



PASQUALE BLASI

*GRAN SASSO SCIENCE INSTITUTE*

---

RAGGI COSMICI  
L'UNIVERSO CHE L'OCCHIO NON VEDE

PID, 12 Aprile 2024

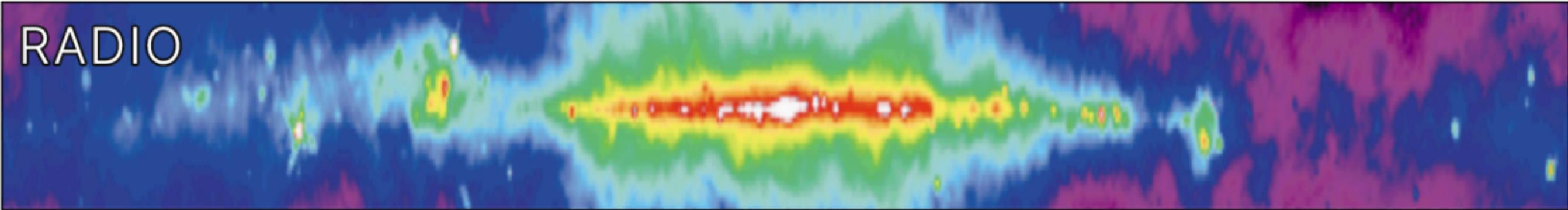




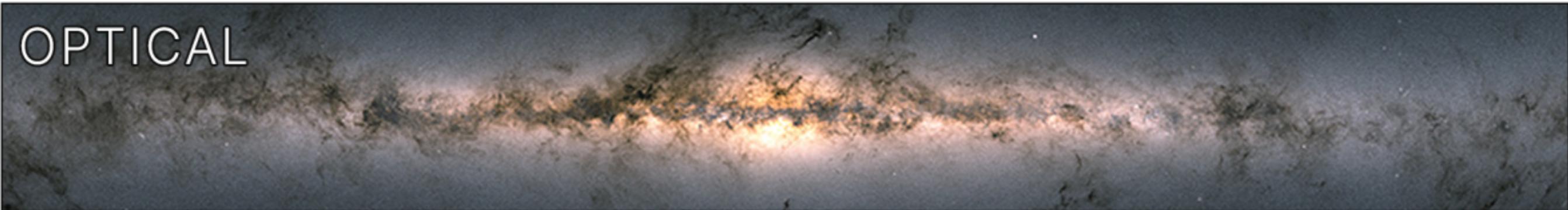
**Ci sono più cose in cielo e in terra, Orazio, di quante ne sogni la tua filosofia (William Shakespeare)**

Ci sono più cose in cielo e in terra, Orazio, di quante ne sogni la tua filosofia (William Shakespeare)

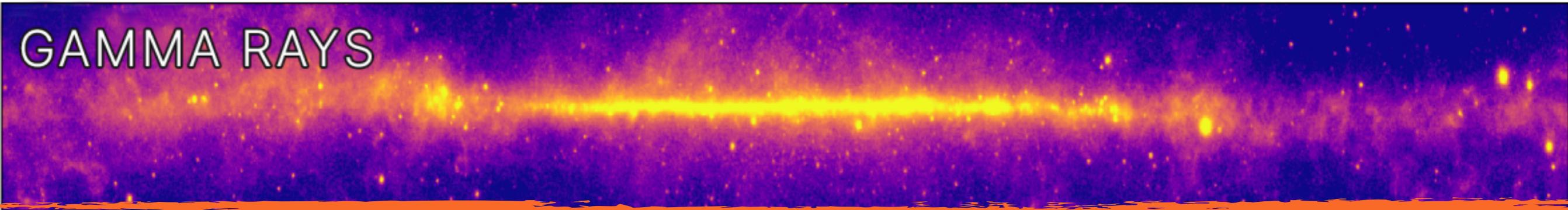
RADIO



OPTICAL



GAMMA RAYS



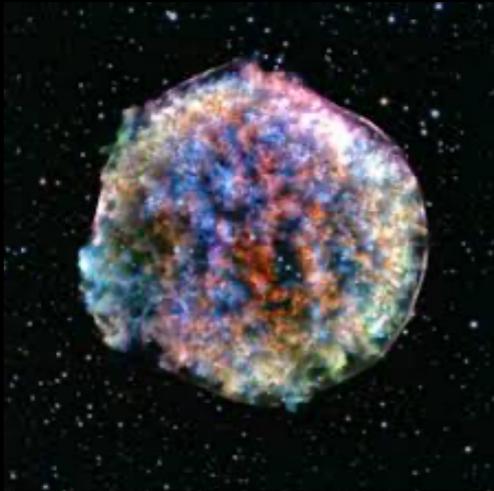
NEUTRINOS



# LUCE DI DIVERSI TIPI

- ▶ La maggior parte della luce del cielo notturno che i nostri occhi percepiscono come tale proviene dalle stelle e la maggior parte di quelle che vediamo è contenuta nella nostra casa cosmica... *la Via Lattea*
- ▶ Parte di quella luce è fatta di galassie a noi vicine
- ▶ Con i nostri telescopi più potenti vediamo galassie da noi lontane, così tanto che l'universo che si espande la fa brillare di luce infrarossa (*spostamento verso il rosso*)
- ▶ Ma vi è poi luce diversa, che va dalle onde radio ai raggi gamma che noi chiamiamo luce non termica - questa è prodotta da particelle cariche di altissima energia, che chiamiamo **raggi cosmici** quando questi interagiscono con l'ambiente

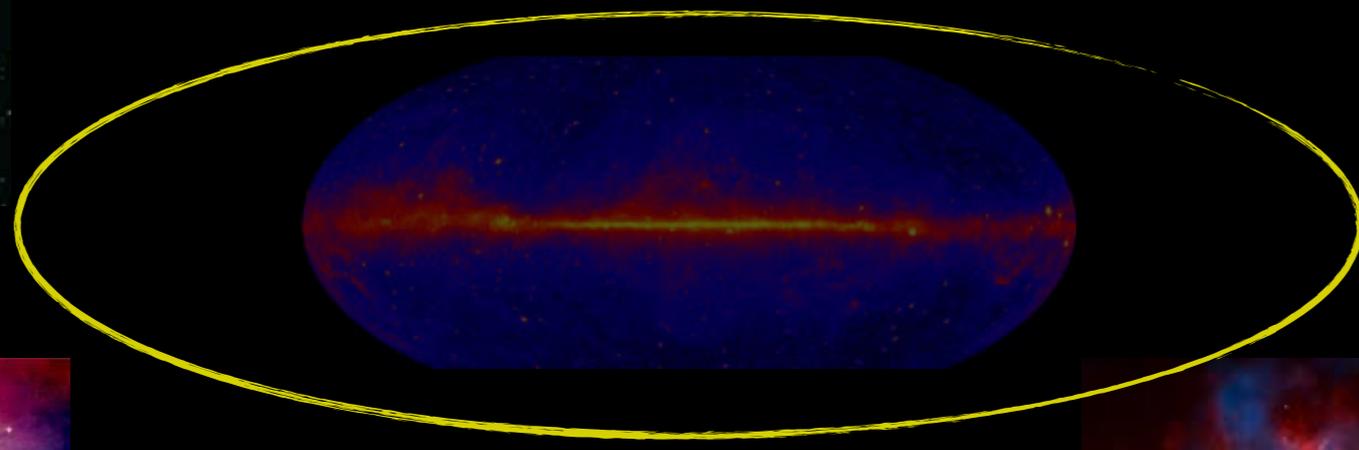
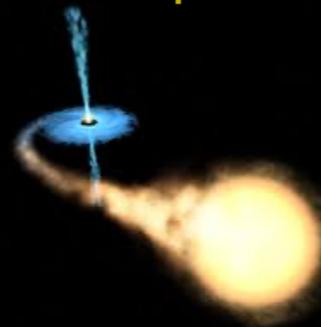
SNRs



Sun



$\mu$ QSO



AGN



PWNe

Star Clusters

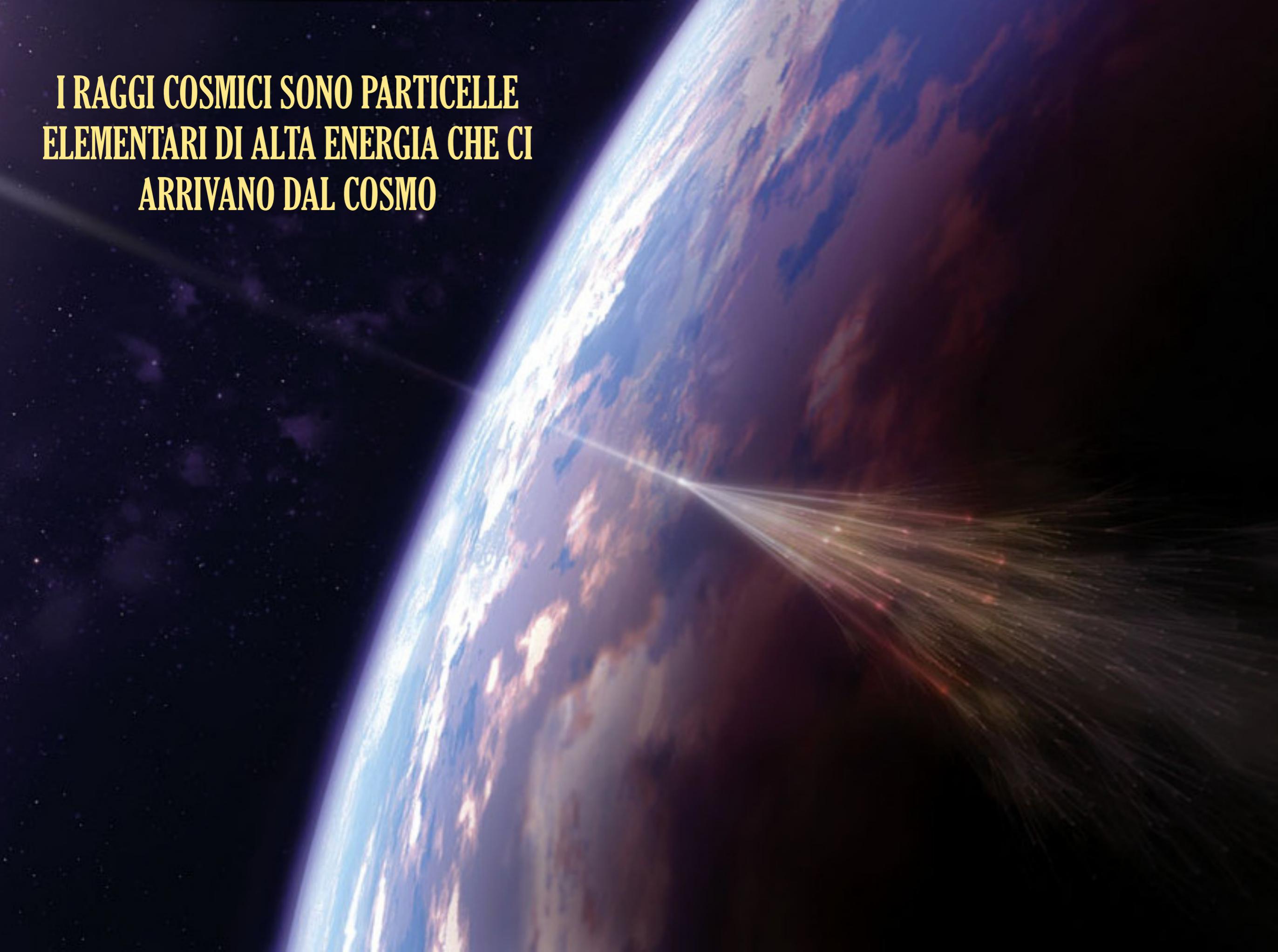


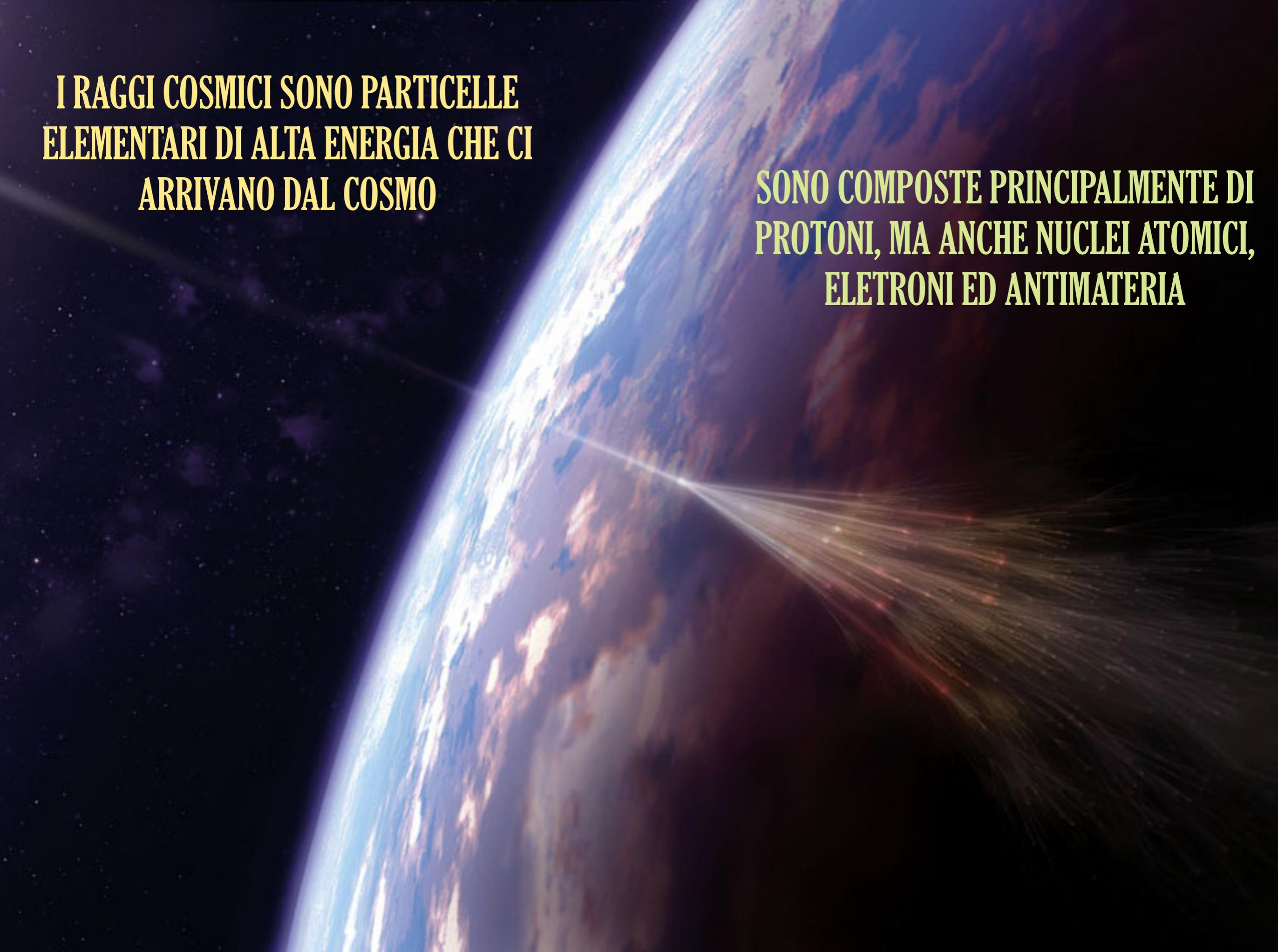
Starburst galaxies





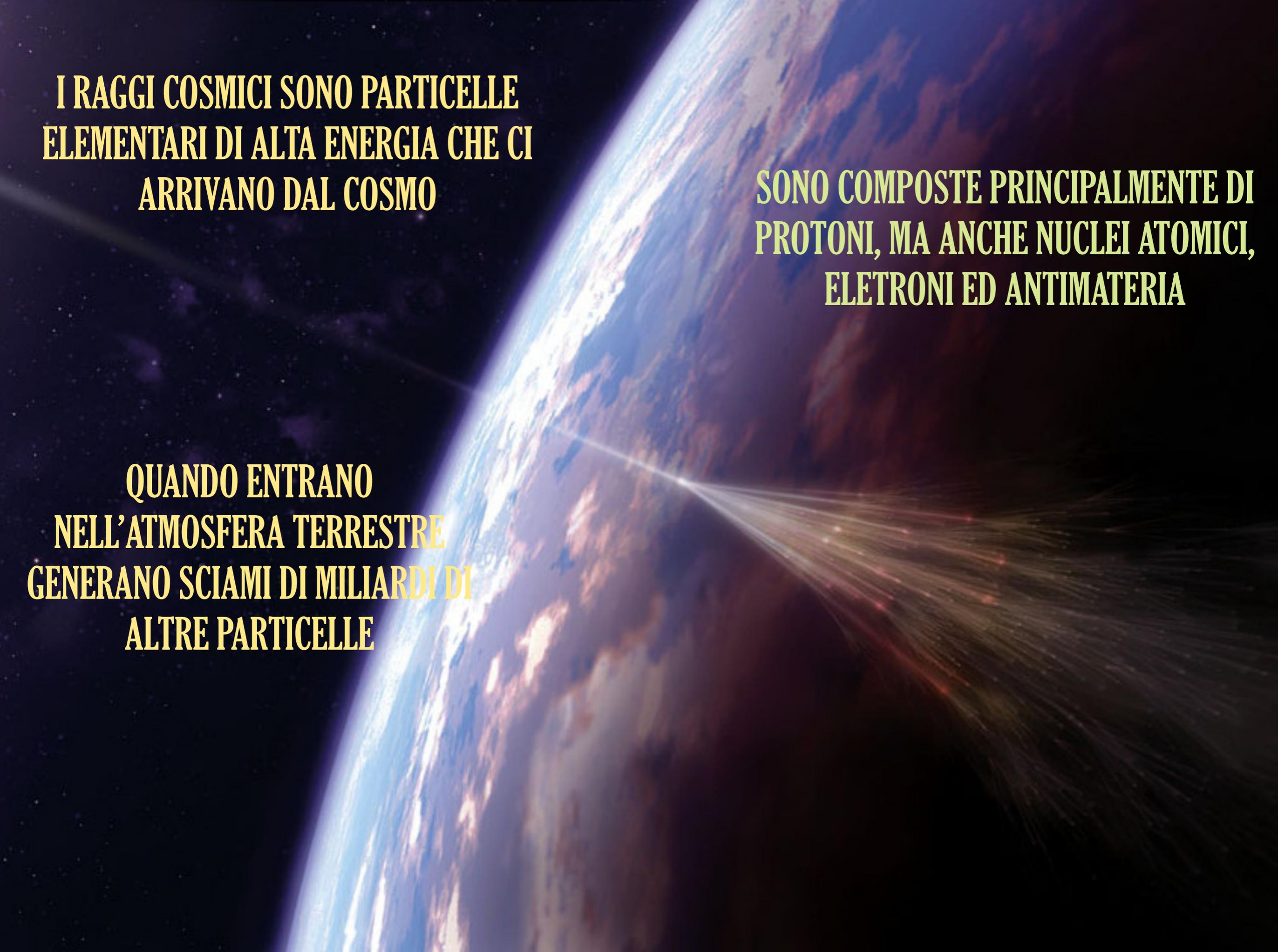
**I RAGGI COSMICI SONO PARTICELLE  
ELEMENTARI DI ALTA ENERGIA CHE CI  
ARRIVANO DAL COSMO**



A composite image of Earth from space, showing the curvature of the planet with blue oceans and white clouds. A bright, multi-colored streak of light, representing a cosmic ray shower, enters from the right and spreads out across the dark background of space. The text is overlaid on the image in a bold, yellow, serif font.

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

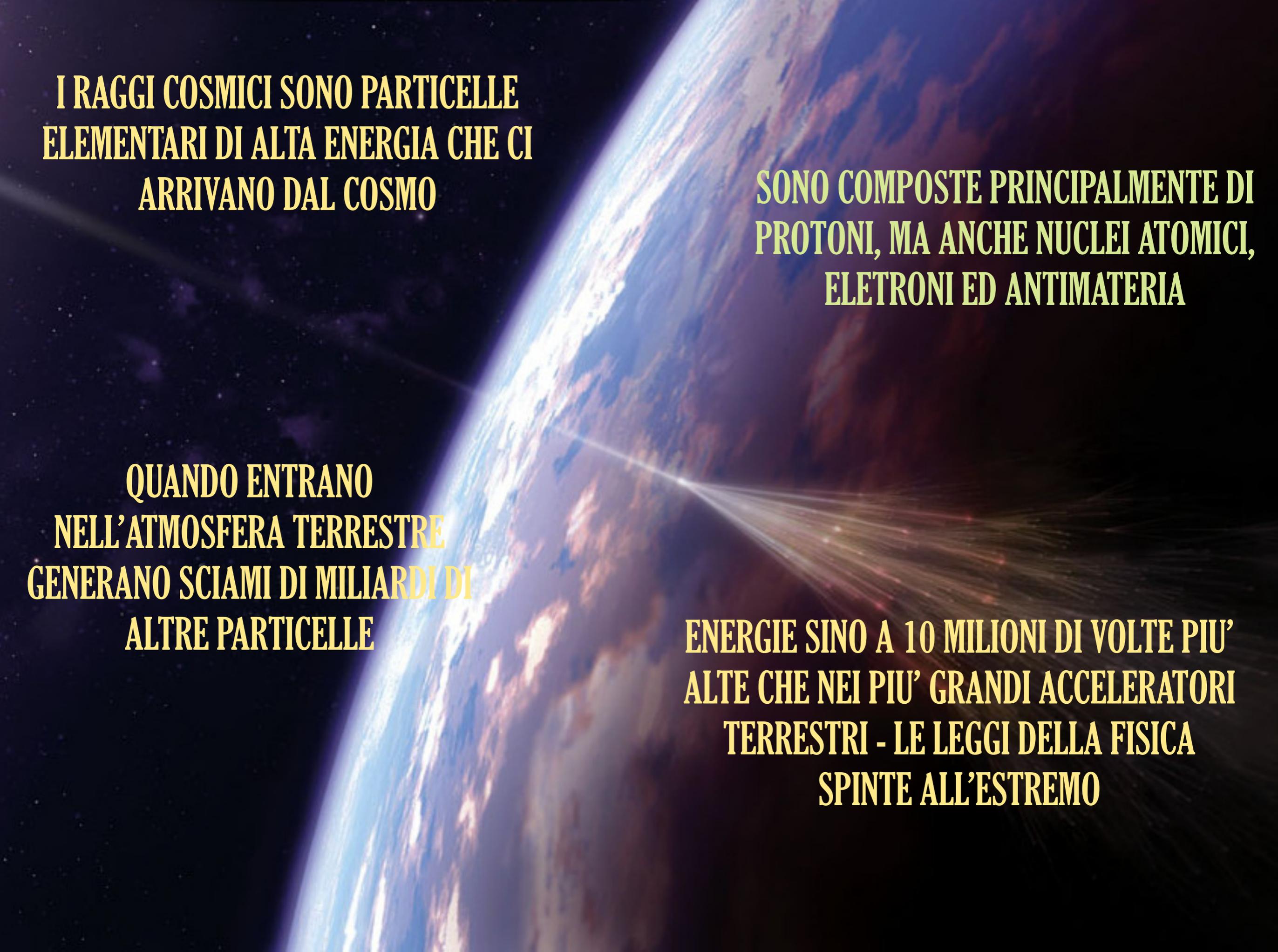
**SONO COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI  
PROTONI, MA ANCHE NUCLEI ATOMICI,  
ELETRONI ED ANTIMATERIA**

A composite image of Earth from space, showing the blue and white atmosphere and the brownish-green landmasses. A bright, multi-colored streak of light, representing a cosmic ray shower, enters from the right and spreads out across the Earth's surface. The background is a dark, starry space.

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

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

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

A view of Earth from space, showing the curvature of the planet and the atmosphere. Several bright, white streaks representing cosmic rays are shown entering the atmosphere from the left and spreading out as they interact with the air. The background is a dark, starry space.

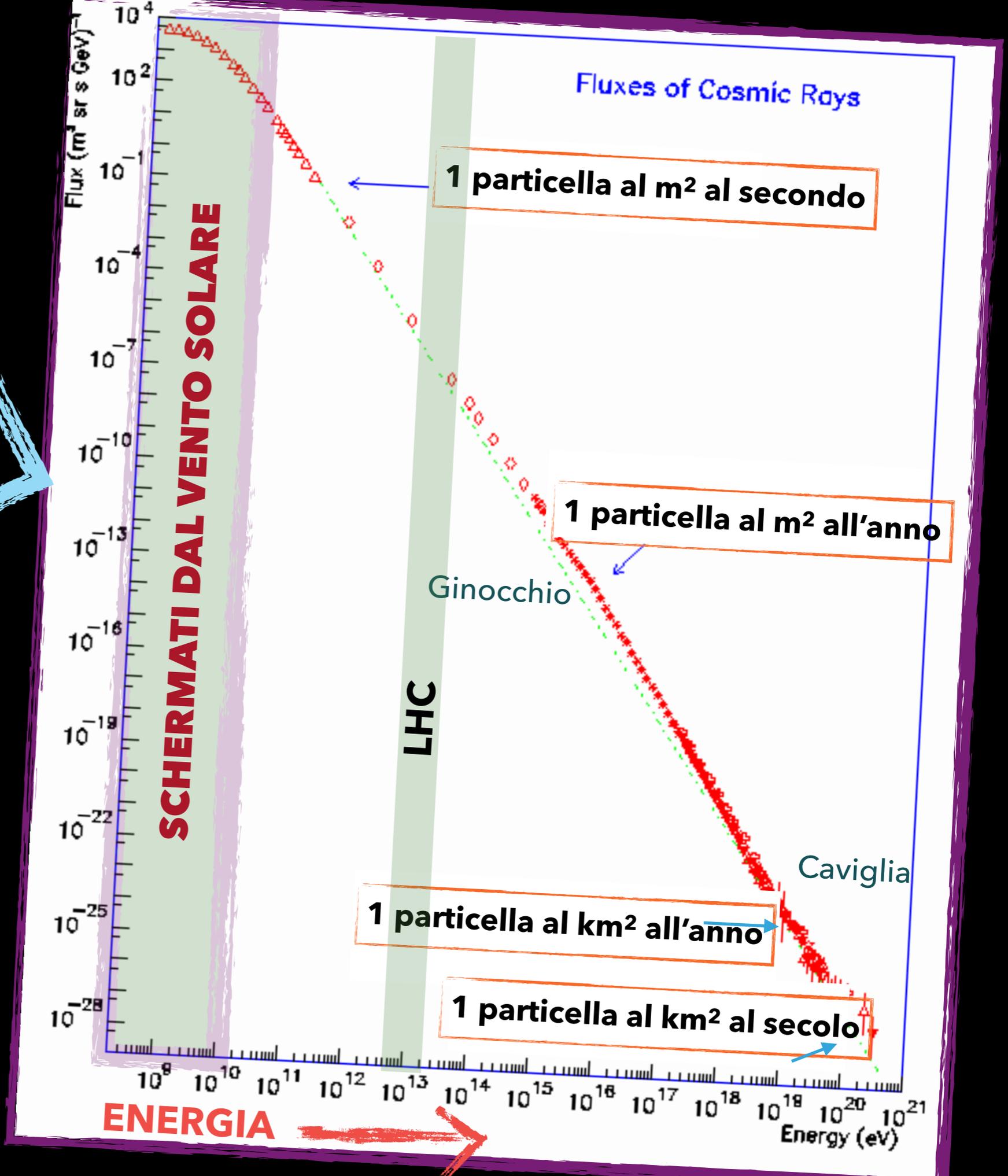
**I RAGGI COSMICI SONO PARTICELLE  
ELEMENTARI DI ALTA ENERGIA CHE CI  
ARRIVANO DAL COSMO**

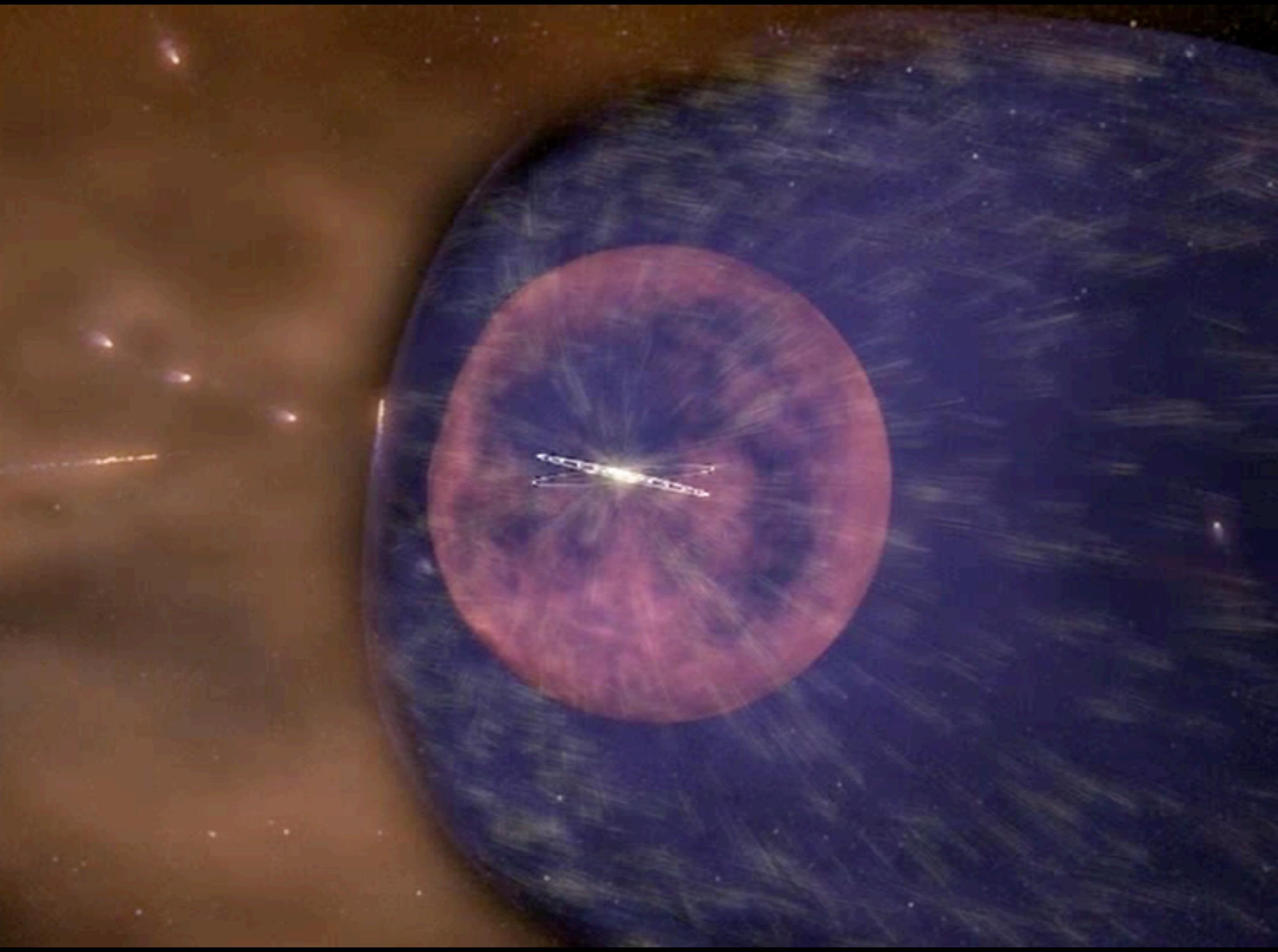
**SONO COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI  
PROTONI, MA ANCHE NUCLEI ATOMICI,  
ELETRONI ED ANTIMATERIA**

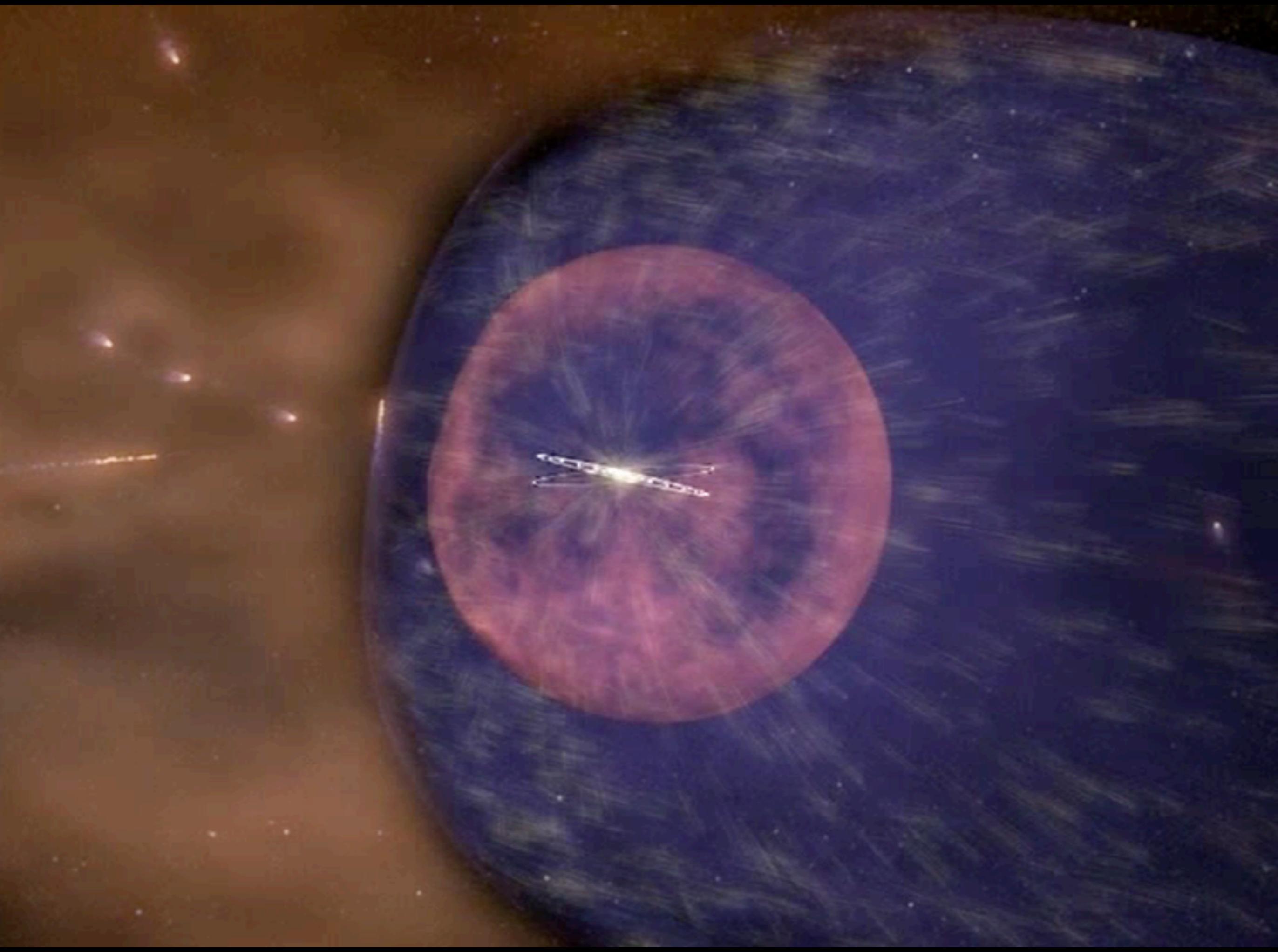
**QUANDO ENTRANO  
NELL'ATMOSFERA TERRESTRE  
GENERANO SCIAMI DI MILIARDI DI  
ALTRE PARTICELLE**

**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...**





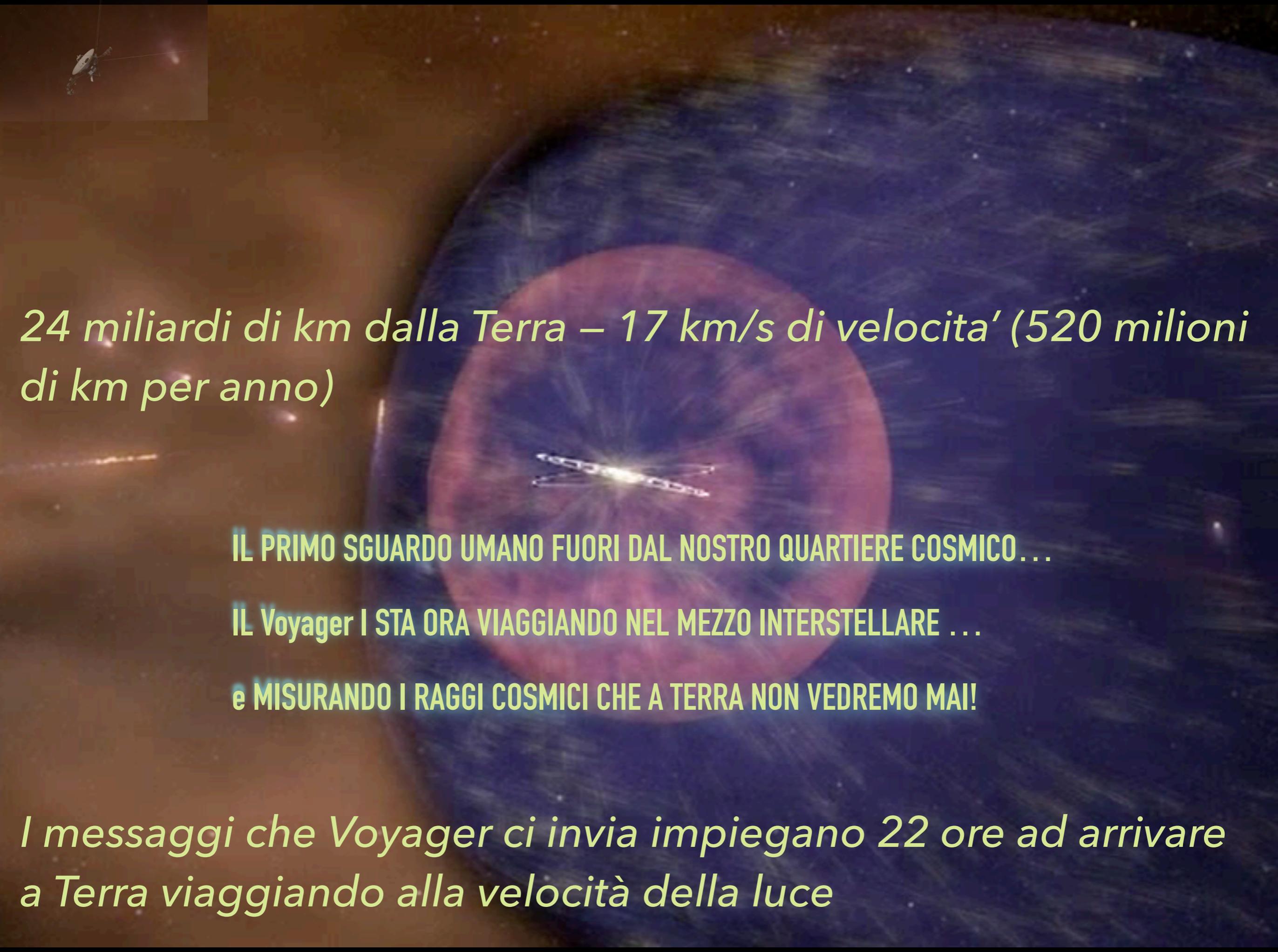


**5 Settembre**  
**1977**



**5 Settembre**  
**1977**





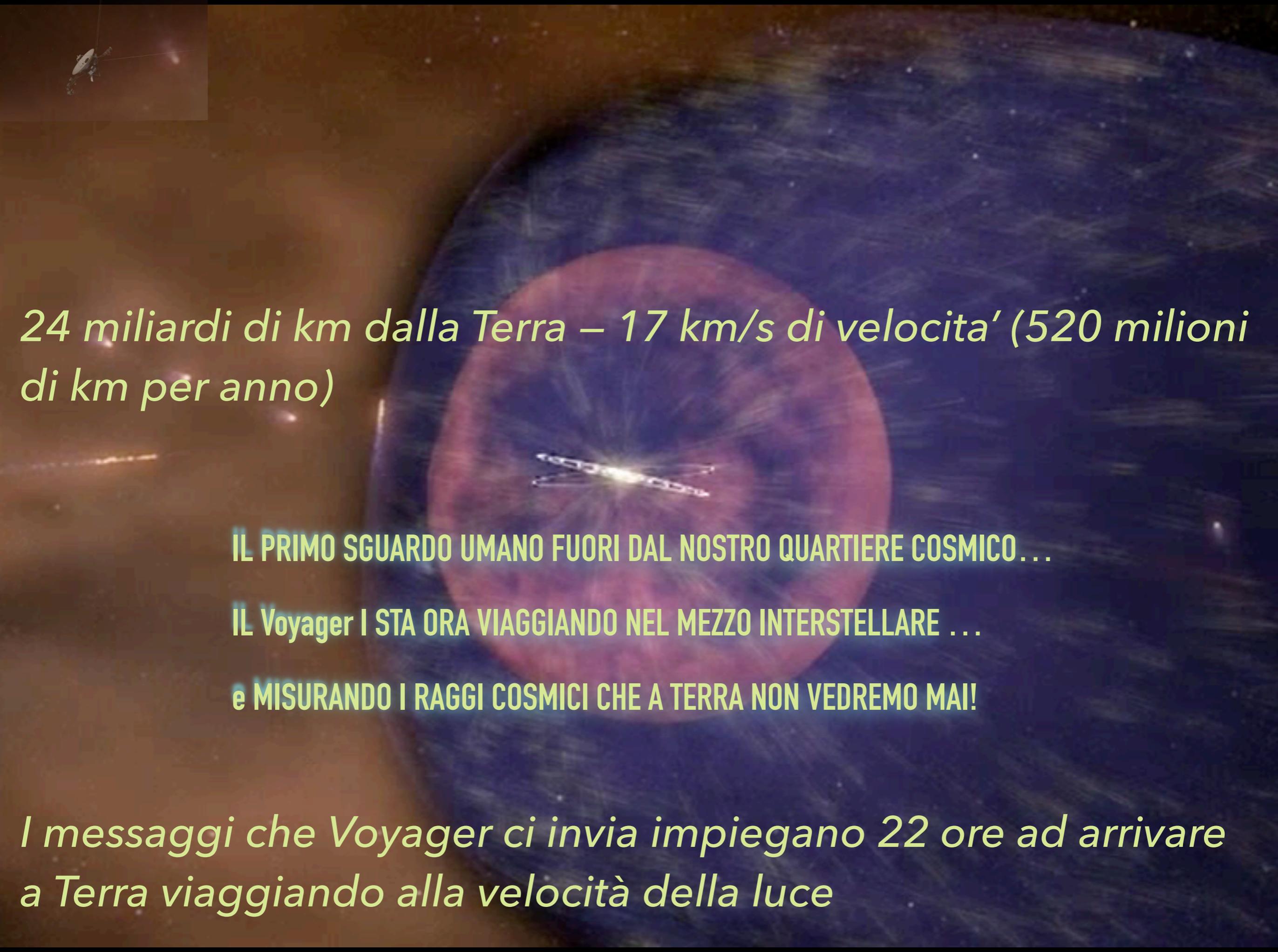
*24 miliardi di km dalla Terra – 17 km/s di velocità (520 milioni di km per anno)*

**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 22 ore ad arrivare a Terra viaggiando alla velocità della luce*



*24 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 22 ore ad arrivare a Terra viaggiando alla velocità della luce*

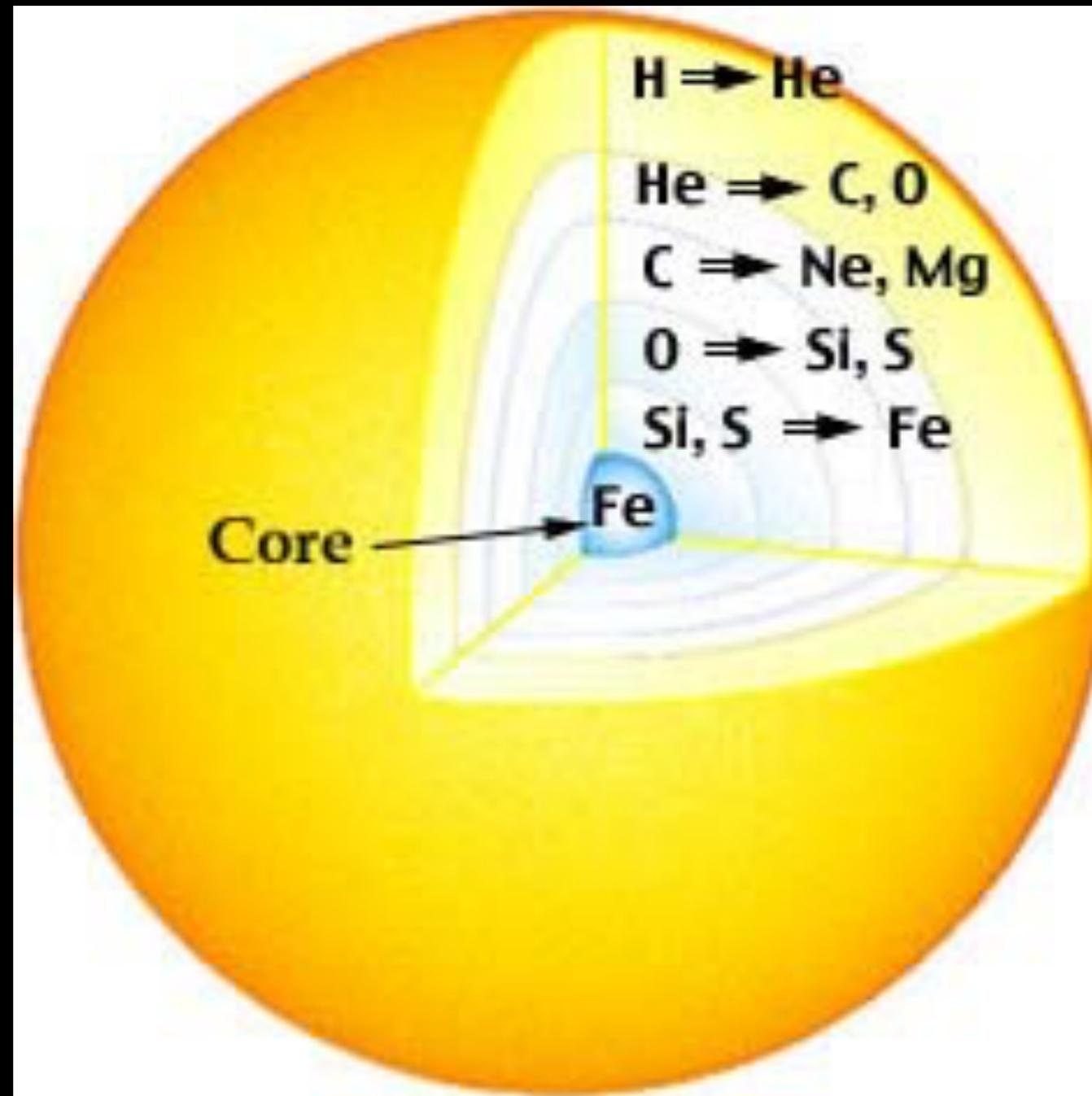
*DOVE NASCONO I RAGGI COSMICI  
NELLA NOSTRA GALASSIA?*

**STELLE CHE NASCONO E MUOIONO ...**

---

**RAGGI COSMICI CHE NASCONO...**

# SUPERNOVE DI TIPO 2



# SUPERNOVE DI TIPO 2







# SUPERNOVE DI TIPO 1

L'esplosione di una supernova di tipo 1 avviene quando una nana bianca risucchia massa dalla stella compagna e la sua massa diviene più grande della cosiddetta massa di Chandrasekhar, ovvero 1.4 volte la massa del Sole (questo è un fenomeno di meccanica quantistica)

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



# SUPERNOVE DI TIPO 1

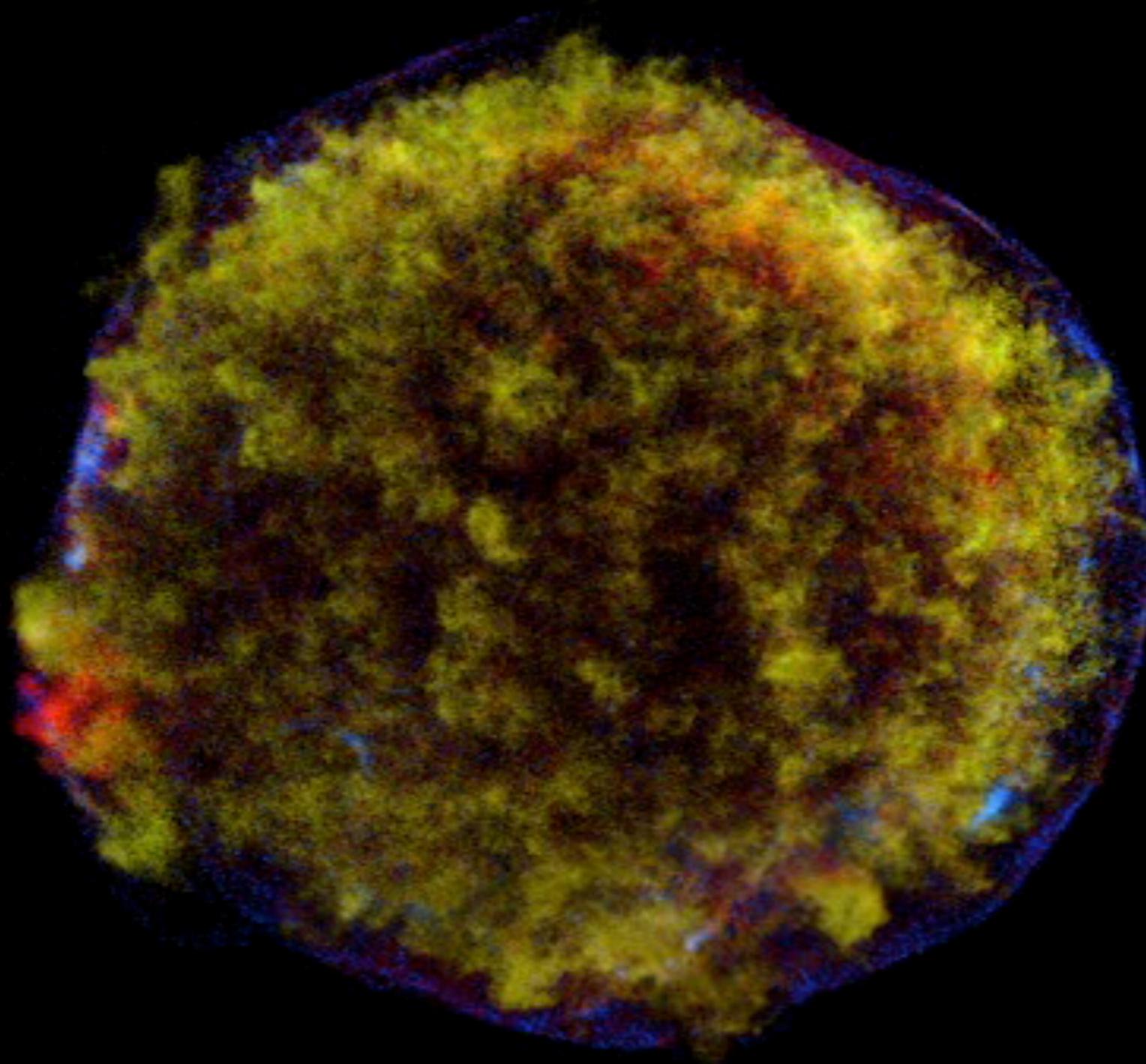
L'esplosione di una supernova di tipo 1 avviene quando una nana bianca risucchia massa dalla stella compagna e la sua massa diviene più grande della cosiddetta massa di Chandrasekhar, ovvero 1.4 volte la massa del Sole (questo è un fenomeno di meccanica quantistica)

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



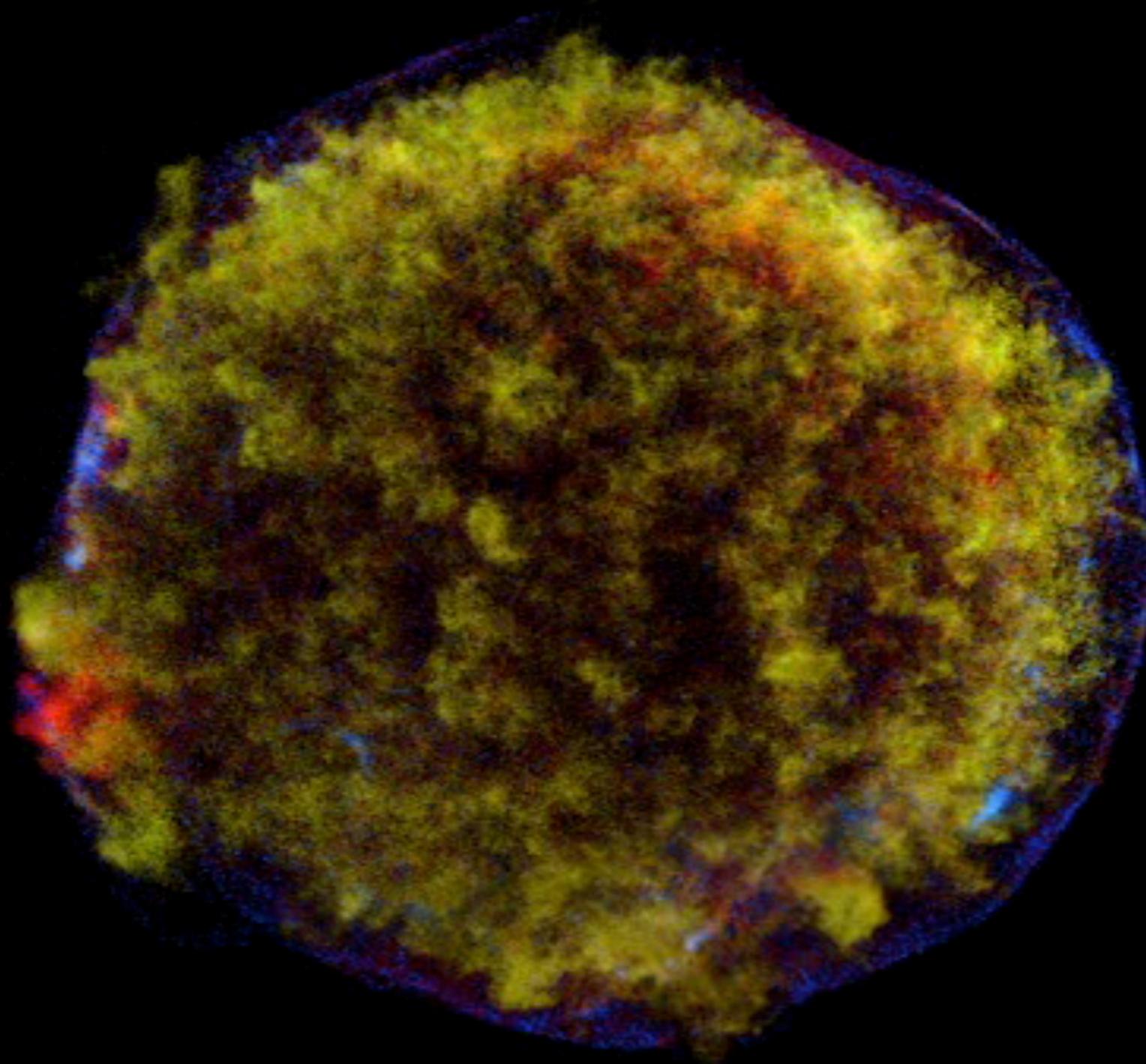
Tycho

X-ray



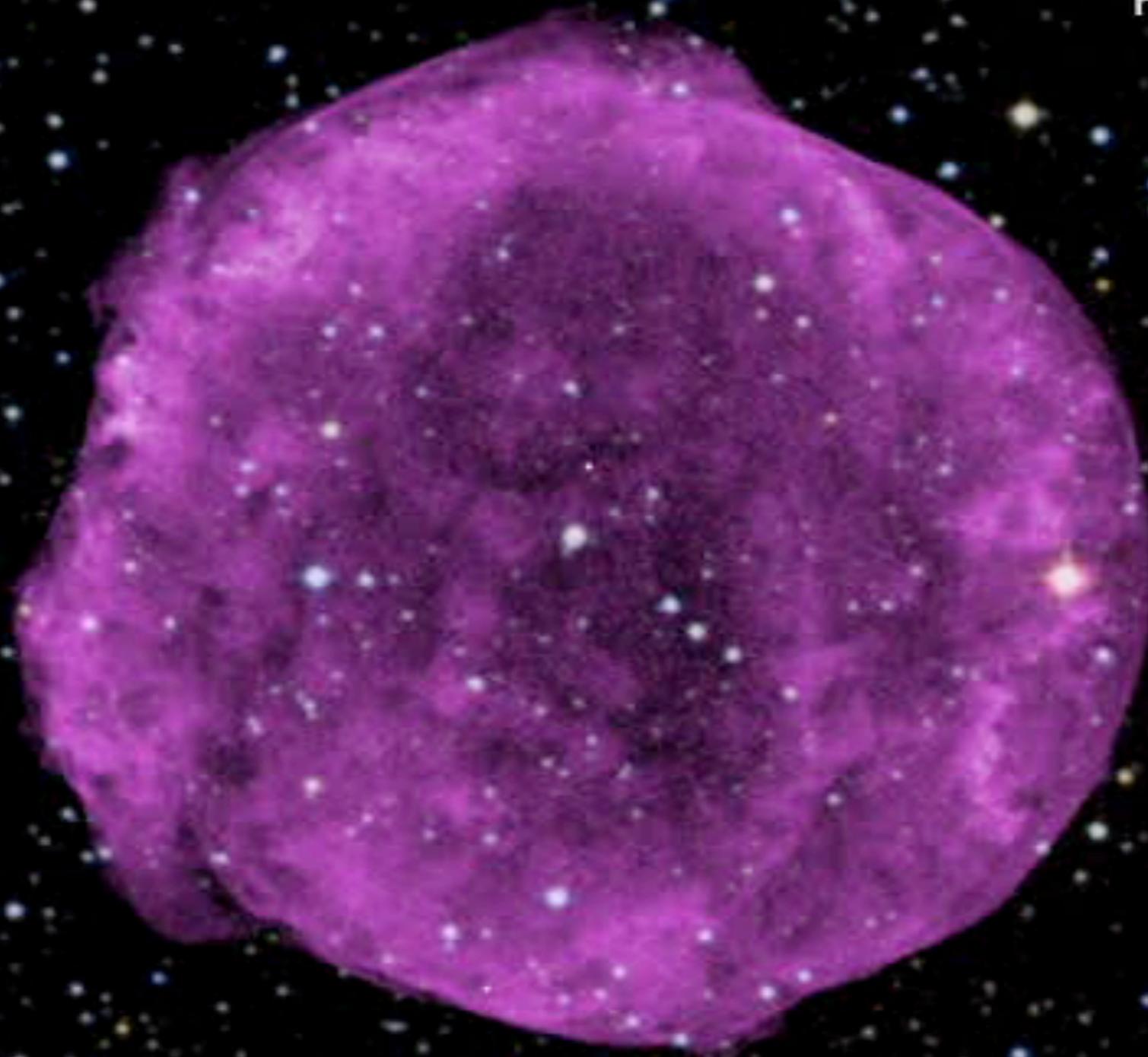
Tycho

X-ray



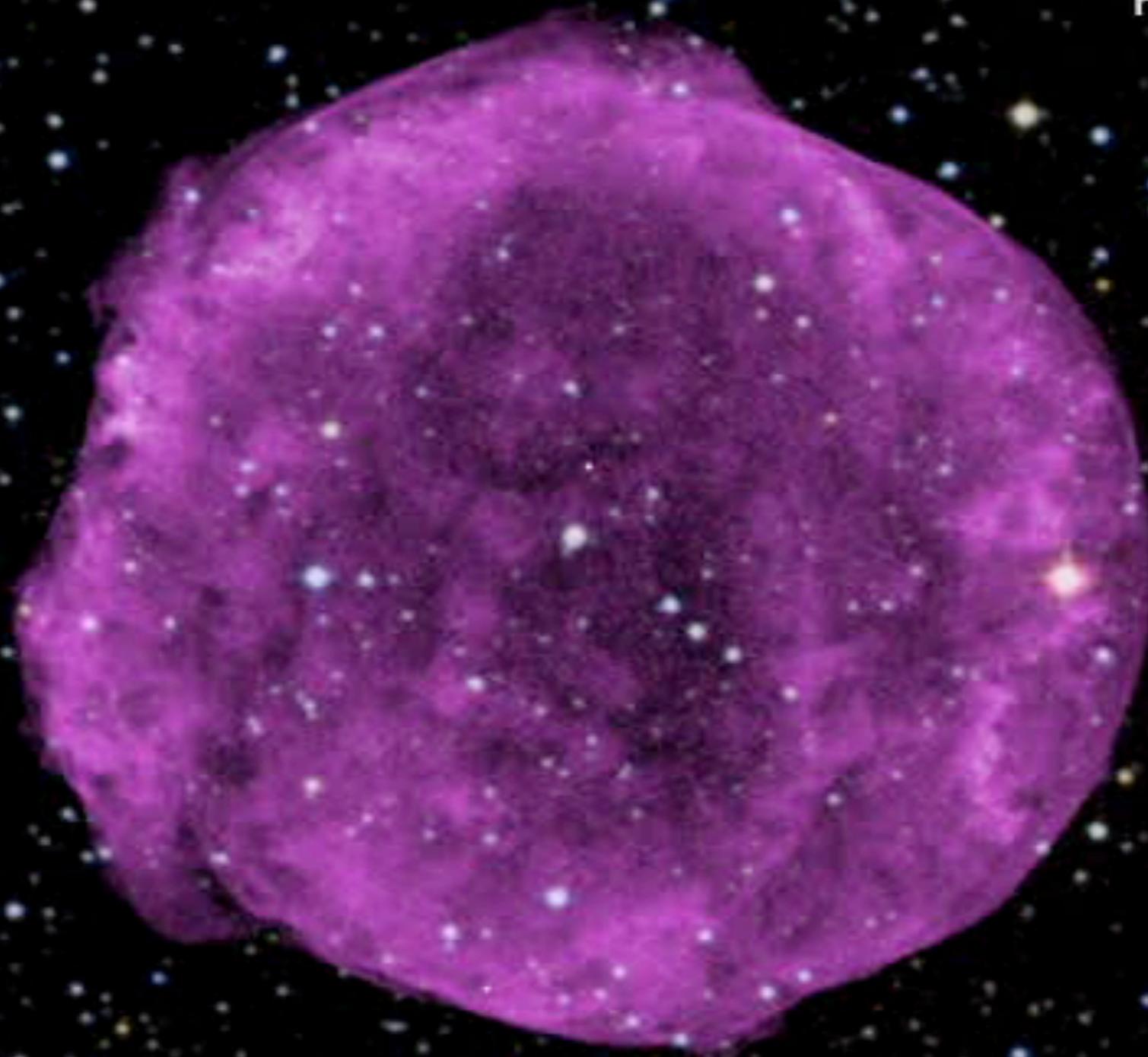
Tycho

Radio/Optical  
(1983)



Tycho

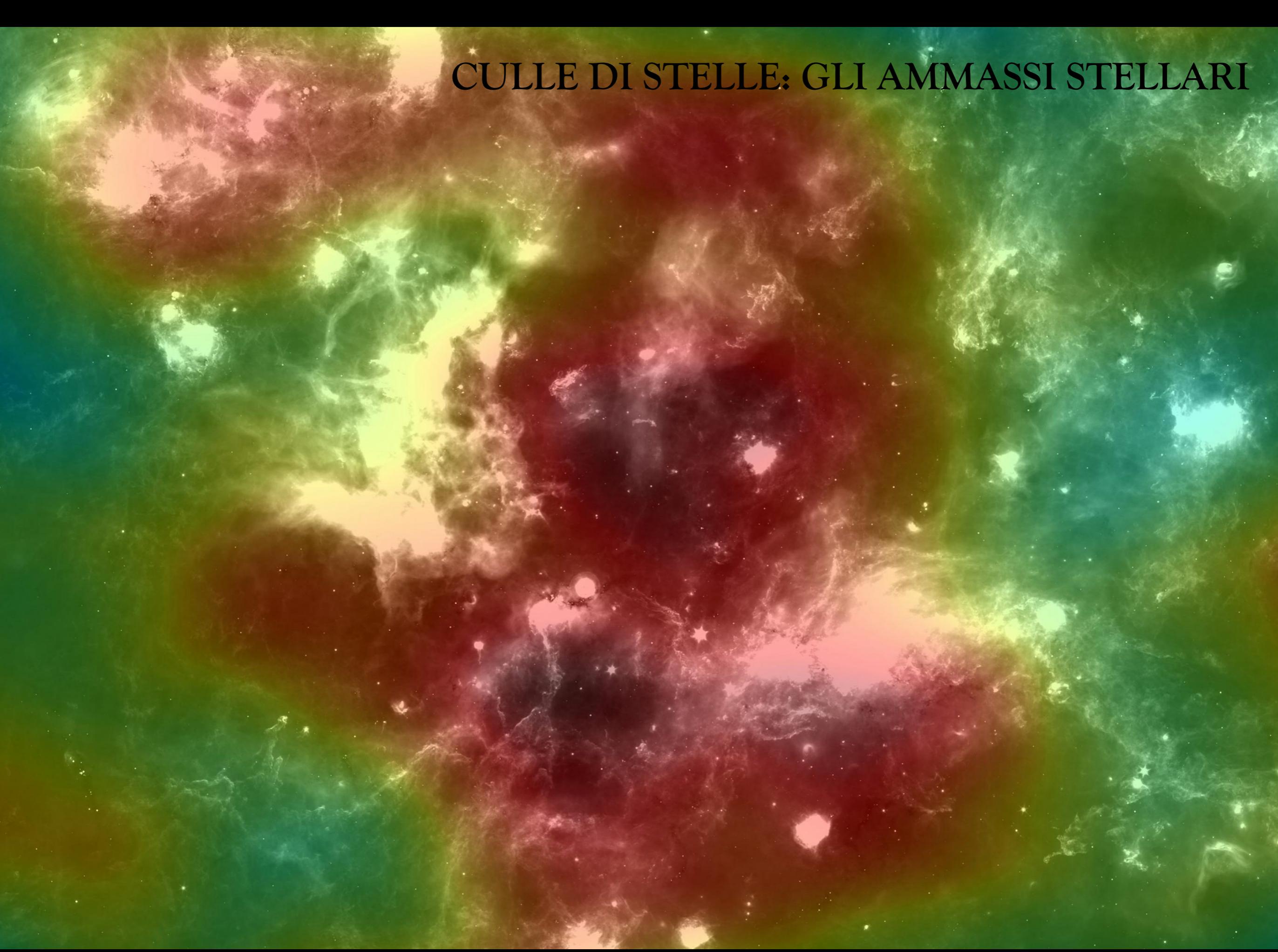
Radio/Optical  
(1983)



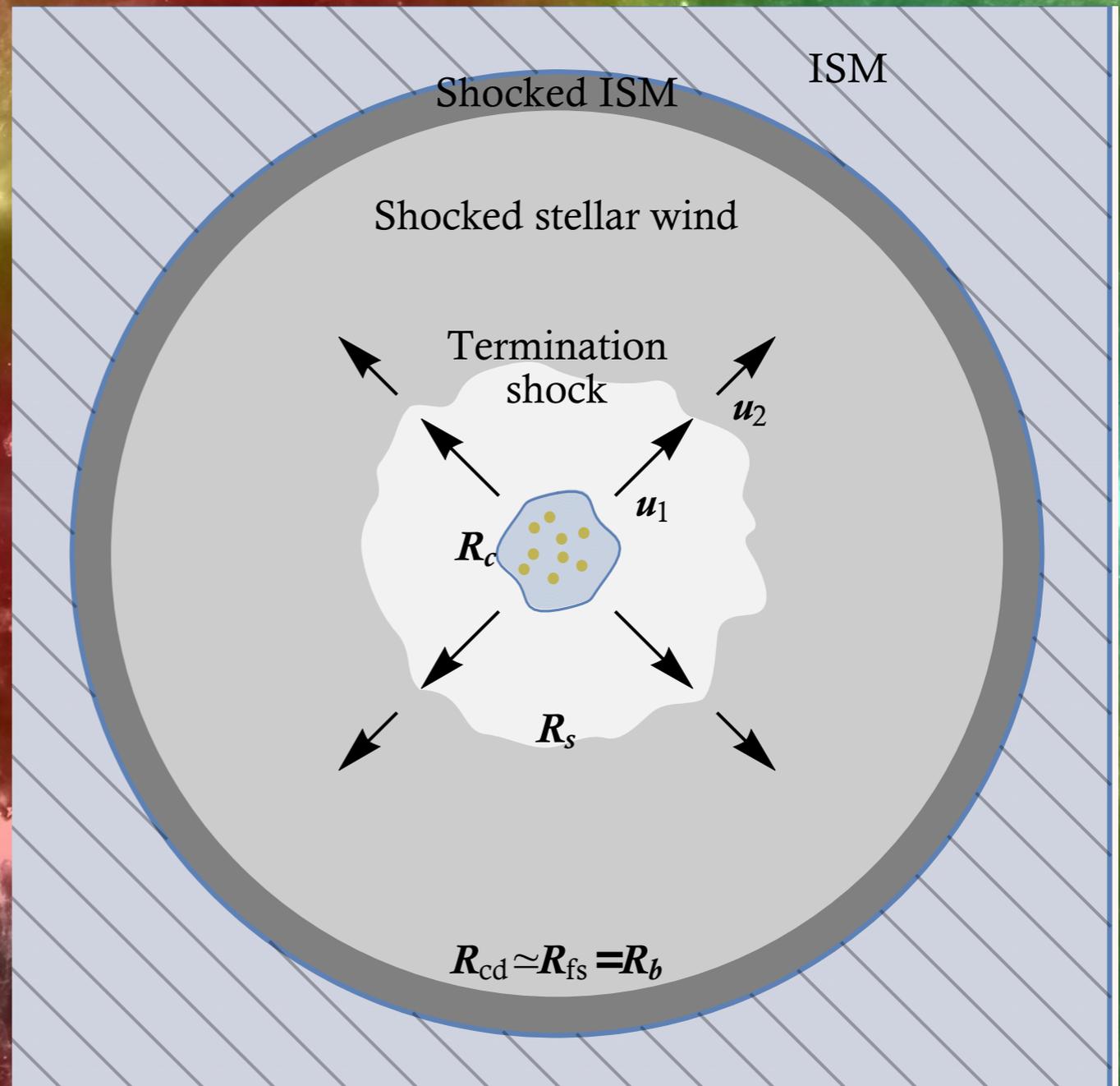




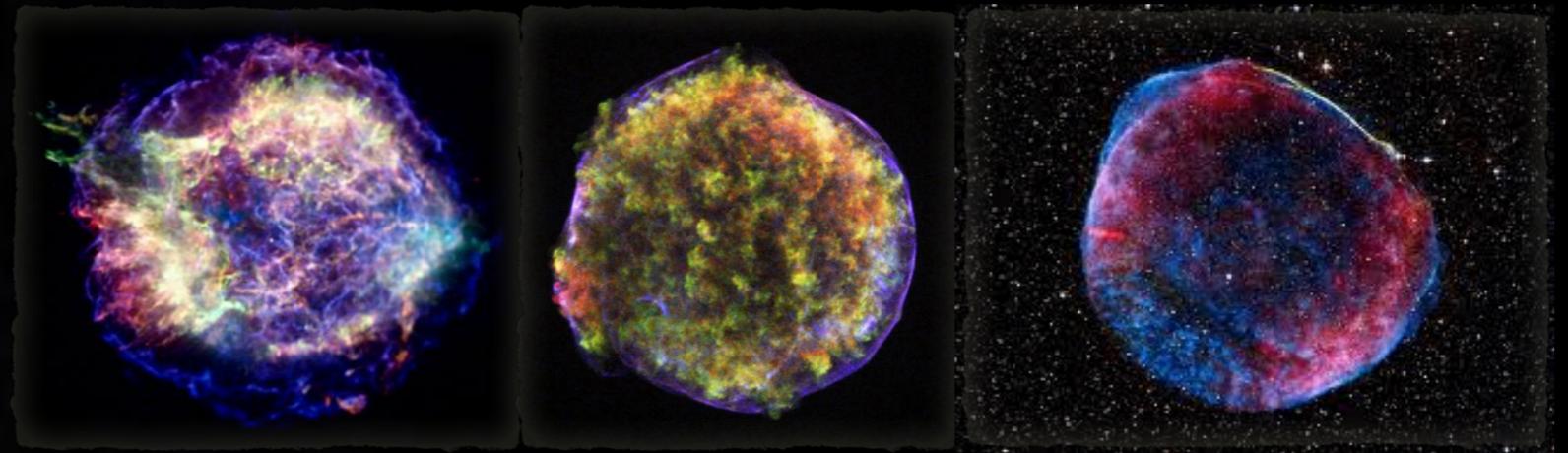
# CULLE DI STELLE: GLI AMMASSI STELLARI



# CULLE DI STELLE: GLI AMMASSI STELLARI



# COSA FA UN'ONDA D'URTO?



10000 km/s

VELOCITA' DEL  
SUONO 10km/s



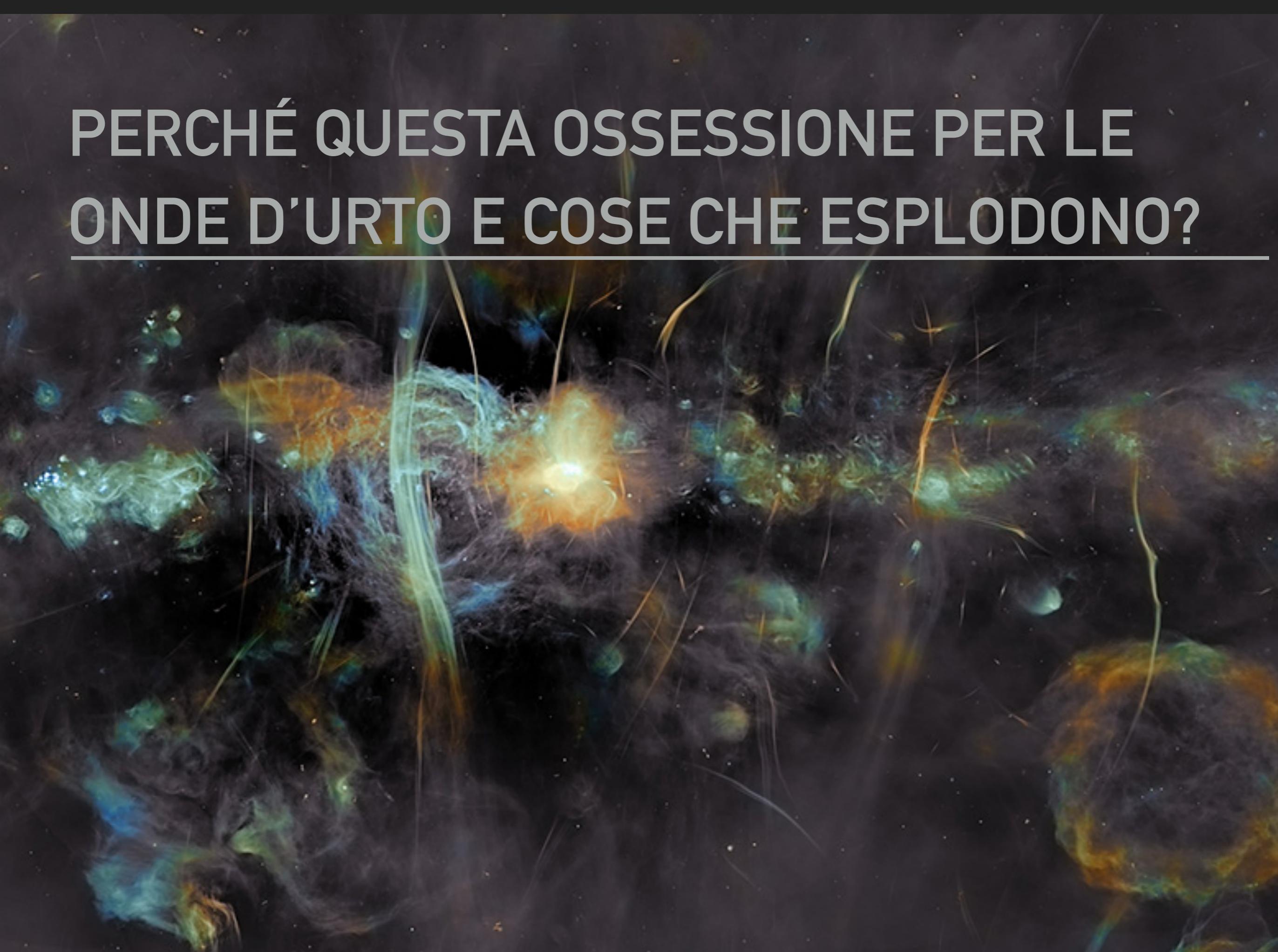
Gas caldo  
dietro l'onda  
d'urto

Mezzo interstellare  
freddo



PERCHÉ QUESTA OSSESSIONE PER LE  
ONDE D'URTO E COSE CHE ESPLODONO?

---



# ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

# ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV
- ▶ A queste temperature l'universo è nella fase di PLASMA, ovvero protoni ed elettroni non possono formare atomi...vanno ciascuno per i fatti loro

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV
- ▶ A queste temperature l'universo è nella fase di PLASMA, ovvero protoni ed elettroni non possono formare atomi...vanno ciascuno per i fatti loro
- ▶ Ma le particelle nei raggi cosmici hanno energie fra 1 GeV=10<sup>9</sup> eV a 1 ZeV=10<sup>20</sup> eV, come ci si arriva???

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV
- ▶ A queste temperature l'universo è nella fase di PLASMA, ovvero protoni ed elettroni non possono formare atomi...vanno ciascuno per i fatti loro
- ▶ Ma le particelle nei raggi cosmici hanno energie fra 1 GeV=10<sup>9</sup> eV a 1 ZeV=10<sup>20</sup> eV, come ci si arriva???
- ▶ L'unico modo che conosciamo per dare energia a una particella carica elettricamente è di usare un campo elettrico

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV
- ▶ A queste temperature l'universo è nella fase di PLASMA, ovvero protoni ed elettroni non possono formare atomi...vanno ciascuno per i fatti loro
- ▶ Ma le particelle nei raggi cosmici hanno energie fra 1 GeV=10<sup>9</sup> eV a 1 ZeV=10<sup>20</sup> eV, come ci si arriva???
- ▶ L'unico modo che conosciamo per dare energia a una particella carica elettricamente è di usare un campo elettrico
- ▶ In un plasma però i campi elettrici sono cortocircuitati immediatamente dal moto degli elettroni rispetto ai protoni

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV
- ▶ A queste temperature l'universo è nella fase di PLASMA, ovvero protoni ed elettroni non possono formare atomi...vanno ciascuno per i fatti loro
- ▶ Ma le particelle nei raggi cosmici hanno energie fra 1 GeV=10<sup>9</sup> eV a 1 ZeV=10<sup>20</sup> eV, come ci si arriva???
- ▶ L'unico modo che conosciamo per dare energia a una particella carica elettricamente è di usare un campo elettrico
- ▶ In un plasma però i campi elettrici sono cortocircuitati immediatamente dal moto degli elettroni rispetto ai protoni
- ▶ I campi magnetici ci sono e come, ma quelli deflettono le particelle, non le accelerano

## ALCUNE CONSIDERAZIONI DI FISICA ELEMENTARE...PERCHÉ È DIFFICILE ACCELERARE PARTICELLE?

---

- ▶ Accelerare una particella vuol dire aumentarne l'energia
- ▶ La maggior parte dell'universo è a temperature che vanno fra 10000 e 100 milioni di gradi K, ovvero energie fra 1 eV e 1 keV=10000 eV
- ▶ A queste temperature l'universo è nella fase di PLASMA, ovvero protoni ed elettroni non possono formare atomi...vanno ciascuno per i fatti loro
- ▶ Ma le particelle nei raggi cosmici hanno energie fra 1 GeV=10<sup>9</sup> eV a 1 ZeV=10<sup>20</sup> eV, come ci si arriva???
- ▶ L'unico modo che conosciamo per dare energia a una particella carica elettricamente è di usare un campo elettrico
- ▶ In un plasma però i campi elettrici sono cortocircuitati immediatamente dal moto degli elettroni rispetto ai protoni
- ▶ I campi magnetici ci sono e come, ma quelli deflettono le particelle, non le accelerano
- ▶ Gli unici campi elettrici che rimangono sono quelli indotti dall'aver un campo magnetico che si muove - fenomeno della induzione

# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

---



Direzione dell'esplosione

# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

---



Il mezzo interstellare vi viene  
contro alla stessa velocità con  
cui si muove l'onda d'urto



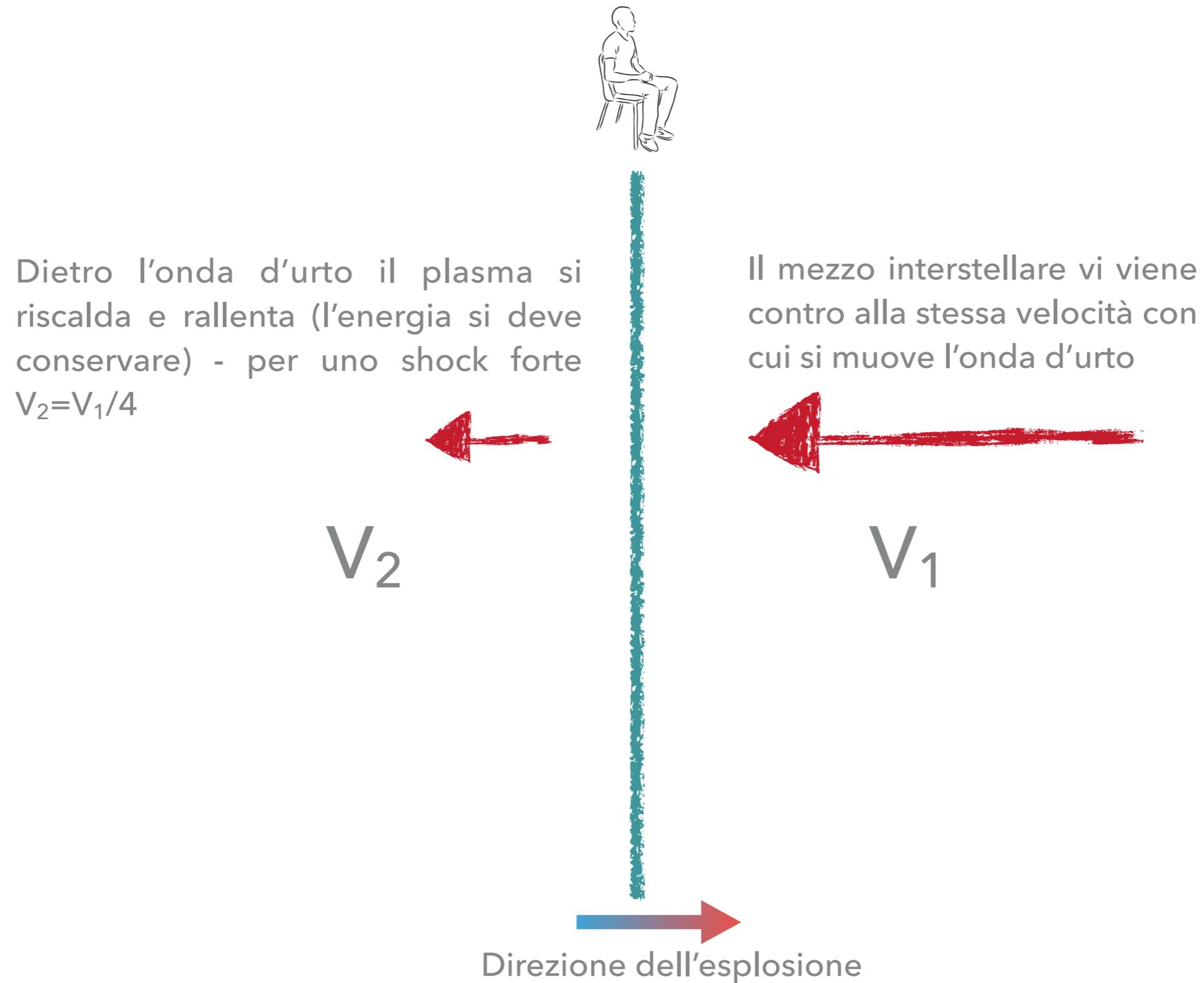
$V_1$



Direzione dell'esplosione

# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

---

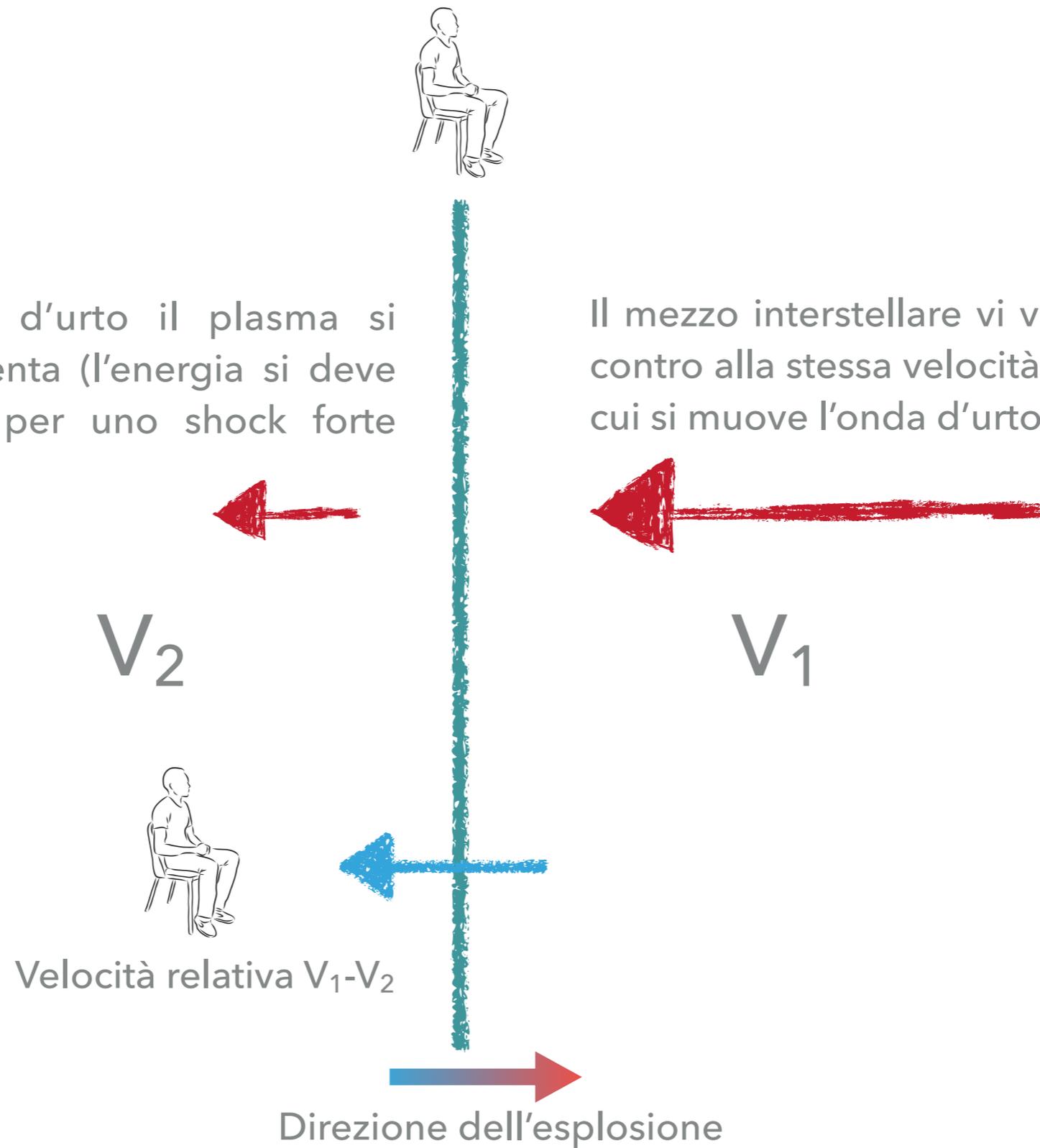


# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

---

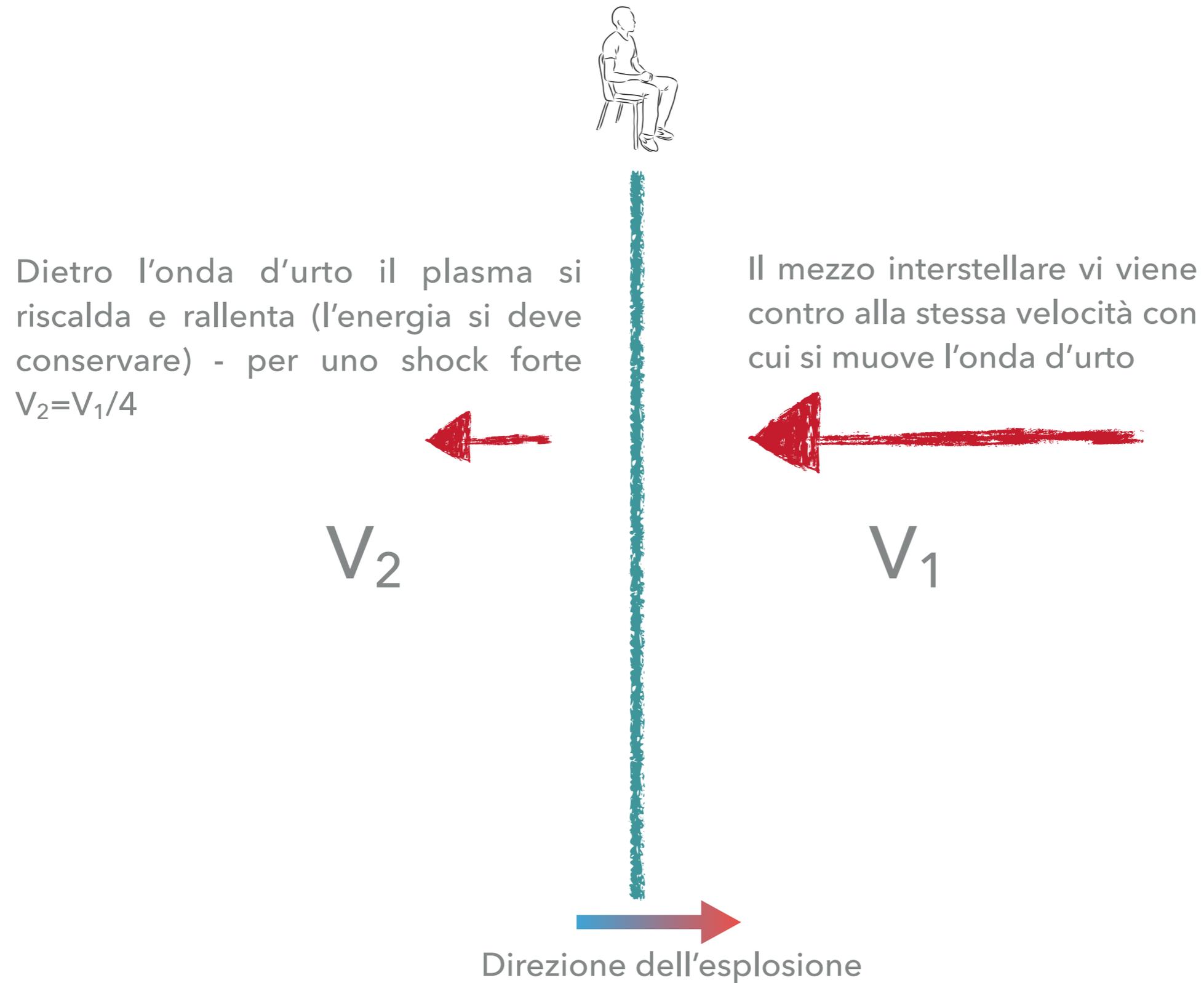
Dietro l'onda d'urto il plasma si riscalda e rallenta (l'energia si deve conservare) - per uno shock forte  $V_2 = V_1/4$

Il mezzo interstellare vi viene contro alla stessa velocità con cui si muove l'onda d'urto



# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

---



# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

Dietro l'onda d'urto il plasma si riscalda e rallenta (l'energia si deve conservare) - per uno shock forte  $V_2 = V_1/4$

Il mezzo interstellare vi viene contro alla stessa velocità con cui si muove l'onda d'urto

$V_2$

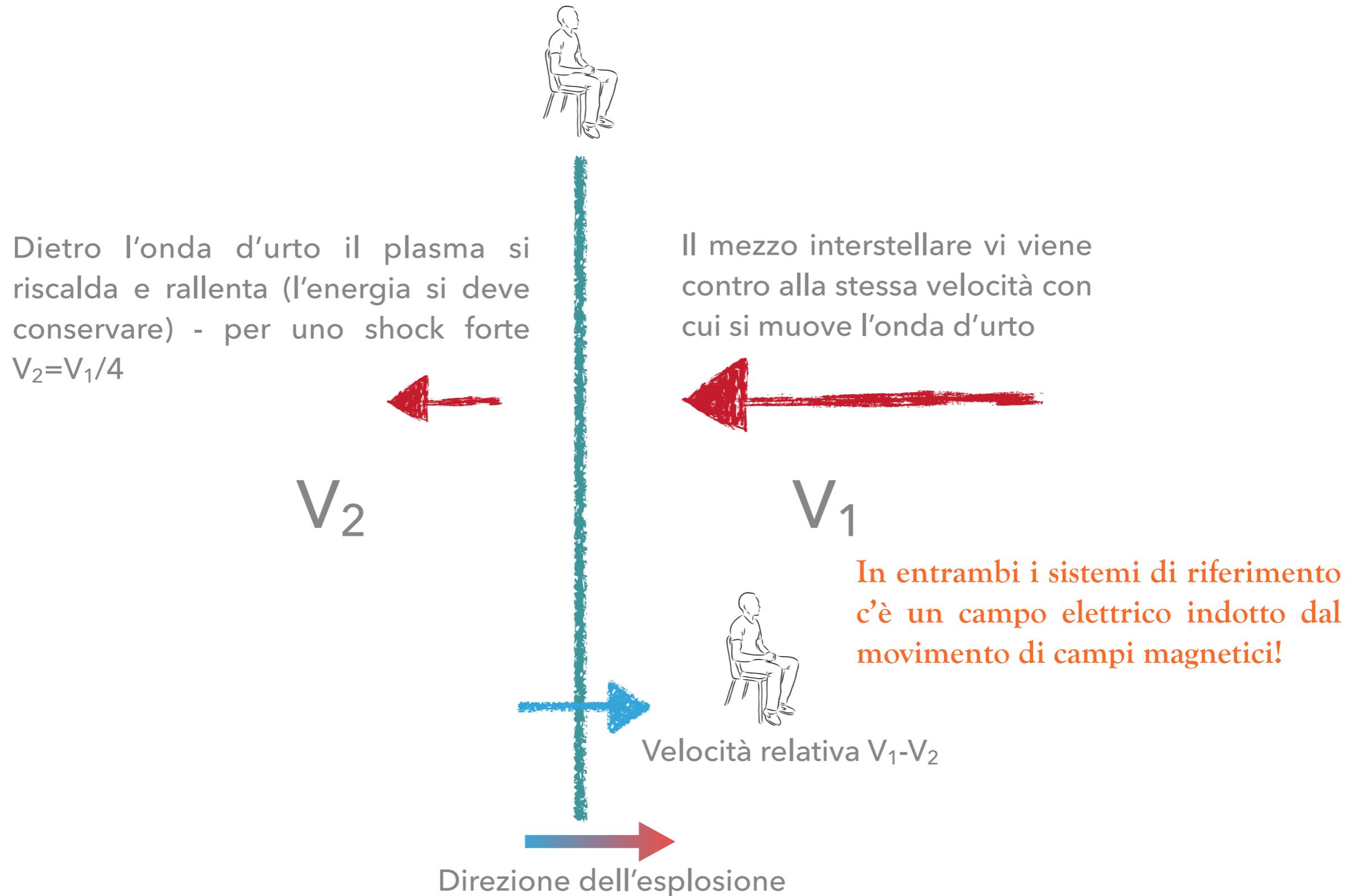
$V_1$

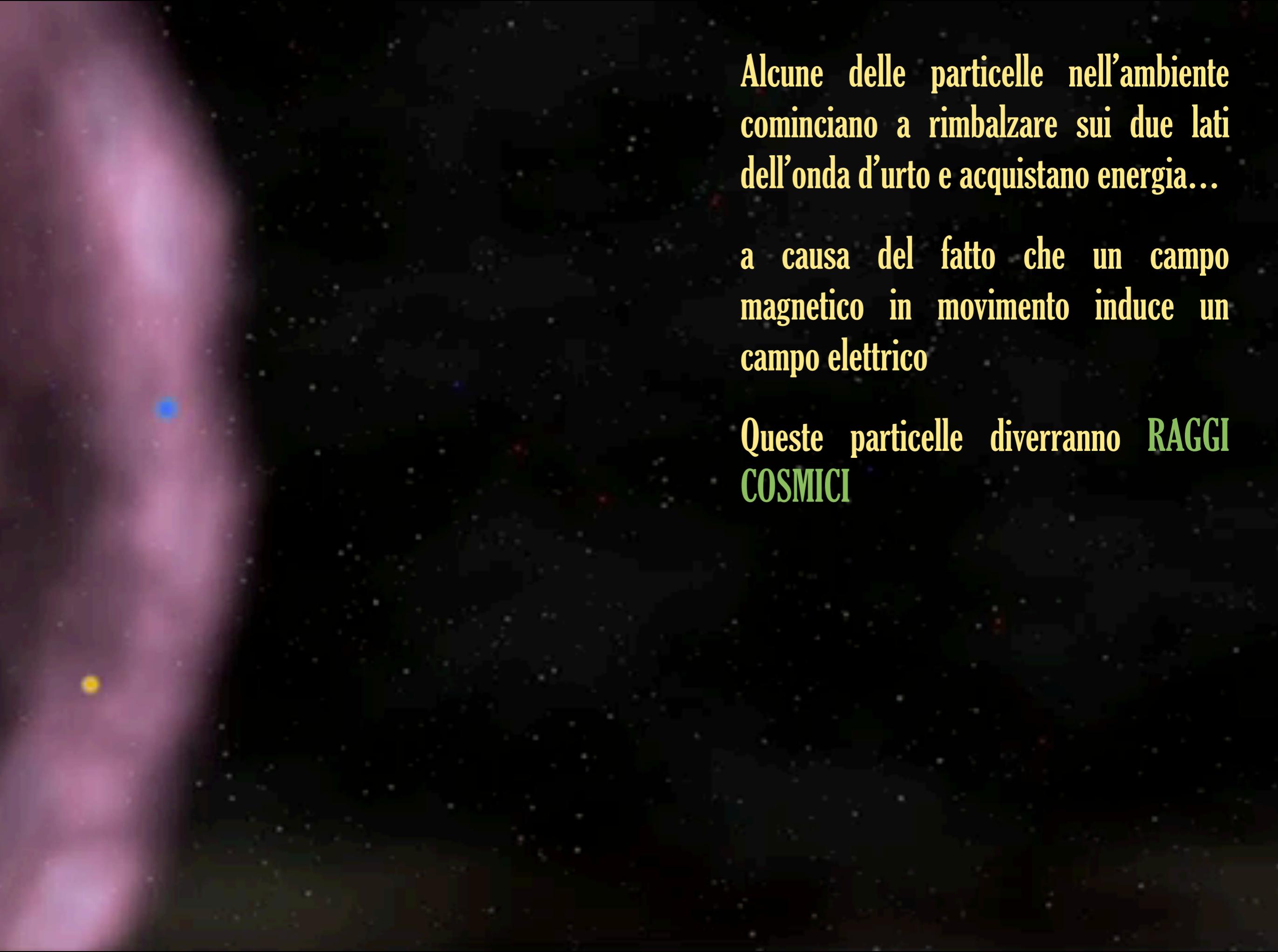
Velocità relativa  $V_1 - V_2$

Direzione dell'esplosione



# GINNASTICA MENTALE: COSA SUCCEDDE SE SI È SEDUTI SU UN'ONDA D'URTO

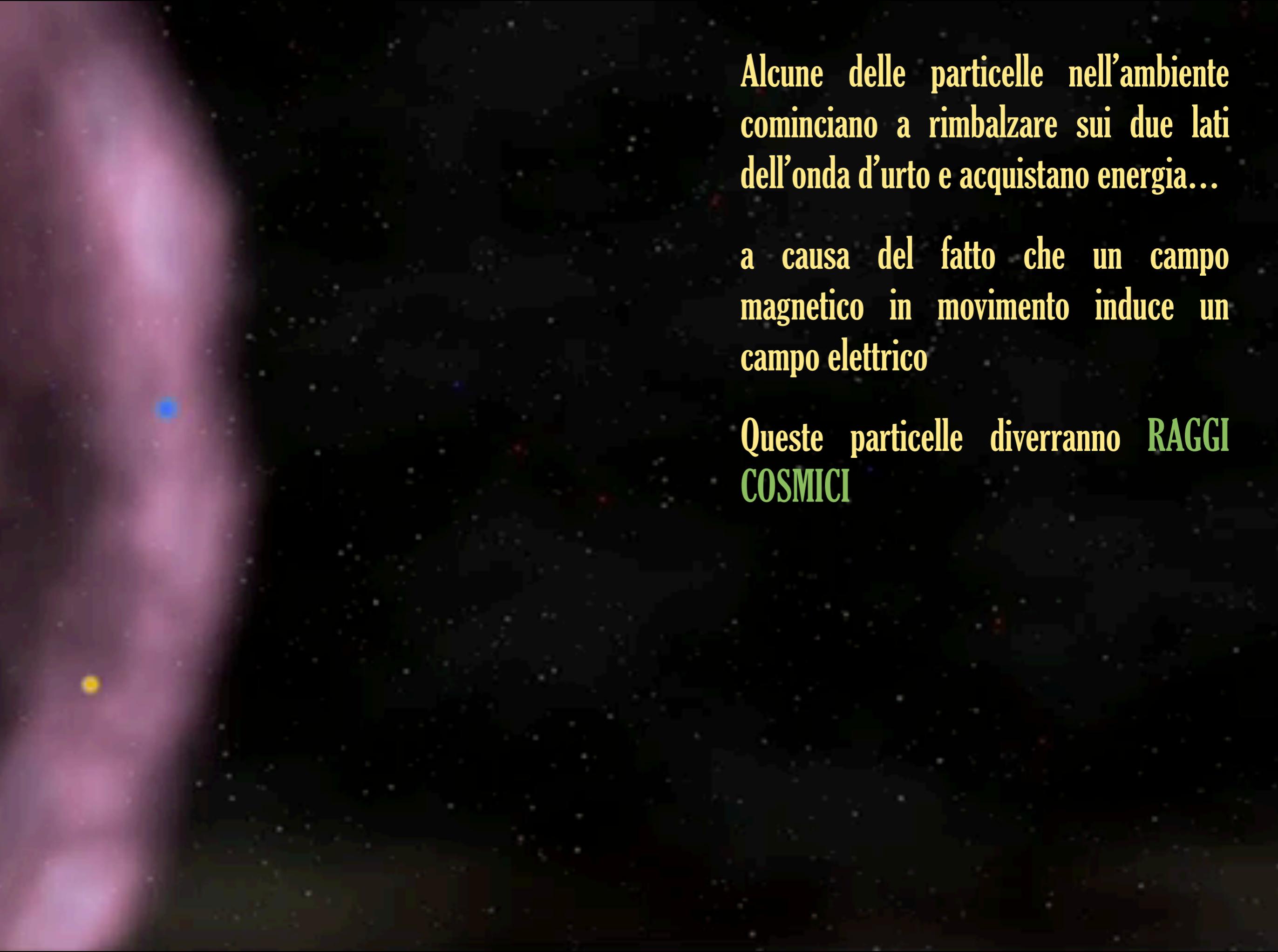




Alcune delle particelle nell'ambiente cominciano a rimbalzare sui due lati dell'onda d'urto e acquistano energia...

a causa del fatto che un campo magnetico in movimento induce un campo elettrico

Queste particelle diverranno **RAGGI COSMICI**



Alcune delle particelle nell'ambiente cominciano a rimbalzare sui due lati dell'onda d'urto e acquistano energia...

a causa del fatto che un campo magnetico in movimento induce un campo elettrico

Queste particelle diverranno **RAGGI COSMICI**



*Contrariamente a quel che avviene nel mondo di ogni giorno, nel mondo delle particelle elementari, nuove particelle, che non erano presenti all'inizio, possono essere create dal nulla, a condizione che certi numeri quantici siano preservati...*

*Quando due protoni si scontrano, se c'è abbastanza energia, nuove particelle, i pioni, possono essere prodotte*

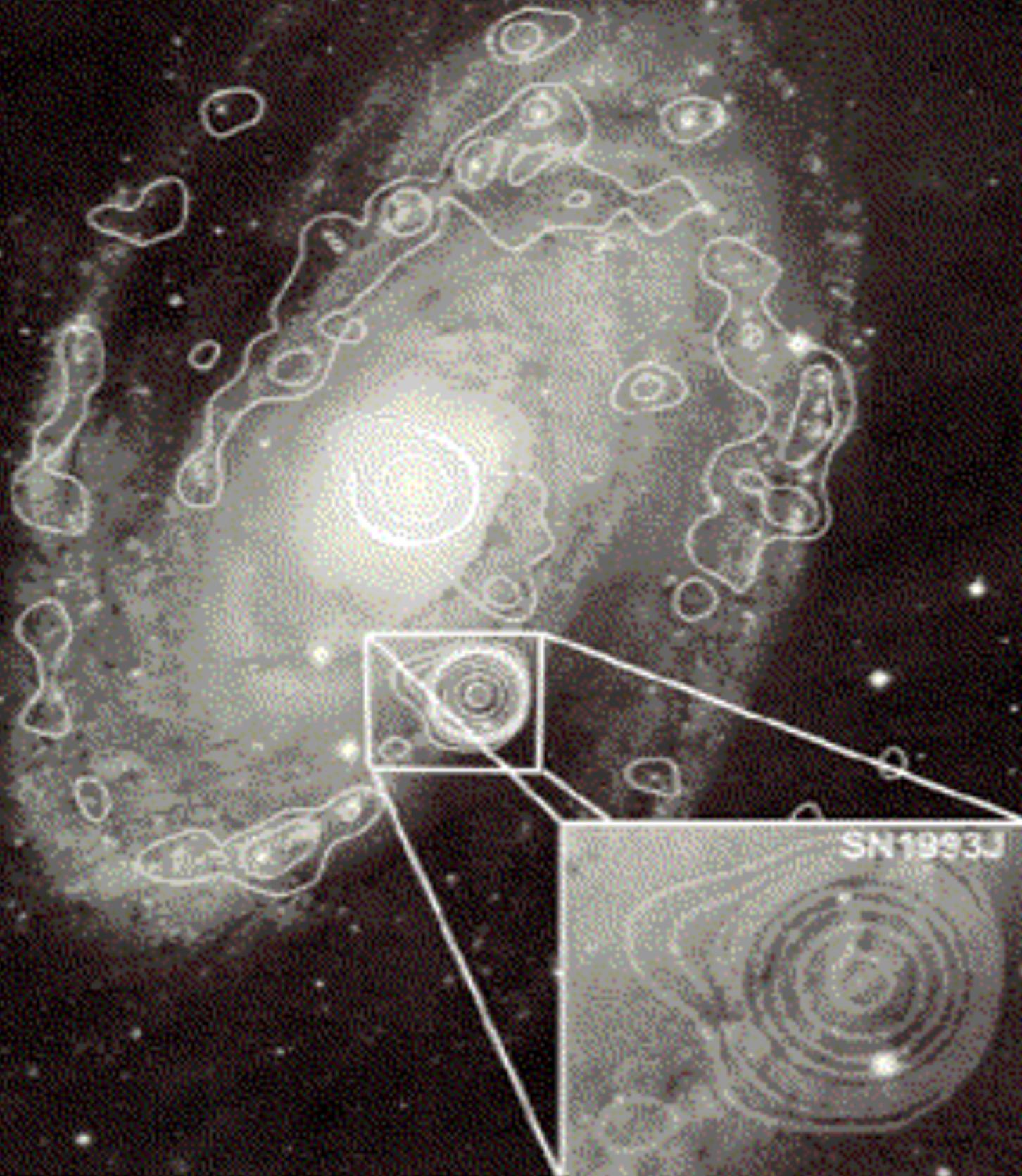
*Esse hanno vita molto breve e rapidamente decadono producendo particelle note, come i fotoni (luce gamma) ed elettroni (e positroni)*



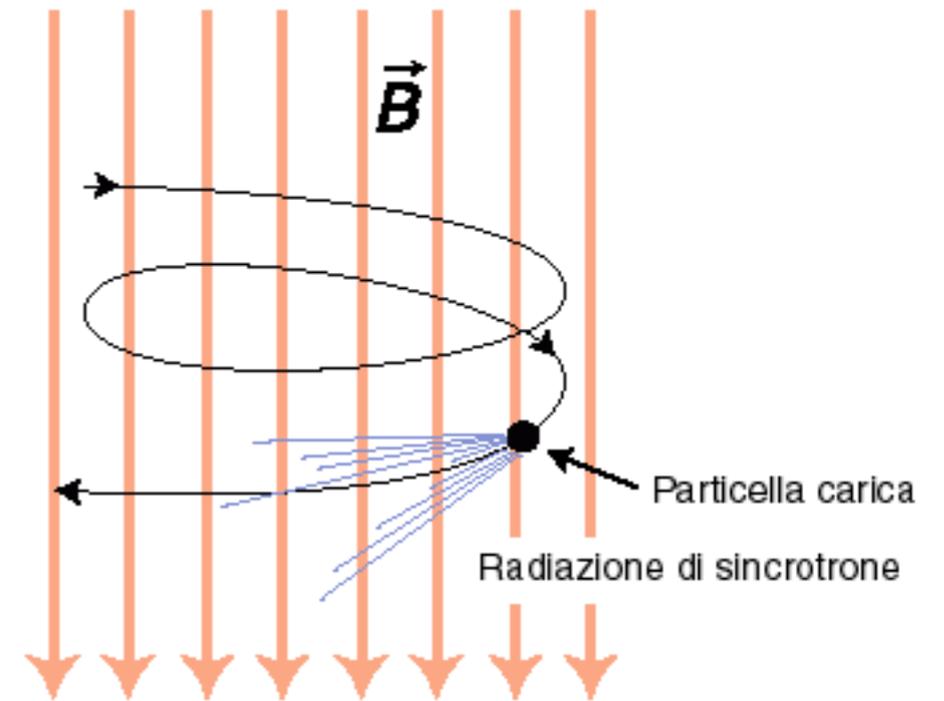
*Contrariamente a quel che avviene nel mondo di ogni giorno, nel mondo delle particelle elementari, nuove particelle, che non erano presenti all'inizio, possono essere create dal nulla, a condizione che certi numeri quantici siano preservati...*

*Quando due protoni si scontrano, se c'è abbastanza energia, nuove particelle, i pioni, possono essere prodotte*

*Esse hanno vita molto breve e rapidamente decadono producendo particelle note, come i fotoni (luce gamma) ed elettroni (e positroni)*



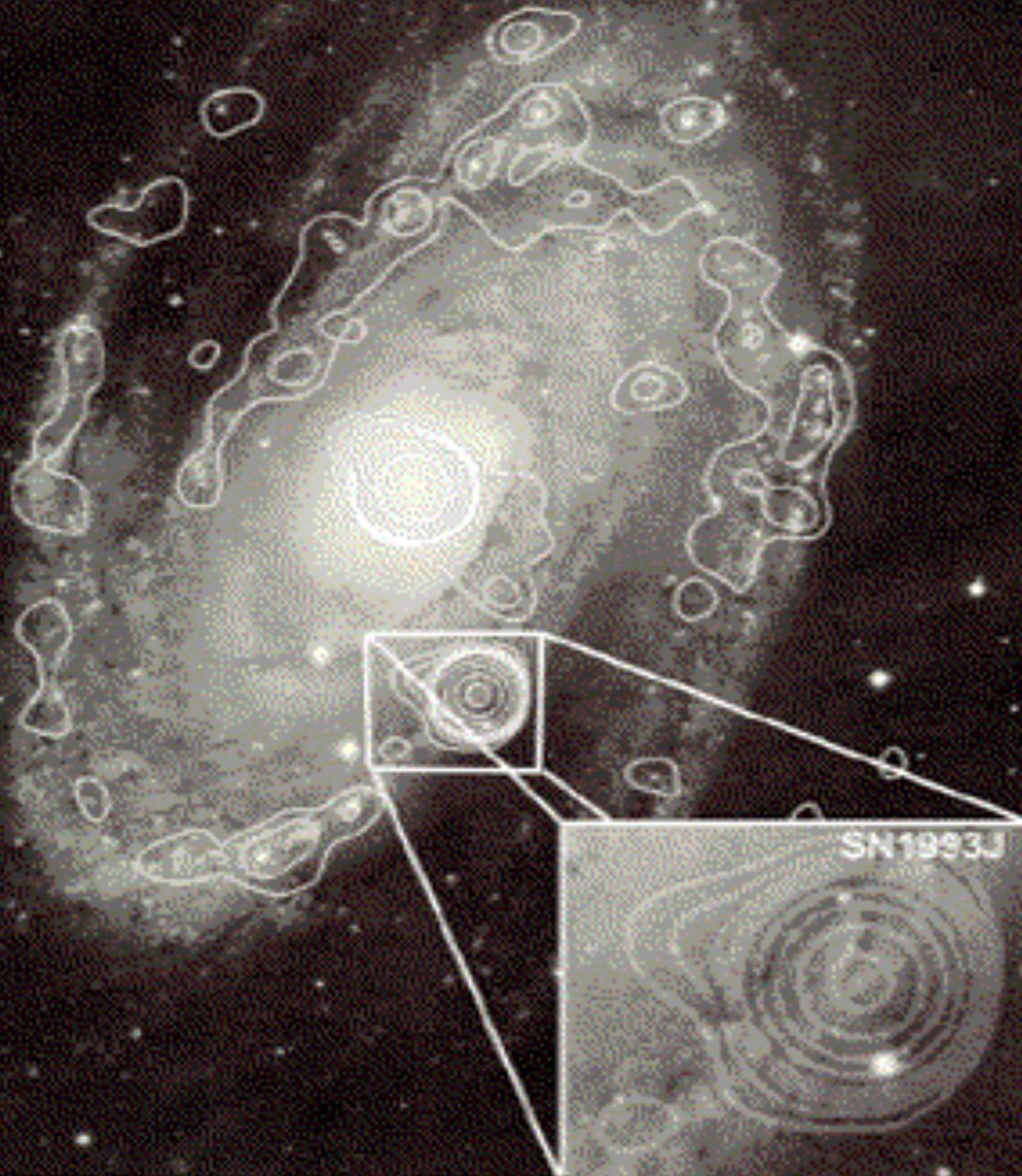
Radiazione di sincrotrone



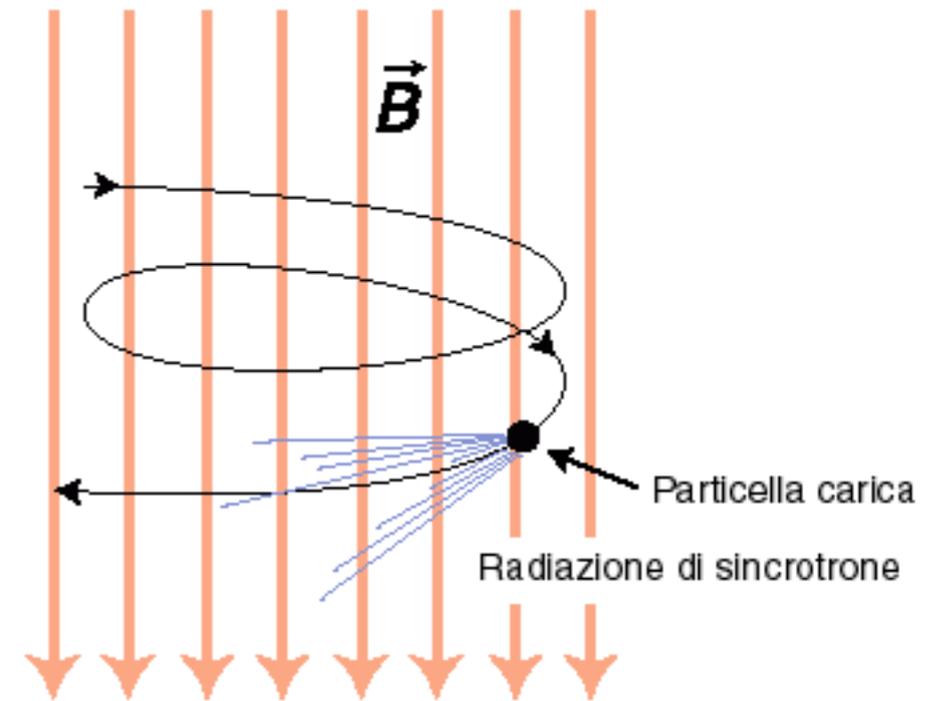
Una particella carica nel campo magnetico vicino all'onda d'urto emette una radiazione detta di sincrotrone, che consiste in onde radio!

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

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



Radiazione di sincrotrone

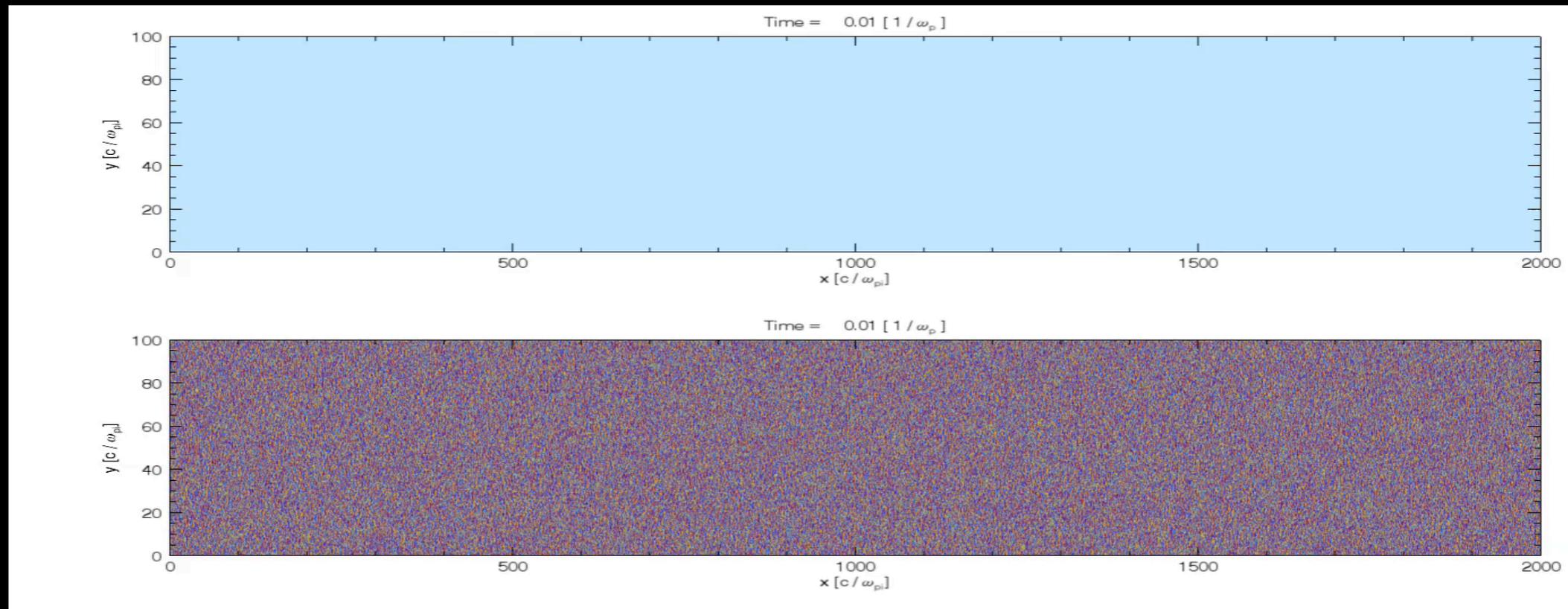


Una particella carica nel campo magnetico vicino all'onda d'urto emette una radiazione detta di sincrotrone, che consiste in onde radio!

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

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

A dispetto dei sofisticati modelli di accelerazione di particelle che abbiamo sviluppato, e delle imponenti simulazioni numeriche in cui il fenomeno viene emulato a partire da principi primi...

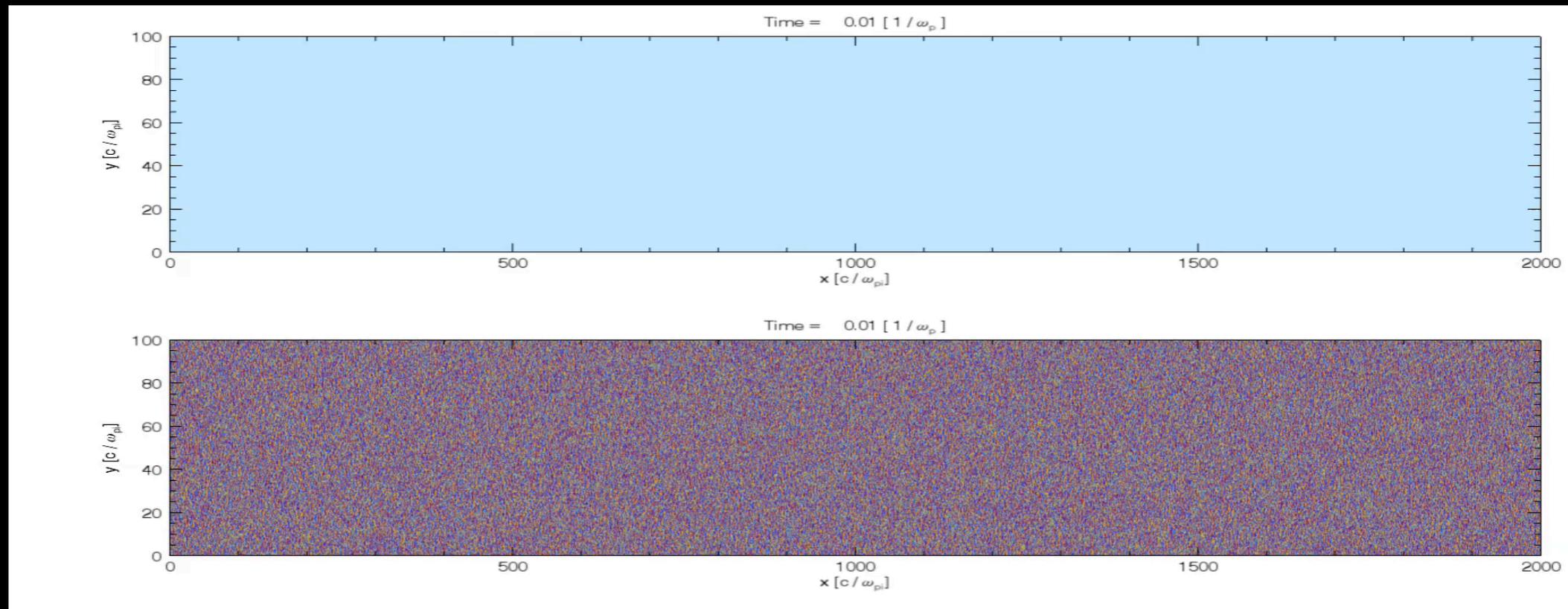


L'energia massima che viene prodotta sia in esplosioni di supernova sia in ammassi stellari è troppo bassa rispetto a quella dei raggi cosmici osservati a Terra

Inoltre, ad oggi non abbiamo osservato alcuna sorgente la cui radiazione punti ad una energia massima delle particelle accelerate confrontabile con quelle a Terra?

*Dove sono dunque i cosiddetti PEVATRONI?*

A dispetto dei sofisticati modelli di accelerazione di particelle che abbiamo sviluppato, e delle imponenti simulazioni numeriche in cui il fenomeno viene emulato a partire da principi primi...



L'energia massima che viene prodotta sia in esplosioni di supernova sia in ammassi stellari è troppo bassa rispetto a quella dei raggi cosmici osservati a Terra

Inoltre, ad oggi non abbiamo osservato alcuna sorgente la cui radiazione punti ad una energia massima delle particelle accelerate confrontabile con quelle a Terra?

*Dove sono dunque i cosiddetti PEVATRONI?*

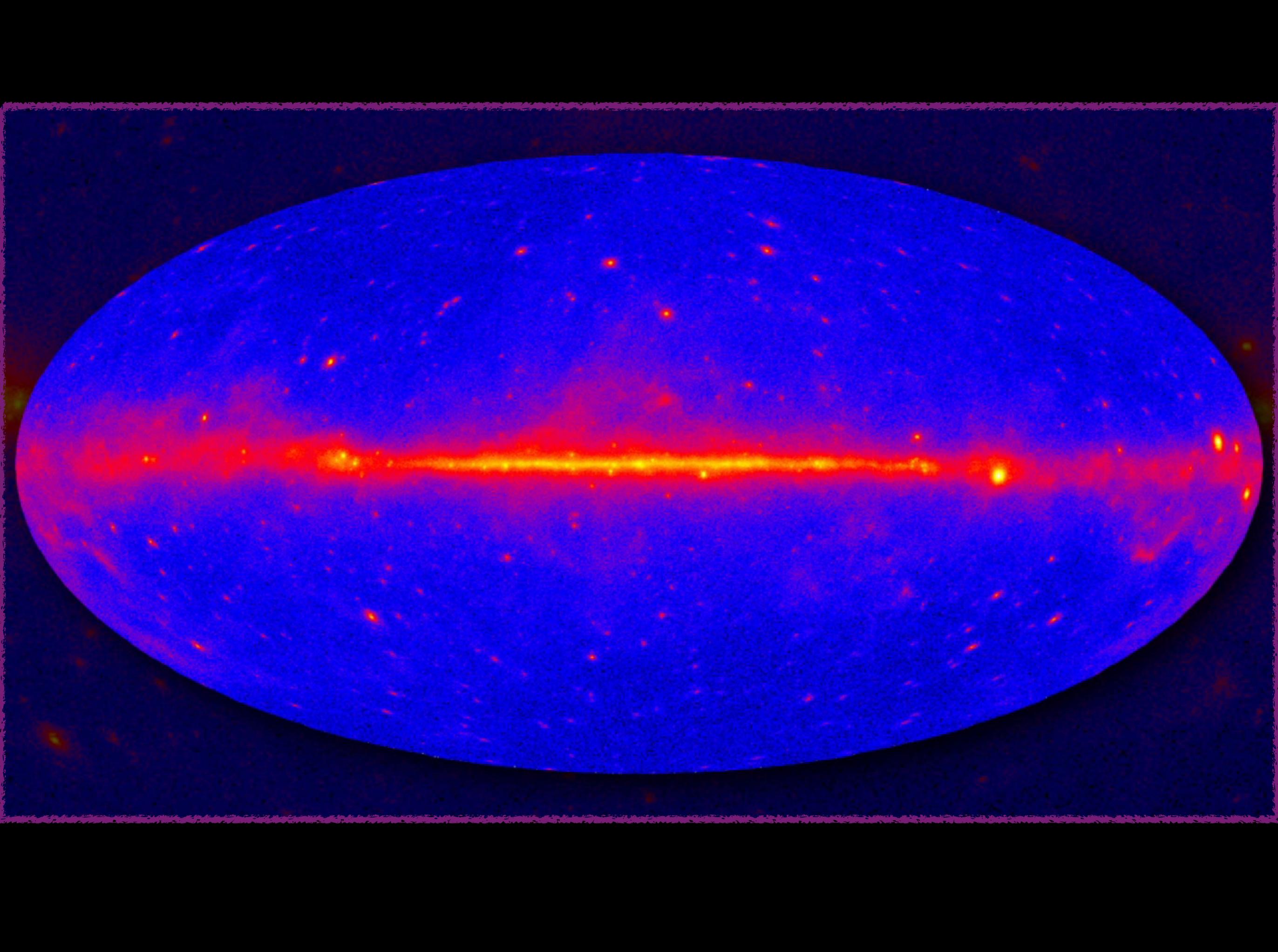
**Il viaggio verso di noi... puo' durare  
decine di milioni di anni!**

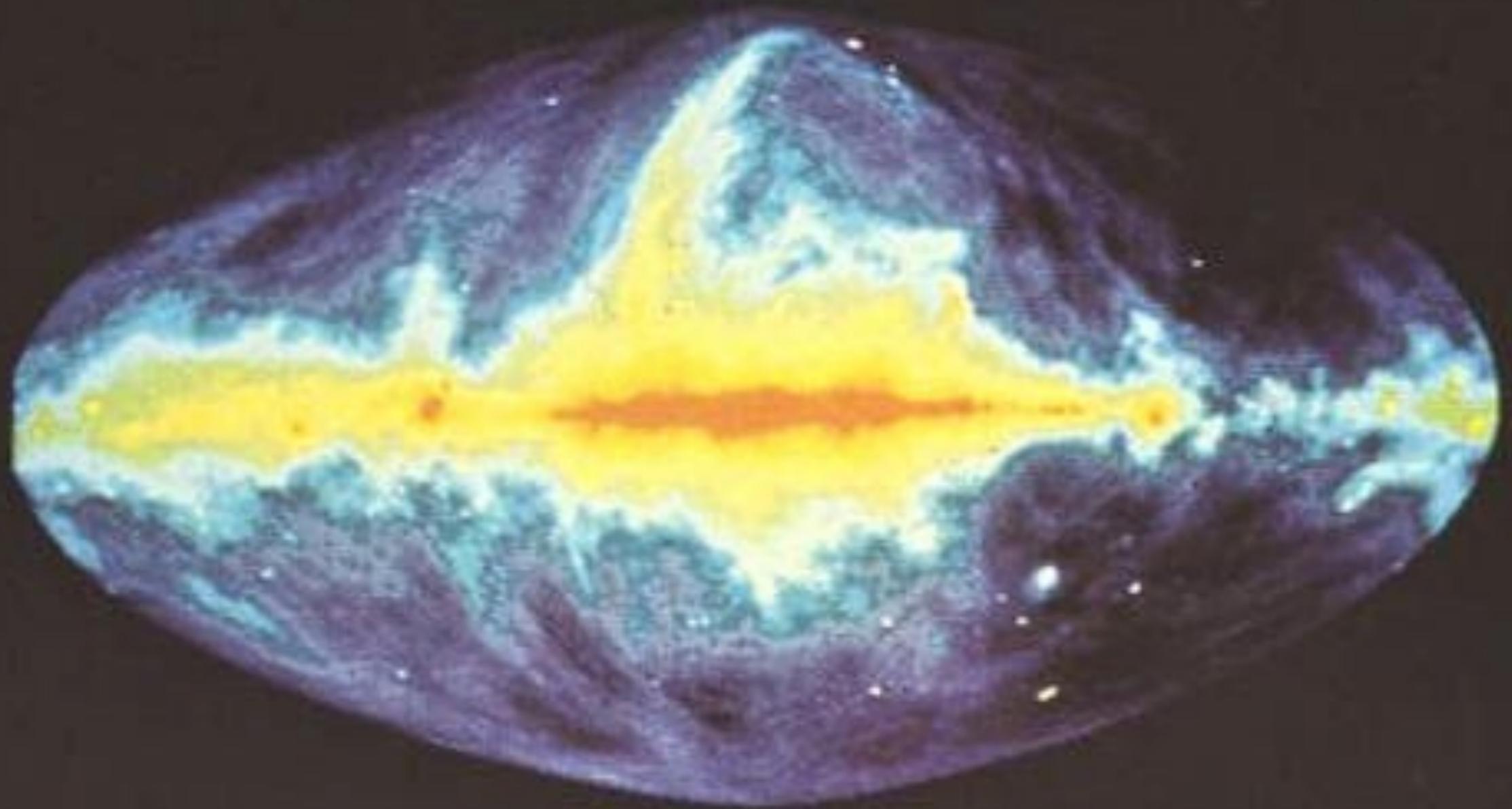


**Il viaggio verso di noi... puo' durare  
decine di milioni di anni!**



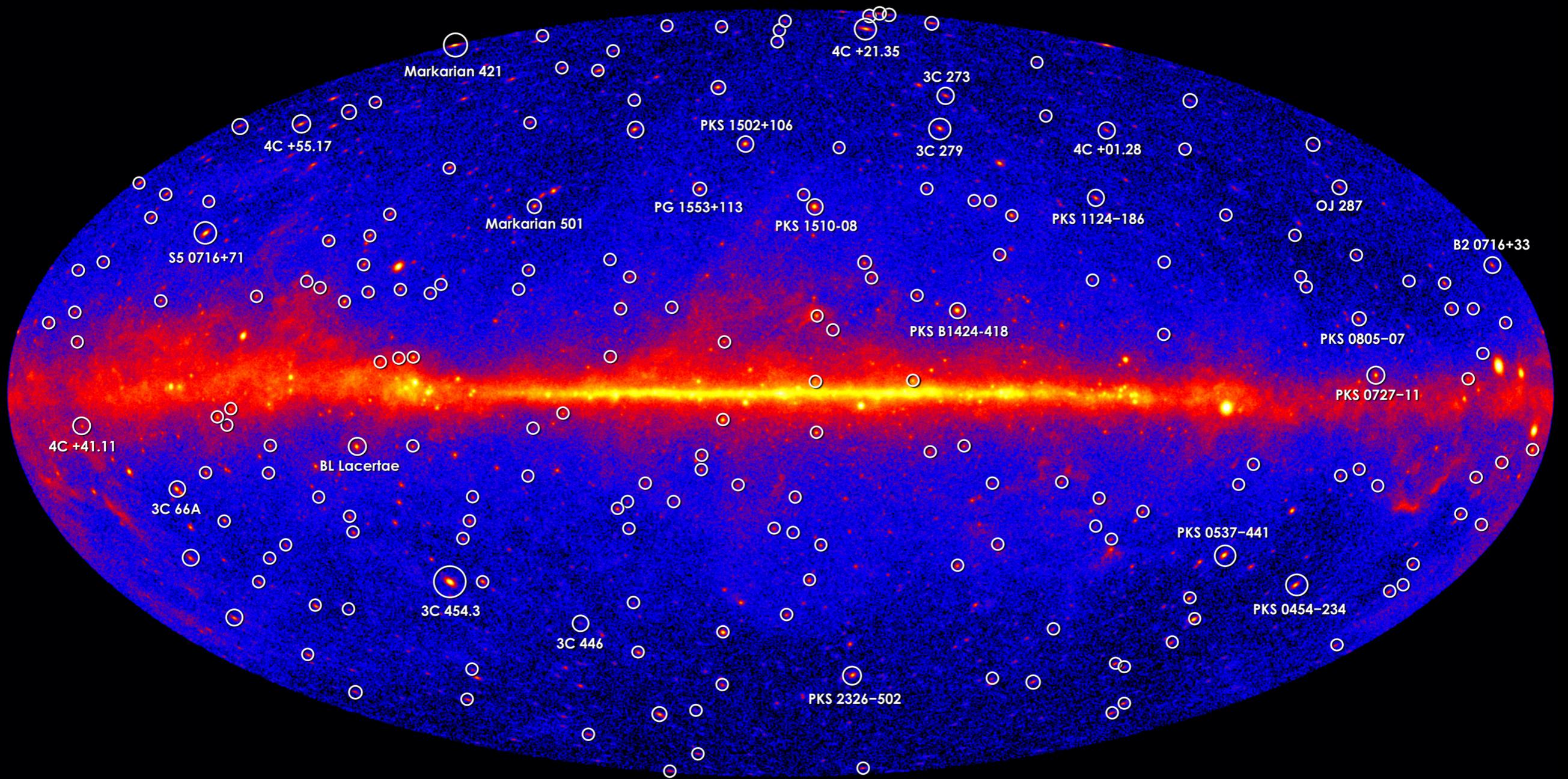


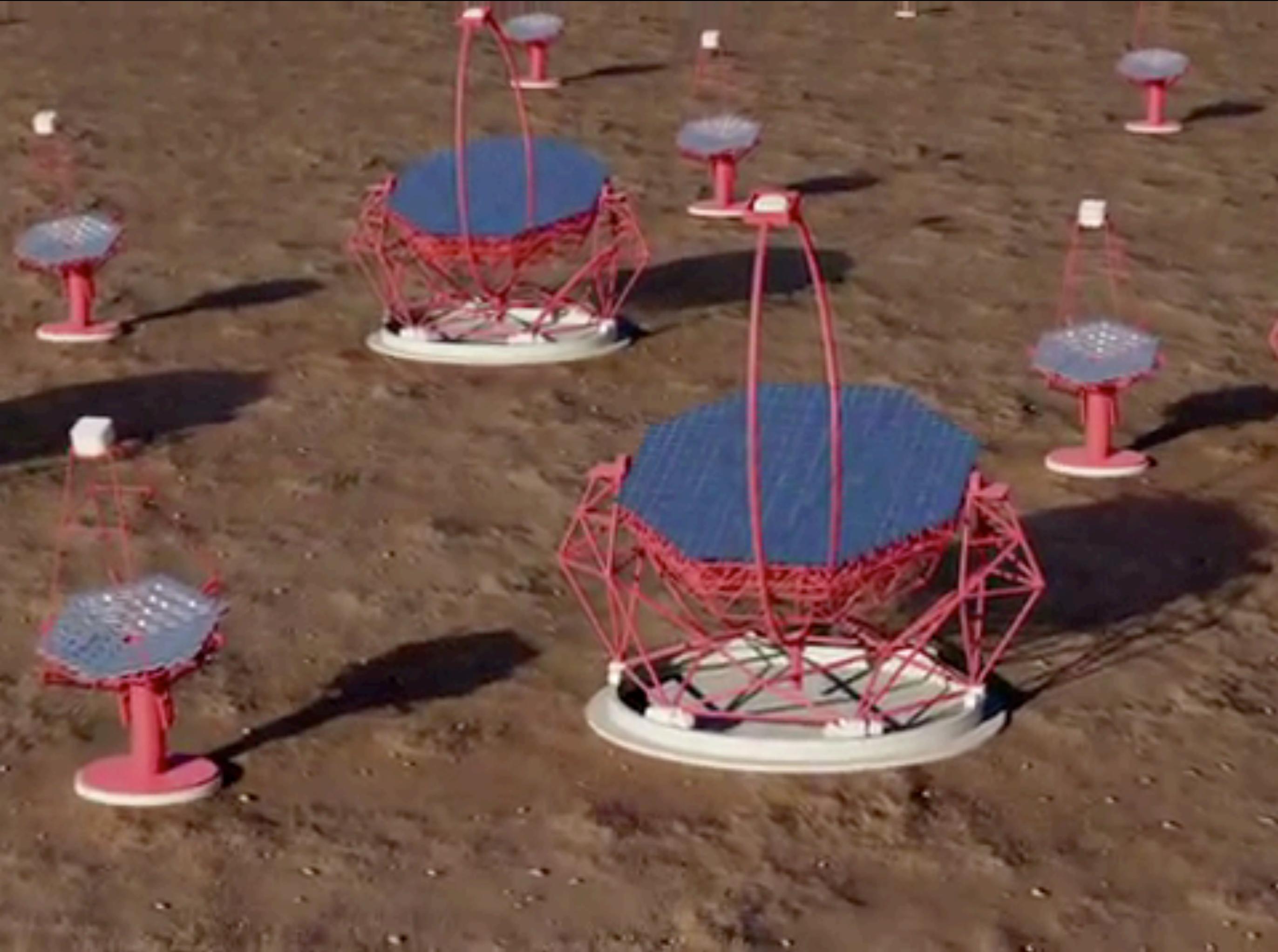


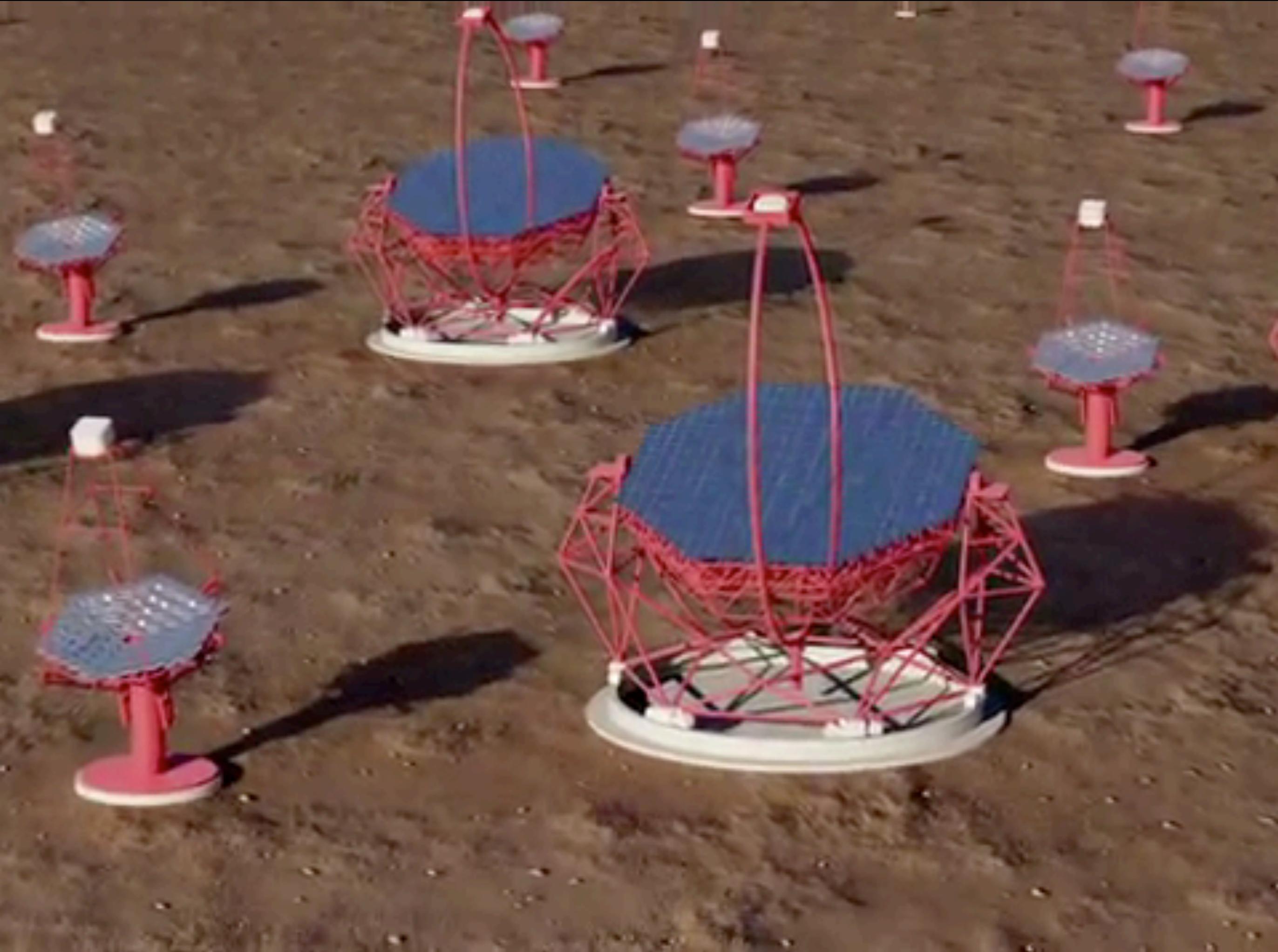












# RAGGI COSMICI DALL' UNIVERSO !!!



**SOLE**

La nostra Galassia, la Via Lattea, non è grande a sufficienza né per accelerare né per contenere i raggi cosmici di energia superiore a circa  $10^{18}$  eV, che devono dunque provenire da sorgenti esterne, su distanze cosmologiche.

Questi cosiddetti **RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA** sono avvolti ancora in un alone di mistero perché non conosciamo con certezza le loro sorgenti, e il loro moto dalle sorgenti sino a noi è tutto fuorché banale

# RAGGI COSMICI DALL' UNIVERSO !!!



SOLE

La nostra Galassia, la Via Lattea, non è grande a sufficienza né per accelerare né per contenere i raggi cosmici di energia superiore a circa  $10^{18}$  eV, che devono dunque provenire da sorgenti esterne, su distanze cosmologiche.

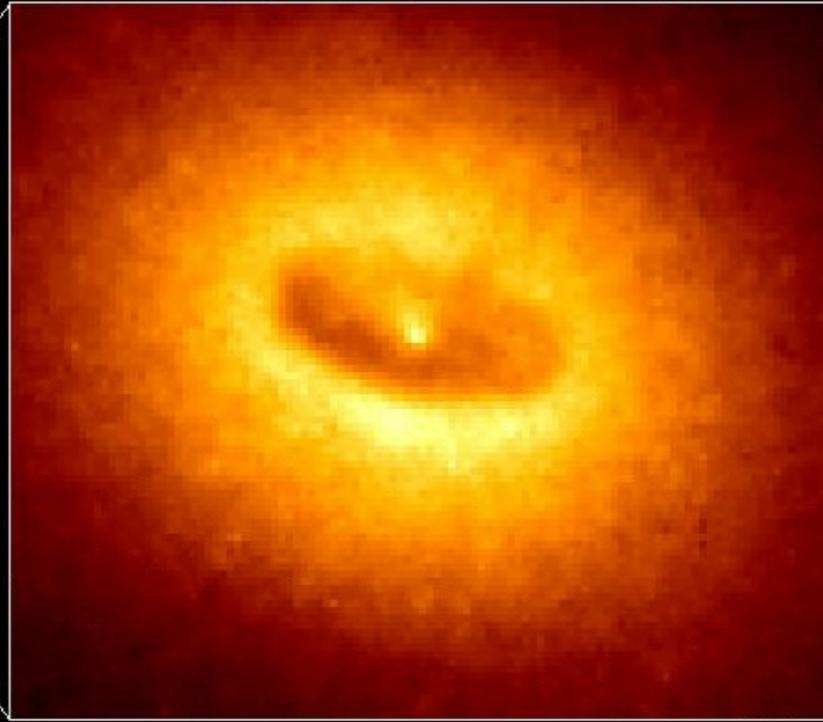
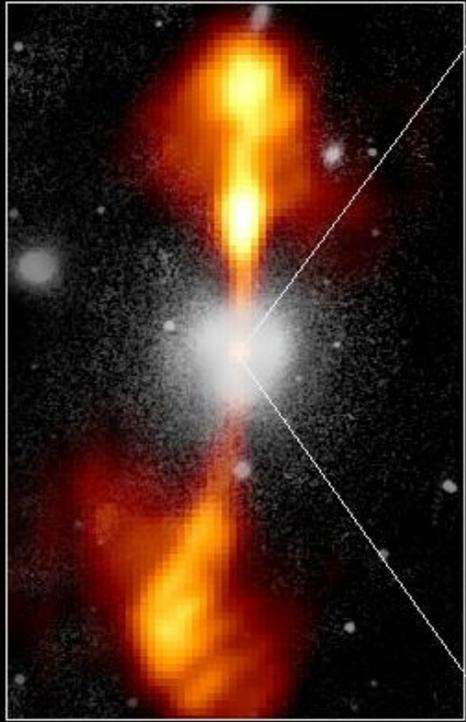
Questi cosiddetti **RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA** sono avvolti ancora in un alone di mistero perché non conosciamo con certezza le loro sorgenti, e il loro moto dalle sorgenti sino a noi è tutto fuorché banale

# Core of Galaxy NGC 4261

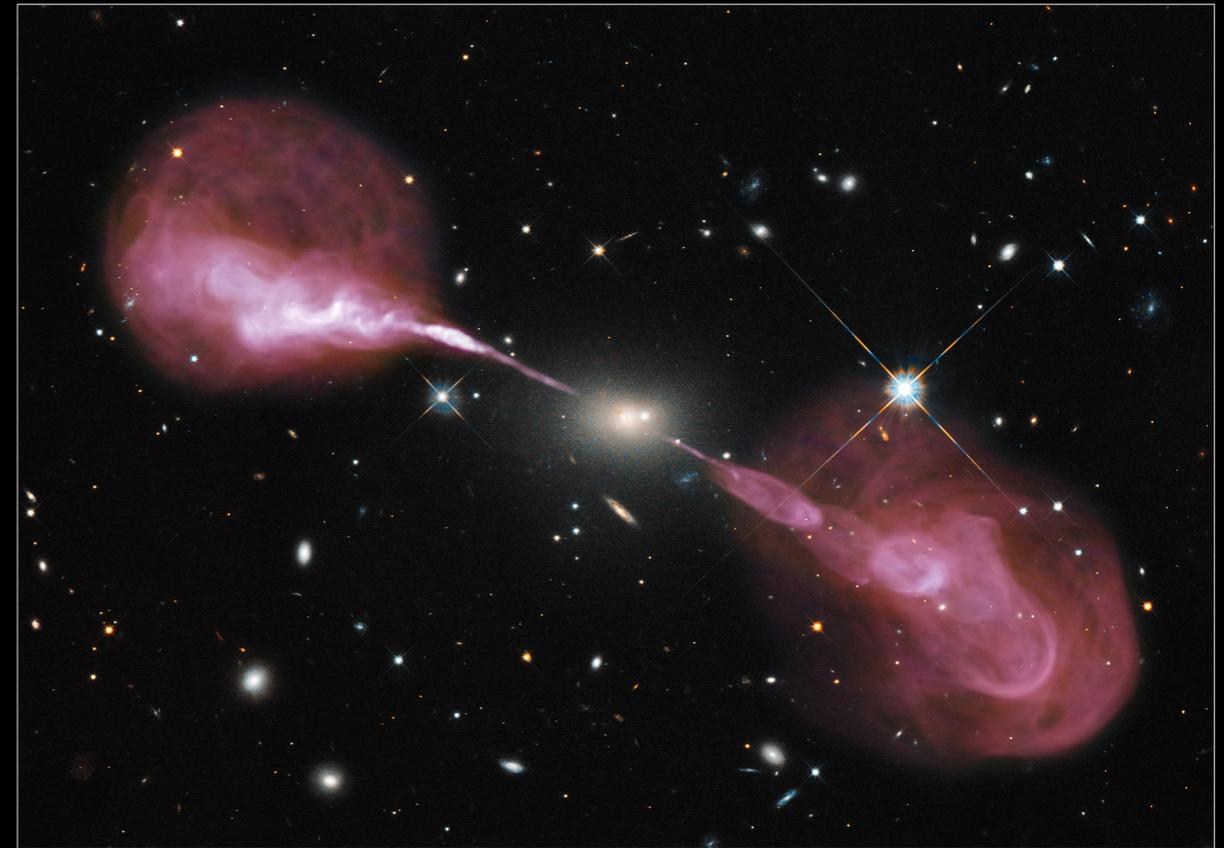
Hubble Space Telescope  
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

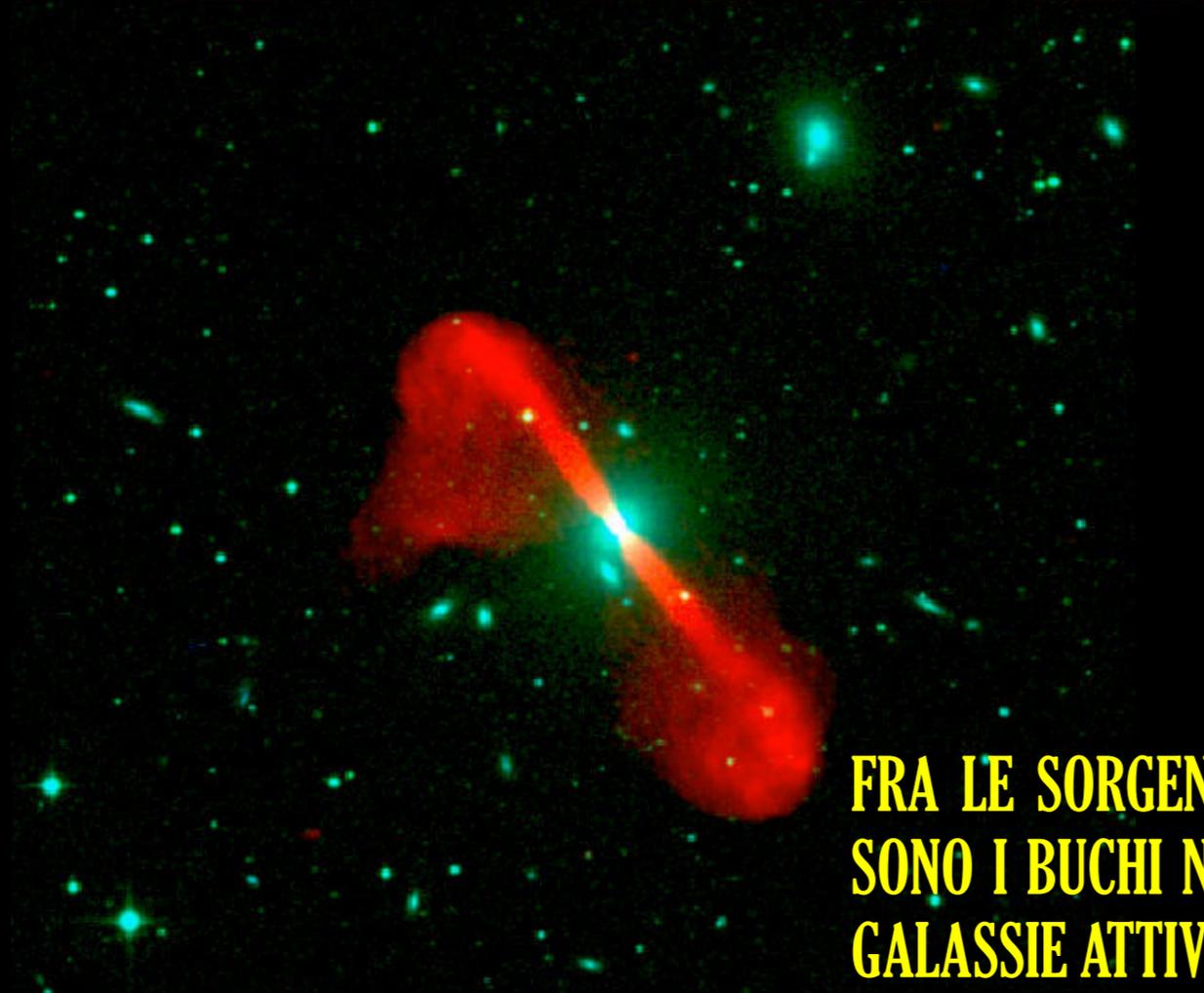
HST Image of a Gas and Dust Disk



Radio Galaxy Hercules A



Hubble  
Heritage



**FRA LE SORGENTI POSSIBILI DI RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA CI SONO I BUCHI NERI SUPERMASSICI OSPITATI AL CENTRO DELLE COSIDDETTE GALASSIE ATTIVE**



IL DIFFICILE VIAGGIO  
ATTRAVERSO L'UNIVERSO



IL DIFFICILE VIAGGIO  
ATTRAVERSO L'UNIVERSO

# IL DIFFICILE VIAGGIO ATTRAVERSO L'UNIVERSO

*Difficile perché mentre si muovono dalle sorgenti sino a noi, l'Universo si espande e loro perdono un po' della loro energia...*

# IL DIFFICILE VIAGGIO ATTRAVERSO L'UNIVERSO

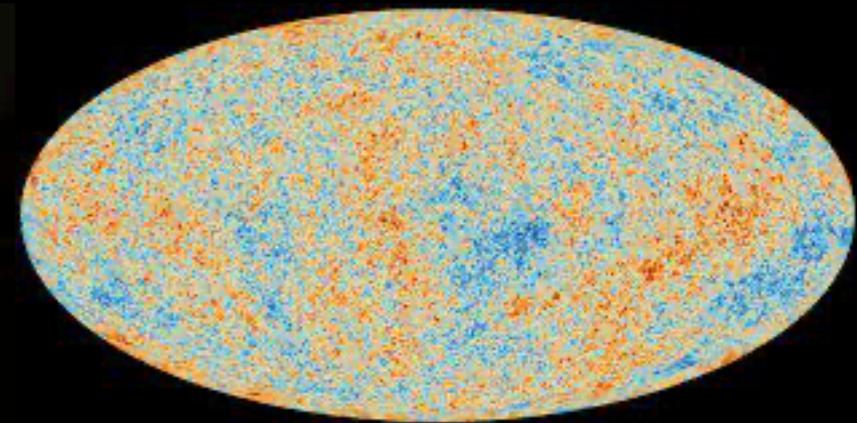
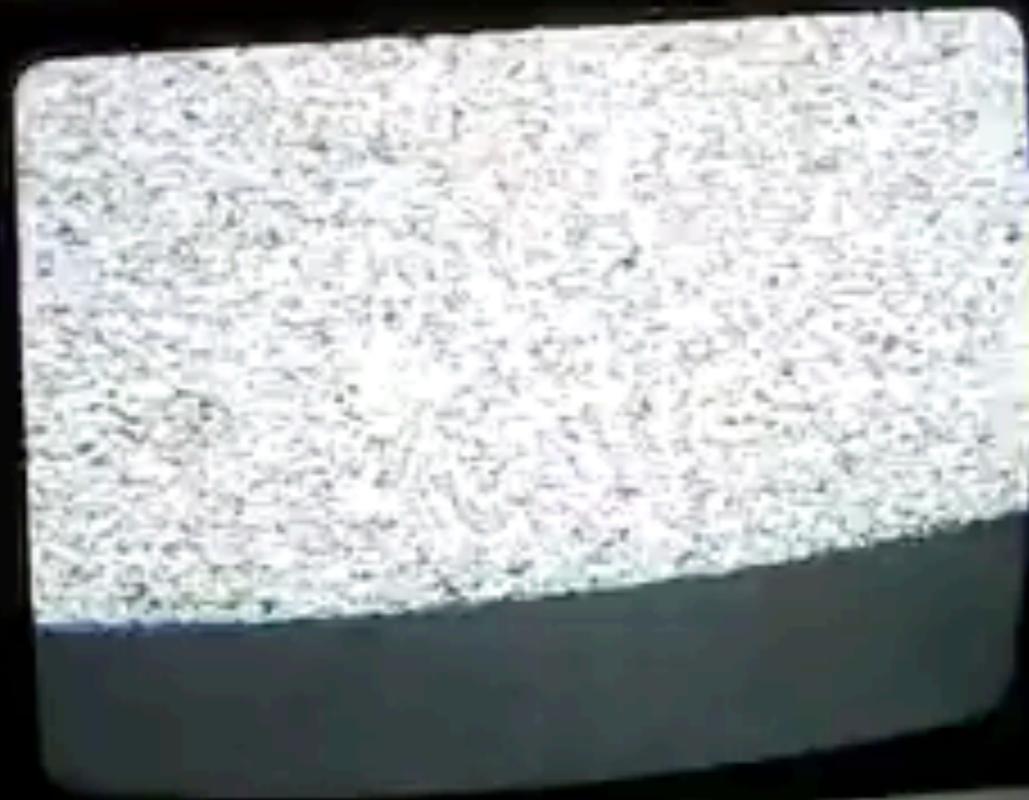
*Difficile perché mentre si muovono dalle sorgenti sino a noi, l'Universo si espande e loro perdono un po' della loro energia...*

*Ma soprattutto difficile perché mentre si muovono dalle sorgenti sino a noi, collidono contro la luce residua del Big Bang, il cosiddetto fondo a microonde, e così facendo muoiono rapidamente...*

L'Universo e' permeato di una debole radiazione, la cosa più fredda esistente in Natura, solo pochi 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

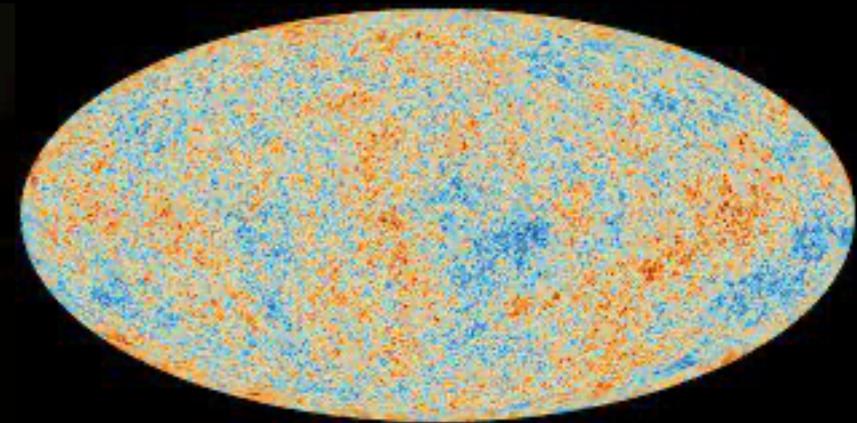
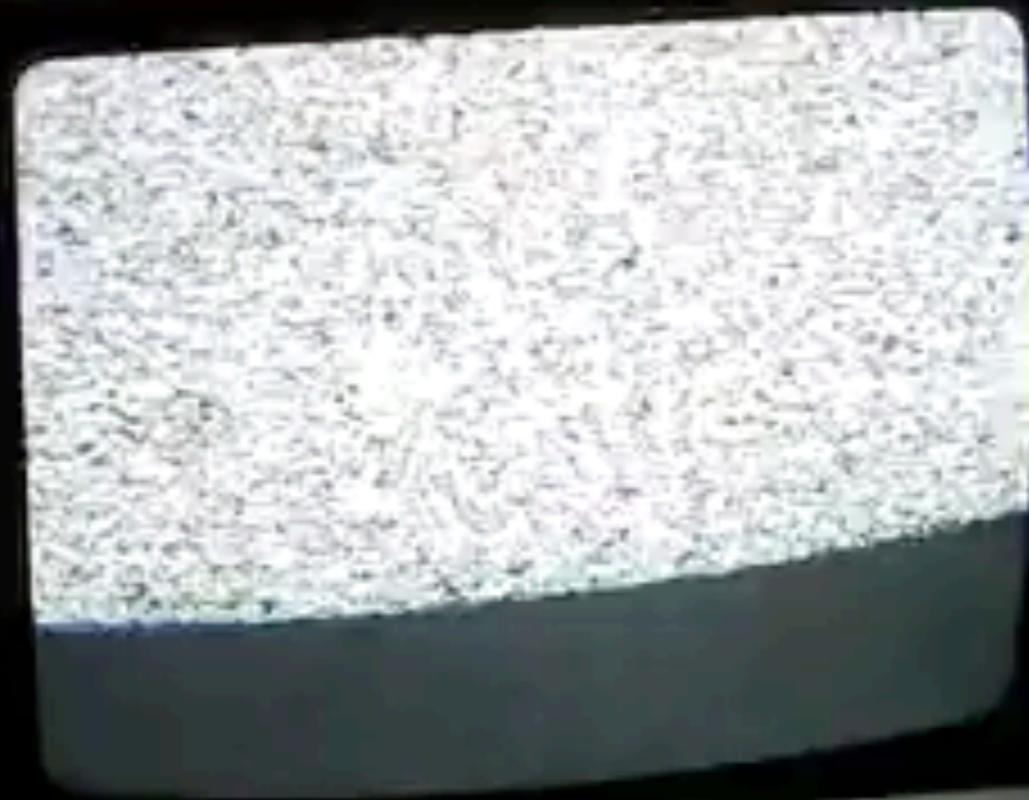
**Circa l'1% della statica in un vecchio televisore e' dovuto al Big Bang!!!**



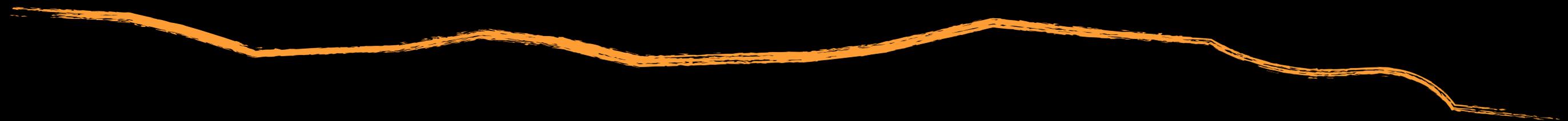
L'Universo e' permeato di una debole radiazione, la cosa più fredda esistente in Natura, solo pochi gradi sopra lo zero assoluto...

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!!!**



# DUE PEZZETTINI DI FISICA...



# DUE PEZZETTINI DI FISICA...

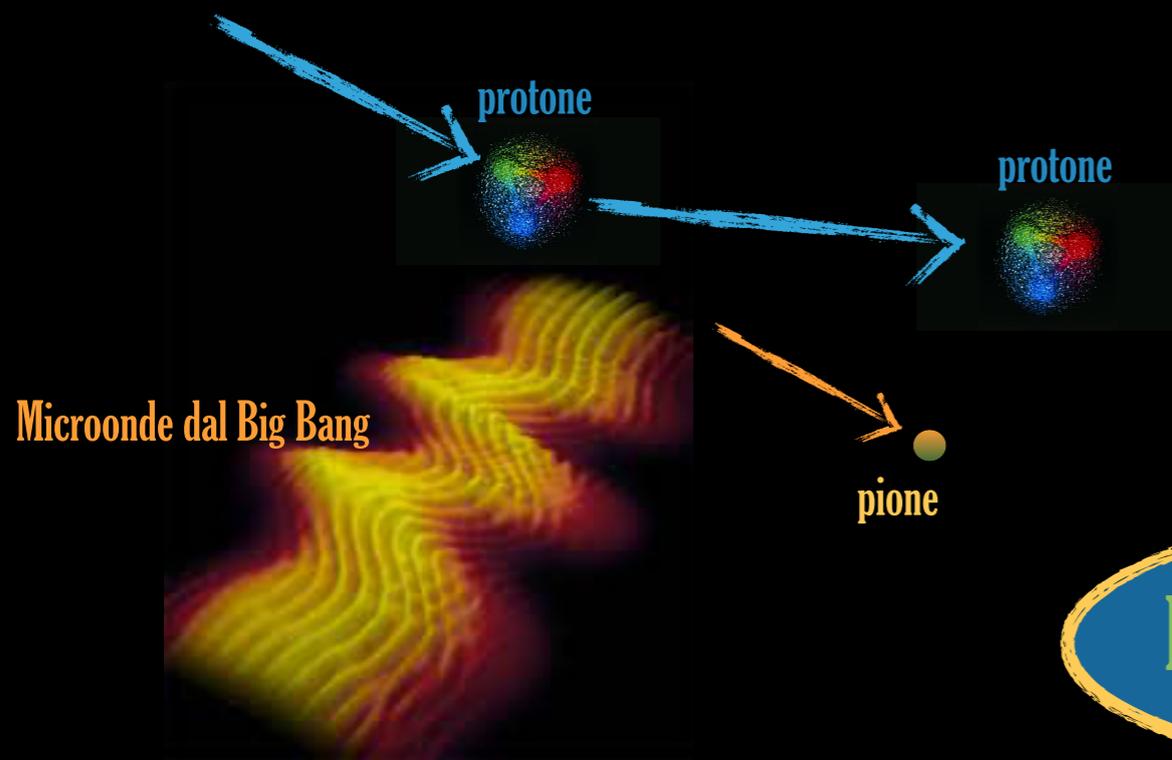


Foto-produzione di pioni

# DUE PEZZETTINI DI FISICA...

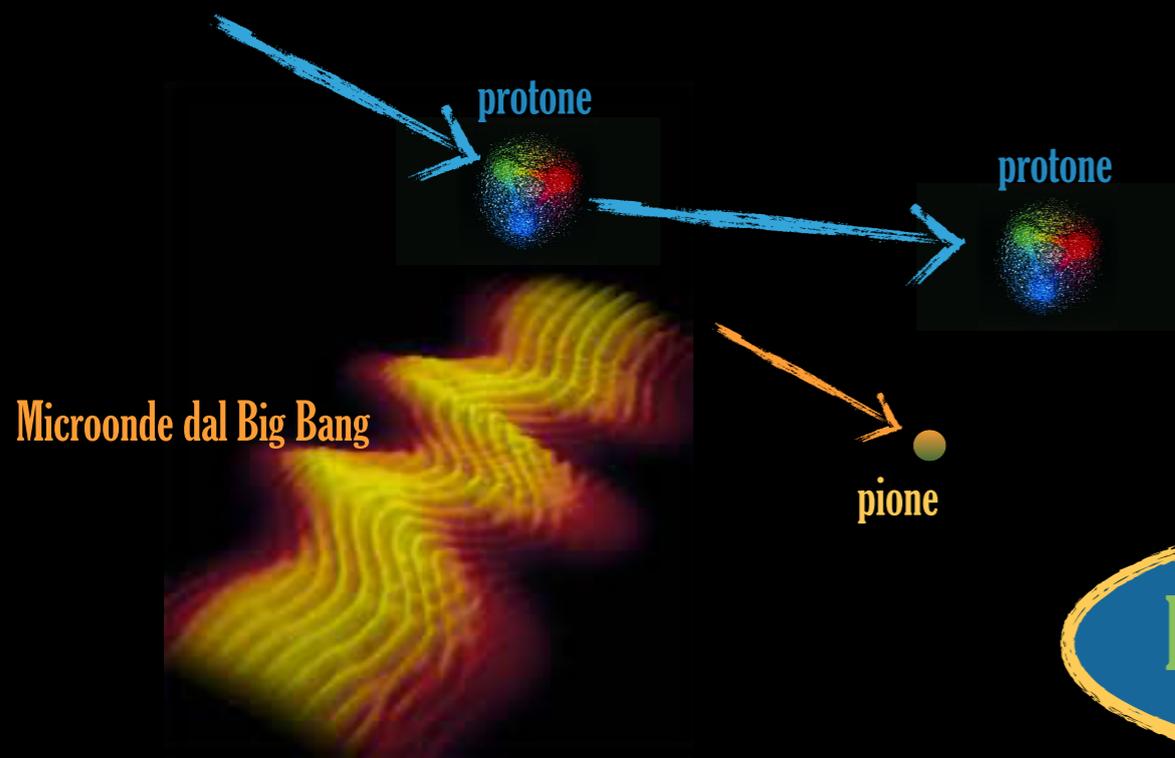


Foto-produzione di pioni

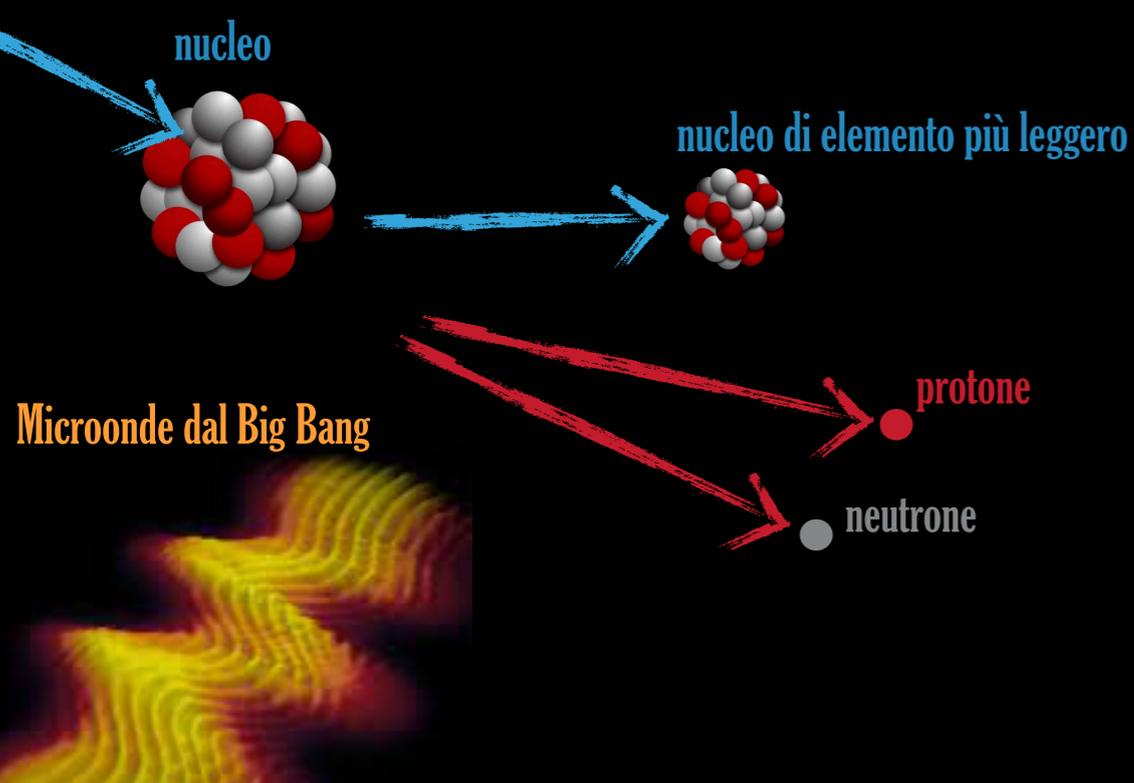
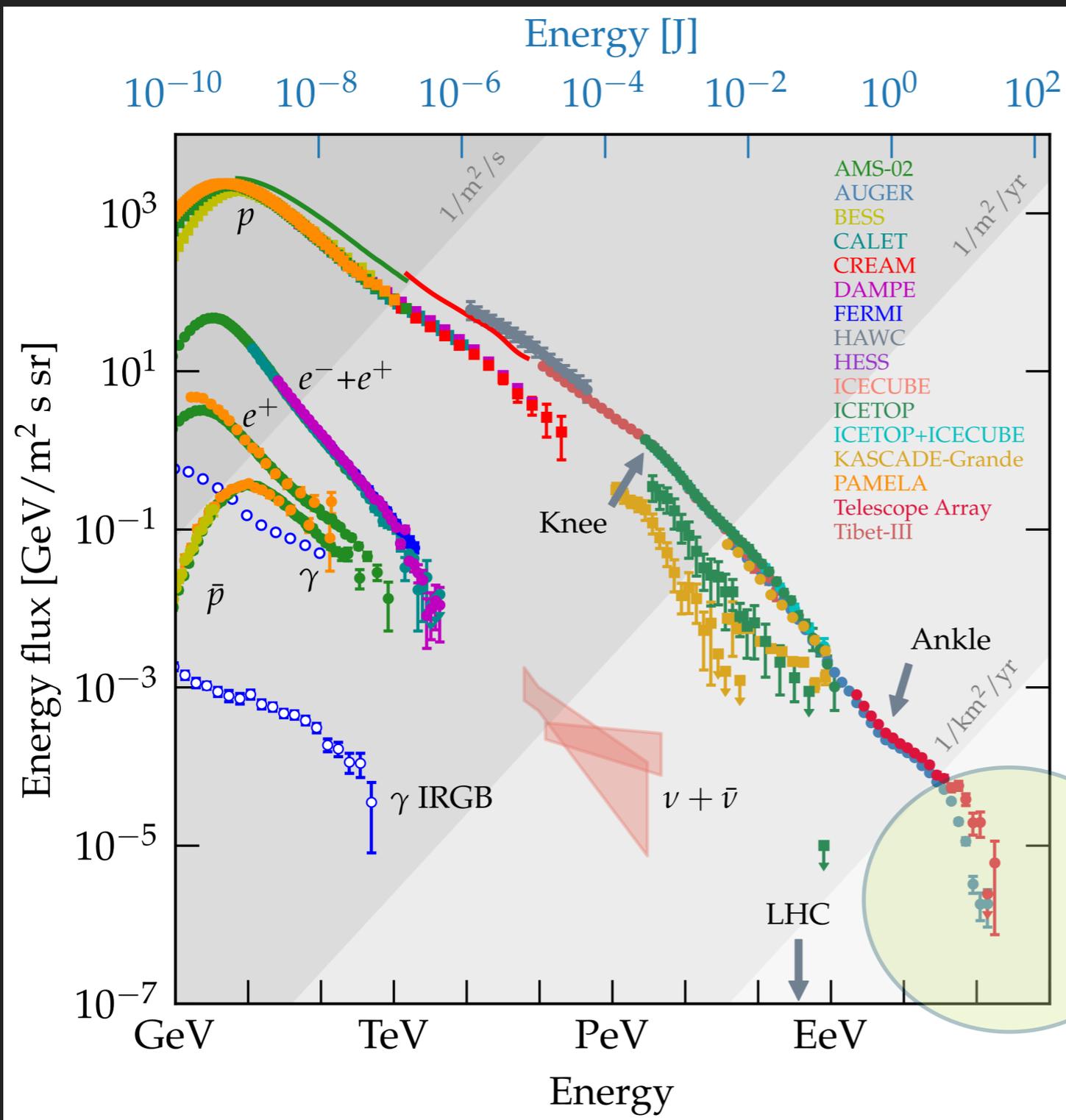


Foto-disintegrazione di nuclei

# DOVE I RAGGI COSMICI MUOIONO



Qui i raggi cosmici di energia altissima fanno fatica ad arrivare sulla Terra, a causa delle loro interazioni con la radiazione fossile dal Big Bang

Noi chiamiamo questa cosa:

la soppressione di Greisen-Zatsepin-Kuzmin

*CONTARE I RAGGI COSMICI DI  
ALTISSIMA ENERGIA*

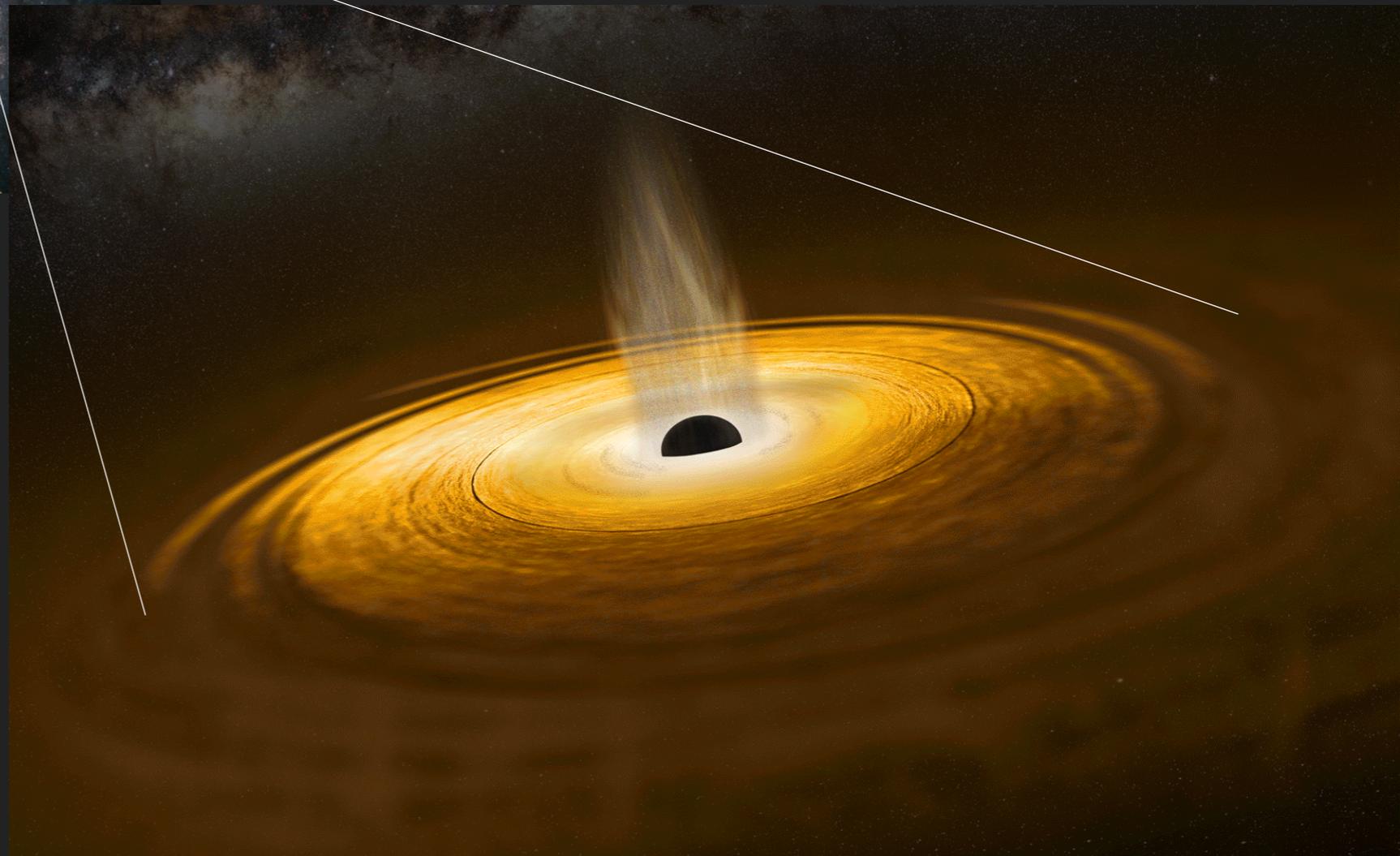
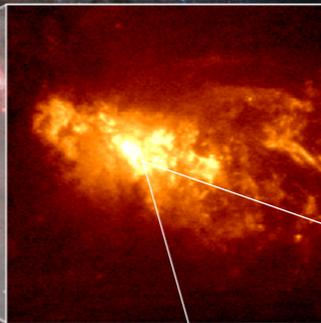
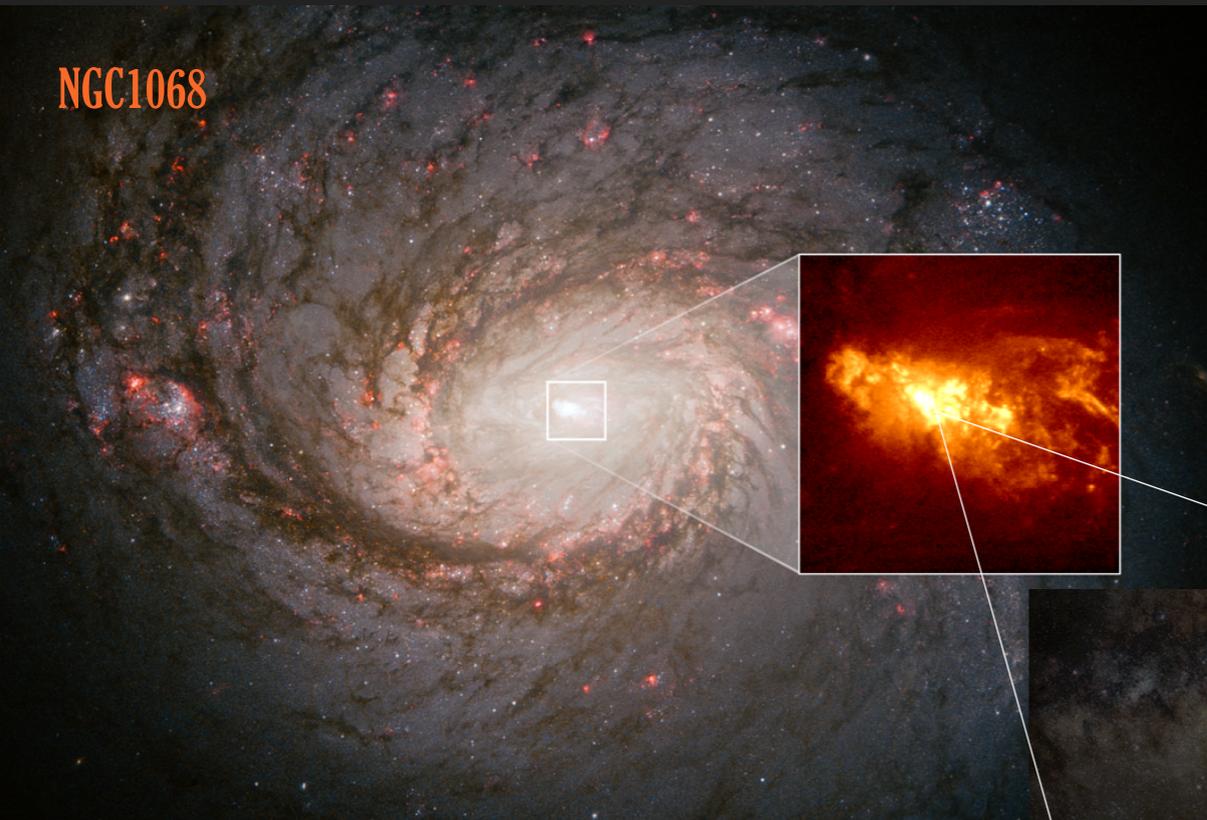
*CONTARE I RAGGI COSMICI DI  
ALTISSIMA ENERGIA*

# GLI ACCELERATORI OSCURI

---

IN TALUNI CASI L'ACCELERATORE È COSÌ ESTREMO CHE NULLA NE ESCE, A PARTE I NEUTRINI

NGC1068

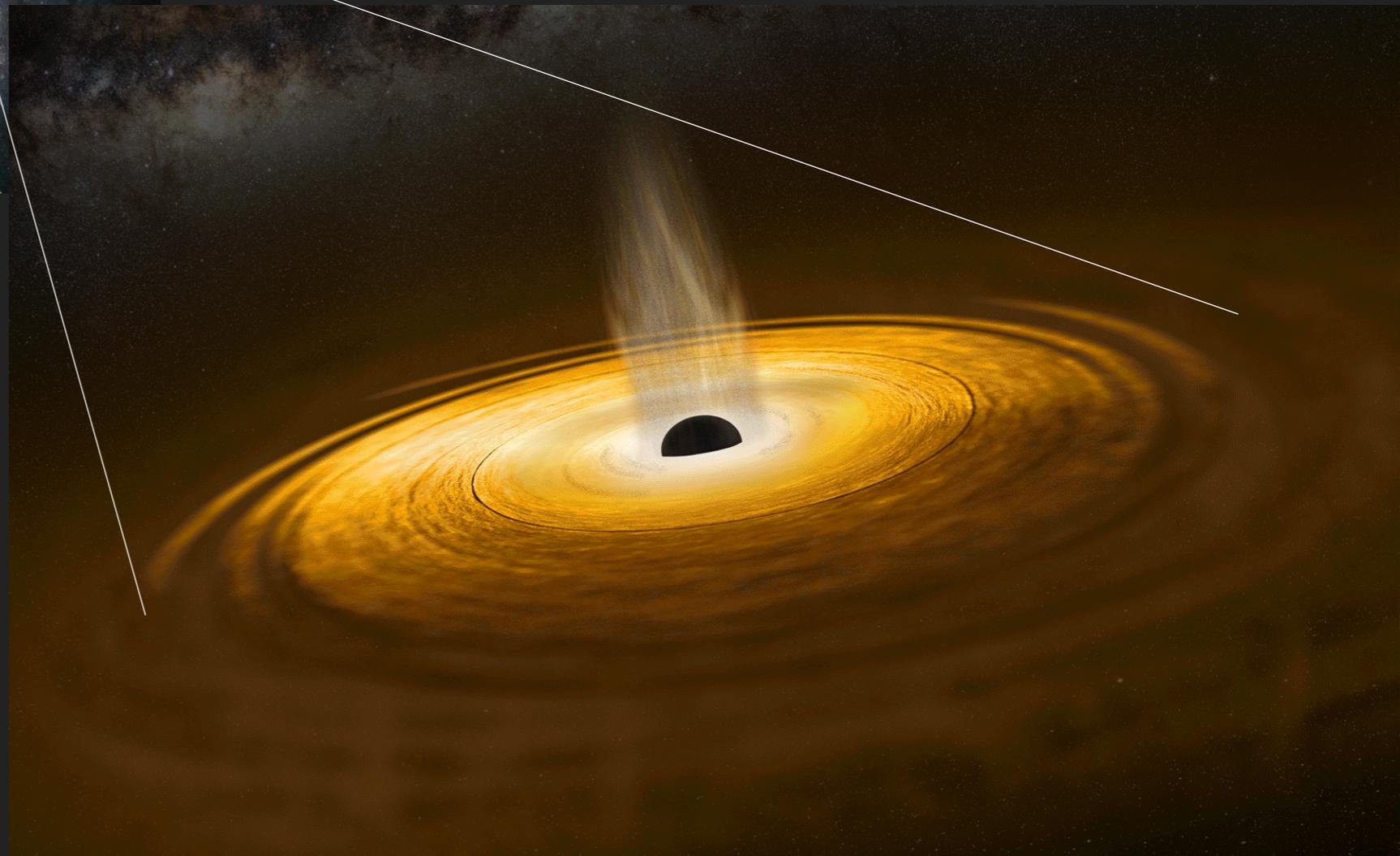
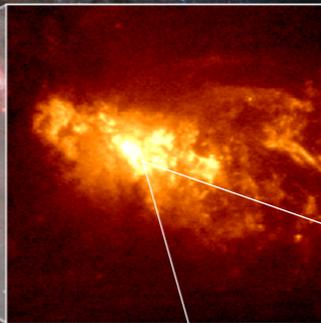
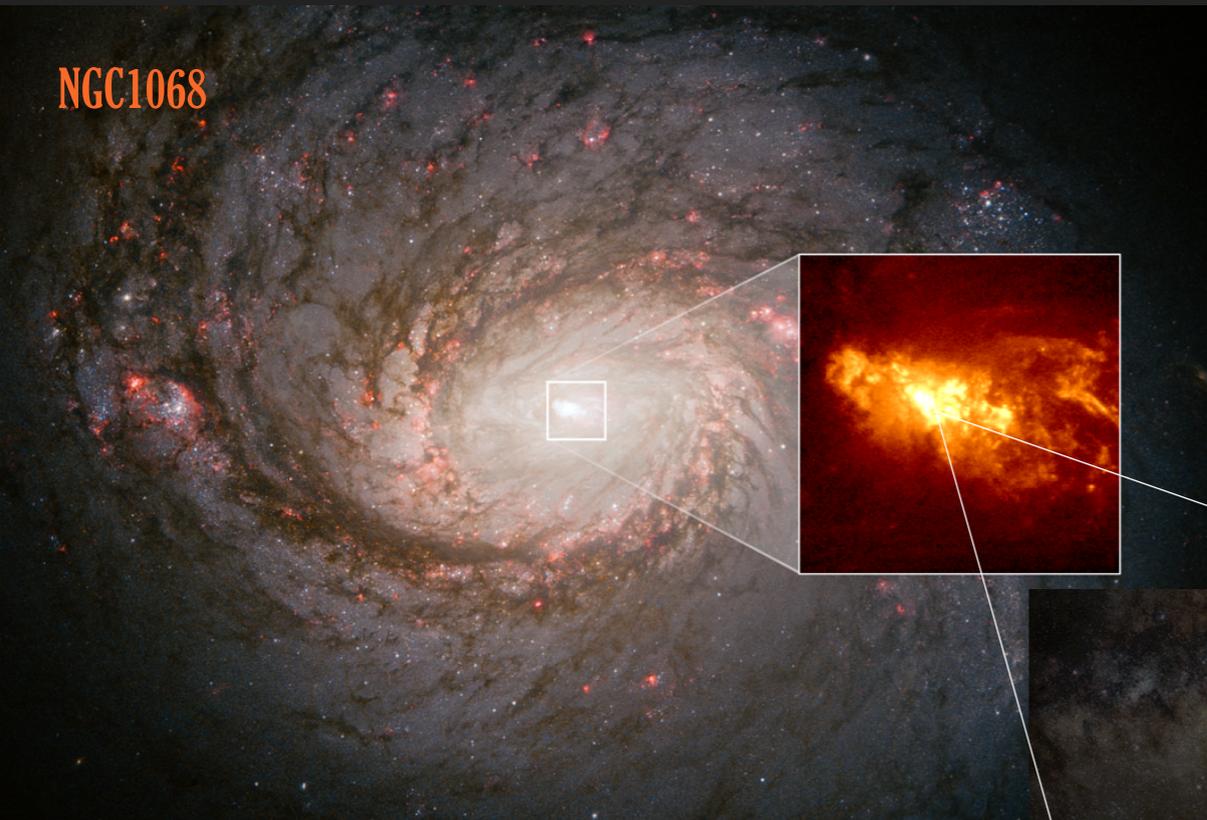


# GLI ACCELERATORI OSCURI

---

IN TALUNI CASI L'ACCELERATORE È COSÌ ESTREMO CHE NULLA NE ESCE, A PARTE I NEUTRINI

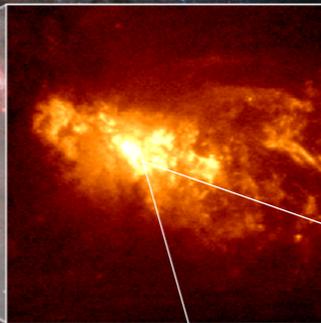
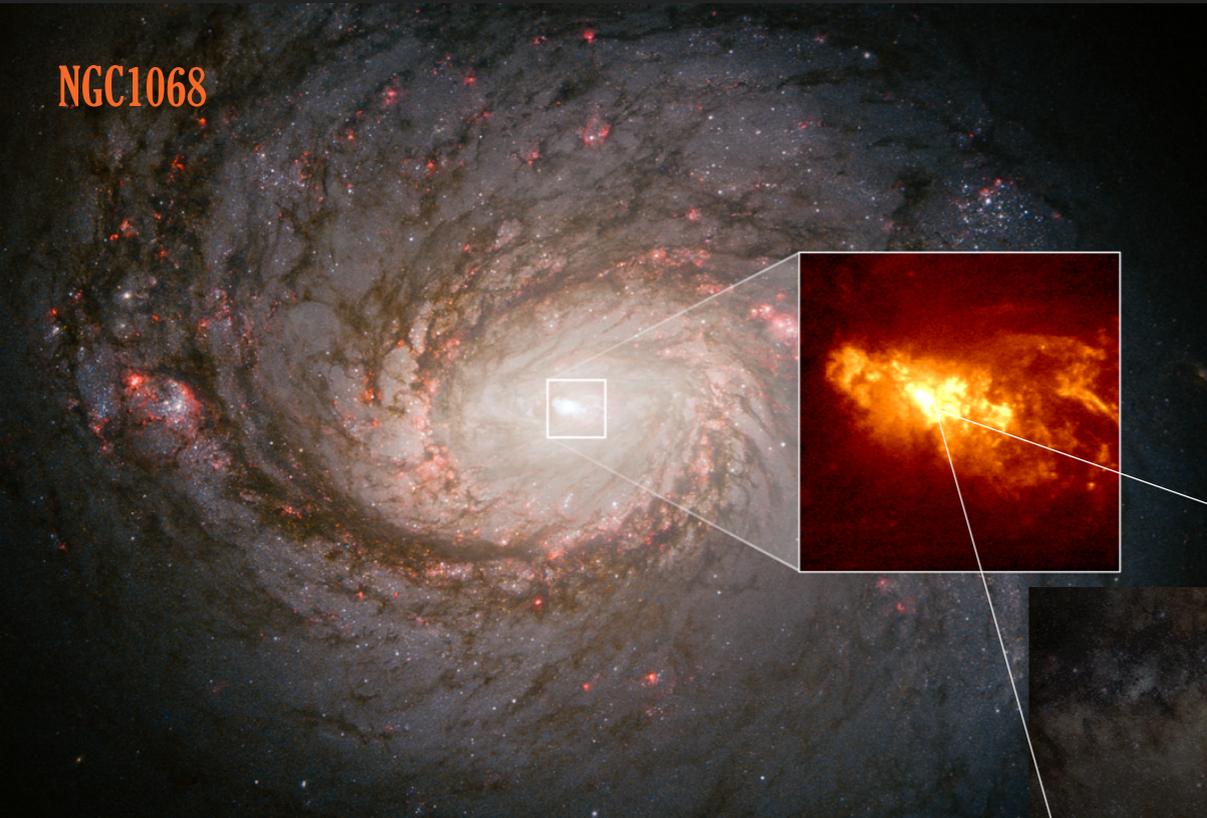
NGC1068



# GLI ACCELERATORI OSCURI

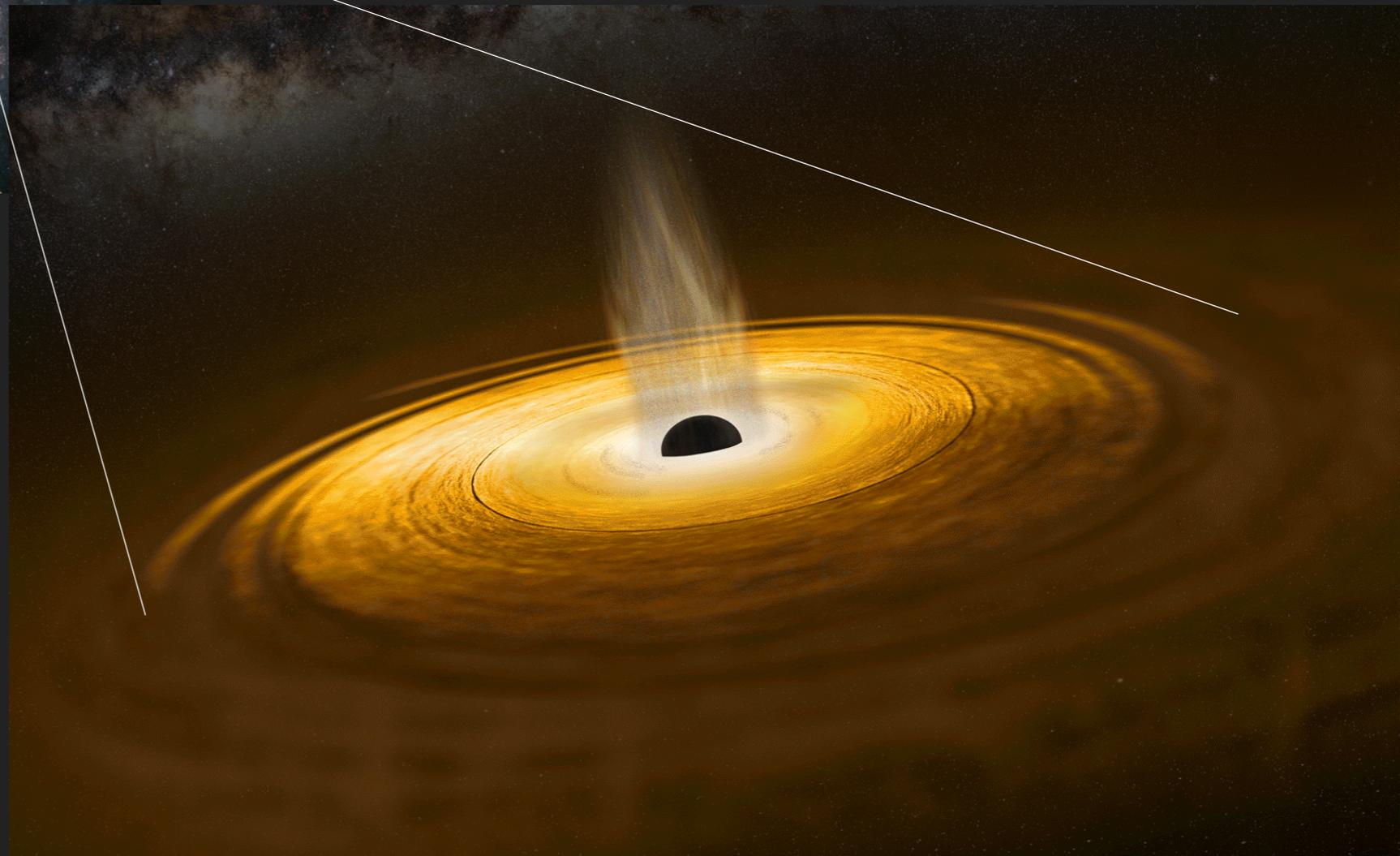
## IN TALUNI CASI L'ACCELERATORE È COSÌ ESTREMO CHE NULLA NE ESCE, A PARTE I NEUTRINI

NGC1068



Particelle sono accelerate sino ad energie molto alte vicino al buco nero (qualche decina di volte le dimensioni del sistema solare ma con 10 milioni di volte la massa del sole e immensamente brillante in raggi X) - Questa zona si chiama **CORONA**

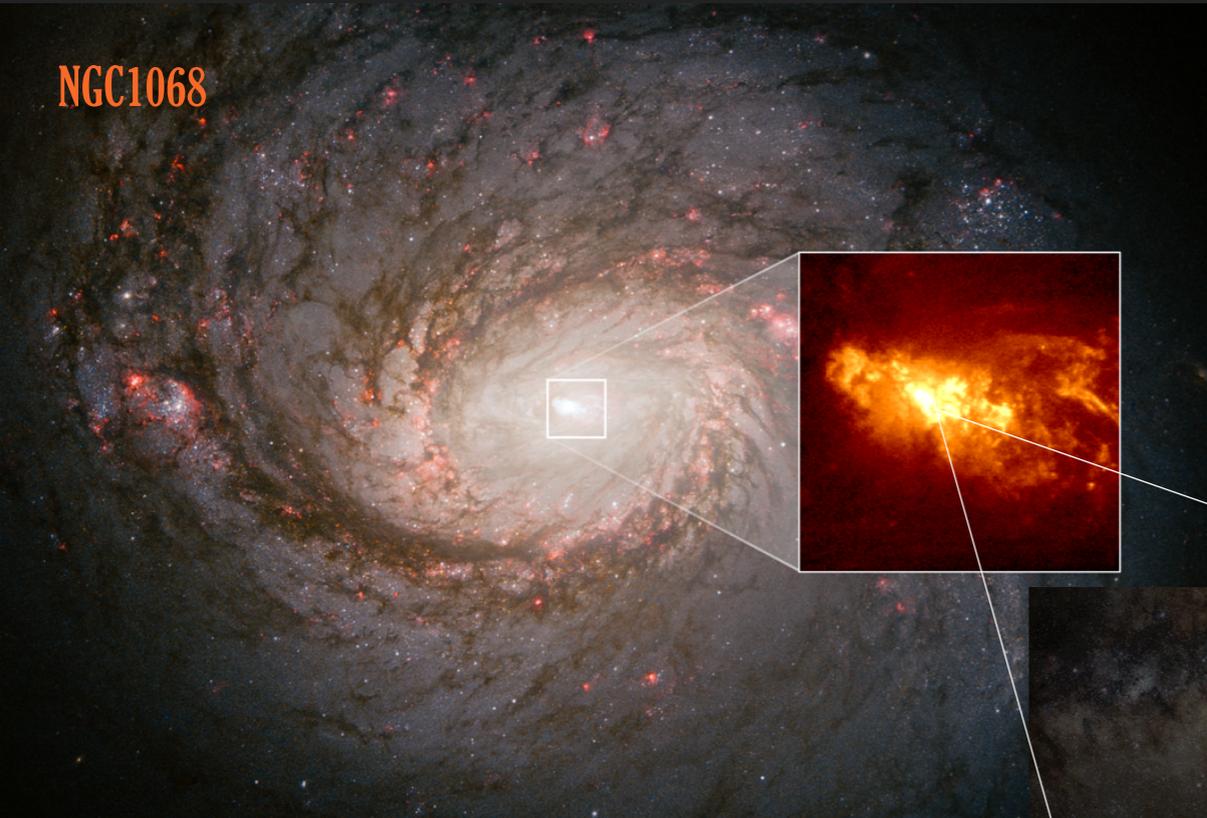
Le particelle accelerate interagiscono così tanto con questa radiazione X che non riescono a uscire ma producono delle particelle secondarie, i **NEUTRINI** che invece escono e ci raccontano di quel che accade vicino al buco nero



# GLI ACCELERATORI OSCURI

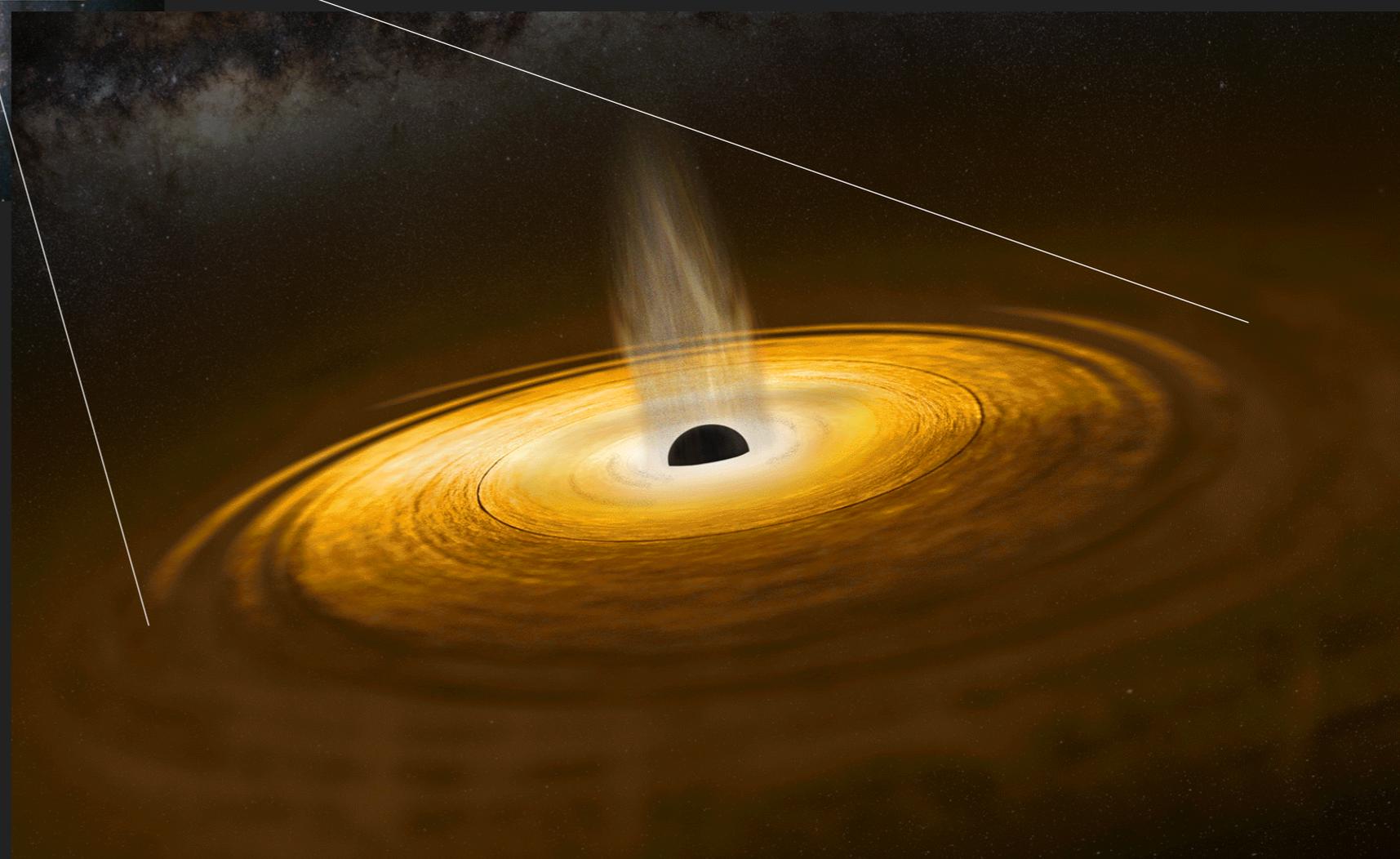
## IN TALUNI CASI L'ACCELERATORE È COSÌ ESTREMO CHE NULLA NE ESCE, A PARTE I NEUTRINI

NGC1068



Particelle sono accelerate sino ad energie molto alte vicino al buco nero (qualche decina di volte le dimensioni del sistema solare ma con 10 milioni di volte la massa del sole e immensamente brillante in raggi X) - Questa zona si chiama **CORONA**

Le particelle accelerate interagiscono così tanto con questa radiazione X che non riescono a uscire ma producono delle particelle secondarie, i **NEUTRINI** che invece escono e ci raccontano di quel che accade vicino al buco nero



Il telescopio a neutrini IceCube ha recentemente visto i neutrini da uno di questi oggetti, noto come NGC1068

La Natura ha creato una censura cosmica che ci impedisce di vedere luce dal centro di questa macchina acceleratrice, ma non riesce però a trattenere i neutrini

