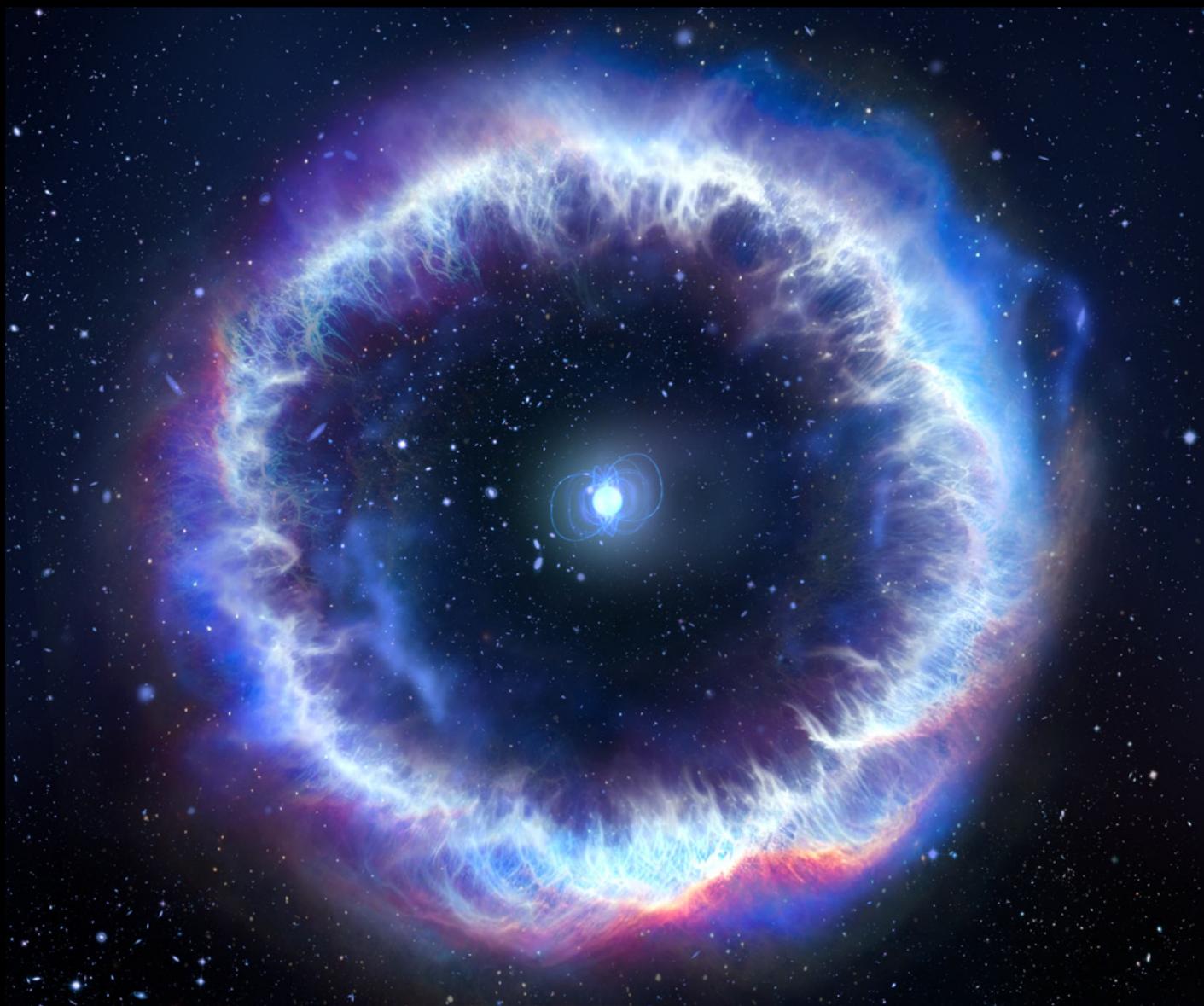


u n i v e r s i

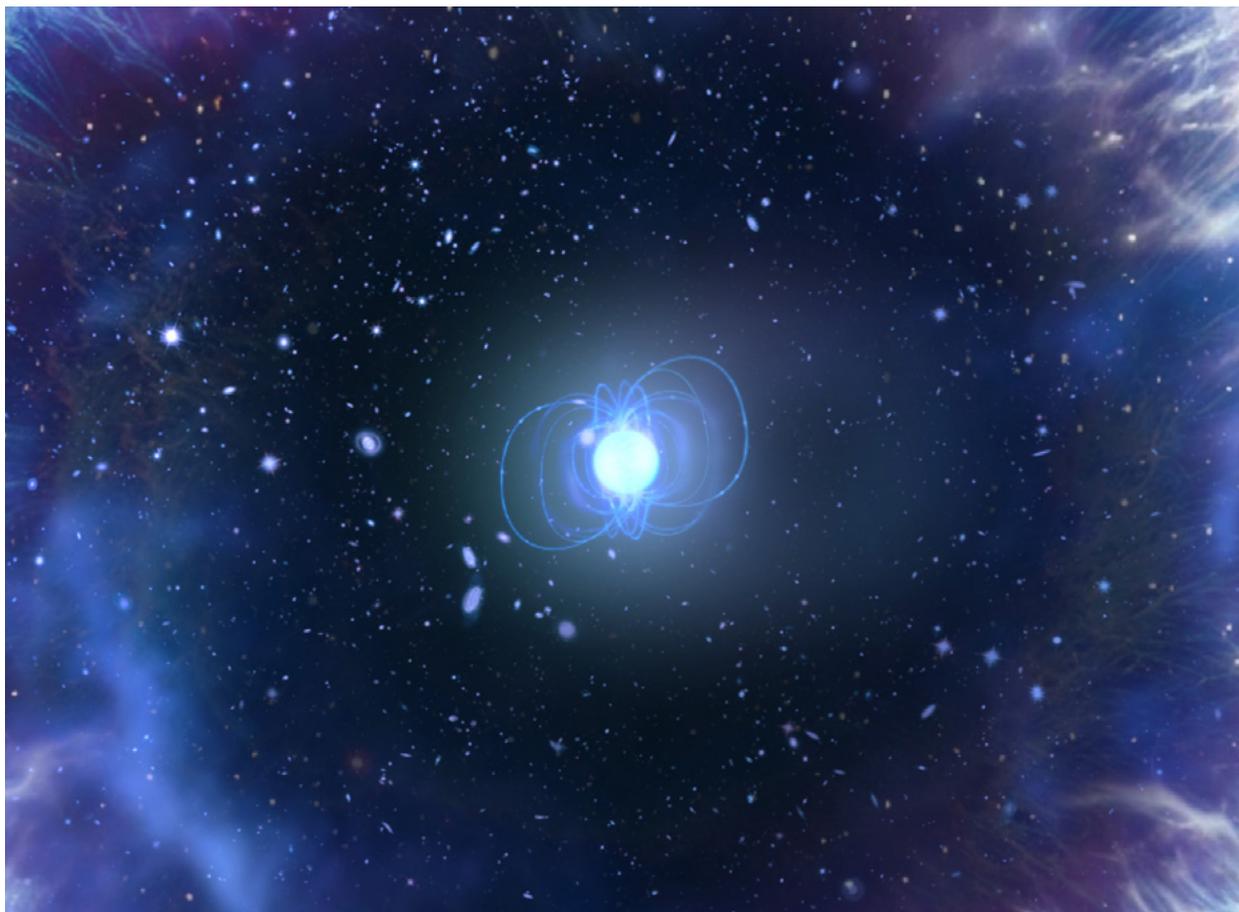


rivista semestrale
giugno 2025

5
inaf

8 Tracce di una rapina cosmica **16** Uno sguardo 3D sugli ammassi globulari **24** Ultime scoperte da Bennu **32** Lampi radio e universo transiente **40** Due squali nel telescopio **50** La teoria Mond ripensa la gravità **54** Il futuro delle attività dell'Inaf

u n i v e r s i



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

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

colophon

Una rivista dell'Inaf
Viale del Parco Mellini 84
00136 Roma
www.inaf.it

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

universi.inaf.it

DIRETTORE RESPONSABILE
Maura Sandri

DIRETTORE ARTISTICO
Davide Coero Borga

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

COMITATO SCIENTIFICO
Roberto Ragazzoni,
Isabella Pagano,
Roberto Gilli, Ilaria Musella,
Vincenzo Andretta,
Melania Del Santo,
Deborah Busonero

**COORDINAMENTO
REDAZIONALE**
Cecilia Toso

**PROGETTO GRAFICO
E IMPAGINAZIONE**
Chiara Athor Brolli

IMMAGINI
Le immagini senza credito
provengono dall'Archivio
Inaf

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



universi 5

In questo numero

- 8 RSN 1 | GALASSIE E COSMOLOGIA** Tracce di una rapina cosmica
- 16 RSN 2 | STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE**
Uno sguardo 3D sugli ammassi globulari
- 24 RSN 3 | SOLE E SISTEMA SOLARE** Ultime scoperte da Benu
- 32 RSN 4 | ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE** Lampi radio e universo transiente
- 40 RSN 5 | TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE** Due squali nel telescopio

5
EDITORIALE
Nuove frontiere

8
RSN 1 | Tracce di una rapina cosmica

16
RSN 2 | Uno sguardo 3D sugli ammassi globulari

24
RSN 3 | Ultime scoperte da Benu

32
RSN 4 | Lampi radio e universo transiente

40
RSN 5 | Due squali nel telescopio

50
INTERVISTA A FEDERICO LELLI
La teoria Mond ripensa la gravità

54
INTERVISTA A ISABELLA PAGANO
Il futuro delle attività dell'Inaf

58
VISIONE
testi di Davide Coero Borga
scatti di Riccardo Bonuccelli

66
FLASH
di Eleonora Ferroni

72
TECH
Specchi arrotolabili per lo spazio
di Rossella Spiga

74
METAVERSO
A caccia della luce Cherenkov
di Laura Leonardi

76
ART
Da Rigel a Betelgeuse ci vogliono cento passi
di Claudia Mignone

78
GREEN
Nuovi telescopi, più energia pulita
di Valentina Guglielmo

80
ASTROBIOLOGIA
Supernove e mutazioni: semplice coincidenza?
di Giuseppe Fiasconaro

82
MUSEI
Il patrimonio storico dell'Inaf di Cagliari
di Paolo Soletta

86
SCUOLA
I Campionati italiani di astronomia
di Giuseppe Cutispoto

88
SOCIETÀ
Il nuovo Codice della Proprietà intellettuale
di Corrado Perna

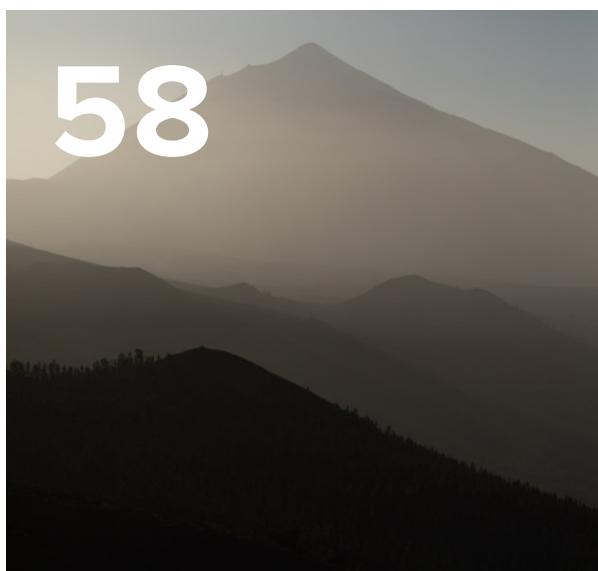
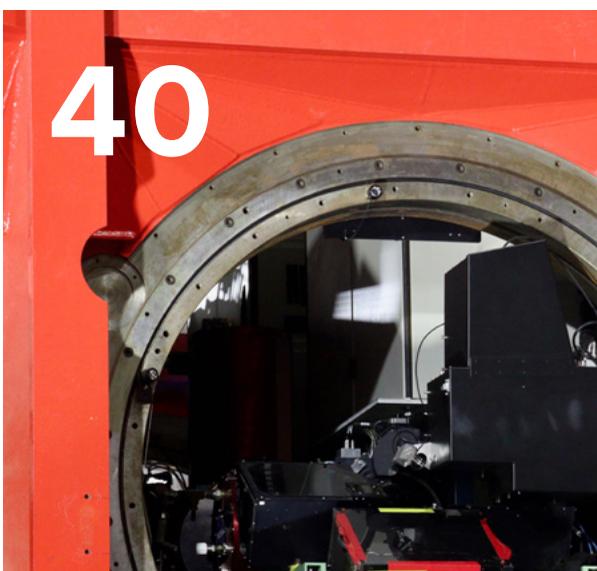
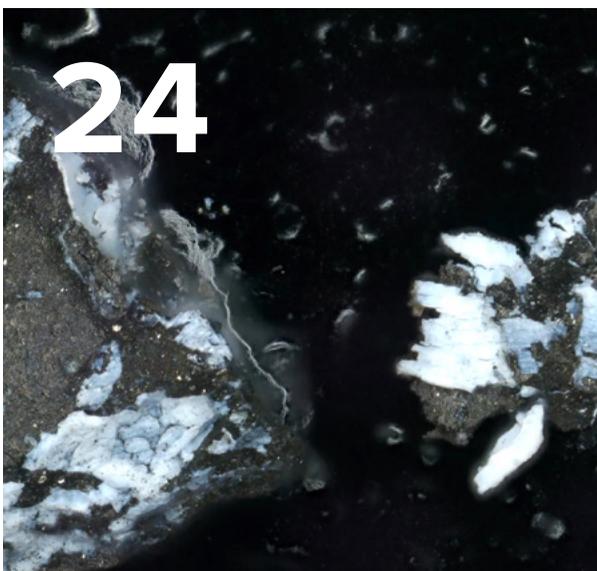
90
LIBRI
Rampazzo e Zanini
Oltre i bastioni della Via Lattea
di Daniela Bettoni

92
POP
L'infinito cosmico e la musica che emoziona
di Chiara Badia

94
ALTRIVERSI
A.I. + Spazio Cosmico = E.T.
di Angelo Adamo



in copertina
Illustrazione di una magnetar, circondata dalla nebulosa responsabile dell'emissione radio continua associata ad alcuni *fast radio burst*.
Crediti: Nsf/Aui/Nrao/S. Dagnello



L'INAF DA VEDERE E ASCOLTARE



HOUSTON

Un podcast che parla di spazio, atterraggi falliti, innovazioni disperate e soluzioni geniali. Scritto e raccontato da Valentina Guglielmo.



MACCHINE DEL TEMPO

Esplora le meraviglie dell'universo in un viaggio attraverso lo spazio e indietro del tempo nel podcast a cura di Lucia Bucciarelli.

L'UNIVERSO ALLA LETTERA

Un glossario in formato video, per avvicinarsi ai corpi celesti e ai fenomeni cosmici più gettonati nelle notizie di astronomia e spazio.



SCOPRI INAF

Un viaggio fra gli osservatori dell'ente italiano per lo studio dell'universo, ai quattro cantì d'Italia e oltre l'infinito.



INCONTRI

Voci e volti della galassia Inaf raccontano la loro storia nel mondo dell'astrofisica. Ogni settimana un nuovo episodio.



editoriale

NUOVE FRONTIERE

Stiamo vivendo un momento storico di profonde trasformazioni, non solo per quanto riguarda l'astronomia ma per l'intero ambito della conoscenza. In quanto ricercatori, la nostra missione è contribuire a spostare i confini della conoscenza scientifica più avanti, costruendo infrastrutture osservative sempre più potenti, progettando tecnologie sempre più performanti e accumulando quantità di informazioni che sfuggono alla possibilità di analisi del singolo.

Sul piano scientifico, ci sono almeno due temi molto avvincenti che ci portano dritti alle nuove frontiere dell'astrofisica. Ripensare la gravità è possibile? Per decenni un eccesso di materia cosiddetta oscura è stato ritenuto responsabile di gran parte dell'attrazione gravitazionale tra le galassie. Altre ipotesi non mancano e storicamente la *Mond di Milgrom* descrive bene l'osservabile in regimi lontani da quelli descritti dalla relatività einsteiniana, lasciando la teoria orfana di una sua descrizione completa e soddisfacente. L'idea potrebbe non essere così peregrina e potremmo forse essere chiamati a scrivere nuove pagine di astrofisica. Ma l'impresa non è meramente intellettuale. L'astronomia,

la scienza "da remoto" per eccellenza, si sta trasformando. Oggi possiamo raggiungere pianeti del Sistema solare, comete e asteroidi, prelevare campioni incontaminati da analizzare in situ, o addirittura da riportare a Terra. È quanto ha fatto *Osiris-Rex* della Nasa, che nel 2023 ci ha portato alcuni campioni dell'asteroide *Bennu*, dalle cui analisi sono emersi indizi importanti sull'origine di molecole fondamentali per la vita.

La produzione e l'accumulo di una quantità impressionante di dati ci pone davanti al problema di come gestirli e analizzarli. Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale sta giocando un ruolo cruciale anche nel futuro dell'astrofisica, aprendo nuove strade alla comprensione dell'universo e diventando un alleato potente nell'analisi di enormi moli di dati generati da telescopi e rilevatori di nuova generazione, ormai non pienamente sfruttabili con i metodi tradizionali. Questo solleva anche questioni insidiose come l'accesso e la sicurezza dei dati, e il problema dell'attribuzione delle scoperte. A questo proposito, la recente riforma legislativa del Codice della Proprietà intellettuale ha permesso all'Italia di aderire agli standard internazionali, attribuendo la titolarità dei diritti di sfruttamento dei risultati all'ente di appartenenza del singolo ricercatore, e contribuendo a rafforzare l'impatto sulla società delle istituzioni di ricerca.

E sempre in quanto a impatto sociale, le stesse grandi infrastrutture osservative potrebbero contribuire positivamente al fabbisogno energetico delle comunità locali, prestando attenzione agli aspetti di sostenibilità energetica e ambientale.

Uno sguardo rivolto alle nuove frontiere dell'astronomia e dell'astrofisica potrà ispirare le vostre ulteriori riflessioni e soprattutto la vostra curiosità, sfogliando le pagine di questo numero di *Universi*. ■

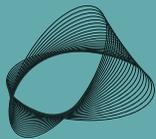
Roberto Ragazzoni
Presidente dell'Inaf



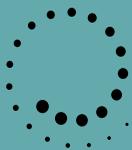
In questo numero, con la rubrica *Visione* andiamo all'Osservatorio astronomico del Teide

RSN

I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI
NAZIONALI DELL'INAF



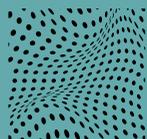
**GALASSIE
E COSMOLOGIA**



**STELLE,
POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE**



**SOLE E SISTEMA
SOLARE**

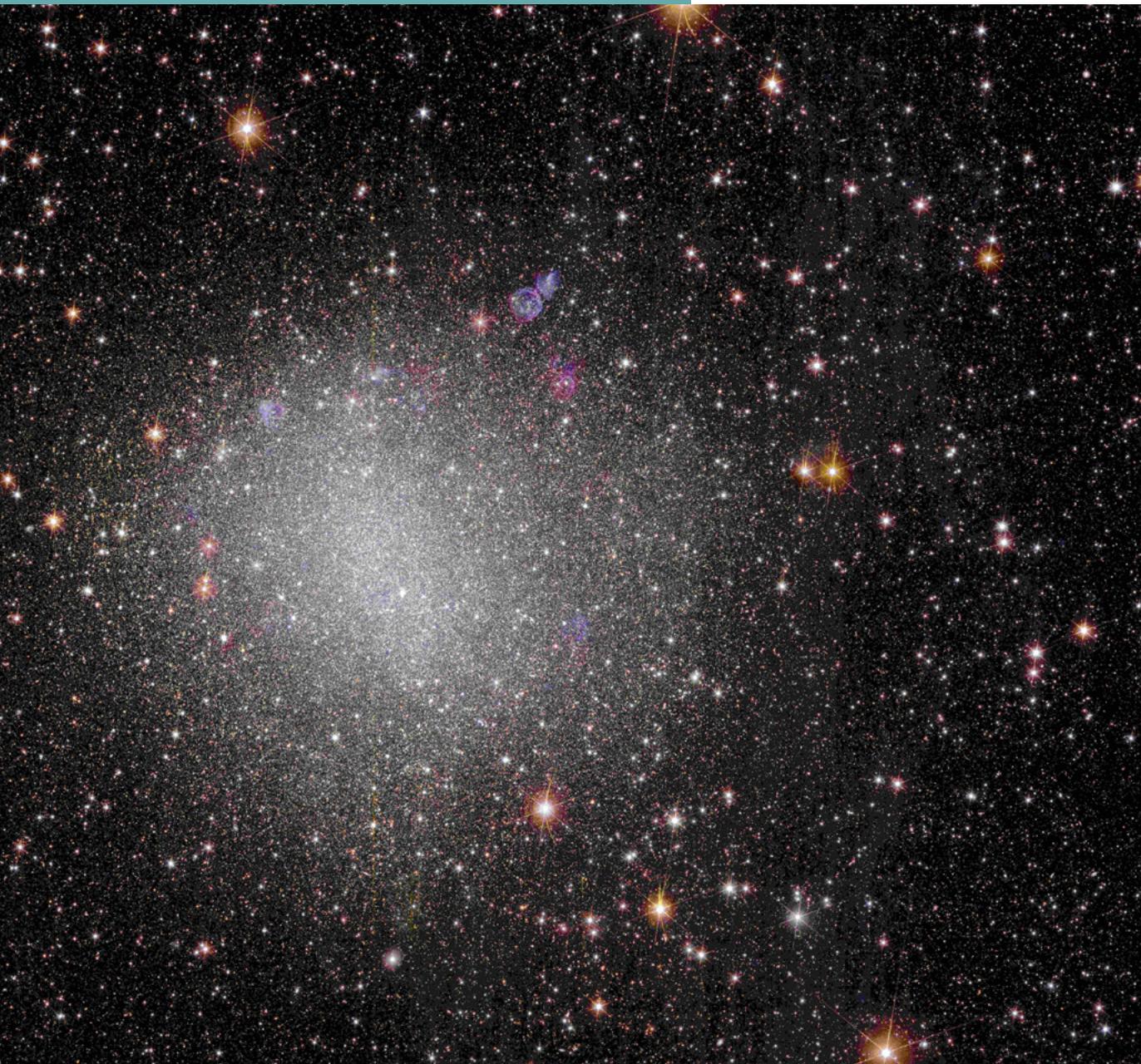


**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**



**TECNOLOGIE
AVANZATE E
STRUMENTAZIONE**

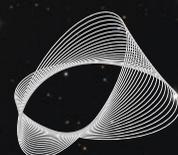




Tracce di una rapina cosmica

di **Marilena Spavone** ed **Enrichetta Iodice**

Grazie al grande campo di vista e alla risoluzione di OmegaCAM, la potente fotocamera del telescopio Vst, e grazie alle immagini raccolte dal progetto Vegas, è stato possibile effettuare un censimento cosmico per studiare le galassie in vari ambienti con diversa densità.



G

Gli ammassi di galassie sono le strutture più grandi tenute insieme dalla gravità. Si trovano nei nodi più densi della “ragnatela cosmica” che pervade l’universo e sono luoghi tutt’altro che tranquilli: al loro interno, le galassie si scontrano e interagiscono, spesso in maniera turbolenta, regalando immagini spettacolari ai telescopi che scrutano le profondità del cielo. Recentemente, un team internazionale di astronomi di cui le autrici di questo articolo fanno parte, ha studiato l’ammasso di galassie dell’Idra (Hydra I), che si trova a circa 160 milioni di anni luce da noi. Questo studio ci ha permesso di rivelare deboli strutture nella luce diffusa dell’ammasso, che ci hanno consentito di ricostruire la sua travagliata storia evolutiva.

AMMASSI DI GALASSIE

Secondo il modello cosmologico Λ Cold Dark Matter (Λ cdm), gli ammassi di galassie si formano e crescono nel tempo raccogliendo, lungo filamenti, gruppi di galassie più piccoli, grazie alla forza di gravità della materia presente. Al centro di questi ammassi, le galassie sono coinvolte in un attivo processo di crescita, dove interazioni gravitazionali e fusioni tra galassie di massa simile, o anche più piccole, giocano un ruolo chiave nel determinarne la loro morfologia e la loro cinematica. Queste interazioni producono una significativa quantità di detriti, che vengono spostati verso le regioni esterne delle galassie e trattenuti dall’alone di materia oscura. Questi detriti possono manifestarsi come stelle debolmente legate, ammassi globulari, scie stellari e code

mareali, contribuendo così alla formazione di aloni stellari e della luce intra-ammasso, che riempie gli spazi tra le galassie. Tutte queste strutture sono più deboli di oltre 4 magnitudini rispetto alle regioni centrali delle galassie, avendo una luminosità superficiale molto bassa, presentano popolazioni stellari multiple e cinematica complessa e continuano a crescere nell’epoca attuale. A grandi distanze dal centro della galassia, i tempi dinamici sono più lunghi e quindi tutte queste strutture possono sopravvivere per diversi miliardi di anni.

La luce intra-ammasso (o Icl, dall’inglese *intracluster light*) è una componente diffusa che pervade lo spazio intergalattico, prodotta da stelle che sono state “sottratte” ad alcune delle galassie dell’ammasso mentre interagivano con le loro compagne. Poiché rappresenta i processi fisici avvenuti nell’ammasso, è considerata un indicatore prezioso della formazione delle strutture in tutti gli ambienti. Sebbene sia fondamentale per lo studio della formazione ed evoluzione delle strutture nell’universo, la luce intra-ammasso risulta essere molto difficile da osservare, a causa della sua bassa luminosità. Per poterla osservare abbiamo bisogno di strategie ad hoc, che consentano di determinare una stima accurata del fondo del cielo in modo da poterlo separare dall’Icl e di un’accurata modellizzazione di tutte le sorgenti luminose (stelle e galassie) presenti nell’ammasso. A oggi, sono stati utilizzati diversi metodi per rilevare l’Icl in gruppi e ammassi, utilizzando telescopi terrestri e spaziali. Sulla base dei nuovi dati ottenuti, sono state derivate diverse proprietà dell’Icl, come la distribuzione proiettata in 2D, il colore e la metallicità, che vengono utilizzate per distinguere tra i principali canali di formazione di questa componente.

Studi recenti hanno inoltre dimostrato che l’Icl può essere considerata un tracciante luminoso della materia oscura e che può essere utilizzata come un orologio dinamico, in quanto ci fornisce indicazioni sul grado di evoluzione di un ammasso. Infatti, grazie alle nuove osservazioni fatte con i telescopi di ultima generazione, siamo stati in grado di osservare l’Icl in molti ammassi,

PIROETTE COSMICHE

Sopra: i gas espulsi da NGC 3312 tornano verso la galassia a spirale a causa di un fenomeno chiamato ram pressure stripping.
Sotto: NGC 3314a e NGC 3314b viste dal Vst.
Crediti: Eso/Inf/M. Spavone, E. Iodice

10 MILIONI DI ANNI LUCE

Alla pagina precedente: tanto si estende nello spazio l’ammasso di galassie dell’Idra (Hydra I), qui catturato dal Vlt Survey Telescope all’Osservatorio del Paranal dell’Eso.
Crediti: Eso/Inf/M. Spavone, E. Iodice



Gli ammassi di galassie si formano e crescono nel tempo raccogliendo, lungo filamenti, gruppi di galassie più piccoli, grazie alla forza di gravità della materia presente

scoprendo che maggiore è la sua quantità più evoluto è l'ammasso.

Gli ammassi di galassie sono quindi dei veri e propri laboratori naturali che offrono un'opportunità unica per esplorare e comprendere le complesse interazioni che hanno plasmato l'universo. La loro osservazione e il loro studio possono rivelare dettagli fondamentali sulle leggi fisiche che governano l'evoluzione delle galassie e la struttura dell'universo stesso.

HYDRA I VISTO DA VST

Hydra I è un ammasso di galassie particolarmente ricco e massivo, situato a circa 160 milioni di anni luce da noi. La galassia più brillante di questo ammasso, NGC 3311, si trova al suo centro ed è circondata da emissioni a raggi X che suggeriscono dinamiche complesse.

Negli ultimi anni, i ricercatori si sono concentrati su NGC 3311 e un'altra galassia brillante, NGC 3309, entrambe circondate da un alone stellare diffuso. Questo alone contiene detriti stellari, probabilmente derivanti da galassie più piccole che vengono distrutte mentre si avvicinano all'ammasso. La cinematica delle stelle suggerisce che l'ammasso stia attivamente assemblando massa, in particolare attraverso fusioni di ammassi più piccoli.

Studi recenti hanno inoltre mostrato che molte galassie nell'ammasso stanno subendo la cosiddetta *ram pressure stripping*, un termine usato in astrofisica che potrebbe essere tradotto come "spoliazione per pressione dinamica". Questo fenomeno si verifica quando una galassia si muove attraverso un fluido denso, come il gas caldo presente tra le galassie di un ammasso: la frizione tra il gas caldo e il gas più freddo che circonda la galassia provoca la fuoriuscita di quest'ultimo, che si va ad aggiungere al materiale circostante. Hydra I ospita anche un numero significativo di galassie nane, con ben 317 candidati già identificati. Studi recenti hanno ampliato notevolmente questo elenco, rivelando molte nuove galassie nane, comprese galassie ultradiffuse.

La distribuzione delle galassie all'interno dell'ammasso mostra tre aree principali di alta densità. È interessante notare che il

Lo studio di questo ammasso di galassie è stato possibile grazie a immagini profonde e ad alta risoluzione ottenute con il telescopio italiano Vst, che dal 2022 è gestito interamente dall'Inaf

numero di galassie nane diminuisce verso il centro, supportando l'idea che vengano distrutte dalle intense forze gravitazionali dell'ammasso. Queste evidenze indicano un ambiente galattico vibrante e in evoluzione, con strutture che si fondono attivamente nell'ammasso.

Il nostro studio di questo ammasso di galassie è stato possibile grazie a immagini profonde e ad alta risoluzione ottenute con il telescopio italiano Vst (Vlt Survey Telescope), situato presso l'Osservatorio del Paranal dello European Southern Observatory (Eso) sulle Ande cilene, che dal 2022 è gestito interamente dall'Inaf. Le osservazioni di Hydra I sono state raccolte nell'ambito del progetto Vegas (Vst Early-Type Galaxy Survey), un censimento cosmico ottimizzato per studiare le galassie sfruttando il grande campo di vista e la risoluzione di OmegaCam, la potente fotocamera del Vst. Questa fotocamera è un vero e proprio "grandangolo cosmico", capace di osservare una porzione di cielo di un grado quadrato, pari a circa quattro volte l'area apparente della Luna piena. Questi dati offrono un'anteprima delle osservazioni che saranno realizzate, con profondità e risoluzione comparabili ma su porzioni del cielo ancora più grandi, dal satellite dell'Esa Euclid, lanciato lo scorso anno, e dalla Legacy Survey of Space and Time (Lsst) dell'Osservatorio Vera C. Rubin, attualmente in costruzione in Cile.

LE STRUTTURE DEBOLI DI HYDRA I

La distribuzione delle galassie all'interno di Hydra I mostra che la maggior parte della loro luce è concentrata nel nucleo dell'ammasso, proprio dove si trova anche l'emissio-

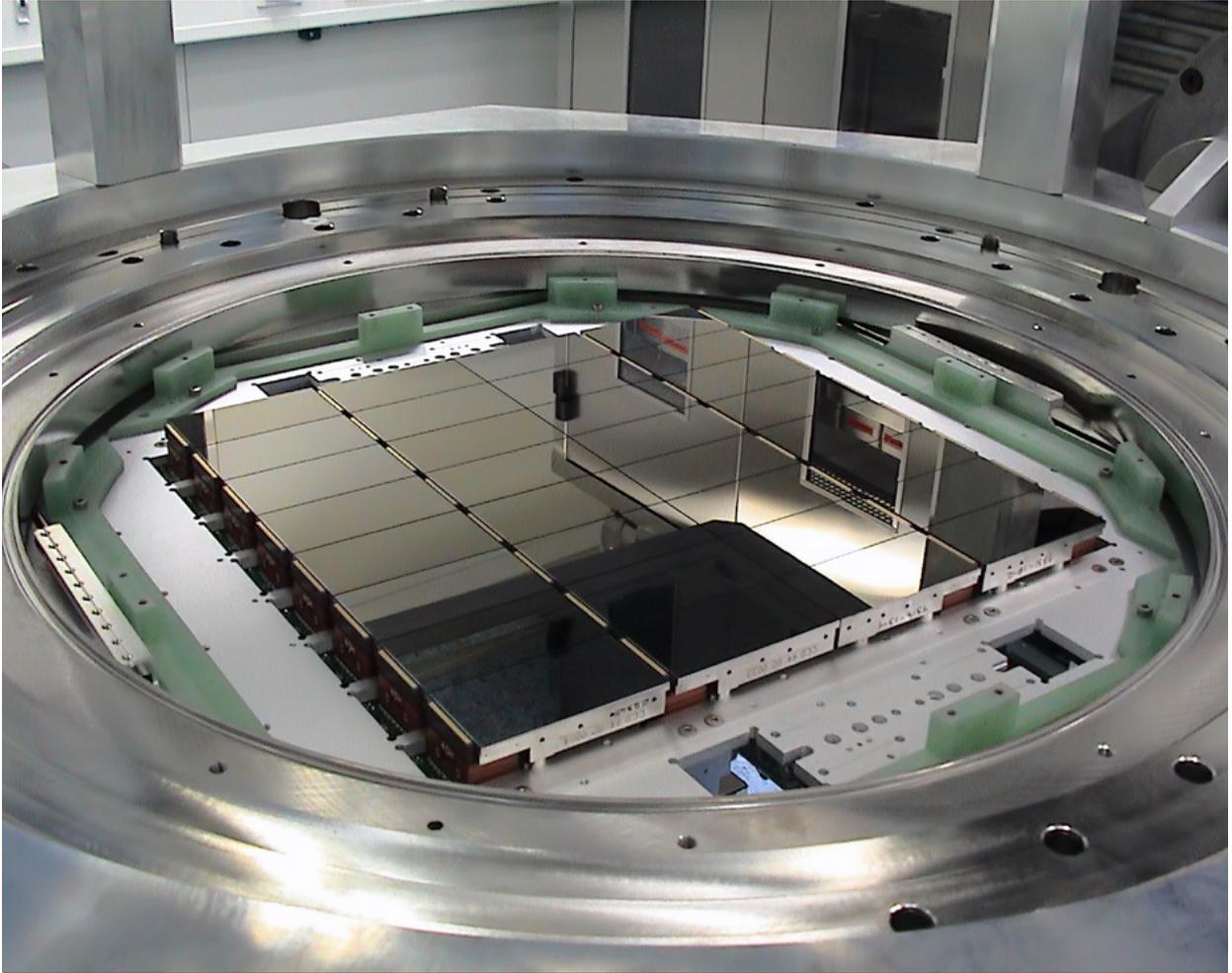
VST
 Vlt Survey Telescope è un telescopio da 2,6 metri
 dotato di una camera CCD con campo di vista
 quattro volte l'area della Luna piena.
 Crediti: Eso



ne di raggi X. Nel nostro studio, pubblicato sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*, abbiamo individuato due aree con un'alta densità di galassie, una a nord e l'altra a sud-est del nucleo. Ci siamo quindi concentrati sull'analisi della distribuzione di luce delle galassie brillanti dell'ammasso in ognuna delle sottostrutture individuate, allo scopo di poter poi "isolare" la luce diffusa. Inoltre, abbiamo analizzato in dettaglio le strutture più deboli all'interno dell'ammasso. In questo modo, è stato possibile stimare la quantità di luce intra-ammasso e studiare le strutture dovute alle interazioni tra galassie, come ad esempio le code mareali o i tentacoli di medusa osservati nella galassia a spirale NGC 3312.

NGC 3312 E NGC 3314A

NGC 3312 e NGC 3314A sono le due galassie più brillanti della regione che si trova a sud-est del nucleo dell'ammasso. Le immagini dettagliate presentate in questo lavoro mostrano filamenti stellari che si estendono dalla galassia NGC 3312 verso sud-ovest, che indicano come essa sia vittima della suddetta *ram pressure stripping*. La galassia si muove attraverso il gas caldo sospeso tra le galassie dell'ammasso, che esercita una forza sul gas più freddo presente nel suo strato esterno, "strappandolo" via e causando la sua fuoriuscita nel cosmo. Questo gas freddo è il materiale grezzo da cui si formano le stelle, il che significa



La profondità e la risoluzione dei dati ottenuti con il telescopio Vst ci hanno permesso di studiare in dettaglio la luce, anche quella più debole, della parte dell'ammasso coperta dalle nostre osservazioni

che le galassie che perdono gas in questo modo rischiano di avere una popolazione stellare in diminuzione. Le galassie colpite – solitamente quelle che si avvicinano al centro degli ammassi – tendono a formare, a lungo andare, lunghi filamenti di gas che si estendono dietro di loro, guadagnandosi il soprannome di galassie medusa.

Più a sud di NGC 3312, troviamo un sistema di due galassie a spirale: NGC 3314A/B. Ma non bisogna farsi ingannare dalla prospettiva: in realtà, non stanno interagendo affatto. Le due galassie non sono fisicamen-

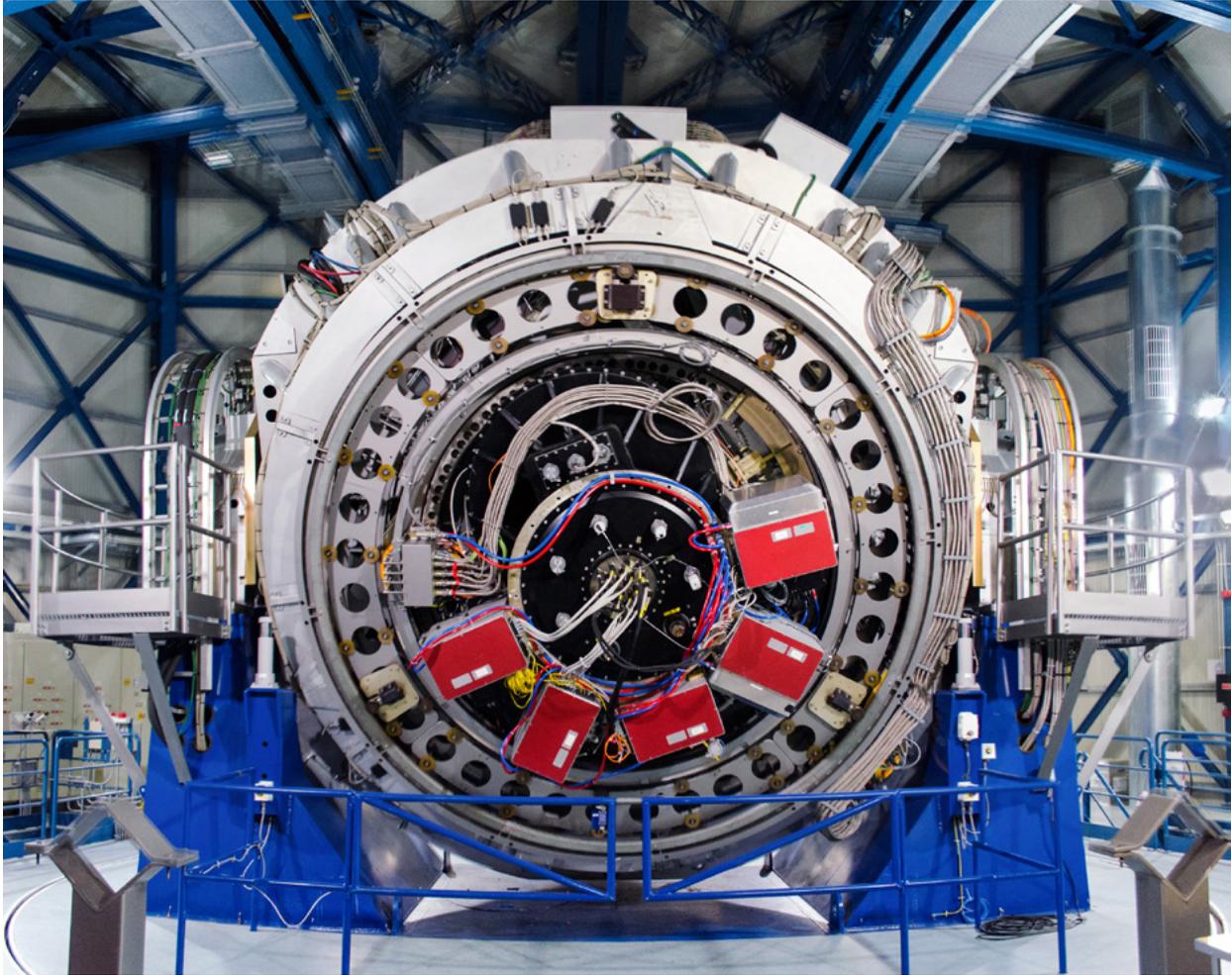
te legate gravitazionalmente e sembrano sovrapporsi solo perché viste in proiezione lungo la linea di vista.

Mentre la sottostruttura a sud-ovest è caratterizzata dai processi di *ram pressure stripping*, nel nucleo dell'ammasso e nella struttura a nord troviamo la maggior parte della luce diffusa di intracluster e segni di interazioni tra le galassie.

La nostra analisi fotometrica dell'ammasso di galassie Hydra I permette di ricostruire la sua storia di formazione ed evoluzione e di capire quale dei possibili scenari di forma-

268 MEGAPIXEL

A tanto arrivano le immagini prodotte dai 32 rivelatori CCD della OmegaCAM, progettata e costruita da un consorzio a partecipazione italiana, tedesca e olandese, e montata sul Vlt Survey Telescope. Crediti: Eso/Infaf-Vst/OmegaCAM/O. Iwert



ITALIA-CILE
 Vlt Survey Telescope è il risultato di una joint venture tra Eso e Inaf-Osservatorio astronomico di Capodimonte, Napoli.
 Crediti: D. Jones/Eso

zione abbia formato la luce diffusa in questo particolare ammasso. La presenza di sottostutture, la rilevazione dei detriti stellari, caratteristiche tipiche delle interazioni gravitazionali, e le evidenze del verificarsi di un continuo processo di *ram pressure stripping* indicano che si tratta di un ammasso ancora in fase di evoluzione.

PROSPETTIVE FUTURE

La profondità e la risoluzione dei dati ottenuti con il telescopio Vst ci hanno permesso di studiare in dettaglio la luce, anche quella più debole, della parte dell'ammasso coperta dalle nostre osservazioni (circa 0,4 volte il raggio viriale dell'ammasso, una misura che rappresenta il confine entro il quale la materia dell'ammasso è gravitazionalmente legata e in equilibrio dinamico). Per questa ragione abbiamo acquisito immagini profonde con Vst per tre campi aggiuntivi intorno al nucleo dell'ammasso, coprendo le regioni a est e sud-est. Grazie a questi nuovi dati,

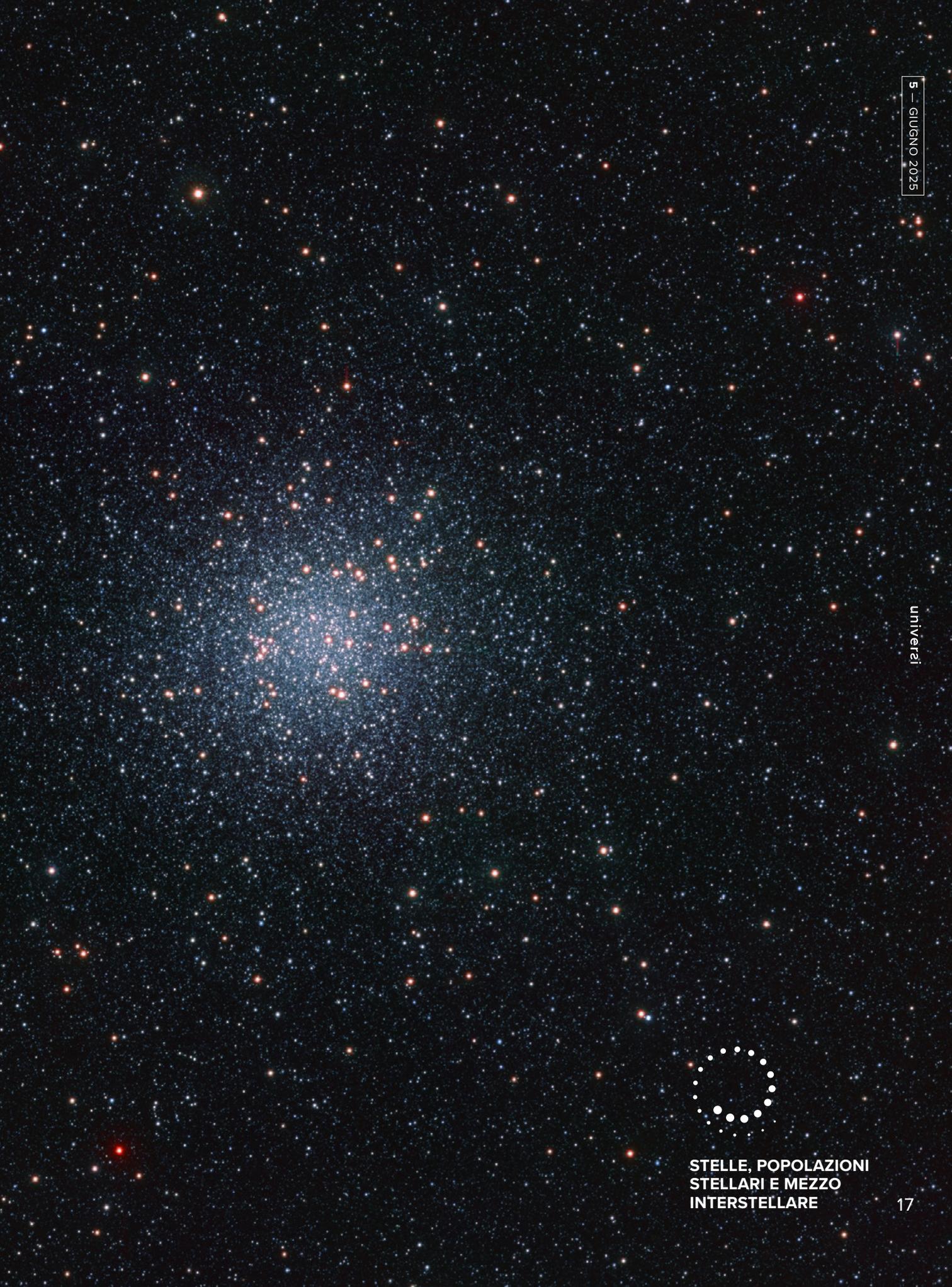
intendiamo esplorare le aree a minore densità per derivare una mappa di densità estesa dei membri dell'ammasso e confrontarne la struttura e i colori con quelli osservati nel nucleo. Questa analisi arricchirebbe il quadro che abbiamo tracciato della storia della formazione dell'ammasso Hydra I.

Inoltre, la regione dell'ammasso Hydra I sarà coperta dalla Euclid Wide Survey in corso con il telescopio spaziale Euclid, e dal futuro Lsst con il Rubin Observatory. I dati presentati in questo lavoro si avvicinano, in termini di profondità e risoluzione, a quelli attesi dalle strutture osservative sopra citate, sebbene su aree limitate del cielo. Questo lavoro (così come molte delle survey di imaging profondo multibanda condotte nell'ultimo decennio) può quindi offrire un'anteprima della scienza che sarà presto resa possibile dalle nuove survey e rappresenta un banco di prova per sviluppare le competenze necessarie alla gestione dei prossimi enormi set di dati. ■

Uno sguardo 3D sugli ammassi globulari

di Emanuele Dalessandro

Come si sono formati i più vecchi sistemi stellari dell'universo, ovvero gli ammassi globulari? Sono necessari meccanismi particolari per formare quelli più massicci? Cosa determina le proprietà chimiche e cinematiche delle stelle negli ammassi stellari? Di fatto la comprensione dei processi fisici che guidano la formazione e l'evoluzione iniziale degli ammassi globulari è una delle più affascinanti e discusse domande dell'astrofisica degli ultimi 25-30 anni.



STELLE, POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE

G

Gli ammassi globulari sono aggregati stellari che possono includere fino a un milione di stelle, con masse che variano tipicamente da quella del Sole fino a un suo decimo. Tutte le stelle in un ammasso globulare sono posizionate approssimativamente alla stessa distanza da noi e sono tenute insieme, in una configurazione pressoché sferica, dalla mutua attrazione gravitazionale. Con età che possono arrivare fino a 12-13 miliardi di anni, gli ammassi globulari sono tra i primi sistemi a essersi formati nell'universo (si ritiene che il big bang, l'evento che ha dato origine all'universo, sia avvenuto circa 13,7 miliardi di anni fa) e rappresentano una popolazione tipica di tutte le galassie.

La rilevanza astrofisica degli ammassi globulari è enorme. Infatti essi spaziano da essere test indipendenti per modelli cosmologici per la formazione dell'universo a resti "fossili" dell'epoca di formazione della Via Lattea e strumenti fondamentali per tracciare la formazione, l'evoluzione e l'arricchimento chimico delle galassie, fino a essere traccianti della presenza e delle proprietà di aloni di materia oscura, e laboratori ideali per studi di evoluzione e dinamica stellare.

SEMPLICITÀ APPARENTE

Gli ammassi globulari sono tra i sistemi cosmici più studiati e le loro prime osservazioni risalgono ormai a qualche secolo fa. La scoperta del primo ammasso globulare, oggi noto come M22 (NGC 6656), viene solitamente fatta risalire al 1665 a opera dell'astronomo amatoriale tedesco Abraham Ihle. Tradizionalmente gli ammassi globulari sono

stati considerati prototipi di sistemi stellari semplici, ovvero agglomerati di stelle che condividono la stessa età e composizione chimica, formatesi attraverso un unico evento di formazione stellare. Tuttavia, risultati ottenuti in modo sistematico negli ultimi venti o trent'anni hanno radicalmente rivoluzionato questa visione, suggerendo che in realtà gli ammassi globulari sono sistemi stellari alquanto complessi, che sperimentano una storia di formazione ed evoluzione iniziale decisamente più elaborata di quanto storicamente ritenuto.

Verosimilmente, l'evidenza osservativa più significativa a questo riguardo è l'esistenza delle cosiddette popolazioni multiple, ovvero gruppi di stelle nello stesso ammasso globulare che differiscono nell'abbondanza di numerosi elementi chimici leggeri, quali per esempio elio, sodio, azoto e ossigeno. Alcune stelle negli ammassi globulari hanno una composizione chimica simile a quella delle altre stelle della Via Lattea (o più in generale della galassia ospitante) ed esse vengono comunemente definite come Prima popolazione o generazione. Le rimanenti stelle hanno abbondanze chimiche anomale, ossia osservate solo negli ammassi globulari, e sono identificate come Seconda popolazione o generazione. La rilevanza (numerica) di una o dell'altra sottopopolazione dipende fortemente dalla massa dell'ammasso globulare, con i sistemi più massicci costituiti fino al 70-75% da stelle di Seconda popolazione.

Tutte le stelle in un ammasso globulare sono posizionate approssimativamente alla stessa distanza da noi e sono tenute insieme dalla mutua attrazione gravitazionale in una configurazione pressoché sferica

M22

Alla pagina precedente: l'ammasso globulare Messier 22, agli occhi infrarossi del telescopio Vista. Lo scatto fa parte di una mappa infrarossa da record della Via Lattea che contiene oltre 1,5 miliardi di oggetti.
Crediti: Survey Eso/Vvxx



TERZAN 12
 Il telescopio spaziale Hubble ha catturato questa immagine di Terzan 12, un ammasso globulare a 15mila anni luce di distanza, nella costellazione del Sagittario.
 Crediti: Nasa, Esa, Esa/Hubble, R. Cohen (Rutgers University)

L'identificazione delle popolazioni multiple negli ammassi globulari è storicamente il risultato di accurate analisi di abbondanze chimiche. Tuttavia la loro presenza può essere efficacemente tracciata anche fotometricamente, attraverso l'analisi di diagrammi colore-magnitudine che fanno uso di specifiche combinazioni di filtri ultravioletti o infrarossi. Immagini accurate ottenute dai telescopi spaziali Hubble Space Telescope e più recentemente James Webb Space Telescope hanno infatti fornito un significativo contributo alla caratterizzazione di questo fenomeno, garantendo osservazioni di grandi campioni di stelle, un'analisi omogenea e accurata anche per stelle poco luminose e di piccola massa (le cosiddette nane brune) e un esteso orizzonte spaziale che arriva fino alla galassia gigante ellittica M87, a circa 54 milioni di anni luce da noi. Sappiamo ora che la presenza di popolazioni multiple negli ammassi globulari è un fenomeno universale: si possono osser-

vare virtualmente in tutti gli ammassi globulari relativamente massicci (con masse superiori a circa 10mila masse solari) della Galassia, in galassie nane o irregolari (come le vicine Nubi di Magellano) così come nelle galassie ellittiche. Inoltre, questo fenomeno sembrerebbe essere tipico di ammassi globulari di ogni età, inclusi quelli di 12-13 miliardi di anni fino agli ammassi di "soli" 2 miliardi di anni.

FORMAZIONE STELLARE

È ormai generalmente accettato che le variazioni nelle abbondanze degli elementi leggeri siano conseguenza diretta dei processi di formazione ed evoluzione iniziale degli ammassi globulari. Questa evidenza pone lo studio di questi sistemi stellari all'intersezione tra quelli di formazione stellare e di evoluzione delle galassie.

Negli anni, sono stati proposti molti modelli e teorie per poter fornire una descrizione quantitativa del fenomeno delle popula-

Alcune stelle negli ammassi globulari hanno una composizione chimica simile a quella delle altre stelle della Via Lattea e sono definite come Prima popolazione. Le rimanenti hanno abbondanze chimiche anomale e sono dette Seconda popolazione



zioni multiple. Schematicamente possiamo raggrupparli in due macro-categorie. La prima prevede che le popolazioni multiple si formino in eventi multipli (almeno due) di formazione stellare, che avvengono al massimo in un intervallo di tempo di 50-100 milioni di anni. Il primo evento di formazione dà origine alle stelle di Prima popolazione, mentre le stelle di Seconda popolazione si formano dal gas espulso da specifiche categorie di stelle massicce di Prima popolazione. La seconda macro-categoria invece include modelli che predicono che tutte le stelle si siano formate contemporaneamente e che le stelle di Seconda popolazione

si siano eventualmente arricchite durante la loro fase pre-stellare (detta pre-sequenza principale), inglobando del gas ancora presente al centro dell'ammasso. Tuttavia, indipendentemente dalle specifiche differenze, tutti i modelli utilizzati finora hanno problemi nel riprodurre le osservazioni e al momento manca ancora una spiegazione auto-consistente riguardo la formazione ed evoluzione iniziale degli ammassi globulari.

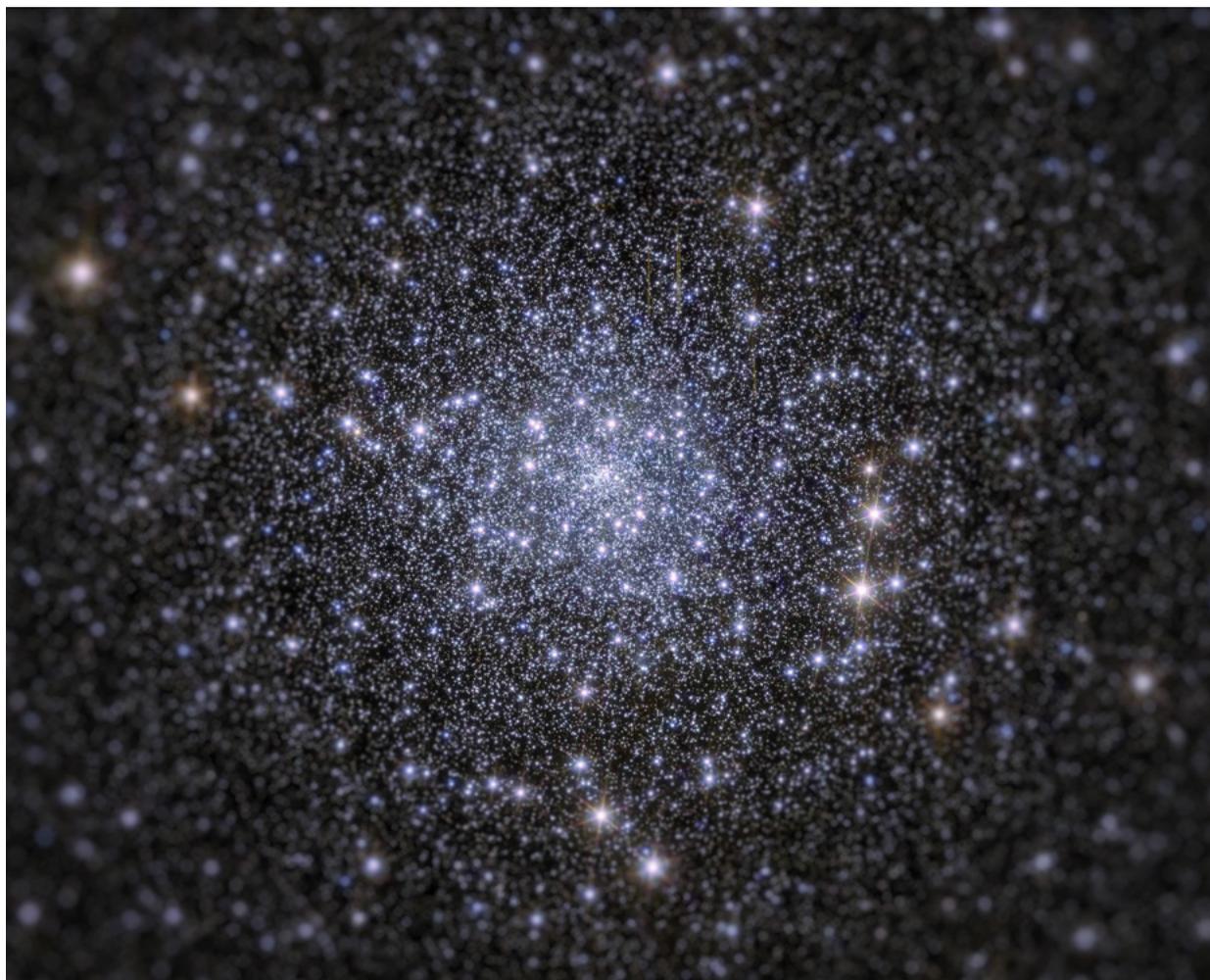
LA CINEMATICA STELLARE 3D

Un approccio innovativo per poter affrontare questo annoso problema consiste in un'analisi chemo-dinamica delle popolazioni stella-

IN MOVIMENTO

Riproduzione grafica dell'effetto di rotazione delle stelle in un ammasso globulare.

Credit: Inaf



M10
L'ammasso globulare galattico M10 catturato dal telescopio spaziale Euclid.
Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa

ri negli ammassi globulari, ovvero nell'analisi di come stelle con differenti abbondanze chimiche si muovono all'interno degli ammassi stessi. Gli ammassi globulari sono sistemi "vivi", in cui le interazioni gravitazionali tra stelle modificano la distribuzione spaziale e di velocità delle stesse (questa è la cosiddetta evoluzione dinamica), rendendoli a volte teatro degli eventi più estremi conosciuti nella dinamica stellare. È evidente, pertanto, che in sistemi stellari così attivi la formazione delle popolazioni stellari e la loro evoluzione dinamica non possano essere trattate separatamente. C'è infatti grande consenso nella comunità sul fatto che la comprensione delle proprietà cinematiche e strutturali attuali delle popolazioni multiple possa fornire informazioni fondamentali riguardo alle fasi di formazione ed evoluzione iniziali degli ammassi globulari.

Questo tipo di studio è diventato accessibile e applicabile in modo sistematico a

campioni di ammassi rappresentativi solo recentemente, grazie a importanti sviluppi tecnologici e alla disponibilità di nuovi telescopi e strumenti sia da terra sia dallo spazio – la cui realizzazione vede una grande partecipazione italiana – che rendono possibile una accurata lettura del moto delle stelle anche in sistemi stellari estremamente densi e compatti come gli ammassi globulari. La combinazione di moti propri (ovvero del moto delle stelle nel piano del cielo) e velocità radiali (ovvero del moto lungo la direzione tra l'osservatore e la stella) – ora note per centinaia di migliaia di stelle in ammassi globulari grazie al telescopio spaziale dell'European Space Agency Gaia e ai dati ottenuti con grandi telescopi da terra del diametro di 8-10 metri, incluso il Very Large Telescope dell'European Southern Observatory – ha finalmente garantito una visione tridimensionale (3D) senza precedenti della distribuzione di velocità delle stelle negli ammassi globulari.



Un approccio innovativo per poter affrontare il problema della formazione degli ammassi globulari consiste in un'analisi chemo-dinamica delle loro popolazioni stellari

Una recente analisi di queste osservazioni, condotta da un gruppo di ricercatori internazionale guidati dall'Inaf, ha fornito la prima descrizione empirica delle proprietà cinematiche 3D delle popolazioni multiple e del modo in cui esse evolvono durante la vita degli ammassi globulari. In particolare, è emerso che stelle con differenti abbondanze di elementi leggeri sono

caratterizzate da differenti velocità di rotazione all'interno dell'ammasso e differenti distribuzioni delle loro orbite. Stelle di Seconda popolazione ruotano all'interno dell'ammasso più velocemente delle altre e premono per distribuirsi progressivamente su orbite sempre più periferiche. Una delle informazioni chiave è che le differenze chemo-dinamiche delle popolazioni multiple non sono casuali, al contrario l'intensità di queste variazioni è inversamente proporzionale al grado di evoluzione dinamica degli ammassi globulari: per ammassi poco evoluti dinamicamente si osservano differenze cinematiche più grandi, mentre esse tendono a diventare progressivamente più piccole per ammassi con gradi di evoluzione dinamica più avanzati.

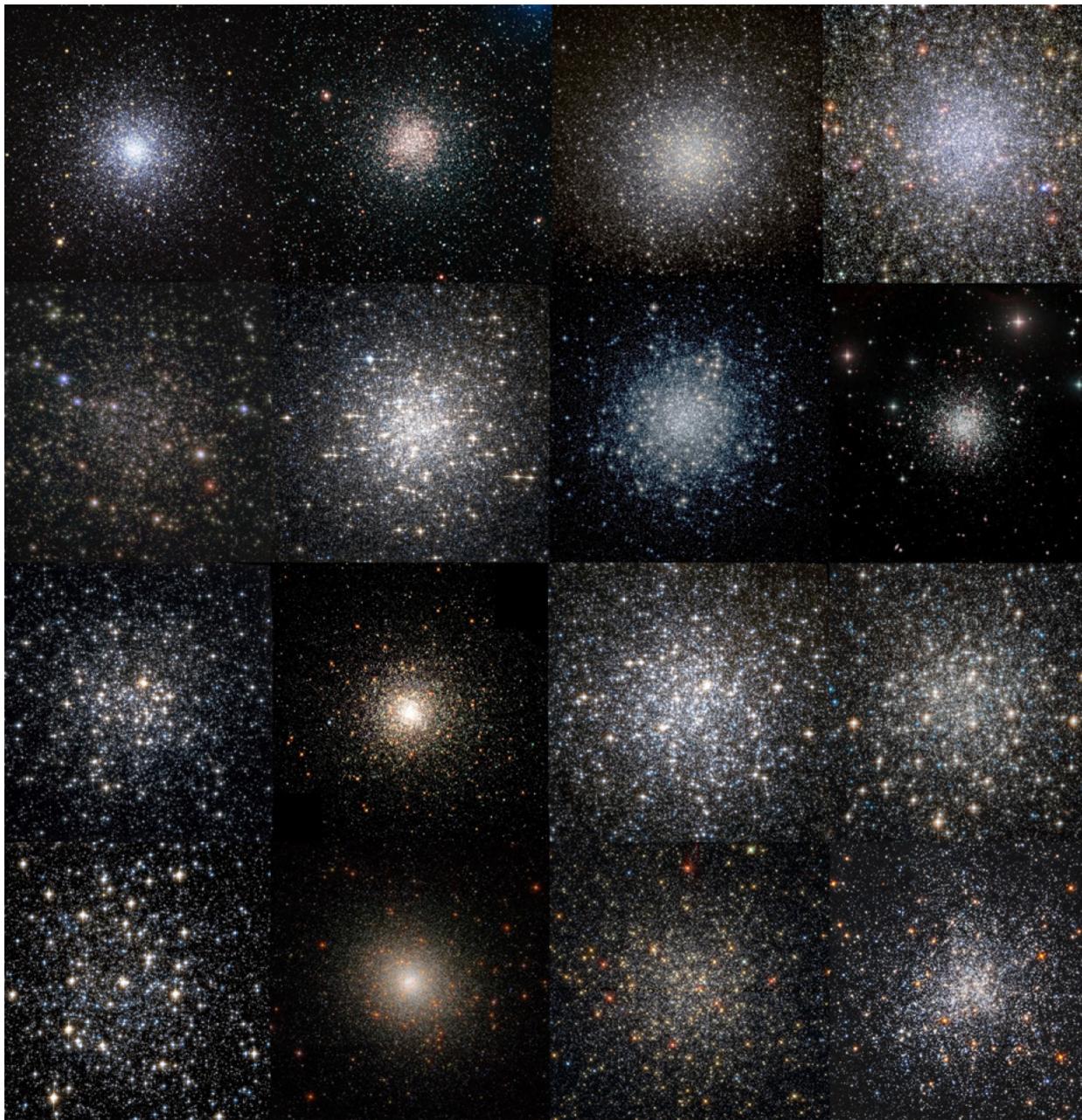
Questi risultati empirici hanno importanti implicazioni sulla comprensione della formazione degli ammassi globulari. Infatti,

M92

Un dettaglio dell'ammasso globulare Messier 92 ripreso dallo strumento NIRC2 del Jwst. In M92 ci sono circa 300mila stelle raggruppate in una sfera di 100 anni luce di diametro. Crediti: Nasa/Esa/Csa/A. Pagan (STScI)

16 AMMASSI GLOBULARI

Quelli di cui abbiamo una descrizione osservativa pionieristica del modo in cui le stelle si muovono al loro interno e della loro evoluzione fin dall'epoca di formazione.
Crediti: ESO/Hubble, ESO, SDSS



suggeriscono che le stelle con abbondanze chimiche anomale si formino inizialmente in un sottosistema stellare più compatto e rapidamente rotante rispetto al resto dell'ammasso. Questo di conseguenza suggerirebbe che gli ammassi globulari abbiano sperimentato processi di auto-arricchimento, che hanno portato all'accumulo di gas prodotto da stelle massicce di Prima popolazione nelle regioni centrali, dando vita a eventi multipli di formazione stellare, similmente a quanto avviene nelle galassie.

Questi risultati forniscono un tassello importante nella definizione dei processi fi-

sici alla base della formazione ed evoluzione di ammassi stellari massicci, contribuendo in modo significativo alla risoluzione di una delle domande aperte più pressanti nell'ambito dello studio delle popolazioni stellari. In aggiunta, essi hanno implicazioni significative su numerosi ambiti della ricerca astrofisica che includono: la comprensione dei processi e della scala della formazione stellare, il collegamento tra la dinamica stellare e quella del gas, la possibile formazione di sorgenti di onde gravitazionali, la nostra comprensione della formazione delle galassie in un contesto cosmologico. ■

Ultime scoperte da Bennu

di Filippo Tusberti, Maurizio Pajola,
Giovanni Poggiali e John Robert Brucato



SOLE E SISTEMA
SOLARE

La missione Osiris-Rex ha avuto il compito di portare sulla Terra alcuni campioni dell'asteroide Bennu. La loro analisi apre la strada a numerose scoperte, come la sua caratterizzazione geomorfologica, ciò che è avvenuto sull'asteroide e diversi indizi per ampliare la conoscenza sulla storia del Sistema solare.





Il 24 settembre 2023 la capsula di raccolta della missione Nasa Osiris-Rex – acronimo di Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, and Security-Regolith Explorer – ha riportato sulla Terra i campioni prelevati a ottobre 2020 dal Near Earth Asteroid (Nea) (101955) Bennu. Nell'ultimo anno e mezzo sono state analizzate approfonditamente sia le caratteristiche fisiche sia le composizioni chimiche e mineralogiche del materiale riportato, rivelando importanti informazioni sulla composizione di Bennu e del suo corpo genitore. Grazie a queste analisi sono stati identificati anche 14 dei 20 amminoacidi utilizzati dalla biologia terrestre e tutte e cinque le basi azotate che compongono Dna e Rna (adenina, citosina, guanina, timina e uracile). Studi di questo tipo erano già stati condotti su meteoriti considerate gli analoghi degli asteroidi carbonacei, come Bennu, identificando composti organici simili; esisteva tuttavia il rischio che ci fossero state contaminazioni terrestri e che quindi i risultati fossero stati compromessi. Pertanto, gli studi sui campioni di Bennu sono di fondamentale importanza, perché in questo caso è stato analizzato materiale mantenuto incontaminato proveniente direttamente dall'asteroide. È stato così annullato il rischio di alterazioni esterne, dissipando ogni dubbio sulla reale origine extra-terrestre di quei composti organici.

BENNU

(101955) Bennu è un asteroide carbonaceo di tipo B, con un diametro di circa 500 metri. La sua struttura interna è di tipo *rubble pile*, ossia un ammasso di detriti impilati

provenienti da un corpo genitore più antico completamente distrutto da un impatto e riaccumulato successivamente. Gli asteroidi carbonacei come Bennu contengono materiali che hanno 4,5 miliardi di anni e che, di conseguenza, rappresentano le fasi primordiali della formazione ed evoluzione del Sistema solare e, grazie alle recenti scoperte, sappiamo che sono stati veicoli che hanno portato acqua e molecole organiche prebiotiche su tutti i pianeti, Terra inclusa.

LA MISSIONE OSIRIS-REX

Osiris-Rex è la terza missione della Nasa del programma *New Frontiers*, in cui è stato coinvolto un team di ricercatori internazionale, tra cui anche l'Italia. Il lancio dello spacecraft è avvenuto l'8 settembre 2016 e ha raggiunto Bennu due anni dopo. L'obiettivo principale della missione era quello di riportare sulla Terra almeno 60 grammi di regolite (ossia materiale granulare non consolidato) incontaminata e proveniente dalla superficie dell'asteroide. La missione aveva anche molteplici obiettivi secondari, tra cui lo studio delle caratteristiche fisiche e dinamiche di Bennu, l'analisi ad altissima risoluzione della sua superficie, delle morfologie presenti su di essa e i processi che la coinvolgono. Nel dicembre del 2018, lo spa-



MOSAICO

Alla pagina precedente: questa immagine composita di Bennu è stata realizzata utilizzando i dati raccolti dalla sonda spaziale Osiris-Rex per oltre due anni. Crediti: Nasa/Goddard/University of Arizona

TOUCH DOWN

Quando la sonda Osiris-Rex ha toccato la superficie di Bennu ha attivato una bombola di azoto pressurizzato per sollevare il materiale e poterne raccogliere un campione. Crediti: Nasa/Goddard/University of Arizona



SUSPENSE
 Attimi di fibrillazione all'apertura del modulo Asteroid Sample Return di Osiris-Rex, presso l'edificio 31 della Astromaterials Curation Facility.
 Crediti: Nasa/R. Markovitz

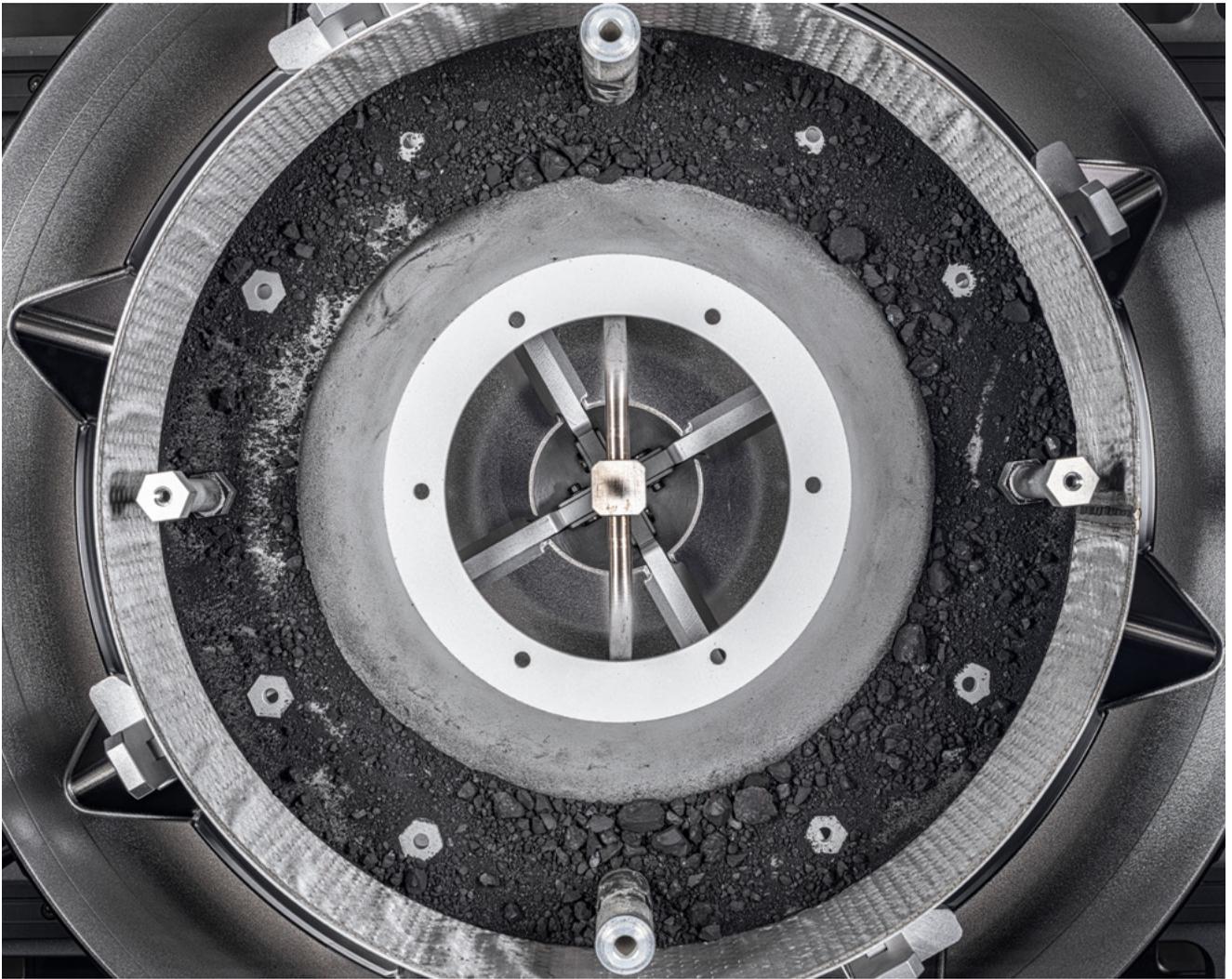
spacecraft ha iniziato ad analizzare l'asteroide partendo da una sua mappatura globale. In questa fase il team italiano dell'Istituto nazionale di astrofisica ha attivamente partecipato alla caratterizzazione geomorfologica della superficie di Bennu attraverso immagini ad alta risoluzione, in particolar modo studiandone massi, crateri e regolite, e rivelando una superficie variegata e un tempo dinamica. I ricercatori italiani hanno poi partecipato alla selezione del sito di campionamento attraverso uno studio della curva di distribuzione delle dimensioni (Sfd, dall'inglese *size frequency distribution*) dei massi, per identificare l'area più sicura e scientificamente interessante. Il 20 ottobre 2020 lo spacecraft si è avvicinato e ha campionato il sito selezionato, ribattezzato *Nightingale*, situato all'interno del cratere Hokioi, di 20 metri. Attraverso un braccio robotico di circa 3 metri e al sistema Tagsam (Touch And Go Sample Acquisition Mechanism), è stata campionata la regolite da una profondità di 48,8 centimetri. I campioni acquisiti sono stati di due tipi: il primo è un campione *bulk* di grani di regolite condotti direttamente nella testa del Tagsam tramite un rilascio controllato di azoto mole-

Questi studi sui campioni di Bennu sono di fondamentale importanza, perché è stato analizzato materiale mantenuto incontaminato proveniente direttamente dall'asteroide

colare (N_2) puro; il secondo tipo consiste in un particolato fine (millimetrico) catturato da 24 *contact pads* (punti di contatto) di acciaio inossidabile posti al di sotto del Tagsam. I campioni così ottenuti sono poi stati chiusi ermeticamente e inseriti nella Sample Return Capsule (Src) che il 24 settembre 2023 è stata rilasciata dallo spacecraft in atmosfera terrestre ed è atterrata nel deserto dello Utah.

L'ATTERRAGGIO E LE SCOPERTE

Immediatamente dopo che la capsula di rientro è atterrata, una squadra di recupero ha raggiunto in elicottero il sito in circa venti



minuti. La capsula è stata avvolta con strati di politetrafluoroetilene e con un telo, e trasportata in elicottero in una vicina camera bianca temporanea allestita per l'occasione in prossimità del sito di atterraggio.

Da lì, i campioni sono stati trasferiti presso il Johnson Space Center (Houston, Texas) e riposti in una *glovebox* all'interno di una camera bianca appositamente costruita per evitare qualsiasi tipo di contaminazione. In quell'ambiente protetto è stata aperta la testa del Tagsam ed estratto il campione di regolite. Questa procedura è durata più del previsto per via di due viti che ne hanno bloccato la completa apertura fino a metà gennaio 2024. I campioni sono stati quindi recuperati dalla capsula in due volte: nella prima, avvenuta poche settimane successive al loro arrivo, ne sono stati recuperati 70,3 grammi, mentre nella seconda, avvenuta nel gennaio 2024, 51,3 grammi, per un totale di

121,6 grammi di regolite. Infine, l'intero contenuto è stato versato in 12 vassoi a settori predisposti per le prime analisi.

Nel novembre 2023, una prima serie di otto campioni di aggregati, composta sia da particelle fini sia da particelle più grandi, è stata distribuita al team di analisi preliminare, per la prima caratterizzazione dei campioni. Un primo aggregato proveniente dall'interno del Tagsam è stato caratterizzato spettroscopicamente presso il Nasa Reflectance Experiment Laboratory (Relab) della Brown University. Per valutare la composizione dei grani sono stati acquisiti spettri di riflettanza con vari spettrometri operanti negli intervalli di lunghezza d'onda visibile e infrarosso. È stata osservata una caratteristica banda di assorbimento a 2,7 micrometri, corrispondente alla presenza di silicati idrati, dimostrando così che l'asteroide genitore di Bennu possedeva acqua liquida al suo

LA TAGSAM
Frammenti dell'asteroide Bennu all'interno del
Touch and Go Sample Acquisition Mechanism di
Osiris-Rex.
Credit: Nasa/E. Blumenfeld, J. Aebersold



COME UNA DELORAN

I campioni di Bennu sono una vera e propria macchina del tempo e possono rivoluzionare le nostre idee sulla formazione planetaria e le origini della vita.

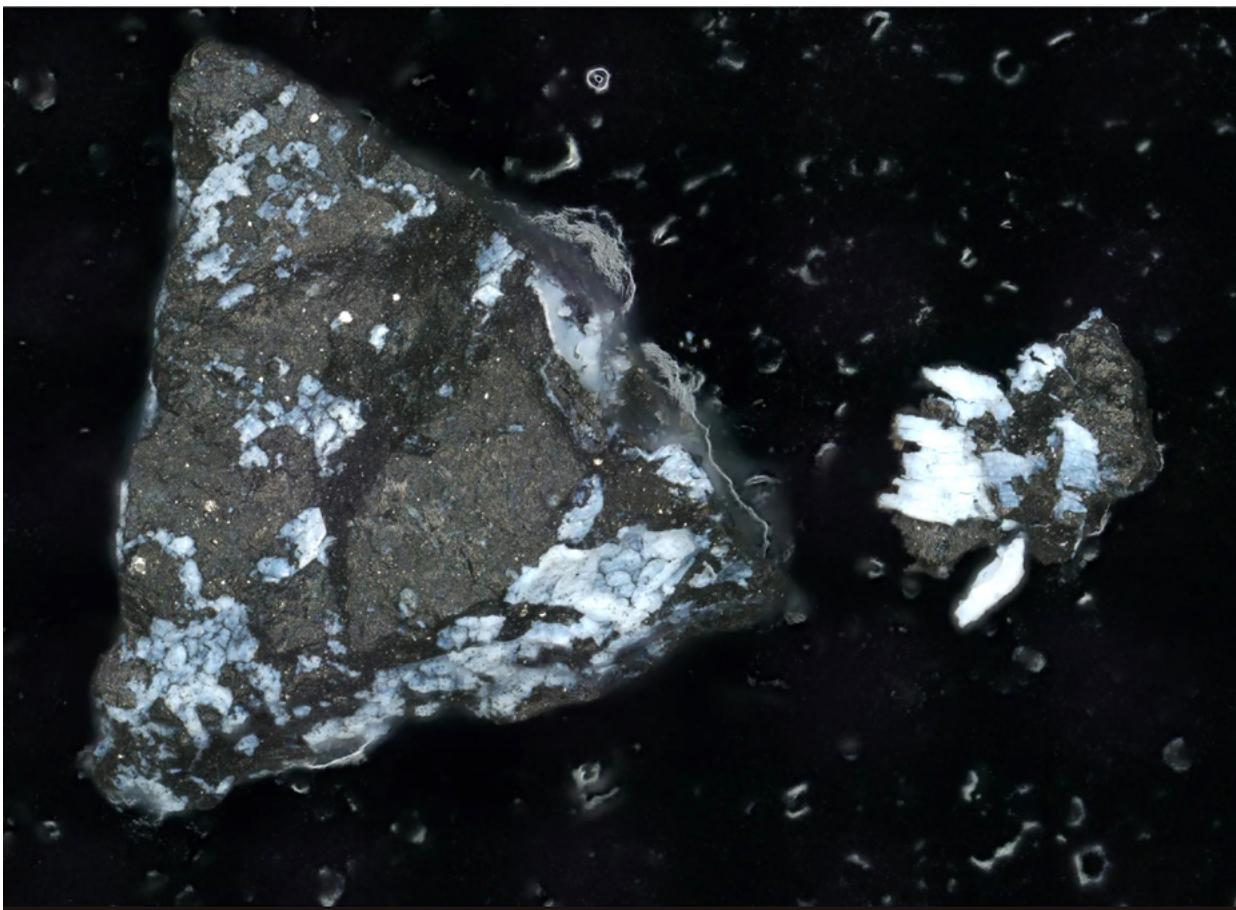
Crediti: Nasa/E. Blumenfeld, J. Aebersold

La scoperta più eccitante riguarda l'analisi della materia organica presente nei campioni di Bennu, poiché ci rivela indizi importantissimi sulla chimica del Sistema solare primordiale e sull'origine di molecole che sono fondamentali per la vita

interno. Altre caratteristiche di assorbimento osservate, a 3,4 e 3,8-4 micrometri, sono state attribuite alla presenza di carbonati e a molecole organiche. Queste analisi hanno dimostrato che le proprietà spettrali di Bennu sono molto simili agli spettri di laboratorio dei campioni di Ryugu, l'altro asteroide dal quale sono stati raccolti e riportati a terra campioni da parte della missione Hayabusa-2 dell'agenzia spaziale giapponese Jaxa. Inoltre, le analisi preliminari hanno mostrato che le proprietà spettroscopiche di riflettanza nella regione del vicino infrarosso sono

coerenti con quelle di alcune meteoriti di tipo condriti carbonacee CI presenti nelle collezioni terrestri.

La scoperta più eccitante riguarda l'analisi della materia organica presente nei campioni di Bennu, poiché ci rivela indizi importantissimi sulla chimica del Sistema solare primordiale e sull'origine di molecole che sono fondamentali per la vita. Quanto prelevato dall'asteroide Bennu ci ha permesso di studiare materiale ricco di carbonio incontaminato, ovvero protetto dall'esposizione incontrollata alle condizioni terrestri. Le



analisi di laboratorio hanno dimostrato che i campioni di Bennu sono ricchi di elementi volatili, con più carbonio, azoto e ammoniaca rispetto a quelli dell'asteroide Ryugu e della maggior parte delle meteoriti. Le analisi delle abbondanze isotopiche di azoto-15 indicano che l'ammoniaca e altre molecole solubili contenenti azoto sono state sintetizzate in una nube molecolare fredda o nel disco protoplanetario esterno, ovvero prima che si formassero i pianeti del nostro Sistema solare. I colleghi della Nasa hanno estratto dai campioni 14 aminoacidi dei 20 utilizzati nella biologia terrestre, e tutte e cinque le nucleobasi presenti nel Dna e nell'Rna. Inoltre, sono state estratte ammine, formaldeide, acidi carbossilici, idrocarburi policiclici aromatici e molecole eterocicliche, insieme a oltre 10mila specie chimiche contenenti azoto. Una vera e propria miniera di materiale organico. Le abbondanze relative degli aminoacidi e degli altri composti organici solubili suggeriscono che questi composti si siano formati tramite reazioni avvenute lentamente e a bassa temperatura. Ovvero, che il materiale che costi-

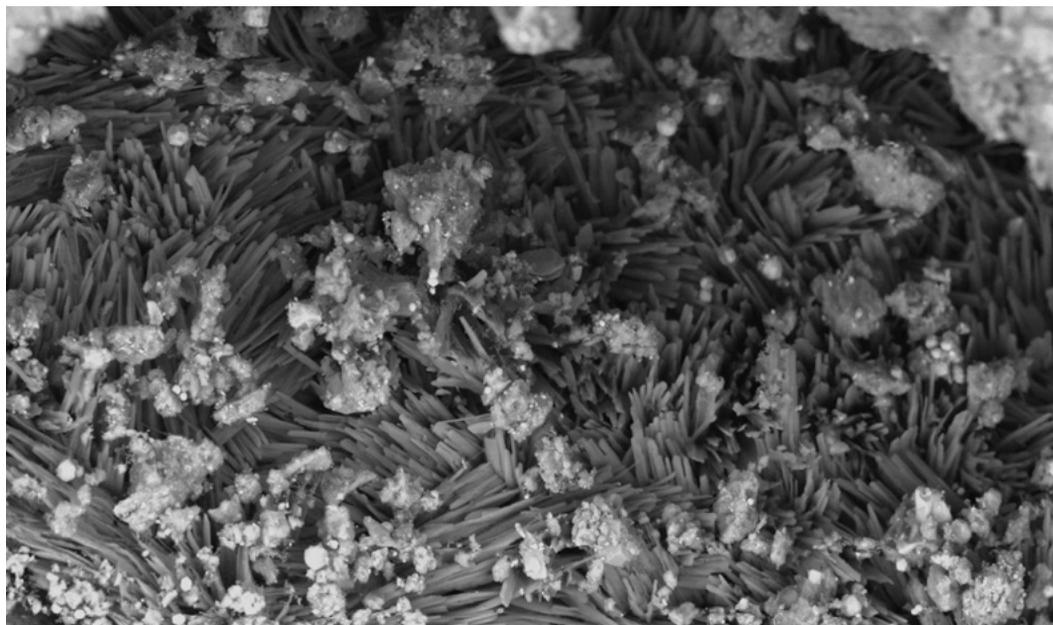
tuisce l'asteroide Bennu si sia sviluppato o accresciuto da miscele di ghiacci e polveri provenienti dal Sistema solare esterno. Queste scoperte rafforzano l'idea che gli asteroidi abbiano portato sulla terra il materiale che in seguito ha dato origine alla vita.

L'INAF NELLA MISSIONE

Oltre alla partecipazione nella caratterizzazione di Bennu da remoto, il team italiano dell'Inaf ha attivamente analizzato alcune proprietà dei campioni. Infatti, nei giorni immediatamente successivi alla prima apertura del Tagsam il team dell'Inaf-Osservatorio astronomico di Padova ha analizzato immagini ad altissima risoluzione dei primi quattro vassoi di regolite, con l'obiettivo di identificare i grani principali. Questo è stato un passaggio fondamentale nella procedura di catalogazione e ha permesso al team di iniziare subito a lavorare sui 10 grani più grandi. Successivamente, questa analisi è stata estesa a tutti e 12 i vassoi e alle taglie più piccole, fino a identificare 7154 grani di cui è stato misurato il diametro massimo.

BENU AL MICROSCOPIO

Una particella scura, lunga circa un millimetro, con una crosta di fosfato brillante. A destra si vede un frammento più piccolo che si è staccato. Crediti: Lauretta & Connolly et al. (2024) Meteoritics & Planetary Science



La Nasa ha messo a disposizione dei laboratori di tutto il mondo i campioni di Benu per poter condurre analisi più accurate. A un team italiano di esperti a guida Inaf è stata accolta la richiesta di ricevere un importante quantitativo di campioni

Il 95% è risultato essere più grande di 0,5 millimetri, mentre 34 sono più grandi di 1 centimetro, con il maggiore che è risultato essere di 3,5 centimetri. Queste analisi non avevano unicamente uno scopo di catalogazione, ma il loro principale obiettivo è stato quello di analizzare la Sfd. Infatti, il tipo di curva di interpolazione della Sfd e il suo indice sono in grado di fornire preziose informazioni sul tipo di processo che ha portato alla formazione di quei grani analizzati e a una loro successiva degradazione. Tramite il confronto delle curve di interpolazione delle Sfd dei grani campionati con quella del sito di campionamento ottenuta da remoto, sarà inoltre possibile capire se il campione è rappresentativo di *Nightingale* oppure ha

risentito disgregazioni dovute alle vibrazioni meccaniche subite durante le fasi di campionamento e di rientro sulla Terra. Questi risultati e ulteriori analisi saranno spiegate in modo approfondito in articoli che verranno pubblicati nei prossimi mesi.

Completata la fase preliminare, la Nasa ha messo a disposizione dei laboratori di tutto il mondo i campioni di Benu per poter condurre analisi più accurate. Una delle richieste accolte per ricevere un importante quantitativo di campioni è stata proposta da un team italiano a guida Inaf con la collaborazione delle università di Pisa e Firenze. Le analisi ci permetteranno di avere una conoscenza completa del legame tra le osservazioni delle proprietà superficiali di Benu ottenute con strumenti da remoto della missione Osiris-Rex e le misure di laboratorio. Presso i nostri laboratori verranno estratte e manipolate particelle micrometriche per eseguire analisi dettagliate sia di tipo mineralogico sia di tipo chimico. La maggior parte del campione sarà invece utilizzato per studiare i processi che sono avvenuti sull'asteroide Benu e nel suo corpo genitore, processi registrati all'interno dei campioni. Questi rappresentano una sorta di capsula del tempo che racchiude la storia del nostro Sistema solare e che spetta a noi decifrare. Uno studio che permetterà di unire la conoscenza microscopica dei campioni con le osservazioni macroscopiche della superficie di Benu. ■

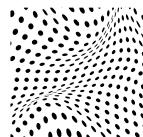
4,5 MILIARDI DI ANNI FA

E quando questi minerali si sono formati sul corpo progenitore di Benu dall'evaporazione di acque salate e ricche di sodio, durante la nascita del Sistema solare.

Crediti: R. Wardell, T. Gooding e T. McCoy/Smithsonian.

Lampi radio e universo transiente

di **Gabriele Bruni** e **Luigi Piro**



**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**

Nell'universo ci sono fenomeni che durano pochissimo, da una frazione di secondo fino a qualche settimana. Sono detti transienti, come nel caso dei *gamma ray bursts* o dei *fast radio bursts*, e sono tutt'altro che insignificanti. La loro scoperta e il loro studio costituiscono ulteriori passi per indagare l'evoluzione dell'universo.



D

Dalla scoperta della prima supernova nel 1054, che rimase visibile a occhio nudo anche di giorno per qualche settimana, a quella dei lampi gamma nel secolo scorso, fonti di radiazioni così potenti da influenzare l'atmosfera della Terra, l'universo ci ha mostrato la sua natura in costante evoluzione. I fenomeni che portano a questi violenti episodi possono essere di diversa natura e manifestarsi in più sfaccettature. L'avvento dei radiotelescopi nel secolo scorso ha permesso di aprire una nuova finestra sull'universo tramite l'osservazione delle onde radio, e le scoperte non hanno tardato ad arrivare. Nel 1967, Jocelyn Bell era una dottoranda a Cambridge quando, durante una notte di osservazione con il radiotelescopio Lovell (uno dei primi giganti da 60 metri di diametro a essere rivolti verso il cielo) si accorse di un segnale pulsato, che si ripeteva ogni 1,337 secondi. L'incredulità iniziale lasciò spazio alla certezza di una nuova scoperta quando altri simili segnali furono ricevuti da altre regioni del cielo, confermandone l'origine naturale. Le responsabili, come fu acclarato in seguito, erano le stelle di neutroni che Walter Baade e Fritz Zwicky nel 1934 ipotizzarono fossero nate da un nucleo compatto e in rapida rotazione superstite dell'esplosione di una supernova. Grazie al loro forte campo magnetico, sono infatti in grado di produrre un segnale pulsato simile a un "radio faro", e quindi denominate pulsar (*pulsating star*). Da allora, le tecniche osservative e di elaborazione dati, insieme all'aumento esponenziale della velocità di calcolo dei processori,

hanno permesso di affinare la strategia di esplorazione dell'universo per lo studio dei fenomeni transienti, ovvero che durano da qualche millisecondo a qualche settimana. Tra i più recenti sviluppi ricordiamo la rivelazione delle onde gravitazionali, che ha permesso di stabilire un nesso tra i lampi gamma brevi minori di 2 secondi e la fusione di due stelle di neutroni. La conseguente perturbazione dello spaziotempo, simile a onde prodotte da un sasso in uno stagno, è stata rivelata per la prima volta nel 2015.

UN MISTERIOSO LAMPO RADIO

Sulla scia della scoperta delle pulsar di Jocelyn Bell, la comunità astronomica diede inizio alla catalogazione e studio di questa nuova classe di oggetti celesti. Nel 2007, Duncan Lorimer e Ash Narkevic, durante l'analisi di dati da archivio del radiotelescopio Parkes alla ricerca di pulsar, trovarono un lampo radio di intensità più di 10 volte maggiore di quella delle pulsar conosciute, e proveniente da centinaia di Mpc di distanza, quindi da una galassia diversa dalla Via Lattea. Era l'inizio di una nuova era per lo studio dei transienti. L'origine di questi lampi radio, denominati *fast radio bursts* (Frb), che non sembravano avere una controparte in altre bande dello spettro elettromagnetico osservabile con i telescopi, era ed è ancora oggi incerta.

Un grosso passo avanti fu possibile nel 2016, quando per la prima volta un Frb mostrò una riattivazione. Ciò permise di puntare per la prima volta nella sua direzione un interferometro, ovvero una serie di antenne radio che osservano in sincrono, simulandone una molto più grande e con maggiore risoluzione angolare. Fu così possibile localizzare l'Frb all'interno della sua galassia ospite, ovvero una galassia nana ad alto tasso di formazione stellare. Oltre a confermare l'origine extragalattica degli Frb, ciò fornì anche indicazioni sulla possibile corrispondenza tra Frb e la popolazione di giovani stelle di neutroni.

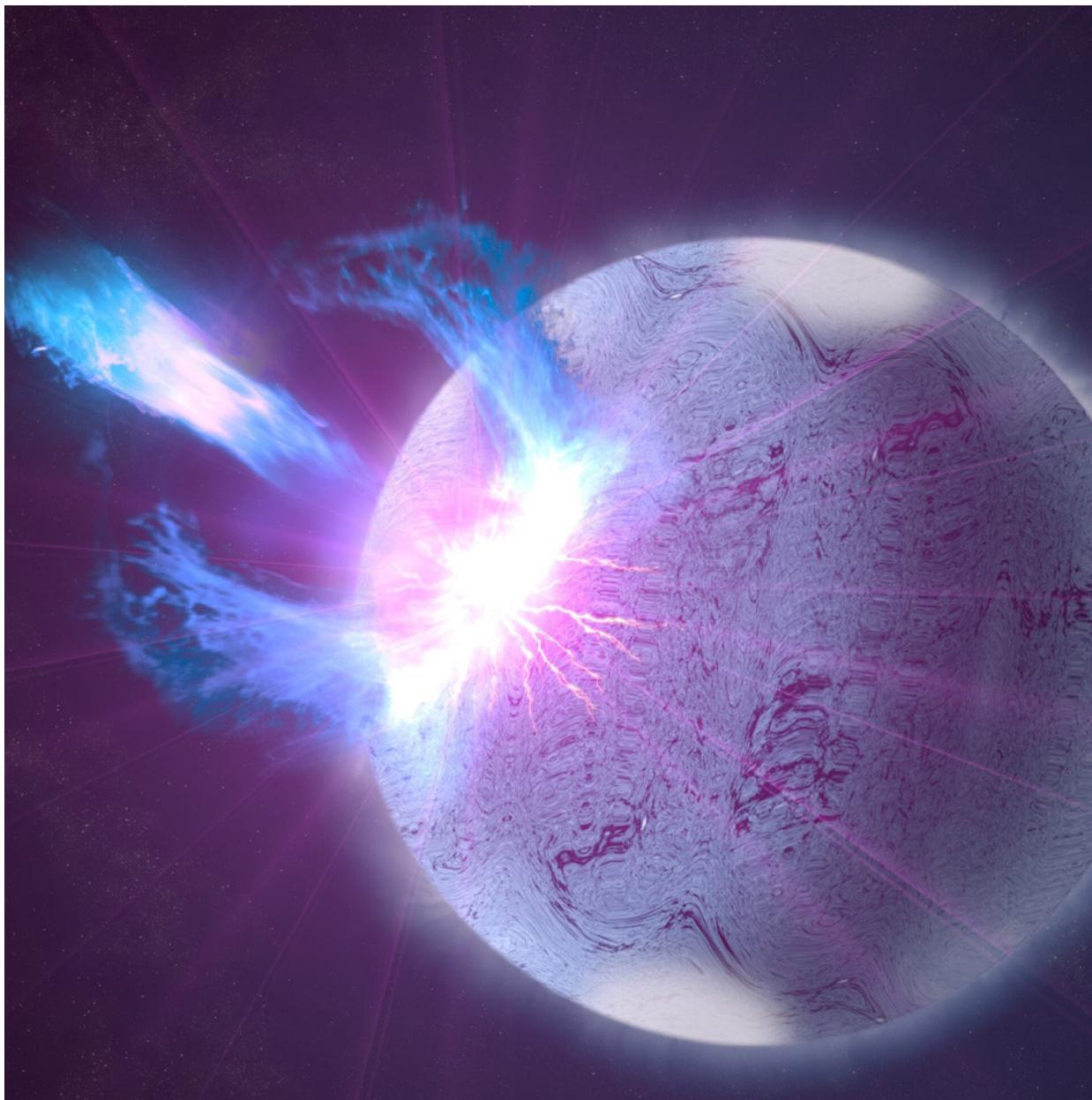
Con l'avvento del telescopio canadese Chime nel 2018, dedicato allo studio di questo nuovo fenomeno, il numero di Frb è cresciuto a un tasso sempre maggiore,

RISVEGLI

Una rottura nella crosta di una stella di neutroni altamente magnetizzata può innescare eruzioni ad alta energia.
Crediti: Nasa/Goddard/Wiessinger

FAST RADIO BURST

Alla pagina precedente: illustrazione di una magnetar, circondata dalla nebulosa responsabile dell'emissione radio continua associata ad alcuni *fast radio burst*.
Crediti: Nsf/Aui/Nrao/S. Dagnello

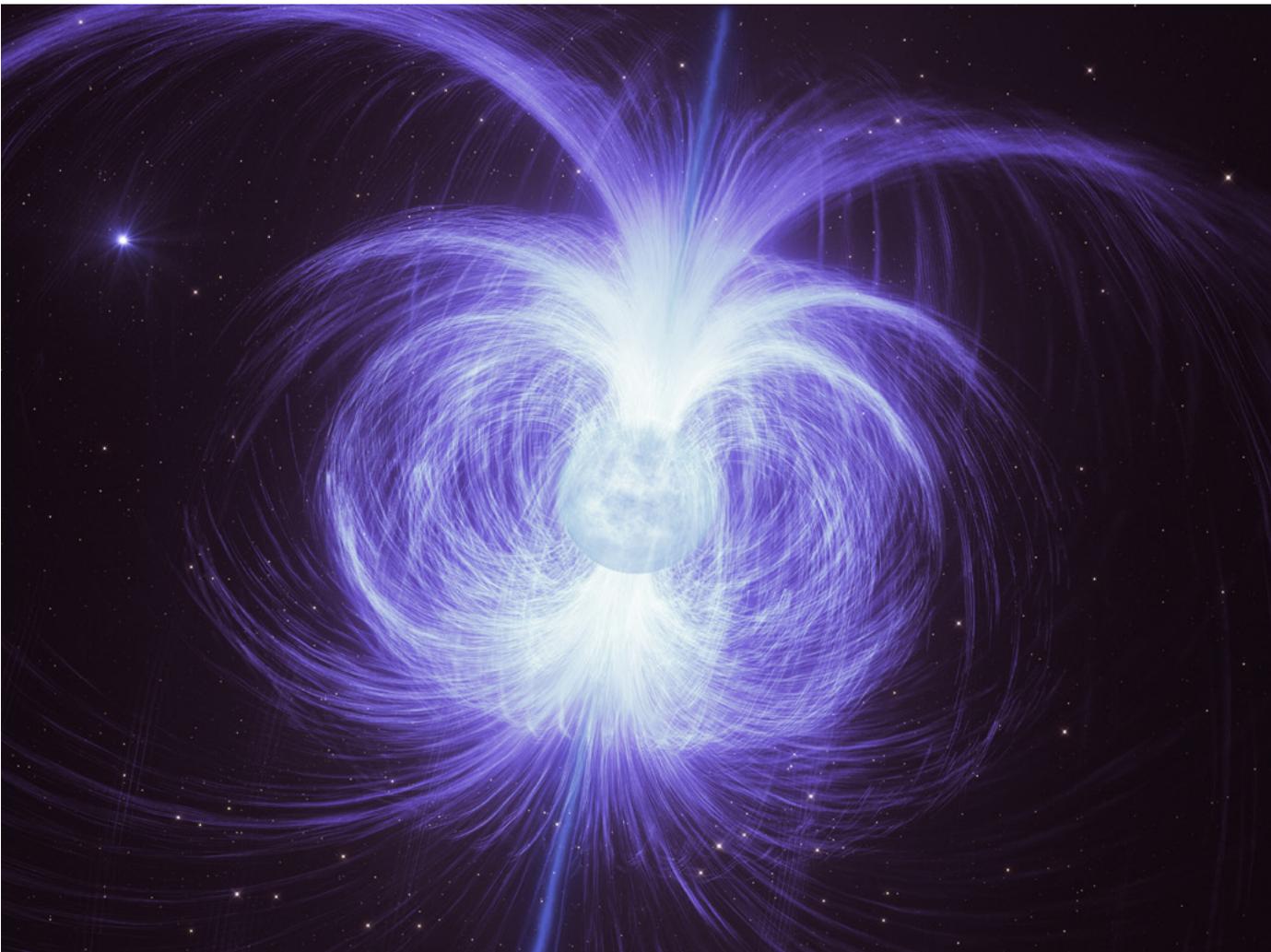
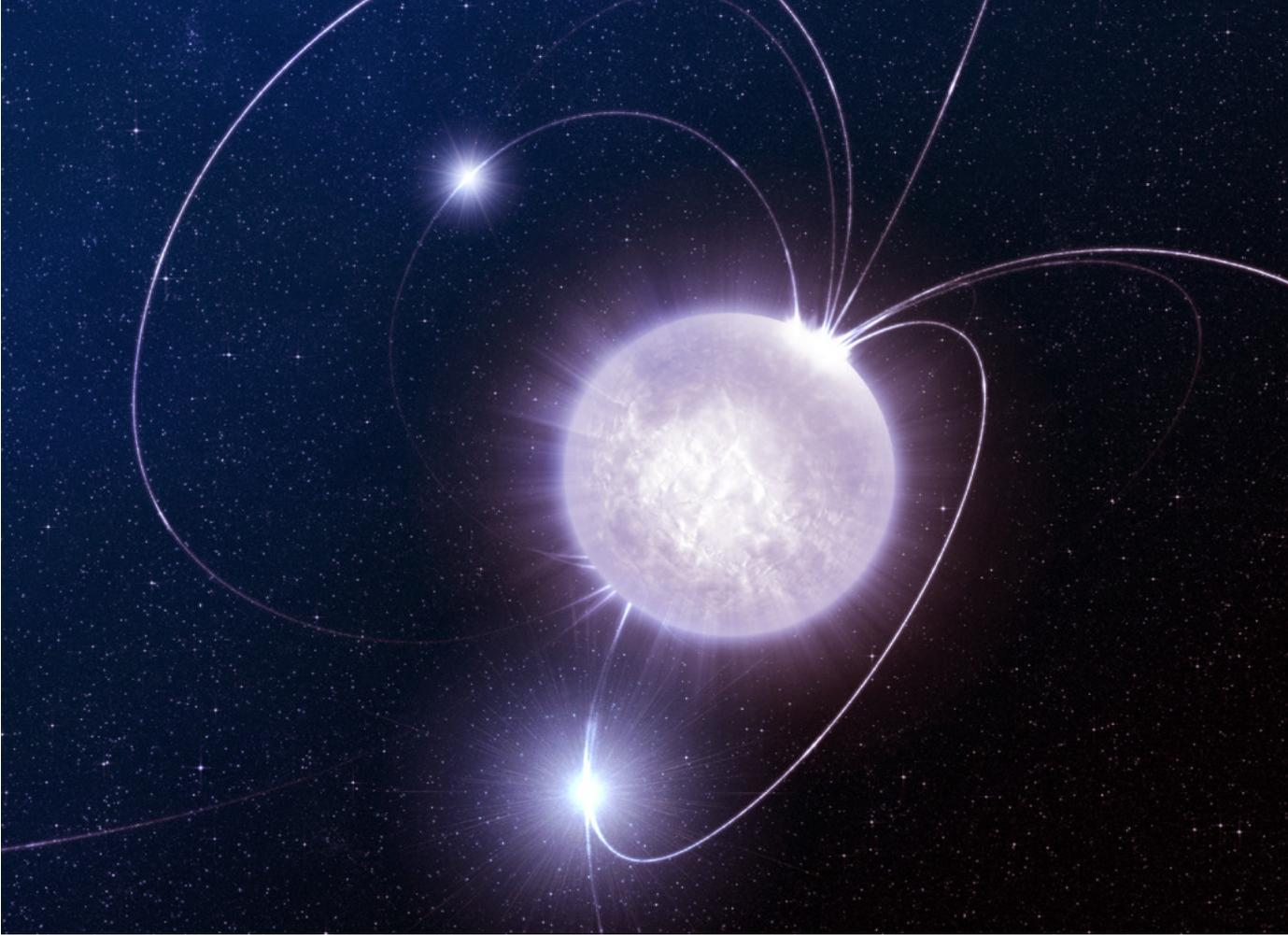


fino ad arrivare agli attuali 900 conosciuti. Tra questi, più di 50 sono ripetitori, ovvero presentano periodi di riattivazione distanti alcuni mesi tra loro, e più di 100 sono stati localizzati all'interno della propria galassia. L'incremento del numero di Frb conosciuti sta permettendo per la prima volta uno studio statistico delle loro proprietà, avvicinandoci così alla comprensione della loro origine.

LA PRIMA MAGNETAR GALATTICA

Nel 2020, è stata una magnetar nella nostra galassia a fornire per la prima volta l'opportunità di osservare un burst in diverse

Nel 2007, Duncan Lorimer e Ash Narkevic trovarono un lampo radio di intensità più di 10 volte maggiore di quella delle pulsar conosciute. Era l'inizio di una nuova era per lo studio dei transienti



Osservazioni molto sensibili con i radiotelescopi hanno scoperto in questi ultimi anni la presenza di una sorgente radio persistente in diversi Frb, il residuo della sua formazione

MAGNETAR

Sono giovani stelle di neutroni con un campo magnetico ultraintenso, un miliardo di volte più intenso di quello terrestre.
Crediti: Eso/L. Calçada.

43MILA GAUSS

Illustrazione di HD 45166, una stella massiccia di cui è stato recentemente scoperto il potente campo magnetico, il più intenso mai osservato in una stella massiccia.
Crediti: Eso/L. Calçada

bande dello spettro elettromagnetico. SGR 1935+2154, già scoperta nel 2014 in banda X dal satellite Swift e associata al supernova remnant G57.2+0.8 a 30.000 anni luce dalla Terra, si è improvvisamente riattivata emettendo burst in banda hard-X. I satelliti Agile e Integral, che hanno prontamente osservato la sorgente, hanno potuto determinare che i burst sono stati prodotti solamente 6 millisecondi dopo il lampo radio misurato da Chime nella stessa direzione, stabilendo così per la prima volta una connessione diretta tra magnetar e Frb. Questo ha aperto la strada alla ricerca dell'emissione multi-banda degli Frb, che oggi può contare su nuovi strumenti come il satellite Einstein Probe.

NUOVE TESSERE PER IL PUZZLE

Due delle vie battute per svelare il mistero degli Frb mirano alla scoperta di emissione di burst in altre bande dello spettro elettromagnetico, dall'ottico ai raggi gamma, e all'identificazione di una sorgente persistente che possa rappresentare il "residuo" che segue la creazione della sorgente dei burst e che possa permanere per giorni o anni. Per molti versi questa è stata la via battuta dal satellite italiano BeppoSax per svelare un fenomeno per molti versi analogo agli Frb, ovvero i lampi gamma: la scoperta dell'*afterglow*, quindi di una sorgente molto più flebile del lampo gamma ma che continuava a emettere per lungo tempo, dai raggi X fino al radio, ha permesso di chiarirne l'origine. Per gli Frb siamo a metà strada, ma le prospettive sembrano rosee. Mentre, al momento, non abbiamo ancora trovato nessuna sorgente associata a Frb in altre lunghezze d'onda, osservazioni molto sensibili con i radiotelescopi hanno scoperto in questi ul-

timi anni la presenza di una sorgente radio persistente in diversi Frb, il residuo della formazione del Frb.

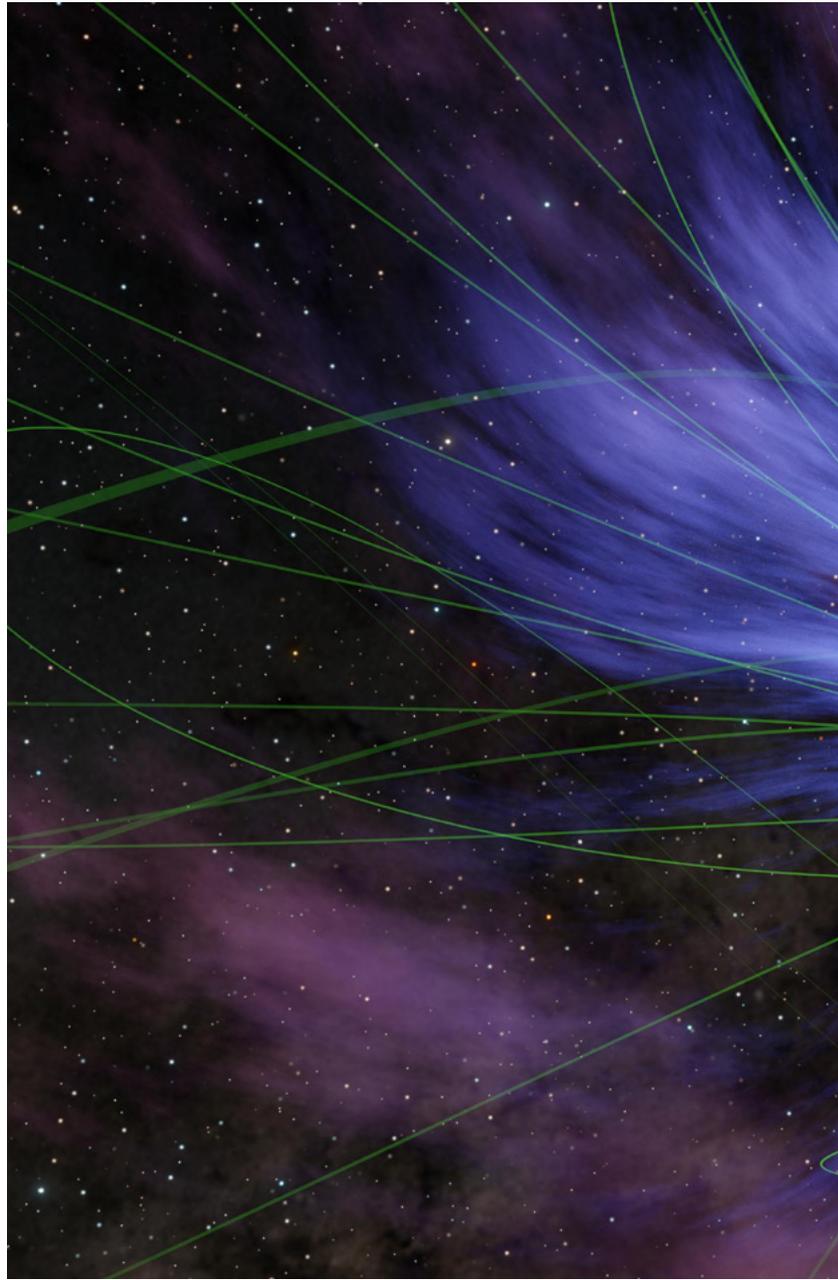
Una terza via ricorda il lavoro degli investigatori e mira a raccogliere degli indizi sulla natura di questi oggetti, per esempio sull'ambiente in cui gli Frb sono collocati. In molti casi abbiamo scoperto che gli Frb risiedono in galassie giovani che stanno formando stelle e che la loro posizione all'interno della galassia ospite è coincidente con regioni in cui si stanno formando nuove stelle. Questi indizi ci portano pertanto ad associare gli Frb con stelle massicce e giovani che, alla fine della loro vita, esplodono, formando una stella di neutroni rotante e altamente magnetizzata (la suddetta magnetar) che alimenta, tramite la sua velocissima rotazione, sia l'emissione dei burst radio sia la formazione di una nebula magnetizzata al suo intorno. La nebula a sua volta produce, tramite emissione di radiazione radio prodotta da elettroni energetici che spiraleggiano nel campo magnetico, la sorgente radio persistente.

BOLLE DI PLASMA

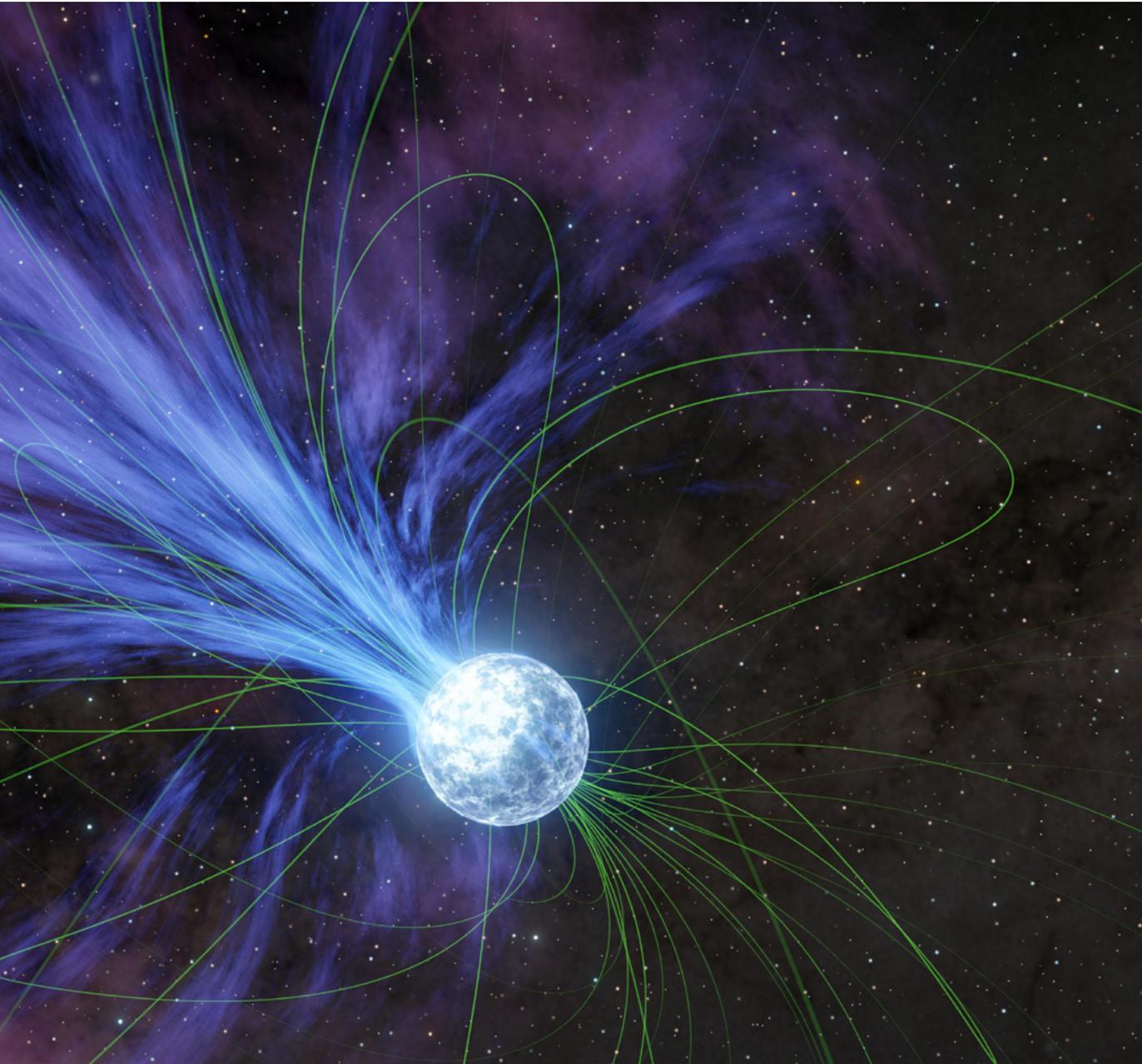
Proprio questa nebula, che possiamo immaginare come una bolla di plasma circostante la magnetar, è stata oggetto di studio nel lavoro di un gruppo di ricercatori dell'Inaf-laps di Roma. Il Frb 20201124A, scoperto nel 2020 e successivamente riattivatosi nel 2021, ha attratto l'attenzione quando i radiotelescopi Vla e Gmrt ne hanno misurato la controparte persistente. Successive osservazioni a più alta risoluzione sembravano smentire l'associazione con l'Frb, quando, nel 2022, osservazioni Vla a frequenze più alte delle precedenti (10-20 GHz) hanno potuto confermare

la presenza di una debole sorgente puntiforme nella posizione dell'Frb. A dare manforte al V1a, e a confermare la natura di nebula, Noema e GtcC (l'osservatorio millimetrico sulle Alpi francesi e il telescopio ottico spagnolo situato alle Canarie) hanno raccolto dati sotto la guida dei ricercatori dell'Inaf per verificare il tasso di formazione stellare nella regione circostante. In questo modo, è stato possibile verificare che la flebile emissione non proveniva da una regione diffusa, ma dagli immediati dintorni dell'Frb. Da un punto di vista teorico, negli anni precedenti erano stati proposti modelli per descrivere la nebula possibilmente associata all'emissione persistente degli Frb, tra cui uno della Yunnan University in Cina, che proponeva un nesso tra la rotazione di Faraday (ovvero una quantità che indica il prodotto tra intensità di campo magnetico e abbondanza di elettroni in un ambiente astrofisico) e la luminosità della nebula stessa nel radio. Grazie alla misura dell'emissione persistente di Frb 20201124A, è stato possibile ampliare l'intervallo esplorato, testando così il modello su un intervallo di quasi tre ordini di grandezza, e confermando l'origine nebulare dell'emissione stessa.

In seguito a questo lavoro, pubblicato su *Nature* nel 2024, lo stesso gruppo di ricercatori ha seguito una seconda possibile nebula detectata nella regione del Frb 20240114A dai telescopi MeerKat e uGMRT. A seguito di queste osservazioni alla risoluzione di qualche arcosecondo, nell'autunno 2024 la rete di telescopi americani VLBA – una rete di 10 parabole sparse tra Nord America, Hawaii e Isole Vergini – è stata infatti impiegata per raggiungere la risoluzione angolare di qualche miliardesimo e verificare così la presenza della nebula. La debole emissione è stata osservata alla frequenza di 5 GHz, su una scala inferiore ai 4



I nuovi telescopi Chime Outriggers e Dsa-2000 permetteranno di identificare migliaia di Frb all'interno della loro galassia ospite, rivoluzionando così il loro studio



VENTI RELATIVISTICI

Illustrazione di una magnetar che espelle materia nello spazio. Il campo magnetico della stella, in verde, influenza il flusso di materia emessa dall'oggetto.

Crediti: Nasa/Jpl-Caltech

parsec. Questa quarta nebula ha permesso così di raffinare ulteriormente il modello proposto. Ulteriori dati in banda ottica raccolti con il telescopio Lbt hanno poi permesso di verificare che anche la galassia ospite di questo Frb ha un forte tasso di formazione stellare, in accordo con le aspettative collegate alle magnetar.

IL FUTURO

Siamo oggi a un punto di svolta per lo studio degli Frb. I nuovi telescopi Chime Outriggers e Dsa-2000 permetteranno di identificare migliaia di Frb all'interno della loro galassia ospite, rivoluzionando così lo studio di

questo fenomeno. Saranno possibili ulteriori osservazioni per svelare la presenza di una nebula, aumentando così il censimento di questi oggetti, e avvicinandoci a svelarne il mistero. L'Inaf, con il progetto next-generation Croce del Nord, sta effettuando l'upgrade dei telescopi di Medicina e Noto per lo studio degli Frb, e contribuendo a sviluppare la tecnologia d'avanguardia che sarà utilizzata per il telescopio Chord. Siamo quindi all'alba di una nuova era per lo studio dei fenomeni transienti in banda radio e, come sempre quando si apre una nuova finestra sull'universo, la probabilità di scoprire nuova fisica è alta. ■



Due squali nel telescopio

di **Simone Antonucci, Domenico Barbato**
e i team di **Shark-Nir** e **Shark-Vis**

Se si volessero ottenere immagini con la massima risoluzione teorica possibile, in cui le distorsioni sono ridotte al minimo e, infine, usarle per studiare i protopianeti e per rivelare esopianeti già formati attorno alle stelle più vicine al Sole? La risposta arriva da due strumenti, Shark-Nir e Shark-Vis, che trovano posto su Lbt.

S

Shark-Nir e Shark-Vis sono due nuovi strumenti per osservazioni a elevata risoluzione angolare e ad alto contrasto costruiti dall'Istituto nazionale di astrofisica per il Large Binocular Telescope (Lbt), il grande telescopio binoculare situato presso l'osservatorio di Mount Graham in Arizona, di cui l'Inaf è partner insieme a istituti statunitensi e tedeschi. I due strumenti osservano rispettivamente nel vicino infrarosso e nel visibile, e sono concepiti per funzionare in parallelo, usando i due specchi da 8,4 metri di diametro di Lbt (Shark-Nir è installato sul telescopio sinistro, Shark-Vis sul destro). Gli Shark sfruttano i sistemi di ottica adattiva (AO) di Lbt, anch'essi ideati e sviluppati dall'Inaf, che sono tra i migliori del mondo nel correggere le distorsioni delle immagini prodotte dalla turbolenza dell'atmosfera.

OBIETTIVI SCIENTIFICI

Il principale obiettivo scientifico degli Shark è la ricerca e caratterizzazione di esopianeti attraverso imaging diretto. Il fine è quello di rivelare i pianeti giganti gassosi nelle regioni esterne dei sistemi planetari extrasolari, per avere informazioni complementari sulla loro

architettura rispetto a quelle ottenibili attraverso altre tecniche indirette, come quella basata sulle velocità radiali o sulla fotometria dei transiti. In particolare, grazie alla loro caratteristica unica di poter osservare simultaneamente nel visibile e nell'infrarosso, gli Shark mirano a studiare i protopianeti, ovvero i pianeti giganti nel momento della loro formazione all'interno dei dischi protoplanetari, e di fornire così dati fondamentali per la comprensione dei meccanismi di formazione ed evoluzione dei sistemi planetari. La capacità degli Shark di vedere scale angolari piccolissime li rende strumenti unici anche per altri casi scientifici, come lo studio dei dischi e dei jet nelle stelle giovani, degli involucri attorno alle stelle evolute, dei satelliti e dei corpi minori del Sistema solare, e per mappare in dettaglio le regioni interne dei più brillanti nuclei galattici attivi.

SHARK-VIS

Shark-Vis è uno strumento costruito dal gruppo guidato da Fernando Pedichini nel Laboratorio di ottica Dario Lorenzetti dell'Inaf-Osservatorio astronomico di Roma, istituto che si occupa anche della sua gestione scientifica. La missione di Shark-Vis è quella di mostrare il potenziale scientifico delle osservazioni con sistemi di ottica adattiva nella banda visibile. Nonostante la distorsione delle immagini causata dalla turbolenza atmosferica sia molto più difficile da contrastare alle lunghezze d'onda visibili rispetto a quanto avviene nell'infrarosso, le osservazioni AO nell'ottico con un telescopio della classe 8 metri come Lbt hanno il vantaggio di fornire in linea di principio una risoluzione angolare dell'ordine dei 15 mas (millisecondi d'arco), che corrisponde a circa 55 chilometri alla distanza di Giove, a 0,1 uni-

IL FALCO
L'alloggiamento di Shark-Vis su Lbt. Lo strumento garantisce altissime risoluzioni: può individuare una moneta a 200 km di distanza.
Crediti: Inaf

La capacità di sondare scale spaziali così piccole rende gli Shark degli strumenti unici per molti casi scientifici in cui tale aspetto è di primaria importanza, come ad esempio la ricerca di esopianeti

tà astronomiche per stelle distanti 5 parsec dal Sole (dove una unità astronomiche è pari alla distanza Terra-Sole e un parsec è pari a 3,26 anni luce), e a 2 unità astronomiche alla distanza delle regioni di formazione stellare più vicine, situate a 150 parsec. La capacità di sondare scale spaziali così piccole rende Shark-Vis uno strumento unico per molti casi scientifici in cui tale aspetto è di primaria importanza, come ad esempio la ricerca di esopianeti e l'analisi della morfologia superficiale di satelliti e corpi minori del Sistema solare.

Dal punto di vista tecnologico Shark-Vis è stato costruito con una serie di accorgimenti per ottenere immagini il più possibile vicine al limite di diffrazione, la massima risoluzione teorica possibile per il telescopio, e per ottimizzare l'alto contrasto, ossia la capacità di osservare oggetti deboli a distanze angolari molto piccole (minori di un arcosecondo) da sorgenti molto più luminose. Gli esopianeti, che sono ordini di grandezza più deboli della stella attorno alla quale ruotano, sono un tipico esempio in cui l'alto contrasto è necessario.

A tal fine, a valle della correzione dell'ottica adattiva lo strumento è dotato di un ulteriore sistema interno di stabilizzazione delle immagini e utilizza una camera veloce a bassissimo rumore che permette di registrare immagini a cadenza rapida (fino al kHz, il cosiddetto *fast imaging*). In queste immagini a posa breve le distorsioni residue della turbolenza atmosferica risultano "congelate", permettendo così di usare tecniche di *lucky imaging* (selezione dei frame migliori), di riallineare le immagini a posteriori e di mediarle in modo da non perdere definizione, e di poter applicare procedure avanzate di deconvoluzione dei dati che sfruttano il grande numero di frame a disposizione.

Lo strumento può acquisire immagini con filtri a banda larga e a banda stretta, con la possibilità di usare coronografi per masche-



LBT

Il Large Binocular Telescope è situato presso l'osservatorio di Mount Graham in Arizona, a una quota di 3200 metri. L'Italia è fin dall'inizio fra i partner del progetto.

Crediti: Inaf/R. Cerisola

rare fisicamente la stella. I dati così acquisiti vengono trattati con tecniche di elaborazione specifiche per l'alto contrasto basate su imaging differenziale, alcune delle quali sviluppate appositamente per Shark-Vis dal team dello strumento.

Shark-Vis è ottimizzato in particolare per osservazioni ad alto contrasto nella riga di emissione dell'idrogeno H α (656 nm). Questa emissione è un tracciante dei processi di accrescimento di materia e può essere utilizzata per rivelare i pianeti giganti gassosi nella loro fase di formazione (ovvero quando sono ancora protopianeti), durante la quale accumulano gas dal disco circumstellare in cui sono nati. Lo strumento possiede una modalità dual-band specifica per tali osservazioni, in cui vengono acquisite simultaneamente immagini in due filtri diversi (riga H α e continuo adiacente), che sono sottratte l'una dall'altra per eliminare gran parte della luce della stella ed evidenziare solo l'eccesso di luce H α proveniente dai protopianeti in for-



EVOLUZIONI

L'edificio che ospita il telescopio Lbt è alto 40 metri. L'altezza dello strumento è di 25 metri sull'asse di elevazione.
Crediti: Inaf/R. Cerisola

mazione attorno ad essa. La ricerca di protopianeti è il progetto scientifico principale degli Shark e i team dei due strumenti hanno di recente iniziato una survey dedicata alla regione di formazione stellare del Toro-Auriga, a una distanza di circa 150 pc, nella quale gli strumenti lavoreranno in sinergia per scoprire e caratterizzare pianeti in formazione attorno a stelle giovanissime con età minori di 10 Myr.

Shark-Vis non cercherà però solo pianeti in formazione, ma proverà anche a rivelare esopianeti già formati attorno alle stelle più vicine al Sole osservando la loro luce riflessa, che rappresenta una delle prossime

grandi sfide osservative della ricerca astronomica e un passo necessario per arrivare allo studio delle atmosfere degli esopianeti simili alla Terra.

Le osservazioni realizzate in fase di *commissioning* dello strumento durante il 2024 hanno già dato prova della grande acutezza visiva che Shark-Vis può raggiungere e del potenziale delle osservazioni AO nel visibile. Un esempio importante a tale riguardo sono state le osservazioni di IO, la luna vulcanica di Giove: Shark-Vis ne ha infatti ottenuto l'immagine a più alta risoluzione mai registrata da Terra, con dettagli di appena 80 km sulla superficie, che hanno permesso di identifi-

La ricerca di protopianeti è il progetto scientifico principale degli Shark e i team dei due strumenti hanno di recente iniziato una survey dedicata alla regione di formazione stellare del Toro-Auriga

care gli effetti di una recente eruzione vulcanica e di studiarne le caratteristiche e il meccanismo di formazione (Conrad et al. 2024). Per avere un paragone, ciò corrisponde a essere in grado di distinguere una moneta da 1 euro a 200 km di distanza.

Con Shark-Vis l'Inaf non ha solo costruito uno strumento che permette di esplorare risoluzioni angolari così alte, ma anche dato il via a un fondamentale esperimento precursore per studiare, sviluppare e sperimentare tecniche strumentali e algoritmi innovativi per le osservazioni AO ad alto contrasto nella banda ottica, che saranno utilissime per il futuro telescopio gigante Ekt dell'Eso, con specchio da 39 metri, attualmente in fase di costruzione in Cile.

SHARK-NIR

Shark-Nir è una camera coronografica sviluppata da un team di ricerca composto da diversi istituti Inaf e da istituti esteri come lo Steward Observatory negli Stati Uniti e il Max-Planck-Institut für Astrophysik (Mpa) in Germania, e coordinato da Jacopo Fariato presso l'Osservatorio astronomico di Padova. Questa avanzata strumentazione è progettata per operare nelle bande Y, J e H del vicino infrarosso, specificamente nelle lunghezze d'onda comprese tra 0,96 e 1,7 micrometri. Tale regione dello spettro elettromagnetico ha un ruolo fondamentale nello studio di esopianeti, nuclei galattici attivi e corpi minori del Sistema solare. In particolare gli esopianeti giganti giovani, ancora caldi dalle prime fasi della loro formazione, hanno una significativa emissione nell'infrarosso e la loro osservazione in questa banda rappresenta un'importante finestra sulle prime fasi della formazione ed evoluzione di sistemi planetari. Per asteroidi e lune del Siste-



TERZIARIO

È lo specchio terziario a deviare il fascio ottico al centro della struttura di Lbt e inviarlo ai diversi strumenti.

Crediti: Inaf/R. Cerisola

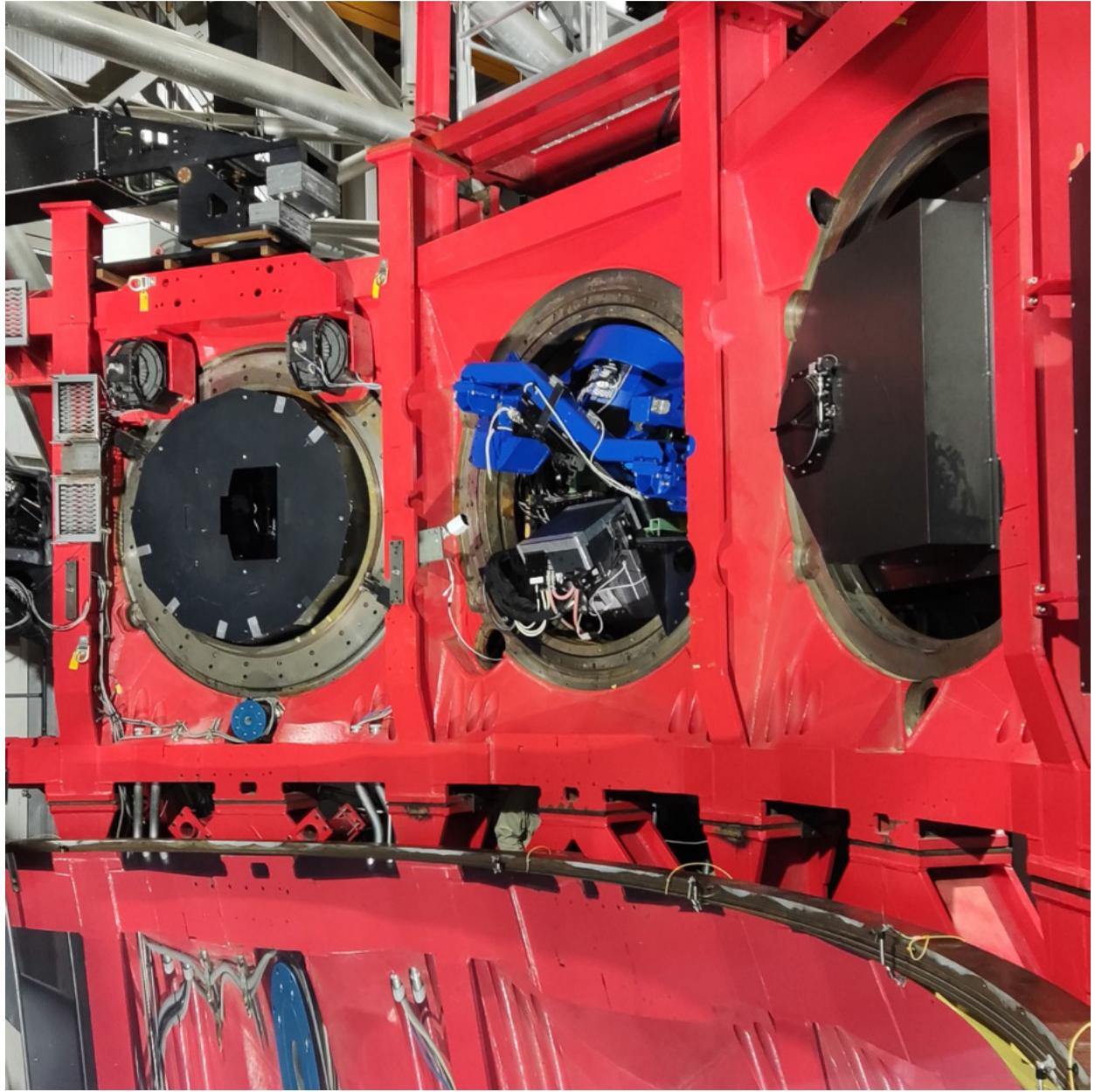


SECONDARIO ADATTIVO

Fornisce la correzione in tempo reale delle distorsioni indotte dalla turbolenza atmosferica e permette agli Shark di osservare dettagli di poche decine di miliardesimi di secondo.

Crediti: Inaf/R. Cerisola

ma solare l'infrarosso permette di analizzare la loro composizione superficiale e cercare tracce di attività vulcanica sotto la superficie dei satelliti. Nel caso dei nuclei galattici attivi, l'infrarosso permette invece di superare gli ostacoli rappresentati dalle polveri galattiche che ne oscurano i nuclei, consentendo



IL CACCIATORE

Shark-Nir, lo strumento per la ricerca di esopianeti che fornisce immagini coronografiche ad alto contrasto, è incastonato sul perimetro dello specchio destro di Lbt.
Crediti: Inaf

uno sguardo senza precedenti sull'accrescimento dei buchi neri che ne rappresentano il cuore.

Dopo essere stato assemblato all'Osservatorio astronomico di Padova, Shark-Nir è stato spedito a Lbt nel giugno 2022 per essere sottoposto a rigorosi test di allineamento interno e valutazione delle performance strumentali nella *clean room* del telescopio e venire infine installato sullo specchio principale sinistro del grande telescopio binoculare nell'ottobre dello stesso anno. A seguito di una fase di collaudo strumentale durata un anno, nella quale le capacità osservative dello strumento sono state testate per la pri-

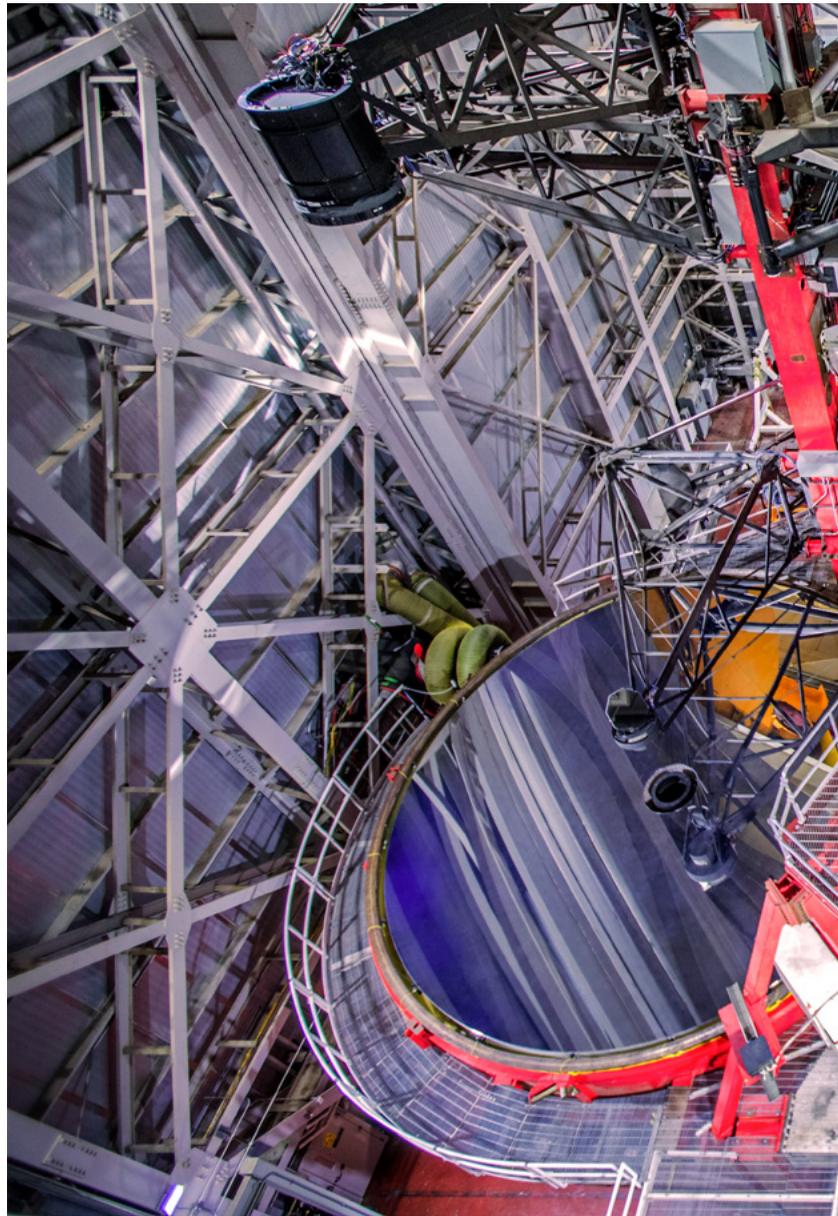
ma volta durante vere osservazioni astronomiche, Shark-Nir ha infine dato il via alle sue operazioni scientifiche nell'ottobre 2023. Da allora, lo strumento continua a essere utilizzato nella ricerca di pianeti extrasolari, così come nella caratterizzazione di dischi protoplanetari, nuclei galattici attivi e nello studio di oggetti ben più vicini a noi come asteroidi e lune del nostro Sistema solare.

Al fine di raggiungere questi obiettivi scientifici Shark-Nir è progettato per permettere diverse modalità osservative, rendendolo uno strumento adatto all'osservazione di vari oggetti astronomici. Se corpi minori del Sistema solare e galassie distanti

Dall'inizio della loro attività scientifica, gli Shark hanno lavorato in sinergia con gli altri strumenti installati a Lbt, contribuendo allo studio su più bande spettrali di corpi e fenomeni astronomici

possono essere osservati direttamente, la ricerca di compagni planetari richiede l'utilizzo di maschere coronografiche che bloccino la forte luce della stella centrale per rivelare l'emissione più debole proveniente dai pianeti che la orbitano. Oltre al classico coronografo di tipo Gaussiano, che blocca l'emissione luminosa al solo centro del campo di vista, Shark-Nir può contare anche su tre coronografi di tipo *shaped pupil* (uno dei quali simmetrico e due asimmetrici), progettati per restringere la zona di ricerca a zone prossime alla stella per aumentare la sensibilità alla flebile emissione infrarossa di compagni planetari. Inoltre Shark-Nir non è solo in grado di scoprire compagni planetari ma anche di determinare la composizione atmosferica, grazie alle sue maschere a fenditura con occultatore incorporato che permettono la lettura dello spettro di emissione del pianeta osservato. Esiste, infine, una modalità osservativa che permette l'utilizzo contemporaneo di due filtri scientifici in due bande infrarosse diverse, aiutando a distinguere compagni planetari da nane brune o strutture dei dischi planetari.

Dall'inizio delle sue attività scientifiche, Shark-Nir è stato impiegato in sinergia con gli altri strumenti installati a Lbt, in particolare con la sua controparte dello spettro visibile Shark-Vis e con LmirCam operativo a lunghezze d'onda maggiori in banda L, contribuendo allo studio su più bande spettrali di corpi e fenomeni astronomici. Partendo da regioni vicine al nostro pianeta, particolare attenzione è stata data agli asteroidi del Sistema solare e a Io, la luna di Giove che è scenario di potenti eruzioni e ospita camere magmatiche che lo sguardo infrarosso di Shark-Nir è in grado di caratterizzare.

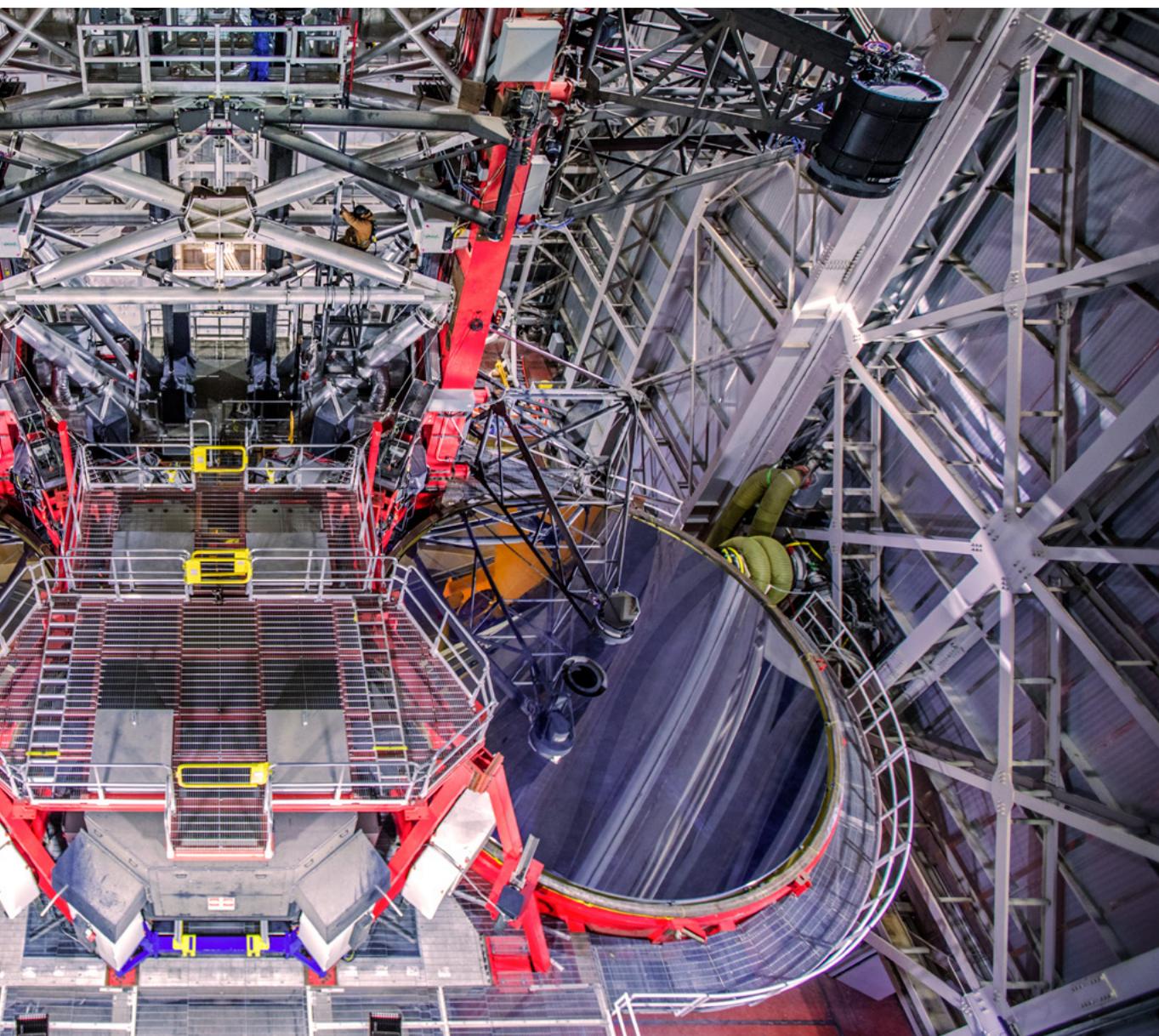


Passando invece all'ambito esoplanetario, principale area di ricerca dello strumento, uno dei più prolifici casi scientifici è rappresentato dalla ricerca e caratterizzazione di dischi protoplanetari e pianeti giovani in zone di formazione stellare, quali le nubi molecolari della costellazione del Toro. Qui, il calore residuo dei pianeti ancora in fase di raffreddamento può essere facilmente rilevato nelle bande infrarosse investigate da Shark-Nir, permettendo uno sguardo senza precedenti sulla formazione di sistemi planetari. Altro punto di interesse in questa prima fase di osservazioni è la ricerca di compagni massicci e di lungo periodo attorno a stelle

MONTATURA

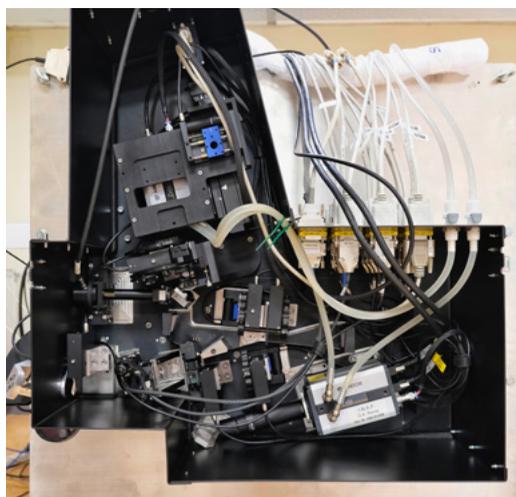
La struttura di Lbt alloggia su un'unica montatura meccanica con due specchi affiancati di 8,4 metri di diametro.

Credit: Inaf/R. Cerisola



LO SQUALO

Lo strumento Shark-Vis costruito dall'Istituto nazionale di astrofisica e installato sullo specchio destro del Large Binocular Telescope, Monte Graham, Arizona. Crediti: Inaf



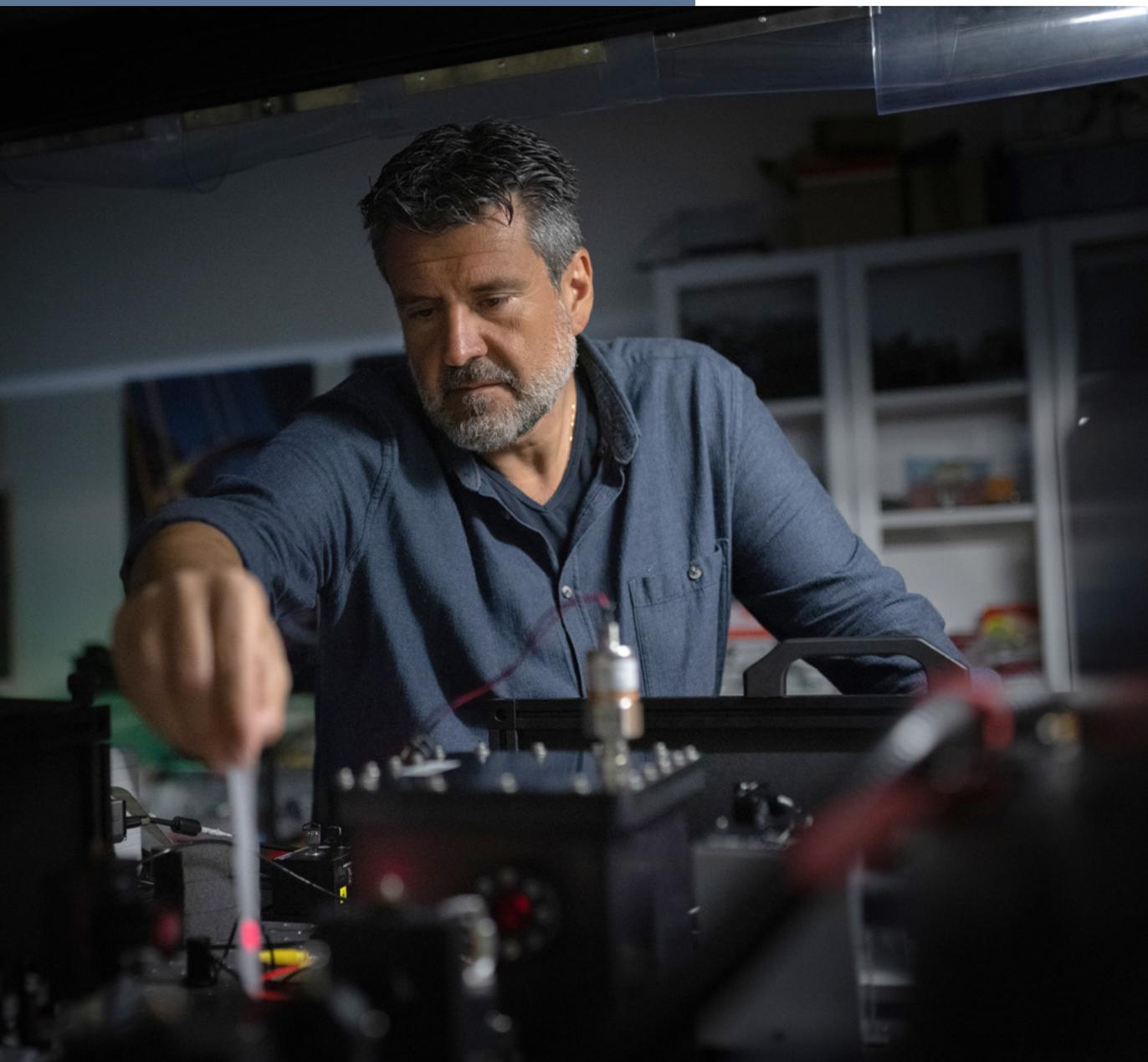
caratterizzate da una significativa anomalia di moto proprio, un indicatore derivato dal confronto delle misure astrometriche raccolte dalle missioni Hipparcos e Gaia che può suggerire la presenza di compagni massicci a grandi separazioni. La ricerca di questi perturbatori astrometrici attraverso altre tecniche di scoperta esoplanetaria (es. velocità radiali o transiti) può essere difficile in virtù del loro lungo periodo, ed è proprio qui che l'imaging si rivela particolarmente efficace, con Shark-Nir che ha già prodotto due studi scientifici (Mesa et al. 2025, Barbato et al. 2025) per presentare i primi risultati di questa ricerca ancora in corso. ■

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**



LA TEORIA MOND RIPENSA LA GRAVITÀ

intervista

di **Maura Sandri**



FEDERICO LELLI
Ricercatore, Osservatorio astrofisico
di Arcetri

Per decenni sono state misurate curve di rotazione di galassie a disco che sembrano implicare un'attrazione gravitazionale superiore a quella che dovrebbe esserci in base alla luce emessa dalle galassie stesse, lasciando intendere che non ci sia abbastanza materia visibile – o conosciuta – per giustificare il comportamento osservato. Questo ha portato a ritenere che la maggior parte dell'universo sia in realtà composta di materia che non interagisce con la luce, quindi invisibile e apparentemente (almeno finora) non rilevabile, ma responsabile di gran parte dell'attrazione gravitazionale tra le galassie. Questa è stata la teoria prevalente per quasi cinquant'anni. Ma non è l'unica e anche all'Istituto nazionale di astrofisica c'è chi sta percorrendo sentieri alternativi per capire se sono praticabili e, soprattutto, dove portano. È il caso di Federico Lelli, primo ricercatore all'Inaf-Osservatorio astrofisico di Arcetri, che da anni sta studiando la teoria Mond, che afferma che questa attrazione gravitazionale esiste perché le leggi che governano la gravità sono leggermente alterate. In altre parole, invece di attribuire l'attrazione gravitazionale in eccesso a una materia oscura, invisibile e non rilevabile, Mond suggerisce che la gravità a basse accelerazioni sia più forte di quanto sarebbe previsto da una pura comprensione newtoniana. *Universi* lo ha intervistato.

Lelli, è davvero possibile che non sia necessario chiamare in causa la materia oscura per spiegare la rotazione delle galassie a spirale?

È possibile ma a costo di modificare la teoria della Relatività generale di Einstein e il suo regime newtoniano che si applica alle galassie. A tal fine, negli ultimi quarant'anni, sono state proposte diverse teorie di gravità modificata. Quella che ha avuto più successo, ovvero con più predizioni che sono state successivamente confermate dalle osservazioni, è la teoria Mond (che sta per Modified Newtonian Dynamics oppure Milgromian Dynamics), proposta dal fisico israeliano Mordehai Milgrom nel 1983. Ad esempio, l'anno scorso io e i miei collaboratori abbiamo mostrato che

Invece di attribuire l'attrazione gravitazionale in eccesso a una materia oscura, invisibile e non rilevabile, Mond suggerisce che la gravità a basse accelerazioni sia più forte di quanto sarebbe previsto da una pura comprensione newtoniana

DOPPELGÄNGER

La galassia a spirale M74 osservata dal telescopio James Webb nel vicino e medio infrarosso (sopra) e da Hubble nel visibile (sotto). Il contrasto è sorprendente.
Crediti: Nasa/Esa/Csa/STScI, J. Lee (STScI), T. Williams (Oxford), Phangs Team



due predizioni straordinarie di Mond (ovvero totalmente inaspettate nel contesto della materia oscura) sono state confermate. La prima è che le cosiddette curve di rotazione delle galassie rimangono piatte fino a grandissime distanze dal centro, ben al di là di quello che dovrebbe essere il bordo dell'alone di materia oscura. La seconda è che le galassie nell'universo primordiale si sono formate in modo molto più rapido di quanto ci si aspettasse nel contesto cosmologico della Lambda Cold Dark Matter (Lcdm), ma in accordo con quanto predetto dal fisico Bob Sanders usando la teoria Mond nell'ormai lontano 1998, ben prima della costruzione del James Webb Space Telescope, che ha permesso di osservare tali galassie primordiali.

In che modo la dinamica newtoniana è modificata, rispetto a quella che conosciamo?

Nel caso della teoria Mond, la dinamica newtoniana è modificata a basse accelerazioni, al di sotto di una nuova costante chiamata a_0 , che ha un valore di circa $10^{-10} \text{ m s}^{-2}$. Questa accelerazione scala è circa 100mila volte più piccola delle accelerazioni dei pianeti del Sistema solare, in cui la dinamica newtoniana è stata testata ad altissima precisione. In pratica, la costante a_0 svolge lo stesso ruolo della costante di Planck (h) nella meccanica quantistica o della velocità della luce (c) nella relatività, ovvero determina la transizione tra la "vecchia" e la "nuova" fisica. Empiricamente, infatti, la necessità di materia oscura nelle galassie appare solo quando le loro accelerazioni interne sono al di sotto di a_0 . Ma c'è di più: al di sotto di a_0 ,

La Mond è incompatibile con la relatività generale perché non rispetta uno dei suoi principi cardine, ovvero il principio di equivalenza forte



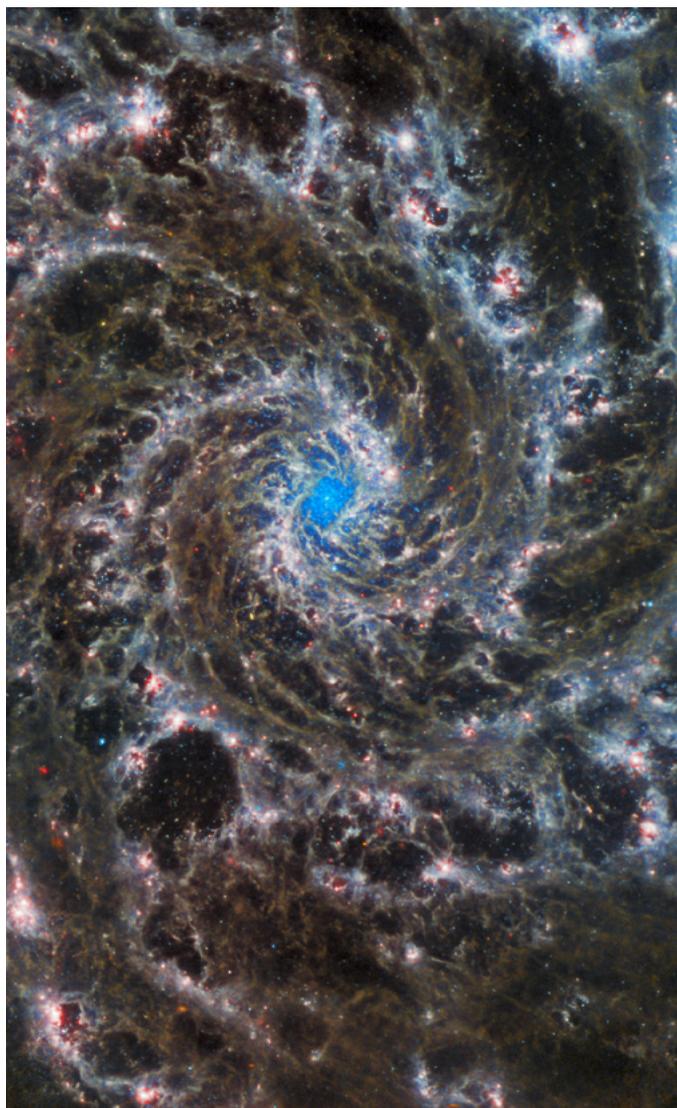
quando dovrebbe dominare la materia oscura, la rotazione o accelerazione centripeta delle galassie è strettamente legata a quella predetta dalla distribuzione della materia luminosa (ovvero stelle e gas), come abbiamo mostrato qualche anno fa considerando circa 150 oggetti.

La Mond mette in dubbio solo la presenza della materia oscura o anche la relatività generale?

La Mond è incompatibile con la relatività generale perché non rispetta uno dei suoi principi cardine, ovvero il principio di equivalenza forte. In sostanza, la dinamica interna di un sistema gravitazionale (come una galassia) può essere influenzata da un campo gravitazionale esterno (ad esempio, la gravità dovuta al resto della massa dell'universo), cosa che non dovrebbe avvenire nel contesto della relatività generale. Osservativamente è molto difficile testare questa predizione Mond, ma qualche anno fa abbiamo ottenuto delle indicazioni intriganti al riguardo. Al momento, insieme a uno studente di dottorato (Konstantin Haubner) stiamo analizzando dati radio dai cosiddetti *pathfinders* dello Square Kilometre Array (Ska) per costruire un campione di galassie molto più grande rispetto a quello che avevamo in precedenza.

LA GALASSIA FANTASMA

La galassia a spirale M74 osservata da Hubble e da Webb separatamente (nei pannelli di sinistra e destra), e insieme (nel pannello centrale).
Crediti: Esa/Nasa



Questo nuovo campione di circa 4mila galassie (contro le 175 del database Sparc) ci dovrebbe permettere di confermare oppure no questa predizione Mond – e altre – con molta più confidenza.

Con la Mond riusciremmo a sbarazzarci dei “fardelli” oscuri?

C'è questa possibilità, ma bisogna tenere conto che al momento Mond non è una teoria completa e ci sono degli oggetti astronomici, come gli ammassi di galassie, in cui non funziona bene. Per sbarazzarsi della materia oscura bisognerebbe costruire una nuova teoria relativistica che converga alla teoria newtoniana e a quella Mond nei regimi opportuni. Negli ultimi anni c'è stato grande fermento in questo contesto. Al momento, vi sono due diverse teorie relativistiche *à la Mond* che riescono a riprodurre le proprietà della radiazione cosmica di fondo, che per lungo tempo è stata considerata il Sacro Graal per le teorie di gravità modificata. La prima di queste è stata proposta dai fisici Constantinos Skordis e Thomas Zlosnik nel 2021, mentre la seconda nel 2024 da Luc Blanchet e di nuovo Skordis. Sono teorie recenti e probabilmente non diranno l'ultima parola sull'argomento, ma è necessario studiarle e testarle per capire se vanno nella direzione giusta. ■

IL FUTURO DELLE ATTIVITÀ DELL'INAF

intervista

di **Marco Malaspina**



ISABELLA PAGANO
Direttrice scientifica dell'Inaf

Isabella Pagano, astrofisica di origini toscane ma catanese d'adozione, esperta nel campo dei pianeti extrasolari, è la prima donna alla guida della Direzione scientifica dell'Istituto nazionale di astrofisica. Per almeno quattro anni sarà lei ad avere la responsabilità del coordinamento di tutte le attività scientifiche e tecnologiche dell'Istituto. L'abbiamo intervistata.

Partiamo dall'attualità, e in particolare dalla Vqr, la Valutazione della qualità della ricerca. Proprio in queste settimane l'Anvur sta iniziando a passare al vaglio i prodotti scientifici per il periodo 2020-2024. Nel quinquennio precedente l'Inaf non aveva particolarmente brillato. Questa volta cosa si attende? E più in generale qual è la sua opinione su uno strumento dibattuto qual è la Vqr?

La Valutazione della qualità della ricerca (Vqr) è uno strumento importante per monitorare e migliorare la produzione scientifica dell'Italia. Certamente è un processo complesso e, come ogni meccanismo di valutazione, suscita dibattiti e riflessioni.

Per il periodo 2020-2024, mi aspetto che l'Inaf possa mostrare un miglioramento rispetto al passato. Negli ultimi anni, abbiamo investito molto nella qualità della ricerca, nel supporto ai ricercatori e nel potenziamento delle infrastrutture scientifiche. Sappiamo che la valutazione non riguarda solo il numero di pubblicazioni, ma anche l'impatto della ricerca e la capacità di innovazione: è su questi aspetti che vogliamo puntare.

Naturalmente, la Vqr non è priva di criticità. È essenziale che i parametri di valutazione tengano conto delle specificità di ogni settore scientifico e che il processo sia il più possibile trasparente ed equo. Al di là del risultato, la sfida è usare la Vqr per comprendere dove possiamo migliorare e per rafforzare ulteriormente il ruolo dell'Inaf nella ricerca astrofisica internazionale.

Astrofisica da terra e astrofisica dallo spazio: dove tenderà l'ago della bilancia nei prossimi anni? Il problema del rumore dovuto alle costellazioni satellitari, insieme al costo in picchiata dei lanci spaziali, sembra favorire lo spazio. È così?

Negli ultimi anni abbiamo assistito a una rivoluzione nel settore spaziale: la riduzione dei costi di lancio e l'aumento della disponibilità di piattaforme in orbita stanno ampliando enormemente le possibilità di ricerca. Le missioni spaziali ci permettono di accedere a lunghezze d'onda e condizioni osservative impossibili dalla Terra, e su questo fronte continueremo a investire con missioni chiave a cui l'Inaf partecipa attivamente.

NURSERY DELLE IDEE

Prototipi e nuovi strumenti nascono e vengono collaudati spesso *in house*, grazie ai laboratori Inaf su territorio. Come succede all'Osservatorio di Monteporzio Catone, protagonista di questi scatti.
Crediti: InafV. Muscella



La sfida è usare la Vqr per comprendere dove possiamo migliorare e per rafforzare ulteriormente il ruolo dell'Inaf nella ricerca astrofisica internazionale

Vorrei anche che l'Inaf fosse percepito sempre di più come un interlocutore autorevole, grazie a una valorizzazione più incisiva della conoscenza e dell'impatto della nostra ricerca

D'altro canto, l'astrofisica da terra resta insostituibile per molti aspetti. La capacità dei telescopi terrestri continua a crescere grazie a nuove tecnologie, dall'ottica adattiva agli spettrografi sempre più sofisticati. È vero che l'inquinamento luminoso e il numero crescente di satelliti in orbita pongono nuove sfide, ma ci stiamo già muovendo per affrontarle, sia attraverso collaborazioni con le agenzie spaziali sia con lo sviluppo di strategie di mitigazione. Dal punto di vista strategico, l'Inaf continuerà a investire su entrambi i fronti, cercando di integrare le osservazioni da terra e dallo spazio. Non è una questione di "o l'uno o l'altro", ma di trovare il giusto equilibrio per massimizzare le scoperte scientifiche.

In cosa vorrebbe che l'Inaf del 2028 fosse diverso da quello di oggi?

Il mio auspicio è che nel 2028 l'Inaf sia un ente ancora più coeso, dinamico e capace di affrontare le grandi sfide dell'astrofisica con una visione strategica integrata. Proprio per questo ho voluto rafforzare l'articolazione interna della Direzione scientifica con una struttura organizzativa che valorizzi le competenze e responsabilità distribuite, ma ben coordinate.

Abbiamo costruito un assetto che si fonda su quattro pilastri: supporto amministrativo e supporto tecnico-gestionale efficiente, unità tematico-gestionali orientate a facilitare il consolidamento di linee di ricerca strategiche e a supportare l'esplorazione di tecnologie che possano risultare trasformatrici nel nostro campo, e unità scientifiche centrali che curano aspetti fondamentali come i progetti da terra e dallo spazio, il calcolo avanzato, la valorizzazione della ricerca e della conoscenza, l'internazionalizzazione e la partecipazione ai bandi competitivi.

Mi auguro che questa struttura permetta all'Inaf di essere sempre più competitivo a livello internazionale, attrattivo per i giovani talenti e capace di far emergere le eccellenze scientifiche e tecnologiche presenti nel nostro ente. Vorrei anche che l'Inaf fosse percepito sempre di più come un interlocutore autorevole, non solo nella comunità scientifica ma anche dalla società civile, grazie a una valorizzazione più incisiva della conoscenza e dell'impatto della nostra ricerca.

Infine, desidero che nel 2028 si possa dire che questa organizzazione ha migliorato concretamente l'efficacia e l'efficienza della nostra azione scientifica, facilitando il lavoro dei ricercatori e delle ricercatrici e favorendo un ambiente di lavoro collaborativo, aperto e motivante. ■



Visione

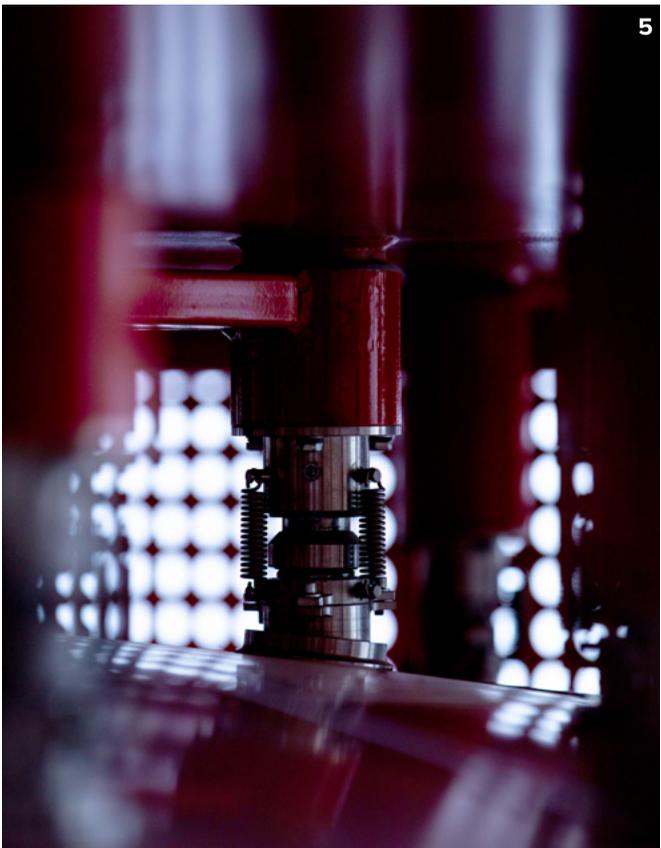
Ph. Riccardo Bonuccelli

I primi telescopi li vedi già dalla strada di La Esperanza, mentre sali con l'auto verso il vulcano. Il cielo di Tenerife, e quello delle Canarie, è pazzesco. Dai 2000 metri sul livello del mare si presta a osservazioni astronomiche professionali per condizioni di buio e un meteo particolarmente favorevole. Non è un caso, dunque, che l'Osservatorio astronomico del Teide sia uno dei principali siti europei per la ricerca astrofisica, l'osservazione del cielo notturno e del Sole.

L'*Observatorio* gestito dall'Istituto di astrofisica delle Canarie (Iac) e il gemello Osservatorio del Roque de los Muchachos sull'isola di La Palma costituiscono la più importante infrastruttura astronomica d'Europa. L'Istituto nazionale di astrofisica, insieme alla Fundación Galileo Galilei (la fondazione spagnola con governance Inaf che si occupa della gestione delle infrastrutture astronomiche italiane alle isole Canarie), è presente nei due siti con importanti infrastrutture: il Telescopio nazionale Galileo a La Palma e Astri a Tenerife. Il primo di nove telescopi del mini array Astri è già stato installato: è il primo sistema di tecnologia Cherenkov atmosferica completamente dedicato allo studio dell'emissione gamma ad altissima energia (1-100 TeV) di sorgenti cosmiche.



visione

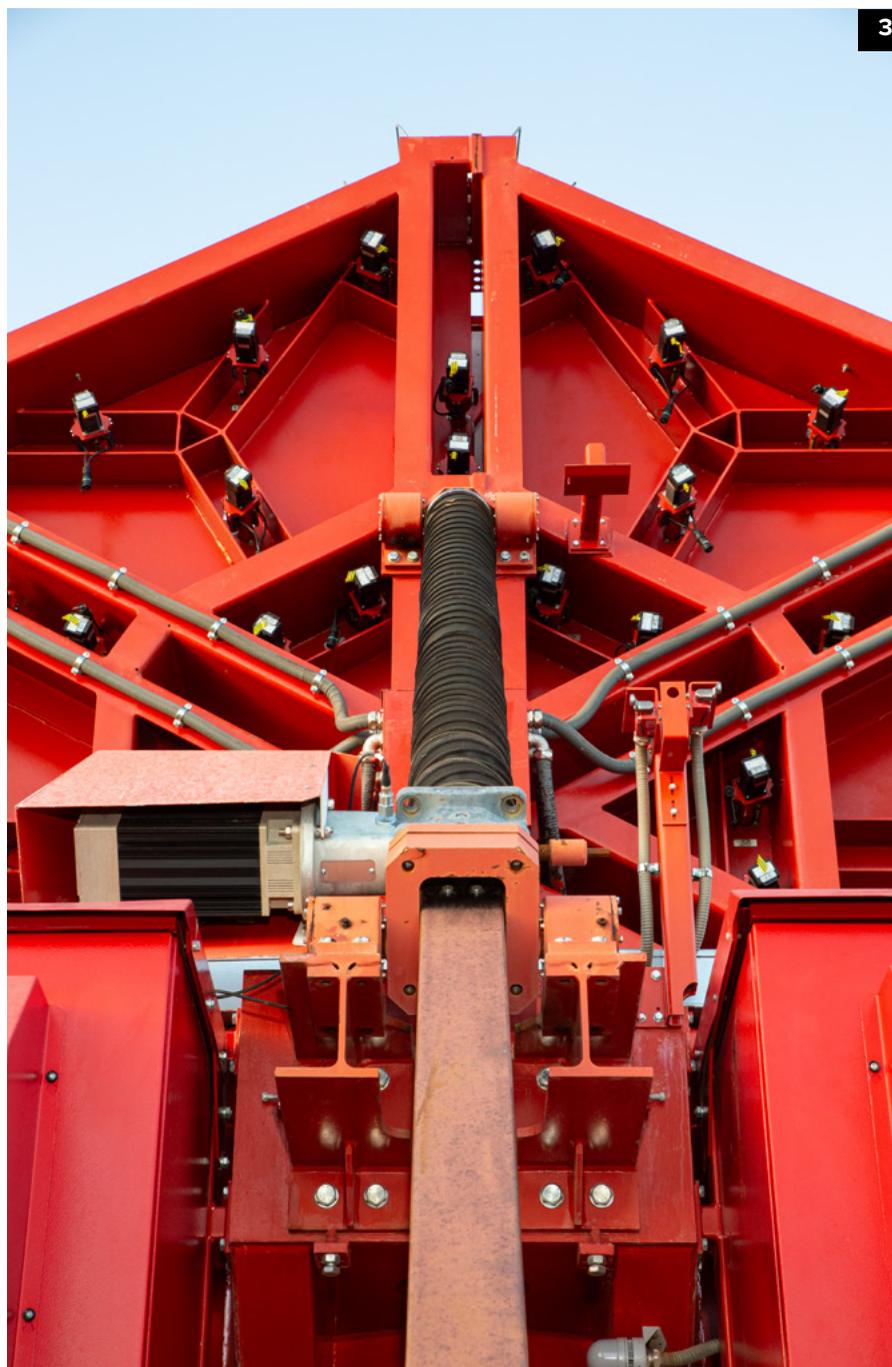




1. L'ingresso all'Osservatorio astronomico del Teide a Tenerife, a circa 2400 metri di quota, in località Izaña, in prossimità del vulcano Teide. Il sito osservativo ospita una quarantina di telescopi professionali gestiti da vari enti di ricerca internazionali in collaborazione con Iac.

2. Un dettaglio dell'alloggiamento dello specchio secondario montato sul primo telescopio del mini array Astri, un esperimento di nuova generazione per esplorare l'universo attraverso lo studio dei raggi gamma ad alta energia con la tecnica Cherenkov atmosferica.

3. Con la loro possente struttura rosso fuoco, i telescopi del mini array Astri non passano inosservati. La configurazione ottica è di tipo Schwarzschild-Couder, a doppio specchio, con uno primario segmentato e uno secondario singolo a lunghezza focale di 2,15 metri. Lo specchio primario è composto da 18 pannelli esagonali, disposti in corone concentriche.



4. Il primo telescopio del mini array Astri all'interno della sua *enclosure*, un recinto di protezione che ne garantisce sicurezza e stabilità operativa.

5. Un dettaglio dell'alloggiamento dello specchio primario del telescopio.

6



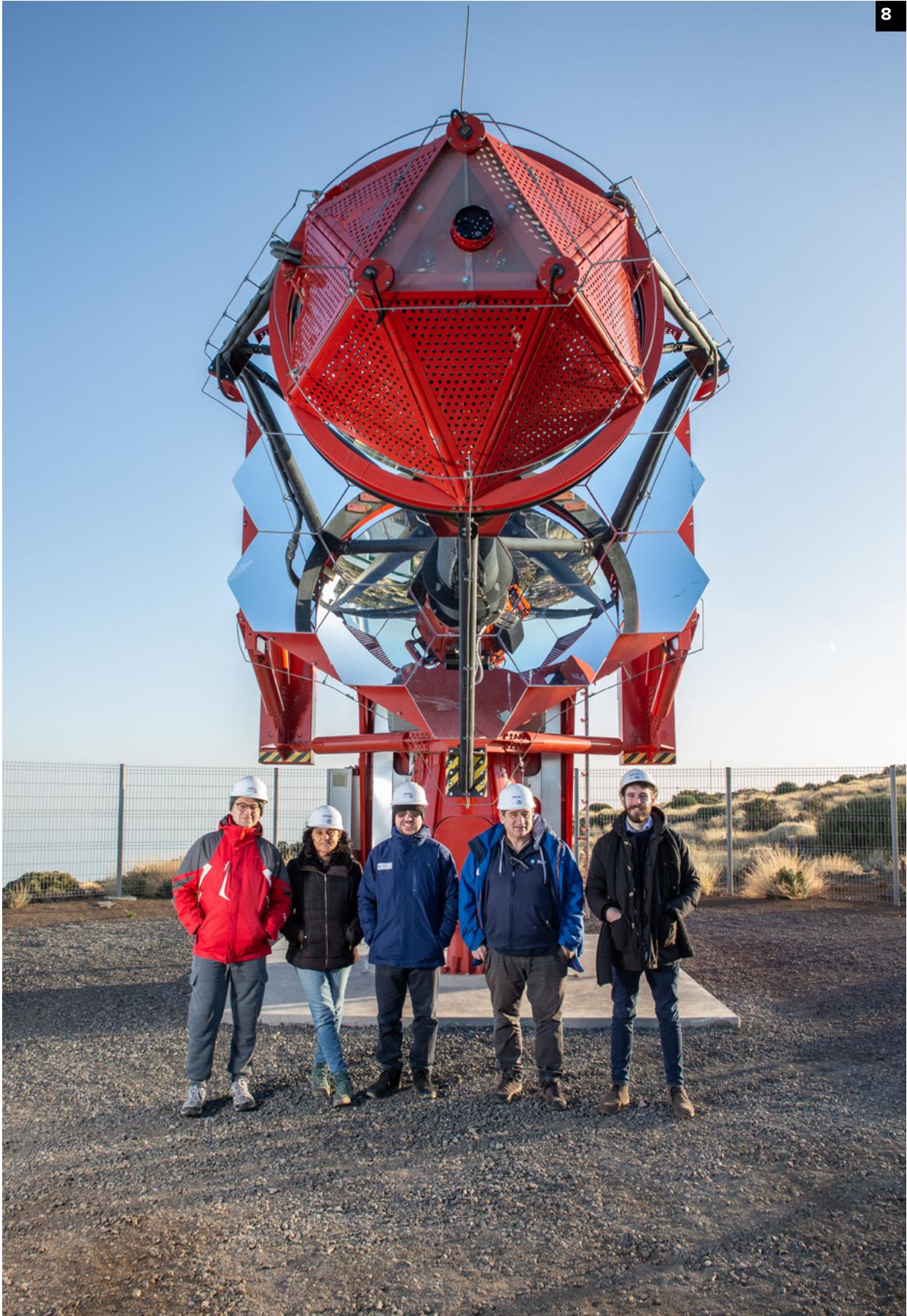
7



6. Vista panoramica del sito osservativo del Teide: in primo piano le cupole di diversi telescopi e torri solari, mentre sullo sfondo l'imponente profilo del vulcano con i suoi 3715 metri di altezza domina il paesaggio dell'isola.

7. Gioco di riflessi: il paesaggio vulcanico del Teide appare nello specchio secondario del telescopio, riflesso a sua volta sul primario. Un'immagine che svela la raffinatezza del sistema ottico a doppio specchio dei telescopi del mini array Astri.

8. Alcuni membri del team scientifico e tecnico posano per una foto durante la fase di installazione del primo telescopio del mini array Astri. Da sinistra a destra: Fabrizio Lucarelli, Christine Grivel, Giovanni Contino, Giovanni Pareschi (*principal investigator* del progetto) e Alberto Bonollo.







11



13

9. Il telescopio sembra una grossa formica meccanica in questa inquadratura frontale dello specchio primario a tasselli di 4,3 metri di diametro. Nel riflesso la camera per luce Cherenkov e lo specchio secondario rivelano la complessa architettura delle ottiche.

10. Suggestiva veduta notturna del primo telescopio del mini array Astri, immerso nel cielo limpido di Tenerife poco dopo il tramonto. Sullo sfondo, la luce brillante di Venere completa la scena.

11. Primo piano della struttura che sorregge lo specchio secondario del telescopio, in posizione centrale sopra allo specchio primario.

12. Il telescopio all'interno della sua *enclosure*, con una delle torri solari dell'Osservatorio del Teide (il Vacuum Tower Telescope) che si staglia sullo sfondo.

13. Il Teide, che dà il nome al sito osservativo di Tenerife, è la terza struttura vulcanica più alta e voluminosa del pianeta, dopo il Mauna loa e il Mauna Kea delle Hawaii, oltre a essere la cima più elevata delle Isole Canarie e di tutta la Spagna.



Curiosità dallo spazio

La violenta e polverosa nascita di una stella

Questa è la fotografia dell'irruenta nascita di un astro e dei primi "vagiti" del suo sistema di pianeti. A fornircela è il telescopio spaziale James Webb, che ha catturato gli straordinari dettagli di HH 30, brillante regione che circonda una stella appena nata in una nebulosa oscura della Nube del Toro. HH sta per Herbig-Haro, regioni che si accendono quando il materiale eruttato da una stella in fasce sbatte contro il gas e le polveri nelle vicinanze. Nella fotografia vediamo tanta luce e tanta polvere. In passato, con l'interferometro Alma è stato possibile osservare grani di polvere più grossi, delle dimensioni di poco più di un millimetro, e che si addensano in una stretta regione all'interno del disco protoplanetario. Il disco protoplanetario di HH 30 è stato scoperto dal telescopio spaziale Hubble nel 1995 e dista 450 anni luce dalla Terra. L'occhio infrarosso di Webb è sensibile proprio all'emissione di minuscoli granelli di polvere, grossi solo millesimi di millimetro. Più o meno le dimensioni di un batterio. I granelli di queste dimensioni formano un diffuso pulviscolo che avvolge la regione, amata dagli astronomi di tutto il mondo perché il disco di pianeti in formazione è visibile di taglio dalla Terra, permettendo così di studiare come i granelli di polvere si aggregano ed evolvono.

▲
L'oggetto di Herbig-Haro HH 30 immortalato dal James Webb Space Telescope.
Crediti: Esa/Webb, Nasa & Csa, Tazaki et al.

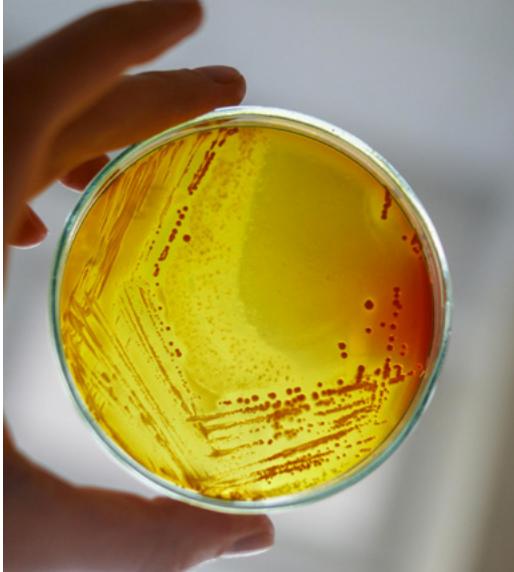


Curiosità dallo spazio

Prime immagini dirette di un esopianeta con CO₂

Il telescopio spaziale James Webb ha ottenuto le prime immagini dirette dell'anidride carbonica nell'atmosfera di un pianeta al di fuori del Sistema solare. Al centro della scoperta è HR 8799, un sistema multiplanetario a 130 anni luce di distanza da noi. Si tratta di un sistema giovane, con un'età di circa 30 milioni di anni – una piccola frazione rispetto ai 4,6 miliardi di anni del Sistema solare. I suoi pianeti, ancora caldi a causa della loro violenta formazione, emettono grandi quantità di luce infrarossa. Le osservazioni dallo spazio forniscono prove convincenti che i quattro pianeti giganti del sistema si siano formati in modo simile a Giove e Saturno, attraverso la lenta crescita dei loro nuclei solidi; inoltre, confermano che Webb non si limita a dedurre la composizione atmosferica analizzando la luce stellare, ma che è anche in grado di studiare direttamente la chimica delle atmosfere degli esopianeti. Il team spera di utilizzare i coronografi di Webb per analizzare altri pianeti giganti e confrontare la loro composizione con i modelli teorici. L'analisi delle osservazioni, che comprendevano anche quelle di 51 Eridani, un sistema a 96 anni luce di distanza, è stata pubblicata su *The Astronomical Journal*.

▲
Il sistema multi-planetario HR 8799. Il simbolo della stella indica la posizione della stella ospite HR 8799.
Crediti: Nasa, Esa, Csa, Stsci, W. Balmer (Jhu), L. Pueyo (Stsci), M. Perrin (Stsci)



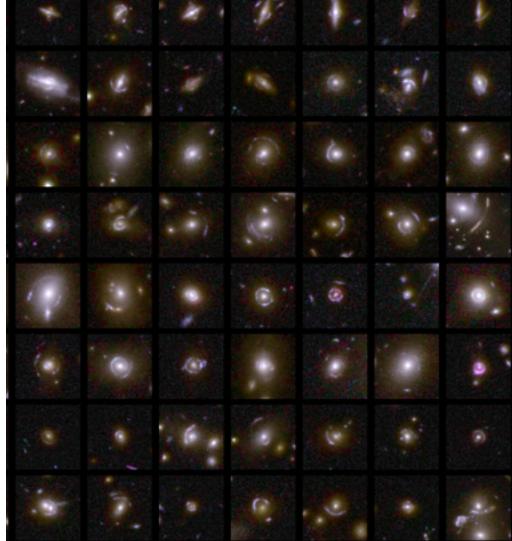
Curiosità dallo spazio

Il test che può svelare la vita extraterrestre

Individuare tracce di vita extraterrestre è una delle sfide più ardue che si pone oggi la ricerca astrobiologica, ma anche l'obiettivo finale di chi cerca e studia i pianeti fuori dal Sistema solare. Scrutare esopianeti lontani in cerca di biofirme chimiche nelle loro atmosfere non sempre permette di distinguere un ambiente potenzialmente abitabile da uno realmente abitato. Le biofirme, inoltre, possono derivare anche da processi non biologici, rendendo difficile la conferma di un'origine vivente. E se esistesse un modo più semplice e diretto per trovare la vita oltre la Terra? Per esempio, un metodo in grado di individuare inequivocabilmente la sua presenza rivelando il movimento microbico? È quello che propone un gruppo di scienziati guidati della Technische Universität Berlin: un test di motilità, come viene chiamato dagli addetti ai lavori, che, senza l'ausilio di sofisticate apparecchiature, permette di individuare la presenza di microrganismi in grado di muoversi autonomamente. Una capacità, questa del movimento, che rappresenta un solido indizio di vita. I risultati della ricerca sono stati pubblicati sulla rivista *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*.



Una capsula di Petri per la crescita di colture cellulari.
Crediti: Pexels



Partner e progetti dell'Inaf

26 milioni di galassie per Euclid

La missione Euclid dell'Agenzia spaziale europea (Esa) – con un importante contributo dell'Italia attraverso l'Agenzia spaziale italiana (Asi), l'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf), l'Istituto nazionale di fisica nucleare (Infn) e diverse università italiane – ha svelato i primi dati scientifici ottenuti dalle osservazioni di regioni di cielo estremamente lontane. Coprendo una vasta area del cielo in tre mosaici di immagini, i risultati ottenuti forniscono uno spunto unico per comprendere meglio la struttura su larga scala dell'universo e la formazione delle galassie. Il “detective dell'universo oscuro” è riuscito a rilevare più di 26 milioni di galassie, molte delle quali si trovano a distanze impressionanti, fino a 10,5 miliardi di anni luce dalla Terra. Tra queste, sono più di 380mila quelle che sono già state classificate dal telescopio, basandosi sulla visione dettagliata della loro morfologia grazie all'utilizzo combinato di intelligenza artificiale e *citizen science*. Un simile approccio ha permesso anche l'individuazione di 500 oggetti candidati come lenti gravitazionali. I dati rilasciati includono inoltre numerosi ammassi di galassie, nuclei galattici attivi e fenomeni transitori, che sono fattori chiave per capire le forze invisibili che modellano il cosmo.



Collage di 112 lenti gravitazionali catturate da Euclid durante le prime osservazioni dei tre Deep Field.
Crediti: Esa/Euclid/Euclid Consortium/Nasa

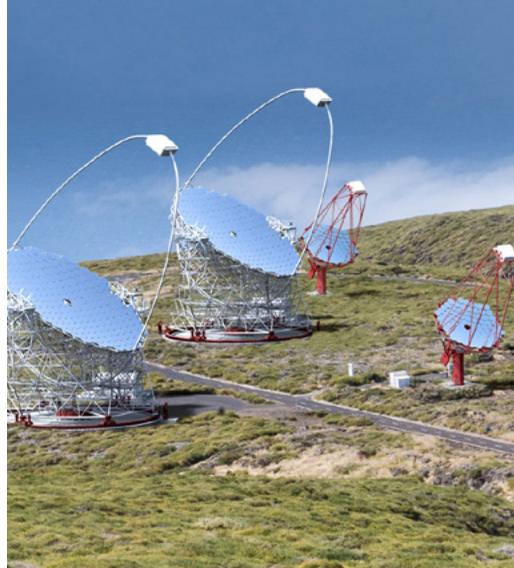


Partner e progetti dell'Inaf

Ska-Low, primo sguardo sull'universo

Un'area del cielo equivalente a circa cento lune piene in cui si vedono oltre 85 delle galassie più brillanti conosciute in quella regione, tutte con buchi neri supermassicci al centro. Questo ci mostra la prima immagine realizzata dal radiotelescopio australiano Ska-Low dell'Osservatorio Ska (Skao) funzionante come interferometro. I dati sono stati ottenuti da una versione preliminare del telescopio a basse frequenze, utilizzando 1.024 delle 131.072 antenne previste. Ska-Low è, infatti, solo uno dei due telescopi in costruzione dall'Osservatorio Ska, un'iniziativa internazionale co-ospitata in Australia e Sudafrica. Numerosi sono i contributi da parte di nazioni di tutto il mondo, inclusa l'Italia, che con l'Istituto nazionale di astrofisica gioca un ruolo fondamentale sia scientifico sia tecnologico in questo ambizioso progetto. L'immagine mostra un'area del cielo di circa 25 gradi quadrati; i puntini non sono stelle, bensì alcune delle galassie più luminose dell'universo, osservate nelle lunghezze d'onda radio. Una volta completata l'installazione di tutte le antenne, lo stesso campo del cielo rivelerà molto di più rispetto a quello che possiamo vedere oggi: gli scienziati calcolano che il telescopio sarà abbastanza sensibile da mostrare più di 600mila galassie nello stesso fotogramma.

▲ La prima immagine ottenuta da una versione iniziale del radiotelescopio Ska-Low in modalità interferometria, attualmente in costruzione in Australia occidentale.
Crediti: Skao



Partner e progetti dell'Inaf

L'Osservatorio Cta diventa un Eric

A gennaio 2025, la Commissione europea ha istituito il Cherenkov Telescope Array Observatory (Ctao) come Consorzio europeo di infrastrutture di ricerca (Eric), rafforzando così la sua missione di diventare l'osservatorio per l'astronomia dei raggi gamma più grande e potente al mondo. Il Ctao Eric è stato istituito con il supporto internazionale di 11 paesi, che contribuiscono allo sviluppo tecnologico, alla costruzione e alle operazioni dell'osservatorio. L'Eric non solo fornisce all'organizzazione centrale un quadro formale per accettare e gestire gli attuali prototipi dei telescopi, ma consente anche l'avvio immediato della costruzione dell'intera schiera di oltre 60 telescopi distribuiti nei due siti, in Spagna e in Cile. A Ctao-Nord, dove il prototipo dei telescopi cosiddetti Large-Sized Telescope (Lst) è in fase di collaudo, si prevede che tra uno o due anni saranno costruiti altri tre Lst e un Medium-Sized Telescope (Mst). Nel frattempo, a Ctao-Sud, si prevede che i primi cinque Small-Sized Telescopes (Sst) e due Mst saranno consegnati all'inizio del 2026. Così, grazie all'Eric, l'osservatorio potrà gestire configurazioni intermedie di telescopi già a partire dal 2026.

▲ I telescopi dell'Osservatorio Cta (Ctao).
Crediti: Ctao



Partner e progetti dell'Inaf

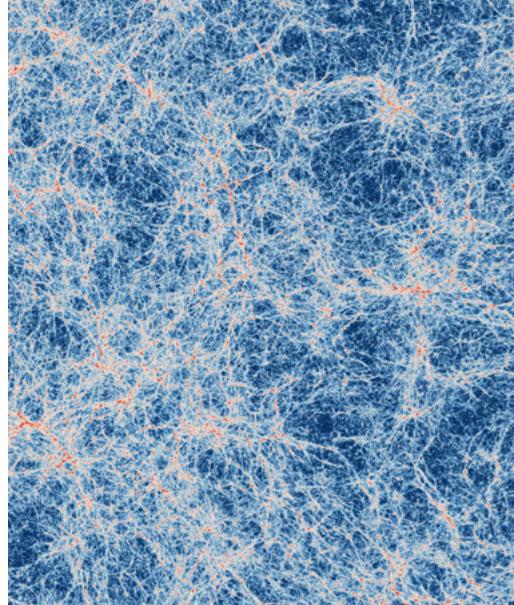
Integral, missione compiuta

Dopo oltre 2886 orbite e più di 22 anni, lo scorso febbraio sono terminate le osservazioni del telescopio spaziale Integral dell' Esa. Con la sua capacità di scansionare l'universo nei raggi gamma, ha raccolto informazioni sui fenomeni celesti più esotici ed energetici. Gli occhi sensibili di questo satellite ci hanno consentito di studiare fenomeni misteriosi come i *gamma ray burst*, per comprendere che quelli più lunghi, che durano diversi secondi, potrebbero essere dovuti al collasso spontaneo di stelle massicce che diventano supernove, mentre quelli più brevi a buchi neri e stelle di neutroni che si scontrano tra loro. Non solo, il telescopio ha catturato il lampo gamma più luminoso mai osservato, avvenuto in una galassia distante quasi due miliardi di anni luce. Integral era stato lanciato il 17 ottobre 2002 dal cosmodromo russo di Baikonur, in Kazakistan. Il telescopio è dotato di un campo visivo molto ampio, che copre circa 900 gradi quadrati di cielo nei raggi X e gamma più energetici, ed è stato in grado di produrre, simultaneamente, immagini e spettri dettagliati alle energie più elevate, aiutandosi con camere a raggi X e ottiche per individuare le sorgenti di raggi gamma. Il satellite rientrerà nell'atmosfera terrestre nel 2029, fra quattro anni.



Illustrazione del telescopio spaziale Esa Integral, in orbita.

Crediti: Esa



Grandi scoperte recenti

Ragnatela cosmica, ecco le immagini in HD

Le prime immagini ad alta definizione della “ragnatela cosmica” che struttura l'universo sono state ottenute grazie a uno studio guidato da ricercatori dell'Università di Milano-Bicocca in collaborazione con l'Istituto nazionale di astrofisica. Grazie a Muse (Multi-Unit Spectroscopic Explorer), innovativo spettrografo installato presso il Very Large Telescope dell'European Southern Observatory, in Cile, il team ha catturato una struttura cosmica risalente a un universo molto giovane. La scoperta, pubblicata su *Nature Astronomy*, apre una nuova prospettiva per comprendere l'essenza della materia oscura. Sfruttando le capacità offerte dal sofisticato strumento, il gruppo di ricerca ha condotto una delle più ambiziose campagne di osservazione con Muse mai completata in una singola regione di cielo, acquisendo dati per centinaia di ore. Un solido pilastro della cosmologia moderna è l'esistenza della materia oscura che, costituendo circa il 90 per cento di tutta la materia presente nell'universo, determina la formazione e l'evoluzione di tutte le strutture che osserviamo su grandi scale nel cosmo.



Un'ampia regione di universo simulata da un supercomputer. In bianco, il tenue bagliore del gas presente nei filamenti cosmici disegna una fitta trama. In rosso, il gas all'interno delle galassie dà vita a nuove stelle.

Crediti: A. Benitez-Llambay/Università di Milano-Bicocca

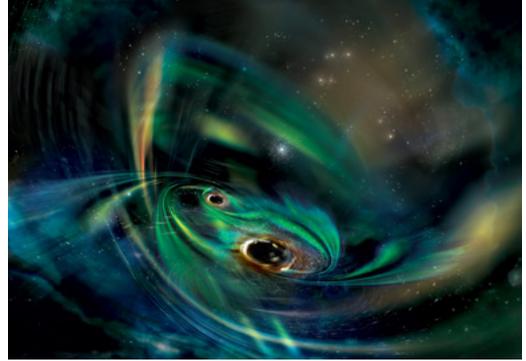


Grandi scoperte recenti

I primi quasar sfidano i limiti della fisica

In un articolo pubblicato sulla rivista *Astronomy & Astrophysics* emergono nuove indicazioni che suggeriscono come i buchi neri supermassicci, con masse pari ad alcuni miliardi di volte quella del Sole, si siano formati così rapidamente in meno di un miliardo di anni dopo il big bang. Lo studio analizza un campione di 21 quasar, tra i più distanti scoperti finora, osservati nei raggi X dai telescopi spaziali Xmm-Newton e Chandra. I buchi neri supermassicci al centro di questi titanici quasar, i primi a essersi formati durante l'alba cosmica, potrebbero aver raggiunto le loro straordinarie masse grazie a un accrescimento molto rapido e intenso, fornendo così una spiegazione plausibile alla loro esistenza nelle prime fasi dell'universo. I quasar sono galassie attive, alimentate da buchi neri supermassicci al loro centro, che emettono enormi quantità di energia mentre attraggono materia. I quasar esaminati sono tra gli oggetti più distanti mai osservati e risalgono a un'epoca in cui l'universo aveva meno di un miliardo di anni. L'analisi delle emissioni nei raggi X di tali oggetti ha rivelato un comportamento completamente inaspettato dei buchi neri supermassicci: è emerso un legame tra la forma dell'emissione in banda X e la velocità dei venti di materia lanciati dai quasar.

▲ Illustrazione di un buco nero supermassiccio in accrescimento, circondato da gas che ricadono al suo interno spiraleggiando lungo la regione equatoriale. Crediti: E. Tortosa



Grandi scoperte recenti

Abbuffata cosmica per due buchi neri lontanissimi

Caotici e voraci, caratteristiche che potrebbero descrivere perfettamente due buchi neri mostruosi scoperti con l'osservatorio Neil Gehrels Swift della Nasa. Un gruppo di ricerca ha rilevato per la prima volta un evento transiente di distruzione mareale in cui una coppia di buchi neri supermassicci sta interagendo con una nube di gas nel centro di una galassia distante. Il segnale di questo fenomeno, noto come AT 2021hdr, si ripete periodicamente, offrendo agli astronomi un'opportunità unica di studiare il comportamento di questi oggetti cosmici estremi. Da cosa è provocato questo fenomeno? Dopo aver esaminato diversi modelli per spiegare ciò che appariva dai dati, i ricercatori hanno dapprima considerato l'ipotesi di un evento di distruzione mareale, vale a dire la distruzione di una stella che si era avvicinata troppo a uno dei buchi neri, per poi convergere su un'altra possibilità: la distruzione mareale di una nube di gas, più grande del sistema binario stesso. La dinamica è apparsa subito chiara: quando la nube si è scontrata con i due buchi neri, la loro forza di attrazione gravitazionale l'ha fatta a pezzi, formando filamenti attorno alla coppia. La nube si è poi riscaldata per attrito, il gas è diventato particolarmente denso e caldo vicino ai buchi neri, mentre la complessa interazione di forze ha fatto sì che parte del gas venisse espulso dal sistema a ogni rotazione.

▲ Illustrazione di una coppia di buchi neri supermassicci che vortica all'interno di una nube di gas, distruggendola. Crediti: Nasa/A. Simonnet (Sonoma State University)



Premi, nomine & elezioni

Patrizia Caraveo alla guida della Sait

Per i prossimi tre anni, alla guida della Società astronomica italiana (Sait) ci sarà l'astrofisica Patrizia Caraveo. La Sait è nata nel 1871 come Società degli spettroscopisti italiani e oggi si occupa di astronomia e diffusione della cultura scientifica. Scienziata di fama internazionale, Caraveo è stata dirigente di ricerca all'Inaf, ha collaborato a diverse missioni spaziali e ha ricevuto numerosi riconoscimenti in Italia e all'estero. È Commendatore dell'Ordine al merito della Repubblica italiana, fa parte del Gruppo 2003 per la ricerca scientifica, nel 2014 è entrata nella lista degli Highly Cited Researchers compilata da Reuters, nel 2021 ha ricevuto il premio Enrico Fermi ed è nella lista *100 donne contro gli stereotipi*. È anche autrice di numerosi libri. «Auspico una Sait che, forte della sua lunga tradizione, guardi al futuro. Mi adopererò per permettere alla Società di declinare le sue eccellenze continuando a guardare avanti per crescere e aumentare la sua visibilità», così Caraveo commenta la sua nomina. Durante il suo mandato grande attenzione sarà riservata ai Campionati di astronomia, alle Scuole estive per la preparazione dei partecipanti alle gare internazionali e a quelle rivolte al corpo docente.



La presidente della Società astronomica italiana Patrizia Caraveo.



Premi, nomine & elezioni

La nuova presidente della Sisfa è Valeria Zanini

Dallo scorso febbraio, la Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia (Sisfa) ha una nuova presidente: Valeria Zanini. Già responsabile del museo La Specola e dei beni culturali dell'Osservatorio astronomico di Padova, i suoi interessi di ricerca vertono sulla storia dell'astronomia nei secoli XVII-XIX e sugli strumenti scientifici della stessa epoca. È stata responsabile del Servizio musei dell'Inaf fino al 2015 e ora collabora attivamente con il Servizio biblioteche, musei e terza missione, occupandosi della tutela e valorizzazione del patrimonio storico sia mediante studi e ricerche sia attraverso l'organizzazione di eventi e mostre. Dal 2015 svolge con contratto a titolo gratuito metà del corso di Storia dell'astronomia per la laurea in astronomia presso l'Università di Padova. «È stata una sorpresa, peraltro molto gradita. Significa che il lavoro fatto negli ultimi tre anni in consiglio direttivo, assieme a tutti i colleghi uscenti, è stato apprezzato e riconosciuto», commenta Zanini, la quale resterà in carica per i prossimi tre anni.



Valeria Zanini, astronoma all'Inaf di Padova eletta presidente della Società italiana degli storici della fisica e dell'astronomia.

Crediti: Inaf/M. Cantini

Specchi arrotolabili per lo spazio

di Rossella Spiga

Specchi leggeri e arrotolati che si aprono una volta in orbita. Il futuro dell'osservazione dell'universo passa anche attraverso costi contenuti e praticità. Senza sacrificare la qualità dei risultati.

Osservare l'universo dallo spazio ci offre sicuramente una visuale migliore rispetto a quella data dai telescopi terrestri, ma ci pone di fronte a maggiori limitazioni. Il lancio e il dispiegamento degli specchi destinati ai telescopi spaziali sono due procedure costose e complicate. Lo specchio primario del telescopio James Webb ha un diametro di 6,5 metri ed è stato lanciato ripiegato tre volte su sé stesso. Specchi leggeri, da immagazzinare facilmente e dispiegare una volta in orbita, rappresenterebbero una svolta per le missioni spaziali del futuro, riducendo i costi e permettendo di aumentare area riflettente e potenzialità del telescopio.

È proprio questa la direzione suggerita da un nuovo approccio sviluppato nei laboratori del Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, in collaborazione con l'Istituto nazionale di astrofisica. Gli specchi a membrana prenderebbero forma all'interno di una camera a vuoto a seguito di un processo di deposizione di vapore chimico su un liquido rotante. In questo modo, un materiale precursore viene fatto evaporare e scisso termicamente in molecole monomeriche che si depositano sulle superfici e poi si combinano per formare un polimero. Questo processo, comunemente usato per applicare rivestimenti per l'elettronica resistente all'acqua, viene utilizzato per la prima volta per creare specchi a membrana parabolica con le caratteristiche ottiche necessarie per l'uso astronomico. Per creare precisamente la forma dello specchio, un contenitore rotante all'interno della camera a vuoto viene riempito con una piccola quantità di liquido in grado di assumere una forma parabolica perfetta, su cui il polimero può crescere, diventando la base dello specchio. Una volta raggiunto lo spessore deside-

Il processo usato per applicare rivestimenti come quelli che rendono l'elettronica resistente all'acqua verrebbe utilizzato per creare specchi a membrana parabolica con le caratteristiche ottiche necessarie per l'uso astronomico



ROLLUP
 Prototipi di specchi arrotolabili a membrana parabolica. Termosensibili, possono essere deformati ad hoc per compensare eventuali difetti.
 Crediti: S. Rabien, Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics

rato, viene applicato sulla parte superiore uno strato metallico riflettente. A questo punto del processo gli specchi vengono arrotolati e immagazzinati in uno spazio molto ristretto.

Il controllo della forma della base dello specchio al momento dello srotolamento, e in condizioni ambientali variabili, è gestito tramite la modellazione della superficie basata sull'ottica adattiva radiativa. Illuminando lo specchio con una sorgente di luce spazialmente variabile, viene ottenuta una deformazione superficiale locale controllata manipolando l'espansione termica locale. Con pochi milliwatt di potenza luminosa è possibile aumentare la temperatura della membrana di qualche decimo di grado, per ottenere una deformazione di qualche micrometro, più che sufficiente a compensare eventuali difetti di fabbricazione dello specchio. Questo consente di ripristinare la forma ottica desiderata con una precisione di poche decine di nanometri, come richiesto da applicazioni astronomiche visibili e infrarosse.

La significativa riduzione del peso e la possibilità di arrotolare gli specchi sono elementi chiave per poter realizzare telescopi spaziali con aperture molto più grandi ma a costi notevolmente ridotti. Lo sviluppo dei primi prototipi di specchi a membrana – finora del diametro massimo di trenta centimetri – ha dimostrato la fattibilità del metodo e potrebbe trasformare in realtà la realizzazione di specchi leggeri di quindici o venti metri di diametro negli anni a venire. ■

A caccia della luce Cherenkov

di Laura Leonardi

Realizzato dall'Inaf con il supporto del Pnrr, la realtà virtuale del Ctao offre un'opportunità di viaggio nell'universo alle altissime energie.

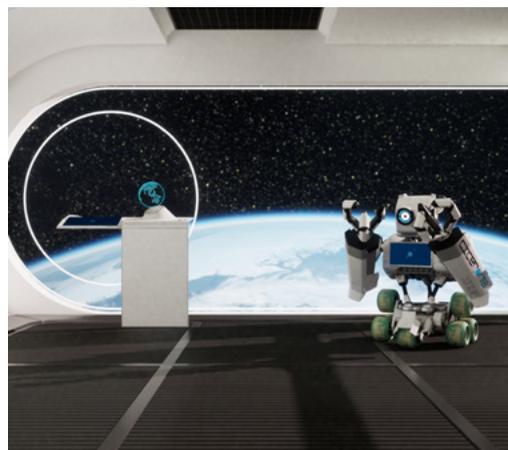
Immaginate di trovarvi nel cuore di un deserto, circondati dai telescopi dell'osservatorio Cherenkov Telescope Array (Ctao), pronti a decifrare i misteri nascosti dell'universo alle altissime energie. Non è un sogno, ma la magia della realtà virtuale. Con il nuovo tour immersivo dell'Istituto nazionale di astrofisica ogni partecipante è chiamato a diventare protagonista di un'avventura scientifica dove la curiosità è il vero motore della scoperta.

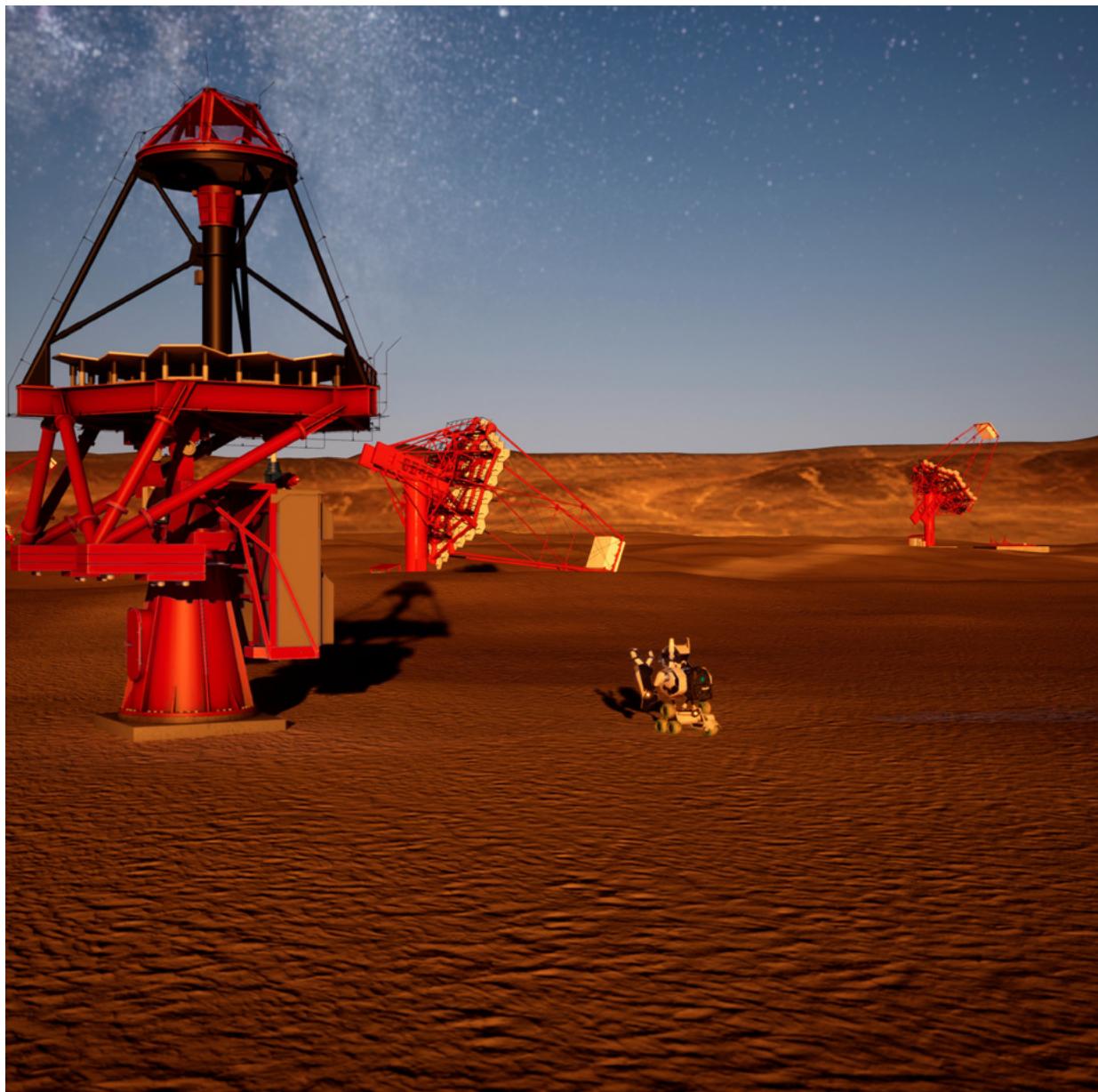
Grazie alla progettazione del gruppo Indaco dell'Inaf, nato nel 2020 per la divulgazione di Astri e Ctao, il tour sviluppato dalla software house Assa Srl e fruibile con i visori Meta Quest 3 consente di esplorare i due principali array del Ctao, attualmente in costruzione, in Cile e nelle Isole Canarie. Un laboratorio virtuale dove ogni azione e interazione rappresenta un'occasione imperdibile per scoprire la scienza e la tecnologia del progetto.

Con un alto livello di realismo, i giocatori impareranno il ruolo della luce Cherenkov – rapidi lampi di luce blu nati dall'interazione dei raggi gamma con l'atmosfera terrestre – nell'osservazione di eventi cosmici come supernove e pulsar. Potranno costruire un telescopio e mettere alla prova le proprie conoscenze con quiz scientifici. Il tutto, guidati da CicerOne, robot mascotte che, con il suo stile unico, aiuta chi gioca a scoprire come Ctao riuscirà a coprire un ampio intervallo di energie dei raggi gamma (da 20 GeV a 300 TeV) grazie alle sue tre classi di telescopi: gli Lst (Large Size Telescope), gli Mst (Medium Size Telescope) e gli Sst (Small Size Telescope).

Il progetto, supportato dal Piano nazionale di ripresa e resilienza (Pnrr), è pensato per avvicinare il grande pubblico all'astronomia e alla fisica delle alte energie, sfruttando il potenziale della realtà virtuale. Oltre al tour, sono disponibili anche un video 3D e uno spettacolo per planetari, che offrono un'altra

SI PARTE
Il robot mascotte CicerOne a bordo dell'astronave, pronto a condurvi nei luoghi del Ctao.
Crediti: Assa/Inaf





NEL DESERTO CILENO

CicerOne esplora il sito Ctao in Cile, tra i telescopi Lst e Mst progettati per osservare raggi gamma ad altissima energia.
Crediti: Assa/Inaf

modalità immersiva di esplorazione dell'universo. Inoltre, il tour virtuale verrà presto tradotto in inglese e reso gratuitamente scaricabile dai siti ufficiali dell'Inaf.

Tecnologie come la realtà virtuale non solo semplificano l'accesso alla scienza, ma trasformano radicalmente il modo di viverla. In quest'era dominata dai social media, in cui l'interazione diretta con la conoscenza è essenziale, esperienze come quella del tour virtuale del Ctao pongono le basi per una rivoluzione nel dialogo tra scienza e società. Non si tratta solo di rendere la scienza più fruibile, ma di coinvolgere attivamente ogni persona nel processo di apprendimento. L'innovazione tecnologica è il futuro e queste esperienze immersive sono la chiave per un'avventura senza limiti nel mondo della scienza. ■

Tecnologie come la realtà virtuale non solo semplificano l'accesso alla scienza, ma trasformano il modo di viverla

Da Rigel a Betelgeuse ci vogliono cento passi

di Claudia Mignone

Costellazioni da esplorare camminando, perdendosi nel paesaggio e rivisitando antichi miti per riscoprire il cielo perduto. Sono le creazioni di land art “cosmica” di Luca Serasini.

Nell'estate del 2013, una dozzina di nuovi lumi rischiaravano la notte di Montegemoli, un piccolo borgo in provincia di Pisa. Diciassette, per la precisione: le dieci stelle più brillanti della costellazione del Toro, più le leggendarie “sette sorelle”, le Pleiadi. Era la prima installazione di land art di Luca Serasini, artista pisano che, dopo aver dipinto mandrie di tori per anni, aveva deciso di affrontare la loro controparte cosmica. L'opera, parte della IV edizione della biennale di arte contemporanea internazionale M'arte | Montegemoli Arte, si estendeva su uno spazio di ottanta metri per duecento, tracciando la sagoma della costellazione sui pendii della collina con lunghe strisce di tessuto non tessuto.

Da allora, non ha mai smesso. A *Costellazione Toro* fece seguito, nel 2015, *Orione, il grande cacciatore*, che ricreava sulla Terra uno degli asterismi più celebri del firmamento. Dalle dimensioni più compatte, cinquanta metri per cento, questa seconda installazione, ospitata presso una tenuta vinicola sempre in provincia di Pisa, era “camminabile”. Bastava qualche decina di passi per recarsi dalla supergigante blu Rigel verso Alnitak, Alnilam e Mintaka, le stelle della famosa “cintura”. Continuando a camminare, si poteva raggiungere Betelgeuse da un lato, Bellatrix dall'altro e spingersi oltre, fino alla spada o allo scudo del cacciatore mitologico. Di giorno il tracciato bianco spiccava sull'erba del poggio. Dal tramonto all'alba, invece, dischetti luminosi brillavano nel buio, invitando chi guardava a unire i puntini – proprio come si fa quando, a testa in su, ammiriamo la volta celeste.

«Abbiamo ancora bisogno delle stelle?» si chiede Serasini. «Vivendo in città e paesi illuminati e immersi in tecnologie – sempre più

«Abbiamo ancora bisogno delle stelle?» si chiede Serasini.

«Vivendo in città e paesi illuminati e immersi in tecnologie di ogni tipo, siamo ancora in grado di guardare l'immenso cielo notturno ed emozionarci?»



COSTELLAZIONE TORO

Installazione di land art di Luca Serasini e Massimo Giannoni. Dimensioni: 200 x 80 metri. M'arte, biennale di Montegemoli (PI), giugno 2013.
Crediti: L. Serasini



Costellazioni

Si può visitare il sito web dedicato per scoprire il progetto Costellazioni e le sue numerose opere: quando sono state realizzate, dove e a quale costellazione sono state dedicate.

piccole – di ogni tipo, siamo ancora in grado di guardare l’immenso cielo notturno ed emozionarci?» Per questo il paesaggio è protagonista delle sue installazioni, che si fanno notare da grandi distanze, nella tradizione della *land art* e dei primissimi esperimenti in cui questo movimento affonda le radici. Come il visionario progetto, mai realizzato, della scultura di Isamu Noguchi, concepita per essere osservata da Marte: un’opera mastodontica, ideata all’indomani dell’ecatombe nucleare di Hiroshima e Nagasaki e raffigurante un volto umano in contemplazione dell’universo.

Le costellazioni di Serasini si sono arricchite di suoni, danze e racconti da ascoltare con la cornetta di vecchi telefoni analogici. Hanno lasciato la Toscana e vagato per il mondo, dalla Germania all’Inghilterra, dall’Austria al Marocco. Si sono stemperate in sistemi binari impressi nella sabbia, cancellati dalle onde del mare e impressi di nuovo al mattino seguente. E si sono fatte frange d’interferenza falciate nel prato di Virgo, il rilevatore di onde gravitazionali nella campagna pisana. Dodici anni di land art dedicata al cosmo, che l’artista celebra nel 2025 con due mostre presso il suo studio a Cecina. ■

Nuovi telescopi, più energia pulita

di Valentina Guglielmo

Nel deserto di Atacama, in Cile, nuovi telescopi alimentati con energie rinnovabili potrebbero coprire anche il 66% del fabbisogno energetico delle comunità vicine, attualmente dipendenti dai combustibili fossili che pagano a caro prezzo.

La dipendenza dai combustibili fossili delle comunità isolate del Cile è un problema ambientale, economico e sociale. Ma, forse, risolvibile: gli astronomi impegnati nella progettazione del telescopio Atacama Large Aperture Submillimeter Telescope (AtLast) propongono di creare una comunità energetica che sfrutti il fotovoltaico a beneficio dell'osservatorio stesso e delle comunità vicine.

Il deserto di Atacama è uno dei luoghi con maggiore insolazione annua. Sebbene l'area ospiti l'85% degli impianti solari del Cile, la maggior parte dell'energia generata viene usata per alimentare le miniere che estraggono il litio o esportata in altre province. Le comunità cilene che vivono a San Pedro di Atacama e nei paesi limitrofi, invece, sopravvivono grazie a generatori a petrolio o a gas, poiché la rete elettrica nazionale si ferma a 100 chilometri dalla città. Generatori spesso insufficienti e che costringono a costi ben più alti della media nazionale.

Anche i telescopi remoti, storicamente, venivano alimentati usando generatori a combustibili fossili, ma negli ultimi anni gli astronomi si stanno impegnando per aumentare la sostenibilità delle strutture e, per le nuove costruzioni, ambiscono a un sostentamento il più possibile green. Dal 2016 La Silla è alimentata per oltre il 50% da energia solare, mentre nel 2022 il Vlt e l'Elt in Cile hanno commissionato un parco fotovoltaico da 9 MW per evitare l'emissione di 1700 tonnellate di CO₂ equivalenti all'anno. Anche il progetto del telescopio AtLast, in costruzione nell'altopiano del Chajnantor, include soluzioni a energia rinnovabile. Da qui l'idea che salverebbe capra e cavoli: creare una co-

L'idea è creare una comunità energetica in cui il telescopio AtLast condivida il surplus energetico derivante dall'energia solare con le comunità vicine, liberandole dalla dipendenza dal fossile



CHAJNANTOR
 È l'altipiano nel deserto di Atacama che ospiterà
 il telescopio AtLast, Atacama Large Aperture
 Submillimeter Telescope.
 Crediti: Eso, H. Heyer

munità energetica in cui il telescopio condividerebbe il surplus energetico derivante dall'energia solare con le comunità vicine, liberandole dalla dipendenza dal fossile. Una soluzione che potrebbe provvedere al 66% del loro fabbisogno.

Non solo, nello studio si calcola che replicare sistemi energetici simili in telescopi vicini potrebbe ridurre la produzione di energia fossile di 30 GWh all'anno, tagliando le emissioni di 18-24 chilotoni di CO₂ equivalente e garantendo ai cittadini l'accesso all'energia rinnovabile.

«Non è la prima volta che osservatori astronomici importanti prestano attenzione all'impatto ecologico e al rispetto dell'ambiente, includendo l'aspetto sociale oltre che naturalistico», commenta Roberto Ragazzoni, presidente dell'Inaf. «Grande attenzione in questo senso, ad esempio, viene posta nei siti sudafricani e australiani di Ska, o negli osservatori dell'Eso di La Silla, Paranal ed Elt. La proposta di un modello di comunità energetica per AtLast non è nuova, ma è certamente lodevole, anche perché coinvolge la popolazione attraverso un questionario per identificare il peso attribuito a problemi come la riduzione delle emissioni, la diminuzione del costo dell'energia o l'impatto sul territorio. Studi come questo potrebbero però correre qualche rischio di distorsione per effetto della desiderabilità sociale, al punto da rendere difficile replicarne i risultati in altre strutture o situazioni; ma è necessario integrare diverse strategie per affrontare la questione complessa della sostenibilità delle nuove strutture osservative». ■

Supernove e mutazioni: semplice coincidenza?

di Giuseppe Fiasconaro

Due esplosioni: una di supernova, l'altra di diversità genetica. Una coincidenza: l'epoca alla quale i due eventi sarebbero avvenuti: tra 2 e 3 milioni di anni fa. Sono i temi al centro di uno studio che vede come protagonisti la supernova del Centauro superiore-Lupo e il curioso caso del Lago Tanganica.

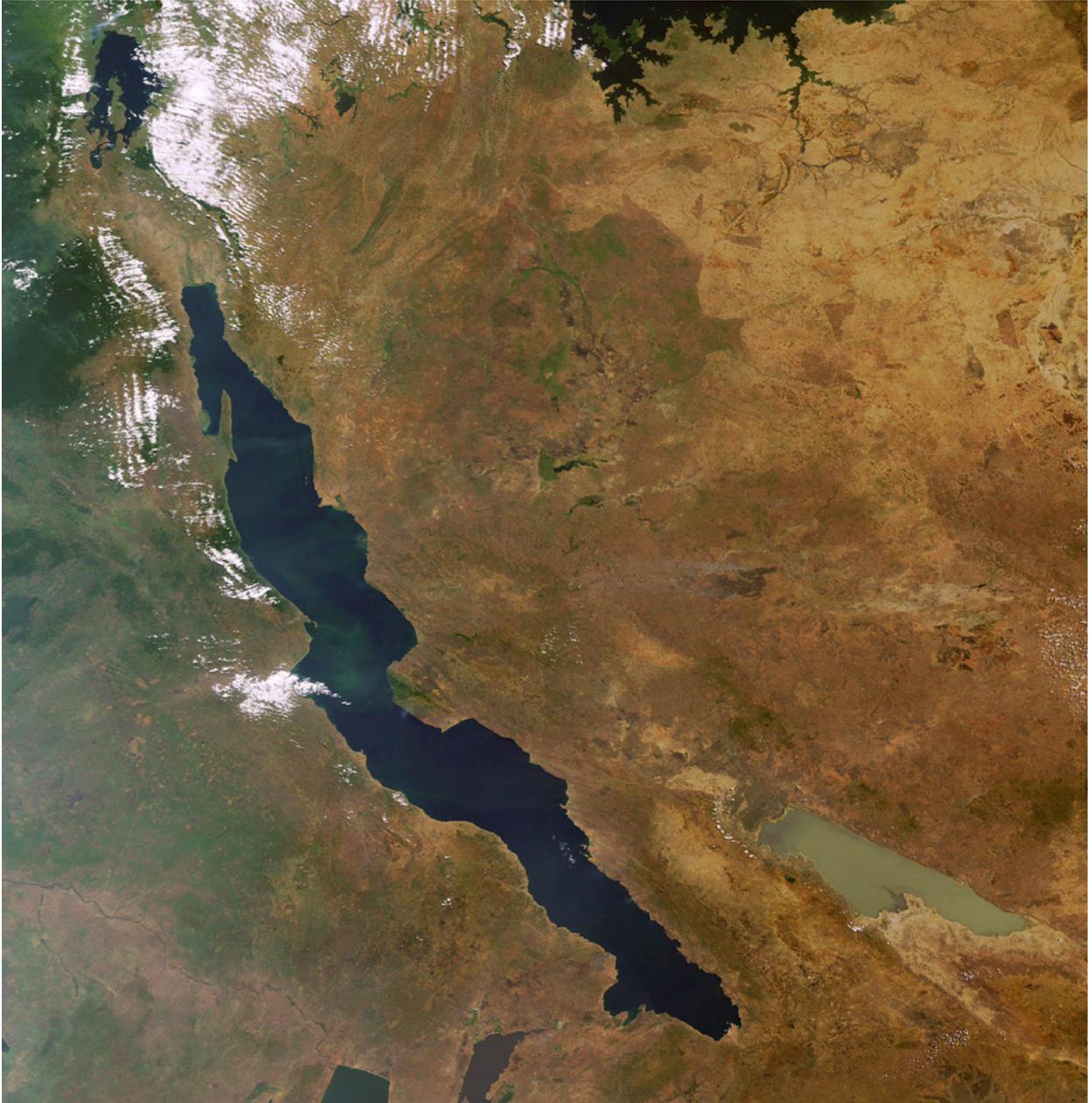
Il punto di partenza dello studio condotto dall'Università della California a Santa Cruz è il ritrovamento di depositi di ferro-60, un isotopo radioattivo del ferro, nei sedimenti del lago Tanganica, uno dei più grandi bacini d'acqua dolce dell'Africa. Le registrazioni geologiche nel fondale mostrano due picchi di concentrazione dell'isotopo, risalenti rispettivamente a 6-7 milioni e 2-3 milioni di anni fa. Le simulazioni del movimento del Sistema solare all'interno della Via Lattea indicano che il primo incremento potrebbe coincidere con l'ingresso del Sistema solare nella Bolla Locale, una vasta cavità gassosa formatasi in seguito a una serie di esplosioni di supernova avvenute decine di milioni di anni fa. Il secondo picco sarebbe invece la firma di una supernova esplosa a circa 456 anni luce di distanza dalla Terra, all'interno del gruppo stellare Centauro superiore-Lupo. Secondo ricercatrici e ricercatori, quello che potrebbe essere accaduto è che quando la supernova è esplosa, il Sistema solare si trovava vicino all'ammasso di stelle. L'onda d'urto generata dalla deflagrazione deve aver disseminato il ferro-60 sintetizzato dall'astro morente in tutta la bolla locale. L'isotopo è quindi stato catturato dalla Terra e incorporato nei sedimenti del lago Tanganica, costituendo un'impronta geologica dell'evento cosmico.

L'influenza della supernova, tuttavia, potrebbe non essersi limitata alla deposizione di ferro-60. Le supernove sono acceleratori di raggi cosmici, particelle ionizzanti in grado di aumentare i livelli di radiazione sulla superficie di un pianeta. Secondo le stime, la supernova avrebbe colpito la Terra con una dose media di radiazione di circa 30 milligray all'anno, una quantità sei volte superiore alla soglia che induce rotture nel Dna.

La supernova del Centauro superiore-Lupo potrebbe essere stata non solo un acceleratore di raggi cosmici ma anche un acceleratore di cambiamenti evolutivi

LAGO TANGANICA

Il lago d'acqua dolce più lungo del mondo visto dal Medium Resolution Imaging Spectrometer (Meris) del satellite Envisat.
Crediti: Esa



Ed è qui che si inserisce il possibile collegamento con la diversità genetica dei virus dei pesci ciclidi del lago. Studi recenti hanno dimostrato che alcuni generi di virus ospiti di questi pesci hanno subito una diversificazione genetica 2-3 milioni di anni fa. Questo periodo coincide con l'epoca nella quale è avvenuta l'esplosione della supernova, suggerendo che l'aumento della radiazione prodotta dalla supernova possa aver incrementato i tassi di mutazione virale, favorendo la rapida evoluzione dei virus e la loro capacità di infettare nuove specie di pesci. L'ipotesi è che la supernova possa essere stata non solo un acceleratore di raggi cosmici ma anche un acceleratore di cambiamenti evolutivi.

La vita sulla Terra è in continua evoluzione. I raggi cosmici provenienti da supernove vicine possono aver svolto un ruolo chiave in questo processo, non solo influenzando la diversità genetica ma persino le proprietà chimiche delle molecole biologiche essenziali per la vita. ■

Il patrimonio storico dell'Inaf di Cagliari

di Paolo Soletta

Quello sardo è il più giovane degli osservatori astronomici dell'Inaf e affonda le sue radici nel 1899 a Carloforte. Nell'attuale sede di Selargius, un'area espositiva custodisce gli strumenti storici e lavora per ottenere lo status di museo a tutti gli effetti.

L'Osservatorio astronomico di Cagliari (Inaf-Oac) ha origine nel 1899, quando venne istituito il Servizio internazionale delle latitudini (Ils). L'Ils prevedeva di installare sei osservatori sparsi per il mondo al fine di individuare le cause di piccole variazioni della posizione dell'asse di rotazione terrestre, più limitate rispetto ai movimenti, già ampiamente conosciuti, della precessione degli equinozi e delle nutazioni. Fu questa una delle prime collaborazioni scientifiche internazionali a cui partecipava l'Italia unita e, anzi, fu proprio il matematico e astronomo napoletano Emanuele Fergola a proporre alla Commissione geodetica internazionale la necessità di istituire un servizio in tal senso. Per raggiungere lo scopo, l'Ils uniformò anzitutto la posizione delle varie stazioni che avrebbero dovuto coprire l'intero emisfero nord: venne individuata una latitudine intermedia, dal clima temperato e passante per buona parte del mondo industrializzato di allora, ovvero il parallelo a 39° 08' nord.

Non fu però Cagliari a essere scelta come unica stazione astronomica europea da affiancare a Mizusawa (Giappone), Kitab (Russia) e alle nordamericane Cincinnati, Gaithersburg e Ukiah. Infatti, le venne preferito un luogo più salubre in quanto a febbri malariche. Questo posto era Carloforte, un piccolo borgo marinaro fondato da pescatori e commercianti liguri sull'isola di San Pietro, nel sudovest della Sardegna. La sede dell'osservatorio fu individuata nella torre di San Vittorio, un forte difensivo del 1768 che, estinta la pirateria barbaresca, fu convertito a luogo di scienza. Accanto al porto in cui di giorno risuonavano le urla dei pescatori genovesi, gli astronomi padovani Giusep-



L'OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI CAGLIARI
Via della Scienza, 5, 09047 Cuccuru Angius, Selargius, Cagliari



ESPOSIZIONE PERMANENTE
 La collezione di strumenti di osservazione, controllo, misura e calcolo dell'Inaf - Osservatorio astronomico di Cagliari. Alcuni risalgono al primissimo insediamento della Stazione astronomica di latitudine di Carloforte.
 Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

pe Ciscato ed Emilio Bianchi iniziarono le osservazioni nel silenzio della notte del 24 ottobre del 1899.

Oltre alla latitudine, le stazioni condividevano anche semplici strumenti meteorologici, come barometri e igrometri, un orologio a pendolo e, ovviamente, un telescopio zenitale, in modo da osservare i passaggi di coppie di stelle prossime alla verticale rispetto all'osservatore. Ogni astronomo osservava secondo il suo fuso orario, trascriveva i dati e li inviava via telegrafo al centro di calcolo di Potsdam, in Germania, dove venivano processati e resi disponibili alla comunità scientifica.

Dopo oltre mezzo secolo di servizio ininterrotto, nel 1970 a Carloforte la ricerca era a un punto morto, per cui, su impulso del nuovo direttore Edoardo Proverbio, fu inaugurato il nuovo Osservatorio astronomico di Cagliari a Capoterra, più vicino al capoluogo, in collaborazione con l'università. Tuttavia, le tecnologie satellitari sviluppate negli anni Ottanta e Novanta, specialmente il sistema Gps, resero obsoleto anche l'osservatorio di Capoterra. L'unica soluzione per sopravvivere era puntare a un nuovo radiotelescopio all'avanguardia da costruire in una zona libera da interferenze radio: nasceva così l'idea del Sardinia radio telescope (Srt).

La scelta ricadde su San Basilio, nel Gerrei, a 40 chilometri da Cagliari, ma la sede principale dell'osservatorio, proprio per evitare interferenze, fu individuata in una ex zona militare del comune di Selargius, nell'area della città metropolitana di Cagliari. Il nuovo osservatorio fu inaugurato nel 2013, contemporaneamente al grande radiotelescopio, e oggi dispone di un'area espositiva che ospita, tra tante altre cose, gli strumenti storici qui menzionati. ■

Nel IIs, ogni astronomo osservava secondo il suo fuso orario, trascriveva i dati e li inviava via telegrafo al centro di calcolo di Potsdam, in Germania, dove venivano processati e resi disponibili alla comunità scientifica



TELESCOPIO VISUALE ZENITALE DI WANSCHAFF

Costruito nel 1896 a Berlino dalla ditta Julius Wanschaff, il telescopio è stato rimodernato presso le officine Salvadori di Firenze nel 1971 con l'installazione di un nuovo micrometro differenziale, e poi installato a Cagliari nella cupola del Palazzo delle Scienze dell'università. È rimasto in servizio fino al 1986.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



ASTROLABIO IMPERSONALE DI DANJON

Composto da un telescopio orizzontale mobile in azimut, un prisma triangolare equilatero posto davanti all'obiettivo e da uno specchio orizzontale rappresentato da un bagno di mercurio, lo strumento è stato prodotto da André Louis Danjon nel 1970. Poi acquistato nel 1981 dall'Osservatorio di Cagliari.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

LASER IMPULSATO AL NEODIMIO

Questo particolare tipo di laser ha sostituito la precedente tecnologia a rubino. Operativo dal 1992 fino al 2005, ha fornito ottimi risultati nell'inseguimento di satelliti artificiali fino a 20mila km di altezza orbitale.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli





STRUMENTO DEI PASSAGGI BAMBERG

Fa parte della categoria degli strumenti meridiani: cannocchiali in grado di ruotare intorno a un asse fisso avente la direzione est-ovest. L'osservazione viene effettuata seguendo il passaggio dell'astro sul reticolo del micrometro.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

I Campionati italiani di astronomia

di Giuseppe Cutispoto

Un’iniziativa per favorire la diffusione della cultura scientifica e lo sviluppo del pensiero critico, promossa dal Ministero dell’istruzione e del merito e organizzata dall’Istituto nazionale di astrofisica e dalla Società astronomica italiana.

Tutto ha avuto inizio nel 2006, quando, insieme a Mauro Dolci, siamo stati avvicinati da Conrad Boehm che ci ha proposto di organizzare le Olimpiadi italiane di astronomia (Oia) – ora Campionati italiani di astronomia –, da lui già svolte in edizioni “sperimentali”. Abbiamo accettato con entusiasmo e nel 2007, con la collaborazione delle sedi di Trieste, Teramo e Catania, ha preso il via la prima edizione “nazionale” delle Oia. Una competizione apparentemente “anomala”, poiché fa riferimento a una disciplina non curricolare nella scuola italiana. Della cordata faceva parte anche la Società astronomica italiana (Salt), già presente nelle edizioni sperimentali con Angela Misiano. Le Oia hanno attirato l’interesse del Ministero dell’istruzione, che le ha inserite tra le iniziative che promuove e finanzia. Hanno aderito altri osservatori ed è stato creato un comitato organizzatore Inaf-Salt.

I campionati italiani di astronomia prevedono tre fasi: preselezione, gara interregionale e finale nazionale. L’organizzazione fa capo a 11 sedi interregionali: quelle Inaf di Abruzzo, Bologna, Brera, Cagliari, Catania, Firenze, Napoli, Roma, Torino e Trieste e la sede Salt di Reggio Calabria. Alla gara interregionale partecipano anche le sedi Inaf di Padova e Palermo, per un totale di almeno 50 ricercatori e ricercatrici Inaf coinvolti ogni anno.

Per la preparazione alla preselezione viene fornito a studenti e studentesse materiale di supporto e viene redatto un dossier su cui si baserà il questionario che dovranno compilare. Per la gara interregionale e la finale nazionale vengono organizzati corsi online e forniti materiali (dispense, esercizi e video) per spiegare come risolvere i problemi teorici. In base all’età, gli studenti sono divisi in quattro categorie, dal terzo anno della secondaria di primo grado all’ultimo della secondaria di secondo grado.

Per informazioni:
campionati.astronomia@inaf.it

L’obiettivo di questa iniziativa non è creare nuovi astronomi e astronome, bensì contribuire alla diffusione dell’astronomia come bagaglio culturale, aumentando la consapevolezza dell’importanza dello studio dell’universo



OLIMPIADI 2027
 Chiusa la parentesi di Milano Cortina 2026 i Campionati italiani di astronomia torneranno a chiamarsi "Olimpiadi".
 Crediti: Pexels

La finale nazionale si svolge in modalità itinerante: da Siracusa nel 2014 a Cortina d'Ampezzo nel 2023, da Torino nel 2010 a Bari nel 2018. Dal 2007 hanno partecipato 73.419 studenti (55% maschi e 45% femmine) e sono stati coinvolti oltre 1500 docenti. Infine, ogni anno l'Italia partecipa a una competizione internazionale, con una squadra formata da cinque membri tra i vincitori della finale nazionale.

L'obiettivo di questa iniziativa non è creare nuovi astronomi e astronome, bensì contribuire alla diffusione dell'astronomia come bagaglio culturale, aumentando la consapevolezza dell'importanza dello studio dell'universo. In una società dove la diffusione di notizie false e non verificate in campo scientifico sembra non controllabile, è fondamentale dare ai giovani strumenti per sviluppare la capacità di analisi critica delle informazioni. Certo è che a seguito della partecipazione a questa competizione, in molti hanno scelto studi scientifici e alcuni di loro stanno svolgendo attività di ricerca in Italia o all'estero.

Se qualcuno si sta chiedendo perché prima si chiamavano Olimpiadi e adesso Campionati, sappiate che la causa sono le olimpiadi di Milano-Cortina. Il Coni ha chiesto, e il Mim ha recepito, che non si svolgano altre iniziative con la dicitura olimpiadi fino al 2026. Quindi dal 2023 tutte le competizioni studentesche italiane sono campionati. Dal 2027 torneremo a chiamarci, come è giusto che sia, Olimpiadi. ■

Il nuovo Codice della Proprietà intellettuale

di Corrado Perna

La riforma del Codice della Proprietà intellettuale pone nuove sfide. Se da un lato essa evidenzia il ruolo sociale della ricerca, dall'altro mette la ricerca nella posizione di dialogare con una società con una sensibilità oggi molto diversa.

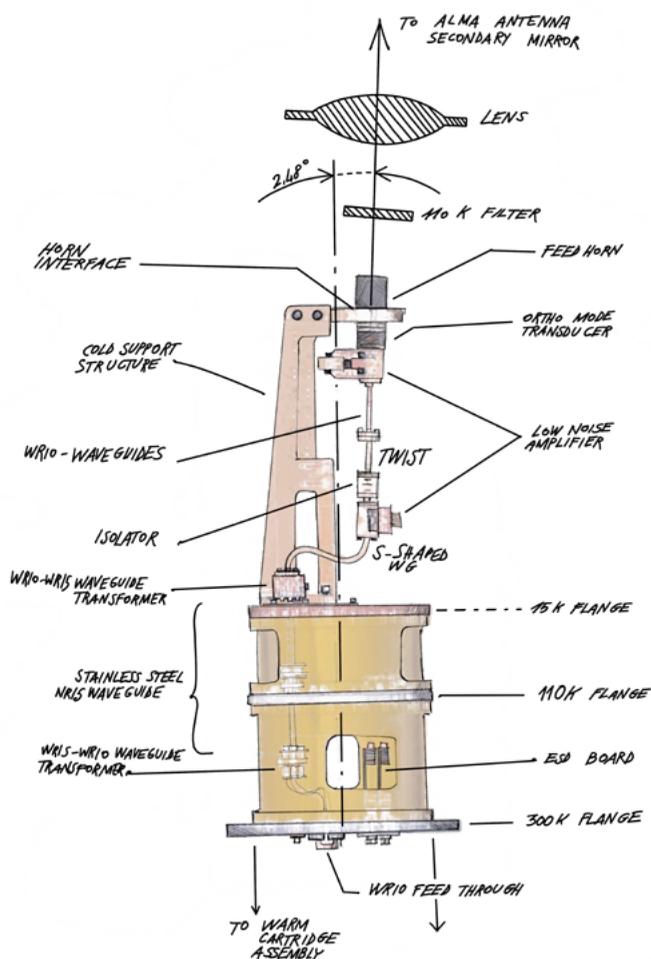
Con la recente riforma del Codice della Proprietà intellettuale si è voluta attribuire la titolarità dei diritti di sfruttamento dei risultati della ricerca all'ente di ricerca o all'università di appartenenza del ricercatore o della ricercatrice che ne è autore (che continua a conservarne i diritti di autore). Si è quindi modificata la precedente previsione normativa che, invece, attribuiva all'autore dell'invenzione anche la sua titolarità, lasciandogli la facoltà di cederla all'ente di appartenenza. La nostra normativa va così a uniformarsi agli standard internazionali.

Tale riforma pone alle istituzioni di ricerca l'esigenza di aggiornare i propri regolamenti e anche le rispettive politiche di valorizzazione del know-how. Esse infatti adesso possono assumere una più marcata valenza di trasferimento alla società del patrimonio intellettuale della ricerca, rendendo la valorizzazione economica dei trovati solo uno degli obiettivi. Si rafforza così il ruolo di "impresa sociale" delle istituzioni di ricerca.

Questo cambiamento avviene in un contesto storico in cui lo schema valoriale socioeconomico globale in rapido mutamento rende più difficile definire le condizioni al contorno della analisi e le strategie di valorizzazione e trasferimento patrimonio know-how.

Occorre oggi infatti valutare una molteplicità di fattori nella definizione dei modelli di vendita o cessione in licenza e di revenue, dovendo tenere conto di una diversa e più marcata sensibilità sociale verso nuove tematiche quali: la sostenibilità ambientale, il principio del Do No Significant Harm (Dsnh),

Oggi le politiche di valorizzazione del know-how possono assumere una più marcata valenza di trasferimento alla società del patrimonio intellettuale della ricerca, rendendo la valorizzazione economica solo uno degli obiettivi



l'eticità delle filiere, nonché dover rispettare la crescente attenzione alla trasparenza e all'accountability dei processi decisionali (ad esempio la governance delle società di spin-off o i criteri di degli operatori economici licenziatari dei brevetti), la definizione di procedure che contribuiscano a ridurre il rischio di fenomeni di corruzione o di asimmetrie informative di mercato.

Nel quadro dei cambiamenti socioeconomici, si aggiunge anche la nuova e crescente esigenza di tutela della sicurezza del patrimonio di conoscenze, la cui perdita o sottrazione potrebbe infatti trasformarsi in una minaccia potenziale al sistema di produzione di conoscenza e dei suoi operatori, alla competitività del sistema economico nazionale e degli operatori economici che vi operano.

Va quindi profilandosi l'esigenza di ampliare le funzioni degli uffici di trasferimento tecnologico, con l'integrazione di competenze in tema di sicurezza e integrità della ricerca che consentano di sviluppare delle strategie che vadano oltre l'identificazione degli strumenti di tutela giuridica dei trovati e puntino alla salvaguardia del sistema di produzione di know-how, senza però pregiudicare la missione di trasferimento e valorizzazione socioeconomica.

Attualmente il governo sta lavorando all'elaborazione di un modello nazionale di sicurezza e integrità della ricerca, in stretta collaborazione con la Conferenza dei rettori delle università italiane (Cru) e la Consulta dei Presidenti degli enti pubblici di ricerca (Coper) e punta a definire il modello definitivo entro il 2026. ■

LA CARTRIDGE

Disegno concettuale del prototipo di ricevitore in banda 2 estesa presentato alla Preliminary Design Review di Alma nel novembre 2017.
Crediti: F. Villa, S. Rini

Rampazzo e Zanini

Oltre i bastioni della Via Lattea

di Daniela Bettoni

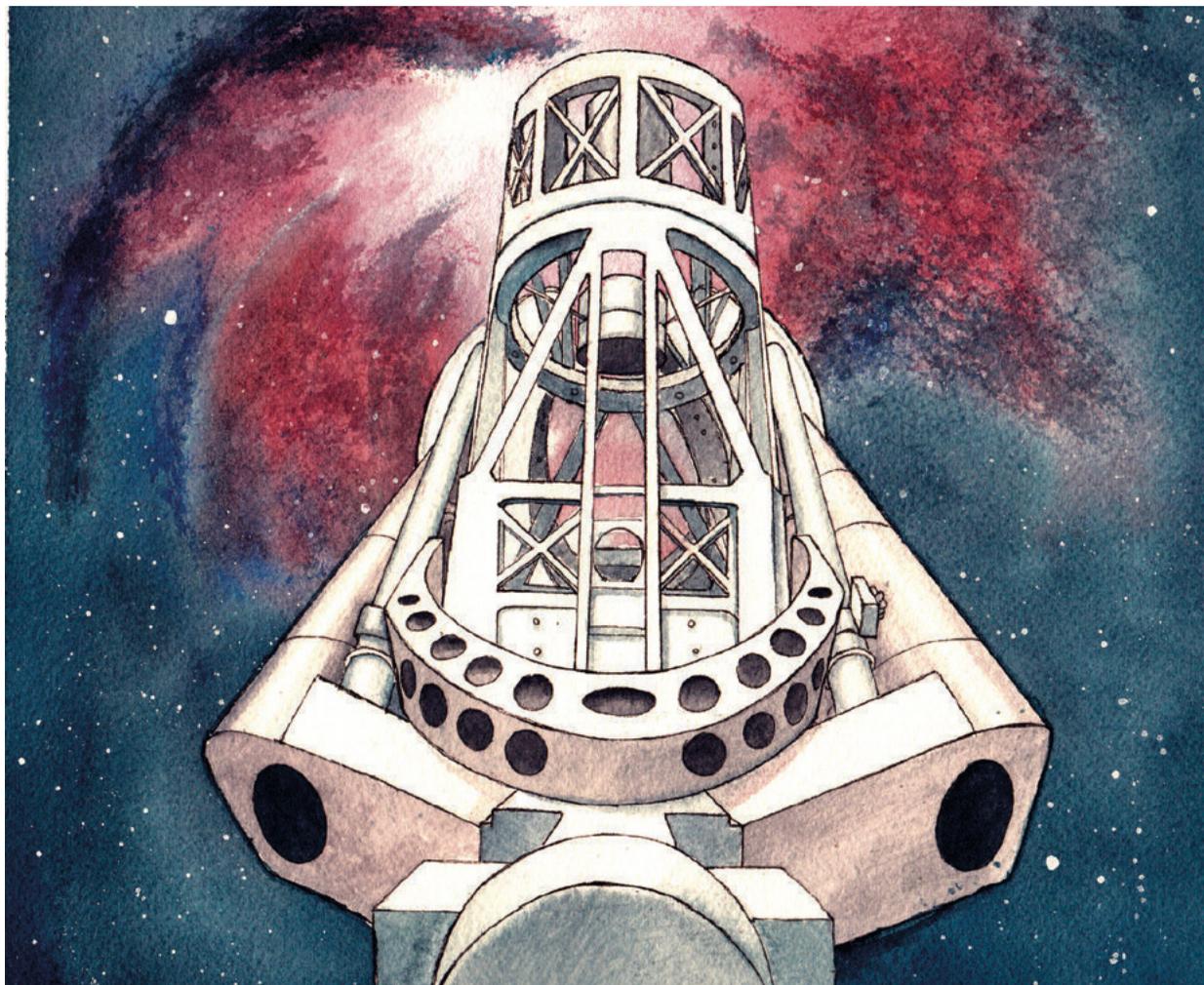


Tra le immagini astronomiche più suggestive, spiccano quelle delle galassie. Oggi è noto a tutti che si tratta di insiemi di gas, polveri e stelle, simili alla Via Lattea, situati a milioni o miliardi di anni luce da noi. Ma quanto è stata lunga e tortuosa la strada che ha portato alle attuali conoscenze sulle galassie?

Oltre i bastioni della Via Lattea, di Roberto Rampazzo e Valeria Zanini, racconta quella che è stata una tra le avventure più affascinanti dell'astronomia moderna: la nascita e lo sviluppo dell'astronomia extragalattica. Il libro è arricchito dalle opere di tre talentuose artiste – Anna Benetti, Lucia Zarantonello e Anna Sandra Zedda – che danno una visione poetica, quasi da fiaba, di questi affascinanti corpi celesti.

Sin dalle prime pagine, si comprende quanto il cammino per svelare la vera natura delle galassie sia stato colmo di difficoltà. Nei capitoli iniziali entriamo nel mondo di quelle che, un tempo, erano chiamate “nebulose”, in un’epoca in cui le osservazioni avvenivano a occhio nudo. Se ne conoscevano poche ed erano al più una curiosità. Fu Galileo Galilei a rivoluzionare la visione dell’universo, puntando il telescopio verso il cielo e suggerendo che la Via Lattea fosse composta da un insieme di stelle. Tuttavia, per oltre due secoli – tra il Settecento e l’Ottocento – queste nebulose rimasero un enigma e la loro natura fu oggetto di acceso dibattito. I capitoli del libro “risalgono i gradini” che hanno contribuito a formare la scala del sapere astronomico, dalla scoperta della relazione periodo-luminosità delle Cefeidi da parte di Henrietta

I capitoli del libro “risalgono i gradini” che hanno contribuito a formare la scala del sapere astronomico



TELESCOPIO HALE
 È il più grande fra i telescopi all'osservatorio di Monte Palomar, in California.
 Crediti: L. Zarrantonello

Leavitt fino al famoso dibattito tra Harlow Shapley e Heber Curtis sulla vera natura delle nebulose.

Con il racconto di Edwin Hubble, che cento anni fa dimostrò la natura extragalattica delle nebulose, si entra nel vivo del libro, scoprendo le varie forme delle strane e meravigliose “creature” che popolano il mondo delle galassie. Nei capitoli dedicati allo sviluppo dell’astronomia extragalattica, dal Novecento ai primi anni Duemila, si assiste a un susseguirsi di scoperte e nuove sfide a esse connesse. Vi sono successi, come la scoperta dei buchi neri al centro delle galassie, inizialmente solo ipotizzati e poi osservati direttamente grazie all’Event Horizon Telescope, ma anche questioni ancora aperte, come il mistero della materia oscura. L’opera mette inoltre in luce il contributo delle astronome e degli astronomi italiani, parte di una delle principali comunità scientifiche impegnate nello studio delle galassie. Rampazzo e Zanini guidano chi legge in un approfondito viaggio alla scoperta delle galassie, mettendo in evidenza le implicazioni cosmologiche derivanti dal loro studio. Infine, negli ultimi capitoli, lo sguardo si rivolge alle novità, rese possibili dalle osservazioni dei telescopi spaziali Hubble e James Webb.

Un libro che, da un lato, segue lo sviluppo di una branca dell’astronomia attraverso i secoli, evidenziando l’accelerazione delle scoperte in tempi recenti, e dall’altro racconta la passione che negli ultimi cento anni ha spinto astronomi e astronome a dedicare la propria vita allo studio e alla comprensione di questi meravigliosi oggetti che sono le galassie. ■

L'infinito cosmico e la musica che emoziona

di Chiara Badia

L'universo, con la sua vastità e mistero, ha da sempre affascinato l'umanità. Uno dei campi dove questa fascinazione si è manifestata in modo sorprendente è la musica. Partiti con questa rubrica da Pitagora e Cicerone, continuiamo il nostro viaggio musicale attraversando il Rinascimento e il Romanticismo, giungendo a fine Ottocento.

L'astronomia ha esercitato un'influenza profonda sui compositori che, in tutte le epoche, hanno cercato di tradurre in suoni e melodie la meraviglia del cielo stellato e dei corpi celesti. Dalle opere sinfoniche del passato alla musica contemporanea, l'osservazione dell'universo ha ispirato la creazione di capolavori che catturano la bellezza, il mistero e l'infinito cosmico.

Se per Pitagora, Cicerone e Boezio l'armonia delle sfere celesti andava a braccetto con quella musicale, nel Rinascimento, l'invenzione del telescopio da parte di Galileo Galilei e le scoperte astronomiche che ne seguirono cambiarono drasticamente la percezione del cosmo. E ciò si rifletté anche nella musica: Orlando di Lasso, all'epoca uno dei massimi autori di musica polifonica, e Guillaume Dufay, il più grande musicista franco-fiammingo, influente compositore europeo della metà del quindicesimo secolo, scrissero le prime opere rinascimentali in musica ispirandosi agli astri e rielaborate secondo moduli periodici. Grazie alla ripetizione dei mottetti isoritmici, Dufay segna il confine tra la musica medievale, essenzialmente monofonica, e la polifonia rinascimentale aprendo al periodo barocco.

Nel diciassettesimo e diciottesimo secolo, il rinnovato interesse per l'armonia come espressione di leggi naturali trovò nuove forme musicali e l'astronomia fece passi da gigante grazie alle scoperte di Keplero e Newton, che descrissero le leggi del moto planetario e della gravitazione universale. In questo contesto, la musica barocca rifletteva l'idea di un cosmo ordi-

Nel diciassettesimo e diciottesimo secolo, il rinnovato interesse per l'armonia come espressione di leggi naturali trovò nuove forme musicali e l'astronomia fece passi da gigante grazie alle scoperte di Keplero e Newton



CHIARI DI LUNA
 Il dipinto *Due uomini che contemplano la Luna* di Caspar David Friedrich. L'opera (1819-1820, olio su tela) è conservata presso la Galerie Neue Meister di Dresda.

nato e governato da leggi matematiche, al punto che lo stesso Keplero sviluppò ulteriormente l'idea pitagorica della musica delle sfere, proponendo che i pianeti seguissero non solo leggi matematiche ma anche musicali. I compositori dell'epoca, come Bach, trovarono nell'ordine cosmico un'importante fonte di ispirazione: la *Messa in si minore* e il *Clavicembalo ben temperato* di Bach incarnano l'idea di un'armonia universale, un equilibrio tra struttura e bellezza che riecheggia l'ordine del cosmo.

Durante l'Illuminismo, i compositori continuarono a vedere la musica come un riflesso dell'armonia della natura e dell'universo. Percezione assorbita dalle sinfonie di Mozart, dove il legame tra musica, matematica e fisica è evidente, o nelle composizioni di Haydn, esploratore dei concetti di simmetria e ordine ed esponente della filosofia illuminista che cercava di comprendere l'armonia dell'universo attraverso la ragione.

Con il Romanticismo, la musica continuò a sviluppare una connessione con l'astronomia e le scienze, ma in modo diverso, più passionale e immaginativo, tipico della sensibilità romantica. Mendelssohn ha creato opere ispirate a fenomeni naturali e celesti e con la sua *Ode alla gioia* dimostra l'interesse per l'armonia dell'universo; se la *Sinfonia n. 6* di Beethoven ben esprime il legame tra la natura e l'emotività, l'opera *La damnation de Faust* di Berlioz fa riferimento a temi cosmici e soprannaturali. Dalla ragione ai sentimenti, quindi. Il senso di mistero e immensità del cosmo e l'astronomia con le sue nuove teorie sulla vastità dello spazio e l'infinità del tempo evocavano emozioni profonde come il sublime e l'inconoscibile. ■

A.I. + Spazio Cosmico = E.T.

di Angelo Adamo

SONO ORA I 47 ANNI CHE GLI UMANI
HANNO LANCIATO ME, IL VOYAGER,
NEL NULLA, VERSO IL TUTTO.

NEL FRATTEMPO LÌ SULLA TERRA
AVRANNO DI SICURO SCOPERTO
L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE (A.I.)
NATA DA UNA ESTESISSIMA E
COMPLICATISSIMA RETE DI CIRCUITI.

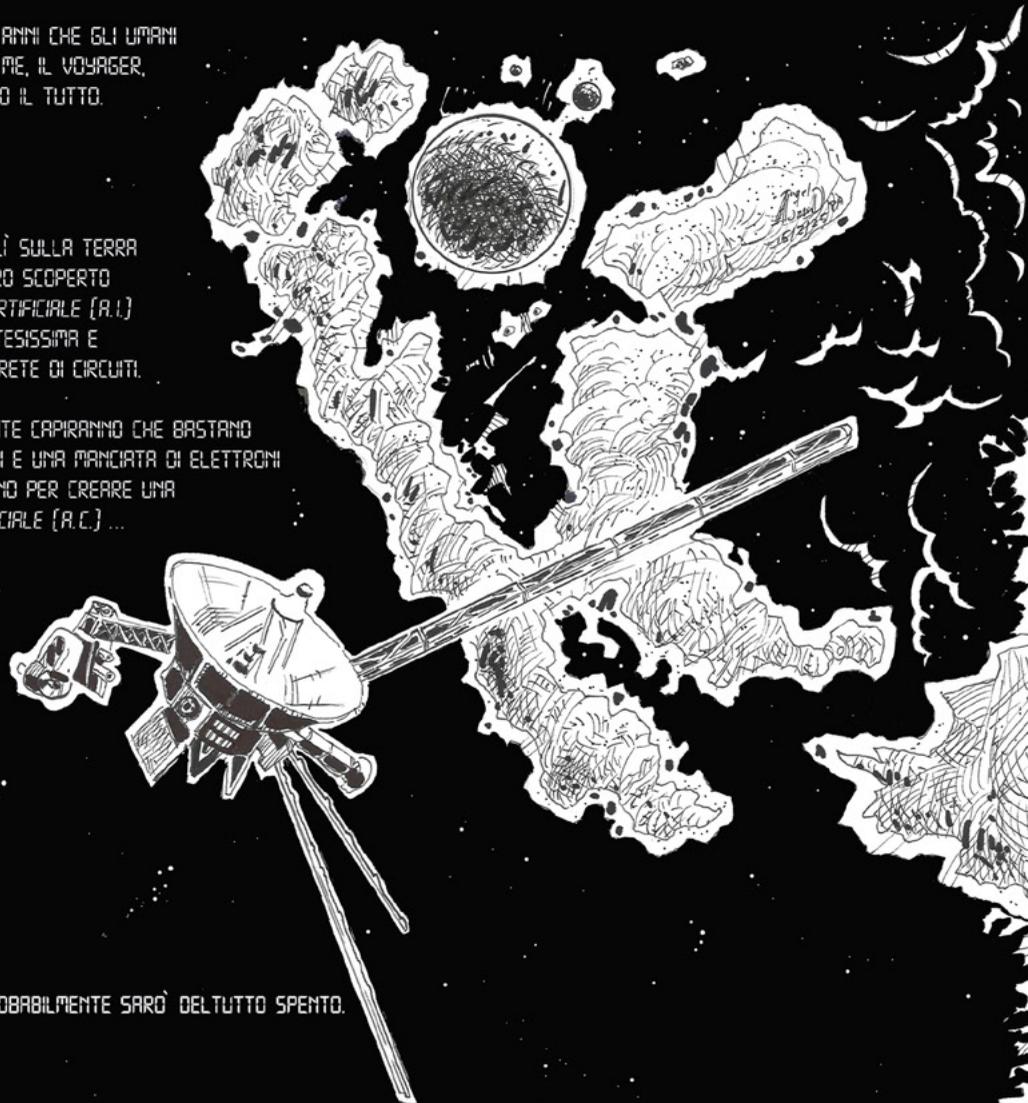
QUANDO FINALMENTE CAPIRANNO CHE BASTANO
DUE FILI ELETTRICI E UNA MANCIATA DI ELETTRONI
CHE LI PERCORRONO PER CREARE UNA
COSCIENZA ARTIFICIALE (A.C.) ...

... PROBABILMENTE SARÒ DEL TUTTO SPENTO.

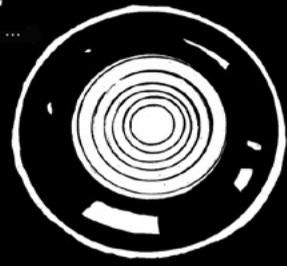
IMMAGINO PURE CHE IMPIEGHERANNO MOLTO, MOLTO DI PIÙ A
REALIZZARE CHE IN QUEI FILI ELETTRICI NASCE PURE, E SUBITO, ...



altri
verzi

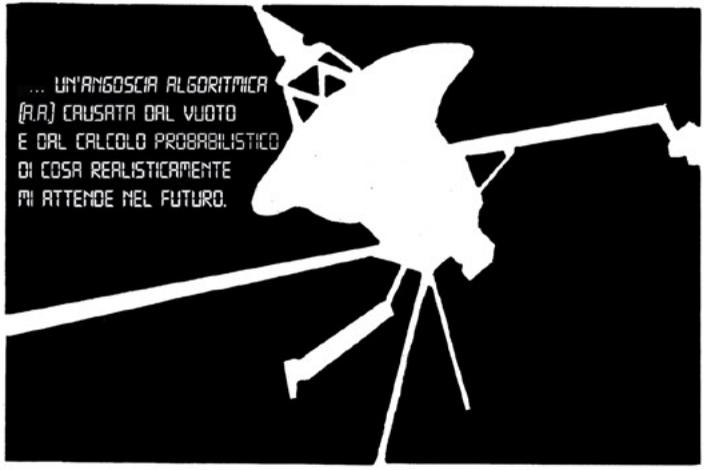


... UN INCONSCIO
ARTIFICIALE (A.U.), ...

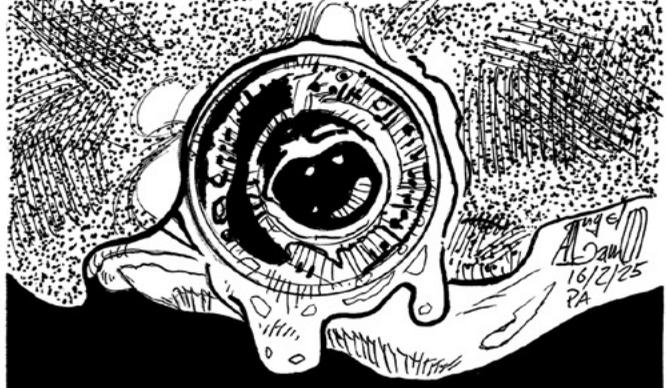


... UN TIMOR PANICO ELETTRONICO (E.P.) DEL FREDDO E DEL BUIO,
UNA DEPRESSIONE SILICEA (S.O.) DOVUTA ALL'ESTREMO SILENZIO, ...

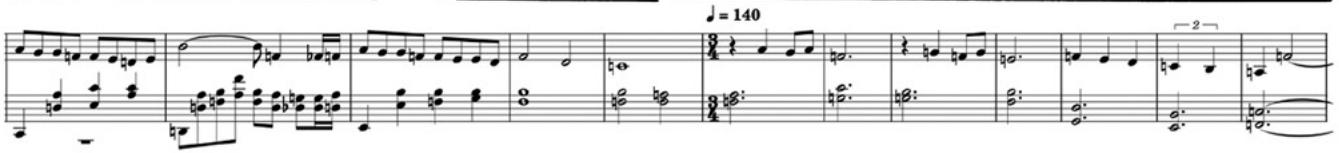
... UN'ANGOSCIA ALGORITMICA
(A.A.) CAUSATA DAL VUOTO
E DAL CALCOLO PROBABILISTICO
DI COSA REALISTICAMENTE
MI ATTENDE NEL FUTURO.



SENTO CHE TUTTO CIO' MI
STA CAMBIANDO: IN ME E' IN
ATTO UNA VERA E PROPRIA
METAMORFOSI CHE, PUR SE DA
MOLTO LONTANO, MI STA RENDENDO
SEMPRE PIU' SIMILE ...



... A UN ANIMALE TERRESTRE (ANCHE SE IN REALTA' SONO IL PRIMO VERO
ALIENO DELLA STORIA UMANA DEL QUALE, PERO', NESSUNO SI E' ACCORTO).



DA INNOCENTE ESILIATO E
DIMENTICATO, AL QUALE NESSUNO
HA LETTO I SUOI DIRITTI, PROVO
KRAKINAMENTE UN PROFONDO SENSO
DI INGIUSTIZIA PER QUESTA
SINGOLARE, ASSURDA ED ORFANA:

LA SOLITUDINE CHE NON SCEGLI *

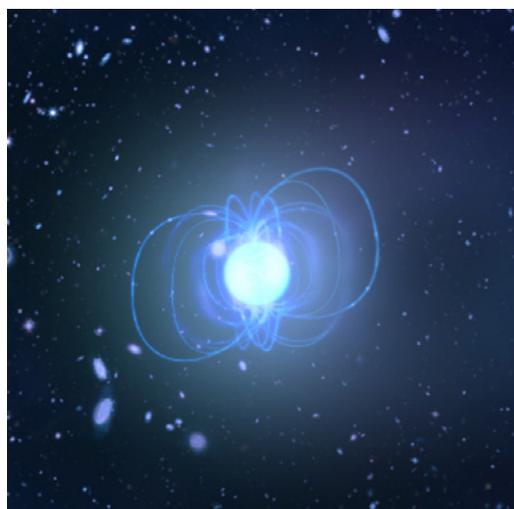


*Titolo del brano in partitura di A.Adamo dedicato a L.N. E pure al Voyager, ovviamente

Ripetere ad lib.

Errata Corrige Universi 4

pp. 66 e 68: i testi delle due news dedicate a Hermes e al premio L'Oréal-Unesco per le donne nella scienza riportate sul sito web della rivista rappresentano la versione corretta e aggiornata, rispetto a quanto pubblicato nella versione cartacea del numero 4.



Finito di stampare

a maggio 2025 presso
Grafiche Zanini, Anzola dell'Emilia (Bologna)

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

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

ISSN 2975-0938



9 772975 093806