

# Corso di Astronomia

**F. Vitali**

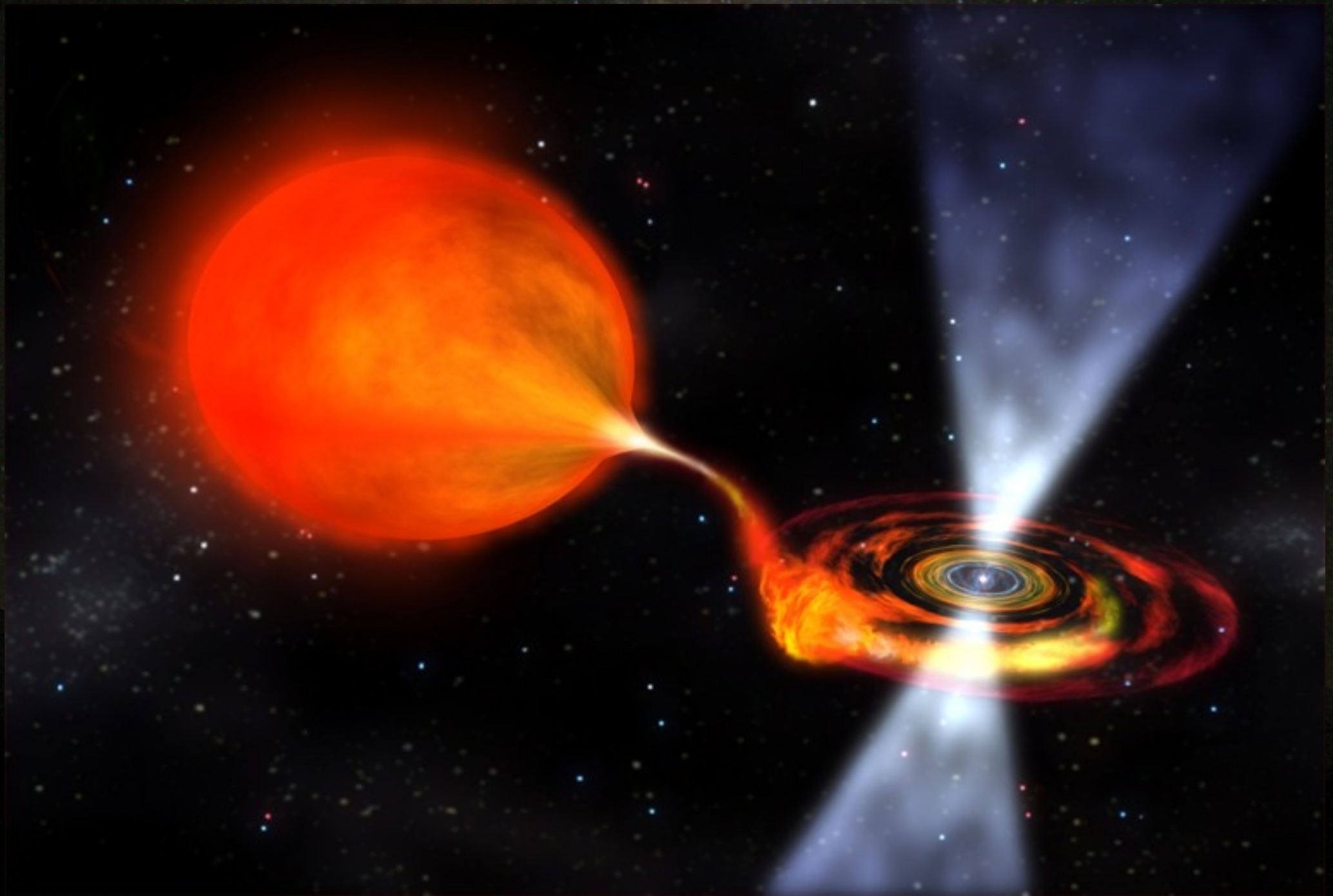
**INAF-Osservatorio Astronomico di Roma**

**per l'**





# L'Universo estremo



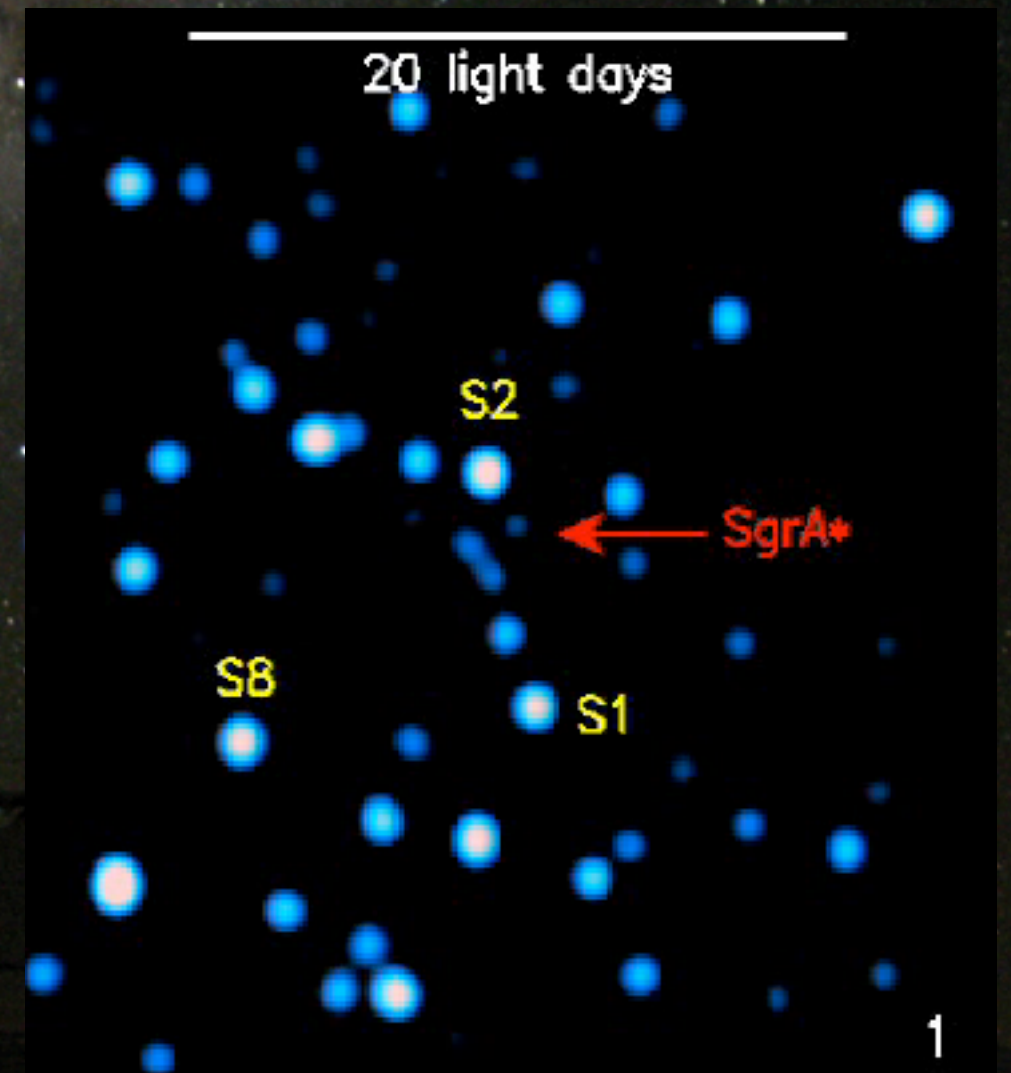




**by Gianluca Li Causi, [www.notturmi.it](http://www.notturmi.it)**

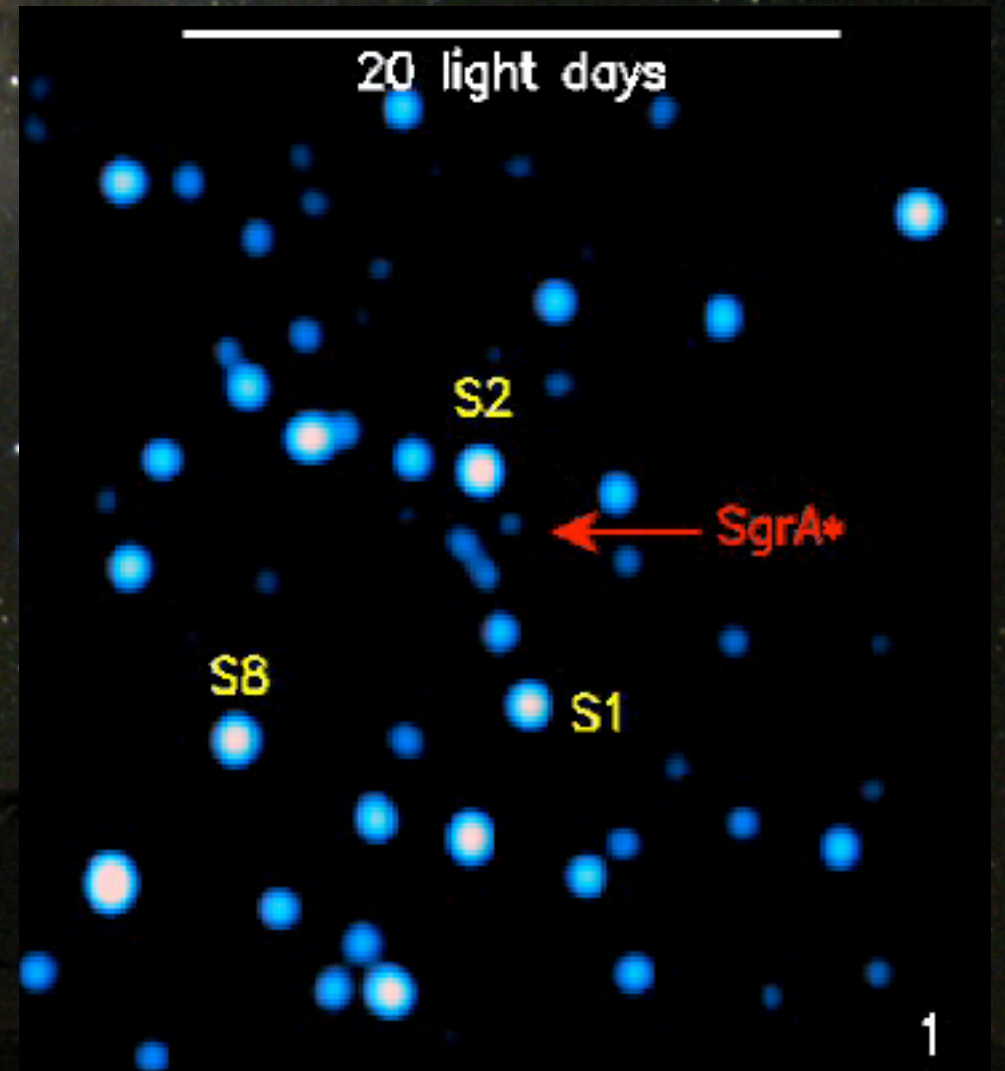
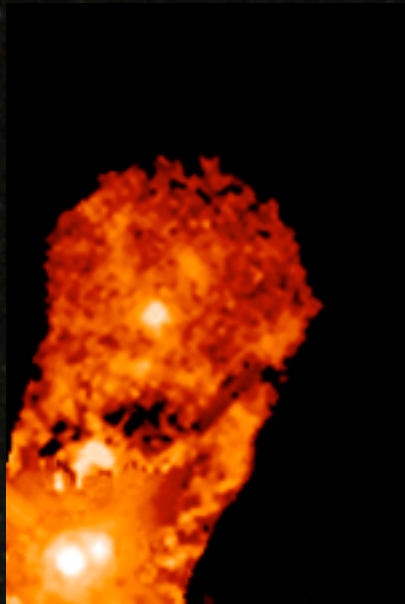


# Universo immutabile? Non proprio...





# Universo immutabile? Non proprio...





# I Gamma Ray Bursts

WHAT ARE GAMMA-RAY BURSTS?



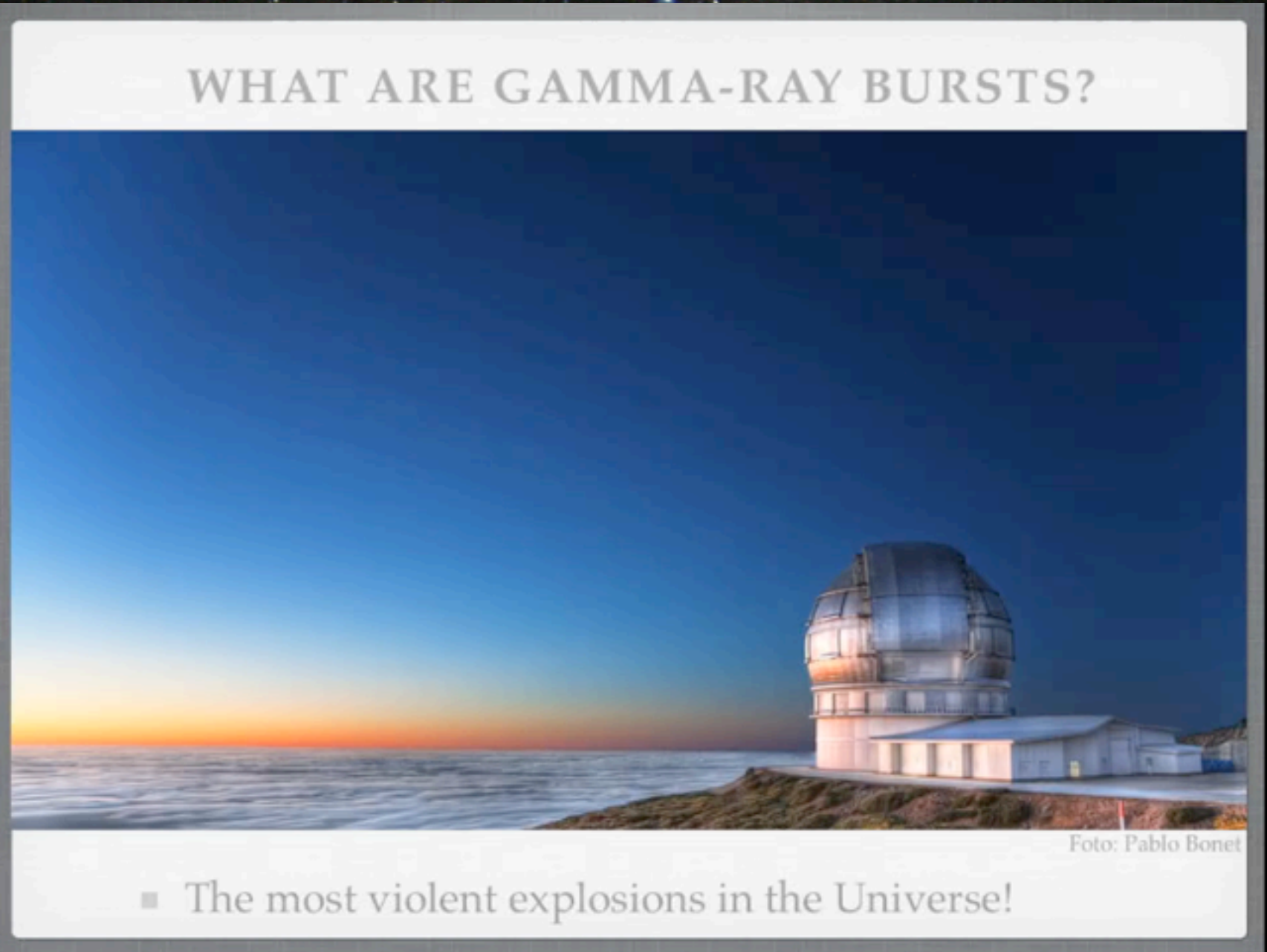
Foto: Pablo Bonet

- The most violent explosions in the Universe!



# I Gamma Ray Bursts

## Eventi Estremi nell'Universo



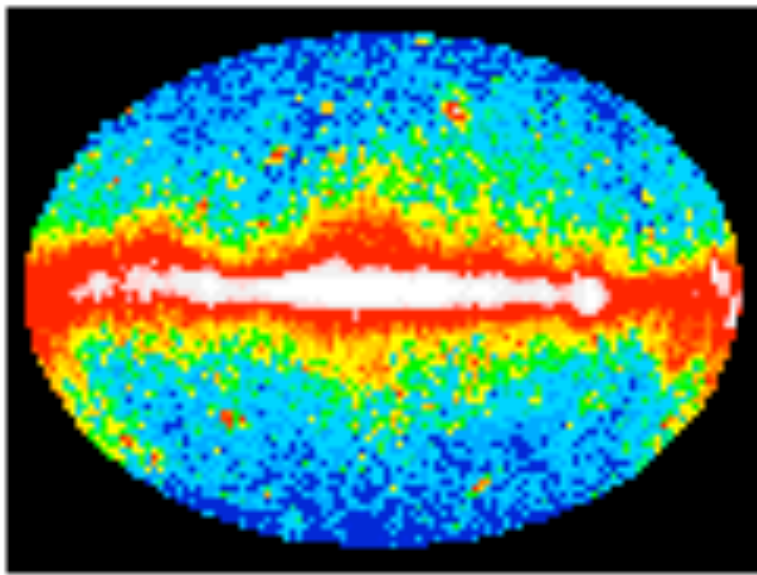
Sole  $L_{\odot} \sim 4 \times 10^{33} \text{ erg/s}$

Galassia  $\sim 100$  miliardi di soli,  $L \sim 10^{44} \text{ erg/s}$

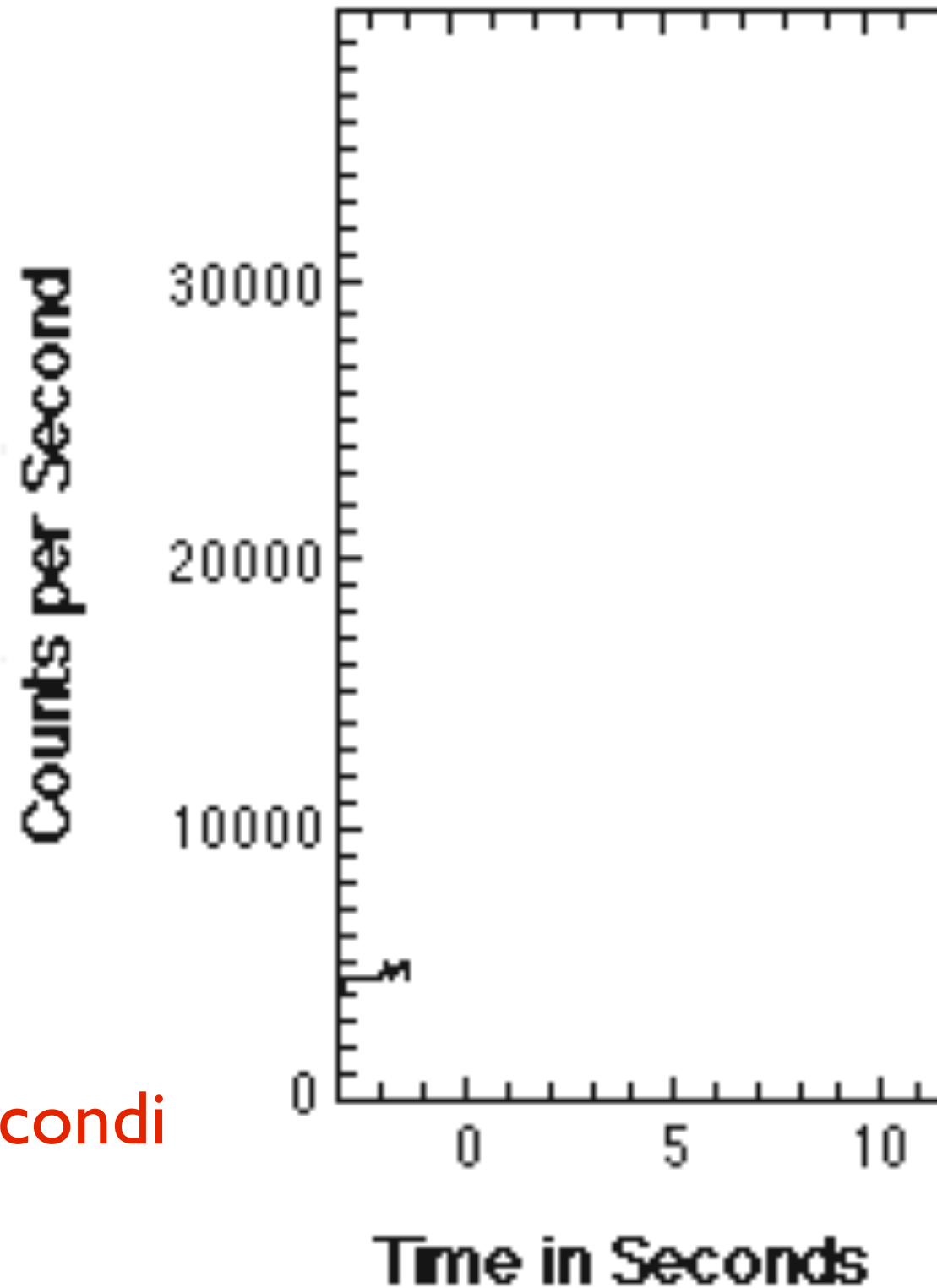
GRB  $10^{51-52} \text{ erg/s}$  cioè 100 milioni di volte la luminosità di una intera galassia!



# Cosa sono i Gamma Ray Burst?



Ma per una durata  
breve: 0.01 - 1000 secondi



Potentissimi lampi di raggi X e gamma!



# Come sono stati scoperti i GRB?

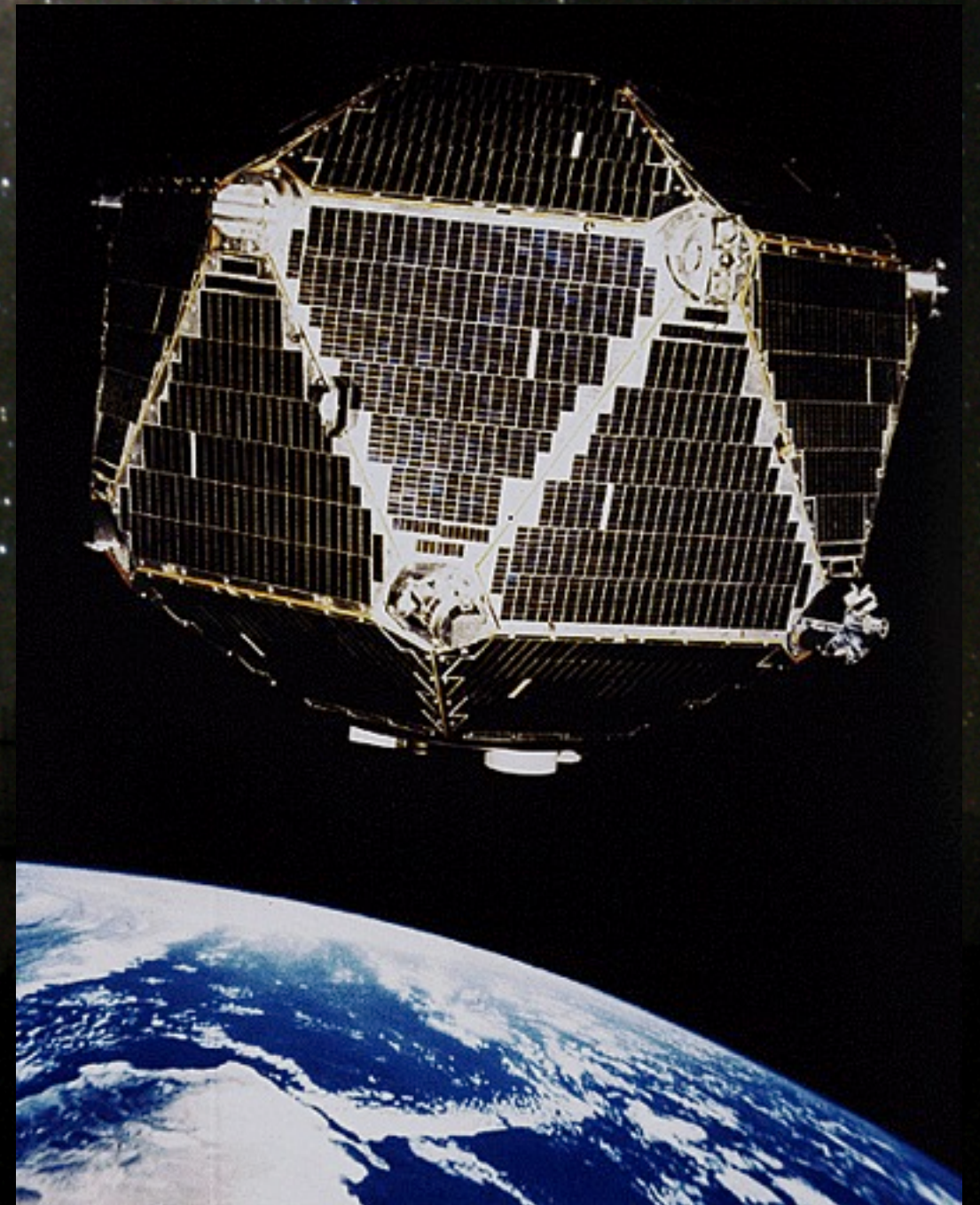
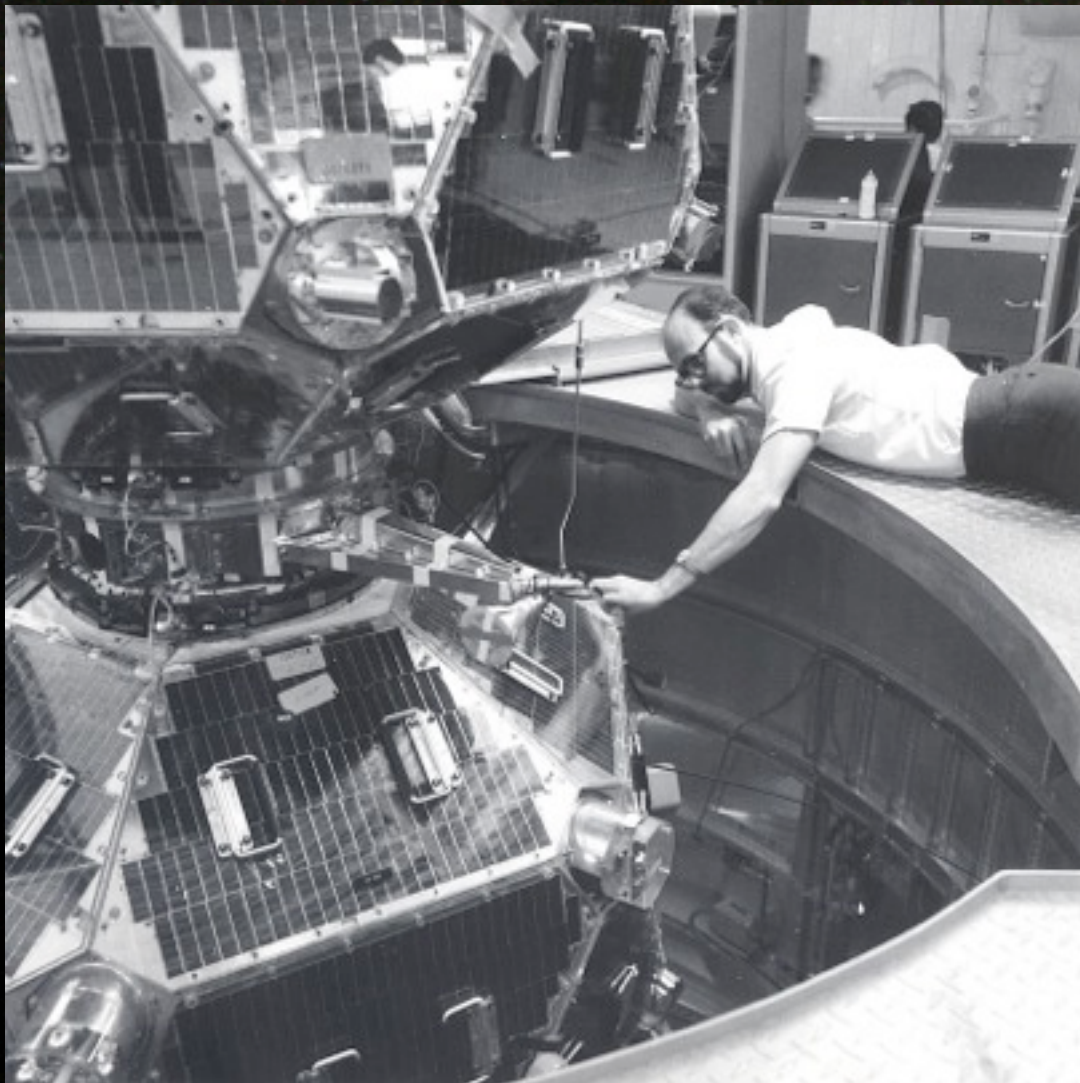
Nel 1963, gli USA, l'Unione Sovietica e il Regno Unito firmano un accordo per la messa al bando di test nucleari sott'acqua, nell'atmosfera e nello spazio. Ma gli americani sospettavano che l'URSS non avrebbe tenuto fede all'impegno, almeno per i test nello spazio.





# Come sono stati scoperti i GRB?

Quindi, gli USA misero in orbita una serie di satelliti, VELA, per monitorare e rivelare il caratteristico doppio flash di raggi  $\gamma$  di una eventuale esplosione nucleare nello spazio





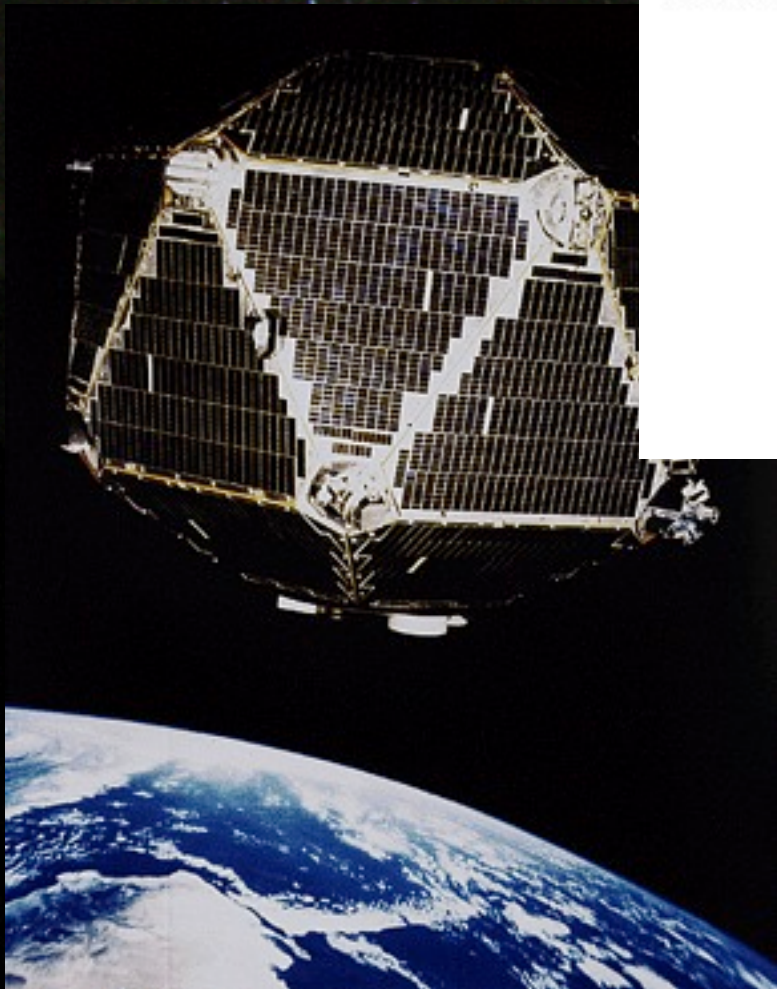
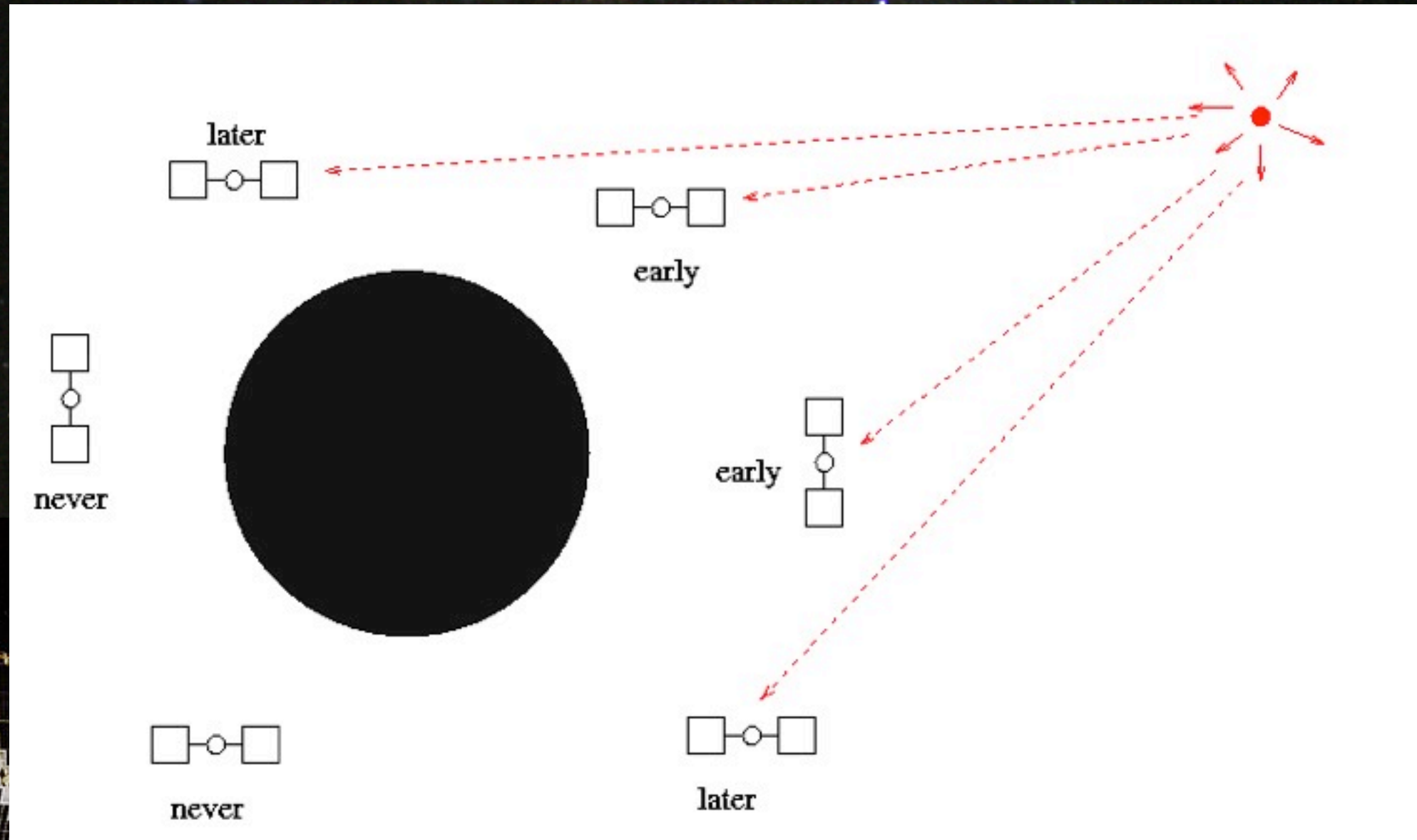
# Come sono stati scoperti i GRB?



- ★ Lanciati nel 1963-1965
- ★ Operanti fino al 1979
- ★ Permettevano la rivelazione e la rozza localizzazione dei GRB



# Come sono stati scoperti i GRB?

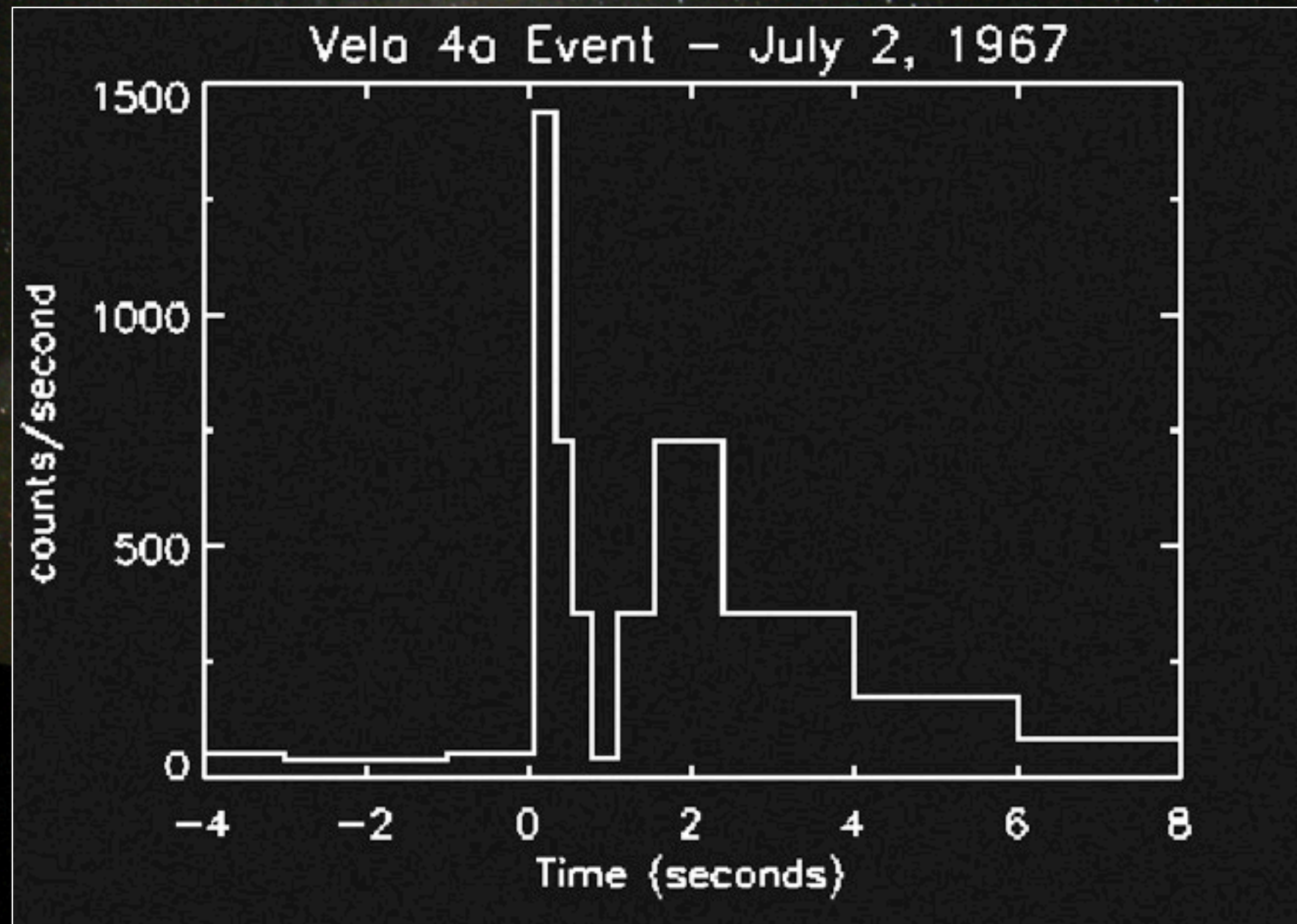


- ★ Lanciati nel 1963-1965
- ★ Operanti fino al 1979
- ★ Permettevano la rivelazione e la rozza localizzazione dei GRB



# Il primo GRB mai rilevato

Il 2 Luglio 1967 satelliti VELA rivelarono due “spikes” nei dati, di cui il primo molto più energetico, seguiti da un lento graduale declino del segnale. Tutto questo era durato meno di 10 secondi





# Gamma-Ray Bursts nel sistema solare?

★ Esplosioni atomiche ?

★ Fulmini ad alta altitudine nell'atmosfera terrestre ?

★ Riconnessioni magnetiche nella Eliopausa ?





# Gamma-Ray Bursts nel sistema solare?

★ Esplosioni atomiche ?

★ Fulmini ad alta altitudine nell'atmosfera terrestre ?

★ Riconnessioni magnetiche nella Eliopausa ?

Vennero osservati  
73 GRB in 10 anni





# Il primo GRB mai rilevato

Il capo progetto, Ray Klebasabel, disse: " Fu` chiaro fin da subito che quello che avevamo osservato non era il risultato di un test nucleare clandestino e non sono sul piano del sistema solare”



Ray Klebasadel



# De-classificato nel 1973

Klebasabel pubblico i primi risultati nel 1973, descrivendo l'osservazione di 16 GRB confermati in un articolo su Nature intitolato "Osservazione di Gamma-Ray Bursts di Origine Cosmica".



A WEEKLY ILLUSTRATED JOURNAL OF SCIENCE

*"To the solid ground  
Of Nature trusts the mind which builds for aye."*—WORDSWORTH

THURSDAY, NOVEMBER 4, 1869

## NATURE: APHORISMS BY GOETHE

NATURE! We are surrounded and embraced by her: powerless to separate ourselves from her, and powerless to penetrate beyond her.

Without asking, or warning, she snatches us up into her circling dance, and whirls us on until we are tired, and drop from her arms.

She is ever shaping new forms: what is, has never yet been; what has been, comes not again. Everything is new, and yet nought but the old.

We live in her midst and know her not. She is incessantly speaking to us, but betrays not her secret. We constantly act upon her, and yet have no power over her.

The one thing she seems to aim at is Individuality; yet she cares nothing for individuals. She is always building up and destroying; but her workshop is inaccessible.

Her life is in her children; but where is the mother? She is the only artist; working-up the most uniform material into utter opposites; arriving, without a trace of effort, at perfection, at the most exact precision, though always veiled under a certain softness.

Each of her works has an essence of its own; each of her phenomena a special characterisation: and yet their diversity is in unity.

She performs a play; we know not whether she sees it herself, and yet she acts for us, the lookers-on.

Incessant life, development, and movement are in her, but she advances not. She changes for ever and ever, and rests not a moment. Quietude is inconceivable to her, and she has laid her curse upon rest. She is firm. Her steps are measured, her exceptions rare, her laws unchangeable.

She has always thought and always thinks; though not as a man, but as Nature. She broods over an

all-comprehending idea, which no searching can find out.

Mankind dwell in her and she in them. With all men she plays a game for love, and rejoices the more they win. With many, her moves are so hidden, that the game is over before they know it.

That which is most unnatural is still Nature; the stupidest philistinism has a touch of her genius. Whoso cannot see her everywhere, sees her nowhere rightly.

She loves herself, and her innumerable eyes and affections are fixed upon herself. She has divided herself that she may be her own delight. She causes an endless succession of new capacities for enjoyment to spring up, that her insatiable sympathy may be assuaged.

She rejoices in illusion. Whoso destroys it in himself and others, him she punishes with the sternest tyranny. Whoso follows her in faith, him she takes as a child to her bosom.

Her children are numberless. To none is she altogether miserly; but she has her favourites, on whom she squanders much, and for whom she makes great sacrifices. Over greatness she spreads her shield.

She tosses her creatures out of nothingness, and tells them not whence they came, nor whither they go. It is their business to run, she knows the road. Her mechanism has few springs—but they never wear out, are always active and manifold.

The spectacle of Nature is always new, for she is always renewing the spectators. Life is her most exquisite invention; and death is her expert contrivance to get plenty of life.

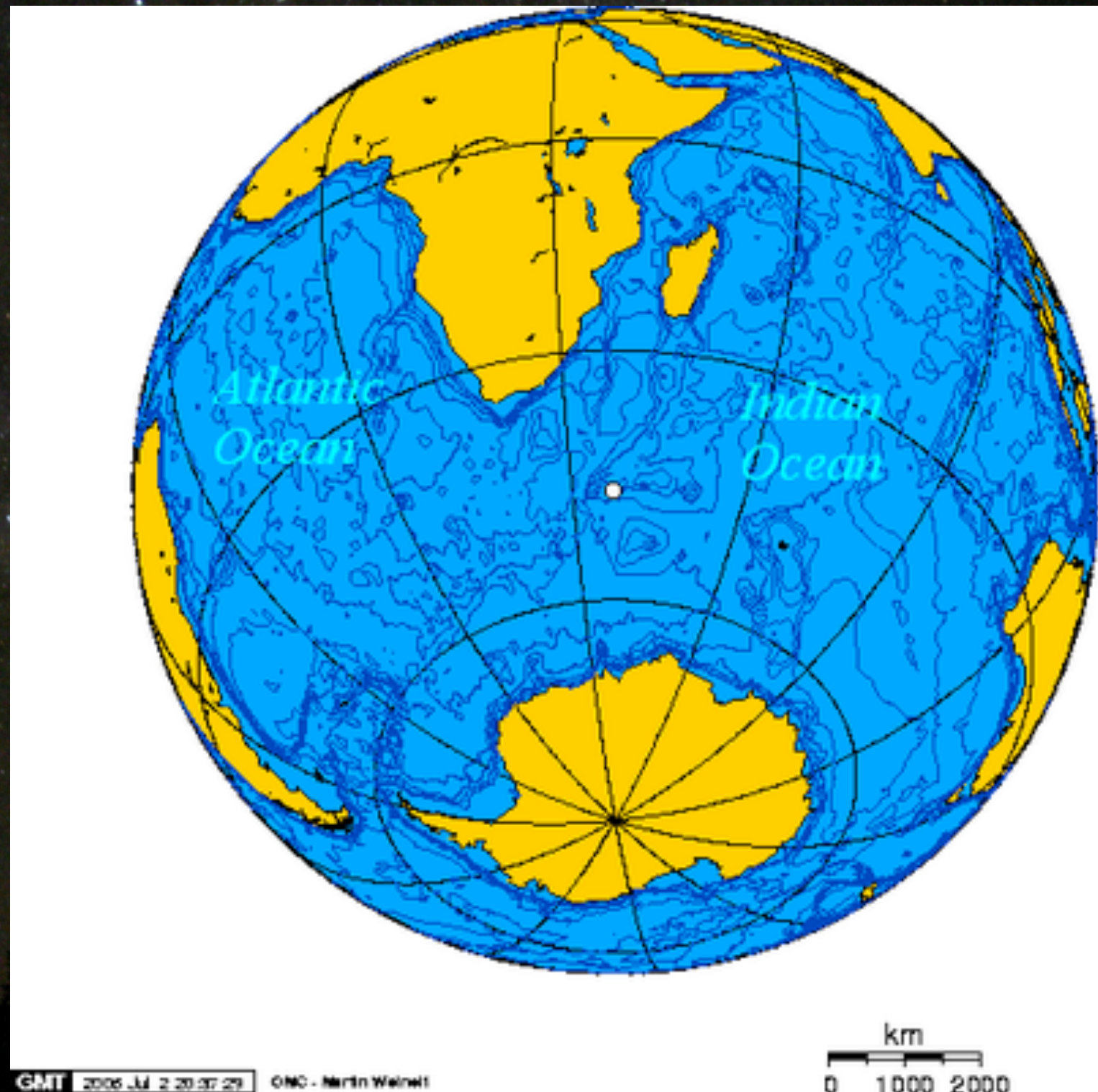
She wraps man in darkness, and makes him for ever long for light. She creates him dependent upon the earth, dull and heavy; and yet is always shaking him until he attempts to soar above it.



# Il Flash del Sud Atlantico

Il 22 Settembre 1979  
VELA rivelò un  
possibile test  
nucleare avvenuto  
nell'Atlantico del Sud

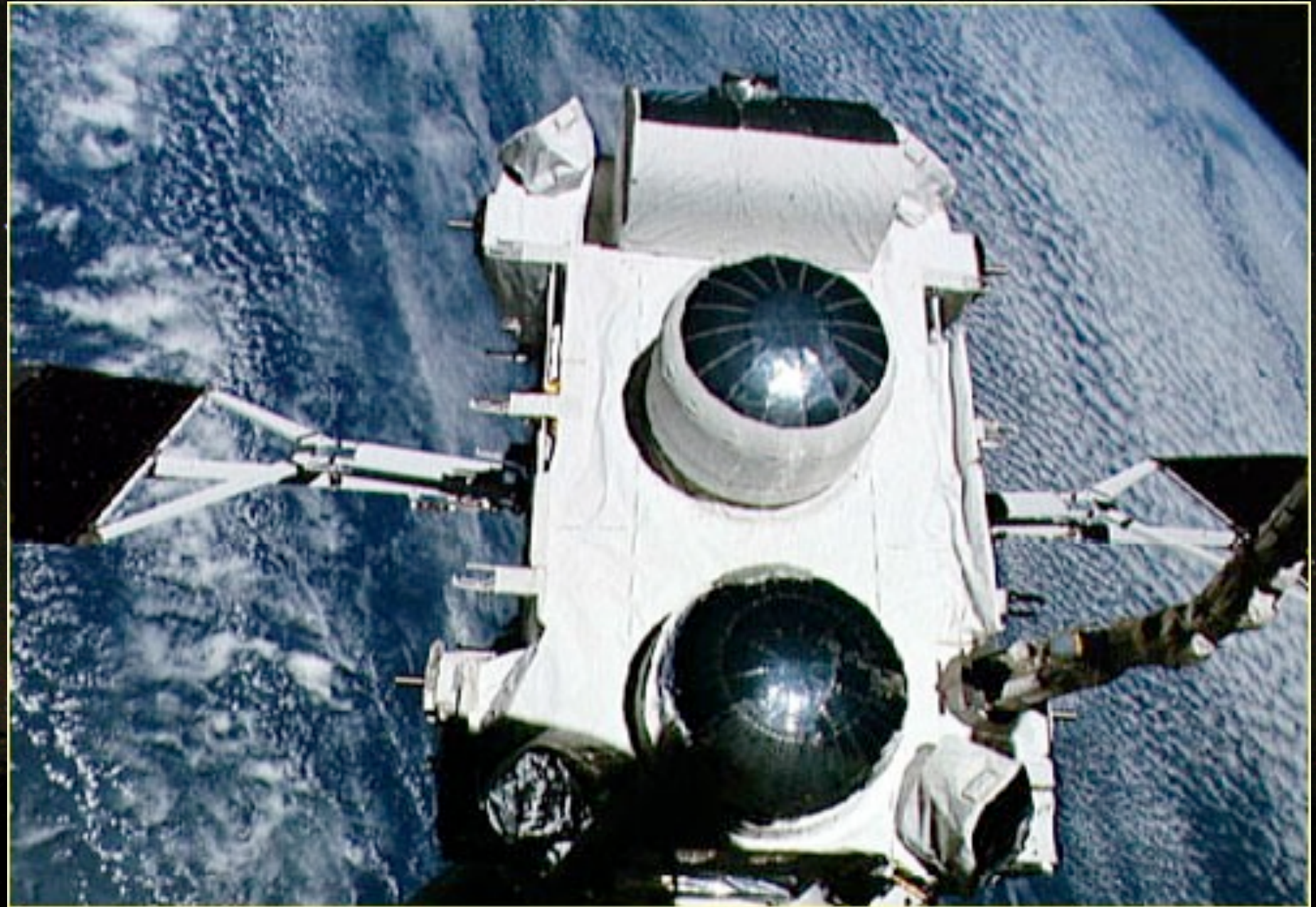
Voci non confermate  
riportarono che si  
trattasse di un test  
nucleare effettuato dal  
Sud Africa, con il supporto di Israele.





# Compton Gamma Ray Observatory

## 1991



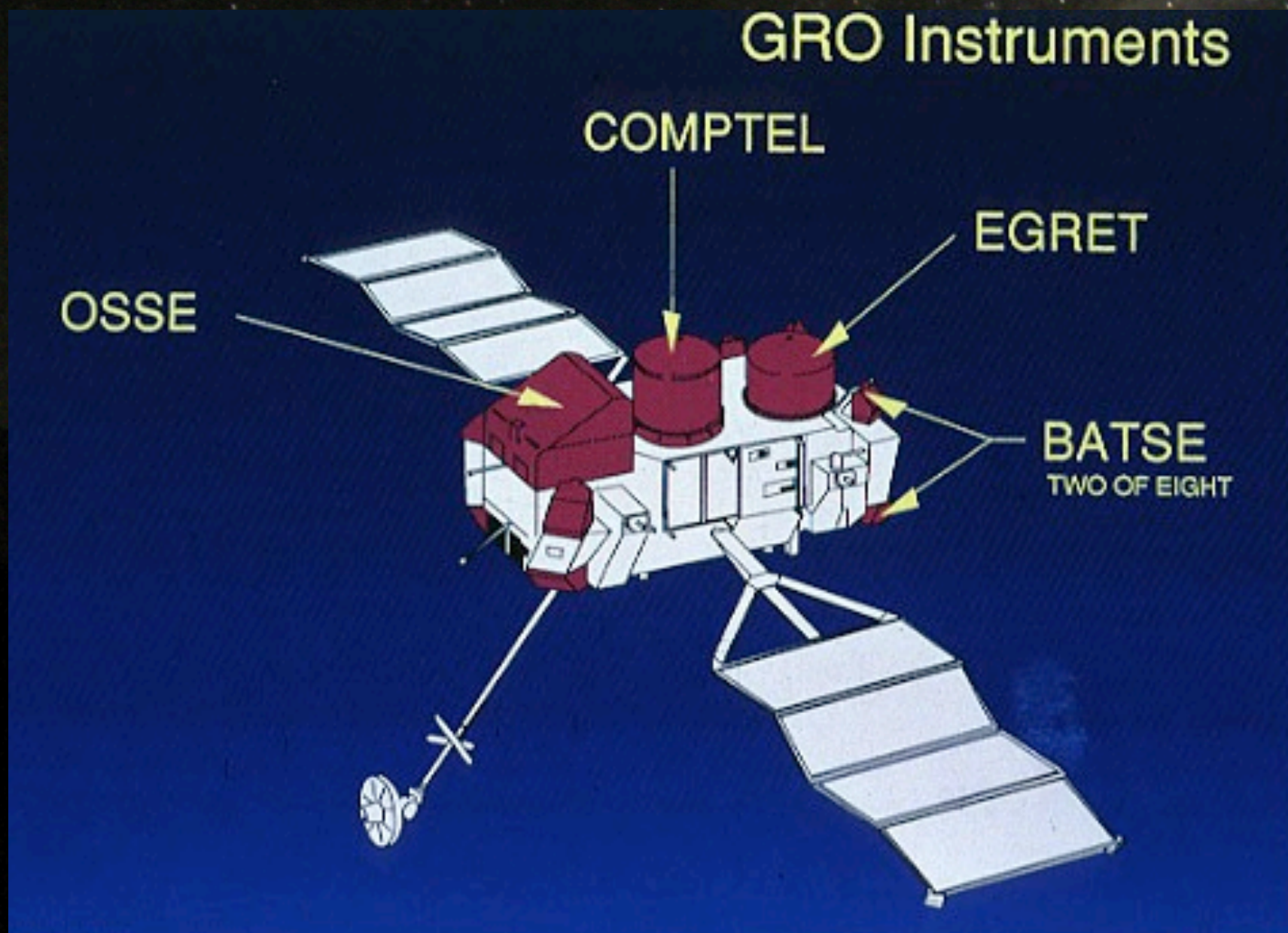


# Compton Gamma Ray Observatory

## 1991

### Burst and Transient Source Experiment, (BATSE)

**composto da 8 rivelatori identici, uno ad ogni lato del satellite per osservare quasi tutto il cielo nella banda dei raggi X e gamma.**

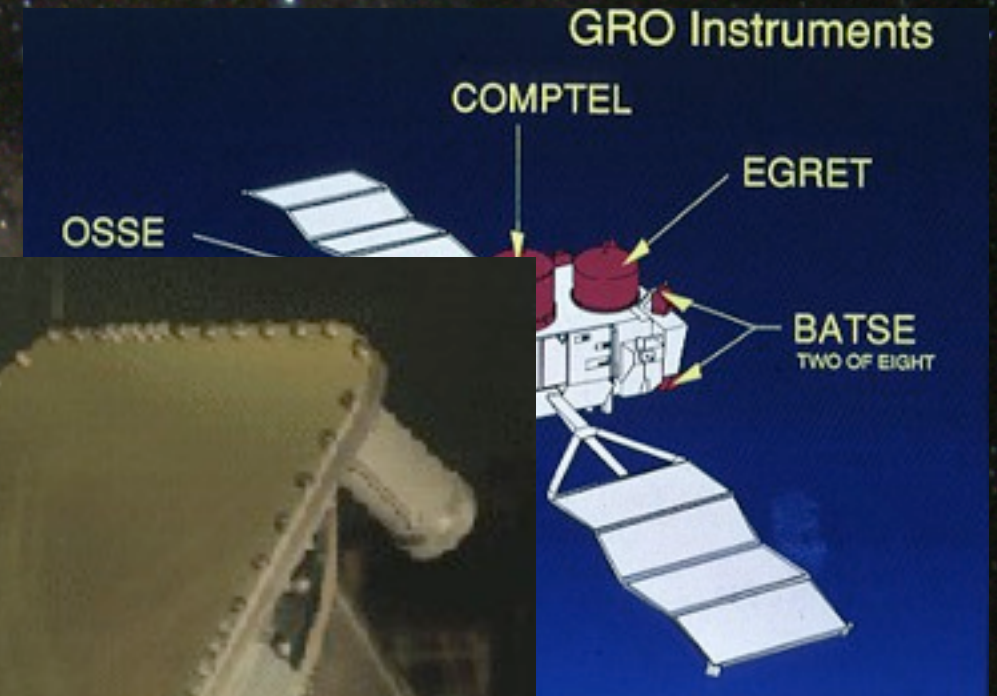
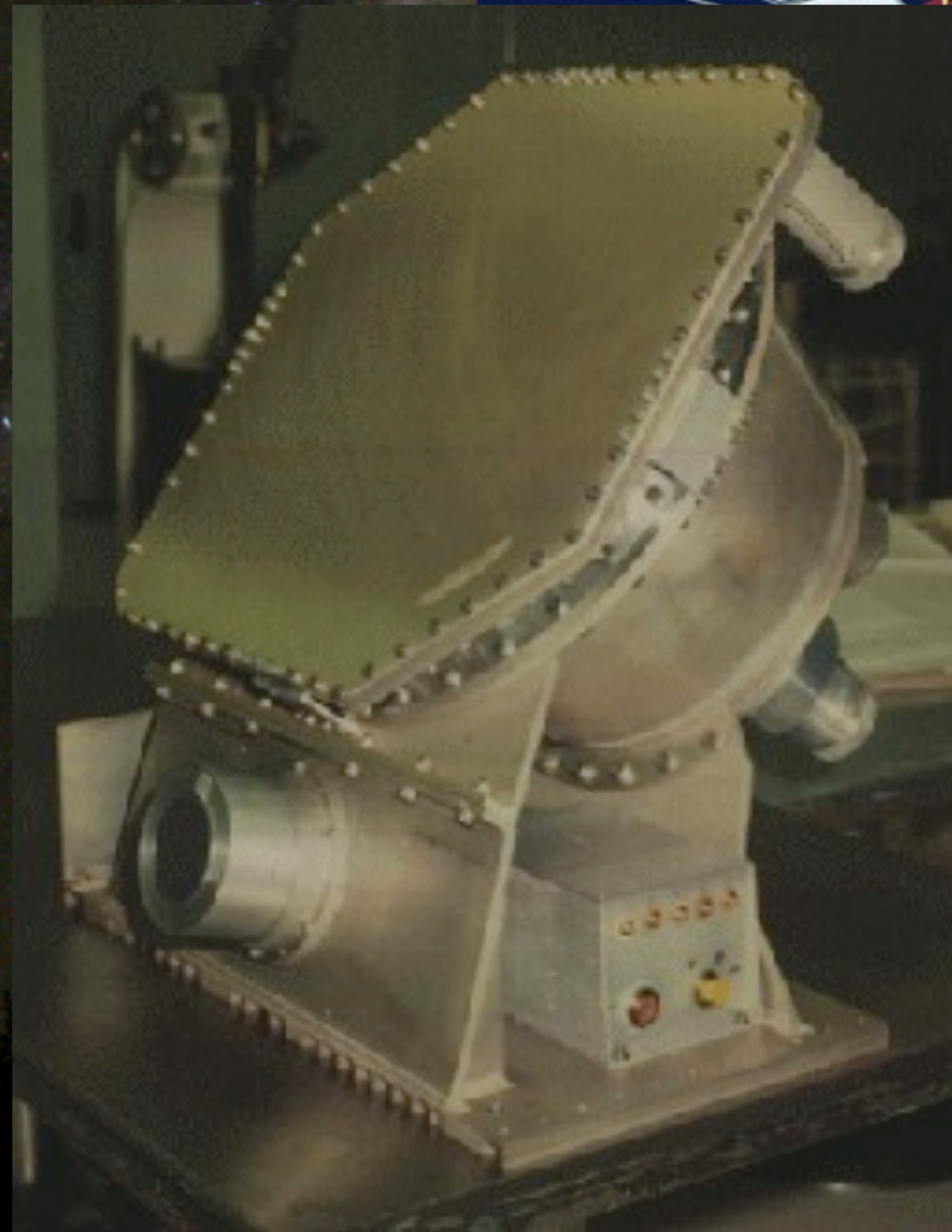




# Compton Gamma Ray Observatory

## Burst and Transient Source Experiment, (BATSE)

**composto da 8 rivelatori identici, uno ad ogni lato del satellite per osservare quasi tutto il cielo nella banda dei raggi X e gamma.**

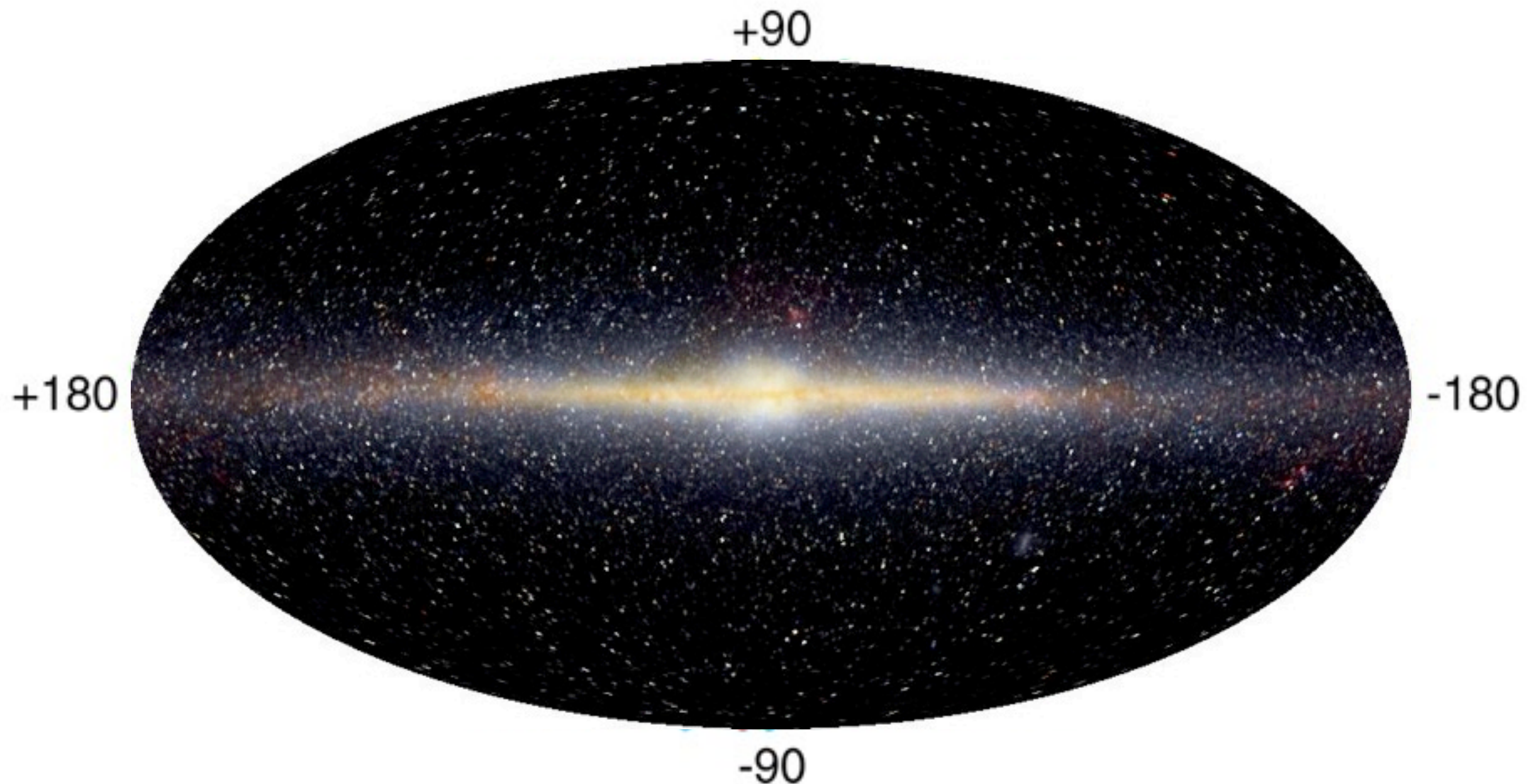




# All Sky Distribution Map

GRO ha osservato circa 3000 GRB in 9 anni

## 2704 BATSE Gamma-Ray Bursts

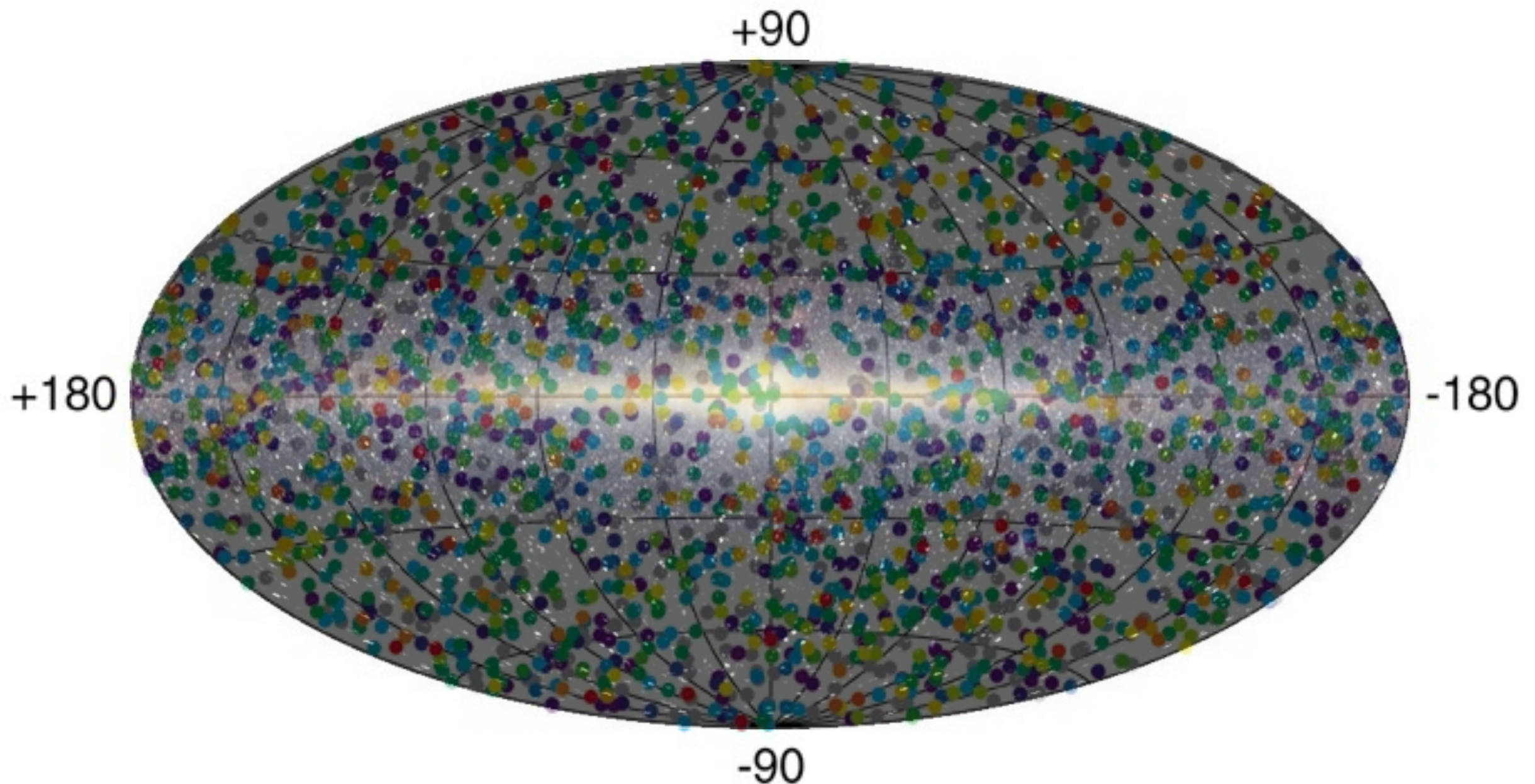




# All Sky Distribution Map

GRO ha osservato circa 3000 GRB in 9 anni

## 2704 BATSE Gamma-Ray Bursts

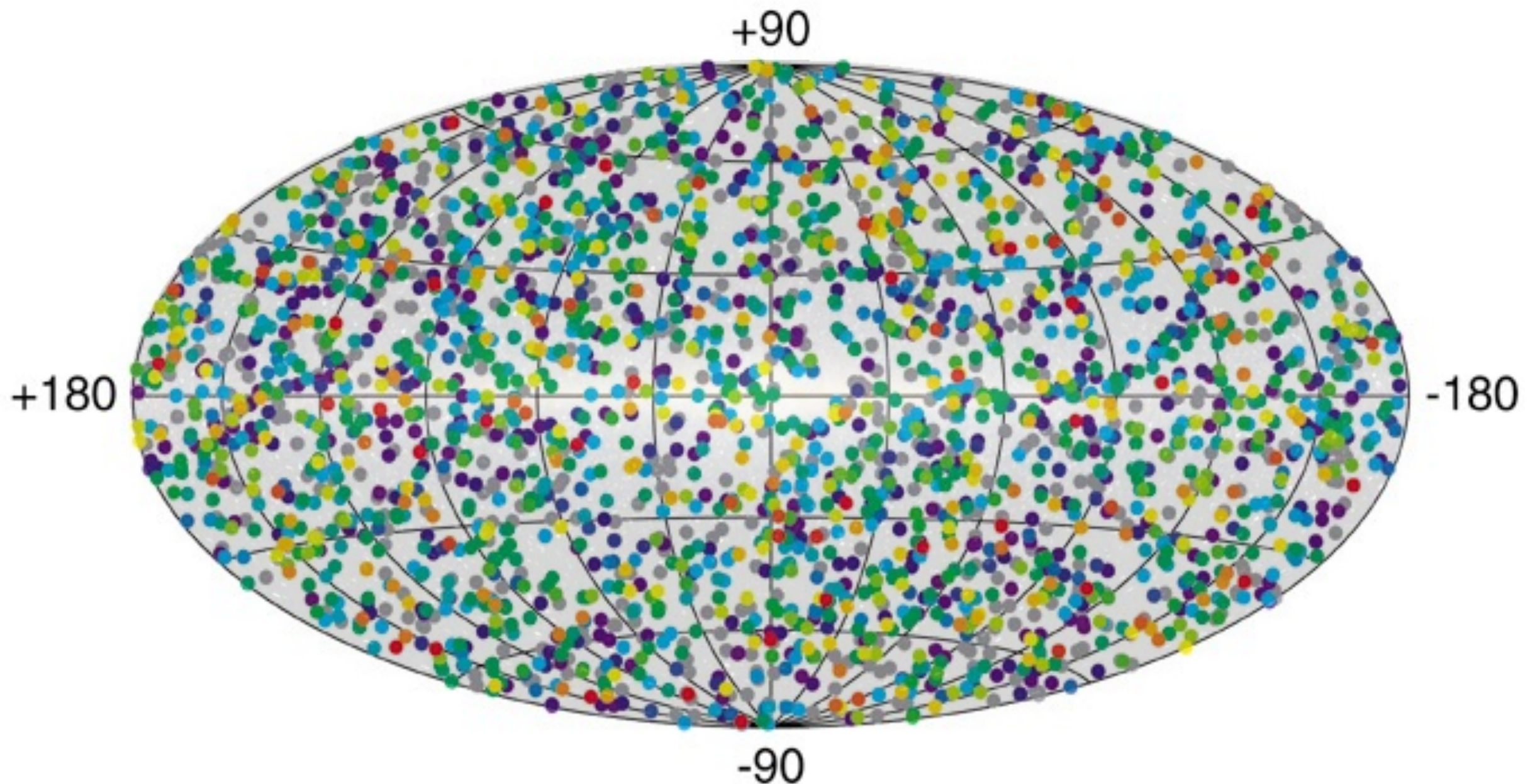




# All Sky Distribution Map

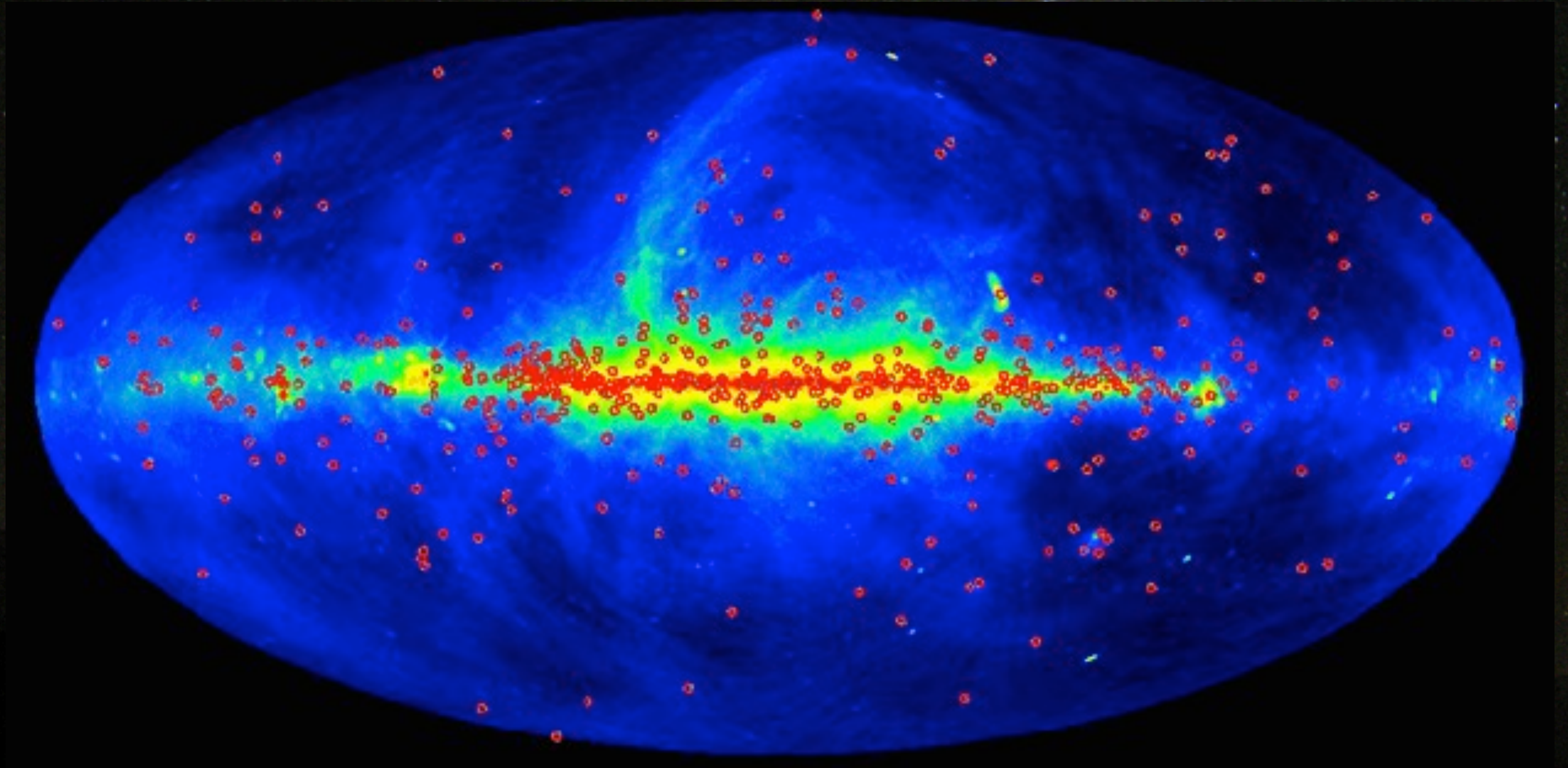
GRO ha osservato circa 3000 GRB in 9 anni

## 2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



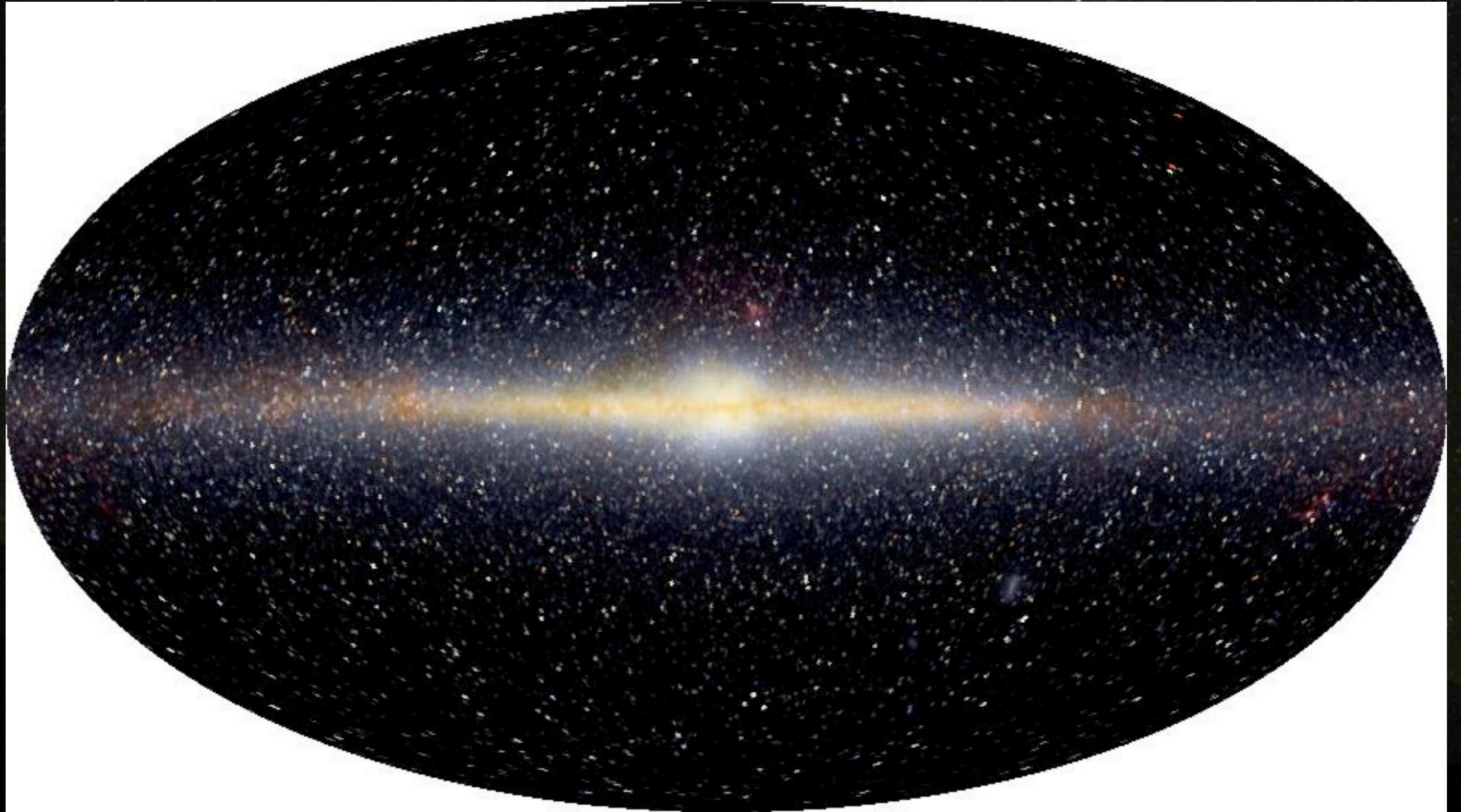


# Pulsar Distribution





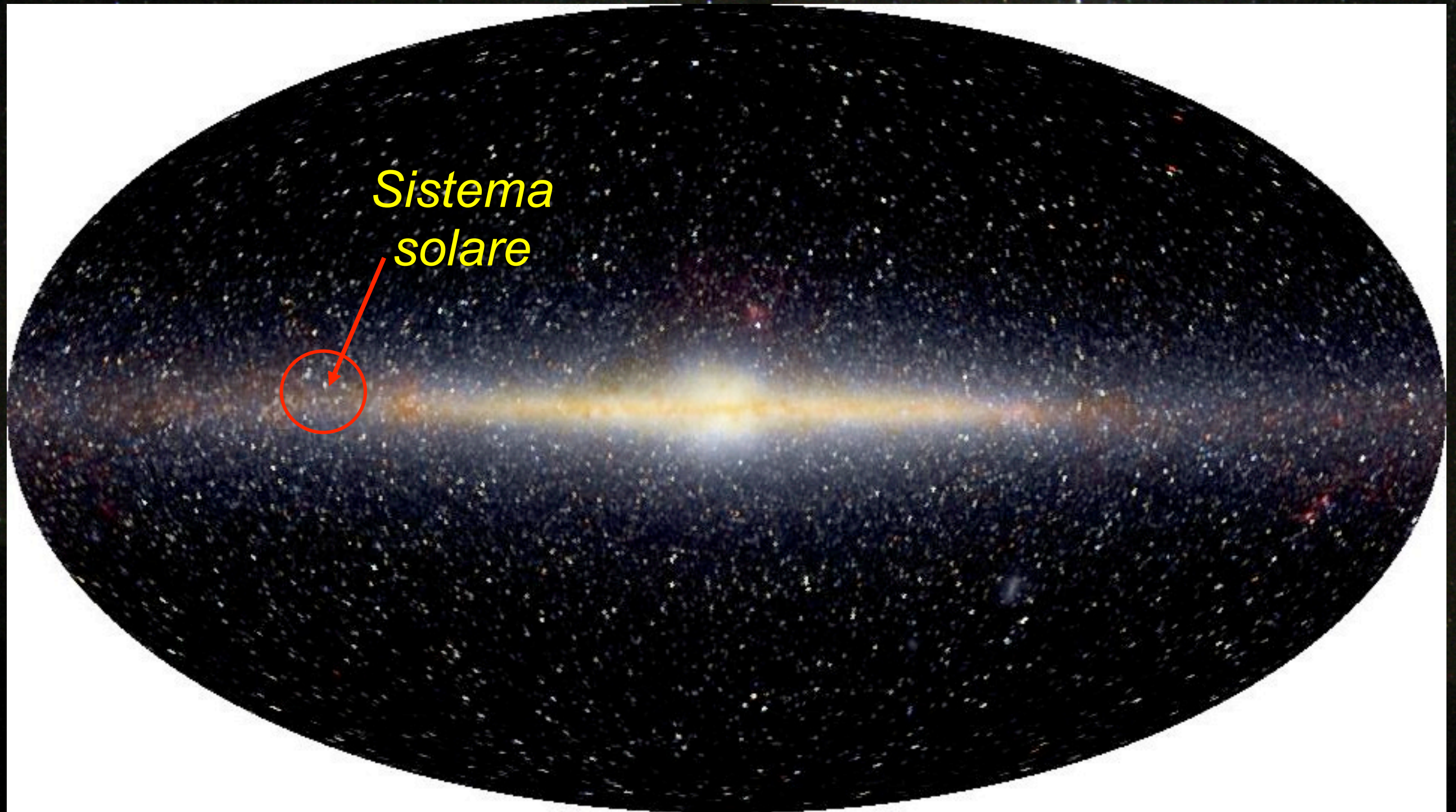
# Risultato di BATSE: Isotropia!



○ molto vicini o molto lontani



# Risultato di BATSE: Isotropia!



○ molto vicini o molto lontani



# Il problema della localizzazione dei GRB





# Il problema della localizzazione dei GRB

Box errore  
di Batse





# Il problema della localizzazione dei GRB

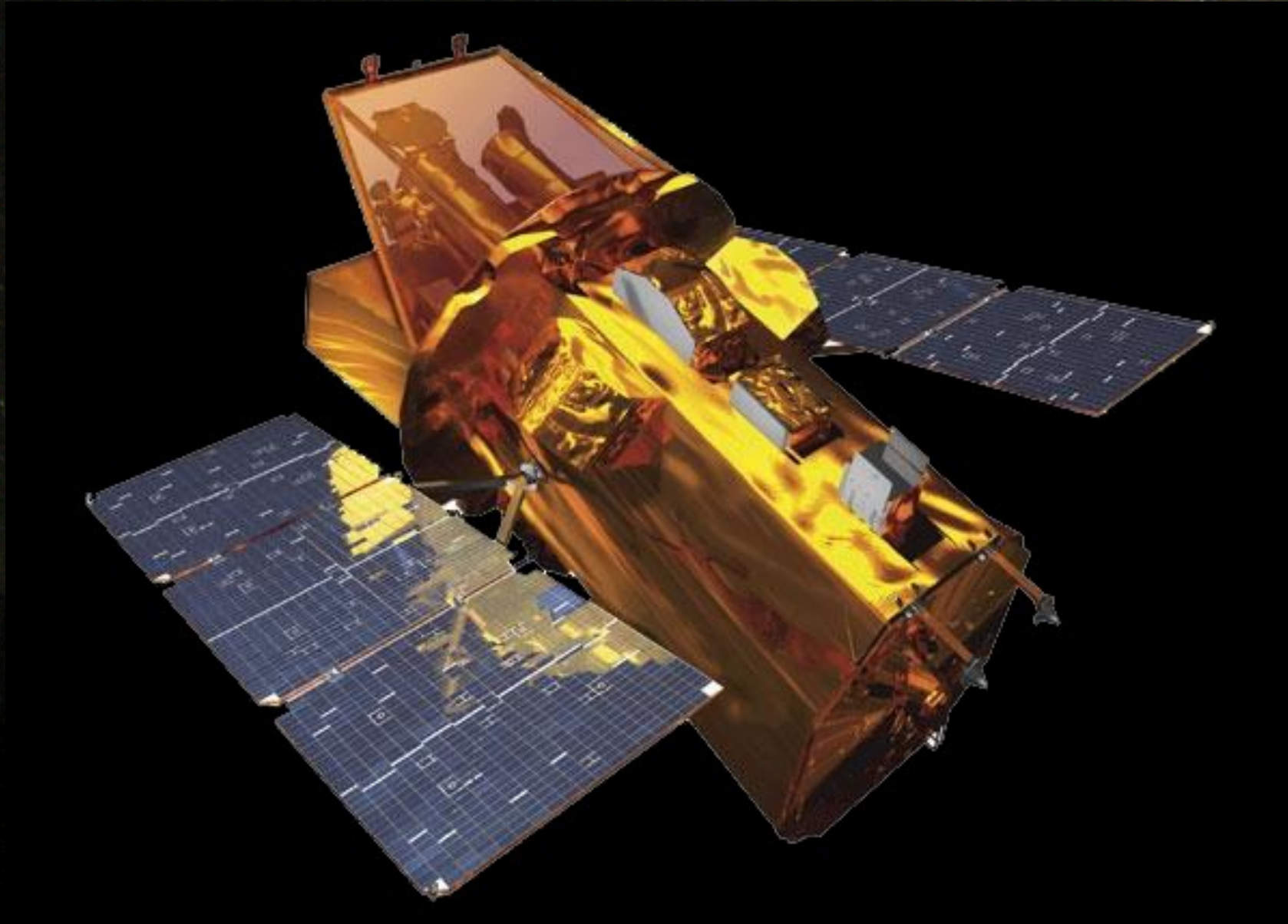
Box errore  
di Batse





# Il satellite BeppoSAX

In onore di Giuseppe Occhialini, detto Beppo...





# Beppo...

*Occhialini nasce nel 1907 a Fossombrone.*

*Si laurea in fisica nel 1929 e a 24 anni si trasferisce a Cambridge per lavorare con P.M.S. Blackett. Sviluppa uno strumento innovativo con il quale ottiene una robusta conferma della scoperta del positrone.*

*Dopo la guerra si trasferisce a Bristol per lavorare con C.P.S. Powell. Li sviluppa una nuova tecnica per rivelare particelle elementari e scopre il decadimento del mesone  $\pi$ .*

*Blackett ottiene il premio Nobel nel 1948*

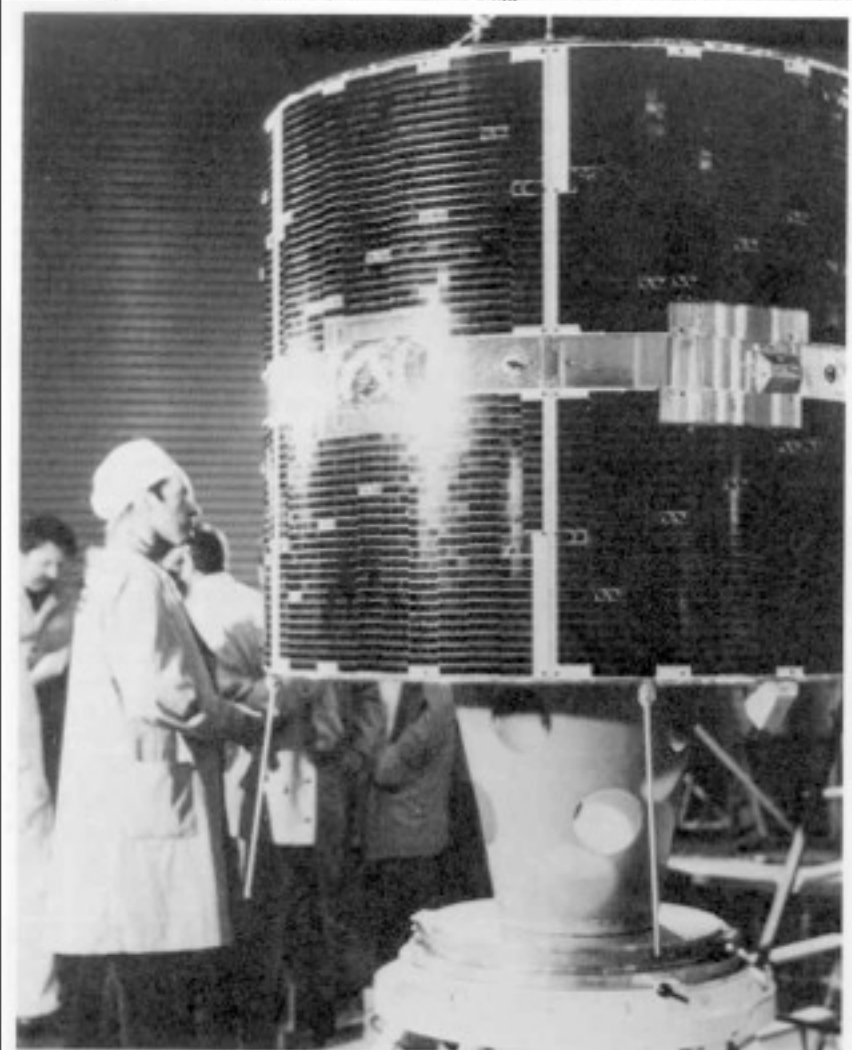
*Powell ottiene il premio Nobel nel 1950*

*Erano gli anni della guerra fredda e Occhialini era un comunista...*

*Pontecorvo, un altro famoso fisico, ha sintetizzato facendo un famoso brindisi: **non brindo alla salute di Beppo, ma a quella di tutti noi, perche' lavorare con Beppo e' una maniera praticamente certa di vincere un premio Nobel!***

*Beppo ha fondato l'IFCTR di Milano e ha contribuito al lancio dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA).*

***E' stato uno dei padri di COS-B, il primo satellite scientifico di ESA (astrofisica dei raggi gamma)***

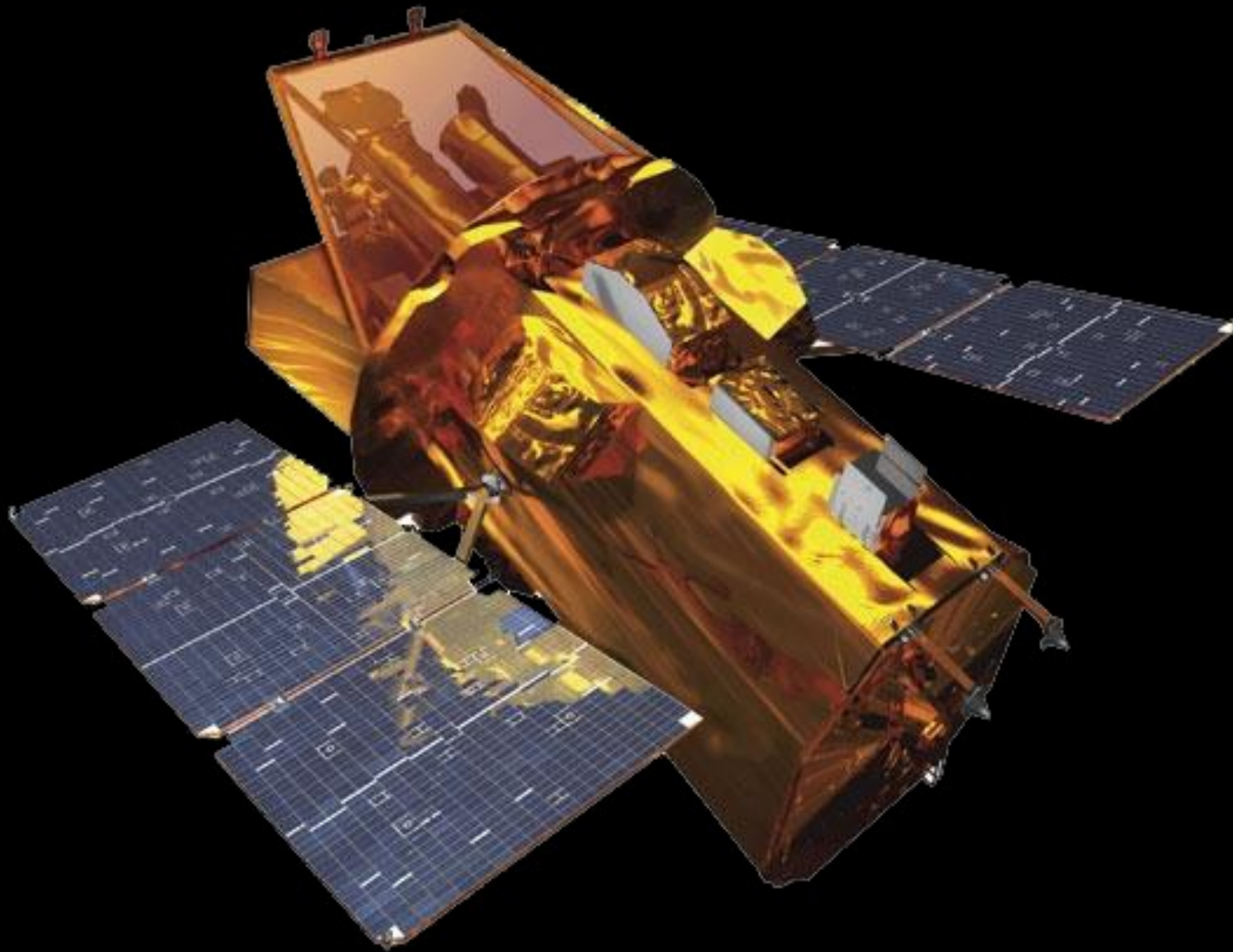


COS-B — Europe's first observatory satellite. (NASA photo)



# Il satellite BeppoSAX

In onore di Giuseppe Occhialini, detto Beppo...





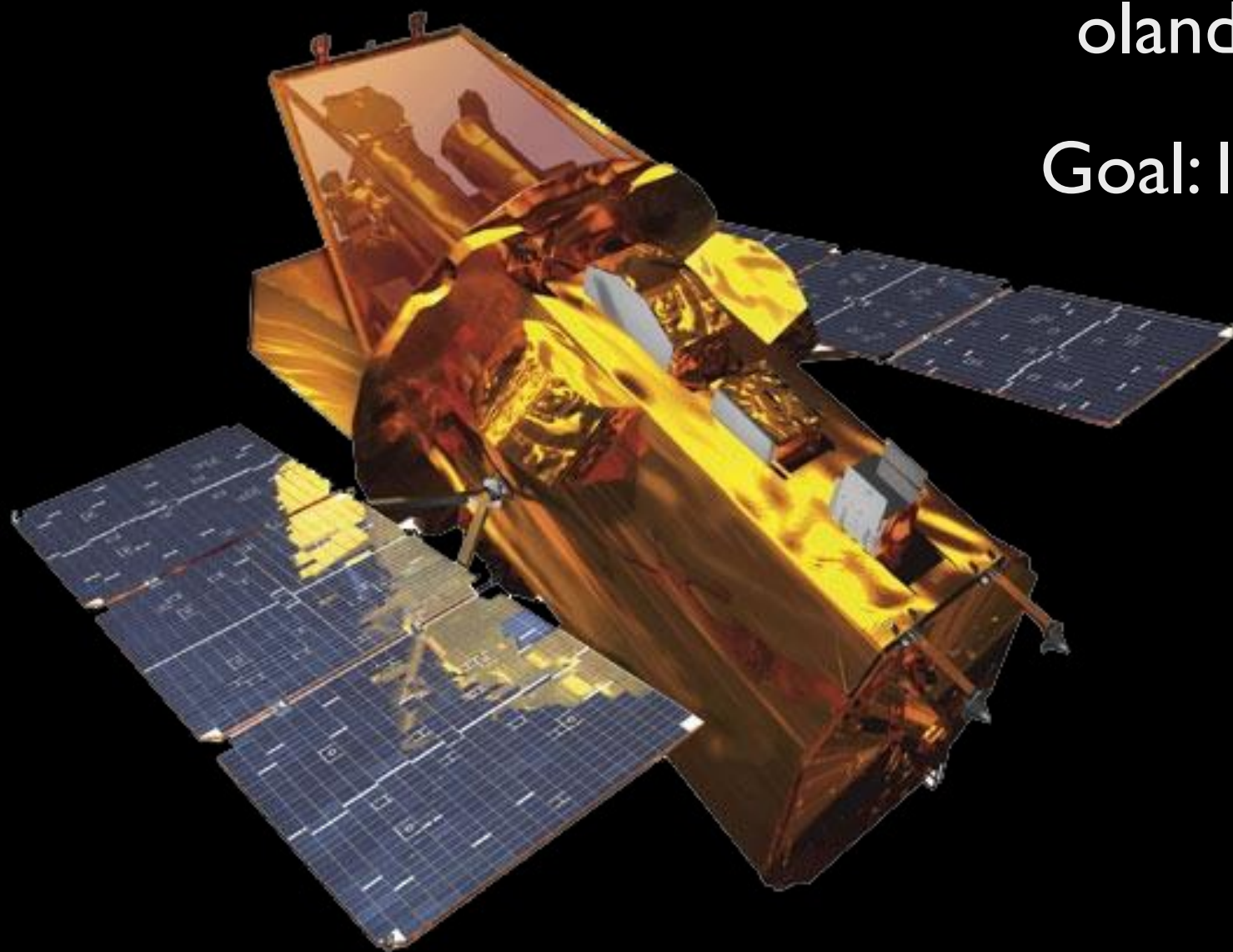
# Il satellite BeppoSAX

In onore di Giuseppe Occhialini, detto Beppo...

Satellite italiano con partecipazione  
olandese. Lancio 30 Aprile 1996

Goal: localizzazioni con precisione  
migliore di 1 arcmin

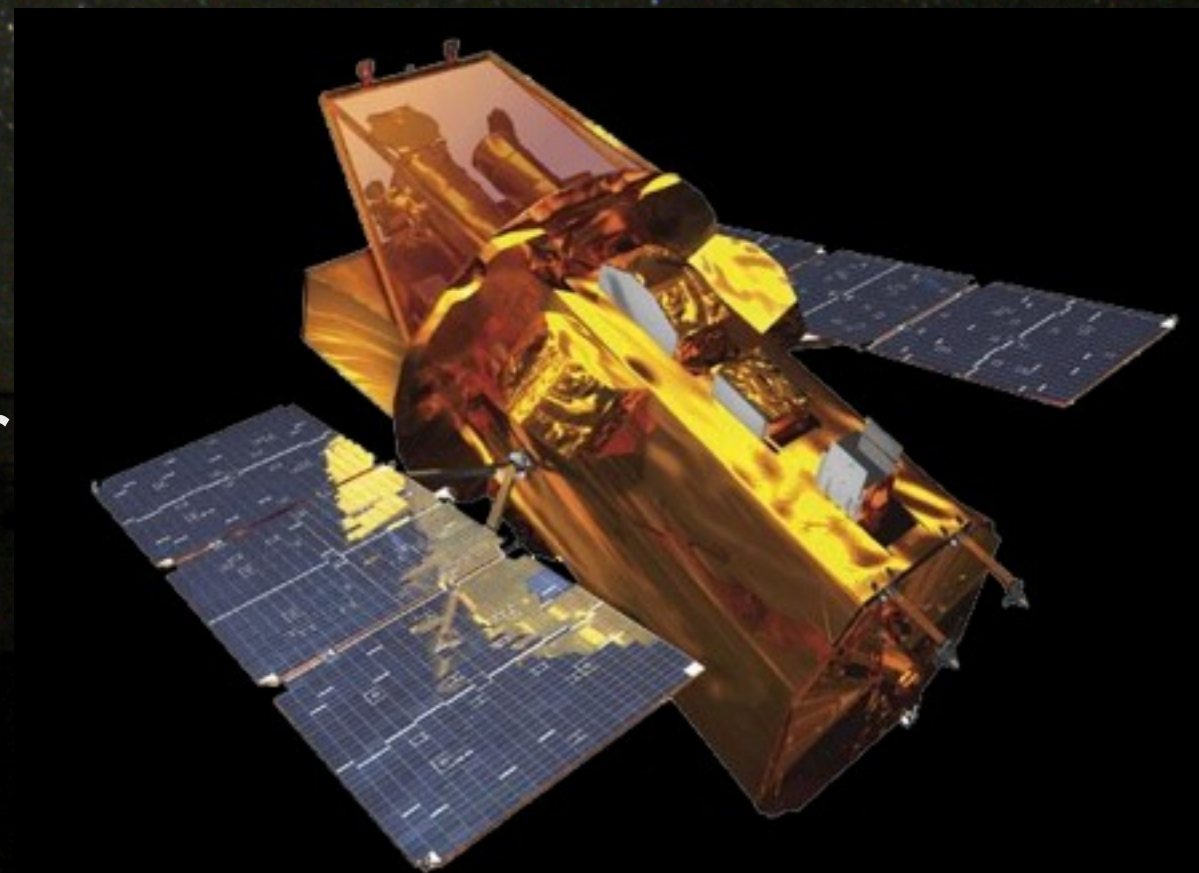
Rapidità di puntamento





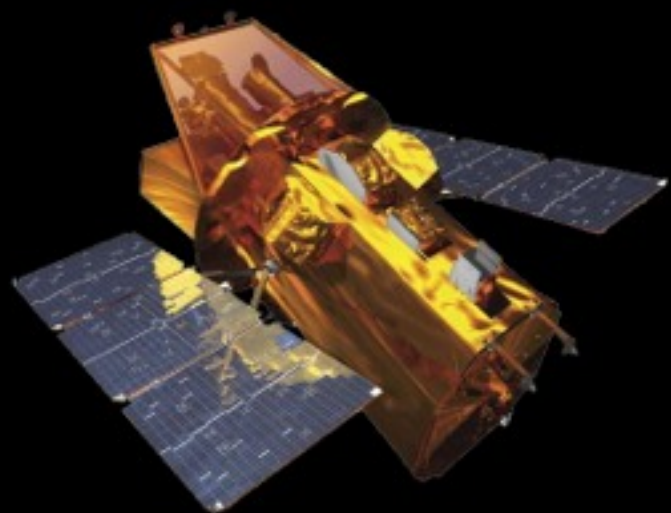
# La Strategia di BeppoSAX

- Si scopre un GRB con le WFC (campo di vista di  $40^\circ \times 40^\circ$  di e lo si localizza con una incertezza di qualche arcmin
- Si riprogramma il satellite per ripuntare la posizione del GRB con i telescopi X e si localizza il GRB con una incertezza di mezzo arcmin, 6-12 ore.
- Si allertano i telescopi terrestri per osservare quella regione di cielo in altre bande dello spettro e.m.



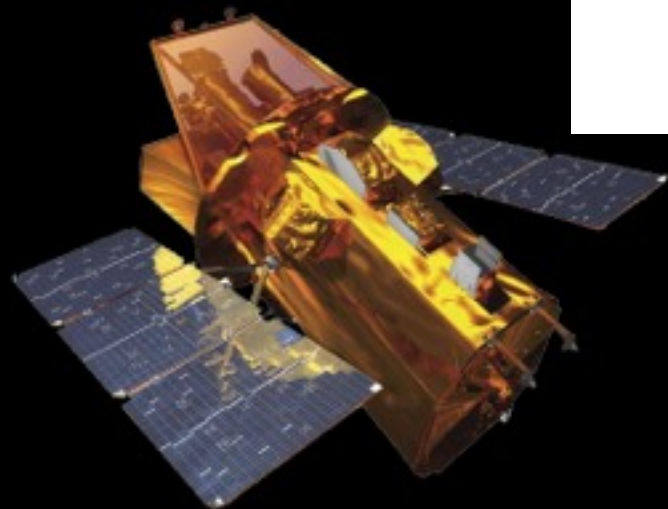
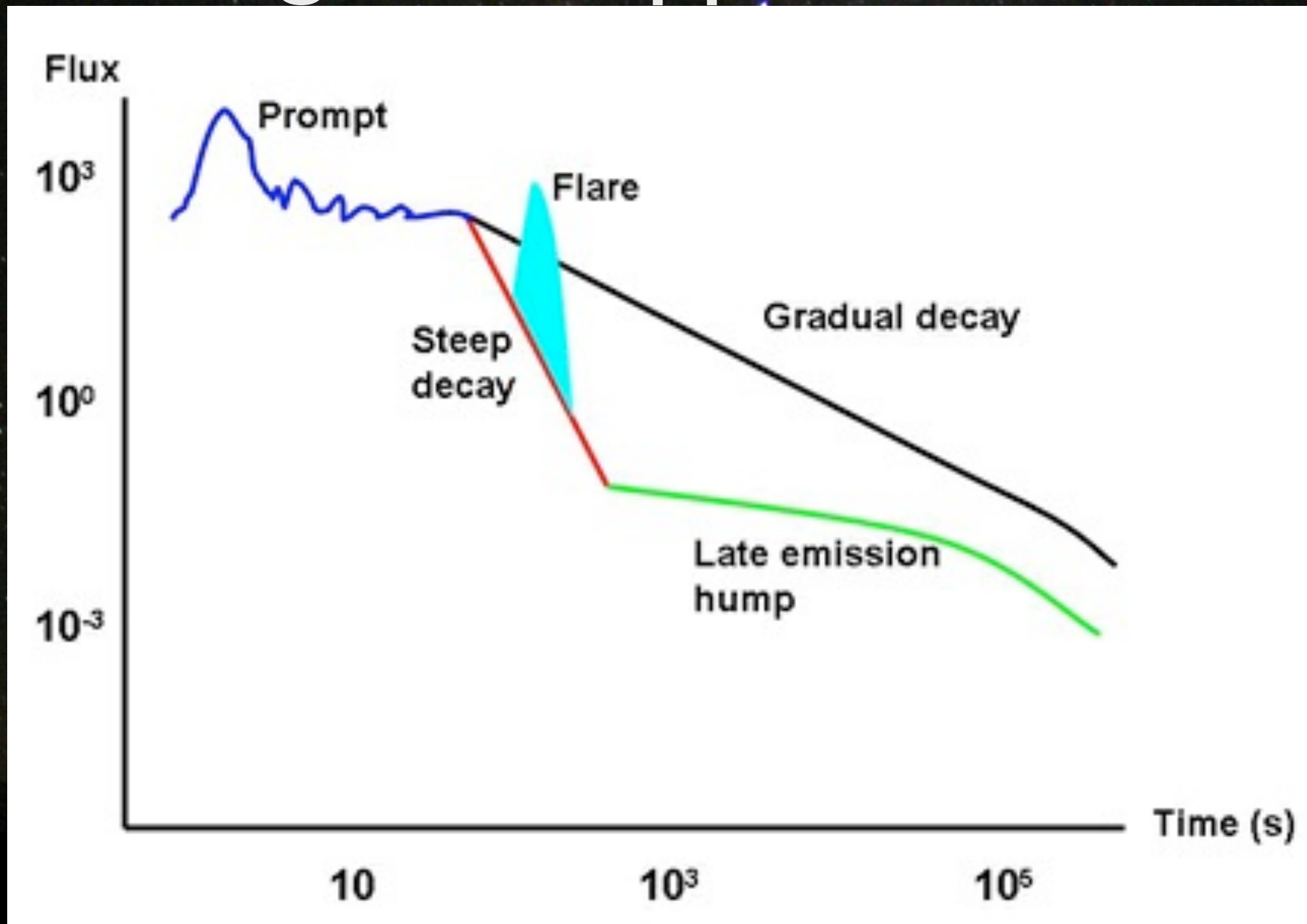


# La Strategia di BeppoSAX



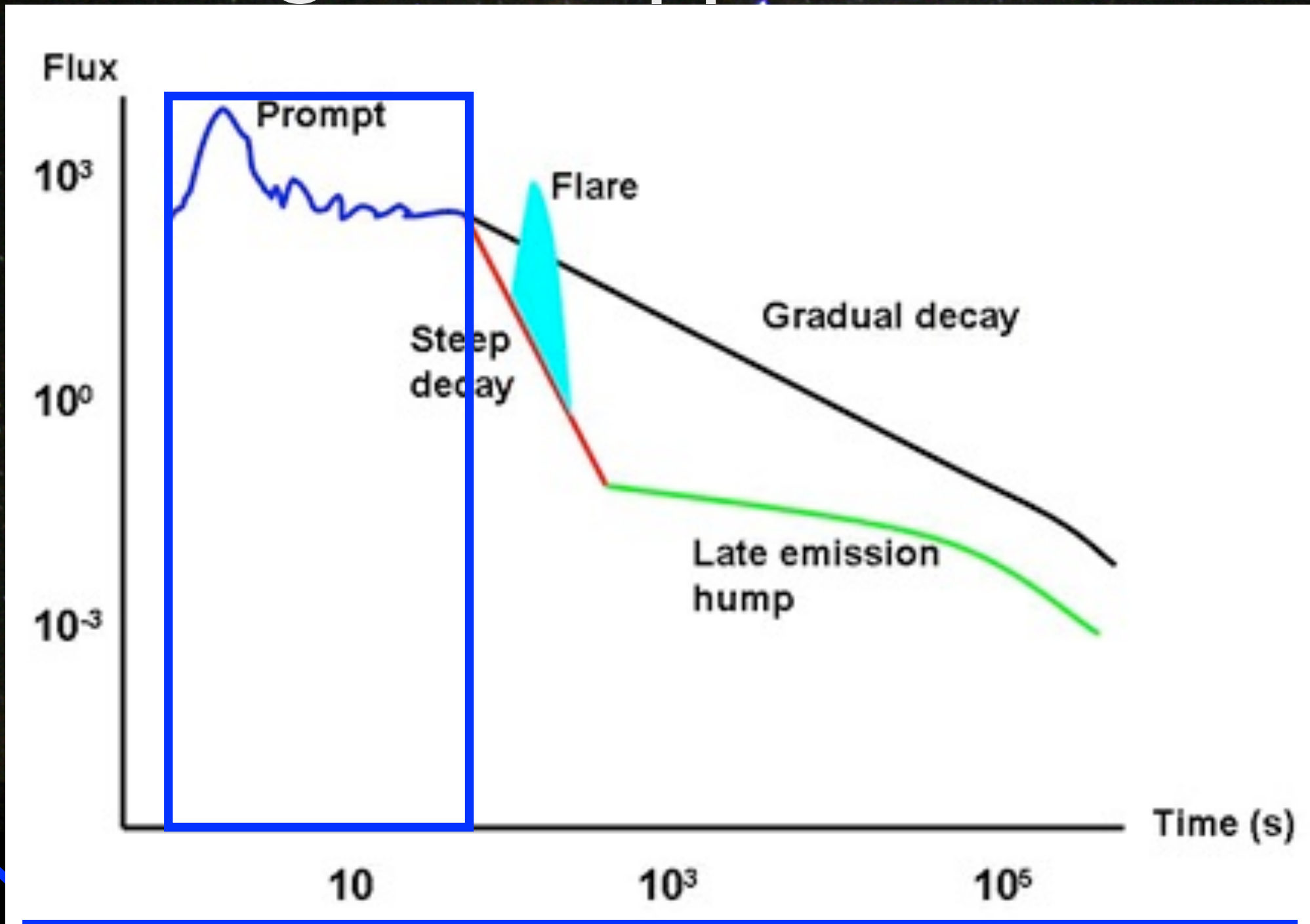


# La Strategia di BeppoSAX

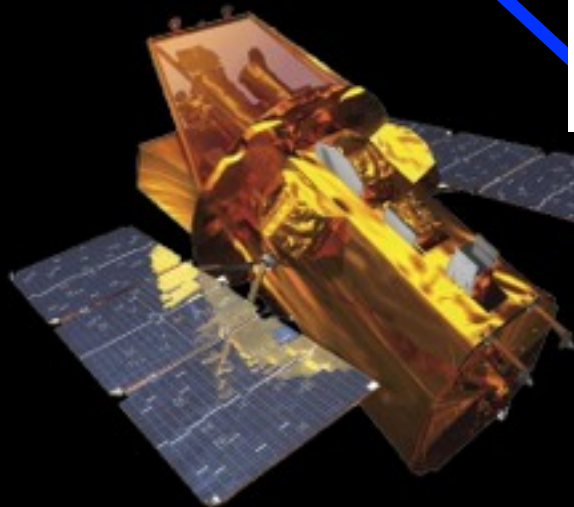




# La Strategia di BeppoSAX

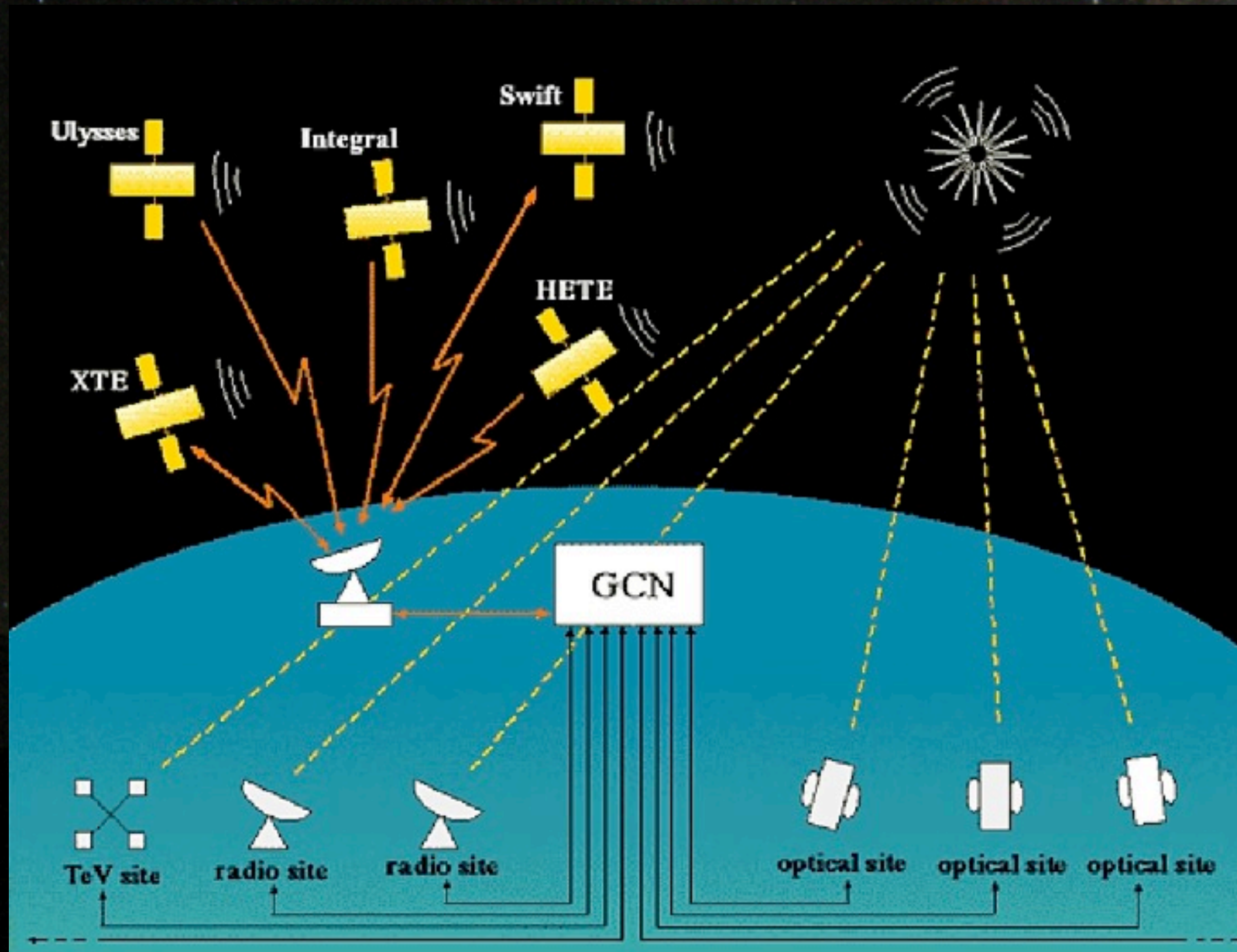


Qui e' la chiave per capire cosa c'e' alla base del fenomeno.



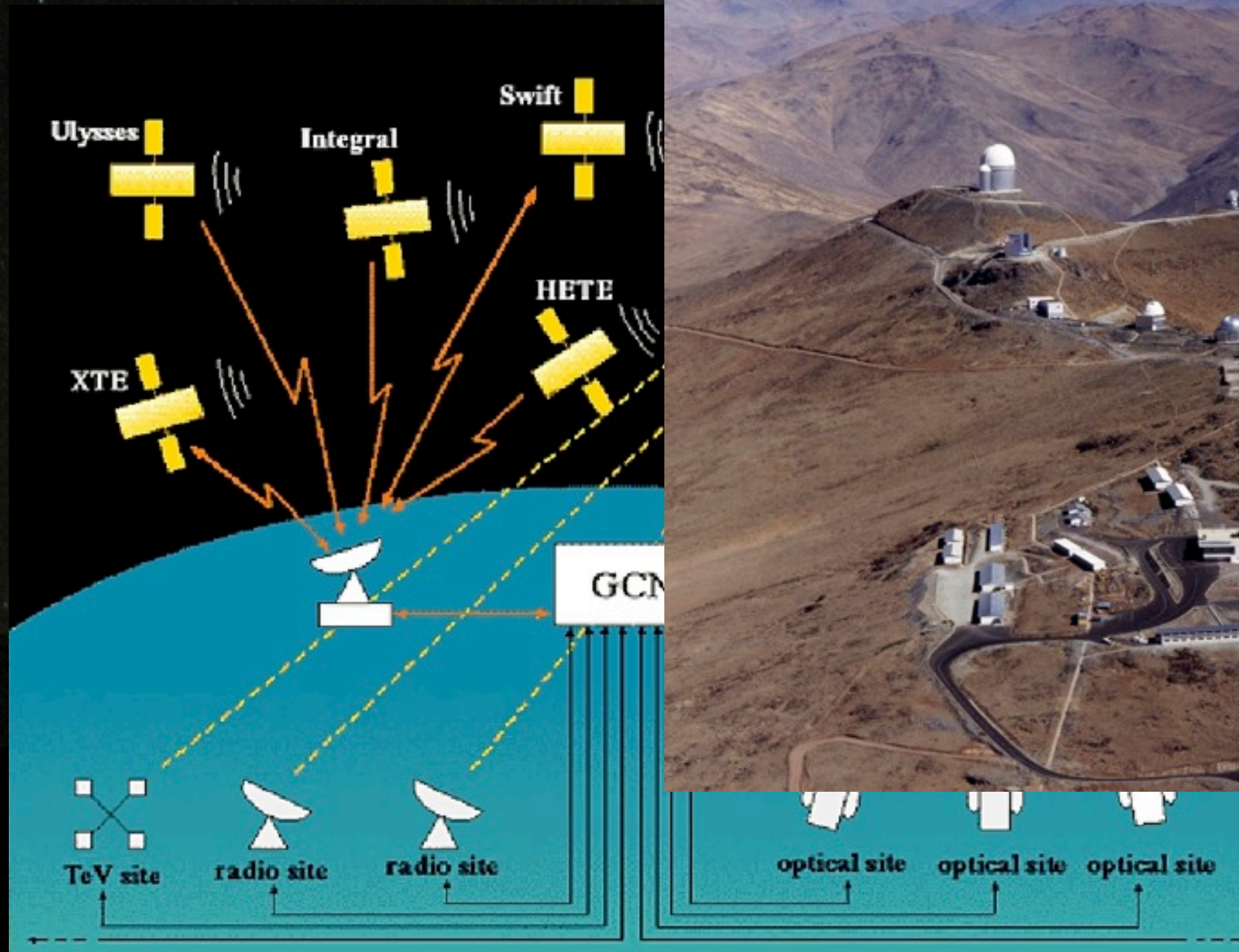


# Gamma-ray Burst Coordination Network



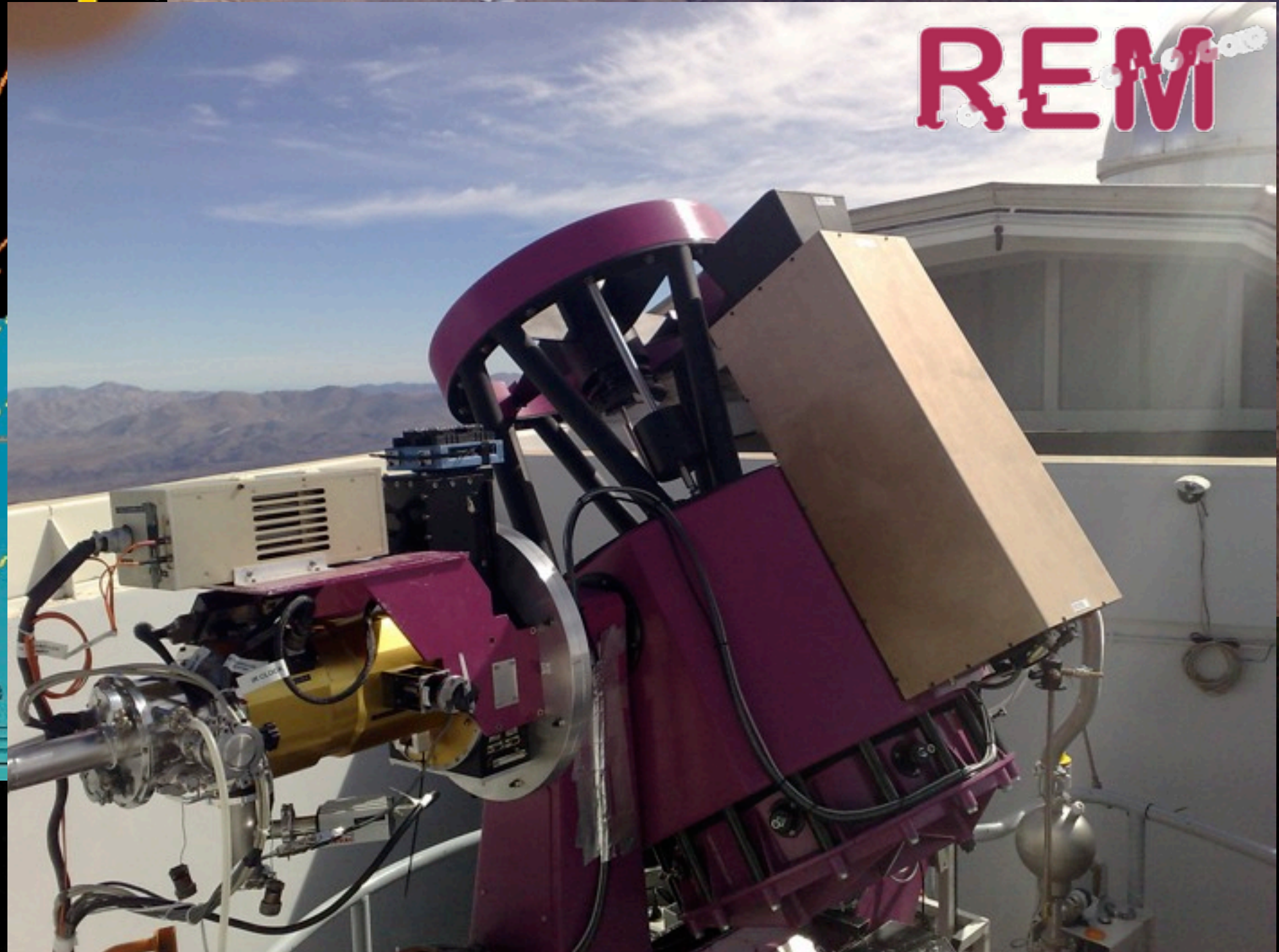
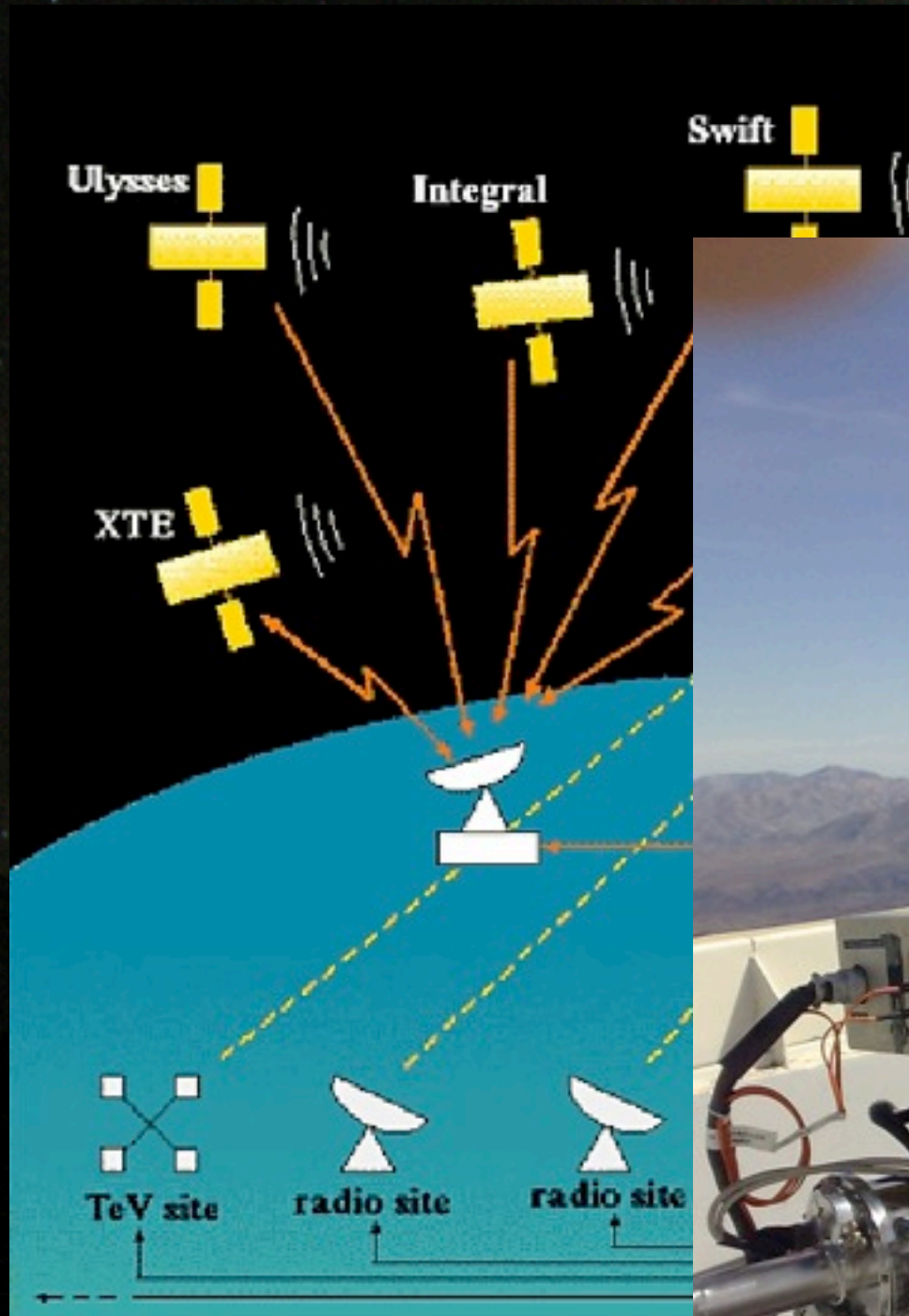


# Gamma-ray Burst Coordination Network



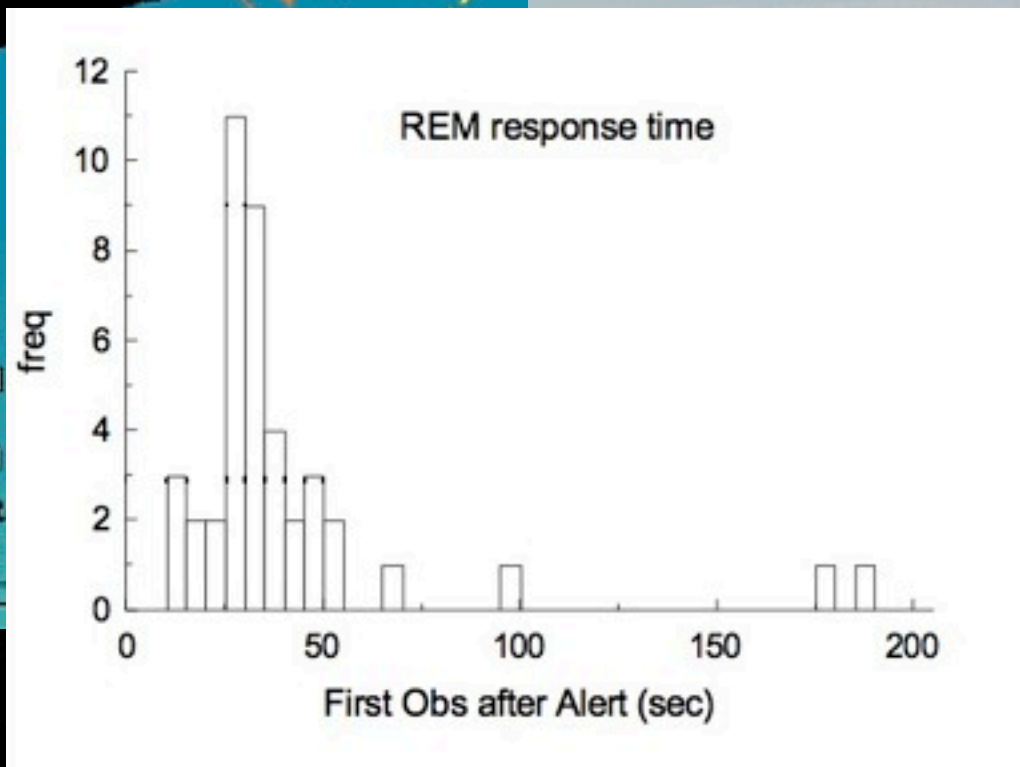
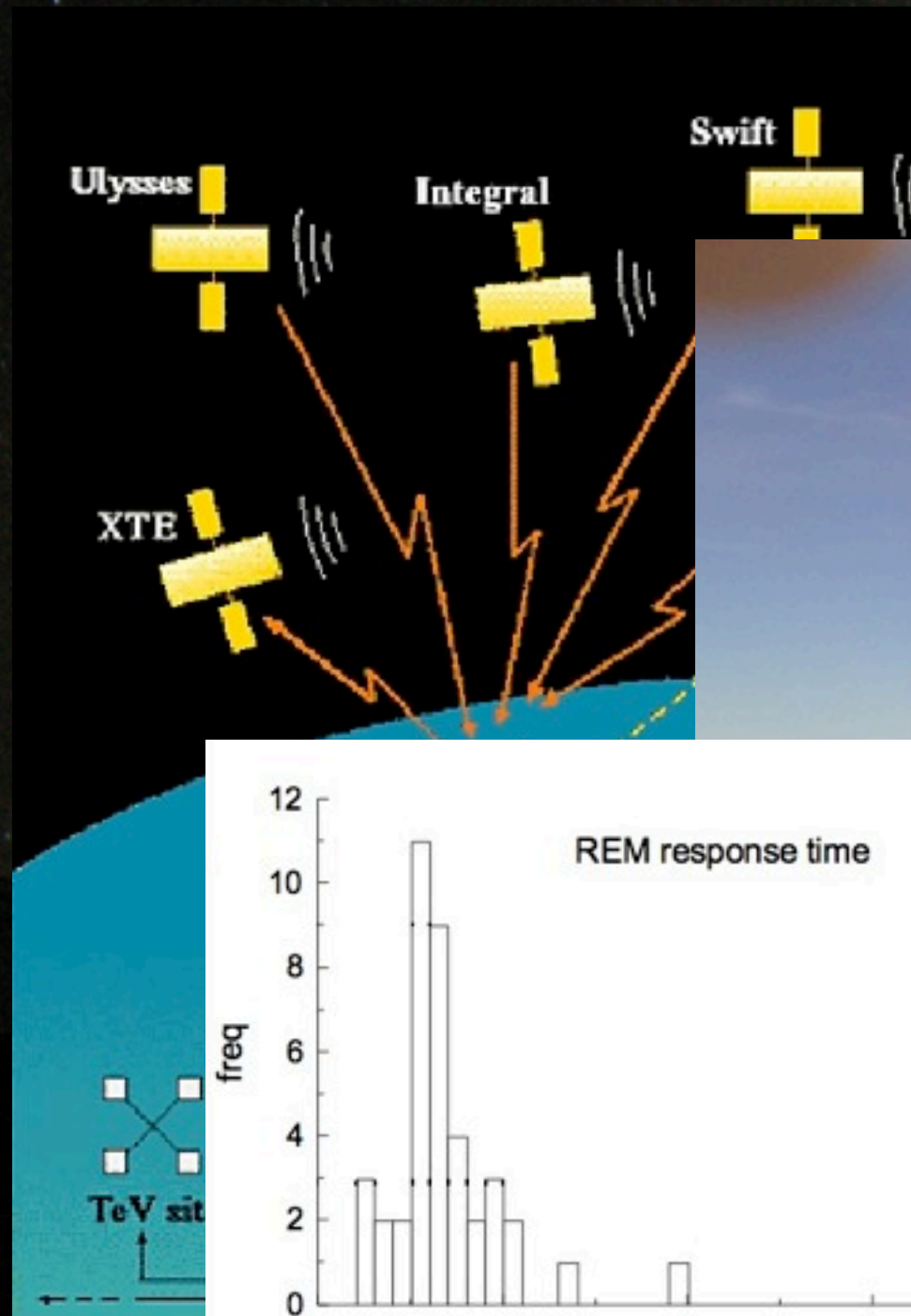


# Gamma-ray Burst Coordination Network





# Gamma-ray Burst Coordination Network





# Il problema della localizzazione dei GRB

Box errore  
di Batse





# Il problema della localizzazione dei GRB

Box errore  
di Batse

Box errore di  
BeppoSAX

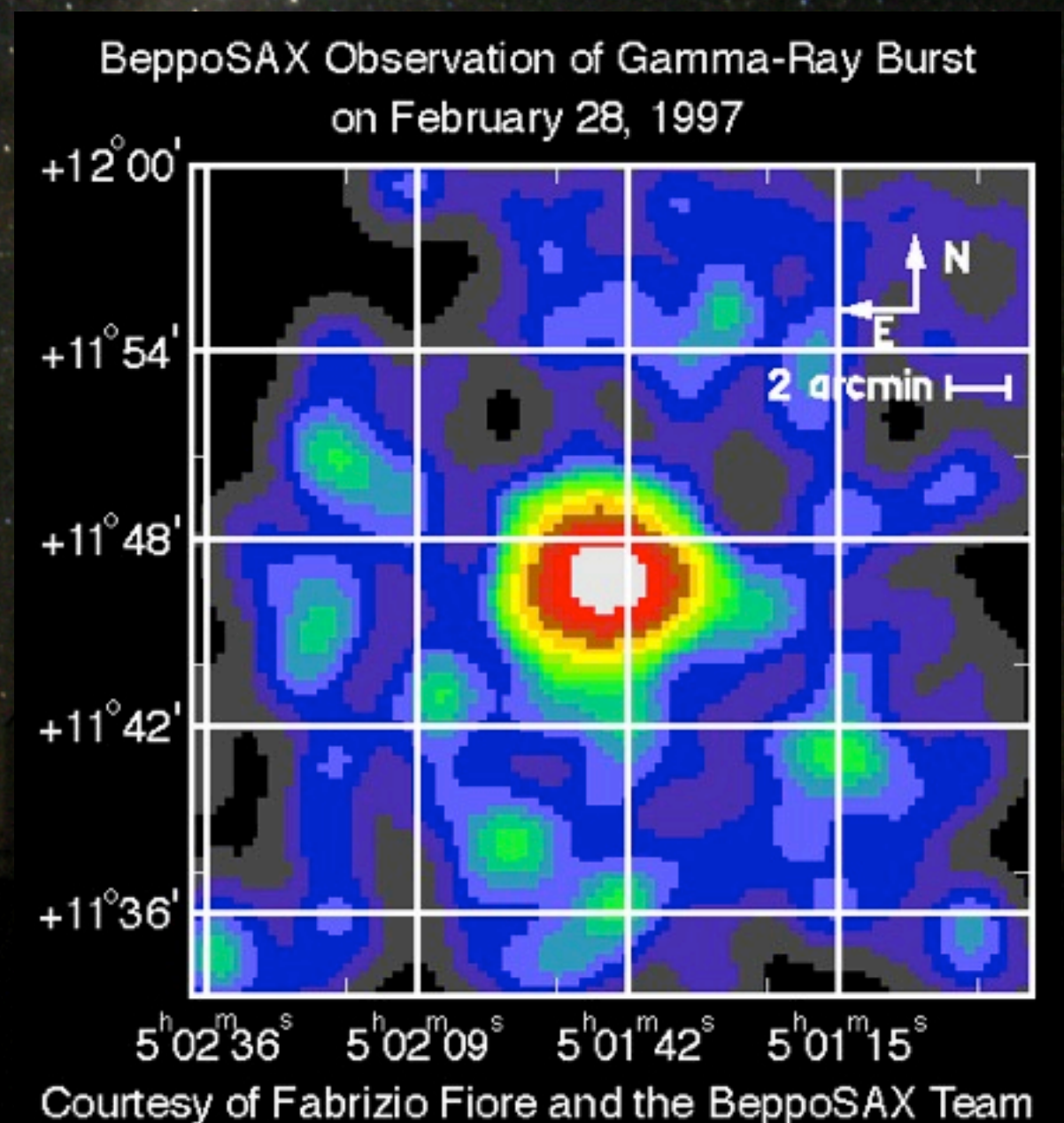




# La svolta: GRB 970228

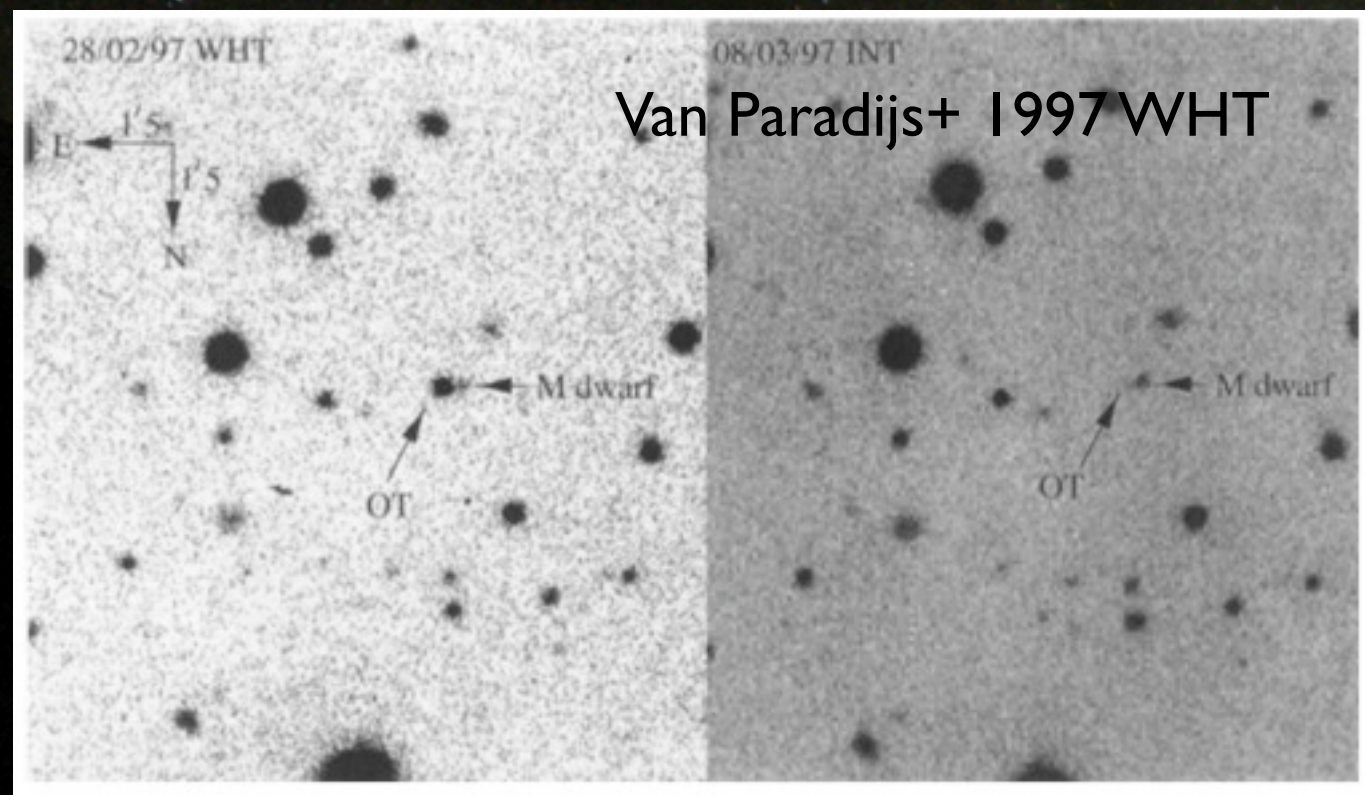
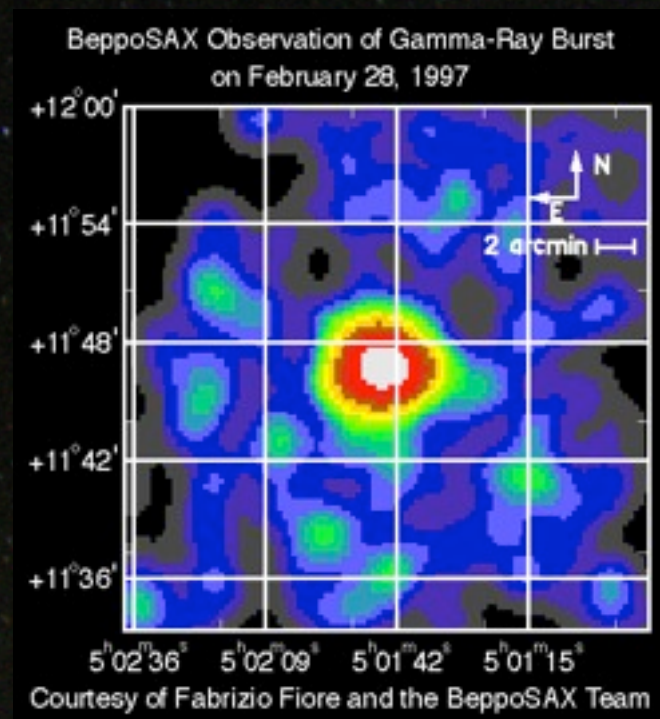
Il 28 Febbraio 1997, alle 02:58 UTC venne rivelato un GRB contemporaneamente dal Gamma-Ray Burst Monitor e da uno delle Wide Field Cameras a bordo di BeppoSAX

Il flash g duro` circa 80 secondi, con diversi picchi nella sua curva di luce. La posizione venne accertata con una precisione di 3 arcmin.



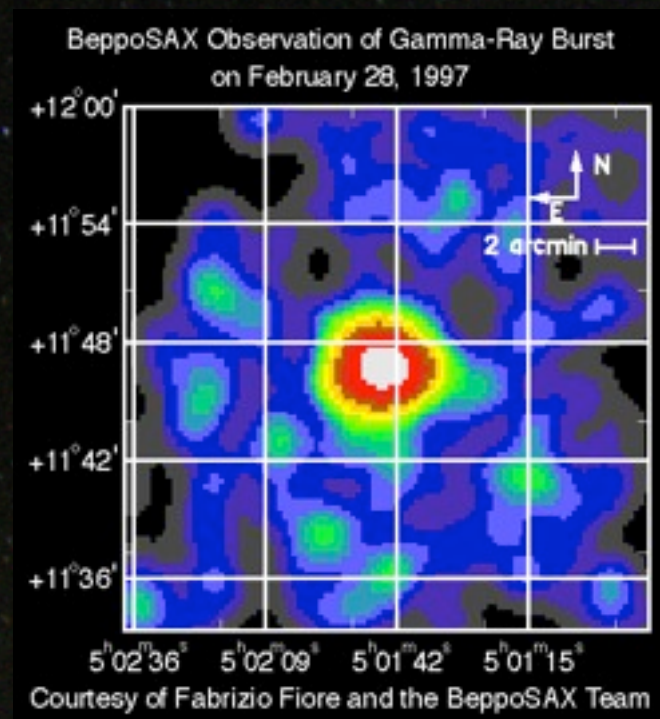


# La svolta: GRB 970228

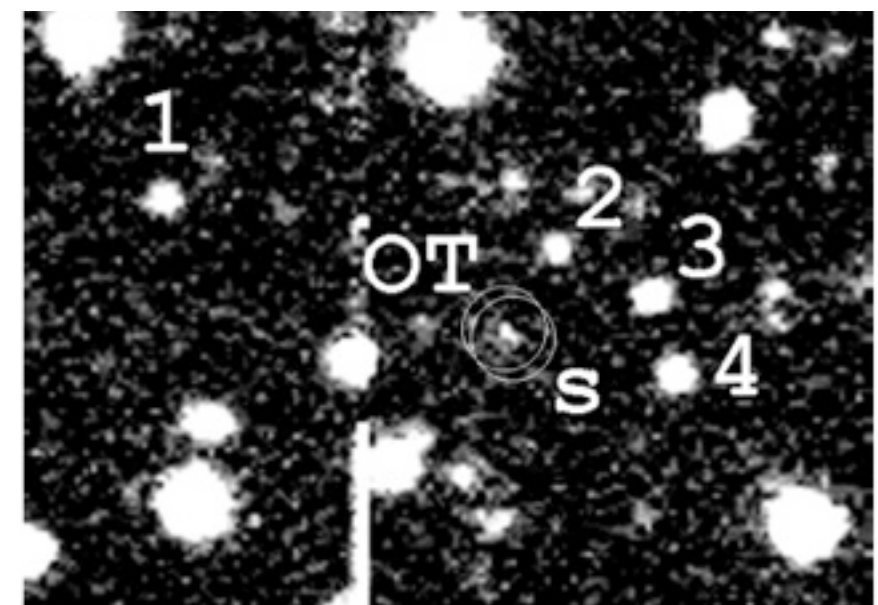




# La svolta: GRB 970228

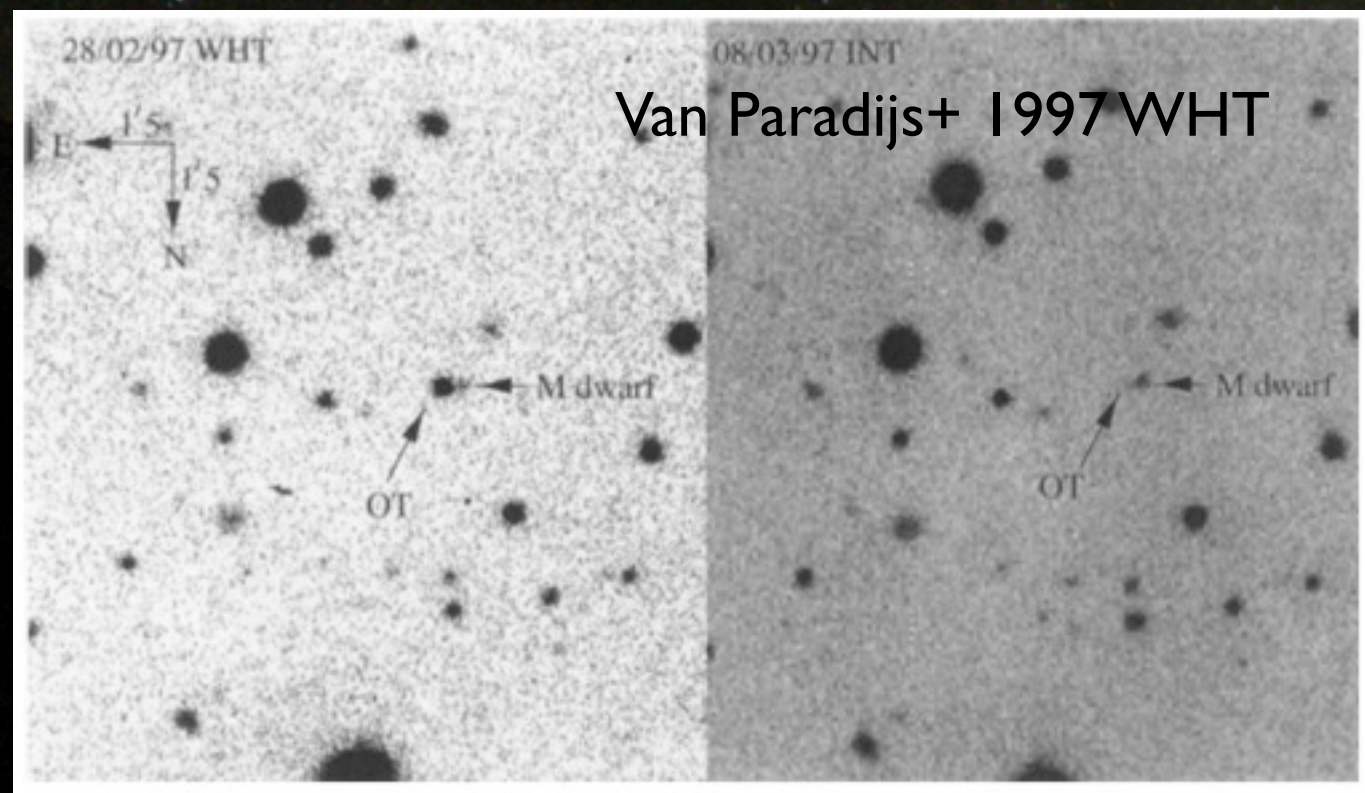
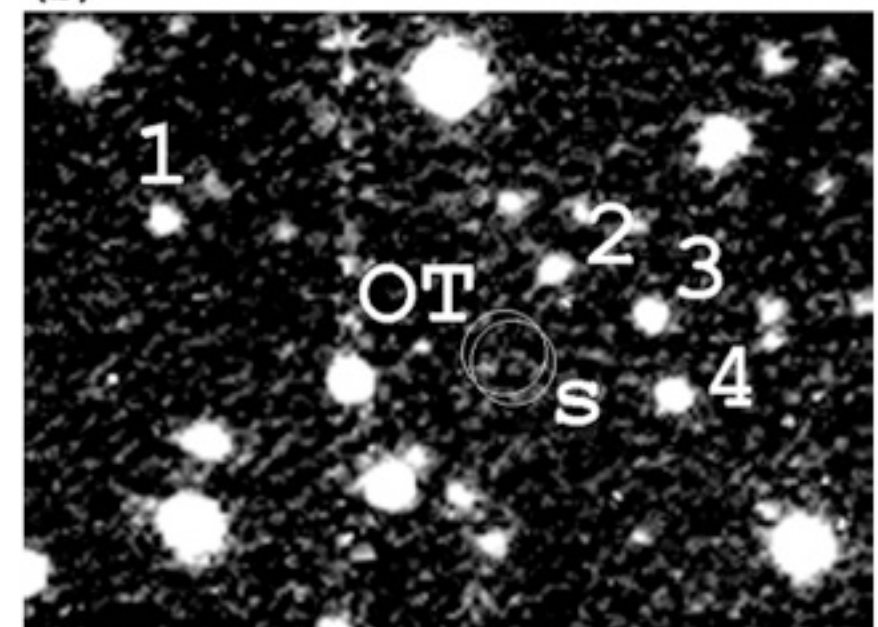


Pedichini+ 1997 Campo imperatore



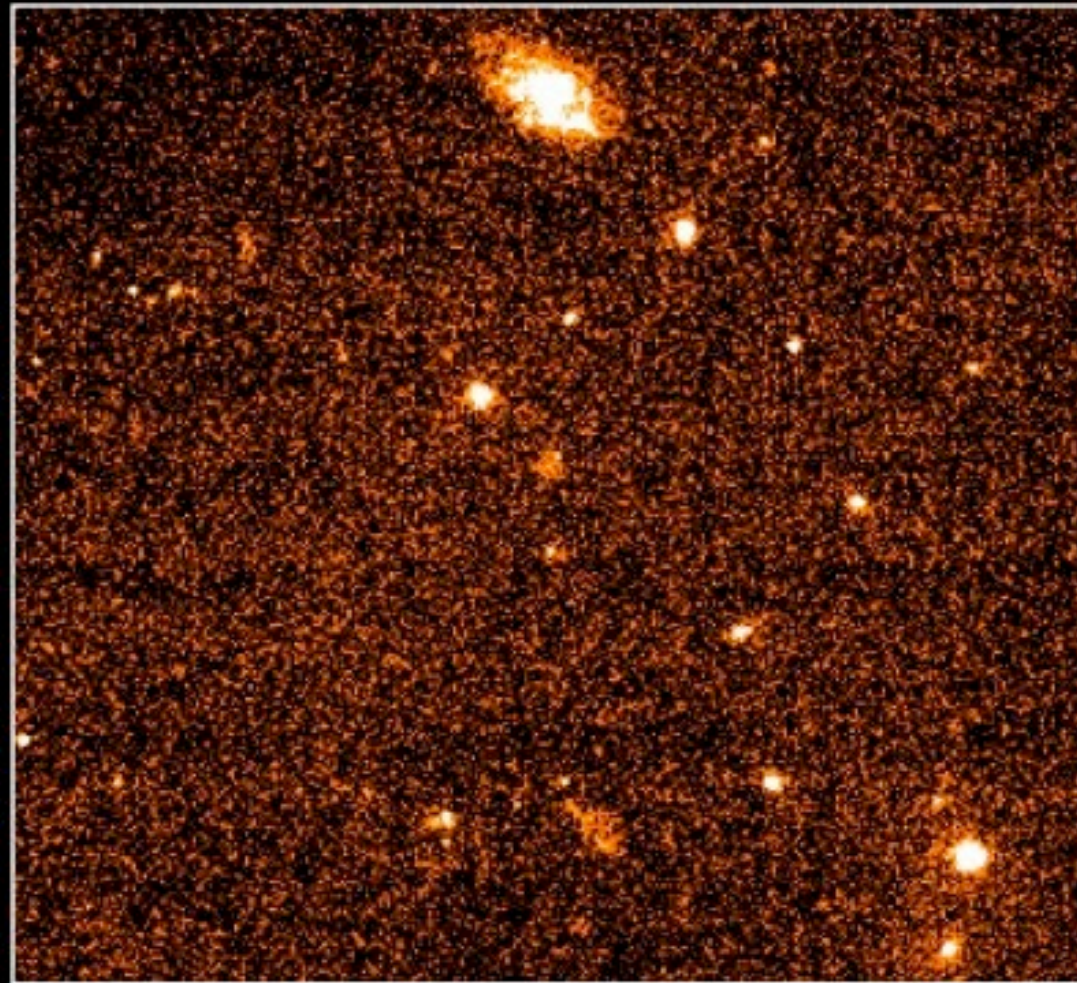
(b)

Mar 04.83 U.T.

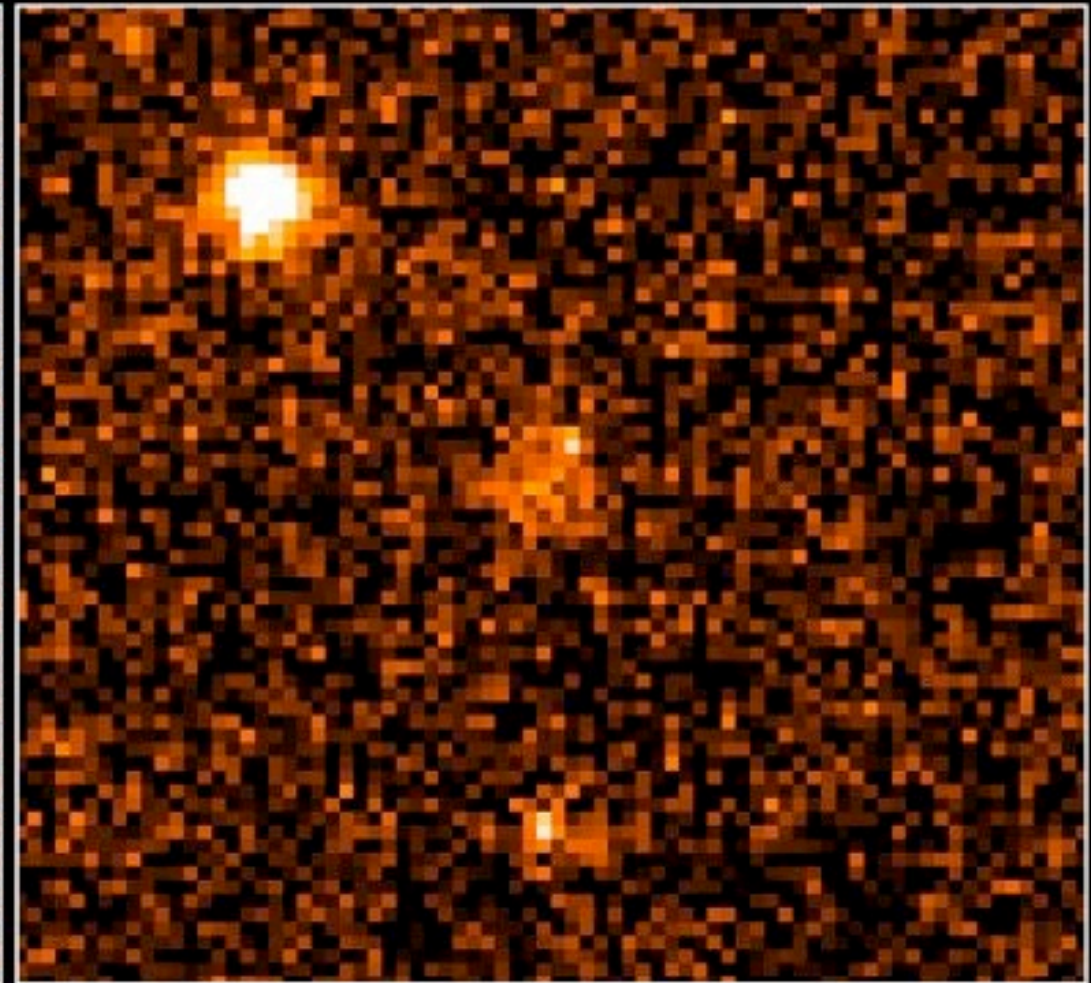




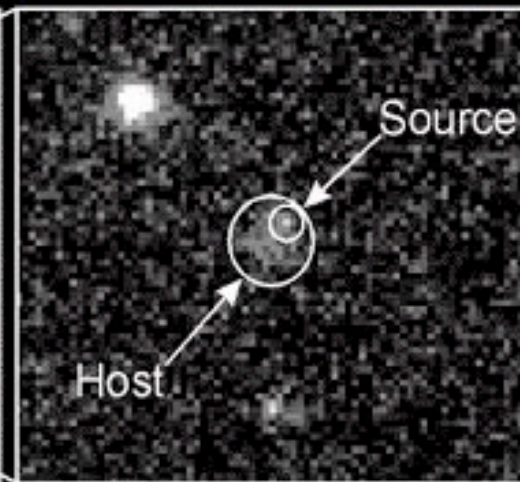
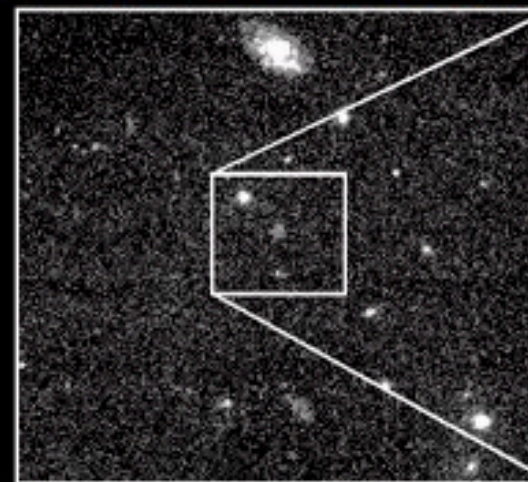
# La svolta: GRB 970228



**Gamma Ray  
Burst  
GRB 970228**



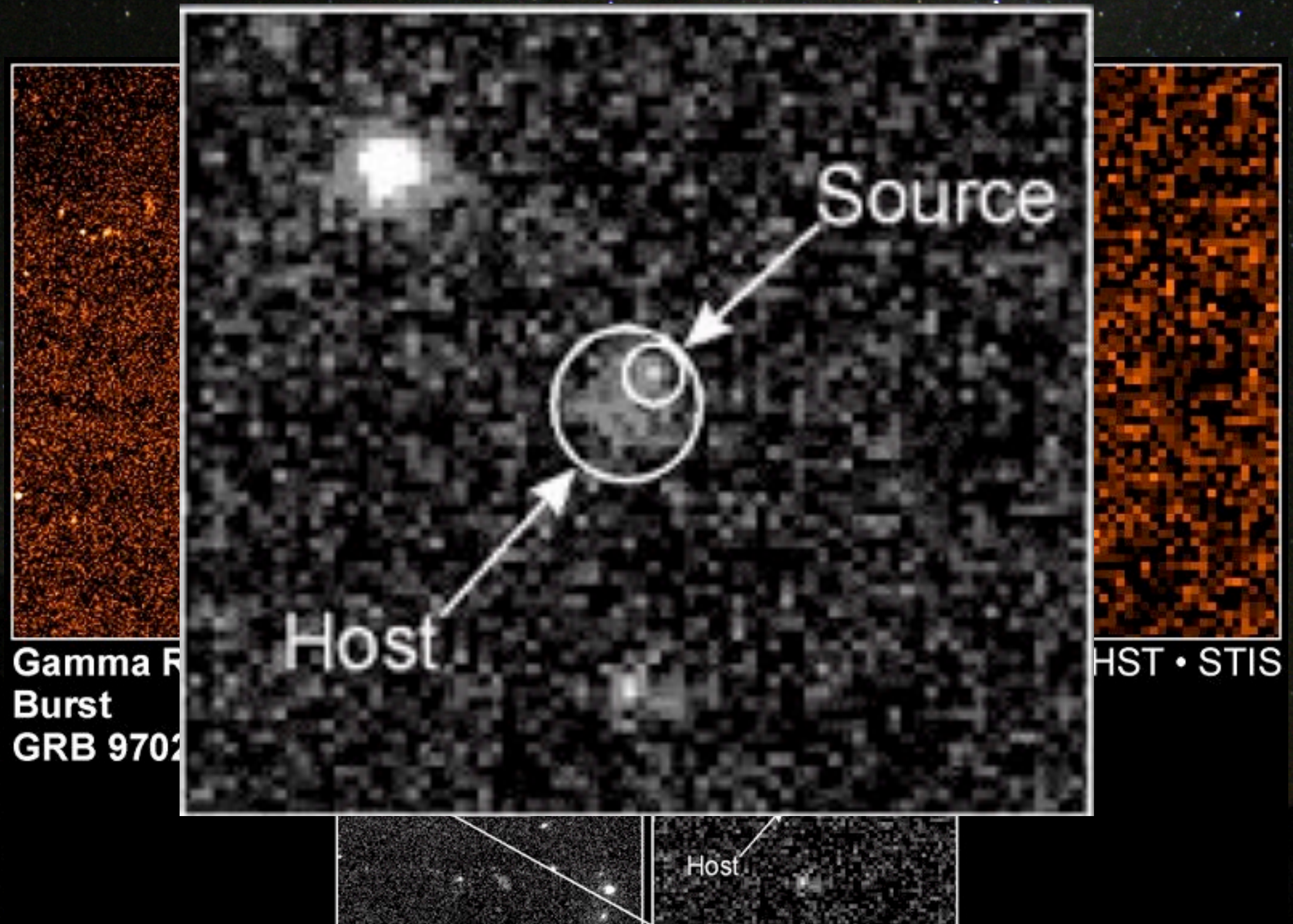
**HST • STIS**



PRC97-30 • ST ScI OPO • September 16, 1997 • A. Fruchter (ST ScI) and NASA



# La svolta: GRB 970228



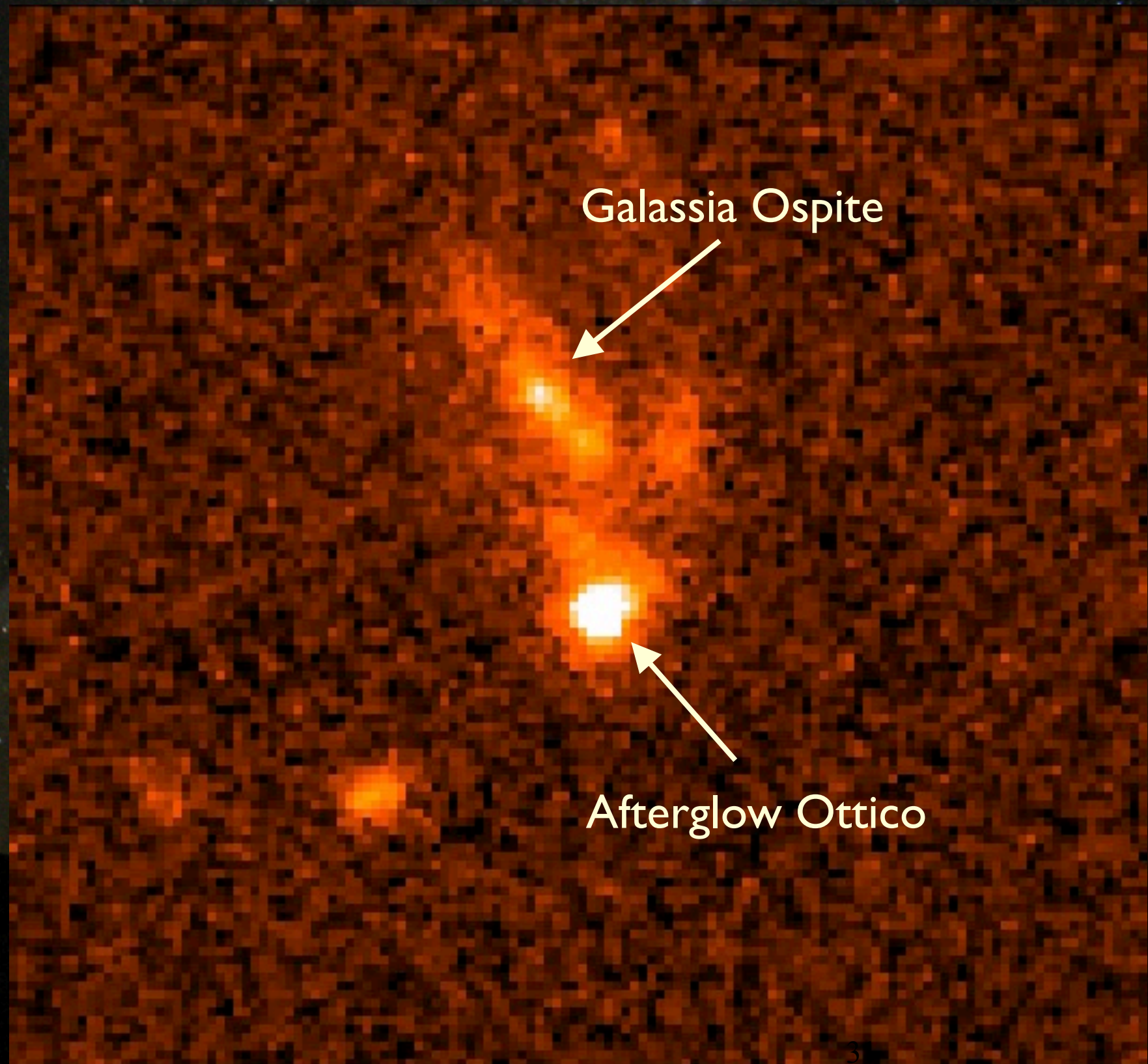
PRC97-30 • ST ScI OPO • September 16, 1997 • A. Fruchter (ST ScI) and NASA



# Cominciamo a capire qualcosa

Posizioni accurate hanno permesso agli astronomi di studiare le galassie ospiti, dopo che il burst si era indebolito.

GRB 990123 osservato da HST 16, 59 and 380 giorni dopo il burst.





# Cominciamo a capire qualcosa

Posizioni accurate  
hanno permesso agli  
astronomi di studiare  
le galassie ospiti, dopo  
che il burst si era  
indebolito.

**I GRB sono eventi cosmici che avvengono nelle galassie!**

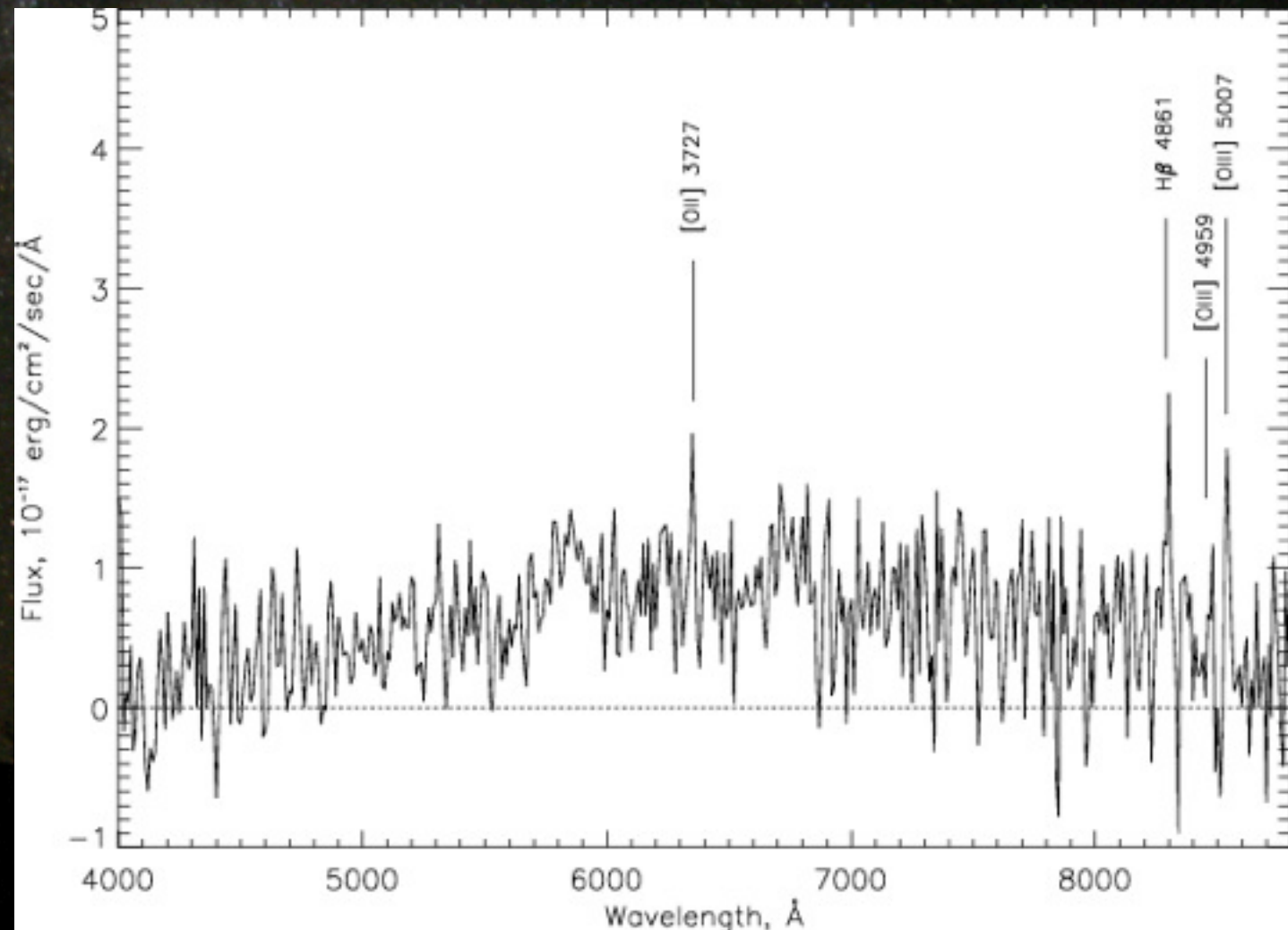
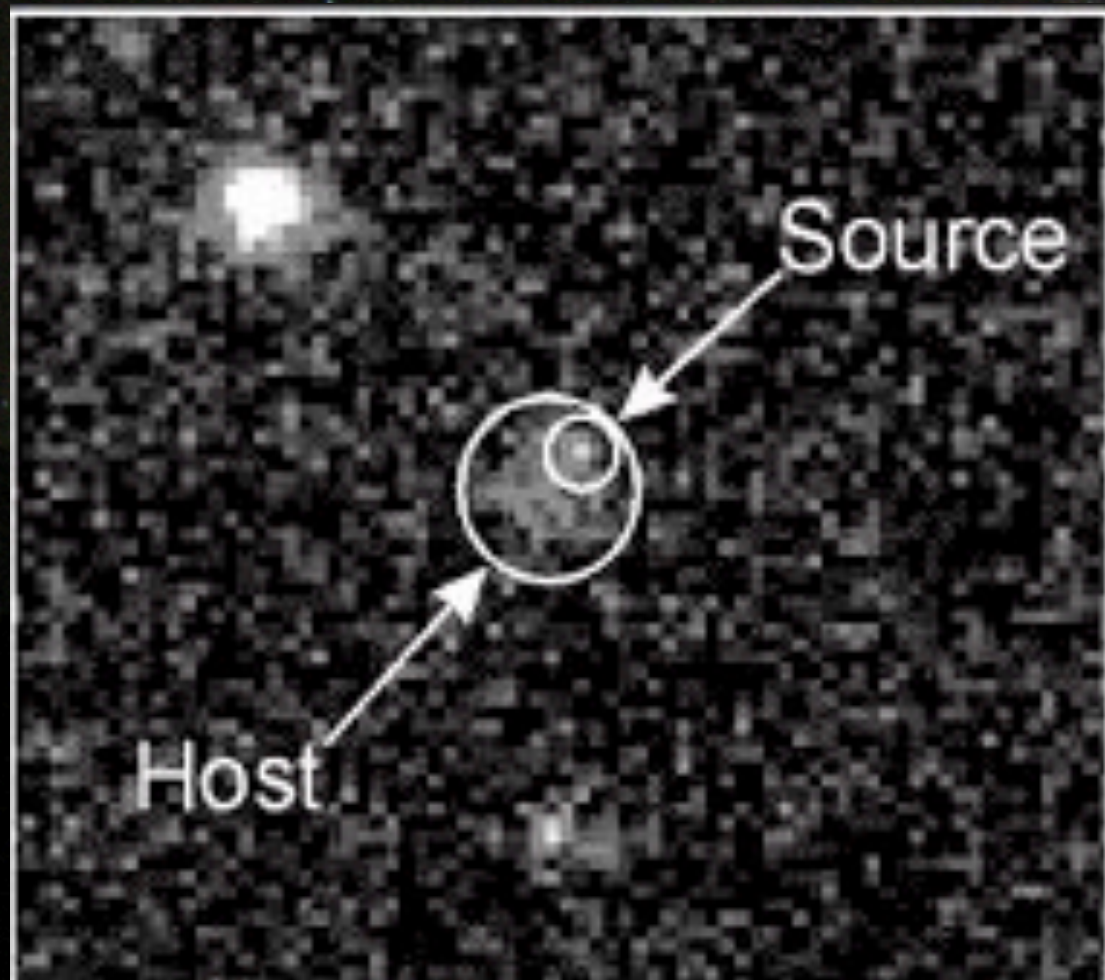
GRB 990123 osservato  
da HST 16, 59 and 380  
giorni dopo il burst.





# Cominciamo a capire qualcosa

Lo spettro della Galassia ospite ha un redshift  $z = 0.695$ , che corrisponde ad una distanza di circa 8.1 miliardi di anni luce!

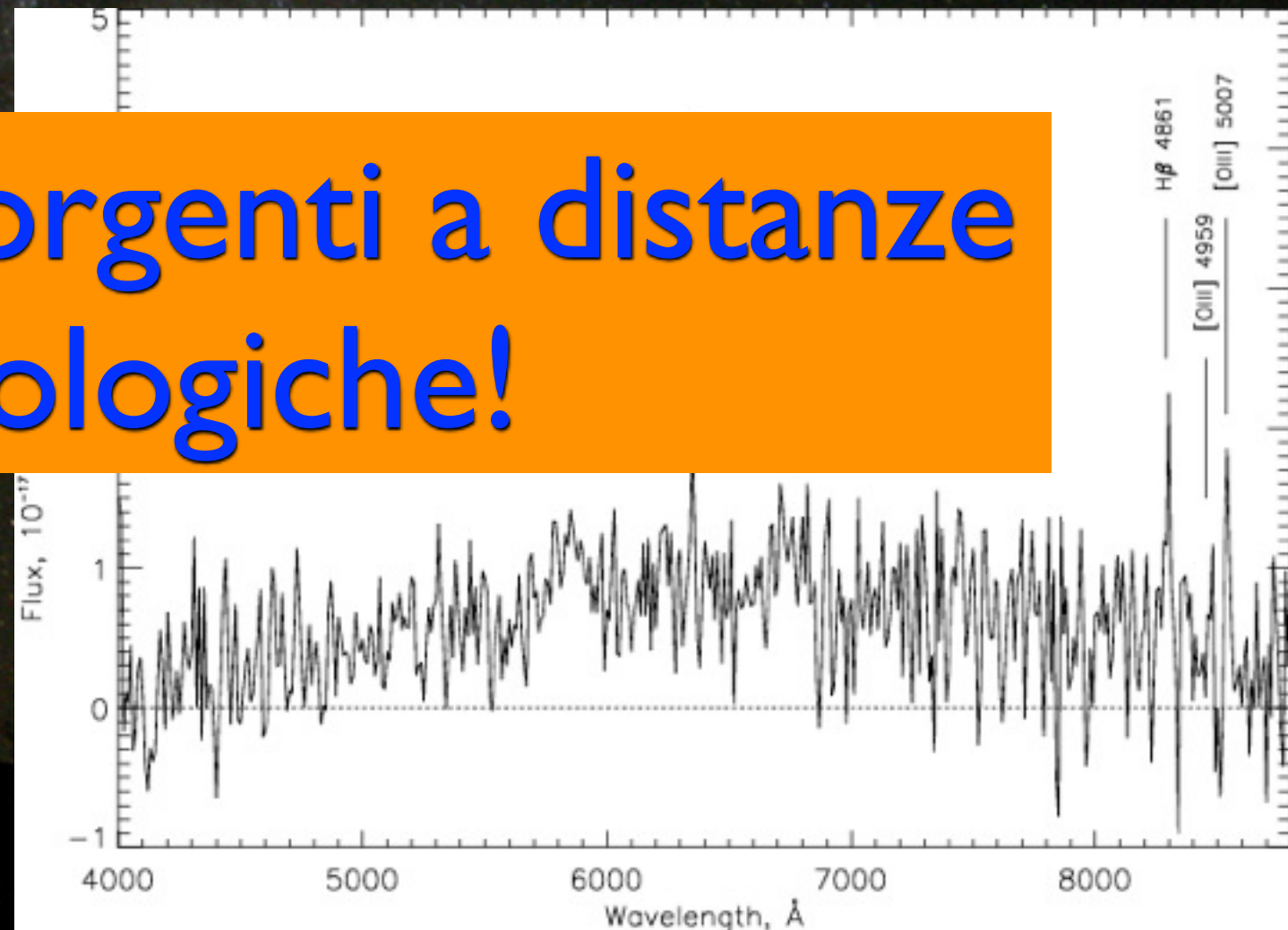




# Cominciamo a capire qualcosa

Lo spettro della Galassia ospite ha un redshift  $z = 0.695$ , che corrisponde ad una distanza di circa 8.1 miliardi di anni luce!

**I GRB sono sorgenti a distanze cosmologiche!**



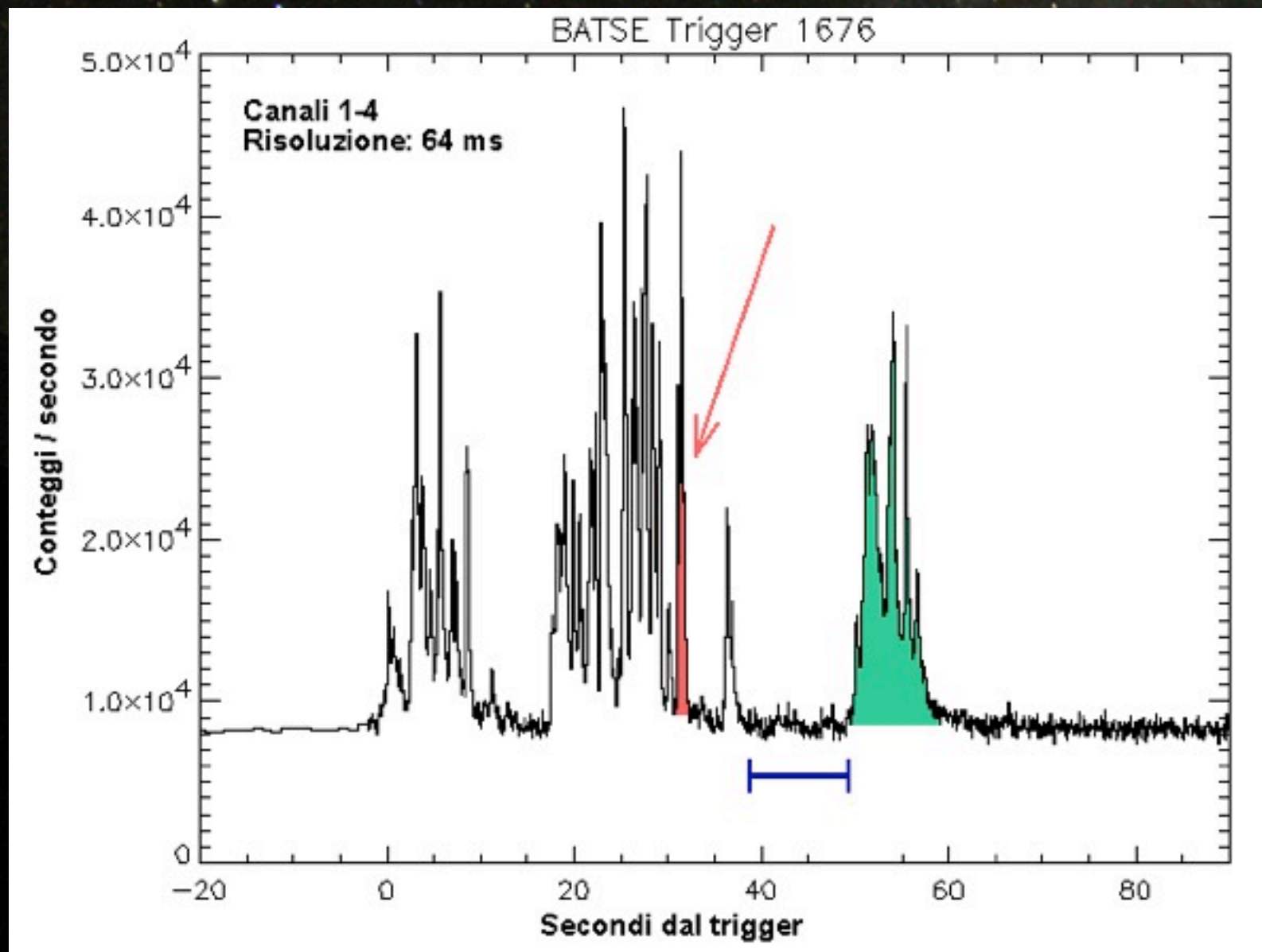


# Cominciamo a capire qualcosa

## La variabilità: un indizio prezioso

**Curva di luce:** intensità del *burst* in funzione del tempo.

Nei GRB, le curve di luce sono complicate ed irregolari, variano su scale temporali molto corte



Durata del burst: **100 s**

Durata dei picchi: **< 1 s**



# Cominciamo a capire qualcosa

Consideriamo una sorgente di **dimensione tipica  $L$** ,  
che varia in un tempo  **$t$**





# Cominciamo a capire qualcosa

Consideriamo una sorgente di **dimensione tipica  $L$** ,  
che varia in un tempo  **$t$**

- una variazione della luminosità è il risultato di una modifica nella sorgente

- la modifica nella sorgente procede a velocità  **$v$** , dove  **$v < c$**

il tempo in cui la modifica si completa è  **$t \sim L / v$**

così 
$$L = v \cdot t < c \cdot t$$



# Un esempio chiarificatore

Il filamento di una lampadina:

\_\_\_\_\_ I: spento

*L*



# Un esempio chiarificatore

Il filamento di una lampadina:

\_\_\_\_\_ I: spento

*L*

\_\_\_\_\_ 2: accendo l'interruttore

Il filamento è tutto acceso solo dopo che la corrente lo ha attraversato completamente.

Il tempo impiegato è almeno  $L/v_{\text{corrente}}$



# Cominciamo a capire qualcosa

Tipicamente  $t = 1 \text{ ms}$

$$L = v \cdot t < c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \times 10^{-3} \text{ s} = 300 \text{ Km}$$




# Cominciamo a capire qualcosa

Tipicamente  $t = 1 \text{ ms}$

$$L = v \cdot t < c \cdot t = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \times 10^{-3} \text{ s} = 300 \text{ Km}$$

La sorgente dei GRB deve essere  
piccola e compatta.





Una stima delle energie in gioco

Sappiamo che i GRB avvengono a grandi distanze

Conoscendo la distanza, si può risalire alla sua **ENERGIA**.

Infatti, nel caso di emissione isotropica:



# Una stima delle energie in gioco

Sappiamo che i GRB avvengono a grandi distanze

Conoscendo la distanza, si può risalire alla sua **ENERGIA**.

Infatti, nel caso di emissione isotropica:

$$F = \frac{L}{4\pi \cdot R^2}$$



# Una stima delle energie in gioco

Sappiamo che i GRB avvengono a grandi distanze

Conoscendo la distanza, si può risalire alla sua **ENERGIA**.

Infatti, nel caso di emissione isotropica:

$$F = \frac{L}{4\pi \cdot R^2}$$

*Flusso<sub>osservato</sub> =  $\frac{\text{energia}}{\text{tempo} \cdot \text{superficie}}$*

*Luminosità' =  $\frac{\text{energia}}{\text{tempo}}$*

*Distanza*



# Una stima delle energie in gioco

Sappiamo che i GRB avvengono a grandi distanze

Conoscendo la distanza, si può risalire alla sua **ENERGIA**.

Infatti, nel caso di emissione isotropica:

$$F = \frac{L}{4\pi \cdot R^2}$$

*Flusso<sub>osservato</sub>* =  $\frac{\text{energia}}{\text{tempo} \cdot \text{superficie}}$

*Luminosità'* =  $\frac{\text{energia}}{\text{tempo}}$

*Distanza*

$$L = 4\pi \cdot R^2 \cdot F$$



# Una stima delle energie in gioco

La **distanza** è dell'ordine di  **$10 \text{ Gpc} \approx 3.1 \times 10^{16} \text{ cm}$**





# Una stima delle energie in gioco

La **distanza** è dell'ordine di  **$10 \text{ Gpc} \approx 3.1 \times 10^{16} \text{ cm}$**

I **flussi** osservati sono dell'ordine di  **$10^{-6} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$**

La **luminosità** è quindi  **$10^{52} \text{ erg s}^{-1}$**

Un GRB dura  **$10 \text{ s}$**   $\Rightarrow$  l'**energia totale** rilasciata è  **$10^{53} \text{ erg}$**

- *il **Sole** impiegherebbe  **$10^{12}$  anni***
- *l'intera **Via Lattea** impiega  **$100$  anni***



# Una stima delle energie in gioco

La **distanza** è dell'ordine di  **$10 \text{ Gpc} \approx 3.1 \times 10^{16} \text{ cm}$**

I **flussi** osservati sono dell'ordine di  **$10^{-6} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$**

La **luminosità** è quindi  **$10^{52} \text{ erg s}^{-1}$**

Un GRB dura  **$10 \text{ s}$**   $\Rightarrow$  l'**energia totale** rilasciata è  **$10^{53} \text{ erg}$**

- *il **Sole** impiegherebbe  $10^{12}$  anni*
- *l'intera **Via Lattea** impiega  $100$  anni*

Quindi, assumendo che la potenza sia irradiata isotropicamente (cioe' uguale in tutte le direzioni), l'energia del GRB equivale a convertire istantaneamente tutta la massa del Sole in energia.



# Una stima delle energie in gioco

Non esiste nessun meccanismo fisico conosciuto che permetta questo.

Allora bisogna abbandonare l'ipotesi di isotropia, e considerare un'emissione, per esempio, bipolare.

In questo caso, l'energia totale emessa è molto minore.

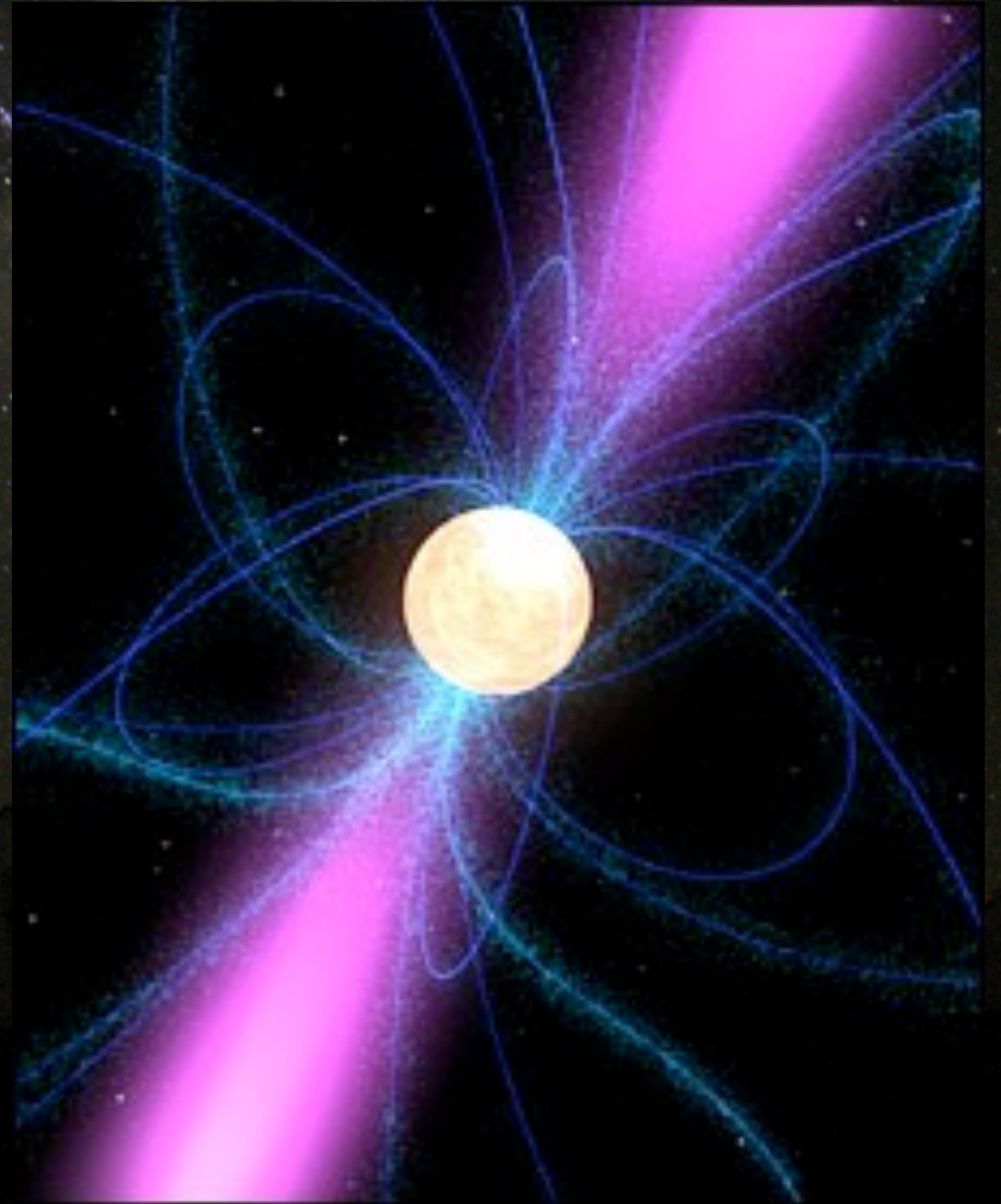


# Una stima delle energie in gioco

Non esiste nessun meccanismo fisico conosciuto che permetta questo.

Allora bisogna abbandonare l'ipotesi di isotropia, e considerare un'emissione, per esempio, bipolare.

In questo caso, l'energia totale emessa è molto minore.



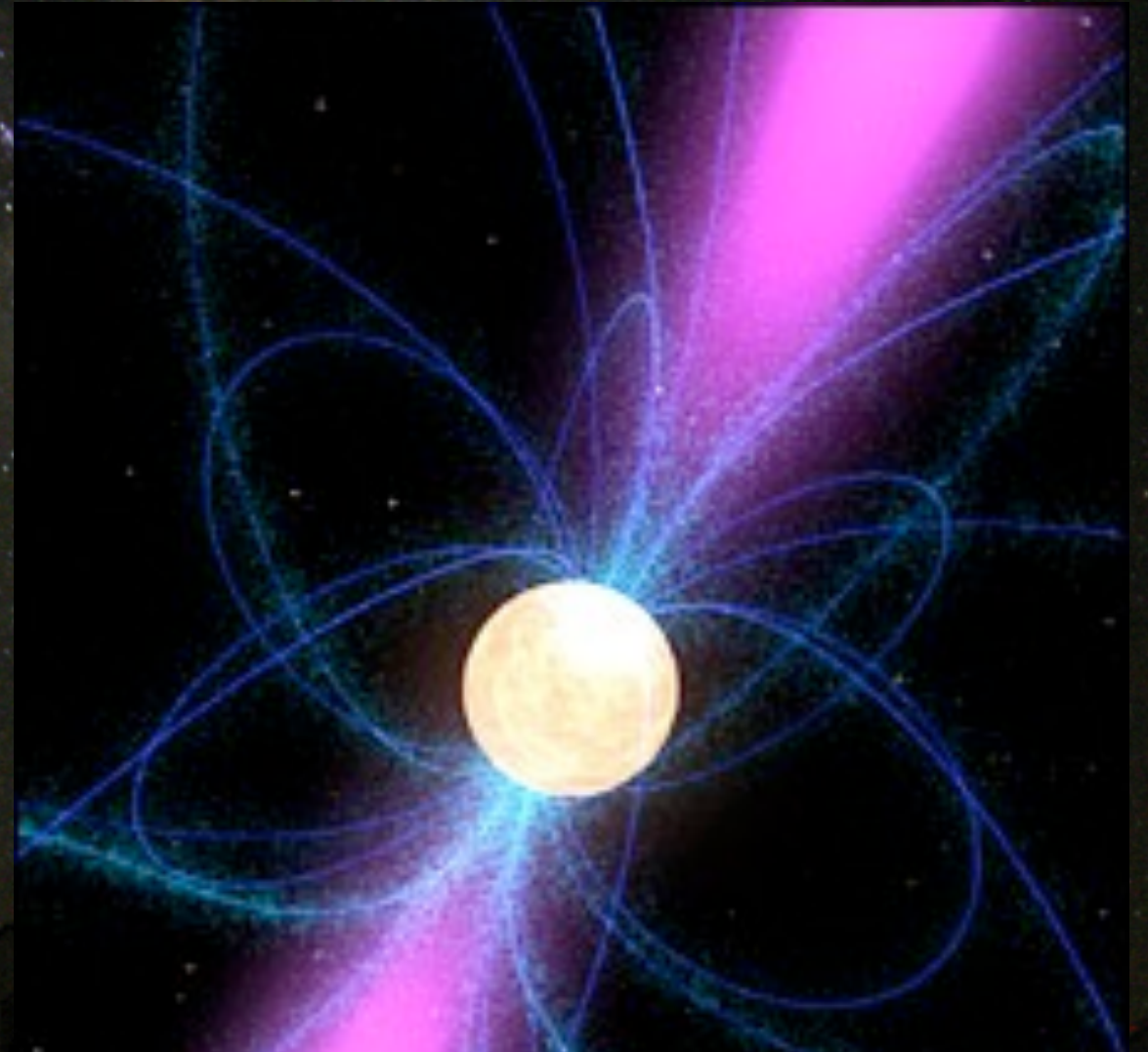


# Una stima delle energie in gioco

Non esiste nessun meccanismo fisico conosciuto che permetta questo.

Allora bisogna abbandonare l'ipotesi di isotropia, e considerare un'emissione, per esempio, bipolare.

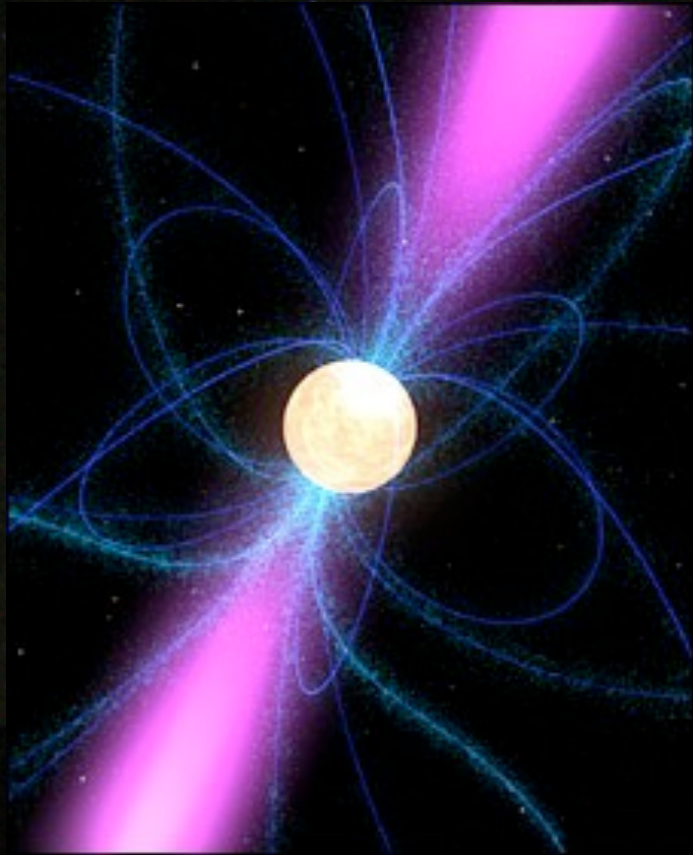
In questo caso, l'energia totale emessa è molto minore.



**La sorgente dei GRB non emette in modo isotropico**



# Una stima delle energie in gioco



Evidence osservative indicano che il fascio e` di pochi gradi

In questa ipotesi, i GRB convertono circa  $1/2000^{\text{t}}$  di massa solare in energia. E questo e` teoricamente possibile. Per esempio, nell'esplosione di una Supernova di tipo Ib.



# Cosa può produrre un GRB?





# Cosa può produrre un GRB?

I GRB sono eventi cosmici che avvengono nelle galassie!

I GRB sono sorgenti a distanze cosmologiche!

La sorgente dei GRB deve essere piccola e compatta.

La sorgente dei GRB non emette in modo isotropico



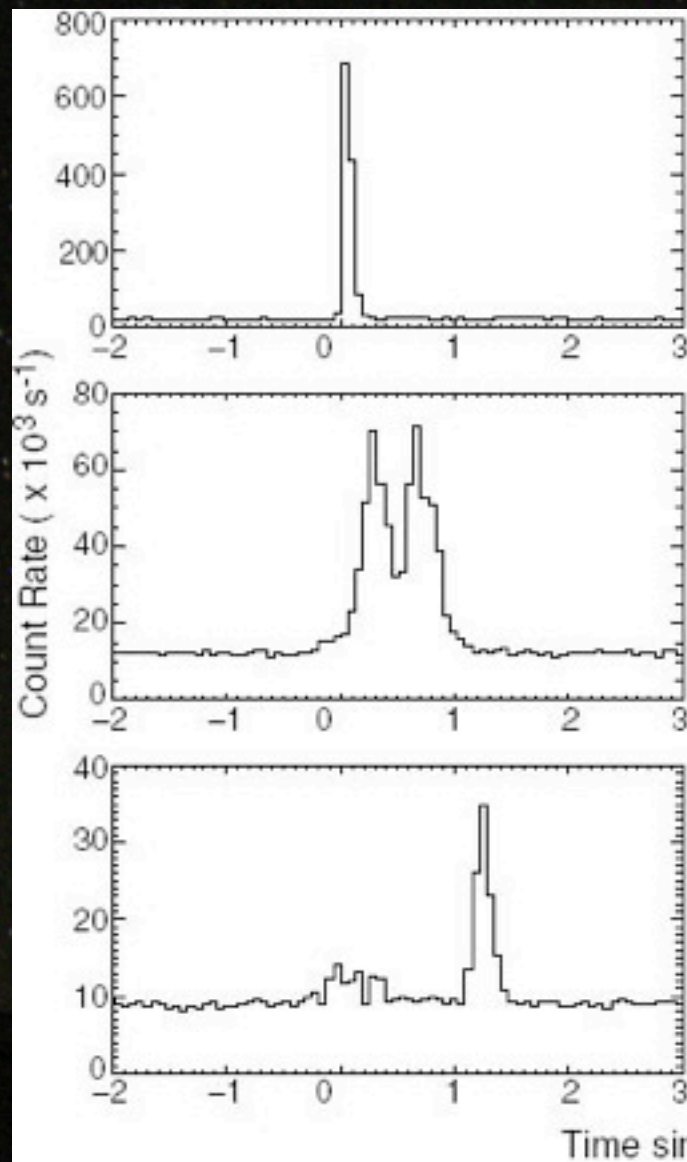
# Esistono due tipi di GRB





# Esistono due tipi di GRB

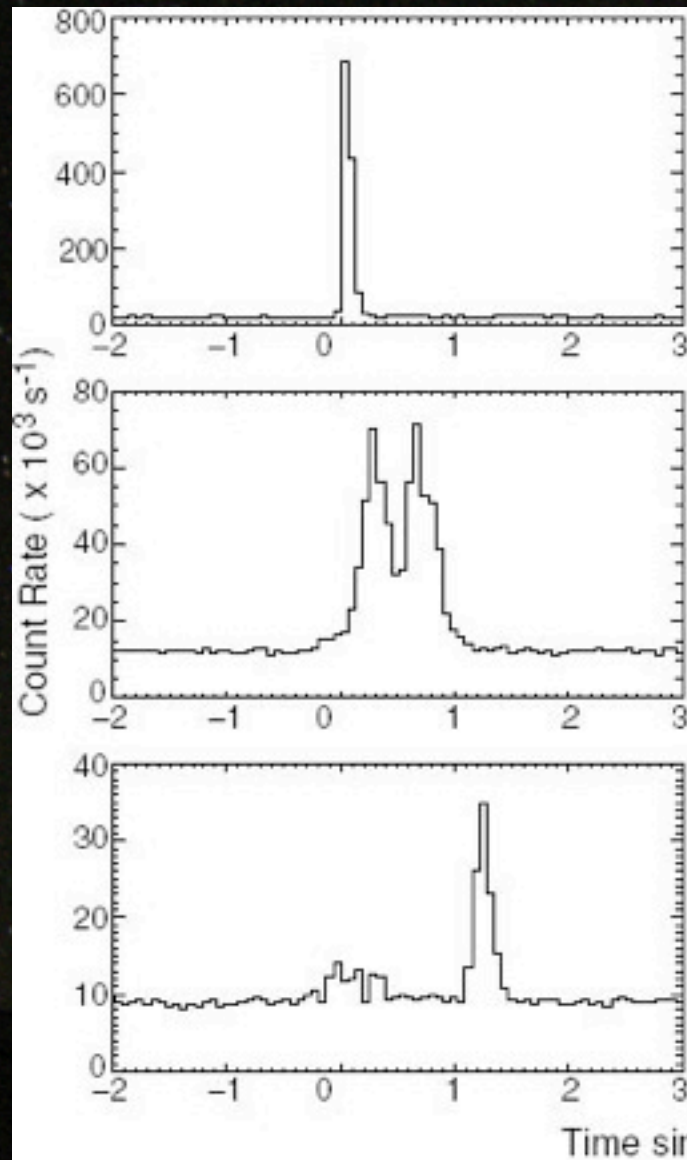
Corti < 2 secondi



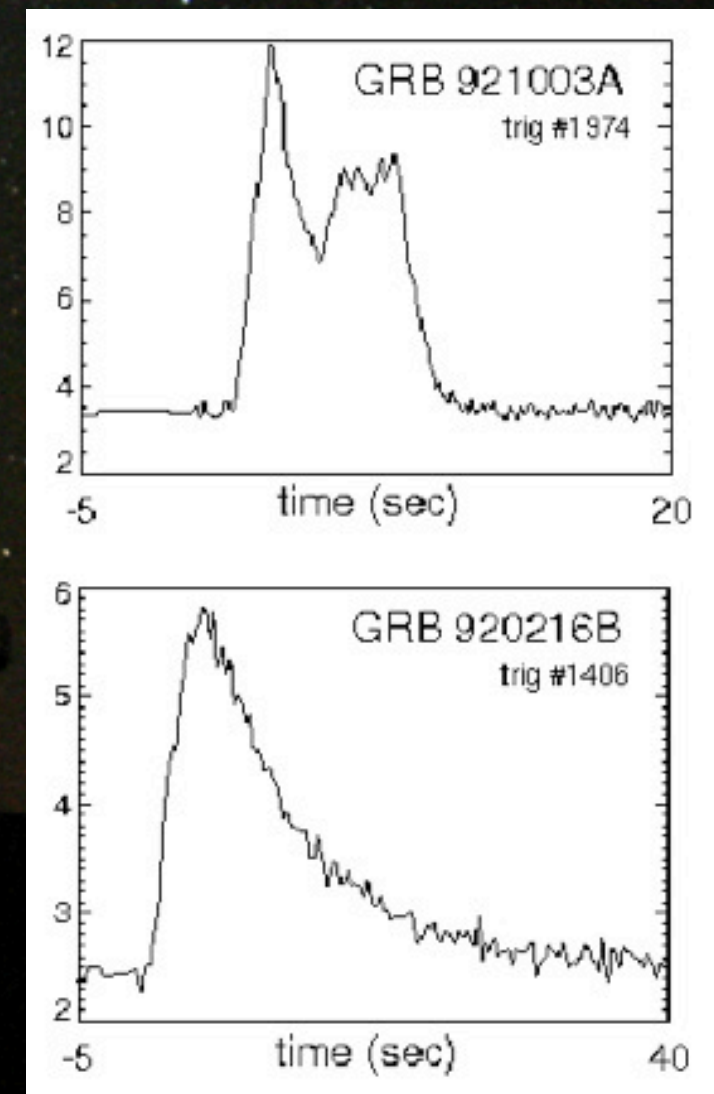


# Esistono due tipi di GRB

Corti  $< 2$  secondi



Lunghi  $> 2$  secondi

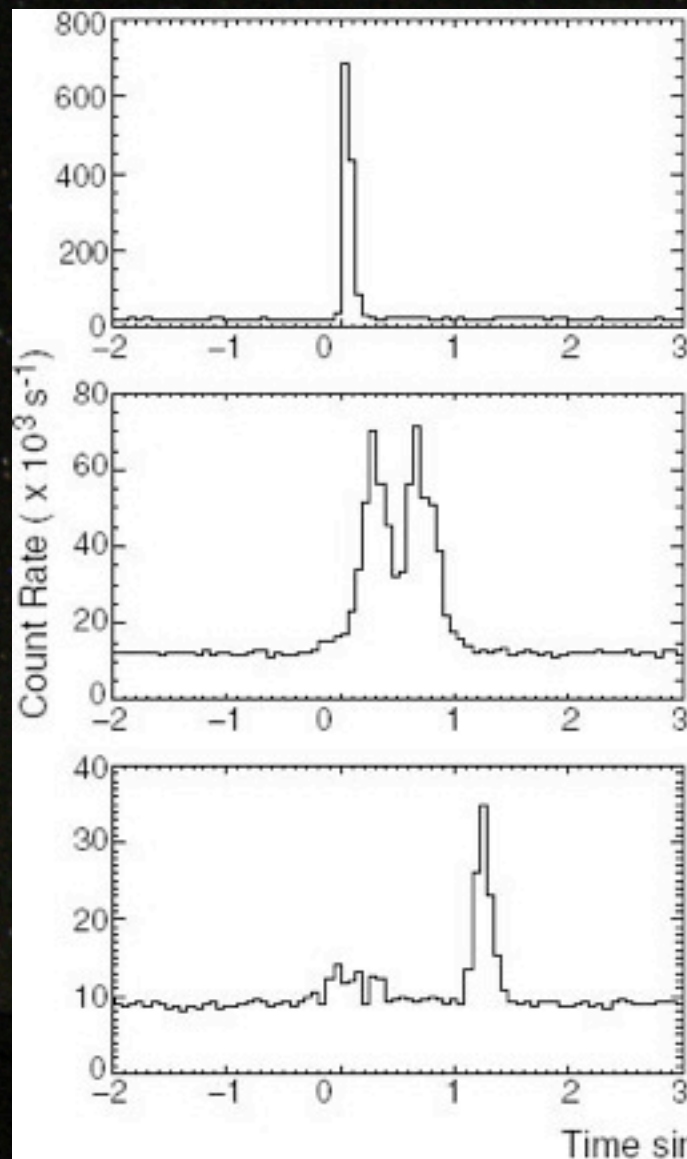




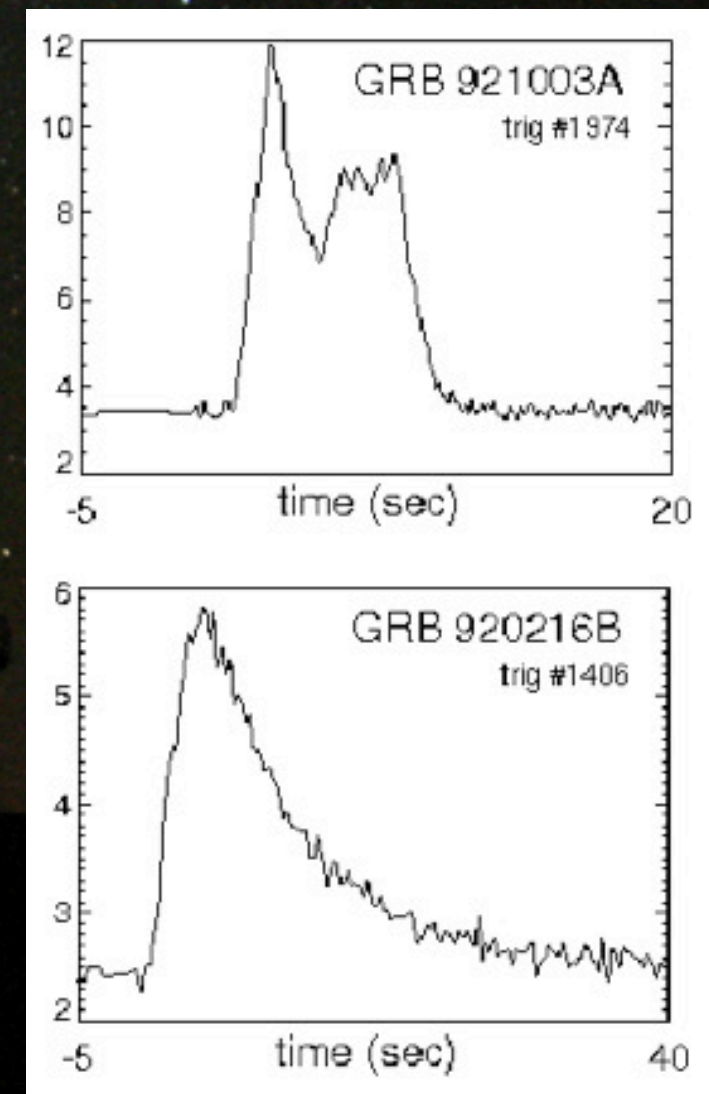
# Esistono due tipi di GRB

Corti  $< 2$  secondi

Collasso di due Stelle di Neutroni



Lunghi  $> 2$  secondi

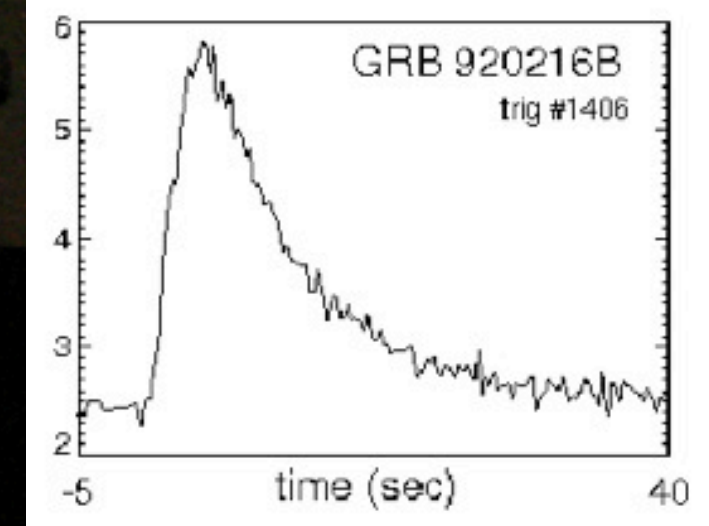
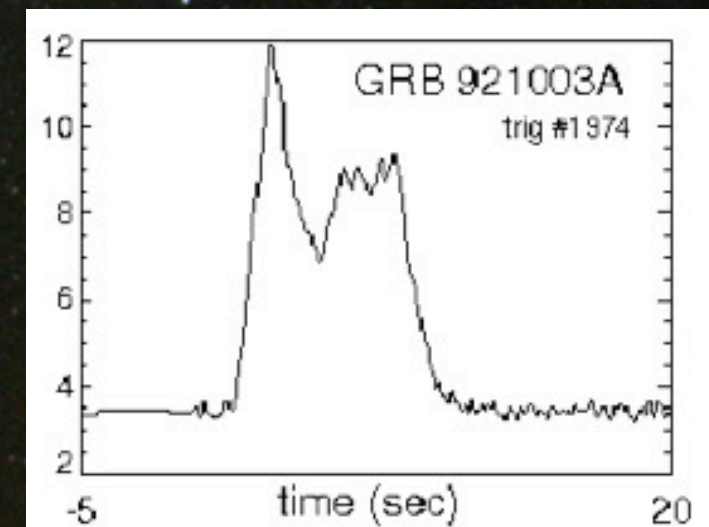
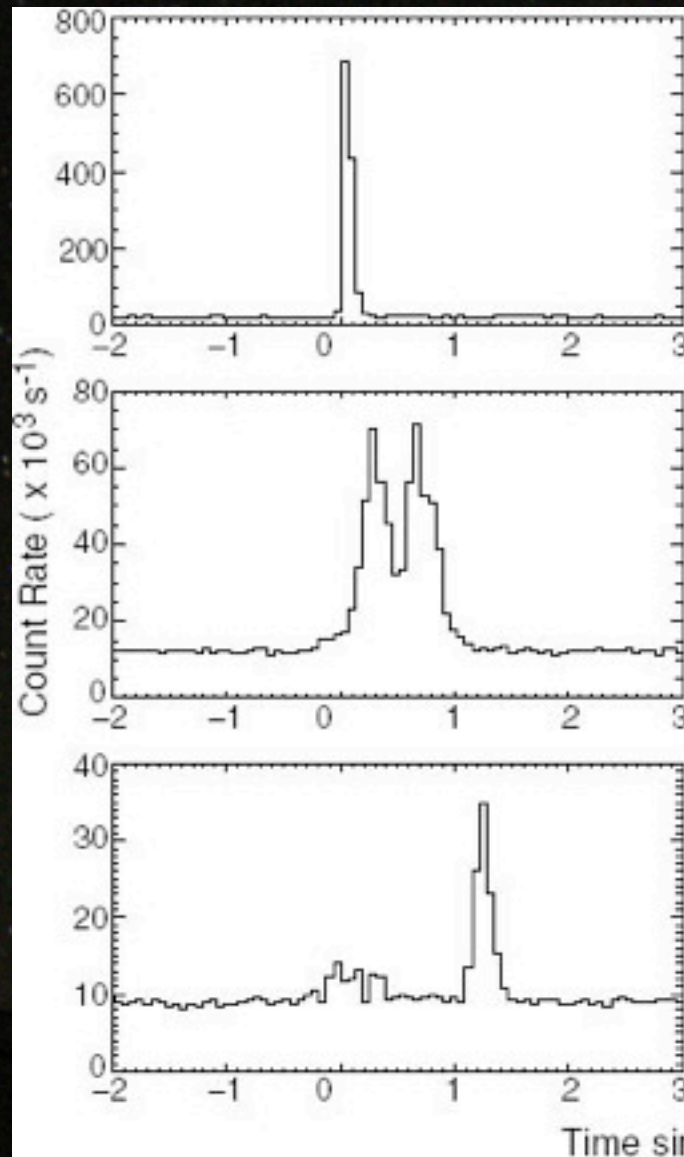




# Esistono due tipi di GRB

Corti  $< 2$  secondi

Collasso di due Stelle di Neutroni



Lunghi  $> 2$  secondi

Esplosione Hypernovae



# Esistono due tipi di GRB

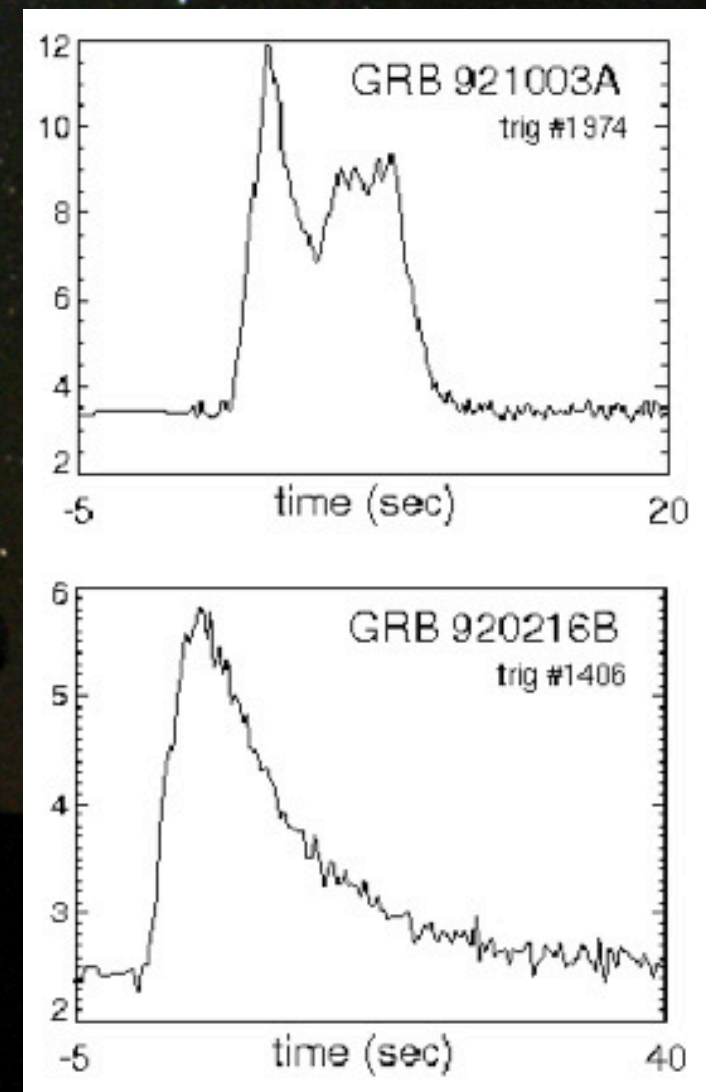
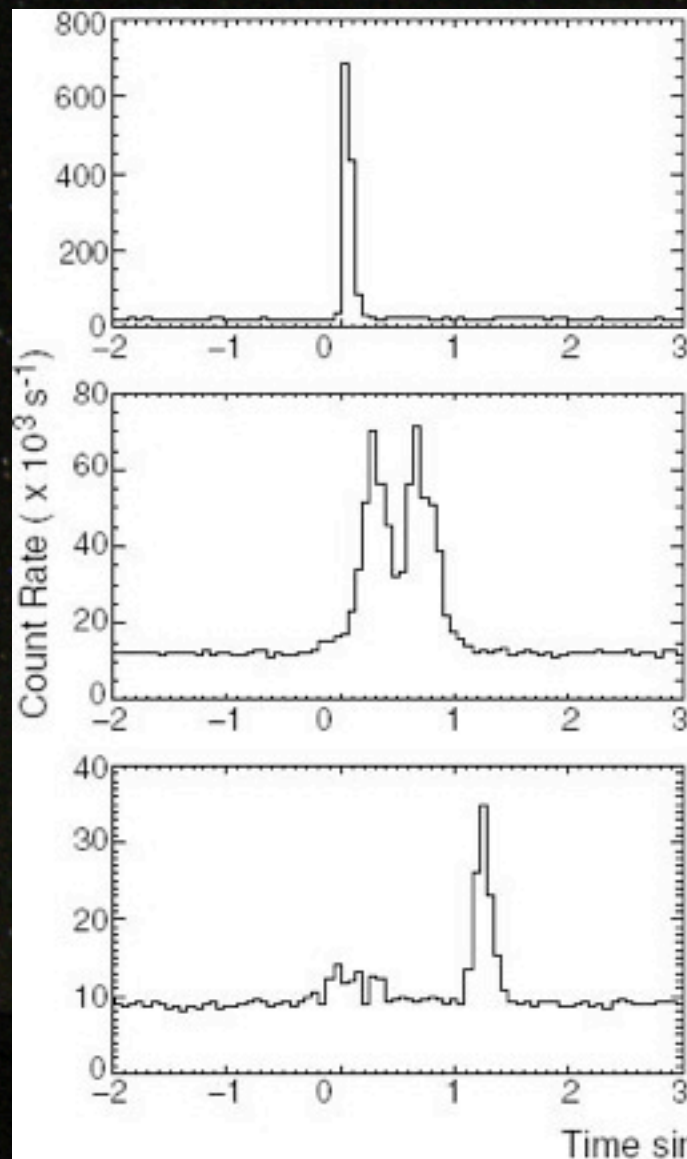
Corti < 2 secondi

Collasso di due Stelle di Neutroni

In ogni caso, il fenomeno è legato alle fasi finali della vita di una stella!

Lunghi > 2 secondi

Esplosione Hypernovae





# Come si genera un GRB?

Per capire questo fatto occorre raccontare un'altra storia: come nascono e muoiono le stelle.



# Nubi Molecolari

**1 pc**  
↔  
**10 arcmin**  
↔

**$T \sim 10 \text{ K}$**   
 **$M \sim 10^6 M_{\odot}$**   
 **$D \sim 50\text{-}100 \text{ pc}$**   
 **$n \sim 10 \text{ cm}^{-3}$**



# Formazione Stellare Indotta





# Formazione Stellare Indotta





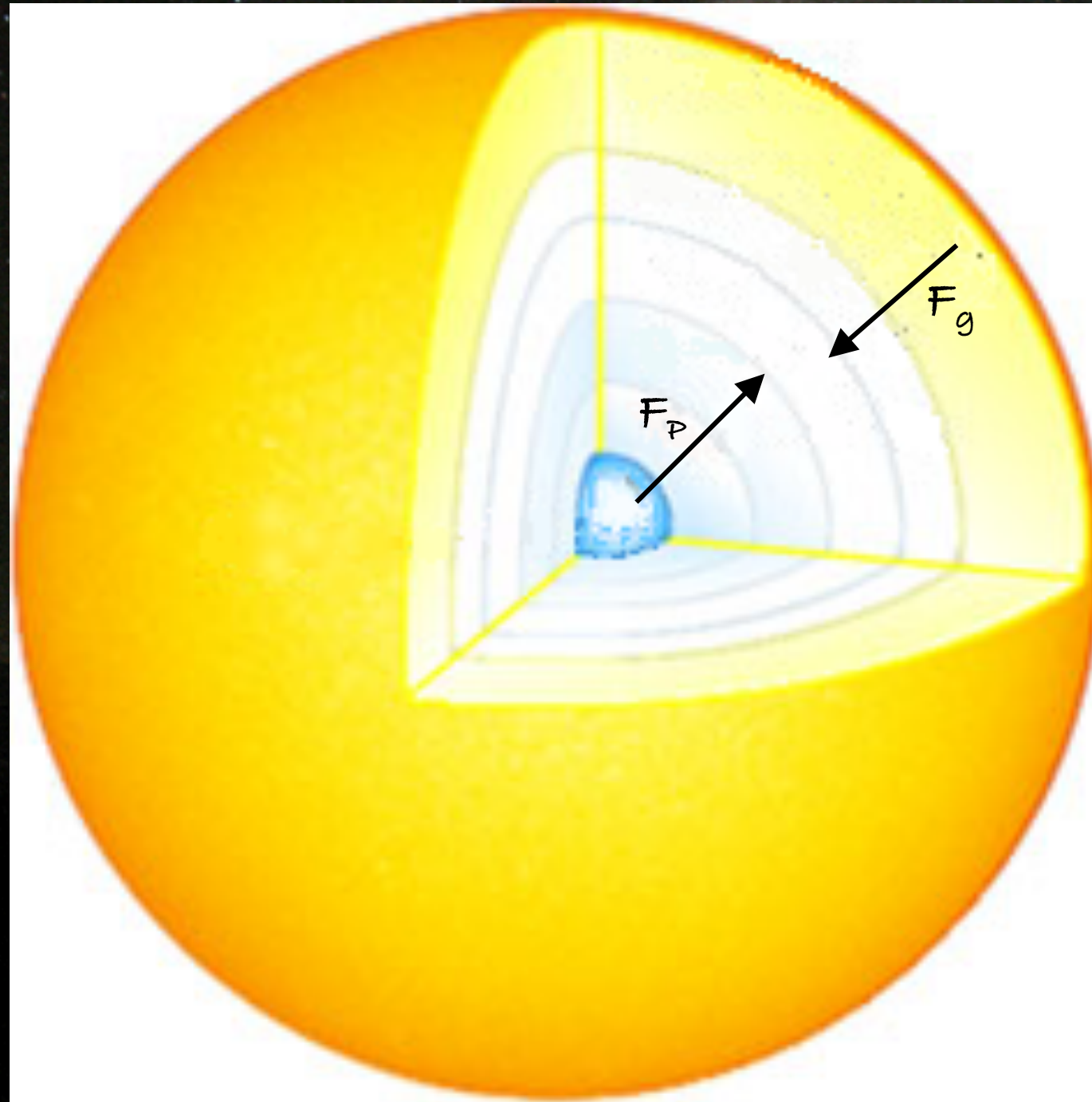
# La Protostella





# L'Evoluzione delle Stelle

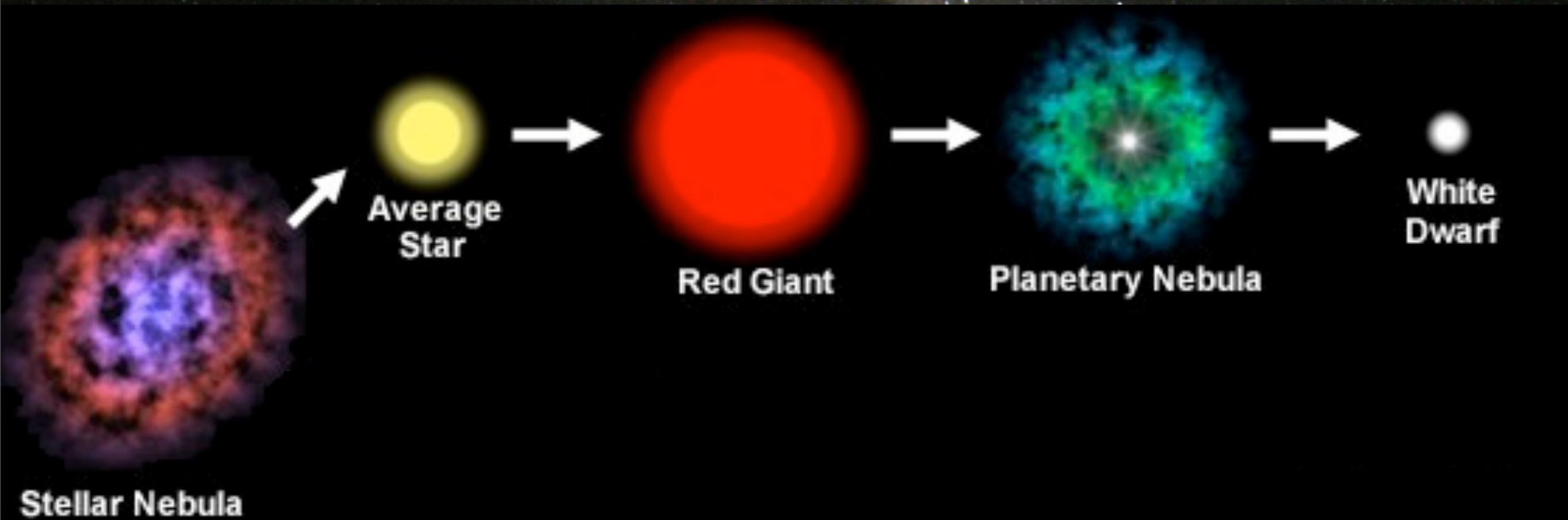
**Una stella esiste perché è stabile ovvero perché c'è un equilibrio fra la Forza Gravitazionale (centripeta, determinata dalla massa) e la Forza di Pressione (centrifuga, determinata dalle reazioni termonucleari).**





# Evoluzione Stellare

Il modo in cui le stelle evolvono la loro vita dipende dalla loro massa.

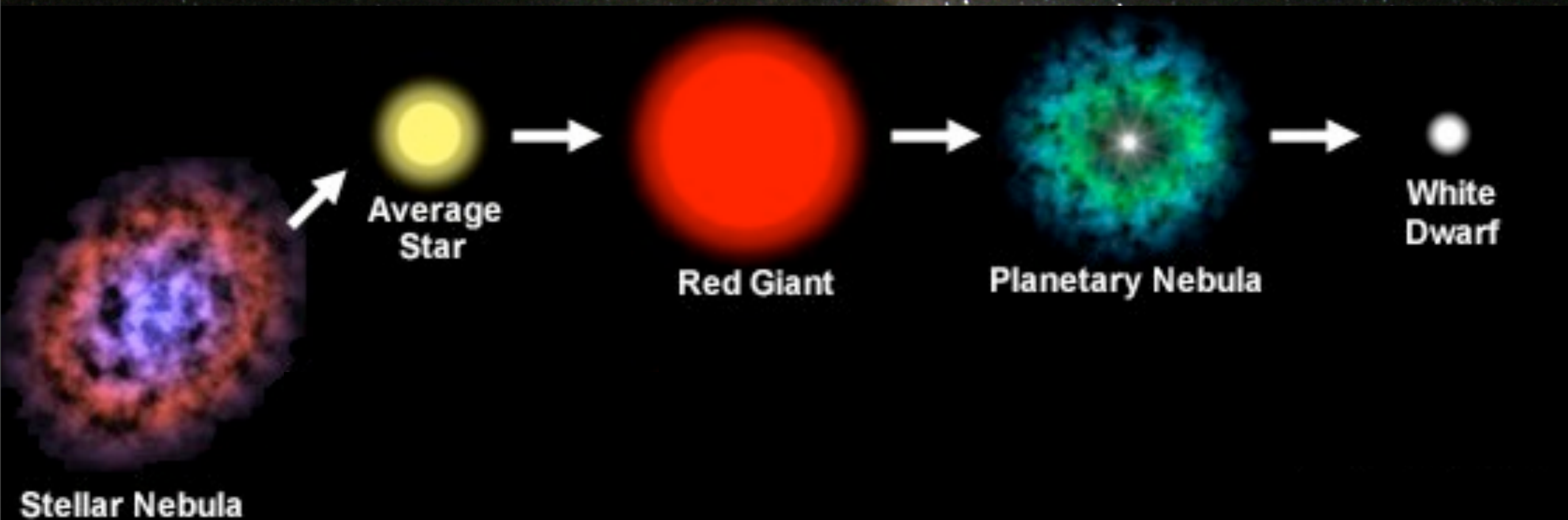




# Evoluzione Stellare

Il modo in cui le stelle evolvono la loro vita dipende dalla loro massa.

Il nostro Sole, circa 10 Miliardi di anni





# NGC 6302, la Butterfly Nebula





# Planetary Nebula Mz 3

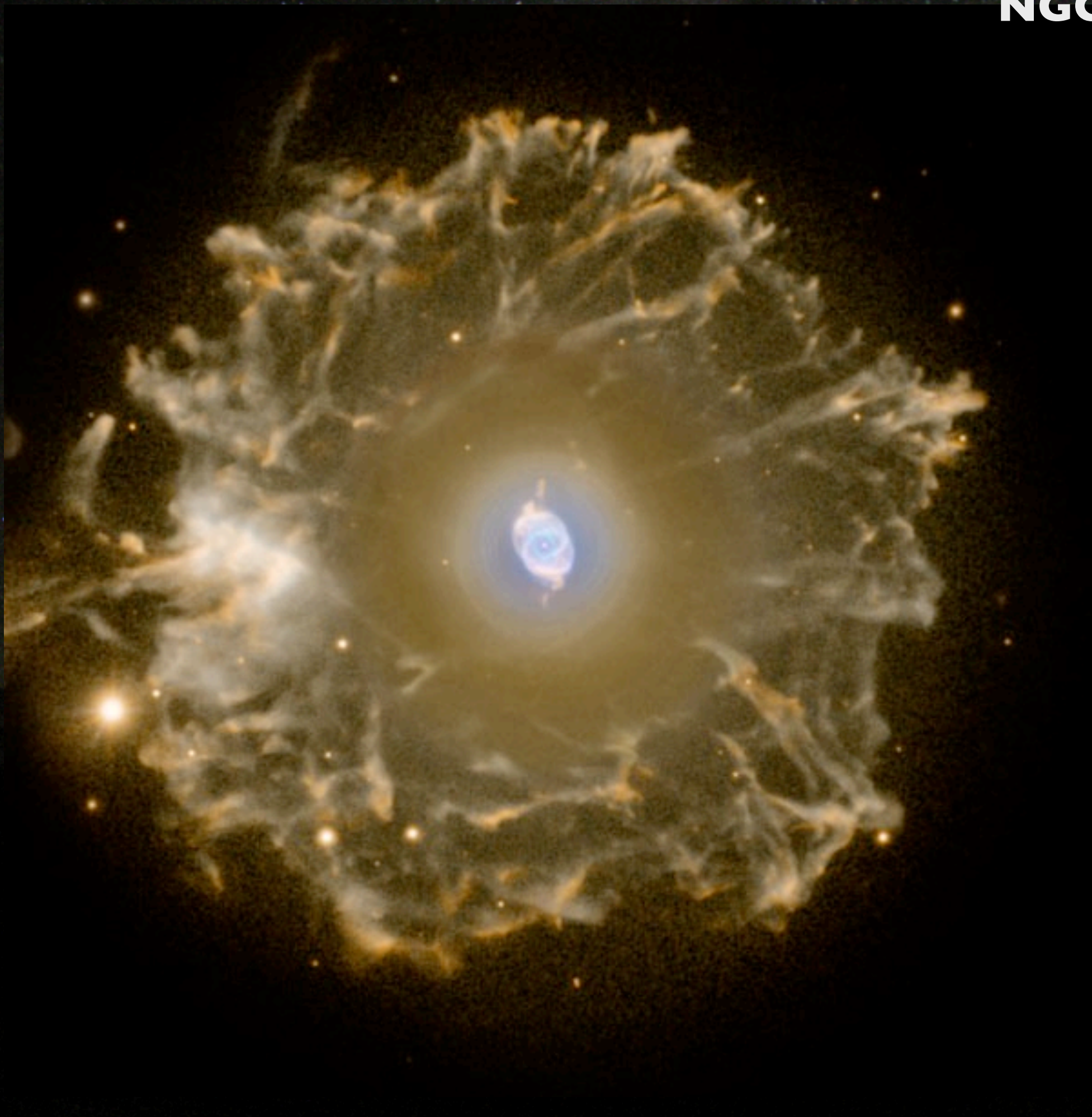


Hubble  
Heritage

NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-05



**NGC 6453**





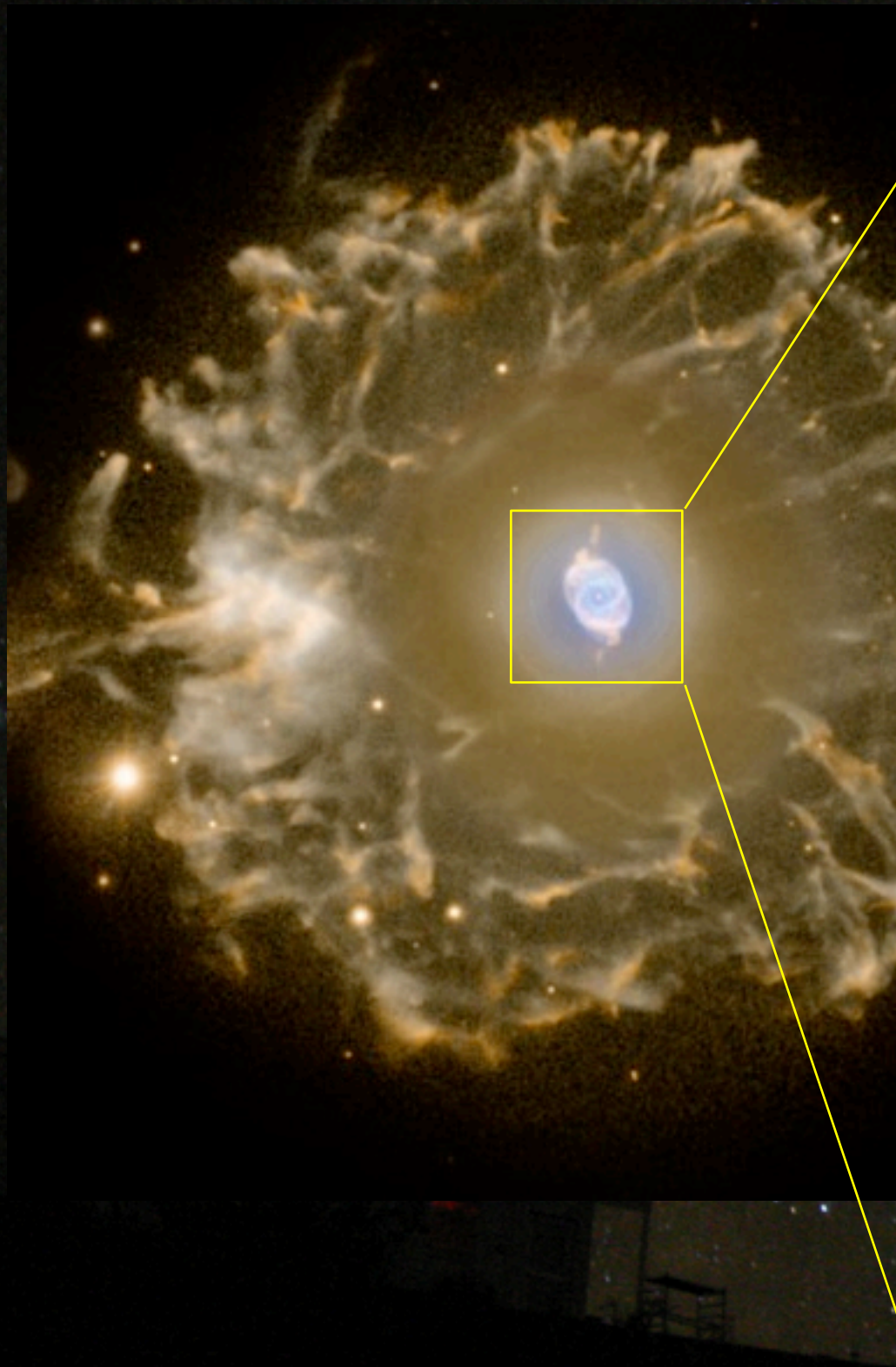
**NGC 6453**





**NGC 6453**

Cat's Eye Nebula • NGC 6543



Hubble  
Heritage

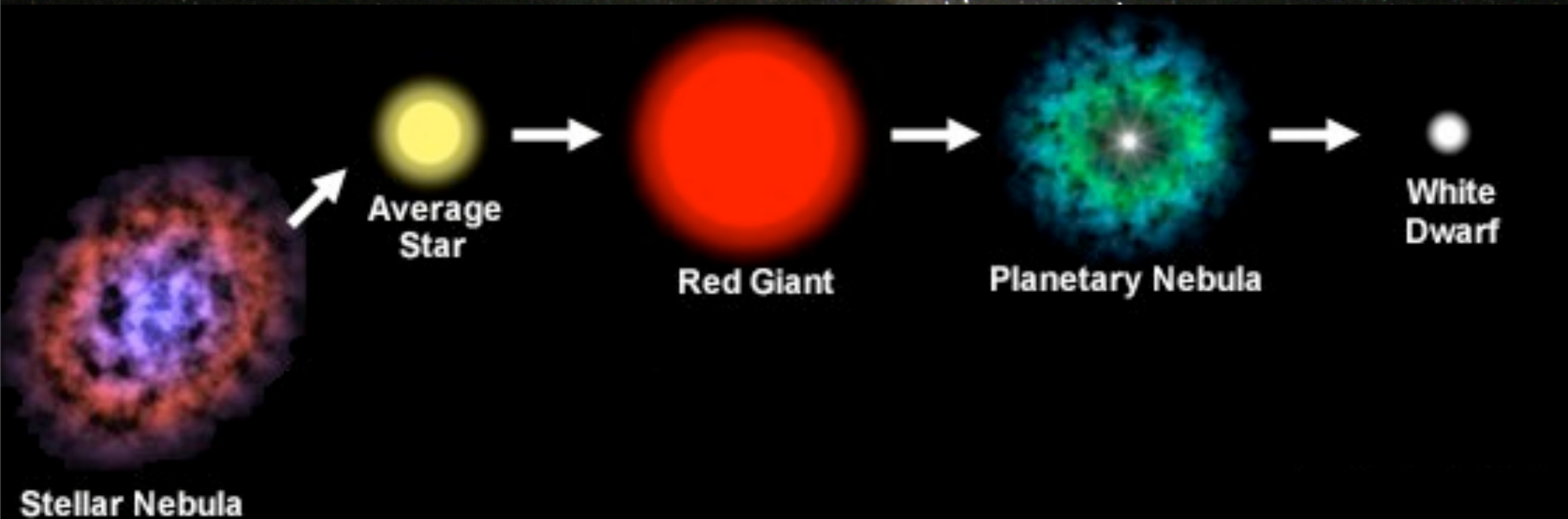
NASA, ESA, HEIC and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)  
Hubble Space Telescope ACS • STScI-PRC04-27



# Evoluzione Stellare

Il modo in cui le stelle evolvono la loro vita dipende dalla loro massa.

Il nostro Sole, circa 10 Miliardi di anni

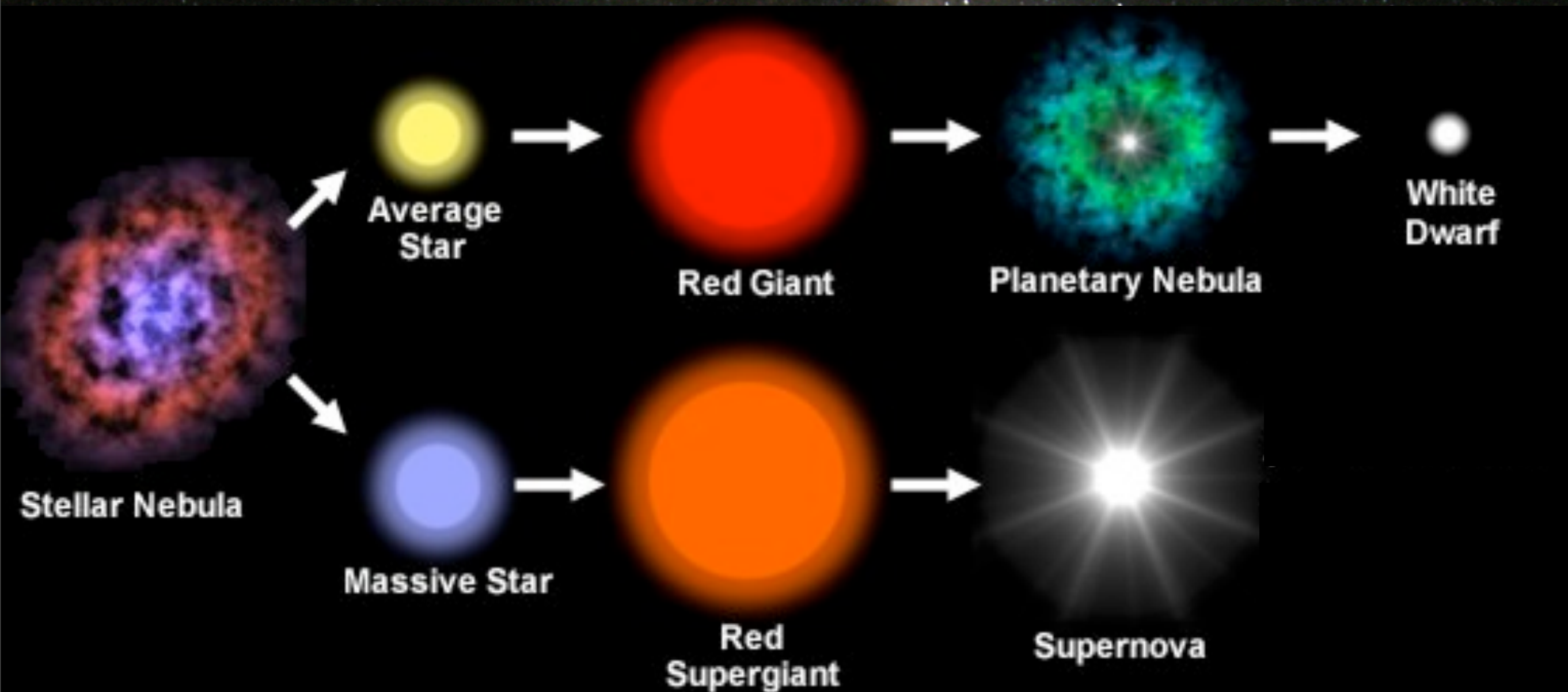




# Evoluzione Stellare

Il modo in cui le stelle evolvono la loro vita dipende dalla loro massa.

Il nostro Sole, circa 10 Miliardi di anni

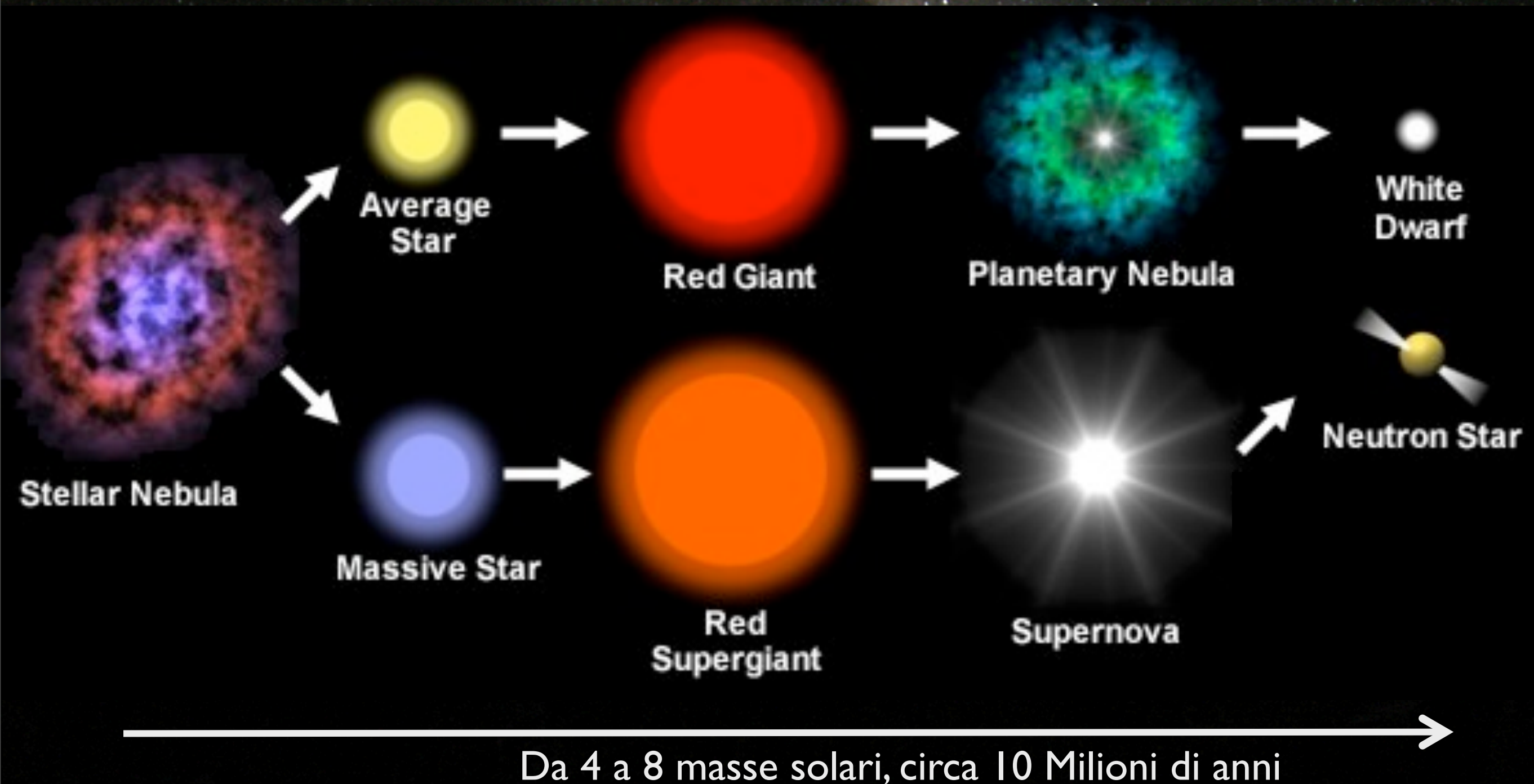




# Evoluzione Stellare

Il modo in cui le stelle evolvono la loro vita dipende dalla loro massa.

Il nostro Sole, circa 10 Miliardi di anni

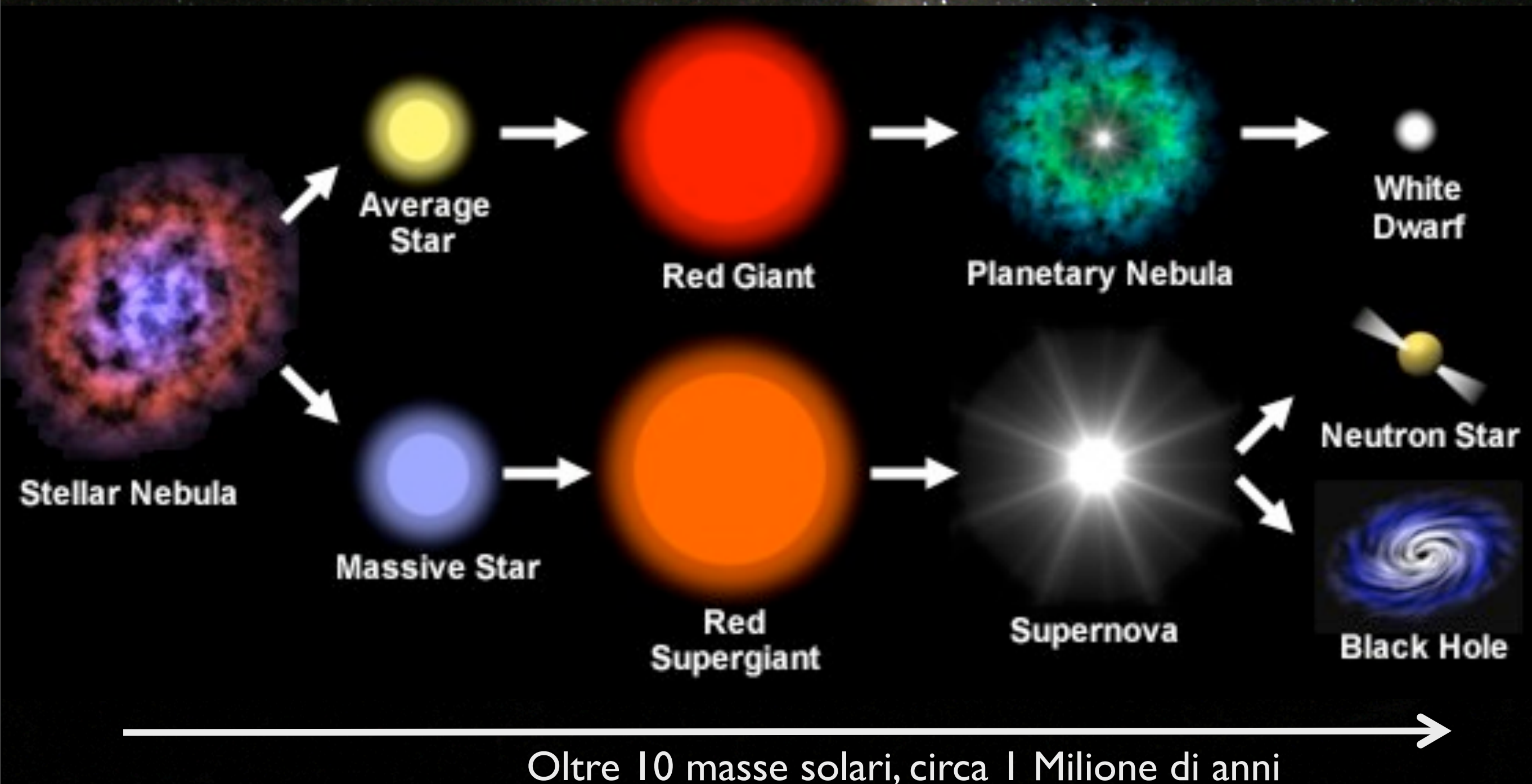




# Evoluzione Stellare

Il modo in cui le stelle evolvono la loro vita dipende dalla loro massa.

Il nostro Sole, circa 10 Miliardi di anni





# Esistono due tipi di GRB

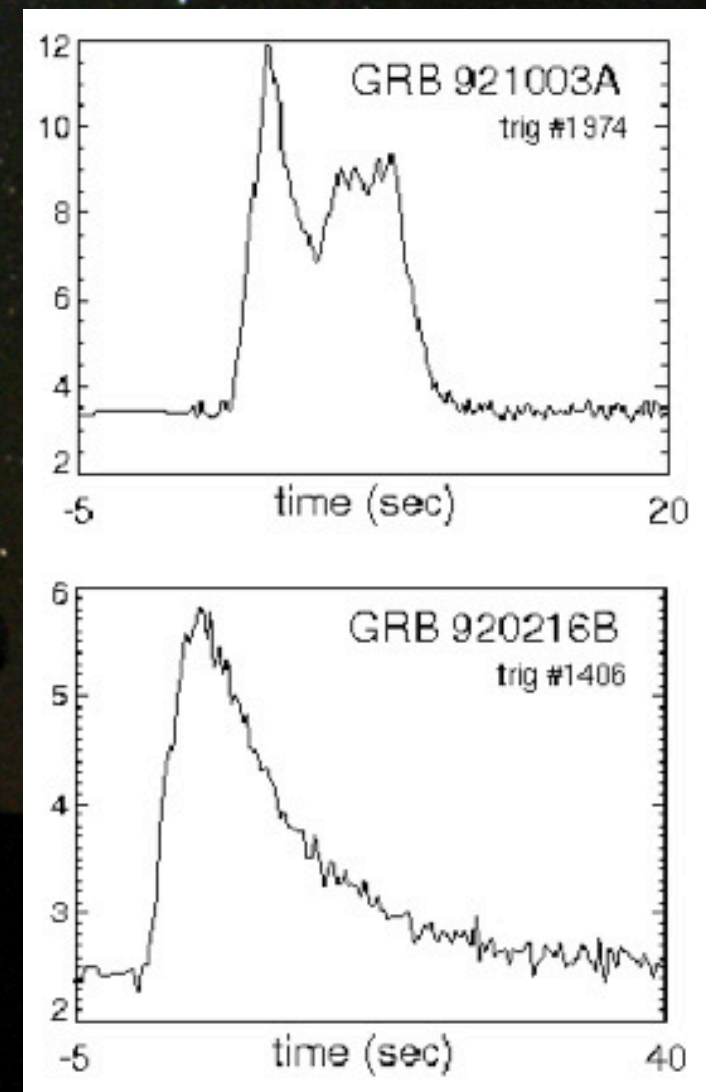
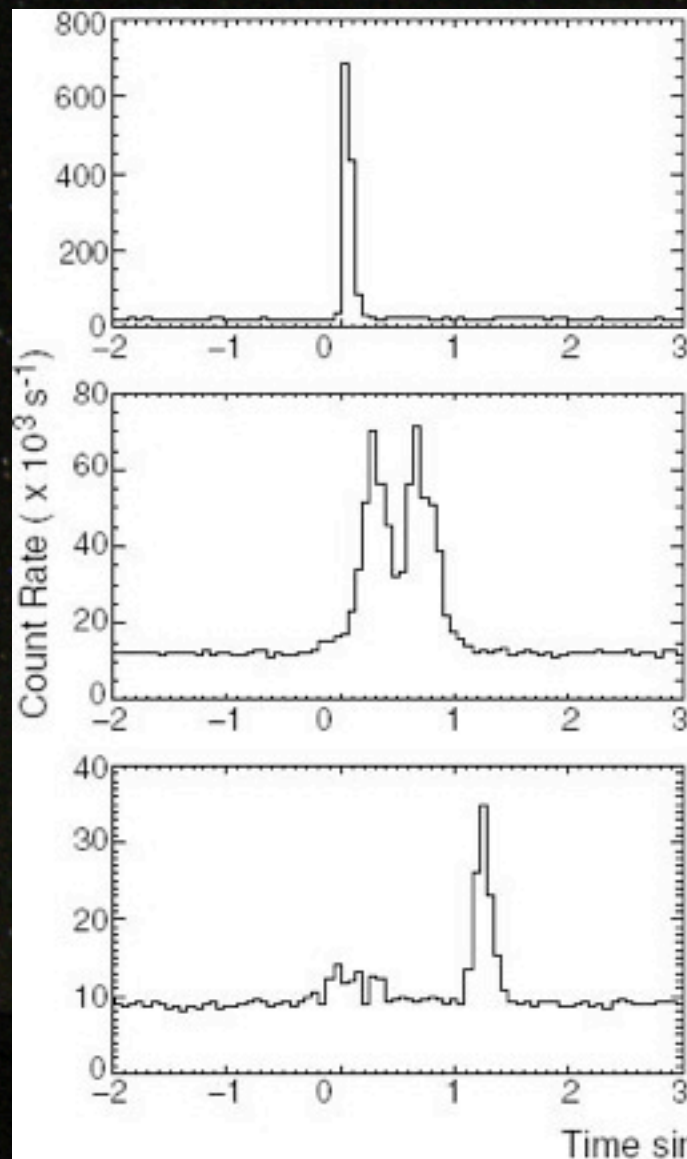
Corti < 2 secondi

Collasso di due Stelle di Neutroni

In ogni caso, il fenomeno è legato alle fasi finali della vita di una stella!

Lunghi > 2 secondi

Esplosione Hypernovae





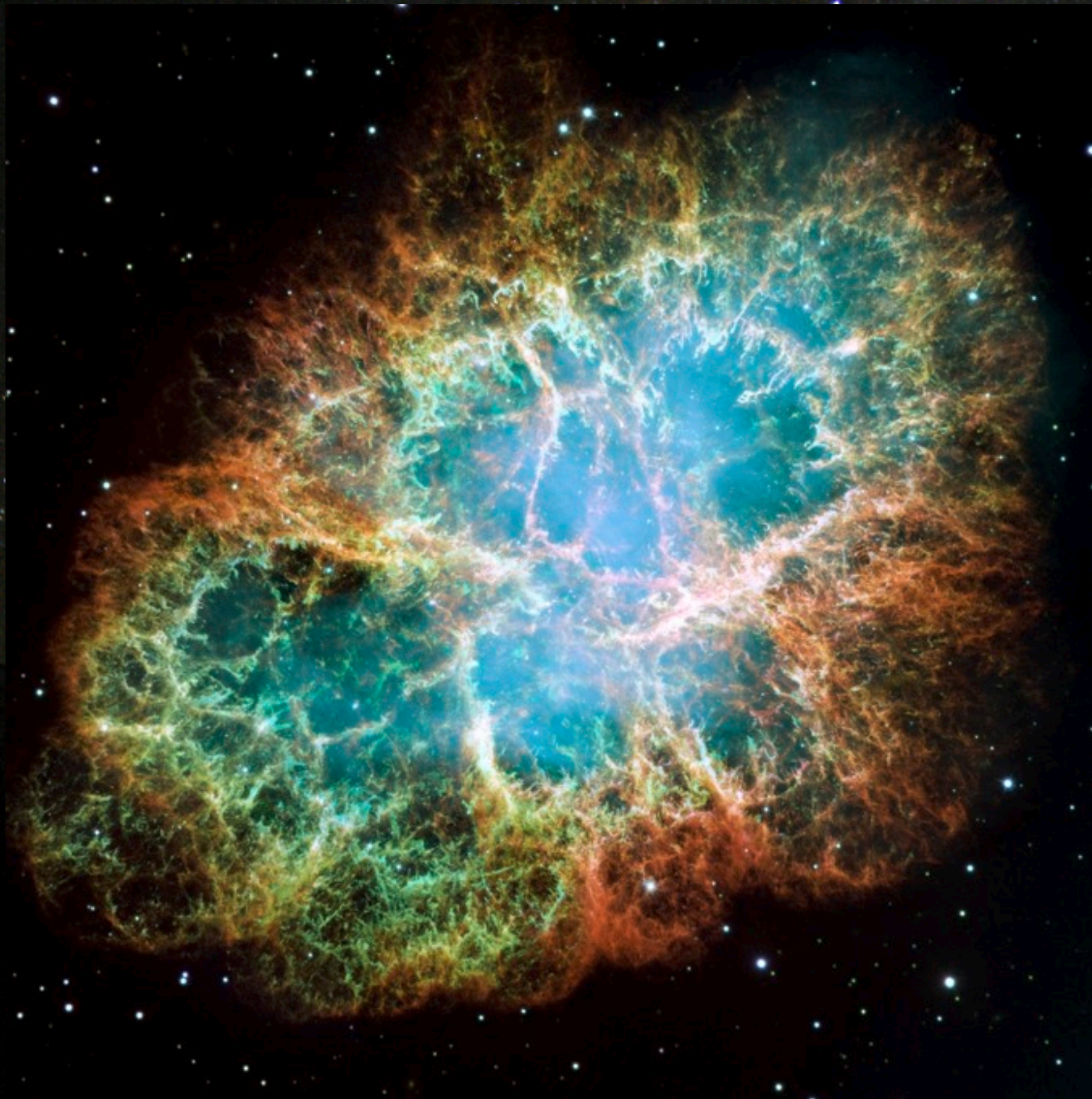
# Esplosione di Supernovae



**Esplosione di Supernova, il cui risultato è una stella di neutroni o un buco nero (a seconda della massa della stella) e un involucro di materiale stellare che si espande nello spazio circostante.**

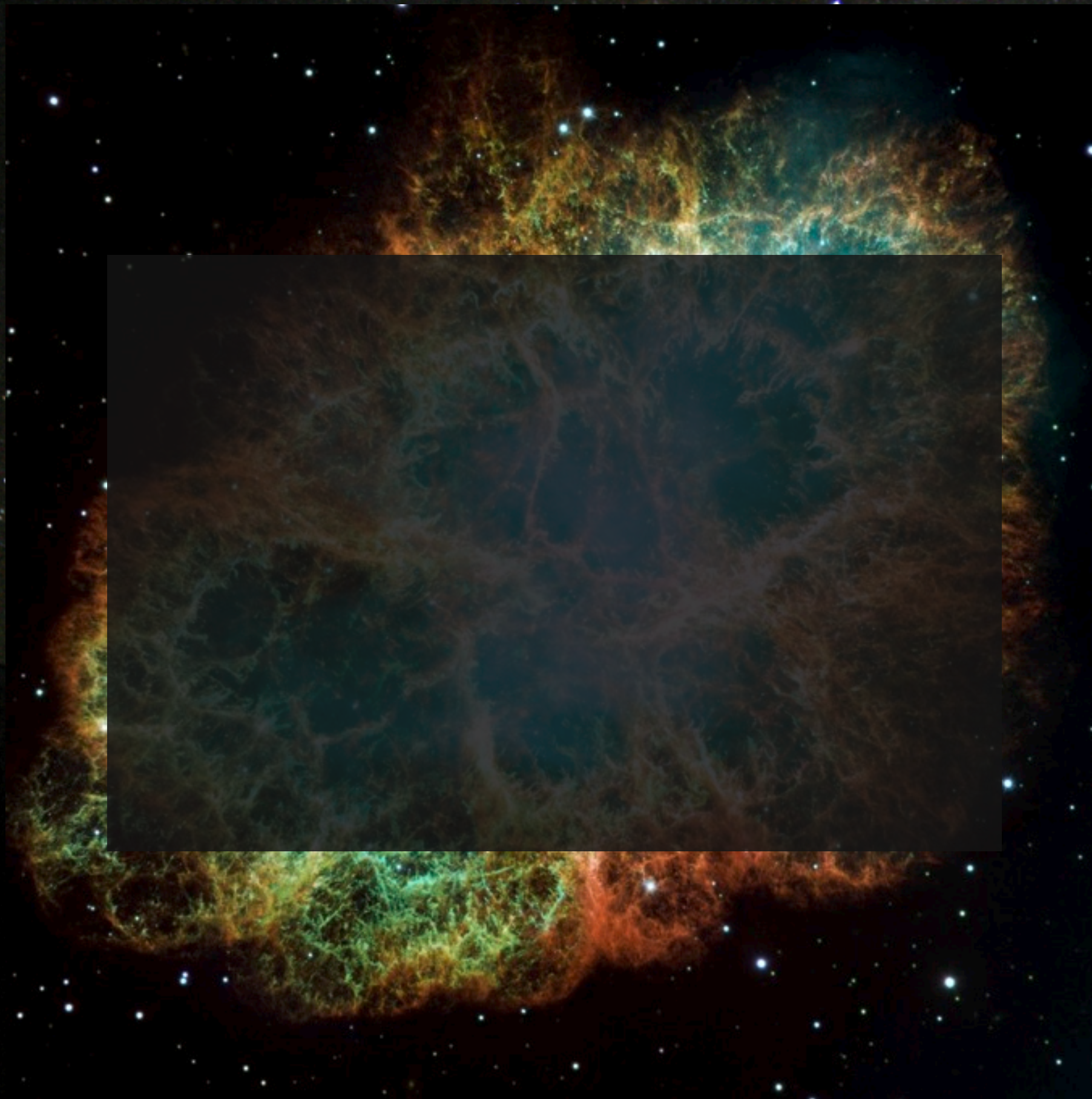


# Pulsar in Crab Nebula





# Pulsar in Crab Nebula





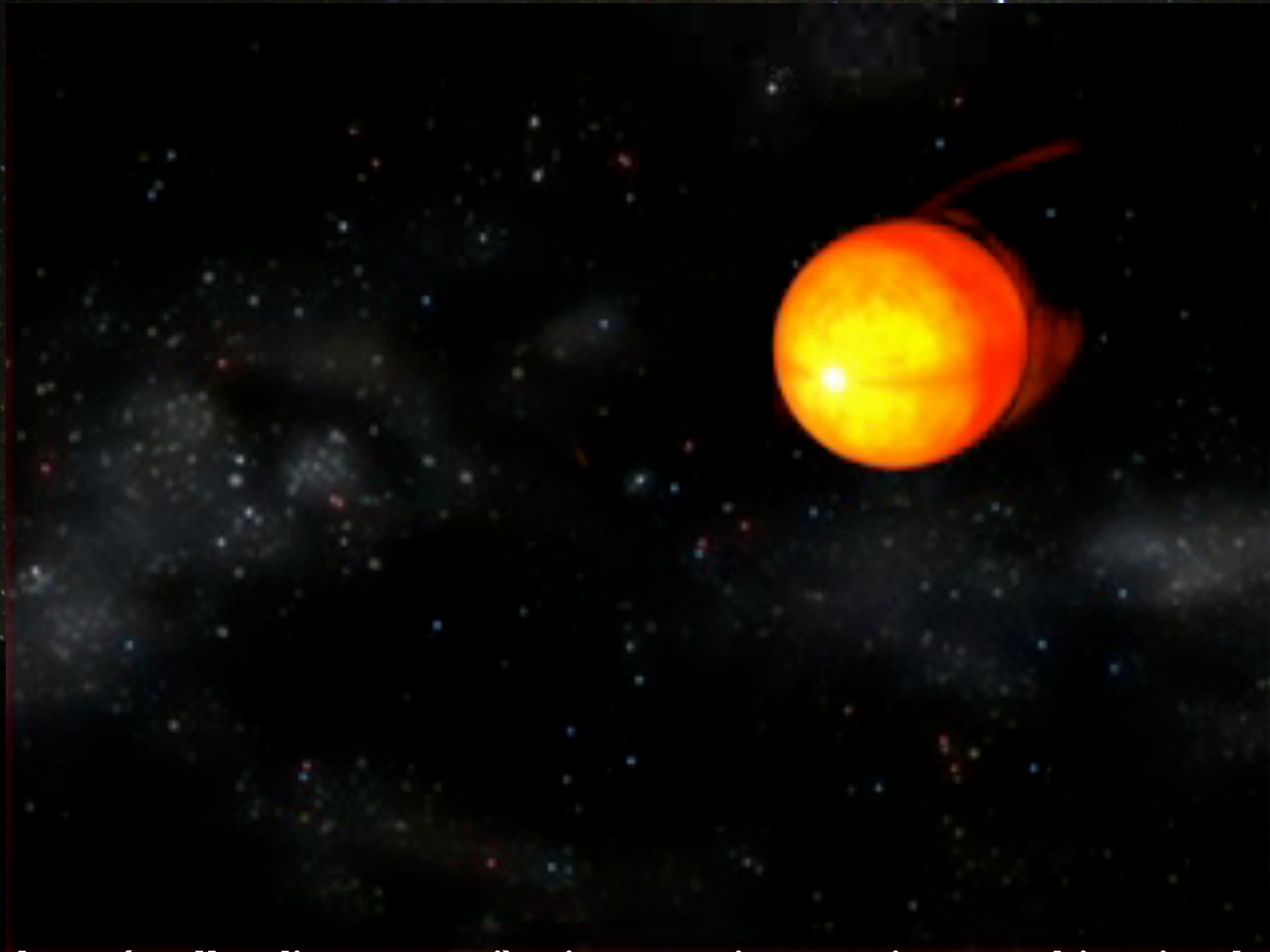
# Stelle di Neutroni



**Se una pulsar (stella di neutroni) si trova in un sistema binario, la sua forza gravitazionale strapperà via gli strati più esterni della stella compagna. La stella di neutroni accrescerà quindi massa a spese della sua compagna. La sua velocità di rotazione può arrivare a centinaia di giri al secondo.**



# Stelle di Neutroni



**Se una pulsar (stella di neutroni) si trova in un sistema binario, la sua forza gravitazionale strapperà via gli strati più esterni della stella compagna. La stella di neutroni accrescerà quindi massa a spese della sua compagna. La sua velocità di rotazione può arrivare a centinaia di giri al secondo.**



# GRB Corti

**Collasso di un sistema binario di stelle di neutroni**

**Nobel 1993: R. Hussen & J. Taylor!**





# GRB Corti

**Collasso di un sistema binario di stelle di neutroni**

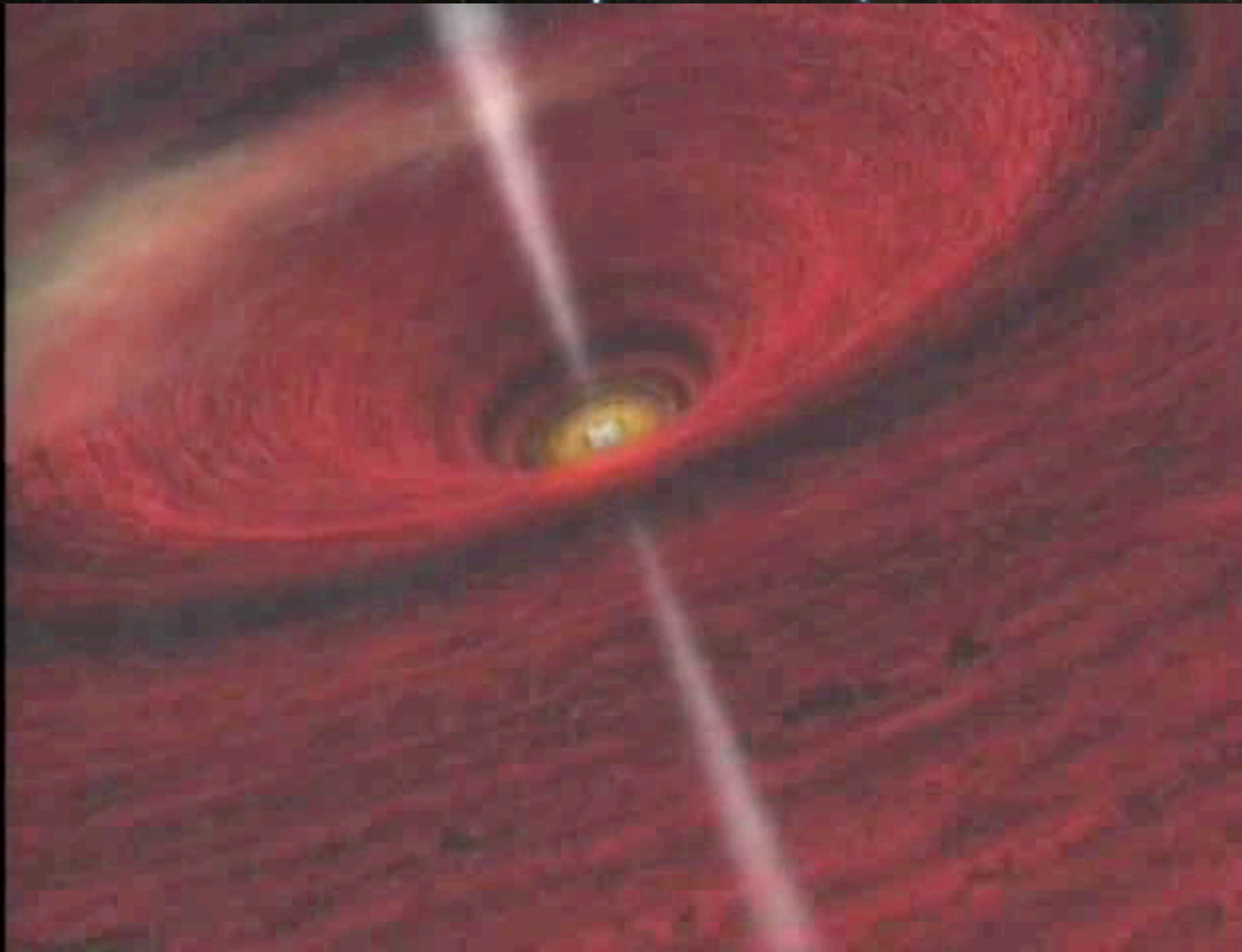
**Nobel 1993: R. Hulse & J. Taylor!**



**I GRB corti si trovano negli aloni delle galassie ellittiche, come previsto**

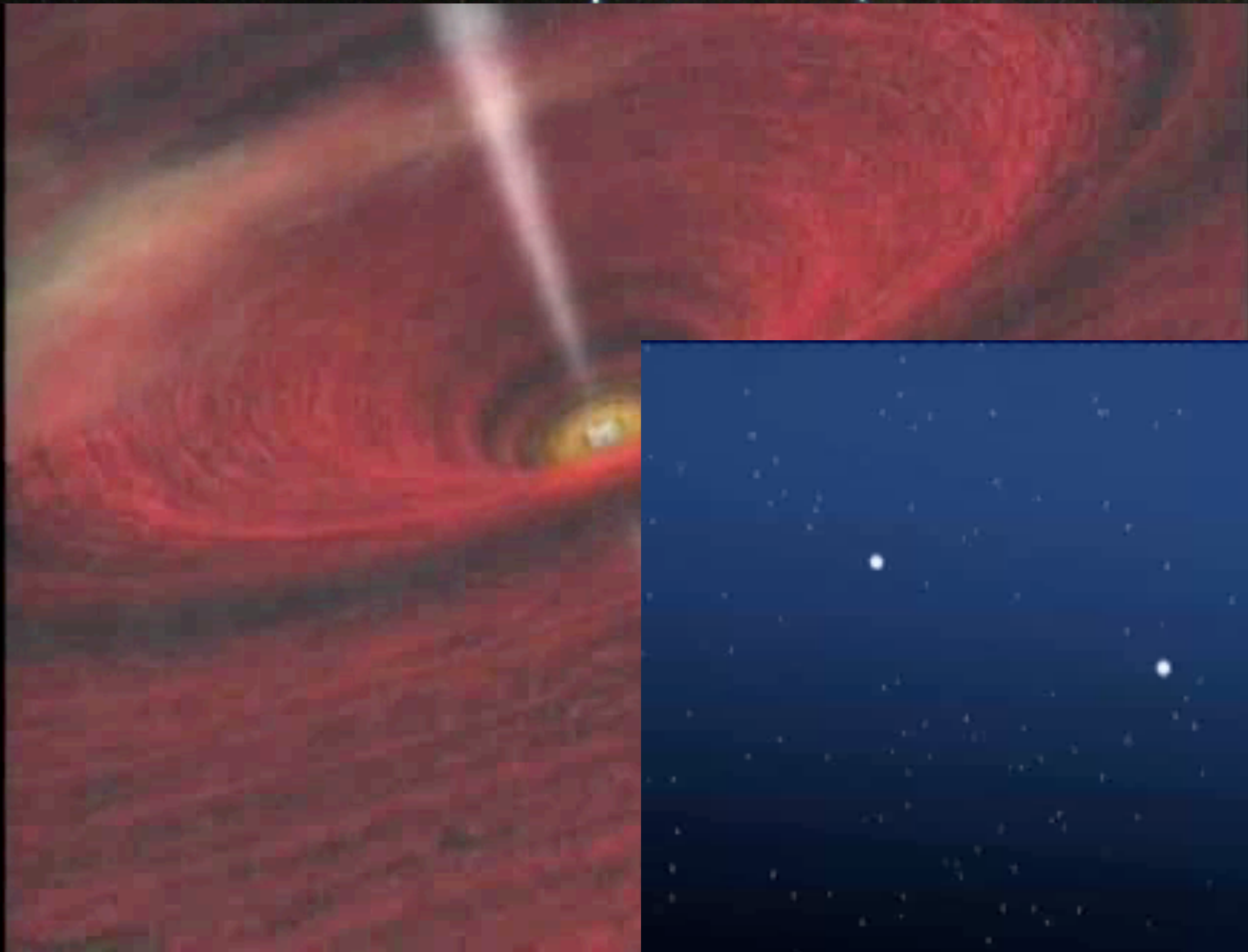


# Buchi Neri





# Buchi Neri





# GRB Lunghi

**Esplosione di una stella massiva (*Hypernova*)**

Si tratta di una **supernova peculiare**, originata da una stella molto massiccia ( $> 20 M_{\odot}$ ) e in rapida rotazione



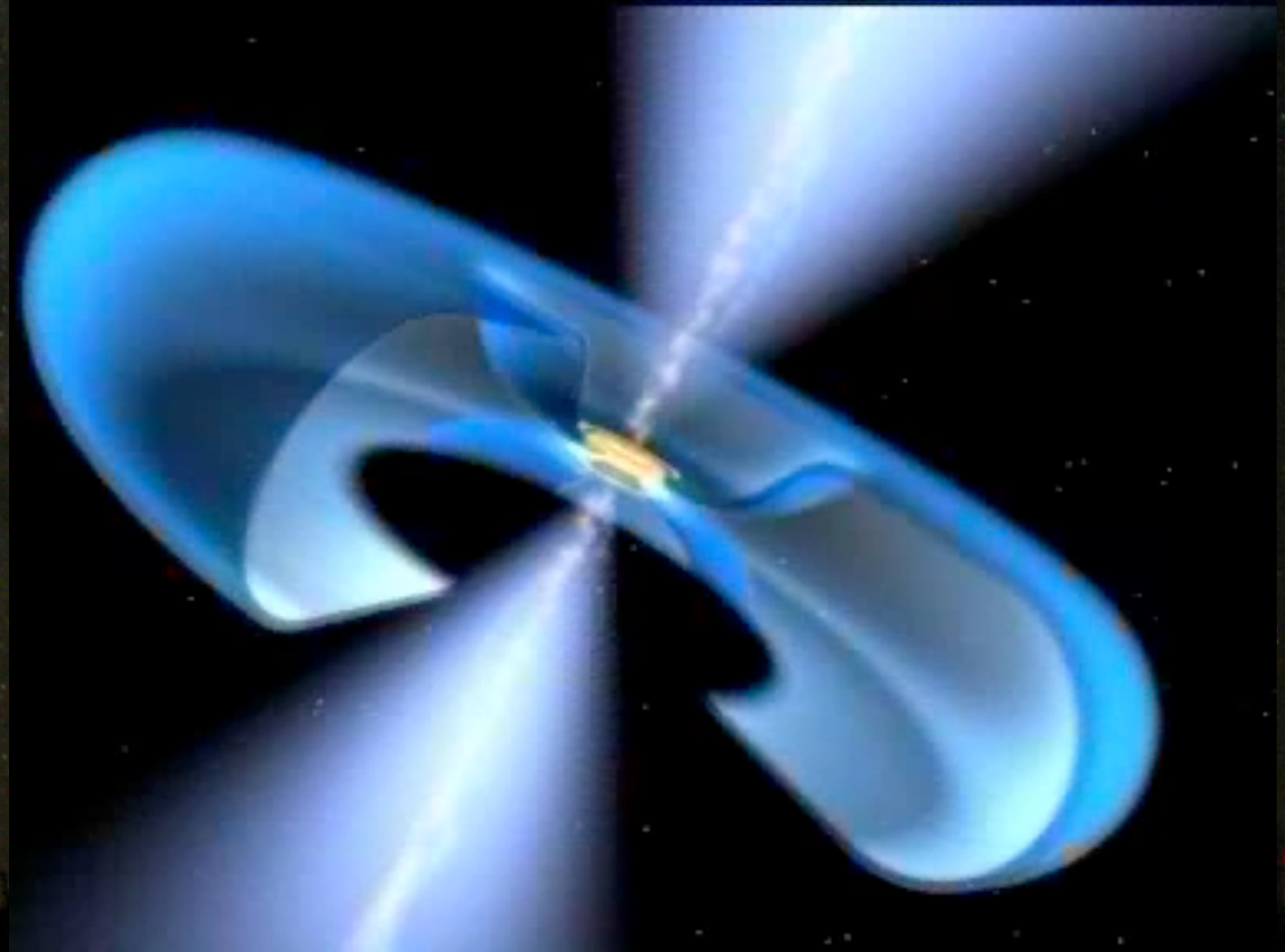


# GRB Lunghi

## Esplosione di una stella massiva (*Hypernova*)

Si tratta di una **supernova peculiare**, originata da una stella molto massiccia ( $> 20 M_{\odot}$ ) e in rapida rotazione

Il **nucleo** collassa, ed al centro si forma un buco nero, mentre il resto della stella precipita molto più lentamente, attraverso un disco di accrescimento, che assume densità neutroniche.



L'esplosione **non è sferica**, ma si forma un **getto**

I GRB lunghi si trovano in regioni di **formazione stellare**