



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

ALBERTO CAPPI

FLAVIO FUSI PECCI

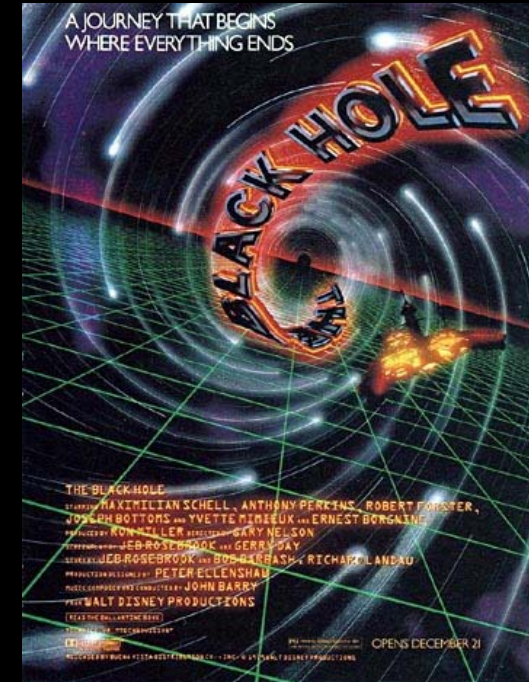
INAF - OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI BOLOGNA

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

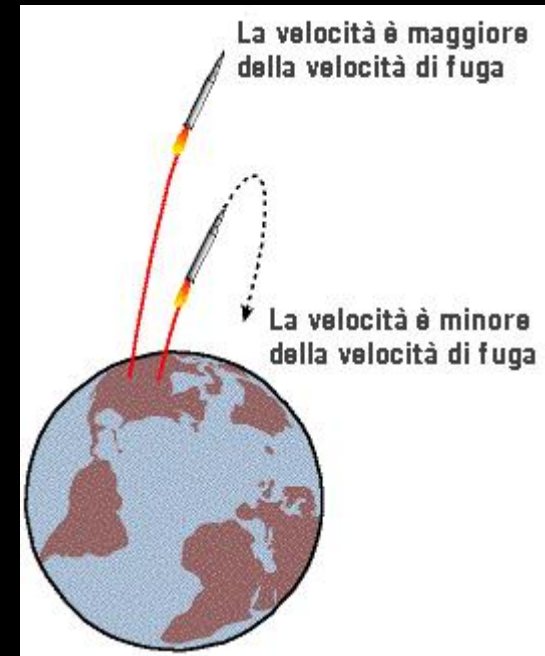
I buchi neri: la teoria

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".



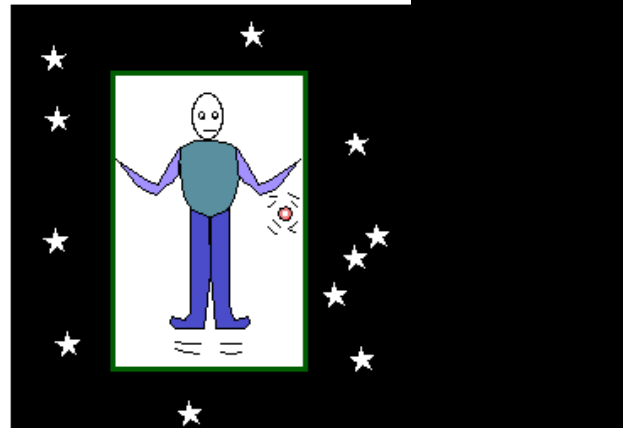
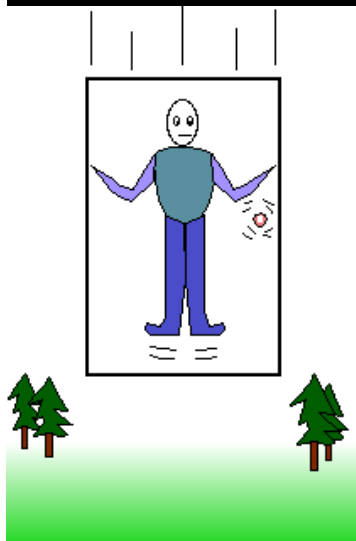
... supposing a light to be attracted by the same force in proportion to its inertial mass, with other bodies, all light emitted from such a body would be made to return towards it by its own proper gravity (John Mitchell, 1784)

Nel 1796 anche Laplace menziona questa possibilità.

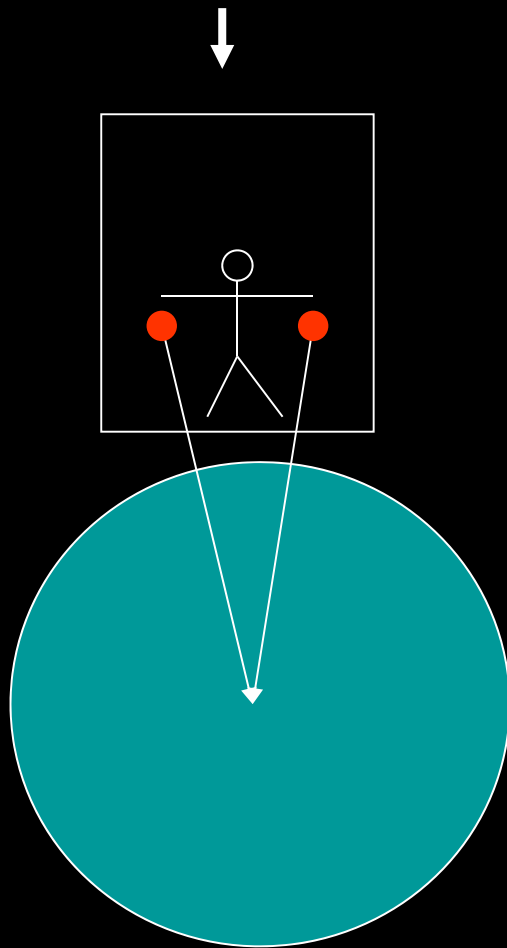
L'idea più felice di Einstein

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

A. Einstein

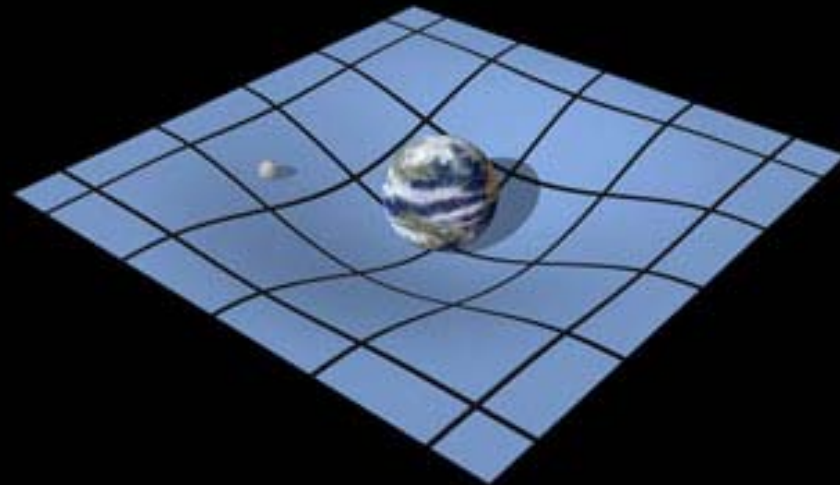


Marea = Curvatura



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.

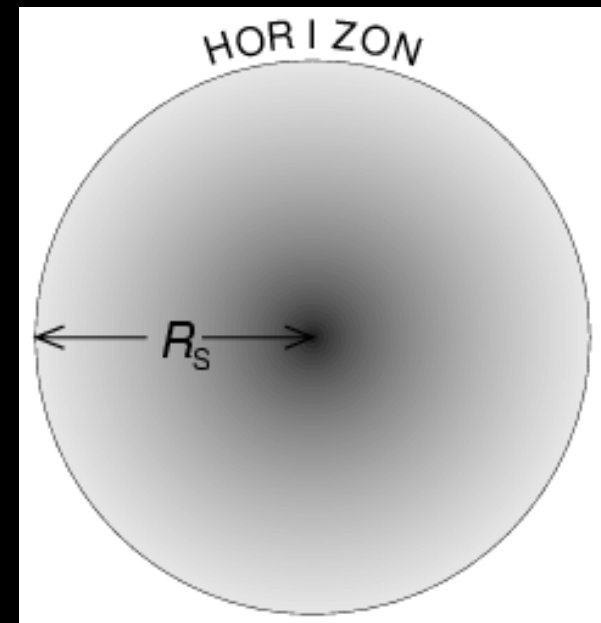


Karl Schwarzschild (1873-1916)

Raggio di Schwarzschild

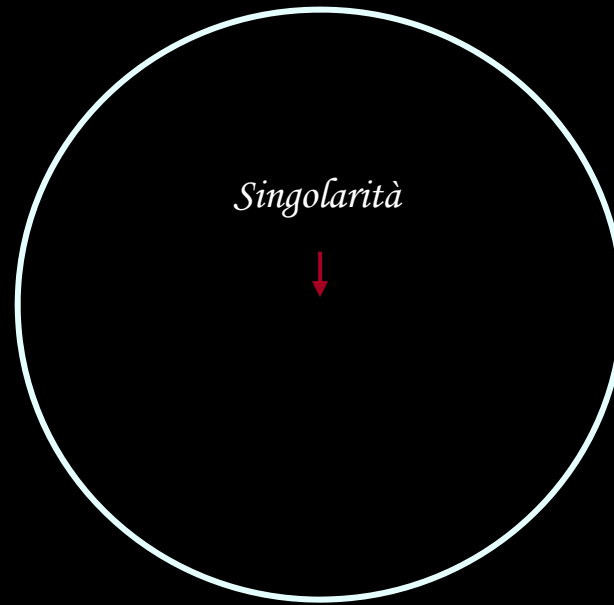
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

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



Nel 1967, Wheeler li battezza buchi neri

L'orizzonte degli eventi

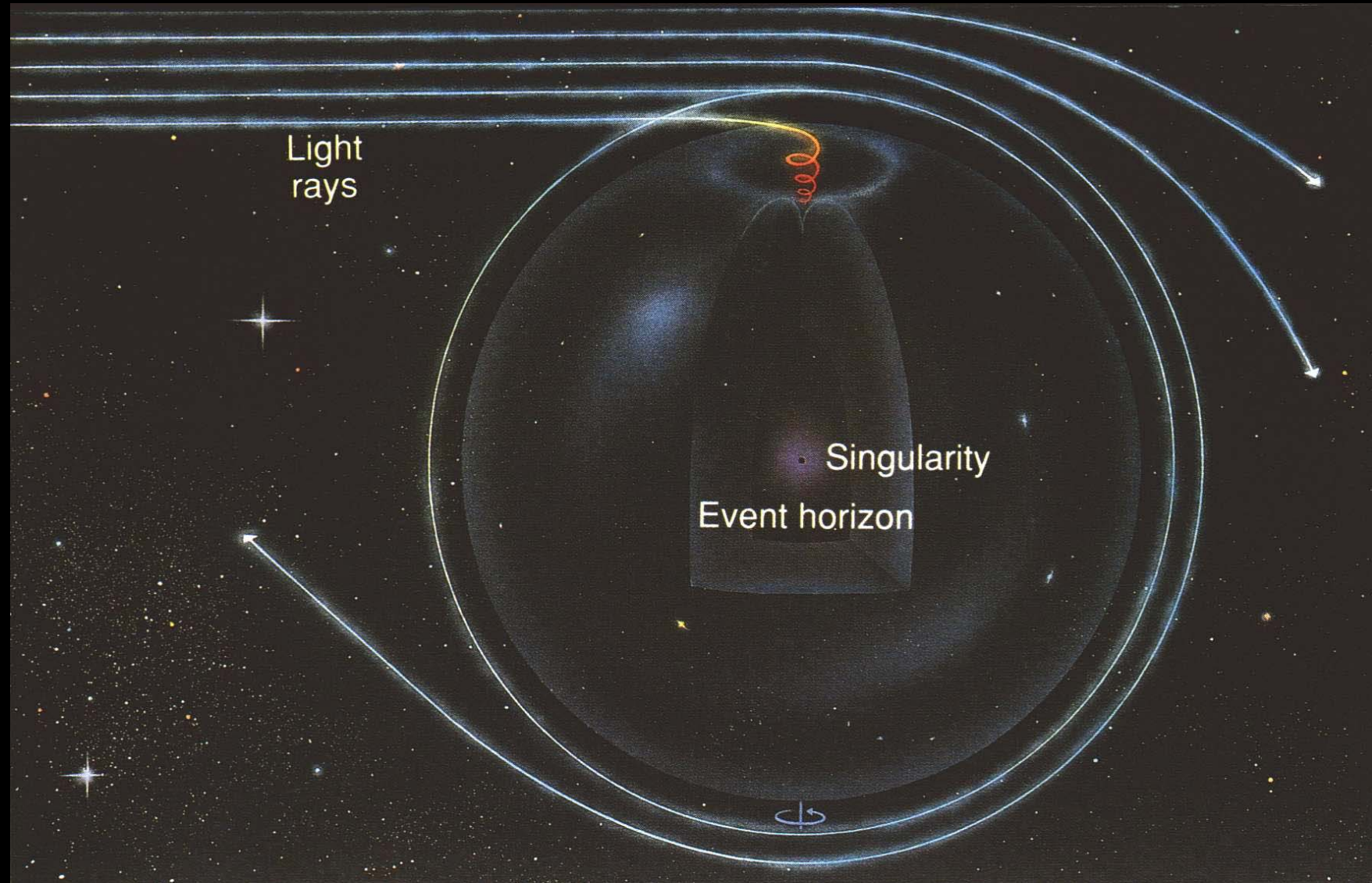


Singolarità



Orizzonte degli eventi

Deviazione dei raggi di luce



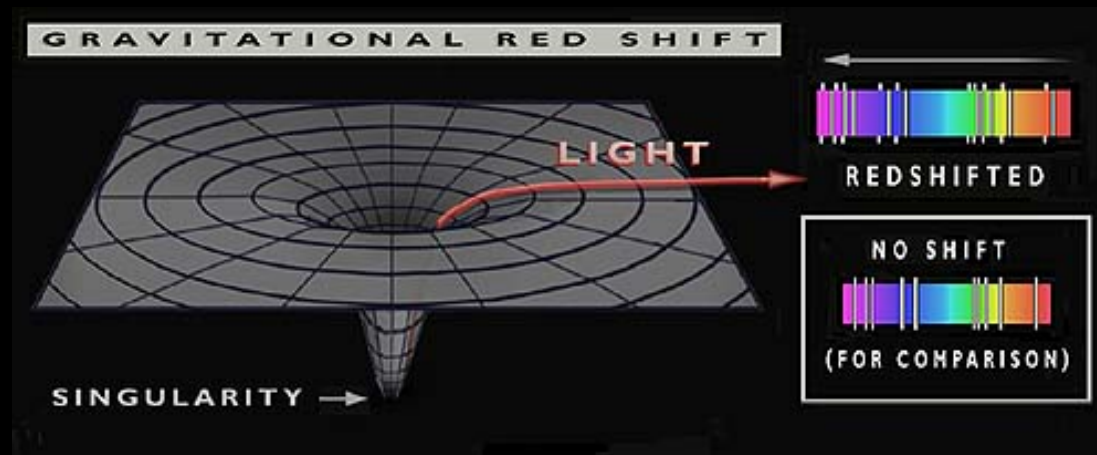
Come ci apparirebbe un buco nero



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)

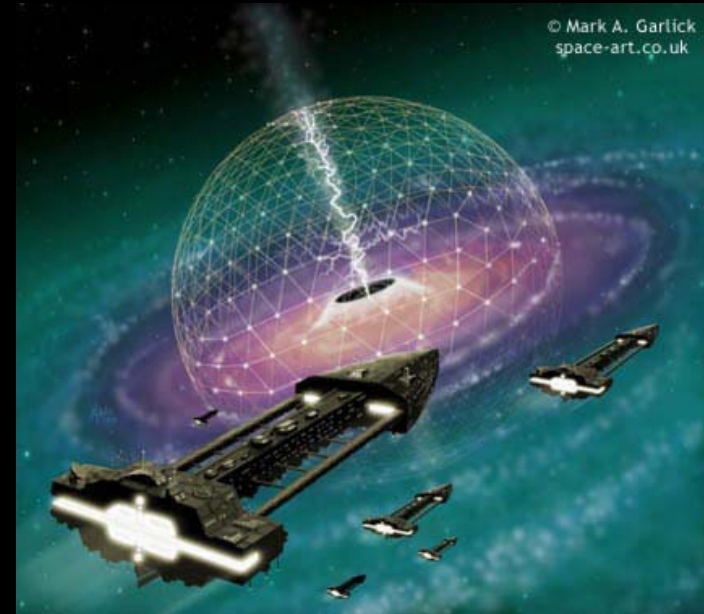
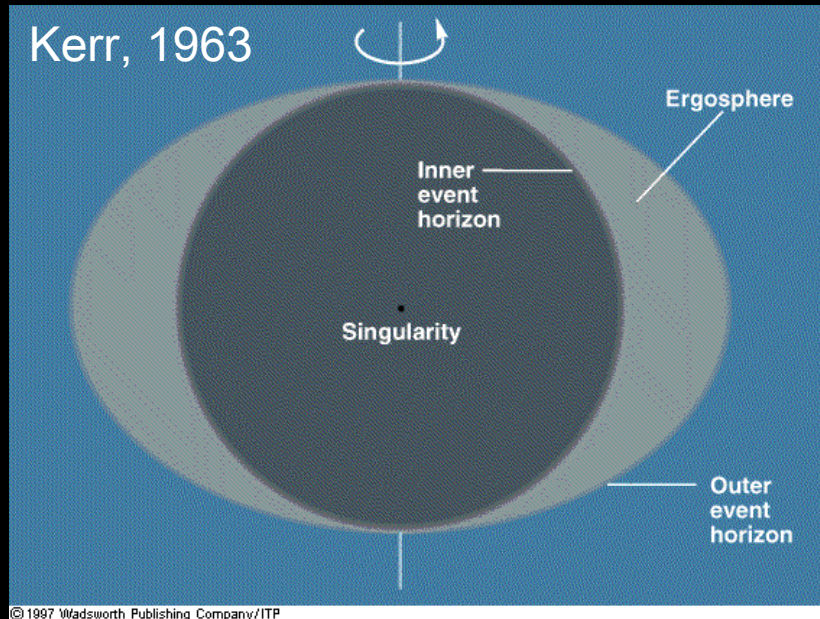


SPAGHETTIFICAZIONE

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



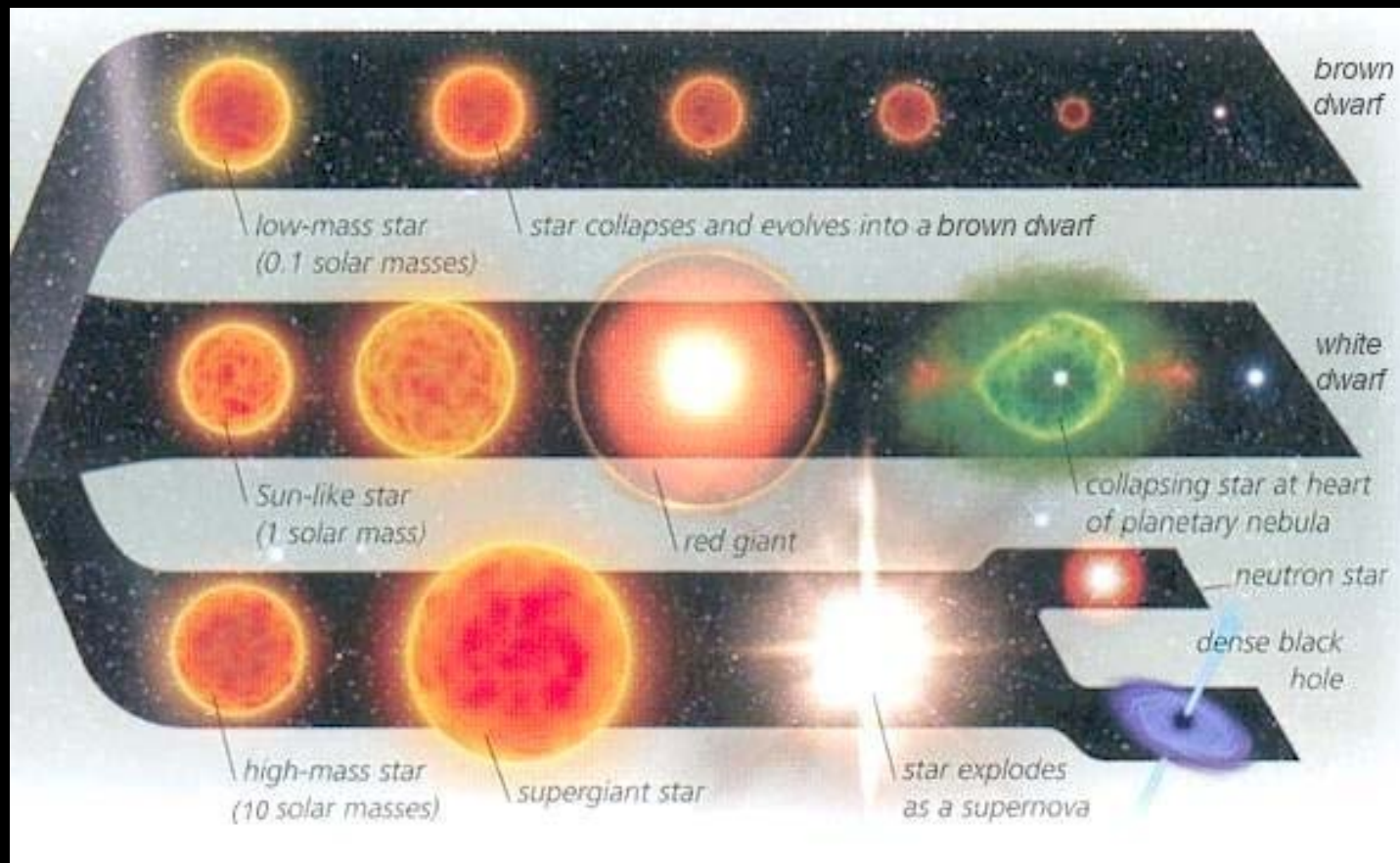
Si può entrare e uscire dall'ergosfera di un buco nero.

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)

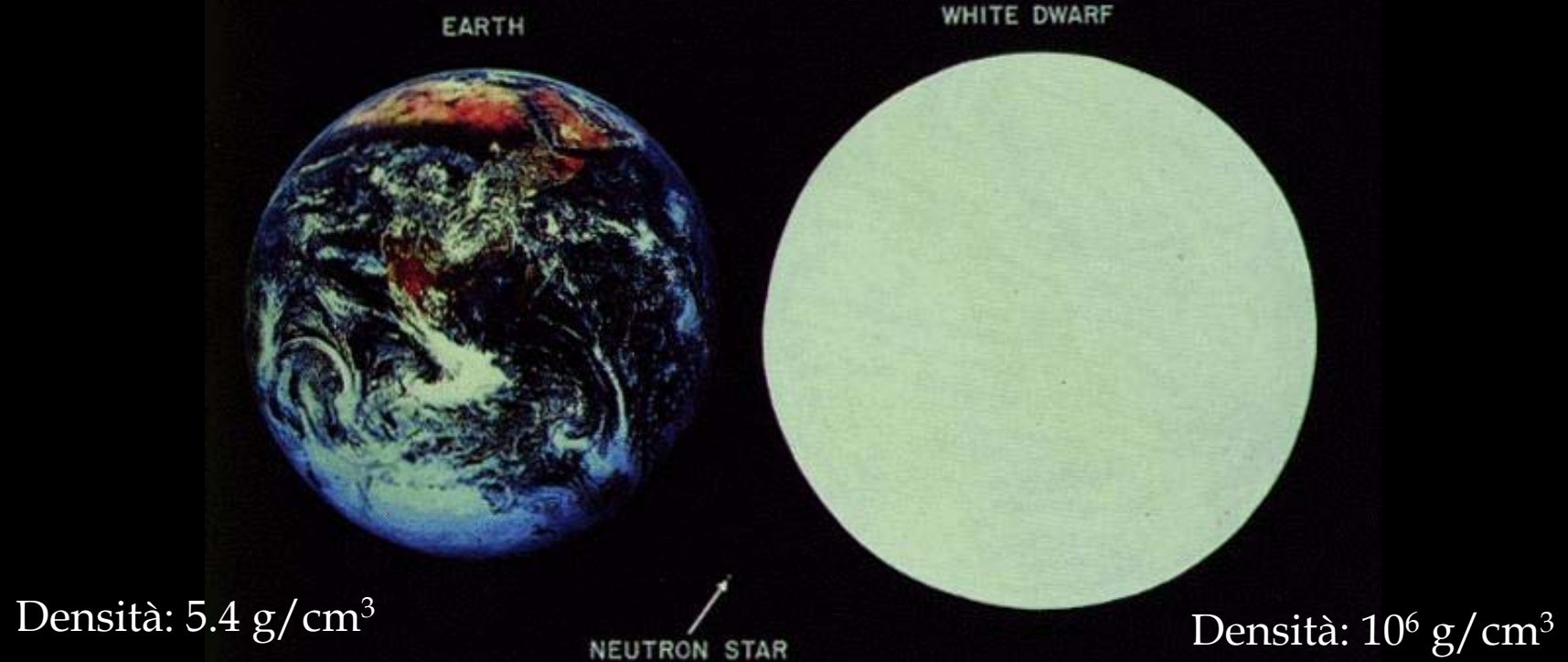


Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995)



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



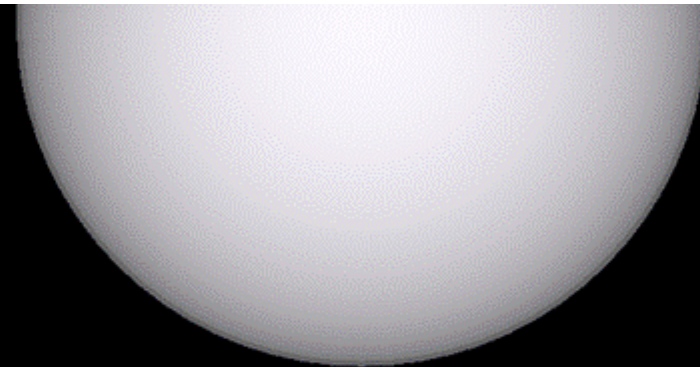
Stelle di neutroni e buchi neri



Manhattan
(spaceimaging.com)

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

Densità di un buco nero un miliardo di volte
più massiccio del Sole: 0.01 g/cm^3



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

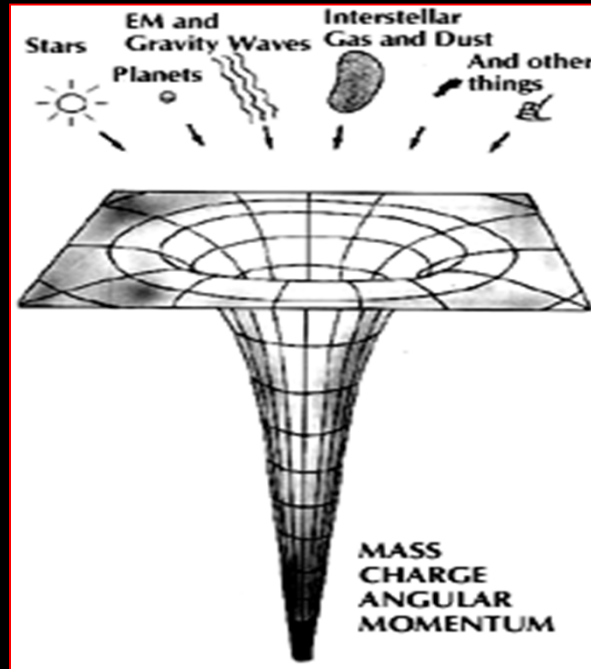
Densità: 10^{15} g/cm^3



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).

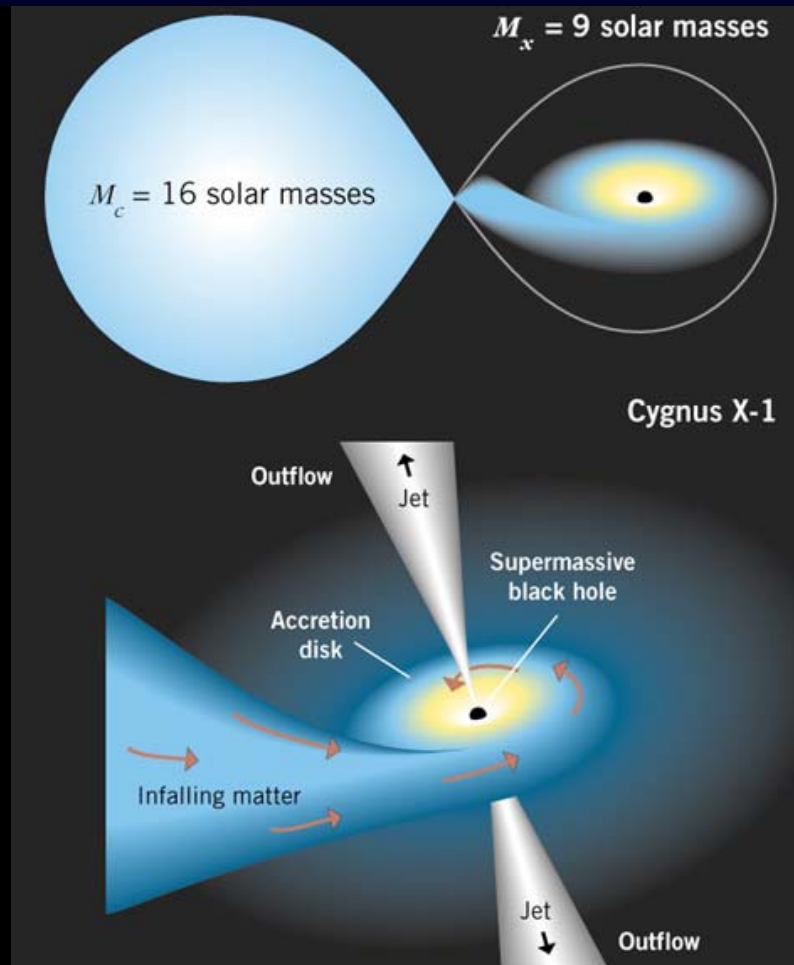
I buchi neri interagiscono con l'ambiente

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

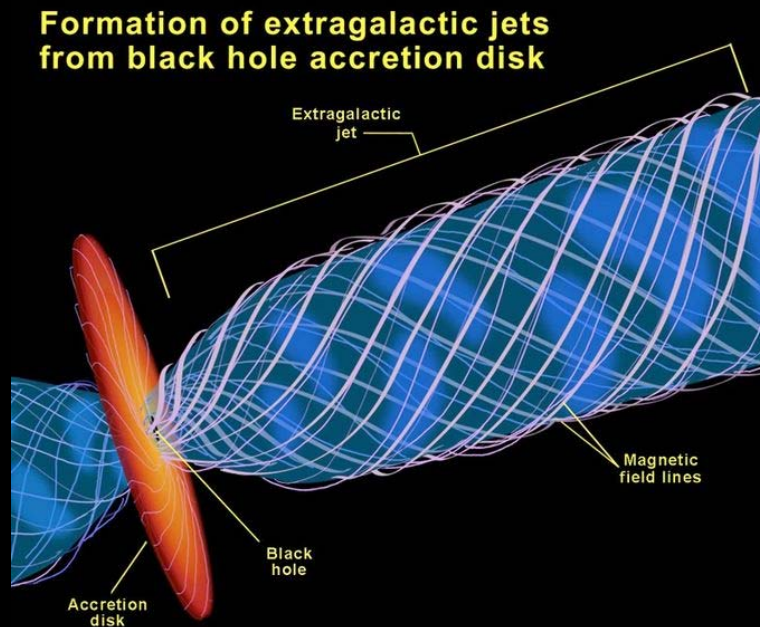
L'accrescimento di gas porta a un'intensa emissione di radiazione vicino al buco nero.

Cygnus X-1

Sistema binario a 8000 anni-luce dalla Terra

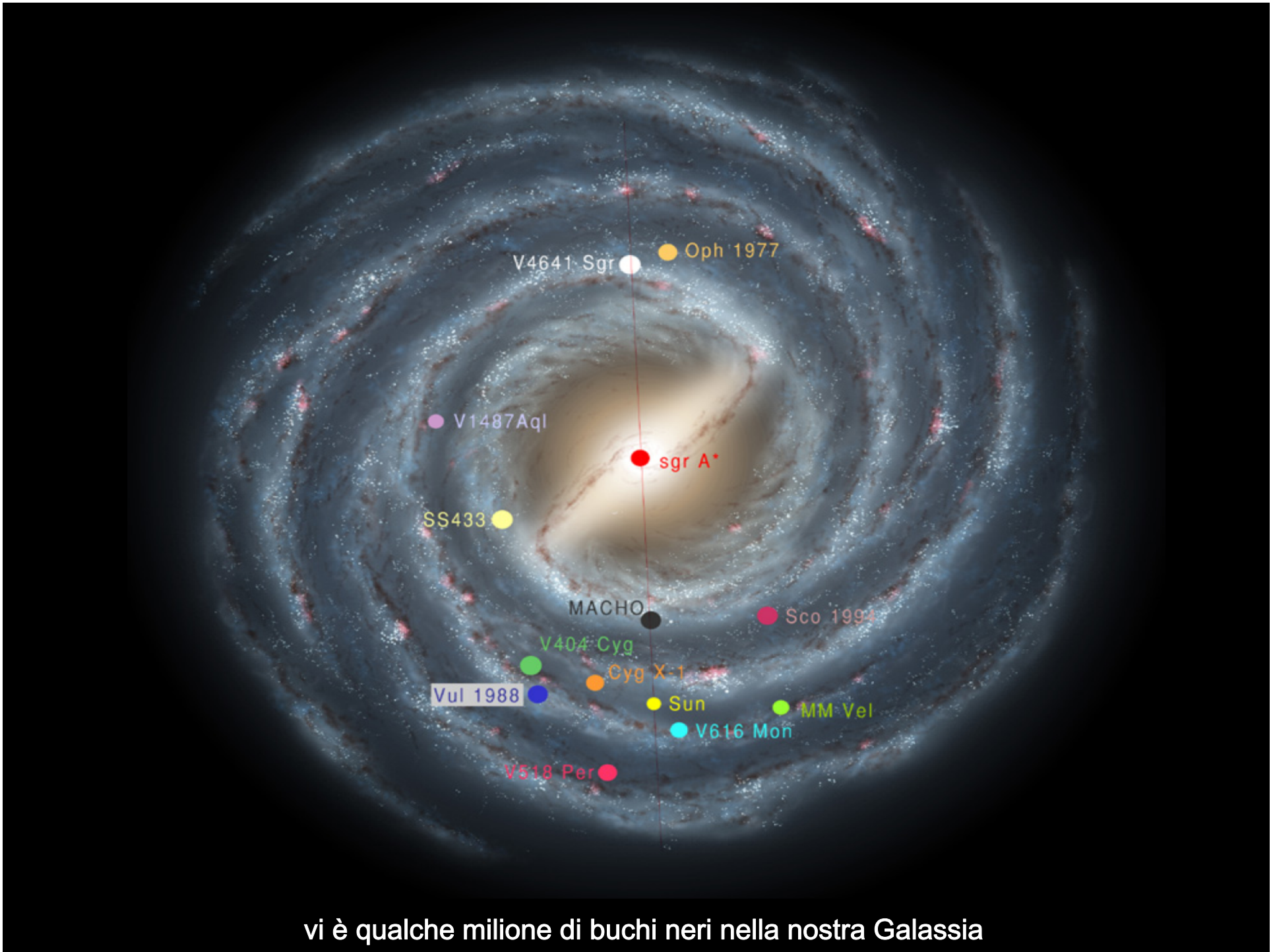


Attenzione a ciò che circonda il buco nero!



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?

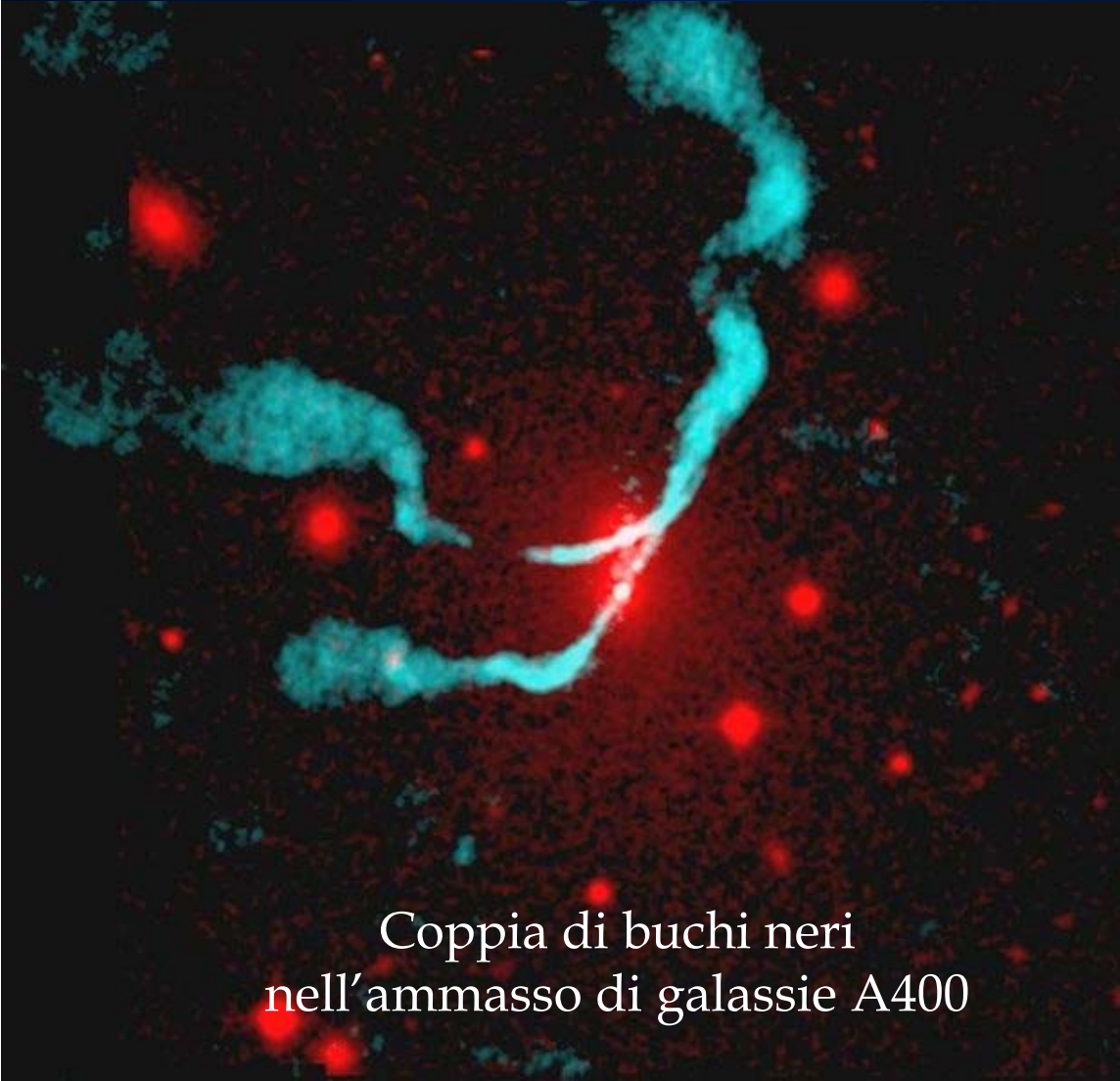


Probabilità di una collisione con un buco nero: $1/10^{26}$ all'anno

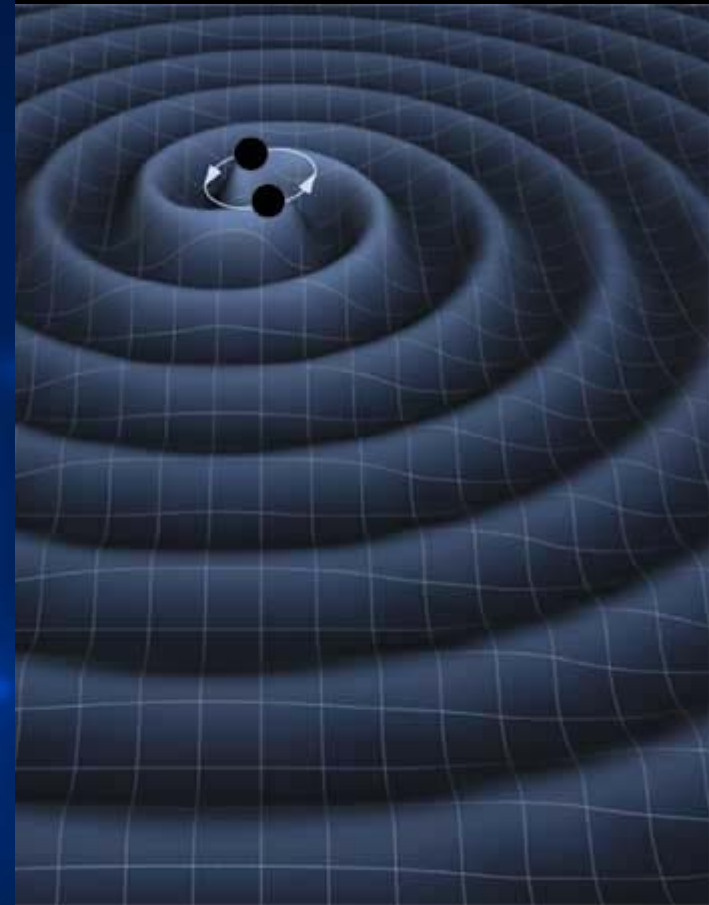
Distruzione di una stella



Onde gravitazionali



Coppia di buchi neri
nell'ammasso di galassie A400



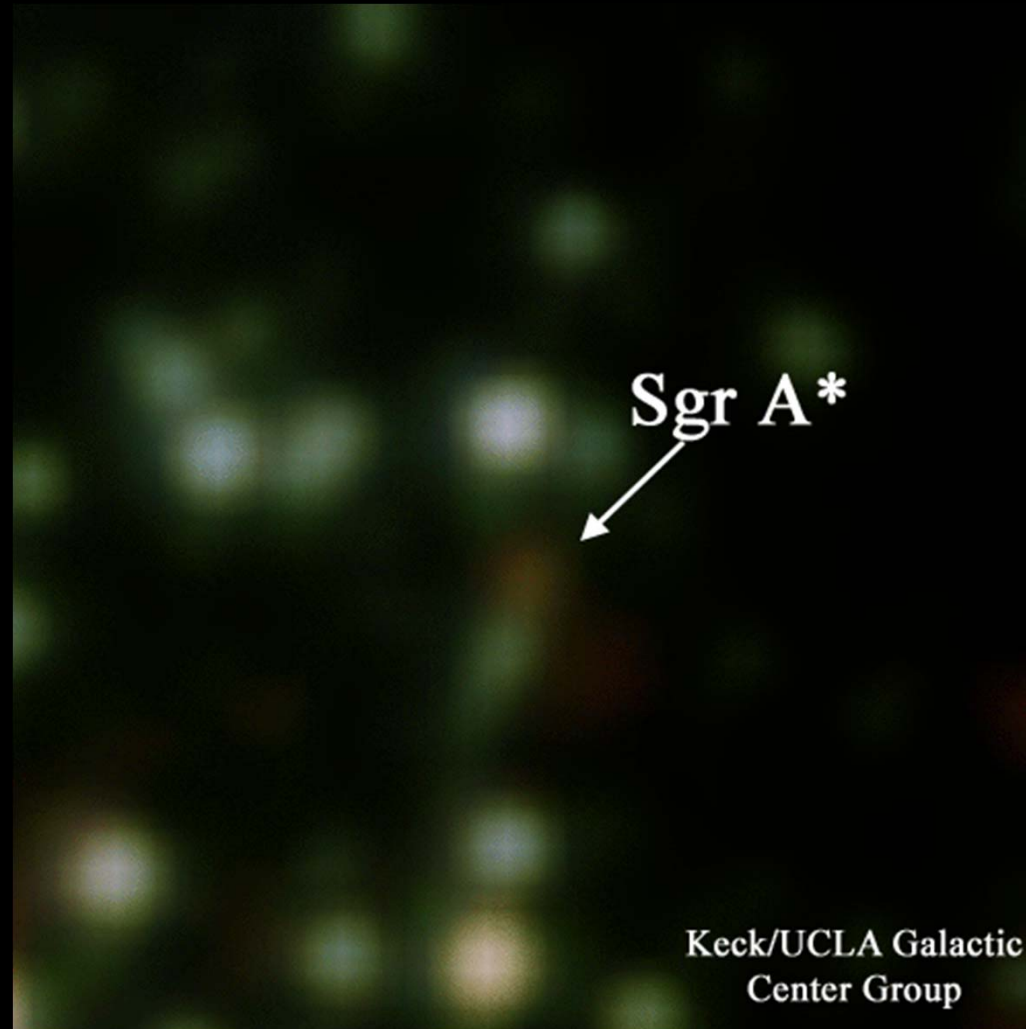
I buchi neri possono trovarsi in sistemi binari destinati a fondersi liberando una grande energia sotto forma di onde gravitazionali, molto pericolose per chi si trovi nei paraggi

Classificazione dei buchi neri

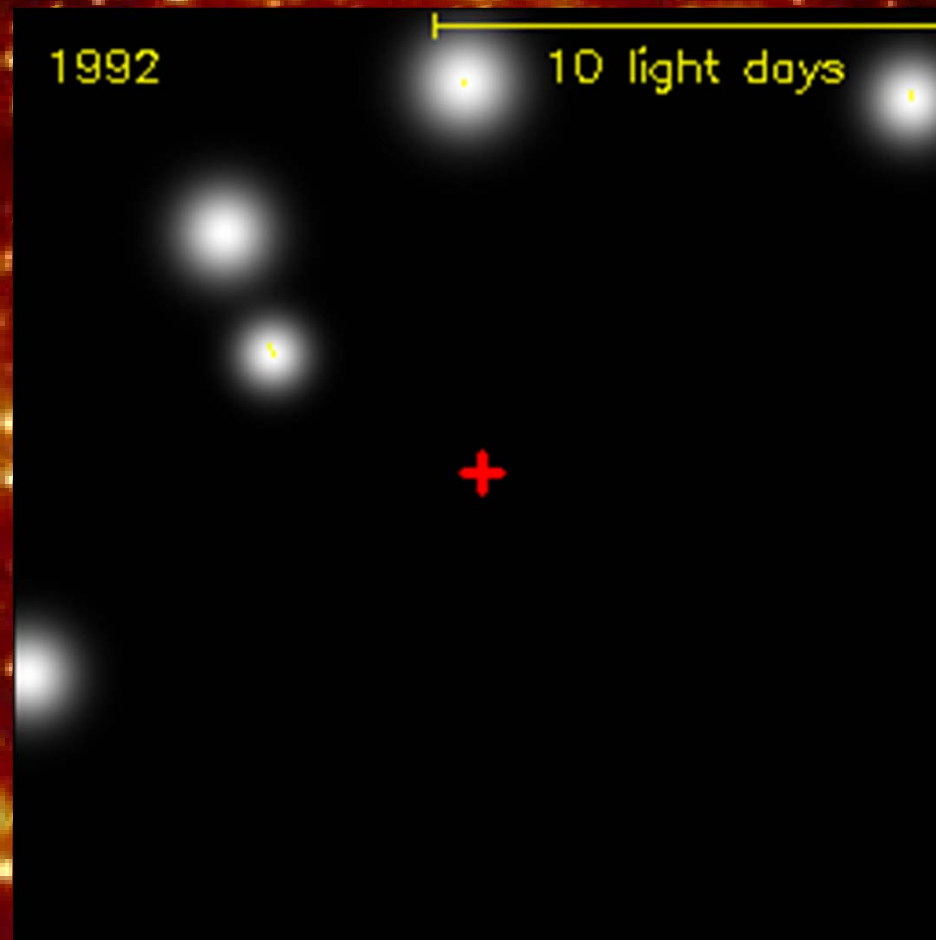
Buchi neri aventi una massa decine o centinaia di volte la massa del Sole: rappresentano la fase finale dell'evoluzione di stelle di grande massa.

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

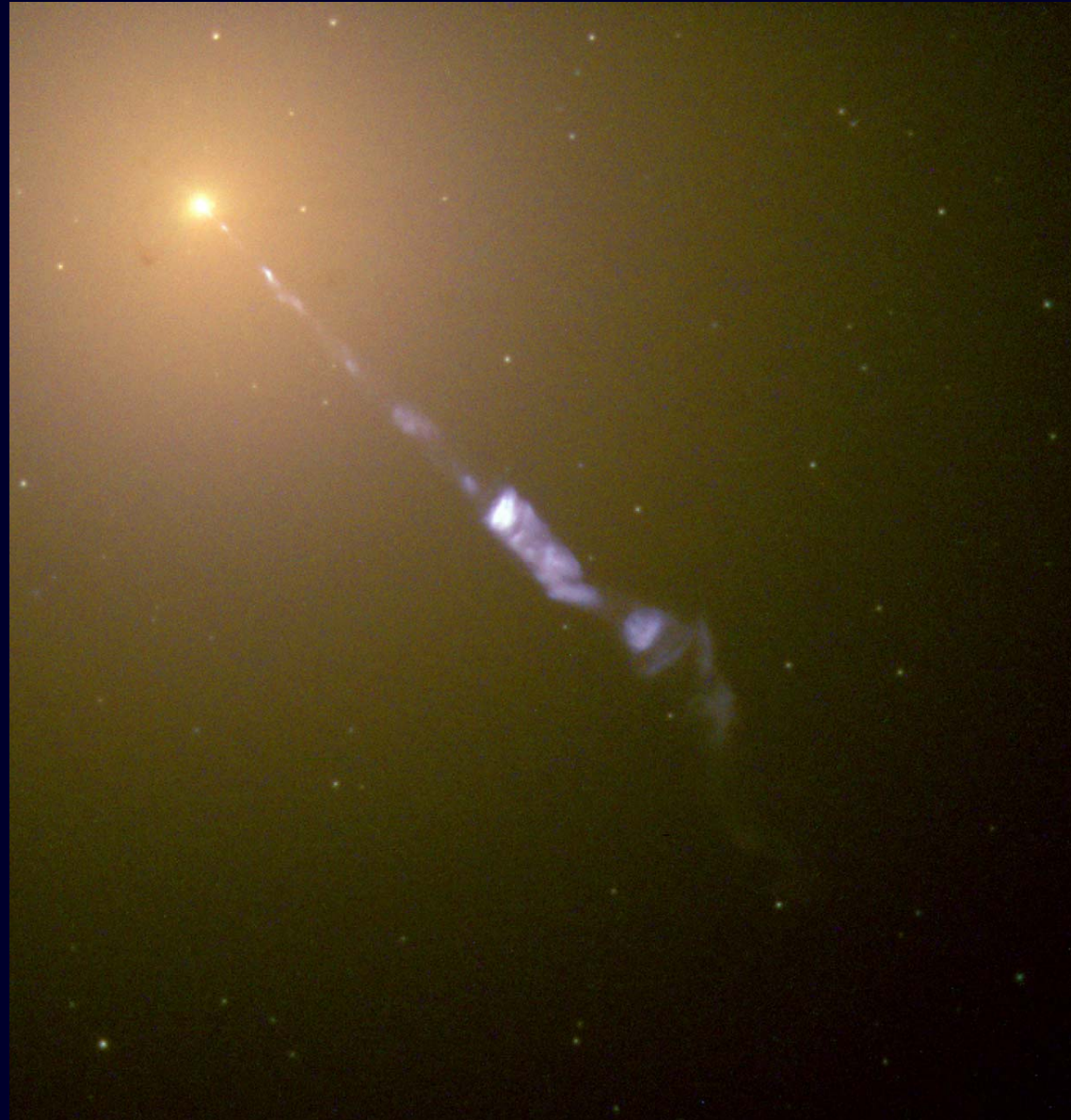


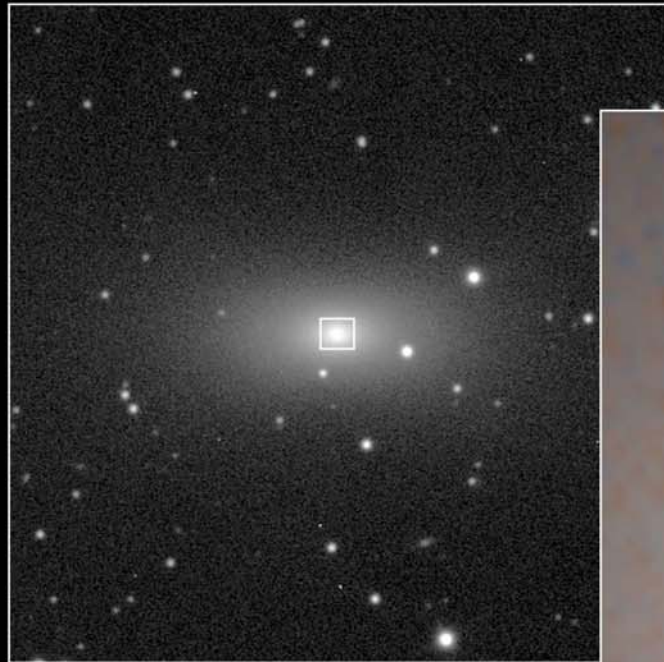
IL BUCO NERO AL CENTRO DELLA NOSTRA GALASSIA





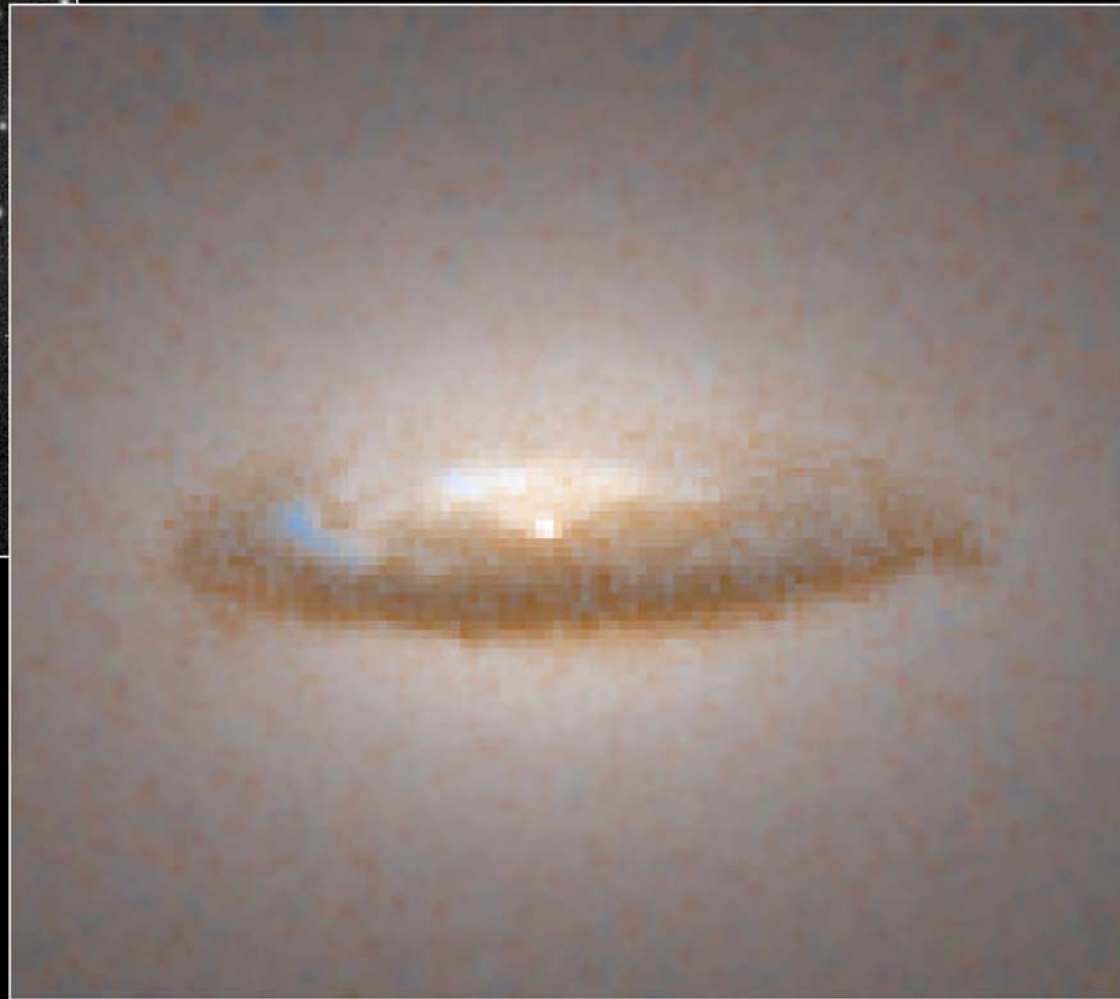
M87





Ground

HST

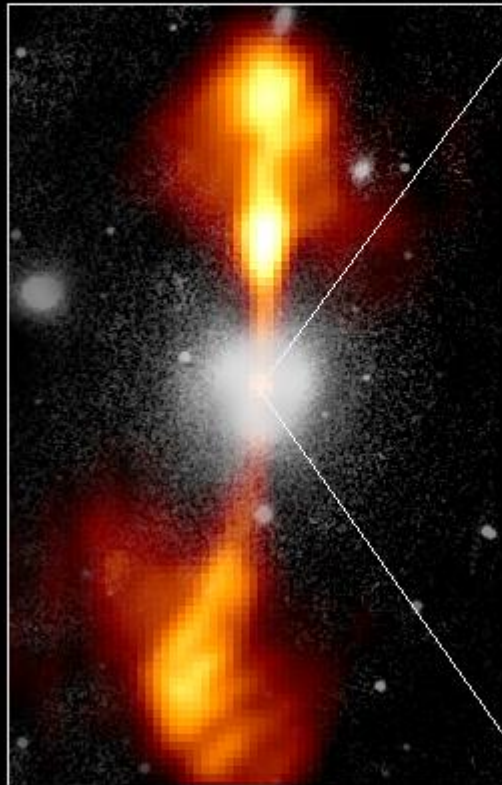


Disk around a Black Hole in Galaxy NGC 7052
Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

Core of Galaxy NGC 4261

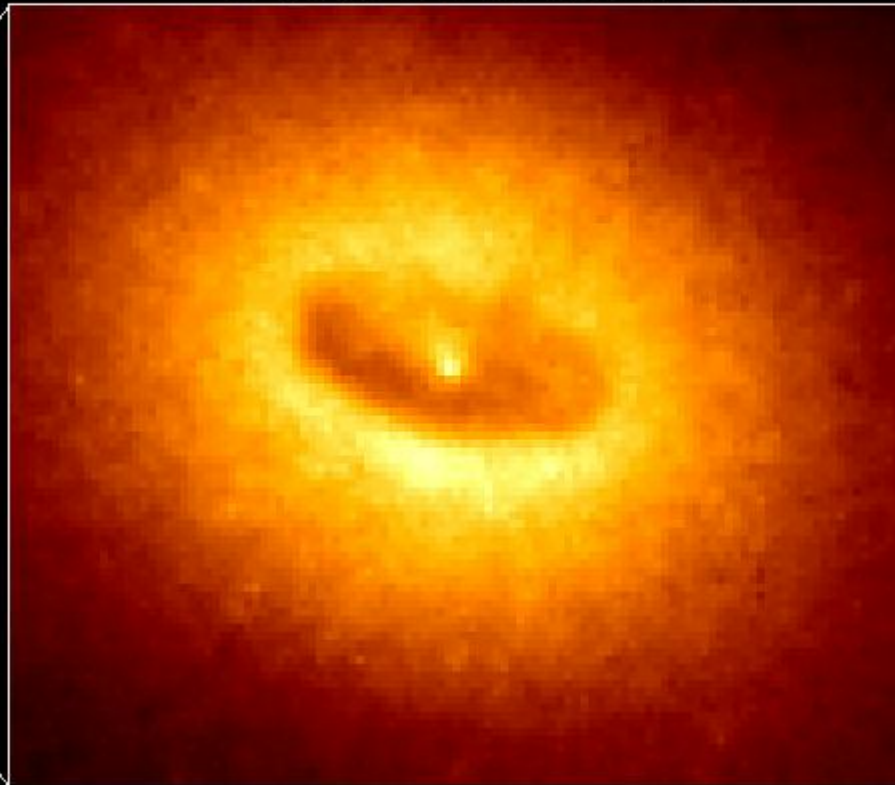
Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



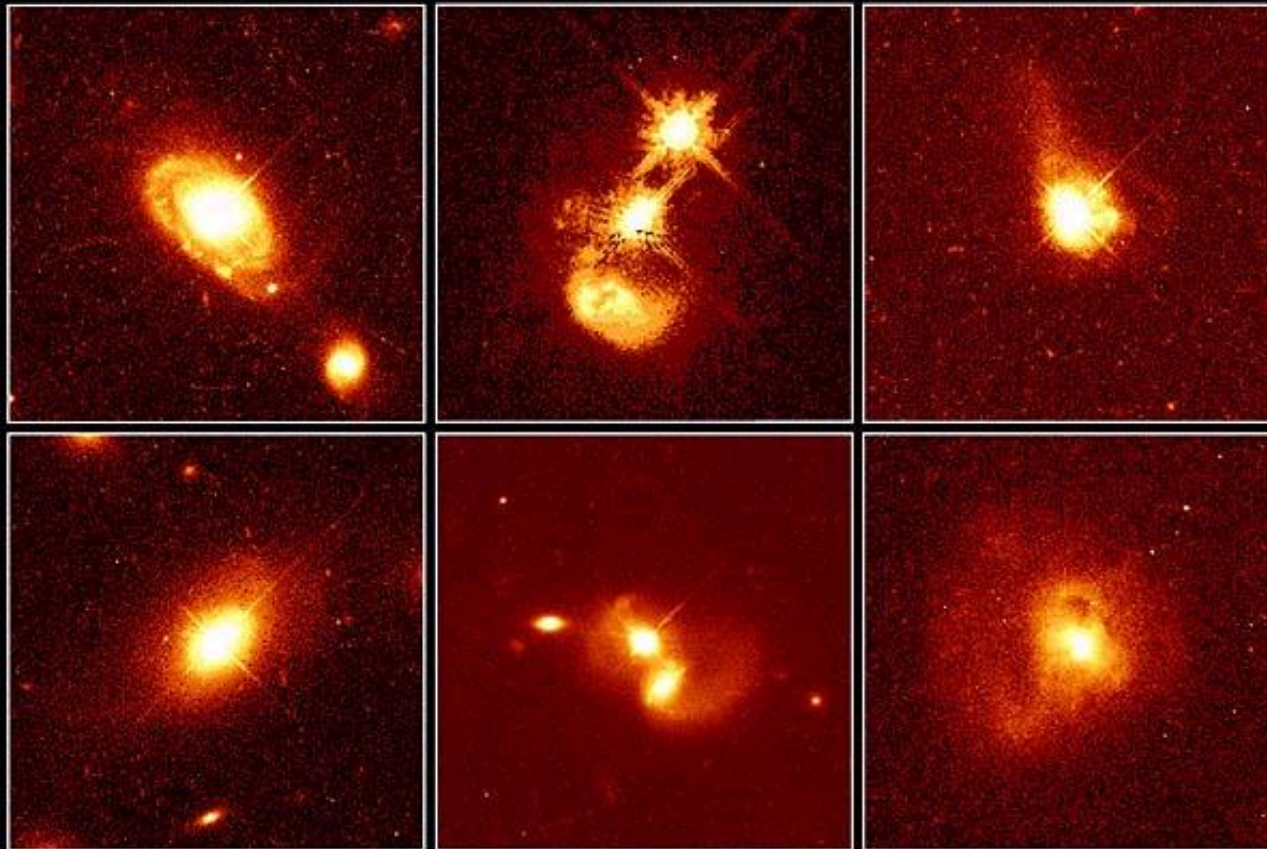
380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

I Quasar



Quasar Host Galaxies

HST • WFPC2

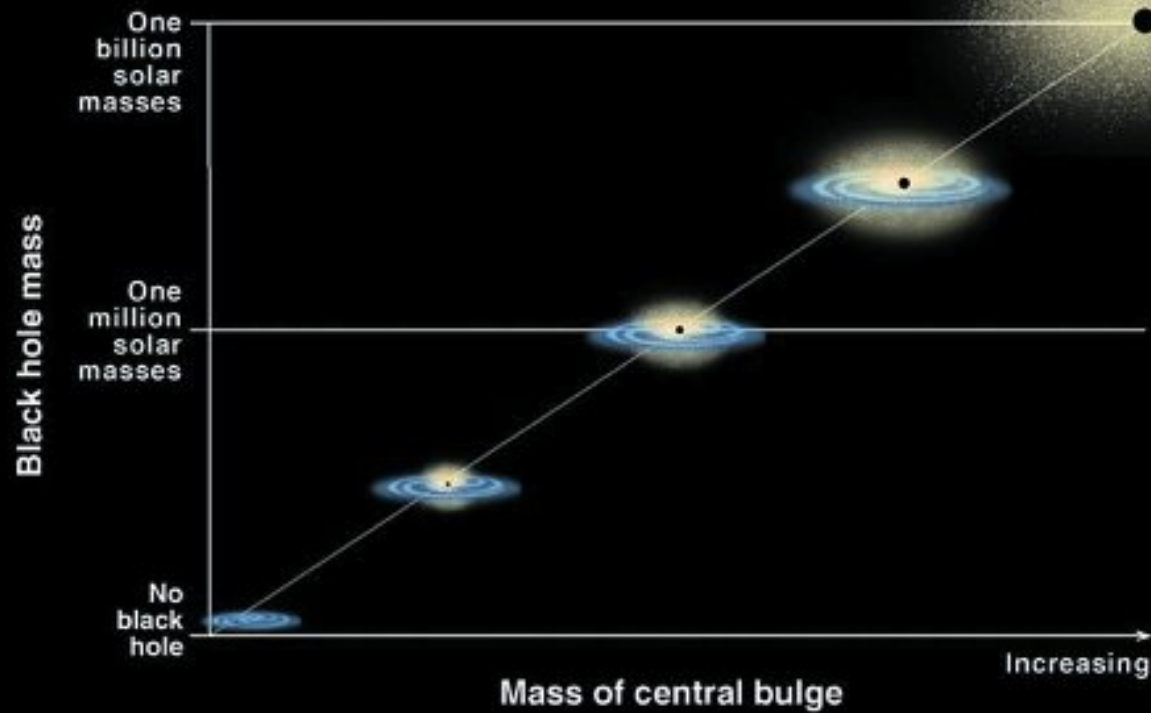
PRC96-35a • ST ScI OPO • November 19, 1996

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

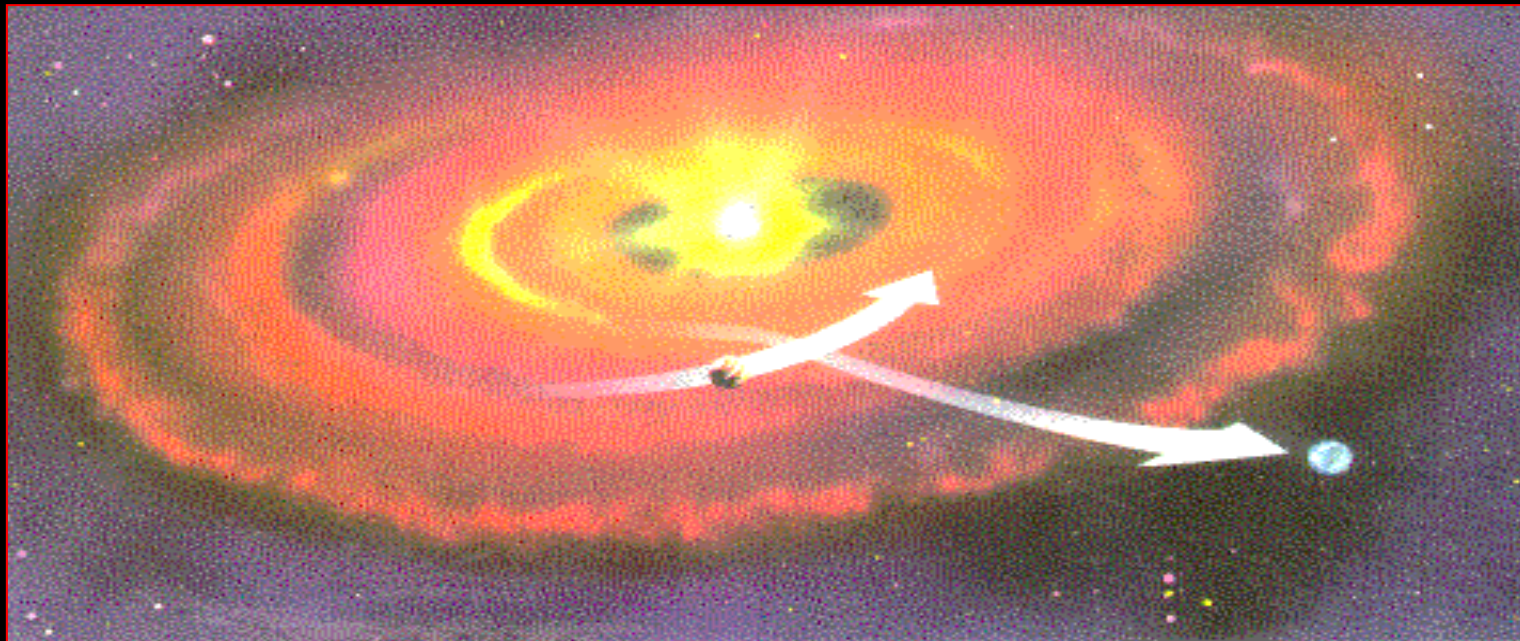
I buchi neri divoreranno
l'Universo?

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:

10¹⁹ 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.

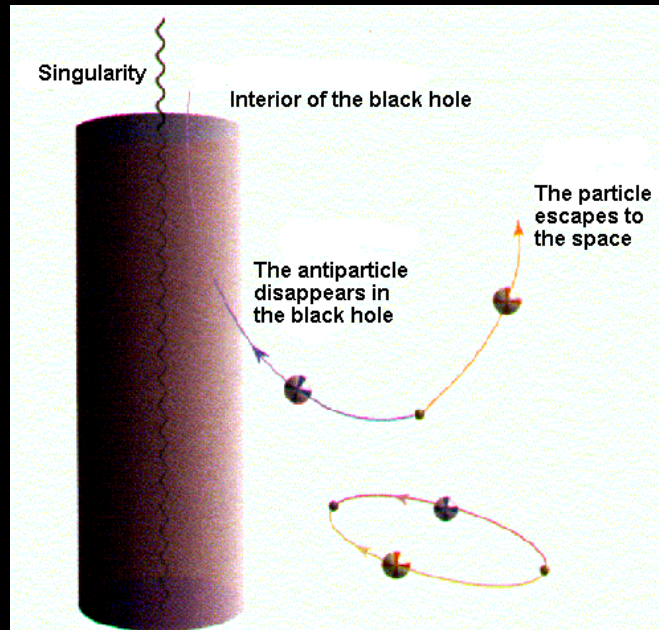
Per il nostro Gruppo Locale questo avverrà fra 10^{12} anni (mille miliardi di anni).

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

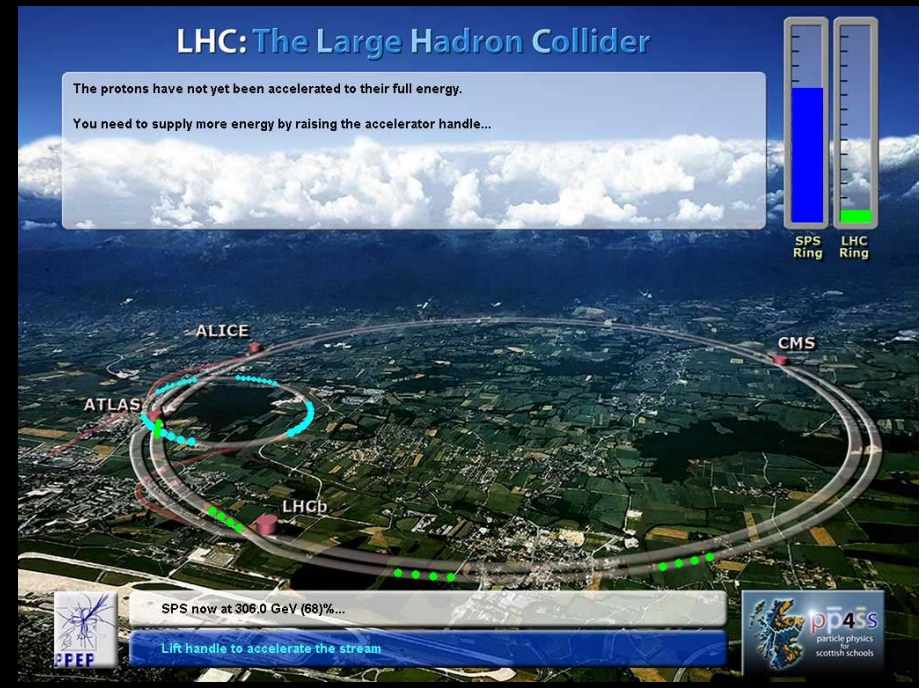
Accelera e fa scontrare
fasci di protoni e antiprotoni

27 chilometri di circonferenza

In funzione a partire da
novembre 2007

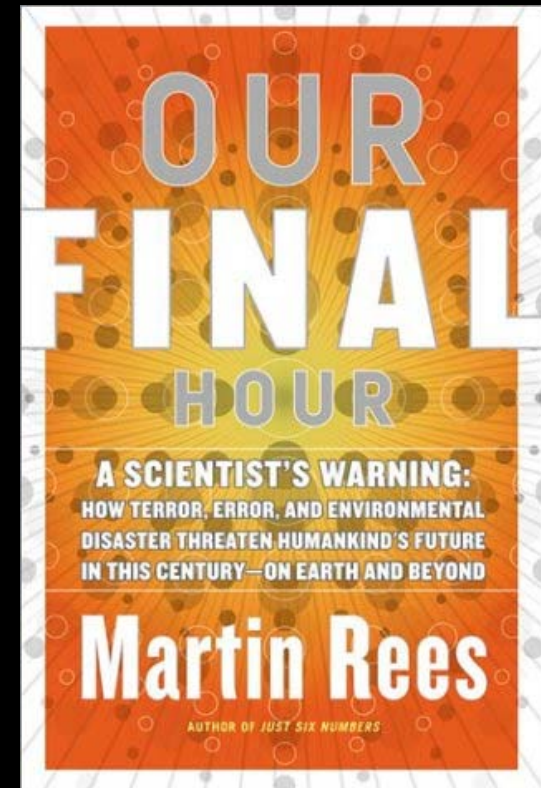
Rivelerà nuove particelle e
produrrà per la prima volta
dei micro-buchi neri?

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

