



**IN QUANTI MODI  
UN BUCO NERO PUÒ UCCIDERCI ?**

ALBERTO CAPPI

FLAVIO FUSI PECCI

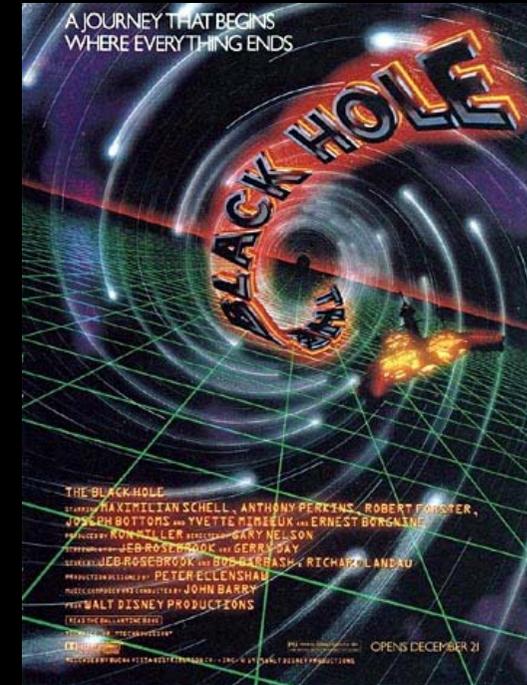
INAF - OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI BOLOGNA

BOLOGNA, 23 AGOSTO 2007

# ...potremmo *DAVVERO* essere uccisi da un buco nero?

I buchi neri non sono pericolosi:  
basta stare a distanza di sicurezza.

I fisici sperano di ricreare i buchi neri in laboratorio, ma...  
se le predizioni sono sbagliate,  
i buchi neri prodotti nel Large Hadron Collider  
a Ginevra potrebbero distruggere la Terra nel 2008



# Come essere uccisi da un buco nero

## Viaggio in un buco nero

- radiazione
- spaghetizzazione
- caduta nella singolarità

## Arrivo di un buco nero nel sistema solare

## Colpiti da un buco nero primordiale

## Creazione di buchi neri in laboratorio che non evaporano

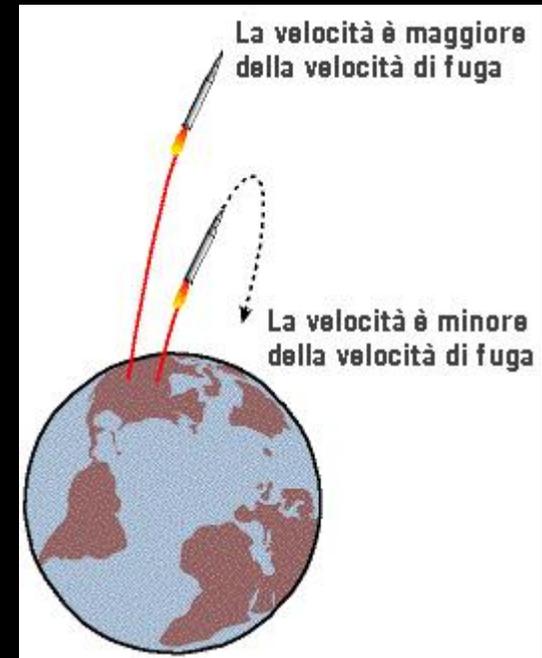
# I buchi neri: la teoria

# Stelle oscure newtoniane

Velocità di fuga dalla superficie terrestre:  
11 km/s

A parità di massa, minore è il raggio e  
maggiore è la velocità di fuga

Se concentriamo la massa entro un raggio critico,  
la velocità di fuga diventa superiore a quella della luce.  
Abbiamo una "dark star".



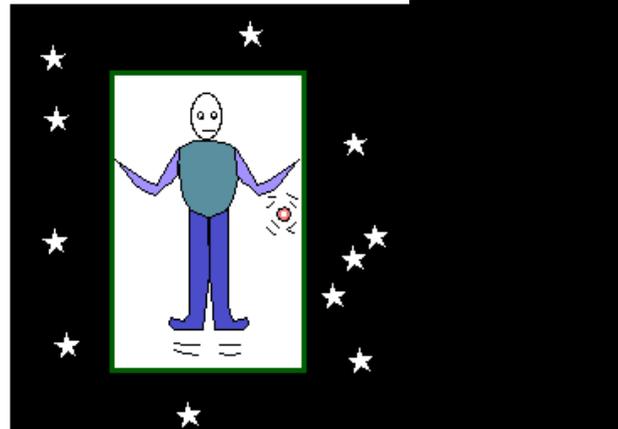
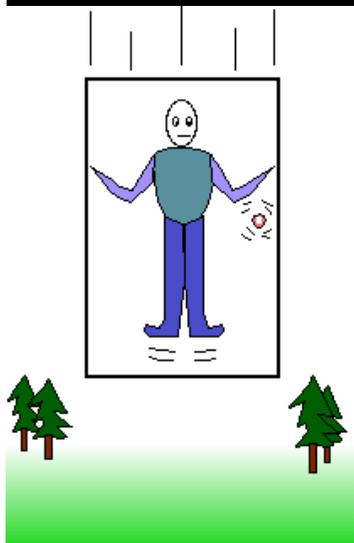
*... supposing a light to be attracted by the same force in proportion to its inertial mass, with other bodies, all light emitted from such a body would be made to return towards it by its own proper gravity (John Mitchell, 1784)*

Nel 1796 anche Laplace menziona questa possibilità.

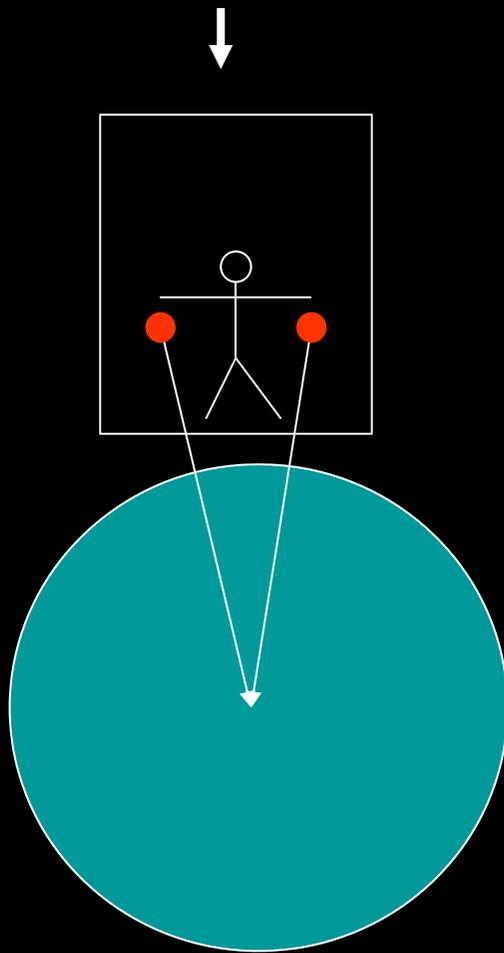
# L'idea più felice di Einstein

Per un osservatore che cade dal tetto di una casa, il campo gravitazionale non esiste.

A. Einstein

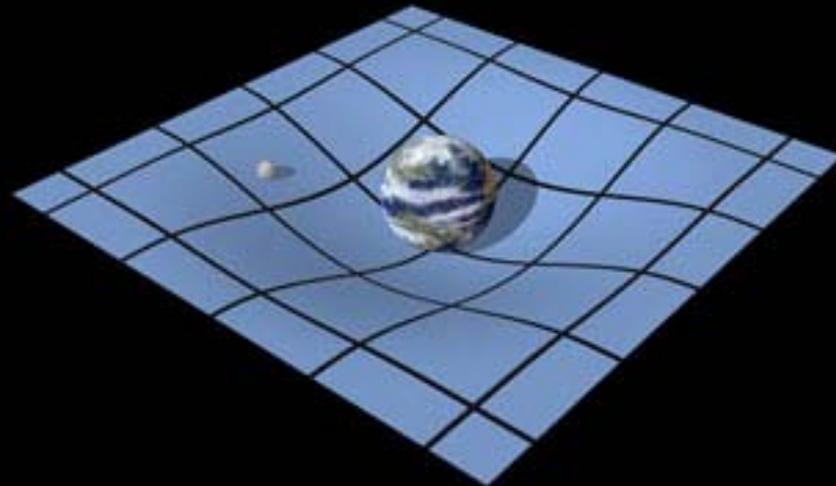


# Marea = Curvatura



Effetti di marea → curvatura ineliminabile

La curvatura dello spazio può essere molto pericolosa...



# La soluzione di Schwarzschild

Nel 1916 l'astrofisico Karl Schwarzschild trova per primo una soluzione alle equazioni della relatività di Einstein per un oggetto sferico, statico e immerso in uno spazio vuoto. Se l'oggetto è concentrato entro un raggio critico, allora nulla, neanche la luce, può più uscirne.

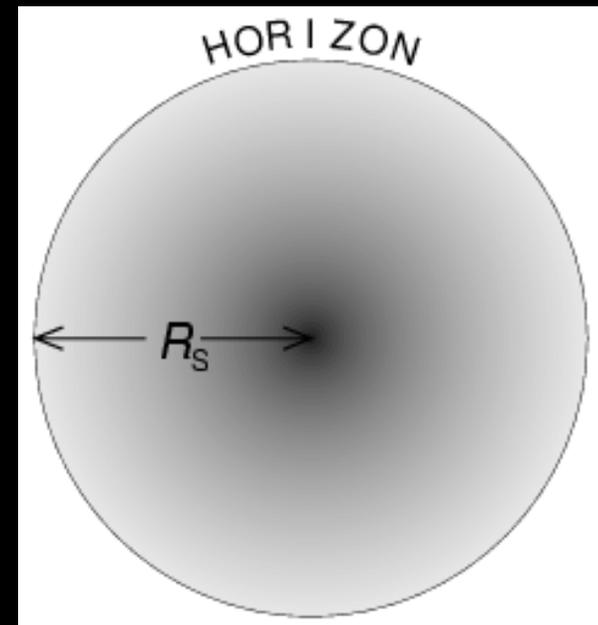


Karl Schwarzschild (1873-1916)

Raggio di Schwarzschild

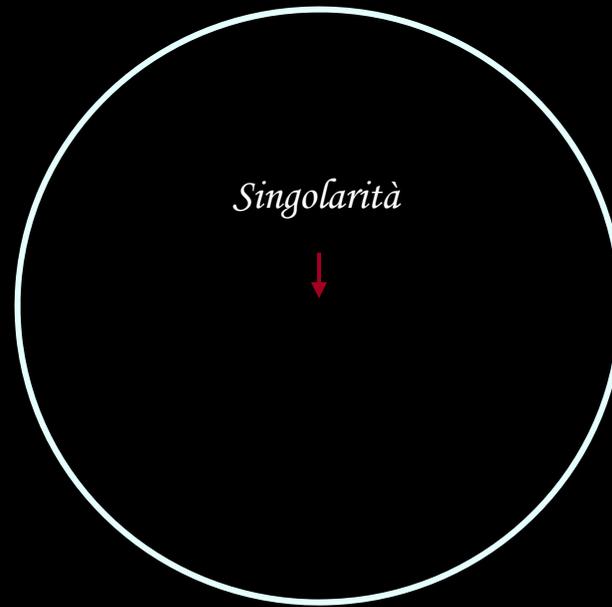
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$R_s (km) \approx 3 \times \frac{M_{stella}}{M_{Sole}}$$



Nel 1967, Wheeler li battezza buchi neri

# L'orizzonte degli eventi

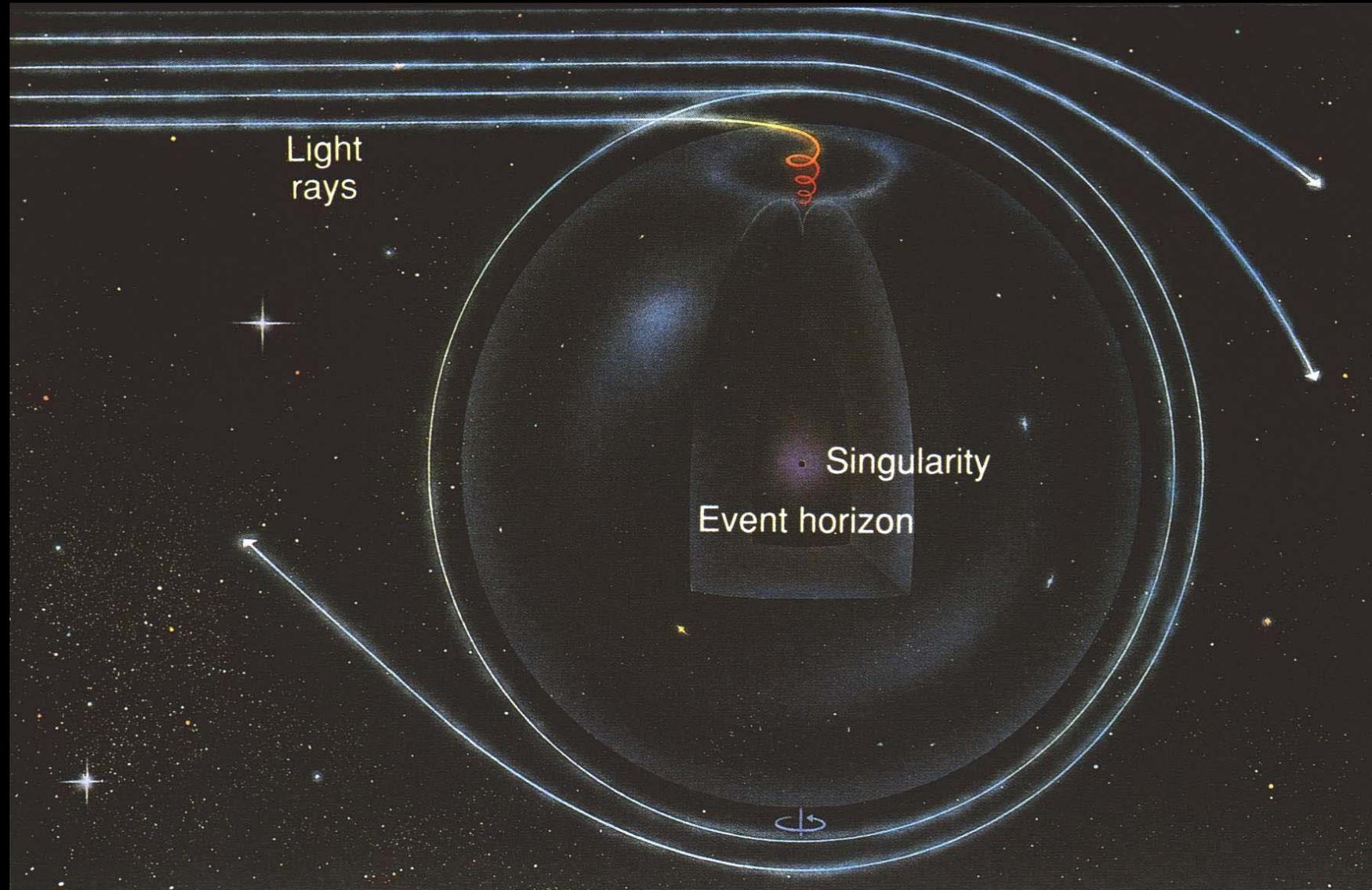


*Singolarità*



*Orizzonte degli eventi*

# Deviazione dei raggi di luce



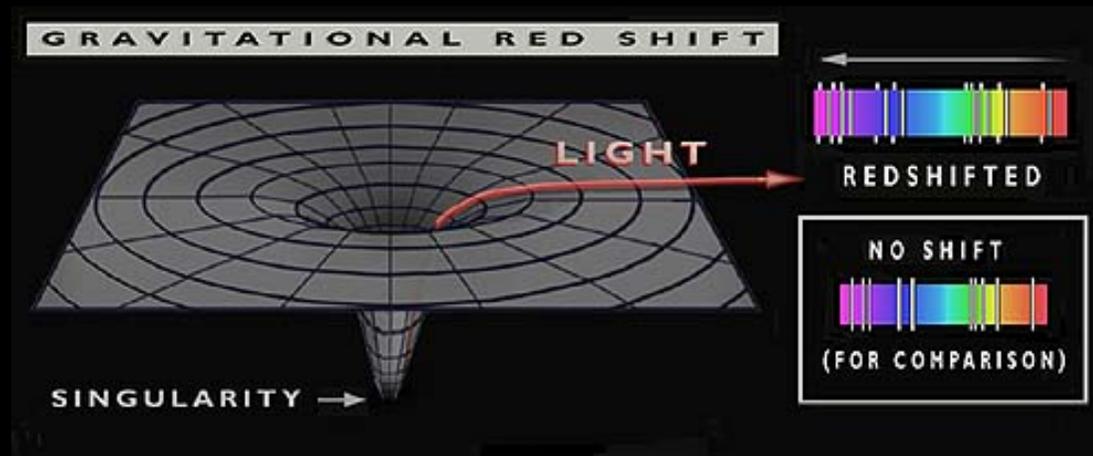
Come ci apparirebbe un buco nero



# Caduta in un buco nero

Visto da un osservatore esterno, il tempo di caduta sull'orizzonte di un buco nero è infinito.

Un osservatore che cade in un buco nero misura invece un tempo finito di caduta nella singolarità.



# Attenzione alle forze di marea!



Vicino all'orizzonte degli eventi, le forze di marea diventano fortissime (se il buco nero non è supermassiccio)

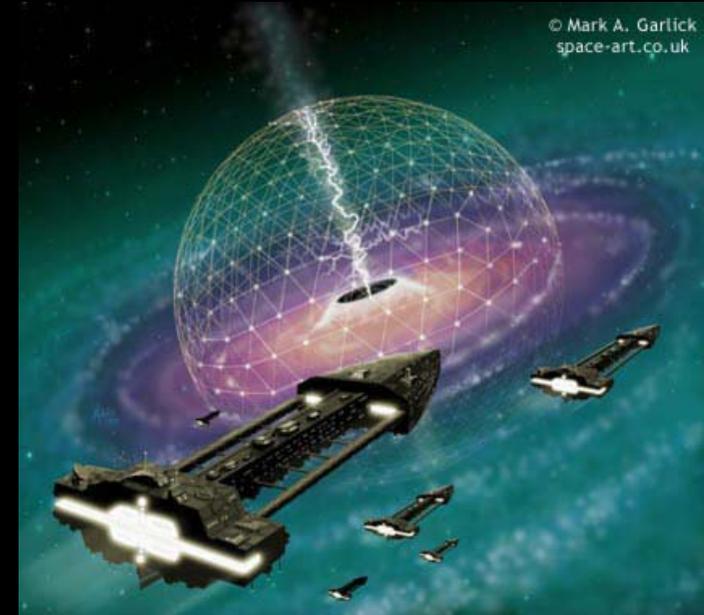
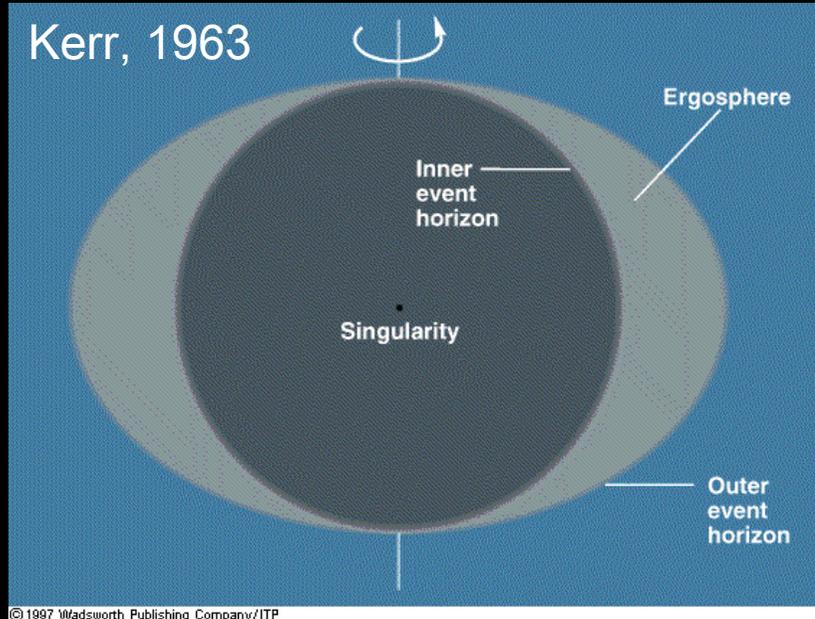


**SPAGHETTIFICAZIONE**

E' meglio cadere in un buco nero molto grosso (di miliardi di masse solari) che in uno "piccolo" di poche masse solari.



# Buco nero in rotazione



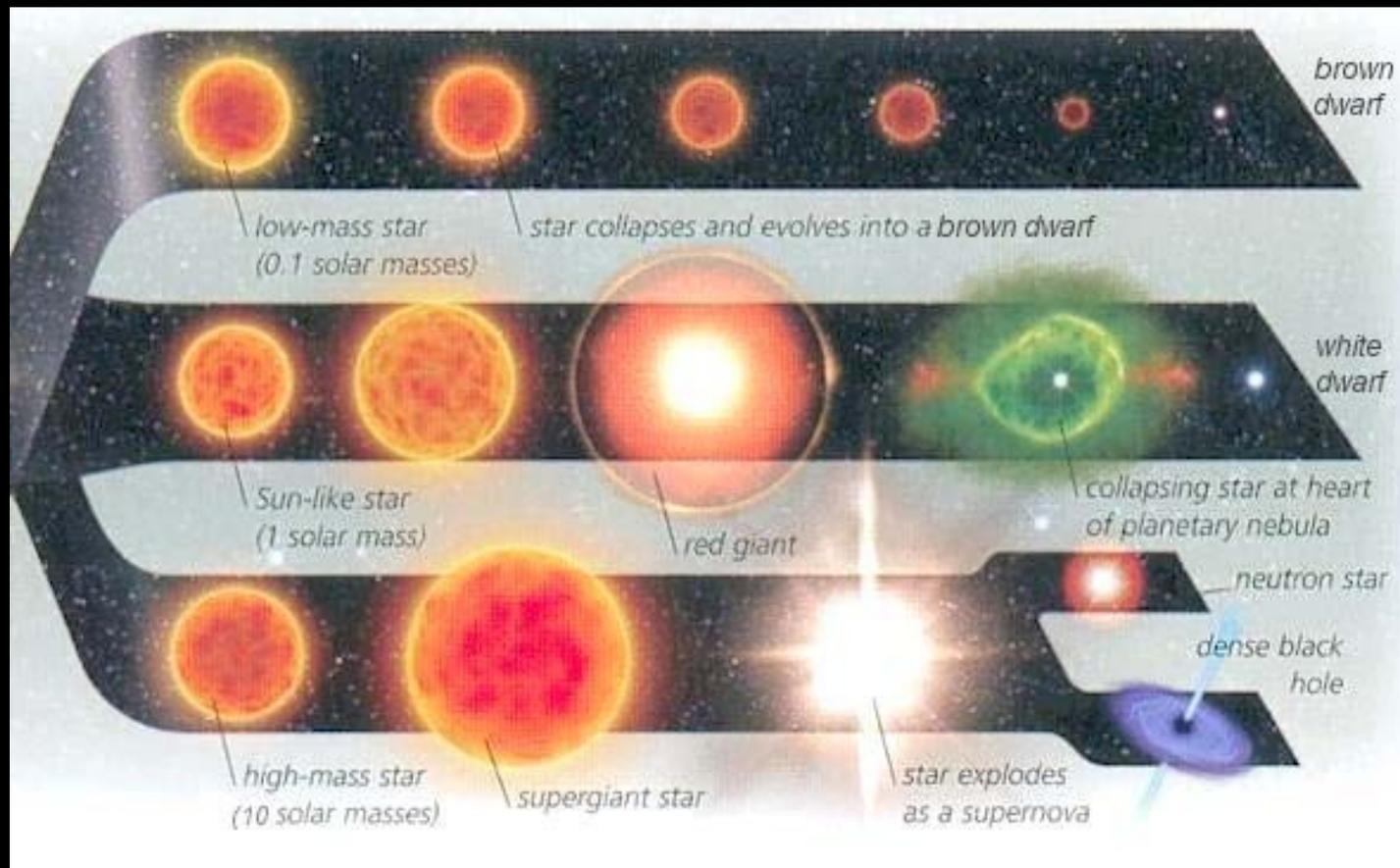
Si può entrare e uscire dall'ergosfera di un buco nero.

Nell'ergosfera è impossibile seguire una traiettoria radiale diretta verso il buco nero: lo spazio-tempo è trascinato dal moto di rotazione.

Tutta l'energia associata alla rotazione di un buco nero si trova immagazzinata nell'ergosfera e può dunque essere estratta.

I buchi neri esistono in Natura?

# Evoluzione Stellare



# Il limite di Chandrasekhar

Sir Arthur Eddington (1882-1944)

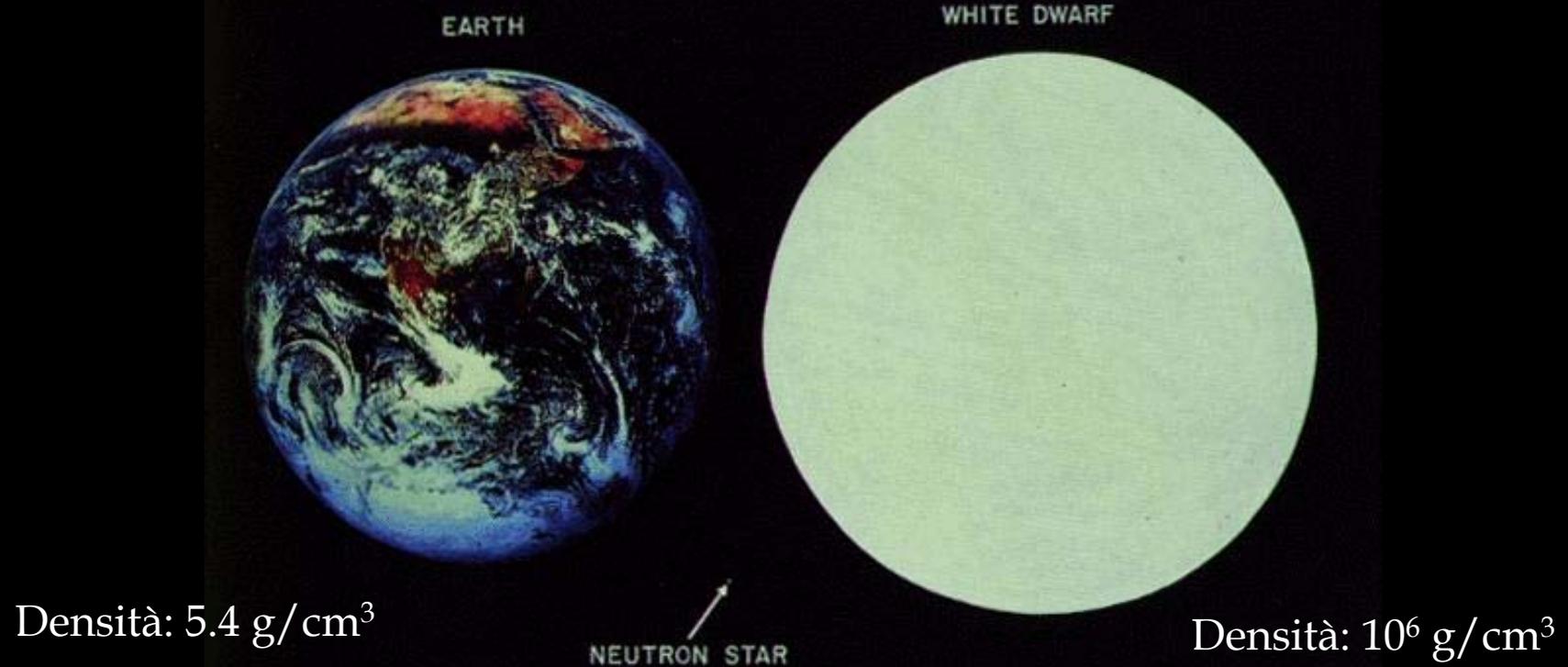


Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995)



Chandrasekhar dimostrò che esiste un limite superiore (1.4 masse solari) per l'esistenza di una nana bianca; al di sopra il collasso è inevitabile. Questo sembrava impossibile all'autorità dell'epoca, Arthur Eddington: **"I think there should be a law of Nature to prevent a star from behaving in this absurd way!"** (1935)

# Nana bianca



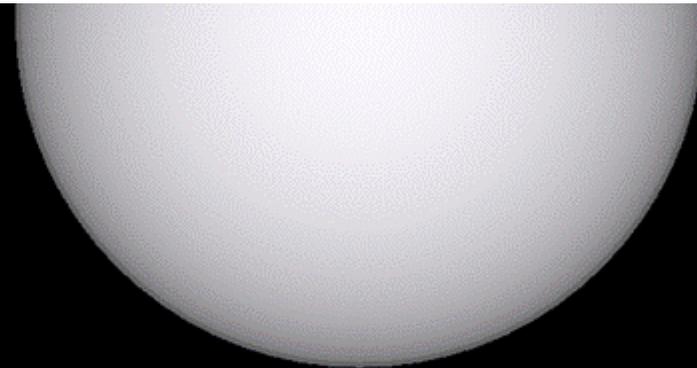
# Stelle di neutroni e buchi neri



Manhattan  
(spaceimaging.com)

Densità di un buco nero con la massa del Sole:  $10^{16} \text{ g/cm}^3$

Densità di un buco nero un miliardo di volte  
più massiccio del Sole:  $0.01 \text{ g/cm}^3$



Neutron Star  
 $M = 1.5 M_{\text{sun}}$   
 $R \approx 10 \text{ km}$

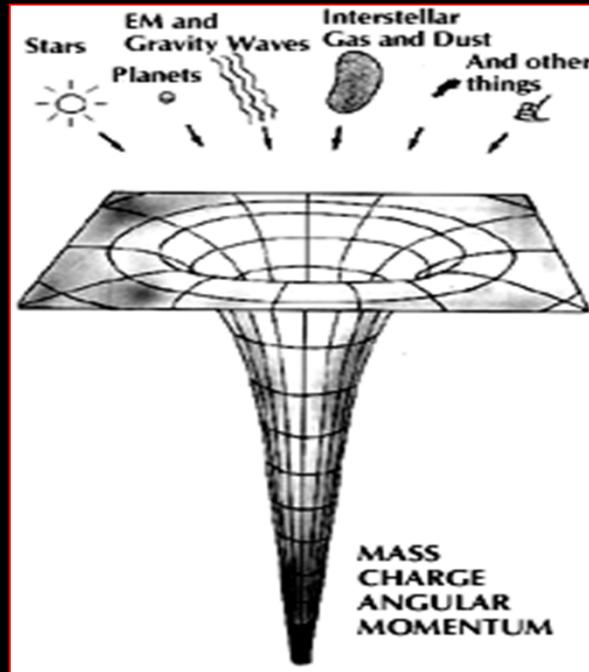
Densità:  $10^{15} \text{ g/cm}^3$



Black Hole  
 $M = 1.5 M_{\text{sun}}$   
 $R_S = 4.5 \text{ km}$

Come trovare un buco nero?

# Teorema della calvizie



Un buco nero divora tutto e si manifesta unicamente attraverso la sua massa e la sua rotazione (e la carica elettrica).

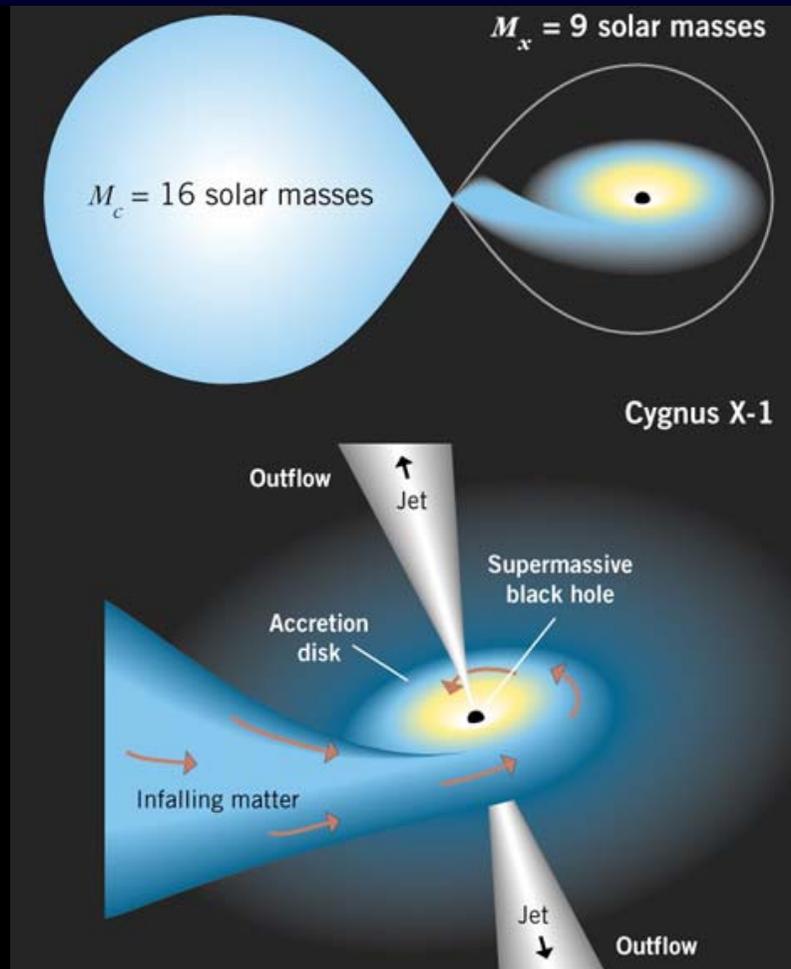
# I buchi neri interagiscono con l'ambiente

I buchi neri si manifestano indirettamente attraverso gli effetti indotti sull'ambiente che li circonda dalla loro estrema gravità.

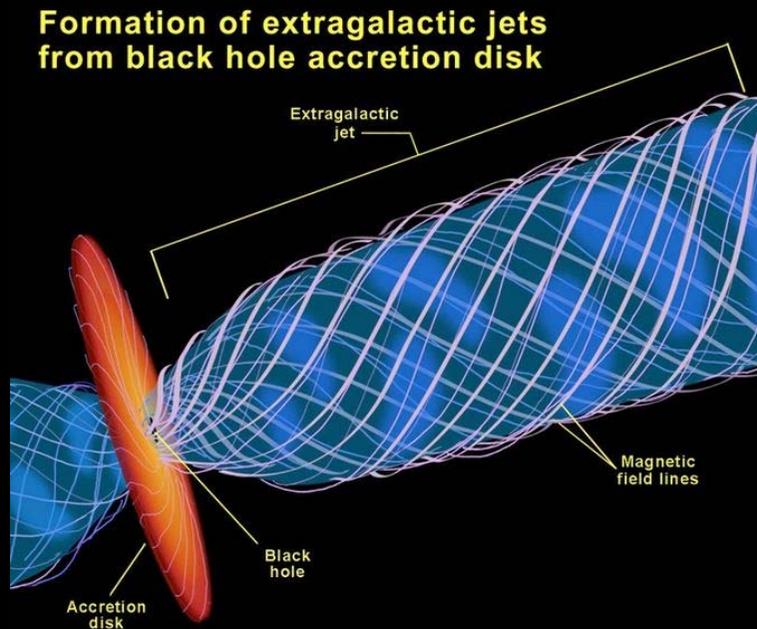
L'accrescimento di gas porta a un'intensa emissione di radiazione vicino al buco nero.

# Cygnus X-1

Sistema binario a 8000 anni-luce dalla Terra

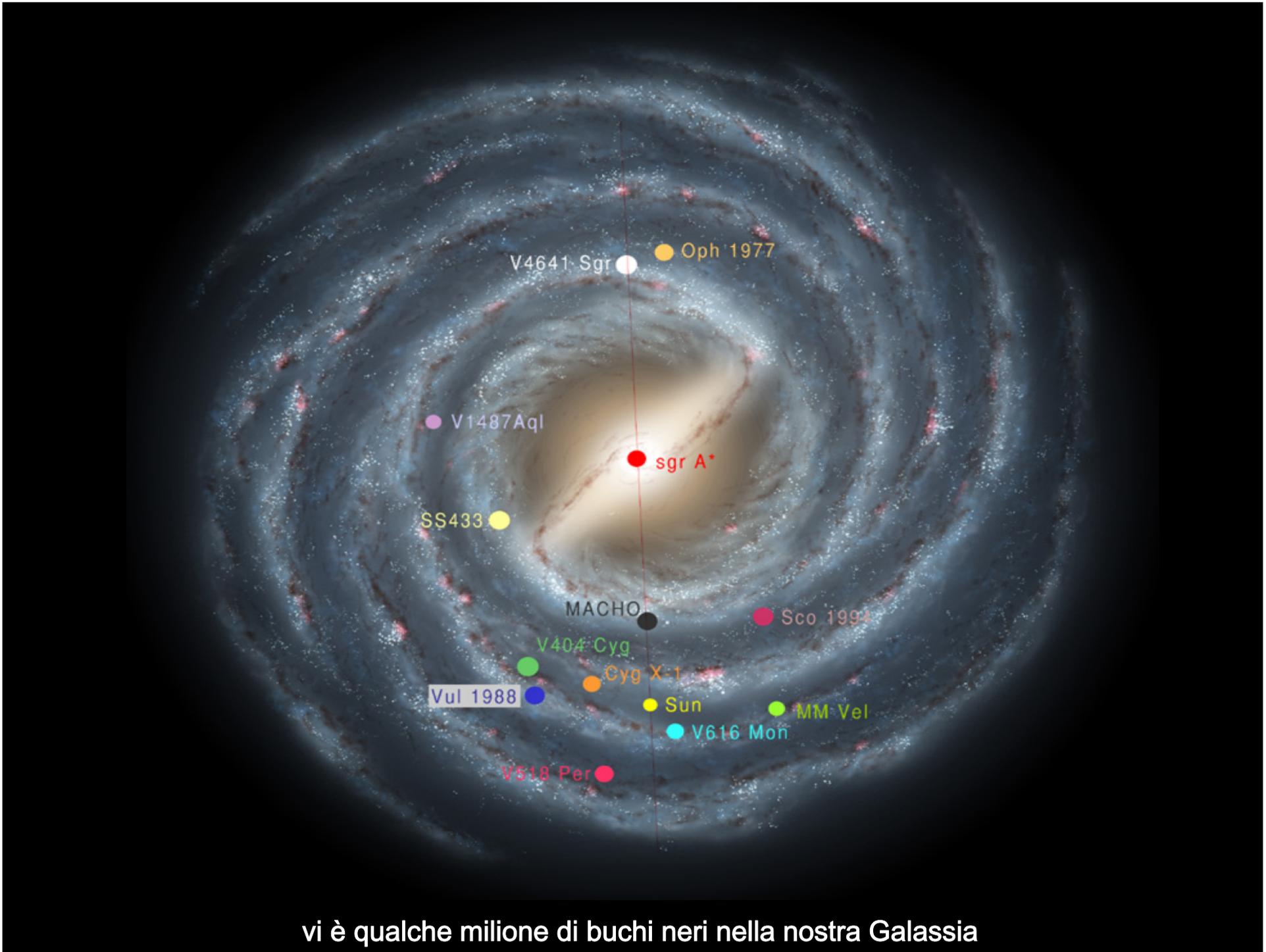


# Attenzione a ciò che circonda il buco nero!



Il disco di accrescimento è gas molto caldo: avvicinandosi all'orizzonte del buco nero viene emessa radiazione sempre più energetica, fino all'X e al gamma.

I getti sono un plasma di particelle che procedono a velocità relativistiche.



vi è qualche milione di buchi neri nella nostra Galassia

...e se un buco nero entrasse nel  
Sistema Solare?

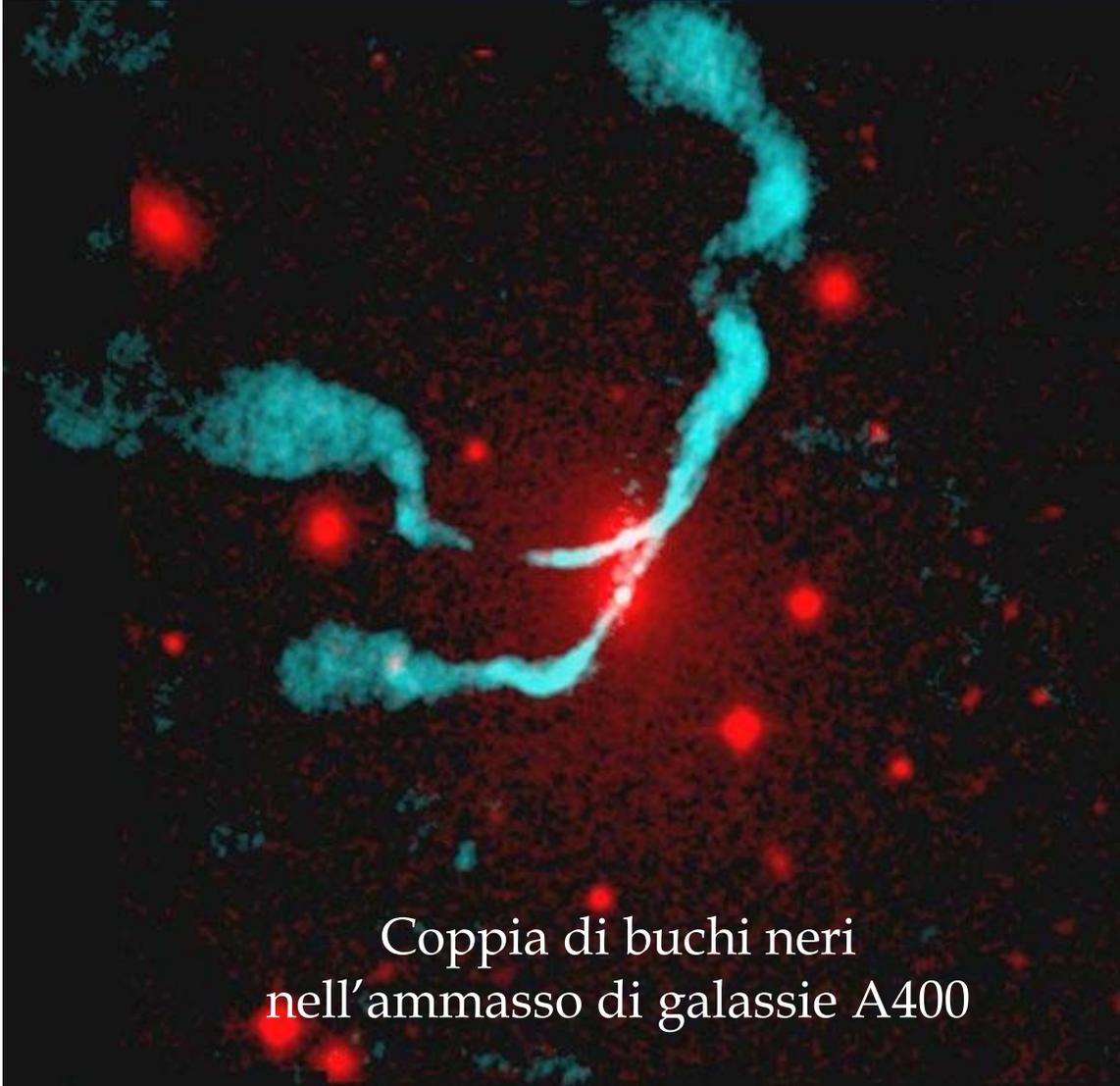


Probabilità di una collisione con un buco nero:  $1/10^{26}$  all'anno

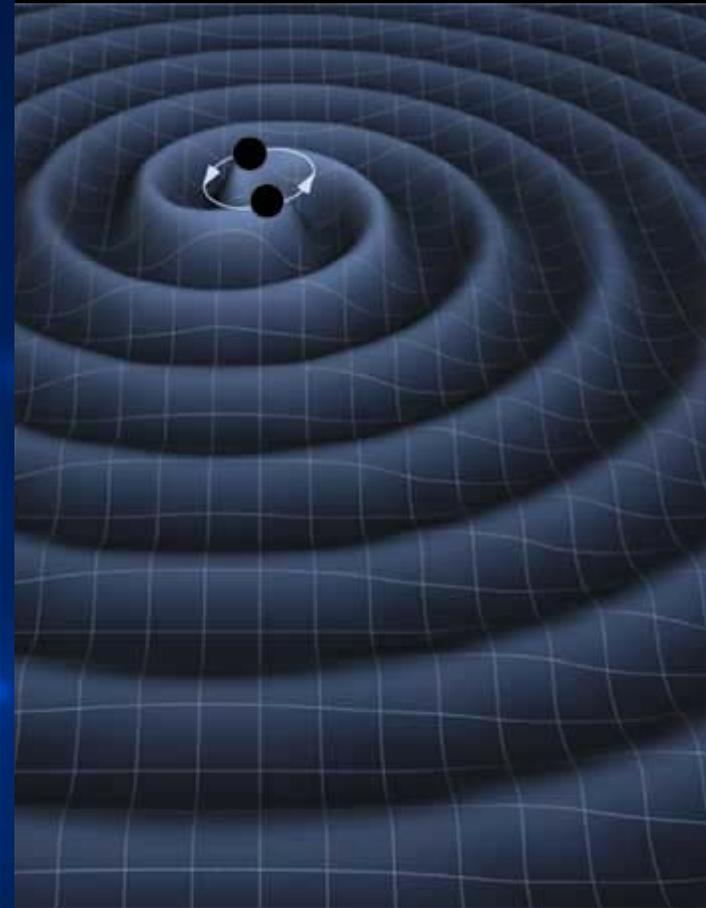
# Distruzione di una stella



# Onde gravitazionali



Coppia di buchi neri  
nell'ammasso di galassie A400



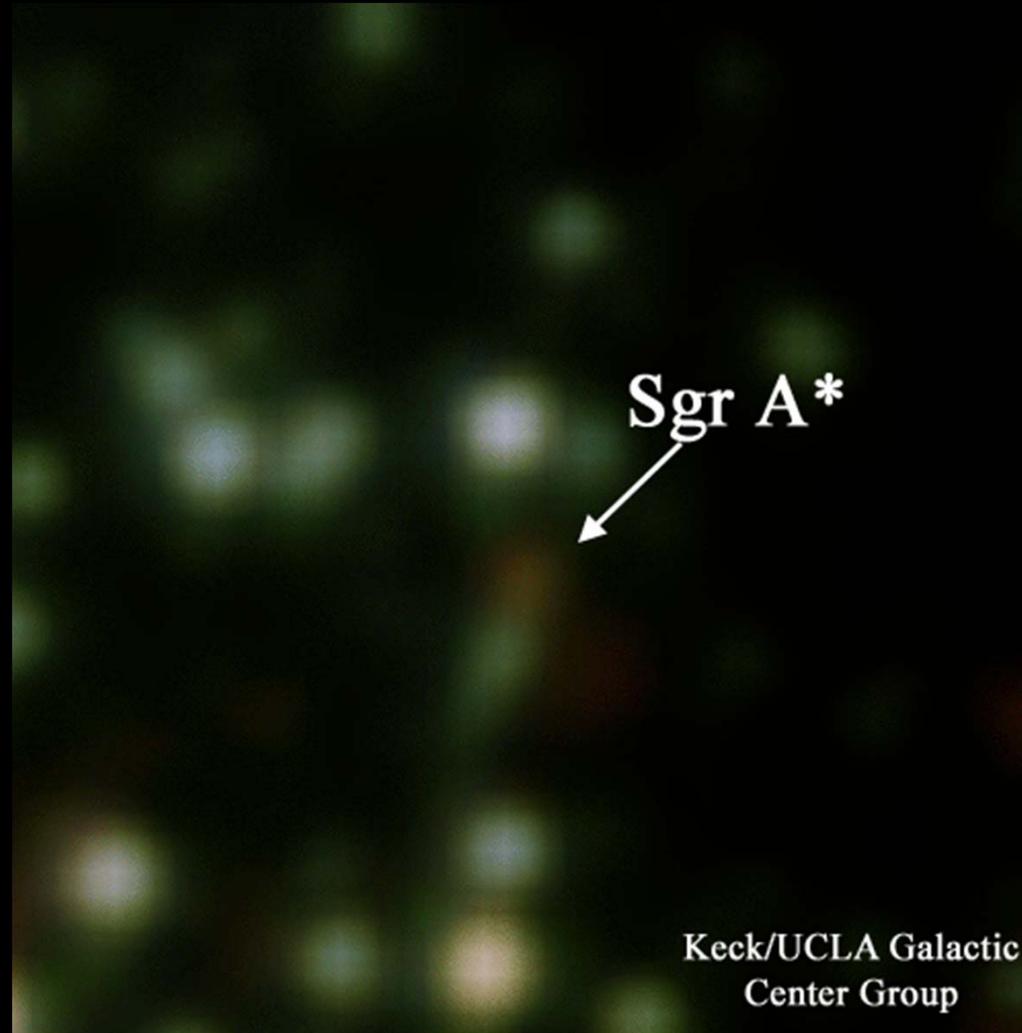
I buchi neri possono trovarsi in sistemi binari destinati a fondersi liberando una grande energia sotto forma di onde gravitazionali, molto pericolose per chi si trovi nei paraggi

# Classificazione dei buchi neri

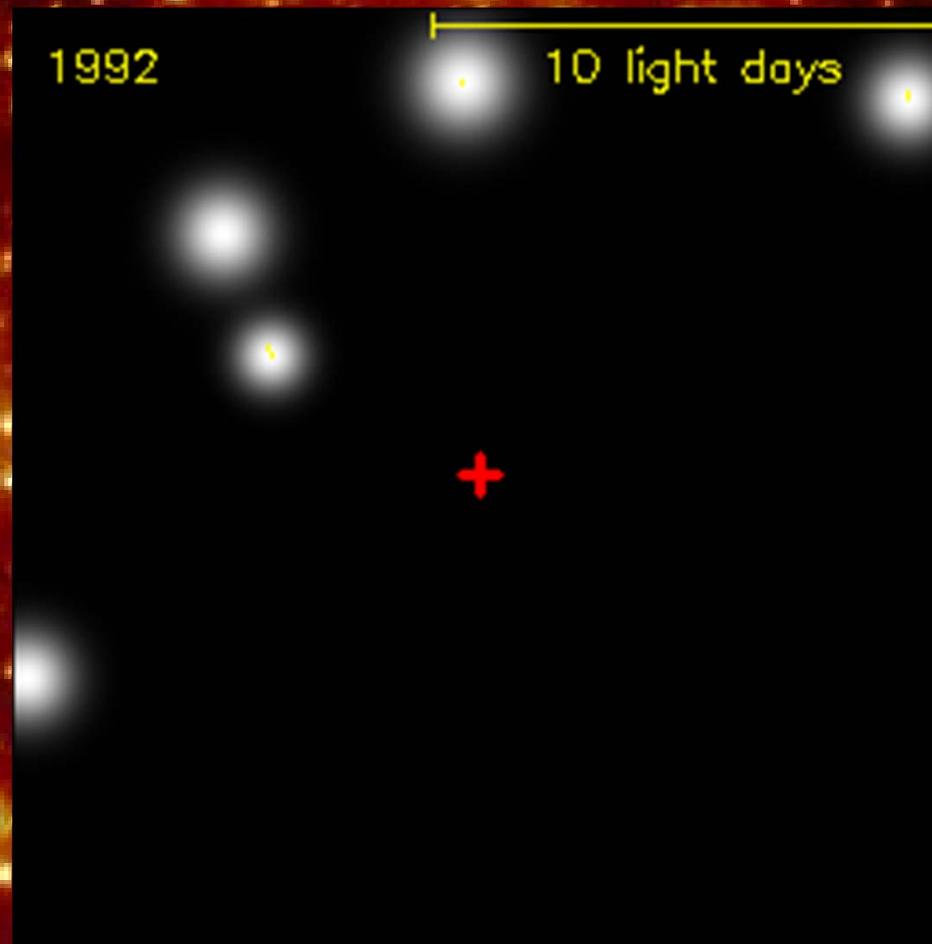
Buchi neri aventi una massa decine o centinaia di volte la massa del Sole: rappresentano la fase finale dell'evoluzione di stelle di grande massa.

Buchi neri supermassicci, aventi una massa milioni o miliardi di volte quella del Sole: al centro delle galassie, sono il motore dei Nuclei Galattici Attivi e dei Quasar.

# Il buco nero al centro della nostra Galassia

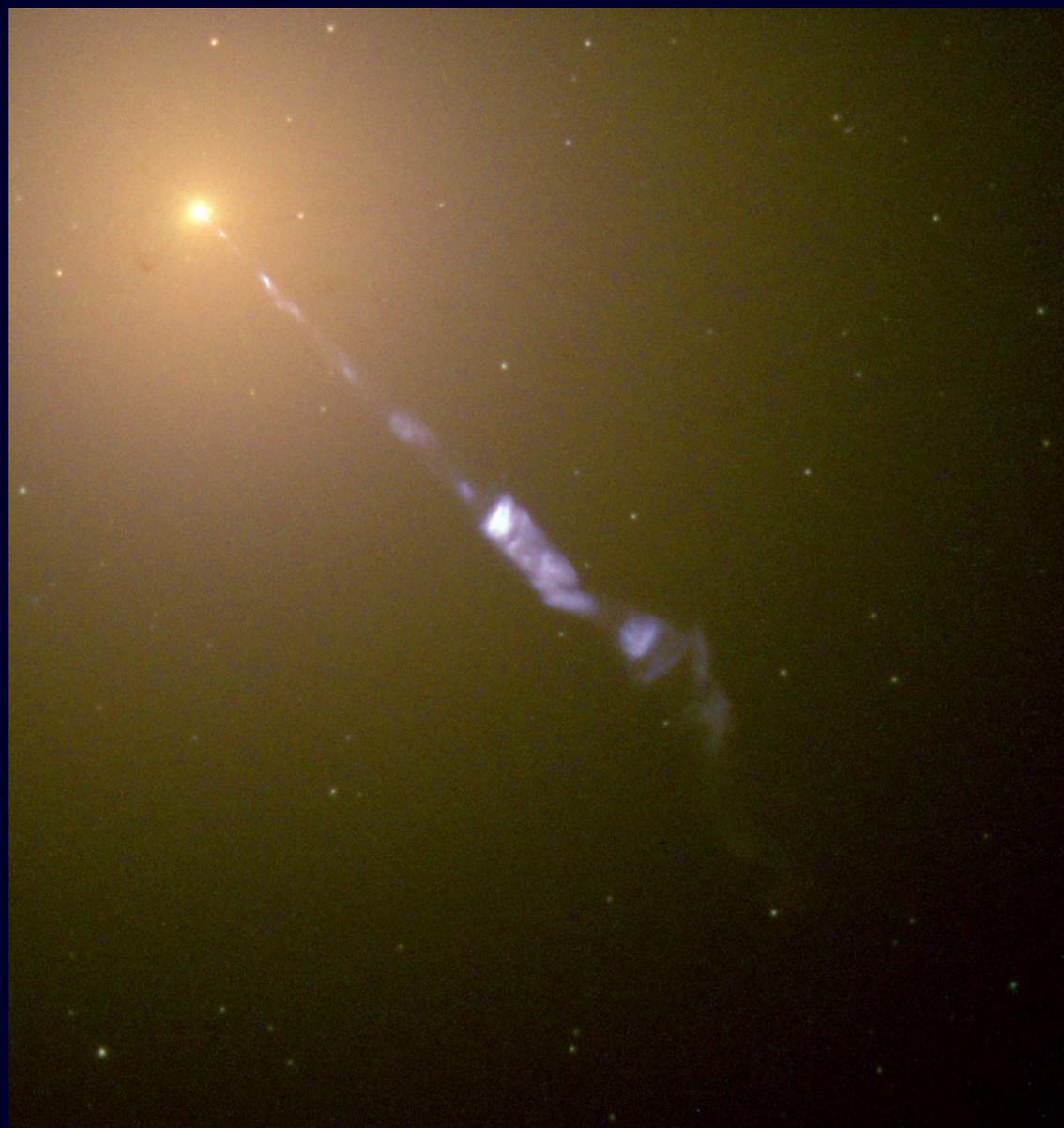


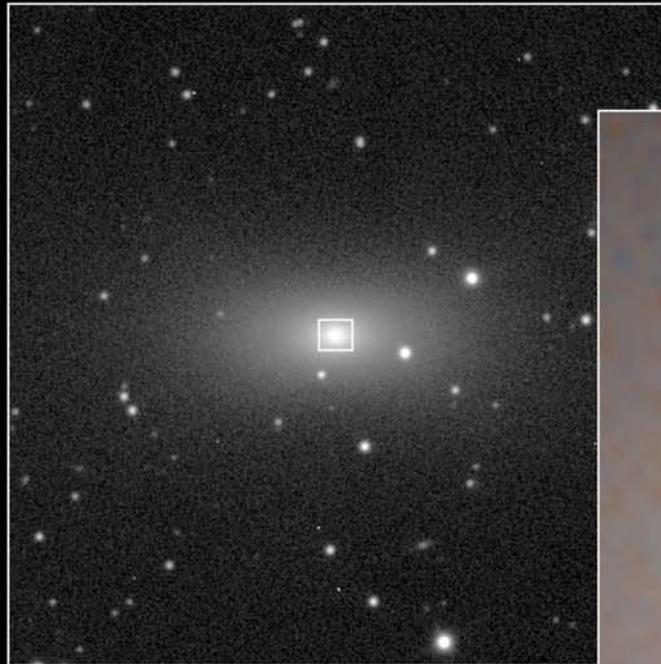
# IL BUCO NERO AL CENTRO DELLA NOSTRA GALASSIA





# M87





Ground

HST

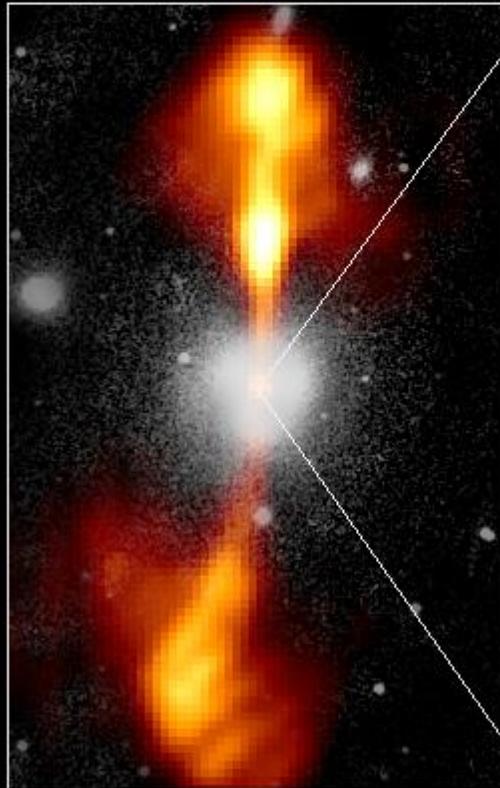


**Disk around a Black Hole in Galaxy NGC 7052**  
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

# Core of Galaxy NGC 4261

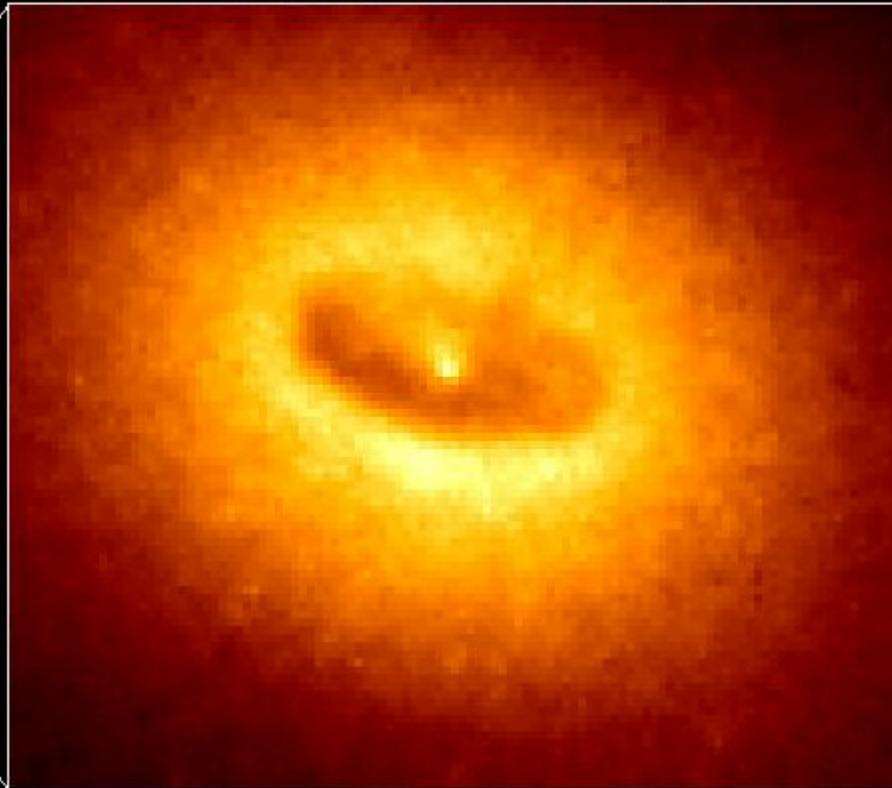
Hubble Space Telescope  
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



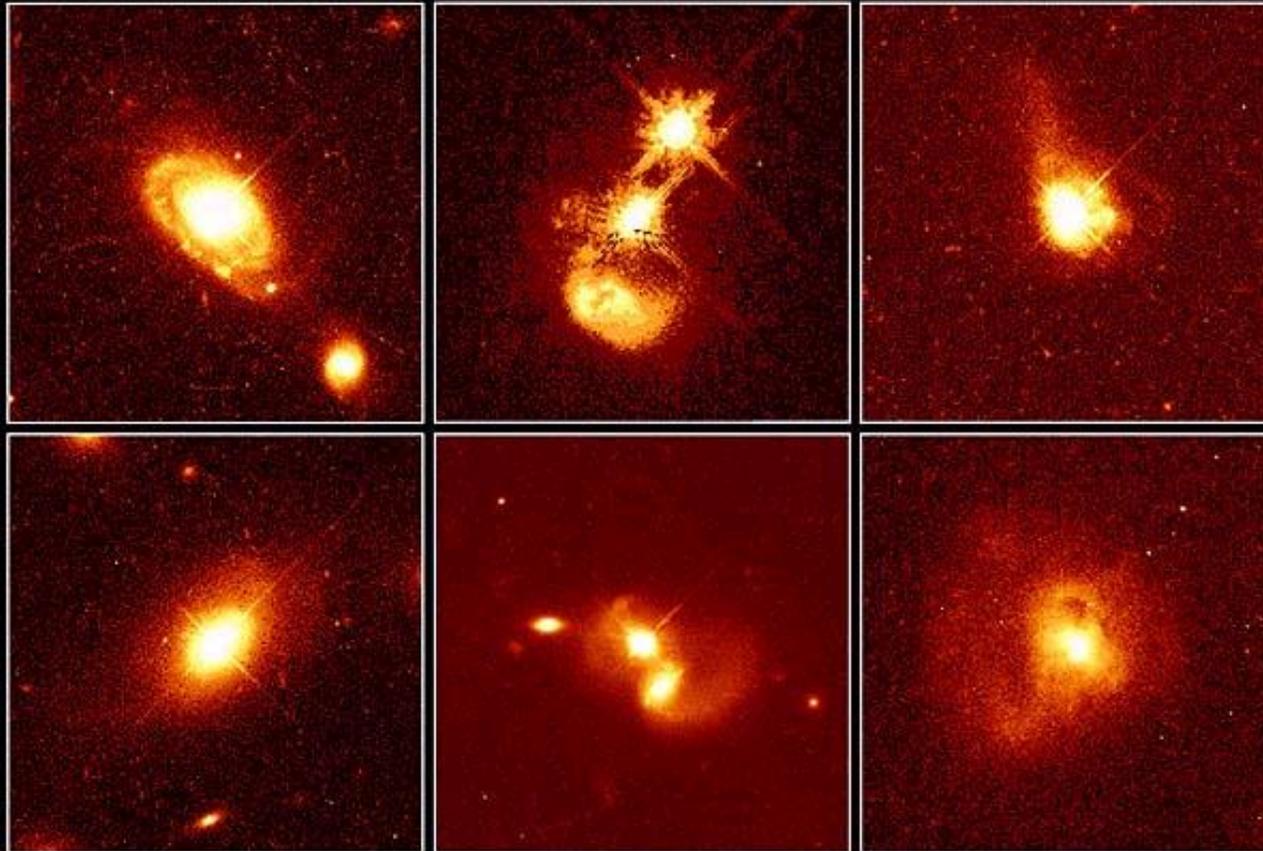
380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS

# I Quasar



**Quasar Host Galaxies**

**HST • WFPC2**

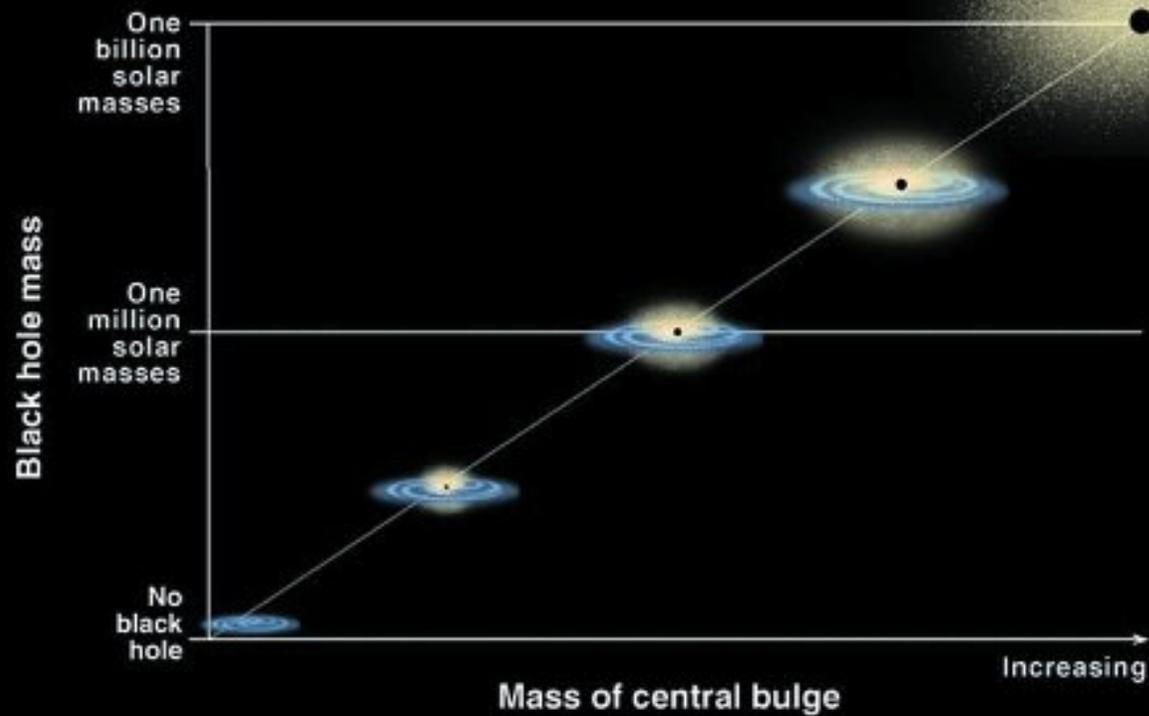
PRC96-35a • ST ScI OPO • November 19, 1996

J. Bahcall (Institute for Advanced Study), M. Disney (University of Wales) and NASA

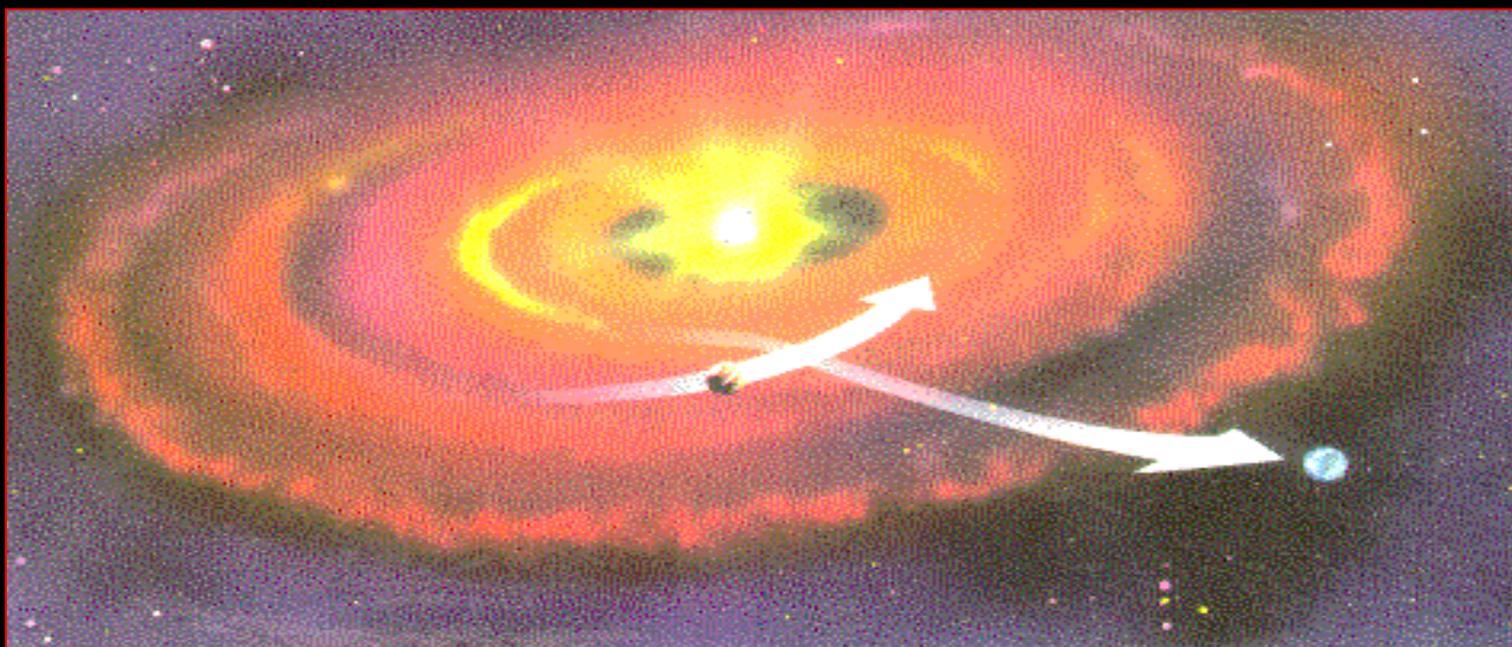
I buchi neri divoreranno  
l'Universo?

# Buchi neri e formazione delle galassie

Correlation Between Black Hole Mass and Bulge Mass



# La fine della Galassia



A causa degli incontri ravvicinati, il 90% delle stelle sarà espulso dalla Galassia, e il restante 10% sarà inghiottito dal gigantesco buco nero centrale...

**TEMPO CARATTERISTICO:**

**$10^{19}$  anni (10 miliardi di miliardi di anni)**

# La fine dei sistemi di galassie

Anche le galassie negli ammassi tendono a formare un buco nero centrale.

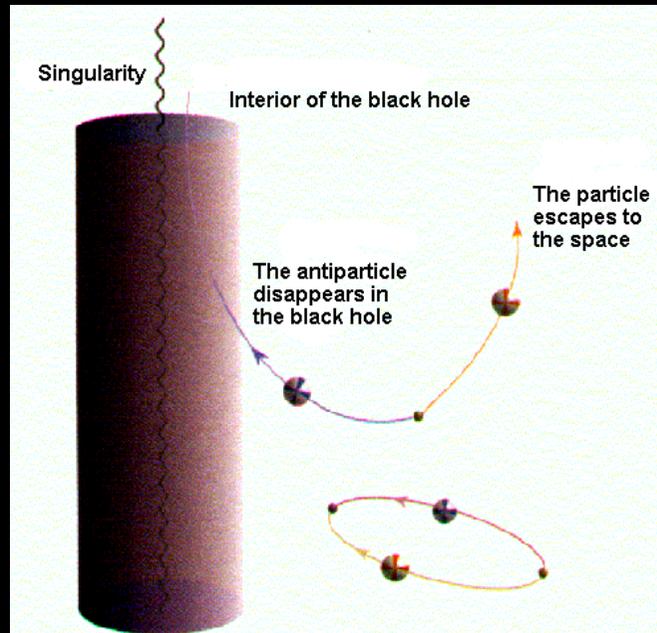
Per il nostro Gruppo Locale questo avverrà fra  **$10^{12}$  anni** (mille miliardi di anni).

Un ammasso ricco formerà un buco nero di cento miliardi di masse solari, con un raggio di 300 miliardi di chilometri (una settimana-luce).

**TEMPO CARATTERISTICO:**

**$10^{27}$  anni** (un miliardo di miliardi di miliardi di anni).

# I buchi neri evaporano (Hawking 1975)



Rimangono freddi finché sono grandi.  
Potrebbero evaporare oggi mini-buchi neri primordiali,  
ma questi non sono mai stati rivelati.

**TEMPO CARATTERISTICO:**

**$10^{64}$  ANNI PER UN BUCO NERO CON LA MASSA DEL SOLE.**

**$10^{98}$  ANNI PER UN BUCO NERO GALATTICO.**

# Creazione di buchi neri in laboratorio

# Large Hadron Collider, CERN, Ginevra

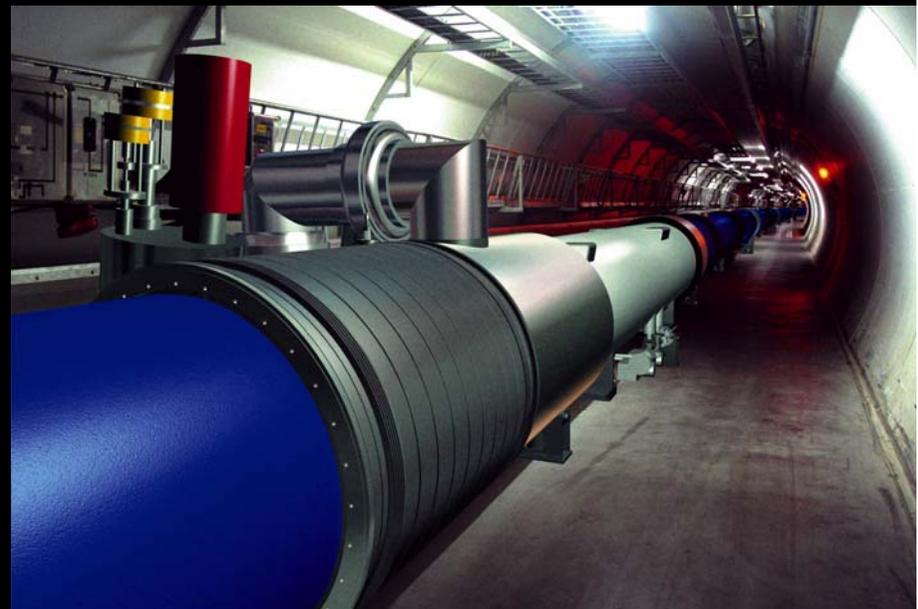
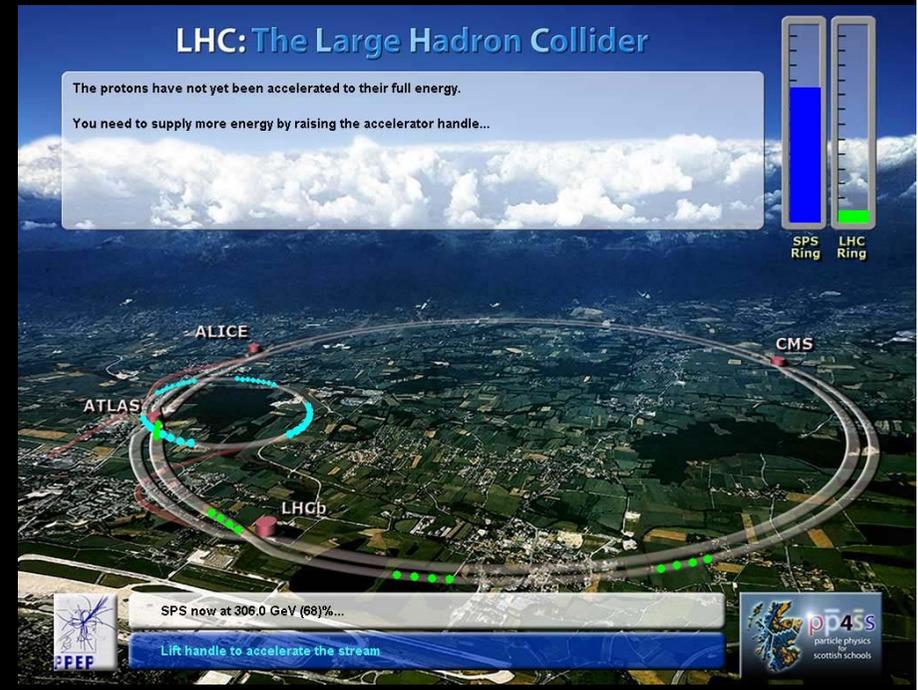
Accelera e fa scontrare  
fasci di protoni e antiprotoni

27 chilometri di circonferenza

In funzione a partire da  
novembre 2007

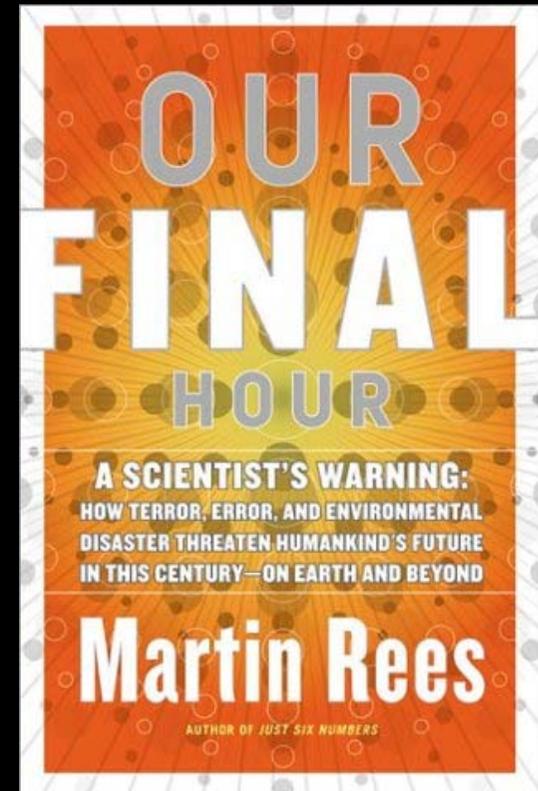
Rivelerà nuove particelle e  
produrrà per la prima volta  
dei micro-buchi neri?

Per fortuna i buchi neri  
evaporano...in teoria!



# Il nostro ultimo secolo?

Secondo Martin Rees l'umanità ha il 50% di probabilità di sopravvivere nel XXI secolo; la probabilità di una catastrofe con il LHC sarebbe meno di 1/50.000.000 in 10 anni di attività.



# Come essere uccisi da un buco nero

## Viaggio in un buco nero

- radiazione
- spaghetizzazione
- caduta nella singolarità

## Arrivo di un buco nero nel sistema solare

## Colpiti da un buco nero primordiale

## Creazione di buchi neri in laboratorio che non evaporano



FINE