

u n i v e r s i



rivista semestrale
giugno 2024

3

inaf

8 Gas freddo nell'universo primordiale **16** Una nuova valanga di informazioni da Gaia **24** Solar Orbiter vicino alla soluzione di un mistero solare **32** Un giallo al centro della Via Lattea **40** Ska-Low: un'avventura per l'Inaf **50** Einstein Telescope, una scelta strategica **54** Agile: l'avventura del satellite Made in Italy

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

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

COMITATO SCIENTIFICO

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

COORDINAMENTO REDAZIONALE

Cecilia Toso

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Chiara Athor Brolli

IMMAGINI

Le immagini senza credito
provengono dall'Archivio
Inaf

STAMPA

Grafiche Zanini srl
Via Emilia 41e
40011 Anzola dell'Emilia

universi 3

In questo numero

- 8 **RSN 1 | GALASSIE E COSMOLOGIA** Gas freddo nell'universo primordiale
- 16 **RSN 2 | STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE**
Una nuova valanga di informazioni da Gaia
- 24 **RSN 3 | SOLE E SISTEMA SOLARE** Solar Orbiter vicino alla soluzione di un mistero solare
- 32 **RSN 4 | ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE** Un giallo al centro della Via Lattea
- 40 **RSN 5 | TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE** Ska-Low: un'avventura per l'Inaf

4

EDITORIALE

Eredità e nuovi orizzonti

8

RSN 1 | Gas freddo nell'universo primordiale

16

RSN 2 | Una nuova valanga di informazioni da Gaia

24

RSN 3 | Solar Orbiter vicino alla soluzione di un mistero solare

32

RSN 4 | Un giallo al centro della Via Lattea

40

RSN 5 | Ska-Low: un'avventura per l'Inaf

50

INTERVISTA AD ANNA MARIA BERNINI
Einstein Telescope, una scelta strategica

54

INTERVISTA A MARCO TAVANI
Agile: l'avventura del satellite Made in Italy

58

VISIONE
testi di Davide Coero Borga
scatti di Valerio Muscella

66

FLASH
di Eleonora Ferroni

72

TECH
Coltelli, piramidi e petali
di Rossella Spiga

74

METAVERSO
L'aurora in una stanza
di Laura Leonardi

76

ART
Intrecci cosmici decoloniali
di Claudia Mignone

78

GREEN
L'aiuto di Webb nell'osservazione della Terra
di Valentina Guglielmo

80

ASTROBIOLOGIA
Cerere, Dawn e la sua *Virtù*
di Giuseppe Fiasconaro

82

MUSEI
Il Museo Astronomico e Copernicano di Roma
di Lucio Angelo Antonelli,
Marco Faccini, Giangiacomo Gandolfi, Francesco Poppi

86

SCUOLA
Giocare e costruire un pensiero scientifico
di Sara Ricciardi

88

LIBRI
Licia Troisi
Astrofisica per ansiosi
di Greta Zucchi

90

SOCIETÀ
Impatto sociale della ricerca astrofisica italiana
di Corrado Perna

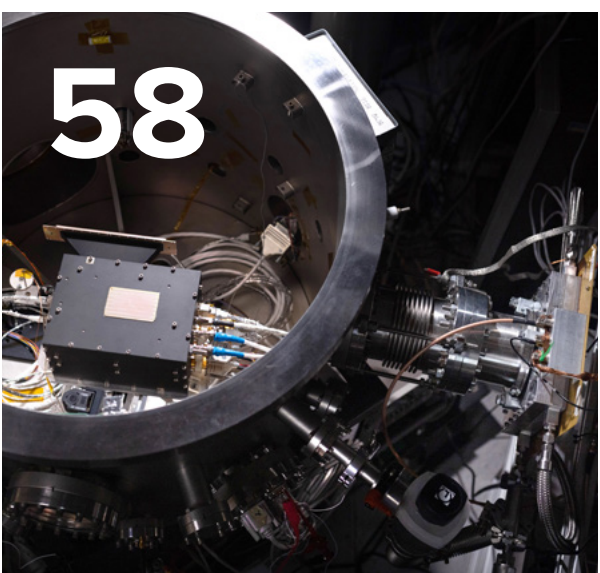
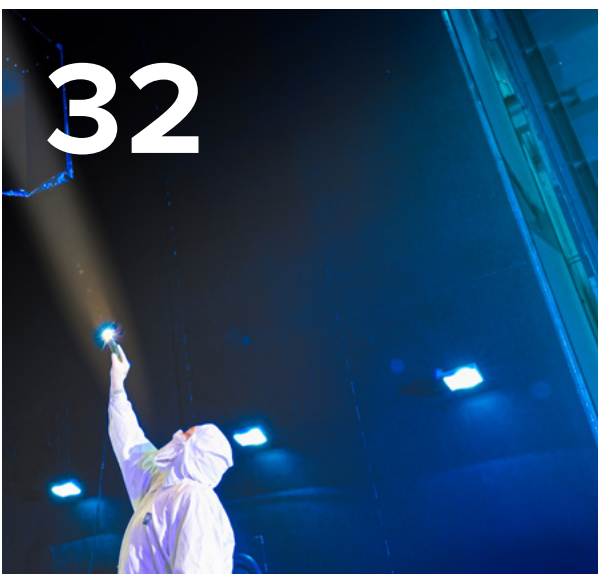
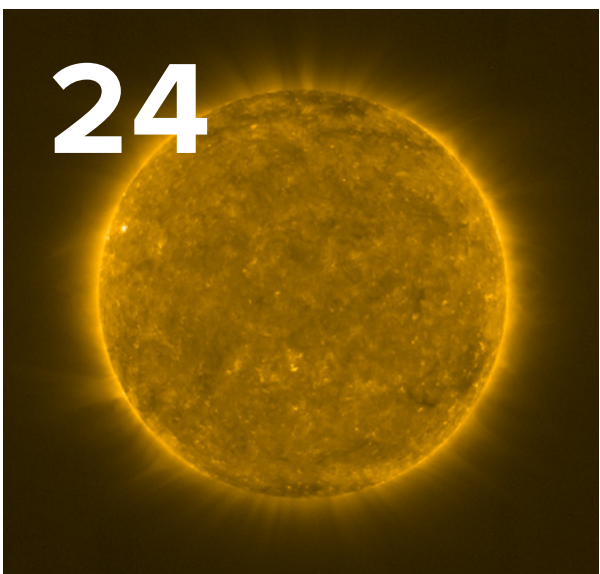
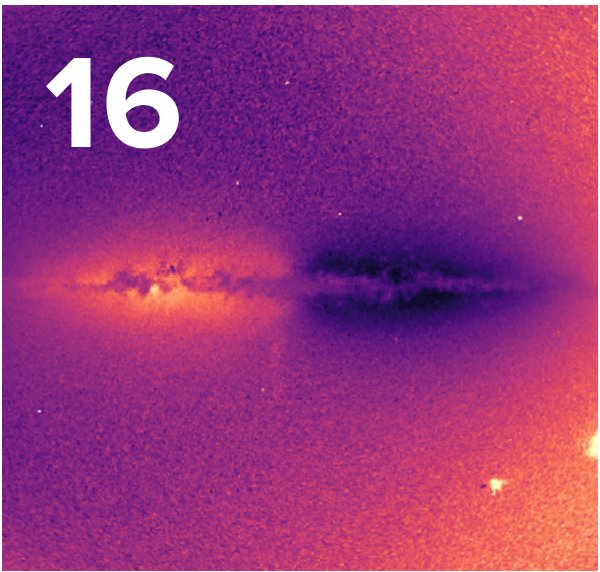
92

ALTRIVERSI
Sotto un sole pantera
di Angelo Adamo



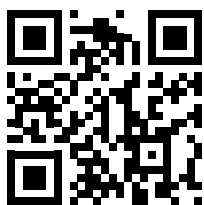
in copertina

Lo spettacolare caleidoscopio di colori in cielo, nella notte fra il 10 e l'11 maggio 2024.
Crediti: Cafuego



u n i v e r s i

Universi: un viaggio nello spazio iniziato un anno fa.
Tre numeri che conducono tra stelle, pianeti, satelliti
e missioni fantastiche.



È POSSIBILE **ABBONARSI GRATUITAMENTE** A
UNIVERSI COMPILANDO IL FORM SUL SITO.
SCARICA LA RIVISTA IN FORMATO
ELETTRONICO INQUADRANDO IL QR CODE
E TIENITI AGGIORNATO CON LA NOSTRA
NEWSLETTER.

editoriale

EREDITÀ E NUOVI ORIZZONTI

È con immenso piacere che scrivo questo editoriale per presentare il nuovo numero di *Universi*. L'occasione è perfetta per ringraziare chi mi ha preceduto per il grande lavoro svolto e per aver fortemente voluto questa rivista.

Il contributo di Marco Tavani al mondo dell'astrofisica non si esaurisce certo con la sua esperienza di Presidente dell'Inaf: in questo numero potrete leggere la sua intervista sulla storia del satellite Agile, dove scoprirete quanto la nostra comprensione del cosmo è aumentata grazie a questo gioiello dell'ingegno italiano.

Raccolgo un'eredità preziosa e stimolante: il Ministro Bernini ci ha onorato della sua presenza con un contributo su uno dei progetti di astrofisica di frontiera che vedono il nostro ente coinvolto in prima fila: l'Einstein Telescope. Questo rappresenta un grande riconoscimento del lavoro svolto finora e uno stimolo per il futuro, specialmente nel campo dell'astronomia multimessaggera, dove l'Inaf può giocare un ruolo determinante nella scoperta e analisi di radiazioni elettromagnetiche associate a sorgenti di onde gravitazionali.

La mia nomina a Presidente avviene in un anno che segna una data importante per l'Inaf, il venticinquesimo anno dalla sua fondazione, avvenuta nel 1999, e coincide con un momento della storia dell'Istituto nel quale si è cercato di "farlo uscire" dagli osservatori e portarlo in mezzo alle persone. Un esperimento che promette di essere un successo: si è chiusa di recente a Palazzo Esposizioni di Roma la mostra dell'Inaf *Macchine del Tempo*, con oltre 50mila ingressi nei quattro mesi di programmazione, mentre è appena stata pubblicata la guida astronomica *Roma. Seconda stella a destra*, fortemente voluta dal Ministero degli affari esteri e della cooperazione, che ha apprezzato il lavoro già messo in campo per altre città, e grazie alla quale potrete visitare la capitale con un occhio al cielo.

In questo numero Chiara Feruglio e Luca Zappacosta ci portano quasi al confine dell'universo osservabile, con il quasar Pöniuā'ena nel quale, grazie alla straordinaria sensibilità di Noema, è stato scoperto gas molecolare freddo; Antonella Vallenari e Michele Trabucchi presentano l'ultima data release di Gaia e le sue principali scoperte, dal Sistema solare all'universo lontano; Daniele Telloni racconta di come Solar Orbiter si stia avvicinando alla soluzione di un mistero solare vecchio di 65 anni, quello della temperatura della corona solare; Riccardo Ferrazzoli e Paolo Soffitta descrivono un giallo al centro della nostra galassia, in cui la scena del crimine è la Zona molecolare centrale, una regione ampia 300 anni luce nella direzione della costellazione del Sagittario. Infine, Jader Monari ci fa vivere, con uno stile originale e avvincente, la partecipazione dell'Inaf al progetto Ska-Low: un cammino difficile, sfociato in un importante contributo dell'ente a un grande progetto internazionale. Buona lettura! ■

Roberto Ragazzoni

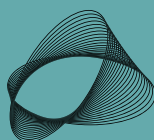
Presidente dell'Inaf



La mia nomina avviene in un anno importante per l'Inaf, il 25esimo dalla sua fondazione

RSN

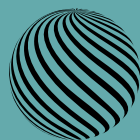
I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI
NAZIONALI DELL'INAF



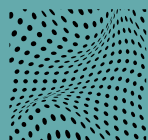
**GALASSIE
E COSMOLOGIA**



**STELLE,
POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE**



**SOLE E SISTEMA
SOLARE**



**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**



**TECNOLOGIE
AVANZATE E
STRUMENTAZIONE**

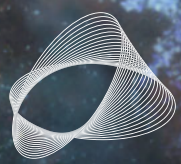




Gas freddo nell'universo primordiale

di Chiara Feruglio e Luca Zappacosta

Il fascino che l'essere umano prova per i quasar non è solo un ottimo tema per film di fantascienza, ma è il motore che stimola la continua indagine su questi fenomeni rarissimi. E che oggi sta portando lo studio della nostra storia cosmica a un nuovo livello.



Q

Quando esploriamo l'universo primordiale, nel primo miliardo di anni dall'inizio del tempo cosmico (corrispondente a un redshift superiore a 6), ci rendiamo conto che le sorgenti cosmiche più luminose sono i quasar. Questi fenomeni cosmici traggono la loro straordinaria energia dall'accumulo di materia che si riversa da un disco di accrescimento su un buco nero supermassiccio situato al centro del sistema. Questo processo rilascia una quantità enorme di energia, osservabile come una luminosità eccezionalmente elevata di tali sorgenti. Analogamente, nella nostra stessa galassia, la Via Lattea, esiste un simile buco nero, recentemente oggetto di studi approfonditi da parte della collaborazione Event Horizon Telescope (Eht), che ha prodotto la famosa immagine-ombra del buco nero, divenuta virale sui media. I quasar dell'universo primordiale funzionano in modo analogo, ma hanno una massa notevolmente superiore – dell'ordine di un miliardo di masse solari, circa 1000 volte quella del nostro "piccolo" buco nero domestico – e risultano quindi molto più luminosi: possiamo considerarli tra gli oggetti più violenti ed energetici dell'universo.

RARO COME UN QUASAR

Fino a ora, sono stati individuati circa 300 quasar risalenti all'epoca primordiale dell'universo nell'intero cielo. Potrebbero sembrare tantissimi, ma va sottolineato che, considerando il totale delle galassie conosciute, si tratta in realtà di un numero molto esiguo. Ciò suggerisce che la formazione e l'attivazione dei quasar sono eventi rari e proba-

bilmente dipendono da circostanze cosmiche molto specifiche. Retrocedendo ancora di più nel tempo, per esempio ai primi 700 milioni di anni dopo il big bang, la rarità dei quasar diventa ancora più evidente. Fino a oggi, risalenti a questo periodo così primordiale ne sono stati individuati solo otto esemplari.

Questo dato sorprendente mette in luce la straordinaria rarità di questi oggetti luminosi durante le prime fasi dell'evoluzione cosmica.

FASCINO INTRAMONTABILE

Uno dei quesiti più intriganti per gli astrofisici riguarda i primi quasar: com'è possibile che oggetti così massicci, racchiusi in un volume estremamente compatto, si siano formati in soli 700 milioni di anni dopo il big bang? Questo interrogativo suscita un grande interesse così come la loro natura "esotica", che da sempre affascina e ha ispirato l'immaginario collettivo, come spesso ritratto nei libri e film di fantascienza. Un esempio eloquente di questo affascinante mistero è stato presentato da *Interstellar* di Christopher Nolan. Nel film, il protagonista viaggia attraverso il cosmo alla ricerca di un nuovo pianeta abitabile per l'umanità, e durante il suo viaggio si imbatte in un buco nero supermassiccio chiamato Gargantua. La rappresentazione di Gargantua, sebbene sia una creazione cinematografica, ha contribuito a stimolare l'immaginazione del pubblico e a suscitare interesse per i fenomeni astrofisici più estremi.

I quasar primordiali, pur essendo fenomeni reali, evocano un senso di meraviglia e curiosità simile. La loro esistenza sfida la nostra comprensione e ci spinge a indagare più a fondo sulla natura dei buchi neri, sulla formazione delle galassie e sulle condizioni primordiali dell'universo. Oltre al loro fascino intrinseco, i quasar primordiali hanno un'importanza fondamentale nell'ambito astrofisico e giocano un ruolo cruciale in molteplici processi cosmici: intorno e insieme a loro si sviluppano le galassie più massicce che osserviamo, caratterizzate da enormi serbatoi di gas freddo e polvere e processi di formazione stellare intensissimi. Tuttavia, la questione su come si formino e quale impatto abbiano sull'evoluzione galattica sfida i modelli teo-

NERO, MA LUMINOSO

Alla pagina precedente: illustrazione di una galassia con un quasar brillante al centro.
Crediti: Nasa/Esaj. Olmsted (STScI)



NOEMA

Il Northern Extended Millimeter Array sull'altopiano di Bure, a cavallo dei dipartimenti francesi delle Alte Alpi, dell'Isère e della Drôme. Crediti: Iram-gre

Com'è possibile che i primi quasar, oggetti così massicci, racchiusi in un volume estremamente compatto, si siano formati in soli 700 milioni di anni dopo il big bang?

rici più sofisticati, non trovando ancora una risposta definitiva. La relazione tra un buco nero supermassiccio e la galassia che lo ospita è un tema di grande interesse: in che modo si influenzano reciprocamente? Qual è l'impatto esatto di questi buchi neri sulle prime fasi di evoluzione delle galassie? Queste domande costituiscono uno dei più grandi enigmi dell'astrofisica moderna e richiedono un approccio multidisciplinare e innovativo per essere comprese appieno.

PŌNIUĀ'ENA

Per affrontare concretamente queste affascinanti domande, un team internazionale, sotto la guida dei ricercatori dell'Inaf, si è dedicato a un'indagine dettagliata sulle proprietà di questi oggetti. Per ottenere una visione più chiara, il team ha focalizzato la propria attenzione su uno dei tre quasar più luminosi e distanti mai osservati, Pōniuā'ena, che in lingua hawaiana evoca "l'invisibile fonte volteggiante della creazione,



Oltre al loro fascino intrinseco, i quasar primordiali hanno un'importanza fondamentale nell'ambito astrofisico e giocano un ruolo cruciale in molteplici processi cosmici

circondata di brillantezza”. La luce di questa sorgente luminosa ha iniziato il suo viaggio attraverso il cosmo circa tredici miliardi di anni fa, durante l’epoca della reionizzazione. Quest’epoca segna una svolta cruciale della storia cosmica: l’universo, precedentemente opaco, diventa gradualmente trasparente

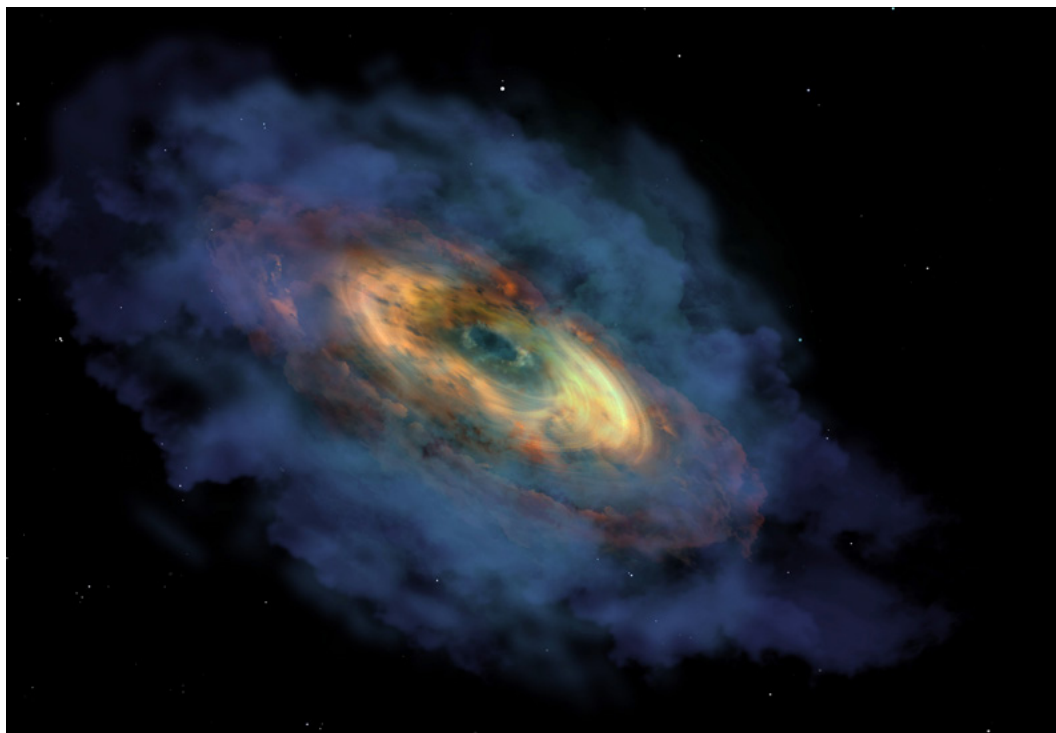
alla radiazione emessa da stelle e galassie. È grazie a questo processo che la luce prodotta dai corpi celesti può finalmente viaggiare attraverso lo spazio per arrivare oggi fino a noi.

I quasar come Pōniuā’ena sono emersi straordinariamente presto nella cronologia cosmica. Sono testimoni dell’ambiente estremo in cui si trovano, caratterizzato dall’accumulo eccezionale di gas e polveri. Tuttavia, le ragioni di questa precoce apparizione rimangono avvolte nel mistero, costituendo uno dei più grandi enigmi della moderna astrofisica extragalattica. Esplorare le profondità di Pōniuā’ena e della sua galassia non solo ci consente di scrutare indietro nel tempo, ma ci sfida anche a comprendere meglio la natura stessa dell’universo e i suoi intricati segreti. Pōniuā’ena, che cattura l’immaginazione con la sua grandezza e mi-

VIA LATTEA
Le antenne del Northern Extended Millimeter Array puntate verso il cielo notturno. Al centro dello scatto: la nostra galassia, la Via Lattea.
Crediti: Iram-gre



I quasar come Pōniuā'ena sono emersi straordinariamente presto nella cronologia cosmica. Sono testimoni dell'ambiente estremo in cui si trovano, caratterizzato dall'accumulo eccezionale di gas e polveri



IL QUASAR HAWAIANO

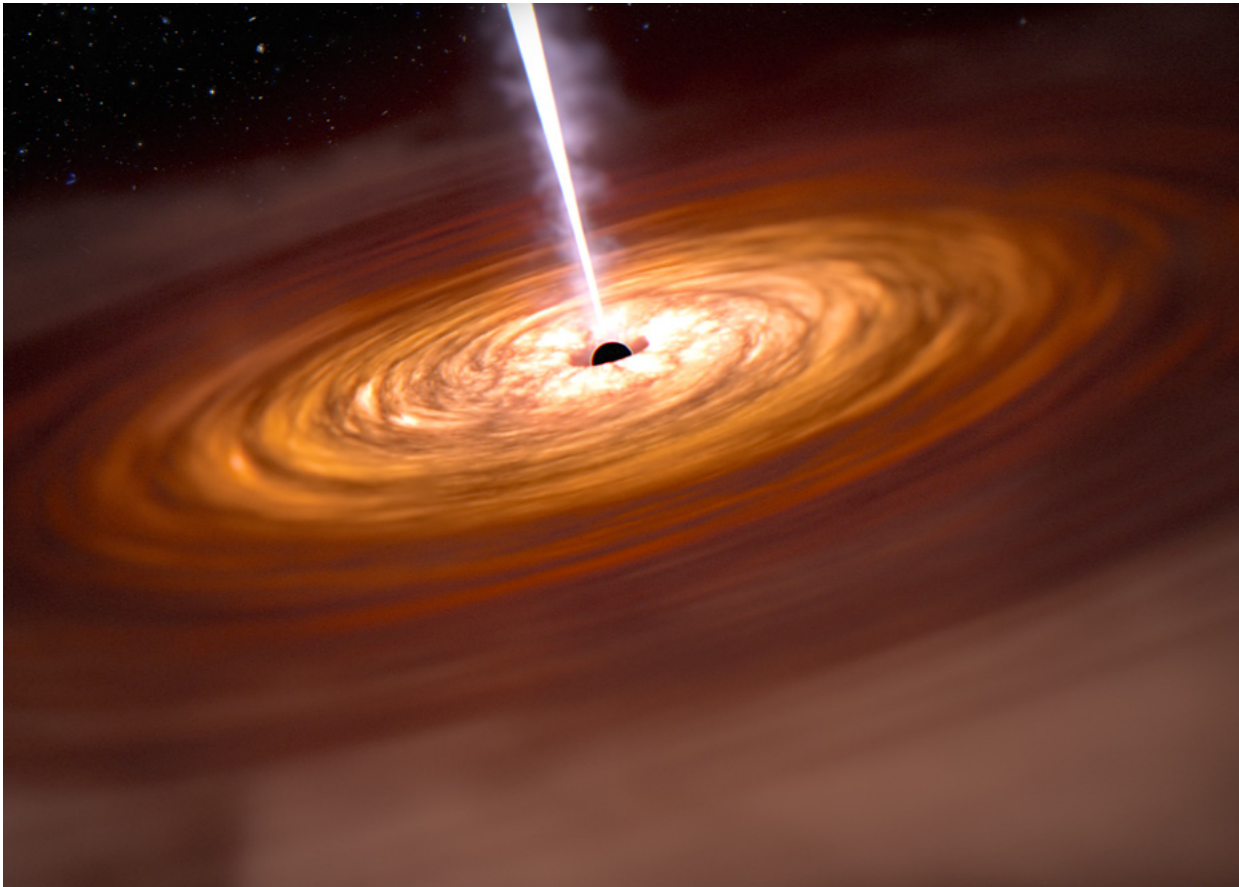
Illustrazione della formazione del quasar Pōniuā'ena, a partire da un mostruoso buco nero, 100 milioni di anni dopo il big bang.
Crediti: International Gemini Observatory/NoirLab/Nsf/Aura/P. Marenfeld

stero, è alimentato da un buco nero la cui massa, equivalente a un miliardo e mezzo di soli, lascia sbalorditi, e che potrebbe risalire a una densa concentrazione primordiale di massa oppure alla rapida accumulazione di gas su massa più piccola attraverso fasi di accrescimento estremamente veloci. Immerso nelle profondità del cosmo, questo colosso è ospitato al centro di una galassia che risale alla metà dell'epoca della reionizzazione.

I RILEVAMENTI DI NOEMA

Attraverso l'impiego del sofisticato Northern Extended Millimeter Array (Noema), un radiotelescopio all'avanguardia che si trova su un altipiano delle Alpi francesi a 2700 metri di quota, il team di ricercatori ha diretto il suo sguardo verso il misterioso quasar Pōniuā'ena. Ciò che hanno scoperto è stato una

traccia di gas molecolare freddo, rappresentato nel suo spettro dal monossido di carbonio, che permea la galassia ospite. Sono state rilevate ben due righe di emissione del monossido di carbonio (CO) estremamente brillanti, che indicano la presenza di un'enorme riserva di gas freddo e denso, idrogeno in forma molecolare (H₂). Questo rilevamento segna un record senza precedenti nello studio di questi oggetti: mai prima d'ora era stato osservato gas molecolare freddo così precocemente nell'evoluzione cosmica. I dettagli di questa scoperta sono stati pubblicati sulle pagine della rivista scientifica *The Astrophysical Journal Letters*, gettando nuova luce sui processi che animano il cuore di Pōniuā'ena e aprendo intriganti interrogativi sulla formazione e l'evoluzione delle galassie primordiali. L'idrogeno molecolare H₂, infatti, riveste un ruolo cruciale nell'astro-



Osservando l'emissione infrarossa dalle regioni polverose, gli astrofisici sono in grado di dedurre la presenza di stelle appena formate anche quando sono pesantemente oscurate nella luce visibile

NELL'OCCHIO DI WEBB

I quattro strumenti a bordo del James Webb Space Telescope studieranno i tre quasar più distanti finora scoperti, fra cui Pöniuā'ena.

Crediti: Nasa/Esa/J. Olmsted (STScI)

UNIVERSO PRIMORDIALE

Immagini multiple di un lontano quasar in questa immagine composita di Nasa/Chandra X-ray Observatory e telescopio spaziale Hubble.

Crediti: Nasa/Cxsc/University of Michigan/R.C. Reis et al/STScI

nomia e in particolare nel cosiddetto ciclo dei barioni, o ciclo del gas, fenomeno complesso e vitale per l'evoluzione delle galassie. Esso inizia con il gas intergalattico, che è gas primordiale tenue ma anche residuo di precedenti supernove o outflow galattici, che si accumula sulla galassia stessa; questo processo di accrescimento avviene grazie alla forza di gravità, che attrae il gas verso la galassia. Mentre cresce sulla galassia, parte di questo gas inizia a raffreddarsi. Questo fenomeno, detto *cooling*, è cruciale, perché consente al gas di raggiungere temperature e densità che favoriscono la formazione di molecole, in particolare di idrogeno molecolare. L' H_2 è il mattoncino fondamentale per la formazione stellare, poiché costituisce le nubi giganti di gas dalle quali nascono le stelle. Il processo di formazione stellare è il cuore pulsante della galassia, poiché le stelle sono gli agenti principali della trasformazione del gas in elementi più pesanti rispetto a idrogeno, elio e litio. A seguito dell'evoluzione stellare, si forma anche la polvere interstellare, composta principalmente da particelle solide di silicati e carbonio. Parallelamente all'accrescimento del gas sulla galassia, una parte di esso viene catturata dal buco nero supermassiccio che risiede al suo centro. Questo materiale che cade nel buco nero genera una grande quantità di energia sotto forma di radiazione elettromagnetica, dando origine ai primi quasar. Questi potenti oggetti cosmici emettono enormi quantità di energia, influenzando l'ambiente circostante e regolando molti processi galattici.

È interessante anche che, nonostante il breve intervallo di tempo trascorso dal big bang all'epoca in cui osserviamo il quasar Pöniuā'ena, la quantità di polvere misurata, pari a 200 milioni di masse solari, sia già notevolmente massiccia. Le particelle di polve-

re sono componenti cruciali delle dense nubi molecolari in cui si formano le stelle. Queste particelle assorbono e diffondono la luce, e man mano che le stelle si formano all'interno di queste regioni polverose, si riscaldano ed emettono radiazione infrarossa. Osservando l'emissione infrarossa dalle regioni polverose, gli astrofisici sono in grado di dedurre la presenza di stelle appena formate anche quando sono pesantemente oscurate nella luce visibile. Oltre a essere il prodotto dell'evoluzione stellare, la temperatura della polvere presente in una galassia è legata al tasso di formazione stellare in corso; quindi misurare l'emissione infrarossa del pulviscolo cosmico fornisce un indicatore affidabile dell'attività di formazione stellare all'interno delle galassie. Nel caso del nostro quasar, il tasso di formazione stellare è pari a circa 100 masse solari per anno, circa cento volte superiore a quello che attualmente avviene nella nostra galassia Via Lattea.

L'INIZIO DI UN'ERA

Solo grazie alla straordinaria sensibilità recentemente raggiunta da Noema è stato possibile scoprire la presenza di CO nel quasar Pöniuā'ena. Nessuna traccia di gas freddo era stata precedentemente identificata nei restanti due quasar conosciuti a simili distanze. Da questo punto di vista, i risultati delle osservazioni hanno superato ogni aspettativa. Questa nuova capacità strumentale di Noema apre la strada alla scoperta di gas molecolare freddo a epoche ancora più remote. Tali osservazioni non solo ci permetteranno di approfondire la comprensione della chimica primordiale, ma anche di indagare la produzione di elementi pesanti nelle prime fasi dell'universo, offrendoci un prezioso sguardo su un'epoca cruciale della nostra storia cosmica.

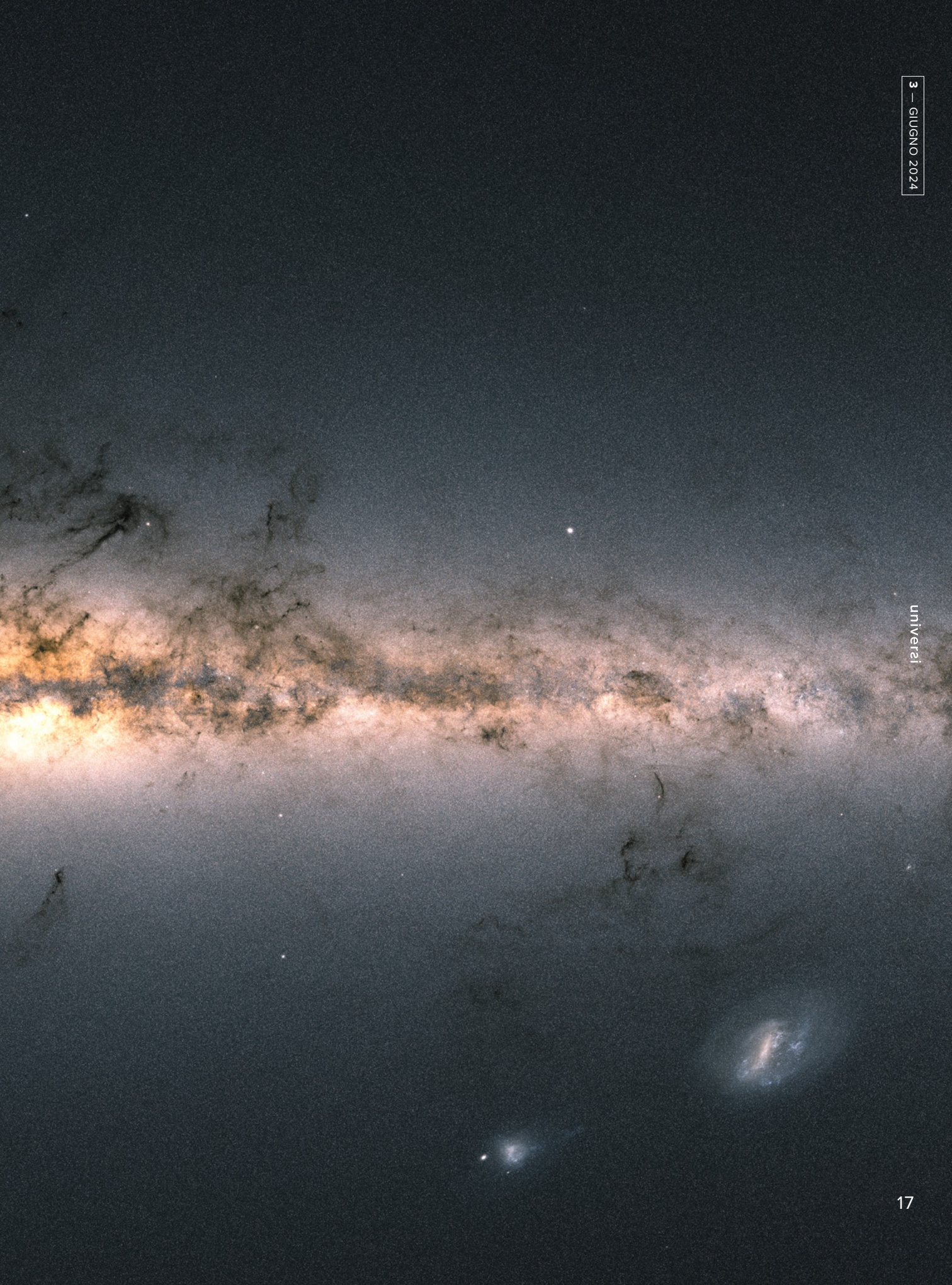
Una nuova valanga di informazioni da Gaia

di Antonella Vallenari e Michele Trabucchi



STELLE, POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE

Al lavoro dal 2013, Gaia ha rilasciato da poco nuovi incredibili dati. A ogni release compiamo un passo in più nel percorso di conoscenza della nostra galassia, e il suo incarico non è ancora finito. Quali sorprese avrà in serbo per noi il satellite dell'Agenzia spaziale europea?



G

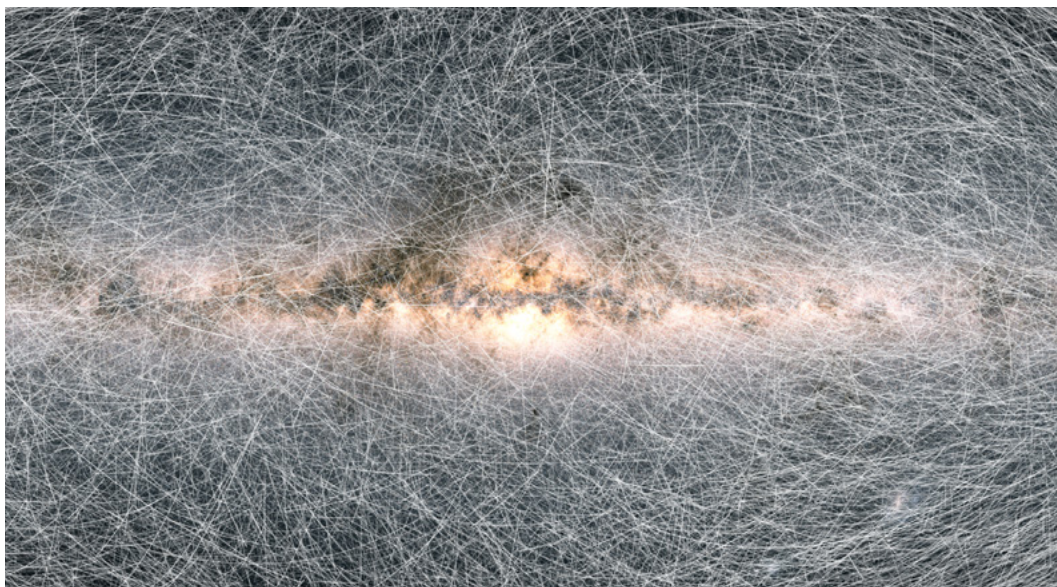
Gaia è un satellite dell'Agenzia spaziale europea che ha lo scopo primario di studiare la formazione della nostra galassia. Lanciato alla fine del 2013, ha raccolto e pubblicato posizioni, moti propri e parallassi di 1,8 miliardi di oggetti celesti (stelle, galassie, quasar) più brillanti di $G=20,7$. Ogni giorno, Gaia osserva circa 70 milioni di oggetti analizzati da circa 450 astronomi in sei centri di super-computing sparsi in tutta Europa.

Gaia costituisce un balzo gigantesco per l'astrofisica. La sua colossale survey ha infatti censito circa l'1% di tutte le popolazioni stellari della galassia, portando il concetto di mappa a un livello superiore. Gaia permette di posizionare le stelle in tre dimensioni nello spazio, e nelle velocità. Inoltre le informazioni sull'età e sulla composizione chimica

permettono di ottenere una mappa multidimensionale. Le sue scoperte stanno rivoluzionando la nostra conoscenza della Galassia e delle sue stelle. I moti in 3D delle stelle hanno rivelato molti dettagli sul processo di formazione della Via Lattea, permettendo di ricostruire l'albero genealogico della nostra galassia, identificando i molti fenomeni di accrescimento nei quali piccole galassie sono state fagocitate dalla nostra. Esopianeti che orbitano intorno ad altre stelle sono stati identificati grazie alle minuscole oscillazioni della loro stella, fornendo candidati per lo studio dell'esobiologia. Sono state scoperte nuove categorie di buchi neri che non dovrebbero esistere secondo i modelli.

La nostra comprensione dei processi che avvengono all'interno delle stelle deve confrontarsi con i nuovi vincoli imposti dai dati di Gaia. Dati recenti hanno rivelato pulsazioni non radiali, che possiamo pensare come terremoti in stelle in cui questi non erano previsti. Attraverso le osservazioni dei quasar, Gaia ha determinato l'accelerazione del Sole rispetto all'universo lontano in $7,33 \pm 0,51$ km/s/milione di anni, che corrisponde a un moto microscopico di 5 micro secondi d'arco all'anno.

Ogni nuova pubblicazione dei dati di Gaia porta con sé scoperte significative. Nata per esplorare le stelle, oggi ci sta fornendo una visione davvero unica dell'universo e degli



IL CIELO DI DOMANI

Gaia ha calcolato il movimento per i prossimi 400 mila anni di 40 mila stelle situate entro 100 parsec dal Sistema solare. Crediti: Esa/Gaia/Dpac/A. Brown/S. Jordan/T. Roegiers/X. Luri/E. Masana/T. Prusti/A. Moitinho

IL COLORE DELLE STELLE

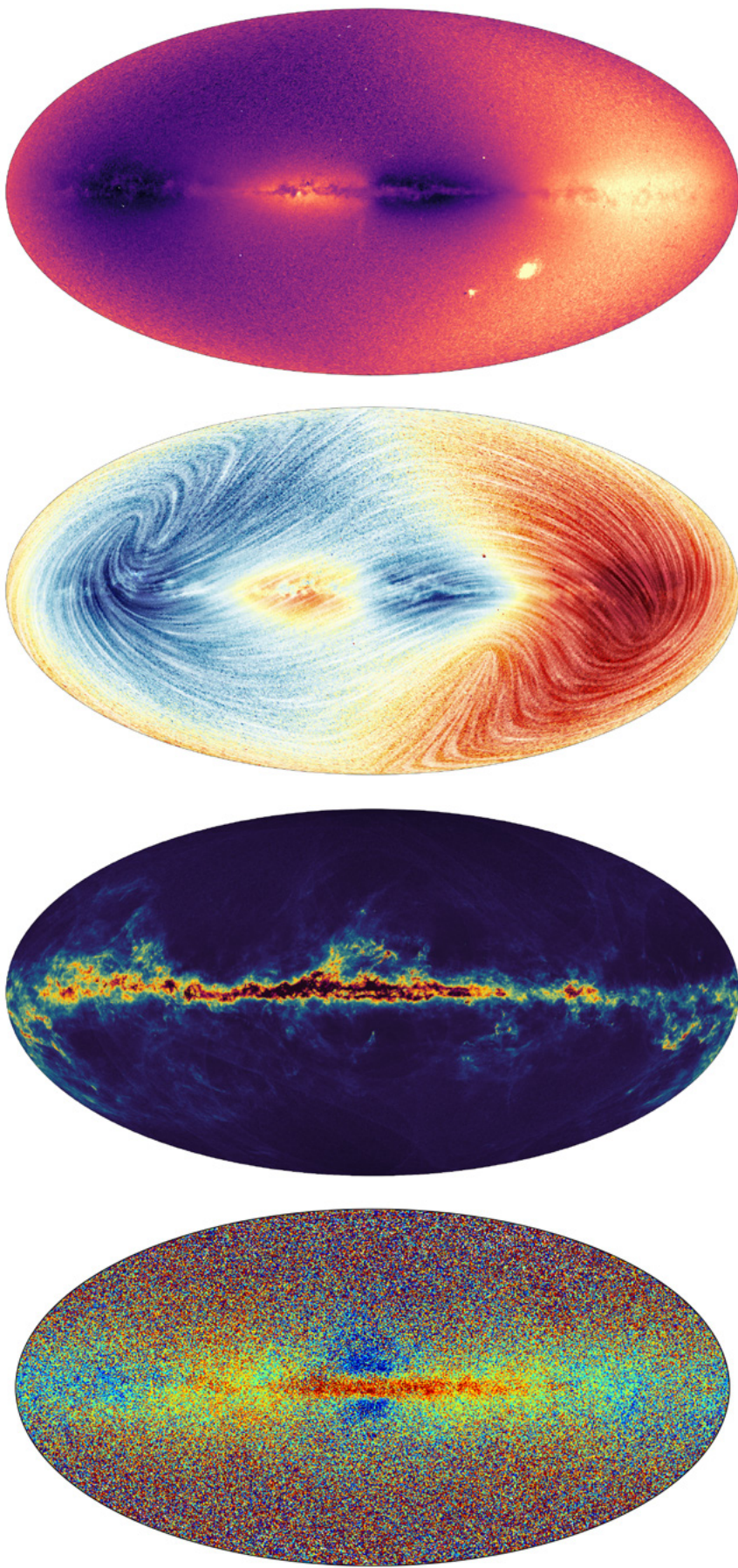
Alla pagina precedente: la luminosità totale e il colore dell'intero cielo di Gaia. Per creare questa mappa sono stati utilizzati i dati di oltre 1,8 miliardi di stelle.

Crediti: Esa/Gaia/Dpac/A. Moitinho

QUATTRO MAPPE DELLA GALASSIA

In queste immagini, Gaia mostra la velocità radiale e il moto proprio delle stelle, le nubi di polvere e gas che colmano lo spazio fra un corpo e l'altro e la loro composizione chimica.

Crediti: Esa/Gaia/Dpac



Gaia costituisce un balzo gigantesco per l'astrofisica. La sua colossale survey ha infatti censito circa l'1% di tutte le popolazioni stellari della galassia, portando il concetto di mappa a un livello superiore

oggetti che lo popolano. Questo è vero in particolare nella sua ultima pubblicazione di dati, la *focused product release*, che ha avuto luogo il 10 ottobre 2023. Questa data release include cinque cataloghi di dati: nuove informazioni sulle stelle del centro dell'ammasso stellare Omega nella costellazione del Centauro; le variazioni di velocità radiale delle stelle variabili a lungo periodo; le misure di bande spettrali tipiche di molecole che sono presenti nel gas interstellare (bande interstellari diffuse); un impressionante catalogo di lenti gravitazionali. A questi va aggiunta l'astrometria di circa 157mila asteroidi del Sistema solare e 31 loro satelliti, basata su 66 mesi di osservazioni. Le loro orbite sono 50 volte più precise delle misure esistenti. Vediamoli ora in dettaglio.

OMEGA DEL CENTAURO

Di solito Gaia non trasmette a terra immagini di grandi dimensioni, ma piccole finestre intorno a ogni stella che viene identificata da uno strumento chiamato Sky Mapper e poi seguita sul piano focale. Questa procedura limita la quantità di dati trasmessi ed è quindi molto utile, ma si è rivelata non molto soddisfacente per osservare le stelle più deboli nelle zone più dense di stelle, in particolare quando la densità supera il milione di stelle in un grado quadrato. Una tale densità è tipica degli ammassi globulari, gruppi di stelle che sono tra i più antichi della nostra galassia e che sono importanti perché ci rivelano le condizioni iniziali al tempo della formazione della Via Lattea. Il team di Gaia ha identificato nove regioni particolarmente interessanti da studiare con una procedura speciale, ossia trasmettendo a terra grandi immagini bidimensionali prese dallo Sky Mapper.

Questo strumento è pensato per l'identificazione iniziale delle stelle e per il monitoraggio degli strumenti, e non ci si aspettava

di poterlo usare per scopi scientifici. Questa procedura, invece, ha permesso di pubblicare nella *focused product release* posizioni, parallassi, moti propri e fotometria di circa 500mila nuove stelle in una di queste regioni, il centro dell'ammasso stellare Omega del Centauro. Questi dati sono ottenuti da più di 2mila immagini a una risoluzione paragonabile a quella del telescopio spaziale Hubble. La regione coperta da queste osservazioni è di circa 2 gradi di diametro, e supera di gran lunga in estensione la regione osservata da Hubble. Questi dati ci permettono di fare una mappa dal centro fino alle regioni più esterne di questo ammasso per svelarne la natura. Infatti le sue proprietà ci lasciano credere che si tratti della parte centrale di una galassia molto piccola, fagocitata dalla nostra in tempi remoti. Le altre regioni che includono altri ammassi stellari, il centro galattico e le Nubi di Magellano, verranno pubblicate alla fine del 2025 nella quarta data release.

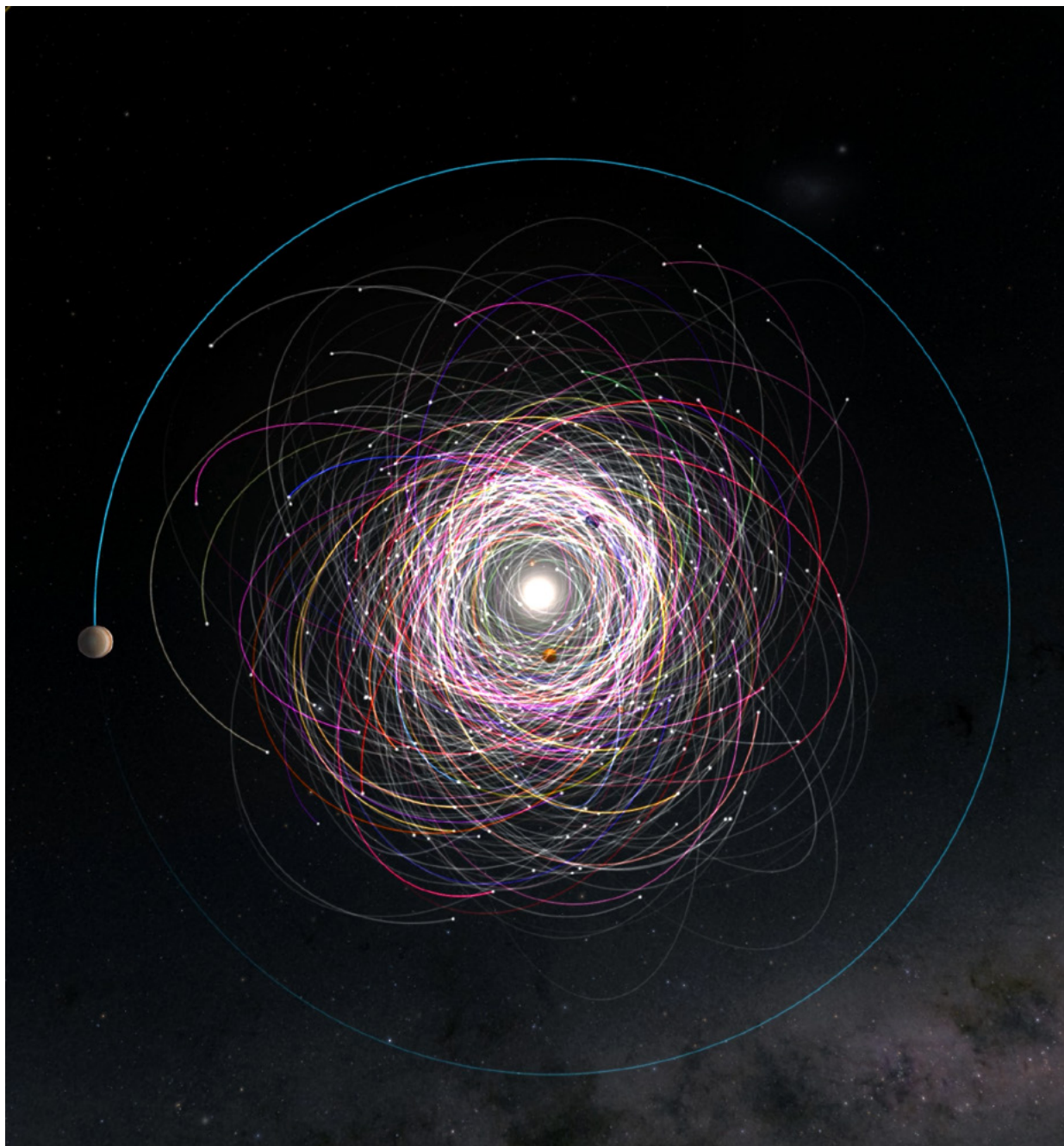
VARIABILI A LUNGO PERIODO

Il satellite Gaia ha monitorato costantemente il cielo dal 2014, osservando miliardi di stelle e misurando molteplici volte le proprietà di ciascuna stella, permettendo quindi di studiarne la variazione nel corso del tempo. Ciò è cruciale per studiare le stelle variabili periodiche, la cui luminosità cambia in maniera regolare nel tempo. Tra le diverse classi di stelle variabili osservate da Gaia ci sono quelle a lungo periodo (note come *Lpv*, *Long-period variables*). Esse rappresentano le fasi evolutive finali di stelle con massa iniziale simile al Sole, o qualche volta più grande, che si sono espanse in giganti rosse molto luminose, diventando anche stelle pulsanti. I loro strati più esterni si espandono e contraggono ciclicamente, con un periodo che va da qualche settimana a vari mesi o addirittura anni. Proprio a causa del loro lun-

150MILA ASTEROIDI

Il monitoraggio di 156.823 asteroidi da parte di Gaia ha permesso agli astronomi di ricostruire le loro orbite con una precisione 20 volte migliore rispetto al passato.

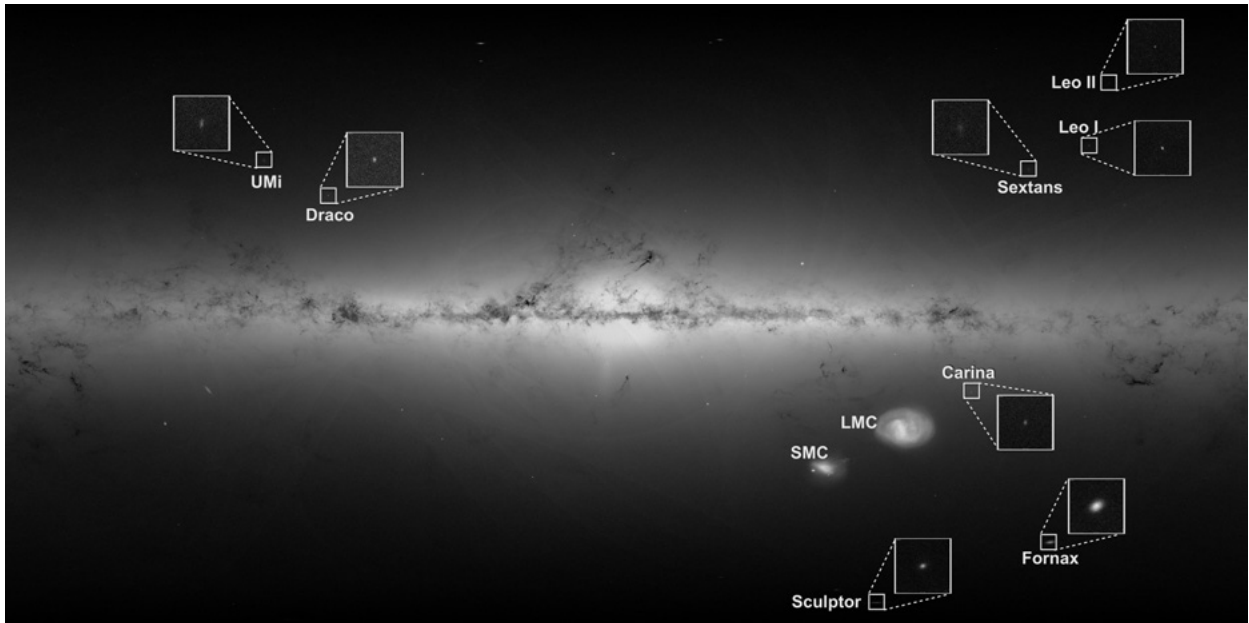
Crediti: Esa/Gaia/Dpac



go periodo richiedono lunghe osservazioni e sono poco studiate.

Gaia ha costruito un catalogo di oltre 2 milioni di Lpv. Queste stelle sono particolarmente importanti nell'ecosistema della Galassia perché perdono massa, contribuendo alla formazione del mezzo interstellare e alla successiva formazione stellare. Gaia, tramite lo spettrofotometro di bordo, può misurare lo spostamento Doppler delle righe nello spettro delle stelle osservate e misurarne la velocità radiale, cioè il moto lungo la linea

immaginaria che collega l'osservatore alla sorgente luminosa. Questo metodo è stato usato per calcolare la velocità con cui le stelle si avvicinano o si allontanano da noi, e per caratterizzare il loro moto intorno al centro della Galassia, ma permette anche di studiare il modo di espansione e contrazione di una stella pulsante quale una Lpv, misurando la velocità con la quale gli strati superficiali della stella si avvicinano o si allontanano da noi. Il team di Gaia ha selezionato un campione di stelle di alta qualità dal



catalogo di Lpv e ha studiato le loro misure di velocità radiale ottenute nel corso degli ultimi anni, ottenendo il più grande catalogo finora prodotto. È emerso che nel campione coesistono tre diversi gruppi di stelle, che differiscono per l'intensità delle loro variazioni di luce e velocità. Alcune sono Lpv "regolari", la cui variazione di velocità radiale è dovuta a fasi di espansione e contrazione. Durante questo ciclo, gli strati dell'atmosfera possono raggiungere velocità da qualche km/s fino a 10 km/s, accuratamente misurate da Gaia. Nel campione però sono anche state individuate stelle la cui variazione di velocità radiale suggerisce che si tratti di stelle di forma ellissoidale, perché la loro superficie è distorta dall'attrazione gravitazionale di una stella compagna molto vicina. Vediamo anche stelle la cui variazione potrebbe essere dovuta a un grosso pianeta circondato da nubi di polvere, in grado di eclissare la stella stessa a ogni orbita. Si tratta solo di un "assaggio" dei dati attesi da Gaia nei prossimi anni, che renderanno disponibili le informazioni sulla variabilità di velocità radiale per milioni di stelle variabili.

BANDE INTERSTELLARI DIFFUSE

Gaia ci permette anche uno studio del mezzo interstellare, tramite il più esteso catalogo di bande interstellari diffuse. Queste sono righe di assorbimento larghe e relativamente deboli dovute alla polvere interstellare. Ben-

ché siano state scoperte agli inizi del Novecento, la loro natura è ancora misteriosa e non è chiaro quali siano le molecole che le producono. Probabilmente si tratta di composti complessi del carbonio. Due di queste bande sono state osservate in circa sei milioni di spettri stellari dallo spettrografo a bordo di Gaia. È stato così possibile costruire la più grande mappa della distribuzione di queste bande, raggiungendo una distanza di circa 4 kpc e tracciando il braccio a spirale esterno e il braccio dello Scudo-Centaurio. Sono anche state individuate nella bolla locale, la zona di gas caldo a bassa densità nella quale si sta muovendo il nostro Sole. Prima di Gaia, le bande diffuse interstellari erano note solo all'interno di qualche centinaio di pc. Conoscere meglio la provenienza di questo segnale ci aiuterà a studiare i complessi e articolati processi fisici e chimici attivi in tutta la nostra galassia e a comprendere meglio il mezzo interstellare.

LENTI GRAVITAZIONALI

Gaia non è stata progettata per studi di cosmologia, ma per indagare gli oggetti più vicini. Tuttavia riesce a vedere anche le profondità dell'universo lontano, alla ricerca di oggetti come le lenti gravitazionali, che contengono informazioni su alcune delle più grandi domande sul cosmo. Il fenomeno della lente gravitazionale si verifica quando l'immagine di un oggetto lontano viene de-

GALASSIE NANE
La nostra galassia è circondata da una cinquantina di galassie nane. La maggior parte di loro sta attraversando la Via Lattea per la prima volta. Contrariamente a quanto si pensava.
Crediti: Esa/Gaia/Dpac



Il satellite Gaia ha monitorato costantemente il cielo dal 2014, osservando miliardi di stelle e misurando molteplici volte le proprietà di ciascuna stella, permettendo quindi di studiarne la variazione nel corso del tempo

formata da una sorgente massiccia, come una galassia, che si trova tra noi e l'oggetto osservato. Questa massa intermedia agisce come una gigantesca lente d'ingrandimento, in grado di amplificare la luminosità della luce e di proiettare sul cielo immagini multiple della sorgente lontana. Queste rare configurazioni sono affascinanti e rivestono un immenso valore scientifico, poiché svelano indizi inediti sull'universo primordiale. Le lenti gravitazionali sono fondamentali per avere una determinazione indipendente della costante di Hubble (H_0), che ci fornisce la velocità di espansione dell'universo,

ma sono anche importanti per lo studio della materia oscura e dell'energia oscura. Finora erano state scoperte solo poche lenti gravitazionali. Infatti si tratta di oggetti rari e deboli, in cui le immagini multiple sono spesso molto vicine. Per trovarle, sono necessari studi fatti su tutto il cielo e ad alta risoluzione: sono quindi difficilmente rilevabili con telescopi da terra. Al contrario, Gaia è perfetto per questo studio. La sua risoluzione è pari a quella del telescopio Hubble e, dato che osserva l'intero cielo, ha potuto studiare le regioni intorno a circa quattro milioni di quasar utilizzando metodi di intelligenza artificiale. Questo studio ha portato alla scoperta di 382 potenziali lenti. Si tratta del più grande catalogo omogeneo di potenziali lenti gravitazionali mai pubblicato: una vera miniera d'oro per i cosmologi. Questi dati potranno essere utilizzati anche per orientare gli studi della missione Euclid.

Presto il viaggio di Gaia arriverà al termine. Le osservazioni continueranno fino al 2025, quando l'esaurimento del propellente per il sistema di micro-propulsione non permetterà di mantenere il controllo nello spin e nell'attitudine del satellite. A quel punto, Gaia avrà raggiunto la fine della sua missione e avrà raccolto circa dieci anni di dati. Tuttavia ci vorranno ancora cinque anni per finire di analizzare tutti i dati. L'ultima data release di Gaia sarà nel 2030: ci aspettano ancora grandi sorprese. ■

VICINATO GALATTICO

La densità stellare della Grande e della Piccola Nube di Magellano, galassie satellite della Via Lattea, vista da Gaia nel suo *early data release 3*.

Crediti: Esa/Gaia/Dpac/L. Chemin/X. Luri et al

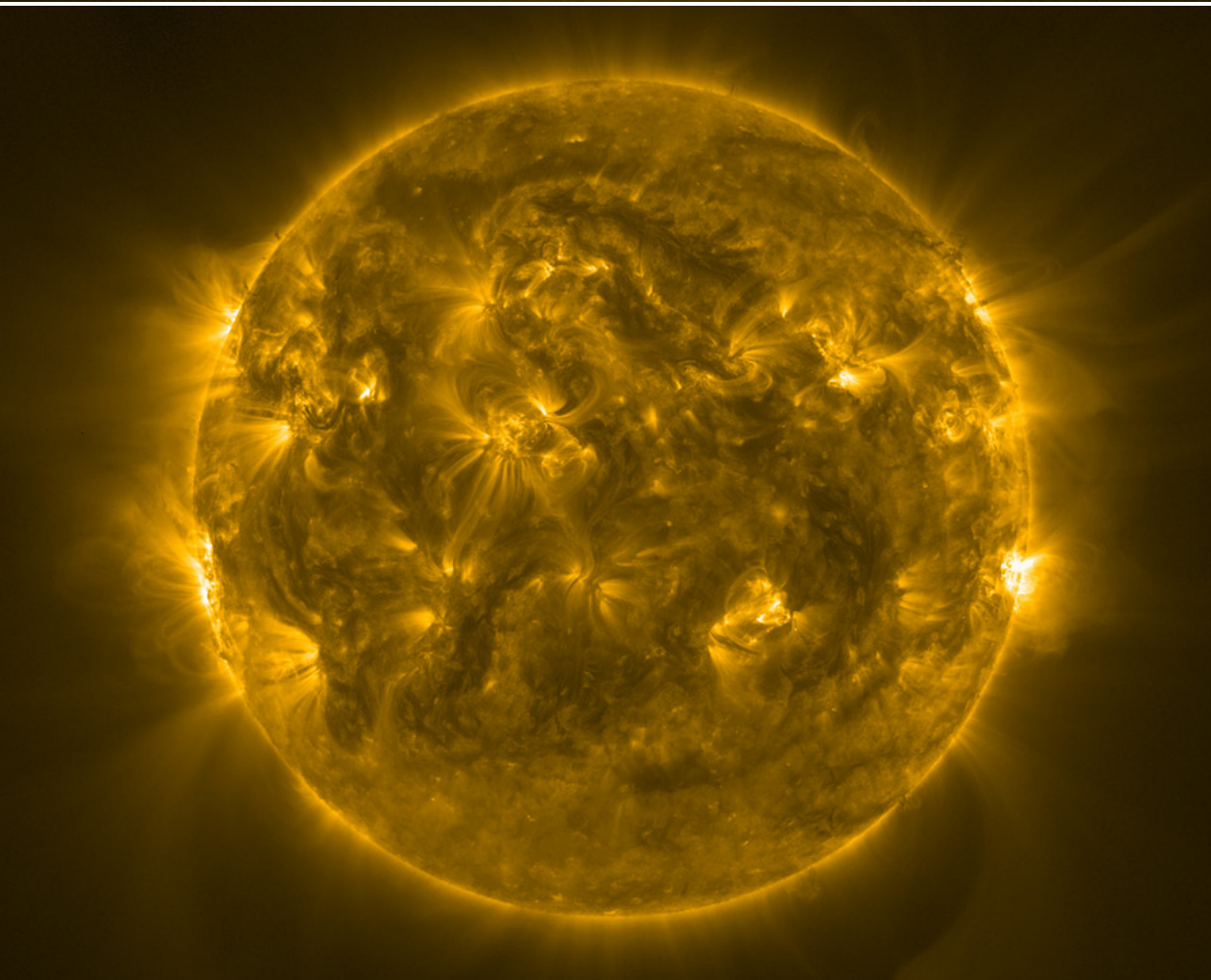
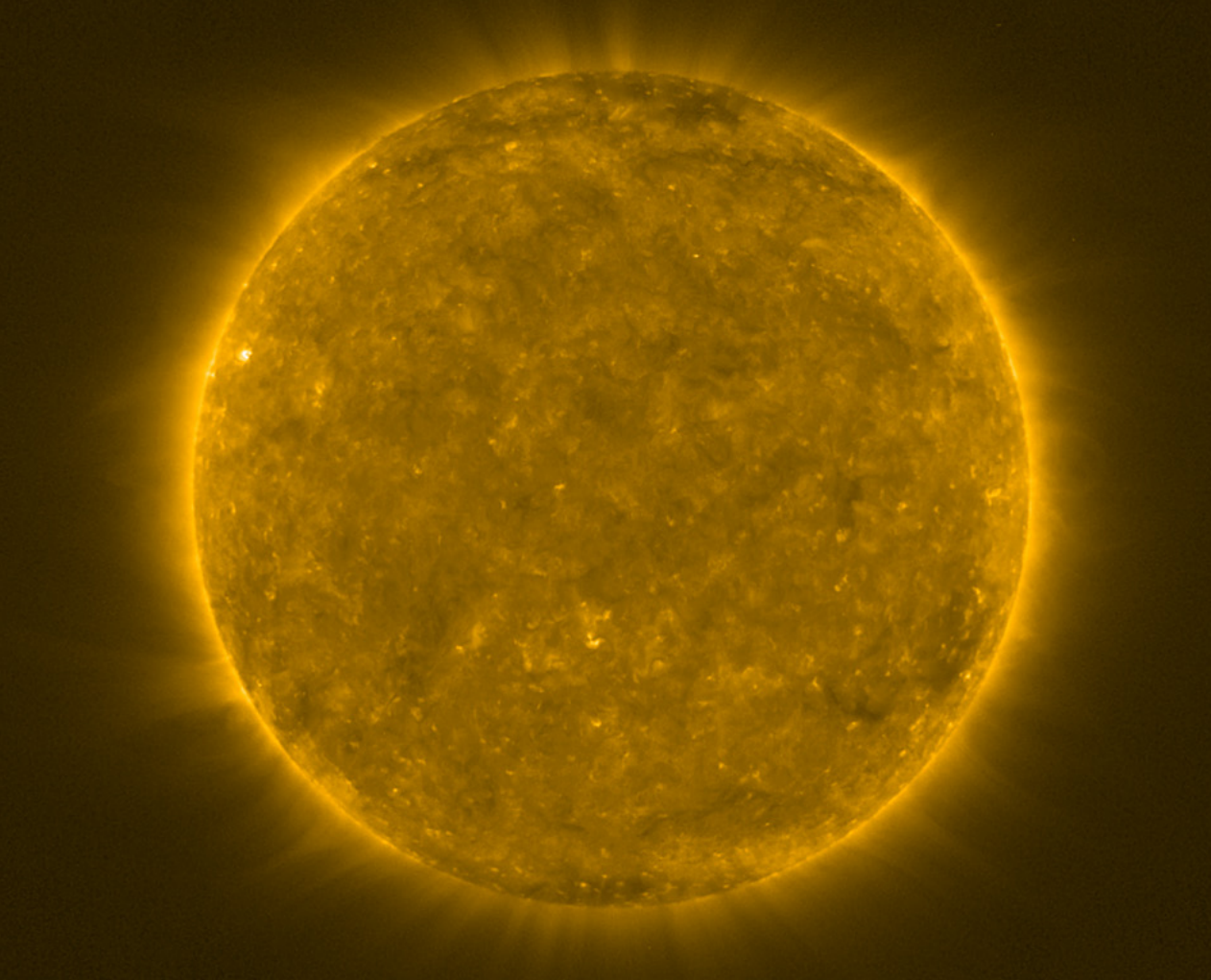
Solar Orbiter vicino alla soluzione di un mistero solare

di Daniele Telsoni



SOLE E SISTEMA
SOLARE

Grazie a un allineamento “cosmico” e a un po’ di “ginnastica” da navicella spaziale, è stata effettuata una misura rivoluzionaria che sta aiutando a risolvere il mistero vecchio di 65 anni del perché l’atmosfera del Sole sia così calda.





Il Sole è una stella fra le centinaia di miliardi che formano la Via Lattea, che a sua volta è una delle centinaia di miliardi di galassie che popolano l'universo. Tuttavia, per noi il Sole non è semplicemente una delle tante stelle. È il corpo celeste più importante, che permette la vita sulla Terra e che al tempo stesso rappresenta un pericolo costante sotto forma di radiazioni dannose. È anche l'unica stella a cui abbiamo accesso diretto grazie a sonde robotiche o alle osservazioni con i nostri occhi.

GUARDARE IL SOLE

In effetti, generazioni di scienziati, a partire da Galileo Galilei nel XVI e XVII secolo e anche prima, hanno utilizzato le osservazioni del Sole per studiare una grande varietà di fenomeni astrofisici, che spaziano dalla formazione delle stelle all'origine dei loro campi magnetici. Questi campi sono responsabili di eventi violenti e impulsivi sulla nostra stella, come i brillamenti e le espulsioni di massa coronale, che a volte dirigono esplosioni di particelle ionizzate ad alta energia verso il nostro pianeta.

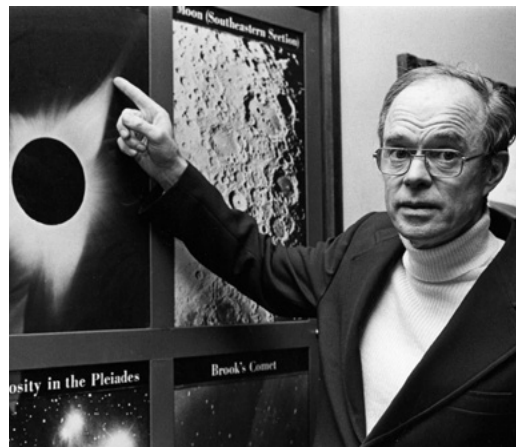
Lo studio di come il Sole interagisce con la regione di spazio circostante da esso influenzata, chiamata eliosfera, ci ha permesso di indagare processi fisici onnipresenti nell'universo. Uno di questi processi è la turbolenza (notoriamente definita da Richard Feynman, Premio Nobel per la fisica nel 1965, il più importante problema irrisolto della fisica classica), che contribuisce all'accelerazione delle particelle nello spazio e svolge un ruolo importante nei processi dinamici ed energetici nell'ambiente solare.

Non sorprende quindi che alcune delle missioni più importanti nell'era dell'esplorazione spaziale si siano concentrate sull'osservazione del Sole e del suo ambiente circostante.

IL RISCALDAMENTO CORONALE

Una delle questioni aperte da più tempo nella fisica solare è nota come il "problema del riscaldamento coronale". La corona solare, ovvero lo strato più esterno dell'atmosfera del Sole, è costituita da un gas elettricamente carico, noto come plasma, e ha una temperatura di circa un milione di gradi. La sua temperatura è un mistero che continua a rimanere tale, perché sulla superficie del Sole si aggira intorno ai 6000 gradi. La corona dovrebbe essere più fredda della superficie, perché l'energia del Sole proviene dalla fornace nucleare al suo interno e la termodinamica prevede che la materia si raffreddi naturalmente più ci si allontana da una fonte di calore. Eppure la corona è oltre 150 volte più calda della superficie. Deve esserci un altro metodo per trasferire l'energia nel plasma; ma quale?

Nel 1958 Eugene Parker dimostrò matematicamente che un plasma così caldo non poteva essere in equilibrio gravitazionale e fu il primo a prevedere teoricamente l'esistenza del vento solare, cioè un flusso continuo di plasma magnetizzato che dalla corona si espande nello spazio interplanetario. Nel 1962 Marcia Neugebauer, sulla base dei dati della sonda spaziale Mariner 2, fornì le prime misure dirette del vento solare e delle sue proprietà. Più di sessant'an-

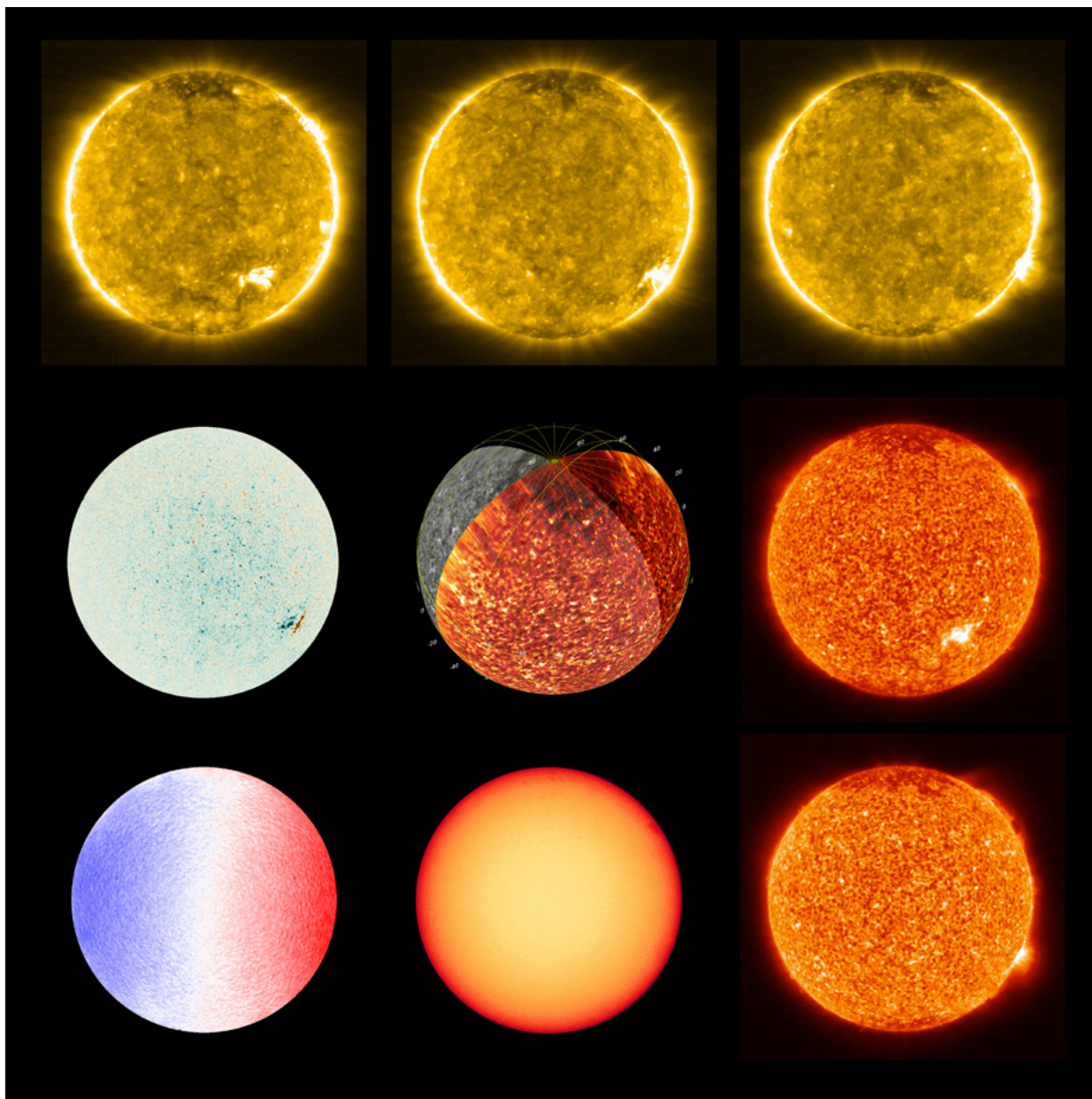


EUGENE PARKER

L'astronomo statunitense all'Università di Chicago nel 1977. A lui la Nasa ha intitolato la sonda Parker Solar Probe.
Crediti: University of Chicago

VADO AL MASSIMO

Alla pagina precedente: Febbraio 2021 - Ottobre 2023. Il Sole si avvicina al massimo di attività magnetica con esplosioni più brillanti, macchie solari e anelli di plasma.
Crediti: Esa/Nasa/Solar Orbiter/Eui Team



POV

Le tante facce del Sole viste da Solar Orbiter grazie agli strumenti Extreme Ultraviolet Imager (Eui) Full Sun Imager (Fsi) e Polarimetric and Helioseismic Imager (Phi).
Credit: Solar Orbiter/Eui Team/Phi Team/Esa/Nasa

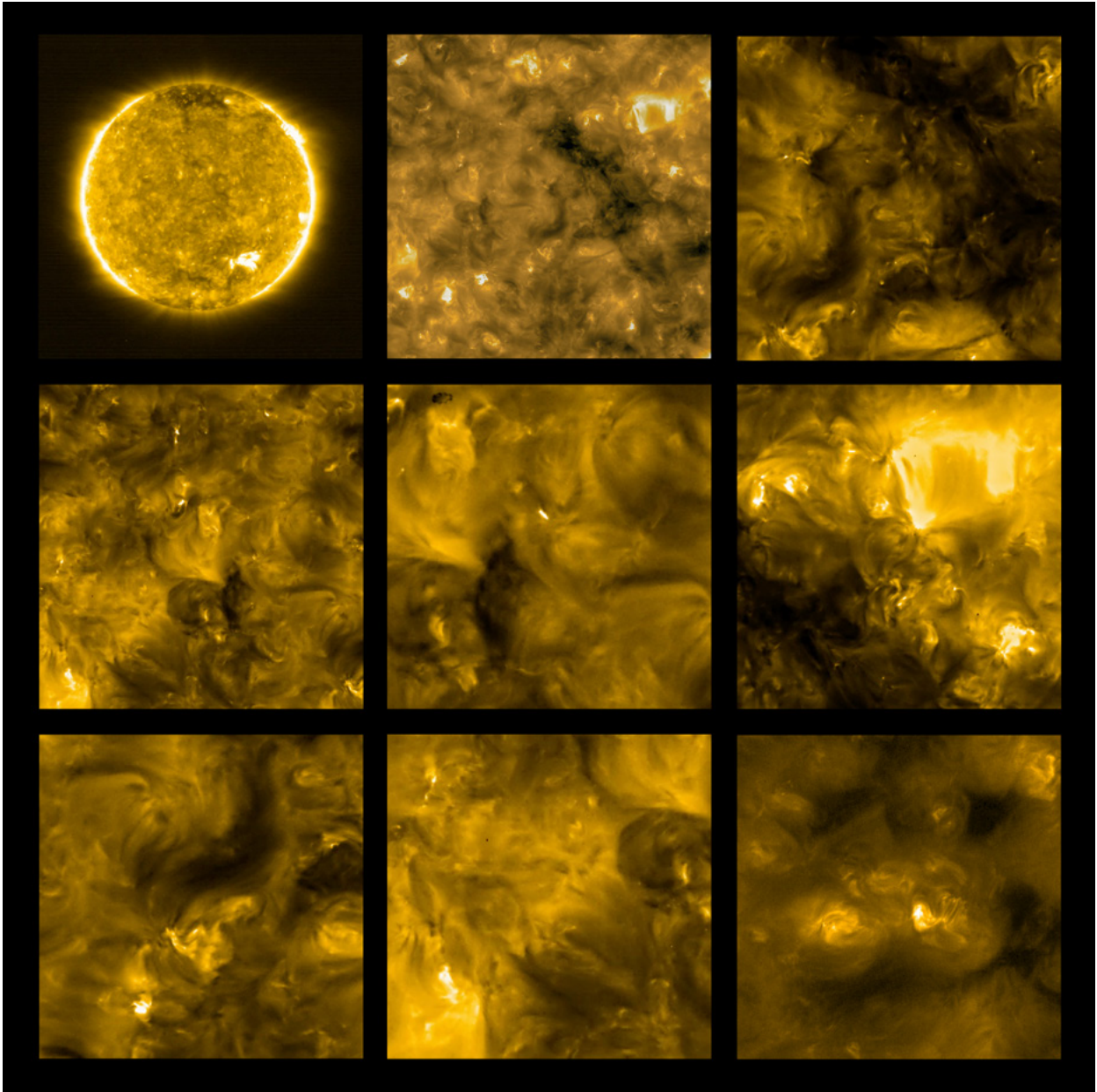
La temperatura della corona solare, ovvero lo strato più esterno dell'atmosfera del Sole, è un mistero che continua a rimanere tale

ni dopo, e nonostante gli enormi progressi compiuti sia dal punto di vista osservativo sia da quello numerico/modellistico, i meccanismi che riscaldano il plasma coronale e accelerano il vento solare sono ancora mol-

to dibattuti. È ormai assodato che la fonte di energia che alimenta il vento solare è fornita dal campo magnetico e da tempo si sospetta che sia la turbolenza nell'atmosfera solare a trasferire l'energia necessaria dal campo magnetico al plasma. Ma quando si tratta di studiare questo fenomeno, i fisici solari si scontrano con un problema pratico: è impossibile raccogliere tutti i dati necessari con una sola sonda spaziale.

UNO STUDIO SINERGICO

Esistono due modi per studiare il Sole: le osservazioni da remoto e le misurazioni in situ. Nelle osservazioni da remoto, la sonda



spaziale è posizionata a una certa distanza e utilizza telecamere per osservare il Sole e la sua atmosfera in diverse lunghezze d'onda. Per le misurazioni in situ, il veicolo spaziale vola attraverso la regione che vuole indagare ed effettua misurazioni delle particelle e dei campi magnetici in quella parte dello spazio.

Entrambi gli approcci hanno i loro vantaggi. Le osservazioni a distanza mostrano le strutture a larga scala, ma non i dettagli dei processi che avvengono nel plasma. Le misure in situ, invece, forniscono informazioni altamente specifiche sui processi su piccola

scala del plasma, ma non mostrano come questi influenzino la grande scala.

Per avere un quadro completo sono necessari due veicoli spaziali che operino in sinergia. Questo è esattamente ciò che i fisici solari hanno attualmente a disposizione sotto forma delle sonde Solar Orbiter e Parker Solar Probe.

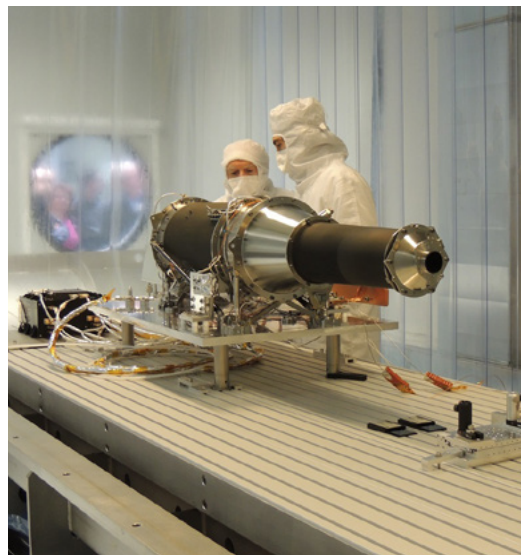
Solar Orbiter – una missione congiunta dell'Agenzia spaziale europea (Esa) e della Nasa, lanciata con successo da Cape Canaveral il 10 febbraio 2020 – è stato progettato per avvicinarsi il più possibile al Sole (a circa un terzo della distanza Terra-Sole) ese-

UN MILIONE DI GRADI

Il Sole alla lunghezza d'onda di 17 nanometri, nel lontano ultravioletto, visto dallo strumento Eui a bordo di Solar Orbiter.

Credit: Solar Orbiter/Eui Team/Esa/Nasa/Csi/Ias/Mps/Pmod/Wrc/Rob/Uci/Mssl

Per avere un quadro completo, sono necessari due veicoli spaziali che operino in sinergia. Questo è esattamente ciò che i fisici solari hanno a disposizione sotto forma delle sonde Solar Orbiter e Parker Solar Probe



guendo contemporaneamente operazioni di telerilevamento e misurazioni in situ. A ogni orbita attorno al Sole e sfruttando l'assist gravitazionale di Venere, Solar Orbiter si allontanerà gradualmente dal piano orbitale (noto come eclittica) dei pianeti del Sistema solare, raggiungendo potenzialmente piani orbitali con inclinazioni fino a circa 33 gradi rispetto all'eclittica. Grazie al suo *payload* unico e alla serie di orbite inclinate che percorrerà, Solar Orbiter osserverà il Sole da diverse prospettive, scattando le immagini più ravvicinate mai realizzate della nostra stella. Inoltre, osserverà per la prima volta i poli magnetici solari, regioni in cui ha origine la maggior parte del cosiddetto vento solare veloce e dove la polarità del campo magnetico solare si inverte periodicamente. La sinergia tra le osservazioni remote e locali fornite da Solar Orbiter consentirà agli scienziati di collegare gli eventi magnetici transitori e il vento solare alle loro sorgenti sul Sole.

La sonda Parker Solar Probe della Nasa rinuncia invece in gran parte al telerilevamento del Sole per avvicinarsi ancora di più alla nostra stella, entrando nella sua atmosfera e misurandone localmente le proprietà. Al suo massimo avvicinamento al Sole sarà circa sette volte più vicina di quanto sia mai stato prima qualsiasi altro veicolo spaziale.

Ma per sfruttare appieno i loro approcci e orbite complementari, Parker Solar Probe dovrebbe trovarsi nel campo di vista dello strumento di Solar Orbiter che osserva da

remoto la corona solare. In questo modo Solar Orbiter potrebbe rilevare le conseguenze su larga scala di ciò che Parker Solar Probe sta misurando in loco.

UN DUETTO PERFETTO

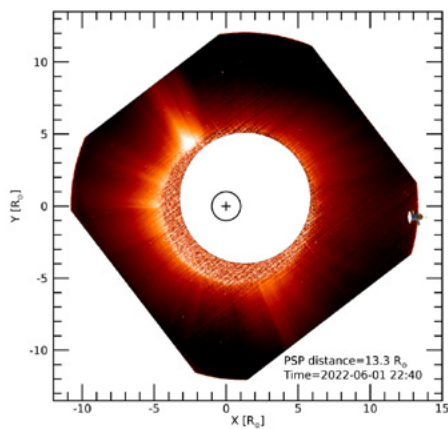
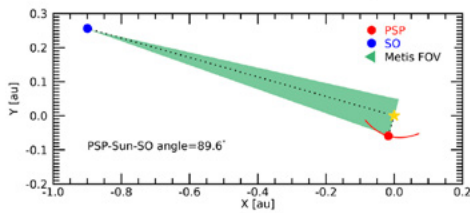
Come ricercatore dell'Istituto nazionale di astrofisica presso l'Osservatorio Astrofisico di Torino, faccio parte del team dello strumento Metis a bordo di Solar Orbiter. Metis è un coronografo che blocca la luce proveniente dalla superficie del Sole e cattura immagini della corona: è lo strumento perfetto da utilizzare per le misurazioni su larga scala. Ho quindi iniziato a cercare gli intervalli temporali in cui Parker Solar Probe sarebbe entrato nel piano del cielo osservato da Metis e ho così scoperto che il 1 giugno 2022 le due sonde spaziali si sarebbero trovate quasi nella configurazione orbitale corretta. In sostanza, Metis a bordo di Solar Orbiter avrebbe osservato la corona solare e Parker Solar Probe si sarebbe trovato a lato, straordinariamente vicino ma appena fuori dal campo di vista del coronografo.

Esaminando il problema, mi sono reso conto che per portare Parker Solar Probe nel campo di vista di Metis bastava un po' di "ginnastica" con Solar Orbiter, ovvero un paio di manovre della sonda spaziale: una rotazione di 45 gradi e poi un puntamento leggermente fuori asse.

Ma poiché ogni manovra di una missione spaziale è attentamente pianificata in anticipo e i veicoli spaziali sono progettati per

METIS
Lo strumento Metis nei laboratori di Thales Alenia Space a Torino, prima della partenza alla volta della sede di Airbus nel Regno Unito.
Crediti: Inaf/Tas

«È una novità scientifica. Questo lavoro rappresenta un significativo passo avanti nella soluzione del problema del riscaldamento coronale e mostra solo alcune delle potenzialità del coronografo Metis»



universi

puntare solo in direzioni molto specifiche, soprattutto quando devono affrontare il temibile calore proveniente dal Sole, non era chiaro se il team operativo di Solar Orbiter avrebbe autorizzato una tale deviazione dalla consuetudine. Tuttavia, una volta chiarito il potenziale ritorno scientifico, la decisione è stata un netto “sì”.

La rotazione e il puntamento fuori asse sono andati a buon fine; Parker Solar Probe è così entrato nel campo di vista di Metis e insieme le due sonde hanno prodotto le prime misure simultanee della configurazione su larga scala della corona solare e delle proprietà microfisiche del plasma.

Questo lavoro, descritto in uno studio pubblicato su *The Astrophysical Journal Let-*

ters, è il risultato del contributo di moltissime persone. Lavorando insieme, siamo riusciti a fornire la prima stima combinata, osservativa e in situ, del tasso di riscaldamento coronale.

Come sottolineato da Silvano Fineschi, dell'Osservatorio Astrofisico di Torino, responsabile per l'Inaf del contratto scientifico di Metis e coautore dell'articolo, la possibilità di utilizzare sia Solar Orbiter sia Parker Solar Probe ha davvero aperto una dimensione completamente nuova in questo tipo di ricerca.

Confrontando il tasso di riscaldamento coronale così misurato con le previsioni teoriche fatte dai fisici solari nel corso degli anni, abbiamo dimostrato che i fisici solari avevano quasi certamente ragione nell'identificare la turbolenza come un modo per trasferire energia al plasma coronale, riscaldandolo a temperature di milioni di gradi.

COMPNDERE IL SOLE

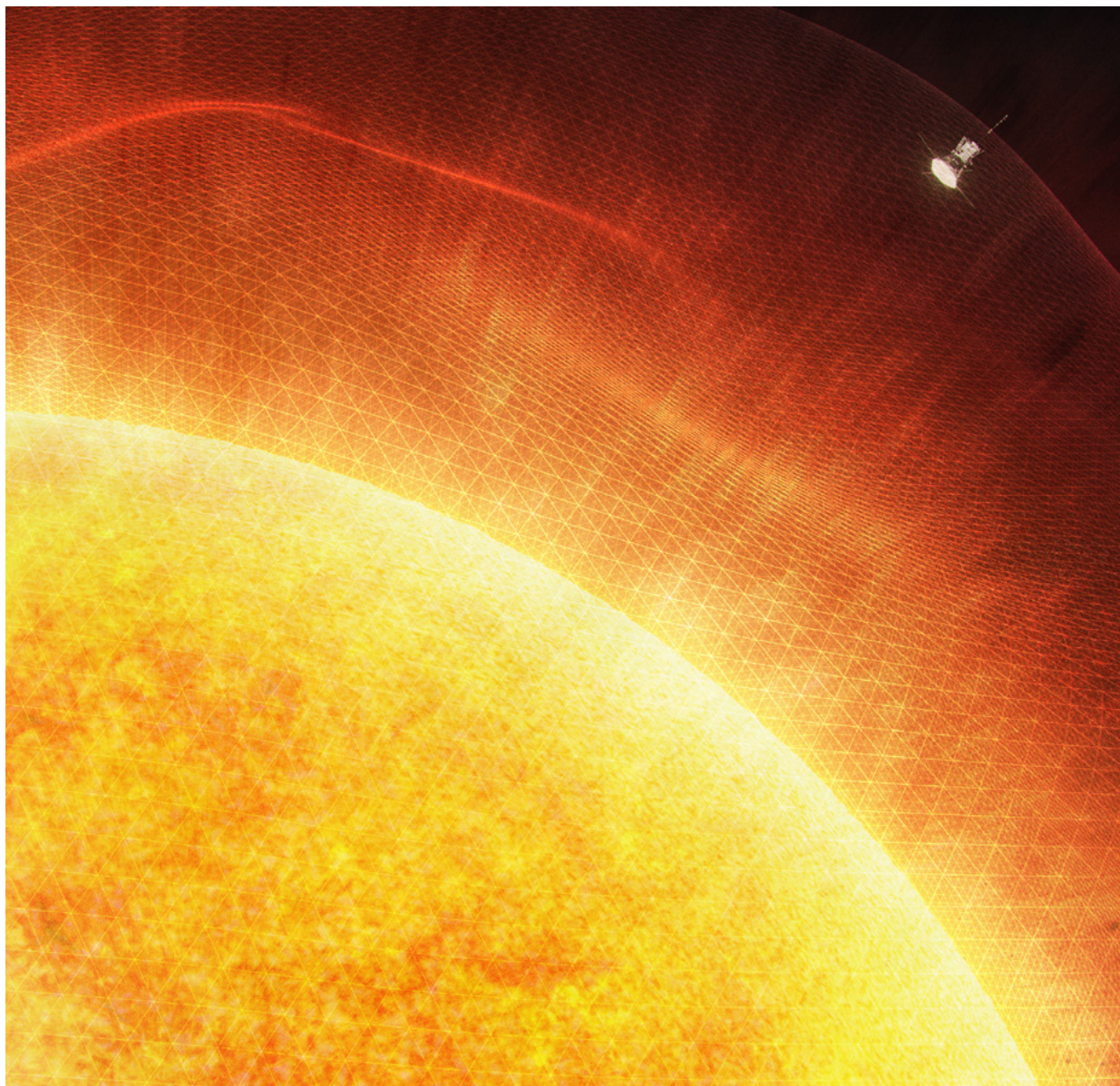
Il modo specifico in cui la turbolenza agisce non è dissimile da quello che accade quando si mescola lo zucchero nella tazza di caffè del mattino. Stimolando i movimenti casuali di un fluido, sia esso un gas o un liquido, l'energia viene trasferita su scale sempre più piccole e culmina nella sua trasformazione in calore, sciogliendo in questo caso più velocemente lo zucchero. Nel caso della corona solare, il fluido è anche magnetizzato e quindi l'energia magnetica immagazzinata è disponibile per essere convertita in calore.

Questo trasferimento di energia magnetica e dinamica da scale più grandi a scale più piccole è l'essenza stessa della turbolenza. Alle scale più piccole, permette alle fluttuazioni di interagire infine con le singole particelle, soprattutto protoni, e di riscaldarle.

È necessario ulteriore lavoro prima di poter dire che il problema del riscaldamento

GINNASTICA SPAZIALE

Con una rotazione di Solar Orbiter e un puntamento fuori asse è stato possibile portare Parker Solar Probe nel campo di vista di Metis, effettuando osservazioni congiunte.



RECORD DI VELOCITÀ

La sonda Nasa Parker Solar Probe è l'oggetto più veloce mai creato. Nell'autunno 2023 ha raggiunto i 635.266 chilometri orari.

Crediti: Nasa

coronale è risolto, ma ora, grazie a questo lavoro e alle sensazionali osservazioni di Metis, i fisici solari hanno la prima misura di questo processo. «È una novità scientifica. Questo lavoro rappresenta un significativo passo avanti nella soluzione del problema del riscaldamento coronale e mostra solo alcune delle potenzialità del coronografo Metis», come ha evidenziato Marco Romoli dell'Università di Firenze, principal investigator di Metis e coautore dell'articolo.

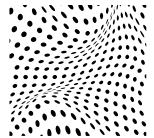
Da sempre l'uomo guarda al Sole con speranza, meraviglia e stupore. Simbolo di rinascita e della natura ciclica della vita, fonte di ispirazione per i poeti e oggetto di culto nell'antichità, il Sole ha anche custodito

segreti del cosmo che risalgono all'origine dell'universo.

Come Prometeo rubò il fuoco, simbolo di conoscenza, e lo donò agli esseri umani, così Solar Orbiter fornirà alle generazioni future nuove conoscenze sulla nostra stella, offrendo una comprensione più profonda del suo funzionamento e di come influisce sulla vita, nel bene e nel male. Ma anche se la missione spaziale dovesse rivelare che il Sole nasconde meno segreti – e anche se, in mezzo al vasto universo, il Sole è un minuscolo puntino giallo come altri miliardi di puntini luminosi che scintillano nel cielo – resterà una bellissima fonte di meraviglia per noi qui sulla Terra. ■

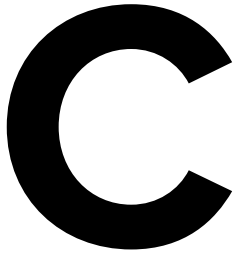
Un giallo al centro della Via Lattea

di Riccardo Ferrazzoli e Paolo Soffitta



ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE

Una nube molecolare che sembra emettere raggi X anche se sprovvista di una sorgente per produrli. Com'è possibile? È ciò che ha scoperto il telescopio spaziale Ixpe, nato da una collaborazione tra la Nasa e l'Asi, che sta esplorando il buco nero supermassiccio Sagittarius A* in cerca di risposte.



C'è un giallo al centro della Via Lattea, la nostra galassia. La scena del delitto è una regione ampia 300 anni luce nella direzione della costellazione del Sagittario, al centro della cosiddetta Zona molecolare centrale e popolata da gigantesche nubi molecolari, ammassi di gas interstellare che fanno da incubatrice per la nascita di nuove stelle.

Il mistero: all'inizio degli anni Novanta si è scoperto che queste nubi molecolari fanno qualcosa che non dovrebbero fare normalmente. Esse brillano di luce nei raggi X, ma non ci sono al loro interno sorgenti in grado di produrli.

Che stiano riflettendo, come specchi spaziali, i raggi X prodotti da una sorgente esterna? Se così stanno le cose, questa sorgente è nascosta o spenta, a causa della finitezza della velocità della luce. Quello che osserviamo, allora, non sarebbe altro che un'eco della luce emessa da una "lampadina" ormai spenta da pochi secoli.

Ed ecco il principale indiziato: un buco nero supermassiccio addormentato nel cuore della Galassia, Sagittarius A* (Sgr A*). Oggi Sagittarius A* è "quiescente" e non emette la radiazione che un buco nero della sua massa, milioni di volte quella del Sole, potrebbe produrre. Eppure potrebbe non essere stato così tranquillo in passato...

I BUCHI NERI SUPERMASSICCI

Quasi ogni galassia contiene nel suo nucleo un buco nero supermassiccio, che si differenzia dai buchi neri stellari – nati cioè dal collasso catastrofico di una stella di massa almeno dieci volte quella del Sole – perché

ha masse da milioni a miliardi di volte quelle del Sole.

Quando uno di questi buchi neri supermassicci accresce massa, emette una quantità di energia tale da eclissare quella della galassia stessa che li ospita. Parliamo in questi casi di nuclei galattici attivi (Agn, dall'inglese *Active galactic nuclei*).

La Via Lattea non fa eccezione e ospita, appunto, un buco nero supermassiccio chiamato Sagittarius A*, distante da noi circa 25mila anni luce e con massa pari a milioni di masse solari.

Ma, attualmente, Sagittarius A* non sta accrescendo materia sufficiente a generare l'energia necessaria a fare della Via Lattea un Agn.

Essendo il buco nero supermassiccio più vicino a noi, studiare la storia recente di Sagittarius A* rappresenta l'opportunità ideale per avere un modello per l'evoluzione di altri mostri simili. Nel corso degli anni sono stati fatti molti tentativi per ricostruire la curva di luce di Sagittarius A*, ossia l'energia rilasciata in funzione del tempo, utilizzando tecniche quali la variabilità spettrale e morfologica dei raggi X di queste nubi molecolari a riflessione.

Tuttavia, la distanza lungo la linea di vista delle nubi molecolari non è nota con precisione, e questa è una delle principali fonti di incertezza che rende difficile dedurre il ritardo temporale dell'emissione di raggi X.

L'INDAGINE DI IXPE

Entra in scena allora l'investigatore assegnato alla "risoluzione" del caso: l'Imaging X-ray Polarimetry Explorer (Ixpe), un rivoluzionario telescopio spaziale unicamente equipaggiato per indagare questo mistero.

Non si tratta però di un investigatore "privato", perché i suoi dati sono resi pubblici subito dopo l'osservazione, e anche il software di analisi è in pubblica distribuzione dal sito della Nasa che contiene i dati di tutte le missioni di alta energia, che possono essere scaricati con facilità. Ixpe è il risultato di una collaborazione tra la Nasa e l'Agenzia spaziale italiana (Asi) e nasce da uno sviluppo pluridecennale culminato con l'invenzione di una particolare "lente". Si tratta di un disposi-

SAGITTARIUS A*

Alla pagina precedente: il buco nero al centro della Via Lattea nella prima immagine ottenuta nel 2022 dall'Event Horizon Telescope.
Crediti: Eht Collaboration



LIFT-OFF

Il lancio di Ipxe a bordo del Falcon 9 di SpaceX nel dicembre 2021, presso il Kennedy Space Center Nasa in Florida.
Crediti: Nasa/J. Kowsky

tivo inventato in Italia dall'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf) e dall'Istituto nazionale di fisica nucleare (Infn) che permette per la prima volta di determinare con adeguata sensibilità la polarizzazione dei raggi X, conservando l'immagine della sorgente in osservazione. Questa lente perciò permette di "mappare" la polarizzazione come fosse una carta stradale.

Un modo indipendente per affrontare questa ambiguità è infatti fornito dalla polarimetria dei raggi X, poiché l'emissione riflessa da una sorgente illuminante compatta è polarizzata linearmente dallo scattering. Proprio come nell'ottico lo è la radiazione solare riflessa dalla superficie del mare o di un lago.

Oggi Sagittarius A* è "quiescente" e non emette la radiazione che un buco nero della sua massa, milioni di volte quella del Sole, potrebbe produrre. Eppure potrebbe non essere stato così tranquillo in passato...



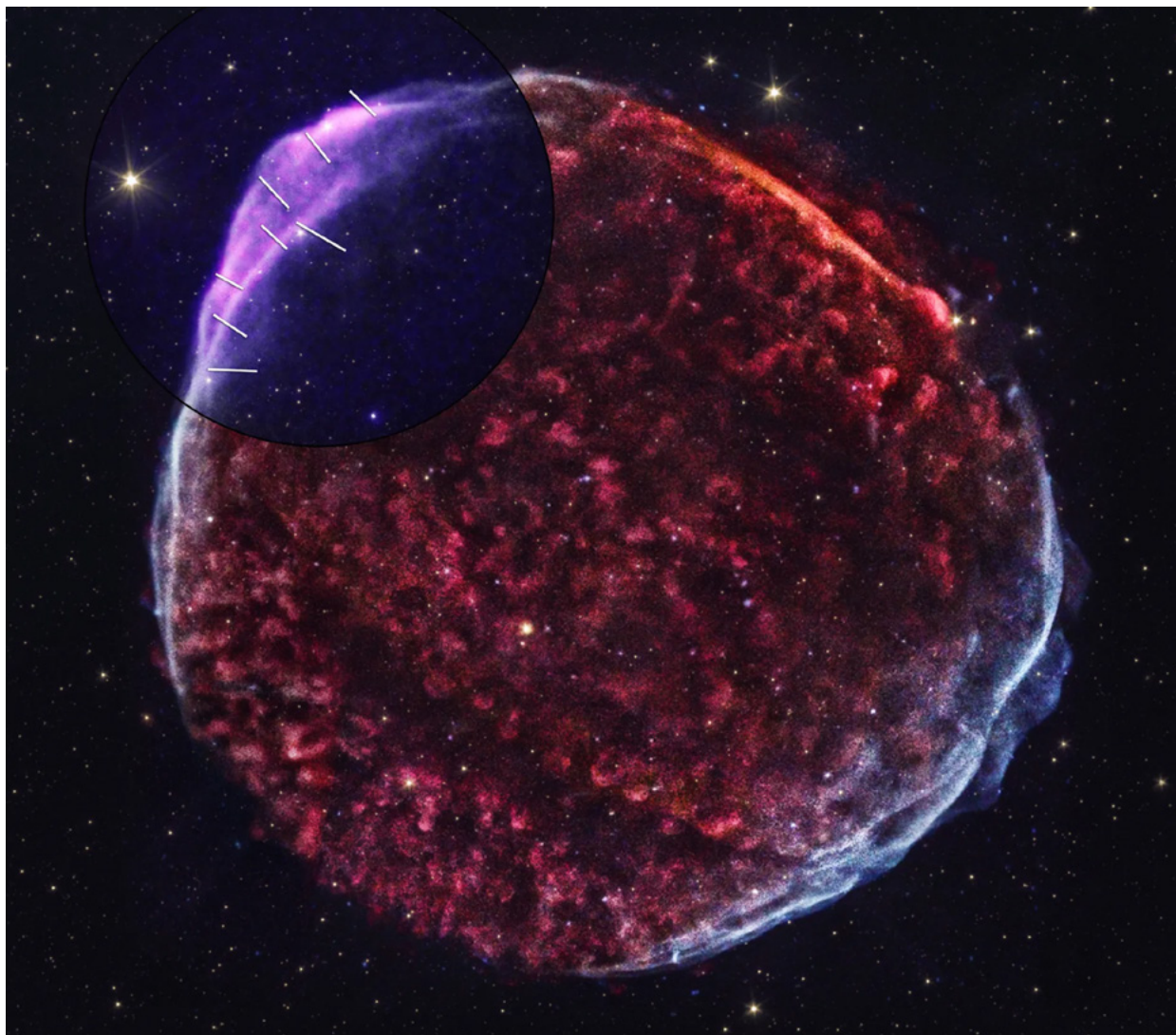
L'angolo di polarizzazione è parallelo al piano di riflessione o, meglio, perpendicolare al piano contenente la direzione della sorgente illuminante esterna. Ciò significa che la rilevazione della polarizzazione da due o più sorgenti permette di individuare la posizione della sorgente che in passato illuminava le nubi molecolari.

Il grado di polarizzazione, invece, dipende dall'angolo tra la direzione di incidenza della radiazione sul piano della nube e l'osservatore, e quindi dalla posizione della nube lungo la linea di vista (questo angolo è chiamato angolo di diffusione).

Quindi, in questa circostanza una misurazione della polarizzazione a raggi X si comporta come una bussola, indicando non solo la fonte esterna di illuminazione delle nubi molecolari ma anche determinando la loro

Ixpe ha osservato due volte nel 2022 le nubi molecolari del Complesso Sgr A, le più vicine al buco nero supermassiccio. La loro scarsa luminosità ha fatto sì che fosse necessario quasi un mese per acquisire la quantità di dati sufficiente per avere risultati significativi

CASSIOPEA A
Ixpe consentirà agli scienziati di vedere come varia la quantità di polarizzazione attraverso i resti di supernova come Cassiopea A, che ha un diametro di circa 10 anni luce.
Crediti: Nasa



SN 1006

Un resto di supernova visto da Ixpe (in viola) e dall'osservatorio a raggi X Chandra (in rosso, verde e blu).
 Crediti: Nasa/Cxc/Sao/Msfc/Nanjing Univ./Ixpe/Jpl/CalTech/Spitzer/U. Schmidt

distribuzione nel nucleo galattico. Questo è proprio l'esperimento svolto da Ixpe.

UN CASO DIFFICILE

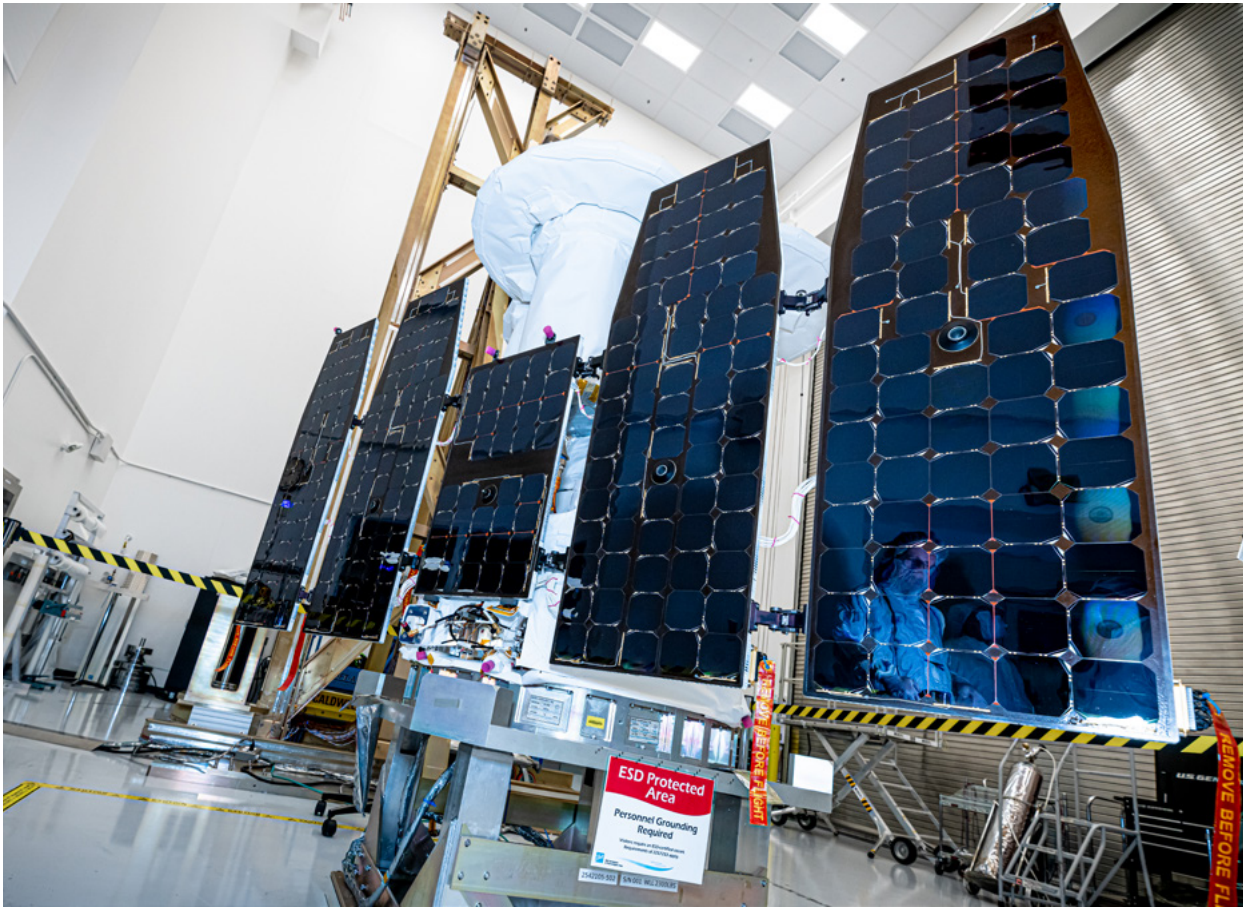
Ixpe ha osservato due volte nel 2022, nei mesi di febbraio e marzo, le nubi molecolari del Complesso Sgr A, le più vicine al buco nero supermassiccio.

La scarsa luminosità di queste nubi ha fatto sì che fosse richiesto molto tempo per acquisire la quantità di dati necessaria per avere risultati significativi, quasi un mese di puntamenti. Si è trattata infatti di una delle osservazioni più esigenti in termini di durata di tutta la missione Ixpe.

Un'altra importante difficoltà legata a questa osservazione è che ci si aspetta che il grado di polarizzazione osservato sia molto più basso di quello reale, in quanto l'e-

missione polarizzata delle nubi molecolari è mescolata con l'emissione diffusa non polarizzata del plasma caldo che permea il centro galattico. Questa diluizione rischia di far scendere il segnale sotto la soglia di rilevamento e deve essere attentamente trattata modellizzando tutte le componenti spettrali dell'emissione X.

In più, dobbiamo considerare il fatto che la morfologia e luminosità delle nubi molecolari cambia nel tempo. Per questo, i dati ottenuti da Ixpe sono stati combinati con le immagini del telescopio spaziale a raggi X Chandra della Nasa acquisite quasi contemporaneamente, e confrontati con le osservazioni d'archivio del telescopio spaziale a raggi X dell'Agenzia spaziale europea (Esa) XMM-Newton, per isolare il segnale nei raggi X riflesso e scoprirne il punto di origi-



ne esatto. Integrando il segnale di più nubi molecolari così individuate e studiandone le proprietà della polarizzazione in funzione dell'energia, il risultato è stata la misura di un angolo di polarizzazione di $-48^{\circ} \pm 11^{\circ}$ e di un grado di polarizzazione del $31\% \pm 11\%$.

L'angolo di polarizzazione misurato è consistente con l'ipotesi che Sgr A* sia la sorgente primaria dell'illuminazione delle nubi molecolari.

Infatti, per una nube situata al centro della regione di estrazione, la linea ortogonale alla direzione verso Sgr A* corrisponderebbe a un angolo di -42° .

A ogni valore di grado di polarizzazione misurato corrispondono due possibili angoli di diffusione per cui il sistema è degenere: il valore più piccolo corrisponde alle nubi posizionate tra noi e la fonte primaria e quello più grande alle nubi posizionate oltre la fonte.

Per un dato angolo di diffusione, si può anche calcolare l'età del brillamento (ossia, il ritardo temporale associato alla propagazione dei raggi X dalla sorgente primaria alla nube e quindi all'osservatore).

L'osservazione del centro della nostra galassia sotto la nuova luce polarizzata vista da Ixpe gioca un ruolo chiave nel comprendere meglio la scala temporale su cui Sagittarius A* sta cambiando

Adottando una distanza proiettata sul cielo tra Sgr A* e le nubi pari a 25 pc (pari alla distanza tra il buco nero supermassiccio e il centro della nostra zona di estrazione nel piano celeste), le due soluzioni per l'angolo di diffusione si traducono in due valori: circa 30 anni, e 200 anni.

Se dal punto di vista matematico e delle proprietà di polarizzazione osservate, en-

IN FASE DI TEST
L'imaging X-Ray Polarimetry Explorer in fase di test e integrazione alla Ball Aerospace di Boulder, Colorado, Stati Uniti.
Crediti: Nasa



trambe le soluzioni sono equivalenti, il brillamento “più vecchio” è più plausibile.

Infatti, trent’anni fa il centro galattico era già sotto osservazione da parte del satellite a raggi X Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics (Asca): all’epoca le nubi molecolari erano brillanti, mentre Sagittarius A* no.

NON TUTTO CIÒ CHE BRILLA È ORO

L’indagine di Ixpe rappresenta quindi la prova certa che i raggi X provenienti dalle nubi molecolari sono dovuti alla riflessione di un breve, ma intenso, brillamento prodotto da, o nei pressi di, Sagittarius A*.

Questi risultati possono imporre ulteriori limiti all’attività passata del Centro Galattico. I dati osservativi suggeriscono che la luminosità del brillamento a banda larga (1–100 keV) sia stata nell’intervallo da 10^{39} a circa 10^{44} erg/s (cioè paragonabile alla luminosità X delle galassie di Seyfert, una particolare classe di Agn). Un valore un milione di volte l’attuale luminosità di Sagittarius A*. Dato il vincolo di luminosità,

il brillamento responsabile dell’illuminazione delle nubi molecolari può essere durato da un’ora fino a uno o due anni.

Mistero risolto? Per averne assoluta certezza, Ixpe ha osservato nuovamente il centro della Galassia nel 2023, raddoppiando il tempo di puntamento disponibile e consentendo così di ridurre le incertezze della misurazione. Le analisi dei nuovi dati, combinati con i precedenti, sono attualmente in corso. I nuovi risultati consentiranno di migliorare la stima dell’origine temporale e dell’intensità del bagliore originale al suo apice, e di determinare il numero e la durata degli eventi che hanno illuminato le nubi molecolari.

L’osservazione del centro della nostra galassia sotto la nuova luce polarizzata vista da Ixpe gioca un ruolo chiave nel comprendere meglio la scala temporale su cui Sagittarius A* sta cambiando, e ci consente di ottenere una nuova comprensione dei processi fisici necessari per risvegliare Sagittarius A* e i suoi simili, anche solo temporaneamente, dal loro sonno inquieto. ■



Ska-Low: un'avventura per l'Inaf

di Jader Monari

universi

**VIVALDI**

I prototipi di sensori a bassa frequenza progettati da Inaf Istituto di Radioastronomia e Cnr-Ielit per lo Square Kilometer Array.
Crediti: Inaf/J. Monari

Un'avventura con diversi attori, un lungo percorso, delusioni e soddisfazioni. La partecipazione dell'Inaf al progetto Ska-Low è stata un cammino difficile, che è sfociato però in un importante contributo dell'istituto italiano a un grande progetto internazionale.

P

Poche sono le persone che ne sono a conoscenza, ma l'idea della partecipazione al progetto Ska in Italia è nata grazie alla volontà e alla determinazione di una sola persona: l'ingegnere Stelio Montebugnoli. Il suo sogno era ristrutturare e reingegnerizzare la grande Croce del Nord, enorme array di 30mila metri quadrati di area collettiva, costruito nel 1964 nelle pianure bolognesi, nei pressi di Medicina. Grazie alla sua struttura e ai 1536 dipoli che la costituivano, disposti ad array, era un banco di prova perfetto per sviluppare le tecnologie future per il radiotelescopio più potente al mondo, un promettente strumento che, grazie a grande sensibilità, campo di vista e risoluzione, avrebbe rivoluzionato la fisica moderna.

L'utilizzo di antenne cilindro paraboliche con struttura T-Mills non era un'idea balzana. Il 10 agosto 2000, quando all'Assemblea generale della International Astronomical Union (Iau) a Manchester fu firmato da 11 paesi il memorandum di intesa per istituire il comitato direttivo dell'International Square Kilometre Array, esistevano già diversi disegni concettuali. Le tipologie delle architetture variavano dai classici array stile Lofar (il

Low Frequency Array, allora già in corso di progettazione), ad array di parabole come l'Ata americano (Allen Telescope Array), a enormi parabole come Arecibo o il cinese Fast (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope), ad appunto antenne cilindro paraboliche come il Molonglo australiano, fino a sistemi più fantasiosi basati su lenti concentriche (lenti di Lunenburg) o sistemi a specchio piano, con illuminatore su dirigibile situato a centinaia di metri di altezza.

Tutti questi sistemi erano derivati da un unico progetto della Nasa formato da una schiera di 16 chilometri di diametro di 1000 parabole da 100 metri, che lavorano a lunghezze d'onda di 21 centimetri. Lo scopo principale era il rilevamento di vita intelligente extraterrestre, l'attuale Seti (Search for Extra-Terrestrial Intelligence). Chiamato progetto Cyclops, non era dissimile dal concetto di Ska-Mid, ma circa di un ordine di grandezza superiore in termini di costi (10 miliardi di dollari) e sensibilità.

SARÀ UN'AVVENTURA?

Stelio Montebugnoli, coadiuvato da due giovani ingegneri (Federico Perini e il sottoscritto, Jader Monari), iniziò questa incredibile avventura con un piccolo finanziamento estrapolato dai fondi di funzionamento della Stazione di Medicina, con l'autorizzazione e la collaborazione dell'allora direttore dell'Istituto di radioastronomia (Ira), Franco Mantovani. In quel periodo, l'Inaf e il resto dell'Europa si stavano ancora organizzando, e la fase preparatoria, definita PrepSka, si concentrava principalmente sulla definizione e costituzione dei gruppi di lavoro, nonché sulla ricerca dei fondi necessari per lo studio di fattibilità di questo enorme strumento di nuova generazione.



L'opportunità decisiva si presentò nel 2005 con il finanziamento di Skads, un programma europeo internazionale della durata di quattro anni, supportato dall'Unione Europea nell'ambito del Sixth Framework Program. Coinvolgendo 26 istituti di 13 paesi diversi, Skads aveva come obiettivo lo studio di nuove tecnologie, componenti, architetture e algoritmi software da applicare ai radiotelescopi di prossima generazione.

Skads era strutturato in vari *design studies* che coprivano una vasta gamma di attività: dallo studio di fattibilità all'assessment di attività tecnologiche e prototipali. L'Ira partecipava principalmente agli ultimi, concentrandosi sullo sviluppo di un ricevitore per l'Aperture Array Olandese denominato Embrace (400-1600 MHz) e sul progetto Best (Basic Element array for Ska Training), il cui obiettivo era la reingegnerizzazione di quattro cilindri parabolici della Croce del Nord.

LA SVOLTA ITALIANA

È proprio grazie al progetto Best che è stato sviluppato il primo prototipo di link in fibra, definito Rfof (Radio frequency over fibre), un sistema ottico per la trasmissione di segnali a radio frequenza analogici, captati dalle sensibili antenne di un radiotelescopio. Questa nuova tecnologia, già in uso nell'industria, veniva impiegata per la prima volta nell'ambito radioastronomico allora dominato dai cavi coassiali e si è rivelata essere la *cross-cutting technology* che, grazie al suc-

Il gruppo di ricercatori dell'Inaf-Ira, nel corso dei quattro anni di sviluppo, ha acquisito un notevole know-how, affrontando tutte le fasi dal funzionamento delle antenne ai sistemi di acquisizione

cesso della sua applicazione, ha conferito un'ottima visibilità al lavoro dei ricercatori italiani.

Alla chiusura del progetto Best e durante la presentazione conclusiva a Limelette in Belgio, il sistema italiano ha avuto un grande successo presentando veri dati di un'osservazione reale. Il gruppo di ricercatori dell'Inaf-Ira, nel corso dei quattro anni di Skads, ha acquisito un notevole know-how, affrontando tutti gli aspetti di progettazione di una catena ricevente, dalle antenne ai sistemi di acquisizione, incluso alcuni lavori preparatori come quello per la valutazione della temperatura dell'antenna dell'array, poi rivelatosi essenziale in un secondo momento, quando sono stati installati sul campo i veri prototipi delle stazioni Ska.

LE DIFFICILI COLLABORAZIONI

Il periodo successivo è stata l'epoca consortile con Aavp (Aperture Array Verification Program), guidato dai Paesi Bassi, e che ha coinvolto nove paesi europei, l'Australia e il



SKALA 2

Uno dei due prototipi previsti per la realizzazione delle antenne Ska-Low, progettato e prodotto dall'University of Cambridge.
Crediti: Inaf/J. Monari

Sudafrica. L'obiettivo del consorzio era sviluppare progetti mirati con un budget totale di 18-20 milioni di euro, tra cui Aperture Array Low (AALow), di competenza Inaf/Icrar (Australia).

L'accordo finanziato dall'Inaf è stato firmato dal presidente Bignami, che vedeva in questa opportunità un treno in partenza per lo sviluppo del progetto Ska. Il gruppo tecnologico dell'Inaf, grazie all'esperienza con Best, si è concentrato sulla progettazione a livello di sistema della catena ricevente, focalizzandosi su antenne, ricevitori e sistemi di acquisizione. Già all'epoca avevamo una visione chiara su come realizzare la catena, tanto che nel 2010 abbiamo presentato un'architettura identica a quella che costituisce la baseline di oggi.

Nel frattempo, a livello internazionale si è costituita la Ska Organization (Skao). Nel 2016 la Aperture Array Verification Program (Aavp) si è trasformata in Aperture Array Design Consortium (Aadc), un consorzio sempre a guida olandese dedicato allo sviluppo di Lfaa (Low Frequency Aperture Array), uno dei workpackages di Skao e nuovi partner si sono uniti al vecchio gruppo, tra i quali il Regno Unito (con le università di Cambridge e Oxford) e la Cina. Grazie alla *win-win solution* si spartiva così il sito di installazione di Ska fra Australia (bassa frequenza) e Sudafrica (alta frequenza). L'Italia perdeva la candidatura a ospitare l'headquarter del progetto Ska a Padova a discapito della bucolica Jo-

drell Bank, provocando un terremoto interno all'Inaf e al Miur. Questo è stato il tempo "più buio", nel quale l'Italia ha rischiato di uscire dal progetto. Grazie all'intervento in calcio d'angolo di Bignami e una negoziazione di compensazione, siamo rientrati in gioco salvando tutti gli sforzi fatti.

Purtroppo, l'epoca consortile di Aadc si è rivelata un periodo tutt'altro che semplice. Invece di creare un gruppo collaborativo focalizzato sulla ricerca di una soluzione comune, il lavoro è stato impostato in modo competitivo tra i vari team del progetto. È stato il momento della "guerra delle antenne", con gruppi inglesi, australiani e italiani che cercavano di convincersi reciprocamente che la propria soluzione fosse la migliore. Al posto di adottare un approccio di ingegneria di sistema, in cui i requisiti dei singoli elementi vengono derivati con un criterio top-down secondo il V-model (dai requisiti di sistema al dettaglio dei singoli elementi, passando poi all'implementazione fino al test e verifica delle specifiche), è stata adottata una filosofia completamente opposta. I requisiti di sistema sono stati "adattati" in funzione delle specifiche dei singoli componenti, soprattutto alle soluzioni dei nostri partner britannici. Questo, purtroppo, è stato il peccato originale del consorzio Aadc che l'ha portata al default completo.

Il contributo italiano è stato relegato allo sviluppo del ricevitore ma grazie alle ottime collaborazioni con l'Università di Bologna, il

Skao è stato concepito in tre fasi progressive per comparare le prestazioni dei due array, installando rispettivamente 1, 64 e 256 antenne. Con grande soddisfazione il sistema funzionava secondo le specifiche aspettate

Cnr-Ielit, l'Università di Firenze e il Politecnico di Torino, il gruppo ha conquistato sempre più spazio, sviluppando anche altri elementi quali antenne basate sulla geometria Vivaldi, un sistema innovativo per le misure di performance di antenne/array a bassa frequenza basato su Uav (Unmanned Air Vehicle) nonché un performante sistema di acquisizione/beamforming basato su Fpga (Field Programmable Gate Array). Anche il gruppo dell'Inaf si è espanso proporzionalmente ai nuovi task portati avanti, arricchendolo con il contributo di colleghi delle sedi Inaf di Arcetri, Catania e Iasf di Milano. Nonostante le competenze del gruppo siano diventate sempre più importanti all'interno il consorzio Aadc, il sottoscritto, come project manager del team italiano, non è riuscito a convincere il management dell'approccio sbagliato al progetto. Gli errori si sono palesati durante l'installazione del primo array costituito dalle antenne inglesi di Cambridge Skala2, denominato Aavs1 (Aperture Array Verification System 1). È solo con un grande sforzo tutto australiano e italiano che, in qualche modo, si è riusciti a far funzionare l'array, ma con prestazioni non sicuramente all'altezza del progetto Ska. Le indiscrezioni sul cattivo funzionamento dell'array diventano certezze ed è così che, dopo la Lfaa Critical Design Review, il consorzio Aadc è andato in default e il management è stato licenziato.

UN ORIZZONTE DI OPPORTUNITÀ

Il progetto ha affrontato così il secondo momento più critico dal kickoff, ma per l'Inaf questo momento di crisi si è trasformato in una fantastica opportunità. Infatti, già durante il periodo di Aavs1, il gruppo tecnico dell'Inaf/Cnr con la collaborazione dell'azienda Sirio Antenne si era già mosso ingegnerizzando una nuova antenna in alluminio

denominata Skala4.0, che sembrava soddisfare tutti i nuovi requisiti imposti da Skao. Il Direttore scientifico dell'Inaf, Filippo Zerbi, consapevole delle abilità che il gruppo Inaf aveva maturato sul campo e del grande lavoro fatto durante gli anni dell'epoca consortile, grazie a un strategico agreement italo-australiano, formalizza il finanziamento per la costruzione di un secondo prototipo di array (Aavs2) con le antenne italiane, e un terzo, Eda2 (Electronic Digital Array 2), con le piccole antenne "a ragno" già utilizzate per Mwa (Murchison Widefield Array) come soluzione di backup e basso rischio.

Con l'approvazione di Skao a questa attività inizia il periodo dei lunghi viaggi in Australia. Questa fase denominata *bridging* è concepita in tre momenti progressivi il cui obiettivo è confrontare le prestazioni dei due array, installando rispettivamente 1, 64 e 256 antenne. Nella fase intermedia, denominata Aavs1.5, le performances vengono anche misurate con il sistema drone. Con grande soddisfazione tutto funzionava secondo le specifiche aspettate, realizzando anche le prime radiomappe e ricevendo i segnali anche delle misteriose pulsar. Ovviamente non era perfetto e con ancora tanti particolari da migliorare, ma sicuramente poteva costituire la baseline per la successiva fase di ingegnerizzazione e industrializzazione.

Pochi mesi dopo, il 12 marzo 2019, durante una cerimonia ufficiale presso il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, i ministri dei primi sei paesi hanno firmato ufficialmente l'adesione al trattato internazionale, dando così vita allo Ska Observatory.

L'AVVENTURA CONTINUA...

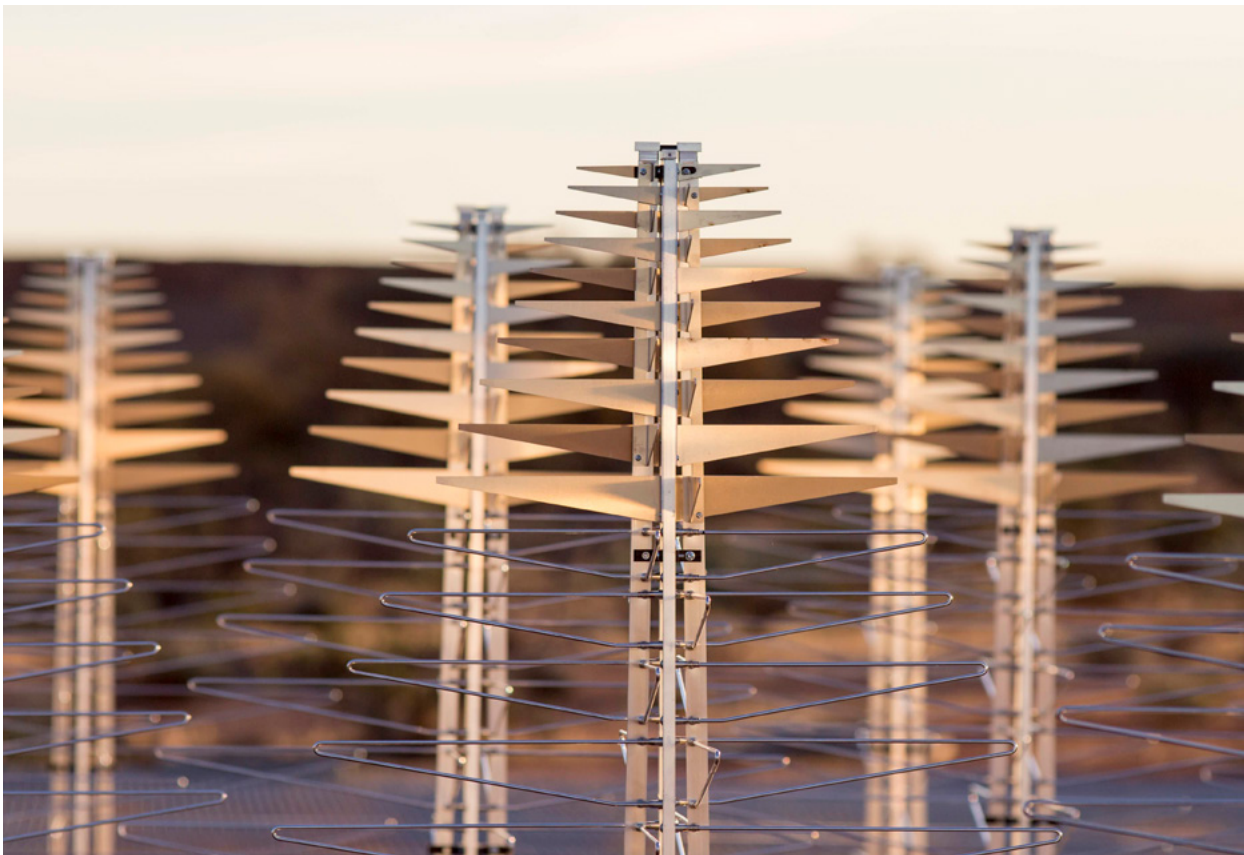
Oggi, l'Inaf opera come consulente per Skao; con l'avvio della fase di costruzione e industriale, le attività di ricerca legate allo sviluppo tecnologico si stanno gradualmente

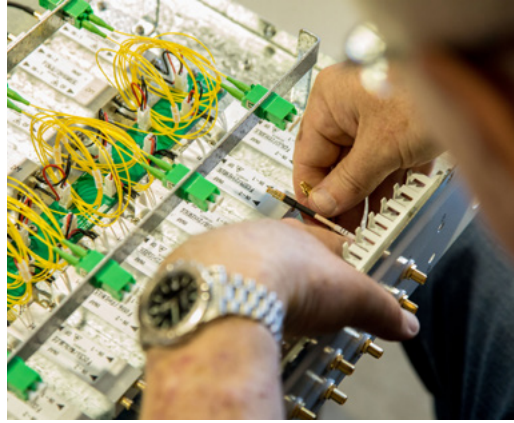
SKALA4.1AL

Il prototipo italiano per l'array Ska-Low, sviluppato da Inaf in collaborazione con Cnr-Ielit e Sirio Antenne, a partire dal design elettromagnetico Skala4 del consorzio internazionale Aperture Array Design Construction.
Crediti: Icrar

ALBERO DI NATALE

È la forma particolare dell'antenna Skala4.1AL, che permette la ricezione dei segnali a radiofrequenza in doppia polarizzazione da 50 a 300MHz.
Crediti: Icrar





BRICOLAGE
 Assemblaggio e integrazione dei Front End Module, sistemi ottici per la trasmissione con laser del segnale a radiofrequenza captato dalle antenne.
 Crediti: Icrar



NELLA MORSA DEL RAGNO
 Alcune delle antenne del Murchison Widefield Array, il precursore più lungo del progetto Ska, operativo dal 2013.
 Crediti: Curtin University



VEDUTA AEREA

AaskA2 presso il Murchison Radio-Astronomy Observatory, vicino alla stazione di Boolardy in Australia occidentale.
Crediti: Icrar

L'Inaf ha accumulato un bagaglio straordinario di esperienza e competenze nel campo delle tecnologie radio destinate a Ska-Low, raggiungendo una fama internazionale grazie agli incessanti sforzi e alla dedizione dei suoi ricercatori nel corso degli ultimi vent'anni

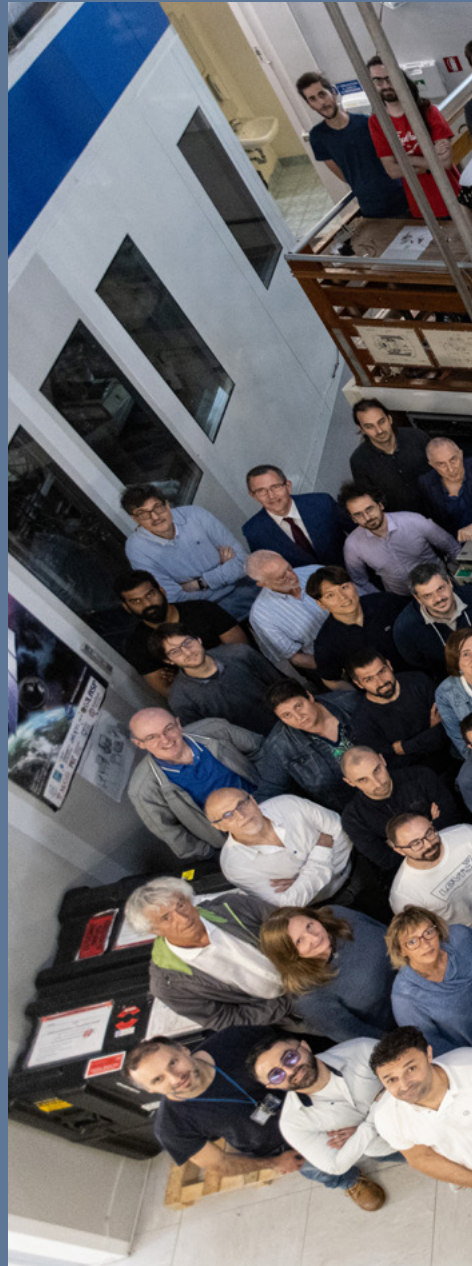
riducendo. Tuttavia, il nostro team continua a essere parte integrante del processo di verifica attraverso il gruppo di osservazione, fornendo supporto industriale e trasferendo know-how. In parallelo, siamo continuamente coinvolti nello sviluppo di elementi critici per migliorare l'efficienza, l'integrazione, l'installazione e l'affidabilità. Quando necessario e richiesto da Skao, siamo pronti ad affrontare eventuali problematiche che inevitabilmente possono emergere durante il funzionamento dei primi sistemi installati.

In conclusione, l'Inaf ha accumulato un bagaglio straordinario di esperienza e competenze nel campo delle tecnologie radio

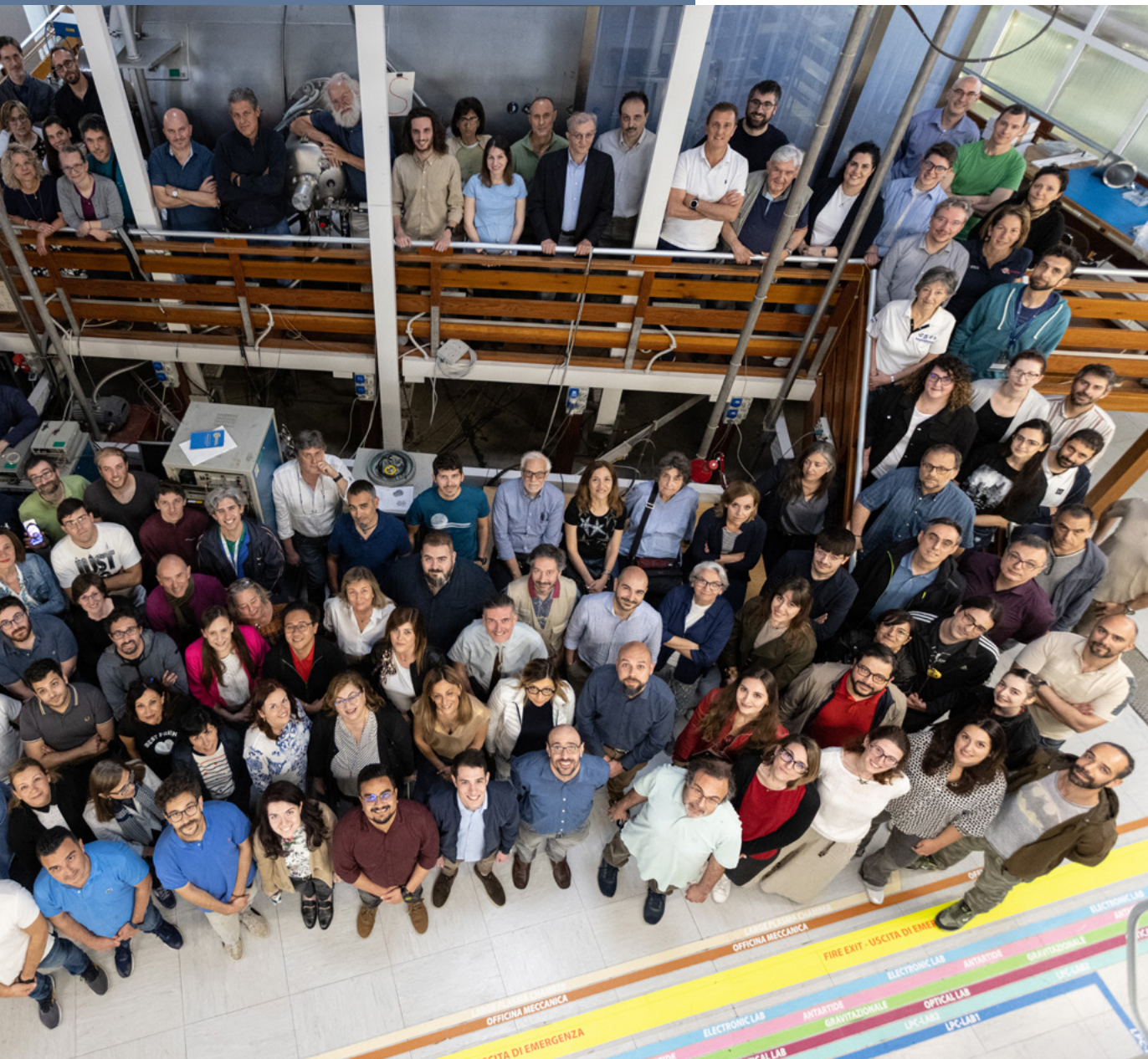
destinate a Ska-Low, raggiungendo una fama internazionale grazie agli incessanti sforzi e alla dedizione dei suoi ricercatori nel corso degli ultimi vent'anni. Questo trionfo e il vantaggio competitivo conquistato dall'Italia non solo offrono ai giovani studiosi l'opportunità di partecipare alle fasi iniziali di Ska-Low, ma li proiettano anche verso progetti sempre più avanzati, impegnativi e ambiziosi. Un esempio eclatante di questa audacia è la progettazione di un radio-telescopio sulla faccia nascosta della Luna. L'avventura continua, tracciando un futuro vibrante e promettente per la ricerca radioastronomica italiana. ■

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**



EINSTEIN TELESCOPE, UNA SCELTA STRATEGICA

intervista

di **Maura Sandri**



ANNA MARIA BERNINI
Ministro dell'Università e della Ricerca

Il Governo italiano è pronto a sostenere l'impegno finanziario per ospitare nel nostro Paese l'Einstein Telescope (Et), la grande infrastruttura di ricerca per lo studio delle onde gravitazionali che l'Italia si è candidata a realizzare in Sardegna. Il progetto – incluso nello European Framework Programme (FP7) e attualmente in fase di studio concettuale – è stato proposto da otto istituti europei attivi nel campo della ricerca e sperimentazione sulle onde gravitazionali, tra cui l'Istituto nazionale di fisica nucleare (Infn). L'astrofisica è una componente essenziale del progetto e l'Inaf, in collaborazione con l'Infn e altri enti e università, è in prima linea nel sostenere la ricerca e lo sviluppo di strumentazione per osservazioni astrofisiche da terra e dallo spazio. Ne abbiamo parlato con il Ministro dell'Università e della Ricerca, Anna Maria Bernini, particolarmente attenta e attiva su questi temi a noi cari.

Il Governo sostiene con entusiasmo la volontà di realizzare Einstein Telescope in Italia, in un momento particolarmente positivo per la ricerca scientifica, che trova nel Piano nazionale di ripresa e resilienza (Pnrr) ossigeno per le sue attività. Può riassumere per i lettori di *Universi* ciò che avete messo in campo?

Ci troviamo a vivere un periodo straordinario per la ricerca. L'encomiabile attività dell'Istituto nazionale di astrofisica lo dimostra quotidianamente. L'attuazione del Pnrr ha innescato nel sistema nazionale di ricerca una quantità notevole di risorse. Un dato che auspico contribuisca a superare, almeno in parte, l'antico dibattito sulla scarsità di disponibilità economiche dedicate al comparto, contribuendo a concentrarsi sui traguardi che si intendono raggiungere. Oggi l'obiettivo principale che abbiamo di fronte non è quello del reperimento di risorse, ma del loro utilizzo ottimale. E per centrarlo occorre avere un orizzonte temporale lungo e puntare a costruire un sistema capace di detonare effetti positivi stabili e duraturi nel tempo. Il Governo, dal

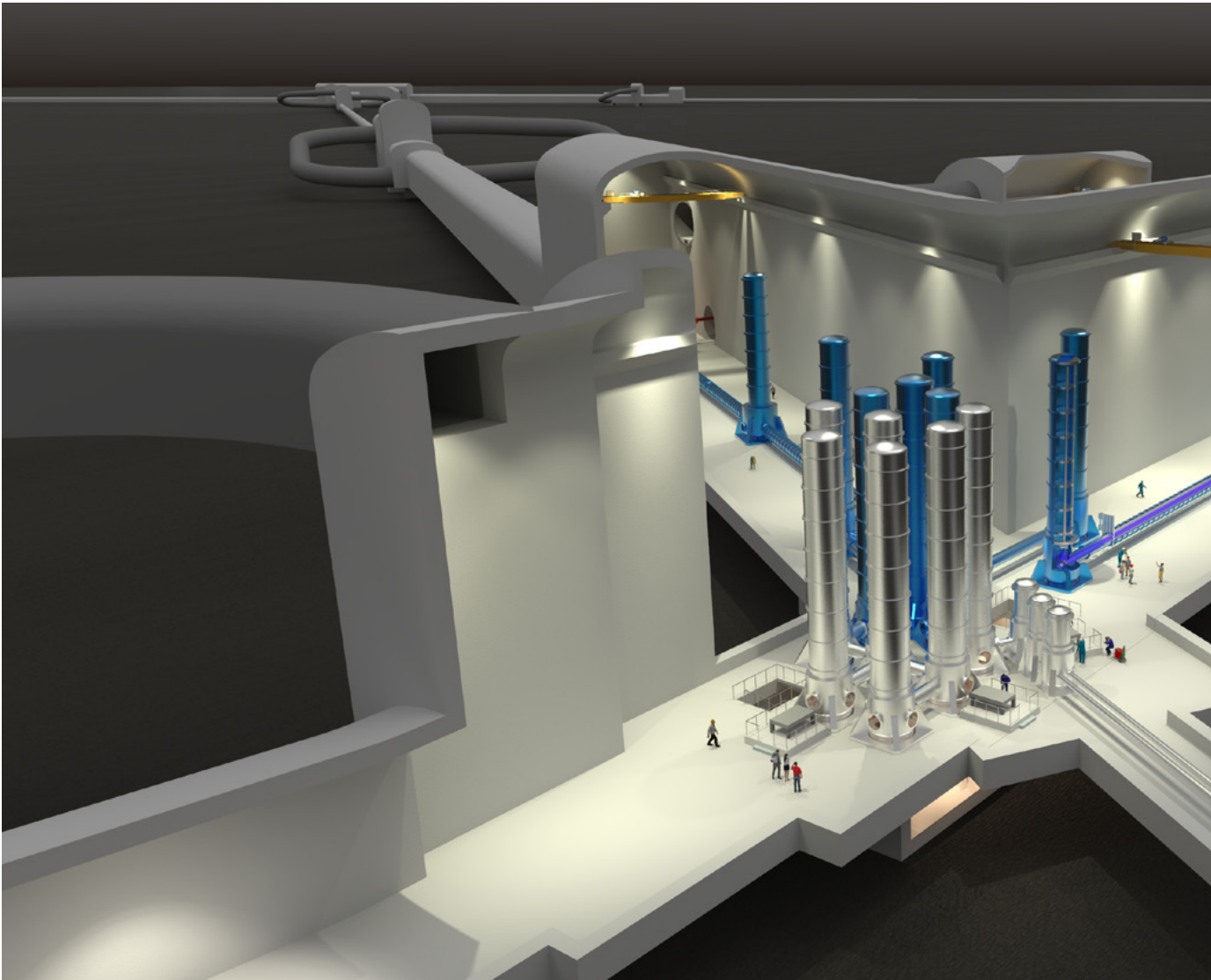
Oggi l'obiettivo principale che abbiamo di fronte non è quello del reperimento di risorse, ma del loro utilizzo ottimale. E per centrarlo occorre avere un orizzonte temporale lungo e puntare a costruire un sistema capace di detonare effetti positivi stabili e duraturi nel tempo



ROMA, 6 GIUGNO 2023

Nella sede centrale dell'Inaf il Governo candida l'Italia per l'Einstein Telescope.
Crediti: Mur

momento del suo insediamento, è impegnato a rafforzare l'ecosistema della ricerca, rendendolo sempre più attrattivo sia per le eccellenze nazionali sia per i tanti talenti che vedranno nel nostro Paese un possibile punto di approdo. L'attenzione dell'esecutivo in questo senso è dimostrata con forza dalla candidatura per ospitare Einstein Telescope in Sardegna. Dal momento dell'ufficialità della nostra proposta, a giugno 2023, sono stati fatti molti passi in avanti. Primo fra tutti, l'impegno finanziario sottoscritto da Palazzo Chigi per 950 milioni destinato alla realizzazione dell'infrastruttura. Ma non solo. La comunità scientifica italiana ha già iniziato a lavorare nell'area dell'ex miniera di Sos Enattos, in Sardegna, avviando esperimenti in grado



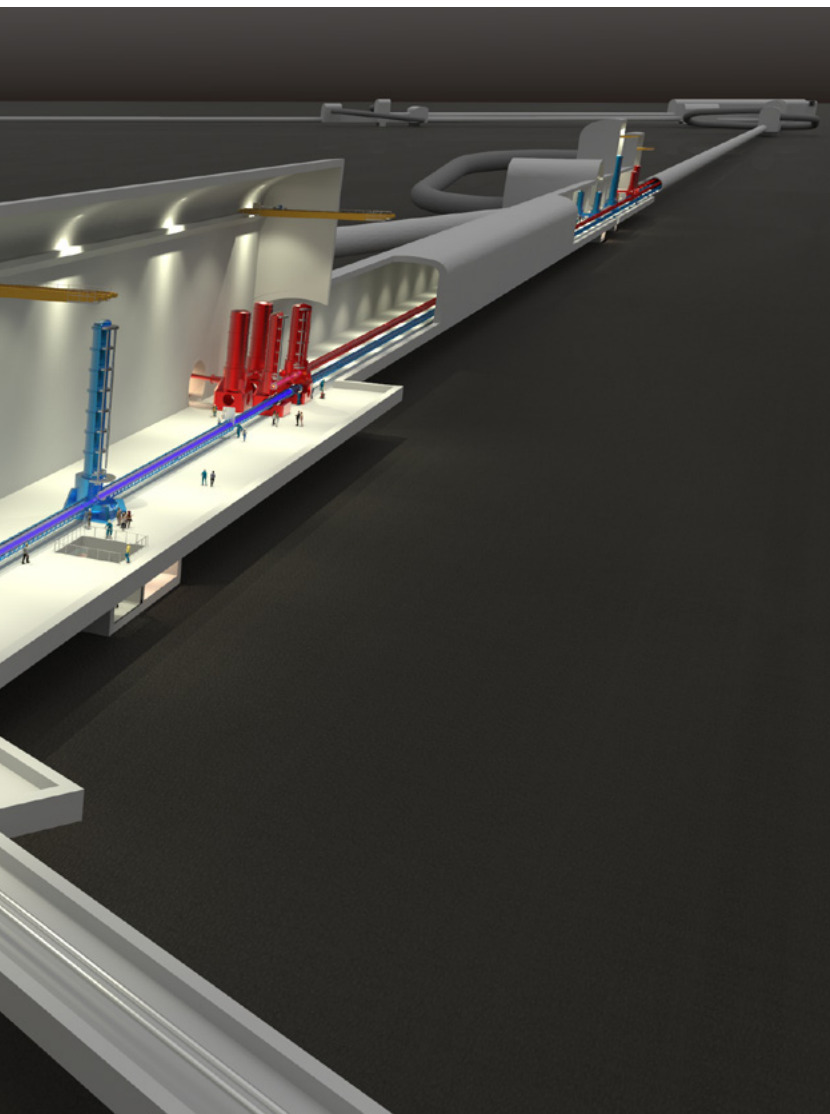
di produrre risultati scientifici interessanti come il progetto Archimedes, che punta a misurare l'interazione tra le fluttuazioni del vuoto elettromagnetico e il campo gravitazionale.

Si tratta di una scelta strategica, quella di Einstein Telescope, inserita in un contesto più ampio che riguarda tutta la ricerca scientifica. Qual è il disegno che avete in mente e in che modo l'Inaf può contribuirvi?

Siamo convinti che Lula (Nuoro) – con i suoi cieli puliti, le ottime condizioni geologiche e ambientali, il bassissimo rischio sismico – rappresenti il sito migliore per installare questa fondamentale infrastruttura europea. Per raggiungere questo traguardo occorre fare squadra. Una grande alleanza tra Governo, istituzioni, enti di ricerca, università, imprese. Ma Einstein Telescope rappresenta la punta di diamante di un disegno più complessivo, la cui realizzazione è già in fase avanzata. Grazie al Pnrr sono stati messi a disposizione 11 miliardi alla ricerca. Sono stati finanziati cinque nuovi centri nazionali che si occupano di altrettante priorità (mobilità sostenibile, quantum computing e supercalcolo, agritech, farmaci innovativi e biodiversità); 11 ecosistemi regionali dell'innovazione; 33 infrastrutture di ricerca e 24 in-

COSA SARÀ

Il progetto di infrastruttura per il futuro rivelatore di onde gravitazionali di terza generazione attualmente in fase di studio.
Crediti: M. Kraan/Nikhef



L'Inaf è un esempio concreto di ciò che noi intendiamo come eccellenza del Paese. Quelle per cui la nostra filiera accademica è celebre in tutto il mondo

frastrutture di innovazione tecnologica. Un Paese che investe in ricerca è un Paese che crede nel futuro e punta a giocare un ruolo da protagonista nell'affrontare le sfide globali del nostro tempo: lo sviluppo tecnologico rapidissimo di cui è difficile prevedere gli effetti, il cambiamento climatico che mette a rischio importanti porzioni di mondo, la necessità di condividere i risultati del progresso scientifico con chi finora è rimasto indietro o addirittura escluso. Se questo piano così ambizioso, e al contempo sfidante, potrà in effetti concretizzarsi, lo si dovrà anche all'apporto che istituti come l'Inaf danno all'ecosistema della ricerca italiana. L'Inaf è un esempio concreto di ciò che noi intendiamo come eccellenza del Paese. Quelle per cui la nostra filiera accademica è celebre in tutto il mondo. Le attività dell'Istituto sono fondamentali non solo in ordine alla realizzazione e al coordinamento dei progetti di ricerca nei campi dell'astrofisica e dell'astronomia, ma anche e soprattutto nell'ambito dei programmi europei e degli organismi internazionali. Il valore aggiunto è rappresentato dalla fittissima attività divulgativa che l'Inaf fa attraverso appositi progetti didattici che contribuiscono fattivamente a una maggiore consapevolezza della cultura scientifica nel Paese. Un patrimonio prezioso di cui essere orgogliosi. ■

AGILE: L'AVVENTURA DEL SATELLITE MADE IN ITALY

intervista

di **Marco Malaspina**



MARCO TAVANI
Astrofisico, già Presidente Inaf

Si è conclusa il 14 febbraio scorso – con il rientro e la disintegrazione in atmosfera, dopo 17 anni di ininterrotta attività scientifica – l'avventura del telescopio spaziale Agile, raro esempio di satellite per l'astrofisica interamente Made in Italy. Realizzato dall'Agenzia spaziale italiana con il supporto dell'Istituto nazionale di astrofisica, dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, di università e industrie italiane, e lanciato dalla base spaziale indiana di Sriharikota il 23 aprile 2007, Agile ha portato a risultati scientifici di prim'ordine nel campo dell'astrofisica delle alte energie, come per esempio la prima conferma osservativa dell'accelerazione nei resti di supernove dei protoni che compongono i raggi cosmici. Ne parliamo con il suo principal investigator, l'astrofisico Marco Tavani, già Presidente dell'Inaf.

Quando le è venuta l'idea di realizzare Agile?

La *call for ideas* dell'Asi per una piccola missione scientifica su satellite – era la prima volta che l'Italia faceva una cosa del genere – è del maggio 1997. La concepimmo alla lavagna alla fine dell'estate. Era una proposta di quattro o cinque pagine – la conservo ancora. Ne arrivarono in tutto circa 60, e alla fine ne rimasero due. Una era una missione per le telecomunicazioni, che però non venne mai realizzata. L'altra era Agile.

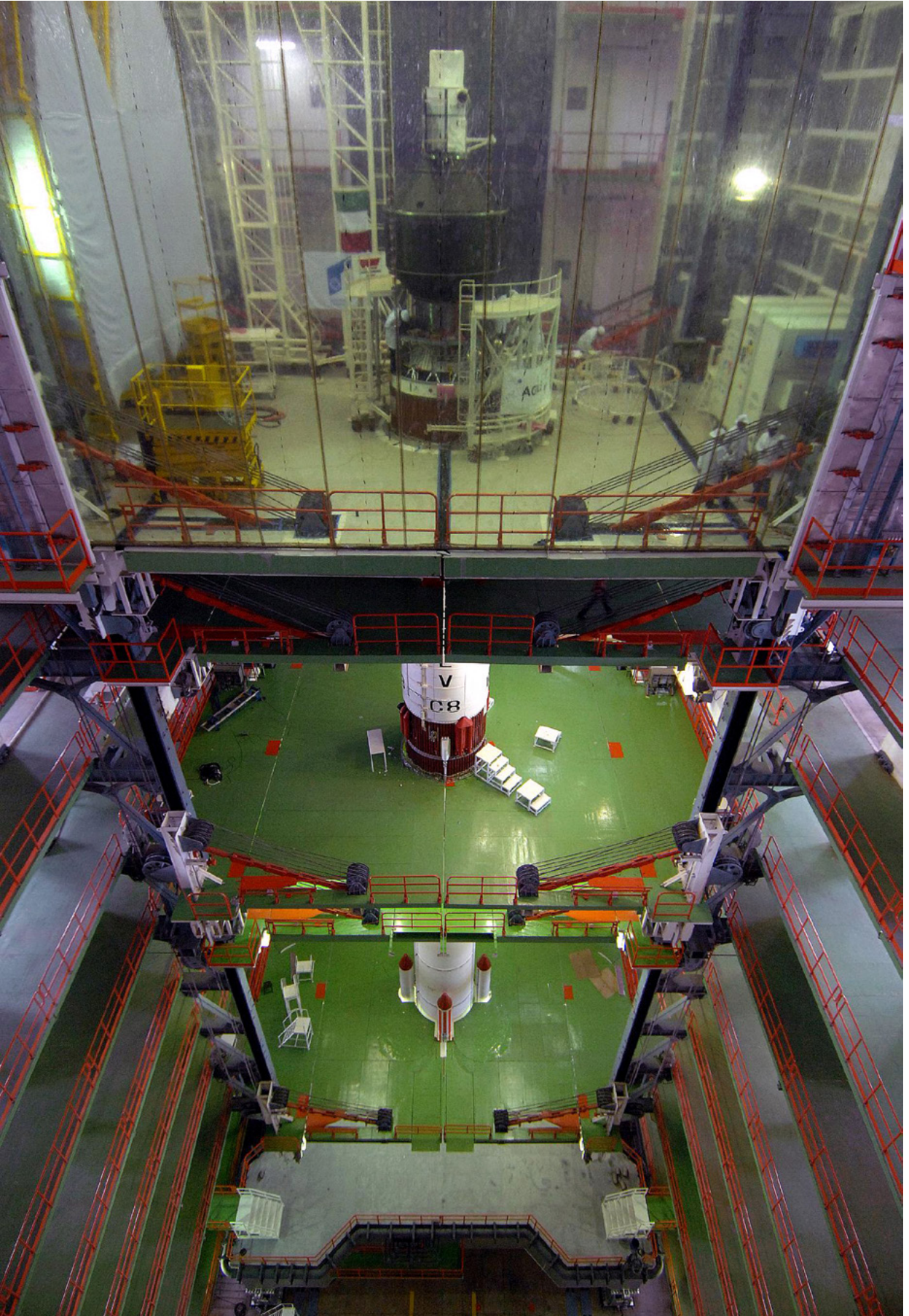
Quando se ne parlava di solito si sottolineava che era un satellite piccolo. “Il piccolo Agile”, si diceva. In realtà non era così piccolo...

Era piccolo rispetto alle missioni da miliardi di dollari, ma non era piccolo in assoluto, pesava circa 340 kg. E ha dato filo da torcere a satelliti ben più grandi. Sul suo terreno, quello della rapidità della risposta nell'individuare eventi transienti, è stato davvero fortissimo.

Dovendo sceglierne uno soltanto, qual è stato il risultato scientifico più memorabile?

Sicuramente i *flare* gamma dalla nebulosa del Granchio, una scoperta del tutto inaspettata. A quell'epoca Agile già non poteva più puntare una sola zona del cielo, per quanto ampia (ricordo che il suo campo di vista era pazzesco, quasi un quinto dell'intero cielo): a causa di un problema con una ruota d'inerzia sorto circa due anni dopo il lancio, abbiamo dovuto rinunciare al cosiddetto *pointing mode* e adottare una strategia osservativa a *spinning*, a rotazione continua. Arrivando così a coprire anche zone che magari non avremmo considerato. Una di queste era proprio la regione della Crab Nebula, per anni considerata la sorgente di riferimento dell'astrofisica delle alte

READY TO LAUNCH
Il satellite Agile posizionato sulla cima del vettore indiano Pslv alla base di Sriharikota, nell'Andhra Pradesh dell'India, in vista del lancio.
Crediti: Inaf





energie a flusso stabile. Infatti, con Agile l'avevamo puntata più volte, soprattutto nei primi mesi dopo il lancio, usandola per la calibrazione in raggi gamma. E già allora, in realtà, avevamo notato un comportamento molto strano.

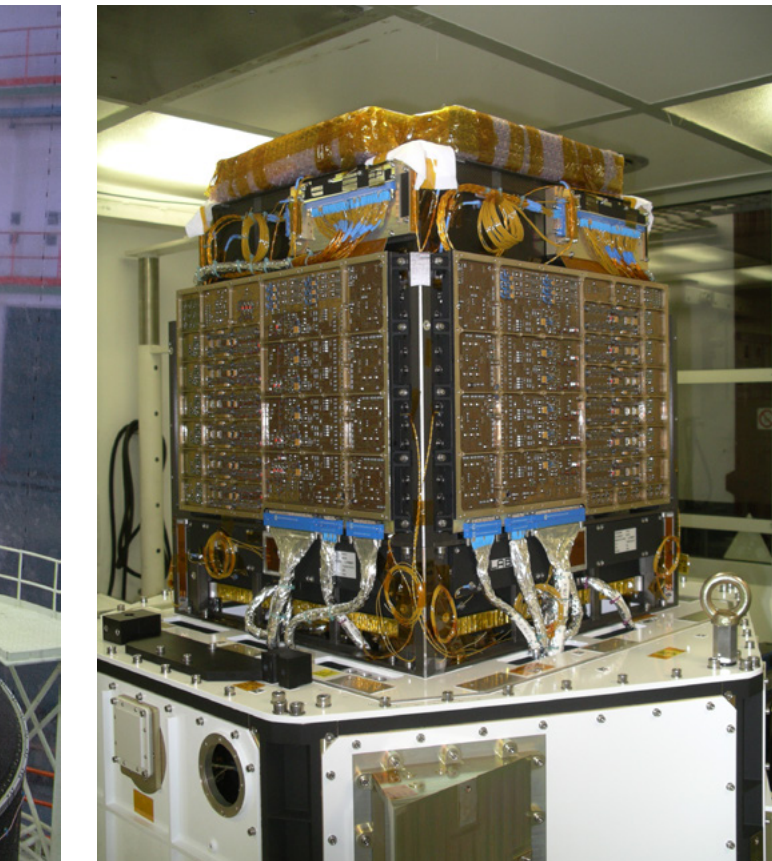
Che tipo di comportamento?

Una settimana nell'estate del 2007 di flusso gamma più alto del normale. A quell'epoca non sapevamo se ciò fosse dovuto a un problema dello strumento o se fosse proprio un'emissione anomala; comunque decidemmo di tenerlo per noi, ripromettendoci di stare all'erta. Quando nel settembre del 2010 il fenomeno si è ripresentato, ormai lo strumento lo conoscevamo troppo bene per pensare che potesse essere un errore: non era un artefatto, era un fenomeno fisico reale, un processo di accelerazione completamente nuovo, molto rapido, che ha aperto un campo di indagine estremamente importante, anche dal punto di vista teorico, che unisce astrofisica delle alte energie e fisica dei plasmi relativistici. Abbiamo così potuto annunciare al mondo che la Crab Nebula, la candela standard per misure X e gamma, in realtà era soggetta a instabilità: una vera bomba, per la comunità scientifica delle alte energie.

Quale fu, invece, la fase più critica della missione?

Forse quella che precedette il lancio, quando emerse un problema con alcuni chip che erano stati inseriti dagli Stati Uniti in una lista – il cosiddetto Itar, *International Trade of Arms Regulations* – di componenti critiche per possibili sfruttamenti militari. Chip che avevamo usato anche a bordo di Agile. Il fatto è che inizialmente il problema non si poneva: Agile doveva essere lanciato con un vettore americano, il famoso Pegasus, un razzo che viene por-

MADE IN ITALY
Agile è stato realizzato dall'Asi con il supporto dell'Inaf, dell'Infn, di università e industria con Ohb Italia, Thales Alenia Space, Rheinmetall e Telespazio.
Crediti: Inaf



Agile ha dato filo da torcere a satelliti ben più grandi. A rapidità della risposta nell'individuare eventi transienti, è stato davvero fortissimo

tato in volo da un aereo e poi sganciato quando è in quota. Poi però c'è stato l'11 settembre, il costo di un lancio con Pegasus è praticamente triplicato ed è andato al di là della portata del nostro budget, che era molto contenuto.

Quant'era, il budget?

Attorno ai 30-40 milioni di euro, lancio incluso. Alla fine arrivammo a circa 50 milioni, una cifra anche all'epoca molto bassa, per una missione spaziale. Fatto sta che siamo dovuti andare alla ricerca di un nuovo vettore, e abbiamo trovato un razzo indiano eccezionale, quello che poi avrebbe inserito Agile nell'orbita giusta e al posto giusto. Però avevamo sottostimato questo aspetto dell'Itar. Così, quando abbiamo fatto la richiesta per esportare per qualche settimana il satellite in India per il lancio, a causa di quei chip ci siamo ritrovati in una situazione di stallo. "Che succede se dovessimo riaprire il satellite e cambiare i pezzi?", ci aveva chiesto all'ambasciata italiana a Washington il funzionario del Dipartimento di Stato degli Stati Uniti. "Di certo il programma subirà un ritardo, ma se dobbiamo farlo lo facciamo: riapriamo, sostituiamo, richiudiamo", risposi, "*and we are going to launch it anyway!*".

Lo lanceremo comunque... come andò a finire?

Eravamo convinti che, essendoci mostrati così determinati, alla fine non ci avrebbero detto di no. Ovviamente ci hanno detto di no. Ci è toccato riaprire il satellite. Per estrarre le schede e sostituire questi chip abbiamo addirittura dovuto tagliare alcuni pezzi. Ci sono voluti mesi in più. Da allora ci raccomandiamo sempre con tutti i nostri colleghi europei di stare molto attenti all'Itar. Ma l'abbiamo lanciato. ■

Visione

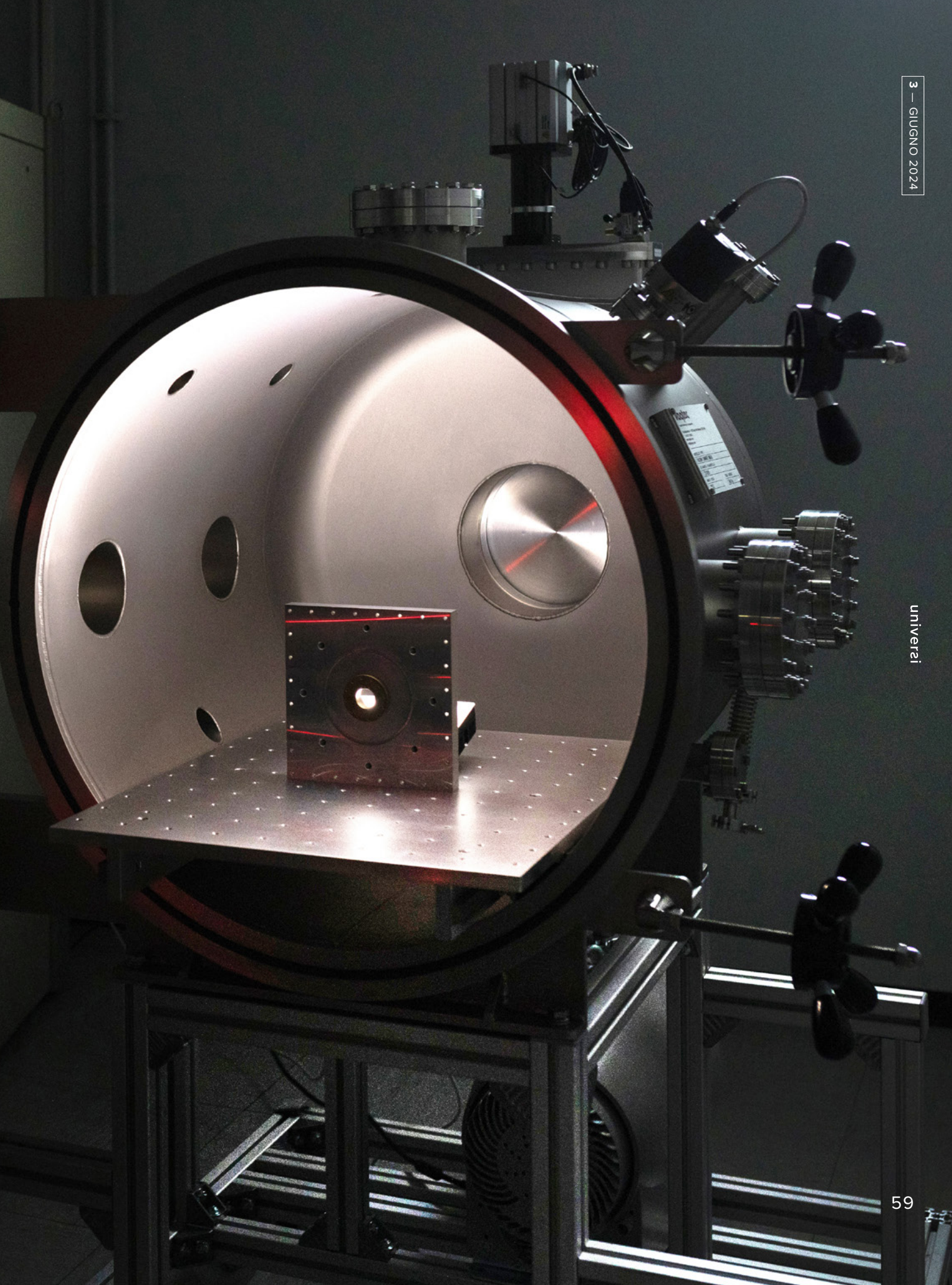
Ph. Valerio Muscella

C'è un posto in Europa dove scienziati e scienziate hanno dato vita a un vero e proprio assempimento. Non c'è altro modo di dirlo: in un'area di poco più di trenta chilometri quadrati hanno trovato posto il centro europeo per l'osservazione della Terra dell'Esa, l'Agenzia spaziale italiana, l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, i laboratori nazionali dell'Infn, l'Università di Roma Tor Vergata, numerosi istituti e laboratori del Consiglio nazionale delle ricerche.

È l'area di Frascati.

C'è anche chi da queste parti volle costruire il primo laboratorio italiano di astrofisica spaziale. Come Livio Gratton. E chi negli stessi anni diede vita a un laboratorio di ricerca e tecnologia per lo studio del plasma interplanetario. Come Edoardo Amaldi e Bruno Rossi. Non è un caso, dunque, se oggi in questo fazzoletto di terra si progetta la ricerca spaziale di domani: astrofisica delle alte energie, cosmologia ed evoluzione galattica, fisica spaziale, space weather, formazione ed evoluzione spaziale, studio dell'interazione gravitazionale, scienze planetarie, tecnologia, innovazione.

In questo numero di *Universi* siamo entrati nei laboratori dell'Inaf Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali. Buona visione.



visione





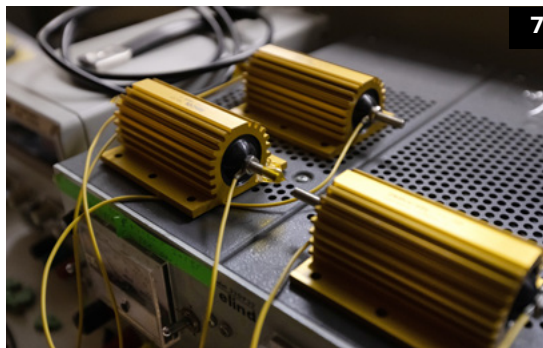
3



4



6



7

1. Il laboratorio criogenico per astrofisica X dell'Inaf-laps progetta e sviluppa rivelatori di particelle per missioni spaziali.

2. Progettare nuovi strumenti partendo da requisiti specifici e utilizzando le più recenti tecnologie è fondamentale per l'Inaf e per le istituzioni scientifiche con cui l'astrofisica italiana collabora quotidianamente.

3. Nella camera pulita dove, negli anni Novanta, venne sviluppato uno strumento della missione Integral ora si preparano esperimenti per nuove missioni. Come il software per l'unità di processamento dati a bordo

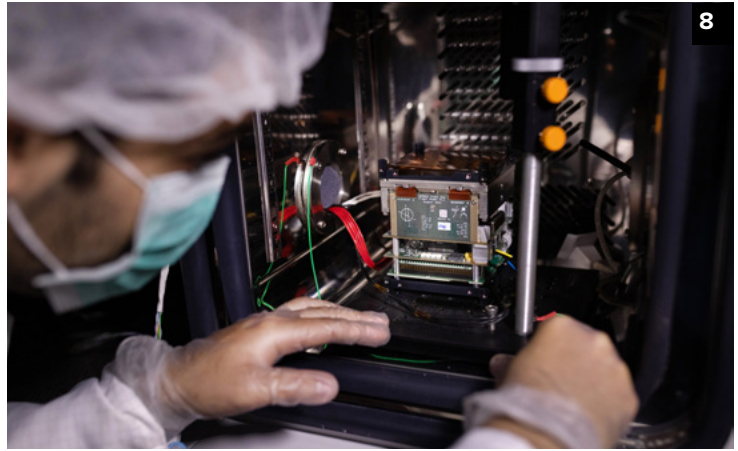
di Euclid e i sensori di campo elettrico a bordo di Cses.

4. Dettaglio dell'osservazione all'oculare del microscopio in un laboratorio di elettronica. Perché spesso, come si dice, il diavolo si nasconde nei dettagli.

5. Una delle quattro unità di rivelazione di Ixpe, la missione Nasa-Asi realizzata Inaf e Infn per la misura della polarizzazione dei raggi X. La calibrazione completa in camera pulita dedicata (in una facility realizzata ad hoc) e i test in camera di termo-vuoto sono stati eseguiti all'Inaf-laps.

6. Il laboratorio Ion-Ena beam per lo sviluppo e il test di strumentazione spaziale, con applicazioni per lo space weather planetario e l'interazione del vento solare con ambienti e superfici dei corpi del Sistema solare.

7. Con il rientro in atmosfera di Agile a febbraio 2024, Integral resta l'unica missione di astronomia gamma italiana ed europea attualmente operativa. Esa sta valutando il suo spegnimento a fine anno.



8



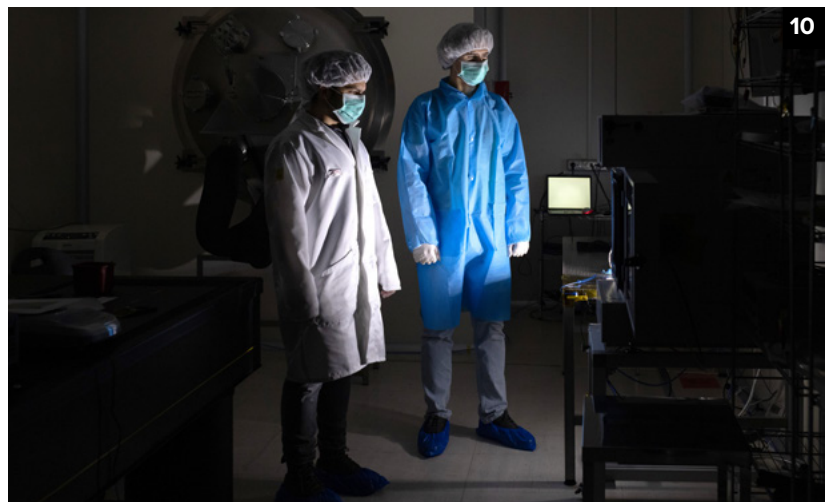
9

8. Calibrazione di uno dei payload per i sei nanosatelliti della costellazione Hermes, dedicata allo studio di lampi gamma e altri transienti astrofisici.

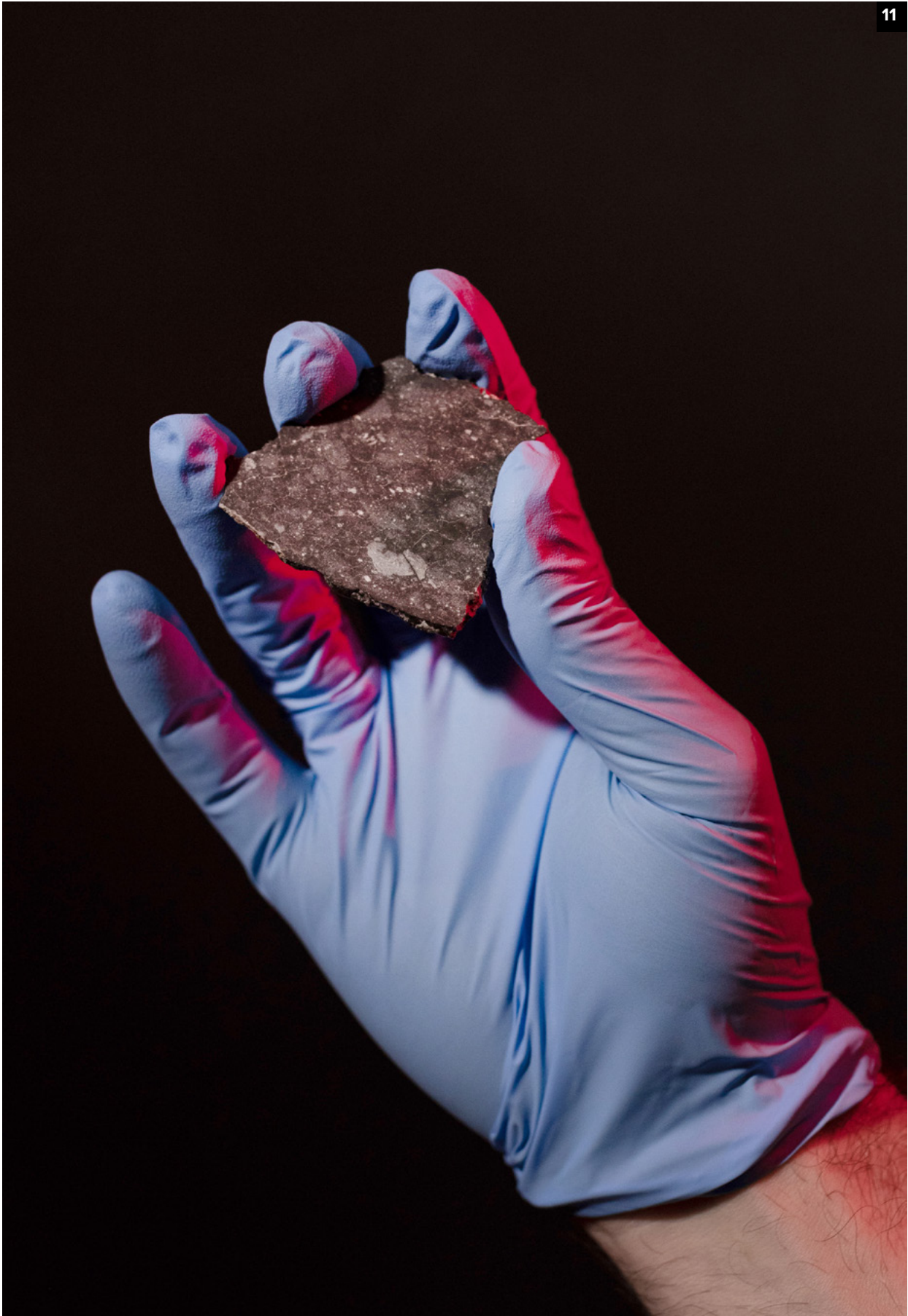
9. La ricerca astrofisica spesso si allontana dalle dinamiche industriali per trovare soluzioni sartoriali e da bricoleur a problemi del tutto nuovi. Come avviene nel Planetology Laboratory (Plab).

10. Uno dei laboratori dell'Inaf-laps con camere di simulazione ambientale: fondamentali per verificare l'affidabilità della strumentazione una volta che si troverà nell'ambiente spaziale.

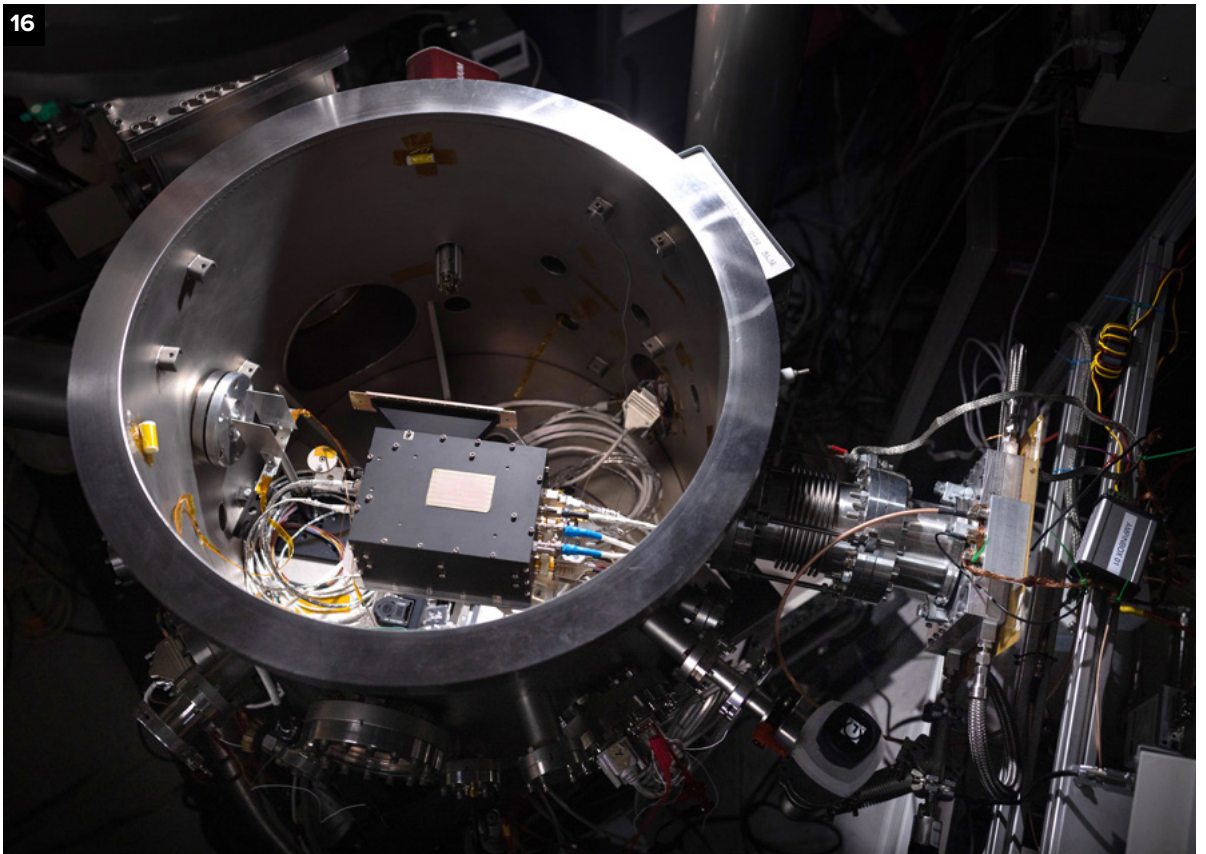
11. Il frammento di una meteorite nello Spark lab. Qui si sviluppano e qualificano sensori a microbilancia per la rivelazione di polvere planetaria e composti volatili di interesse astrobiologico nello spazio e di contaminanti spaziali.



10

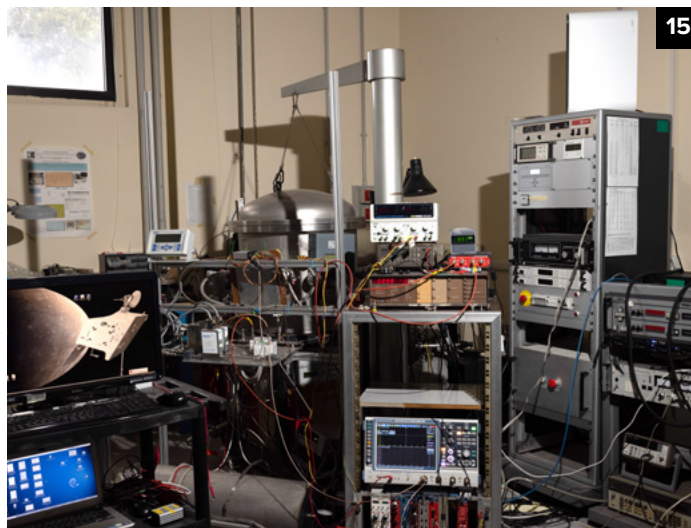


visione





14



15



17

12. Uno dei rivelatori dello strumento Lad attualmente in fase di sviluppo in vista della missione sino-europea eXTP (enhanced X-ray Timing and Polarimetry mission).

13. L'Inaf Istituto di astrofisica e planetologia spaziali di Roma è dotato di una serie di macchine utensili per lavorazioni meccaniche di alta qualità.

14. All'Inaf-laps si sviluppano rivelatori al silicio per osservare il cielo X nella banda 2-30 keV con una grandissima area efficace e con alta risoluzione spettrale e temporale.

15. All'interno delle due camere da vuoto del laboratorio, i rivelatori possono essere bombardati con flussi di ioni o neutri da 0 a 5 keV per studiarne le caratteristiche e ottimizzarne le prestazioni.

16. Il sensore per neutri Elena a bordo del satellite BepiColombo è stato interamente progettato e testato all'Inaf-laps.

17. Una meteorite, a tu per tu con Ernesto Palomba. Il suo team in collaborazione con i ricercatori dell'Università di Firenze e dell'Infn ha avviato le analisi di campioni dell'asteroide Ryugu riportati a Terra dalla missione Hayabusa 2.



Curiosità dallo spazio

Gli ingredienti per un'insalata spaziale

Un team di ricerca internazionale ha pubblicato su *Acs Food Science & Technology* la ricetta per il pasto spaziale ottimale: una ricca insalata vegetariana. Per progettare, gli scienziati hanno scelto ingredienti freschi, coltivabili nello spazio e che rispondano alle esigenze nutrizionali specifiche degli astronauti. Inizialmente, i ricercatori hanno valutato le differenti combinazioni di ingredienti freschi, utilizzando il metodo della programmazione lineare, per bilanciare più variabili al fine di raggiungere un obiettivo specifico. Tra i dieci scenari, o "piatti spaziali", proposti – quattro vegetariani e sei onnivori, ciascuno con un numero di ingredienti compreso tra sei e otto – i ricercatori hanno scoperto che un pasto vegetariano composto da soia, semi di papavero, orzo, cavolo riccio, arachidi, patate dolci e semi di girasole offriva l'equilibrio più efficiente tra il massimo dei nutrienti e il minimo degli input agricoli. Questa combinazione non è in grado di fornire tutti i micronutrienti di cui un astronauta ha bisogno, ma quelli mancanti potrebbero essere aggiunti da un integratore.

▲ L'insalata spaziale ideale è composta da sette ingredienti: soia, semi di papavero, orzo, cavolo riccio, arachidi, semi di girasole e patate dolci.
Crediti: Pexels



Curiosità dallo spazio

Microgravità: lo spazio fa venire il mal di testa

Soffrite di mal d'auto o mal di mare? Pensate agli astronauti, alcuni soffrono di mal di spazio! La causa, in questo caso, è l'assenza di gravità – o meglio, la microgravità – ma i sintomi sono molto simili: nausea, vomito, vertigini e mal di testa. Di solito migliora in due o tre giorni, insomma, man mano che il corpo si adatta alla permanenza in orbita. Alcuni di questi sintomi, però, possono diventare persistenti durante i soggiorni spaziali lunghi. Come il mal di testa. Un gruppo di ricercatori olandesi ha condotto un'indagine su 24 astronauti di varie agenzie spaziali, trovando una correlazione fra permanenza nello spazio e insorgenza ripetuta del sintomo. In totale, 22 astronauti hanno riportato uno o più episodi di mal di testa durante il loro periodo di permanenza nello spazio. Perlopiù, gli intervistati manifestavano mal di testa di tipo tensivo, mentre dolori di tipo emicranico comparivano generalmente solo durante la prima settimana. Secondo i dati riportati nello studio, questi sintomi possono manifestarsi anche in un secondo momento, durante il volo spaziale. Ma tranquilli: nei tre mesi successivi al rientro sulla Terra nessuno degli astronauti ne ha sofferto.

▲ Esiste una correlazione fra permanenza nello spazio e insorgenza ripetuta del mal di testa.
Crediti: Pexels

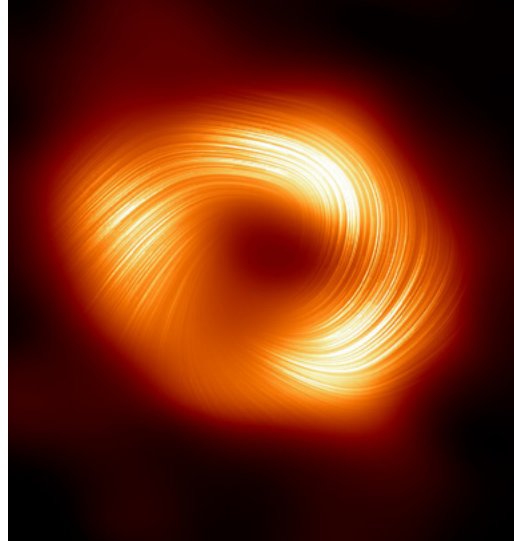


Curiosità dallo spazio

Il primo lander privato sulla Luna

Si chiama Odysseus il primo lander privato a essersi posato sulla superficie della Luna. Lanciato il 15 febbraio scorso da Cape Canaveral con un razzo Falcon 9 di SpaceX, Odysseus è entrato nell'orbita lunare il 21 febbraio, dopo aver percorso un milione di chilometri. La manovra di allunaggio, il 23 febbraio, si è svolta come previsto, ma ci sono stati momenti di tensione perché non si riusciva a ricevere il segnale. La missione Im-1 ha raggiunto però il suo obiettivo; una prima assoluta nella storia dell'era spaziale, che segna anche il ritorno di un veicolo americano sulla Luna a 52 anni dall'ultima missione del programma Apollo. Odysseus, della Intuitive Machines – dopo i fallimenti del lander Peregrine lo scorso gennaio, dei lander da Hakuto-R M1 nel 2023 e di Berekheet nel 2019 – porta a casa un successo che dà nuova speranza a chi vorrà avventurarsi nei viaggi lunari. L'obiettivo di Odysseus è stato, per 10 giorni, lo studio dell'ambiente lunare, affinché la Nasa possa riportarvi una missione con equipaggio alla fine del 2026. Il luogo di allunaggio è a circa 300 chilometri dal polo sud della Luna, considerato interessante perché vi si trova acqua ghiacciata (risorsa considerevolmente importante per future missioni con equipaggio umano).

▲ Il lander lunare Odysseus IM-1 Nova-C di Intuitive Machines prima del lancio al Nasa Marshall Space Flight Center.
Crediti: Nasa/Intuitive Machines



Partner e progetti dell'Inaf

Il “nostro” buco nero in luce polarizzata

La collaborazione scientifica Event Horizon Telescope (Eht), che ha prodotto la prima immagine in assoluto del buco nero al centro della Via Lattea rilasciata nel 2022, ha realizzato anche la prima immagine in luce polarizzata del buco nero supermassiccio Sagittarius A* (Sgr A*). Questa nuova immagine ha svelato la presenza di campi magnetici forti e organizzati che si sviluppano a spirale dal margine del buco nero al cuore della Via Lattea. Inoltre, ha rivelato che la loro struttura è sorprendentemente simile a quella dei campi magnetici del buco nero al centro della galassia M87, suggerendo che questi forti campi magnetici possano essere comuni ai buchi neri. La somiglianza suggerisce anche che vi possa essere un getto di materia nascosto in Sgr A*, così com'è in M87. La luce polarizzata è un'onda elettromagnetica che oscilla con un determinato orientamento. Nel plasma attorno ai buchi neri osservati, le particelle che ruotano attorno alle linee del campo magnetico determinano uno schema di polarizzazione perpendicolare al campo. Ciò consente di vedere con dettagli sempre più vividi che cosa stia accadendo nelle regioni dei buchi neri e di mappare le linee del loro campo magnetico.

▲ La prima immagine in luce polarizzata del buco nero supermassiccio Sagittarius A* al centro della Via Lattea.
Crediti: Eht Collaboration/Eso

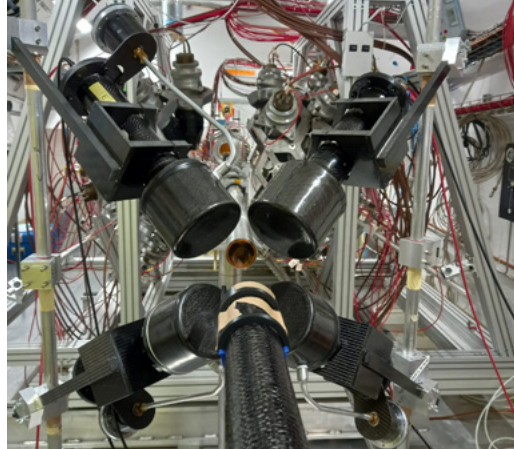


Partner e progetti dell'Inaf

Un oggetto del mistero per MeerKat

Un articolo pubblicato su *Science* svela la presenza di un oggetto dalla natura misteriosa all'interno dell'ammasso globulare Ngc 1851, a oltre 39mila anni luce dalla Terra. Di cosa si tratta? Un team internazionale di astronomi – guidato da ricercatori dell'istituto Max Planck per la radioastronomia di Bonn e a cui partecipano anche ricercatori dell'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf) e dell'Università di Bologna – ha sfruttato la sensibilità delle antenne del radiotelescopio sudafricano MeerKat per scoprire un oggetto massiccio dalle caratteristiche uniche: è più pesante delle stelle di neutroni più pesanti conosciute e allo stesso tempo è più leggero dei buchi neri più leggeri trovati finora. Altro particolare non di poca rilevanza: l'indagato speciale è in orbita attorno a una pulsar al millisecondo in rapida rotazione. Questa potrebbe essere la prima scoperta del tanto ambito sistema binario radio pulsar-buco nero: una coppia stellare che consentirebbe nuovi test della teoria della relatività generale di Einstein. Gli astronomi sono stati in grado prima di rilevare e poi di studiare ripetutamente i deboli impulsi provenienti da una delle stelle dell'ammasso, identificandola come una pulsar radio: denominata Ngc 1851E, ruota su se stessa più di 170 volte al secondo, e ogni rotazione produce un impulso ritmico, come il ticchettio di un orologio.

▲ Illustrazione del sistema Ngc 1851: le due stelle sono separate da 8 milioni di chilometri e ruotano l'una attorno all'altra ogni sette giorni.
Credit: D. Futselaar (artsource.nl)



Partner e progetti dell'Inaf

Le origini del cerio, l'accendino dell'universo

Il cosmo, un enorme laboratorio di reazioni nucleari, nasconde ancora molti segreti. Una nuova ricerca – guidata dall'Istituto di fisica nucleare (Infn) con la partecipazione Inaf, pubblicata sulla rivista *Physical Review Letters* e condotta al Cern presso l'esperimento n_Tof – getta luce sul mistero della produzione di cerio nell'universo, ponendo nuove domande stimolanti sulla nucleosintesi stellare e l'evoluzione chimica delle galassie. Sebbene non sia famoso, il cerio è un elemento chimico fondamentale qui sulla Terra. Fa parte delle cosiddette terre rare, al giorno d'oggi indispensabili per le più avanzate applicazioni tecnologiche ma anche per oggetti utilizzati quotidianamente da miliardi di persone nel mondo: senza il cerio, ad esempio, non funzionerebbero gli accendini. Nello studio, n_Tof è stato utilizzato come sorgente di fasci di neutroni che riproduce alcune delle reazioni da essi indotte, determinanti in vari campi di ricerca tra cui la fisica medica, l'astrofisica nucleare e la produzione di energia. Relativamente raro nella crosta terrestre, il cerio nell'universo è leggermente più abbondante, e lo scopo della ricerca condotta a n_Tof è stato proprio misurare la sezione d'urto della reazione nucleare dell'isotopo 140 del cerio con un neutrone, per produrre l'isotopo 141, un meccanismo chiave per il processo di cattura lenta di neutroni.

▲ Apparato di misura utilizzato presso la facility n_Tof del Cern. Lo scopo di n_Tof è studiare le interazioni neutrone-nucleo.
Crediti: S. Amaducci/Infn



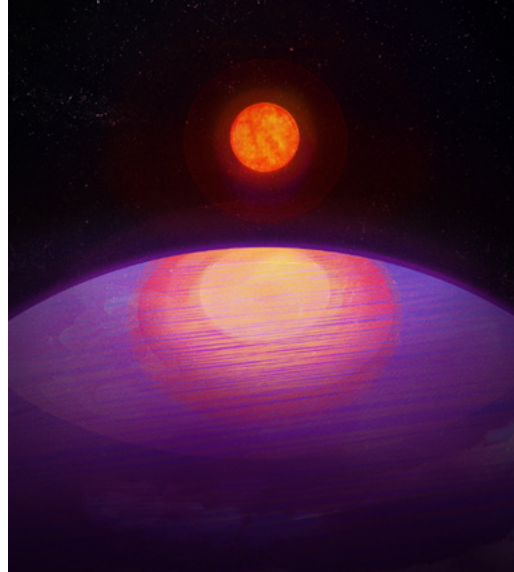
Grandi scoperte recenti

Pesare le galassie con l'intelligenza artificiale

Gli algoritmi e le applicazioni di intelligenza artificiale fanno ormai parte della nostra vita quotidiana. La comunità scientifica, tuttavia, ne fa largo utilizzo già da diversi anni e l'Italia, in questo, è all'avanguardia. L'Inaf, per esempio, ha partecipato a un progetto guidato dalla Sun Yat-sen University (in Cina), dimostrando per la prima volta che l'intelligenza artificiale può imparare dalle simulazioni cosmologiche di formazione ed evoluzione dell'universo a misurare correttamente la massa delle galassie. Lo studio, pubblicato sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*, descrive una nuova metodologia per stimare la massa delle galassie (incluso il loro contenuto di materia oscura) usando il machine learning. Gli esperti hanno confrontato le stime del nuovo codice, denominato Mela (Mass Estimator machine Learning Algorithm), con stime di procedure dinamiche classiche, verificando quindi che Mela può riprodurre con incredibile accuratezza le masse dei metodi classici, in alcuni casi molto più laboriosi e basati su dati molto più complessi (per esempio la cinematica 3D) dei dati più semplici di cui Mela ha bisogno, e che saranno prodotti per milioni di galassie con i progetti di spettroscopia di nuova generazione in cui l'Inaf è coinvolto, come Weave e 4MOST.



Il rapporto tra IA e astrofisica, come immaginato e riprodotto da un'intelligenza artificiale.
Crediti: Inaf/C. Tortora



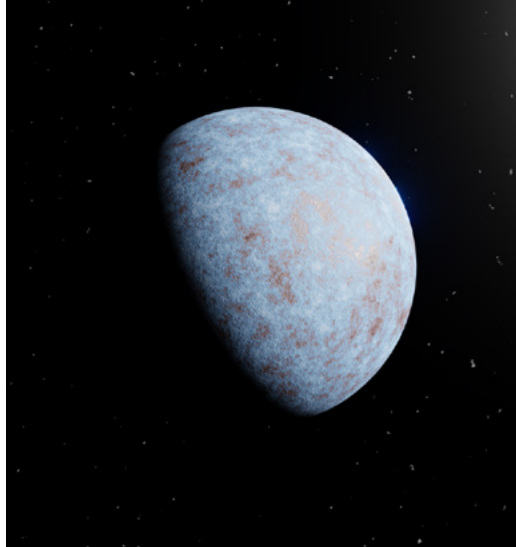
Grandi scoperte recenti

Un pianeta troppo grande per la sua stella

Immaginate una stella piccola e fredda, nove volte meno massiccia del Sole. E un pianeta, in orbita attorno a quella stella, tredici volte più massiccio della Terra. Troppo strano e sicuramente mai visto. Almeno finora! Un gruppo di ricercatori ha di recente riportato su *Science* la scoperta di un tale sistema. La stella "ultra fredda" si chiama Lhs 3154 e il rapporto di massa tra il pianeta appena scoperto e la sua stella ospite è più di cento volte superiore a quello tra la Terra e il Sole. Secondo questo studio, si tratta del pianeta più massiccio conosciuto in orbita stretta attorno a una stella nana bianca ultrafredda, tra le meno massicce e più fredde dell'universo. La scoperta è in contrasto con le attuali teorie che prevedono la formazione di pianeti attorno a stelle piccole e rappresenta la prima volta che un pianeta con una massa così elevata viene avvistato in orbita attorno a una stella di massa così bassa. La scoperta è stata realizzata utilizzando uno spettrografo astronomico costruito alla Penn State, chiamato Habitable Zone Planet Finder o Hpf, progettato per individuare i pianeti in orbita attorno alle stelle più fredde, che potenzialmente potrebbero avere acqua liquida in superficie.



Un'illustrazione mostra il riflesso della nana rossa Lhs 3154 sul pianeta Lhs 3154 b, di dimensioni paragonabili a quelle di Nettuno.
Crediti: Penn State University



Grandi scoperte recenti

Il nettuniano più denso mai osservato

Si chiama Toi-1853 b ed è estremamente peculiare: ogni 30 ore compie un giro completo intorno alla sua stella, ha un raggio comparabile con quello di Nettuno (3,5 raggi terrestri, da cui il nome), ma una massa di circa quattro volte più grande. Ciò gli conferisce il primato della densità più elevata fra gli esopianeti nettuniani noti a oggi (circa 10 g/cm^3 , il doppio della densità della Terra). Distante 545 anni luce da noi, Toi-1853 b si trova nella costellazione di Boote e la sua scoperta, pubblicata su *Nature*, è stata realizzata da un team internazionale di ricercatori, guidato da Luca Naponiello, 31 anni, dottorando in astrofisica all'Università di Roma Tor Vergata e primo autore del lavoro. Diversi ricercatori dell'Inaf hanno dato un contributo di fondamentale importanza allo studio. «In base alle teorie di formazione ed evoluzione planetaria, non ci si aspettava che potesse esistere un pianeta simile e così vicino alla sua stella», commenta Naponiello. «È un pianeta con densità troppo elevata per essere un classico pianeta di tipo nettuniano e, di conseguenza, deve essere estremamente ricco di elementi pesanti». La sua presenza nel “deserto di Nettuniani” è, dunque, un ulteriore mistero da chiarire.



Illustrazione dell'esopianeta Toi-1853 b, un mondo più piccolo di Nettuno ma cinque volte più massiccio.
Crediti: L. Naponiello



Premi, nomine & elezioni

Al team di Ixpe il premio Bruno Rossi 2024

Il prestigioso premio Bruno Rossi 2024 dell'High Energy Astrophysics Division (Head) dell'American Astronomical Society è stato conferito a Martin Weisskopf, Paolo Soffitta e alla collaborazione scientifica della missione Ixpe «per lo sviluppo dell'Imaging X-ray Polarimetry Explorer, le cui nuove misure migliorano la nostra comprensione dell'accelerazione e dell'emissione delle particelle da shock astrofisici, buchi neri e stelle di neutroni». Ixpe, lanciato nel dicembre 2021, grazie alle sue nuove, ricche e dettagliate misure, sta contribuendo in modo stupefacente alla comprensione dei meccanismi di funzionamento di molti processi che avvengono nel nostro universo. In particolare Ixpe ha aggiunto due osservabili: l'intensità e l'angolo di polarizzazione simultaneamente alla più usuale coordinata spaziale, temporale e all'energia. Questo è alla base del successo di Ixpe che ha svolto ricerche importantissime nell'ambito dei fenomeni di accelerazione nelle pulsar *wind nebulae* più brillanti e nei blazar. Ha permesso poi di studiare fenomeni di turbolenza e shock nei resti di supernove, mappandone il campo magnetico nelle immediate vicinanze dei siti di accelerazione.



Illustrazione dell'osservatorio spaziale Ixpe (Imaging X-Ray Polarimetry Explorer).
Crediti: Nasa/Msfc



Premi, nomine & elezioni

Sara Lucatello sarà presidente della Eas

Astrofisica all'Inaf di Padova e già vicepresidente della European Astronomical Society (Eas) dal 2018, Sara Lucatello ricoprirà la massima carica dell'organizzazione a partire da luglio e per due anni. Sarà la prima donna nella storia dell'Eas a ricoprire il ruolo di presidente, e sarà anche la prima volta che un presidente proviene da un Paese mediterraneo. Lo scorso luglio, in occasione dell'assemblea generale dell'Eas che si è tenuta a Cracovia, il presidente uscente Roger Davies aveva annunciato che avrebbe lasciato il proprio ruolo alla riunione dell'anno successivo, con due anni di anticipo. «È un grande onore per me essere stata scelta dai colleghi del Council per guidare la società fino al 2026», dice Lucatello. «È un importante riconoscimento del mio impegno nelle attività della Società: la promozione e lo sviluppo dell'astronomia in Europa. In questi sette anni, il presidente uscente, Roger Davies, ha guidato la Società con straordinaria competenza e dedizione attraverso cambiamenti significativi. La mia nomina è un passo importante: sarò la prima donna e la prima persona proveniente dal Sud Europa a ricoprire la carica di presidente».



Sara Lucatello, primo ricercatore presso l'Inaf Osservatorio Astronomico di Padova.
Crediti: Inaf/R.Bonuccelli



Premi, nomine & elezioni

Un dibattito elettorale all'americana per il VII CdA

Il 7 dicembre 2023 si è svolto, presso la Sala Stampa M. Cimino del quartier generale dell'Inaf, un esperimento di *stakeholders engagement* rivolto ai dipendenti dell'ente, in occasione delle elezioni per la scelta dei due membri elettivi al VII Consiglio di amministrazione. Si è infatti provato a definire le questioni emergenti per le linee programmatiche del prossimo Cda, dando ai candidati la possibilità di argomentare le proprie tesi attraverso un dibattito all'americana, focalizzato sul sottoinsieme di temi selezionati dagli elettori, mediante un sondaggio web, fra quelli proposti dagli stessi candidati. Nonostante lo scetticismo iniziale verso l'iniziativa, gli analytics dell'evento, che si ricorda essere stato trasmesso in diretta streaming sul canale YouTube della sede centrale dell'Inaf, non lasciano adito a dubbi circa la bontà della sperimentazione: la punta di massimo ascolto ha infatti registrato 1097 visualizzazioni, esattamente il numero degli elettori attivi, dimostrando, quantomeno, l'esistenza di un diffuso desiderio di partecipazione alle scelte che regolano la vita lavorativa nell'ente, tema sul quale si rendono, evidentemente, necessari approfondimenti e riflessioni.



Villa Mellini, sede centrale dell'Inaf. Situata sulla sommità della riserva naturale di Monte Mario, occupa il punto più alto della città di Roma.
Crediti: Inaf/D. Coero Borgia

Coltelli, piramidi e petali

di Rossella Spiga

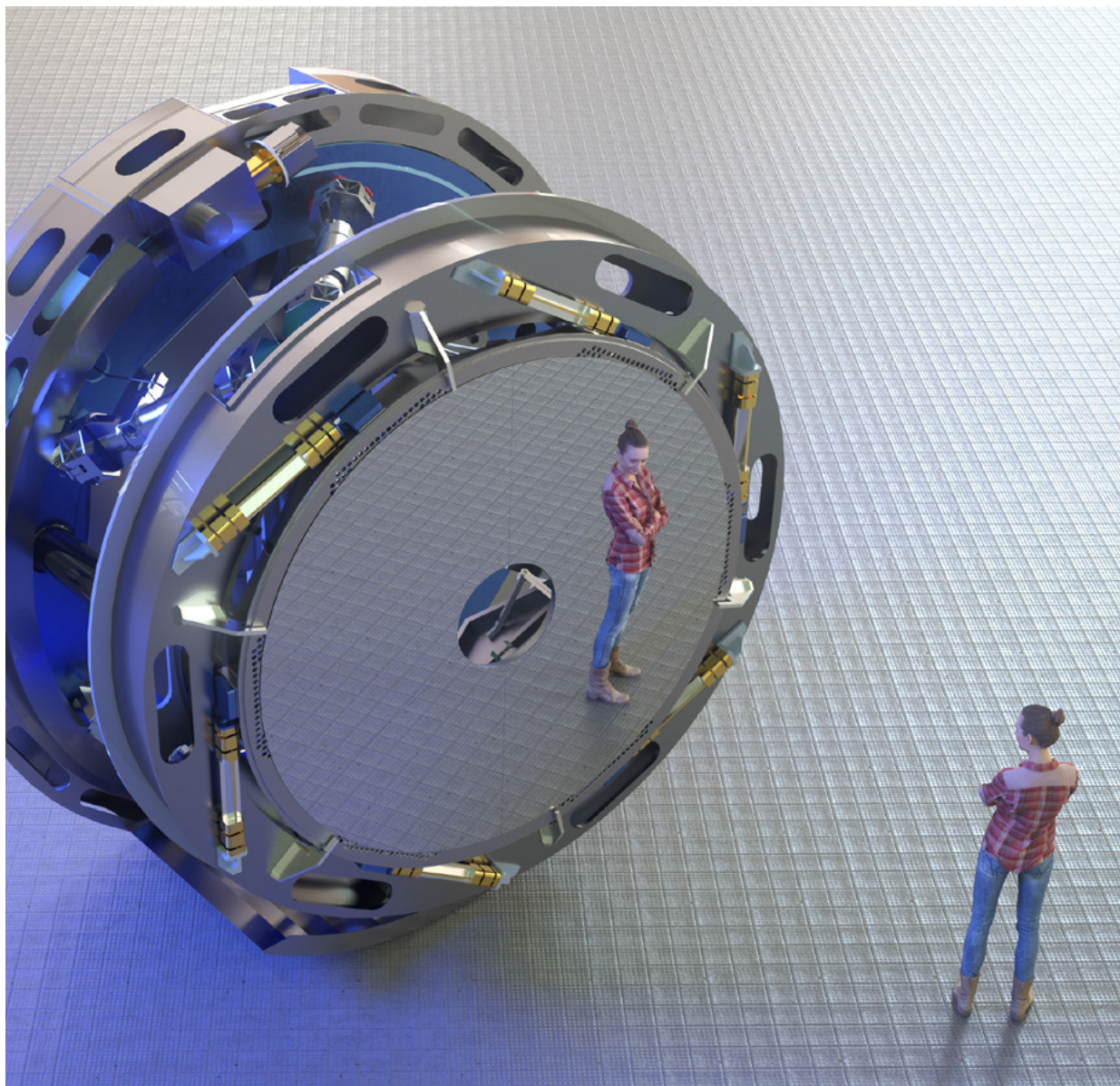
Spesso nuovi approcci e idee non convenzionali possono condurre a un progresso rispetto a un determinato problema o processo, e la parabola di un'innovazione tecnologica o di una scoperta scientifica tende a evolversi diversamente da quanto previsto e a volte anche in modo imprevedibile.

Nel 1858 il fisico francese Léon Foucault descrisse il test del coltello come un modo per misurare le forme coniche degli specchi ottici. Si tratta di una tecnica adottata dai costruttori di lenti dalla fine del XIX secolo per determinare la qualità dei componenti ottici sfruttando i principi dell'ottica geometrica per evidenziare le imperfezioni delle superfici.

Dal test di Foucault deriva il principio di funzionamento del sensore di fronte d'onda sviluppato da Roberto Ragazzoni nel 1996, quasi centocinquanta anni dopo: una piramide di vetro a base quadrata, due lenti convergenti e un sensore di immagine destinato a riprodurre quattro test del coltello simultaneamente. Il sensore a piramide costituiva un nuovo modo per misurare con precisione e rapidità il fronte d'onda proveniente da una sorgente luminosa astronomica deteriorato dalla turbolenza atmosferica. Un sistema di ottiche adattive avrebbe poi provveduto a ripristinare la qualità dell'immagine.

Oggi, il sensore a piramide sta dando ottimi risultati nei sistemi di ottica adattiva dei più grandi telescopi terrestri come il Large Binocular Telescope, e sarà la soluzione adottata dall'europeo Extremely Large Telescope e l'americano Giant Magellan Telescope. Sono questi i giganti del futuro dell'astronomia ottica da terra, con specchi primari del diametro di 20-30 metri che, oltre al disturbo introdotto dall'atmosfera, devono fare fronte a un altro problema: sono dotati di superfici riflettenti non monolitiche costituite da specchi più piccoli – chiamati tasselli o petali – che

Dal test del coltello nei laboratori di ottica dell'Ottocento al sensore a piramide per le ottiche adattive nei grandi telescopi terrestri, la parabola di un'idea con lo sguardo rivolto allo spazio. La magia delle innovazioni sta nell'essere parte di una storia in mutamento



LO SPECCHIO M4 DI ESO

Lo specchio M4, progettato in Italia e dotato di sei segmenti a forma di petalo, è il più grande specchio adattivo mai costruito.

Crediti: Eso

devono essere mantenuti allineati e in fase con accuratezza nanometrica (al miliardesimo di metro) per garantire alte le prestazioni del telescopio.

Le ottiche (ad)attive sono ormai considerate uno standard anche per i grandi telescopi spaziali di prossima generazione. Rischi e costi sono globalmente ridotti grazie alla correzione attiva delle deformazioni termomeccaniche, delle vibrazioni e degli errori dovuti al dispiegamento dello specchio primario segmentato. A rispondere all'esigenza dei prossimi telescopi spaziali a grande apertura di unire grande stabilità e alta risoluzione potrebbe essere proprio il sensore a piramide che, con la sua alta sensibilità, potrebbe velocizzare il processo di misura dello sfasamento dei petali di uno specchio, e il conseguente riallineamento, da un tempo scala di minuti a decimi di secondo, permettendo un guadagno anche in termini di precisione spaziale.

Oggi, lo sviluppo del potenziale del sensore a piramide per i telescopi spaziali, oltre che per i grandi telescopi terrestri, è portato avanti nei laboratori Adoni (ADaptive Optics National Italian lab) dell'Inaf.

Il finale della storia non è scritto. ■

L'aurora in una stanza

di Laura Leonardi

Asteroidi, stelle cadenti, aurore e satelliti in realtà aumentata. L'app di Sorvegliati Spaziali mostra meraviglie e pericoli dello spazio.

Simulare il passaggio di un asteroide con tanto di impatto, boato e frammenti di meteoriti sparsi ai nostri piedi. Ammirare l'aurora danzare e *ascoltare* i suoi colorati drappaggi grazie alla sonificazione dell'emissione radio proveniente da un'aurora reale. Liberare migliaia di "stelle cadenti" e individuare il traffico spaziale in orbita attorno alla Terra. Non è fantascienza, ma la nuova app in realtà aumentata di Sorvegliati Spaziali, progetto di divulgazione scientifica dell'Inaf.

Nel 2021, l'idea di Daria Guidetti, ricercatrice dell'Inaf, di una comunicazione pubblica e coordinata sui temi della difesa planetaria prende forma. Fulcro del progetto è un sito web costantemente aggiornato e costellato di notizie sullo studio di eventi celesti che possono avere effetti sulla Terra, video, infografiche, un bollettino solare, e dal 2023, anche un'applicazione interattiva in realtà aumentata tutta da scoprire.

Presentata in anteprima all'ottava Iaa Planetary Defense Conference a Vienna – incontro che riunisce scienziati esperti nei campi della difesa planetaria – l'app permette di approfondire le tematiche delle macro aree che compongono il progetto di Sorvegliati Spaziali: dai rifiuti spaziali ai Neo (Near Earth Object), da frammenti di comete e asteroidi alla meteorologia spaziale.

Esiste, dunque, la probabilità che un oggetto proveniente dallo spazio possa centrare la Terra? Secondo l'Agenzia spaziale europea l'ipotesi non è poi così remota: abitiamo un pianeta sempre più circondato da satelliti e detriti, che orbita attorno a una stella attiva, in un sistema planetario ricco di massi spaziali in rapido movimento.

Molte fake news hanno reso l'asteroide di turno protagonista di titoli sensazionalistici e falsi allarmi, costruendo scenari che preannunciavano la catastrofe e che, sostenuti dalla fantascienza apocalittica, hanno impattato



Sorvegliati Spaziali

Liberare migliaia di "stelle cadenti" e individuare il traffico spaziale in orbita attorno alla Terra. Non è fantascienza, ma la nuova app in realtà aumentata di Sorvegliati Spaziali, progetto di divulgazione scientifica dell'Inaf



L'APP

Un frame del trailer ufficiale dell'app in realtà aumentata di Sorvegliati Spaziali, progetto di divulgazione scientifica dell'Inaf.
Crediti: Inaf, Demarka

(per restare in tema) sull'immaginario collettivo: «Asteroide verso la Terra: si potrebbe tornare all'età della pietra», oppure «La Nasa è preoccupata dall'avvicinamento di un asteroide».

Pensiamo al roboante *Armageddon*, pellicola del 1998 diretto da Michael Bay, o al grottesco *Don't look up* del 2021 di Adam McKay. Due copioni scritti a poco più di vent'anni di distanza tra loro, che mostrano come sia cambiata la nostra percezione del pericolo. *Armageddon* trasuda eroismo, tutti uniti contro l'asteroide grande quanto il Texas; al contrario, in *Don't look up*, la verità sull'imminente impatto di una cometa, grande quanto il monte Everest, verrà ridicolizzata da media e istituzioni.

Esempi esasperati da esigenze di trama che tuttavia evidenziano l'importante ruolo degli istituti di ricerca nel coinvolgimento della cittadinanza sui temi che riguardano la difesa planetaria; ed è qui che si inserisce l'impegno di Sorvegliati Spaziali. L'app in realtà aumentata è disponibile gratuitamente negli store online, per smartphone e tablet.

Divertitevi a scattare fotografie da condividere, magari usando l'hashtag #sorvegliatispaziali. ■

Intrecci cosmici decoloniali

di Claudia Mignone

Stelle, pianeti e altri corpi celesti incontrano la materialità di ordini e spedizioni online in una serie di opere d'arte che si interrogano sul futuro che vogliamo per la ricerca e l'esplorazione spaziale.

Da lontano, sembrano immagini dell'universo. Qua e là manca qualcosa, un po' come se queste "istantanee" le stessi ricevendo in diretta dallo spazio, scaricando i dati con una connessione che collabora poco. E così la superficie di Marte, la nebulosa con tripudio di formazione stellare oppure le galassie del cosmo profondo le vediamo solo a pezzetti.

Quando ci avviciniamo, però, le opere di Clarissa Tossin rivelano la trama di una tessitura più complessa. Una trama fatta sì di suggestive foto del cosmo riprese da sonde e telescopi spaziali, ma anche di macchie beige, scure frecce ricurve e adesivi sbiaditi con codici a barre stampati sopra. Sono le scatole del più celebre servizio di e-commerce al mondo, ridotte a strisce e intrecciate, secondo un'antica tradizione di lavorazione delle fibre dell'Amazzonia, insieme ad altrettante fascette di carta ricavate dalle immagini astronomiche.

«Nel lento e laborioso processo di appiattire le scatole, tagliarle a strisce e intrecciarle, trovo un prezioso contrappunto ai cicli rapidi e dispendiosi di estrazione, produzione e consumo di risorse di massa che hanno costruito (e distrutto) il nostro mondo», racconta a *Universi* Tossin, che dal 2016 si dedica a questa pratica, raccogliendo scatole dalle consegne di amici, dal vano spazzatura del suo palazzo a Los Angeles, dalla strada quando ne trova in buone condizioni e dai suoi (occasionalmente, ci tiene a sottolineare) ordini online. «Questi intrecci evidenziano anche i modi in cui l'artigianato coinvolge la mano umana, portando il calore e la connessione a cui molti di noi anelano nella frammentata

CLARISSA TOSSIN
È un'artista visiva che si serve di diversi linguaggi per realizzare le sue opere: installazioni, video, performance, sculture e fotografie.
Crediti: N. Stone





FUTURE GEOGRAPHY

Clarissa Tossin, *Future Geography: First Deep Field*, 2023. Cartone da imballaggio, stampa a getto d'inchiostro d'archivio su carta fotografica con laminazione, legno, 160 x 167 x 5 cm.
Crediti: B. Wilcox

era digitale. Lo stesso uso della mano fa riferimento all'estetica *embodied* (legata al corpo, ndr) e non gerarchica dell'arte contemporanea, richiamandosi a ciò che è fatto a mano, artigianalmente, e all'uso di pattern come qualcosa di condiviso, democratico, inclusivo – diametralmente opposto alle rivendicazioni esclusive di proprietà sovrana o aziendale».

L'ambientazione cosmica non fa meramente da sfondo, ma offre spunti alla riflessione dell'artista, originaria di Porto Alegre, nel sud del Brasile, che vede lo spazio extraterrestre «non certo come un luogo da conquistare». La serie, intitolata *Future Geography*, rievoca la storia dell'estrattivismo terrestre e il suo retaggio coloniale, guardando con spirito critico ai futuri piani di sfruttamento minerario della Luna. Le opere ritraggono i crateri Shackleton e Jezero, luoghi emblematici dell'esplorazione lunare e marziana, e più recentemente una selezione delle immagini iconiche del telescopio spaziale James Webb.

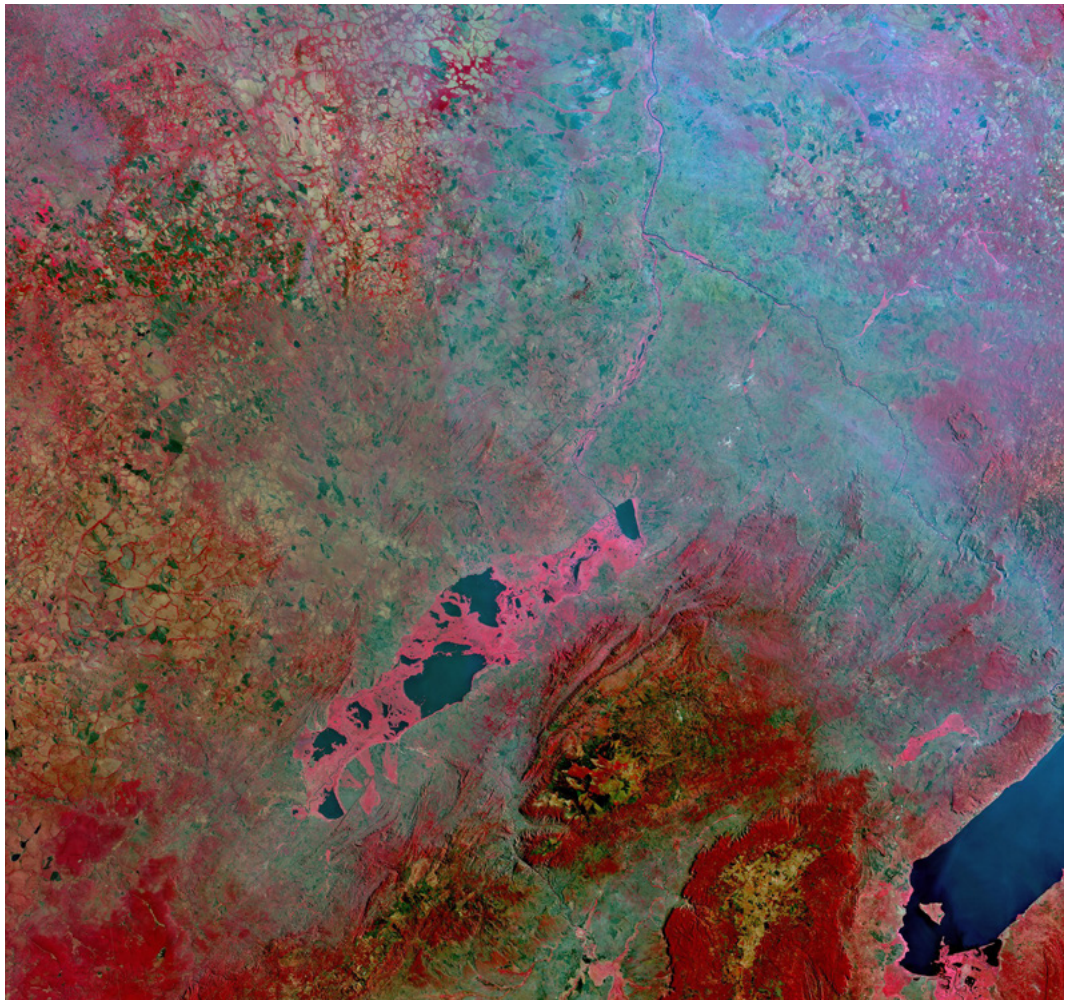
«Intrecciando elementi di commercio e ricerca scientifica, questi lavori attirano l'attenzione sul coinvolgimento del settore privato nell'esplorazione spaziale», nota Tossin, il cui lavoro, aggiunge, «si confronta con la creazione artistica da un luogo di connessione ed empatia in cui scienza, materialità e tatto – il fatto a mano – si uniscono in una fusione di segni che punta all'intelligenza emotiva come antidoto al richiamo dell'intelligenza artificiale e di altri fantomatici futuri».

Alcune delle opere sono state esposte in due personali negli Stati Uniti, al Frye Art Museum di Seattle (2023-2024) e al Museum of Contemporary Art di Denver (2022), oltre che a Los Angeles, Mulhouse e São Paulo. Saranno in mostra alla triennale Prospect.6 di New Orleans, che apre le porte il prossimo 2 novembre. ■

L'aiuto di Webb nell'osservazione della Terra

di Valentina Guglielmo

Il potenziale del trasferimento tecnologico tra astronomia e cambiamento climatico è enorme, e la discussione fra le due comunità scientifiche ha già portato ad alcuni progetti come Ghost e Astro-trop. Agenzie spaziali come la Nasa e l'Esa hanno già una divisione dedicata all'osservazione della Terra, e sono quindi nella posizione ideale per intensificare i collegamenti tra queste due attività.



Superando i confini di ciò che oggi è tecnicamente possibile, Webb porterà innovazione nelle future missioni di osservazione della Terra

Da tempo le agenzie spaziali di tutto il mondo hanno una sezione dedicata all'osservazione della Terra. Con l'emergenza climatica in corso, studiare il nostro pianeta significa prestare attenzione alle sue variazioni climatiche, geologiche e ambientali, usando tecniche nuove, oppure ereditate da missioni che con il clima non c'entrano nulla. Come il telescopio spaziale Webb.

Se consideriamo la Terra come un esopianeta, potremmo pensare di osservarla nell'infrarosso come si fa appunto con gli esopianeti. Nasce così il GreenHouse Observations of the Stratosphere and Troposphere (Ghost) delle università di Leicester ed Edimburgo, uno spettrometro infrarosso che misura i gas serra nella troposfera e nella stratosfera. Uno strumento che ha requisiti analoghi al Near Infrared Spectrograph (NIRSpec) di Webb in termini di precisione e accuratezza, secondo Neil Humpage, ricercatore all'università di Leicester e principal investigator di Ghost. Tanto che alla sua progettazione hanno lavorato gli ingegneri ottici del Science and Technology Facilities Council, esperti di strumenti astronomici infrarossi. Entrambi sono infatti spettrografi a reticolo, con una risoluzione elevata nelle lunghezze d'onda infrarosse necessarie per identificare diversi gas. Inoltre, entrambi sono progettati per ottimizzare la quantità di luce che passa attraverso lo strumento, per rilevare variazioni molto piccole, che si tratti dei gas nell'atmosfera di un esopianeta che assorbe una piccola quantità di luce dalla stella ospite, nel caso di NIRSpec, o dei sottili gradienti di concentrazione di gas serra come anidride carbonica, metano e monossido di carbonio osservati da Ghost.

«Sebbene le applicazioni scientifiche siano molto diverse, alcune delle sfide tecnologiche incontrate nella progettazione sono molto simili», spiega Humpage a *Universi*. «Superando i confini di ciò che oggi è tecnicamente possibile, Webb porterà innovazione nelle future missioni di osservazione della Terra. Ghost è un ottimo esempio di come la collaborazione tra ingegneri ottici esperti nella progettazione di strumenti astronomici e scienziati che usano satelliti per studiare la Terra possa portare un vantaggio per entrambe le comunità».

Un'altra sfida comune fra astronomia e osservazione della Terra riguarda la gestione dei dati. Il progetto Astrotrop nasce dalla collaborazione tra astronomi ed esperti di foreste tropicali, con l'obiettivo di adattare alcuni software del Virtual Observatory (come AstroGrid) allo studio delle foreste pantropicali. In questo caso, le tecniche di *fitting* delle molecole e dei ghiacci implementate nell'analisi dati di Webb sarebbero un valore aggiunto.

«Per quanto ne sappiamo, il progetto Astrotrop è stata la prima collaborazione tra astronomi e scienziati del cambiamento globale», dice a *Universi* Alan Grainger, professore all'Università di Leeds e principal investigator del progetto. «Gli astronomi sono molto più avanti degli scienziati che si occupano di cambiamenti ambientali sulle tecniche di osservazione, e questo progetto intende catalizzare l'adattamento di queste tecnologie per migliorare la misurazione della Terra. Ottenere stime più accurate del tasso di cambiamento delle foreste tropicali, per il clima, è di grande importanza». ■

DAL SATELLITE

La foresta del Congo vista da una delle costellazioni di satelliti di osservazione della Terra. Ha una superficie di oltre 200 milioni di ettari.

Crediti: Airbus Defence and Space

Cerere, Dawn e la sua *Virtù*

di Giuseppe Fiasconaro

La straordinaria diversità di specie chimiche del pianeta nano svelata dallo spettrometro Vir a bordo della missione Dawn.

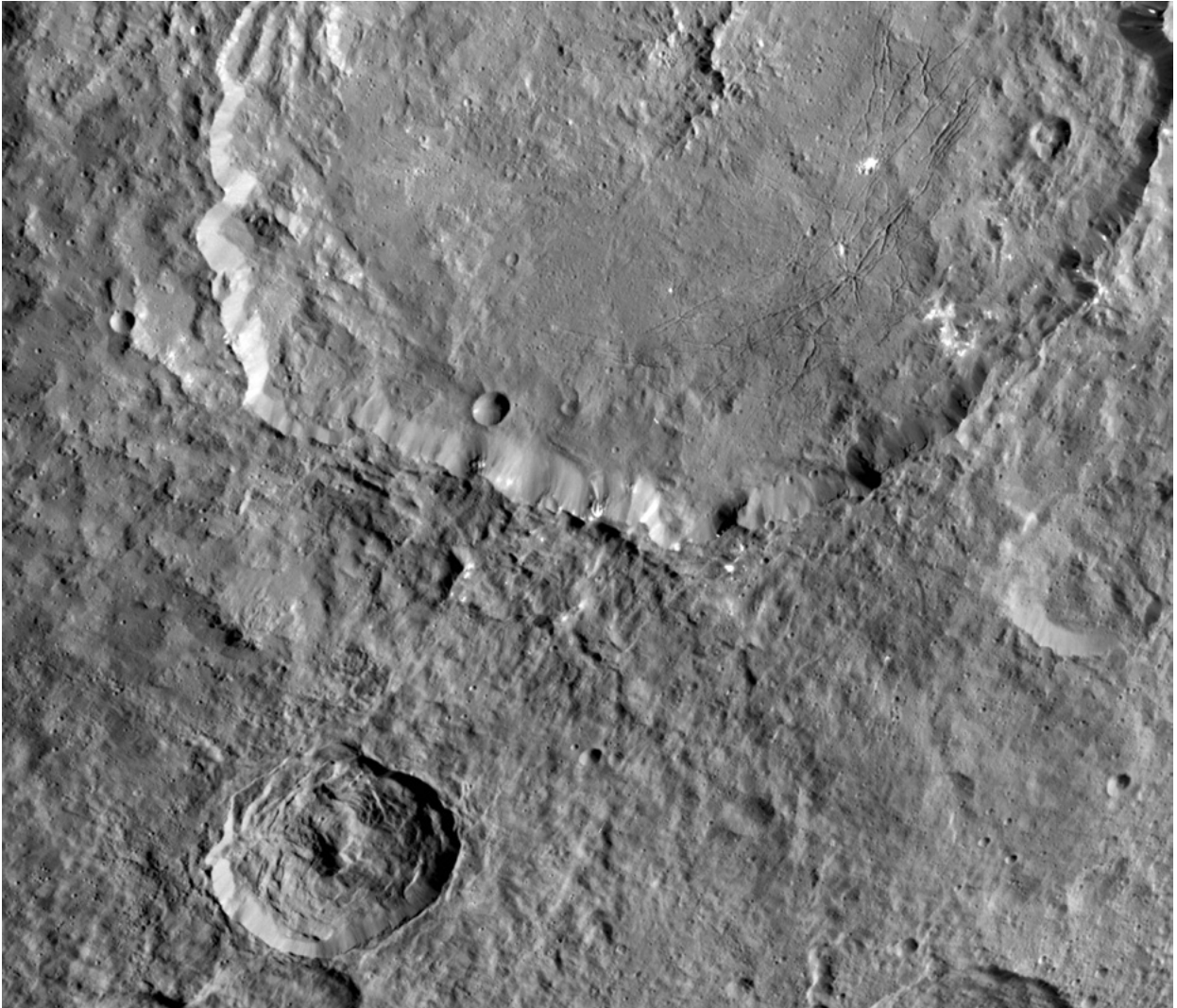
Cerere, che orbita tra Marte e Giove, è il più grande corpo celeste della fascia principale degli asteroidi e l'unico pianeta nano situato nel Sistema solare interno.

Scoperto nel 1801 per mano dell'astronomo italiano Giuseppe Piazzi dall'Osservatorio di Palermo – una delle strutture dell'Inaf –, fino a un decennio fa l'immagine che ne avevamo era quella di un disco sfocato nella vista a colori del telescopio Hubble. Si conoscevano le sue dimensioni; si sapeva che il corpo aveva una forma sferica e una mineralogia complessa e che conteneva vapore d'acqua. Ma nulla di più. Tutto è cambiato grazie alla missione Dawn della Nasa – la prima a visitare un pianeta nano – che, oltre a mostrarci Cerere nitidamente, ci ha svelato ciò che il corpo celeste in realtà è: un potenziale mondo oceanico abitabile. Dopo la Terra, infatti, è il corpo più ricco d'acqua del Sistema solare interno.

La sonda Dawn ha rilevato i resti di un oceano di acqua salmastra sub-superficiale – una salamoia che potrebbe esistere ancora oggi in piccole sacche –, grandi quantità di ghiaccio in superficie, segni di attività geologica recente e la presenza di un'esosfera, ma anche tracce di materia organica (localmente) e di composti del carbonio (globalmente), segno di una chimica complessa e diversificata.

Che Cerere abbia una straordinaria diversità di specie chimiche lo dimostra l'identificazione di diversi composti all'interno di caratteristiche formazioni geologiche chiamate faculae. In questi siti, le osservazioni condotte con lo strumento Visible and infrared mapping spectrometer (Vir) – uno spettrometro sotto la guida scientifica dell'Inaf – hanno permesso di rilevare la presenza di fillosilicati, carbonato di sodio e cloruro di sodio idrato, il comune sale da cucina.

La missione Dawn della Nasa ci ha svelato ciò che il corpo celeste in realtà è: un potenziale mondo oceanico abitabile. Dopo la Terra, il corpo più ricco d'acqua del Sistema solare interno



IL CRATERE DANTU
Dantu nell'obiettivo della sonda spaziale Dawn: con un'ampiezza di 126 chilometri ricorda un altro cratere sulla superficie di Cerere, Occator.
Crediti: Nasa/Jpl-Caltech/Ucla/Mps/Dir/Iida

A questo elenco va aggiunto un'ulteriore specie chimica, scoperta di recente da un team di astronomi a guida Inaf, sempre nei dati dello strumento Vir. Nella ricerca, analizzando gli spettri Vir di un particolare tipo di faculae, chiamate faculae gialle, i ricercatori, all'interno del cratere Dantu – uno dei più grandi e profondi crateri da impatto di Cerere – hanno individuato la firma di composti dell'ammonio, molto probabilmente di bicarbonato d'ammonio.

Si tratta di una scoperta rilevante, in quanto aree ricche di tali specie suggeriscono l'esistenza nel passato di Cerere, e forse ancora oggi, di complessi sistemi idrotermali. L'ammoniaca, inoltre, facilita i processi in soluzione acquosa e preserva i composti organici, agendo da antigelo, e nella sua forma ridotta può partecipare a reazioni di chimica prebiotica.

La scoperta su Cerere di molecole organiche, di argille, di sali e ora anche di specie chimiche ricche di ammonio evidenzia la sua potenziale capacità di sostenere reazioni di chimica prebiotica e sottolinea ancora una volta la rilevanza astrobiologica di questo corpo celeste, la cui futura esplorazione offre l'opportunità di trovare tracce di eventuali forme di vita oltre la Terra e dà anche la possibilità studiare i processi prebiotici che hanno portato la vita sul nostro pianeta e di ripercorrere lo sviluppo di ambienti abitabili nel Sistema solare. ■

Il Museo Astronomico e Copernicano di Roma

di Lucio Angelo Antonelli, Marco Faccini, Giangiacomo Gandolfi, Francesco Poppi

Astrolabi, cannocchiali, testi antichi: mille anni di storia dell'astronomia raccontati attraverso una collezione unica nel suo genere.

La storia del Museo Copernicano ha avuto origine più di 150 anni fa, in occasione delle celebrazioni del quarto centenario della nascita di Copernico, tenutesi nel 1873 a Roma, presso l'Università La Sapienza. Il legame tra Copernico e Roma risale al 1500, quando lo scienziato vi soggiornò in occasione del Giubileo. Lui stesso narra di aver osservato dalla Capitale un'eclissi di Luna e il suo allievo Retico racconta che il maestro vi avrebbe tenuto lezioni di astronomia.

Col diretto coinvolgimento del Ministero dell'Istruzione del neonato Regno d'Italia, fu deciso di fondare un museo permanente in cui trovasse posto i documenti originali e le opere celebranti Copernico raccolte dai numerosi donatori suoi connazionali e, inoltre, di dedicarlo anche alla storia dell'astronomia italiana. Non fu immediato trovare la collocazione definitiva per il Museo Astronomico e Copernicano, che nel 1886 venne finalmente associato all'Osservatorio del Collegio Romano e inaugurato in alcune sale poste al piano sottostante l'Osservatorio.

Il principale promotore e primo curatore fu Arturo Wołyński, storico polacco esule in Italia che possedeva una ricca collezione personale dedicata a Copernico e Galileo. Alla direzione dell'Osservatorio del Collegio Romano c'era Pietro Tacchini, che insieme a Wołyński si dedicò alla raccolta di importanti donazioni da parte di istituti italiani che possedevano strumenti astronomici antichi, libri e documenti d'archivio. Fin dalla sua nascita siamo dunque di fronte a un moderno Museo-Archivio-Biblioteca (Mab), che consente di ripercorrere le principali tappe della conoscenza del mondo a partire dalle origini fino ai giorni nostri.

Questo viaggio lo si compie attraverso i circa 500 strumenti astronomici, a cominciare dalla col-

MUSEO ASTRONOMICO E COPERNICANO DI ROMA
Viale del Parco Mellini 84, Roma





SALA DEI GLOBI

In primo piano un prezioso globo celeste di Vincenzo Coronelli, risalente alla fine del XVII secolo e ispirato ai preziosi gioielli tradizionali noti come "moretti veneziani".

Crediti: Inaf/G. Masi

lezione di magnifici astrolabi, tra cui l'astrolabio valenziano di Ibrahim ibn Said al-Sahli dell'anno 1070 d.C., proseguendo con la ricca collezione di globi celesti e terrestri dal XVI al XIX secolo, i numerosi cannocchiali e telescopi, tra cui gli esemplari di Eustachio Divini e di Giuseppe Campani, fino alla completa dotazione proveniente dagli osservatori romani ottocenteschi. Sono inoltre circa 4000 i volumi antichi, tra cui tutte le edizioni del *De revolutionibus orbium coelestium* di Copernico, tutte le prime edizioni delle opere di Galileo e i più importanti atlanti del passato. Il volume più antico, è un codice manoscritto membranaceo del XIV secolo, che raccoglie i principali trattati astronomici dell'epoca. Nell'archivio storico sono conservate le testimonianze originali dell'attività dei principali astronomi italiani dell'Ottocento e del loro contributo alla nascita dell'astrofisica.

Insieme all'Osservatorio Astronomico di Roma, nato dalla fusione tra l'Osservatorio del Collegio Romano e l'Osservatorio del Campidoglio, nel 1935 il Museo fu trasferito presso Villa Mellini a Monte Mario, dove si trova tuttora con un nuovo allestimento inaugurato nel 2023 in occasione delle celebrazioni per il 550° anniversario della nascita di Copernico. ■

Fin dalla sua nascita siamo di fronte a un moderno Mab, che consente di ripercorrere le principali tappe della conoscenza del mondo a partire dalle origini fino ai giorni nostri.



musci



ASTROLABIO

Astrolabio latino del XVI secolo realizzato in ottone.

Crediti: Inaf

GLOBO CELESTE

Dettaglio dell'orizzonte di un globo celeste risalente al XVII-XVIII secolo e realizzato a firma di Nicolas Bion.

Crediti: Inaf

CANNOCCHIALI

La collezione dei cannocchiali storici esposta nella prima sala del museo. Il più antico risale al periodo 1630-40.

Crediti: Inaf/G. Masi

Giocare e costruire un pensiero scientifico

di Sara Ricciardi

Un gruppo di lavoro sul gioco come motore di apprendimento creativo: un punto di vista sulla scienza e i suoi meccanismi per una piena cittadinanza scientifica.

In un mondo mutevole e plasmato profondamente dallo sviluppo scientifico-tecnologico è vitale che i cittadini conoscano i meccanismi della scienza e li sappiano leggere: è una questione di democrazia. Questo richiede sì una qualche alfabetizzazione scientifica, ma soprattutto che le persone siano interessate e si sentano in grado di comprendere. I dibattiti sul cambiamento climatico o sulle pandemie evidenziano l'urgenza di promuovere una cittadinanza scientifica a fianco delle altre cittadinanze; e la scuola come istituzione della Repubblica è l'attore principale per operare questo cambiamento e ottemperare all'articolo 3 della Costituzione italiana.

Più di dieci anni fa, insieme ai docenti, ci siamo chiesti come dovesse essere l'apprendimento che auspicavamo, e cosa significasse per noi fare ricerca. Nel cercare di dare una risposta, è nato questo percorso che ha permesso di co-progettare apprendimenti significativi per i ragazzi, che li facessero sentire più capaci, cercando di rappresentare in modo onesto la ricerca scientifica e di mostrare il nostro lavoro per quello che è: una sfida meravigliosa, un gioco potente per svelare il mondo, un percorso fatto di errori e ripartenze che mette alla prova la nostra creatività.

Abbiamo scoperto un superpotere: imparare attraverso il gioco assomiglia proprio a quel tipo di piacere di cui godiamo quando comprendiamo o costruiamo qualcosa di nuovo. Ma "da grandi poteri derivano grandi responsabilità": quando giochiamo in contesti educativi lo facciamo mettendo in moto la creatività, non per inzuccherare una pillola amara, e ci teniamo a debita distanza da processi di gamificazione. Abbiamo sviluppato con le scuole percorsi di *tinkering*; una pratica costruzionista in cui l'apprendimento non viene "passato" dall'insegnante allo studente, ma attivamente

Abbiamo scoperto un superpotere: imparare attraverso il gioco assomiglia proprio a quel tipo di piacere di cui godiamo quando comprendiamo o costruiamo qualcosa di nuovo



SCRIBBLING MACHINE

Tra le attività classiche del tinkering c'è la costruzione di congegni motorizzati realizzati con materiali semplici o di recupero. Scopri le risorse Inaf per i docenti su play.inaf.it

costruito da chi apprende, che viene coinvolto nella costruzione di oggetti tangibili. D'altronde anche noi scienziati costruiamo dei meravigliosi giocattoli che ci aiutano a capire il mondo.

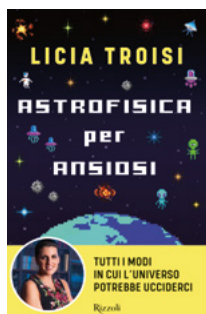
Affrontando le sfide del *tinkering* e costruendo questi artefatti, i ragazzi costruiscono insieme una conoscenza che emerge dai diversi gruppi di lavoro, che si contaminano e si ispirano tra loro. Dopo aver lavorato su queste pratiche, è più facile comprendere come funziona la scienza e una comunità di ricerca. Oltre al Playful Learning basato sul *tinkering*, abbiamo sperimentato con successo il game based learning, ovvero un apprendimento basato sui giochi. Quest'area viene sviluppata nell'Inaf in stretta collaborazione con il Game Science Research Center di cui l'Inaf fa parte. In particolare ci siamo impegnati a sviluppare Pixel, un gioco da tavolo sulla risoluzione in astrofisica, e a proporre percorsi di Pcto (percorsi per le competenze trasversali e per l'orientamento) in cinque città italiane. Oltre il contenuto disciplinare legato alla risoluzione delle immagini in astrofisica, il gioco svela attraverso le sue meccaniche i processi della ricerca astrofisica, la cooperazione e la competizione, le criticità e le sfide.

Lavorare fianco a fianco con le scuole è faticoso, ma andiamo avanti con entusiasmo, credendo di dare un contributo significativo allo sviluppo di una cittadinanza scientifica diffusa. ■

Licia Troisi

Astrofisica per ansiosi

di Greta Zucchi



***Astrofisica per ansiosi*: il nuovo libro di Licia Troisi, pubblicato a giugno 2023, ha un titolo intrigante, che, in una società arrivista e iper competitiva, ci vede coinvolti in prima persona nel ruolo di ansiosi di successo.**

Eppure, guardando verso l'alto, nelle notti disseminate di piccoli puntini brillanti, riusciamo a dimenticare i nostri timori e troviamo pace nel cielo stellato, avvolti dalla sua bellezza. Sfolgiando le prime pagine del volume, però, scopriamo che l'universo è tutt'altro che un luogo tranquillo: è caotico e turbolento, ma soprattutto un killer – quasi – perfetto. Ma il cosmo come potrebbe mai angosciarci? Troisi percorre un viaggio lungo 13 capitoli, esplorando passo passo i possibili scenari catastrofici che potrebbero vederci vittime di un efferato omicidio, i cui temibili sicari sono asteroidi, buchi neri o forme di vita extraterrestre.

Per fortuna l'umanità può tirare un sospiro di sollievo. L'analisi astrofisica proposta, infatti, ci rassicura sulla nostra sorte. La maggior parte delle circostanze catastrofiche sono altamente improbabili: «L'universo potrebbe farci fuori in moltissimi modi creativi, ma nessuno è così efficace, e così vicino, come quelli che noi stessi siamo stati in grado di inventarci per metterci i bastoni tra le ruote». Siamo indotti a riflettere, ancora una volta, su come sia il nostro apporto alla salute del pianeta a influenzare di più il nostro stesso benessere, poiché «a differenza di quanto credevano i nostri

«L'universo non ha nessuna intenzione di ucciderci, non nel breve termine almeno. Ma, allo stesso tempo, all'universo non interessa se ci estinguiamo»



OMINI VERDI
 Un cosplayer veste i panni di un pericoloso alieno al Comic-Con di San Diego, un evento dedicato al mondo delle arti, del cinema e dei fumetti.
 Crediti: Pexels

antenati, la sua [dell'universo] straordinaria vastità non è fatta per noi, e noi non siamo fatti per essa»; pertanto, quel che ci resta è preservare il luogo a noi più ospitale: la Terra.

Immersi tra le riflessioni, le pagine scorrono veloci, soprattutto per chi è appassionato, ma possono incuriosire anche gli scettici, dato l'approccio divulgativo del testo, che semplifica i concetti e intriga il lettore. Il libro è rivolto, dunque, a un pubblico eterogeneo, che, anche senza alcuna estrazione scientifica, può agilmente comprendere la direzione scelta dall'autrice, magari approfondendo le diverse nozioni introdotte. Ogni capitolo è auto-consistente: sono illustrati i concetti chiave per comprendere la logica delle teorie. Inoltre, metafore ed analogie permettono di districarsi tra i difficili contesti: così, ad esempio, le increspature dello spazio-tempo diventano le onde provocate da un sasso lanciato in un laghetto.

Infine, destreggiandosi tra le questioni astrofisiche, il lettore si espone ai dubbi che ancora permeano le menti degli scienziati di oggi, ed è incoraggiato a porsi altri, ma ciò che emerge, di inconfutabile, è ancor più evidente: «L'universo non ha nessuna intenzione di ucciderci, non nel breve termine almeno [...] ma, allo stesso tempo, all'universo non interessa se ci estinguiamo».

Noi ansiosi, insomma, leggendo questo libro possiamo rasserenarci, sentendoci scientificamente giustificati nel farlo e portando con noi, forse, qualche conoscenza in più. Personalmente consiglio di regalare questa lettura a qualche parente o amico che sia un po' intimorito dall'astrofisica o da una possibile invasione aliena... rassicuriamolo: può dormire sonni tranquilli e, allo stesso tempo, scoprire quanto sia affascinante il grande meccanismo che governa il cosmo. ■

Impatto sociale della ricerca astrofisica italiana

di Corrado Perna

I risultati della ricerca hanno un effetto innegabile su Pil socioeconomico e sociopolitico. Per questo l'Inaf intraprende diverse iniziative per comunicare i suoi risultati agli stakeholder.

Le dinamiche relazionali alla base del funzionamento delle moderne strutture organizzative evidenziano una crescente esigenza di trasparenza riguardo alle informazioni inerenti la performance organizzativa, non solo nei termini dei risultati economici da esse raggiunti, ma anche riguardo all'impatto complessivo che le organizzazioni, i loro prodotti e i processi di produzione hanno sulla società.

Se, infatti, la trasparenza della performance economica è un principio di etica economica fondamentale nel guidare le scelte degli investitori finanziari, l'immagine sociale che le organizzazioni hanno è, essa stessa, un fattore determinante al successo della loro missione costitutiva. Questo schema, fondato sulla triangolazione "valori-relazioni-rendicontazione", include pertanto uno spettro più ampio di persone rispetto a quelle direttamente coinvolte nelle attività dell'organizzazione, quali possono essere i soli dipendenti e investitori, che vengono definiti con il termine stakeholder. Le politiche di coinvolgimento degli stakeholder nei processi decisionali e la rendicontazione dei risultati raggiunti sull'intero spettro di attività di una organizzazione vengono, rispettivamente, definite: *stakeholders engagement* e bilancio sociale.

Anche le moderne organizzazioni di ricerca sono soggette a questa sorta di obbligo morale, in Italia disciplinato dalla legge, sia per la loro prevalente natura pubblica ma soprattutto perché i risultati della loro attività hanno un impatto crescente nella contemporanea *knowledge based economy*, circostanza che dà luogo a una amplificazione delle aspettative nei riguardi delle loro attività nonché a un allargamento della platea di

Questa rubrica presenterà, di volta in volta, le varie iniziative dell'Inaf, sia di stakeholder engagement sia di rendicontazione sociale, raccontate dalla voce dei diretti protagonisti



STAKEHOLDER

Diventa sempre più importante coinvolgere tutti coloro che influenzano o sono influenzati dall'impresa scientifica e di cui essa deve tener conto.

Crediti: Pexels

stakeholder coinvolti ai quali dover rendicontare il proprio operato. L'Inaf non si è sottratto a questo obbligo e la rubrica che si inaugura in questo numero di *Universi* presenterà, di volta in volta, le varie iniziative che l'ente intraprende, sia di *stakeholders engagement* sia di rendicontazione sociale, raccontate dalla voce dei diretti protagonisti, dei quali si raccoglieranno le opinioni circa i risultati raggiunti dall'Istituto nei rispettivi domini di interesse.

Il valore aggiunto che l'Istituto apporta al Paese è qualificabile in termini di contributo alla crescita del Pil socioeconomico, inteso come l'aumento delle conoscenze nel settore della ricerca astrofisica e delle sue tecnologie abilitanti, nonché il valore della ricchezza prodotta dal moltiplicatore economico delle risorse investite per il raggiungimento degli obiettivi di ricerca, e contributo alla crescita del Pil sociopolitico, inteso come l'espansione del network relazionale internazionale che l'Istituto determina attraverso le partnership strategiche che instaura. Tali partnership, di carattere sia istituzionale-diplomatico sia industriale, rispettivamente funzionali al reperimento delle risorse transnazionali, necessarie per la realizzazione dei moderni programmi di ricerca astrofisica e alla creazione di supply-chain innovative, capaci di sviluppare le tecnologie abilitanti di frontiera di cui necessitano i moderni metodi di osservazione dell'universo.

Appuntamento quindi al prossimo numero di *Universi*, dove questa rubrica avrà per oggetto l'illustrazione del primo esperimento di redazione di bilancio sociale dell'Inaf, attualmente in fase di elaborazione grazie all'autorevole contributo di esperti della materia. ■

Sotto un sole pantera

di Angelo Adamo

Gli uni e gli altri; gli universi e gli *altriversi*, appartengono tutti a un multiverso forse reale, di sicuro probabile, quindi immaginato, teorizzato, sognato, sperato. Nelle altre pagine di questa rivista si raccontano gli *uni*-; in queste due pagine si osservano gli *altri*-, e saranno quando in rima, quando sciolti; quando selvaggi, quando educati; quando retro-, quando capo-, ma mai così tanto diversi dagli uni-, mai così tanto simili agli altri-.

Sotto un sole pantera
sotto lo sguardo attento
d'una pupilla nera

d'un felino oscuro,
nascosto nel buio, in agguato
se ti attraversa la strada,
si sa: verrai spaghetato.

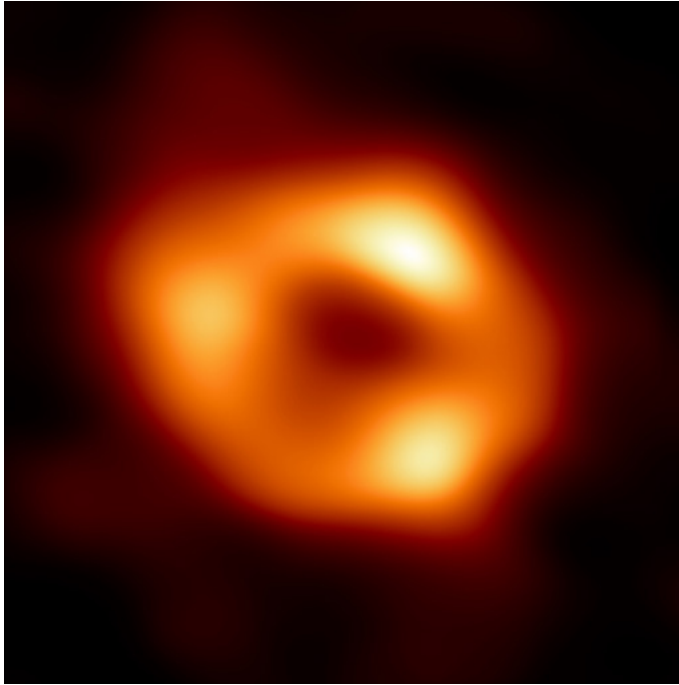
No, non è malasorte
perché te la sei cercata,
avvicinandoti a quell'orizzonte
sarai alla sua portata.

Precipiti, e non c'è da star contenti
perché finirai dritto-dritto tra quei suoi strani denti.
Zanne nere di marcio antico e cariato
che tanto cosmo hanno già masticato.

Supermassiccio com'è, sta sempre nascosto
nel centro galattico che con luminosità
lo cela alla vista, non è così grosso!
ma di piccola taglia, e gran densità.

▶





Con forte zampa gravitazionale
afferra ciò che lì ha sconfinato
lo ammorbidisce saliva mareale:
lo prepara al pasto del mostro affamato.

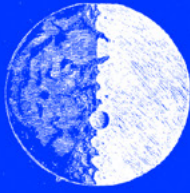
Nell'ombra scura, vi giuro, l'ho visto!
scendeva anche un raggio di luce,
parte *light* del pasto, di certo un misto!
che nel buco oscuro il mostro introduce.

Forse dal suo sé tanto incuriosito
ma, timido, introverso, chiuso, riservato,
non emette all'esterno il referto completo
del suo intimo, interiore travaglio illuminato.

Ma bada a fraintendere: no, non spegne mai la luce!
Il mostro la trattiene, la sequestra, fermandola,
sì, per lui, sapete, non è così veloce,
la assapora e dice "secondo me, sa di mandorla!"

Ora svelo il motivo di tale golosità
che mal s'addice al vero re delle tenebre.
Non è passione per la luminosità,
ma paura del buio e di ciò che è funebre.

Continua, per questo, volentieri il suo pasto
con fulgide stelle davvero cadenti
ma al di sopra di tutto prende sempre gran gusto
se si trova a mangiar il precipitar degli eventi.



EUROPEAN ASTRONOMICAL SOCIETY

ANNUAL
MEETING

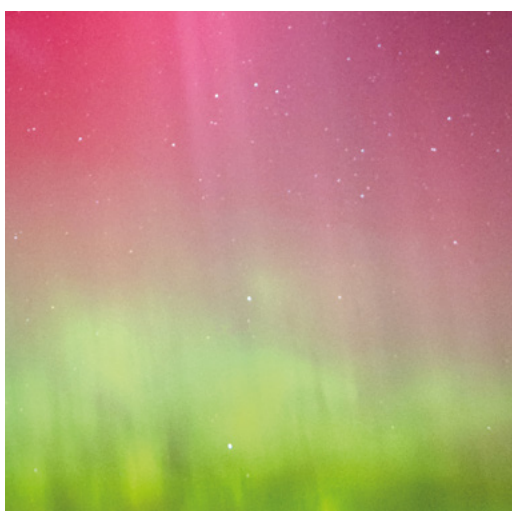
PADOVA CONGRESS, ITALY
JULY 1ST - 5TH



Errata Corrige Universi 2

pp. 10-11: 400 milioni (non 400mila milioni)

p. 78: Kimberly Arcand (non Arcard)



Finito di stampare

a giugno 2024 presso

Grafiche Zanini, Anzola dell'Emilia (Bologna)

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

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

ISSN 2975-0938



9 772975 093806