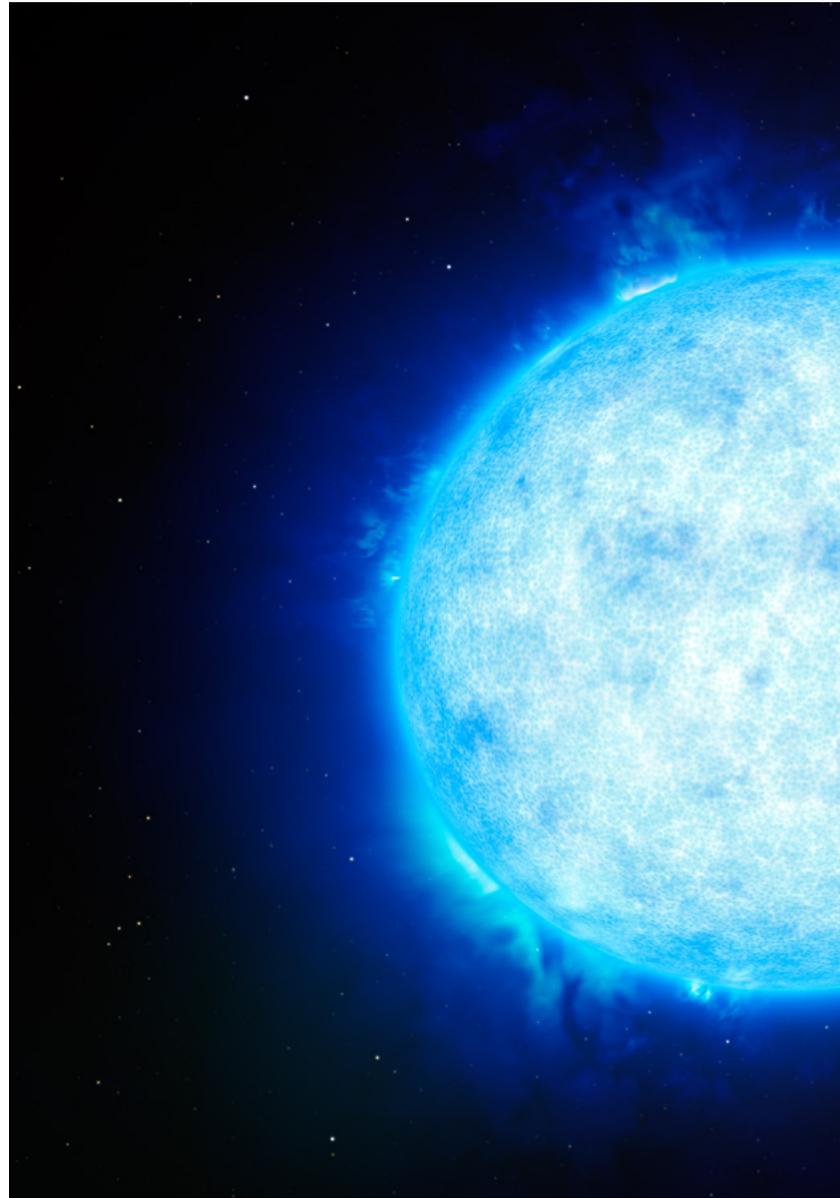
grandi attorno a essa. Il deflusso di gas ed energia individuato potrebbe essere una testimonianza del passato della nostra galassia, quando l'attività delle sue regioni centrali era molto più diffusa e potente, oppure potrebbe dimostrare che anche le galassie "non attive" – ovvero quelle che ospitano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

CACCIA AGLI ASSIONI

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

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

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

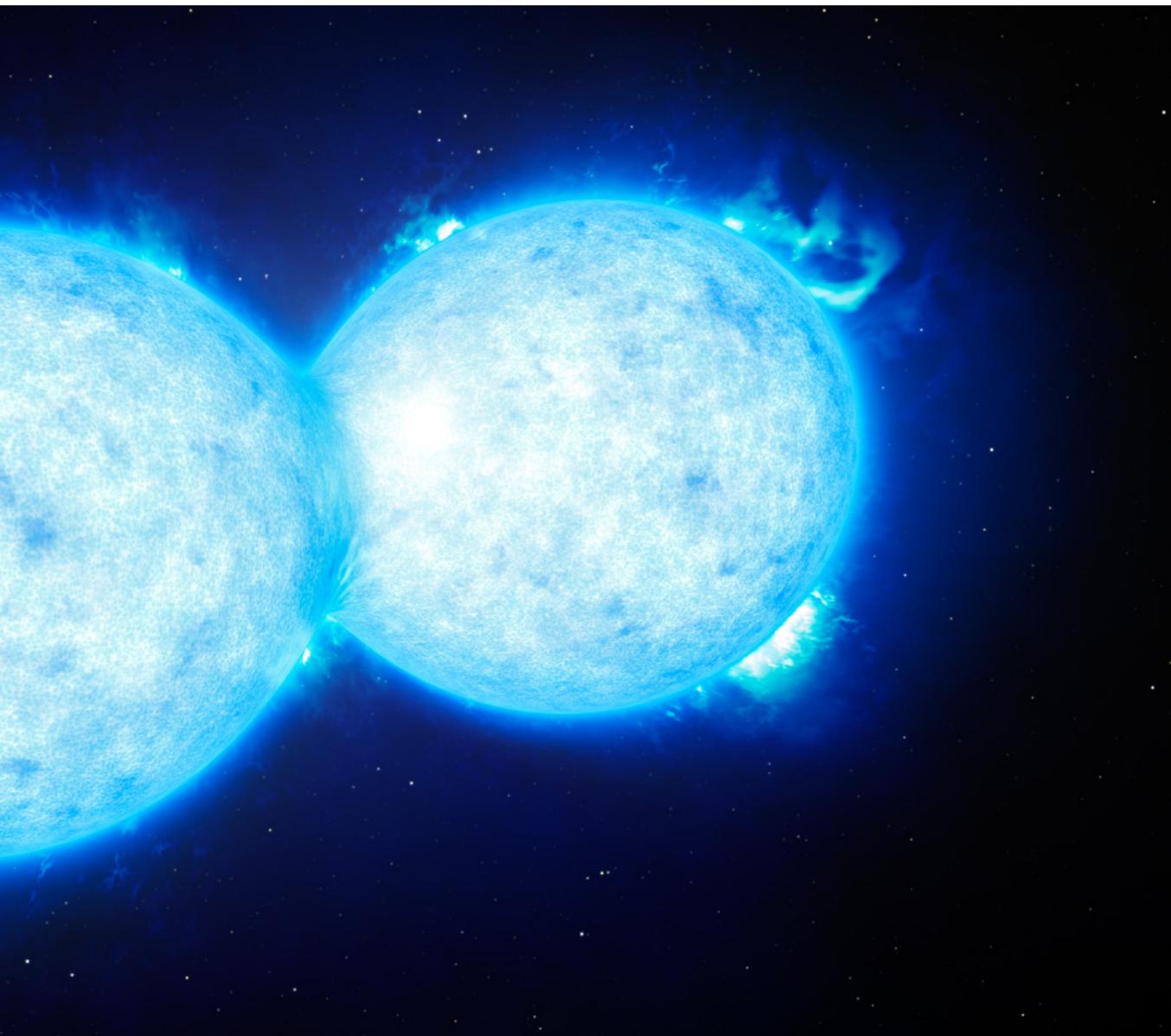


standard della fisica delle particelle. Più in generale si parla di Alps, che sono *Axion like particles*, una generalizzazione della teoria originale degli assioni proveniente dalla branca della cromodinamica quantistica. C'è una forte motivazione teorica nel predire l'esistenza di assioni e un grosso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

DOPPIA, CALDA E MASSICCIA

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

Crediti: ESO/L. Calçada



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

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

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

Tecnologia per studiare il cosmo



L'evoluzione nel campo dell'astronomia osservativa necessita di strumenti hardware e software sempre più complessi e di sviluppare tecnologie e materiali innovativi. Così come fanno le simulazioni numeriche necessarie in fase di progettazione, analisi e interpretazioni dei risultati osservati.



L'

L'Istituto nazionale di astrofisica sviluppa progetti di ricerca di base e applicata nel settore delle tecnologie astronomiche, sia nei propri laboratori sia in collaborazione con l'industria, le università e altri enti di ricerca. Poiché le infrastrutture astrofisiche in via di realizzazione sono sempre più onerose e sofisticate, si costituiscono consorzi e organizzazioni che raccolgono il contributo dei tecnologi, ricercatori e tecnici a livello internazionale. Alcuni esempi di grandi infrastrutture internazionali con importante partecipazione dell'Inaf sono i telescopi Eso (dagli attuali Vlt, Ntt e Vst al futuro Elt), gli osservatori Ska e Cta (con il precursore Astri Mini-Array) per le osservazioni da terra

e le missioni spaziali internazionali Cheops, Athena, Gaia, Euclid, eXTP, Plato, Ariel, Juice e Solar Orbiter.

Numerosi progetti hanno risvolti applicativi diretti anche in altri settori scientifici, incluse ricadute di interesse per la società civile, al punto che l'Istituto ne include la promozione, la diffusione e la valorizzazione tra i propri scopi statutari. Per questo l'Inaf supporta la creazione di spin-off e il trasferimento tecnologico, in collaborazione con l'industria (dalle piccole e medie imprese ai grandi asset nazionali), anche in linea con alcuni obiettivi del Pnrr.

Un esempio evidente e ancora attuale è lo studio sperimentale multidisciplinare effettuato da un gruppo di ricercatori dell'Inaf, dell'Università statale di Milano, dell'Istituto nazionale dei tumori di Milano e dell'Irccs Fondazione Don Gnocchi, che ha permesso di confermare l'ottima efficacia della luce ultravioletta a lunghezza d'onda corta – o radiazione Uv-C – nel neutralizzare il coronavirus Sars-Cov-2.

L'INNOVAZIONE NEI TELESCOPI

I telescopi e, più in generale, l'insieme dei dispositivi che consentono di raccogliere e misurare la radiazione, sono elementi essenziali dell'astrofisica sperimentale osservativa. La tecnologia deve necessariamente essere sempre all'avanguardia, per poter rispondere alle domande, sempre più pressanti e capillari, poste dall'analisi dei risultati ottenuti con gli strumenti delle generazioni precedenti. La progettazione e la costruzione di un telescopio o di uno strumento, indipendentemente dall'utilizzo (da terra o dallo spazio) o dalla banda dello spettro elettromagnetico, richiedono il possesso di numerose e approfondite competenze tecnologiche. Questo ha portato, nel corso degli anni, allo sviluppo di know-how e tecnologie legate, per esempio, ai rivelatori, ai ricevitori, all'ottica, alla meccanica, all'elettronica, alla metrologia, al software di controllo, alla criogenia.

Insieme all'industria italiana, l'Inaf ha una lunga storia nello sviluppo di ottiche attive – sistemi che modificano attivamente



te la forma dei telescopi per contrastare eventuali deformazioni alle immagini – e mantiene inalterata una posizione di leadership mondiale nel campo delle ottiche adattive – sistemi che agiscono sulla forma dei telescopi per compensare gli effetti degradanti della turbolenza atmosferica sulle osservazioni. Grazie alla partecipazione italiana al Large Binocular Telescope (Lbt), l'Inaf dispone da molti anni di un laboratorio avanzato per sviluppare tecnologie innovative per l'ottica adattiva. Gran parte della comunità è riunita in Adoni (Laboratorio Nazionale di Ottica Adattiva), che promuove il coordinamento delle attività dei gruppi afferenti, sostenendo la R&D e favorendo il trasferimento tecnologico verso l'industria. Adoni ha permesso di consolidare la leadership dell'ente nell'ottica adattiva, con risultati che spaziano dagli specchi deformabili di grandi dimensioni alla previsione e alla misura della turbolenza atmosferica, fino alle molteplici tecniche di correzione delle aberrazioni. Queste tecnologie trovano applicazione anche in settori non convenzionali, come lo sviluppo sperimentale di sistemi laser per *Optical Satellite Communications* a larga banda, per i rivelatori di onde gravitazionali e infine in ambito medico-industriale, in collaborazione con alcune aziende italiane.

PROTAGONISTI IN MOLTI CAMPI

L'Inaf riveste un ruolo chiave nei maggiori progetti di ottica adattiva in fase di svilup-

po, come la nuova generazione di strumenti per Lbt (Soul, Shark-Vis/Nir), per il Vlt (Eris e Mavis), i sensori di fronte d'onda per il Giant Magellan Telescope e una serie di elementi e strumenti per il futuro Eht (lo specchio adattivo M4, la fotocamera Micado, il modulo post-focale di ottica adattiva Morfeo e lo spettrografo Andes).

Altro settore in cui l'Inaf vanta un ruolo importante è quello della metrologia e della simulazione e misura delle deformazioni strutturali sulle grandi antenne per la radioastronomia, con competenze in termini di progettazione, installazione e gestione. Questo grazie alle superfici attive realizzate per i tre radiotelescopi italiani che si completeranno nel prossimo triennio: il radiotelescopio di Medicina, quello di Noto e il Sardinia Radio Telescope.

Un ulteriore campo di ricerca in cui l'Inaf è protagonista è la progettazione, sviluppo e verifica di soluzioni ottico-meccaniche innovative nell'ottico e vicino infrarosso per telescopi spaziali, fondamentali ad esempio per le future missioni Esa dedicate a osservazioni fotometriche/spettroscopiche degli esopianeti (Plato) e delle loro atmosfere (Ariel), nonché a misure astrometriche con precisione angolare senza precedenti.

L'istituto detiene una posizione di primo piano anche per quanto riguarda progettazione, sviluppo, test e procurement di sistemi ottici innovativi per coronografi – telescopi in cui il percorso della luce è ostruito da un piccolo elemento, sviluppati per os-

CAMERA BIANCA

In queste pagine: le unità ottiche della missione europea Plato in camera bianca allo stabilimento Leonardo di Campi di Bisenzio, dove vengono integrate e testate sia in aria che in condizioni di termo-vuoto simili a quelle di volo.
Crediti: INAF/LEONARDO/R. Bonuccelli



Insieme all'industria italiana, l'Inaf ha una lunga storia nello sviluppo di ottiche attive e mantiene inalterata una posizione di leadership mondiale nel campo delle ottiche adattive

servare la corona del Sole – sia per applicazioni spaziali, come per le missioni Esa Solar Orbiter e Proba-3, e di coronografi compatti per missioni a propulsione fotonica solare. Parallelamente, l'Inaf offre anche soluzioni per l'ideazione e realizzazione di ottiche e di dispositivi di rilevazione innovativi per nano-satelliti e *cubesat*. Un esempio è il progetto Hermes-Sp, selezionato dalla Commissione Europea e guidato dall'Inaf, che prevede una costellazione di nano-satelliti equipaggiati con rivelatori X ad alta tecnologia di piccole dimensioni, dedicati all'osservazione di *gamma-ray burst* (Grb).

IL FUTURO NEI TELESCOPI X

Da tempo l'Inaf ha acquisito un ruolo di eccellenza nella ricerca, sviluppo e produzione di ottiche per telescopi spaziali X, che si basano sul principio dell'incidenza radente. A causa dell'effetto fotoelettrico, infatti, è molto difficile riflettere e mettere a fuoco i

raggi X se non con elementi riflettenti molto inclinati, quasi paralleli al cammino dei fotoni. Queste attività, in sinergia anche con le industrie nazionali, hanno portato l'istituto a coprire ruoli di responsabilità primaria nel design e nello sviluppo di telescopi X, ad esempio per future missioni come la sino-europea eXtp (*enhanced X-ray Timing and Polarimetry mission*) e Lynx della Nasa, tramite il progetto Asi Tao-X (Tecnologie Avanzate per Ottiche in raggi X). Da un lato tutto ciò si fonda su tecniche consolidate – come la replica in nichel elettroformato di specchi monolitici – utilizzate con successo per i telescopi per raggi X di Beppo-Sax, Swift/Jet-X, Xmm-Newton ed eRosita; dall'altro sono in corso progetti R&D per la messa a punto di soluzioni innovative, mirate al miglioramento della risoluzione angolare, dell'efficienza e della leggerezza degli specchi e della possibilità di implementare telescopi per raggi X con diametro fino a qualche metro. Questo campo di attività ha ricevuto specifici sostegni alla ricerca da parte di Asi ed Esa e collaborazioni dirette con la Nasa con importanti ritorni scientifici diretti (tra cui, ad esempio, la missione Swift), oltre a rilevanti e significative applicazioni industriali. Al momento, l'Inaf è impegnato nel supporto alla realizzazione delle ottiche per la missione Athena (missione Esa di classe *Large*), in particolare come responsabile di specifici contratti Esa per le simulazioni e l'implementazione di specifiche *facility* di calibrazione.

STRUMENTAZIONI INNOVATIVE

Un impegno importante è costituito dalla realizzazione di nuovi rivelatori e di dispositivi e soluzioni correlate, in progetti che spaziano dalla banda radio fino alle alte energie. Essi, nei prossimi anni, costituiranno il cuore della strumentazione osservativa di nuova generazione e consentiranno l'aggiornamento degli strumenti esistenti. Ne sono esempio il design end-to-end di tutti i sottosistemi riceventi di Ska-Lfaa, lo sviluppo di ricevitori per Alma, la realizzazione di ricevitori criogenici innovativi per i radiotelescopi italiani (per portarli a frequenze di osservazione più alte, nonché dotarli di banda larga e di un maggior numero di sensori). Esempi nel settore delle alte energie sono lo sviluppo di rivelatori in silicio per raggi X, che ha abilitato la partecipazione dell'Inaf con una posizione di leadership alle missioni eXtp ed Hermes, o lo sviluppo di sistemi all'avanguardia legati allo strumento X-Ifu della missione Athena, quali i rivelatori criogenici per la riduzione del rumore di fondo e i filtri ultrasottili di grande area. L'Inaf ha inoltre sviluppato tecnologie per la polarimetria X, che hanno permesso di ottenere l'attuale ruolo chiave nella progettazione e realizzazione di strumenti per missioni spaziali quali eXtp e il telescopio spaziale Nasa Ixpe, quest'ultimo lanciato nel dicembre 2021. Sempre nell'ambito dei dispositivi per missioni spaziali, l'Inaf partecipa con punte di eccellenza alla realizzazione di strumentazione per la planetologia, con osservazioni da remoto (sonde orbitanti attorno a pianeti, comete e asteroidi) e *in situ* (strumentazione per l'analisi diretta sulla superficie del pianeta), quali spettrometri e camere per sonde planetarie, di cui detiene la leadership in numerose missioni.

ELETTRONICA E INGEGNERIA

Relativamente all'esplorazione lunare, sono in corso molte collaborazioni in progetti Nasa ed Esa. Da sottolineare un'innovativa lente panoramica bifocale (Pancam), progettata e brevettata da ricercatori dell'Inaf, che è stata recentemente oggetto di uno studio Esa per l'esplorazione dei *lava tubes* lunari – grotte formati a seguito di eruzioni di

Da tempo l'Inaf ha acquisito un ruolo di eccellenza nella ricerca, sviluppo e produzione di ottiche per telescopi spaziali X, che si basano sul principio della incidenza radente

flussi di lava basaltica sulla Luna – e il progetto Melody, che rianalizzerà alcuni set di dati pubblici della superficie e del sottosuolo lunari mediante nuove tecniche di analisi dati e nuove misure di laboratorio.

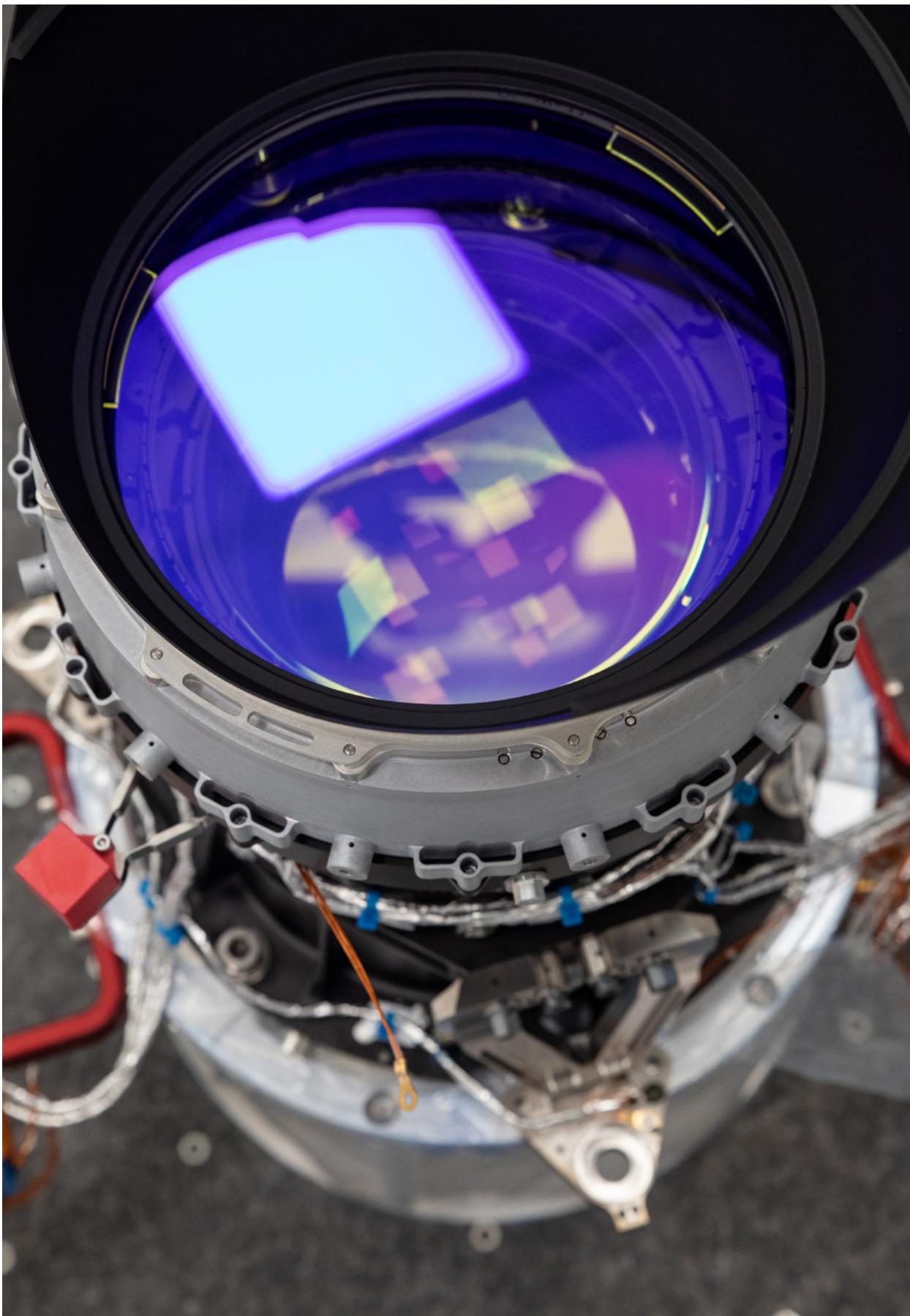
Nel campo della progettazione elettronica, il personale dell'ente sviluppa soluzioni estremamente performanti e robuste, impiegate in diverse tipologie di dispositivi. L'elettronica relativa ai rivelatori o ai sistemi di acquisizione dati risponde a requisiti molto stringenti in termini di rumore, velocità e accuratezza; ne sono esempi l'elettronica di front-end e back-end per rivelatori in silicio per alte energie o la progettazione e realizzazione di back-end per i radiotelescopi (da quelli nazionali a Skao e ai suoi precursori). L'Inaf sviluppa anche l'elettronica di controllo di strumenti o infrastrutture osservative, come le unità di controllo di strumento (Icu) per missioni spaziali come Euclid, Plato, Ariel e Athena, i sistemi di automazione per la strumentazione di Elt e Vlt, il controllo per il pointing e il tracking di telescopi.

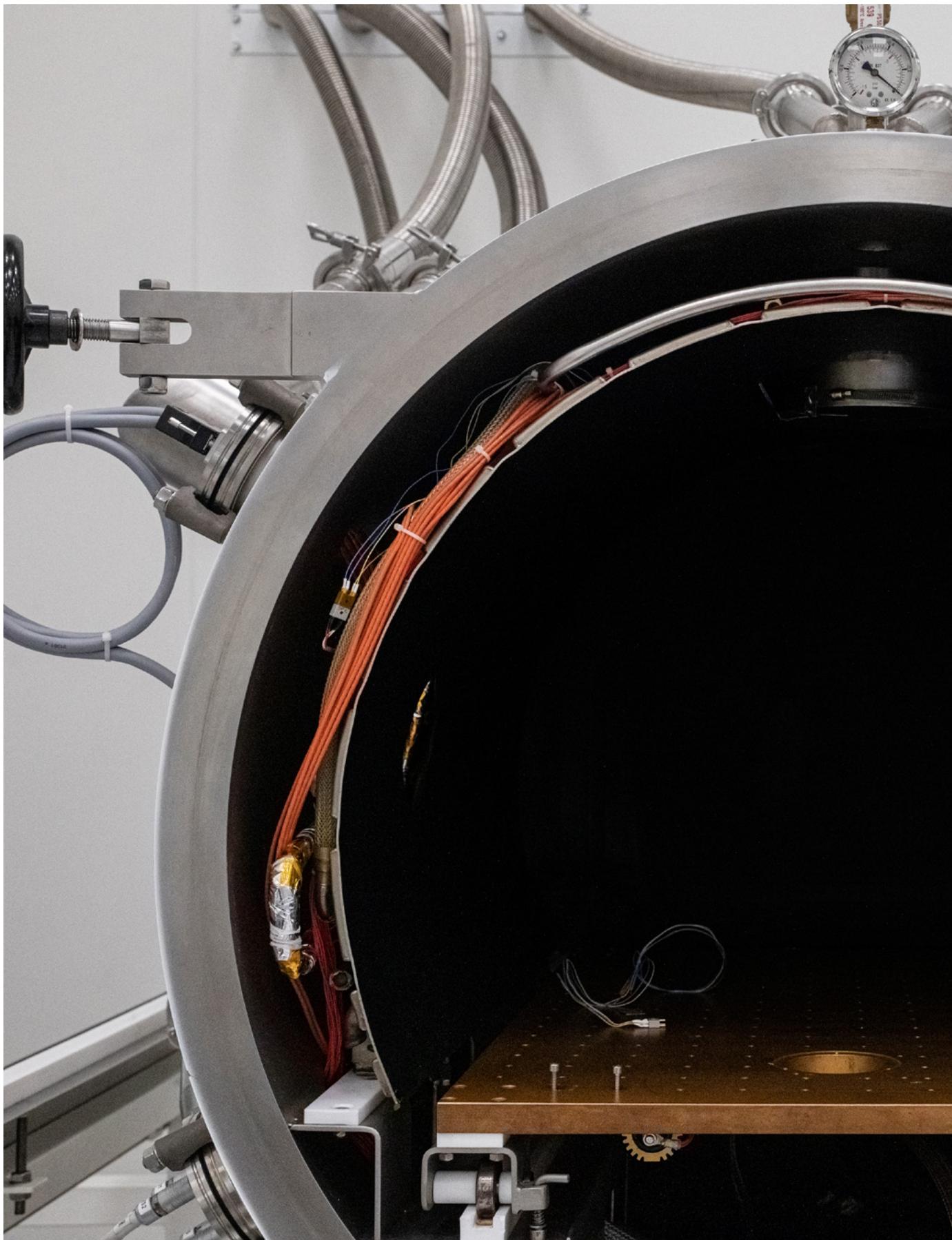
Fondamentale è anche il lavoro di progettazione e realizzazione di software di controllo, del firmware, e del software di analisi on-board dei dati grezzi, indispensabili per garantire che le modalità osservative rispondano al progredire delle necessità dei ricercatori e che gli strumenti operino con efficienza, acquisendo dati di qualità.

Trasversalmente a tutte le diverse fasi dello sviluppo della strumentazione, è richiesto un importante contributo in termini di ingegnerizzazione. L'Inaf mette in campo le proprie competenze, ad esempio nella progettazione termo-meccanica di sistemi

LOCCHIO DI PLATO

Una delle unità ottiche di Plato vista da vicino. Il disegno ottico dello strumento, che comprende sei lenti, è nato nei laboratori Inaf. Crediti: INAF/LEONARDO/R. Bonuccelli







CAMERA TERMOVUOTO

È in grado di riprodurre con esattezza le condizioni dello spazio attraverso il controllo simultaneo di pressione e temperatura.
Crediti: INAF/LEONARDO/R. Bonuccelli



che richiedono elevata stabilità e/o devono affrontare condizioni estreme (temperature criogeniche, sollecitazioni da lancio, ecc.). Il know-how che i ricercatori e tecnologi possiedono negli ambiti del *System Engineering* e della *Product Assurance* è fondamentale per la partecipazione alla realizzazione di grandi infrastrutture da terra e di missioni spaziali, in quanto consente la corretta gestione dell'interazione tra i diversi sistemi e assicura la qualità della strumentazione prodotta.

Elementi essenziali nei processi di sperimentazione e sviluppo sono i laboratori. Oltre a realizzare e impiegare laboratori per l'esecuzione di esperimenti astrofisici (in particolare per riprodurre le condizioni estreme presenti nello spazio o su altri pianeti), l'Inaf si è dotato di laboratori che consentono di affrontare tutte le fasi dello sviluppo tecnologico, dallo studio teorico/simulativo alla realizzazione e test di prototipi, contribuendo anche ai successivi passaggi essenziali per la messa in opera della strumentazione

(assemblaggio, integrazione, calibrazione e qualifica).

Il lavoro di sviluppo non termina con l'entrata in funzione degli strumenti, ma comprende le attività relative alla gestione dei dati raccolti. La progettazione e realizzazione di un *Science Data Segment* ha assunto un livello di complessità paragonabile allo sviluppo e alla produzione di uno strumento hardware quali quelli citati precedentemente. Oggi l'Inaf si è affermato come soggetto di eccellenza, conquistando in alcuni casi la responsabilità primaria dell'ideazione e dello sviluppo di tutto il segmento scientifico sia per missioni spaziali sia per infrastrutture terrestri. Analogamente, si è affermato nella gestione di strumenti in termini di programmazione ed effettuazione delle osservazioni.

DATI: UN PREZIOSO TESORO

La ventennale esperienza acquisita dall'Inaf, con la partecipazione allo sviluppo di missioni spaziali (ricordiamo Planck, Agile, Gaia ed

IN PRODUZIONE
Due delle 26 unità ottiche che verranno montate su Plato, la missione europea per lo studio di pianeti extrasolari. Il lancio è previsto per la fine del 2026.
Crediti: INAF/LEONARDO/R. Bonuccelli

L'Inaf si è dotato di laboratori che consentono di affrontare tutte le fasi dello sviluppo tecnologico, dallo studio teorico/simulativo alla realizzazione e test di prototipi, contribuendo anche ai successivi passaggi essenziali per la messa in opera della strumentazione

Euclid, Cheops e Plato), anche in importanti posizioni di leadership, ha portato all'acquisizione di competenze di primo livello per la progettazione, la realizzazione, lo sviluppo e l'implementazione di segmenti di terra scientifici. Oltre alla scelta di soluzioni hardware specifiche, il procurement e il mantenimento delle risorse di calcolo e storage, la realizzazione di centri di processamento spazia dalla messa a punto di software di controllo e *data quality* fino all'analisi dei dati scientifici in tempo reale, passando per il monitoraggio e la calibrazione della risposta strumentale durante le varie fasi (assemblaggio, integrazione e test, commissioning e operazioni). Le attività consistono anche nell'ideazione e implementazione di soluzioni algoritmiche innovative, che vanno dalla modellistica e trattamento del dato grezzo fino al prodotto elaborato e pronto per essere utilizzato negli studi scientifici.

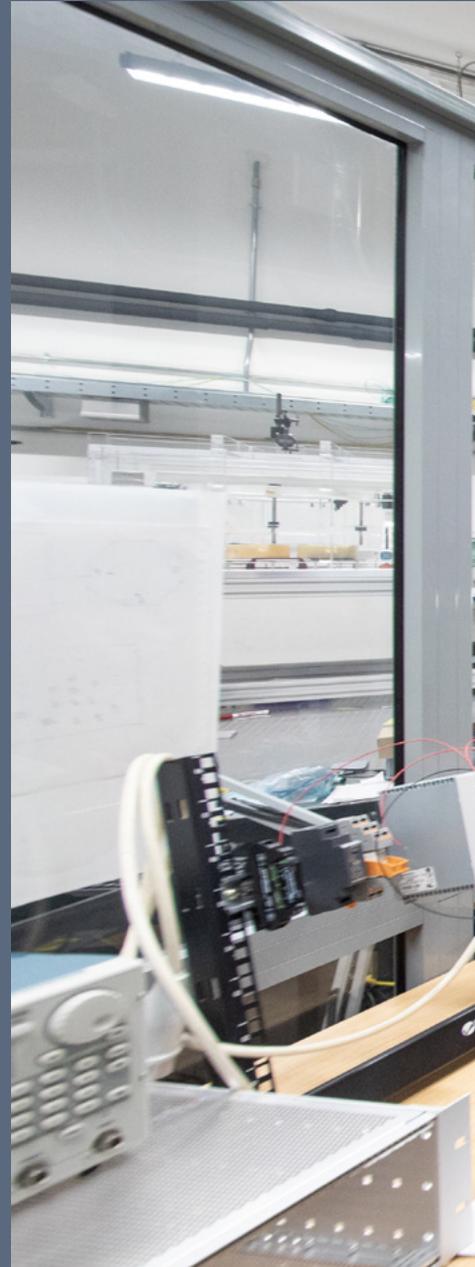
La realizzazione e lo sfruttamento dei risultati delle osservazioni e simulazioni in astrofisica richiedono archivi, cura del dato, calcolo e strumenti di analisi e aggregazione sempre più in linea con i concetti espressi dai paradigmi big data e machine learning. Questo processo richiede infrastrutture e competenze trasversali alla comunità scientifica e necessita della progettazione e implementazione di nuove piattaforme informatiche, in grado di gestire enormi moli di dati eterogenei, che include anche la re-ingegnerizzazione di strumenti già esistenti. Analogamente, le simulazioni numeriche rappresentano uno strumento fondamentale per catturare la complessità dei processi astrofisici che governano l'universo a tutte le scale.

Tali simulazioni, insieme allo sviluppo dell'astrofisica multi-messaggera, con progetti che comprendono multi-telescopi (tra cui, ad esempio, Astri Mini-Array, Cta, Skao) e telescopi spaziali (Gaia ed Euclid), impongono l'utilizzo del calcolo ad alte prestazioni con infrastrutture di tipo *Exascale*, rispetto alle quali oggi l'Inaf è impegnato nel co-design. L'analisi di grandi volumi di dati necessita di tecnologie per la visualizzazione scientifica e di tecniche di intelligenza artificiale, che per loro natura sono multidisciplinari e coinvolgono numerose attività di ricerca condotte dall'Inaf.

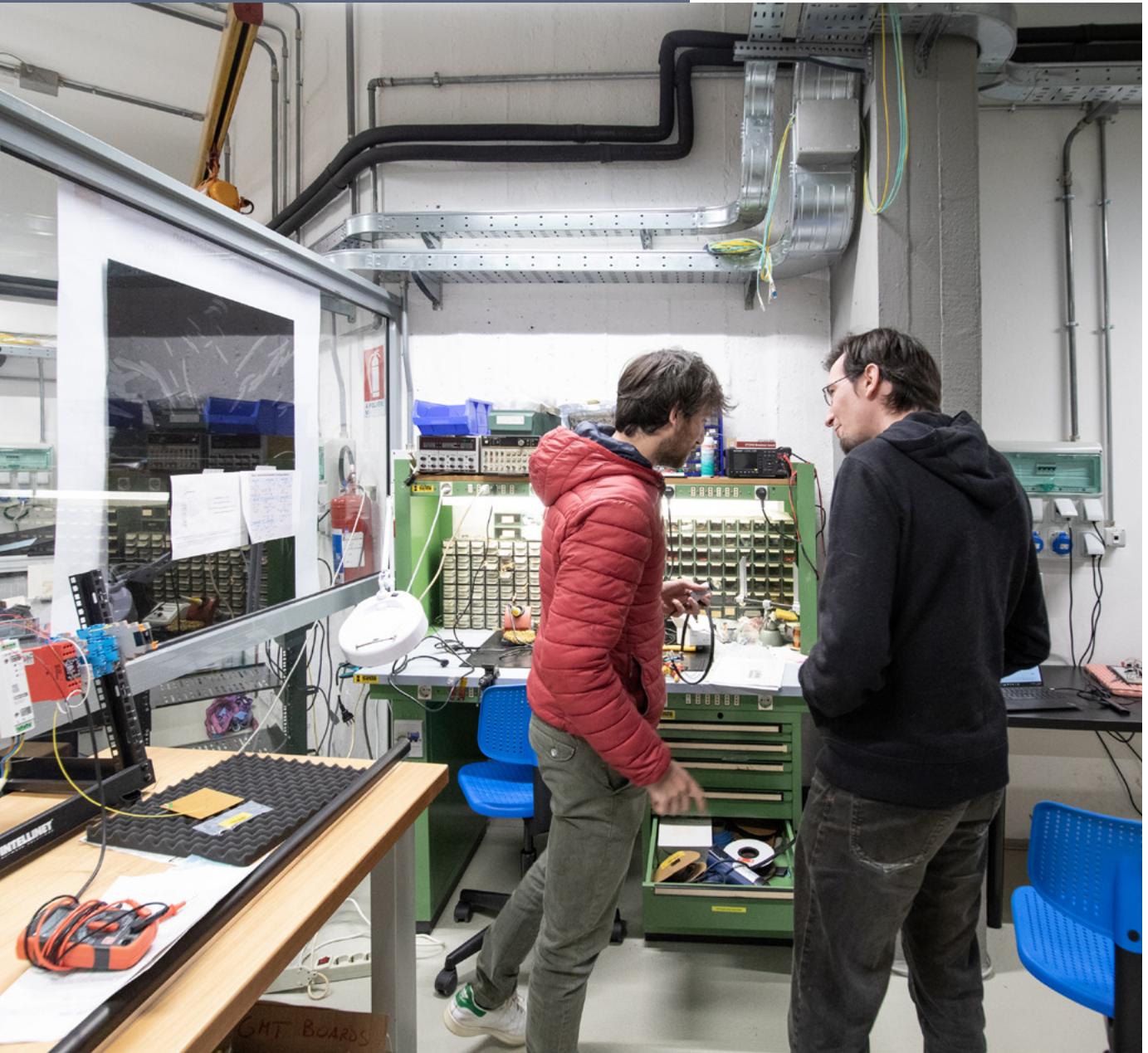
L'ente sta contribuendo con molti progetti, programmi e attività R&D di livello internazionale, attraverso progetti europei di rilievo strategico sia in H2020 sia EuroHPC, anche allo sviluppo di soluzioni e servizi innovativi per il *Cloud Computing* e il calcolo distribuito, complementare a quello Hpc (High Performance Computing). Sviluppa e partecipa alle attività nazionali, comunitarie e globali atte a rendere il proprio patrimonio di dati e servizi coerenti con gli scenari di Open Science e Fairness. Ha assunto e mantiene ruoli di rilievo in varie organizzazioni, quali la International Virtual Observatory Alliance (Ivoa), che affrontano i temi di interoperabilità, fruibilità del dato, standardizzazione dei dati e dei servizi in ambito astrofisico. Infine, l'Inaf partecipa ad Eosc (European Open Science Cloud), la più grande *e-infrastructure* federata europea che riassume a livello comunitario le sfide di calcolo e fruibilità del dato. Il suo contributo è dato da importanti progetti di R&D, per lo sviluppo di servizi e strumenti di elaborazione per i dati astrofisici, utilizzabili in modo integrato anche su sistemi Hpc. L'Inaf è inoltre tra i protagonisti del neonato Centro nazionale di ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing, uno dei cinque centri nazionali istituiti dal Ministero dell'università e della ricerca con i fondi del Pnrr: all'interno delle attività del centro, inaugurato alla fine del 2022, l'ente detiene la leadership di una delle dieci aree tematiche, *Astrophysics & Cosmos Observations*. ■

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**



OLTRE VENT'ANNI DI RESPONSABILITÀ SCIENTIFICA

intervista



GAETANO TELESIO
Direttore generale dell'Inaf

L'Istituto nazionale di astrofisica ricopre un ruolo fondamentale nel panorama di ricerca scientifica nazionale e internazionale. Nell'ambito del Pnrr ha ottenuto finanziamenti per 200 milioni di euro. E negli ultimi anni sono cresciute in numero anche le persone che ci lavorano stabilmente. L'ente italiano per lo studio dell'universo è nel mezzo di uno straordinario processo di trasformazione. Una trasformazione che passa anche attraverso la capacità o meno di saper gestire, spendere, risparmiare, rendicontare, ottimizzare le risorse economiche con cui l'astrofisica si traduce in strumenti, facility e progetti di ricerca. Ne abbiamo parlato con Gaetano Telesio, Direttore generale dell'Istituto nazionale di astrofisica.

Direttore, qual è lo stato dell'arte? Ci aiuta a capire meglio di che cosa stiamo parlando?

L'Inaf nasce più di vent'anni fa dalla fusione degli ex osservatori astronomici e astrofisici e di alcuni istituti del Consiglio nazionale delle ricerche. Attualmente l'Inaf ha una sua amministrazione centrale – che ha sede nel viale del Parco Mellini a Roma, dove si trovano gli uffici della Presidenza, della Direzione generale e della Direzione scientifica – ed è articolata a livello territoriale in 16 strutture dislocate sull'intero territorio nazionale. Alcune di queste strutture peraltro sono di grande rilevanza culturale, paesaggistica, storica e architettonica, perché si tratta delle antiche specole o comunque di osservatori che sono stati costituiti quando in Italia l'astronomia e in seguito l'astrofisica hanno avuto un grandissimo sviluppo. Stiamo parlando degli osservatori astronomici che ancora oggi vengono visitati da migliaia di persone, come quelli di Padova, di Capodimonte e di Brera, tanto per citare i più antichi. Attualmente l'Inaf conta su circa 1500 tra dipendenti a tempo determinato e indeterminato, tra ricercatori, tecnologi e personale tecnico amministrativo. Nell'ultimo quinquennio c'è stato un notevole sviluppo della dotazione organica dell'ente, perché tra assunzioni ordinarie, scorrimenti di graduatorie vigenti e nuove procedure concorsuali abbiamo reclutato, anche attraverso le procedure di stabilizzazione del personale precario, circa 400 persone tra ricercatori, tecnologi e personale tecnico amministrativo: un ampliamento di circa il 30%. Ricordiamo che l'amministrazione – che svolge attività di supporto alle attività di ricerca, scientifiche, tecnologiche, di innovazione, di trasferimento tecnologico e di divulgazione, fondamentali per il core business – solo di recente ha ricevuto una maggiore attenzione, perché purtroppo in passato le politiche di reclutamento sono state rivolte



soprattutto all'implementazione della parte scientifica e tecnologica. Senza la parte amministrativa, tuttavia, quella scientifica e tecnologica non potrebbe essere svolta in modo efficace ed efficiente. Ultimamente, c'è stata un'inversione di tendenza in questo senso e si sta producendo un notevole sforzo per potenziare l'amministrazione.

Lei, insomma, sottolinea la necessità di coordinare e trasferire competenze e attività organizzativo gestionali tra “periferia” e “centro”. Una questione cui la sua direzione generale ha dedicato molte energie...

Sì, quando questa Direzione generale si è insediata alla fine del 2016, effettivamente ha trovato una situazione molto critica sotto questo punto di vista, perché c'era un netto scollamento tra quella che era l'amministrazione centrale e le strutture di ricerca dislocate sul territorio. Non esisteva interazione e questo ha inciso negativamente e gravemente sull'unitarietà dell'ente. Con le ultime due presidenze abbiamo sviluppato il principio dell'amministrazione della gestione diffusa, che ha portato a un cambiamento radicale delle relazioni tra l'amministrazione centrale e le strutture di ricerca, proprio nell'ottica di creare un ente unico, in grado di perfezionare processi, procedure e procedimenti con la massima sinergia e interazione possibile e renderli uniformi e omogenei. A tal fine è stata costituita una struttura tecnica di supporto alla Direzione generale per lo svolgimento delle procedure concorsuali, in un periodo in cui queste hanno impegnato in maniera severa

MONTE MARIO
Villa Mellini, Roma. Situata sulla sommità della riserva naturale di Monte Mario, occupa il punto più alto della città. Oggi ospita la sede centrale dell'Istituto nazionale di astrofisica.



e intensa tutto l'ente; sono stati costituiti dei gruppi di lavoro che hanno lavorato per l'intero ente, di cui ha fatto parte personale dell'amministrazione centrale ma anche delle strutture di ricerca. Addirittura, la Direzione generale ha creato dei tavoli tecnici permanenti che hanno riguardato sia l'edilizia e il patrimonio sia gli appalti e i contratti pubblici, altra materia molto delicata.

C'è poi un'altra questione: l'astrofisica "parla" italiano anche ben oltre i propri confini nazionali...

Sì, non va dimenticato che l'amministrazione non supporta soltanto le strutture di ricerca all'interno del territorio, bensì anche tutte le iniziative internazionali. L'Inaf ha più stazioni osservative all'estero. Si pensi al telescopio nazionale Galileo alle Canarie, a La Palma, al Large Binocular Telescope in Arizona e alle altre iniziative che si stanno portando avanti con tantissimi altri paesi europei ed extraeuropei per l'abilitazione delle grandi reti di radiotelescopi (Ska e Cta), per la costruzione dell'Extremely Large Telescope – in Cile, sull'altopiano del Paranal a 3000 metri di altezza, che sarà il più grande telescopio mai esistito, con uno specchio del diametro di 39 metri e uno spessore di un metro e mezzo e che costerà oltre un miliardo di euro. Quindi è ovvio che la Direzione generale, con l'amministrazione centrale in interazione con i direttori responsabili amministrativi delle strutture di ricerca, costituisce il nucleo amministrativo forte che dà il supporto all'Inaf per lo sviluppo dei progetti nazionali e internazionali.

Servono efficienza e competenza. Non solo per la costruzione ma anche per la gestione delle infrastrutture, nazionali e internazionali, che sono fondamentali per il corretto funzionamento.

Non solo. Grazie alla maggiore credibilità che ha raggiunto l'ente in questi ultimi sei anni, l'Inaf ha avuto accesso a tutta una serie di risorse ministeriali che prima era impensabile avere. Questo perché l'ente ha dimostrato grande eccellenza nell'ambito dell'astronomia e dell'astrofisica e perché l'amministrazione ha garantito una gestione efficace ed efficiente delle risorse pubbliche, e ha quindi acquisito credito rispetto al ministero, che ha

TORRE SOLARE
La lapide che sovrasta l'ingresso alla torre solare Inaf nel parco di Villa Mellini, con la dedica agli astronomi Lorenzo Respighi e Angelo Secchi.

Siamo concentrati sullo sviluppo scientifico e tecnologico dell'Inaf, che ormai è ben avviato e sta ricevendo un flusso importante attraverso anche l'autorevolezza e la credibilità maturata

puntato sull'Inaf, attribuendogli una serie di risorse importanti. Basti pensare che negli ultimi sei anni il Foe (il Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca) dell'Inaf ha avuto un incremento di circa 30 milioni di euro tra assegnazione ordinaria e risorse destinate alle attività di ricerca a valenza internazionale e di progettualità di carattere straordinario.

Nell'ambito del piano nazionale di ripresa e resilienza, l'Inaf ha visto approvati diversi progetti e sta ricevendo finanziamenti cospicui. Nuove risorse da gestire e rendicontare: come si fa?

L'Inaf ha ricevuto la bellezza di oltre 200 milioni di euro da gestire. Quindi sì, è una sfida epocale che mette a dura prova tutto l'assetto organizzativo e funzionale dell'ente, proprio perché l'amministrazione in passato non ha mai avuto quell'attenzione che necessitava e quindi oggi ci troviamo a dover gestire questi progetti con una forza lavoro amministrativa non adeguata. Si stanno producendo notevoli sforzi, come quello della Direzione generale, che deve garantire il necessario supporto ai direttori responsabili amministrativi delle strutture di ricerca e ai responsabili scientifici dei progetti; senza, infatti, non si potrebbero avviare tutte le attività. Solo le procedure di acquisizione di beni e servizi ammontano a circa 400 tra procedure fino a 139.000 €, altre di media entità tra i 100.000 e 400.000 € e quelle di grandissimo respiro che riguardano la realizzazione di specchi, telescopi e altre strumentazioni scientifiche e tecnologiche, che addirittura arrivano fino a importi pari a 30 milioni di euro.

Una sfida nella sfida, quindi. Quello della Direzione generale è un osservatorio privilegiato sull'ente nel suo insieme. Che cosa c'è nel prossimo futuro dell'Inaf?

Siamo concentrati sullo sviluppo scientifico e tecnologico dell'Inaf che ormai è ben avviato e sta ricevendo un flusso importante attraverso anche l'autorevolezza e la credibilità maturata rispetto al governo, e quindi al ministero dell'università e della ricerca, ma anche rispetto a quelli che sono gli organismi internazionali come Eso, Esa e gli altri che ci aiuteranno e ci stanno già aiutando e con i quali stiamo collaborando per la realizzazione di questi grandissimi progetti internazionali.

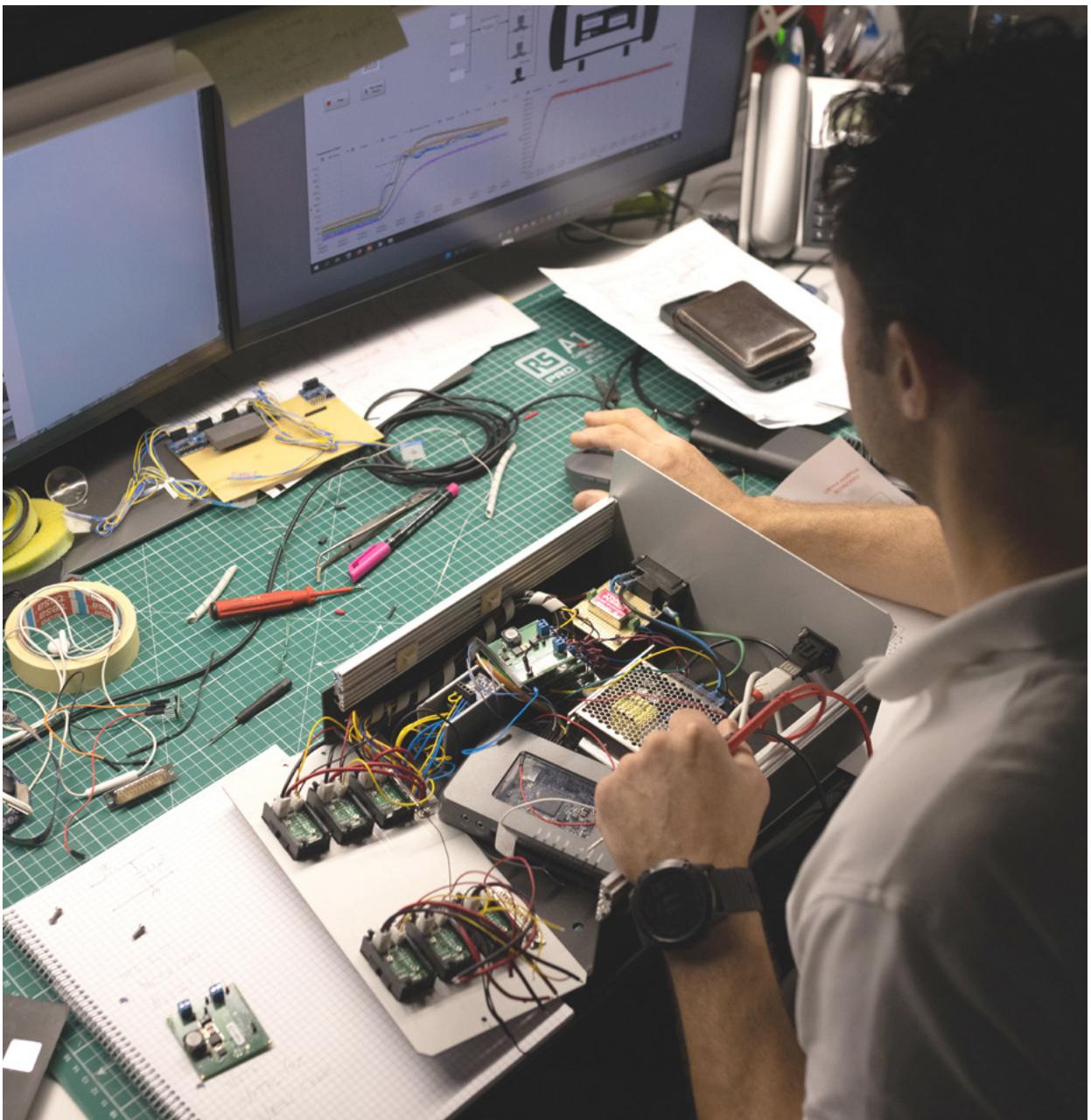
La preoccupazione della Direzione generale, però, è il potenziamento dell'amministrazione centrale. Non è pensabile, infatti, che un Inaf, che è il terzo per dimensioni più importante in Italia, abbia solo due dirigenti. Stiamo interloquendo con il ministero per potenziare l'amministrazione con dirigenti e figure medio apicali. Solo in questo modo è possibile garantire per il futuro un consolidamento dell'amministrazione che, a prescindere dalle direzioni generali che si susseguono, sia in grado di camminare con le proprie gambe. ■

L'ECCELLENZA ARTIGIANA DELLA SCIENZA

intervista



FILIPPO ZERBI
Direttore Scientifico dell'Inaf



Il Pnrr, i progressi nel campo della ricerca, la mobilità di ricercatori di tutto il mondo: l'Inaf vive e affronta cambiamenti interni ed esterni anche grazie alla reputazione acquisita a livello internazionale. Un ruolo che richiede riflessioni e confronti con altri Paesi. Universi ha parlato di tutto questo con Filippo Zerbi, il Direttore scientifico dell'Istituto.

Com'è cambiato l'Inaf negli ultimi anni?

Credo che sia evidente a tutti che negli ultimi anni l'Inaf ha compiuto un salto quantico rispetto alla propria posizione internazionale, dovuto soprattutto alla partecipazione a grandi progetti e a grandi collaborazioni per la costruzione di infrastrutture da terra, nelle quali prima eravamo abbastanza carenti, mentre ora siamo protagonisti, in alcuni casi anche protagonisti di primo piano. Ed è una posizione che dovrebbe venire ulteriormente valorizzata dal Pnrr, che ci consentirà di fare un altro salto in termini di partecipazione a queste infrastrutture, che sono riconosciute a livello internazionale come infrastrutture di punta per la ricerca astrofisica nel mondo.

Ecco, il Pnrr: qual è il coinvolgimento dell'Inaf?

L'Inaf ha inoltrato quattro proposte come prime, in risposta alla missione 4 del Mur, tutte risultate selezionate: Cta+, per il potenziamento di Cta; Stiles, per il potenziamento delle infrastrutture relative a Ska ed Ekt; una per il rifacimento della Croce del Nord, sia per il follow-up degli space debris sia per i Fast Radio Burst; e infine una con l'Asi per un progetto di potenziamento di laboratori spaziali. Siamo poi coinvolti nel Centro Nazionale Hpc e partecipiamo a KM3NET e all'Einstein Telescope, dei quali è prime l'Infn.

Come sta andando? Stiamo riuscendo a tenere il passo con gli impegni richiesti?

Sono molto preoccupato per il fatto che il salto di scala dei finanziamenti e i vincoli temporali di spesa – che sono ovviamente pre-guerra, quindi potranno essere rivisti, ma al momento ci sono – rappresentano una sfida, non soltanto per l'Inaf ma per qualunque ente di ricerca, in termini soprattutto di velocità nel procurement. E infatti tutti gli enti di ricerca con i quali ci interfacciamo sono altrettanto preoccupati, perché al momento non c'è alcuna deroga rispetto alle regole degli appalti pubblici. Così ci ritroviamo a dover spendere cifre nell'ordine di qualche centinaia di milioni di euro entro trenta mesi, un compito non banale per la pubblica amministrazione. Insomma, stiamo correndo con le mani legate dietro la schiena. Ciò detto, sono certo che ce la faremo, ma dal punto di vista amministrativo è una vera sfida.

Parliamo ora di persone. Le statistiche annuali dei grant ERC mostrano con una chiarezza spietata quanto l'Italia della scienza sia incapace di attrarre ricercatori dall'estero...

Anzitutto va detto che l'incapacità di attrarre dall'Italia non ha nulla a che fare con le statistiche degli ERC: l'Italia non è un paese attraente perché gestisce ancora la ricerca nel contesto del pubblico impiego. Ciò significa che le posizioni e gli avanzamenti di carriera, da noi, sono sostanzialmente vincolati al meccanismo pubblico, cosa della quale il resto d'Europa, gli Stati Uniti e altri paesi si sono parzialmente o completamente liberati. Non c'è dunque da stupirsi se per un ricercatore che venga dalla Spagna, dalla Francia, dalla Germania o dagli Stati Uniti questo sistema ingessato di assumere e retribuire le persone non sembri particolarmente attrattivo: le possibilità di carriera che trova in altri paesi sono molto più agili, scattanti e remunerate.

PEZZI UNICI

La ricerca astrofisica spesso si allontana dalle dinamiche industriali per trovare soluzioni sartoriali e da bricoleur a problemi del tutto nuovi.
Crediti: INAF/V. Muscella

Negli ultimi anni l'Inaf ha compiuto un salto quantico rispetto alla propria posizione internazionale, grazie alla partecipazione a grandi progetti e a grandi collaborazioni per la costruzione di infrastrutture da terra

Una situazione che tocca anche l'Inaf, dunque.

Certo, per l'Inaf questo problema è centrale. E ha intrapreso azioni al riguardo – a livello legislativo, di ministero, di Consulta dei presidenti degli enti pubblici di ricerca (Conper) –, sottolineando come questa situazione renda gli enti di ricerca italiani non competitivi rispetto, in primo luogo, alle università italiane – che godono di una maggiore autonomia, potendo per esempio proporre posizioni più avanzate a chi rientra dall'estero – e, in secondo luogo, agli enti di ricerca stranieri. È una situazione che va affrontata a livello legislativo, riconoscendo che è ora che la ricerca esca dalla pubblica amministrazione.

Nell'attesa, azioni come il programma di fellowships AstroFit non possono essere d'aiuto?

No, perché il problema non è far venire persone dall'estero, quelle ci sono: vengono da noi e restano due o tre anni. Sapendo che all'Inaf ci sono competenze particolari, magari, le vengono a imparare, ad assorbire. Il problema è che queste persone poi non si stabilizzano, non restano qui. Ricercatori con passaporto straniero ci sono, all'Inaf, intendiamoci, ma si contano su un paio di mani, anche considerando l'enorme numero di stabilizzazioni che abbiamo completato negli anni passati: abbiamo due persone francesi, tre o quattro spagnoli, un americano, una cinese, un'olandese e poco più.

Asi, Cnr, Infn... tutti si stanno dedicando un po' all'astrofisica. Al sistema paese serve un ente dedicato allo studio del cosmo?

Be', c'è una discussione culturale interminabile, su questo. Ci sono sostenitori e detrattori, chiaramente quasi sempre tutti interessati. Se guardiamo all'estero, la maggior parte delle istituzioni sono costituite in dipartimenti. Il Cnrs, in Francia, ha un dipartimento che è l'Insu (National Institute for Earth Sciences and Astronomy) ben diverso dall'IN2P3 (National Institute of Nuclear and Particle Physics), quindi "particellari" e astrofisici, pur collaborando, sono ben distinti benché condividano un'unica amministrazione centrale. Stessa cosa per gli istituti del Max Planck in Germania. In quasi tutto il mondo c'è una distinzione fra i due ambiti. Quella italiana non è dunque un'anomalia. Certo, va detto che noi abbiamo un modo di lavorare un po' particolare e che spesso soffre di un fatto: si tendono a forzare delle practices che vengono da alcuni considerate "best" dentro al lavoro degli altri, ma che di fatto non lo sono per tutti e che in certi casi potrebbero portare a un tragico tonfo di produttività.

OFFICINA MECCANICA

L'Inaf Istituto di astrofisica e planetologia spaziali di Roma è dotato di una serie di macchine utensili per lavorazioni meccaniche di alta qualità.
Crediti: INAF/V. Muscella



Perché?

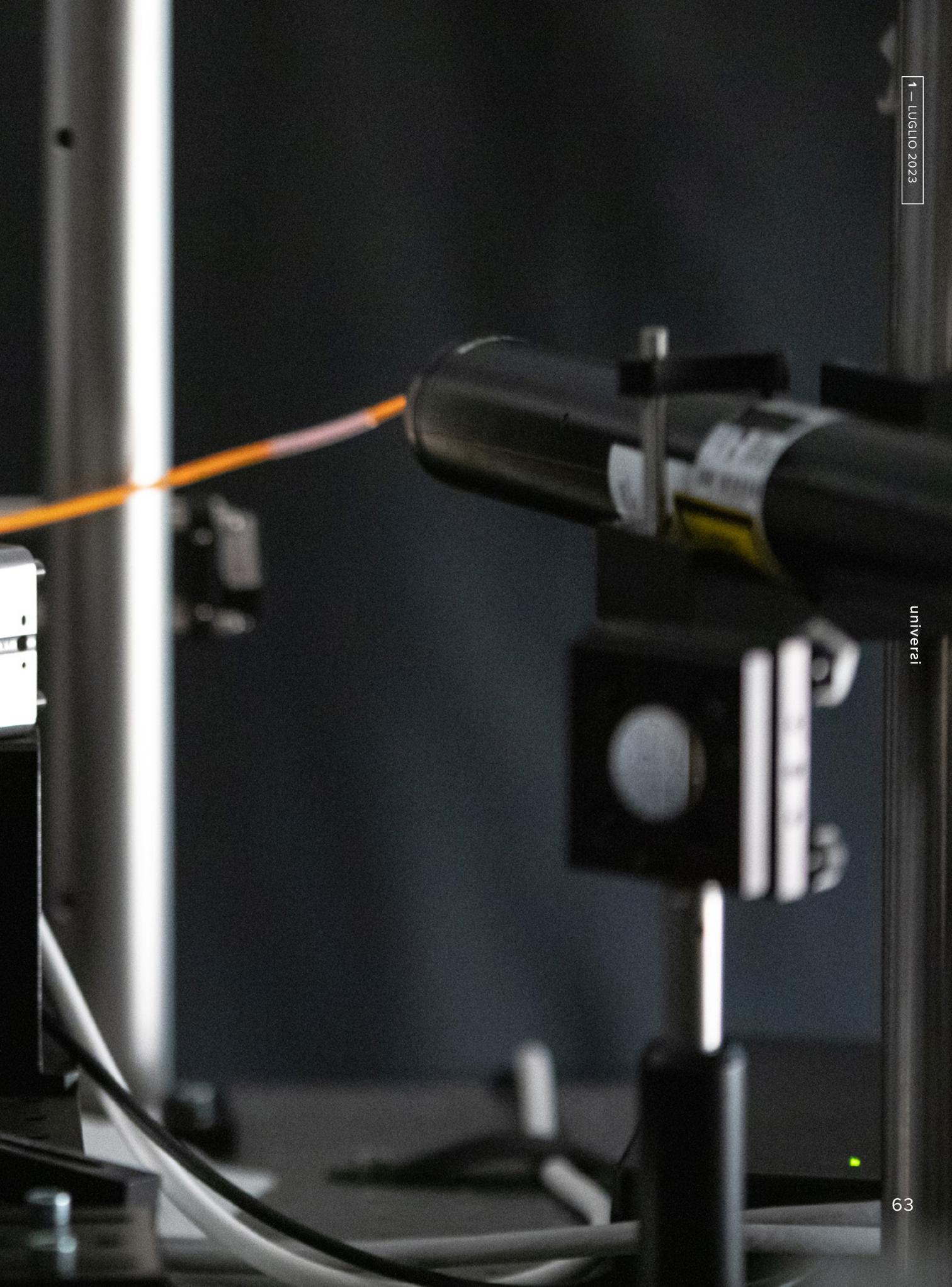
Perché noi siamo degli “artigiani”, mentre invece, per ragioni storiche, altri hanno dinamiche più “industriali”. La maggior parte dei nostri successi è dovuta a piccoli gruppi con buone idee, mentre la maggior parte dei successi altrettanto legittimi in altre realtà della ricerca italiana è opera di grandi collaborazioni che hanno cominciato negli anni Cinquanta e Sessanta a costruire grandi infrastrutture di ricerca internazionali, per cui serviva molto manpower coordinato. Nella nostra storia ci sono invece tante eccellenze individuali che hanno fondato delle scuole. Nel meccanismo attuale della Vqr (Valutazione della qualità della ricerca) non c'è però spazio per le eccellenze: si cerca la mediana alta. Detto altrimenti, il mobile della Brianza non te lo fa l'Ikea, ma è inevitabile che se fai una valutazione di massa l'Ikea prenda molti più punti del mobiliere della Brianza. ■

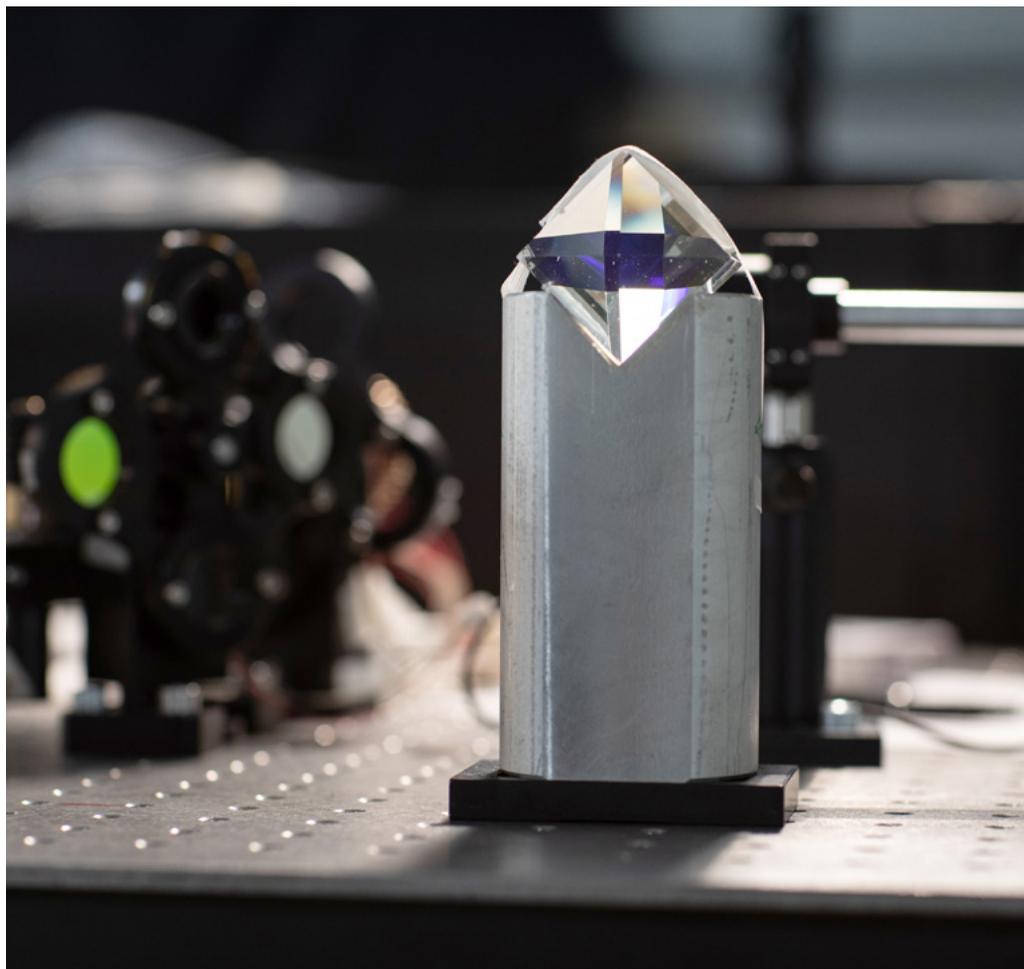
Visione

Ph. Riccardo Bonuccelli

Bastano pochi minuti, anche perché è davvero a un tiro di sasso dal centro. Si risale il viale alberato del Poggio Imperiale, dando le spalle a Porta Romana e a tutta Firenze, ricolma di turisti. Eccola Arcetri, con il suo piccolo borgo di case, le dolci colline toscane e villa Gioiello, quella dove Galileo Galilei ha trascorso i domiciliari dopo la condanna del Sant'Uffizio nel 1633. L'osservatorio astrofisico si trova sulla collina di fronte.

Con *Universi* siamo entrati nella facility di Ottica Adattiva. Un laboratorio (e un intero gruppo di lavoro) che ha un'esperienza consolidata in disegno, realizzazione, test e operatività osservativa di sensori di fronte d'onda a piramide e specchi secondari adattivi. Da quando nel 2018 è diventata operativa, ha ospitato attività fondamentali come le prove di fasatura dello specchio M4 del futuro Extremely Large Telescope in Cile o l'integrazione e il test del prototipo di sensore per il Giant Magellan Telescope in Arizona.



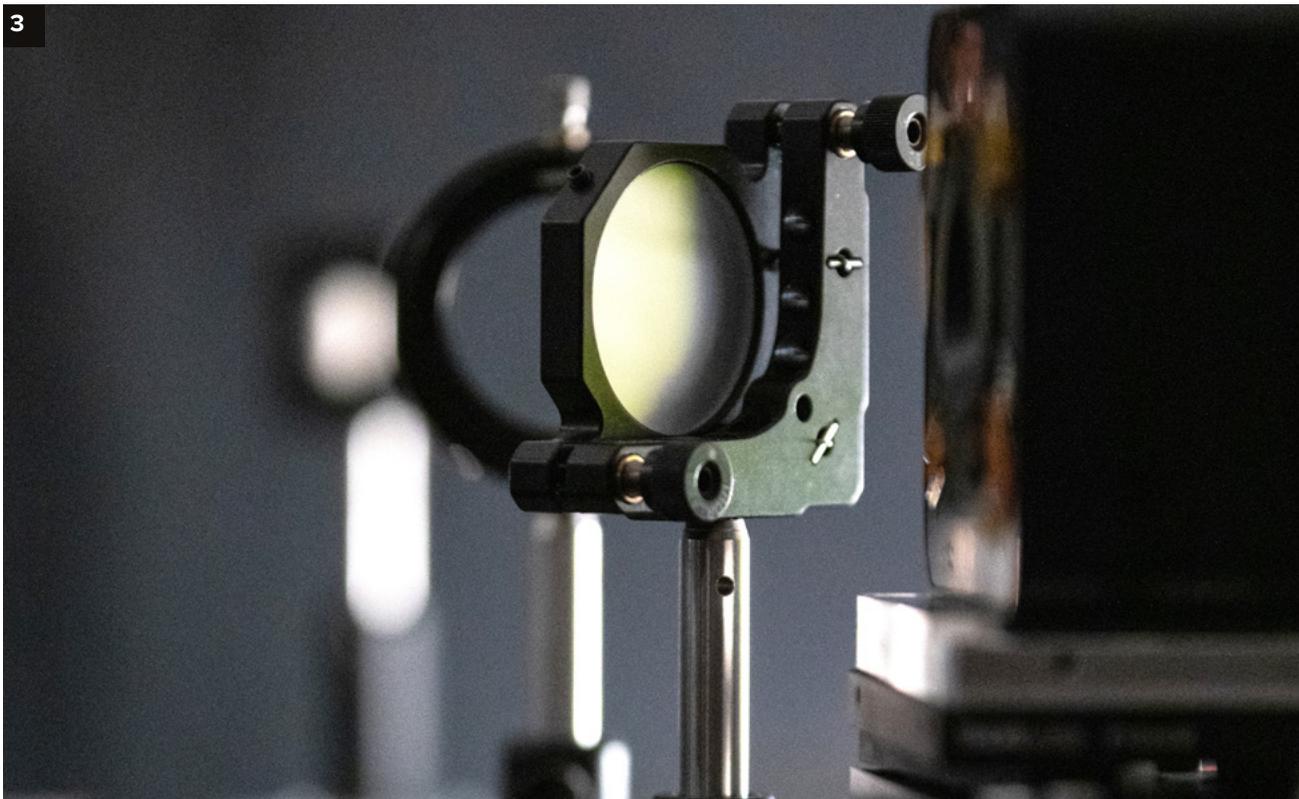


1. La sala di integrazione del gruppo di Ottica Adattiva all'Inaf Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Una facility fondamentale, operativa dal 2018 e ricavata grazie alla ristrutturazione della vecchia officina dell'osservatorio.

2. Il supporto meccanico (e riferimento per la metrologia interna) di LATT, prototipo di specchio attivo per telescopi spaziali. I 19 anelli disposti circolarmente, visibili in questo scatto, sono gli attuatori che controllano la forma della superficie ottica.



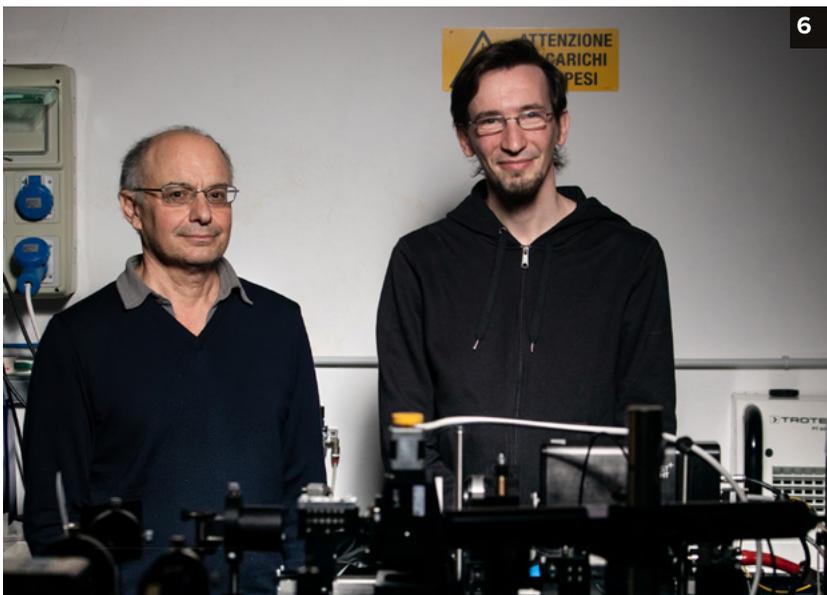
2



3



5



6

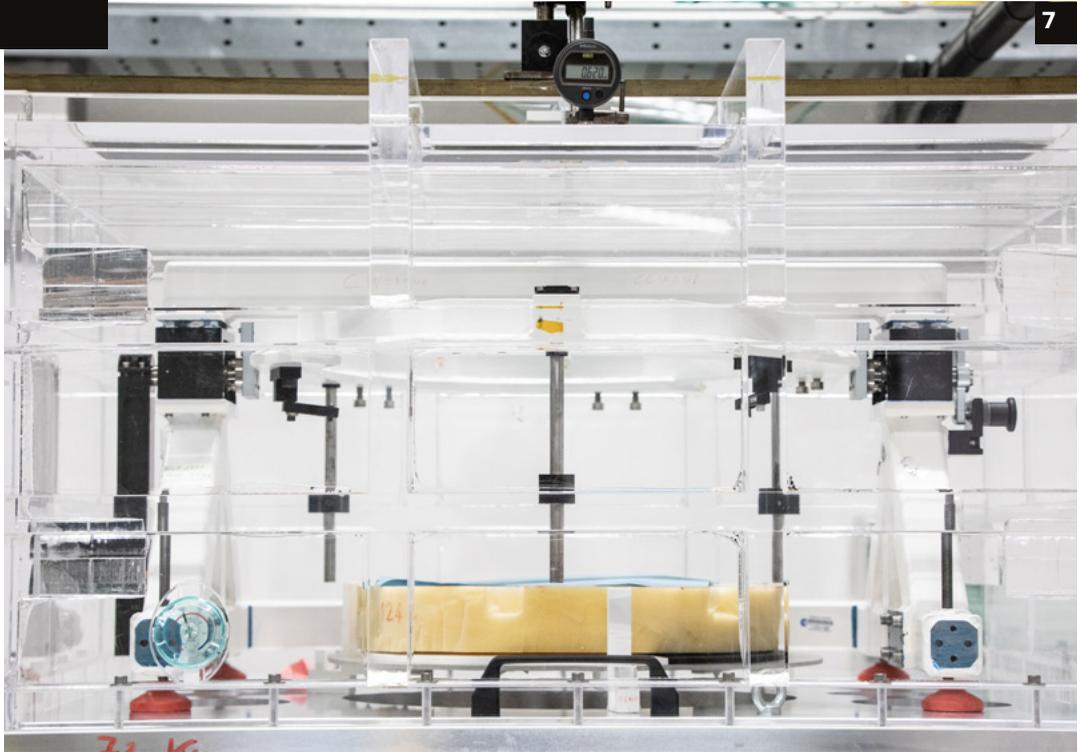
3. Uno dei componenti del sistema di test realizzato per il prototipo di sensore di fronte d'onda del Giant Magellan Telescope (GMT), il telescopio adattivo da 25 metri di diametro in costruzione presso l'Osservatorio di Las Campanas, in Cile.

4. La torre solare dell'osservatorio (1925). Fra il 2008 e il 2012 la sua altezza è stata sfruttata per realizzare un banco ottico verticale di 15 metri per la calibrazione ottica dei secondari adattivi del Large Binocular Telescope (LBT).

5. La componente ottica fondamentale del prototipo di sensore GMT. Una doppia piramide di vetro a base quadrata con accuratezza angolare di due secondi d'arco e bordi ribattuti di larghezza inferiore ai cinque millesimi di millimetro.

6. Simone Esposito (a sinistra) e Cedric Plantet di fronte al banco di test del prototipo GMT all'interno della sala di integrazione.

visione



7

7. Una camera a vuoto in plexiglass, utilizzata per i test ottici del prototipo di specchio attivo spaziale LATT. Al suo interno ospita un supporto meccanico per lo specchio mentre, in basso, un disco di gommapiuma sagomata funge da sistema anti-caduta per la shell sottile in vetro.



8

8. Nicolò Azzaroli (a sinistra) e Runa Briguglio controllano le procedure per la verifica della Optical Test Tower OTT per la calibrazione ottica dello specchio adattivo M4 dello European Extremely Large Telescope.

9. Il gruppo di Ottica Adattiva dell'Osservatorio di Arcetri di fronte all'ingresso della sala di integrazione. Comprende circa venti persone fra personale strutturato, personale a tempo determinato, assegnisti di ricerca, dottorandi e laureandi.



9

10. Cedric Plantet rivede l'allineamento di uno dei componenti del prototipo di sensore del GMT.





Curiosità dallo spazio

Scoperti due nuovi minerali in un meteorite

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

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

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



Partner e progetti dell'Inaf

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

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

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

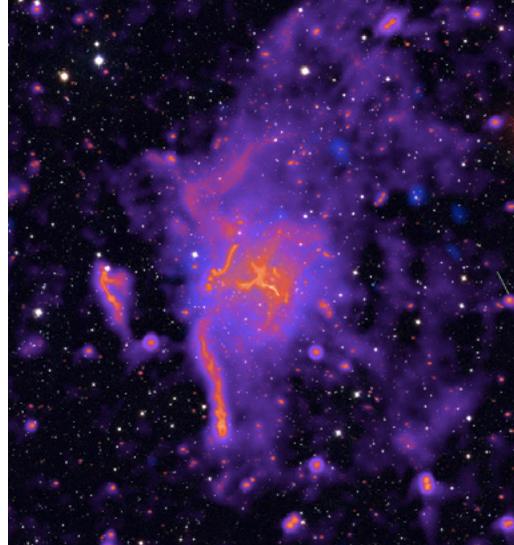


Curiosità dallo spazio

Se gli alieni ci contattano, che si fa?

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

▲
Un radiotelescopio a quota 5mila metri, presso l’Osservatorio di Llano de Chajnantor nel deserto di Atacama, Cile.
Crediti: Eso/Clem & Adri Bacri-Normier



Partner e progetti dell’Inaf

Lofar fotografa il bagliore radio di Abell 2255

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

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



Grandi scoperte recenti

Ecco il buco nero più vicino alla Terra

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

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



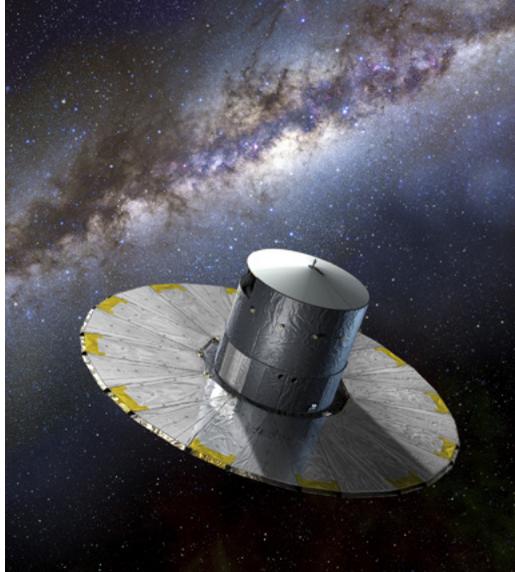
Grandi scoperte recenti

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

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

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

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



Un premio importante

Collaborazione Gaia: premio Berkeley 2023

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



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



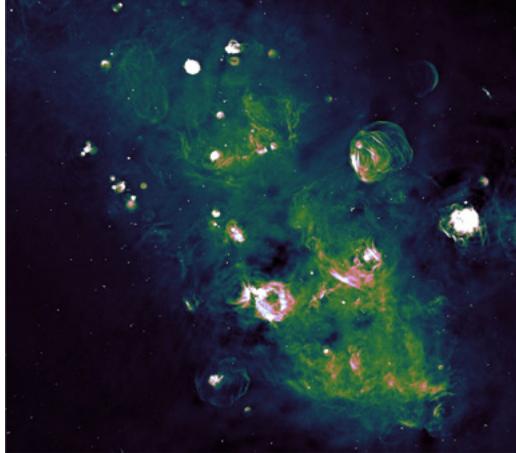
Grandi scoperte recenti

Ixpe svela i misteri di una storica supernova

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



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

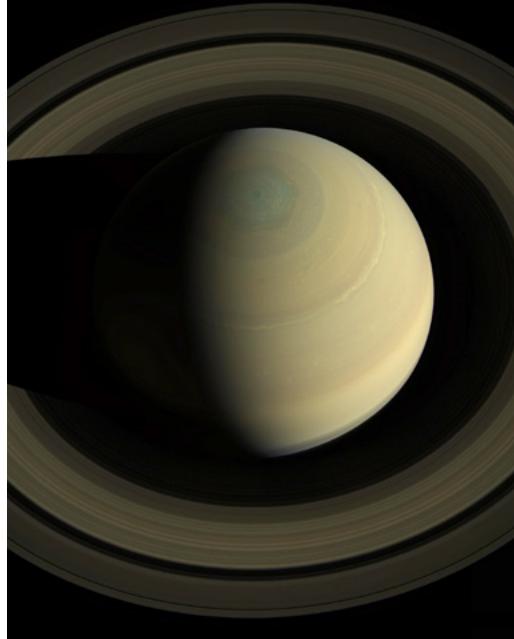


Partner e progetti dell'Inaf

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

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

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



Grandi scoperte recenti

Saturno e le sue lune: raggiunta quota 145

Saturno torna al primo posto nel Sistema solare per numero di satelliti naturali in orbita: sono state identificate attorno al sesto pianeta 62 nuove lune, che portano il numero totale a 145, sorpassando così Giove, fermo a quota 95.

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

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



Grandi scoperte recenti

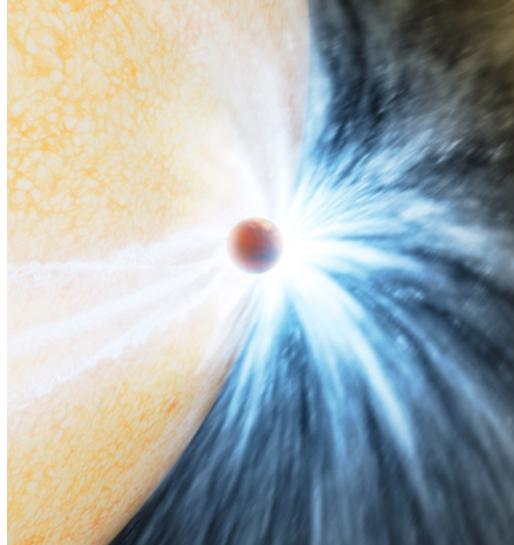
BepiColombo osserva la magnetosfera di Mercurio

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

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



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



Grandi scoperte recenti

Come muore un pianeta? Ecco la fine di un mondo

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



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



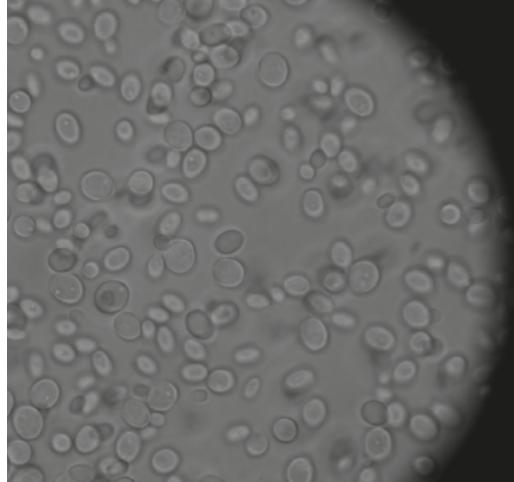
Partner e progetti dell'Inaf

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

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



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



Curiosità dallo spazio

Quel che serve per sopravvivere su Marte

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



Osservazione al microscopio di *Debaromyces hansenii*.

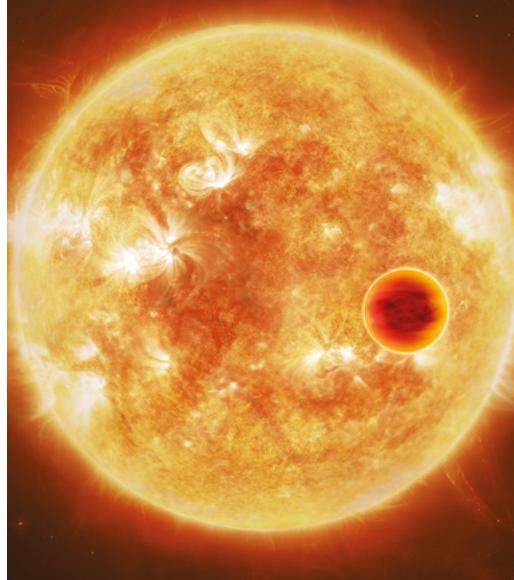


Partner e progetti dell'Inaf

Il progetto Ska è realtà

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

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



Curiosità dallo spazio

Due "Terre" potenzialmente abitabili a 16 anni luce

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

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

Sua maestà la tecnologia

di Rossella Spiga

Osservare l'universo per comprenderlo sempre più in profondità e sempre con maggior dettaglio è la sfida ambiziosa dell'astrofisica moderna. Puntare in alto per vedere lontano, per produrre nuova conoscenza.

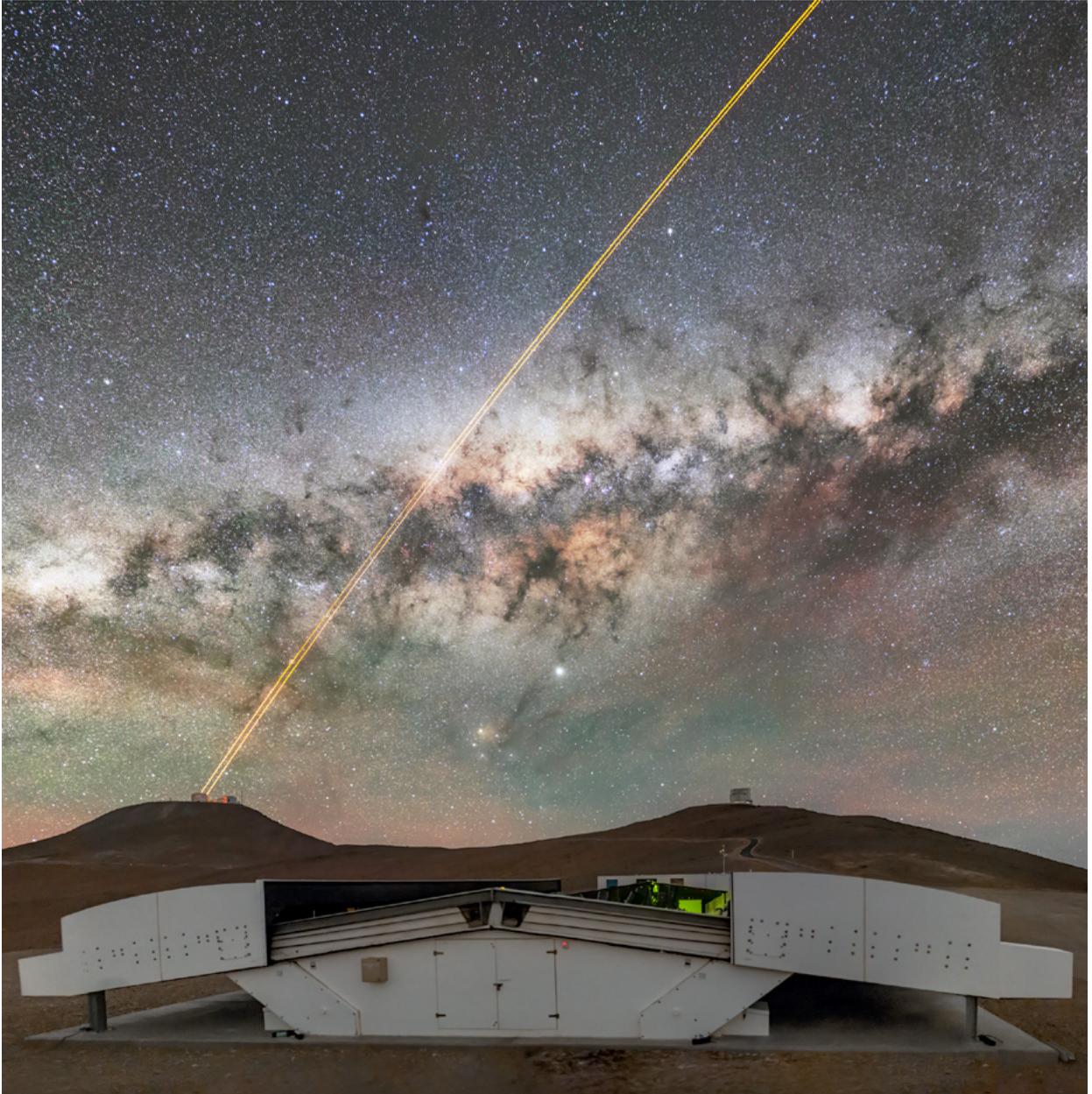
Il modello ottocentesco humboldtiano di università si fondava sul motto «Freiheit und Einsamkeit» (“libertà e solitudine”), termini che rivendicavano per la comunità accademica – di cui sono parte a pieno titolo anche gli scienziati – la piena autonomia e insieme un grande distacco dalla società. In libertà e solitudine infatti gli scienziati accademici realizzavano le loro ricerche spinte solo da questioni fondamentali. La ricerca “di base”. Una condizione di cui certamente, a lungo termine, tutta la società beneficiava, perché la scienza accademica era, come è tuttora, il motore dell'innovazione tecnologica.

Il testo *Science. The Endless Frontier* (V. Bush, 1945) segna l'ingresso della scienza nella cosiddetta era post-accademica, ridisegnando radicalmente la fisionomia del mondo scientifico attraverso nuovi rapporti tra ricerca e politica. La scienza e la tecnologia diventano una risorsa strategica e un fattore chiave di sviluppo economico e sociale su scala globale. Da mecenate, lo Stato diventa committente. Le grandi decisioni in merito allo sviluppo della scienza vengono discusse anche in sede politica e i governi delle società tecnoscientifiche rivendicano il diritto di delimitare fuori dalle accademie la “politica della ricerca”.

In questo contesto profondamente interconnesso tra scienza e società democratica della conoscenza, il sistema di innovazione tecnologica attinge sistematicamente alle conoscenze prodotte dagli scienziati, usando la scienza applicata come elemento risolutore di problemi pratici, che nel settore dell'astrofisica spaziano dall'ottica all'elettronica, dalle telecomunicazioni all'informatica, dal controllo ambientale alla medicina, dall'energia fino ai beni culturali.

Così, ogni volta che un telescopio spinge il suo sguardo oltre i limiti dell'orizzonte conosciuto, anche il nostro orizzonte si amplia e qualcosa che ci riguarda da vicino resta a terra: materiali innovativi, nuove

**Parlare di
innovazione
tecnologica significa
parlare del ruolo
della scienza nella
società**



A CACCIA DI ESOPIANETI

La Via Lattea risplende sul deserto di Atacama, in Cile e sul Next Generation. In primo piano: il Next Generation Transit Survey, in funzione all'osservatorio Eso del Cerro Paranal. Crediti: ESOM, Zamani

tecnologie, soluzioni d'avanguardia alle sfide di tutti i giorni. Parlare di innovazioni tecnologiche provenienti dalla ricerca scientifica significa parlare ancora del ruolo della scienza nella società.

L'Istituto nazionale di astrofisica di tutto questo è consapevole. Le ricadute tecnologiche e industriali rendono i risultati della ricerca scientifica accessibili in tempi relativamente brevi, mentre un sistematico scambio di conoscenze fra i ricercatori e tecnici delle imprese induce sinergie vincenti a lungo termine, capaci di generare nuovi mercati che vadano oltre la mera commessa di produzione industriale.

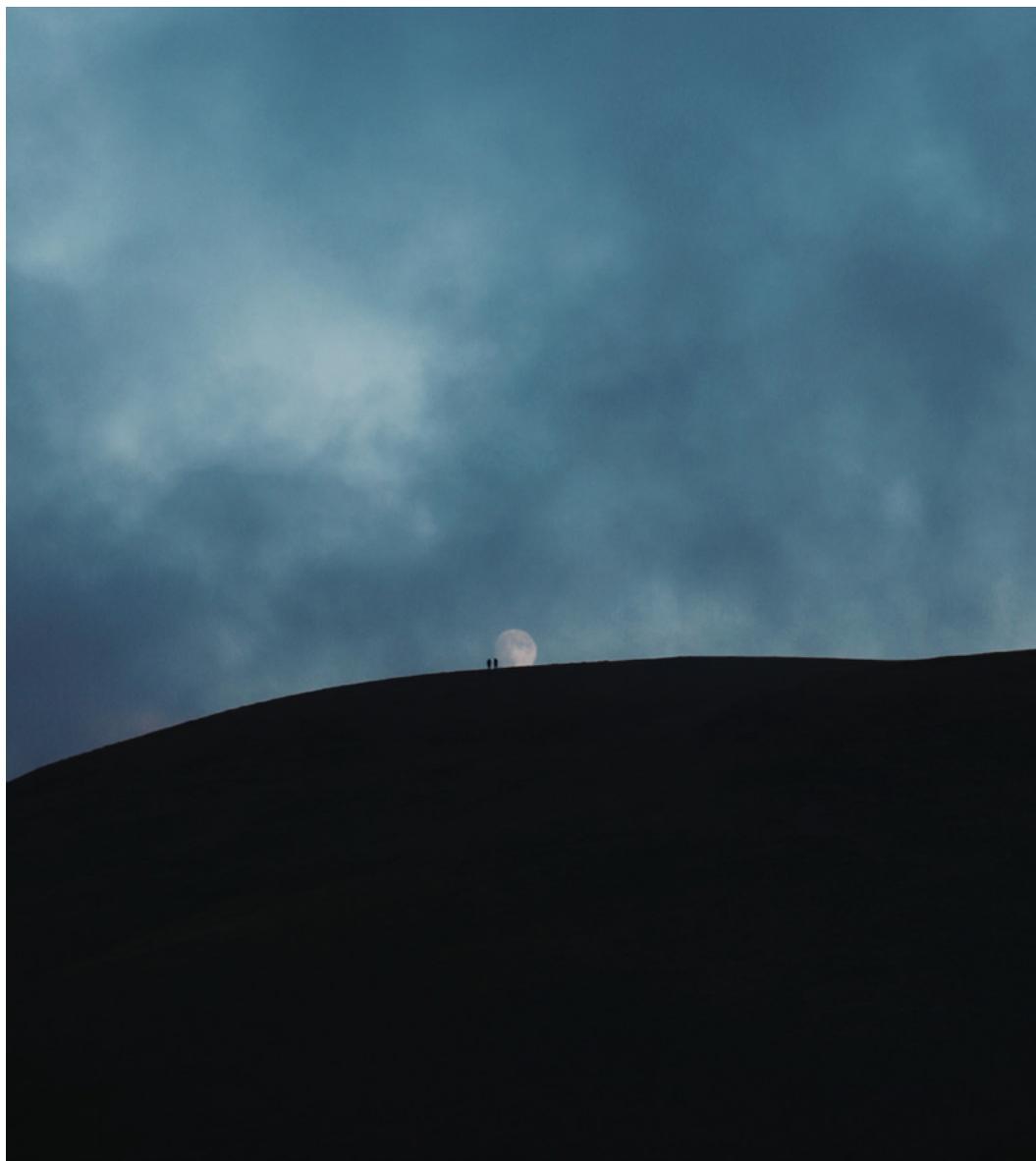
D'altra parte, il successo stesso dell'astrofisica è delegato alla realizzazione di infrastrutture osservative sempre più performanti, fatto che rende a maggior ragione quello tra la scienza e *Sua maestà la tecnologia* (P. Greco, 2001) un connubio indissolubile.

Questa rubrica si propone come un viaggio attraverso i molteplici orizzonti di questo fertile sodalizio. ■

Sotto la stessa Luna

di Francesca Maria Aloisio

Un incontro interculturale getta le basi per una nuova collaborazione: scienza e cultura si raccontano osservando e studiando la Luna.



Nella cultura islamica l'avvistamento della falce di Luna crescente ha un ruolo fondamentale nel determinare la fine e l'inizio del nuovo mese

C'è un progetto in particolare che vogliamo raccontarvi in questo primo numero della rubrica "Incontri", perché proprio da un incontro è nato. Persone e culture diverse hanno infatti avviato un percorso di reciproca conoscenza a partire da un magnifico punto in comune: la Luna.

L'incontro in questione avviene nel 2017, nell'ambito di un master in studi interculturali, e vede protagonisti un Imam e alcuni ricercatori dell'Inaf accomunati da un profondo interesse per il dialogo tra culture e da una spiccata propensione a mettere in piedi progetti innovativi. Quello è stato il primo incontro tra l'Inaf e la Comunità islamica italiana, rappresentata dal Centro islamico culturale d'Italia, unico ente islamico riconosciuto a oggi dalla Repubblica Italiana. A quello ne sono seguiti molti altri.

Nella cultura islamica l'avvistamento della falce di Luna crescente ha un ruolo fondamentale nel determinare la fine e l'inizio del nuovo mese: il mancato avvistamento significa che il mese finirà con uno o più giorni di ritardo (in base a quando verrà avvistata), generando molteplici implicazioni nelle varie comunità musulmane.

Nonostante la pandemia, nell'aprile del 2020 è stata formalizzata una lettera di intenti tra le parti per avviare una collaborazione su un nuovo modello di sviluppo relazionale sostenibile: un dialogo interculturale che ha come fini una più capillare diffusione scientifica dell'astronomia nella comunità islamica nazionale e una nuova fase di confronto culturale e scientifico. La lettera di intenti ha dato il via alla costituzione di una Commissione scientifica bilaterale, per garantire equilibrio e incisività prospettica di lavoro congiunto, e a un tavolo scientifico interculturale.

A oggi questa è un'esperienza unica e innovativa nel panorama europeo, e vuole fare da apripista non solo in Italia ma in tutto il vecchio continente, dove l'Islam è diventata la seconda fede professata. Il Centro islamico, nel rispetto del ruolo istituzionale che il riconoscimento da parte della Repubblica italiana comporta, vuole rendere un ulteriore servizio alla comunità dei fedeli musulmani italiani, aprendo loro nuove vie di cooperazione e formazione.

Il primo evento ufficiale si è svolto il 23 aprile del 2020, quando i ricercatori dell'Inaf collegati da tutta Italia, chi da un osservatorio deserto chi dal tetto di casa, hanno cercato di osservare la prima falce di Luna nuova, segno di avvio del mese di digiuno, cosa non banale visto che era molto bassa sull'orizzonte e molto vicina al Sole al tramonto. Ma è proprio per spiegare la Luna e i suoi moti che i ricercatori si sono messi in gioco in questa nuova avventura.

Da allora, ogni anno si è svolto almeno un evento diffuso sul territorio nazionale nei giorni che precedono l'inizio del mese di Ramadan, e già sono in programma azioni per l'avvistamento della Luna in altre occasioni di grande importanza per l'Islam, come la fine del Ramadan, l'inizio del mese del pellegrinaggio (Dhu'l Hijja) e l'inizio del Capodanno islamico (Muharram).

Nel tempo è stata coinvolta nel progetto anche l'Unione astrofili italiani, che sta dando grande supporto nell'ampliare la platea di Imam che possono essere coinvolti nelle osservazioni. Tutto nell'ottica di fornire gli elementi scientifici necessari alla corretta interpretazione dei moti della Luna e dell'avvistamento lunare, sui quali si fonda il calendario islamico. ■

GUARDA CHE LUNA

Nubi di sabbia, sollevate da una tempesta, avvolgono il disco della Luna mentre due figure risalgono il crinale di una duna nel deserto.
Crediti: Pexels/K. Yilmaz

Un universo di dati astronomici da esplorare in 3D

di Laura Leonardi

La realtà virtuale oggi può supportare i ricercatori nello studio degli oggetti astronomici e può costituire un ottimo strumento di divulgazione del sapere.

Simulazione al computer, mondi illusori, realtà mista, cyberspazio. In quanti modi possiamo definire la *realtà virtuale (VR)*? Una locuzione curiosa, giacché se qualcosa è *reale* non può essere *virtuale*, e viceversa.

Comunque la si spieghi, la realtà virtuale è un *trending topic* dei nostri tempi ed è anche probabile che nel futuro, non tanto prossimo, vengano inventati altri termini man mano sempre più in linea con il destino di questa tecnologia. Benchè, infatti, si parli di realtà virtuale già dalla fine degli anni Ottanta, è oggi che stiamo vivendo il divenire di questa tecnologia, definita *emergente*, fluida, che si adatta al contesto in cui viene adottata e che si è dimostrata uno strumento utile anche nel campo della ricerca scientifica e astronomica.

L'Istituto nazionale di astrofisica ricopre un ruolo di primo piano nell'ambito dello sviluppo di modelli fisici di oggetti astronomici grazie alle competenze di ricercatori e tecnologi che operano su tutto il territorio nazionale. Nel 2019 abbiamo assistito all'esordio del progetto 3DMAP-VR (Three Dimensional Modeling of Astrophysical Phenomena in Virtual Reality), per supportare i ricercatori nella visualizzazione di modelli 3D di fenomeni e ambienti fisici utilizzando la realtà virtuale.

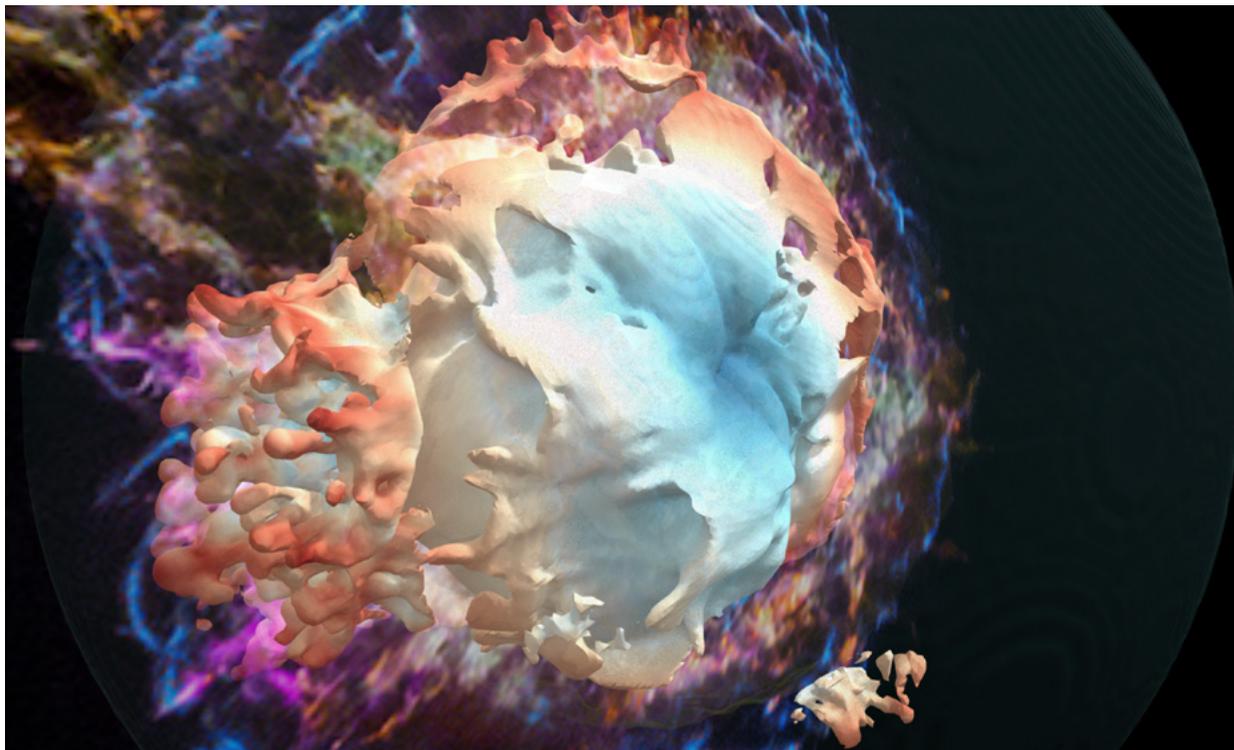
I modelli sono il risultato di simulazioni numeriche di codici magnetoidrodinamici, come Flash – sviluppato presso il Flash Center for Computational Science della University of Chicago (Usa) – e Pluto – sviluppato presso l'Università di Torino in collaborazione con l'Inaf, Scai-Cineca – che sono stati tradotti in ambienti virtuali utilizzando software come Paraview e Sketchfab.

Attraverso l'utilizzo di queste simulazioni visibili in realtà virtuale, i ricercatori riescono a osservare e analizzare la struttura e la morfologia degli oggetti astronomici studiati, il modo in cui si

L'ORIGINE DEL NOME

L'origine dell'espressione realtà virtuale è attribuita a Jaron Lanier, informatico e saggista, inserito nel 2010 dal Time tra i cento pensatori più influenti del nostro tempo.
Crediti: Jonathan Sprague





STELLA VIRTUALE

Simulazione virtuale della supernova Cassiopea
A esplosa circa 11 mila anni fa e la cui luce ha
raggiunto la Terra circa 350 anni fa.
Crediti: Salvatore Orlando, Inaf OAPA

distribuiscono gli elementi chimici che compongono l'oggetto, la complessa configurazione dei campi magnetici e la dinamica dei fenomeni astrofisici, tutti aspetti che è difficile, se non impossibile, evidenziare con le tradizionali tecniche di analisi.

Immaginate di tenere “tra le mani” una stella che è appena esplosa o la formazione di un sistema planetario e di poter mostrare i risultati delle analisi ottenute alla comunità di astrofisici professionisti. Una grande potenzialità comunicativa anche per studenti universitari, scuole e grande pubblico. La realtà virtuale si impone come mezzo coinvolgente e innovativo la cui entità sfida le nozioni più profonde di ciò che siamo abituati a definire comunicazione o didattica.

Ma non è l'unico esempio. Dal 2020 anche il software di realtà virtuale iDaVIE-v (immersive Data Visualisation Interactive Explorer for volumetric rendering) consente la visualizzazione e l'esplorazione dei dati in tre dimensioni per l'analisi scientifica. Il progetto è stato sviluppato con Unity presso il consorzio sudafricano Idia Visualization Lab (IvL) in collaborazione con l'Inaf.

La realtà virtuale fornisce un'esperienza immersiva senza pari, grazie alla quale una galassia, una supernova, un oggetto stellare diventano tanto “reali” che possiamo esplorarli per coglierne dettagli ed estrarre informazioni.

L'interesse dell'Inaf verso le tecnologie emergenti ha fatto sì che venissero finanziati progetti come il Prin “Virtual Reality and Augmented Reality for Science, Education and Outreach” terminato a marzo 2023, che in un'ottica di trasferimento dei saperi e impegno sociale o *public engagement*, ha realizzato dei prodotti accessibili a tutti e intessuto reti di rilevanza strategica per lo sviluppo del territorio e la ricaduta sul sistema educativo ed economico del nostro Paese. ■

► A ogni uscita di *Universi*, approfondiremo la conoscenza di un'esperienza virtuale prodotta dal nostro istituto di rilievo sia per la ricerca che per la comunicazione e l'outreach.

I tesori di Juice e Euclid

di Claudia Mignone

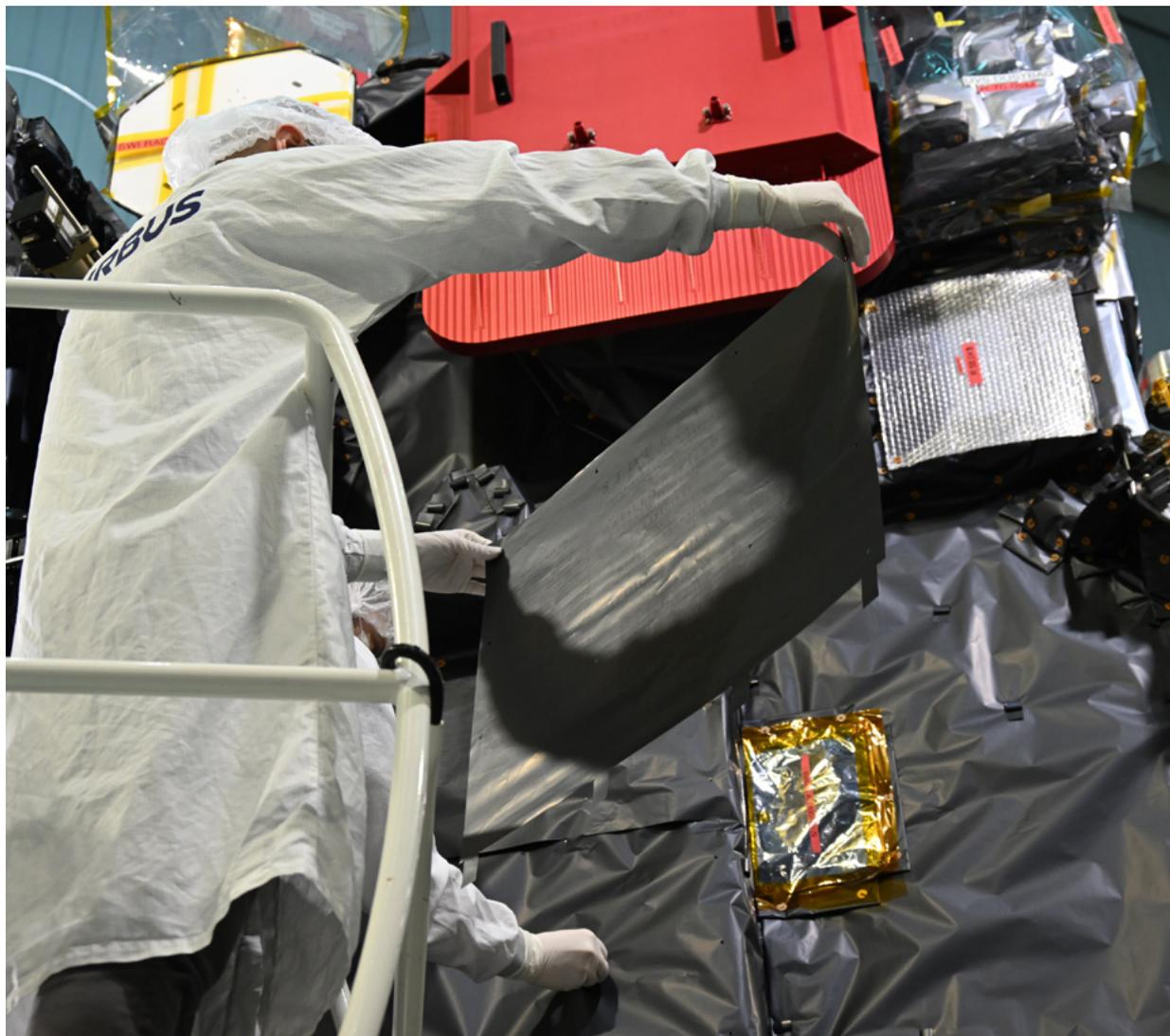
Due missioni dell’Agenzia spaziale europea si fanno ricerca, ma anche testimonianza di bellezza. Juice ed Euclid studiano le nostre origini cosmiche portando con loro alcuni dei tratti più peculiari dell’umanità: la creatività artistica e il passato storico.

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

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

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





GUARDA CHE LUNE

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

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

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

L'astronomia può essere sostenibile?

di Valentina Guglielmo

Cercare risposte tra i corpi celesti può inquinare. Ecco allora che anche ricercatori e istituti sono chiamati a ridurre le proprie emissioni per preservare il benessere della Terra. Fra questi, anche l'Inaf.



Inaf-Green cerca nuove strategie per migliorare l'efficienza energetica delle strutture Inaf, dagli istituti ai siti osservativi

Un astronomo europeo produce circa tre volte le emissioni di un cittadino medio. È questa la conclusione di uno studio pubblicato su *Nature* il 21 marzo 2022 che voleva rispondere alla domanda: qual è l'impatto delle infrastrutture associate alla ricerca astronomica in termini di emissioni?

Fra gli astronomi, negli ultimi anni è nato il movimento Astronomers for Planet Earth, che conta più di 1650 aderenti provenienti da 75 paesi e ben tre premi Nobel. Lo scopo principale è creare una coscienza collettiva del problema e far conoscere le teorie che stanno dietro al cambiamento climatico. Il primo messaggio che si vuol diffondere è: non possiamo contare su un "pianeta B". Il secondo, che si legge chiaramente in questo studio, è: dobbiamo partire da "noi".

«C'erano già state varie iniziative di altri gruppi per stimare le emissioni di gas serra dovute ad alcuni aspetti del nostro lavoro come i viaggi e l'uso dei calcolatori. Tuttavia, a parte rare eccezioni, esistevano pochissime informazioni sulle emissioni dovute alla costruzione e gestione di telescopi e osservatori» racconta a *Universi* Luigi Tibaldo, ricercatore dell'Istituto di astrofisica e planetologia (Irap) dell'università di Tolosa sul quale è stata condotta l'indagine. «L'obiettivo del nostro studio è fornire una prima stima globale delle emissioni di gas serra dovute alle infrastrutture di ricerca in astronomia».

Per l'Irap, la costruzione e la gestione dei telescopi spaziali e terrestri sono responsabili del 55% delle emissioni. La seconda voce a pesare sul bilancio (per il 18%) è l'acquisto di materiale e servizi. E poiché questi acquisti hanno come scopo principale lo sviluppo di nuovi strumenti, la prima conclusione è che sono proprio gli strumenti scientifici la sorgente primaria di emissioni. Al terzo posto (16%) troviamo i viaggi per raggiungere gli osservatori e per partecipare a riunioni e conferenze. L'infrastruttura locale (riscaldamento, consumo di elettricità, rifiuti), invece, genera poco più del 10% delle emissioni: l'Irap, infatti, si serve principalmente di energia a basse emissioni.

«Gli accordi di Parigi richiedono di ridurre drasticamente le emissioni di gas a effetto serra, e per l'Europa parliamo di un fattore circa cinque rispetto a quelle attuali» continua Tibaldo. «Non è chiaro quanto spetti a noi astronomi perché gli obiettivi sono globali e non si applicano a settori specifici. Tuttavia, poiché attualmente le nostre attività di ricerca producono emissioni più abbondanti della media della popolazione, è chiaro che una riduzione è necessaria. Speriamo che i nostri risultati abbiano due effetti. Il primo, convincere istituti a fare delle stime più precise, complete e sistematiche dell'impatto ambientale e a rendere questi dati pubblici. Il secondo, invitare la comunità scientifica a riflettere su come svolgere il proprio ruolo nella società senza compromettere il futuro delle prossime generazioni e dell'ecosistema terrestre».

E a essere convinto che sia importante interessarsi alla questione, ora, c'è anche l'Inaf. «Inaf-Green, il Gruppo Riqualificazione ecologica ed energetica, si è formato proprio per stabilire rapidamente strategie di miglioramento dell'efficienza energetica degli istituti e dei siti osservativi Inaf», dice Richard Laurence Smart, ricercatore dell'Inaf di Torino che fa parte del gruppo. «Abbiamo come primo obiettivo la riduzione delle emissioni e intendiamo promuovere e implementare iniziative di sostenibilità. Si tratta di un gruppo di lavoro recente ma sono sicuro che faremo un buon lavoro, perché i ricercatori sensibili all'argomento e pronti a impegnarsi non mancano». ■

Alla ricerca delle nostre origini cosmiche

di Giuseppe Fiasconaro

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

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

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

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

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



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

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

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

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

MusAB: il museo astronomico di Brera

di Ginevra Trinchieri

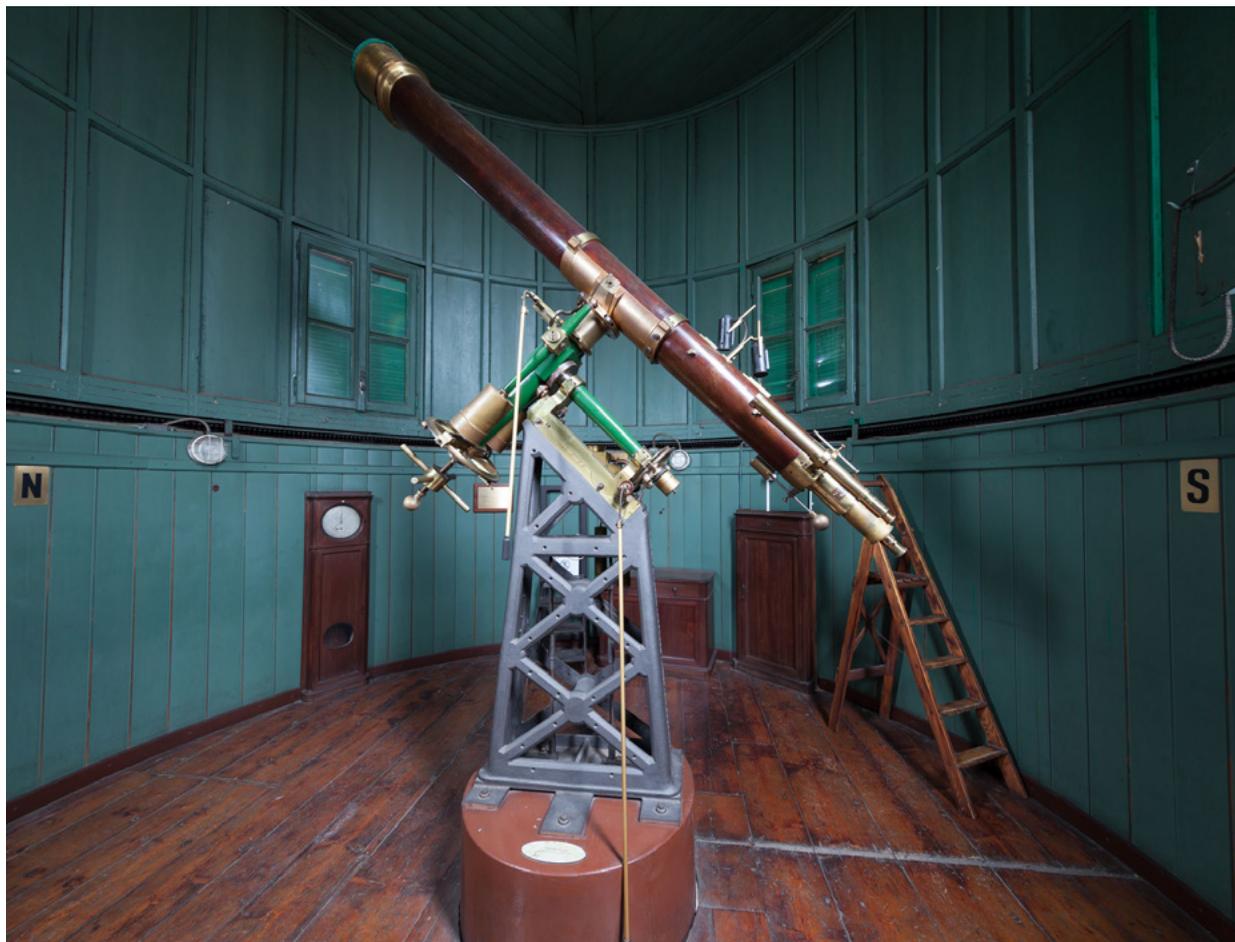
Un luogo storico, un luogo di innovazione. Le origini dell'Osservatorio Astronomico di Brera, dove la scienza è fin dalle origini protagonista assoluta.

L'Osservatorio Astronomico di Brera è uno degli osservatori più antichi. Nasce infatti sui tetti di Palazzo Brera in seguito all'avvistamento, nel 1760, di una cometa nel 1760 da parte di due padri gesuiti del Collegio di Brera, Domenico Gerra e Pasquale Bovio, insegnanti di materie scientifiche e appassionati di astronomia. La scoperta ebbe ampia eco tra la cittadinanza e spinse il rettore del Collegio, prestigiosa scuola di istruzione superiore per clero e nobiltà, ad adoperarsi per dotare Milano di una specola. Con l'arrivo nel 1762 di Padre Luigi La Grange, direttore dell'Osservatorio di Marsiglia, e nel 1764 di padre Ruggero Boscovich, professore all'Università di Pavia e responsabile del progetto per il nuovo osservatorio, ebbe inizio la lunga e importante storia della ricerca astronomica a Milano. Con l'allestimento museale nel corridoio di ingresso possiamo ripercorrere gli oltre 250 anni della sua storia. Non un museo dell'astronomia, quindi, ma un percorso che spiega cosa fa l'astronomo o l'astronoma nel proprio lavoro, attraverso gli strumenti e i protagonisti delle ricerche e delle scoperte a Brera.

Gli astronomi della fine del Settecento avevano dei telescopi rifrattori con lenti di pochi centimetri di diametro. Un secolo dopo Schiaparelli, direttore dell'osservatorio per quasi tutta la seconda metà dell'Ottocento, aveva ottenuto dal nuovo governo del Regno d'Italia di rinnovare la dotazione di strumenti a disposizione dell'osservatorio. Il rifrattore da 22 centimetri, costruito dalla Merz di Monaco di Baviera, è ancora perfettamente conservato nella sua cupola originale. Fu con questo strumento che Schiaparelli iniziò lo studio sistematico della superficie di Marte, come accuratamente registrato nella ventina di diari osservativi conservati nell'archivio storico dell'osservatorio e dalle mappe dettagliate della superficie del pianeta. Un pannello del Museo dedicato a Marte e a Schiaparelli permette al visitatore di conoscere e apprezzare l'importanza

MUSEO ASTRONOMICICO DI BRERA
via Brera 28, 20121 Milano





IL MERZ
 Il telescopio rifrattore Merz nella suggestiva cupola da cui Schiaparelli iniziò la sua lunga serie di osservazioni del pianeta Marte..
 Crediti: M. Carpino, Inaf OaBrera

di queste mappe, che sono utili non solo per i nomi delle strutture marziane, ancora in uso oggi, ma perché forniscono tuttora i punti di riferimento per le missioni spaziali sul pianeta rosso.

Il Museo è testimone anche dell’impegno dell’osservatorio verso la società e la sua partecipazione alla vita civile della città e della nazione: quando richiesto dalle autorità, gli astronomi si dedicarono a misure cartografiche precise per la mappa del milanese e mantovano, costruiscono la meridiana nel Duomo di Milano per poter annunciare il mezzogiorno alla città e proseguirono fornendo l’ora esatta, prima per regolare i nuovi orologi elettrici comparsi nelle strade milanesi a fine Ottocento e poi per il segnale orario a disposizione di tutta Italia attraverso la Sip. L’ultimo magnetometro al mondo ancora intatto, usato durante la campagna promossa da Gauss nella seconda metà dell’Ottocento, testimonia l’interesse degli astronomi nelle misure del geomagnetismo. La serie meteorologica storica, ininterrotta dal 1763 (salvo pochi momenti di rilevanza storica), è valse all’Osservatorio il riconoscimento di “Long Term Observing Station” dalla World Meteorological Organization.

Grazie anche alle moderne tecnologie digitali che completano e arricchiscono il percorso, il Museo Astronomico di Brera si può considerare un luogo unico in cui la scienza, vera protagonista della vita dell’osservatorio, si confronta con la sua storia passata, ripercorrendo le grandi conquiste fatte dall’umanità negli ultimi 250 anni, e si proietta nel futuro, testimone della vitalità, della professionalità e del contributo dato dall’Osservatorio Astronomico di Brera. ■



musci



MAGNETOMETRO DI MEYERSTEIN

Strumento, unico rimasto del suo genere, acquisito nel 1836 per aderire alla campagna internazionale promossa da Gauss per lo studio del campo magnetico terrestre.

Crediti: M. Carpino, Inaf OaBrera



TELESCOPI RIFRATTORI

Costruiti quasi interamente nell'officina dell'Osservatorio, questi telescopi furono utilizzati fino a inizio Ottocento dai tetti di Brera per osservare Luna, pianeti, eclissi e comete.
Crediti: M. Carpino, Inaf OaBrera

CARTA TOPOGRAFICA

Questa carta topografica del Milanese e del Mantovano, commissionata a Brera nel 1786 dal governo austriaco, ha richiesto sei anni di rilevazioni topografiche ottenute combinando misure astronomiche di latitudine e longitudine con misure di triangolazione geodetica.
Crediti: M. Carpino, Inaf OaBrera

CORRIDOIO DEGLI STRUMENTI

Così si presenta al visitatore la raccolta degli strumenti storici dell'Osservatorio Astronomico di Brera nel nuovo allestimento del Museo.
Crediti: M. Carpino, Inaf OaBrera

Un premio alla didattica digitale dell'Inaf

di Maura Sandri

La piattaforma Play Inaf continua a fornire risorse, a supportare famiglie e scuole nell'arduo compito dell'educazione scientifica. Uno strumento internazionale, premiato per la sua didattica innovativa.

Quest'anno è iniziato alla grande, con un prestigioso riconoscimento all'Istituto nazionale di astrofisica per la sua piattaforma di didattica innovativa Play Inaf (play.inaf.it). Si tratta del premio CLASSified Award 2023 assegnato da Class Editori a Play Inaf come uno dei 100 migliori prodotti del 2022 nel settore dell'innovazione tecnologica e digitale, nella categoria "Educare i figli".

In accordo con la Terza missione dell'ente, il filo conduttore di tutte le risorse didattiche proposte sulla piattaforma è l'astronomia e, in ambito digitale, uno degli strumenti che la piattaforma promuove è il coding, una disciplina trasversale che ha come base il pensiero computazionale. Molte delle risorse digitali proposte utilizzano Scratch, un ambiente di programmazione visuale, sviluppato dal gruppo di ricerca Lifelong Kindergarten presso il Multimedia Lab del MIT di Boston, particolarmente adatto per insegnare le basi della programmazione agli studenti, anche quelli più giovani.

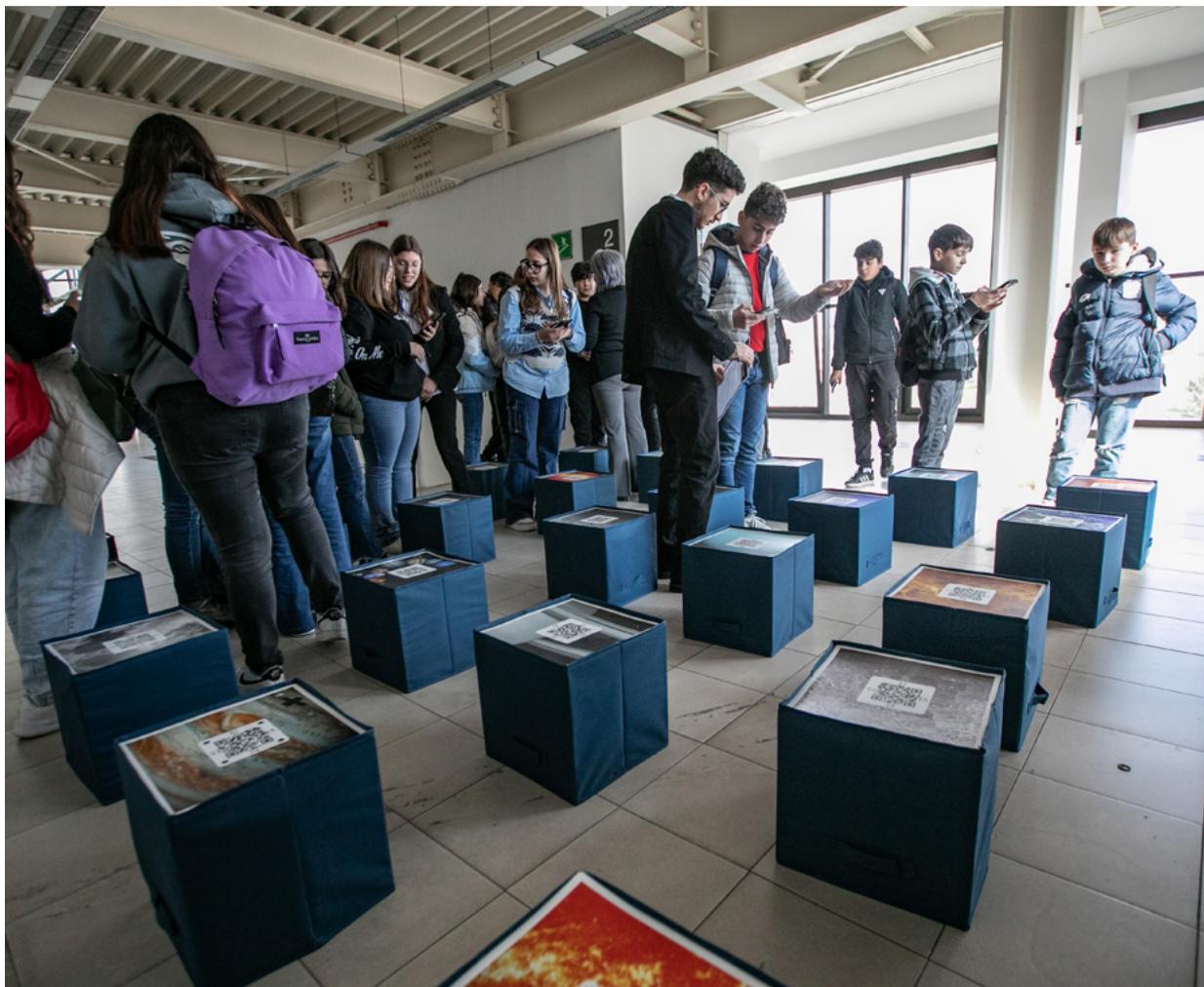
Le prime risorse proposte su Play Inaf sono nate durante il periodo della pandemia quando, costretti all'isolamento, un gruppo di ricercatori e tecnologi hanno sentito l'urgenza di supportare non solo il mondo della scuola ma anche le famiglie. Forte delle lezioni apprese durante l'isolamento sociale, Play Inaf continua la sua attività a pieno ritmo nella "nuova normalità" post-covid, affiancando all'offerta didattica online anche iniziative in presenza, tra cui corsi di formazione per docenti e la partecipazione ai festival della scienza con attività quali il Cody Maze Astrofisico e la escape room "A cavallo di un fotone".

Oltre alle attività legate al coding, nel sito sono presenti risorse di robotica educativa, che includono la possibilità di programmare piccoli robot com-



Edu Inaf

L'Istituto nazionale di astrofisica ha un vero e proprio magazine online dedicato alla didattica e divulgazione, Edu Inaf: uno spazio innovativo che dà voce alle attività di tutte le sedi dell'ente presenti sul territorio e mette in relazione la ricerca astronomica con i diversi pubblici. Risorse didattiche, rubriche, approfondimenti, corsi online, eventi, concorsi per le scuole e dirette osservative trovano sulla rivista, diretta da Livia Giacomini, un punto d'incontro tra la comunità scientifica, gli insegnanti, gli studenti e il pubblico interessato a contenuti astronomici di qualità.



CODY MAZE ASTROFISICO
 Il labirinto virtuale allestito a Esperienza inSegna, la manifestazione scientifica organizzata dall'associazione Palermoscienza. Crediti: Palermoscienza/Esperienza inSegna

merciali come se dovessero affrontare l'esplorazione marziana o muoversi nello spazio evitando buchi neri; oppure di making con Arduino, una piattaforma hardware composta da una serie di schede elettroniche dotate di un microcontrollore, con la quale si possono realizzare semplici dispositivi che utilizzano sensori e attuatori. Anche in questo caso il software di controllo è libero, come lo sono tutte le attività che si trovano su Play Inaf.

Rimanendo in ambito digitale, la piattaforma offre una vasta raccolta di risorse basate sulla realtà virtuale – che permette di immergersi all'interno di un mondo generato dal computer utilizzando dati scientifici, software grafici e dei visori adatti, come quelli *Oculus* – e sulla realtà aumentata, che si attiva utilizzando un semplice smartphone o un tablet per arricchire la realtà che ci circonda.

Ma Play Inaf non offre solo risorse digitali: innumerevoli sono i laboratori *hands-on* proposti sul sito per comprendere alcuni aspetti legati alla fisica e all'astronomia, in particolare dedicati allo studio della luce, così come le attività di tinkering e i giochi, molti dei quali ideati dai ricercatori stessi.

Da quando è stata pubblicata, la piattaforma – disponibile in italiano, inglese, francese e tedesco – conta oltre 55mila utenti (mediamente 1500 utenti mensili con picchi che arrivano a 4mila durante le Europe Code Week, la settimana europea della programmazione). Negli ultimi 12 mesi, i nuovi utenti sono stati 29mila, distribuiti in tutto il mondo, a testimonianza del fatto che Play Inaf è, di fatto, una piattaforma internazionale. ■

Janna Levin

Manuale di sopravvivenza ai buchi neri

di Gabriele Ghisellini



Al giorno d'oggi è difficile scrivere un libro originale sui buchi neri, data la grande quantità di libri pubblicati sull'argomento. E non è facile neppure rivolgersi a un pubblico ampio, non particolarmente esperto di relatività generale, di spaziotempi che si torcono sotto l'azione della gravità.

Entrambe le sfide sono state affrontate da Janna Levin, professoressa di cosmologia alla Columbia University, quindi abituata a “mangiare pane e buchi neri” tutti i giorni, che ha scelto di usare un linguaggio semplice e assolutamente informale per raccontarci un viaggio verso le strepitose meraviglie provocate dalla gravità dei buchi neri. Lo ha fatto usando lo stratagemma di accompagnare il lettore come un turista spaziale (da qui il titolo) alla scoperta di una realtà completamente diversa da quella a cui siamo abituati qui, sulla nostra Terra, dove la forza di gravità è debole e tutto sommato rassicurante. La narrazione si dipana attraverso brevi capitoli che mostrano come lo stesso palcoscenico in cui le cose accadono, lo spazio e il tempo, venga modificato dalla presenza di un buco nero. Modifiche che diventano sempre più grandi se ci si avvicina a una distanza limite, che possiamo chiamare di non ritorno, oltrepassata la quale dovremmo abbandonare ogni speranza di tornare nel nostro mondo. Ma che cosa vedremmo, noi poveri turisti spaziali, se malauguratamente varcassimo questa soglia? Potremmo continuare a vedere e a sentire il mondo di fuori? E viaggeremo nel vuoto fino al centro del buco nero stesso? E cosa c'è dentro? Di cosa è fatto? Possiamo avere qualche speranza, anche minima, di sopravvivere a questa avventura? Queste sono le domande a cui il libro cerca di dare una risposta. Non ha la pretesa di spiegare il perché, ma racconta il come.

Il libro finisce presentando un enigma irrisolto che ancora incuriosisce e fa discutere gli scienziati. Riguarda un fatto strano, all'apparenza banale:

Un libro consigliato a chi è curioso di conoscere più da vicino i buchi neri: dopo averlo letto, gli verrà voglia di approfondire



L'AUTRICE
 Janna Levin, autrice di *Manuale di sopravvivenza ai buchi neri* (Il Saggiatore, 2022), negli spazi del centro Pioneer Works di Brooklyn, di cui è direttrice scientifica.
 Crediti: Nate Palmer

la possibilità che nei buchi neri l'informazione si perda. Per decenni li abbiamo pensati come delle isole ecologiche perfette, dove poter buttare tutta la nostra spazzatura. Infatti un buco nero ha solo tre proprietà: la massa, la rotazione e la carica. Quindi, da fuori, non posso sapere se è fatto di spazzolini da denti o di trattori. Se la massa totale dei trattori e degli spazzolini è la stessa non posso distinguere i buchi neri corrispondenti. L'informazione è persa. Aperti cielo: in fisica, questo non è possibile! Dopo decenni di studi, di scoperte e di indagini abbiamo forse compreso un pezzo della risposta: l'informazione si trova sulla superficie di non ritorno dei buchi neri, come se fosse un'olografia, ma non sappiamo ancora come fare a recuperarla.

Un libro consigliato a chi è curioso di conoscere più da vicino i buchi neri: magari ne ha sentito parlare ma non ne sa molto. Dopo averlo letto, gli verrà voglia di approfondire la conoscenza. ■

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



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

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

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