

u n i v e r s i



rivista semestrale
dicembre 2024

4
inaf

8 Collisioni fra quasar e galassie viste da Webb **16** A caccia di nane brune e pianeti distrutti
24 Avengers: i vulcani terrestri raccontano Venere **30** L'inaspettata connessione tra esplosioni termonucleari e getti relativistici **38** Il quantum computing all'Inaf **48** Leopardi tra astronomia e poesia **52** Tutti in gita nei luoghi dell'astrofisica

u n i v e r s i



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

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

colophon

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

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

universi.inaf.it

DIRETTORE RESPONSABILE
Maura Sandri

DIRETTORE ARTISTICO
Davide Coero Borgia

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

COMITATO SCIENTIFICO
Roberto Ragazzoni,
Isabella Pagano,
Roberto Gilli, Ilaria Musella,
Maria Elisabetta Palumbo,
Melania Del Santo,
Deborah Busonero

**COORDINAMENTO
REDAZIONALE**
Cecilia Toso

**PROGETTO GRAFICO
E IMPAGINAZIONE**
Chiara Athor Brolli

IMMAGINI
Le immagini senza credito
provengono dall'Archivio
Inaf

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



universi 4

In questo numero

- 8 RSN 1 | GALASSIE E COSMOLOGIA** Collisioni fra quasar e galassie viste da Webb
- 16 RSN 2 | STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE** A caccia di nane brune e pianeti distrutti
- 24 RSN 3 | SOLE E SISTEMA SOLARE** Avengers: i vulcani terrestri raccontano Venere
- 30 RSN 4 | ASTROFISICA RELATIVISTICA E PARTICELLE** L'inaspettata connessione tra esplosioni termonucleari e getti relativistici
- 38 RSN 5 | TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE** Il quantum computing all'Inaf

4

EDITORIALE

Occhi puntati al cielo

8

RSN 1 | Collisioni fra quasar e galassie viste da Webb

16

RSN 2 | A caccia di nane brune e pianeti distrutti

24

RSN 3 | Avengers: i vulcani terrestri raccontano Venere

30

RSN 4 | L'inaspettata connessione tra esplosioni termonucleari e getti relativistici

38

RSN 5 | Il quantum computing all'Inaf

48

INTERVISTA A PIERO BOITANI

Leopardi tra astronomia e poesia

52

INTERVISTA AD ALESSANDRO BOGLIOLO

Tutti in gita nei luoghi dell'astrofisica

56

VISIONE

testi di Davide Coero Borga
scatti di Riccardo Bonuccelli

64

FLASH

di Eleonora Ferroni

70

TECH

Nello spazio di una scatola

di Rossella Spiga

72

INCONTRI

Siamo tutti una tribù astronomica

di Francesca Aloisio

74

METAVERSO

Astro-tamagotchi: accendi la tua stella virtuale

di Laura Leonardi

76

ART

Dalle costellazioni all'attivismo climatico

di Claudia Mignone

78

GREEN

Earthcare, per prendersi cura della Terra

di Valentina Guglielmo

80

ASTROBIOLOGIA

Assaggiare Deimos per comprendere noi stessi

di Giuseppe Fiasconaro

82

MUSEI

Il Museo della Specola di Palermo

di Francesca Martines

86

SCUOLA

Dalla tangenziale ai buchi neri: l'inquiry-based learning

di Stefano Sandrelli

88

SOCIETÀ

Il bilancio sociale dell'Inaf

di Luciano Hinna

90

LIBRI

Paul Murdin *L'Universo*

di Mario Guarcello

92

POP

La musica per capire l'universo

di Chiara Badia

94

ALTRIVERSI

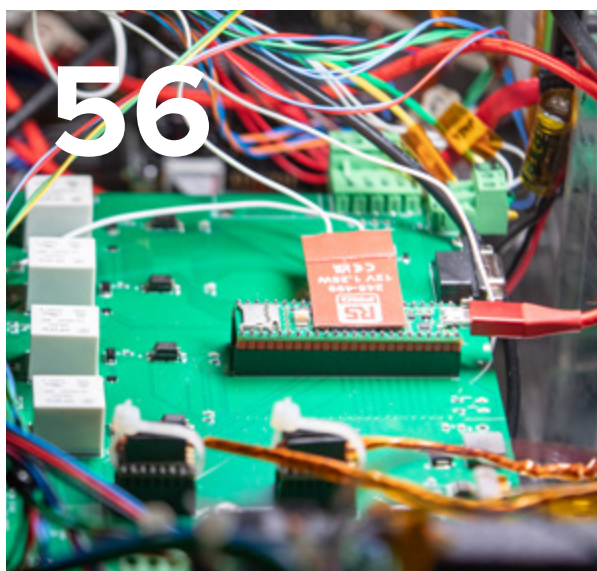
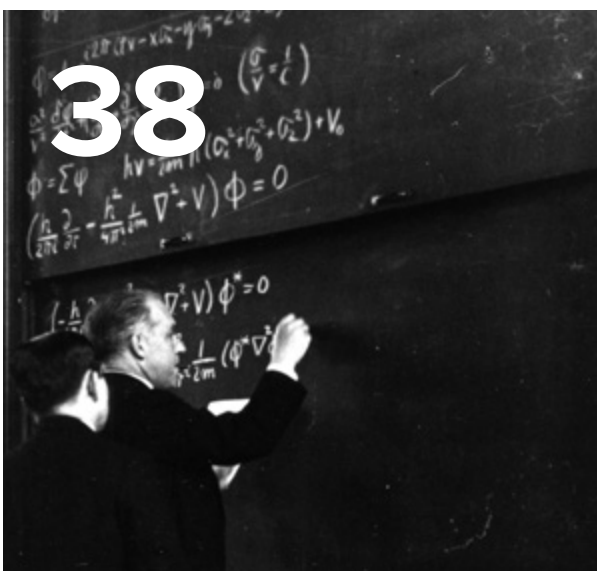
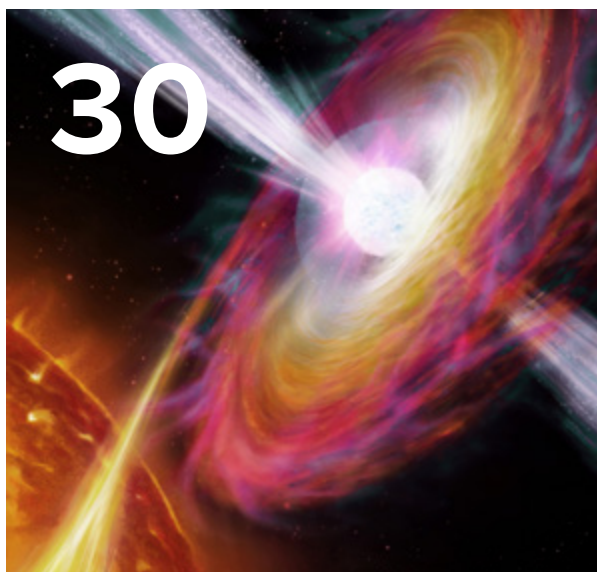
La formula segreta

di Angelo Adamo



in copertina

Il Telescopio nazionale Galileo sulla sommità dell'isola di La Palma, al Roque de Los Muchachos (Canarie), Spagna. Crediti: Inaf/F. Villa





editoriale

OCCHI PUNTATI AL CIELO

Care lettrici e cari lettori, viviamo strani giorni.

Le straordinarie immagini che arrivano dal cosmo, dal James Webb Space Telescope, da Euclid, dalla Stazione spaziale internazionale, da tante altre missioni spaziali e dai telescopi sparsi nel globo, stridono in modo drammatico con le notizie che giungono dalle troppe guerre che insanguinano il nostro pallido puntino azzurro. «Da quassù la terra è bellissima, senza frontiere né confini» avrebbe detto il primo uomo nello spazio, Jurij Gagarin. L'attribuzione della frase non è certa, ma queste parole parlano ancora al cuore di ognuno di noi.

Peraltro non c'è bisogno di volare in orbita per comprendere quanto molte delle frontiere siano dettate da "ragioni" (le virgolette mi sembra d'obbligo) che subiscono l'onta e la miseria della forza brutta della guerra. Collaborazioni scientifiche animate da persone desiderose di guardare oltre il confine del nostro pianeta vengono interrotte bruscamente.

Da studioso del cosmo, guardare lontano nel tempo e nello spazio mi ha messo in modo spietato di fronte al miracolo di essere su un minuscolo (e ancora non sappiamo quanto particolare) pianeta che orbita assieme

al Sole alla periferia di una delle tante galassie che albergano l'universo. Le missioni possono essere riprogrammate, i progetti rivisti, le attrezzature rimpiazzate. Le vite umane che vengono spazzate via da bombe mai davvero intelligenti vengono perse per sempre, e con loro un pezzo della nostra umanità. In giorni come quelli che viviamo è forse come non mai indispensabile alzare lo sguardo al cielo.

Al cielo gli uomini hanno guardato fin dagli albori dell'umanità in cerca di conforto; là hanno trovato una guida, un ritmo, la certezza dei moti degli astri e delle stagioni. Guardiamo al cielo per portare i nostri occhi oltre le miserie dell'oggi, senza che questo voglia dire ignorarle, e continuiamo a fare quello che facciamo da sempre: cerchiamo le stelle per orientarci, cerchiamo la luce nel buio. Restiamo umani.

In questo numero di *Universi* potrete scoprire come il Jwst ha catturato la drammatica fusione tra quasar e galassie, o dato la caccia a nane bianche e pianeti distrutti. Vi porteremo sull'Etna per studiare i segreti del vulcanismo su Venere. Parleremo di esplosioni termoneucleari e getti relativistici, ma anche dei vantaggi che offre il quantum computing.

Desidero approfittare di questo spazio per augurare buon lavoro a Isabella Pagano, nuova Direttrice scientifica dell'Inaf. La qualità del suo lavoro e il contributo che potrà dare al nostro ente sono evidenti, il suo grande valore umano sarà un valore aggiunto di inestimabile importanza. Ringrazio il Direttore scientifico uscente, Filippo Maria Zerbi, per aver dato disponibilità a continuare a mettere la sua straordinaria competenza al servizio dell'Inaf: una risorsa preziosa che sarà fondamentale per la gestione dei grandi progetti internazionali in cui il nostro istituto è coinvolto. ■

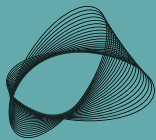
Roberto Ragazzoni
Presidente dell'Inaf



In questo numero, con la rubrica *Visione* andiamo all'Osservatorio astrofisico di Torino

RSN

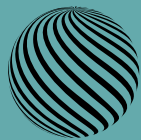
I RAGGRUPPAMENTI SCIENTIFICI
NAZIONALI DELL'INAF



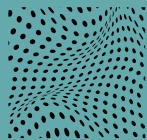
**GALASSIE
E COSMOLOGIA**



**STELLE,
POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE**



**SOLE E SISTEMA
SOLARE**



**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**



**TECNOLOGIE
AVANZATE E
STRUMENTAZIONE**





Collisioni fra quasar e galassie viste da Webb

di Roberto Decarli e Federica Loiacono

Grazie ai potenti strumenti Alma, Jwst e Hubble oggi siamo più vicini che mai a studiare i quasar e le loro interazioni con le galassie avvenute un miliardo di anni dopo il big bang. E studiare le evoluzioni del gas primordiale ci permette di comprendere meglio la formazione stellare.



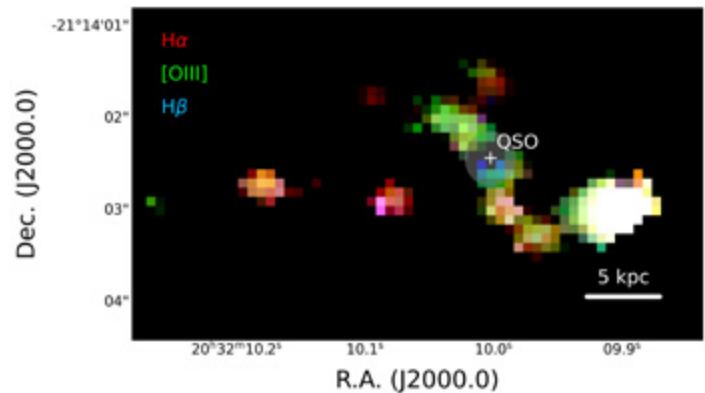
N

Nel primo miliardo di anni dopo il big bang, l'universo si popola rapidamente di buchi neri di enorme massa, fino ad alcuni miliardi di volte quella del Sole. Affinché questa tumultuosa crescita avvenga servono processi astrofisici in grado di convogliare efficientemente enormi quantità di gas nelle regioni centrali delle galassie, dove i buchi neri risiedono. Il gas che precipita sui buchi neri rilascia energia, diventando luminosissimo: nei casi più estremi può superare la luminosità dell'intera galassia ospite, dando origine a un fenomeno chiamato quasar. I modelli concordano che questo sia possibile solo al centro di alcune delle regioni più dense dell'universo giovane, dove le galassie accrescono gas freddo e galassie satelliti. Per anni però a questa teoria mancava una conferma osservativa. Si è dovuto attendere l'avvento dell'Atacama Large Millimeter Array (Alma) per ottenere, nel 2017, le prime conferme spettroscopiche di galassie compagne di quasar osservati nel primo miliardo di anni di vita dell'universo. Il lancio del telescopio spaziale James Webb (Jwst) nel Natale 2021 ha successivamente consentito di passare dalle prime detezioni sparse a studi statistici degli ambienti dei quasar all'alba cosmica, e alla caratterizzazione delle prime galassie.

PERCHÉ PROPRIO QUESTO QUASAR?

Noi ci siamo concentrati in particolare sullo studio di un quasar, chiamato PJ308-21, la cui luce ha viaggiato per tredici miliardi di anni prima di giungere a noi. Nel 2017, osservandolo con Alma, ci siamo accorti che

il gas freddo nelle vicinanze del quasar presentava una morfologia irregolare, che abbiamo deciso di investigare ricorrendo a nuove osservazioni Alma, stavolta con una risoluzione spaziale superiore. I dati del potente interferometro rivelano chiaramente che c'è gas freddo in corrispondenza della galassia che ospita il quasar, ma anche nei dintorni. L'emissione ulteriore è concentrata in due regioni, che si trovano rispettivamente a ovest e a est del quasar. Utilizzando le immagini del telescopio spaziale Hubble, sensibile alla luce stellare, abbiamo notato che il gas non era sparso casualmente attorno al quasar, ma si trovava in regioni ricche di stelle. Questa è la prova che PJ308-21 non è un oggetto isolato, ma si trova in compagnia di due galassie satelliti. Questo fatto lo rende un ottimo candidato per studiare le



tumultuose interazioni che avvengono tra quasar e galassie un miliardo di anni dopo il big bang. Quale migliore oggetto di studio allora per sfruttare le prodigiose capacità di NirSpec (Near Infrared Spectrograph), uno degli strumenti a bordo del telescopio spaziale James Webb?

I DATI DI WEBB

I dati sono arrivati a settembre 2022 nell'ambito del Programma 1554, uno dei nove progetti a guida italiana del primo ciclo osservativo di Jwst, un anno prima rispetto a quanto originariamente programmato. A quel tempo la *pipeline* ufficiale, ovvero il software

IL QUASAR E LE DUE GALASSIE

Mapa a falsi colori: il rosso indica l'oscuramento da parte del gas ricco di metalli, mentre il verde suggerisce il prevalere di condizioni di forte ionizzazione dovute al gas illuminato dal quasar. Crediti: R. Decarli et al.

IL QUASAR E IL JWST

Lo scatto, composto da quattro immagini a banda stretta realizzate dallo strumento NIRSpec a bordo di Webb, ci mostra il quasar Sdss J165202.64+172852.3 a 11,5 miliardi di anni luce.

Crediti: Esa/Webb, Nasa & Csa, D. Wylezalek, A. Vayner e il Q3D Team

I dati di Alma rivelano che c'è gas freddo nella galassia che ospita il quasar, ma anche nei dintorni, in corrispondenza di regioni ricche di stelle. Questa è la prova che PJ308-21 non è un oggetto isolato, ma si trova in compagnia di due galassie satelliti

necessario per processare i dati di Webb e renderli analizzabili scientificamente, si trovava ancora in una fase iniziale di sviluppo. Quella che viene detta in gergo “riduzione dei dati” – ovvero quell’insieme di operazioni necessarie per trasformare il dato grezzo, osservato dal telescopio e contaminato da segnali spuri di diversa origine, in un dato che sia affidabile per la misura di quantità fisiche – ci ha dato non poco filo da torcere. Bisogna sempre tenere a mente che Webb, per quanto sia uno strumento straordinario, è esposto a fenomeni di varia natura, come l’impatto con i raggi cosmici, o a difetti nella risposta dei pixel nei rivelatori che contami-

nano il segnale emesso dalle sorgenti astrofisiche che vogliamo studiare. È stato necessario scrivere dei codici che ripulissero i dati da queste problematiche, prima che venissero implementati nella *pipeline* ufficiale sviluppata dallo Space Telescope Science Institute di Baltimora. Per osservare l’interazione del quasar con le galassie satelliti abbiamo impiegato NirSpec nella modalità a campo integrale, particolarmente efficace quando si vogliono studiare degli oggetti estesi, con una morfologia complessa, come nel nostro caso. Ottenuti finalmente i dati calibrati, ci siamo concentrati su due aspetti: lo studio del quasar e lo studio del *merger*, ovvero



l'interazione che vede coinvolte la galassia che ospita il quasar e le due galassie satelliti.

IL BUCO NERO CENTRALE

Un aspetto cruciale che riguarda lo studio dei quasar lontani è senza dubbio la stima della massa dei buchi neri supermassicci

che caratterizzano queste sorgenti altamente energetiche. Non è chiaro quali siano stati i "semi" da cui si sono sviluppati i primi buchi neri e i modelli teorici propongono scenari diversi in questo senso. Qualunque sia il meccanismo, certo è che deve essere in grado di spiegare le masse poderose

NELL'UNIVERSO PRIMORDIALE

Un'illustrazione di Ulas J1120+0641, un quasar molto distante alimentato da un buco nero con una massa due miliardi di volte quella del Sole.

Crediti: Eso/M. Kornmesser



SULL'ALTOPIANO DI CHAJNANTOR
Le 66 antenne dell'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) nel Cile settentrionale, sotto una spolverata di neve.
Crediti: Eso/Naoj/Nrao



dei buchi neri che si osservano appena un miliardo d'anni dopo il big bang. In questo senso, disporre di stime affidabili della massa dei buchi neri diventa cruciale. La riga dell' $H\beta$, emessa dall'idrogeno ionizzato che orbita forsennatamente attorno al disco di accrescimento che alimenta il buco nero, è il tracciante principe per stimare la massa dei buchi neri supermassicci. Il problema è che, prima del lancio di Webb, questa riga non era osservabile per oggetti distanti come PJ308-21, in quanto a causa dell'espansione dell'universo finiva in una regione dello spettro elettromagnetico particolarmente ardua da osservare per i telescopi sulla terra. Grazie ai dati di NirSpec, abbiamo ottenuto una delle prime stime della massa di un buco nero all'alba cosmica utilizzando l' $H\beta$. La qualità straordinaria dei dati di NirSpec (lo spettro del quasar ha un'incertezza inferiore all'1 per cento per pixel) ci ha consentito di effettuare una stima solida di questa quantità. La massa del buco nero di PJ308-21 si è rivelata notevole, quasi tre miliardi di volte quella del Sole, ed è consistente con quella ottenuta qualche anno fa con lo spettrografo X-shooter, montato sul Very Large Telescope in Cile, adoperando una riga del magnesio. Valori simili sono stati trovati anche per altri quasar di quell'epoca cosmica che

I semi da cui si sono sviluppati i primi buchi neri erano già molto massicci oppure hanno sperimentato un accrescimento di materiale estremamente rapido, più di quanto si pensasse in passato

dunque nulla hanno da invidiare in quanto a dimensioni a molti dei buchi neri che popolano l'universo oggi. Questo suggerisce che i semi da cui si sono sviluppati i primi buchi neri fossero già in partenza molto massicci o che abbiano sperimentato un accrescimento di materiale estremamente rapido, più di quanto si pensasse in passato.

LE GALASSIE DEL SISTEMA

I dati di spettroscopia di campo ottenuti con NirSpec consentono simultaneamente lo studio di tutte le componenti del sistema di PJ308-21. Gli elementi chimici presenti nel gas rilasciano energia sotto forma di righe di

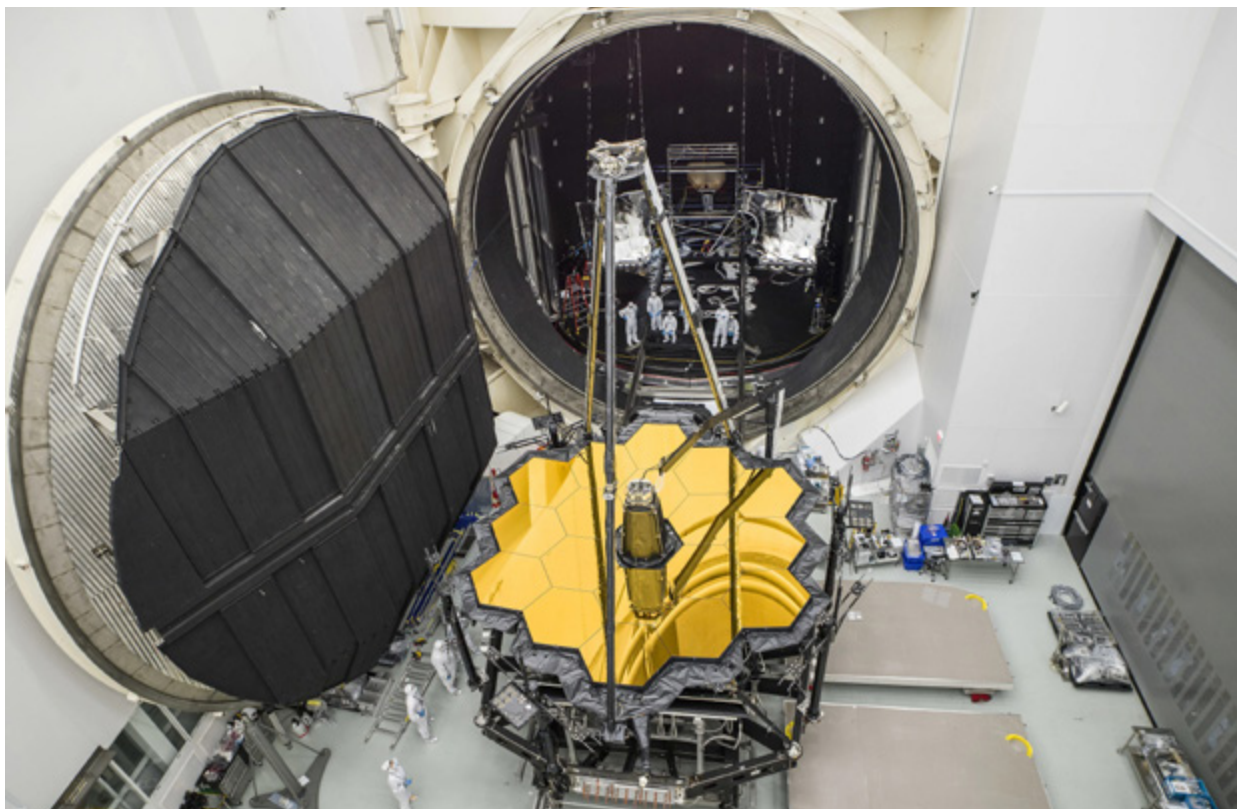


emissione, la cui caratterizzazione consente di capire quali sono le proprietà del gas: temperatura, densità, grado di ionizzazione, ricchezza di elementi più pesanti di idrogeno ed elio (chiamati generalmente metalli). I metalli vengono sintetizzati dalla fusione nucleare che alimenta le stelle e vengono poi dispersi nel mezzo interstellare attraverso venti ed esplosioni di supernove. L'abbondanza di metalli ci racconta dunque la storia di formazione stellare delle galassie. La nostra analisi ha mostrato che la galassia che ospita il quasar PJ308-21 ha un'alta metallicità e le condizioni di ionizzazione sono dettate dalla luminosissima regione attorno al buco nero in accrescimento. Una delle galassie satelliti, invece, presenta una metallicità pari a circa il 40 per cento di quella che si osserva nella nostra galassia, vicino al Sole; la ionizzazione in questo caso è indotta dalla formazione stellare, e si esclude la presenza di un secondo buco nero mas-

sivo in accrescimento. La seconda galassia satellite, infine, è caratterizzata da una metallicità prossima a quella solare; il gas viene ionizzato, almeno in parte, dal vicino quasar. Questo lavoro dimostra che le galassie satelliti di PJ308-21 sono effettivamente due distinte sorgenti e che tutte le galassie coinvolte nel sistema sono già molto evolute in termini di massa e di arricchimento metallico, e in costante crescita.

PROSPETTIVE FUTURE

L'impatto del telescopio spaziale James Webb nella nostra comprensione dell'universo nella sua infanzia è evidente: fino a un paio di anni fa, dati sull'arricchimento dei metalli (indispensabile per ricostruire l'evoluzione chimica delle galassie) o sulle condizioni fisiche del gas erano quasi al di là della nostra portata, a queste distanze. Ora, invece, possiamo mappare in dettaglio con poche ore di integrazione anche galassie osservate



WEBB NELLA RAGNATELA COSMICA

Grazie a Jwst (qui sopra nella camera A del Johnson Space Center, prima del lancio) gli astronomi hanno scoperto una disposizione filiforme di 10 galassie ad appena 830 milioni di anni dal big bang (nella pagina accanto).

Crediti: C. Gunn/Nasa, Esa, Csa, F. Wang (Univ. Arizona)

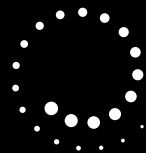
L'impatto del telescopio spaziale James Webb nella nostra comprensione dell'universo è evidente: ora possiamo mappare in dettaglio con poche ore di integrazione anche galassie osservate quando l'universo era agli albori

quando l'universo era agli albori. Con osservazioni di questo tipo, coadiuvate da studi condotti con Alma e altri telescopi da terra, possiamo ora seguire il cosiddetto ciclo dei barioni, ovvero la sequenza con cui il gas primordiale sparso nell'universo viene inglobato nelle prime galassie, si raffredda, si frammenta e si trasforma in stelle; come queste restituiscono parte del materiale che le compone, arricchito questa volta di metalli, attra-

verso venti e drammatiche esplosioni di supernova; come questo materiale eiettato nel mezzo circumgalattico possa poi tornare a precipitare sulle galassie, contribuendo a un nuovo ciclo di formazione stellare. In tal senso, abbiamo riscontrato per PJ308-21 la presenza di gas ionizzato espulso dalla galassia che ospita il quasar e che stiamo attualmente analizzando. L'espulsione di materiale può avere effetti drammatici sull'attività di formazione stellare di una galassia in quanto, se il gas non viene ricatturato, può ridurre il combustibile necessario per formare nuovi astri. Tali espulsioni di gas non sembrano essere un fatto isolato per i quasar a quell'epoca. Al momento stiamo collaborando con Emanuele Paolo Farina del Gemini Observatory, principal investigator di due nuovi programmi realizzati col telescopio Webb che hanno osservato decine di quasar simili a PJ308-21. La cosa interessante è che queste espulsioni di gas ionizzato potrebbero essere inaspettatamente comuni nei quasar distanti. Grazie a questi nuovi dati potremo dunque passare dallo studio di una singola sorgente a un campione statistico, che ci consentirà di comprendere meglio il ciclo dei barioni all'alba cosmica. ■

A caccia di nane brune e pianeti distrutti

di Luigi Bedin



STELLE, POPOLAZIONI
STELLARI E MEZZO
INTERSTELLARE

Un progetto a guida Inaf ha ottenuto le immagini dei due ammassi globulari più vicini a noi, scattate dal telescopio spaziale James Webb. Queste osservazioni hanno permesso di sondare gli oggetti più deboli mai osservati negli ammassi stellari: nane bianche e nane brune.





Il telescopio spaziale James Webb (Jwst) delle agenzie spaziali Nasa, Esa e Csa ci ha regalato nuove immagini mozzafiato del nostro vicinato galattico. Un gruppo di ricerca di cui faccio parte, guidato dall'Istituto nazionale di astrofisica, ha sfruttato le enormi potenzialità di Jwst per osservare, per la prima volta nell'infrarosso, l'intera sequenza di raffreddamento delle nane bianche in un vicino ammasso globulare, rivelando un eccesso di emissione infrarossa, potenziale indizio di antichi sistemi planetari distrutti.

OSSERVARE LE NANE BIANCHE

La maggior parte delle stelle, soprattutto quelle di massa simile al Sole (da 8 fino a 0,07-0,08 masse solari), terminano la loro evoluzione come nane bianche, cosa che alla nostra stella madre accadrà fra circa cinque miliardi di anni. Dopo aver esaurito il "combustibile" stellare (idrogeno ed elio), questi oggetti non sono in grado di innescare reazioni termonucleari e collassano sotto il proprio peso, raffreddandosi fino al loro definitivo spegnimento e perdendo lo strato più esterno della loro atmosfera.

I dati utilizzati nella survey, estrapolati dall'archivio ventennale di Hubble e da recenti osservazioni con il telescopio spaziale Webb, ci hanno permesso non solo di determinare con il loro moto proprio l'appartenenza all'ammasso, ma anche di sondare le proprietà fondamentali delle nane bianche e di cercare indizi della possibile esistenza di antichi sistemi planetari attorno a esse. Le osservazioni in infrarosso delle nane bianche ci hanno permesso di ricavare informa-

zioni preziose sulle proprietà delle loro dense atmosfere di idrogeno. Dai dati si evince, inaspettatamente, un numero sorprendente di nane bianche con un relativo eccesso di emissione infrarossa. I risultati andranno confermati, ma lasciano intendere che queste nane bianche presentano le tracce di antichi sistemi planetari ormai estinti.

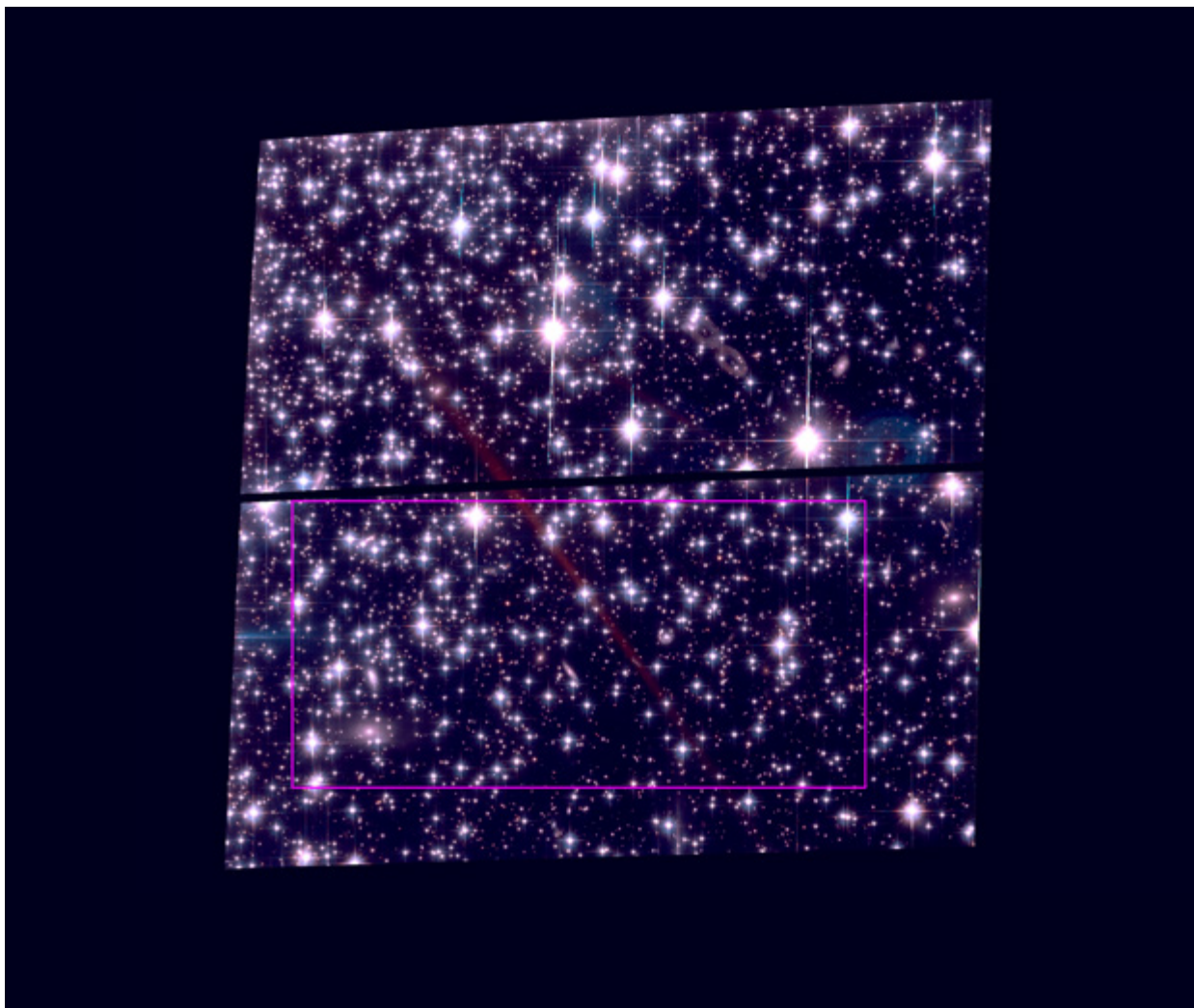
In diverse nane bianche sono state riscontrate anomalie nella distribuzione spettrale dell'energia. In particolare, gli eccessi di emissione nella banda di radiazione infrarossa possono essere dovuti a compagni di taglia sub-stellare o a residui di sistemi planetari distrutti durante l'evoluzione della stella da nana a gigante (prima di finire la fase di gigante e terminare la sua evoluzione come nana bianca). Accade infatti che, terminato l'idrogeno, il nucleo della stella collassa e si riscalda, mentre gli strati esterni si espandono enormemente, rendendo la stella molto più grande di prima. Talmente grande che il "guscio" della stella può finire per inglobare i pianeti più interni del sistema.

Le osservazioni si riferiscono al vicino ammasso globulare Ngc 6397, un oggetto abbastanza luminoso e visibile anche a occhio nudo in direzione della costellazione dell'Altare, a 7200 anni luce dal Sole. La survey con Jwst – che ho guidato personalmente, insieme ai colleghi – prevede l'osservazione di stelle intrinsecamente deboli e poco luminose, quindi la vicinanza alla sorgente è fondamentale, anche se si utilizza lo strumento operativo nell'infrarosso attualmente più potente in orbita. In questo ammasso abbiamo osservato circa il 20 per

La maggior parte delle stelle, soprattutto quelle di massa simile al Sole, terminano la loro evoluzione come nane bianche, cosa che alla nostra stella madre accadrà fra circa cinque miliardi di anni

VISTO DA WEBB

Alla pagina precedente: immagine somma in tre colori dell'ammasso globulare Ngc 6397, studiato con la camera NIRCcam al fuoco del James Webb Space Telescope. Crediti: Nasa/Esa/Csa/Jwst/Inaf, L.R. Bedin et al.



VISTO DA HST
Immagine somma in tre colori dell'ammasso globulare Ngc 6397, studiato con la camera Acs/Wfc al fuoco di Hubble Space Telescope.
Crediti: Nasa/Esa

cento di nane bianche con questo eccesso infrarosso, mentre nel campo galattico solo poche sorgenti mostrano un tale anomalo alto flusso nell'infrarosso.

Abbiamo in programma una seconda campagna osservativa con la camera/spettrografo Miri del James Webb, uno strumento che – osservando nel medio infrarosso – riesce a caratterizzare l'energia emessa dalle nane bianche con eccesso di infrarosso, discriminando fra la presenza di compagni sub-stellari, dischi di sistemi planetari estinti, residui della fase di gigante rossa. Queste nuove osservazioni che mapperanno lo spettro fra 2 e 20 micron ci permetteranno di risolvere il mistero.

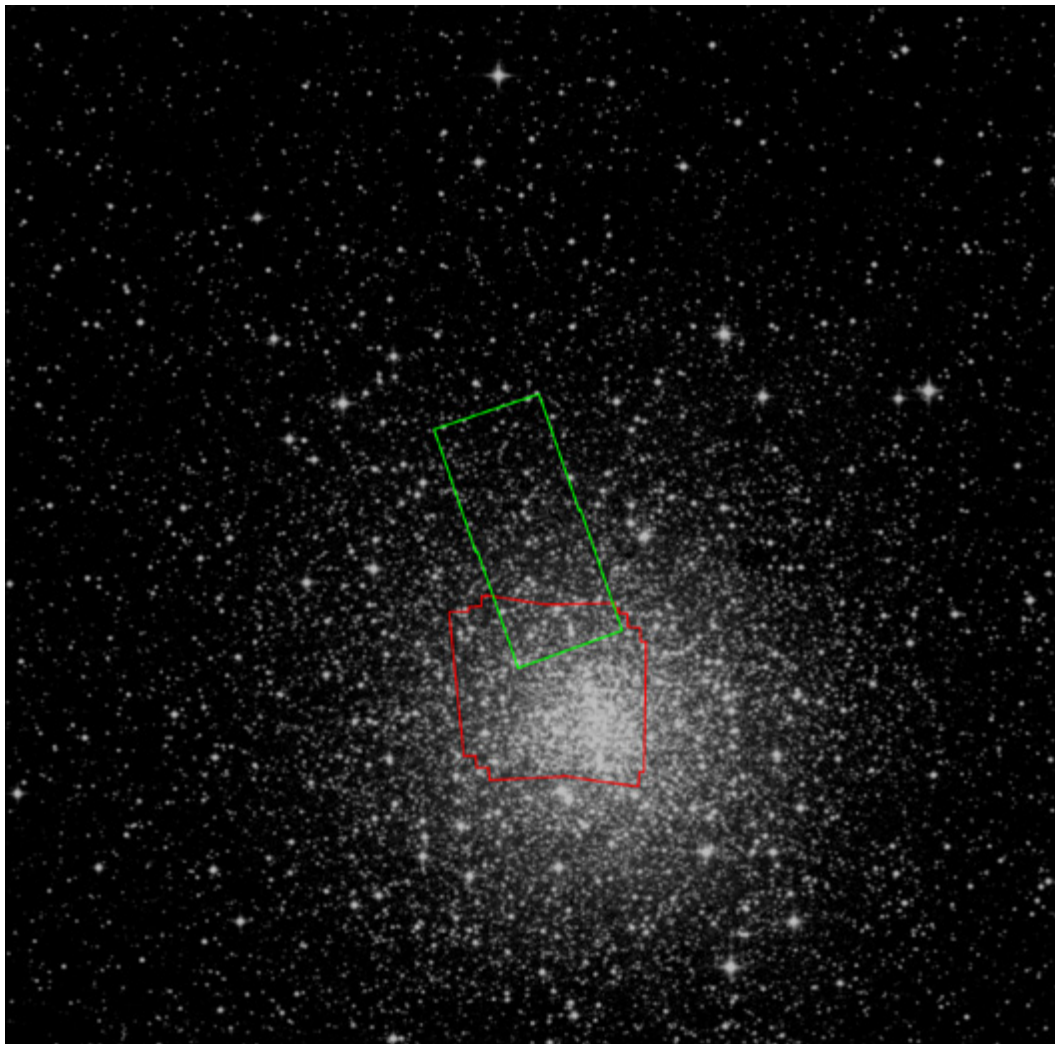
GLI OGGETTI STELLARI PIÙ DEBOLI

Gli ammassi globulari contengono esclusivamente stelle povere di metalli, che rappresentano alcune delle generazioni stellari

più antiche dell'universo. L'impronta archeologica dell'evoluzione galattica iniziale può essere conservata nelle proprietà misurabili degli ammassi globulari, come la loro età, le funzioni di massa e le abbondanze chimiche. Fino a poco tempo fa, tutti gli studi fotometrici sugli ammassi globulari erano limitati ai membri stellari.

Le nane brune sono oggetti che non hanno la massa sufficiente per raggiungere nel loro interno le condizioni di temperatura e pressione necessarie all'innesco del bruciamento dell'idrogeno. Quando questo succede, la stella inizia un periodo di stabilità (la cosiddetta "sequenza principale" del diagramma H-R) la cui durata, così come il suo percorso evolutivo, dipende dalla sua massa. Le nane brune, invece, sono in pratica stelle mancate, poco più grandi in massa di Giove (alcune decine di masse gioviane), il cui destino è un lento e inesorabile

Le osservazioni in infrarosso delle nane bianche ci hanno permesso di ricavare informazioni preziose sulle proprietà delle loro dense atmosfere di idrogeno: esiste un numero sorprendente di nane bianche con un relativo eccesso di emissione infrarossa



raffreddamento che le porterà a perdere la loro residua luminosità, con un ritmo che è essenzialmente dettato da quanta della loro energia primordiale riescono a irradiare attraverso la loro fotosfera.

Ora, grazie all'eccellente sensibilità di Jwst, è possibile estendere questa analisi al regime sub-stellare. Se rilevate in numero sufficiente, le nane brune possono imporre vincoli rigorosi sulle proprietà della loro popolazione madre. Una nuova griglia di modelli stellari, che rappresentano accuratamente i

diagrammi colore-magnitudine degli ammassi globulari attraverso il limite della combustione dell'idrogeno in un'ampia gamma di metallicità, permetterà di interpretare le osservazioni e, in particolare, darà una stima indipendente delle età degli ammassi. Gli stessi dati che hanno permesso di studiare le nane bianche nell'infrarosso, descritti sopra, hanno permesso anche di osservare per la prima volta le nane brune di Ngc 6397.

Utilizzando la fotometria della NirCam di Jwst e i nuovi modelli, sono state identificate

M4 Il brillante ammasso globulare visibile nella costellazione dello Scorpione, studiato con la camera NIRCam al fuoco del James Webb Space Telescope.
Crediti: Nasa/Esa/Csa/Jwst/Hnaf, L.R. Bedin et al.



UN ABBAGLIANTE AMMASSO GLOBULARE

Gli astronomi hanno utilizzato Hubble per valutare la distanza di Ngc 6397, ottenendo la prima misurazione precisa mai effettuata su un antico ammasso globulare.

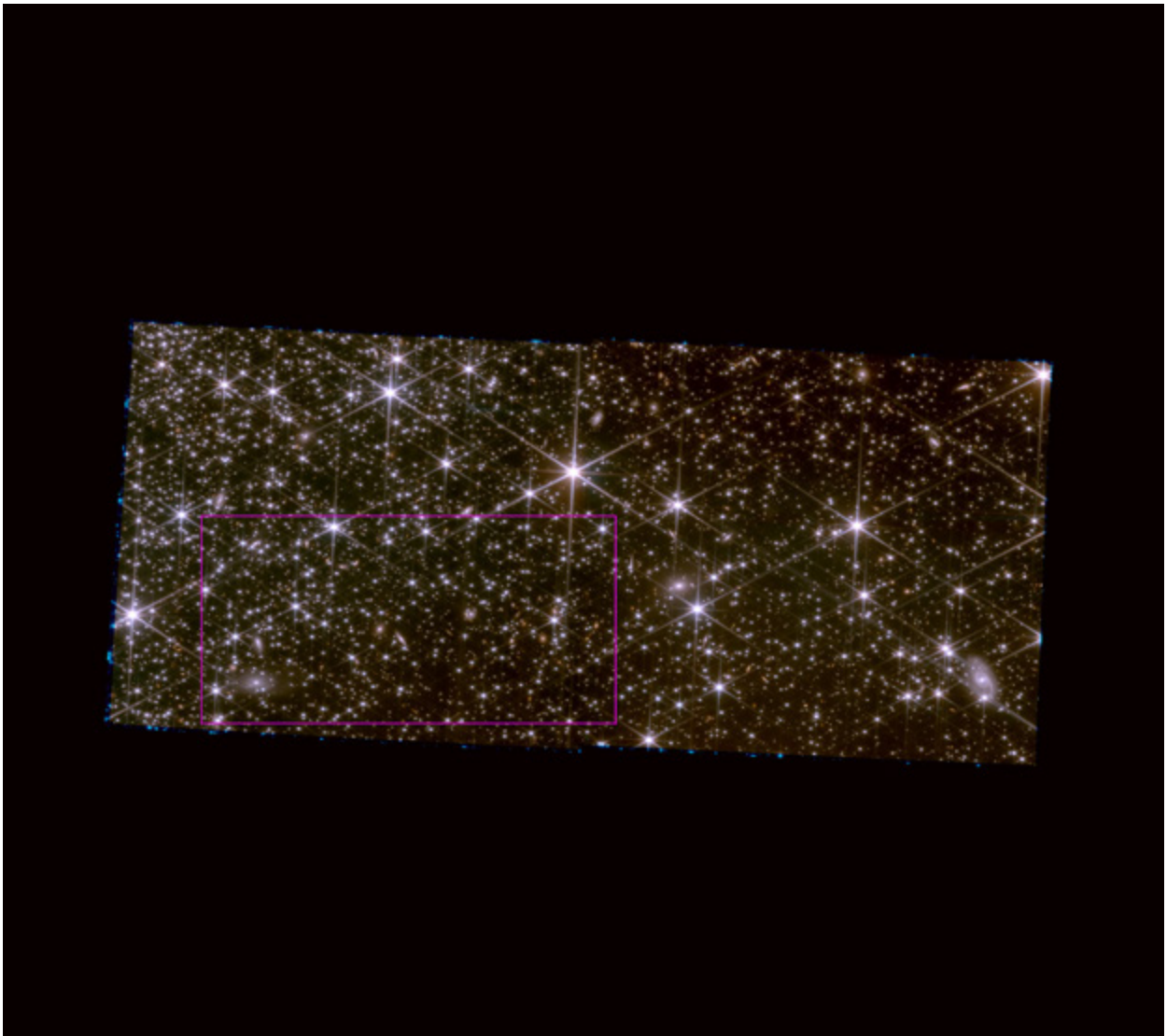
Credit: Nasa/Esas/Csa/T. Brown e S. Casertano

tre nane brune nell'ammasso globulare Ngc 6397 con $T_{\text{eff}} = 1300\text{--}1800$ K, confermate sia dal moto proprio sia dall'adattamento del modello. Dalle luminosità osservate delle nane brune scoperte abbiamo ottenuto la prima stima dell'età di un ammasso globulare dalla sua sequenza di raffreddamento sub-stellare: $13,4 \pm 3,3$ Gyr. La funzione di massa locale dell'ammasso oltre il limite di combustione dell'idrogeno ci ha permesso di vedere che l'ammasso ha subito una evoluzione dinamica che gli ha fatto perdere

preferenzialmente le stelle di piccola massa. Ci aspettiamo che i vincoli sia sull'età sia sulla funzione di massa di Ngc 6397 derivati in questo lavoro possano essere notevolmente migliorati da una seconda epoca di imaging NirCam nello stesso campo.

AMPLIFICATORI DI DIFFERENZE

Grazie alla sua eccezionale fotometria nel vicino infrarosso, Jwst può contribuire efficacemente alla scoperta, caratterizzazione e comprensione di molteplici popolazioni



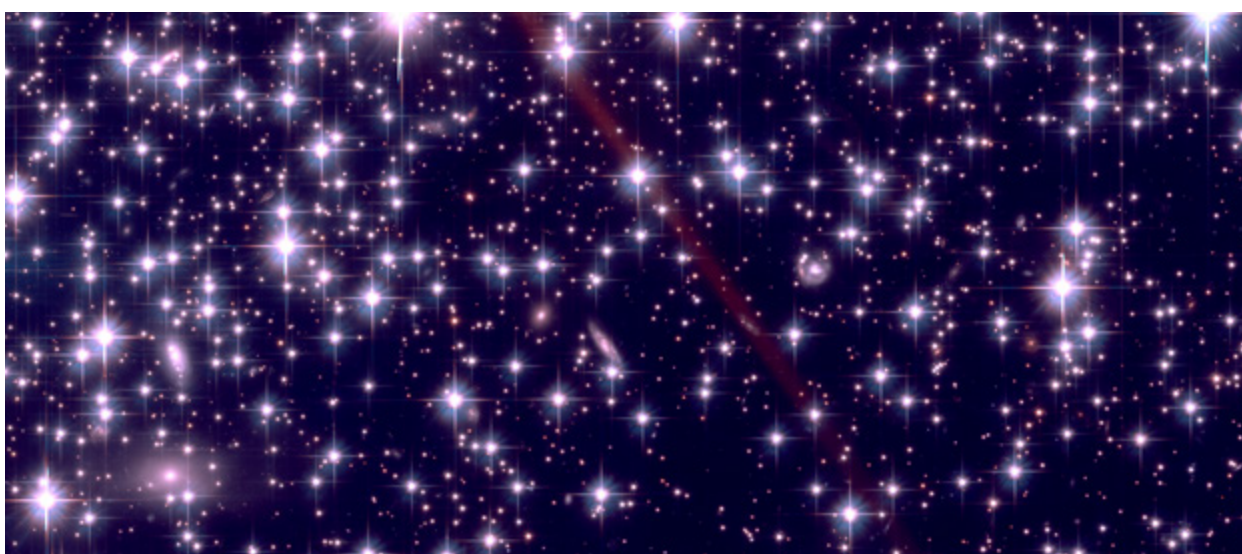
stellari negli ammassi globulari, soprattutto a masse basse, dove il telescopio spaziale Hubble deve affrontare limitazioni. In particolare, nelle nane brune le basse temperature favoriscono la formazione di molecole che, rilevate con strumenti sufficientemente sensibili, ci permettono di separare bene le diverse popolazioni caratterizzate da una chimica differente. La combinazione dei dati Hst e Jwst ci consente di identificare due gruppi di stelle lungo la sequenza principale (MS, dall'inglese *main sequence*): MSa, il gruppo di prima generazione e MSb, il gruppo di seconda generazione. Abbiamo misurato il rapporto tra i due gruppi e lo abbiamo combinato con misurazioni, tratte dalla letteratura, focalizzate su campi più centrali e stelle più massicce rispetto al nostro studio. I nostri risultati suggeriscono che le stelle

Le condizioni per la formazione di vita potrebbero esserci anche fra le stelle degli ammassi globulari

MSa e MSb sono presenti in un rapporto circa 30–70, indipendentemente dalla distanza dal centro dell'ammasso e dalla massa delle stelle utilizzate finora.

CAMERE “SECONDARIE” DI JWST

Le osservazioni dei due ammassi globulari più vicini, Ngc 6121 e Ngc 6397 – effettuate con il rivelatore Niriss di Jwst, una camera usata in parallelo con la camera principale



del telescopio – si sono rivelate molto utili e importanti. Infatti, la combinazione dei nostri nuovi dati Jwst con le immagini d'archivio del telescopio spaziale Hubble ci consente di calcolare i moti propri, districare i membri degli ammassi dagli oggetti del campo e sondare la sequenza principale degli ammassi fino a masse inferiori a 0,1 masse solari, così come la parte più luminosa della sequenza delle nane bianche. È stato dimostrato che i modelli teorici più sofisticati non riescono a modellare le stelle in sequenza principale di piccola massa e ciò ha portato a discutere le possibili implicazioni e spiegazioni per le discrepanze osservate. La nostra analisi suggerisce che i membri di massa più bassa di entrambi gli ammassi sono significativamente più ricchi di metalli e poveri di ossigeno rispetto alle loro con-

troparti di massa più elevata. Non è chiaro se la differenza sia causata da un'autentica eterogeneità chimica dipendente dalla massa, da processi atmosferici a bassa temperatura che alterano le abbondanze osservate o da carenze sistematiche nei modelli. Per quanto riguarda le funzioni di luminosità locale attuale (numero di stelle in funzione delle luminosità assolute) e le funzioni di massa (numero di stelle in funzione delle masse) dei due ammassi, i nostri dati rivelano un forte appiattimento della funzione di massa, indicativo di una significativa perdita preferenziale di stelle di piccola massa, in accordo con i precedenti modelli dinamici per questi due ammassi. Abbiamo reso pubblicamente disponibili alla comunità i nostri cataloghi astrometrici e fotometrici e i relativi atlanti Niriss. ■

Avengers: i vulcani terrestri raccontano Venere

di Piero D'Incecco



SOLE E SISTEMA
SOLARE

Si chiama Avengers ed è un progetto internazionale a guida Inaf che durante i prossimi anni si occuperà di selezionare e analizzare una serie di vulcani attivi terrestri da usare come analoghi per lo studio del vulcanismo attivo su Venere. L'analisi comparativa ci aiuterà anche a studiare meglio la struttura interna e l'atmosfera dei pianeti extrasolari.



E

Erano gli anni della corsa allo spazio e dell'instancabile competizione tra Stati Uniti e Unione Sovietica. In quegli anni la superficie di Venere venne svelata dai lander dei programmi sovietici Venera e Vega, che atterrarono su di essa, e dalle immagini radar della sonda orbitante Nasa Magellan, che ne mostrarono la fisiografia globale. Le immagini e i dati di queste missioni ci svelarono un mondo vulcanico che – sebbene simile alla Terra per dimensioni e composizione interna – se ne discosta molto per le condizioni ambientali in superficie. Una temperatura costante di 475° C (sufficiente a fondere il piombo) e una pressione atmosferica di 90 bar (identica a quella che si percepirebbe a 900 metri sott'acqua) fanno della superficie di Venere un vero e proprio inferno, del tutto inadatto a ospitare qualsiasi forma di vita.

NUOVE ESPLORAZIONI

Eccezion fatta per la missione europea Venus Express e quella giapponese Akatsuki, che si sono focalizzate sullo studio dell'atmosfera di Venere, è da circa un trentennio ormai che la superficie di Venere non viene investigata. Tutto questo sta finalmente per cambiare: le missioni americane Davinci e Veritas, la missione europea EnVision (in collaborazione con gli Stati Uniti), la missione russa Venera-D, e infine l'indiana Venus Orbiter Mission, tutte recentemente selezionate per il lancio, apriranno una nuova era dell'esplorazione di Venere nel prossimo decennio.

Con l'ausilio di una specifica strumentazione, la missione americana Davinci analizzerà le nubi, l'atmosfera e l'emissione

termica della superficie di Venere. Una sonda discendente analizzerà inoltre la composizione chimica verticale dell'atmosfera durante la discesa, fino ad atterrare in una delle aree geologicamente più antiche del pianeta, per inviarci delle fantastiche immagini dalla sua superficie.

La missione americana Veritas effettuerà una mappatura radar globale della superficie di Venere, spingendosi fino a una risoluzione massima di gran lunga superiore a quella della missione Magellan. Questo ci permetterà di osservare la superficie di Venere con un livello di dettaglio senza precedenti. Grazie a ripetuti passaggi al di sopra di una stessa area in diversi momenti, Veritas sarà anche in grado di rilevare possibili cambiamenti nel paesaggio causati da eventuali eruzioni in corso.

L'europea EnVision osserverà la superficie e l'atmosfera di Venere alla ricerca di tracce di vulcanismo attivo. Lo strumento radar di EnVision (costruito negli Stati Uniti) mapperà alcune aree selezionate della superficie di Venere a una risoluzione ancora maggiore rispetto a Veritas. Tramite un radar a penetrazione del suolo, tutto italiano (Università di Trento), sarà inoltre possibile osservare anche il sottosuolo di Venere, un tipo di analisi mai condotto prima sul gemello infernale della Terra.

Tramite una sonda orbitante, la missione russa Venera-D analizzerà la circolazione atmosferica di Venere e – unica fra tutte le missioni selezionate per il lancio – sarà dotata di un lander (simile a quelli dei programmi

LA PRIMA SPEDIZIONE

Da sinistra: Isabella Pagano, Giuseppe Leto, Piero D'Incecco, Stefano Branca e Rosa Anna Corsaro (ingv), Sofia Cussini, Stefano Parisini, Chiara Badia.
Crediti: Inaf/P. D'Incecco





COME SU VENERE

In queste pagine: il paesaggio vulcanico dell'Etna con un rift che intaglia lave di tipo hawaiano. Una configurazione visibile anche su alcuni vulcani venusiani.

Credit: Inatf/P. D'Incecco

sovietici Venera e Vega) che atterrerà sulla superficie del pianeta, inviando immagini e dati sulla composizione chimica del suolo venusiano.

L'indiana Venus Orbiter Mission mapperà anch'essa la superficie di Venere con uno strumento radar che però sarà specificamente in grado di riconoscere la rugosità dei depositi vulcanici superficiali, aiutandoci a comprendere meglio i diversi tipi di lave che caratterizzano la superficie di Venere e fornendo quindi informazioni complementari a quelle delle altre missioni.

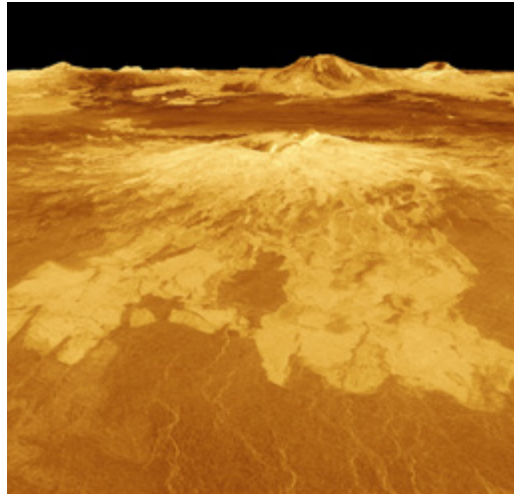
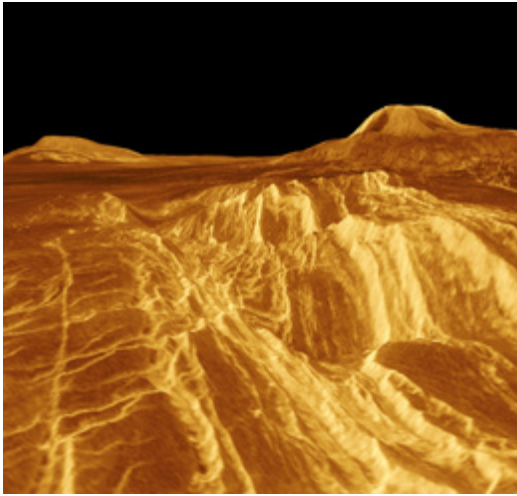
Uno degli obiettivi principali di tutte queste missioni sarà l'analisi e il rilievo di attività vulcanica in corso su Venere. Studiare le aree di vulcanismo attivo su Venere è fondamentale in quanto può aiutare gli esperti a rivelare indizi sulla storia geologica e l'evoluzione di questo pianeta, tra cui lo stato fisico-chimico del suo interno (temperatura, composizione, contenuto volatile) e la formazione e l'evoluzione della sua densa atmosfera. Comprendere i meccanismi che hanno portato allo sviluppo del cosiddetto *runaway greenhouse effect* ("effetto serra galoppante") su Venere può darci informa-

Le missioni recentemente selezionate per il lancio verso Venere apriranno una nuova era dell'esplorazione del pianeta nel prossimo decennio

zioni preziose riguardo i meccanismi alla base dell'effetto serra sul nostro pianeta, e in futuro potrà anche aiutarci a studiare meglio la composizione interna e l'atmosfera dei pianeti extrasolari di tipo terrestre, di cui le missioni europee Plato e Ariel andranno alla ricerca nei prossimi anni.

IL PROGETTO AVENGERS

Parafrasando Tony Stark nel film *The Avengers*, i ricercatori che si occupano dello studio di Venere potrebbero dire che «se in questi anni non abbiamo potuto proteggere Venere (dall'essere dimenticato), potete es-



sere certi che lo vendicheremo». Le parole di Tony Stark esprimono infatti molto bene il mood della comunità venusiana che, dopo un'attesa durata oltre un trentennio, ha finalmente il piacere di vedere il gemello infernale della Terra sotto i riflettori dell'esplorazione spaziale nel prossimo decennio.

A questo proposito, il progetto *Analog for Venus' Geologically Recent Surfaces* (*Avengers*) mira a selezionare un certo numero di vulcani attivi terrestri al fine di usarli come analoghi per l'analisi e il rilievo dell'attività vulcanica recente, e possibilmente in corso, su Venere, che sarà investigata dalle prossime missioni. Il progetto *Avengers*, a guida dell'Inaf d'Abruzzo, sarà un potente strumento per consentire uno sfruttamento più efficiente dei dati che saranno forniti in gran quantità dalle future indagini su Venere nel prossimo decennio e anche per formulare e preparare missioni future che comprendano analisi in situ.

In ultimo, ma non per importanza, il progetto *Avengers* si porrà come ponte di collaborazione internazionale tra i team delle future missioni su Venere e ricercatori di tutto il mondo. Un progetto internazionale inclusivo a cui, oltre all'Inaf d'Abruzzo, collaborano: la leadership della missione Nasa *Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gases, Chemistry, and Imaging* (*Davinci*); la leadership della missione Esa *Planetary Transits and Oscillations of stars* (*Plato*); la leadership della missione Roscosmos *Venera-D*; il radar team della *Venus Orbiter Mission* (*Vom*) dell'Indian Space Science Organisation (*Isro*); la leadership dell'Osservatorio Etno dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (*Ingv*).

Inoltre, partecipa al progetto *Avengers* anche la leadership del Nasa *Venus Exploration Analysis Group* (*Vexag*), nonché molti altri ricercatori di istituti e università di tutto il mondo.

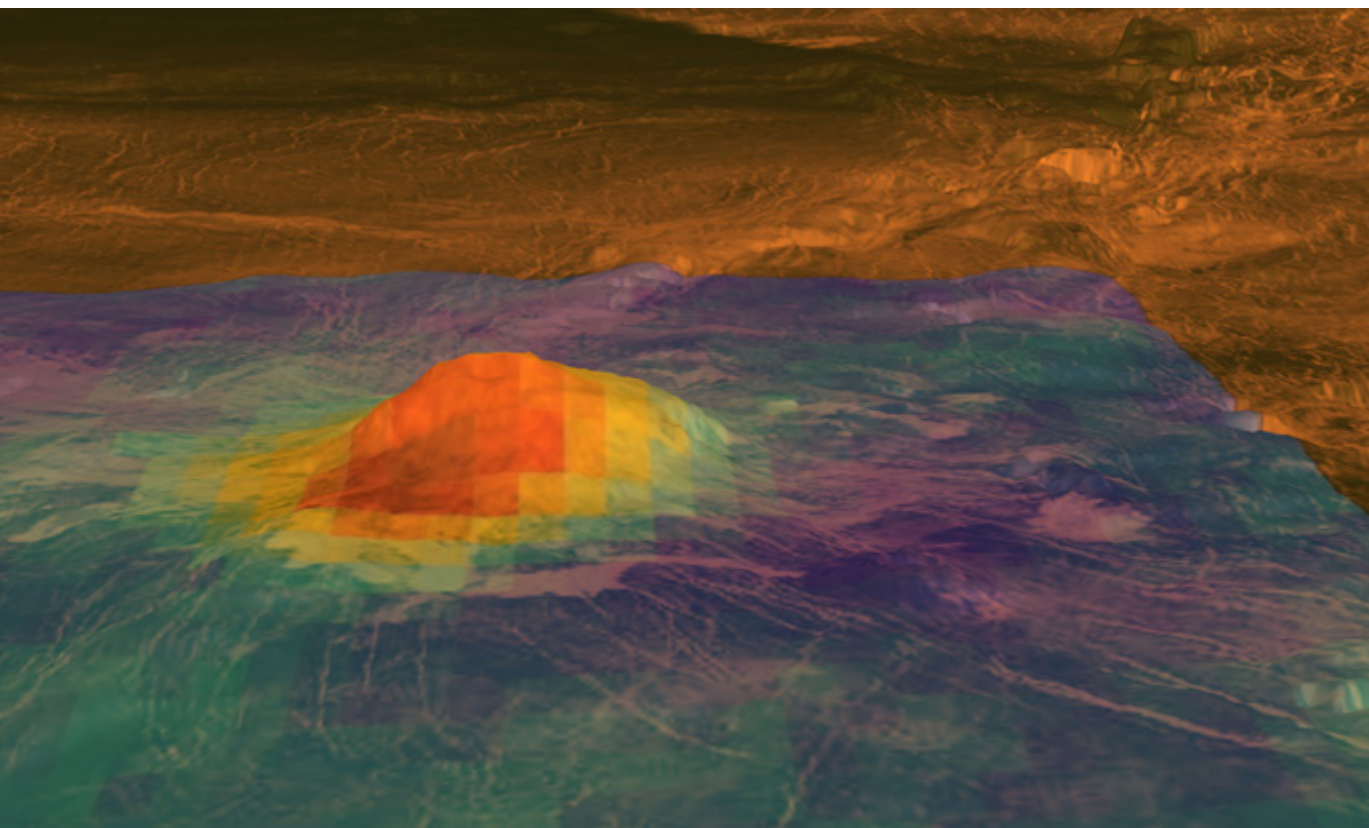
L'ETNA PER VENERE

Il primo vulcano analogo terrestre selezionato per uno studio comparativo con i vulcani potenzialmente attivi di Venere è l'Etna, obiettivo della prima spedizione ufficiale del progetto *Avengers* che ha avuto luogo a maggio 2024. Tra i più attivi e monitorati al mondo, l'Etna è un vulcano facilmente raggiungibile, offrendo così la possibilità di campionare depositi vulcanici in situ. Durante la sua storia evolutiva, l'Etna è stato caratterizzato da diverse fasi eruttive, alcune più effusive (come i vulcani hawaiani) e altre più esplosive. L'ampia varietà di depositi vulcanici dell'Etna offre la possibilità di studiare quindi diversi tipi di lave, che saranno a breve analizzate in vari laboratori di tutto il mondo, grazie al supporto dei collaboratori del progetto *Avengers*. Le analisi di laboratorio ci aiuteranno a capire quanto queste lave siano simili rispetto a quelle che verranno osservate dalle sonde che orbiteranno intorno a Venere durante le future missioni del prossimo decennio.

Un primo studio comparativo, pubblicato recentemente sulla rivista *Icarus* e apripista del progetto *Avengers*, ha messo in comparazione l'Etna con un vulcano possibilmente attivo di Venere, *Idunn Mons*. Questo studio mostra come i depositi vulcanici dell'Etna siano intagliati da zone di *rift* (una frattura della crosta terrestre) da cui vengono attraversati.

RICOSTRUITO IN 3D

Una vista prospettica tridimensionale, generata al computer, dell'Estia Regio: il vasto altipiano situato nell'emisfero settentrionale del pianeta Venere.
Crediti: Nasa/Jpl-Caltech



Uno degli obiettivi principali di tutte queste missioni sarà l'analisi e il rilievo di attività vulcanica in corso su Venere, per rivelare indizi sulla storia geologica e l'evoluzione di questo pianeta

È proprio questa interazione tra depositi lavici e *rift* a renderlo un analogo particolarmente interessante, dato che su Venere molti dei vulcani geologicamente più recenti interagiscono anch'essi con delle zone di *rift*.

Questo studio comparativo ha anche evidenziato come le strutture vulcaniche presenti nelle vicinanze del vulcano venusiano Idunn Mons siano morfologicamente simili ai coni di scorie presenti nelle vicinanze dell'Etna. La possibile presenza su Venere di strutture tipiche di vulcanismo piroclastico (quindi più esplosivo), come i coni di scorie, sarebbe sorprendente, dato che su Venere si ritiene che il vulcanismo sia di natura principalmente effusiva.

IL FUTURO DI AVENGERS

L'Etna è solo il primo di una serie di analoghi che verranno analizzati nei prossimi anni

all'interno del progetto Avengers. A dicembre 2024 ha avuto infatti luogo la seconda spedizione del progetto, presso il complesso vulcanico Cumbre Vieja sull'isola La Palma alle Canarie. Cumbre Vieja è caratterizzato da un vulcanismo effusivo di origine molto profonda (di tipo *hot spot*), che lo rende un buon analogo per lo studio del vulcanismo venusiano dato che la comunità venusiana è concorde sul fatto che molti vulcani di Venere siano caratterizzati da questa tipologia di vulcanismo.

Oltre al Cumbre Vieja, altre aree di vulcanismo attivo terrestri saranno analizzate in futuro, anche tramite l'utilizzo di immagini radar ad alta risoluzione. Alcuni altri analoghi terrestri attualmente selezionati dal progetto Avengers sono il Kilauea alle Hawaii, lo Stromboli in Sicilia, e l'East African Rift System.

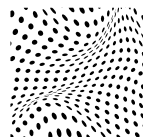
IDUNN MONS

Uno dei vulcani possibilmente attivi su Venere, situato nell'emisfero meridionale del pianeta e con un diametro di circa 200 chilometri.

Crediti: Esa/Nasa

L'inaspettata connessione tra esplosioni termonucleari e getti relativistici

di **Melania Del Santo** e **Thomas Russell**



**ASTROFISICA
RELATIVISTICA
E PARTICELLE**

Nell'universo può capitare che un oggetto con un forte campo gravitazionale cresca, magari a discapito di una stella vicina, più piccola, dalla quale sottrae della materia. E che poi parte di questa materia prima di essere ingurgitata venga espulsa attraverso meccanismi di lancio ancora ignoti. Un "pasto" spaziale nel quale è affascinante avventurarsi.





Le stelle di neutroni, insieme ai loro cugini più massivi, i buchi neri stellari, sono il prodotto finale dell'evoluzione di stelle di massa superiore a 10 volte quella del Sole o, secondo alcuni modelli, per i buchi neri addirittura superiori a 40 masse solari. Alla fine della propria vita questo tipo di stelle esplose dando origine a una supernova: una parte della materia viene espulsa e va a formare una nebulosa, mentre il nucleo soccombe alla gravità collassando fino a formare un oggetto compatto di elevatissime densità, ovvero una stella di neutroni, con masse tipicamente intorno a 1,4 masse solari e raggi intorno ai 10 chilometri, o un buco nero con masse superiori alle 3 masse solari.

LE STELLE DI NEUTRONI

Subito dopo la scoperta del neutrone, qualcosa di simile a una stella composta principalmente da neutroni fu per la prima volta immaginata da Lev Landau nel 1932.

Fu solo nel 1967, però, che se ne ebbe l'evidenza sperimentale, quando la giovane dottoranda irlandese Jocelyn Bell-Burnell osservò con un radiotelescopio un segnale pulsante periodico. Inizialmente a questo oggetto celeste fu dato il nome di Lgm-1, *Little Green Men* ("omini verdi") poiché la Bell e il suo professore (Antony Hewish, al quale fu dato il Nobel per la scoperta) pensarono che fosse un segnale inviato da extra-terrestri. Poco dopo capirono che si trovavano di fronte a una stella di neutroni velocemente rotante, una pulsar.

L'ACCRESIMENTO

Stelle di neutroni e buchi neri possono avere origine da stelle solitarie, ma, molto spesso, si osservano in sistemi binari con una compagna che si trova in una fase evolutiva differente. Questi sistemi vanno sotto il nome di binarie ai raggi X (*X-ray binaries*), poiché sono forti emettitori di questo tipo di radiazione. Ma qual è il processo fisico che sta alla base di questa emissione? L'oggetto compatto con il suo forte campo gravitazionale attrae a sé la materia della malcapitata stella compagna, la quale, se ha una massa inferiore o uguale a quella del Sole (in questo caso si parla quindi di *Low Mass X-ray binaries*), accresce materia sotto forma di disco di accrescimento, ovvero di materia che spiraleggia verso la stella morta. Il processo fisico dell'accrescimento, quindi, permette la trasformazione dell'energia potenziale gravitazionale della materia che cade sull'oggetto compatto in radiazione, che può arrivare fino a temperature dell'ordine dei milioni di gradi, corrispondenti a un'emissione nella banda elettromagnetica dei raggi X.

LE BINARIE X

Se osserviamo la nostra galassia con occhi sensibili alla radiazione X, ovvero con telescopi spaziali dotati di rivelatori che catturano questo tipo di luce, la troveremo costellata di sorgenti. Molte di esse sono transienti che si accendono e si spengono su tempi scala anche molto brevi, dell'ordine dei minuti, o più lunghi, restando emettitori X anche per diversi anni. Tra questi oggetti della Galassia, appartenenti a quello che chiamiamo amichevolmente "l'universo violento", molti sono proprio delle binarie X. Fu Bruno Rossi, professore italiano al Massachusetts Institute of Technology, agli inizi degli anni Sessanta a ipotizzare l'esistenza di sorgenti X extra-solari. Nel 1962, la prima mai osservata, che risulta anche la più luminosa della Galassia, è proprio una binaria X di piccola massa con stella di neutroni, Scorpius X-1, che a differenza della maggioranza di questo tipo di sistemi è una sorgente X persistente.

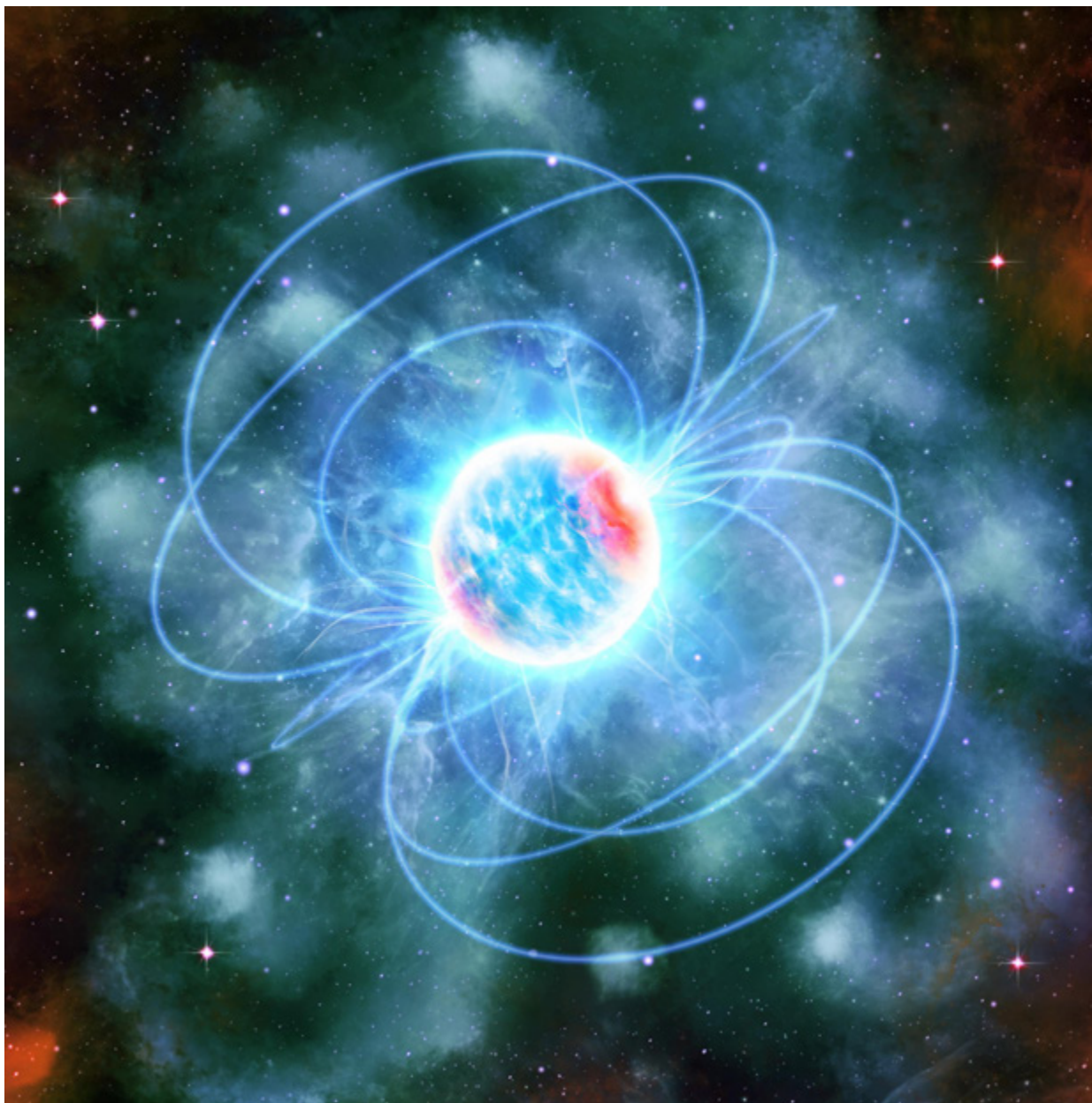
Che significa esattamente? Nelle binarie X persistenti l'accrescimento è sempre atti-

LAUTO PASTO

Alla pagina precedente: una stella di neutroni "divora" una compagna vicina dando vita a esplosioni nucleari incontrollate ed espulsioni di particelle nello spazio ad altissima velocità. Crediti: D. Futselaar e N. Degenaar/Anton Pannekoek Institute/Univ. Amsterdam

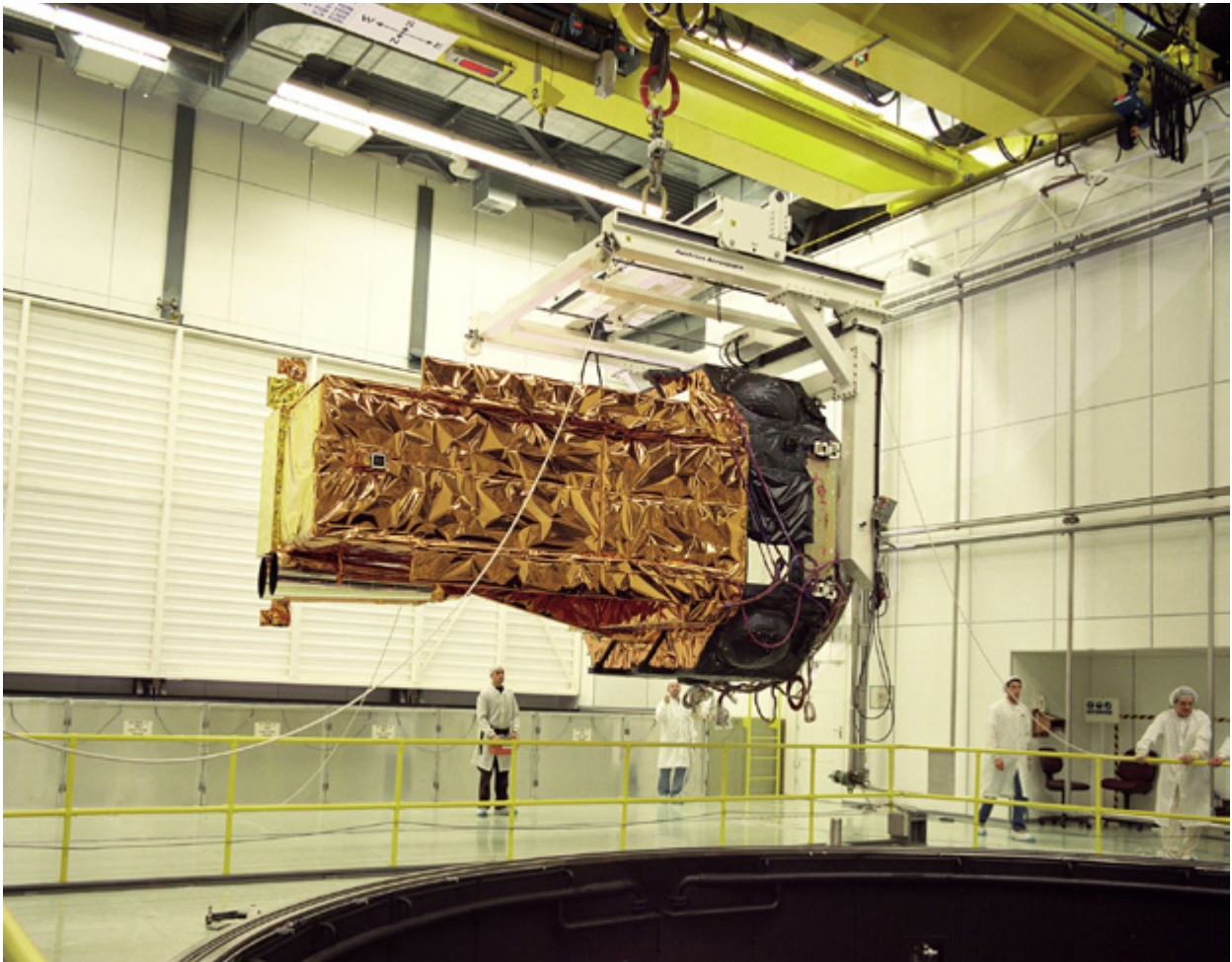
ESOTICHE E DENSE

Le stelle di neutroni sono tra gli oggetti più densi dell'universo. Il loro nucleo potrebbe essere costituito da una densa zuppa di quark o da particelle che non potrebbero sopravvivere in nessun altro posto dell'universo. Crediti: Ice-Csic/D. Futselaar/Marino et al.



vo e abbastanza costante; quelle transienti invece passano gran parte della loro vita in quiescenza, ovvero con tassi di accrescimento di materia molto bassi, che corrispondono a luminosità X di 10^{31-33} erg/s o anche inferiore e quindi difficilmente rivelabile dagli attuali telescopi. Nelle transienti questi lunghi periodi di inattività vengono improvvisamente rotti da un aumento repentino del tasso di accrescimento (dovuto a delle instabilità nel disco ma non solo) e quindi della luminosità X, che può aumentare anche di diverse magnitudini. In questo caso si dice che la binaria è in *outburst* ed è spesso la fase in cui vengono scoperte.

Stelle di neutroni e buchi neri si osservano spesso in sistemi binari con una stella compagna che si trova in una fase evolutiva differente, le cosiddette “binarie a raggi X” poiché sono forti emettitori di questa radiazione



L'accretion/ejection coupling è una delle domande ancora aperte dell'astrofisica relativistica: non si sa come e perché una parte della materia in accrescimento a un certo punto venga espulsa

I LAMPI X DI TIPO I

Una delle conseguenze del processo fisico dell'accrescimento è l'accumulo di grandi quantità di materia sulla superficie della stella di neutroni. Con il progredire dell'accumulo, questa materia può raggiungere valori di temperatura e densità tali da innescare potenti esplosioni termonucleari sulla superficie della stella di neutroni, simili a quelle

prodotte dalle bombe a idrogeno. Queste danno luogo a improvvisi e, per la maggior parte delle volte, non prevedibili aumenti della luminosità X, chiamati lampi X di tipo I (*type-I X-ray burst*), che sono il segno tangibile di un "pasto" abbondante in corso. La rapida crescita di luminosità X dura da 1 a 10 secondi, mentre la decrescita esponenziale può durare anche fino a centinaia di secondi. Questi lampi X sono la prova definitiva che il sistema binario ha come oggetto compatto una stella di neutroni e non un buco nero, poiché sono eventi che possono avvenire solo in presenza di una superficie, che il buco nero non possiede.

L'ESPULSIONE

Nonostante la loro avidità, non tutta la materia in accrescimento viene però inghiottita dall'oggetto compatto, dimostrando così che non siamo di fronte a semplici "aspirapolveri" unidirezionali. Una parte di questa materia viene infatti espulsa nello spazio (fe-

INTEGRAL ALLA PROVA

La sonda Esa durante i test del maggio 2002 presso il Large Space Simulator, la gigantesca camera termovuoto del centro europeo di Noordwijk, nei Paesi Bassi.
Crediti: Esa/A. Van Der Geest



ACTA BY NIGHT
L'Australia Telescope Compact Array gestito dal Csiro presso il Paul Wild Observatory, a ovest della città di Narrabri nel Nuovo Galles del Sud, in Australia.
Crediti: A. Cherney

nomeno dell'*ejection*) sotto forma di potenti flussi collimati e veloci di materia ed energia, fino a velocità prossime a quelle della luce, osservabili principalmente nelle bande radio e infrarosso dello spettro elettromagnetico: i cosiddetti getti. Osservati in tutti i sistemi in accrescimento, sia con stella di neutroni sia con buco nero, questi getti sono studiati fin dagli anni Settanta. A oggi sappiamo che possono propagarsi verso l'esterno a velocità prossime a quella della luce, depositando enormi quantità di energia nell'ambiente circostante che può condizionare la formazione stellare e dunque l'evoluzione della galassia ospite. Su scale nettamente maggiori, i getti li troviamo anche nei buchi neri supermassicci (da milioni a miliardi di masse solari) che si trovano nei centri delle galassie e che possono sparare getti giganti, molte volte più estesi della stessa galassia ospite. Questi getti supermassivi possono alterare l'evoluzione della galassia e dell'ammasso di galassie in cui essa si trova, e si pensa che

a livello cosmologico abbiano contribuito alla ionizzazione dell'universo primordiale.

Tuttavia, ci sono ancora molte domande aperte sul loro conto. Quali sono effettivamente i meccanismi di lancio dei getti? Qual è la relazione che lega il processo di accrescimento di materia su un oggetto compatto e l'espulsione di parte di essa?

Un team internazionale di ricercatori a guida Inaf ha scoperto l'esistenza di una connessione tra le esplosioni termonucleari di raggi X che si verificano sulla superficie delle stelle di neutroni in accrescimento e i potenti getti osservati in questi sistemi binari. Inoltre, questa scoperta ha permesso ai ricercatori di misurare per la prima volta in modo diretto la velocità di un getto. Questa misura è particolarmente importante in quanto è uno dei pochi metodi dai quali si può cominciare a comprendere la questione chiave sul meccanismo di lancio dei getti. I risultati sono stati pubblicati sulle pagine della rivista *Nature*.

La misura diretta della velocità di un getto è uno dei pochi metodi dai quali si può cominciare a comprendere la questione chiave sul meccanismo di lancio dei getti stessi

GLI INVESTIGATORI

Un'intensa campagna di osservazioni coordinate in banda radio e in banda X è stata condotta da un team internazionale guidato da ricercatori dell'Inaf, comprendente scienziati di diverse nazioni europee, Stati Uniti, Canada e Australia. Le osservazioni in banda X, che tracciano il flusso di accrescimento sulla stella di neutroni, sono state condotte utilizzando il satellite Integral dell'Agenzia spaziale europea (Esa). Integral è un osservatorio per l'astrofisica gamma, lanciato nel 2002, con a bordo due telescopi che osservano nella banda del gamma soft (20 keV – 10 MeV) e due monitor per la ricerca delle controparti in ottico e in banda X. Proprio quest'ultimo strumento, Jem-X, sensibile nella banda 3-20 keV, è stato utilizzato per osservare i lampi termonucleari oggetto dello studio. Il monitoraggio in banda radio, che permette d'altro canto di studiare l'emissione dei getti, è stato condotto invece con l'Australian Telescope Compact Array (Atca), una schiera di sei radiotelescopi situati presso l'osservatorio Paul Wild, in Australia, gestiti dall'Agenzia scientifica nazionale australiana (Csiro) e sensibile alle frequenze dei GHz.

Le binarie X oggetto di questo studio sono 4U 1728-34 e 4U 1636-536, e mostrano entrambe frequenti lampi X di tipo I. Per ognuna delle due sorgenti è stata condotta un'intensa campagna di osservazioni simultanee nell'X e nel radio, con l'obiettivo di individuare eventuali cambiamenti nell'emissione radio in seguito al verificarsi dell'esplosione termonucleare. Ed è proprio quello che è stato trovato: incrementi della luminosità radio, detti *flares*, sono stati osservati entro pochi minuti dopo ogni singola esplosione termonucleare.

ACCRESIMENTO ED ESPULSIONE

Per la verità, si pensava che il ruolo di queste esplosioni sui getti fosse minimo, mentre

invece le osservazioni hanno mostrato un impatto drammatico, in cui le esplosioni sulla superficie della stella vanno a potenziare fortemente la luminosità dei getti, pompando materia aggiuntiva al loro interno.

Questo risultato va ad aggiungersi alle evidenze sperimentali che ci dicono da più parti che esiste una forte connessione tra l'accrescimento di materia sugli oggetti compatti e l'espulsione di parte di essa. Questa dell'*accretion/ejection coupling* è una delle grandi domande ancora aperte dell'astrofisica relativistica proprio perché manca la comprensione sul come e sul perché una parte di questa materia in accrescimento a un certo punto venga espulsa a velocità relativistiche sotto forma di getti collimati.

Ma come si è arrivati alle misure di velocità del materiale all'interno del getto?

Quando osserviamo un getto a diverse frequenze stiamo praticamente guardando l'emissione che viene da diverse zone del getto stesso. Andando verso le frequenze più alte (dal radio all'infrarosso) osserviamo zone via via più interne, ovvero più vicine all'oggetto compatto. Premesso ciò, quindi, il tracciamento dei *flares* radio mentre si propagano lungo il getto può essere usato per calcolare la velocità del materiale nel getto, misurando il tempo impiegato dal materiale proveniente dall'esplosione termonucleare a scorrere lungo il getto. Si è scoperto quindi che la materia espulsa sotto forma di getti viaggiava a velocità pari al 40 per cento della velocità della luce, ovvero circa 432 milioni di chilometri all'ora: incredibilmente veloci quindi! In realtà, se paragonati ai getti dei sistemi con buco nero, che possono produrre getti che viaggiano al 95 per cento della velocità della luce (circa 1 miliardo di chilometri all'ora), queste velocità sono sorprendentemente lente. A



HERCULES A

Immagine in luce visibile ottenuta dal telescopio spaziale Hubble sovrapposta a un'immagine radio scattata dal Very Large Array in New Mexico, Stati Uniti.
 Crediti: Nasa/Esso/S. Baum, C. O'Dea, R. Perley, W. Cotton e Hubble Heritage Team

differenza dei sistemi con buco nero però, queste misure delle velocità dei getti nei sistemi con stelle di neutroni possono aiutarci nella comprensione dei meccanismi di lancio dei getti stessi.

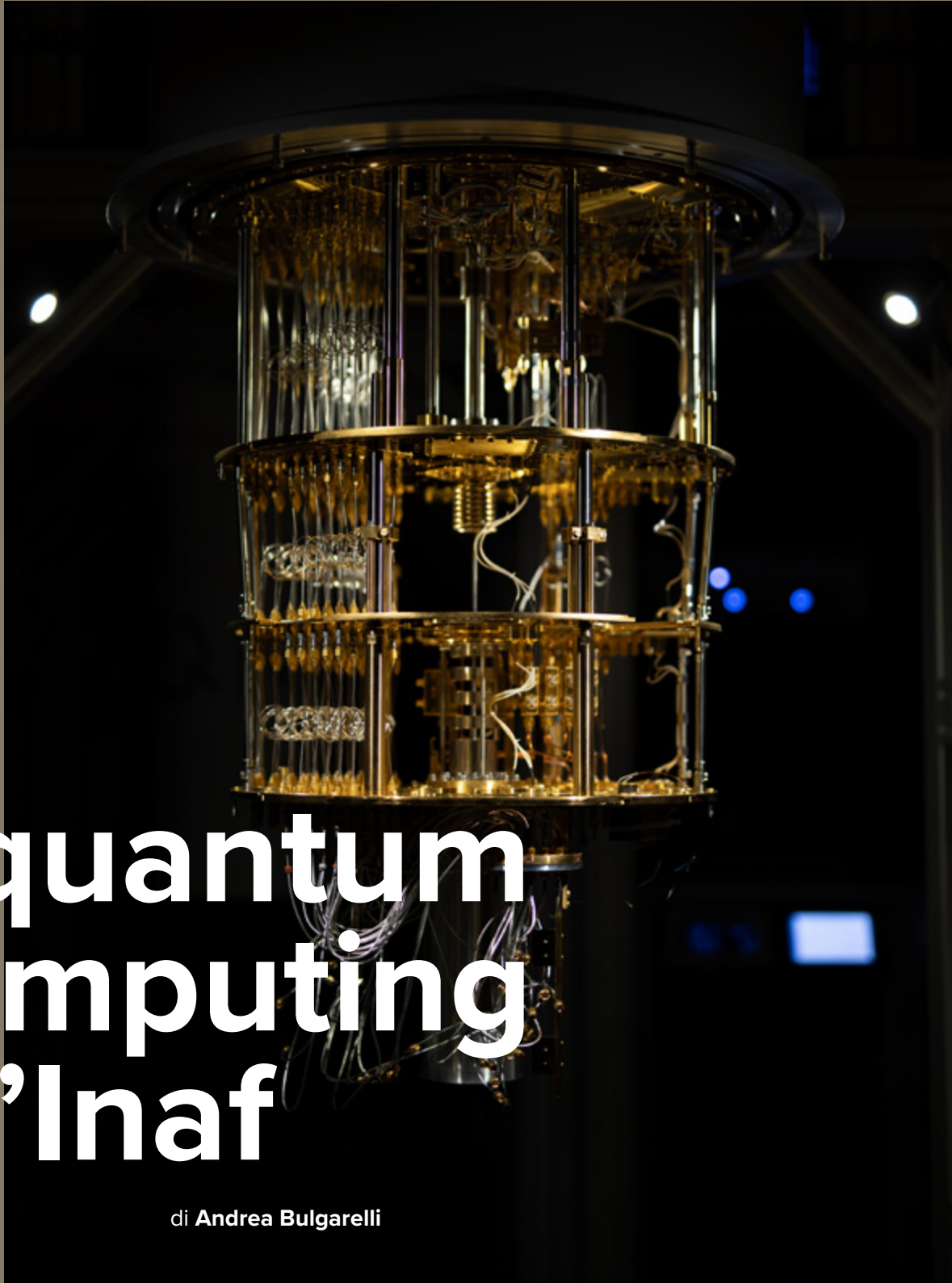
LO SCENARIO TEORICO

Esistono varie teorie sul meccanismo di lancio dei getti: per alcune, essi sono alimentati dalla rotazione della stella di neutroni (o del buco nero), per altre, invece, la rotazione della materia in accrescimento mentre cade sull'oggetto compatto ne sarebbe la responsabile. Fino ad ora non sono stati trovati dei metodi di osservazione efficaci per determinare quale delle due idee fosse quella corretta. Per i buchi neri abbiamo diverse misure delle velocità dei getti, mentre stimare la rotazione (*spin*) del buco nero stesso è molto difficile e i risultati possono variare in base al metodo utilizzato. Per le stelle di neutroni, invece, il periodo di rotazione viene misurato più facilmente e con precisione, e la misura non dipende dai metodi utilizzati. Attualmente conosciamo circa 125 sistemi di stelle di neutroni che mostrano lampi di raggi X di tipo I, e questo numero è in continua crescita man mano che vengono scoperte nuove sorgenti. Ognuno di questi sistemi può avere differenti proprietà in termini di

periodo di rotazione e di massa della stella di neutroni, ambedue ingredienti chiave del lancio dei getti. Confrontando come la velocità dei getti possa variare tra stelle di neutroni con proprietà diverse, in particolare con la loro velocità di rotazione e con la loro massa, possiamo trovare una correlazione tra le velocità dei getti e le proprietà delle stelle di neutroni. Se così fosse, cioè se questa relazione esistesse, avremo scoperto che il meccanismo dominante di lancio dei getti è legato alla rotazione della stella di neutroni, rispondendo così a un mistero ancora senza risposta dell'astrofisica.

I PROSSIMI PASSI

Abbiamo già cominciato a programmare nuove osservazioni per ampliare il nostro campione di oggetti in cui studiare questo fenomeno, aggiungendo nuovi telescopi più sensibili e che coprono diverse bande di frequenza. Nel futuro più remoto avremo poi l'array di radiotelescopi Ska (Square Kilometre Array), in cui l'Inaf è profondamente coinvolta, che permetterà di fare numerose scoperte e ampliare la nostra conoscenza sulla relazione accrescimento/espulsione e in generale su come la materia si comporta in condizioni di gravità estrema, ovvero vicino a buchi neri e stelle di neutroni. ■



Il quantum computing all'Inaf

di Andrea Bulgarelli

I computer quantistici, grazie alla loro capacità di elaborare simultaneamente molte informazioni, sono destinati a rivoluzionare il mondo della ricerca. E sono una delle tecnologie più promettenti per il futuro l'astrofisica. L'Inaf sta lavorando proprio per comprendere come sfruttarla al meglio.



Il calcolo quantistico rappresenta una rivoluzione rispetto al calcolo classico. Si basa su principi fondamentalmente diversi e, quindi, rappresenta un differente paradigma che sta aprendo nuove prospettive in vari campi della scienza, inclusa l'astrofisica. Questo cambio di paradigma sta portando molti esperti a parlare di una seconda rivoluzione quantistica, successiva a quella degli inizi del Novecento e che nei prossimi decenni potrebbe portare a innovazioni radicali in molti campi della scienza e dell'industria. La prima rivoluzione quantistica, iniziata appunto agli albori del Novecento con i lavori di scienziati come Max Planck e Niels Bohr, ha portato alla formulazione della meccanica quantistica, una teoria che descrive il comportamento di particelle subatomiche, e ha creato i presupposti per la realizzazione di molte tecnologie moderne, tra cui possiamo ricordare i transistor, alla base di tutti i dispositivi elettronici odierni, e il laser. La seconda rivoluzione quantistica, in cui ci troviamo ora, è caratterizzata dall'applicazione diretta delle leggi quantistiche alla manipolazione e all'elaborazione delle informazioni, concentrandosi sulla capacità di controllare e utiliz-

zare le proprietà quantistiche in modo mirato per creare nuovi paradigmi tecnologici. La seconda rivoluzione riguarda lo sviluppo del quantum computing, della comunicazione quantistica e della metrologia e sensoristica quantistica. Questa epoca è caratterizzata da una fase di sperimentazione avanzata e di innovazione. Anche se i computer quantistici sono ormai una realtà, non abbiamo ancora computer quantistici stabili, potenti e di facile accesso. Per questo motivo la maggior parte delle attività di sviluppo sono svolte su simulatori.

LE ORIGINI

L'idea del computer quantistico fu proposta per la prima volta da Richard Feynman nel 1982. Feynman sottolineò che la natura, governata da leggi quantistiche, non può essere pienamente descritta da un computer classico. Infatti, solo un computer che opera secondo le leggi della meccanica quantistica potrebbe modellare la complessità della realtà microscopica in modo adeguato. Il concetto fu rivoluzionario: Feynman indicò chiaramente che i computer quantistici non sarebbero stati una versione migliorata dei computer classici ma una tecnologia completamente diversa, con un approccio radicalmente nuovo alla risoluzione di problemi complessi.

ALLA BASE DEI COMPUTER QUANTISTICI

Due concetti chiave della fisica quantistica, la sovrapposizione e l'entanglement, sono alla base del funzionamento dei computer quantistici.

La sovrapposizione è una proprietà fondamentale della meccanica quantistica, secondo la quale una particella elementare

Due concetti chiave della fisica quantistica, la sovrapposizione e l'entanglement, sono alla base del funzionamento dei computer quantistici

può esistere contemporaneamente in più stati, fino a quando non viene osservata o misurata; quando viene effettuata una misurazione la particella assume un unico stato specifico. Prima di tale misurazione, però, la particella si trova in una combinazione di tutti i suoi stati possibili.

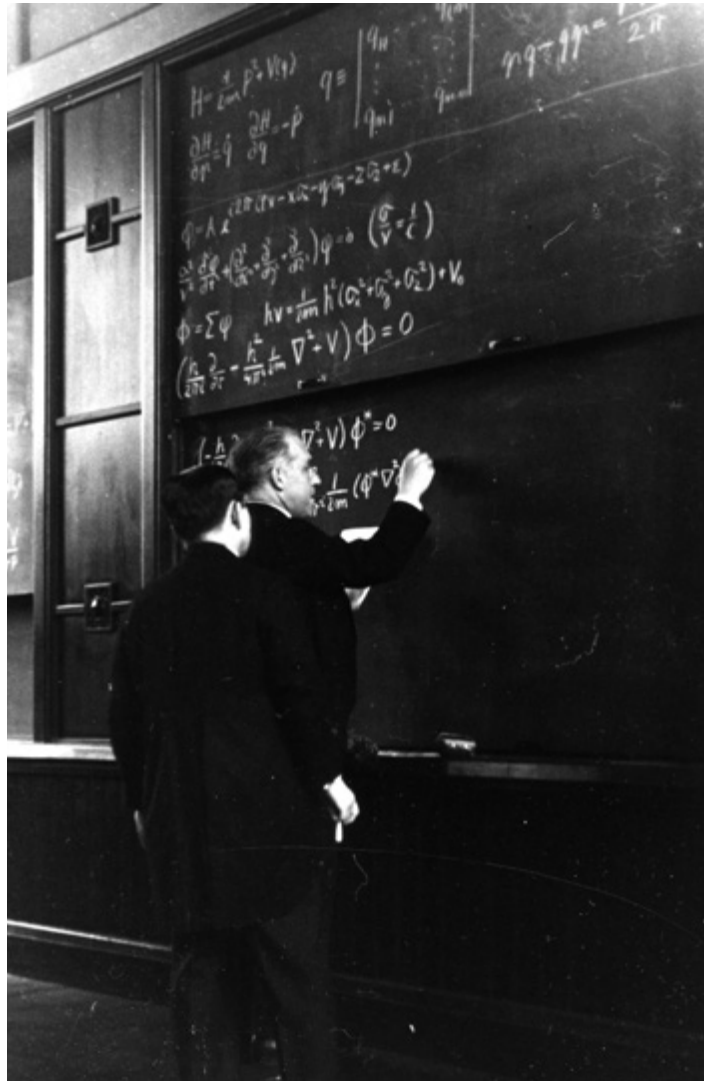
La sovrapposizione ha implicazioni cruciali nel quantum computing. I computer classici, infatti, elaborano un'informazione alla volta, che è codificata in bit che devono essere 0 o 1. In un computer quantistico, invece, si utilizzano i qubit, che in sovrapposizione possono contemporaneamente essere sia 0 sia 1, consentendo così di codificare più informazioni. Questo significa che un computer quantistico può elaborare simultaneamente molteplici combinazioni di informazioni, aumentando esponenzialmente la velocità di calcolo.

L'entanglement, invece, è un fenomeno per il quale due o più particelle diventano interconnesse, e lo stato di una influenza immediatamente quello dell'altra, indipendentemente dalla distanza che le separa. Questo fenomeno consente ai qubit di "collaborare" tra loro, permettendo al computer quantistico di eseguire calcoli complessi in modo parallelo, sfruttando il legame tra i qubit.

Queste due proprietà sono ciò che rendono i computer quantistici fondamentalmente diversi da quelli comuni, e non una loro versione più potente.

INAF, CALCOLO QUANTISTICO E ICSC

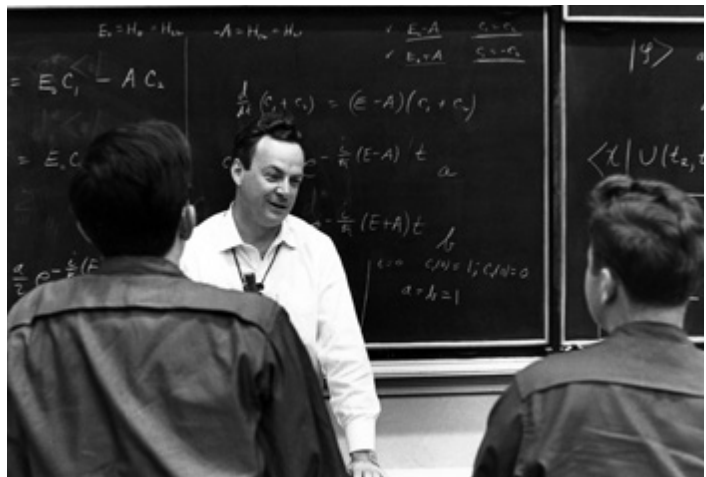
L'Inaf è coinvolto nello sviluppo di applicazioni avanzate di calcolo quantistico per la ricerca astrofisica nel contesto dell'Icsc, il Centro nazionale di High Performance Computing,



ALLA LAVAGNA

Yoshio Nishina e Niels Bohr al lavoro.

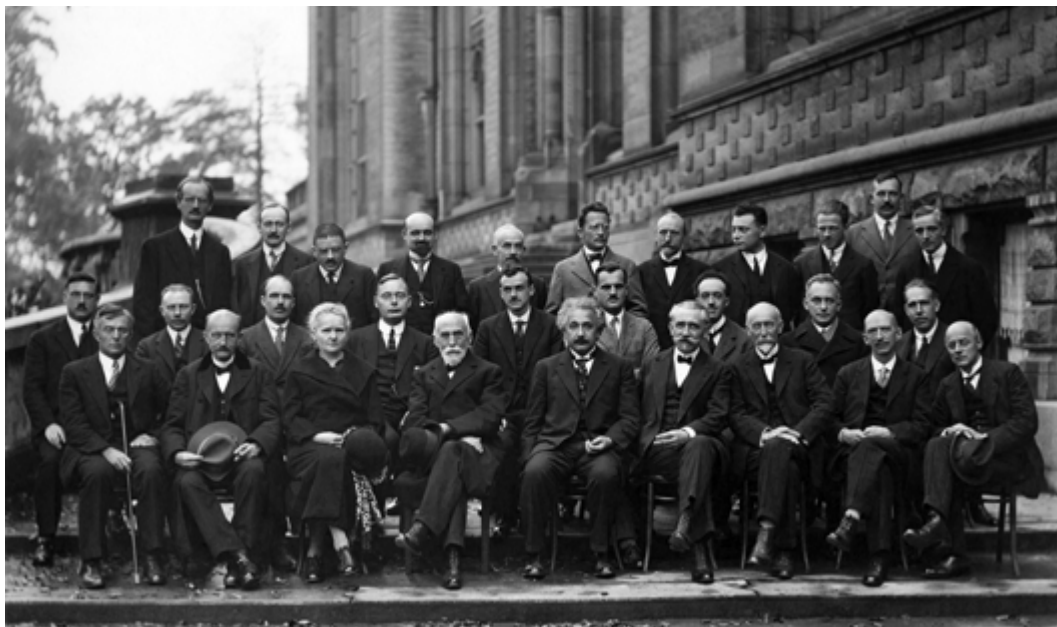
Crediti: Nishina Memorial Foundation, per gentile concessione degli AIP Emilio Segrè Visual Archives



STA SCHERZANDO MR. FEYNMAN!

Richard Feynman in classe con gli studenti nella primavera del 1963. Crediti: California Institute of Technology

LA FOTO PIÙ INTELLIGENTE DELLA STORIA
Einstein, Curie, Planck, Lorentz, Schrödinger, de Broglie, Heisenberg, Rutherford (e tanti altri) alle Conferenze di Solvay, 1913.
Crediti: Institut International de Physique Solvay



CONVERSAZIONI ESPLOSIVE
Bradbury, Fermi, Kellogg, Oppenheimer, Feynman a colloquio sulla bomba Super, Los Alamos 1946.
Crediti: Los Alamos National Laboratory.



universi

Big Data e Quantum Computing inaugurato a Bologna presso il Tecnopolo e parte del Piano nazionale di ripresa e resilienza (Pnrr), finanziato con quasi 320 milioni di euro. Icsc è un'iniziativa strategica italiana volta a creare un'infrastruttura nazionale di supercalcolo e si concentra su aree chiave che richiedono un'enorme capacità di calcolo.

Il Tecnopolo di Bologna ospiterà uno dei nuovi computer quantistici europei, parte dell'iniziativa EuroHPC, che mira a sviluppare un'infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni in Europa. Questo computer quantico sarà integrato nel sistema pre-exascale Leonardo, già uno dei supercomputer più po-

tenti al mondo, per creare una piattaforma di calcolo ibrida in cui tecnologie quantistiche e classiche lavoreranno insieme. Gli spoke all'interno dell'Icsc sono nodi specializzati che si concentrano su ambiti specifici. L'Inaf ricopre un ruolo attivo nello spoke 10, dedicato all'applicazione del calcolo quantistico per la ricerca astrofisica e cosmologica. Le attività che l'Inaf sta svolgendo coprono diversi settori.

APPLICAZIONI GENERALI

Il potenziale del quantum computing è vasto e promette di rivoluzionare molti settori. In fisica fondamentale, i computer quantisti-

In astrofisica, poi, il quantum computing apre opportunità straordinarie. Uno dei temi centrali è la sua applicazione per simulare l'evoluzione dell'universo

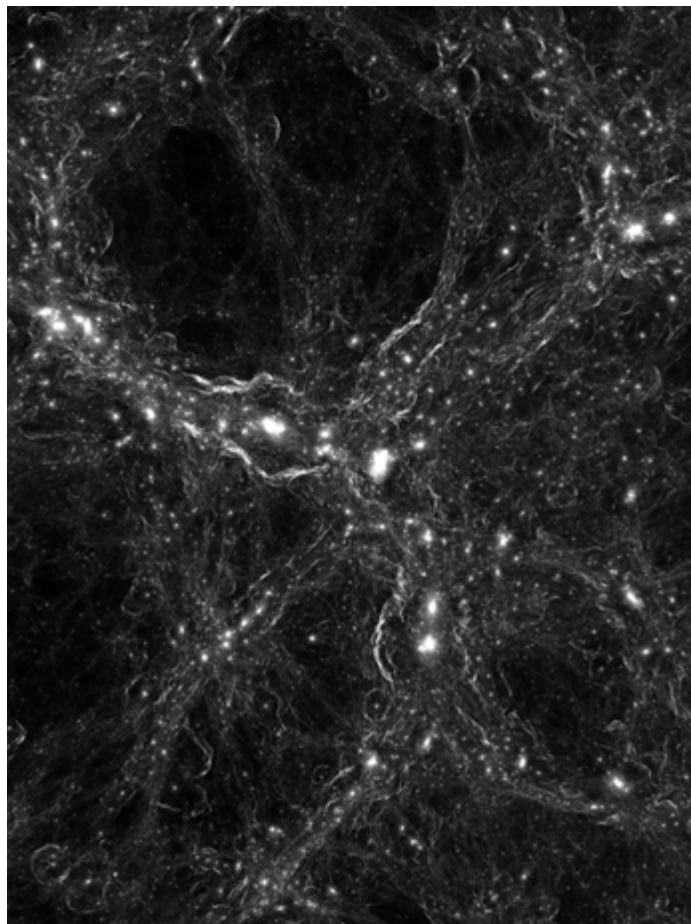
ci potrebbero essere utilizzati per simulare l'evoluzione di sistemi quantistici complessi, come le interazioni tra particelle in un campo quantistico. In ambito biomedico, questi computer potrebbero simulare la struttura di molecole complesse, accelerando la scoperta di nuovi farmaci. Infine, nella crittografia, potrebbero violare i sistemi di crittografia classici, incentivando così lo sviluppo di nuovi protocolli di sicurezza basati sulle leggi quantistiche.

In astrofisica, poi, il quantum computing apre opportunità straordinarie. Eccone riportate alcune a cui si sta lavorando all'Inaf, ma le applicazioni sono molte di più.

APPLICAZIONI IN ASTROFISICA

Uno dei temi centrali è l'applicazione del quantum computing per simulare l'evoluzione dell'universo. Lavoriamo su modelli matematici che descrivono l'evoluzione della materia oscura attraverso equazioni come quelle di Schrödinger-Poisson e Vlasov-Poisson. Queste equazioni permettono di descrivere l'interazione tra le particelle subatomiche e i campi gravitazionali. Grazie al quantum computing, stiamo studiando come risolverle in modo più efficiente e con maggiore precisione rispetto ai metodi classici. È in corso l'estensione a fenomeni idrodinamici.

Un altro campo di ricerca riguarda l'ottimizzazione per la stima dei parametri e la selezione di modelli cosmologici, il cui studio necessita di matrici di covarianza di enormi dimensioni e trovare soluzioni estremali anche tramite l'uso di versioni quantistiche di algoritmi genetici, *simulated annealing* e *Monte Carlo chains*. Un esempio di applicazione all'analisi dati algoritmi riguarda la modellizzazione delle lenti gravitazionali forti. Questi fenomeni ci permettono di osservare



la distribuzione della materia oscura nell'universo, studiando come la gravità prodotta da oggetti massicci come gli ammassi di galassie distorca il percorso della luce. Grazie agli algoritmi quantistici, possiamo esplorare rapidamente un gran numero di configurazioni per trovare quelle che meglio si adattano ai dati osservativi.

Inoltre, stiamo esplorando l'uso del *Quantum Machine Learning* (Qml) per migliorare le tecniche del machine learning classico. Si tratta di una branca dell'intelligenza artificiale che si focalizza sullo sviluppo di algoritmi e modelli statistici che permettono ai computer di apprendere dai dati. Stiamo sviluppando reti neurali quantistiche che apprendono dai dati reali o simulati dei nostri telescopi, per il rilevamento dei gamma-gamma burst (Grb), lampi di raggi gamma che provengono da eventi catastrofici nello spazio. Quello che stiamo osservando dalle nostre prime esperienze è che una rete neurale quantistica sembra essere in grado di imparare con molti meno dati di esempio rispetto a una rete classica.

STRUTTURE DI MATERIA OSCURA

Sopra: una simulazione di collisione fra gas, filamenti e galassie. Accanto: due enormi gruppi di galassie composti da grandi aloni di materia oscura. Crediti: Tng Collaboration



Attualmente, lo sviluppo dei computer quantistici si trova in una fase definita come rumorosa e intermedia, caratterizzata da prototipi che funzionano, ma non hanno ancora raggiunto la supremazia quantistica

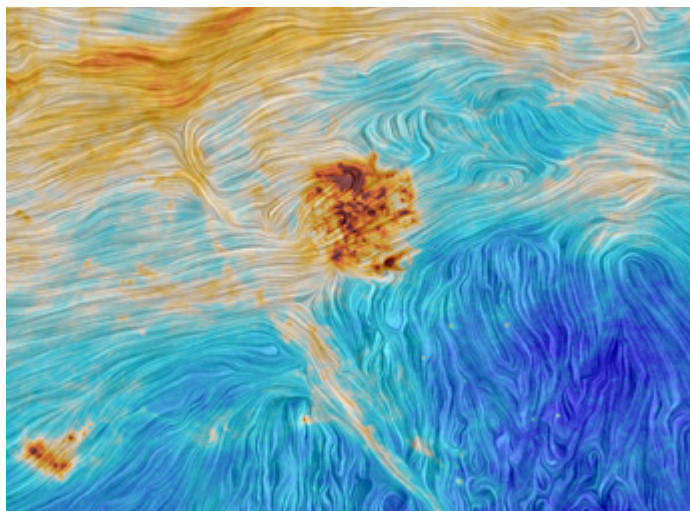
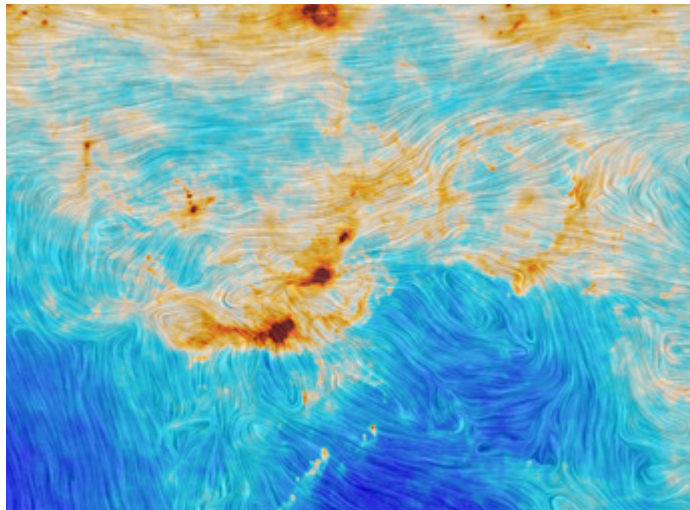
Un altro aspetto che stiamo studiando è la separazione delle componenti del *Cosmic Microwave Background* (Cmb) per comprendere l'evoluzione dell'universo. Il segnale del Cmb è mescolato con altre fonti di radiazione, ed è necessario separare queste componenti per ottenere una visione chiara del cosmo primordiale. I risultati verranno poi estesi allo studio della parte primordiale dei segnali di rionizzazione, dominata da foregrounds.

Infine, l'uso di tecniche di ottimizzazione come la minimizzazione di funzioni multi-parametriche può assumere un'importanza rilevante. La *maximum likelihood estimation* – una tecnica ampiamente utilizzata per stimare i parametri di un modello statistico massimizzando la probabilità che un insieme di dati osservati provenga da quel modello – può beneficiare notevolmente delle potenzialità del quantum computing.

LE COLLABORAZIONI

La Bologna Quantum Alliance (Boqa) è un'organizzazione coordinata dall'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna che include tutti i maggiori centri di ricerca italiani e mira a creare un ecosistema per le tecnologie quantistiche in vari settori. L'Inaf fa parte di questa organizzazione, nata a luglio 2024, che in futuro ci permetterà di stringere ulteriori collaborazioni con i principali protagonisti nell'ambito dell'Emilia-Romagna, italiano ed europeo.

Collaboriamo con l'Università degli Studi di Napoli Federico II, che è un punto di riferimento in Italia per la ricerca e lo sviluppo nel campo del quantum computing. Ospita il



Superconducting Quantum Computing Center, inaugurato a maggio 2024, uno dei primi centri di questo tipo in Italia, specializzato nello sviluppo di computer quantistici basati su piattaforma a superconduttori.

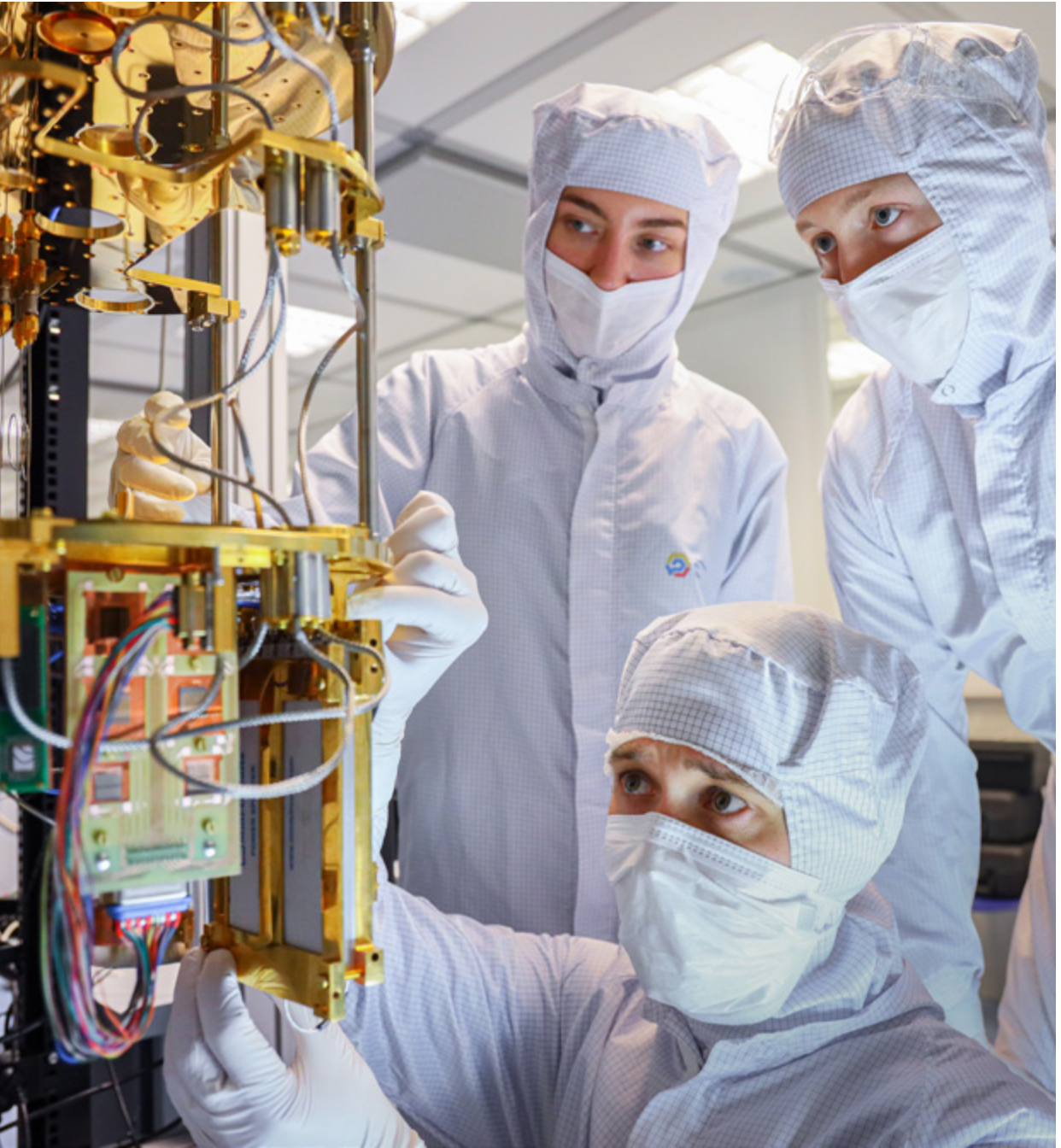
Tutte queste attività sono volte in stretta collaborazione con la struttura organizzativa Usc VIII dell'Inaf, che si occupa di coordinare le attività di calcolo.

SFIDE E PROSPETTIVE FUTURE

Esistono diversi approcci alla costruzione di computer quantistici, come l'uso di superconduttori, trappole di ioni e atomi freddi, ma nessuno di questi ha ancora raggiunto una maturità sufficiente per l'implementazione su vasta scala. Ogni approccio presenta vantaggi e svantaggi: i superconduttori sono facili da scalare ma richiedono temperature

NON È VAN GOGH

Le Nubi di Magellano nell'obiettivo del satellite Esa Planck, che dal 2009 al 2013 ha scandagliato il cielo a caccia della traccia residua del big bang, il Cmb. Crediti: Esa/Planck Collaboration



MENTE FREDDA

Ricercatori assemblano la parte criogenica di un computer quantistico, perché i processori superconduttori possono lavorare quasi allo zero assoluto (-273,1°C).
Crediti: FNMLab

estremamente basse, mentre le trappole di ioni sono molto precise ma difficili da espandere a un numero elevato di qubit.

Attualmente, lo sviluppo dei computer quantistici si trova in una fase definita come rumorosa e intermedia, caratterizzata da prototipi che funzionano ma non hanno ancora raggiunto la supremazia quantistica, cioè la capacità di risolvere problemi che i computer classici non possono affrontare in tempi ragionevoli. Questa fase è nota come Noisy Intermediate-Scale Quantum (Nisq), in

cui i sistemi quantistici esistenti contano su un numero limitato di qubit e sono ancora soggetti a errori significativi a causa di fenomeni come la decoerenza e il rumore quantistico, che rende difficile mantenere stabili i qubit durante i calcoli.

Tuttavia, i progressi sono rapidi. L'hardware quantistico sta migliorando costantemente, gli algoritmi e le applicazioni del quantum computing stanno già affrontando problemi che i metodi classici non potrebbero mai affrontare in tempi ragionevoli. ■

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**



LEOPARDI TRA ASTRONOMIA E POESIA

intervista

di Maura Sandri



PIERO BOITANI
Sapienza Università di Roma

A inizio anno, il 18 gennaio 2024, in occasione della mostra dell'Istituto nazionale di astrofisica *Macchine del tempo* a Palazzo Esposizioni Roma, Piero Boitani, filologo e saggista, Accademico dei Lincei, professore emerito di Letterature Comparate alla Sapienza, ha tenuto una conferenza pubblica su scienza e umanesimo: *Vaghe stelle dell'Orsa: Leopardi tra astronomia e poesia*, nel quale ha approfondito il tema della scienza come storia e mito, soprattutto in relazione al caso esemplare del poeta che conosciamo e amiamo.

L'autore ci ha concesso di pubblicare il testo integrale della *lecture* sul sito della rivista *Universi* e ha rilasciato questa intervista nel quale lo presenta ai lettori.

Dalla *Storia della astronomia*, iniziata quando il poeta aveva solo 13 anni, all'ultima grande canzone leopardiana *La ginestra o il fiore del deserto*, del 1836: è questo l'arco di una vita che lei racconta sapientemente, rintracciando le connessioni tra scienza e spirito. Secondo lei, qual è il momento della produzione letteraria del poeta in cui si apprezza meglio la connessione con il cielo e il cosmo, e in cui la profonda conoscenza scientifica di Leopardi si manifesta nella poesia; insomma, in cui le due culture – che all'epoca non erano poi tanto separate – si fondono meglio?

Si potrebbe sostenere che il momento culminante della connessione tra poesia e scienza in Leopardi è l'ultimo, quello incarnato da *La ginestra*, perché in quella lirica i riferimenti alle teorie astronomiche del tempo paiono più precisi che altrove. Ma è un'impressione errata. Leopardi si è mantenuto al corrente dei progressi scientifici per tutta la sua (breve) vita. Quel che aveva appreso, lo aveva appreso sin dall'inizio: per esempio la distinzione epocale tra sistema aristotelico-tolomaico e quello di Copernico, Galileo, Keplero e Newton. Naturalmente, Leopardi parla sempre da poeta: sarebbe vano attendersi da lui formule algebriche o figure geometriche. Per lui contano le immagini: l'infinito, l'indefinito, il vago, il remoto; la luna, le stelle, i «nodi quasi di stelle», cioè gli ammassi stellari, le galassie. Ma, appunto, li chiama «nodi quasi di stelle» e non «galassie». L'attenzione al dato scientifico deve essere stata costante in lui, con atteggiamento che variava da quello prevalentemente filosofico (*Canto notturno di un pastore errante dell'Asia*) a

Leopardi si è mantenuto al corrente dei progressi scientifici per tutta la sua (breve) vita. Quel che aveva appreso, lo aveva appreso sin dall'inizio



GLI ORDINI DELLA NOTTE

Anselm Kiefer, *Die berühmten Orden der Nacht* (1997), Guggenheim Museum di Bilbao, Spagna.
Crediti: L. Ribes Mateu

quello letterario-esistenziale (*Le ricordanze*). Certe volte, poi, si ha l'impressione che nelle *Operette morali* e nello *Zibaldone* l'attenzione sia più specificamente concentrata sulla scienza: quando mette in scena Copernico e il Sole, per esempio, l'ironia stessa pare dimostrare maggiore familiarità con la scienza, in una civiltà che ancora non conosce una divisione così netta tra le "due culture".

Kant è il maggior filosofo europeo dopo Tommaso d'Aquino, ma si occupa anche di ipotesi cosmologiche e della formazione delle nebulose. I poeti romantici di tutta Europa seguono con attenzione le scoperte scientifiche contemporanee. Per esempio, quando Keats menziona il «nuovo pianeta» che, scrive, «nuota nello sguardo» di chi scruta il cielo, provocando immenso stupore, si riferisce alla scoperta di Urano da parte di Herschel. Lui, come anche Shelley, possedeva libri di storia dell'astronomia scritti non da poeti, ma da storici, o divulgatori, della scienza.



Nel 2019 è uscito il suo *Il grande racconto delle stelle* (edito da il Mulino). Duecento anni dopo Leopardi, lei esplora quello che è stato raccontato sul cielo e l'universo dalla letteratura e dalla musica, passando per la pittura e la filosofia. Qual è l'influenza della scienza in queste opere?

Quando ho scritto il *Il grande racconto delle stelle* sono partito dall'unità di "filosofia naturale" (cioè scienza), filosofia strettamente parlando e poesia (o arte in generale) in cui credevano gli antichi, per esempio Aristotele. Questa unità è venuta meno soltanto nella seconda metà dell'Ottocento, quando la scienza ha cominciato a usare matematica sempre più complicata e difficile da comprendere per un letterato. Poi, con il Novecento e la seconda rivoluzione scientifica, gli scrittori e gli artisti in generale hanno ripreso ad accostarsi alla scienza contemporanea: penso a Joyce, a Thomas Mann, a Hermann Broch, ma anche a due poeti più vicini a noi come il brasiliano Haroldo de Campos e il nicaraguense Ernesto Cardenal, oppure a Italo Calvino e Primo Levi. Non parliamo poi dei pittori e perfino dei musicisti, come

SOTTO LA LUNA E LE STELLE
Samuel Palmer, *A Shepherd and his Flock under the Moon and Stars* (1827), Yale Center for British Art, New Haven, Stati Uniti.
Credit: Google Art Project

I poeti romantici di tutta Europa seguono con attenzione le scoperte scientifiche contemporanee



appunto ho mostrato in quel libro. E poi, per dirla tutta, è *sempre stato così*. Omero descrive lo scudo d'Achille come il cosmo che la “scienza” del suo tempo conosceva. Lucrezio è poeta-scienziato tra i maggiori. Dante riversa nella *Commedia* tutta la scienza che ha appreso dall'Aristotele latino e dal *Timeo* latino di Calcidio. Senza conoscere quella scienza è impossibile conoscere a fondo Dante. Non è la scienza che manca ai poeti, è la poesia che manca agli scienziati. Ripeto: questo vale anche per i pittori e persino per i musicisti. Sempre: dalle miniature medievali ai quadri del Seicento o dell'Ottocento, dalla musica di Haydn a quella di Dallapiccola. Come potrebbe un artista ignorare la scienza se vuol rendere un'immagine del mondo che ha davanti e nel quale vive? Certo, ci sono sensibilità e conoscenze scientifiche differenti da artista ad artista. Nel migliore dei casi, un Leonardo sarà grandissimo pittore ma anche straordinario indagatore (e scrittore) dei fenomeni naturali.

Secondo lei, esiste ancora oggi un dialogo tra la scienza, la letteratura e le arti, e – se sì – qual è l'esempio che più l'ha colpita?

Certo che esiste anche oggi! E in doppia direzione. Ho già citato il poeta brasiliano De Campos e quello nicaraguense Cardenal, che fanno poesia della scienza. Il pittore Anselm Kiefer, uno dei maggiori del nostro tempo, fa lo stesso. Ma c'è anche la scienza che introduce il concetto di *bellezza* all'interno del proprio discorso: gli esempi più eloquenti sono Paul Dirac, che diceva «it is more important to have beauty in one's equations than to have them fit experiment», oppure il fisico indo-americano Subrahmanyan Chandrasekhar, autore di un libro intitolato *Truth and Beauty. Aesthetics and Motivation in Science*, o il nostro Bruno Bertotti. Alberto Magno, il maestro tedesco di Tommaso d'Aquino, diceva, nel Duecento: «Poesis modum dat philosophandi sicut aliae scientiae logices». “La poesia dà modo di filosofare come le altre scienze della logica”. Non male, per un frate domenicano di otto secoli fa! ■

LA VIA LATTEA
Alfred Emile Stevens, *La Voie Lactée* (1885),
collezione privata, Belgio.
Crediti: Google Art Project

TUTTI IN GITA NEI LUOGHI DELL'ASTROFISICA

intervista

di **Marco Malaspina**



ALESSANDRO BOGLIOLO
Università degli Studi di Urbino

Si chiama CodyTrip ed è il format delle gite scolastiche online che ogni anno coinvolge oltre 50mila partecipanti, per offrire esperienze formative entusiasmanti alla scoperta di luoghi, persone, tradizioni e saperi. Dal 2022, grazie alla collaborazione con l'Istituto nazionale di astrofisica, CodyTrip ha permesso di varcare la porta della ricerca astrofisica italiana, accompagnando le scuole di tutta Italia presso strutture dell'Inaf nelle quali si studia l'universo. Ne parliamo con Alessandro Bogliolo dell'Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, ideatore e guida dei CodyTrip.

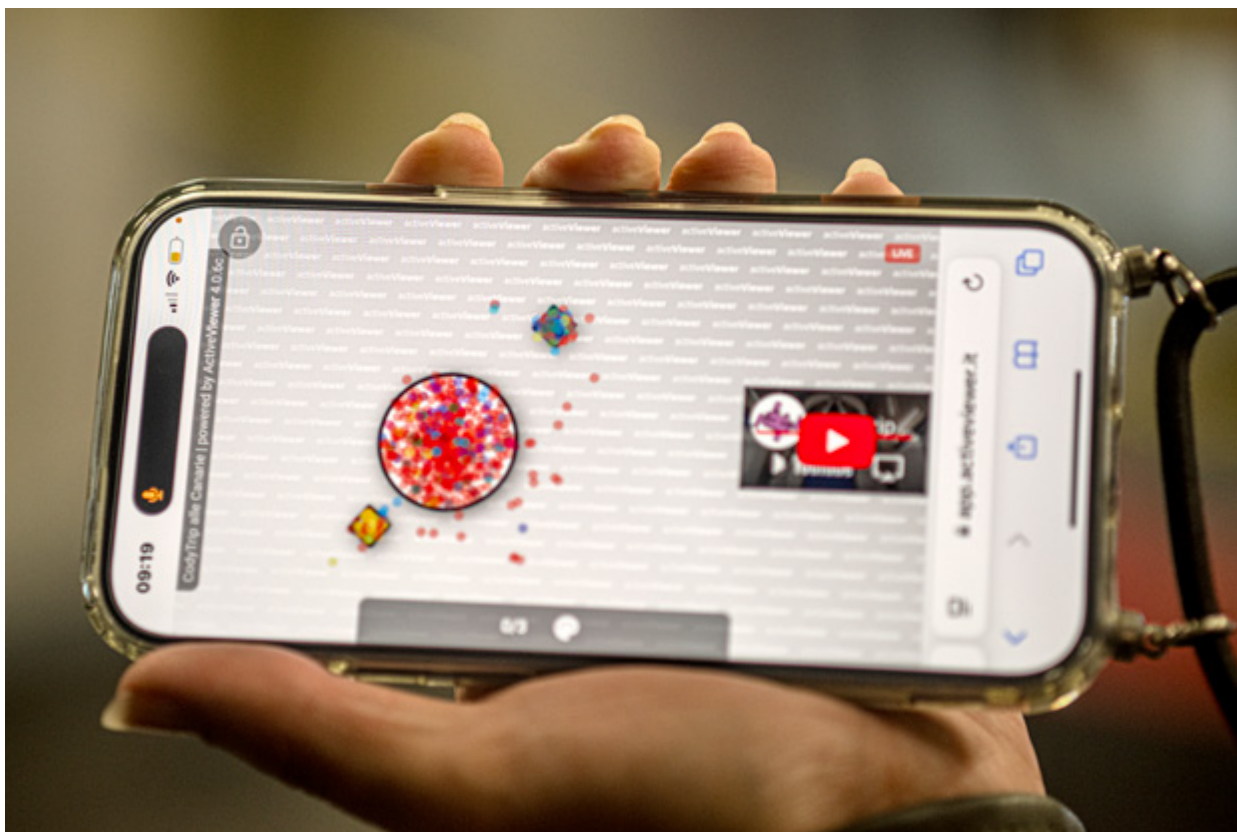
Cos'è il CodyTrip e come è nata l'idea?

CodyTrip è un'intensa esperienza formativa che segue il programma di una gita scolastica di due giorni, ma è condotta a distanza, in diretta interattiva, ed è offerta a tutte le scuole contemporaneamente. L'idea è nata ad aprile del 2020, quando diverse scuole avevano programmato di venire a Urbino nell'anno di Raffaello e approfittarne per fare due ore di coding con me nel grande Cinema Teatro Ducale, come succedeva dal 2016. Quelle gite si chiamavano già CodyTrip e si svolgevano in presenza a Urbino, ma il lockdown aveva fatto saltare tutti i piani e così decisi di organizzare un CodyTrip online. Guardai il calendario, scelsi il 26 e il 27 maggio e il 27 aprile lo annunciavo, impegnandomi a realizzarlo e invitando le scuole a iscriversi gratuitamente. Le adesioni furono immediate. Chiesi e ottenni la collaborazione di tutte le istituzioni per rendere l'esperienza più ricca e coinvolgente possibile, nel rispetto delle severe regole di contenimento della pandemia. Poi misi al lavoro Digit srl per sviluppare una soluzione tecnologica. Volevamo consentire a tutti di seguire la gita in diretta, da qualsiasi dispositivo e senza difficoltà. Pensammo allora che l'applicazione dovesse presentarsi come una semplice pagina web, che le scuole dovevano solo aprire. Poi avremmo pensato noi a far accadere tutto lì dentro, trasmettendo in diretta dai luoghi della gita e facendo apparire immagini e pulsanti con cui interagire. Il prototipo fu realizzato appena in tempo e in quei due giorni funzionò tutto!

Perché sta continuando a portarla avanti, ora che l'emergenza pandemica si è conclusa?

A quella prima esperienza parteciparono 6600 persone entusiaste. Decidemmo di replicarla a dicembre dello stesso anno, e poi di organizzare altre gite nel 2021, prima a Firenze, poi a Torino: i numeri crescevano e con loro l'entusiasmo. Ci siamo resi conto che CodyTrip contribuiva a compensare le

ACTIVE VIEWER
Schermata di Active Viewer, uno strumento sviluppato da Digit che permette al pubblico di interagire in diretta con le guide e gli astronomi.
Credit: Inaf/F. Villa



povertà educative, consentiva alle scuole di espandere l'offerta formativa e riusciva a essere coinvolgente e inclusivo. Finita l'emergenza pandemica, CodyTrip ha continuato a soddisfare il bisogno di conoscenza e di scoperta, arrivando a coinvolgere più di 500mila ragazze e ragazzi con insegnanti e famiglie. Da allora è una delle principali attività di public engagement dell'Università di Urbino, di Digit srl e di Giunti Scuola.

E da qualche anno state collaborando anche con l'Istituto nazionale di astrofisica per portare l'astrofisica nelle scuole di tutta Italia. Dove siete stati?

I CodyTrip organizzati in collaborazione con l'Inaf hanno sfruttato appieno le potenzialità del format e dello strumento. A maggio 2022 abbiamo portato 15mila persone, collegate da 417 città, al Centro Spaziale Asi di Matera, da cui è stato lanciato nello spazio, in diretta, il messaggio vincitore del concorso Inaf "C'è posta per E.T." A dicembre 2023 abbiamo viaggiato nello spazio e nel tempo con 29mila persone collegate da 566 città, visitando con CodyTrip la mostra *Macchine del tempo* al Palazzo Esposizioni, a Roma. A maggio 2024 siamo stati ospiti della Stazione Radioastronomica di Medicina e del Parco Astronomico di Loiano, con 6mila persone, collegate da 297

Ci siamo resi conto che CodyTrip contribuiva a compensare le povertà educative, consentiva alle scuole di espandere l'offerta formativa e riusciva a essere coinvolgente e inclusivo



città, che nella notte hanno potuto decidere in diretta dove puntare il telescopio Cassini. Ora siamo appena tornati dall'Isola delle Stelle, alle Canarie, dove abbiamo portato sui 2400 metri del Roque de Los Muchachos più di 40mila persone, collegate da 586 città, per visitare il Telescopio nazionale Galileo, il Gran telescopio Canarias e i Cherenkov di Magic. In questi anni quasi 100mila persone, da più di mille città, hanno viaggiato con l'Inaf alla scoperta dei luoghi dell'astrofisica.

Ha altri progetti in ballo con l'Inaf?

Quando le mie figlie erano piccole abbiamo letto ad alta voce tutti gli Harry Potter illustrati da Serena Riglietti, così le sue illustrazioni hanno contribuito a formare l'immaginario condiviso della mia famiglia. Ora Serena è la curatrice artistica delle Guide di CodyTrip, il progetto editoriale di Giunti che riprende le esperienze di CodyTrip per stimolare il turismo culturale e offrire opportu-

ALBA E TRAMONTO IN DIRETTA
 Inizio del CodyTrip, all'alba, con la presentazione del Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos (a sinistra) e tramonto al Telescopio nazionale Galileo (a destra).
 Crediti: InafF, Villa



In questi anni quasi 100mila persone, da più di mille città, hanno viaggiato con l'Inaf alla scoperta dei luoghi dell'astrofisica

nità di approfondimento dei temi trattati. Lavorare con Serena Riglietti alle guide è una delle grandi soddisfazioni che mi abbia dato questo progetto! Oltre alle guide da usare visitando i luoghi di CodyTrip, ci sono anche quelle che trattano in modo originale e coinvolgente argomenti complessi. La prima di questo genere è *Mica facile l'eolico*, realizzata con Saipem dopo il viaggio nel Mare del Nord a bordo della Saipem 7000. Ora il mio sogno è realizzare con l'Inaf *Mica facile l'astrofisica*. ■

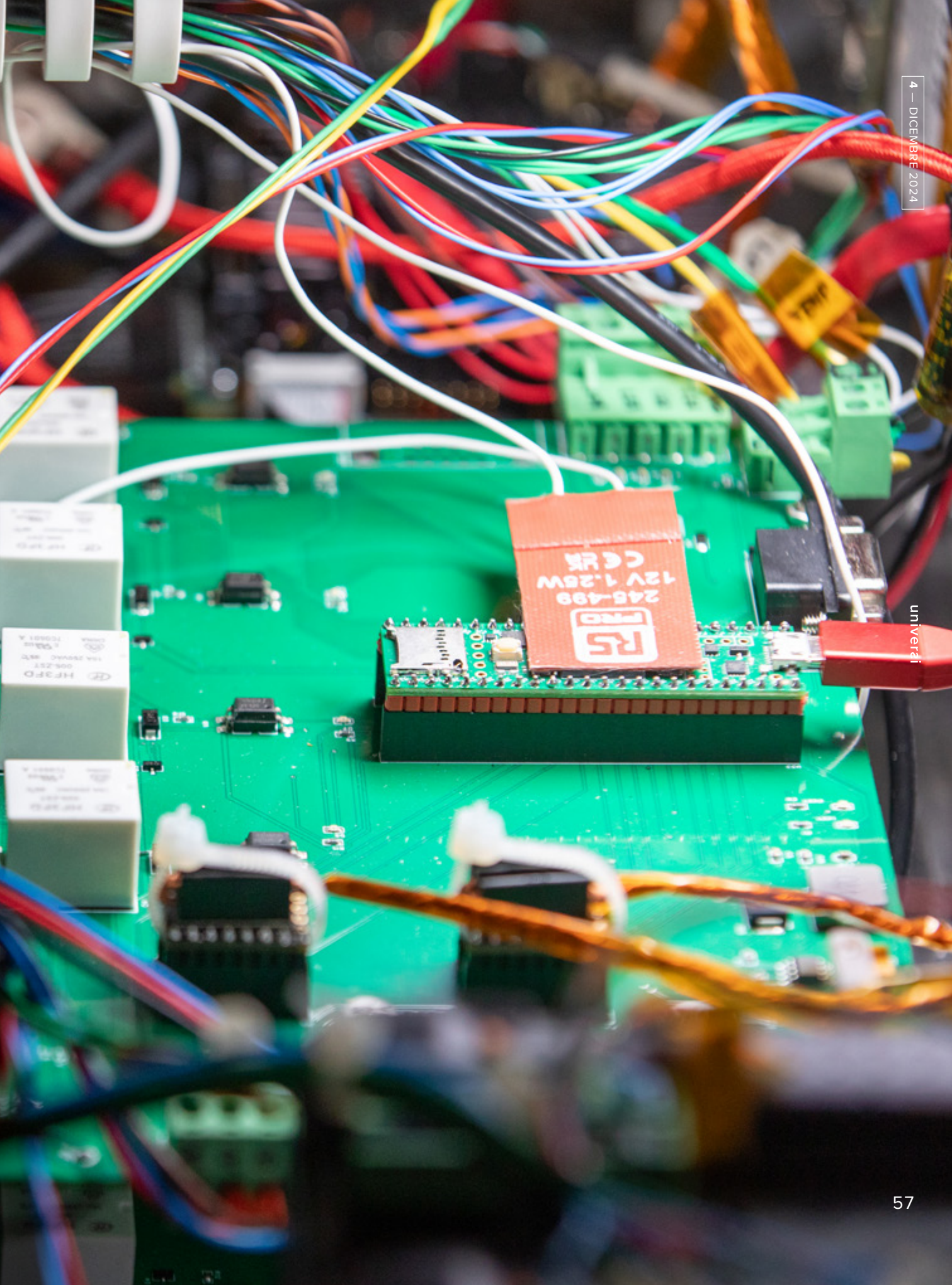
Visione

Ph. Riccardo Bonuccelli

Fare San Martino. È uno di quei modi di dire che appartengono al territorio a vocazione agricola della pianura padana e significa “cambiare lavoro e luogo di lavoro” o, in senso più ampio, “traslocare”. In piemontese suona così: fé San Martin. Capita, ed è capitato spesso, anche agli astronomi di dover traslocare.

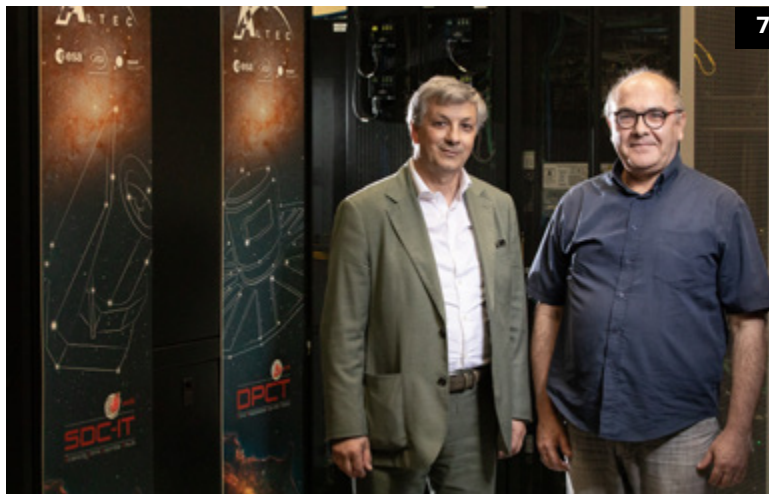
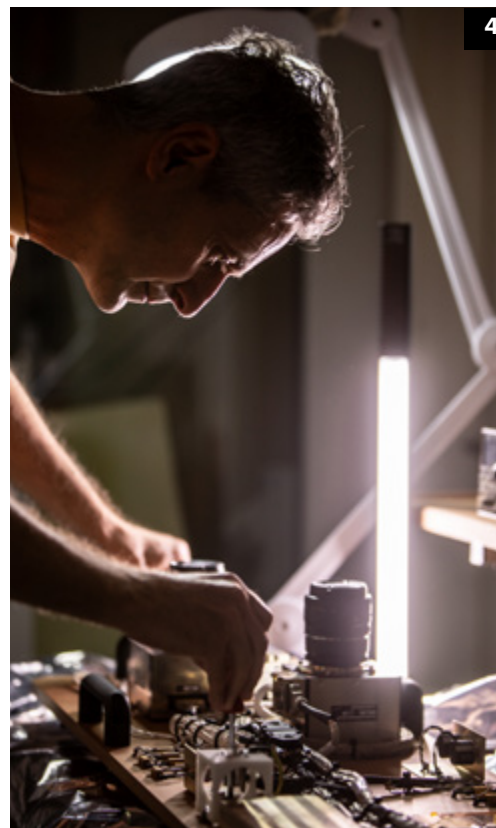
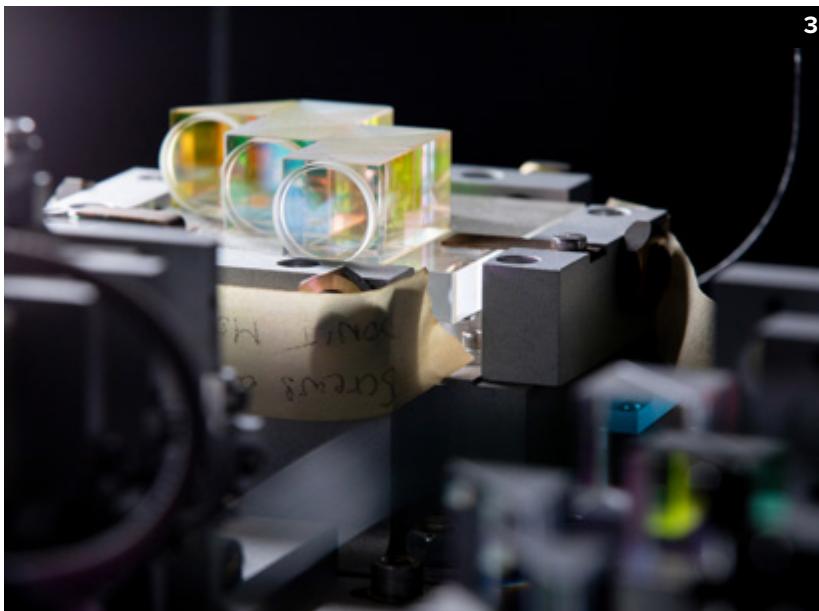
1759: il re Carlo Emanuele III dà mandato all’astronomo Giovanni Battista Beccaria di misurare l’arco di meridiano che passa da Torino e fa riadattare a sue spese una torretta posta su una casa all’imbocco della centralissima via Po, dove l’astronomo possa fare i calcoli con i suoi strumenti. Il primo trasloco arriva nel 1790 quando è pronto il primo vero e proprio osservatorio sul tetto dell’Accademia delle scienze. Nel 1822 Giovanni Plana trasferisce i pochi strumenti a sua disposizione a Palazzo Madama, aggiungendone altri più evoluti e dando inizio a un’attività osservativa sistematica. Nel giro di cinquant’anni la luminosa e rumorosa città si rivela un luogo per nulla adatto a fare osservazioni del cielo notturno. Tra il 1907 e il 1912 Giovanni Boccardi fa spostare l’osservatorio a Pino Torinese sul Bric Torre Rotonda a 620 metri sul livello del mare.

Oggi, in seguito alla fusione con l’Istituto di fisica dello spazio interplanetario nel 2012, l’Osservatorio astrofisico di Torino è sede dell’Inaf. Le sue linee di ricerca spaziano dall’astrometria alla coronografia solare, dalla cosmologia locale allo studio di stelle e pianeti extrasolari, dall’astrofisica extragalattica e dei plasmi alla fisica astroparticellare, e includono attività di progettazione e sviluppo di strumentazione a terra ma anche di missioni spaziali. Fare San Martino con la migliore tecnologia che abbiamo a disposizione per raggiungere un punto lagrangiano è di certo impegnativo. Ma cosa non si fa per un attico con vista.



visione





1. Nel laboratorio di ottica si sta calibrando il sistema di simulazione del profilo di penombra della missione Esa Proba-3.

2. Il laboratorio di elettronica: ospita esperimenti per integrazione di strumentazione spaziale (e non solo), incluso il “gemello” dello strumento Metis, a bordo della missione Esa/ Nasa Solar Orbiter e l’elettronica di controllo di strumentazione astronomica operata in ambiente stratosferico.

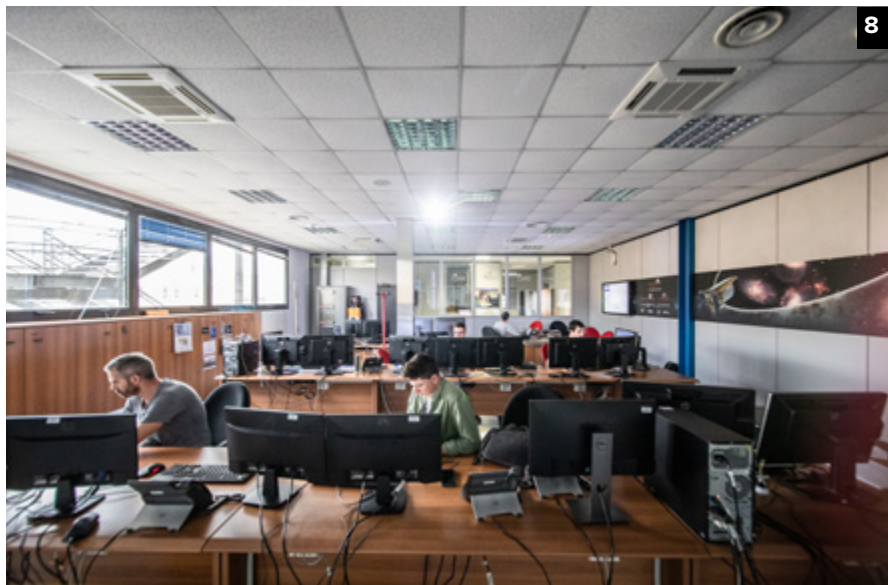
3. Particolare del sistema ottico-meccanico del prototipo di Finito, *fringe-tracker* di prima generazione di Vlti, operante in banda H fino al 2018. Il prototipo è ora ospitato nel laboratorio di ottica dell’osservatorio.

4. Gianalfredo Nicolini al lavoro sul *reference model* di Metis, che viene utilizzato per la validazione delle sequenze osservative.

5. La cupola del telescopio principale in dotazione all’osservatorio, il riflettore astrometrico Reosc.

6. Gerardo Capobianco al lavoro con il modello di laboratorio degli Shadow Position Sensors della missione Esa Proba-3.

7. Michele Martino, direttore dell’ufficio di ingegneria di Altec, e Mario G. Lattanzi, responsabile nazionale del Consorzio di processamento e analisi dati della missione Esa Gaia. Altec ospita nel suo centro, e opera insieme all’Inaf, il centro di processamento dati di Gaia (Dpct) e il centro operativo scientifico della missione Euclid (Sdc-It).



8



9

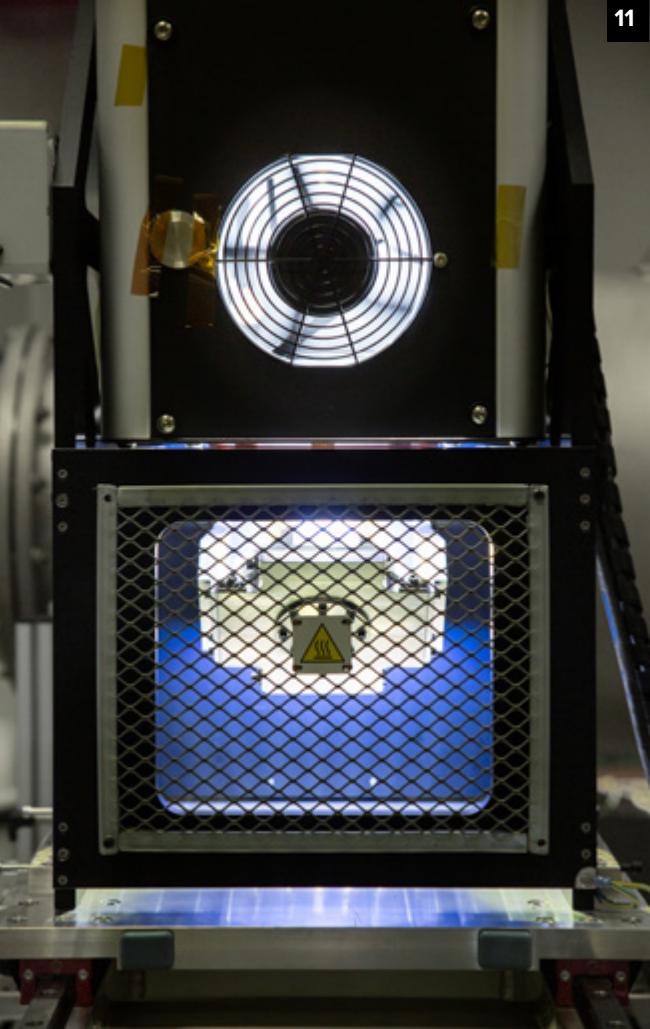
8. La sala multi missione di Altec, a Torino: qui ricercatori e tecnologi dell'Inaf lavorano a stretto contatto con gli ingegneri della Aerospace Logistics Technology Engineering Company.

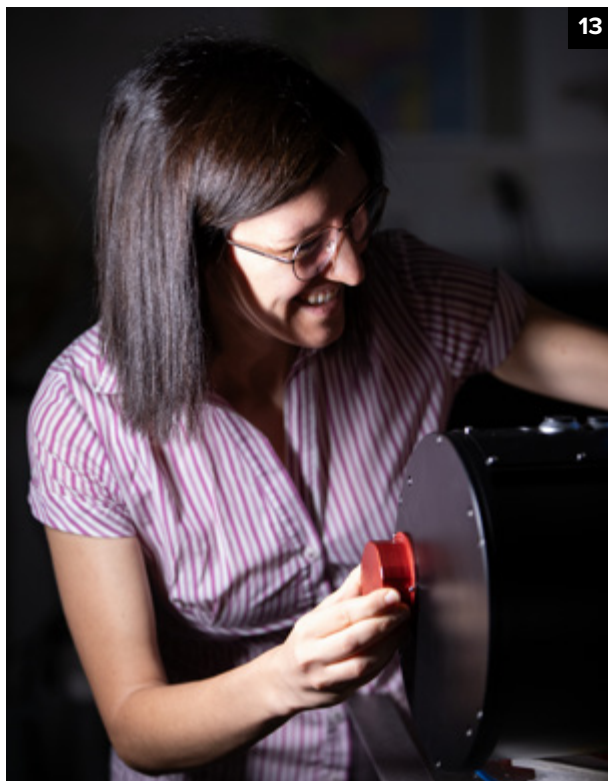
9. Uno scorcio delle due palazzine storiche dell'osservatorio, costruite nel primo decennio del 1900 in cima alla collina di Pino Torinese dopo lo spostamento del Regio Osservatorio dal centro di Torino.

10. Il telescopio Zeiss, un astrografo da 20 centimetri di diametro risalente agli anni Venti del Novecento. Usato principalmente per lo studio e la ricerca degli asteroidi fino alla metà degli anni Ottanta, oggi è destinato alla didattica e alla divulgazione.



visione





13



14



16

11. Il simulatore solare in luce visibile (lsv) all'interno della OPSys è una delle sorgenti utilizzate per calibrazioni di strumentazione spaziale.

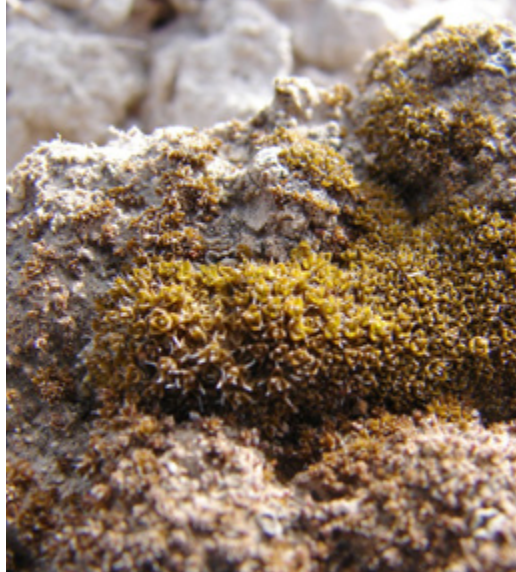
12. Il riflettore astrometrico Reosc è un telescopio con uno specchio primario di 105 centimetri di diametro, inaugurato nel 1974.

13. Prima di ogni missione presso la stazione Concordia in Antartide, il coronografo AntartiCor viene calibrato e riverificata la messa a fuoco della camera e degli occultatori.

14. La via di accesso alla cupola del telescopio Reosc richiede una sana passeggiata nel bosco.

15. La facility Optical Payload System (OPSys), ospitata da Altec a Torino, consiste in una camera bianca con pipeline di termovuoto per la calibrazione di strumentazione ottica spaziale. Il bassissimo livello di luce parassita la rende l'unica facility in Europa per questo tipo di calibrazioni.

16. Con oltre 3 PB di dati Gaia sotto controllo di configurazione, l'Inaf è entrato nell'era dei big data già un decennio fa.



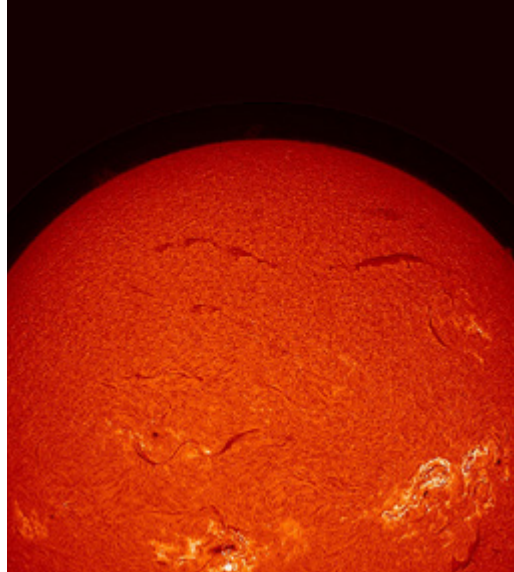
Curiosità dallo spazio

Come colonizzare Marte? Con muschi dai super poteri

Quando la ricerca della vita su Marte lascerà il posto al tentativo di portare la vita sul pianeta, una delle prime specie che potremmo usare per colonizzare il Pianeta rosso sarà il muschio *Syntrichia caninervis*. Noto per la sua resistenza estrema, questo vegetale è paragonabile al tardigrado del mondo vegetale. Cresce in ambienti ostili in Tibet, Antartide e zone polari, ed è in grado di sopravvivere a condizioni estreme. In laboratorio, è stato sottoposto a test brutali: cinque anni a -80°C e un mese a -196°C in azoto liquido, senza subire danni. Ha persino resistito a dosi massicce di radiazioni, che al contrario gli hanno giovato, aumentando la sua rigenerazione. Gli scienziati cinesi, in un simulatore che riproduce le condizioni di Marte (basse temperature, atmosfera rarefatta e alta esposizione a radiazioni), hanno scoperto che *S. caninervis* è in grado di riprendersi completamente, soprattutto se prima viene disidratato. Tuttavia, restano sfide da affrontare, come la resistenza ai perclorati presenti nel suolo marziano, prima di poter considerare l'introduzione di questo muschio sul Pianeta rosso.



Un esemplare di *Syntrichia caninervis*.
Crediti: Sheri Hagwood/Usda-Nrcs Plants Database



Curiosità dallo spazio

L'attività solare verso il massimo del 25° ciclo

Con l'approssimarsi del massimo del 25° ciclo solare, il Sole ha intensificato la sua attività, aprendo un periodo interessante per scienziati e ricercatori dediti al suo studio. Nel mese di luglio si è registrato un numero record di macchie solari sulla fotosfera, e non accadeva da trentatré anni. Questo notevole aumento ha destato particolare attenzione, considerando che l'ultima volta in cui il Sole ha mostrato una simile intensità si stava preparando a scatenare le tempeste solari più potenti degli ultimi decenni, quelle di novembre 2003. Il record nel numero di macchie degli ultimi cento anni appartiene al 19° ciclo solare (1954-1964), con l'eccezionale valore di 285. Venerdì 9 agosto, il conteggio ha superato quota 382. Per trovare un valore più alto bisogna risalire al 22 agosto 1991, quando raggiunse quota 401 durante il 22° ciclo solare. Questa recente attività evidenzia che il 25° ciclo solare è molto più intenso delle aspettative iniziali. L'Inaf di Catania, insieme agli altri istituti che si occupano di Sole all'Inaf, continuerà a monitorare attentamente la sua evoluzione per capire meglio sia la fisica della nostra stella sia le sue implicazioni sull'ambiente circumterrestre.



Immagini della fotosfera e della cromosfera del Sole acquisite dal Telescopio solare dell'Inaf di Catania il 9 agosto 2024.
Crediti: Inaf



Curiosità dallo spazio

Inquinamento luminoso e rischio di Alzheimer?

Un recente studio condotto dai ricercatori della University of California a Irvine ha rivelato una possibile connessione tra l'inquinamento luminoso notturno e l'aumento del rischio di sviluppare l'Alzheimer. I risultati, pubblicati su *Environmental Health Perspectives*, mostrano che l'esposizione a livelli elevati di luce artificiale durante la notte potrebbe alterare i ritmi circadiani e influenzare negativamente il cervello, aumentando l'infiammazione e i marker tipici della malattia. Lo studio si è concentrato su modelli animali, esposti a variazioni di luce simili a quelle che si riscontrano nelle aree urbane fortemente illuminate. I ricercatori hanno osservato che, rispetto ai soggetti esposti a normali cicli luce-buio, quelli sottoposti a luce costante mostravano un peggioramento delle funzioni cognitive e un'accelerazione nei processi neurodegenerativi. Oltre a valutare l'esposizione alla luce notturna esterna, gli esperti si stanno ora concentrando sull'effetto delle luci all'interno delle case, sia quelle ambientali sia le luci blu dei dispositivi elettronici. Questi risultati suggeriscono l'importanza di compiere ulteriori ricerche per comprendere meglio il legame tra inquinamento luminoso e malattie neuro degenerative, e per promuovere politiche di illuminazione più sostenibili.



Troppa luce artificiale, la notte, può incidere sui ritmi circadiani e influenzare negativamente il cervello.
Crediti: Pexels



Partner e progetti dell'Inaf

Con Andes a caccia della vita su altri mondi

Il progetto Andes ha ricevuto l'approvazione finale ed entra ufficialmente nella fase di realizzazione. Questo spettrografo ad alta risoluzione sarà installato sul telescopio Elt (Extremely Large Telescope) dell'Eso, attualmente in costruzione in Cile. Andes è concepito per studiare alcuni dei fenomeni più affascinanti dell'universo, dalla ricerca di esopianeti simili alla Terra alla misurazione delle costanti fisiche fondamentali nel tempo. Grazie alla sua estrema precisione, Andes permetterà di analizzare la composizione chimica delle atmosfere degli esopianeti, cercando tracce di vita, e di esplorare le prime fasi di formazione stellare e galattica, osservando oggetti molto distanti nel tempo e nello spazio. L'Italia gioca un ruolo chiave nel progetto, con l'Istituto nazionale di astrofisica (Inaf) che ne è alla guida, impegnato nello sviluppo sia tecnologico sia scientifico dello strumento. Andes contribuirà a rispondere a domande fondamentali sull'universo e le sue origini, aprendo una nuova era di scoperte astrofisiche, grazie alla combinazione unica di Elt e spettroscopia ad altissima risoluzione.



Il cantiere dell'Extremely Large Telescope, sul Cerro Armazones nel deserto di Atacama, Cile.
Crediti: Eso



Partner e progetti dell'Inaf

Successo per Hermes: osservati i primi fotoni

Hermes – lo strumento dell'Agencia spaziale italiana e dell'Istituto Nazionale di Astrofisica a bordo del satellite australiano Spirit – ha raccolto i primi fotoni in modalità osservativa. Spirit è il primo di una costellazione di sette nanosatelliti (i sei restanti saranno lanciati nei prossimi 12 mesi) che ospiteranno ciascuno lo strumento Hermes. Hermes è stato progettato per scansionare il cielo alla ricerca di lampi di raggi gamma, che si creano quando le stelle muoiono o si scontrano e per un attimo emettono più energia di un'intera galassia. Queste osservazioni possono essere effettuate solo da telescopi spaziali e sono fondamentali per far progredire la nostra comprensione della fisica estrema e hanno anche il potenziale per scovare le tracce della *quantum gravity*. Grazie a un design efficiente e ai progressi dei rivelatori a basso rumore e ad alte prestazioni, lo strumento Hermes pesa poco più di 1,5 kg e occupa un cubo di 10 cm di lato, ma è quasi altrettanto sensibile quanto gli strumenti all'avanguardia a bordo di satelliti centinaia di volte più grandi e massicci, come il Gamma-ray Burst Monitor di Fermi.

Questo testo rappresenta la versione corretta e aggiornata, rispetto a quanto pubblicato sul cartaceo



Rappresentazione artistica del cubesat Spirit.
Crediti: University of Melbourne



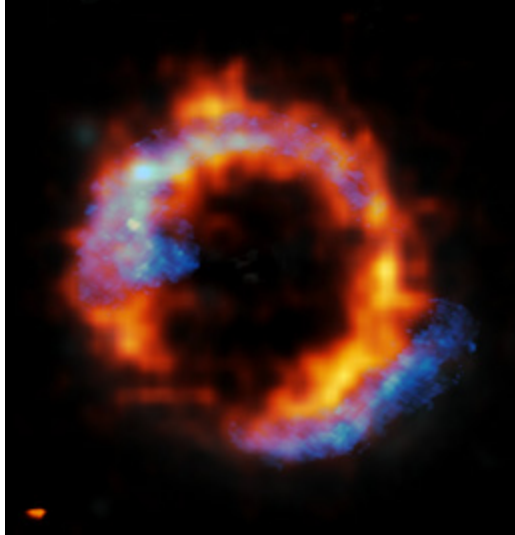
Partner e progetti dell'Inaf

Fate svela i segreti delle atmosfere planetarie

Il progetto Fate (Far-infrared Atmospheric Transparency Explorer), sviluppato da un team internazionale con la partecipazione dell'Inaf, ha fatto un passo decisivo nel campo della scienza atmosferica e dell'astronomia. Lo strumento, operativo nell'infrarosso lontano, è pensato per studiare l'atmosfera terrestre e migliorare la comprensione dei climi planetari. Utilizzando palloni stratosferici, Fate misura con precisione gas come il vapore acqueo, essenziale per modellare l'evoluzione del clima sulla Terra. Ma l'obiettivo va oltre il nostro pianeta. Con la possibilità di applicare la tecnologia di Fate anche al Very Large Telescope (Vlt) in Cile, gli scienziati mirano a studiare le atmosfere degli esopianeti. Il Vlt, uno dei più potenti telescopi al mondo, sarà in grado di sfruttare questi dati per analizzare atmosfere di mondi lontani, alla ricerca di condizioni favorevoli alla vita. Fate, con il suo doppio scopo di perfezionare i modelli climatici terrestri e sondare atmosfere extrasolari, rappresenta una pietra miliare nella ricerca scientifica, unendo competenze astronomiche e climatiche per esplorare nuovi orizzonti.



Il Vlt all'osservatorio Eso di La Silla, a 2400 metri di quota alla periferia del deserto cileno di Atacama.
Crediti: Eso



Grandi scoperte recenti

L'anello di Einstein e il cosmo infrarosso

Questa straordinaria immagine mostra uno degli oggetti più luminosi dell'universo lontano: la galassia PJ0116-24, una cosiddetta galassia infrarossa iperluminosa. Grazie all'intensa e vigorosa formazione stellare al loro interno, le galassie di questo tipo emettono fino al 90 per cento della loro luce complessiva nella regione dell'infrarosso dello spettro. Ma cosa innesca questo fenomeno? Di recente un gruppo di ricercatori ha combinato le osservazioni dei potenti osservatori cileni dell'Eso, Vlt e Alma, per studiare il moto del gas in PJ0116-24. I telescopi hanno catturato l'elegante e raro spettacolo del cosiddetto "anello di Einstein". La forma particolare di questo oggetto si deve al fenomeno della lente gravitazionale, predetto da Albert Einstein nella sua teoria della relatività generale. PJ0116-24 si trova nell'universo remoto e la sua luce ha impiegato circa 10 miliardi di anni per raggiungere le nostre antenne. Ma una galassia in primo piano ha agito come "lente d'ingrandimento", piegando e amplificando la luce di PJ0116-24, formando l'anello di Einstein che vediamo nell'immagine. Questa scoperta fornisce nuovi indizi sulle prime fasi di evoluzione delle galassie e sulle condizioni che hanno favorito la loro crescita.



Distribuzioni delle emissioni di stelle, gas freddo e gas ionizzato nell'anello di Einstein PJ0116-24. Crediti: Eso/Naoj/Nrao e Vlt/Eris, D. Liu et al.



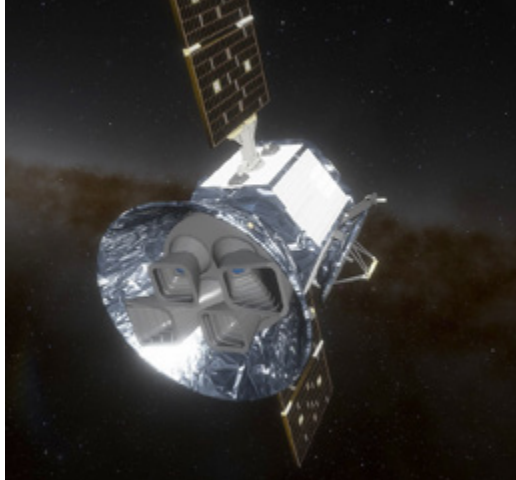
Grandi scoperte recenti

Vento relativistico da un lontano quasar

Un team di ricerca guidato dall'Inaf e dall'Università di Trieste ha nuovamente catturato i lontanissimi ed energici venti relativistici generati da un quasar attivo e luminoso, uno dei più brillanti mai scoperti. In uno studio pubblicato sulla rivista *The Astrophysical Journal* viene presentata la prima osservazione, a diverse lunghezze d'onda, dell'interazione tra un buco nero e il quasar all'interno della galassia ospite, la J0923+0402, risalente a circa 13 miliardi di anni fa, durante le fasi iniziali dell'universo. Oltre a fornire evidenze di una tempesta di gas generata dal buco nero, i ricercatori hanno identificato, per la prima volta, un alone di gas che si estende ben oltre la galassia, suggerendo la presenza di materiale espulso a causa dei venti generati dal buco nero. La luce dei quasar si forma quando il materiale galattico che circonda un buco nero supermassiccio si accumula in un disco di accrescimento. Man mano che questa materia si avvicina al buco nero, si scalda, emettendo grandi quantità di radiazione nella luce visibile e ultravioletta. Questa ricerca contribuisce a comprendere come il gas venga espulso o catturato dalle galassie nell'universo giovane e come i buchi neri crescano, influenzando l'evoluzione delle galassie stesse.



Illustrazione del quasar J059-4351, il nucleo luminoso di una galassia lontana che è alimentato da un buco nero supermassiccio. Crediti: Eso/M. Kommesser



Grandi scoperte recenti

Il più giovane sistema multi-planetario compatto

Gli astronomi hanno recentemente identificato il più giovane sistema multi-planetario compatto mai osservato, un traguardo che promette di ampliare la nostra comprensione della formazione planetaria. TOI-5398, questo il nome del sistema, è situato a circa 50 anni luce dalla Terra nella costellazione dell'Aquila e presenta cinque pianeti che orbitano attorno a una stella giovane con un'età stimata di appena 100 milioni di anni. La scoperta è stata effettuata grazie ai dati raccolti dal telescopio spaziale TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) e da osservazioni a terra. I ricercatori hanno notato che i pianeti, di dimensioni simili a quelle della Terra e di Nettuno, orbitano in un'area molto ristretta attorno alla stella, rendendo questo sistema particolarmente interessante per gli studi sulla formazione e l'evoluzione dei pianeti. Le sue caratteristiche, infatti, potrebbero fornire indizi su come i pianeti si sono formati e si sono stabilizzati in un'orbita così compatta. Inoltre, questa scoperta apre nuove strade per indagare le atmosfere e le potenziali condizioni per la vita su pianeti che, sebbene giovani, potrebbero offrire un laboratorio naturale per studi futuri. La ricerca continua, per svelare i misteri di questo affascinante sistema.

▲ Il Transiting Exoplanet Survey Satellite è progettato per dare la caccia a pianeti extrasolari usando il metodo fotometrico del transito.
Crediti: Nasa



Premi, nomine & elezioni

A Giada Peron il premio L'Oréal-Unesco per la scienza

Giada Peron, giovane ricercatrice dell'Inaf, è stata insignita del prestigioso Premio L'Oréal-Unesco per le donne nella scienza. Ricercatrice presso l'Inaf di Arcetri con una Inaf Astrophysics Fellowship, Peron è specializzata nell'astrofisica delle alte energie e in particolare la sua ricerca si concentra sull'osservazione in banda gamma di oggetti galattici come i resti di supernova, le nubi molecolari e gli ammassi stellari. Si è aggiudicata il Premio L'Oréal con un progetto sul contributo degli ammassi stellari ai raggi cosmici galattici. E infatti spiega: "Gli ammassi stellari potrebbero essere la chiave per spiegare le anomalie che osserviamo ma servono conferme dal punto di vista sperimentale. Il mio progetto ha proprio lo scopo di quantificare usando misure da satellite (Fermi-Lat) e da terra (con i futuri Astri-MiniArray e Ctao) quant'è la frazione di raggi cosmici che si riescono ad accelerare negli ammassi di giovani stelle". Il Premio L'Oréal non solo sottolinea l'importanza della ricerca scientifica condotta da donne, ma mira anche a incoraggiare le nuove generazioni di scienziate. Questo riconoscimento rappresenta una fonte di ispirazione per tutte le giovani donne che aspirano a intraprendere carriere nel campo della scienza e della tecnologia.

Questo testo rappresenta la versione corretta e aggiornata, rispetto a quanto pubblicato sul cartaceo

▲ Le vincitrici della 22esima edizione del premio L'Oréal-Unesco per le donne nella scienza.
Crediti: L'Oréal Italia



Premi, nomine & elezioni

L'Assemblea generale dell'Iau tornerà a Roma

Nel 2027, Roma diventerà il palcoscenico della 40ª Assemblea generale dell'Unione astronomica internazionale (Iau). Questo prestigioso evento attirerà astronomi e scienziati da tutto il mondo, creando un'opportunità unica per discutere delle ultime scoperte e innovazioni nel campo dell'astronomia. La città eterna, già ricca di storia e cultura, si prepara a diventare un centro nevralgico per la comunità scientifica internazionale. L'assemblea rappresenta un momento cruciale per la condivisione del sapere e la collaborazione tra ricercatori di diverse nazioni e specializzazioni. Durante l'evento, sono previsti seminari, conferenze e discussioni che copriranno una vasta gamma di argomenti, dall'astrofisica alla cosmologia, dalla ricerca degli esopianeti alla tecnologia avanzata per l'osservazione del cielo. L'assegnazione dell'assemblea a Roma è il risultato di un lungo processo di candidatura, che ha visto l'Inaf in prima linea. L'evento non solo rafforzerà la posizione dell'Italia nel panorama scientifico internazionale, ma offrirà anche ai giovani ricercatori l'opportunità di interagire con esperti di fama mondiale, promuovendo la crescita della comunità astronomica locale.



La prossima Assemblea generale Iau in programma per il 2027 si terrà a Roma.
Crediti: Pexels



Premi, nomine & elezioni

Premio Sif 2024 a Silvia Tosi

Silvia Tosi, astrofisica dell'Inaf, è stata recentemente insignita del Premio Sif 2024 per i suoi straordinari contributi nel campo della fisica e dell'astrofisica. Il premio, conferito dalla Società italiana di fisica, riconosce le ricerche innovative di Tosi nel settore delle onde gravitazionali e della cosmologia. Il suo lavoro ha contribuito a migliorare la nostra comprensione dell'universo e delle sue origini. Tosi, laureata presso l'Università di Roma Tre e dottoranda presso l'Inaf di Roma, ha espresso il suo entusiasmo per il riconoscimento, sottolineando l'importanza della ricerca collaborativa e dell'innovazione scientifica. La sua carriera è caratterizzata da una serie di scoperte significative che hanno aperto nuove strade per gli studi sulle onde gravitazionali e il loro impatto sull'universo. Questo premio rappresenta non solo un traguardo personale, ma anche un riconoscimento per la squadra di ricerca con cui collabora. Il riconoscimento rappresenta un significativo passo avanti nel valorizzare il contributo delle donne nella scienza, con l'obiettivo di ispirare le future generazioni di scienziate.



Silvia Tosi durante la cerimonia di premiazione.
Crediti: Società italiana di fisica

Nello spazio di una scatola

di Rossella Spiga

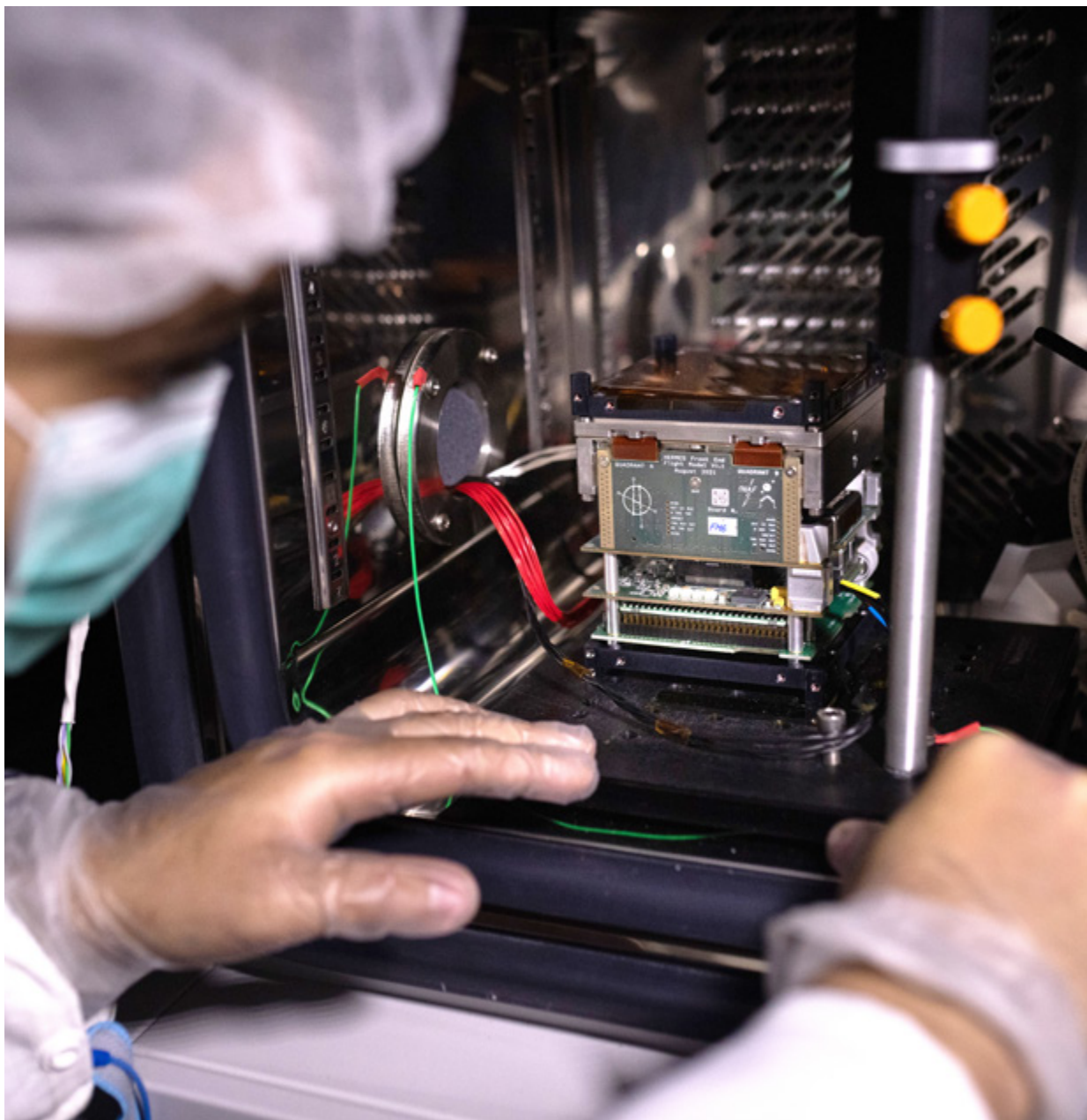
In questo momento, lontano da noi, sono in volo Spirit e Milani, due nanosatelliti con a bordo preziosi strumenti per scrutare lo spazio profondo.

Hermes, a bordo di Spirit, è un rilevatore di raggi X dell'Asi progettato per setacciare il cielo alla ricerca di lampi di raggi gamma, che si creano quando le stelle massicce arrivano al termine della loro evoluzione o si scontrano e per un attimo emettono più energia di un'intera galassia. Spirit è il primo dei sette nanosatelliti della costellazione Hermes Scientific Pathfinder, che sarà in grado di scansionare simultaneamente una grande area di cielo alla ricerca di lampi di raggi gamma e di localizzarli grazie all'analisi dei diversi tempi di arrivo del segnale della sorgente su almeno tre satelliti.

Il Cubesat Milani è a bordo di Hera, la missione dell'Esa per la difesa planetaria, lanciata lo scorso ottobre con il compito di effettuare un'analisi ravvicinata dell'asteroide Dimorphos. A bordo di Milani vola Vista (Volatile In-Situ Thermogravimetre Analyser), un rilevatore di polveri di fabbricazione italiana basato su microcristalli di quarzo, le cui risposte piezoelettriche sono leggermente alterate dall'adesione di minuscole particelle di polvere. Vista utilizzerà questa tecnologia per identificare l'acqua e altre specie volatili intorno agli asteroidi, nonché la presenza di polvere.

Questi gioielli della tecnologia – a guida scientifica Inaf – viaggiano a bordo di cubi di dieci centimetri di lato del volume di un litro. One unit (1U) è la dimensione dello spazio per lo spazio del futuro. Si chiama Cubesat la classe di minisatelliti con dimensione e fattore di forma standard, sviluppato originariamente nel 1999 dalla California Polytechnic State University e dalla Stanford University per fornire una piattaforma per l'esplorazione spaziale accessibile anche agli studenti universitari. Da allora, lo sviluppo dei Cubesat è diventato un settore industriale a sé stante, entrato a pieno titolo nell'ecosistema della nuova Space Economy, rappresentando oggi un accesso agevolato allo spazio. Non solo: i Cubesat sono piattaforme economiche per indagini scientifiche, dimostrazioni di nuove tecnologie in orbita, sperimentazioni in

È in corso un processo di democratizzazione dello spazio, non più lontano e inaccessibile, che offre nuove opportunità e presenta numerose sfide etiche



HERMES

Uno dei payload per i sei nanosatelliti della costellazione in fase di test presso i laboratori dell'Inaf IAPS di Roma.
Crediti: Inaf/V. Muscella

ambiente spaziale o di supporto a satelliti più grandi nei settori tradizionali dell'osservazione della Terra e delle telecomunicazioni, grazie alla possibilità di dispiegarsi in costellazioni, ottenendo una copertura globale e bassi costi.

I Cubesat consentono un accesso allo spazio anche a università o organizzazioni non profit. Persino il Vaticano – che certamente non ha messo in dubbio la nostra posizione nell'universo – ha lanciato in orbita in collaborazione con Asi la missione Spei Satelles, un piccolo satellite cubesat che trasmette dei messaggi di speranza che Papa Francesco ha pronunciato durante il suo magistero.

È in corso un processo di democratizzazione dello spazio, non più lontano e inaccessibile, che offre nuove opportunità e presenta numerose sfide etiche, addirittura mettendoci di fronte a un cambiamento di paradigma sulla nostra percezione dell'universo. ■

Siamo tutti una tribù astronomica

di Francesca Aloisio

Due fratelli, uno specializzato in comportamento animale l'altro giocoliere professionista, con in comune la voglia di scommettere sul valore dell'esperienza per avvicinare il pubblico alla scienza. Un progetto di divulgazione che porta l'astronomia in contesti non convenzionali. Questi gli ingredienti della messicana *Tribu Cultura astronómica*.

Due fratelli, un obiettivo: trasmettere la bellezza della scienza, con tutti i mezzi possibili, anche la pirateria. Questa, in sintesi, la genesi del progetto *Tribu Cultura astronómica*, ideato dal messicano Cuauhtémoc Méndez Rosas con la complicità del fratello, José Guillermo Méndez Rosas. Li abbiamo incontrati all'XI edizione della Conferenza *Communicating Astronomy with the Public* (Cap), lo scorso giugno a Tolosa.

Tribu Cultura astronómica è un progetto dedicato alla promozione della conoscenza dell'universo attraverso esperienze astronomiche come osservazioni guidate del cielo, laboratori, attività e strategie per l'insegnamento dell'astronomia, passando per lo sviluppo dell'astroturismo nelle aree rurali del Messico e ora anche nelle Fiji.

Abbiamo chiesto a Cuauhtémoc Méndez Rosas come sia nata l'idea di portare l'astronomia in contesti non convenzionali e ci ha risposto che è stata una cosa molto naturale. Unire il suo amore per il cielo alla sua professione era un sogno, ma forse anche l'unica cosa da fare. Specializzato in comportamento e benessere degli animali, ha coinvolto nel progetto il fratello José Guillermo, clown e giocoliere professionista: è stato quindi naturale mettere insieme astronomia, zoo e circo fin dall'inizio del progetto, cinque anni fa.

José Guillermo come artista circense e attore comico ha sempre

José Guillermo come artista circense e attore comico ha sempre avuto l'aspirazione di andare, con la sua arte, oltre il semplice intrattenimento, creando qualcosa che risuonasse nella testa e nel cuore delle persone anche una volta finito lo spettacolo



PIRATA E SCIENZIATO

Clown, giocoliere e apprendista astronomo: vi presentiamo Bruno il Pirata.
Crediti: Tribu Cultura astronómica

avuto l'aspirazione di andare, con la sua arte, oltre il semplice intrattenimento, creando qualcosa che risuonasse nella testa e nel cuore delle persone anche una volta finito lo spettacolo.

Quando la necessità artistica si integra con la questione educativa si può contribuire a generare il pensiero critico, grazie all'umorismo e a un'esperienza che unisce.

Se uno spettacolo dedicato alla scienza riesce a promuovere la conversazione e la discussione a scuola o in famiglia, ecco che la magia è avvenuta.

Il personaggio del pirata Bruno è nato da questo desiderio e con questo intento e, dopo averlo visto in azione, possiamo dire che l'esperimento è davvero riuscito.

Bruno il Pirata è protagonista di spettacoli, ma anche di una serie di video dedicati ai più piccoli, *Juntos con los astros*, disponibili sul canale YouTube della *Tribu* insieme a tantissime altre risorse. Un personaggio che farebbe innamorare del cielo anche l'equipaggio più refrattario alla scienza.

La *Tribu* oggi è in crescita, ma qual è il segreto del suo successo?

Secondo i suoi creatori forse uno ce n'è. Dopo ogni esperienza i partecipanti hanno davvero la sensazione di far parte di qualcosa di più grande: si sentono parte della stessa tribù.

Lo spirito del progetto è il principale motivo della sua fortuna e qualsiasi argomento in grado di portare avanti questo messaggio è il benvenuto.

Il fatto di non essere astronomi professionisti ha fatto sì che i due fratelli abbiano avuto la giusta dose di incoscienza per lasciare che fosse la meraviglia a fare il lavoro; tutto il resto viene di conseguenza, in modo naturale.

Bruno il Pirata sogna di portare la *Tribu* in giro per il mondo, e auspichiamo che possa nascere qualche collaborazione anche in Italia, magari con il nostro Istituto, che condivide l'amore per il cielo e la convinzione profonda che la sua meraviglia ci unisce tutti oltre ogni confine. ■

Astro-tamagotchi: accendi la tua stella virtuale

di Laura Leonardi

Un viaggio tra stelle e tecnologia: al Festival della Scienza di Genova un laboratorio ideato dall'Inaf introduce il ciclo di vita delle stelle utilizzando il pensiero computazionale e la realtà aumentata.

Immaginate di poter dar vita a una stella, osservare la nube interstellare da cui si potrebbe formare, accenderla, nutrirla, vederla crescere e guidarla nel suo percorso evolutivo, fino alla fine dei suoi giorni. Questo è *Astro-Tamagotchi*, esperienza ideata dall'Inaf e presentata al Festival della Scienza di Genova dal 24 ottobre al 3 novembre, dove studenti e grande pubblico sono stati invitati a diventare creatori e custodi di una stella virtuale tutta loro.

Il laboratorio è ispirato al celebre Tamagotchi, gioco elettronico molto conosciuto tra gli anni Novanta e i Duemila, che permetteva di prendersi cura di un animale virtuale attivato da un micro-chip. L'etimologia della parola Tamagotchi unisce, infatti, le parole giapponesi *tamago*, che significa "uovo", e *uotchi*, l'equivalente inglese di *to watch*, ovvero "guardare", dunque prendersi cura di una creatura fin dalla sua nascita.

Nell'*Astro-tamagotchi* i giocatori possono adottare una stella dopo averla individuata tra le nubi colorate di un'intensa fabbrica cosmica (la *stellar nursery*). Dovranno aiutarla ad accendersi e a proseguire la sua evoluzione, superando sfide di logica, risolvendo enigmi di coding e utilizzando la realtà aumentata. L'obiettivo? Divertire, certo, ma anche far comprendere le dinamiche complesse che governano l'evoluzione delle stelle.

Il laboratorio è gestito da un bot di Telegram che si attiva con un qr code e guida i partecipanti nelle varie sfide. La prima sfida è affidata a un mazzo di carte, ognuna delle quali rappresenta un tassello fondamentale per riuscire ad accendere la stella: protoni, elettroni, positroni, nuclei di deuterio ed elio devono essere combinati opportunamente per riprodurre la catena di reazioni nucleari



REALTÀ AUMENTATA

Astro-Tamagotchi è anche un'avventura 3D disponibile per smartphone e tablet.

Crediti: Inaf



CARTE STELLARI

Le carte dell'*Astro-Tamagotchi* rappresentano gli ingredienti per accendere le stelle: protoni, elettroni, positroni, atomi di deuterio ed elio.
Crediti: B. Oliveri e L. Gammarrata

che avvengono all'interno di una stella. Una volta superata la sfida, i giocatori vengono a conoscenza della massa della stella che sono riusciti ad accendere e possono osservarla utilizzando un'applicazione in realtà aumentata realizzata con CoSpaces Edu, di cui Inaf è *impact partner*, e Merge Cube. La realtà aumentata dà vita alle stelle in 3D, rendendo visibile la loro crescita, arricchendo di interazioni lo spazio di gioco e introducendo i partecipanti a un quiz stellare che, una volta risolto, fornirà il codice per superare l'ultima sfida, quella di coding e robotica. La fase finale del laboratorio utilizza, infatti, il coding con Ozobot, piccolo robot educativo che si muove interpretando i comandi attraverso un sistema di programmazione visuale. *Astro-Tamagotchi* è un laboratorio di Play Inaf, team di didattica innovativa dell'Inaf che ha saputo unire l'aspetto nostalgico del Tamagotchi classico con la meraviglia dell'esplorazione cosmica, e che si è fatto notare al Festival della Scienza di Genova non solo per la strategia educativa ma anche per il suo stile *steampunk*: estetica fantasiosa retrò-futuristica, con meccanismi, ingranaggi e scintille. Un'esperienza multimediale che ha dimostrato come la scienza, se raccontata in modo creativo e interattivo, può essere accessibile a tutti, e che ha saputo far brillare non solo le stelle, ma anche la curiosità e l'entusiasmo dei partecipanti. ■

Dalle costellazioni all'attivismo climatico

di Claudia Mignone

Luce, spazio e natura nella transizione da hi-tech a low-tech dello Studio Lemercier. Un connubio che punta a stimolare il pensiero critico, rispetto allo spazio ma anche all'ambiente.

Melbourne, fine agosto 2024. Volge al termine un mite inverno australiano, il secondo più caldo dall'inizio delle misurazioni. Tra le attrazioni che offre la capitale culturale d'Australia, il festival Now or Never propone performance musicali, installazioni d'arte digitale e conferenze su un futuro che è già presente.

Passeggiando lungo la Southbank Promenade, fasci luminosi e invisibili particelle d'acqua formano linee, poligoni e poliedri che invitano a immaginare un cosmo tutto da esplorare. Si chiama *Constellations*, dura circa un quarto d'ora ed è uno dei pezzi forti del festival. I suoi creatori, però, non ci sono. «Siamo impegnati nel ridurre l'impatto ambientale del nostro progetto», scrivono sui loro canali social l'artista Joanie Lemercier e la curatrice Juliette Bibasse.

L'installazione, ispirata alle più moderne mappe del cielo stellato, come quella 3D che sta realizzando il satellite Gaia dell'Agenzia spaziale europea, ha già fatto il giro del mondo. A partire dal 2018, è stata presentata in Regno Unito, Spagna, Francia, Germania, Norvegia, Australia e Qatar, dove l'hanno potuta ammirare molte migliaia di persone.

«È un'estetizzazione del simbolismo celeste, unisce le stelle tra loro, ma non c'è un significato più profondo: è un'esperienza bellissima, divertente. Tutto qui», spiega Lemercier a *Universi*, raccontando la recente transizione ecologica del suo studio artistico. «In tempo di crisi, stiamo cercando di dare più significato al nostro lavoro, affinché non sia solo spettacolo ma sia anche rilevante in quest'epoca di emergenza climatica».

Certo, lo spettacolo è importante: l'effetto "wow" permette di raggiungere un pubbli-





CONSTELLATIONS

Luce e acqua si fondono dando vita a nuove configurazioni cosmiche.
Crediti: David Gallard, Matthew Andrews

co molto più vasto rispetto a un progetto intellettuale complesso e intricato. È per questo che lo Studio Lemerrier, co-diretto da Bibasse e Lemerrier a Bruxelles, continua a lavorare con i dati, la tecnologia e la meraviglia per l'universo, ma da alcuni anni ha cambiato approccio, con una transizione radicale verso l'attivismo climatico.

«È stato il fascino stesso per il cosmo, per l'esplorazione spaziale a farci riflettere in maniera più critica, a farci chiedere da dove venga questa fascinazione, questa visione che abbiamo dell'universo», aggiunge Bibasse. «Siamo stati molto ingenui in passato, guardando il mondo dalla prospettiva dei film di fantascienza in cui alla fine si risolve sempre ogni cosa. Ecco perché è importante essere più critici nel nostro rapporto con lo spazio e la sua estetica».

Un primo passo in questa direzione è *Cosmos 1999*, installazione audiovisiva prodotta nel 2023 che si rifà alla grafica delle agenzie spaziali negli anni Ottanta del secolo scorso. Schermi di computer retrò, pixel giganti e una sensazione da sovraccarico di dati che arrivano dallo spazio profondo. Cosa significa avere così tante informazioni che nessuno, individualmente, riesce a dare un senso al tutto? Abbiamo l'illusione di avere il controllo perché abbiamo tutti questi dati e possiamo sistemare tutto: se siamo in grado di andare sulla Luna e su Marte, saremo in grado di risolvere anche il riscaldamento globale?

Tra i nuovi progetti dello studio, estremamente attenti all'ambiente e con una spiccata vocazione low-tech, ci sono anche installazioni dedicate alla tecnologia solare. L'impatto estetico è sempre molto forte, per cercare di coinvolgere milioni di persone e proporre una visione alternativa del futuro, suscitando immagini e conversazioni che rendano la necessità di affrontare i cambiamenti climatici tanto affascinante quanto l'esplorazione della Luna o di Marte. ■

Earthcare, per prendersi cura della Terra

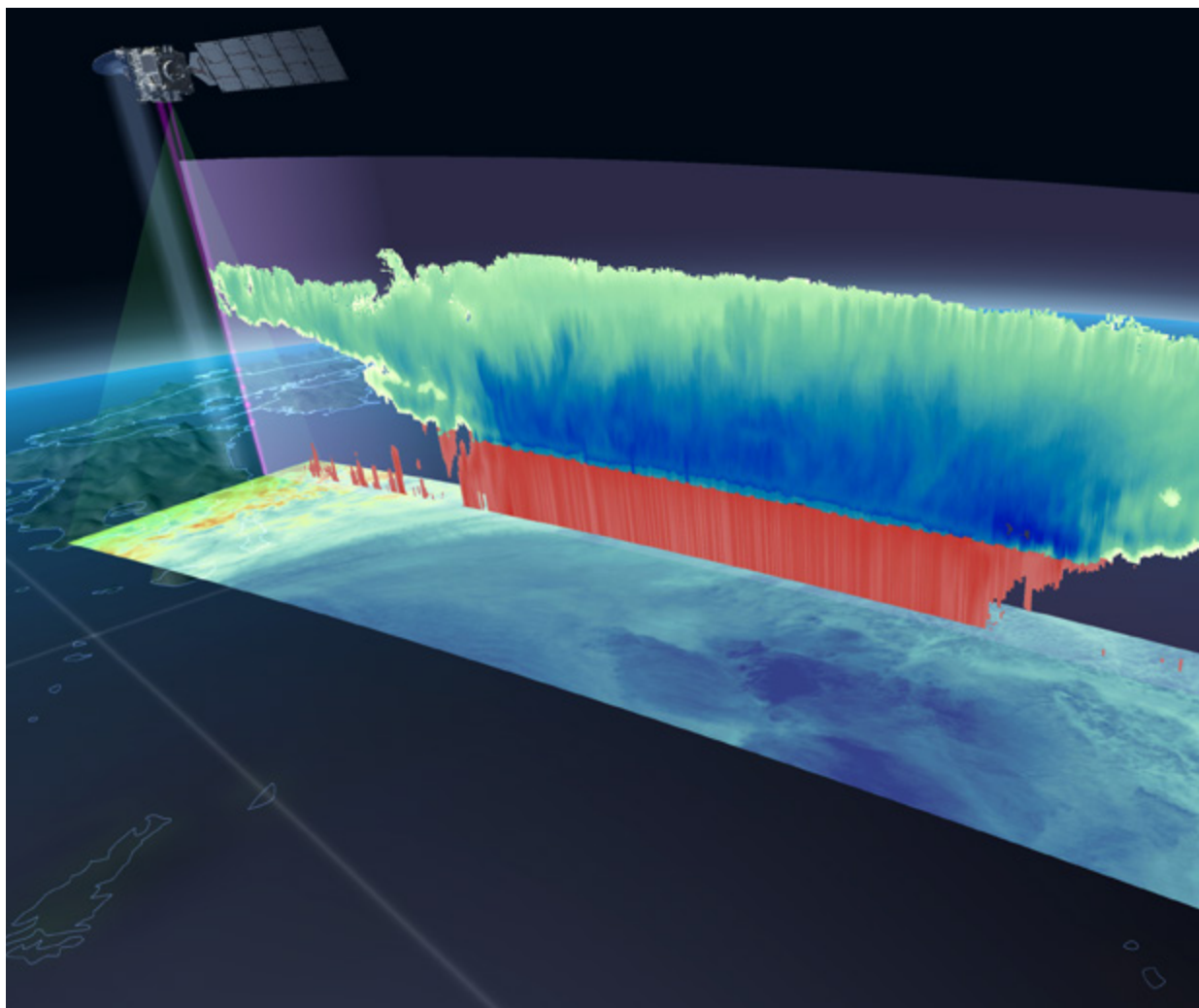
di Valentina Guglielmo

Lanciata il 29 maggio 2024, la missione EarthCare volge i suoi quattro strumenti verso la Terra per comprendere quale sia il ruolo che nuvole e aerosol svolgono nella regolazione del clima terrestre.

Prendersi cura del pianeta studiando come le sue caratteristiche contribuiscono al cambiamento climatico. Potremmo vedere questo dietro la realizzazione di EarthCare, la missione Esa/Jaxa che riassume nel nome il nobile intento. Care sta per Cloud Aerosol and Radiation Explorer, acronimo che ne dettaglia il piano esecutivo: osservare le nuvole e gli aerosol che sovrastano la superficie terrestre per capire come si formano e come interagiscono con la luce solare che entra nell'atmosfera e si dirige verso la Terra. Inoltre, EarthCare vuole capire come il calore viene irradiato dalla Terra verso l'universo attraversando strati di nuvole, e quale sia il bilancio fra ingresso e uscita. Temi sui quali ci sono molte lacune, ma che sono fondamentali per migliorare la capacità di prevedere il meteo a breve termine, il clima a lungo termine e i fenomeni meteorologici estremi sempre più frequenti proprio a causa dei cambiamenti climatici.

Earthcare vola a 393 km di quota. Al payload, il corpo del satellite, sono attaccate una lunga fila di pannelli solari e un'antenna di 2,5 metri di diametro, il Cloud Profiling Radar (Cpr). Il payload ospita quattro strumenti scientifici, due attivi e due passivi. I due strumenti passivi si limitano a osservare ciò che accade nell'atmosfera. Il primo è un imager multispettrale (Msi) che scatta immagini in sette intervalli di lunghezza d'onda, coprendo una vasta area e funge da riferimento sulla porzione di atmosfera osservata dagli altri strumenti. Il secondo è un radiometro a banda larga che serve per calcolare il bilancio radiativo, ovvero la differenza tra radiazione assorbita e rilasciata dalla Terra. Quando l'energia del Sole giunge al nostro pianeta, una parte viene assorbita, dispersa e riflessa all'interno dell'atmosfera prima di raggiungere la superficie, in un processo che dipende dall'azione di nuvole e aerosol. Anche la superficie terrestre emette radiazioni termiche nello spazio e, anche in questo caso,

Earthcare vola a 393 km di quota e il suo payload ospita quattro strumenti scientifici, due attivi e due passivi



IL TIFONE SHANSHAN
 Perturbazione in avvicinamento all'arcipelago giapponese, agosto 2024. Il rosso indica la distribuzione verticale dell'acqua nella nube, il blu quella di neve e ghiaccio.
 Crediti: Jaxa/Esa

nuvole e aerosol influenzano la quantità di calore intrappolata o fuoriuscita. I due strumenti attivi funzionano inviando un segnale e guardando cosa ritorna e com'è cambiato. Il lidar atmosferico, Atlid, lo fa con la luce ultravioletta e fornisce profili verticali di aerosol e nuvole sottili. L'antenna Cpr, fornita dalla Jaxa, è un radar per la profilazione delle nuvole: trasmette impulsi elettromagnetici dal satellite e riceve impulsi riflessi, per osservare pioggia e ghiaccio all'interno delle nuvole e misurare il numero e l'altezza delle particelle di nubi presenti. Funzionano in sinergia: mentre Atlid vede l'atmosfera sottile all'esterno, dalle nuvole alla nebbia, alla foschia e alle particelle di polvere, Cpr guarda all'interno.

I dati raccolti da Msi, Atlid e Cpr verranno inseriti nei modelli matematici che calcolano il bilancio energetico in specifici punti dell'atmosfera e i risultati saranno confrontati con i dati del quarto strumento, il radiometro a banda larga. Questo processo permetterà di migliorare le previsioni per approssimazioni successive.

Come da tradizione, la Jaxa ha scelto per EarthCare anche un soprannome: *Hakuryu* – che in giapponese significa “drago bianco”. Forse perché il corpo bianco e la lunga coda di pannelli solari lo fanno somigliare a questo animale fantastico o perché nella mitologia giapponese i draghi sono creature divine che governano l'acqua e volano nel cielo. Una metafora appropriata per l'ambizione di questa missione. ■

Assaggiare Deimos per comprendere noi stessi

di Giuseppe Fiasconaro

Con la missione Taste indagheremo l'evoluzione iniziale del Sistema solare in termini di consegna di molecole alla base della vita.

Una questione ancora aperta in astrobiologia riguarda l'evoluzione dell'abitabilità nel Sistema solare. In che modo le sostanze volatili e le molecole prebiotiche alla base della vita sulla Terra, e forse anche sull'antico Marte, hanno raggiunto i pianeti durante il loro accrescimento? La conoscenza dell'origine di Deimos e Phobos potrebbe svelare la risposta.

Scoperte nel 1877 dall'astronomo Asaph Hall, Deimos e Phobos sono le uniche due lune di Marte. Circa la loro formazione sono state formulate due teorie principali: la teoria dell'impatto gigante e la teoria della cattura di asteroidi. La prima postula che entrambe le lune si siano formate per accrescimento dei detriti espulsi dal pianeta in seguito alla collisione di un corpo celeste. La seconda, invece, postula che le lune siano asteroidi primitivi provenienti dalla fascia degli asteroidi, tra Marte e Giove, catturati dalla gravità del pianeta. Qualunque sia la loro origine, lo studio delle lune marziane farà luce sulla formazione dei pianeti terrestri e sullo sviluppo dell'abitabilità nel Sistema solare. Se Phobos e Deimos sono asteroidi catturati, forniranno prove del trasporto d'acqua e materia organica dal Sistema solare esterno ai pianeti terrestri nel Sistema solare primordiale. Viceversa, se le lune si sono formate da Marte, ci racconteranno della composizione primordiale del pianeta, del corpo impattante e delle influenze degli impatti sulla storia di Marte.

Una missione che verrà lanciata con l'obiettivo di studiare Deimos, la più piccola delle due lune di Marte, è Taste, acronimo di *Terrain Analyzer and Sample Tester Explorer*. Finanziata dall'Asi nell'ambito di un programma dedicato allo sviluppo di missioni basate su nanosatelliti, il programma Alcor, Taste è una missione di tipo cubesat che studierà la luna combinando analisi da remoto con indagini in situ. Per fare ciò, Taste sfrutterà un'architettura di missione mai

Qualunque sia l'origine delle due lune di Marte, il loro studio farà luce sulla formazione dei pianeti terrestri e sullo sviluppo dell'abitabilità nel Sistema solare



LUNE DEL DESERTO

Le lune marziane proiettate nel cielo di Al Qudra a Dubai per celebrare la sonda Hope.
Crediti: Government of Dubai Media Office

concepita prima d'ora, composta da un cubesat orbiter in grado di rilasciare un piccolo lander. John Robert Brucato, astrobiologo dell'Inaf di Arcetri e principal investigator della missione, l'ha definita «la prima missione spaziale in grado di “assaggiare” il suolo di un corpo planetario».

Il viaggio interplanetario di Taste inizierà a bordo di una missione shuttle che la porterà nei pressi di Marte. Da qui un sistema di propulsione permetterà all'orbiter di inserirsi in due distinte orbite della luna: un'orbita larga dalla quale – utilizzando gli strumenti a bordo, tra cui lo spettrometro gamma e X sviluppato dall'Inaf – individuerà il sito di atterraggio migliore per il lander; e un'orbita stretta da cui verrà rilasciato il lander che trasporta.

Con l'atterraggio del lander su Deimos avrà inizio la fase delle indagini in situ. Le analisi saranno condotte grazie a un laboratorio miniaturizzato, composto da un sistema di acquisizione dei campioni (Sam) ideato dal Politecnico di Milano, partner della missione, e da un laboratorio di analisi delle superfici (Sal) sviluppato dall'Inaf, che esaminerà il contenuto di sostanze organiche del suolo. A breve il progetto entrerà nel vivo con la fase di design preliminare (fase B), che includerà anche test in ambiente simulato. Taste indagherà l'evoluzione iniziale del Sistema solare in termini di consegna di sostanze volatili e organiche ai pianeti terrestri. Per vederla in azione dovremo però aspettare ancora qualche anno: in caso di finalizzazione positiva della fase B il suo lancio potrebbe avvenire a partire dal 2028. ■

Il Museo della Specola di Palermo

di Francesca Martines

Un patrimonio storico conservato tra le mura del Museo della Specola di Palermo. Strumenti unici al mondo che raccontano la storia dell'astronomia e anche quella della letteratura e del cinema italiano.

Il Museo della Specola di Palermo è stato inaugurato nel 2001, dopo un accurato restauro dei locali che lo ospitano, quelli del nucleo più antico dell'Osservatorio astronomico di Palermo, fondato nel 1790 sulla cima della Torre Pisana del Palazzo Reale. I restauri hanno mirato a ripristinare per quanto possibile l'aspetto originario dell'antica Specola Panormitana e a rendere fruibili le collezioni, che rispecchiano la storia e l'attività di ricerca nel corso dei secoli. Oggi questo patrimonio, insieme a quello archivistico e bibliografico storico, appartiene all'Università di Palermo ed è gestito in convenzione dall'Inaf Osservatorio astronomico di Palermo.

Nella collezione di strumenti astronomici spicca il bellissimo Cerchio di Ramsden, strumento unico al mondo costruito tra il 1787 e il 1789 dal celebre costruttore inglese Jesse Ramsden, su incarico di Giuseppe Piazzi, primo direttore della Specola. Egli, nella notte del 1 gennaio 1801, scoprì con questo strumento Cerere Ferdinanda, il primo asteroide o pianeta nano. Il Cerchio è ancora oggi nella sua sede originale, una piccola e affascinante sala rotonda con colonne, opera di Venanzio Marvuglia.

Altro esemplare di rilievo è il grande telescopio equatoriale di Merz, collocato subito dopo l'Unità d'Italia nella sala della cupola maggiore. Tale strumento fu principalmente utilizzato da Pietro Tacchini per le prime osservazioni di fisica solare, con l'utilizzo di spettroscopi.

Vanno anche segnalati i tre telescopi del Principe Giulio Tomasi di Lampedusa, appassionato di astronomia e ispiratore della figura del Principe Salina nel romanzo *Il Gattopardo*, scritto dal suo bisnipote Giuseppe. Questi strumenti, insieme a mobili e vari arredi, e financo carte d'archivio, fu-



IL MUSEO DELLA SPECOLA DI PALERMO
Piazza del Parlamento 1, 90134 - Palermo



GLI STRUMENTI MOBILI

Entrando in museo si accede alla sala degli strumenti mobili, che ospita anche quadri, globi e arredi originali.
Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

rono prestati a Luchino Visconti e appaiono nella trasposizione cinematografica del libro.

Le collezioni comprendono anche strumenti di cronometria, meteorologia, sismologia, spettroscopia, fisica, topografia, geomagnetismo e una piccola selezione di globi, e riflettono le diverse attività di ricerca nel tempo. Ad esempio, la collezione meteorologica testimonia le relative osservazioni effettuate fin dal 1791; gli strumenti topografici ci parlano della campagna di rilievo topografico della Sicilia, di cui fu incaricato Padre Piazzi e mai portata a termine per l'opposizione della nobiltà locale; gli spettroscopi utilizzati da Pietro Tacchini documentano il ruolo che l'Osservatorio astronomico di Palermo ebbe nelle prime applicazioni della spettroscopia all'astronomia. A Palermo, tra l'altro, erano stampate le *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani* (oggi *Memorie della SAIt*), considerata la prima rivista di astrofisica al mondo.

Il patrimonio del Museo della Specola è strettamente connesso con quello della biblioteca storica e dell'archivio storico, in un unicum che racconta una storia affascinante e in parte ancora da esplorare. Ma anche da preservare: da alcuni anni è iniziata una campagna di monitoraggio degli ambienti del museo, per fini di conservazione preventiva, ed è stato attivato un dottorato di ricerca, in collaborazione con l'Università degli studi di Palermo, proprio sulla conservazione di strumenti scientifici. ■

Nella collezione di strumenti astronomici spicca il bellissimo Cerchio di Ramsden, con il quale Giuseppe Piazzi scoprì Cerere Ferdinandea, il primo asteroide o pianeta nano

musei



IL CERCHIO DI RAMSDEN

Cerchio altazimutale di Ramsden: con questo strumento Giuseppe Piazzi scoprì Cerere Ferdinanda il 1 gennaio 1801.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

IL MERZ

Telescopio Rifrattore Merz: appartenuto al principe Giulio Tomasi di Lampedusa, ispiratore del *Gattopardo*.

Crediti: Inaf/R. Bonuccelli



L'ALTRO MERZ

Telescopio equatoriale Merz: lo strumento è collocato nella sala appositamente realizzata dopo l'Unità d'Italia. Crediti: Inaf/R. Bonuccelli

Dalla tangenziale ai buchi neri: l'inquiry-based learning

di Stefano Sandrelli

Diventare protagonisti dell'apprendimento è un modo perfetto per comprendere in modo attivo, senza paura, neanche delle stelle. Un esempio di inquiry-based learning dall'osservatorio di Brera.

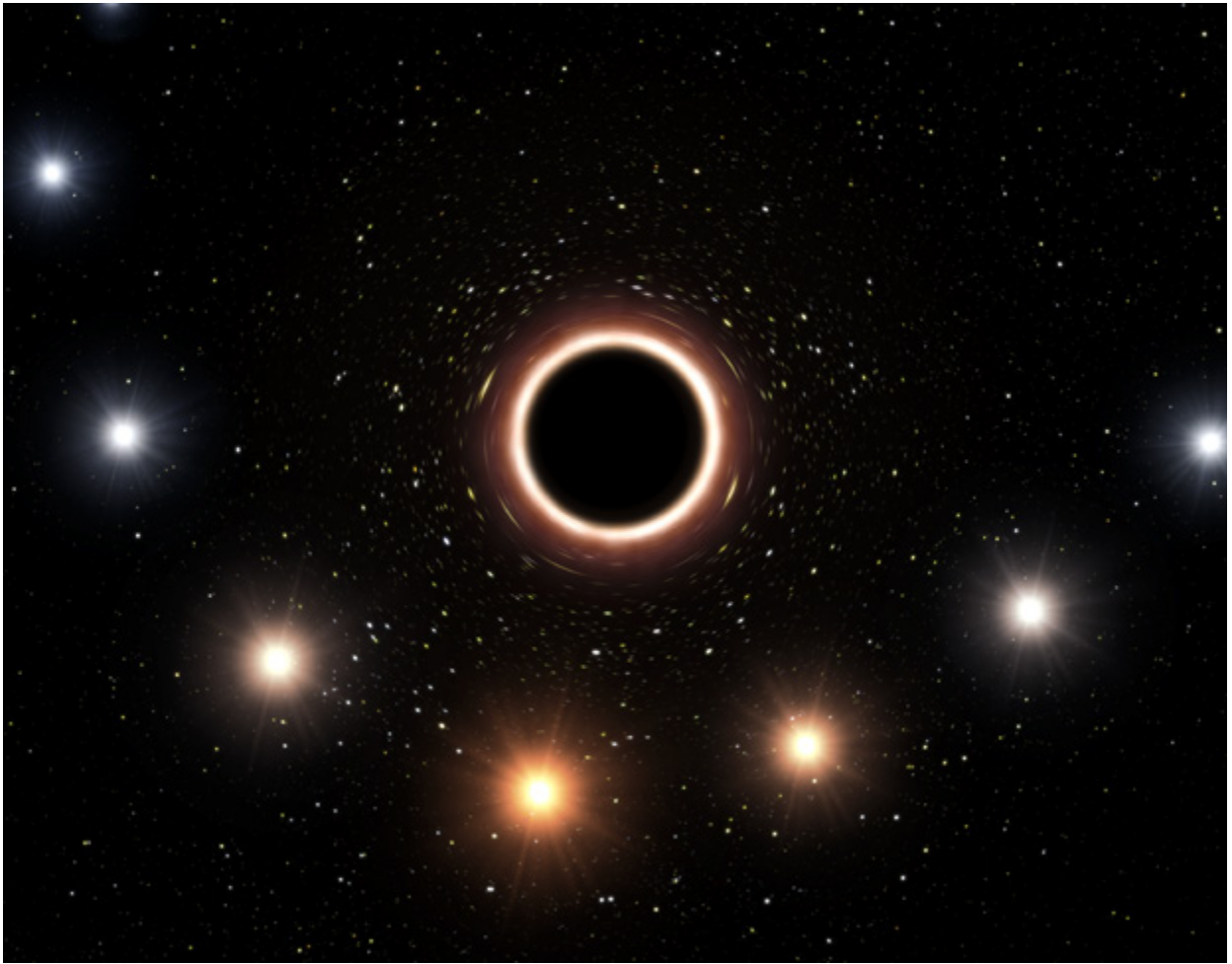
Mattino di scuola. IV C, Liceo della periferia di Milano, auto che sfrecciano sulla tangenziale Ovest. Sulla Lim, 12 immagini in successione: un gruppo di stelle che si spostano, danzando. Sono osservazioni del centro galattico nell'infrarosso raccolte nell'arco di 11 anni. Le immagini sono dei quadrati con lato pari a 120 giorni-luce. Che cosa sta accadendo in quel pezzo di cielo?

Sono più di vent'anni e oltre 1000 incontri che l'Osservatorio di Brera porta il "fare scienza" a scuola. Progettiamo laboratori che utilizzano dati astronomici, ispirati a una concezione costruttivista dell'apprendimento. Vogliamo stimolare il pensiero divergente, non assiomatico, aiutando gli studenti a mettere in gioco se stessi: è la persona che cresce, non lo studente. Una delle strategie su cui abbiamo investito di più con il passare del tempo è l'*inquiry-based learning*, ben nota da tempo in ambito educativo. Nell'*inquiry* – cioè investigazione, attivazione di fronte a un fenomeno – lo studente diviene protagonista della comprensione.

Torniamo al centro galattico: che cosa sta accadendo? «Boh», dicono loro. Ci dividiamo in gruppi di 3-4 persone, per provare a capire *insieme*. Compito di ciascun gruppo è ricavare un'informazione scientifica dai dati: ciascun gruppo definisce la propria domanda di ricerca.

L'insegnante interviene il meno possibile, ha il ruolo di facilitatore. Dà informazioni di contorno, sostiene, incoraggia ciascun gruppo a condividere i propri dubbi. Bisogna superare i primi 20-30 secondi: sono quelli in cui venti adolescenti adottano la tattica dell'opossum. Silenzio mortale. Poi un gruppo inizia a dire: «Noi pensavamo di calcolare la velocità di quella stella». E indicano la stella che si

L'insegnante interviene il meno possibile, ha il ruolo di facilitatore. Dà informazioni di contorno, sostiene, incoraggia ciascun gruppo a condividere i propri dubbi



A UN PASSO DAL BUCO NERO

Un'illustrazione di S2 in transito molto vicino al buco nero supermassiccio al centro della Via Lattea. Il campo gravitazionale "accende" la stella di rosso per effetto della relatività di Einstein.
Crediti: ESO/M. Kommesser

muove più dritta di tutte. «Ah,» fa un altro gruppo, «si può?». Questo dubbio nasce dal fatto che sembra una cosa semplice. Questo è lo snodo di tutto: è fondamentale che l'insegnante confermi che in fisica si inizia sempre facendo le cose più semplici. Le cose complicate arrivano dopo. Quasi subito, fra l'altro. E qui il ghiaccio si rompe. Ogni gruppo sceglie la sua stella, di cui cerca di misurare la posizione. Ma la stella è sparsa su vari pixel: qual è la sua "vera" posizione? Discutiamone: c'è un'incertezza implicita nei dati. Basta stimolare i ragazzi e saranno loro a fare le considerazioni più interessanti. E quando due stelle sono sovrapposte? Qualche gruppo finisce per notare che una stella sembra compiere una traiettoria curva: perché? Che cosa la attrae? Dieci minuti dopo, i gruppi sono impegnati in misure, grafici e calcoli.

Piano piano, guidati nelle interazioni, i gruppi iniziano a ricostruire la mappatura dei moti del campo stellare, fin quando in media 1-2 gruppi a classe ricordano la III legge di Keplero, quella strana in cui c'entrano il periodo e l'asse maggiore dell'ellisse. Perché quella legge vale per tutti i pianeti, quindi forse per tutte le stelle che si muovono intorno a quel centro di massa che non si vede. E forse ci può dare indicazioni proprio sul centro di massa. Ma qual è l'asse maggiore? E se la traiettoria fosse inclinata rispetto alla linea di vista? Con una facilitazione sensata, nel giro di due ore e mezzo si arriva alla stima della massa dell'attrattore nel centro della nostra Galassia. Anzi, al suo limite inferiore. Il Premio Nobel per questo è già stato vinto, ma l'emozione è sempre palpabile. Ecco, ora si può parlare dei buchi neri. Senza angoscia, ma da protagonisti. ■

Il bilancio sociale dell'Inaf

di Luciano Hinna

Per capire l'impatto di un'impresa non basta calcolare il valore economico che essa produce. E se è vero per un'azienda tradizionale, lo è a maggior ragione per la ricerca scientifica, che genera economie, tecnologia, cultura e molto altro. Ecco perché serve un bilancio sociale.

Si chiama bilancio, ma non è un bilancio: è il frutto di un'errata traduzione dal tedesco che, invece di bilancio in senso contabile, voleva intendere un bilanciamento degli aspetti economici con quelli sociali. Oggi comunque è uno strumento che permette di rendere conto agli stakeholder, i portatori di interesse, del valore sociale creato da un'impresa in aggiunta al normale valore economico.

Il tema della rendicontazione sociale, tuttavia, ha interessato da alcuni anni anche le pubbliche amministrazioni italiane nell'ambito del più ampio tema della trasparenza e, più recentemente, anche gli enti di ricerca che si sono attivati per gestire un gap informativo per troppo tempo trascurato. La ricerca è pagata da tutti ma compresa da pochi, e purtroppo la ricaduta sociale di questi enti rimane per l'opinione pubblica poco più di un'intuizione.

Gli americani hanno stimato che la ricaduta dei progetti della Nasa per andare sulla Luna ha fruttato qualche cosa come 180mila nuovi brevetti che hanno cambiato la vita di tutti noi. La nostra ricerca scientifica non è da meno, ma la nostra opinione pubblica non ha gli strumenti per conoscere quale sia l'effetto moltiplicatore sotto il profilo economico delle commesse assegnate alle imprese, e neanche intuire le ricadute tecnologiche, sociali, culturali, scientifiche dell'attività di questi enti. Forse serve una rendicontazione sociale anche per loro? Ebbene sì.

Una volta si chiamava "outcome" oggi si chiama "valore pubblico", un elemento che gli enti di ricerca devono esplicitare

Un ente come l'Inaf, per esempio, crea indubbiamente un Pil economico, culturale, tecnologico, scientifico, di relazioni internazionali: tutti elementi che si possono intuire, ma che se non si misurano non si possono rendicontare



RESPONSABILITÀ SOCIALE

Anche l'Inaf sta redigendo un documento per comunicare gli esiti della sua attività, senza limitarsi ai soli aspetti finanziari e contabili.

Credit: Pexels

chiaramente nella loro gestione della performance. La cosa non è così semplice: già non è chiaro per gli stessi operatori che cosa si intende per valore pubblico, figuriamoci se può essere chiaro agli stakeholder. Il valore pubblico è un grande contenitore che ogni ente deve riempire di contenuti. Un ente come l'Inaf, per esempio, crea indubbiamente un Pil economico, culturale, tecnologico, scientifico, di relazioni internazionali: tutti elementi che si possono intuire, ma che se non si misurano non si possono rendicontare.

Facciamo un esempio. Il personale che lavora in un ente di ricerca rappresenta una curva cumulata di competenze, di esperienze, di specializzazioni, di progetti realizzati, di innovazione; purtroppo, nonostante questo patrimonio intellettuale costituisca una infrastruttura tecnica a disposizione del Paese di cui andare tutti orgogliosi, oggi riusciamo quando va bene a rendicontare solo il numero di dipendenti e il loro costo.

L'Inaf ha iniziato lo scorso anno un percorso per arrivare a pubblicare un bilancio sociale dell'ente, nonché a rendere più trasparenti i processi decisionali, come testimonia l'esperimento del dibattito elettorale fra i candidati elettivi al consiglio di amministrazione. Se è vero che la ricerca e l'innovazione costituiscono il passaporto per il futuro non vi è dubbio che la rendicontazione rappresenterà non solo un elemento per costruire consenso, ma anche un modo per far innamorare della scienza le nuove generazioni. Un amore di cui Piero Angela aveva compreso l'importanza e di cui oggi abbiamo un estremo bisogno. ■

Paul Murdin

L'Universo

di Mario Guarcello



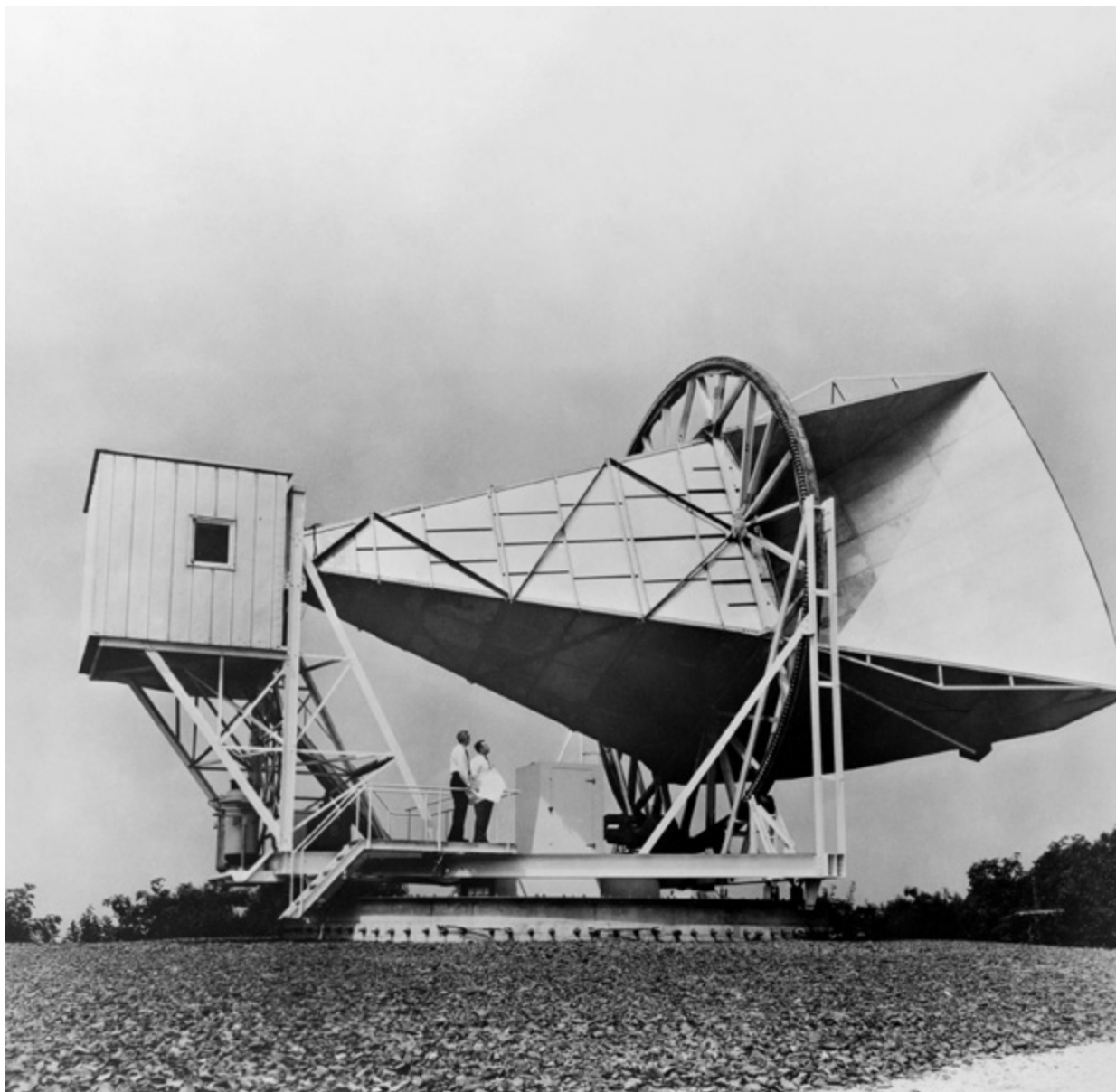
La storia dell'universo si intreccia con quella di chi lo ha studiato in questo libro di Paul Murdin, nel quale il protagonista principale è un universo vivente, raccontato nelle sue fasi evolutive.

Il libro *L'Universo* di Paul Murdin, uno studioso dalla brillante carriera costellata di scoperte e riconoscimenti, si prefigge un obiettivo importante e ambizioso: scrivere una biografia dell'universo, immaginandolo come un essere vivente la cui vita possa essere divisa e descritta in varie fasi evolutive. Il risultato è accattivante e porta il lettore a esplorare l'evoluzione dell'universo, dalla sua nascita con il big bang alla sua fase adolescenziale, con la formazione delle prime galassie e stelle, fino alla sua epoca matura, che stiamo vivendo oggi.

La biografia è composta da undici capitoli, oltre a prefazione e prologo, in cui il lettore viaggia non solo nel tempo ma anche nello spazio. Si parte dall'evoluzione delle strutture più grandi, estese per milioni di anni luce, fino ad arrivare al nostro piccolo angolo di universo, quando l'autore racconta la nascita del Sole, del Sistema solare e, infine, della Terra.

A rendere ancora più affascinante questo viaggio è l'abile intreccio tra la biografia dell'universo e le storie degli uomini e delle donne che hanno dato contributi fondamentali alla comprensione dei segreti del cosmo. Si va dai nomi più noti al grande pubblico fino a quelli forse meno conosciuti da chi non si è mai cimentato nello studio dell'astronomia, ma dalla gran-

Una lettura leggera e interessante, che intreccia la biografia dell'universo con quella degli uomini e delle donne che hanno dedicato la propria vita a studiarne l'evoluzione



HOLMDEL
L'antenna con la quale Arno Penzias e Robert Wilson scoprirono la radiazione cosmica di fondo a Holmdel, nel New Jersey.
Crediti: Nasa

de importanza. Durante la lettura, è possibile scoprire le vicende personali e scientifiche di studiosi come: Henrietta Leavitt ed Edward Pickering, pionieri nello studio delle Cefeidi e del loro utilizzo per la misurazione delle distanze cosmiche; Arno Penzias e Robert Wilson, scopritori della radiazione cosmica di fondo; Thomas Wright, il cui modello ha fornito una prima corretta visione della Via Lattea e ha ispirato il pensiero cosmologico del filosofo Immanuel Kant, per citarne solo alcuni.

Un progetto così ambizioso richiede necessariamente un linguaggio discorsivo e una comunicazione rapida, che per questo non può soffermarsi sui dettagli degli argomenti più complessi, come i temi cosmologici dei primi due capitoli o la fisica delle stelle, dal loro nucleo alle atmosfere, trattati nei capitoli successivi. Nella versione italiana si notano alcune piccole imprecisioni, sicuramente dovute alla trasposizione del testo dall'inglese.

Si tratta di una lettura leggera e interessante, che intreccia costantemente la biografia dell'universo con quella degli uomini e delle donne che hanno dedicato la propria vita a studiarne le proprietà e l'evoluzione. ■

La musica per capire l'universo

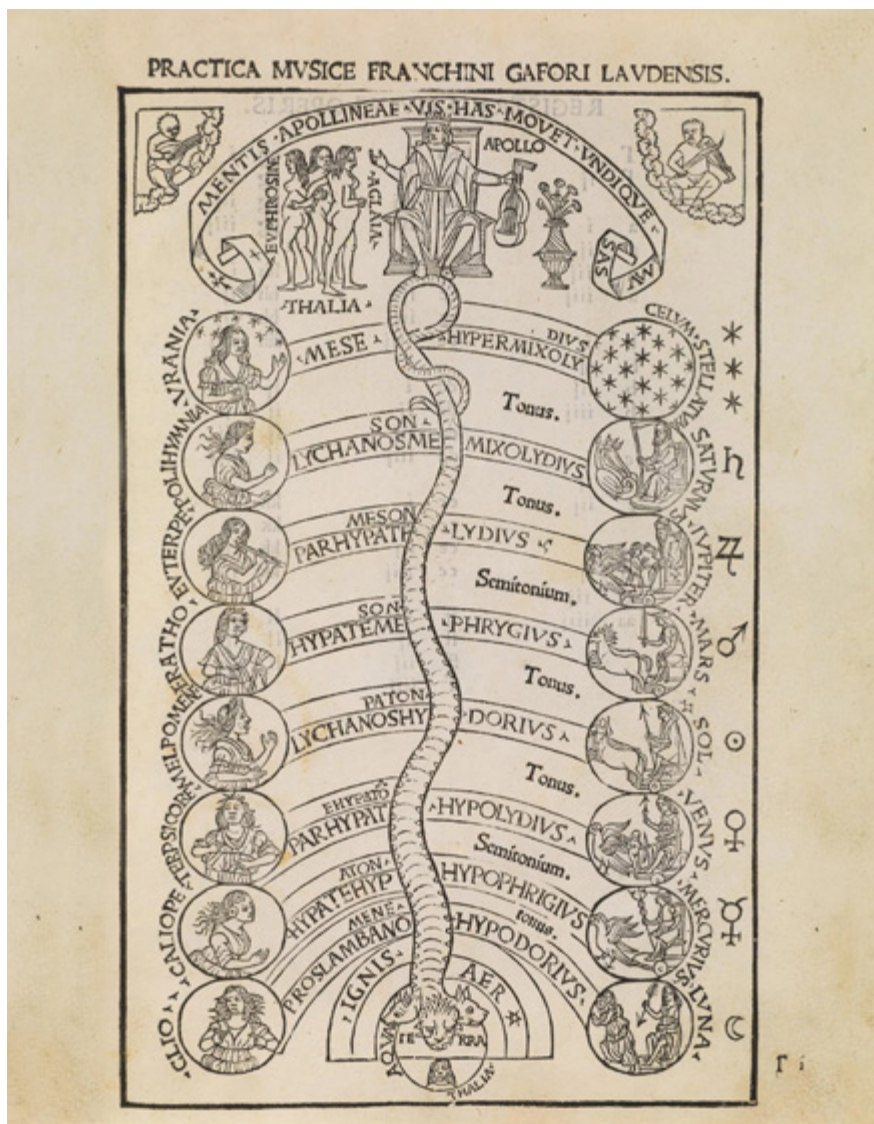
di Chiara Badia

L'astronomia e la musica sono discipline più vicine di quanto si possa pensare e, sin dal passato, hanno rappresentato due possibili strumenti "gemelli" utilizzati per interpretare la meraviglia del cielo stellato e dei corpi celesti nel nostro universo.

"Musica delle sfere", così Pitagora introdusse nel VI secolo a.C. uno dei concetti più emblematici e antichi del legame tra astronomia e musica. Il filosofo greco e i suoi seguaci credevano che l'universo fosse governato da proporzioni matematiche, le stesse che determinavano l'armonia musicale. Secondo questa teoria, i pianeti emettevano una musica impercettibile per l'orecchio umano mentre si muovevano nelle loro orbite, una melodia cosmica che rifletteva l'armonia dell'universo. Questa idea pitagorica, sebbene fosse più filosofica che scientifica, ha trovato un'eco potente nell'opera di molti musicisti e ha influenzato non solo la filosofia e la matematica ma anche la concezione della musica stessa. Si pensava, infatti, che comprendere l'ordine celeste fosse essenziale per creare musica armoniosa e che l'armonia musicale fosse una riflessione della perfezione dell'universo.

«Che cos'è? Che musica è questa così intensa e così piacevole, che riempie le mie orecchie? [...] È quella prodotta dall'energia che muove le sfere stesse – rispose Scipione l'Africano – composta da note emesse a intervalli ineguali, ma tuttavia distribuiti ciascuno sulla base di un rapporto razionale; ne deriva una precisa varietà di armonie». Questo concetto che anche Cicerone nel suo *De re publica*, *Somnium Scipionis* chiama "armonie delle sfere" ha attraversato i secoli, permeando la cultura occidentale e trovando eco nel pensiero di filosofi come Platone che, nel suo *Timeo*, affronta l'idea che il cosmo sia una manifestazione di proporzioni armoniche e matematiche. Egli, inoltre, suggeriva che l'anima del mondo fosse stata creata sulla base di intervalli musicali e che la giusta musica potesse avere un effetto positivo sulla psiche, mentre musiche disordinate comportavano effetti negativi. In questo senso,

Pitagora e i suoi seguaci credevano che l'universo fosse governato da proporzioni matematiche, le stesse che determinavano l'armonia musicale



l'astronomia e la musica condividevano un valore educativo: comprendere l'ordine cosmico attraverso la musica significava anche ordinare la propria anima in armonia con l'universo.

Successivamente, nella filosofia medievale, il legame tra musica e astronomia – entrambe basate sui numeri e sulle proporzioni – divenne ancora più stretto, soprattutto grazie a studiosi come Boezio (480-524 d.C.) che, nel suo trattato *De institutione musica* riprese le idee pitagoriche sui rapporti numerici, paralleli ai movimenti dei corpi celesti. Il filosofo cristiano suddivise la musica in tre categorie: *musica mundana* (la musica del cosmo), *musica humana* (l'armonia dell'anima e del corpo umano) e *musica instrumentalis* (la musica suonata con gli strumenti).

Scienze gemelle, dunque. La musica per i medievali non era solo un'arte sensoriale, ma una scienza insegnata insieme all'astronomia, alla geometria, all'aritmetica nel cosiddetto *quadrivium*, inserito nelle sette arti liberali studiate nelle prime università europee.

L'armonia, i suoni, le melodie, divennero un riflesso della perfetta creazione divina e, in particolare, la musica sacra come quella nei canti gregoriani, riusciva a elevare l'anima verso il cielo, ad avvicinare l'uomo al cosmo. ■

La formula segreta

di Angelo Adamo

Qual è la formula segreta dell'universo? È da migliaia di anni che l'umanità si pone questa domanda: dai filosofi greci fino alle attuali ricerche con il telescopio spaziale James Webb e il Large Hadron Collider. Le scoperte più significative sono avvenute negli ultimi secoli, facendo registrare una notevole accelerazione in tempi recenti grazie ai progressi della fisica teorica e delle tecnologie osservative. Ma, nonostante tutti questi sforzi, la sua parte oscura permane.

Siamo cresciuti col mito della sua composizione chimica così elusiva e misteriosa, indagata perché necessaria per la sua riproducibilità: un segreto commerciale da svelare per comprendere la ragione della sua estrema diffusione su grande scala. Crescendo, la storia ci ha infine svelato con buona approssimazione quale fosse quella ricetta originale: settantacinque cucchiaini di idrogeno, venticinque di elio, un pizzico di deuterio, una Mentos, uno scossone necessario a dare energia e impulso al fluido nel contenitore e il gioco è fatto: ecco servita in tavola una colata curva di acqua, anidride carbonica, asteroidi, caffeina, pianeti, sciroppo di glucosio, nubi interstellari, bollicine, stelle vive e morte, polifosfati aromatici policiclici, galassie, acido fosforico, quasar, colorante E150d (caramello solfito ammoniacale), aromi naturali, il tutto rimescolato da frizzanti onde di densità.

Alcuni sostengono che la sua composizione attuale – per intenderci, la ricetta che ha riscosso tanto successo grazie alle percentuali, stavolta esatte, degli elementi appena elencati – sia interamente deducibile da una breve ed elegante formula segreta scritta su un pizzino al sicuro in un minuscolo *caveau* davvero inespugnabile: un cubetto delle dimensioni della scala di Planck sepolto nello scantinato del primo laboratorio, poi esploso, dove la sua storia ha avuto inizio.

La forma del suo contenitore? Per figurarcela, potremmo immaginare il tutto come uno smisurato artropode il quale ha abbandonato l'esuvia di Pet nel quale è cresciuto per andare a evolvere altrove



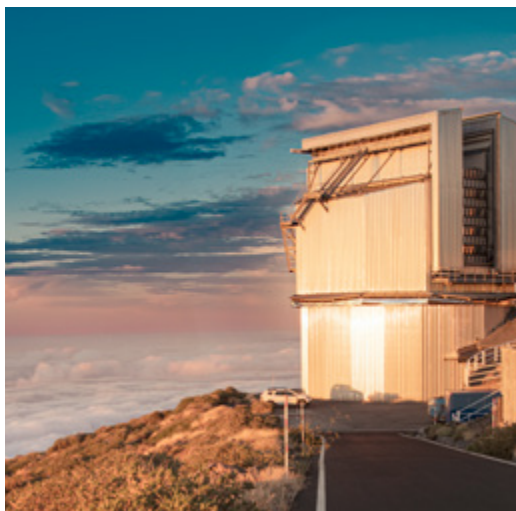
UN COSMO DA BERE
 La forma è sostanza in questa illustrazione che racconta l'espansione dell'universo nel tempo a partire dal big bang.
 Crediti: Angelo Adamo

Altri, ottimisti, invece affermano che, impegnandoci, potremmo svelare quella formula con uno studio più approfondito di ciò che da qui e ora si vede, annusa, sente e assapora, da compiere con gli occhi, il naso, le orecchie e il palato spettroscopico di chissà quale sommelier bolometrico. Comunque, tornando alla sua estrema diffusione, nemmeno la successiva inflazione ne ha oscurato il successo, tutt'altro! E oggi rimane l'articolo meglio distribuito tutto attorno a noi.

La forma del suo contenitore?

Per figurarcela, potremmo immaginare il tutto alla stregua di uno smisurato artropode il quale ha abbandonato l'esuvia di Pet nel quale è cresciuto per andare a evolvere altrove (dove, poi? Boh?). Pensandolo così, il suo aspetto esteriore ci potrebbe apparire come un esoscheletro bombato, pieno di vuoto, fatto di nulla e confinante col niente. Al fine di studiare le volute di quel contenitore, plasmate dalle proprietà deformanti del suo contenuto, dovremmo quindi, per assurdo, svuotarlo altrove, in quel niente esterno (che non è come il vuoto. Il niente è proprio niente, il vuoto in realtà non è vuoto), ottenendo in questo modo una bottiglia di fluido spaziotemporale scolata e trasparente, abbandonata dal liquore perlopiù buio e sapido che prima la affollava; purgata della materia qui oscura, lì luminosa (perché stellata), molto gassosa e rivelatasi in grado di modellare la bottiglia fino a renderla supremo oggetto di design.

E gli astronomi, golosi e curiosi, ne sorseggiano in calici telescopici. ■



Finito di stampare
a novembre 2024 presso
Grafiche Zanini, Anzola dell'Emilia (Bologna)

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

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

ISSN 2975-0938



9 772975 093806