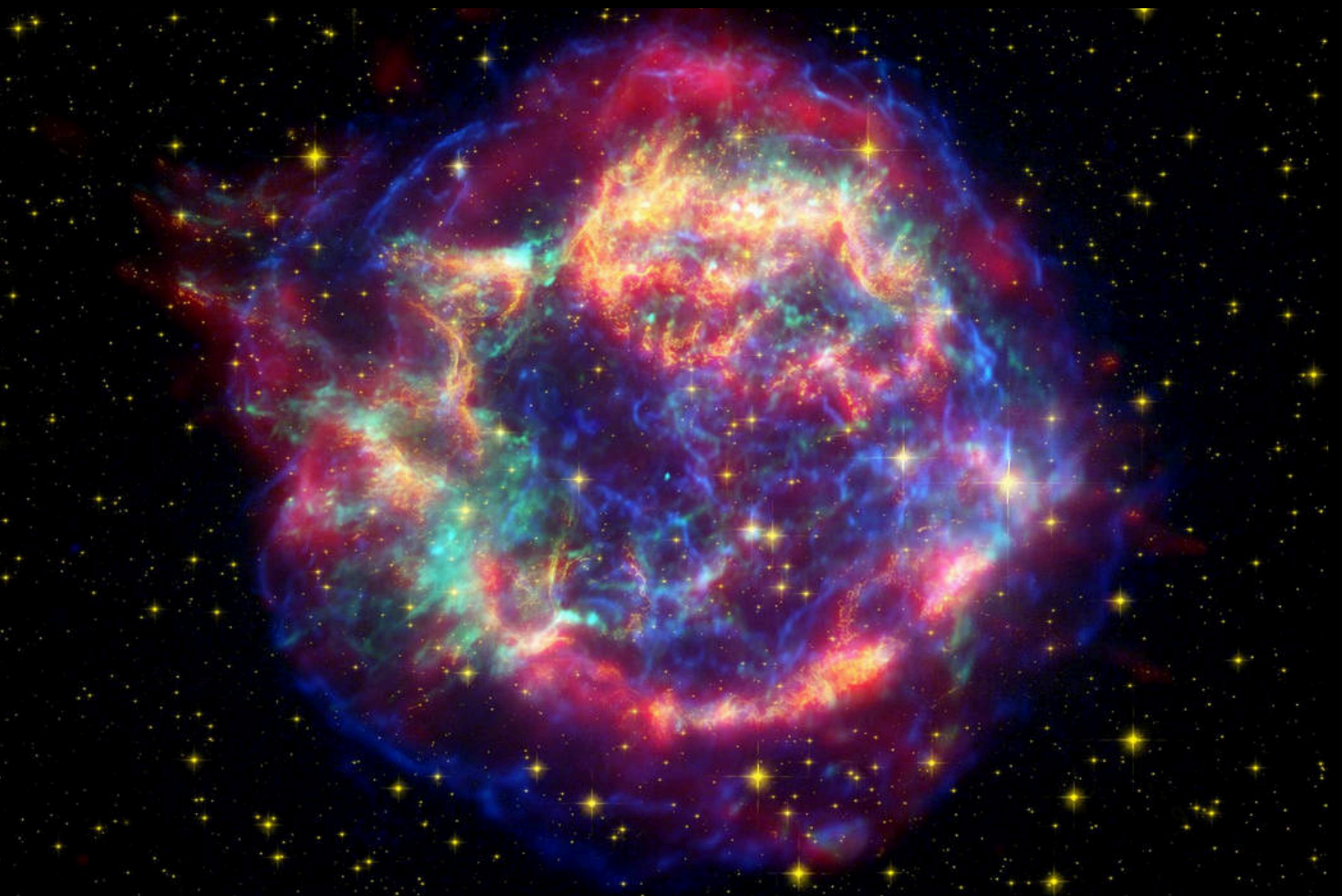


SORGENTI COSMICHE DI RAGGI GAMMA

I MESSAGGERI INVISIBILI DELL'UNIVERSO



La classe 5 T del Liceo Felicia e Peppino
Impastato di Partinico (PA)

Per il concorso nazionale promosso dall'Istituto
Nazionale di Astrofisica e dall'Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare "Guardare il cielo con occhi
diversi: i raggi gamma e i telescopi Cherenkov"

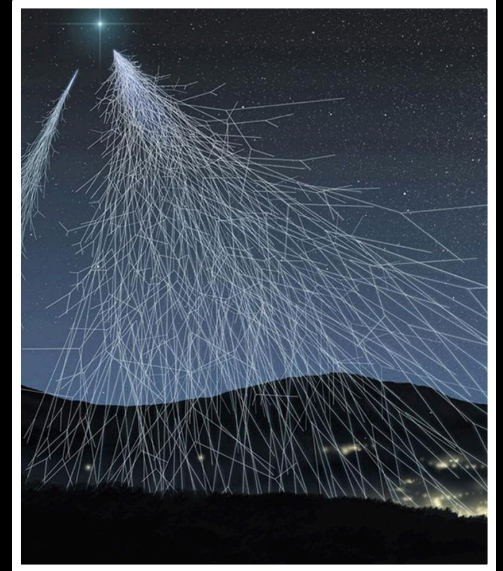
INTRODUZIONE

Questo lavoro è stato realizzato per partecipare al concorso nazionale promosso dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), intitolato "Guardare il cielo con occhi diversi: i raggi gamma e i telescopi Cherenkov".

Si configura come un progetto a carattere divulgativo, con l'obiettivo di rendere accessibili e comprensibili al grande pubblico i temi trattati.

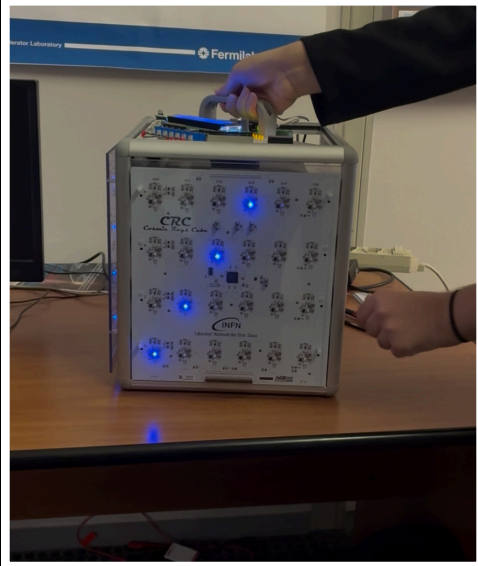
Quando pensiamo al cielo, immaginiamo un universo silenzioso, illuminato dalle stelle. In realtà, lo spazio è attraversato continuamente da particelle invisibili che viaggiano a velocità vertiginose: sono i raggi cosmici, frammenti di materia provenienti da eventi straordinari come esplosioni stellari o interazioni in ambienti astrofisici estremi. Anche se non possiamo vederli direttamente, questi messaggeri riescono a raggiungere la nostra atmosfera, dove danno origine a una cascata di particelle secondarie.

È durante questa "pioggia" che avviene qualcosa di affascinante: alcune particelle si muovono nell'aria più velocemente della luce nell'aria stessa, un limite che in un mezzo materiale non può essere superato. Quando questo accade, emettono un lampo brevissimo di luce blu, chiamato effetto Cherenkov. È un fenomeno elegantissimo, come un'onda d'urto luminosa, e permette ai telescopi Cherenkov di trasformare il buio della notte in un laboratorio per studiare l'universo ad alte energie. Questi telescopi, infatti, non raccolgono la luce delle stelle ma i debolissimi lampi Cherenkov che nascono nell'atmosfera. Con enormi specchi segmentati e camere di rilevazione rapidissime, riescono a "fotografare" l'impronta luminosa lasciata dalle particelle, ricostruendone direzione ed energia. In questo modo possono mappare il cielo invisibile delle particelle ad altissima energia, offrendo una prospettiva unica sul funzionamento dell'universo.



Rappresentazione artistica dei raggi cosmici (crediti: INFN).

LA NOSTRA ESPERIENZA



Il Cosmic Ray Cube al Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università degli Studi di Palermo. In alto, la traiettoria di un muone; in basso, le quattro lastre da cui è composto lo strumento. Foto scattate all'edificio 18 dell'Università di Palermo.

Mentre lavoravamo a questa rivista, abbiamo ritenuto opportuno partecipare all'orientamento tenutosi al Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università degli Studi di Palermo in occasione della Giornata Internazionale dei Raggi Cosmici, in data 13 novembre 2025. È stato lì che abbiamo visto da vicino strumenti didattici come il Cosmic Ray Cube e il Cosmic Hunter, e che abbiamo imparato come funzionano i rilevatori che ci permettono di studiare i muoni, le uniche particelle della cascata dei raggi cosmici che attraversano l'atmosfera. La differenza tra i due strumenti ci ha colpito subito: il Cosmic Ray Cube possiede quattro lastre, che i muoni devono attraversare una dopo l'altra, e questo permette non solo di rilevarli, ma anche di ricostruirne la traiettoria. Il Cosmic Hunter, più semplice e maneggevole, utilizza due lastre, e per questo è ideale per esperimenti introduttivi. Noi, assieme ad altri studenti, abbiamo lavorato proprio con il Cosmic Hunter. Lo abbiamo orientato a diversi angoli per misurare come varia il flusso dei muoni: l'angolo più perpendicolare registrava il maggior numero di eventi, perché le particelle dovevano attraversare meno atmosfera e quindi meno materiale prima di arrivare al rilevatore. È stata un'esperienza concreta e sorprendente: vedere come un cambiamento di inclinazione si traducesse immediatamente in un diverso numero di segnali, era il modo più diretto per capire la fisica che c'è dietro i raggi cosmici.

Dopo aver raccolto i dati, li abbiamo ordinati in un grafico e li abbiamo presentati in una videoconferenza internazionale, alla quale partecipavano anche un'università greca e una cinese. È stata un'esperienza preziosa, non solo dal punto di vista scientifico, ma anche linguistico: il confronto in inglese con studenti e ricercatori di altri Paesi ci ha fatto capire quanto la scienza sia un luogo di incontro globale.

Abbiamo anche potuto osservare una pioggia di muoni tramite un visore a realtà aumentata, un'attività coinvolgente e molto chiara dal punto di vista didattico, coordinata da studenti del terzo anno della triennale in Scienze Fisiche. Vedere con i propri occhi le tracce invisibili che attraversano continuamente la nostra atmosfera ha reso ancora più concreto tutto ciò che stavamo studiando con i rilevatori.

Successivamente abbiamo avuto l'opportunità di seguire un seminario tenuto dalla dottoressa Elina Lindfors, un'astrofisica di Turku, in Finlandia. Ci ha parlato dei getti relativistici dei buchi neri, che possono accelerare particelle fino a trasformarle in raggi cosmici: un collegamento perfetto con ciò che stavamo studiando noi, ma visto da una prospettiva professionale e internazionale. Raccontare i raggi cosmici e l'effetto Cherenkov significa, per noi, mettere insieme tutte queste esperienze: gli esperimenti, il confronto con altri studenti del mondo, l'ascolto di chi dedica la vita alla ricerca. È un percorso che continua ad alimentare la nostra curiosità e che ci spinge, ogni volta, a guardare il cielo con occhi davvero nuovi.

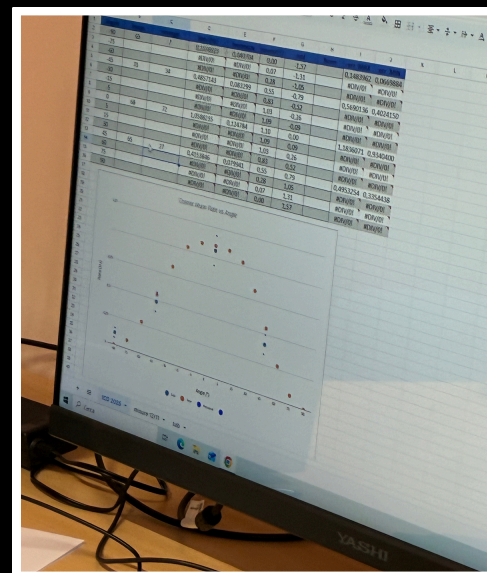
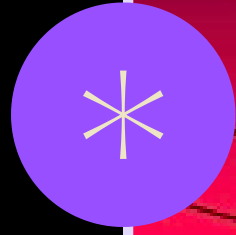


Grafico con i risultati delle misurazioni dei muoni. Foto scattata all'edificio 18 dell'Università degli Studi di Palermo.

INDICE



6 COSA SONO I RAGGI GAMMA?

What are Gamma-Rays?

15 SISTEMI DI RILEVAZIONE

Here's another teaser paragraph that varies in length

20 LE SUPERNOVE

Supernovae

25 LE PULSAR

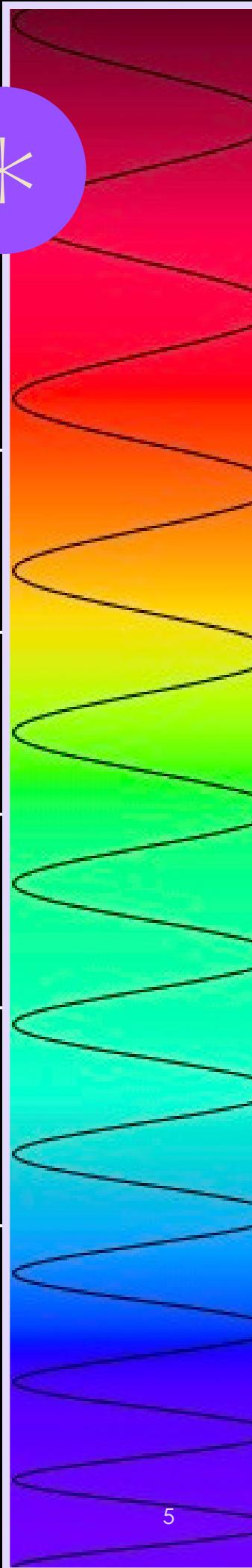
Pulsars

30 I BUCHI NERI

Black Holes

35 VITA VS RAGGI COSMICI

Life VS Cosmic Rays



COSA SONO I RAGGI GAMMA?

OLTRE I NOSTRI OCCHI

Quando alziamo lo sguardo al **cielo**, siamo in grado di vedere tantissime stelle e oggetti celesti, di cui cerchiamo di delineare le caratteristiche basandoci su ciò che vediamo. L'occhio umano riesce a percepire solo una minuscola parte dello spettro della **radiazione** emessa dall'universo, la **luce visibile**, responsabile della percezione dei colori, degli oggetti e di tutto ciò che la emette. La luce visibile appartiene all'insieme delle onde elettromagnetiche, che si propagano nello spazio senza bisogno di materia. Le onde elettromagnetiche sono oscillazioni composte da campo elettrico e campo magnetico, che oscillano in maniera perpendicolare tra loro, formando un'onda che si propaga nello spazio alla velocità della luce (3×10^8 m/s). Frequenza e lunghezza d'onda sono due proprietà che caratterizzano la luce e sono legate da un'**inversa proporzionalità**, cioè all'aumentare di una diminuisce l'altra. La frequenza indica il numero di oscillazioni prodotte da un'onda in un secondo; la lunghezza d'onda è la distanza tra due creste successive dell'onda. Ogni onda elettromagnetica trasporta un certo contenuto energetico; più è alta la sua

6 frequenza, maggiore è l'energia di ciascun "pacchetto" di onda (fotone):

$$E = h \cdot f \quad (h = \text{costante di Planck}).$$

Fonte: **zanichelli**.



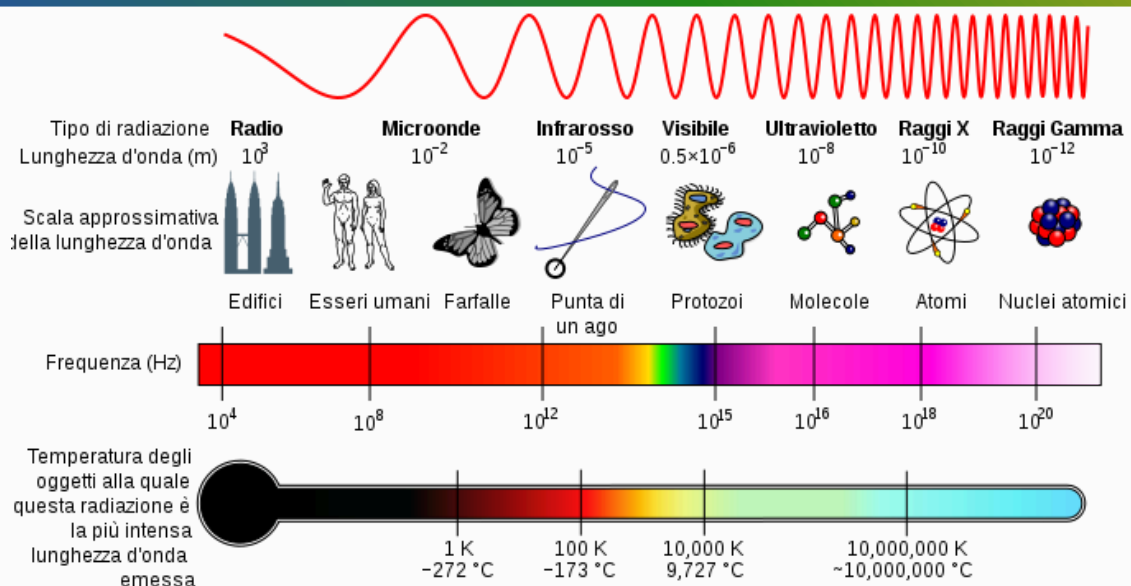
Rappresentazione di un raggio cosmico.

LO SPETTRO ELETTRROMAGNETICO

La radiazione elettromagnetica può assumere diverse frequenze e l'insieme di queste è racchiusa nello **spettro elettromagnetico**, un diagramma suddiviso in ampie zone, dalle onde radio a bassa frequenza e grande lunghezza d'onda, ai **raggi gamma** ad alta frequenza e ridotta lunghezza d'onda. Il visibile comprende tutte le radiazioni percepibili dall'occhio umano, che compongono la luce, una piccola porzione di frequenze a cui i nostri occhi sono sensibili. Alcune regioni dello spettro ricevono nomi particolari. Le onde con lunghezze comprese tra il chilometro e il metro e frequenze tra 300.000 e 300 milioni di oscillazioni al secondo, sono denominate onde radio perché utilizzate per trasmettere segnali radio o televisivi.

Le lunghezze dell'ordine del centimetro prendono il nome di **microonde**, come quelle che si generano all'interno degli omonimi forni che servono per scaldare gli alimenti. Tra il millimetro e il millesimo di millimetro di lunghezza d'onda si trova la **radiazione infrarossa**, che indica una variazione di temperatura, e un po' sotto di essa c'è la luce visibile. Per lunghezze d'onda inferiori rispetto al colore viola della luce visibile, troviamo la radiazione ultravioletta; oltre questo colore c'è la radiazione X, con lunghezze intorno al nanometro, e infine la **radiazione gamma**, con lunghezze pari a un centesimo di nanometro.

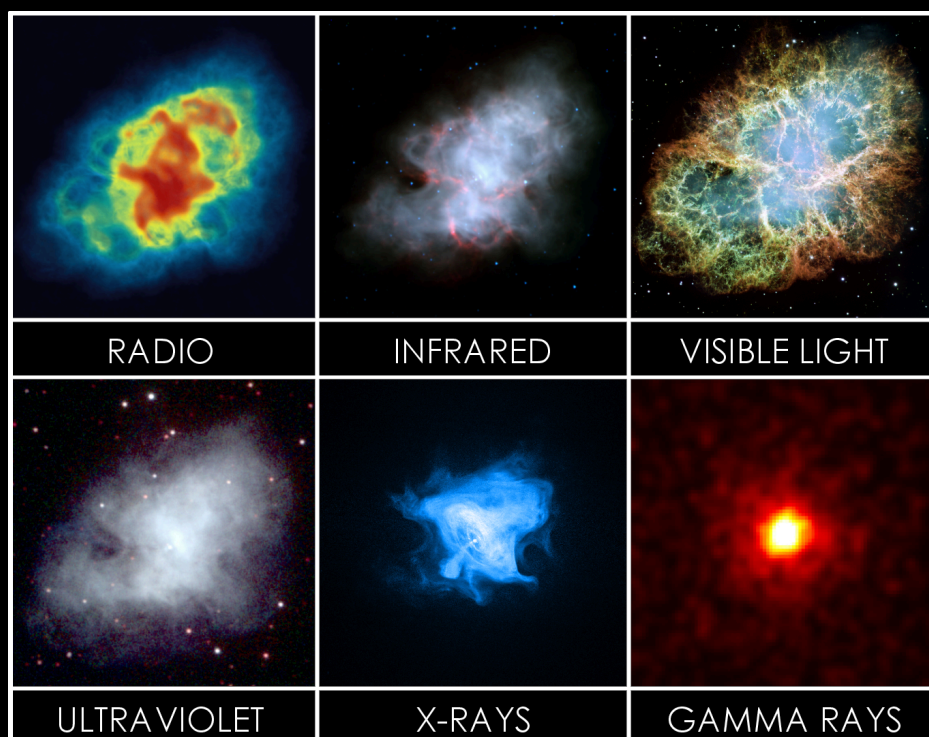
Fonti: chimica-online.it e il libro "Stelle e supernovae, le origini della materia e della vita".



VISIONI DELL'UNIVERSO

Fonte: *materiale di preparazione per il concorso "Guardare il cielo con occhi diversi: I raggi gamma e i telescopi Cherenkov".*

Osservare il cosmo con occhi diversi



crediti: NASA.

Le immagini a sinistra mostrano come lo stesso oggetto celeste possa apparire in diverse bande dello spettro elettromagnetico. In questo caso, si tratta di un oggetto compatto e relativamente vicino, a circa 6.500 anni luce da noi: il resto di supernova noto come Nebulosa del Granchio. L'osservazione multibanda è fondamentale in astrofisica perchè ogni regione dello spettro rivela informazioni diverse: le onde radio mostrano strutture diffuse e fredde, l'infrarosso evidenzia la polvere, il visibile mette in risalto stelle e gas ionizzato, mentre i raggi X e gamma permettono di individuare i fenomeni più energetici. Osservando le immagini, si nota come nella banda dei raggi gamma i dettagli siano molto meno definiti rispetto alle altre frequenze.

DEFINIZIONE



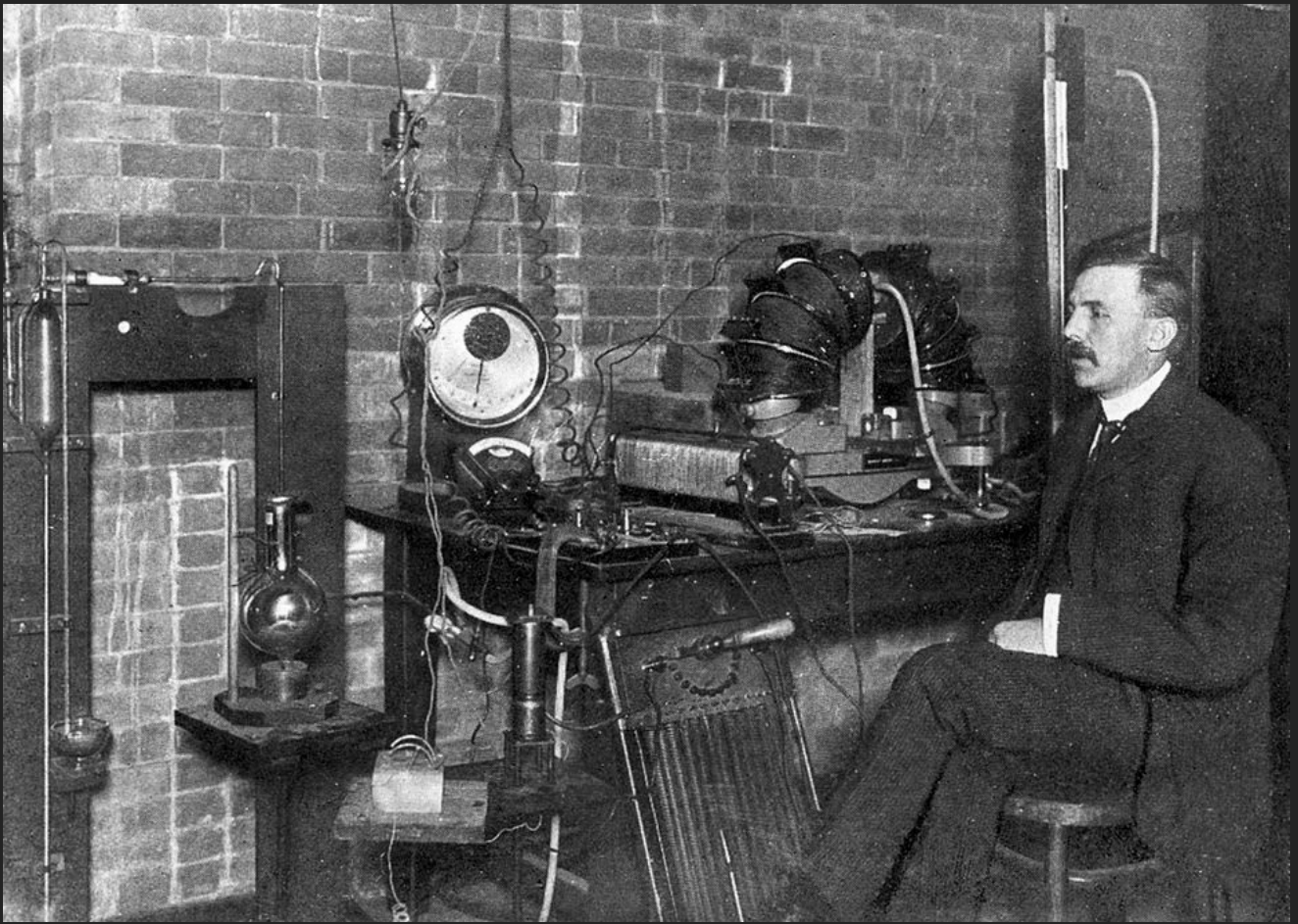
I **raggi gamma** sono dunque delle **radiazioni elettromagnetiche** caratterizzate da onde a **lunghezza d'onda più corta**, pari a un centesimo di nanometro. Sono oscillazioni ad alta energia capaci di danneggiare le molecole che compongono le cellule, portandole a sviluppare mutazioni genetiche o addirittura alla **morte**. Sulla Terra possiamo osservare sorgenti naturali di raggi gamma sia nel decadimento dei **radionuclidi**, sia nelle **interazioni** dei raggi cosmici con l'**atmosfera**; più raramente anche i **fulmini** producono questa radiazione.

I radionuclidi sono nuclei atomici instabili caratterizzati da un determinato numero di protoni e neutroni che si trasformano spontaneamente emettendo radiazioni per raggiungere uno stato più stabile. Esistono tre principali tipi di decadimento:

- Alfa (α) → emissione di nuclei di elio.
- Beta (β) → emissione di elettroni o positroni.
- Gamma (γ) → emissione di fotoni molto energetici (raggi gamma).

I raggi gamma sono radiazioni elettromagnetiche ad altissima energia, senza massa né carica.





*In foto, Paul Villard.
Crediti: wikipedia.*

STORIA E scoperta

I raggi gamma furono osservati per la prima volta dal chimico e fisico francese **Paul Villard** nel **1900**, mentre studiava la radiazione emessa dal radio. Egli scoprì che questa radiazione era molto più **penetrante** dei raggi alfa e beta. Nel 1903, Ernest Rutherford riconobbe i raggi gamma come una nuova radiazione fondamentale, chiamandoli così con la terza lettera dell'alfabeto greco. Rutherford osservò anche che i raggi gamma non venivano deflessi dai campi magnetici. Inizialmente considerati particelle, furono poi identificati come **radiazione elettromagnetica** grazie ad esperimenti del 1914, che ne mostrarono la riflessione su cristalli.

SORGENTI DI RAGGI GAMMA NELL'UNIVERSO

Le principali sorgenti di raggi gamma nell'universo includono eventi

catastrofici come i lampi di raggi gamma, l'esplosione di stelle supergiganti (ipernove), le collisioni tra stelle di neutroni e le interazioni tra buchi neri. Altre sorgenti possono includere anche fenomeni legati alle interazioni di particelle subatomiche. I raggi gamma forniscono molte informazioni riguardo ai fenomeni più energetici dell'universo. Poiché la gran parte della radiazione viene assorbita dall'atmosfera terrestre, gli strumenti per la rilevazione vengono montati a bordo di palloni ad alta quota o di satelliti, come il Fermi Gamma-ray Space Telescope, fornendoci la nostra unica immagine dell'universo ai raggi gamma.

Nello sfondo la rappresentazione di una stella di neutroni.

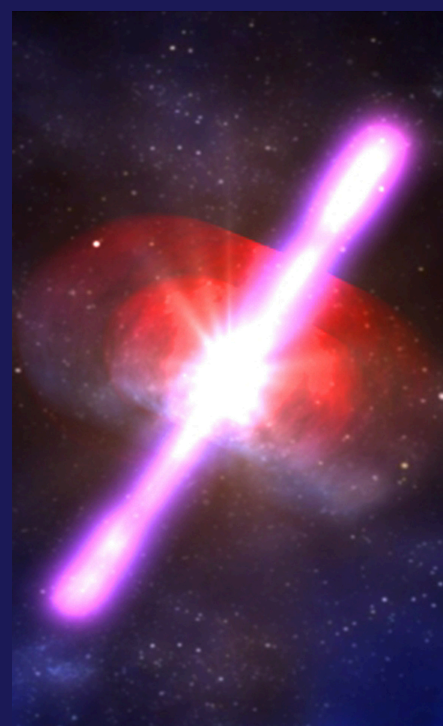


In foto, rappresentazioni di lampi gamma.

I lampi gamma: tracce luminose di eventi cosmici catastrofici

I lampi di raggi gamma (in inglese Gamma-Ray Bursts, in breve GRB) sono **lampi altamente energetici** che possono durare da meno di un secondo a vari minuti, che avvengono a **enormi distanze dalla Terra**, ai confini dell'universo osservabile. Sono tra gli eventi elettromagnetici più **luminosi ed energetici** dell'universo, capaci di rilasciare in pochi secondi tanta energia quanta ne emette il Sole in tutta la sua vita. Si pensa che a generarli siano **esplosioni di supernove** o fusioni di oggetti compatti come **stelle di neutroni**. Sono stati scoperti negli anni '60, durante la Guerra Fredda. In quel periodo, gli Stati Uniti e la Russia firmarono un trattato per proibire

i test nucleari in atmosfera e nello spazio, così da porre un freno alla proliferazione delle armi nucleari. Per assicurarsi che non vi fossero violazioni, gli Stati Uniti lanciarono in orbita i satelliti Vela, in grado di rilevare i raggi gamma prodotti dalle esplosioni atomiche. Con grande sorpresa, gli scienziati rilevarono diversi raggi gamma provenire non dalla Terra, ma dallo **spazio profondo**. Per diversi anni i lampi gamma rimasero un mistero: gli strumenti non avevano la risoluzione necessaria per identificarne l'origine. La loro distribuzione uniforme nel cielo rivelò però che provenivano da **galassie lontane** e non dalla Via Lattea.



Fonti: **Geopop** e **ESO**.

I raggi gamma si differenziano dalle altre radiazioni cosmiche per la loro natura di onde elettromagnetiche ad alta energia, a differenza dei raggi cosmici primari, che sono principalmente particelle cariche come protoni e nuclei atomici.

Differenza tra raggi gamma e raggi X

Spesso i raggi gamma vengono erroneamente confusi con i raggi X. La prima differenza tra queste due tipologie di radiazione elettromagnetica riguarda la loro natura. I raggi gamma provengono da processi nucleari o subatomici, mentre i raggi X sono generati da transizioni energetiche degli elettroni esterni di un atomo. I raggi X inoltre hanno un elevato potere di penetrazione, ma generalmente minore rispetto ai raggi gamma. Hanno, però, una migliore definizione nelle immagini.

Differenza tra raggi gamma e raggi alfa

I raggi alfa sono radiazioni corpuscolari con alta capacità ionizzante, cioè che trasportano abbastanza energia da estrarre elettroni dagli atomi o dalle molecole colpiti da tale radiazione, lasciando questi

Differenze tra raggi gamma e altre radiazioni cosmiche

ultimi come ioni positivi atomici o molecolari (cationi). Inoltre, si tratta di radiazioni con bassa penetrazione, al contrario dei raggi gamma che sono altamente penetranti ma che producono meno radiazione ionizzante. I raggi alfa sono costituiti da due protoni e due neutroni, sono caricati positivamente e possono essere fermati da un foglio di carta. I raggi gamma sono fotoni privi di massa e carica, viaggiano alla velocità della luce

e richiedono materiali densi come il piombo per essere schermati.

Differenza tra raggi gamma e raggi beta

Le principali differenze tra raggi gamma e raggi beta riguardano la loro natura e la capacità di penetrare la materia:

i raggi beta sono fasci di elettroni ad alta energia, mentre i raggi gamma sono onde elettromagnetiche neutre e molto più penetranti. I raggi beta possono essere fermati da un sottile strato di alluminio, mentre i raggi gamma richiedono materiali densi come spessi strati di piombo o cemento per essere assorbiti. Inoltre, i raggi beta hanno una massa piccola e una carica elettrica (sono costituiti da elettroni e positroni), quindi possono essere deviati da campi magnetici o elettrici, a differenza dei raggi gamma, simili alla luce ma molto più potenti, che non possiedono né carica né massa.

fonti: chimica-online.it.





WHAT ARE GAMMA-RAYS?

Gamma rays are extremely energetic electromagnetic waves with very short wavelengths, about one hundredth of a nanometer. Their high energy allows them to penetrate deeply into matter and damage cellular molecules, potentially causing mutations or cell death. On Earth they originate mainly from the decay of radioactive nuclei, interactions between cosmic rays and the atmosphere, and occasionally from lightning.

Human eyes detect only a tiny portion of the electromagnetic spectrum, the visible light range, between 380 and 790 nm. Light is an electromagnetic wave traveling at 3×10^8 m/s, and each frequency corresponds to a different color. All electromagnetic radiation, from long radio waves to short gamma rays, is organized in the electromagnetic spectrum. Newton was the first to show that light can be separated into different wavelengths using a glass prism.

Gamma rays were discovered in 1900 by Paul Villard while studying radium. In 1903, Ernest Rutherford named them “gamma rays,” and experiments in 1914 confirmed that they are a form of electromagnetic radiation. In the universe they are produced by extremely energetic events such as gamma-ray bursts, hypernovae, neutron star collisions, supermassive black holes, and solar flares. Because Earth’s atmosphere absorbs most gamma radiation, observations are made from satellites like the Fermi Gamma-ray Space Telescope.

Gamma rays differ from other cosmic radiation because they are waves rather than charged particles. They also differ from X-rays, which come from electron transitions and are generally less penetrating. Unlike alpha particles, heavy and easily stopped—or beta particles—electrons or positrons that can be deflected, gamma rays have no mass or charge and require dense materials like lead or concrete to be blocked.

SISTEMI DI RILEVAZIONE

Fonti: *Geopop*.

Come si captano i raggi gamma?

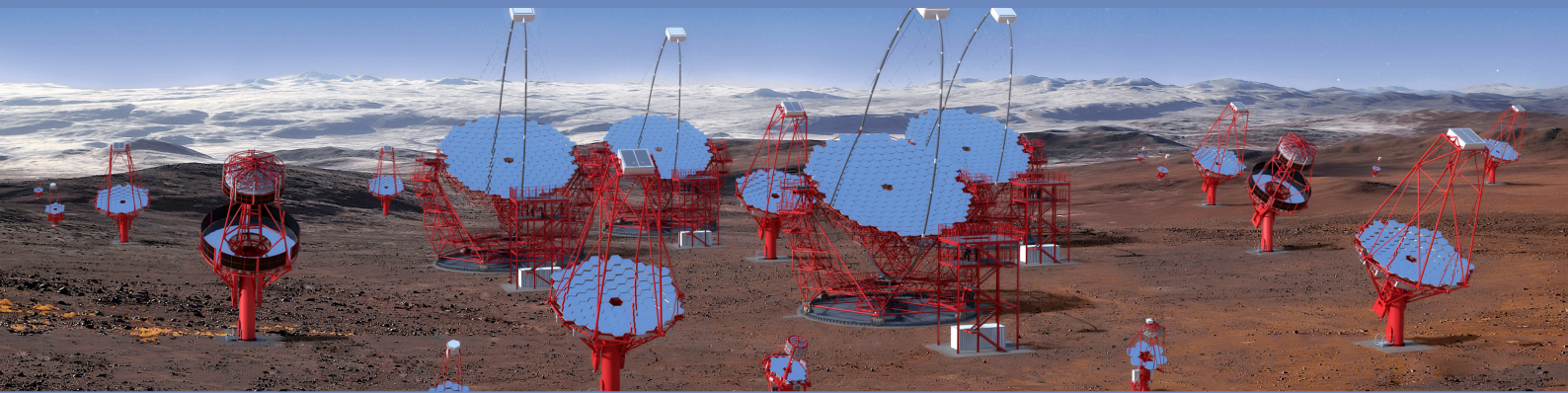
I raggi gamma non possono essere osservati con i normali telescopi poiché questi ultimi sono progettati per rilevare la radiazione visibile. I raggi gamma hanno bisogno invece di un vero e proprio rivelatore di particelle per poter essere osservati, simile per concezione a quelli usati negli esperimenti di fisica delle particelle elementari.

Il principio alla base di questi rivelatori è quello di far interagire la radiazione gamma con diversi strati di materiale, tra cui silicio e tungsteno.

Ad ogni interazione il raggio gamma perde energia fino ad arrestarsi del tutto. Analizzando quanti strati di materiale ha attraversato e la geometria della traccia, gli astronomi possono determinare l'energia e la direzione di provenienza della radiazione gamma. I maggiori telescopi operanti nella banda gamma sono i satelliti Swift e Fermi della NASA che osservano fuori dall'atmosfera terrestre poiché quest'ultima assorbe la maggior parte dei raggi gamma provenienti dallo spazio.



I raggi gamma possono essere studiati anche in altre lunghezze d'onda grazie a una loro peculiare caratteristica, il cosiddetto bagliore residuo o afterglow. L'emissione di raggi gamma è infatti accompagnata dall'emissione di materiale ad alta velocità che, interagendo con il mezzo interstellare, ne riscalda la materia producendo radiazione nelle bande X, ultravioletta, ottica e infrarosso. Questo fenomeno consente, una volta determinata la direzione approssimativa del segnale gamma, di individuare con precisione la sorgente celeste e studiarla con telescopi tradizionali.



Strumenti TERRESTRI

Fonti: **CTA | Osservatorio Astrofisico di Catania - INAF.**

Telescopi Cherenkov: strumenti che catturano la luce blu generata dai raggi gamma nell'atmosfera.

I raggi gamma non possono essere osservati direttamente da terra, poiché l'atmosfera li assorbe completamente. Tuttavia, quando un raggio gamma colpisce gli strati più alti dell'atmosfera, genera una cascata di particelle che viaggia a velocità prossime a quella della luce. Queste particelle emettono un caratteristico lampo di luce blu, chiamato radiazione Cherenkov. I telescopi Cherenkov a terra, come H.E.S.S., MAGIC e VERITAS, rilevano questa luce secondaria per ricostruire l'energia e la direzione dei raggi gamma originali.

Il Cherenkov Telescope Array (CTA) è un progetto che vede coinvolti Paesi e ricercatori di tutto il mondo per la realizzazione di due grandi osservatori astronomici (uno nell'emisfero boreale ed uno in quello australe) che studieranno l'Universo attraverso i raggi gamma ad altissima energia. L'Italia partecipa attivamente al CTA attraverso l'Istituto Nazionale di Astrofisica, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, ed alcune università. Con oltre 100 telescopi situati negli emisferi settentrionale e meridionale, il CTA sarà l'osservatorio di raggi gamma ad alta energia più grande e sensibile al mondo.

Con l'utilizzo della tecnologia più recente per la costruzione dei rilevatori, CTA sarà dieci volte più sensibile rispetto agli osservatori realizzati finora e avrà una precisione senza precedenti nel rilevamento dei raggi gamma ad alta energia.

Le attuali schiere di telescopi per l'osservazione dei raggi gamma sono composte al massimo da cinque telescopi. CTA è progettato per rilevare i raggi gamma su un'area più ampia con schiere di telescopi di diverse dimensioni.

L'INAF-Osservatorio Astrofisico di Catania contribuisce al progetto CTA fin dall'inizio attraverso ASTRI, il progetto nazionale dedicato allo sviluppo delle tecnologie e del prototipo "end-to-end" italiano del modello di telescopio più piccolo del CTAO, ASTRI-Horn.

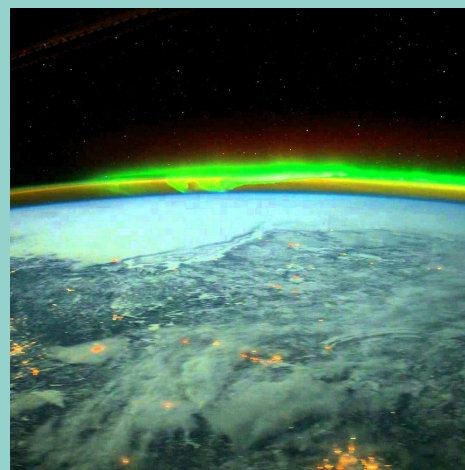
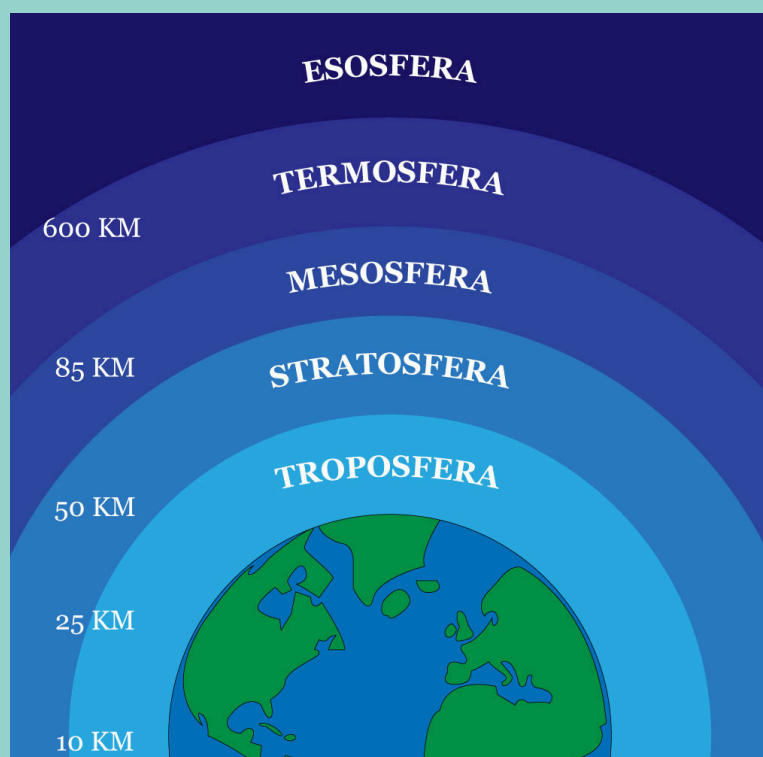


Il telescopio "Astri" dell'Osservatorio Astrofisico di Serra La Nave

L'ATMOSFERA TERRESTRE

Il filtro invisibile

L'atmosfera terrestre è l'involucro d'aria che permette la vita sulla Terra. È suddivisa in diversi strati come mostrato nell'immagine in basso. La sua presenza comporta dei benefici sulla biosfera, ma non permette a tutta la radiazione cosmica di arrivare al suolo, limitando la nostra capacità di analizzarla. I raggi più energetici, X e Gamma, sono totalmente schermati, un fattore positivo per la vita, poiché risultano dannosi. Per questo motivo, per studiarli è necessario collocare gli strumenti di rilevazione direttamente nello spazio, dove è possibile ottenere una visione completa dell'intero spettro elettromagnetico. Alcuni satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea sono Euclid, Integral e Fermi Gamma-Ray Space Telescope. A questi si aggiungono i telescopi terrestri che operano nelle regioni dello spettro in cui la nostra atmosfera è trasparente: luce visibile, parte dell'infrarosso e alcune frequenze radio.



Atmosfera vs Raggi cosmici

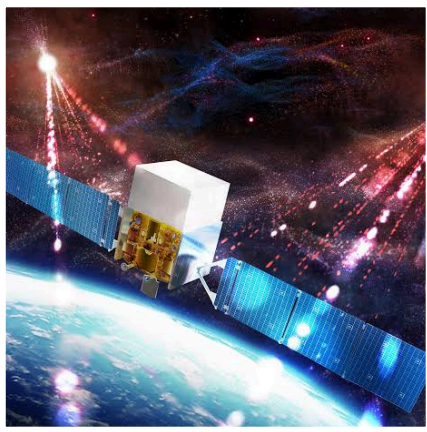
La schermatura dei raggi cosmici è dovuta ad un particolare strato dell'atmosfera, detto ionosfera. Questa regione, che si estende da circa 50 a 1000 km di altitudine, è composta da particelle cariche e ionizzate che assorbono o riflettono le radiazioni ionizzanti. La ionosfera interagisce fortemente con le radiazioni più energetiche provenienti dallo spazio. I raggi cosmici, entrando negli strati superiori dell'atmosfera, collidono con le molecole d'aria e generano sciami di particelle che ionizzano il gas, contribuendo alla struttura elettricamente carica della ionosfera.

Anche i fotoni ultra-energetici, come quelli nell'intervallo dei TeraElettronvolt, non raggiungono il suolo: vengono assorbiti o convertiti in coppie particella-antiparticella, dando origine a cascate elettromagnetiche. La ionosfera agisce quindi come uno scudo che trasforma e attenua queste radiazioni, rendendo necessarie tecniche di osservazione indiretta, come i telescopi Cherenkov terrestri.

Strumenti in orbita

Fonti: NASA, ESA, media INAF.

Ci sono diversi telescopi in orbita che analizzano le sorgenti di raggi gamma ai confini del nostro universo.



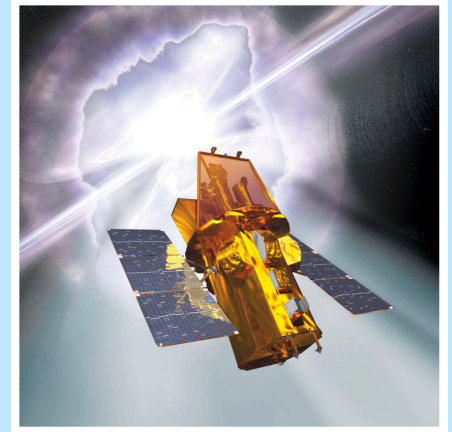
Fermi Gamma-ray Space Telescope (NASA)

Frutto della collaborazione tra la NASA e le agenzie spaziali di Italia, Francia, Giappone e Svezia, il telescopio spaziale per raggi gamma Fermi è un telescopio spaziale di grande area per la rilevazione di raggi gamma. Le principali scoperte scientifiche effettuate da questo strumento sono state la rilevazione di una pulsar nel resto di supernova CTA1, l'osservazione del più potente lampo gamma mai rivelato, la mappa del cielo gamma basata sui dati dei primi tre mesi di missione e la misura dello spettro della componente elettronica ad alta energia dei raggi cosmici.



Integral (ESA)

È il più sensibile telescopio a raggi gamma mai sviluppato, nonché il più pesante satellite scientifico europeo messo in orbita. Lo scopo di Integral è quello di individuare i lampi gamma. Ha osservato il 70% del cielo visibile ed ha contribuito a realizzare un accurato catalogo delle sorgenti di raggi gamma. Si tratta di una missione ESA in cooperazione con l'Agenzia Spaziale Russa e la NASA. Ha ottenuto dei notevoli successi tra cui l'individuazione di iron quasar, lo studio dei GRB e l'evidenza dei buchi neri.



Swift Gamma Ray Burst Explorer (NASA)

Si tratta di un satellite artificiale messo in orbita dalla NASA dedicato allo studio dei lampi gamma osservati da galassie lontane, rilevando diversi GRB della durata di pochi secondi. L'Italia ha fornito gli specchi del telescopio XRT a bordo del satellite insieme a parte del software per l'analisi dei dati X e le antenne della stazione per ricevere i comandi e trasmettere i dati. Inoltre, la partecipazione italiana a Swift è finanziata dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF). Oltre 150.000 sorgenti puntiformi nei raggi X tra cui stelle, galassie e buchi neri compongono il vasto catalogo ottenuto grazie alle osservazioni del telescopio XRT.

DETECTION SYSTEMS

HOW ARE GAMMA RAYS DETECTED?

Gamma rays cannot be seen with normal telescopes, so scientists use particle detectors similar to those in high-energy physics. These instruments force gamma rays to interact with layers of materials such as silicon and tungsten; by studying how the ray loses energy and the angle of interaction, astronomers determine its energy and origin. Satellites like NASA's Swift and Fermi operate above the atmosphere, which absorbs most gamma rays. Gamma-ray events also produce an afterglow at X-ray, ultraviolet, optical, and infrared wavelengths, allowing astronomers to locate and study the source with traditional telescopes.

Ground-based instruments

Gamma rays are absorbed by the atmosphere, but they create particle cascades that emit a faint blue flash called Cherenkov light. Ground-based Cherenkov telescopes—such as H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS—detect this light to reconstruct the original gamma ray. The Cherenkov Telescope Array (CTA), with over 100 telescopes in both hemispheres, will be the most sensitive high-energy gamma-ray observatory. Italy contributes through the ASTRI project and national research institutes.

Space-based instruments

Space telescopes directly detect gamma rays. Fermi observes high-energy phenomena and has produced detailed gamma-ray sky maps. Integral, the most sensitive gamma-ray telescope built in Europe, has cataloged many gamma-ray sources and studied GRBs and black holes. Swift focuses on gamma-ray bursts; Italy provided key components, and its XRT telescope has identified more than 150,000 X-ray sources.

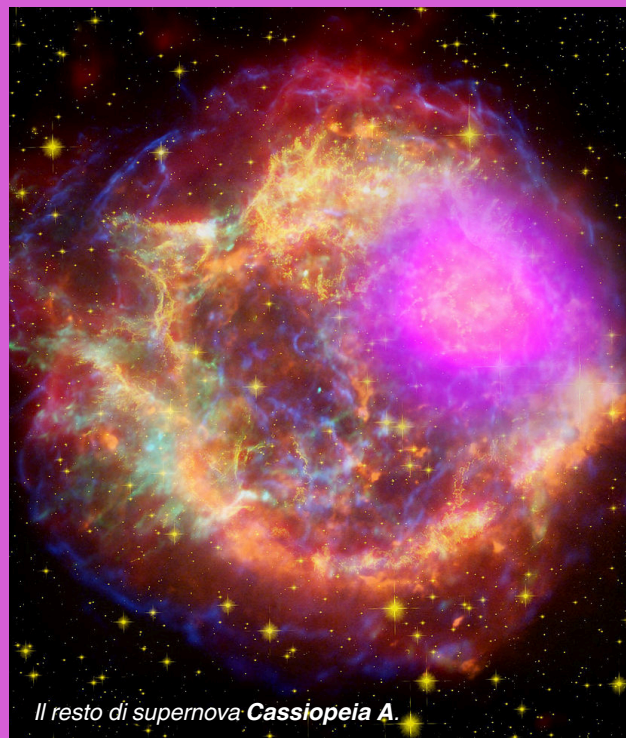
ENGLISH EXPLANATION



Picture of the First G-APD Cherenkov Telescope in the Observatorio del Roque de los Muchachos, on the island of La Palma, Canary, Spain.

COSA SONO LE SUPERNOVE?

Verso la fine delle stelle massicce



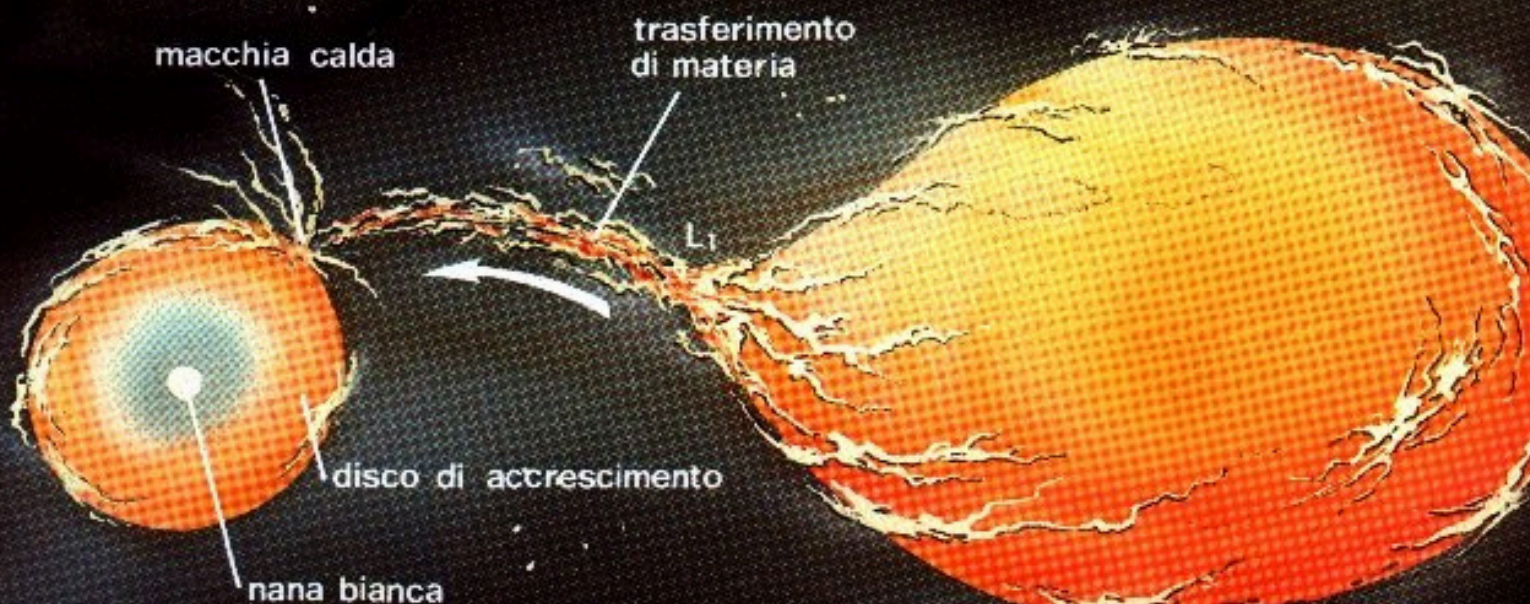
Fonti: il libro *“Stelle e Supernove: le origini della materia e della vita”*, sito dell'*INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)*.

Le supernove sono esplosioni stellari che si verificano quando le stelle raggiungono la fine del loro ciclo vitale. Sono tra i pochi oggetti astronomici che mostrano variazioni in scale di tempo umane: appaiono splendidi per poi scomparire dai nostri telescopi nel giro di pochi mesi o anni. Si distinguono in supernove di tipo II, che si verificano quando stelle con massa circa 10 volte quella del Sole esauriscono il loro combustibile nucleare, e supernova di tipo Ia, che hanno origine da sistemi binari in cui una nana bianca assorbe la materia da una stella compagna. Nella prima tipologia, il nucleo della stella collassa rapidamente sotto la propria gravità e il collasso genera un'onda d'urto che si propaga attraverso gli strati esterni della stella facendola esplodere. Al centro rimane un nucleo denso, che può diventare una stella di neutroni o un buco nero.

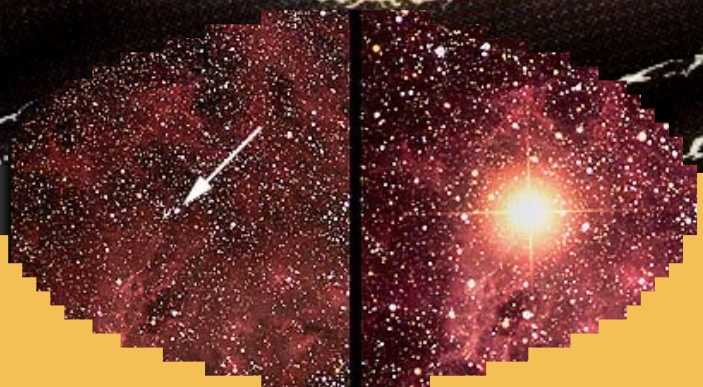
Un'esplosione di elementi chimici che si propaga nello spazio interstellare, liberando in pochi istanti la materia prodotta in milioni di anni di reazioni nucleari.

Nella seconda tipologia, quando la nana bianca supera il limite critico di massa (che è uguale a circa 1,44 masse solari), si verifica un'esplosione termonucleare incontrollata. La stella viene completamente distrutta durante l'esplosione, lasciando un segnale luminoso particolarmente uniforme e brillante.

Durante l'esplosione di una supernova viene liberata un'energia enorme e la stella diventa così luminosa da splendere più di un'intera galassia. Pur essendo un fenomeno distruttivo per le stelle, sono fondamentali per l'evoluzione del nostro universo e presentano implicazioni che ci toccano molto da vicino portando importanti conseguenze, come l'arricchimento chimico delle galassie e le condizioni per cui altre stelle possono nascere. Da questi catastrofici eventi derivano praticamente tutti gli elementi chimici.



(In alto) trasferimento di massa in un sistema binario. (A destra) La Supernova 1987A prima e dopo l'esplosione.



Praticamente tutti gli elementi chimici, eccetto l'idrogeno e l'elio che ebbero origine durante il Big Bang, si sono formati nei densi e caldi nuclei interni delle stelle, durante la loro evoluzione o esplosione come supernove. Gli elementi, a partire dall'idrogeno, si formano attraverso reazioni di fusione nucleare che avvengono continuamente nelle stelle. Per esempio, quattro nuclei di idrogeno si fondono per creare un nucleo di elio e tre di elio si fondono per creare un nucleo di carbonio. Queste reazioni nucleari sono esotermiche, cioè producono energia secondo l'equazione di Einstein $E=mc^2$. Le stelle generano energia trasformando alcuni nuclei atomici in altri, e attraverso l'espulsione di nuovi elementi, generatisi durante

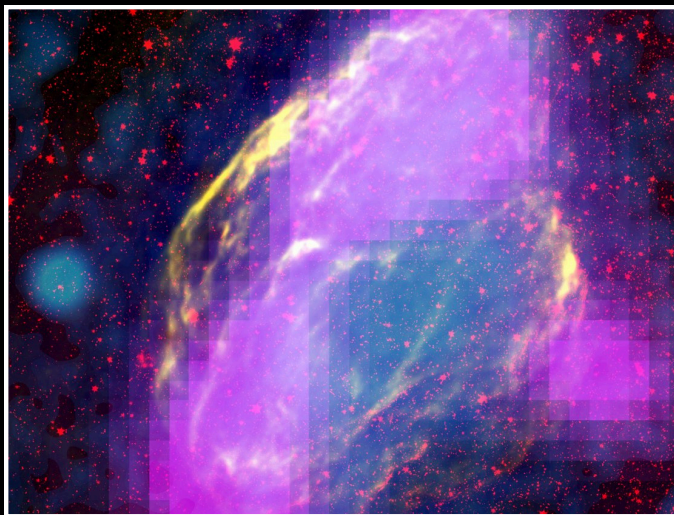
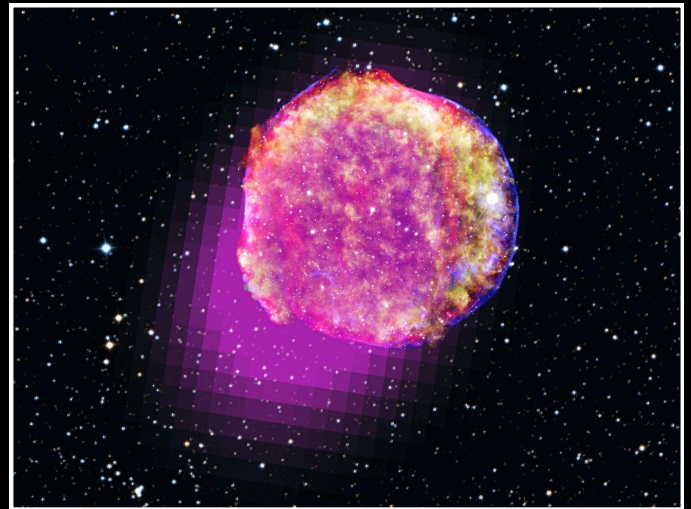
le esplosioni di supernove, modificano la composizione chimica del mezzo interstellare. Durante l'esplosione, le supernove sono protagoniste anche di un altro processo fondamentale: rilasciano una grande quantità di energia nel mezzo interstellare spingendo il gas all'esterno e destabilizzando le fredde nubi di gas interstellare, che collassano per effetto della gravità. Quando si verifica questo fenomeno il gas delle nubi si comprime e nella zona centrale si raggiunge la temperatura necessaria per innescare le prime reazioni nucleari. Questo è il momento in cui nasce una stella.

Esempi di resti di supernove ai raggi gamma

1

Supernova di Tycho

*Situata nella costellazione
di Cassiopea.*



2

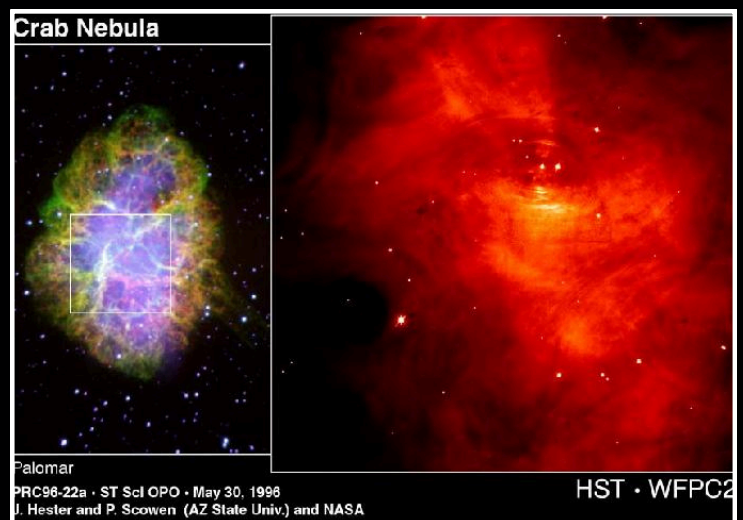
W44

*Situata nella costellazione
dell'Aquila.*

3

Nebulosa del Granchio

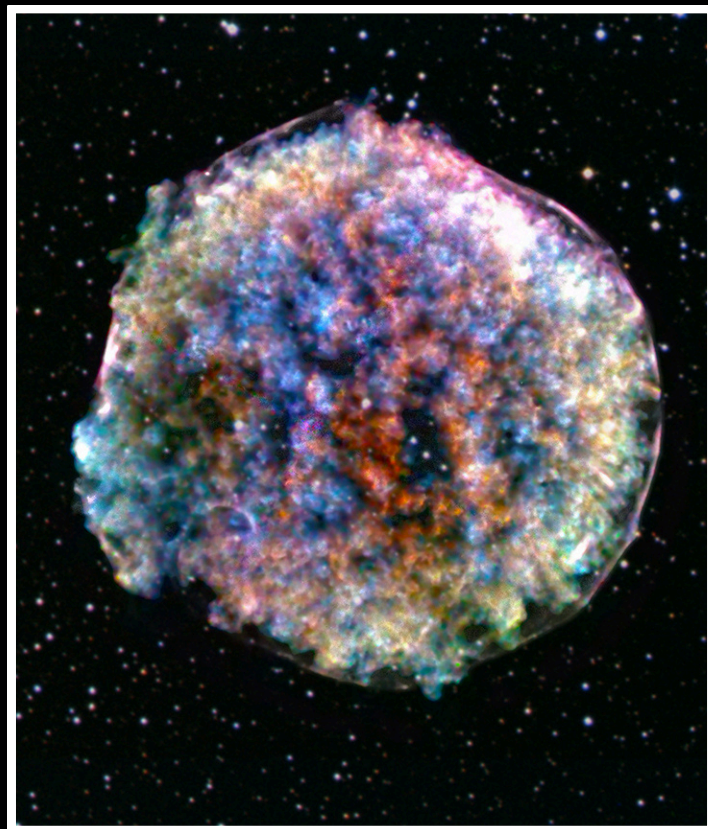
*Situata nella
costellazione del Toro.*



LA SUPERNOVA DI TYCHO

SN 1572

Fonti: ***astronomia.com, NASA.***



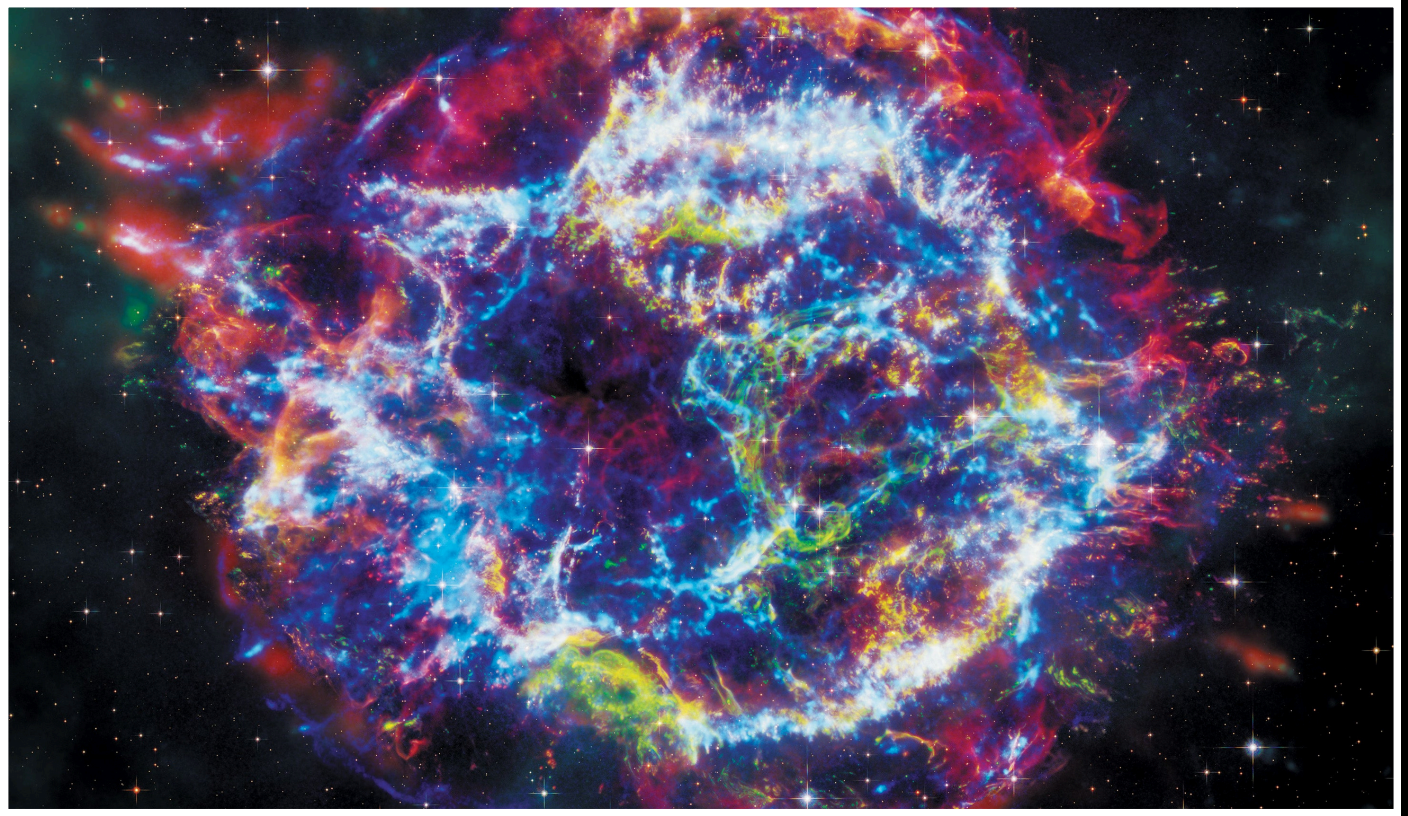
Il Fermi Gamma-Ray Space Telescope rilevò che la supernova di Tycho brilla di raggi gamma.

La supernova 1572, conosciuta anche come la Supernova di Tycho, fu una supernova esplosa nella nostra galassia, la Via Lattea, in direzione della costellazione di Cassiopea. Fu osservata per la prima volta nel 1572 da Tycho Brahe, astronomo danese, quando era più luminosa di Venere, e si tratta di una supernova di tipo Ia. Ad oggi, dell'esplosione stellare è rimasto un resto di supernova, una nebulosa di gas e polvere che si espande nello spazio. I dati raccolti dal Fermi Gamma-Ray Space Telescope della NASA hanno rilevato che i resti della stella esplosa emettono radiazioni gamma ad alta intensità. Nel 1949, il fisico italiano Enrico Fermi, dal quale il satellite prende il nome, ipotizzò che i raggi cosmici ad altissima energia venissero accelerati nei campi magnetici delle nebulose di gas interstellare. Nei decenni successivi, gli astronomi dimostrarono che i resti di supernova potevano essere una probabile sede di questo processo all'interno di una galassia.

Questa scoperta ha offerto agli astronomi un nuovo indizio verso la comprensione dell'origine dei raggi cosmici. Francesco Giordano, dell'Università di Bari e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, autore principale di un articolo che descrive i risultati della scoperta pubblicati su *The Astrophysical Journal Letters*, riporta che i raggi gamma ad alta energia vengono prodotti quando i raggi cosmici colpiscono il gas interstellare e le stelle. Questi raggi gamma arrivano al Fermi Telescope direttamente dalle loro fonti.

Comprendere meglio l'origine dei raggi cosmici è uno degli obiettivi principali del Fermi Gamma-Ray Space Telescope, che grazie al suo Large Area Telescope è in grado di osservare il cielo ogni tre ore, costruendo gradualmente una visione sempre più profonda e completa del cielo nella radiazione gamma. Essendo i raggi gamma le radiazioni luminose più energetiche e penetranti, rappresentano il segnale dell'accelerazione di particelle che dà origine ai raggi cosmici.

ENGLISH EXPLANATION



Cassiopeia a, a supernova remnant.

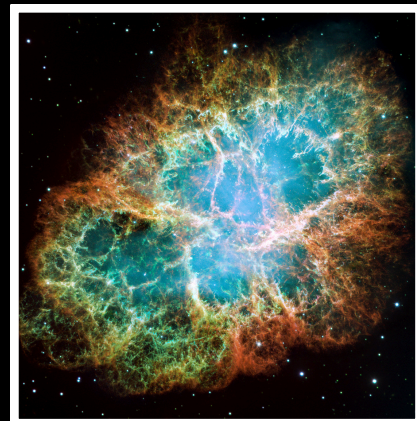
SUPERNOVAE

Supernovae are stellar explosions that occur when stars reach the end of their life cycle. They can brighten dramatically and remain visible for weeks or months before fading. There are two main types: Type II supernovae, which result from the collapse of massive stars at least ten times the mass of the Sun, and Type Ia supernovae, which occur in binary systems when a white dwarf accumulates too much material from its companion and exceeds the critical limit of 1.44 solar masses, triggering an uncontrollable thermonuclear explosion that completely destroys it. Supernovae release enormous amounts of energy, often outshining entire galaxies, and play a key role in the evolution of the universe by creating and dispersing chemical elements and by triggering the formation of new stars through the compression of interstellar gas clouds.

Nearly all chemical elements, except hydrogen and helium formed during the Big Bang, are produced inside stars through nuclear fusion reactions that convert mass into energy ($E = mc^2$). When supernovae explode, they eject these newly formed elements into space, enriching galaxies and promoting the collapse of gas clouds where new stars can form.

Credits for pictures: NASA.

Examples of supernova remnants observed in gamma rays include Tycho's Supernova, W44, and the Crab Nebula. Tycho's Supernova (SN 1572), a Type Ia explosion observed in the Milky Way in 1572 by Tycho Brahe, is now an expanding cloud of gas and dust that emits high-energy gamma rays. Observations from the Fermi Gamma-Ray Space Telescope revealed that its remnants accelerate particles to extremely high energies, providing important clues about the origin of cosmic rays. Fermi's Large Area Telescope continuously scans the sky, helping astronomers better understand how the most energetic particles in the universe are produced.



Crab nebula, a supernova remnant.

COS'È UNA PULSAR?

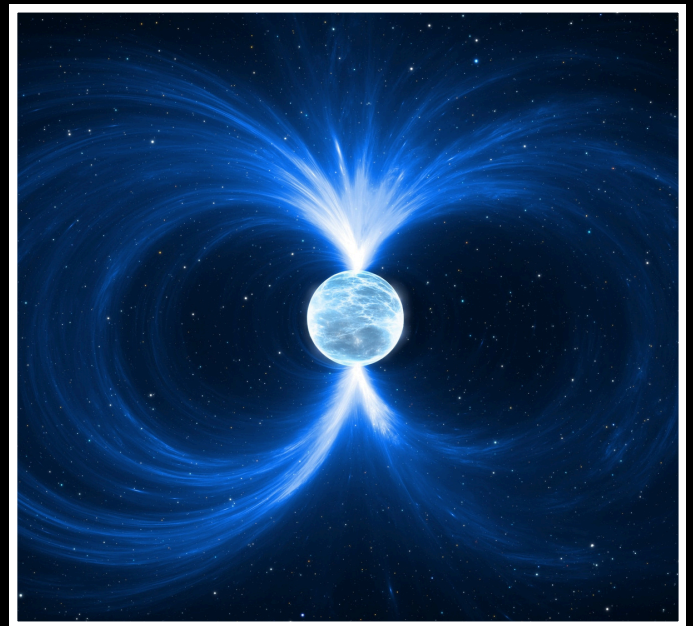
Fonti: il libro "**Grande guida di astronomia**".

Il radiofaro che illumina l'universo

Una pulsar è una stella di neutroni che si comporta come un faro luminoso: questo corpo stellare sembra lampeggiare.

Una stella di neutroni è lo stadio finale del processo evolutivo di stelle con massa maggiore a 8/10 masse solari. Quando una stella di tali dimensioni arriva alla fine di tutte le possibili reazioni di fusione nucleare, esplose in una supernova. Gli strati più esterni della stella vengono scagliati nello spazio, il suo nucleo subisce invece un forte collasso gravitazionale, raggiunge una densità molto elevata e si trasforma in una stella di neutroni. Come fa intendere il nome, sono costituite essenzialmente da neutroni, cioè particelle prive di carica elettrica contenute nei nuclei degli atomi assieme ai protoni. Nell'interno stellare la materia si trova in forma ionizzata a causa delle elevate temperature: gli elettroni sono cioè liberi. Mentre la superficie è composta essenzialmente da nuclei ordinari ionizzati, procedendo verso l'interno della stella la percentuale di neutroni aumenta fino ad annullare completamente quella dei protoni.

Le pulsar fanno parte di questa categoria di oggetti stellari, con la differenza che esse presentano dei fasci lungo l'asse dei poli magnetici che possono risultare visibili dalla Terra per ragioni geometriche. Questi fasci emettono radiazione elettromagnetica in varie zone dello spettro. Sono anche le stelle a più rapida rotazione che si conoscono a causa della conservazione del momento angolare.



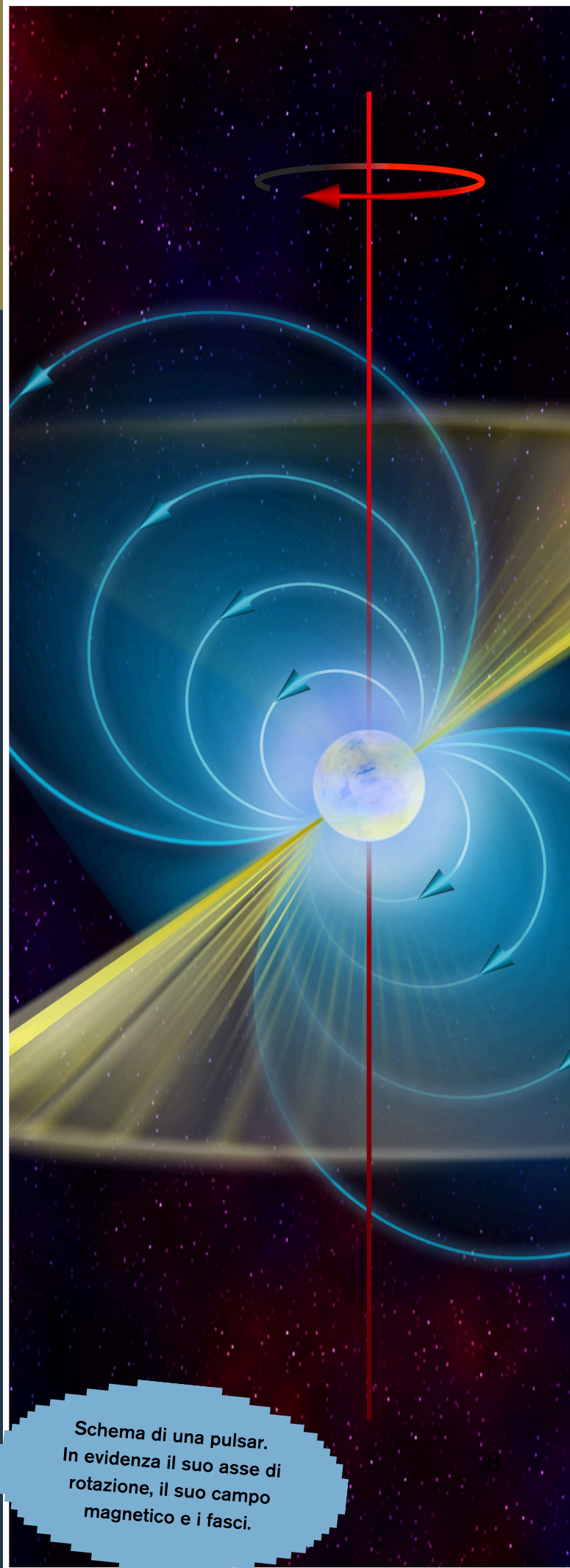
Rappresentazione artistica di una stella di neutroni.

PERCHÉ PULSA?

Fonti: il libro **“Grande guida di astronomia”**.

L'interazione tra l'intenso campo magnetico e le particelle cariche presenti negli strati superficiali della stella di neutroni, emette radiazione elettromagnetica che viene convogliata in fasci lungo l'asse che attraversa i poli magnetici. Se è presente un disallineamento fra l'asse di rotazione e quello magnetico, la stella si comporta come un faro, indirizzando il suo fascio lungo un cono definito. Se questo fascio può investire periodicamente l'osservatore terrestre, la stella può essere identificata come pulsar. Tuttavia quest'ultima evenienza non è comune a tutte le stelle pulsanti, quindi in base alla posizione dell'asse magnetico rispetto a quello di rotazione, possono non risultare visibili dal nostro pianeta.

La radiazione elettromagnetica emessa dai fasci lungo la pulsar avviene in varie zone dello spettro, dalle onde radio ai raggi gamma.



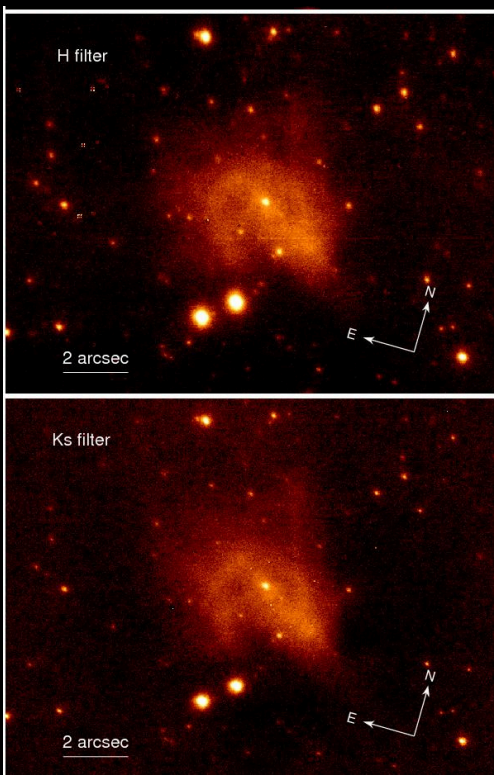
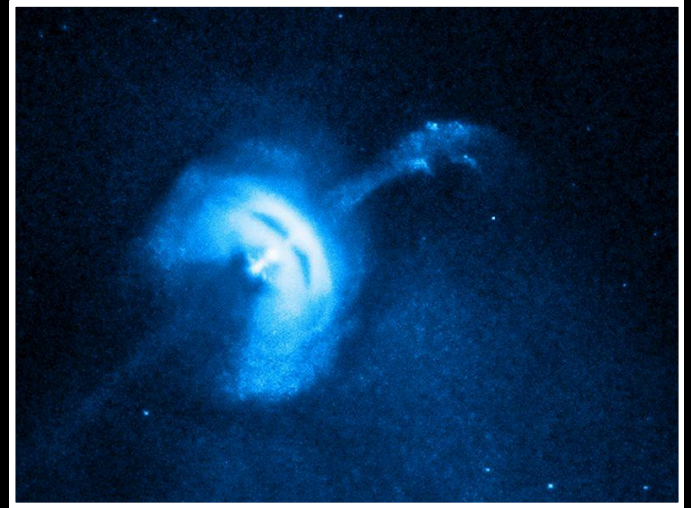
Schema di una pulsar.
In evidenza il suo asse di
rotazione, il suo campo
magnetico e i fasci.

Esempi di pulsar ai raggi gamma

1

Pulsar delle Vele

Situata nella costellazione delle Vele.



2

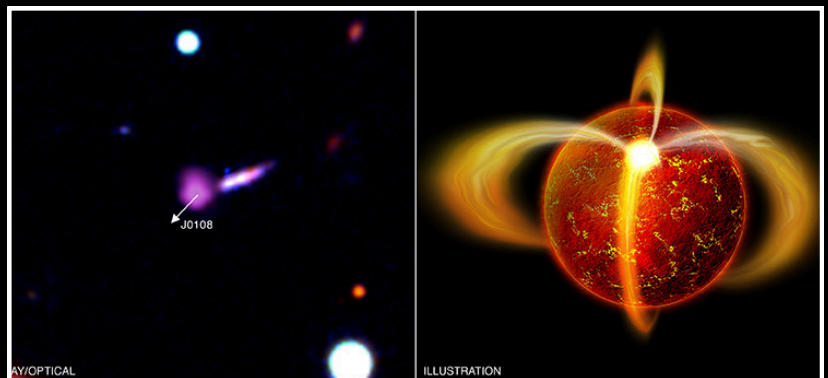
Pulsar B0540-69

Situata nella costellazione del Dorado.

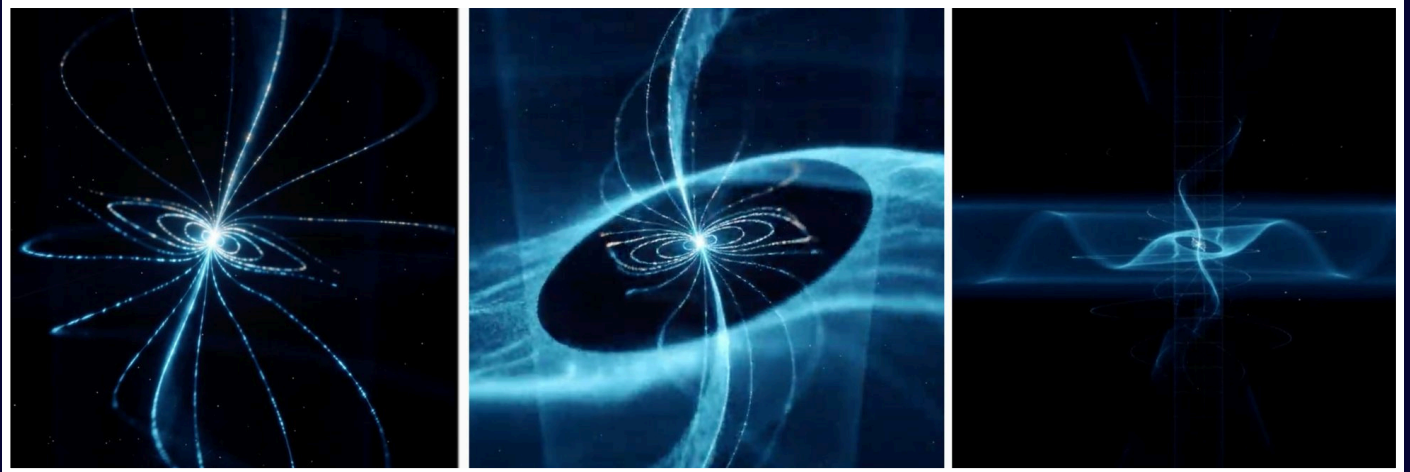
3

PSR J0108-1431

Situata nella costellazione della Balena.



LA PULSAR DELLE VELE

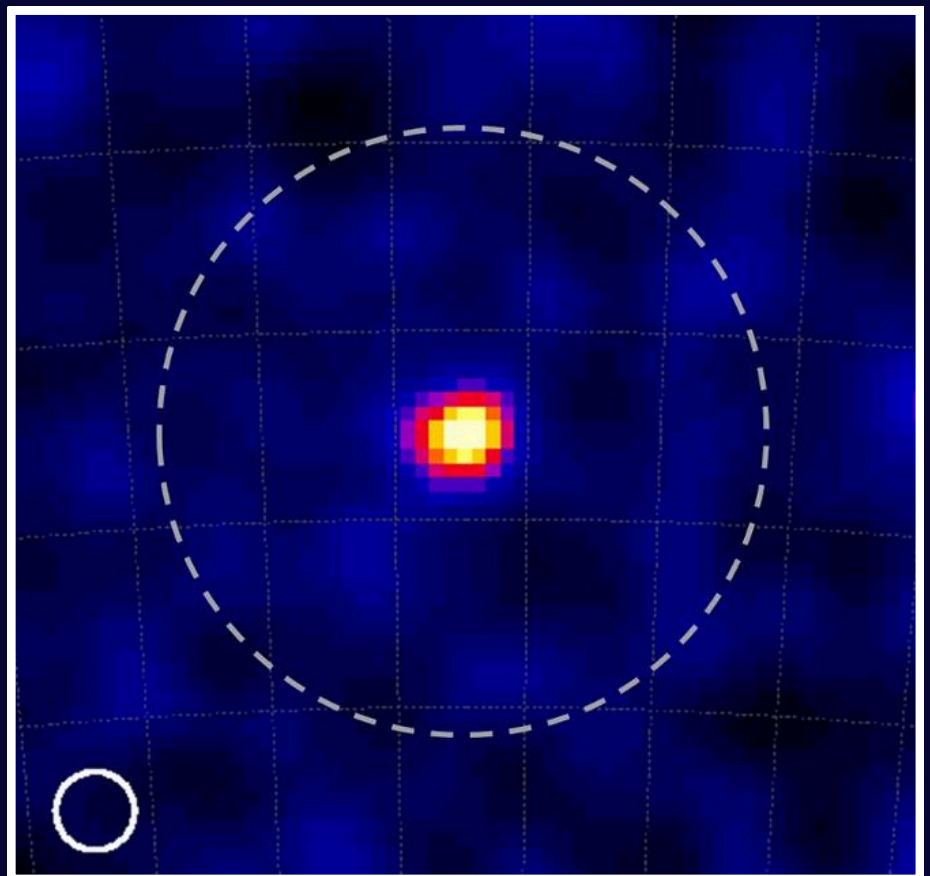


La pulsar delle Vele è una pulsar sorgente di onde radio, luce visibile, raggi x e raggi gamma associata con la Nebulosa delle Vele, nella costellazione delle Vele. Utilizzando Hess, uno dei principali osservatori per la rilevazione di raggi gamma ad altissima energia con un sistema di cinque telescopi atmosferici Cherenkov situati in Namibia, un team di ricercatori ha rilevato che emette i raggi gamma con l'energia più alta mai registrata emessa da una pulsar, pari a 20 tera-elettronvolt, ossia ventimila miliardi di volte l'energia dei fotoni che riescono a vedere i nostri occhi. La pulsar delle Vele è quindi la sorgente più brillante di raggi gamma. Il ricercatore Christo Venter dichiara che si tratta di una radiazione circa 200 volte più energetica di tutta la radiazione rilevata finora da questo oggetto celeste.

Secondo i ricercatori, la pulsar delle Vele detiene un nuovo record: si tratta della pulsar che emette i raggi gamma più energetici fino ad oggi conosciuti.

In basso vi è l'immagine della pulsar delle Vele più accurata mai ottenuta finora alle stesse frequenze. Si tratta del risultato di un nuovo ingegnoso rilevatore di raggi gamma ideato da un gruppo di scienziati giapponesi. Questo consiste in una serie di pellicole

fotografiche impilate a strati e fatte volare a bordo di un pallone aerostatico a circa quaranta chilometri di quota, ed esposte alla luce per circa quaranta ore. Il progetto prende il nome di Graine (Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion).

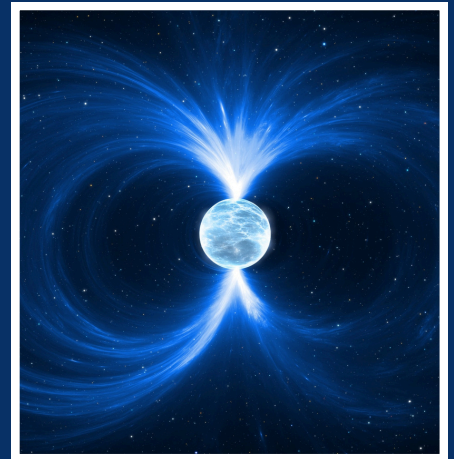


Fonti: *media INAF*.

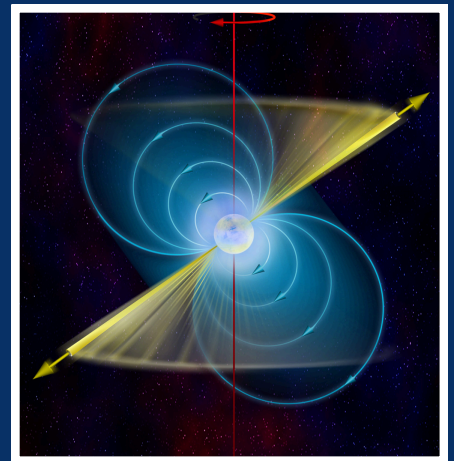
PULSARS

ENGLISH EXPLANATION

A pulsar is a rapidly rotating neutron star that appears to “flash” like a cosmic lighthouse. Neutron stars form when massive stars, those exceeding about 8–10 solar masses, exhaust their nuclear fuel and explode as supernovae. The outer layers are expelled, while the core collapses under gravity into an extremely dense object composed almost entirely of neutrons. Toward the surface the matter is ionized, but deeper inside nearly all protons are converted into neutrons.



Pulsars are neutron stars whose strong magnetic fields produce beams of electromagnetic radiation along their magnetic poles. Because the magnetic and rotational axes are misaligned, these beams sweep through space; if one of them periodically crosses Earth, the star is seen as “pulsing.” The emission spans a wide range of wavelengths, from radio waves to gamma rays.



Examples of gamma-ray pulsars include the Vela Pulsar, Pulsar B0540-69, and PSR J0108-1431.

The picture above shows an artistic representation of a neutron star.

The Vela Pulsar

The Vela Pulsar, located in the Vela constellation and associated with the Vela Supernova Remnant, emits radio waves, visible light, X-rays, and gamma rays. Observations with the HESS array in Namibia revealed that it produces the most energetic gamma rays ever detected from a pulsar, up to 20 tera–electronvolts, about 20 trillion times the energy of visible-light photons. This makes the Vela Pulsar the brightest known source of ultra-high-energy gamma rays, setting a new record according to the researchers.

The picture below shows the scheme of the magnetic field of a pulsar.

COSA SONO I BUCHI NERI?

Le singolarità
dell'universo

Il primo scatto mai realizzato del disco di accrescimento di un buco nero. Raffigura il disco del buco nero M87.*



Fonti: **media INAF.**

Oggetti astronomici super compatti capaci di inghiottire anche la luce

Un buco nero è l'ultimo stadio del collasso gravitazionale di una stella di massa superiore a 10 volte quella del Sole. Si tratta di un corpo celeste con un campo gravitazionale così intenso, e quindi una regione dello spazio-tempo con una curvatura talmente alta, che dal suo interno non può sfuggirvi nulla, nemmeno la luce. Questo accade perché la velocità di fuga (la velocità minima che un corpo deve avere per potersi allontanare da un campo di forze a cui è soggetto) è maggiore di c (la velocità della luce nel vuoto). La gravità è la forza dominante ed è responsabile di un collasso gravitazionale che concentra lo spazio-tempo in un punto al centro della regione, chiamato singolarità, con caratteristiche sconosciute ed estranee alle leggi della relatività generale. La regione che delimita i confini osservabili del buco nero è definita orizzonte degli eventi.

I buchi neri non sono osservabili direttamente, ma possono essere individuati attraverso gli effetti che hanno sullo spazio circostante, come le interazioni gravitazionali con altri corpi celesti e le loro emissioni di radiazione elettromagnetica.

La prima foto di un buco nero è stata scattata nel 2019 ed è stata svelata dalla collaborazione internazionale Event Horizon Telescope. Si tratta del buco nero supermassiccio al centro della galassia Messier 87, chiamato M87*. L'EHT ha ottenuto la foto collegando gli otto radiotelescopi dislocati in diverse parti del pianeta creando un telescopio virtuale di dimensioni pari a quelle della Terra, uno strumento con una sensibilità e una risoluzione senza precedenti. L'INAF vanta un importante coinvolgimento in questo successo.

LE ONDE GRAVITAZIONALI

Un fenomeno fondamentale che rivela nuovi aspetti del comportamento dell'universo.

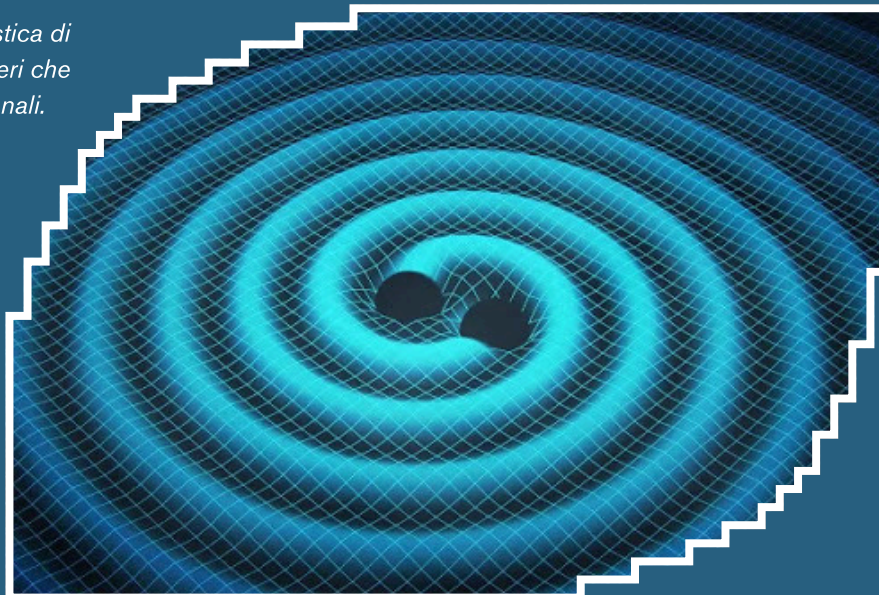
Fonti: il libro "**Grande guida dell'Astronomia: pianeti stelle, costellazioni, galassie**".

La teoria della relatività generale di Albert Einstein stabilisce che le leggi della fisica sono influenzate dal campo gravitazionale locale: il tempo scorre con ritmi differenti in presenza di campi gravitazionali di diverse intensità. Stando a ciò, in prossimità di un buco nero sembra che il tempo passi molto più velocemente che altrove. L'immenso campo gravitazionale prodotto da un buco nero influenza anche lo spazio circostante, che assume una struttura diversa: secondo la relatività generale, infatti, la presenza di un forte campo gravitazionale generato da un corpo massiccio come un buco nero, distorce la struttura dello spazio-tempo circostante modificandone la geometria tridimensionale.

Secondo ricerche più recenti, quasi tutte le galassie, compresa la nostra Via Lattea, ospita al centro un gigantesco buco nero, e sarebbe proprio a causa della sua azione gravitazionale che la maggior parte della materia luminosa si concentra nelle regioni centrali. Questo vuol dire che i buchi neri, che per lungo tempo sono stati considerati dai

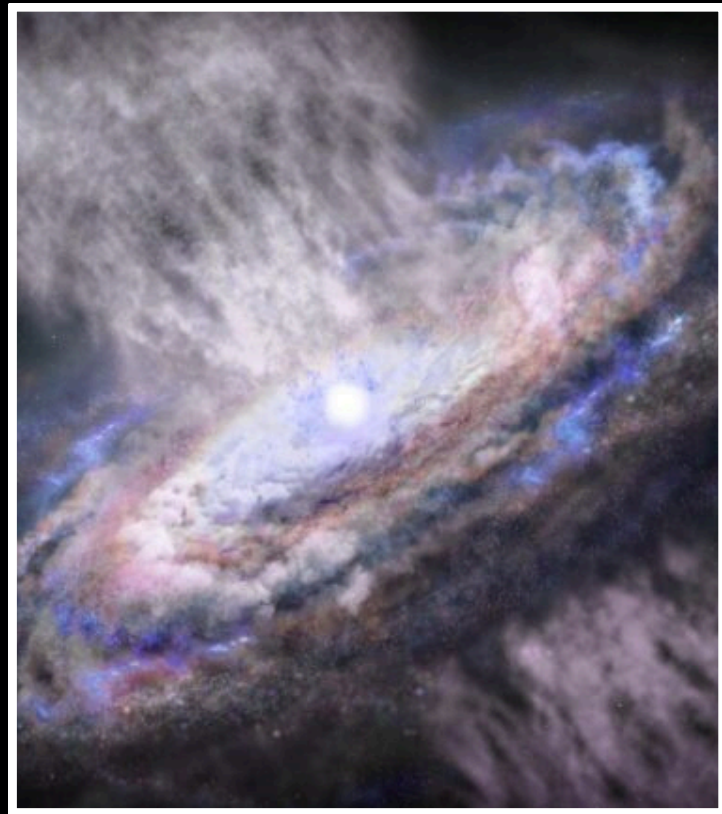
fisici una teoria, sono in realtà oggetti piuttosto comuni all'interno del nostro universo. Ad accrescere tale ipotesi è la scoperta delle onde gravitazionali, cioè della vibrazione dello spazio-tempo come teorizzato da Einstein. La maggior parte di queste increspature dello spazio tempo sono state captate dagli interferometri terrestri LIGO e Virgo ed è attribuita proprio alla collisione e alla fusione di coppie di buchi neri nelle profondità del nostro universo. Il premio Nobel per la fisica 2017 è stato assegnato ai ricercatori Kip Thorne, Rainer Weiss e Barry Barish, principali autori della scoperta delle onde gravitazionali. Questo ha confermato l'ipotesi di Albert Einstein nel 2016: si tratta di una sorta di vibrazione che si propaga nel cosmo, come le onde formate da un sasso gettato nell'acqua di un laghetto e che modifica in modo ondulatorio lo spazio-tempo. Ma la vibrazione che noi captiamo, a grandissima distanza, è infinitesima e per registrarla servono strumenti ipersensibili e precisi chiamati interferometri, proprio come Virgo, che si trova a Pisa.

Rappresentazione artistica di una fusione di buchi neri che genera onde gravitazionali.



BUCHI NERI E RAGGI GAMMA

Fonti: *media INAF* e *Wired*.



Rappresentazione artistica dei getti di emissione.

Buchi neri e raggi gamma: fenomeni estremi che mostrano l'energia più intensa e misteriosa del cosmo.

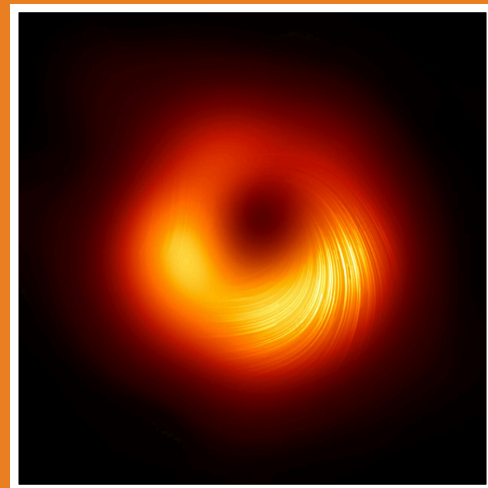
I buchi neri non emettono direttamente raggi gamma, poiché la loro gravità impedisce a qualsiasi cosa, inclusa la luce, di sfuggirvi. Tuttavia i raggi gamma vengono prodotti nell'ambiente circostante i buchi neri, come le intense radiazioni emesse dai getti che fuoriescono dai poli dei buchi neri attivi e dal materiale che cade su di essi. I raggi gamma vengono anche emessi da una classe di buchi neri detti “mellow” e possono contribuire significativamente alla produzione di queste radiazioni nell'universo. Nel 2021 grazie ai dati del satellite Fermi Gamma-Ray Space Telescope della NASA, sono stati identificate per la prima volta le emissioni di raggi gamma in alcune galassie vicino alla nostra: si tratta di veri e propri venti di gas e particelle emesse ad altissima velocità dai buchi neri super massicci. Questi sono definiti “UFO”, acronimo di “ultra fast outflows”. Lo studio è stato realizzato grazie ai dati raccolti dal Large Area Telescope e i ricercatori che si sono

occupati dello studio hanno rilevato che questi getti di emissione mostrano come i buchi neri super massicci possono trasferire una grande quantità di energia alla loro galassia ospite. Gli “UFO” accelerano in modo molto efficiente le particelle cariche note come raggi cosmici, fino a quasi alla velocità della luce. Ciò dimostra come i venti dei nuclei galattici attivi possono fornire l'energia a una grande frazione dei raggi cosmici dentro la galassia. Ogni galassia ha un buco nero super massiccio al suo centro, e alcuni di questi centri sono chiamati nuclei galattici attivi, il che significa che attirano e ingoiano la materia circostante attraverso un processo chiamato accrescimento. Gli “UFO” sono uno dei prodotti dell'attività dei buchi neri e nel loro moto di propagazione favoriscono gradualmente la formazione di nuove stelle.

Al momento, il buco nero al centro della nostra galassia, chiamato Sagittarius A* non è attivo, ma probabilmente lo è stato nel recente passato.

La Event Horizon Telescope ha rivelato un lampo di raggi gamma attorno al primo buco nero fotografato, M87*, a 53 milioni di anni luce di distanza dalla Terra.

M87* E IL SUO LAMPO DI RAGGI GAMMA



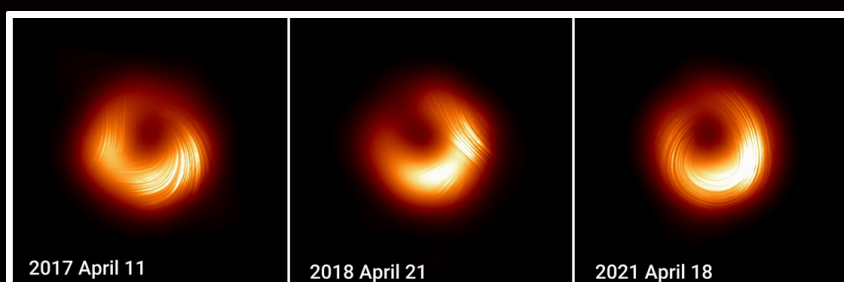
Il buco nero M87*.

Fonti: *Wired*.

Questo raro brillamento è durato tre giorni ed è stato registrato grazie all'Event Horizon Telescope.

Il primo buco nero fotografato dagli astronomi è M87*, al centro della galassia Virgo A, conosciuta anche come M87. Dall'acquisizione dell'immagine, questo oggetto gravitazionale molto compatto è argomento di studio da parte degli scienziati. Più avanti, nel 2024, è stato rilevato un lampo di raggi gamma proveniente da questo corpo celeste. A scoprirlo è stata la Event Horizon Telescope, la stessa collaborazione internazionale che riuscì a scattarne la prima foto. Si tratta di un programma che vede la collaborazione dei principali radiotelescopi del mondo. È stato individuato un brillamento di radiazioni gamma, le più intense dello spettro elettromagnetico. Gli eventi più violenti e potenti dell'universo sono fonti di raggi gamma. I buchi neri possono espellere getti

di materia a velocità prossime a quelle della luce e accelerare le particelle a livelli energetici molto alti. Ma possono anche innescare brillamenti di raggi gamma, fenomeni di breve durata ma molto energetici. Secondo lo studio, il brillamento energetico di M87* è durato per ben tre giorni, con un'estensione di 170 unità astronomiche. L'acquisizione del lampo è stata una coincidenza dato che, come dichiarato dagli astronomi, il buco nero è abbastanza imprevedibile.



Diverse immagini del buco nero M87* a confronto.

BLACK HOLES

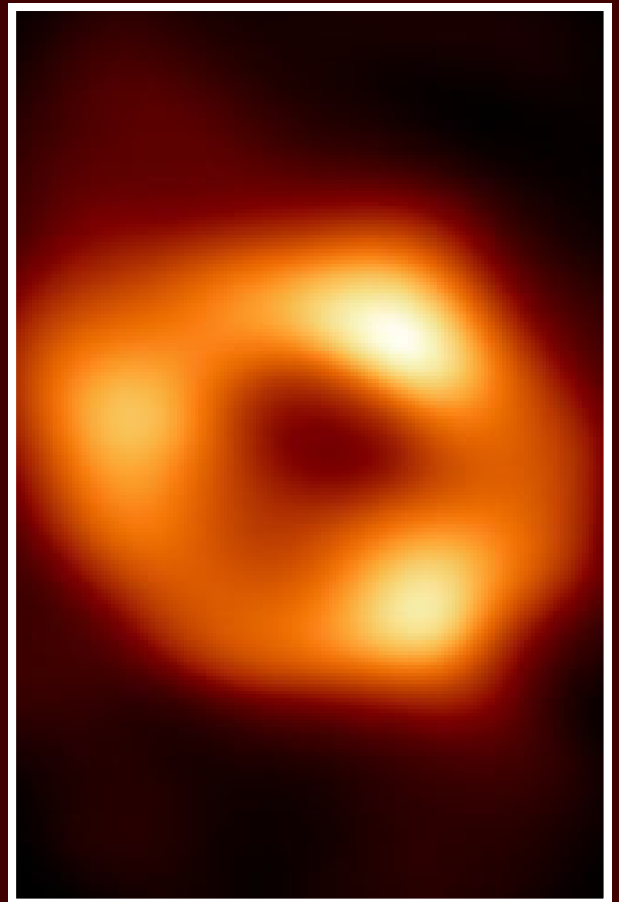
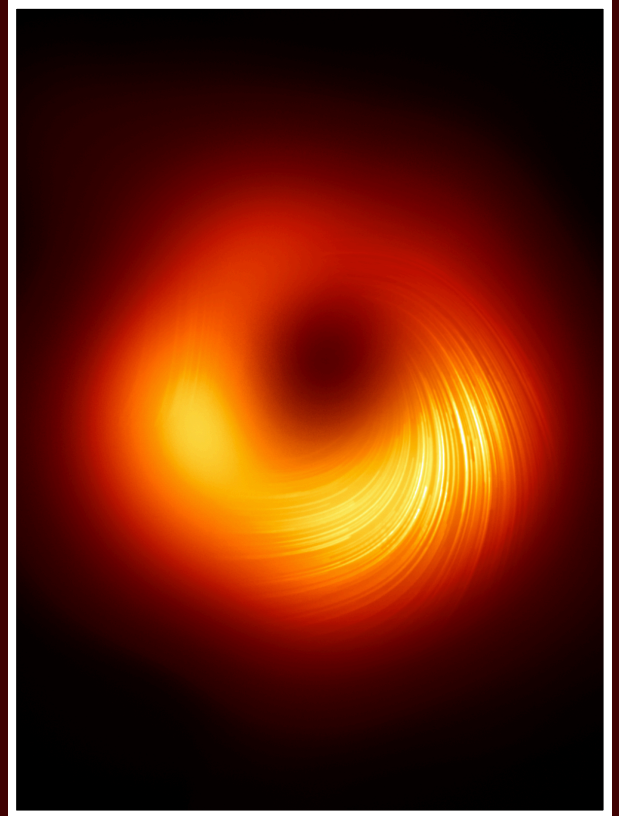
A black hole forms from the gravitational collapse of a massive star, typically more than ten times the mass of the Sun, after it exhausts its nuclear fuel. Its gravity becomes so intense that not even light can escape, because the escape velocity exceeds the speed of light. Matter is compressed into a central singularity, a point where known physical laws break down, surrounded by the event horizon, the boundary beyond which no information can escape.

Black holes cannot be observed directly, but their presence is revealed through their effects on nearby matter, such as gravitational interactions and high-energy radiation from gas accreting onto them. In 2019, the Event Horizon Telescope collaboration produced the first image of a black hole: M87*, the supermassive black hole at the center of galaxy M87, using a global network of radio telescopes acting as a planet-sized instrument.

Einstein's general relativity predicts that strong gravitational fields distort spacetime and alter the flow of time; near a black hole, time passes differently than in weaker gravitational fields. Almost every galaxy, including the Milky Way, is now believed to host a supermassive black hole at its center, a picture strengthened by the 2015 discovery of gravitational waves, tiny ripples in spacetime produced by collisions of black hole pairs. These signals were detected by the ultra-sensitive LIGO and Virgo interferometers, a discovery that earned the 2017 Nobel Prize in Physics.

Although black holes do not emit gamma rays directly, the environments around them can produce powerful gamma-ray emission. These include the jets launched from active supermassive black holes and ultra-fast outflows ("UFOs"), winds of gas and particles expelled at near-light speed. In 2021, NASA's Fermi Gamma-Ray Space Telescope detected gamma-ray emission from such outflows in several nearby galaxies. These energetic winds efficiently accelerate cosmic-ray particles and can influence star formation in their host galaxies. The Milky Way's central black hole, Sagittarius A*, is currently quiet but likely exhibited similar activity in the past.

M87* has recently shown such extreme behavior. In 2024, the Event Horizon Telescope collaboration detected a gamma-ray flare lasting three days and spanning about 170 astronomical units. This brief but powerful burst demonstrated again how unpredictable and extraordinarily energetic supermassive black holes can be.



The black hole Sagittarius A*, at the center of our galaxy.

RAGGI GAMMA VS VITA

Fonti: *YouTube - Fondazione AIRC per la Ricerca sul Cancro*, *MSD Manuals*, *Wikipedia*, *Fondazione Veronesi*.

I raggi gamma sono pericolosi per la vita perché sono radiazioni ionizzanti ad alta energia che possono danneggiare il DNA, aumentando il rischio di tumori e altre malattie. Dosi elevate possono causare la morte cellulare, mentre anche dosi minori possono alterare le cellule, compromettendo la riparazione molecolare e portando a problemi come lesioni tessutali e patologie a lungo termine. Le cellule viventi possono essere danneggiate dall'interazione dei raggi gamma con le loro strutture, inclusi gli organuli, alterando funzioni e processi cellulari. Dosi elevate possono causare danni immediati come eritemi, cataratta, sterilità temporanea o permanente e persino morte, in base alla dose e all'area esposta.

I RAGGI GAMMA NEL NOSTRO QUOTIDIANO

Nel nostro quotidiano non siamo normalmente esposti direttamente a raggi gamma naturali o artificiali in quantità significative, ma alcune tecnologie che usiamo o situazioni comuni li coinvolgono indirettamente. Sono per esempio molto utilizzati nella radioterapia oncologica, usata per distruggere le cellule tumorali. Le macchine come gli acceleratori lineari producono raggi gamma. I pazienti e i tecnici sono esposti in modo controllato. Vengono utilizzati anche per la sterilizzazione di strumenti medici monouso (siringhe, bisturi, ecc.) o di spezie, alimenti e cosmetici per eliminare microbi e parassiti. Il consumatore finale non viene irradiato: gli oggetti sono sicuri. Esistono anche fonti naturali di raggi gamma, come la radioattività naturale del suolo (uranio, torio), raggi cosmici dall'atmosfera e piccole quantità emesse dal potassio-40 presente nel nostro corpo e negli alimenti. I livelli sono molto bassi e considerati sicuri.



Fonti: naz.ch , asimmetrie.it, steris-ast.com ,
lati.com , wikipedia, opi.roma.it, chimica.today.

RADIAZIONE SPAZIALE: C'È DA FIDARSI?



Rappresentazione artistica di raggi cosmici che colpiscono la Terra.

Le emissioni gamma provenienti da fenomeni astronomici estremi (fusioni stellari, collassi, esplosioni luminose rosse, gamma-ray bursts) non si propagano sempre in modo uniforme. La loro distribuzione nello spazio è ciò che determina la reale esposizione per un osservatore lontano come la Terra. Molti eventi ad alta energia non emettono radiazione in tutte le direzioni. Ciò significa che il “messaggio” che ci raggiunge è solo una frazione dell’energia originale. Il segnale che registriamo è spesso un’eco ottica o infrarossa, non un’irradiazione diretta. È qui che si parla del concetto di broadcast, un’emissione che si propaga in molte direzioni, come un segnale diffuso. Ma esistono due grandi modi in cui un evento può trasmettere la sua radiazione, il primo è il broadcast isotropo. L’evento emette energia quasi uniformemente in ogni direzione. È come una lampadina: la luce va ovunque, ma l’intensità cala rapidamente con la distanza. Alcune esplosioni stellari relativamente poco

violente, come le novae rosse luminose, si avvicinano a questo comportamento.

Il secondo è il broadcast anisotropo o collimato. Qui l’emissione è sbilanciata: una parte enorme dell’energia esce in getti stretti, non in tutte le direzioni. È come un faro marino: molto intenso nella direzione del fascio, molto debole altrove. Questo è il caso dei lampi di raggi gamma (GRB): la radiazione gamma è concentrata in due getti ultra-stretti. Se la Terra non si trova esattamente dentro uno di questi coni, l’esposizione reale è minuscola. Gli eventi cosmici non “illuminano” l’universo in modo uniforme.

La Terra è quasi sempre fuori dai getti ad alta energia, e questo riduce drasticamente l’esposizione reale. La distanza interstellare fa il resto: ogni metro in più è un’attenuazione, e il vuoto non è un mezzo che facilita la trasmissione infinita.

Fonti: coelum.com, ilsole24ore.com, castfvg.it, gaetaniumberto.wordpress.com.

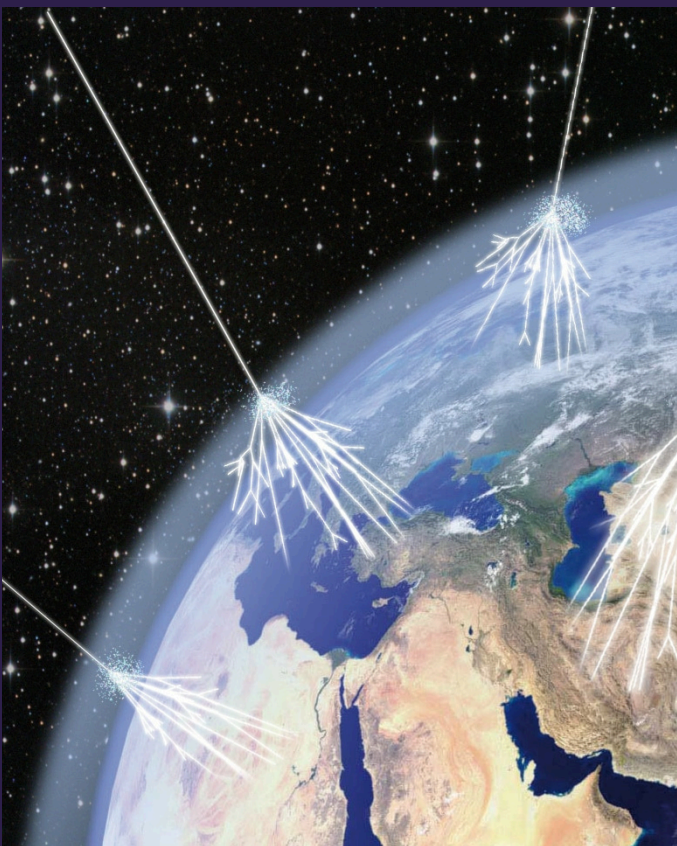
LIFE VS GAMMA-RAYS

ENGLISH EXPLANATION

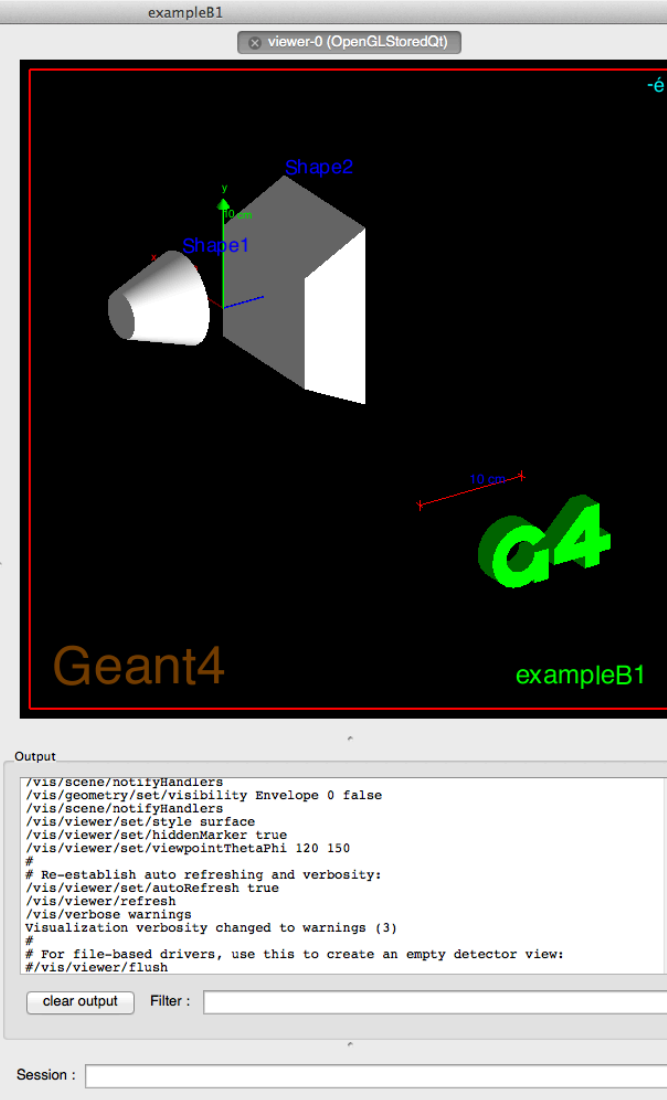


Gamma rays are dangerous because they are highly energetic ionizing radiation capable of damaging DNA and cellular structures. High doses can kill cells outright, while even low doses may cause mutations, impair tissue repair, and increase the risk of cancer. Exposure can lead to effects ranging from tissue damage and cataracts to temporary or permanent sterility, depending on dose and area affected.

In everyday life, we are not normally exposed to significant amounts of gamma radiation. However, gamma rays are used in several controlled technologies: cancer radiotherapy (where linear accelerators generate gamma rays to destroy tumor cells), sterilization of medical tools and food products, and in small amounts from natural sources such as radioactive elements in the soil, cosmic rays, and potassium-40 within our own bodies. These natural levels are very low and considered safe.



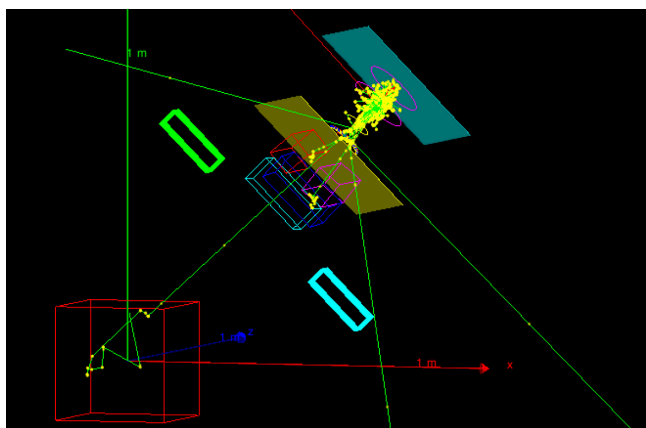
Cosmic gamma radiation from extreme events (stellar collapses, mergers, gamma-ray bursts) rarely poses a threat to Earth because it does not spread evenly. Many high-energy events emit radiation only in narrow jets rather than in all directions. Isotropic emission spreads energy uniformly, but weakens quickly with distance, while anisotropic (collimated) emission concentrates energy in tight beams, like a lighthouse. GRBs produce such narrow jets, and unless Earth lies exactly within one, the actual exposure is negligible. Because we almost always fall outside these beams, and because of the vast distances involved, cosmic gamma radiation reaching Earth is extremely weak and not dangerous.



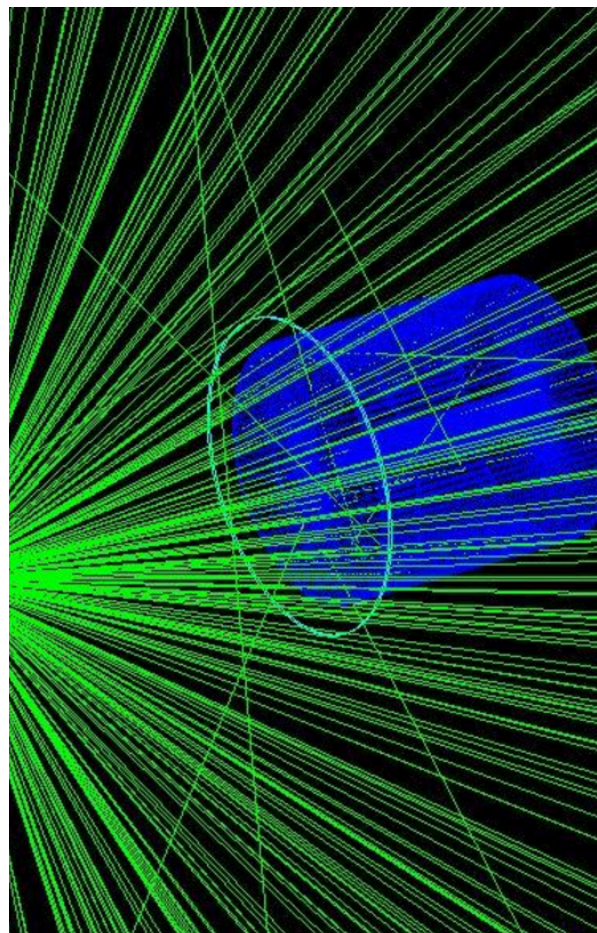
SIMULARE L'INVISIBILE: I MODELLI DIGITALI DEI RAGGI COSMICI

I raggi cosmici sono particelle ad altissima energia che attraversano lo spazio e colpiscono continuamente l'atmosfera terrestre. Comprenderne l'origine e il comportamento è una delle sfide principali dell'astrofisica delle particelle e della fisica nucleare. Per affrontarla, i ricercatori utilizzano modelli digitali, ovvero simulazioni al computer basate su algoritmi complessi. Quando un raggio cosmico entra nell'atmosfera, genera una cascata di particelle secondarie chiamata sciame atmosferico esteso (EAS), composta da muoni, elettroni, fotoni e altre particelle. Le simulazioni riproducono la formazione e la propagazione di questi sciami, studiando le interazioni con i campi magnetici terrestri e galattici e con i materiali dei rivelatori.

Strumenti come Geant4 e CORSIKA permettono di modellare con grande precisione questi fenomeni ad alta energia. Grazie a simulazioni Monte Carlo, è possibile interpretare i segnali raccolti dai rivelatori e ricostruire l'energia, la direzione e la composizione dei raggi cosmici originari. Questi modelli sono fondamentali per indagare l'origine dei raggi cosmici, distinguendo quelli di provenienza galattica da quelli extragalattici, e trovano applicazione anche nella ricerca di antimateria e nella didattica scientifica.



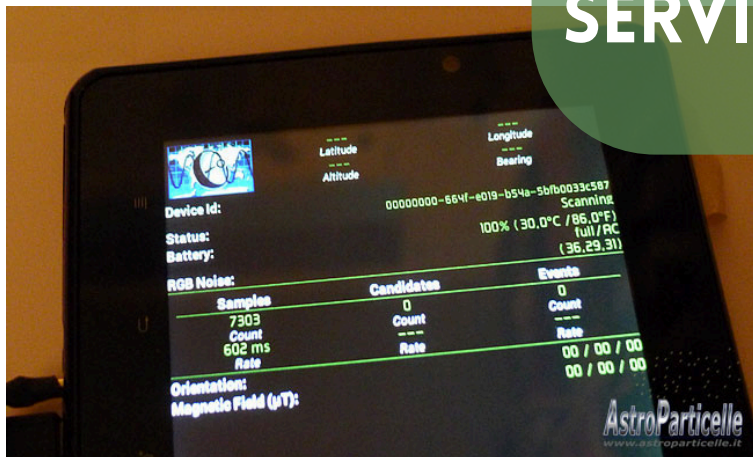
In foto, diverse simulazioni realizzate con Geant4.



Fonti: **media INAF.**

UN RIVELATORE IN TASCA: LO SMARTPHONE AL SERVIZIO DELL'ASTROFISICA

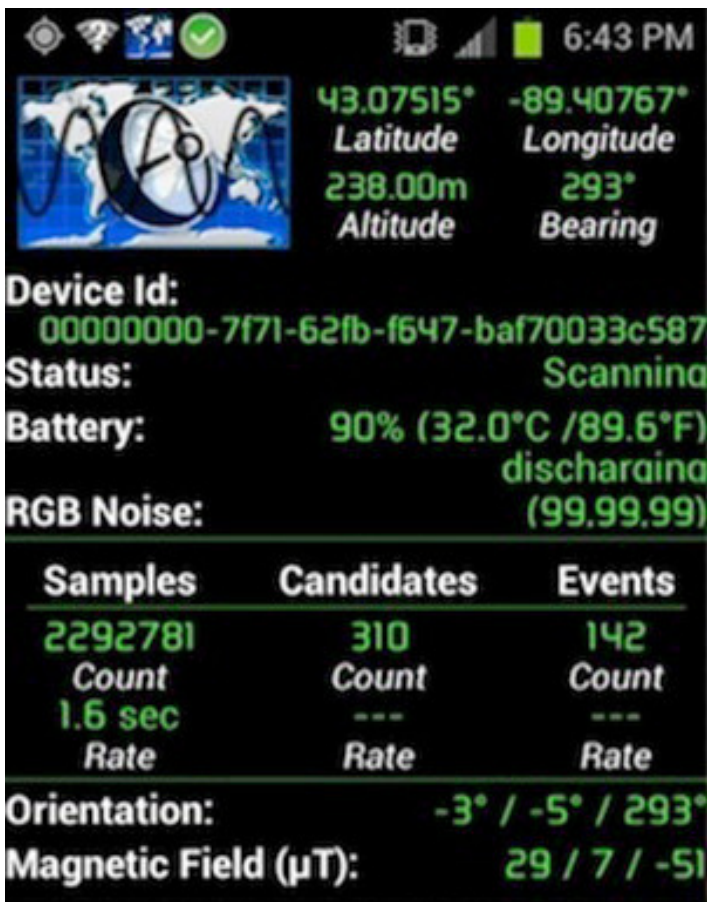
Diversi screenshots dell'app DECO.



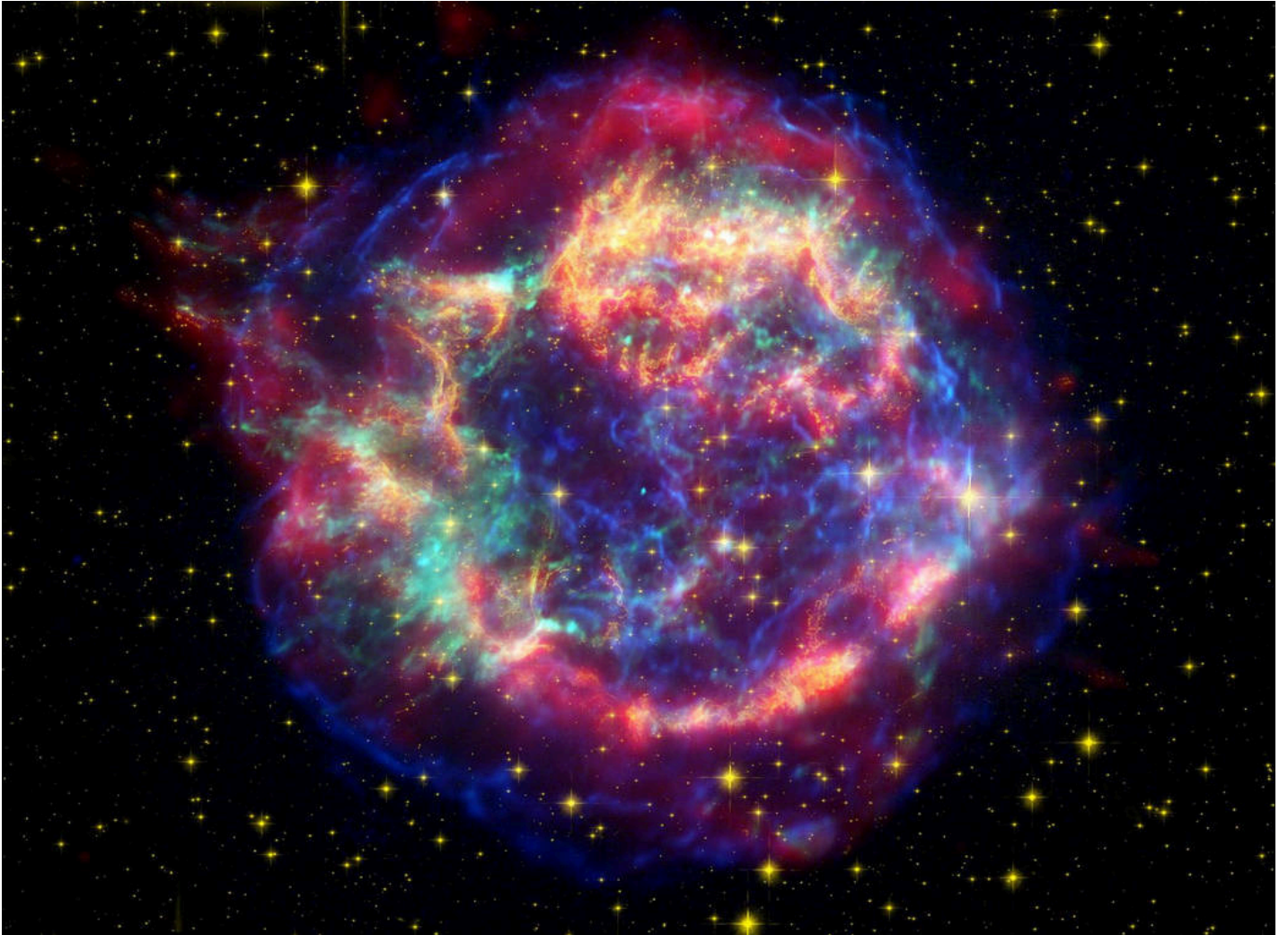
Accanto ai grandi esperimenti e alle sofisticate simulazioni, esistono approcci sorprendenti e accessibili a tutti. È il caso del progetto DECO (Distributed Electronic Cosmic-ray Observatory), sviluppato dai ricercatori del Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center, che trasforma un comune smartphone Android in un piccolo rivelatore di raggi cosmici.

Il funzionamento è semplice: basta installare l'app, coprire la fotocamera con una striscia di nastro adesivo e lasciare il telefono in funzione. Il sensore della fotocamera, realizzato in silicio, sfrutta lo stesso principio fisico dei rivelatori professionali, l'effetto fotoelettrico. Quando un muone, prodotto da uno sciame atmosferico, attraversa il sensore, genera una carica elettrica che viene registrata come una traccia digitale.

I dati raccolti da molti dispositivi distribuiti sulla superficie terrestre vengono inviati a un database centrale, permettendo di ottenere una mappatura in tempo reale degli eventi. Questo tipo di rivelazione diffusa è particolarmente utile perché il percorso dei raggi cosmici è fortemente influenzato dai campi magnetici, rendendo difficile risalire alle sorgenti come supernovae o buchi neri. In questo modo, anche uno strumento di uso quotidiano può contribuire alla ricerca scientifica e avvicinare il pubblico allo studio dell'Universo ad alta energia.



IN COPERTINA



Un'immagine in falsi colori del resto di supernova Cassiopeia A ottenuta utilizzando osservazioni dai telescopi Hubble, Spitzer e Chandra.

Crediti: NASA.

