

A cosmic background image featuring a large, glowing orange and red galaxy on the left, a complex network of blue and orange filaments in the center, and a dense field of blue and white stars on the right.

PASQUALE BLASI

GRAN SASSO SCIENCE INSTITUTE

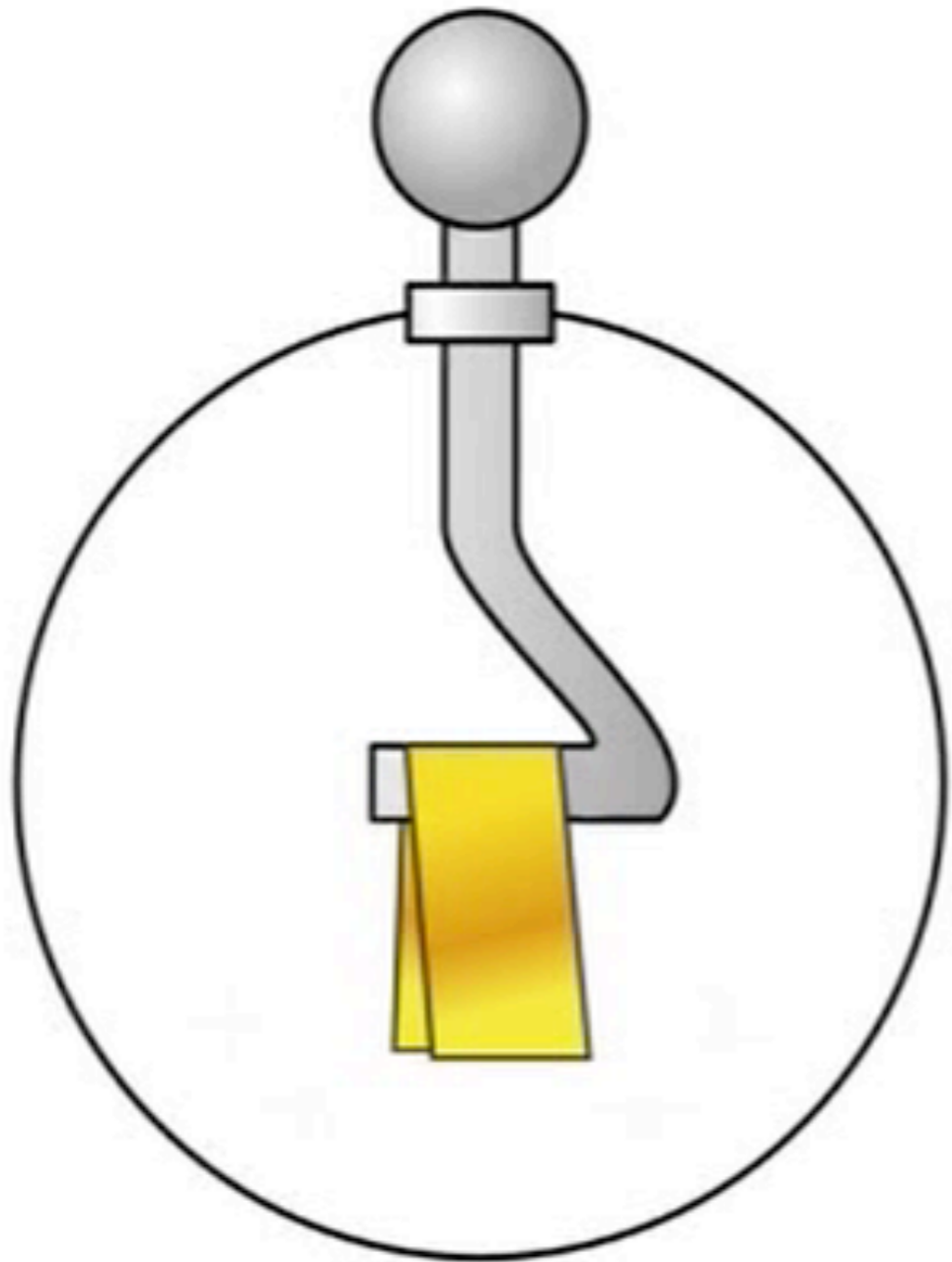
RAGGI COSMICI

STORIA, PRESENTE E FUTURO

GSSI, 21 Ottobre 2022

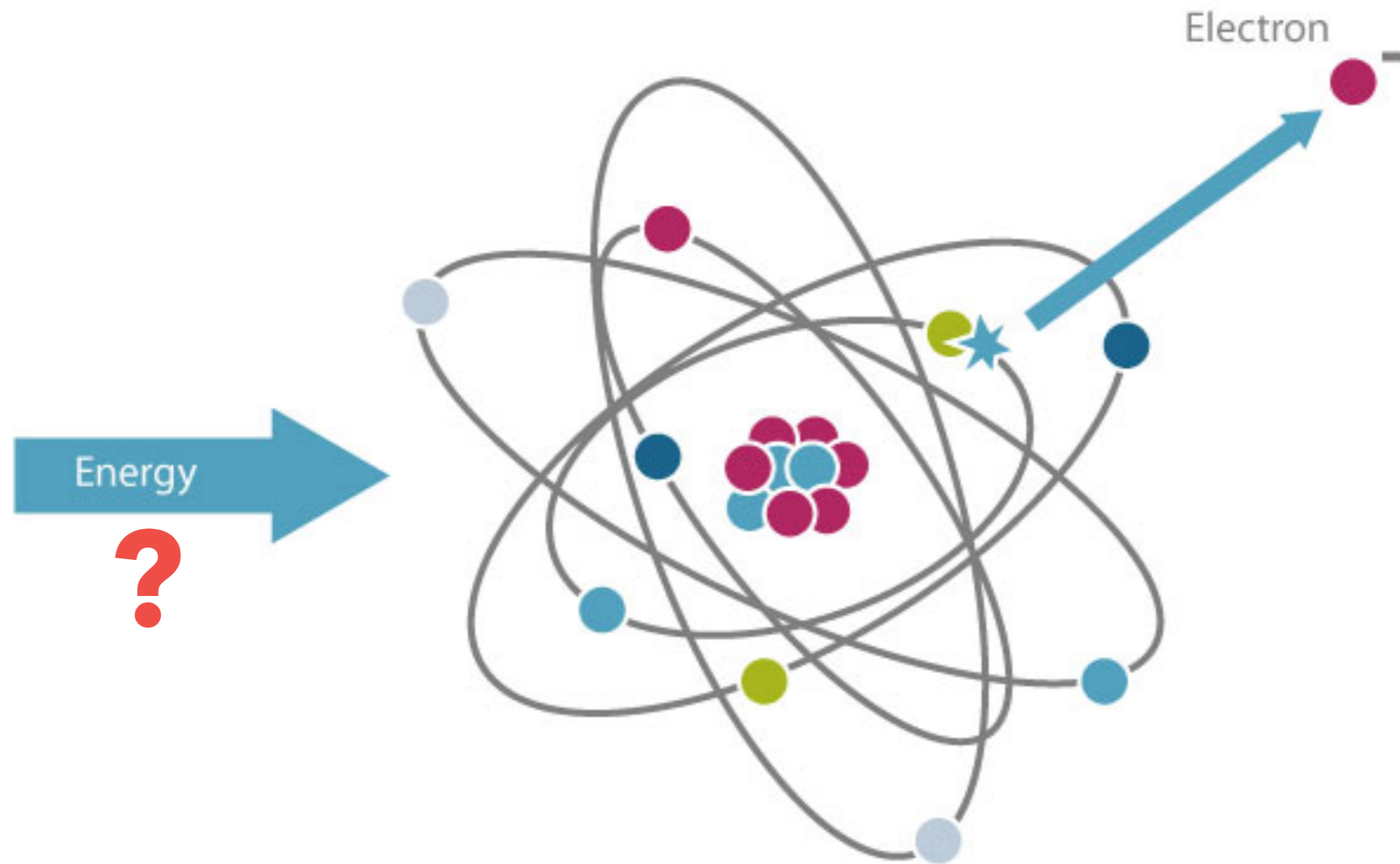


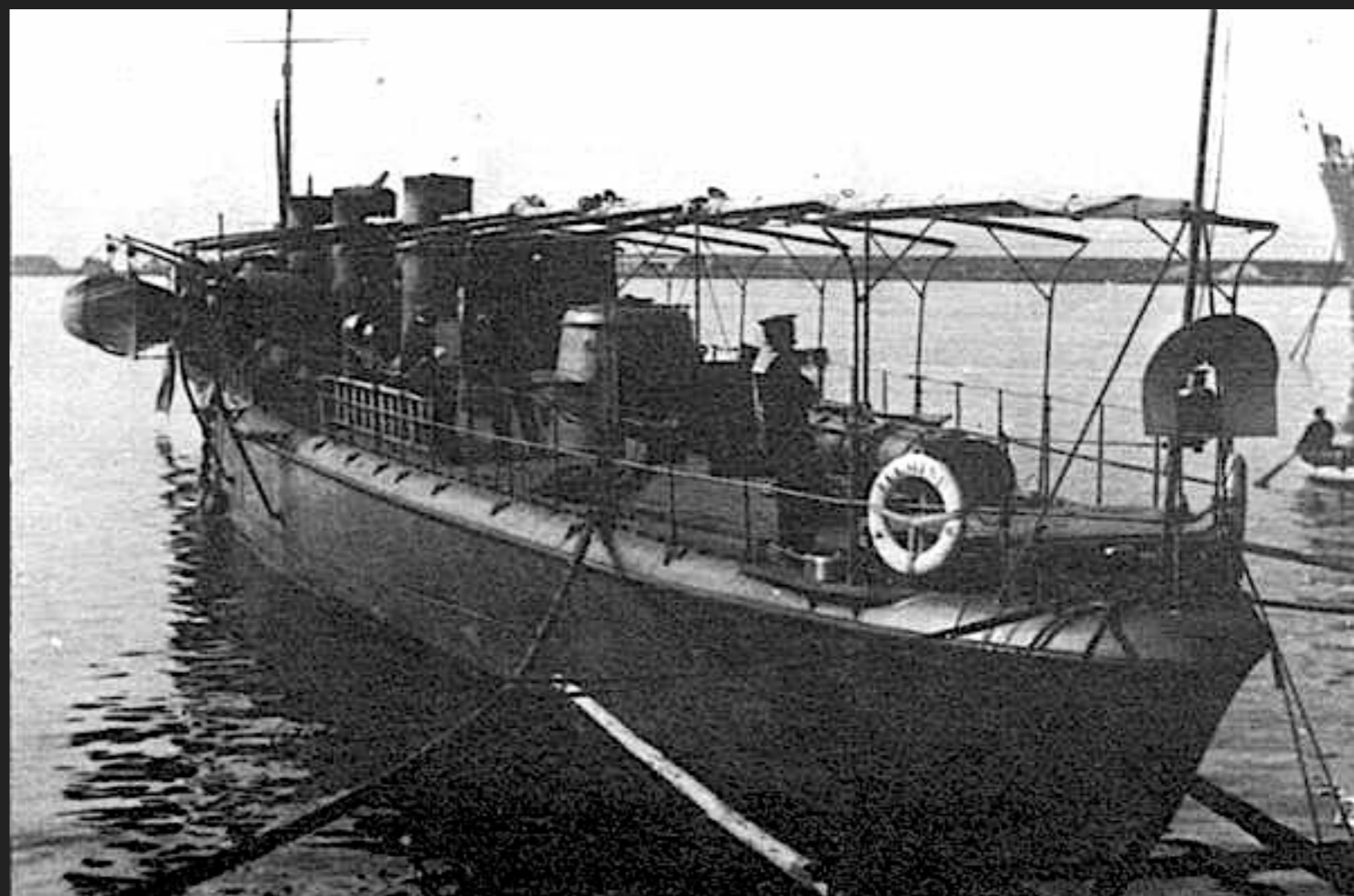
UNA STORIA CHE COMINCIA TANTO TEMPO FA ...



- ▶ Già' dalla fine del '700 si comprende che la carica di un elettroscopio sparisce...
- ▶ dove la carica elettrica fluisca rappresenta per lungo tempo un mistero
- ▶ necessitano cariche elettriche libere nell'atmosfera...ma cosa dovrebbe produrle???

IONIZZAZIONE ... CARICHE ELETTRICHE LIBERE











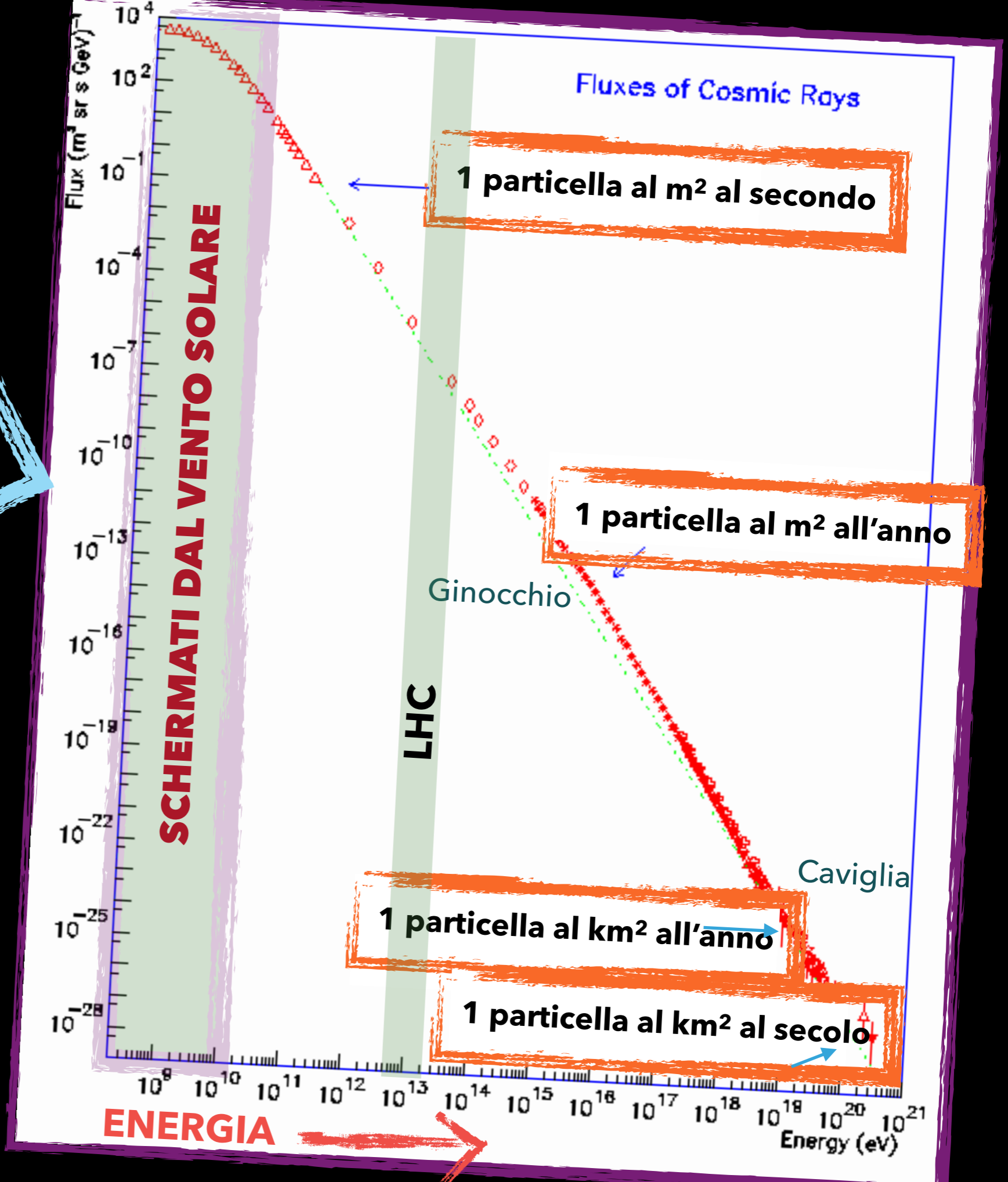
**I RAGGI COSMICI SONO
PARTICELLE
ELEMENTARI DI ALTA
ENERGIA CHE CI
ARRIVANO DAL COSMO**

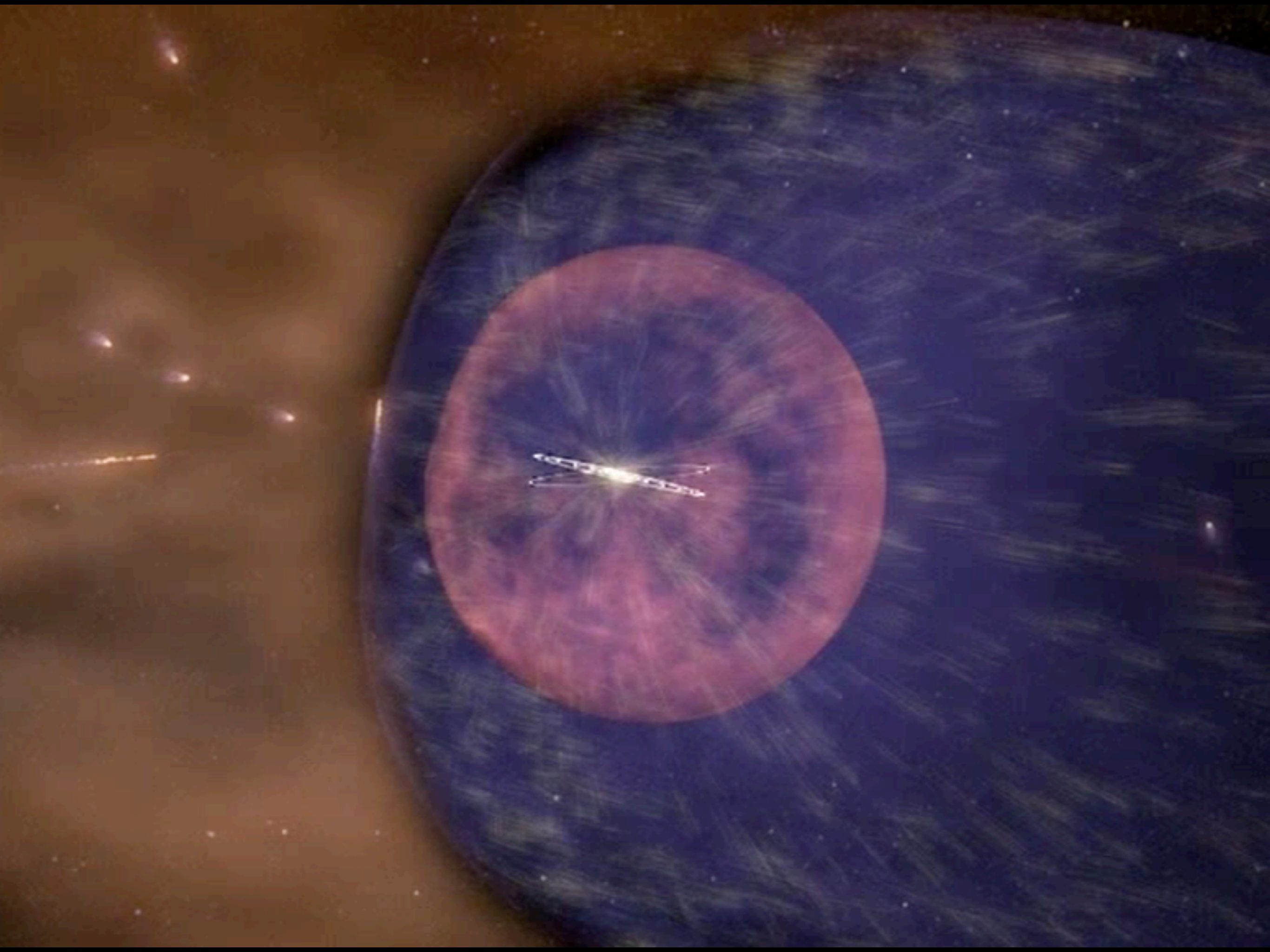
**QUANDO ENTRANO
NELL'ATMOSFERA
TERRESTRE
GENERANO SCIAMI
DI MILIARDI DI
ALTRE PARTICELLE**

**SONO COMPOSTE
PRINCIPALMENTE DI
PROTONI, MA ANCHE
NUCLEI ATOMICI,
ELETRONI ED
ANTIMATERIA**

**ENERGIE SINO A 10
MILIONI DI VOLTE PIU'
ALTE CHE NEI PIU'
GRANDI ACCELERATORI
TERRESTRI - LE LEGGI
DELLA FISICA SPINTE
ALL'ESTREMO**

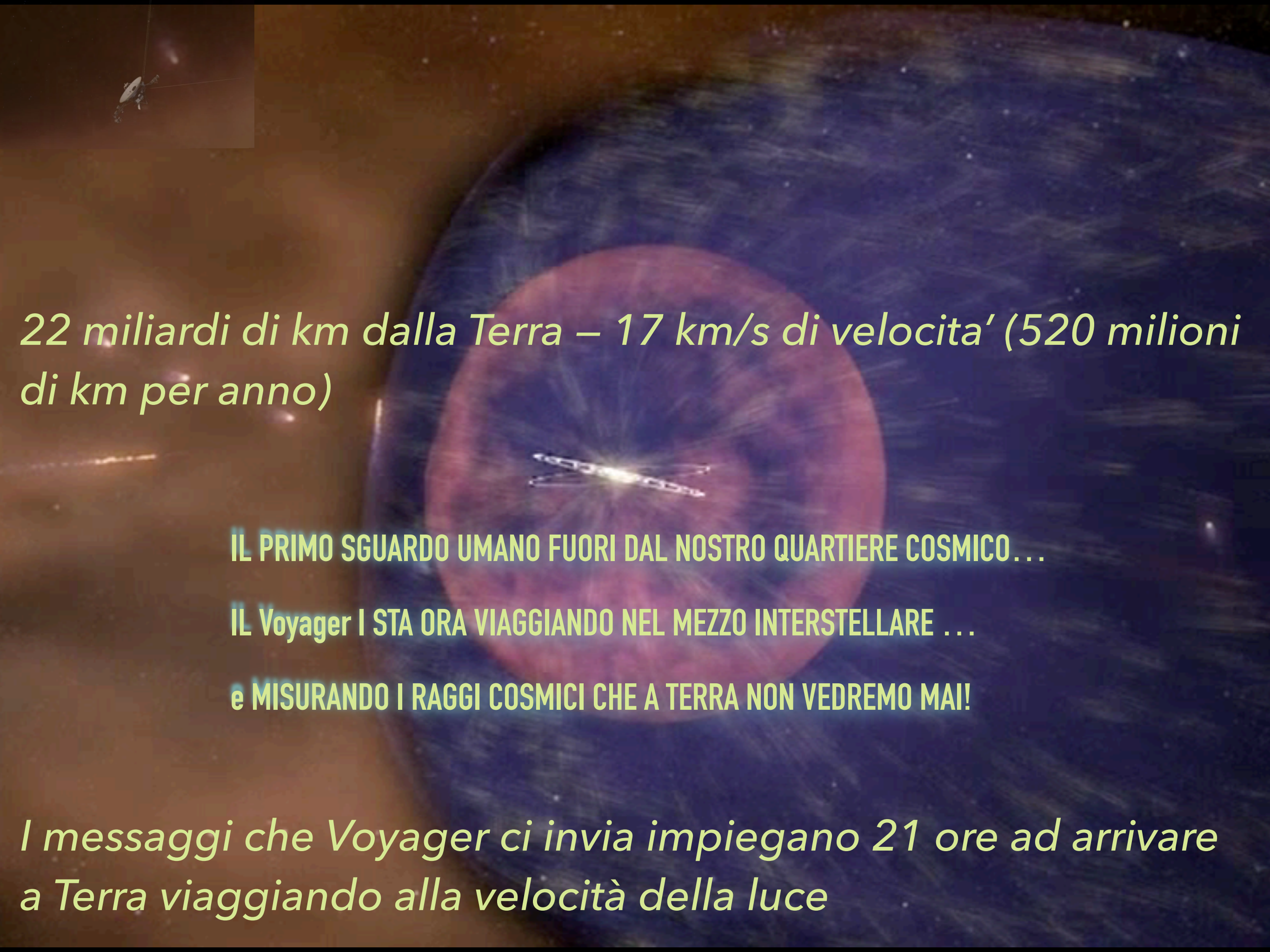
**RAGGI
COSMICI
AI GIORNI
NOSTRI...**





5 Settembre
1977





22 miliardi di km dalla Terra – 17 km/s di velocità (520 milioni di km per anno)

IL PRIMO SGUARDO UMANO FUORI DAL NOSTRO QUARTIERE COSMICO...

IL Voyager I STA ORA VIAGGIANDO NEL MEZZO INTERSTELLARE ...

e MISURANDO I RAGGI COSMICI CHE A TERRA NON VEDREMO MAI!

I messaggi che Voyager ci invia impiegano 21 ore ad arrivare a Terra viaggiando alla velocità della luce

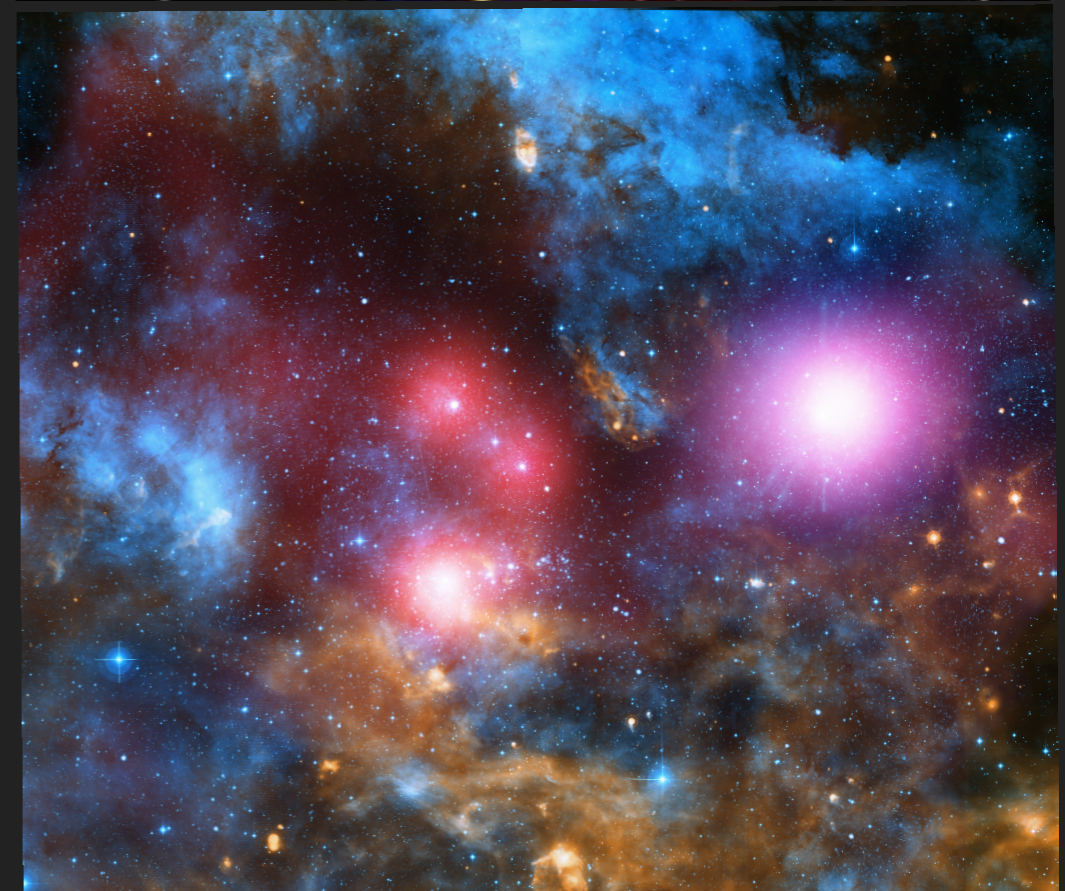
DOVE NASCONO I RAGGI COSMICI?

LA MORTE DELLE STELLE E ...

LA NASCITA DEI RAGGI COSMICI

DUE STORIE DI VITA E MORTE...

- ▶ LA MAGGIOR PARTE DELLE STELLE MASSICCE TERMINANO LA PROPRIA ESISTENZA IN ESPLOSIONI NUCLEARI. ANCHE STELLE PIU' MATURE TERMINANO LA PROPRIA ESISTENZA IN ESPLOSIONI...
- ▶ MA MOLTE DI QUESTE STELLE VIVONO LA LORO GIOVINEZZA IN ASSOCIAZIONI, CHE CHIAMIAMO AMMASSI STELLARI... I VENTI DI TUTTE QUESTE STELLE SI SCONTRANO E DA ESSI EMERGE UN VENTO COLLETTIVO MOLTO INTENSO



MORTE DI UNA STELLA MASSIVA-SUPERNOVE DI TIPO 2





MORTE DI UNA STELLA VECCHIA - SUPERNOVE DI TIPO 1A

L'esplosione di supernova avviene quando la massa della nana bianca eccede la cosiddetta massa di Chandrasekhar, ovvero 1.4 volte la massa del Sole

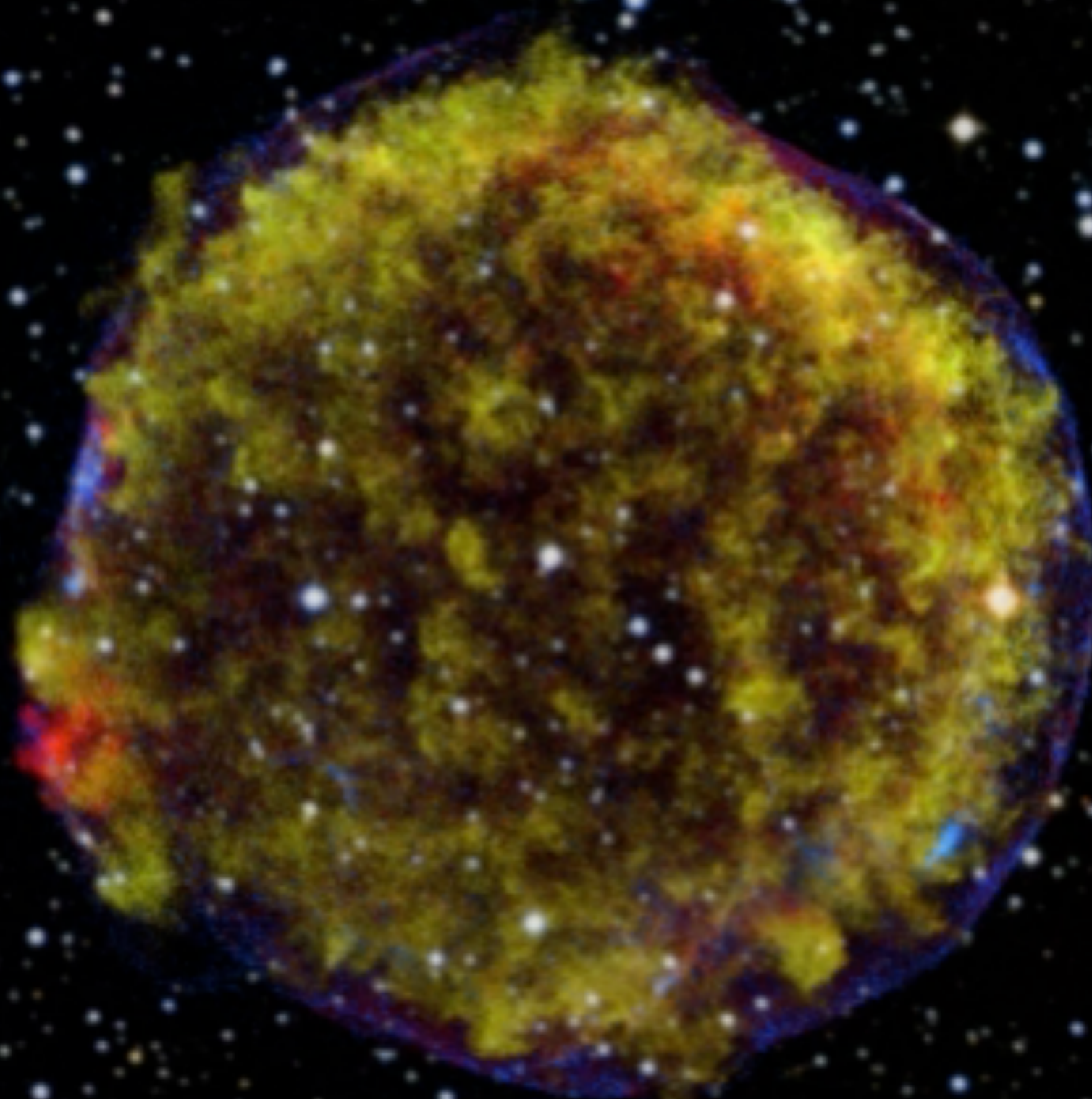
Dopo l'esplosione non rimane nulla della stella originale... si tratta di una deflagrazione nucleare

UN CONCETTO CENTRALE: L'ONDA D'URTO



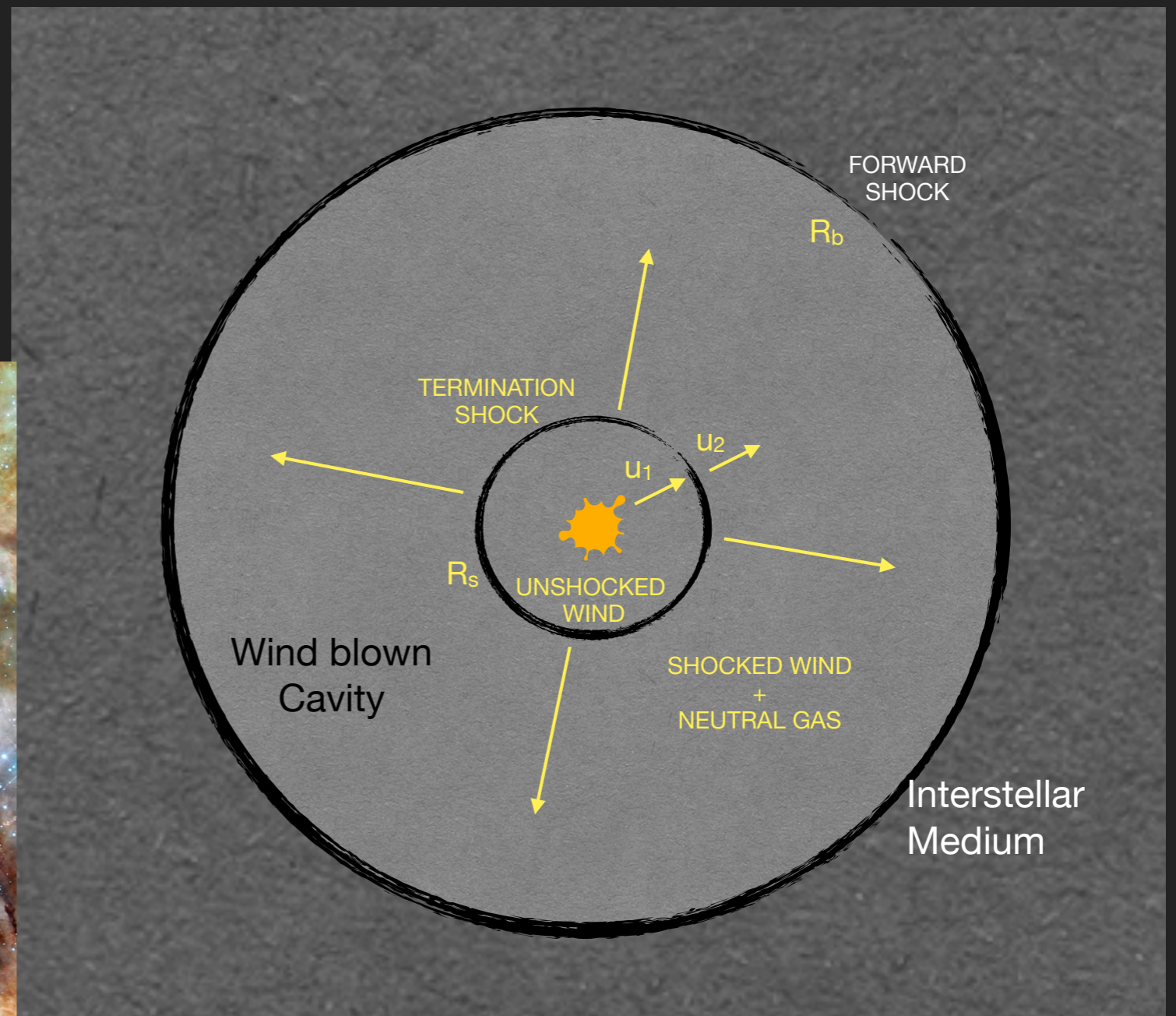
Tycho

2000



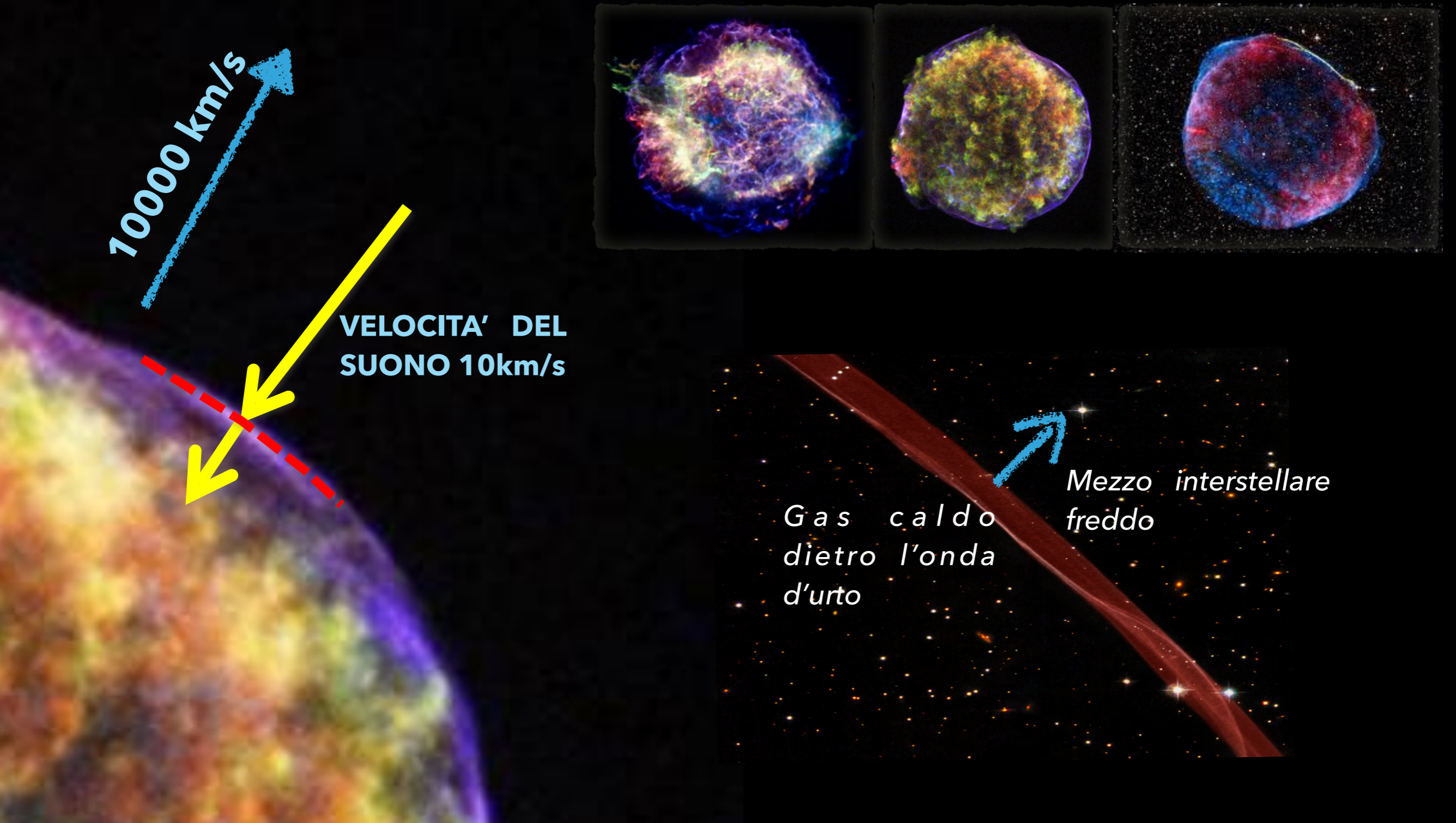
Tycho Supernova - 11 Novembre 1572 - Distanza dal sole=circa 9000 anni luce

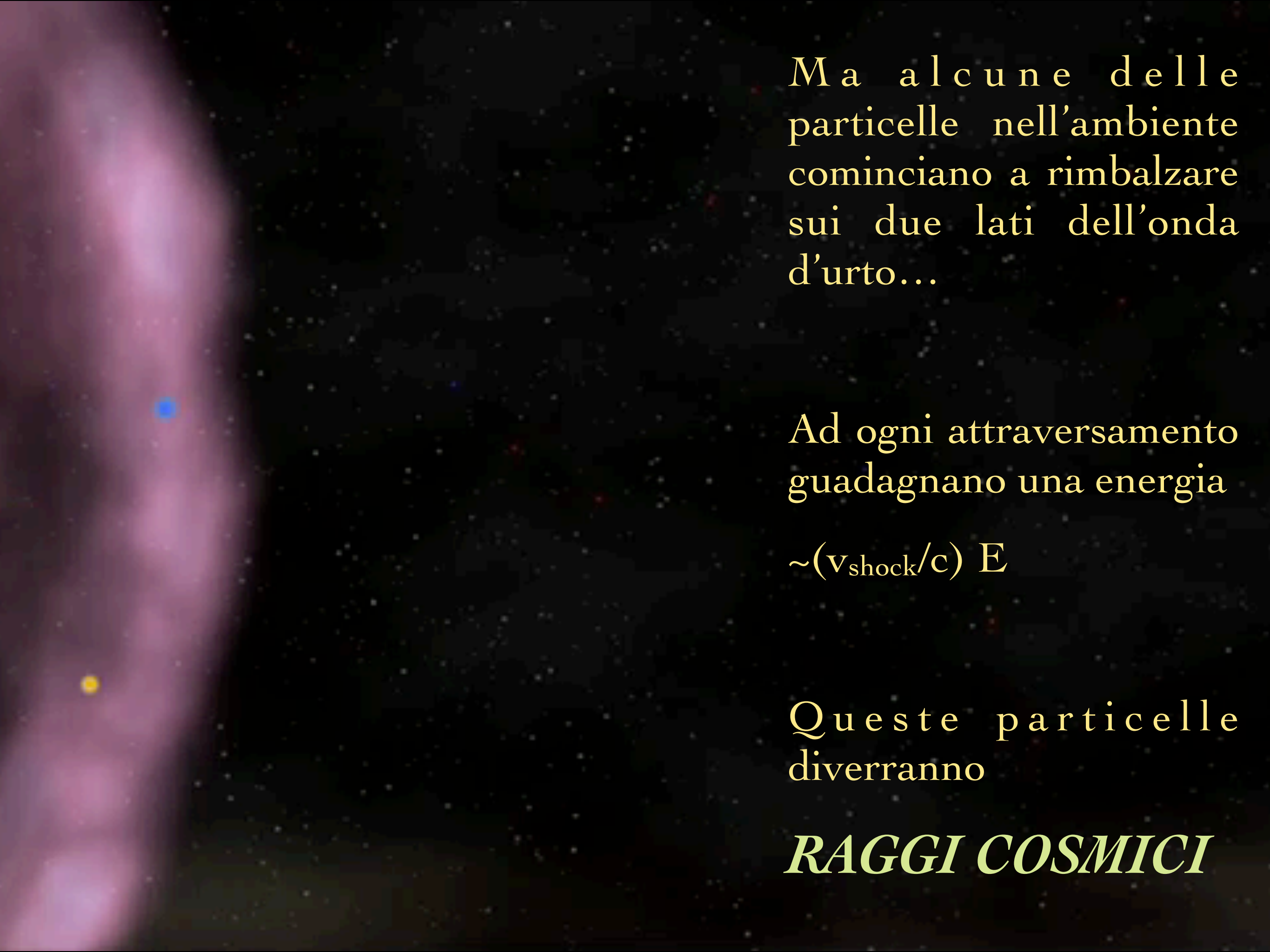
AMMASSI DI STELLE



COSA FA UN'ONDA D'URTO?

SE FOSTE SEDUTI SULL' ONDA D'URTO IL GAS INTERSTELLARE VI SEMBREREBBE VENIRE INCONTRO E RALLENTARE DOPO AVER ATTRAVERSATO L'ONDA D'URTO





Ma alcune delle
particelle nell'ambiente
cominciano a rimbalzare
sui due lati dell'onda
d'urto...

Ad ogni attraversamento
guadagnano una energia

$$\sim (v_{\text{shock}}/c) E$$

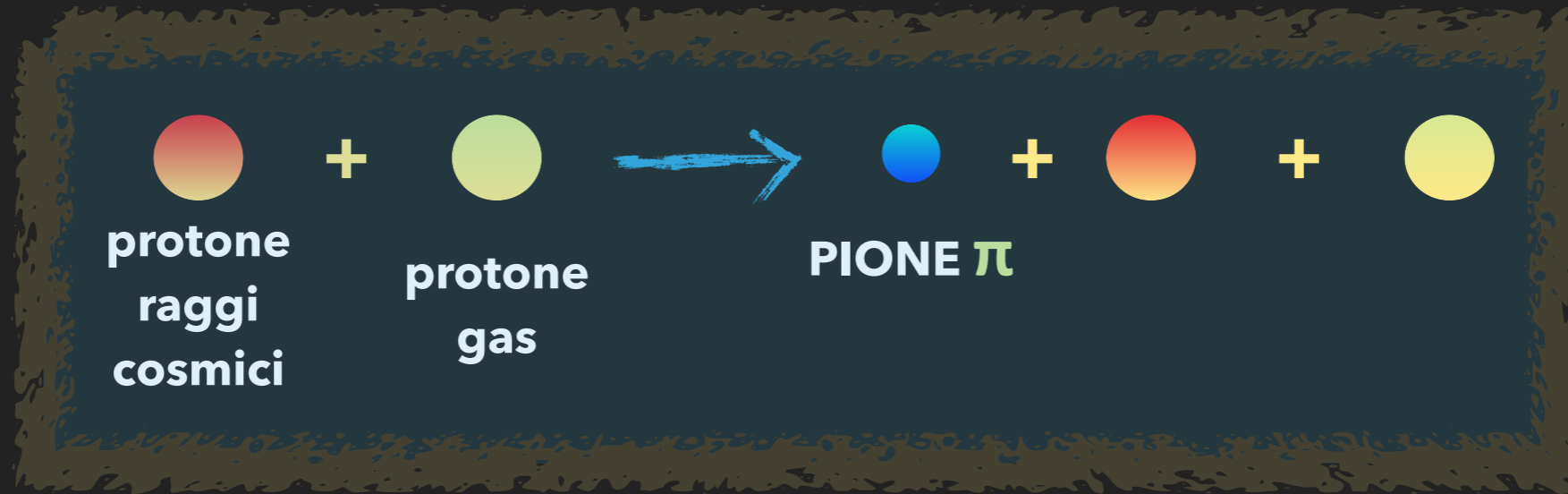
Queste particelle
diverranno

RAGGI COSMICI

A 3D grid representing spacetime curvature. The grid is composed of light gray lines on a dark background. The grid is distorted, with lines curving and bending, particularly towards the right side of the image, suggesting a gravitational well or a curved spacetime. Two bright blue dots are positioned in the upper left quadrant of the grid. The text 'COME SI "VEDONO" I RAGGI COSMICI ?' is located in the lower left corner.


*COME SI "VEDONO" I
RAGGI COSMICI ?*

COME SI "VEDONO" I RAGGI COSMICI ?

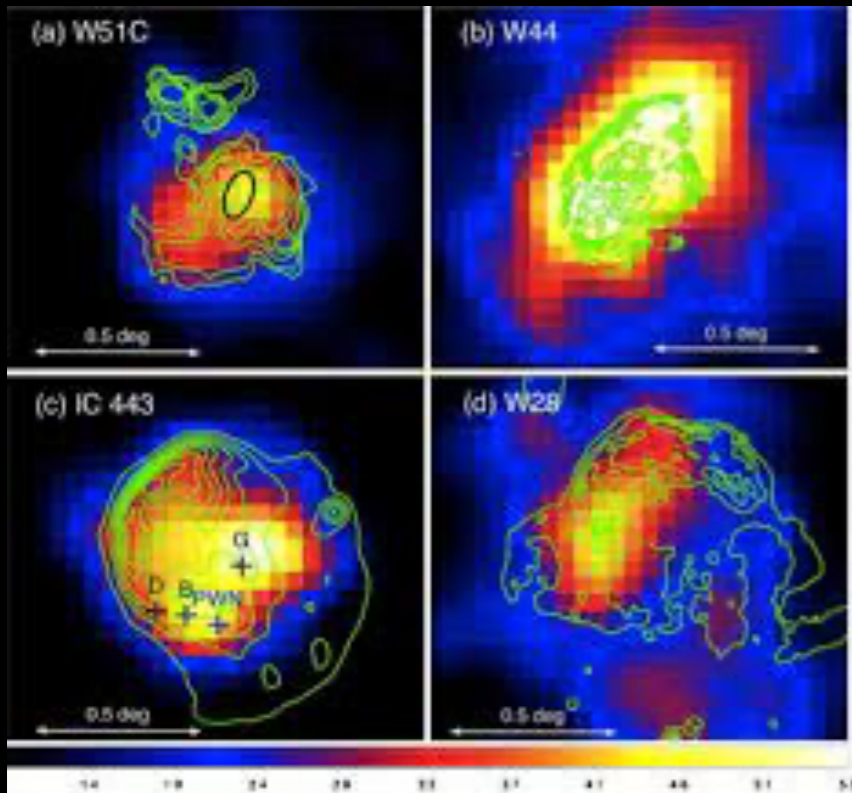
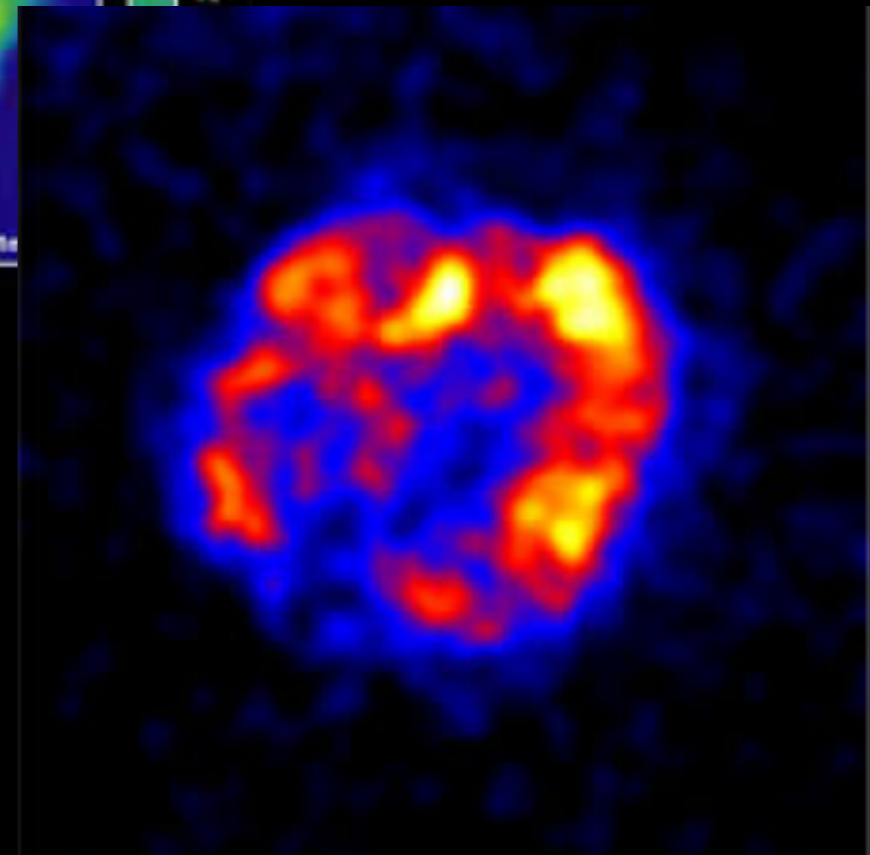
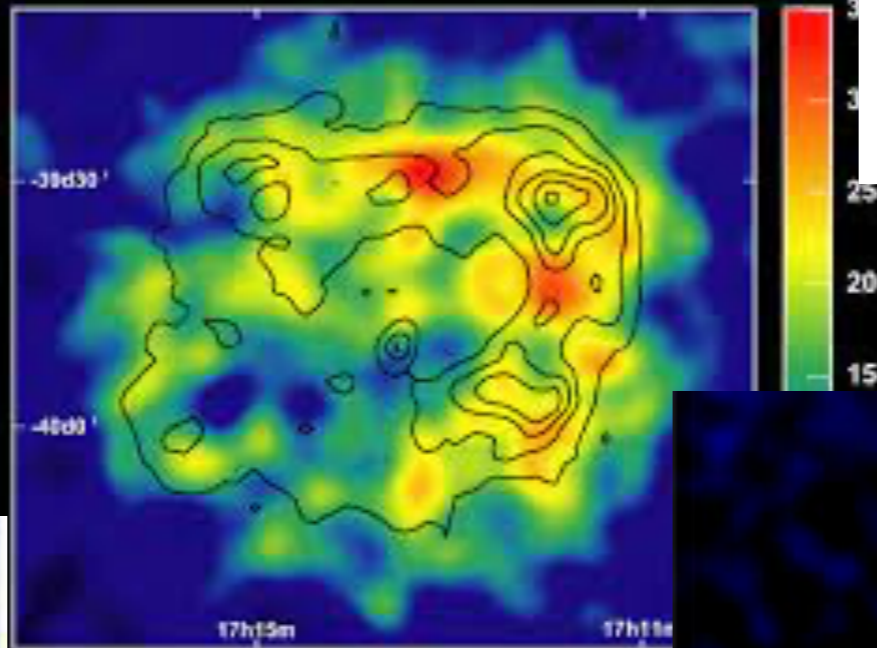
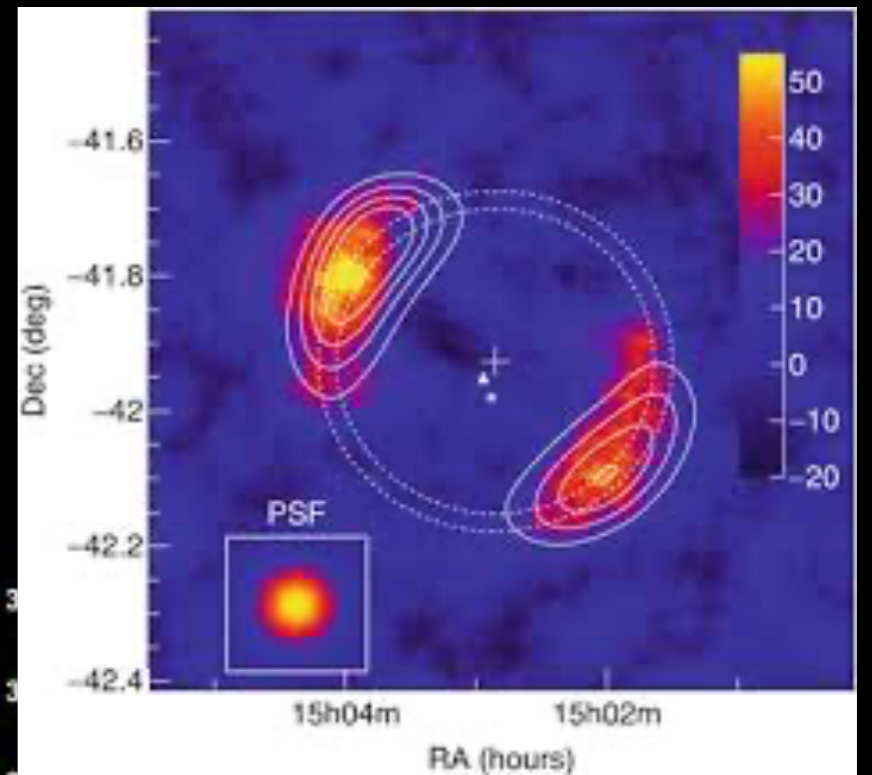


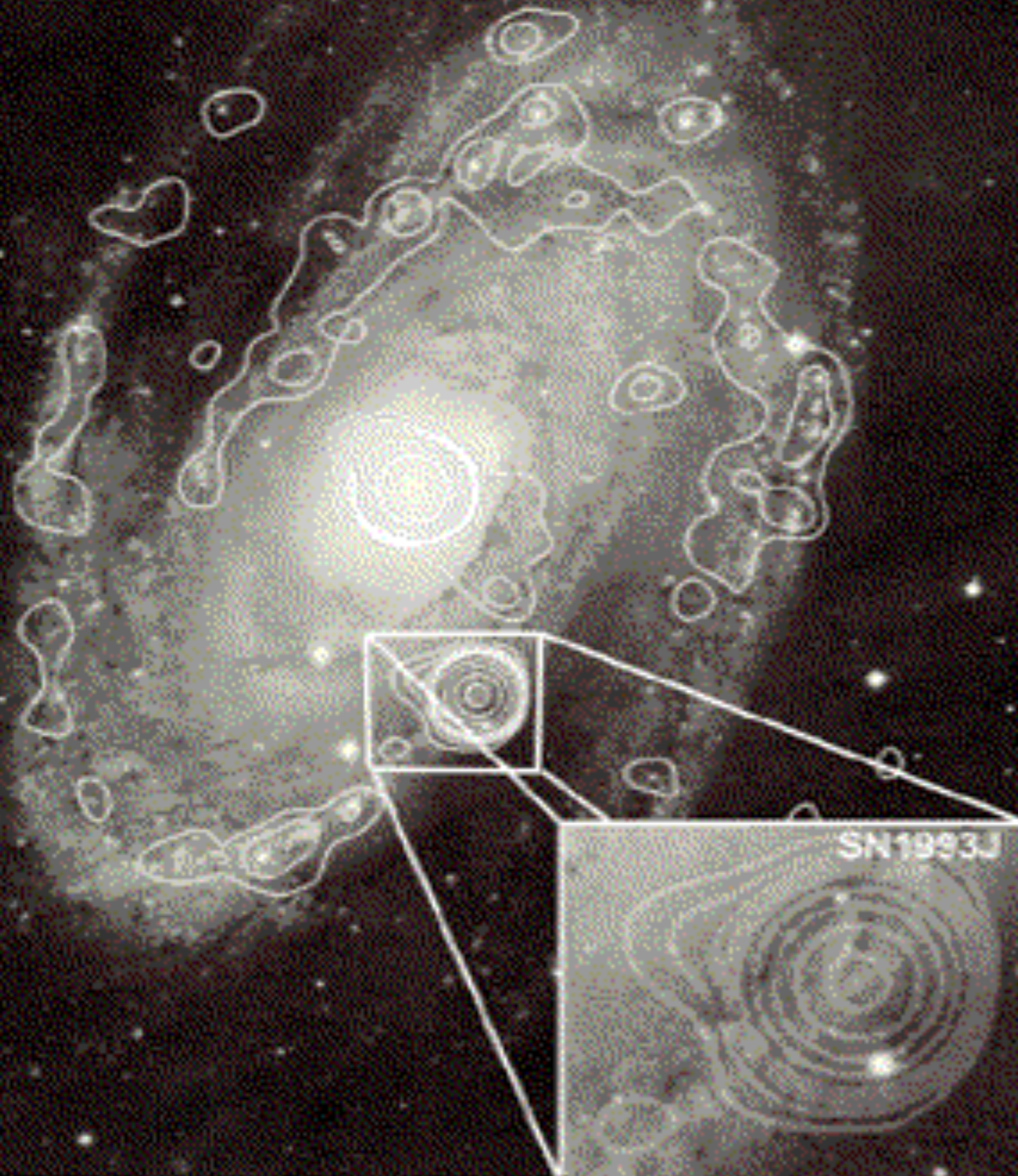
Di pioni ne esistono di 3 tipi, a seconda della loro carica elettrica, ma tutti muoiono in tempi brevissimi e danno luogo a fotoni e neutrini

PIONE NEUTRO π^0  \longrightarrow $\gamma + \gamma$ (2 Fotoni)

PIONI CARICHI $\pi^{+/-}$  \longrightarrow $\mu^{\pm} + \nu_{\mu}$ **Elettroni, Positroni e Neutrini**

 $e^{\pm} + \nu_e + \nu_{\mu}$





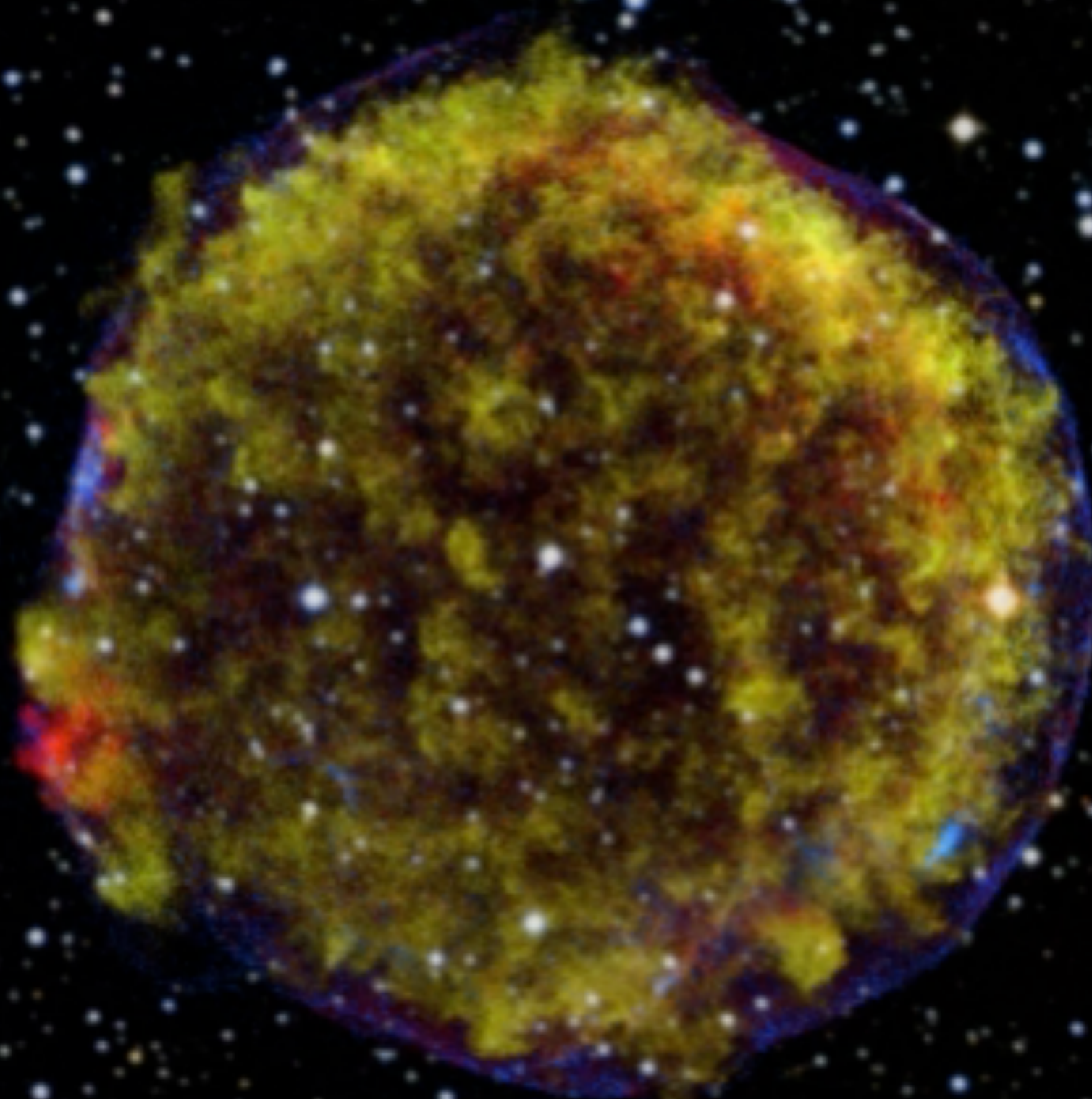
*LA LUMINOSITA' DELLA
NOSTRA GALASSIA NELLA
FORMA DI RAGGI COSMICI
E' DI CIRCA*

**3 MILIONI DI MILIARDI DI
MILIARDI DI MILIARDI DI
WATT**

**VEDIAMO L'ACCELRAZIONE
DI PARTICELLE SIA TRAMITE
LA RADIAZIONE GAMMA SIA
SOTTO FORMA DI ONDE
RADIO (SINCROTRONE DI
ELETTRONI)**

Tycho

2000



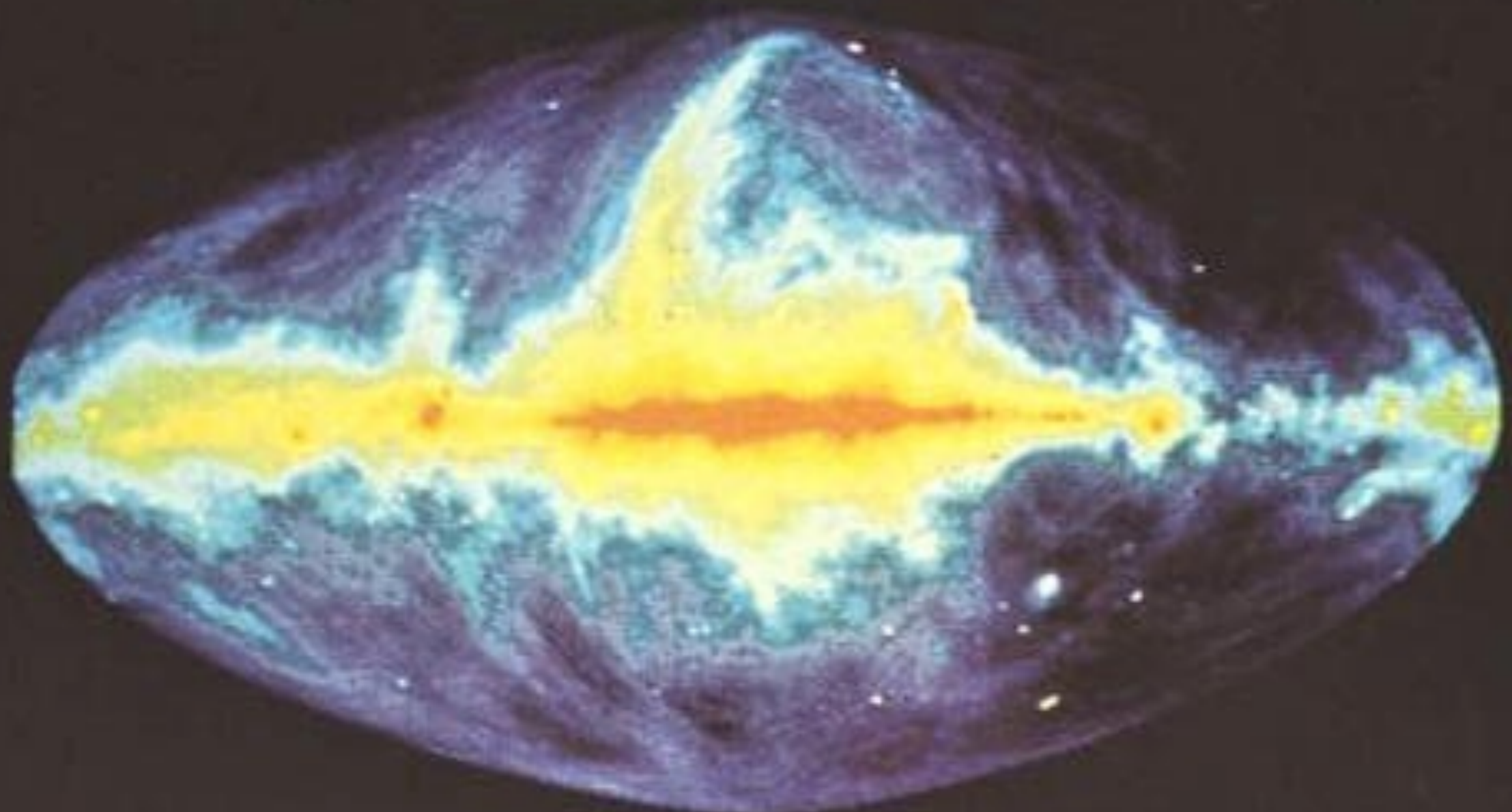
Tycho Supernova - 11 Novembre 1572 - Distanza dal sole=circa 9000 anni luce

I RAGGI COSMICI SONO PARTICELLE NUCLEARI ELETTRICAMENTE CARICHE, SOGGETTE QUINDI ALLA AZIONE DEI CAMPI MAGNETICI E A REAZIONI NUCLEARI CHE NE CAMBIANO LA NATURA DURANTE IL TRAGITTO DALLE SORGENTI A NOI

IL VIAGGIO DEI RAGGI COSMICI DALLE SORGENTI SINO A NOI

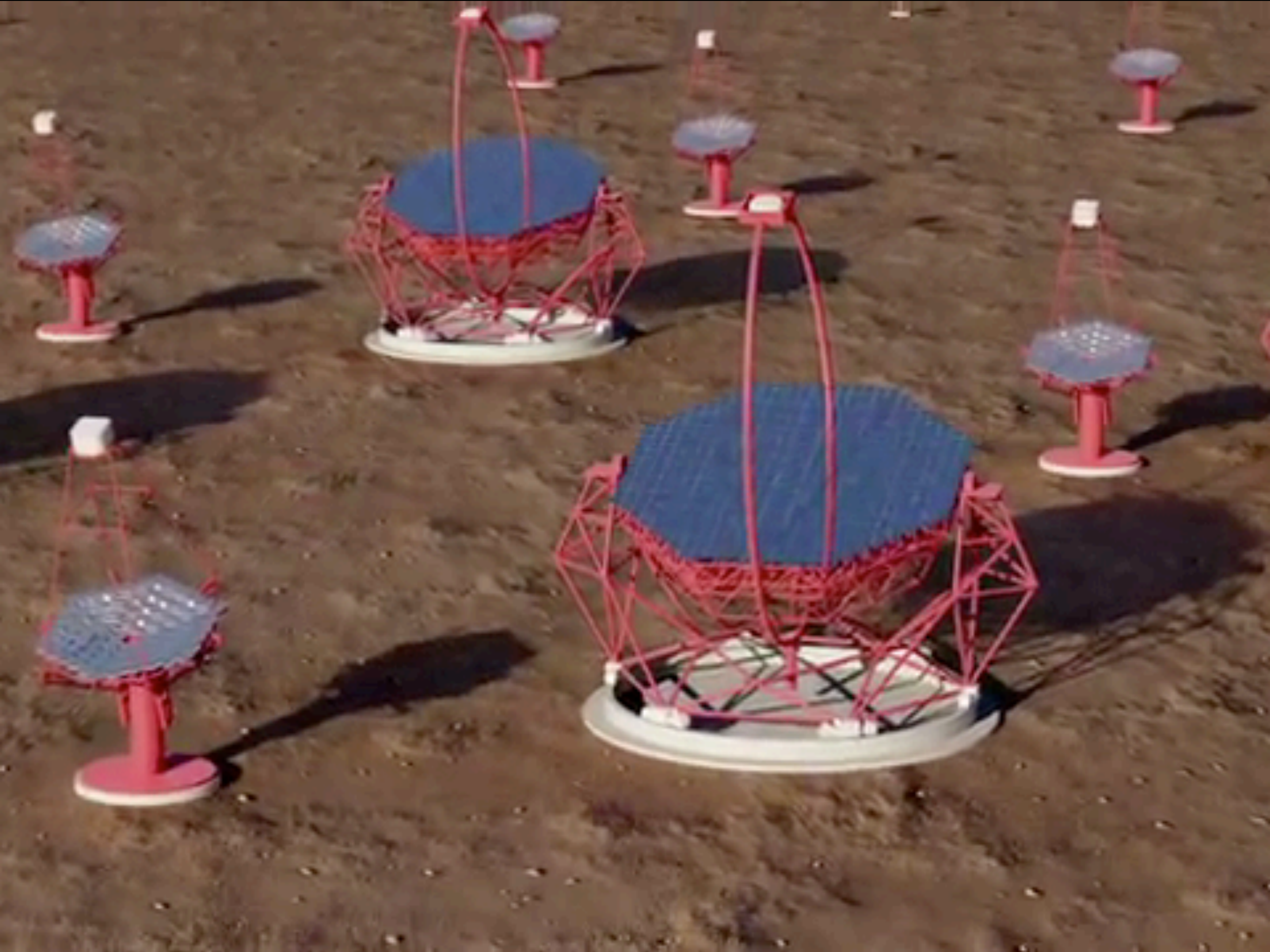
Il viaggio verso di noi...
puo' durare decine di
milioni di anni!





UNA PARTICELLA CARICA IN UN CAMPO MAGNETICO PRODUCE RADIAZIONE DI SINCROTRONE. AD ESEMPIO NEL CAMPO MAGNETICO DELLA GALASSIA UN ELETTRONE DI 1 GeV EMETTE ONDE RADIO DI CIRCA 30 MHz DI FREQUENZA



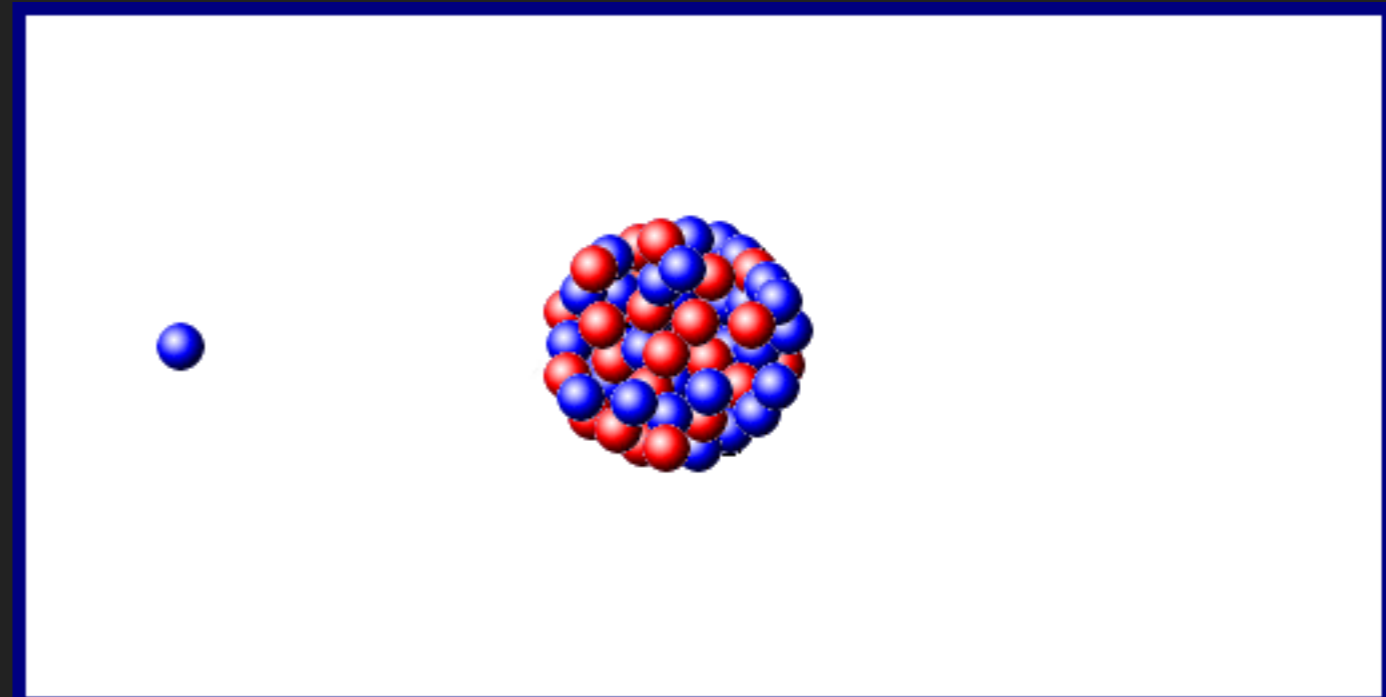
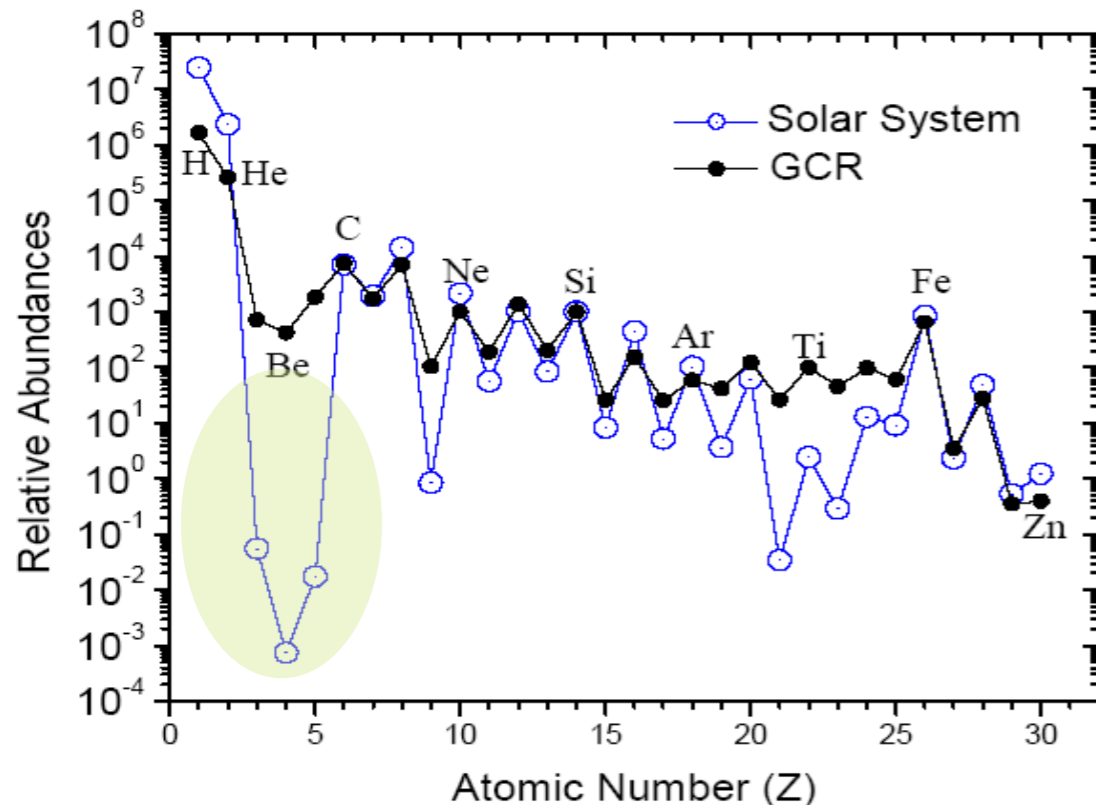


GLI OROLOGI DEI RAGGI COSMICI

L'IDROGENO E L'ELIO PRESENTI IN NATURA SONO STATI SINTETIZZATI NEI PRIMI TRE MINUTI DOPO IL BIG BANG

ELEMENTI PIU' PESANTI SONO PRODOTTI NELLE STELLE

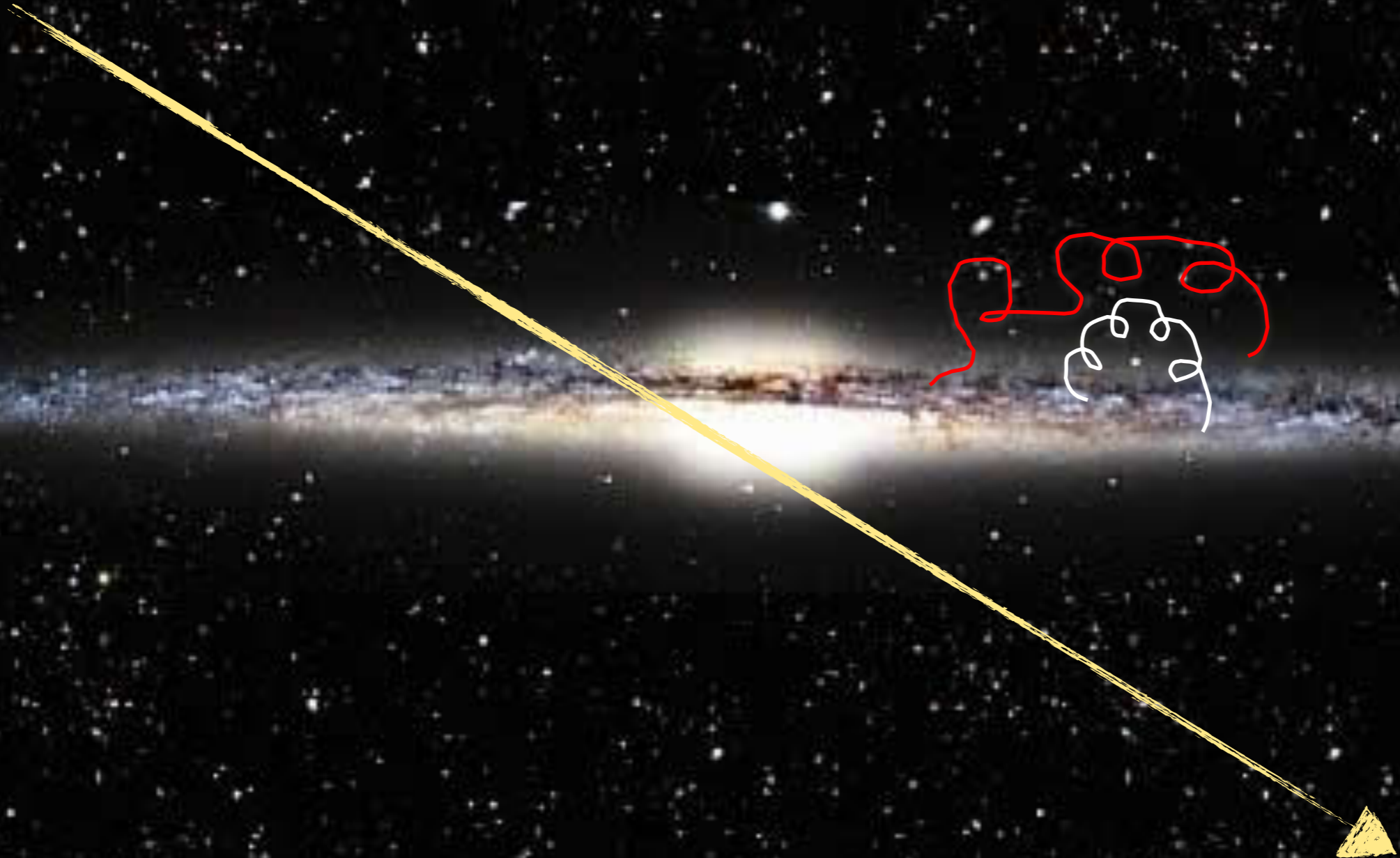
ELEMENTI COME IL BORO SONO PRATICAMENTE ASSENTI NELLA GALASSIA, MA ABBONDANTI NEI RAGGI COSMICI... PERCHE'?



GLI OROLOGI DEI RAGGI COSMICI E IL MOTO DELLE PARTICELLE CARICHE

- ▶ LA PROBABILITÀ DI FORMARE QUESTI ELEMENTI È NOTA PERCHÉ CONOSCIAMO LE COSIDDETTE SEZIONI D'URTO DI QUESTI PROCESSI
- ▶ SAPPIAMO QUANTO TEMPO CI VUOLE PER FORMARLI
- ▶ GRAZIE A QUESTE INFORMAZIONI SAPPIAMO CHE I RAGGI COSMICI COMPIONO UN MOTO COMPLESSO NELLA GALASSIA, NOTO COME DIFFUSIONE-CONVEZIONE → RIMANGONO NELLA GALASSIA PER TEMPI DELL'ORDINE DI DECINE DI MILIONI DI ANNI

RAGGI COSMICI DALL' UNIVERSO !!!



SOLE

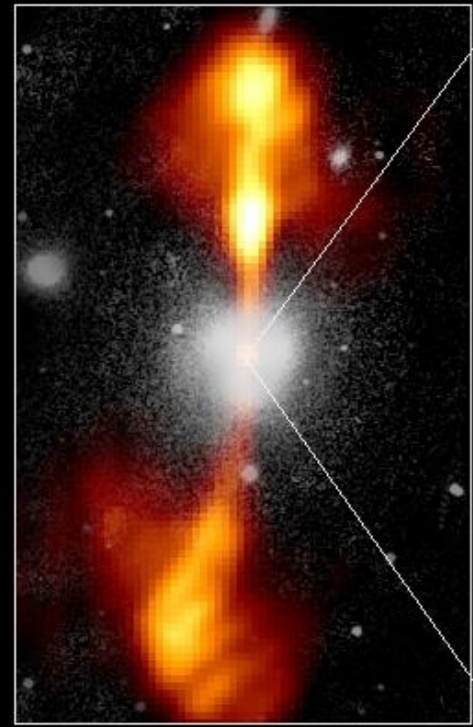
RAGGI COSMICI DI ENERGIA SUPERIORE A 10^{18} eV = un miliardo di volte la massa a riposo di un protone NON POSSONO ORIGINARSI NELLA NOSTRA GALASSIA

QUESTI SONO I COSIDDETTI RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA

Core of Galaxy NGC 4261

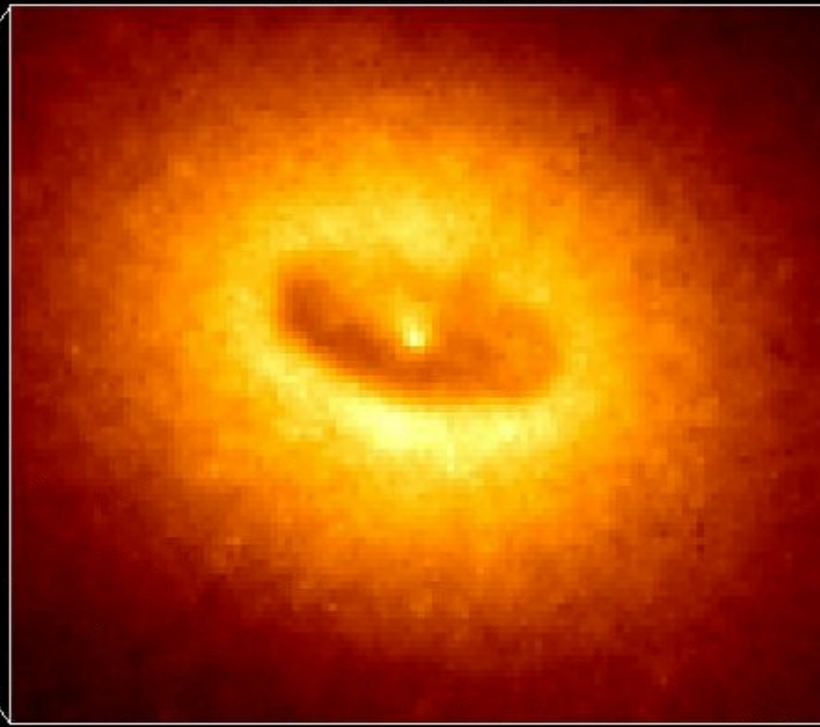
Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



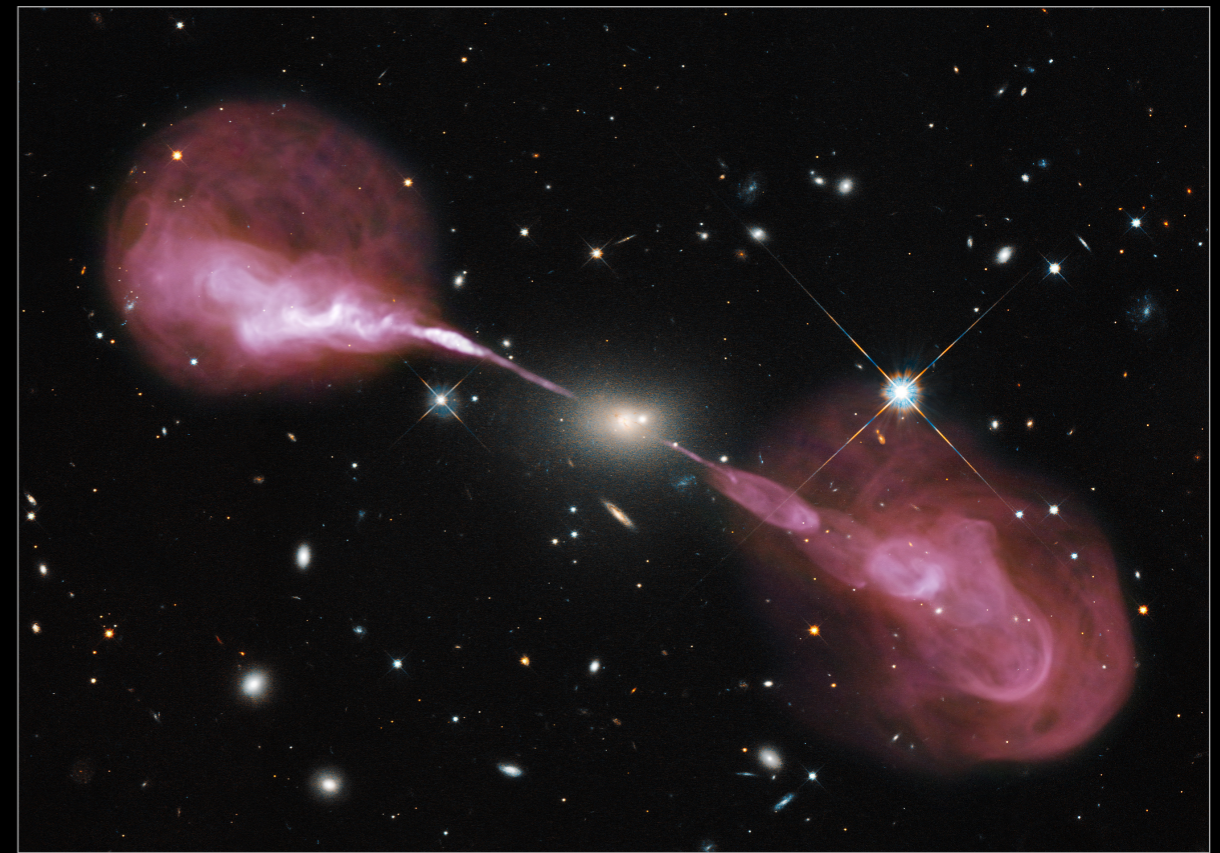
380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

Radio Galaxy Hercules A



Hubble
Heritage


NASA, ESA, NRAO • HST WFC3/UVIS • VLA • STScI-PRC12-47

**STIAMO ANCORA INDAGANDO SULLE POSSIBILI SORGENTI DI RAGGI COSMICI DI
ALTISSIMA ENERGIA - CANDIDATI POSSIBILI SONO:**

BUCHI NERI SUPERMASSICCI OSPITATI AL CENTRO DELLE COSIDDETTE GALASSIE ATTIVE

LAMPI GAMMA

STELLE DI NEUTRONI MOLTO GIOVANI

The background of the image is a rich, multi-colored cosmic scene. It features a dense field of stars in various colors, including blue, red, orange, and yellow. A prominent, bright, white-to-yellowish glow emanates from the center-left, spreading outwards and creating a soft, ethereal atmosphere. The overall composition suggests a vast, energetic universe, possibly representing the path of high-energy cosmic rays.

IL DIFFICILE VIAGGIO DEI RAGGI
COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA
ATTRAVERSO L'UNIVERSO

L'Universo e' permeato di una debole radiazione, la cosa più fredda esistente in Natura, solo 2.7 gradi sopra lo zero assoluto...

E' il residuo del Big Bang... circa 300 fotoni per ogni centimetro cubo di Universo, che ci arriva sotto forma di radio frequenze

Circa l'1% della statica in un vecchio televisore e' dovuto al Big Bang!!!

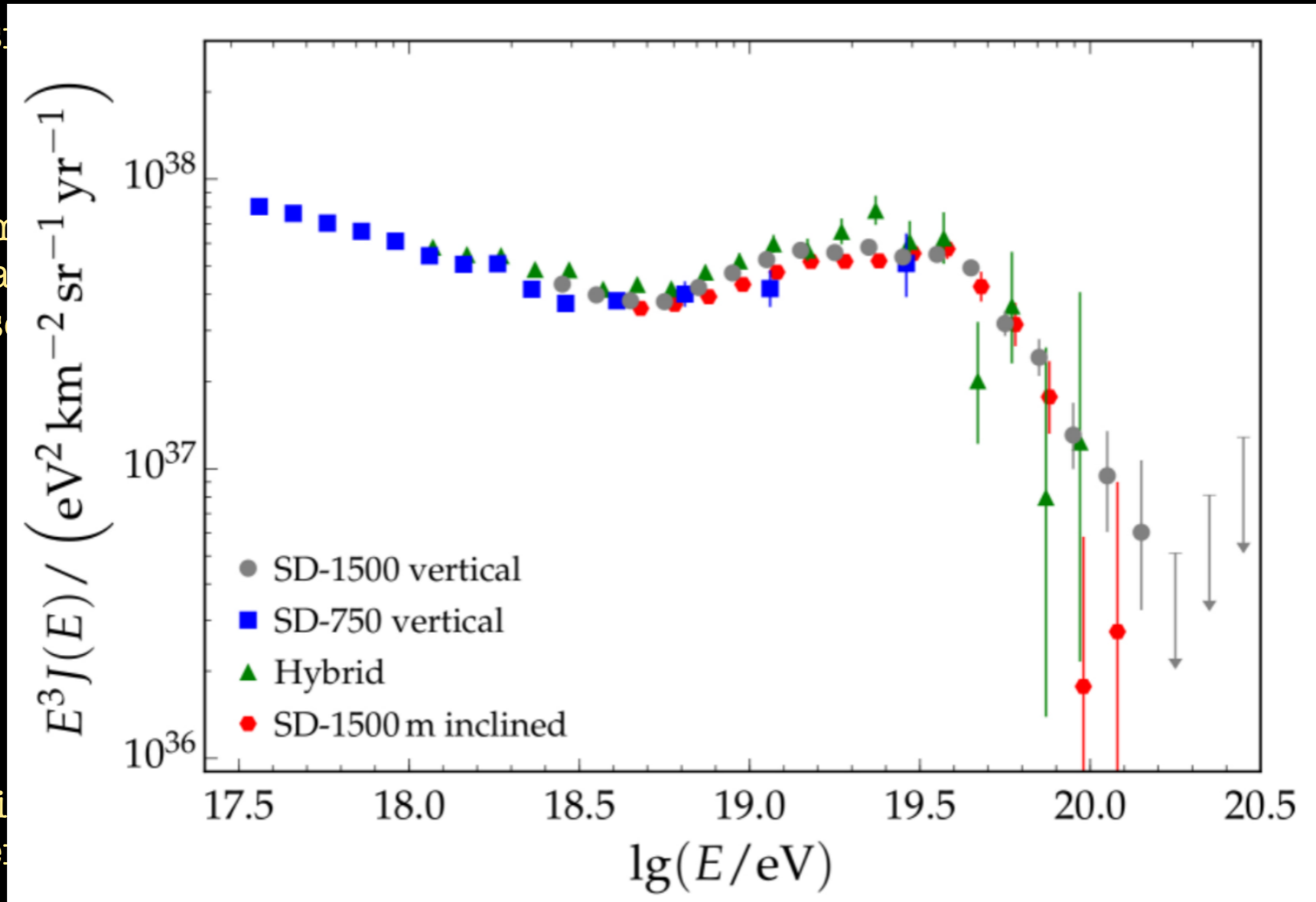


Questa radiazione fu scoperta sperimentalmente da Penzias e Wilson nel 1966 e pochi mesi dopo Greisen negli USA e Zatsepin e Kuzmin nell'USSR, proposero che questa radiazione avrebbe avuto effetti intensi sui raggi cosmici di altissima energia...vediamo perché...

Immaginate di essere seduti su un protone che si muove attraverso l'universo ad altissima energia

La radiazione cosmica

Quando nel sistema di riferimento del protone, c'è abbastanza radiazione di fondo, c'è abbastanza energia per attivare un nuovo processo



Poche interazioni sono necessarie e

Questo processo ci preclude di “vedere” raggi cosmici da sorgenti più lontane di circa 100 Mpc se l'energia è più elevata di 10^{20} eV=100 miliardi volte la massa a riposo del protone (orizzonte GZK, da Greisen, Zatsepin e Kuzmin)

energetica

la radiazione di massa del protone),

esso si accenda

CONTARE I RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA
(pochi eventi per km² per secolo)

Necessitano esperimenti di enormi dimensioni che operino per tempi lunghi... e che misurano le quantità in gioco con tecniche diverse...

E' grazie alla ionizzazione prodotta dai raggi cosmici che si possono formare le stelle

Ed è grazie alla morte delle stelle che si generano i raggi cosmici — e anche tutti gli elementi (Carbonio, Ferro, ...) di cui tutti noi siamo composti