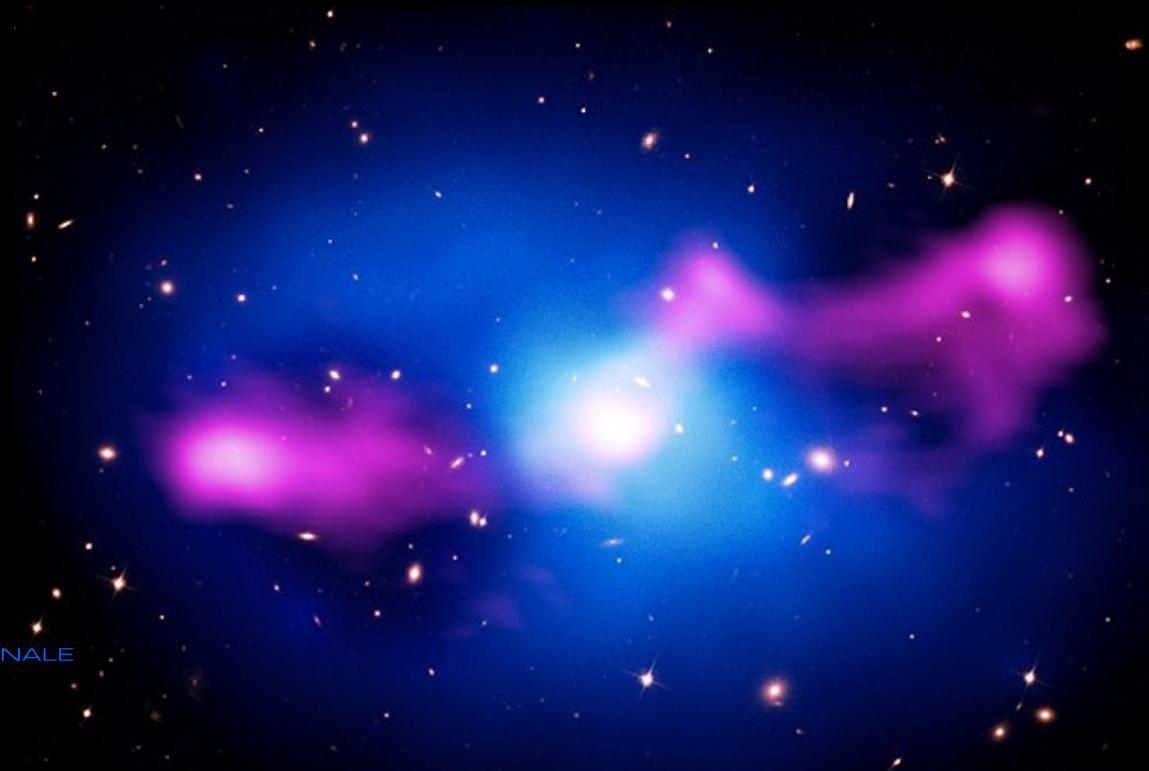


Academy of distinction Astrofisica Extra-Galattica



Ciro Pinto



Università
degli Studi
di Palermo

Una breve storia ...

ciro.pinto@inaf.it

Dottorato @ Utrecht (-2012)

Laureato @ Napoli (-08)



Prima conferenza @ Londra (17-3-2009)



Assegnista @ Cambridge (-2018)



Agenzia Spaziale Europea (-2019)



Staff @ INAF & UNIPA



Astrofisica @ Palermo & INAF

- **Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF)**
→ Ricerca, tecnologia e divulgazione
- **Università di Palermo + 2 sedi INAF**
→ Ricerca, lauree e dottorati (con borse)



Un piccolo viaggio attraverso il cosmo

- *Nebulose*, essere o non essere
- Le *galassie* non sono fatte di latte
- Il diapason di Hubble non si suona
- *Ammassi* di galassie, i Titani dell'universo
- *Buchi neri* giganti e riscaldamento globale



La nostra Galassia

La Via Lattea

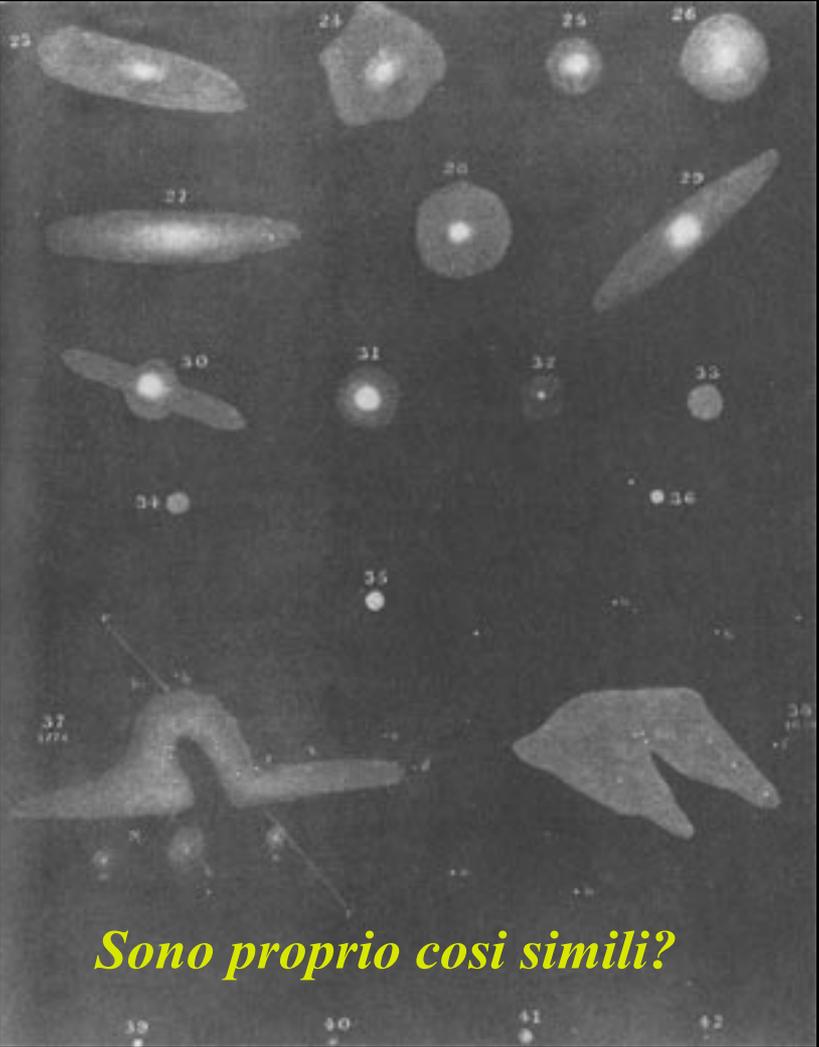


Gli **antichi** ritenevano che la *Via Lattea* fosse la prova della prima poppata di Ercole



Fig. 1.

Disegni di Herschel (1811)



Sono proprio così simili?

Mettiamo un pò d'ordine tra le “nebulose”

Qui ci nascono stelle



Qui ci sono morte 2 stelle



*Che temperatura ha il gas caldo?
E le nubi scure di gas e polvere?*

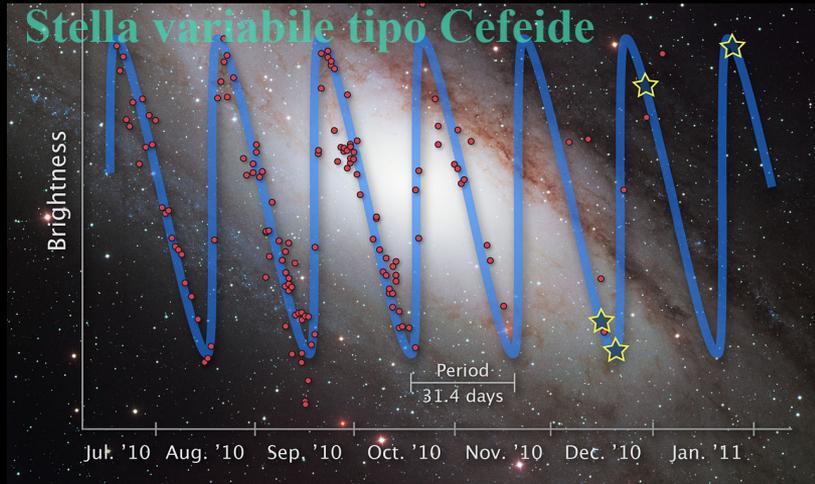
Questo è un asilo nido



E questa che cos'è?



Lupus in fabula



Le cefeidi sono stelle pulsanti
1000-10000 volte + brillanti del sole!

*Possiamo usarle per misurare le
distanze?*



In origine:
Nebulosa di
Andromeda

Stelle come indicatori di distanza



Una stella identica appare più debole a maggiori distanze



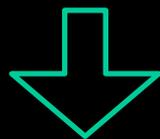
$$m = -2.5 \log \text{flusso} + \text{cost.}$$

$$m = -2.5 \log (L/4\pi d^2) + \text{cost.}$$

$$m = M - 5 + 5 \log d$$

“*m*”
Magnitudine
apparente (o
misurata)

“*M*”
Magnitudine
assoluta (a
10 parsec)



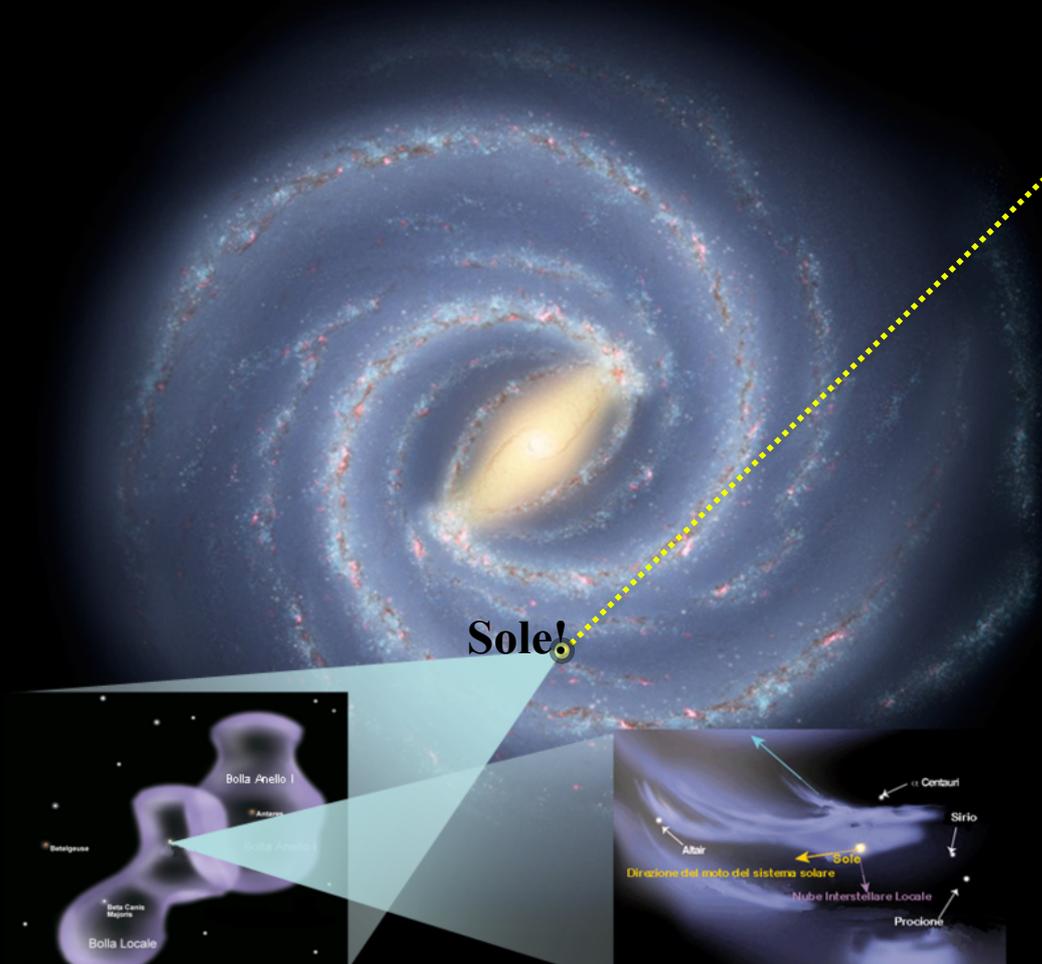
$$5 \log d = m - M + 5$$



$$d = 10^{(m - M + 5)/5}$$

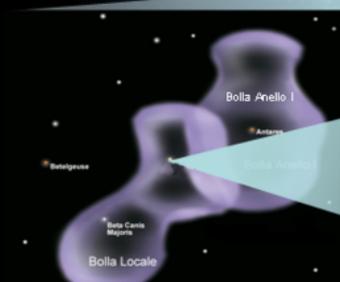
Dove si trova la “nebulosa” di Andromeda

100,000 anni luce
(31 kiloparsec)



2.5 milioni di anni luce
(0.8 megaparsec)

= 25 x $D_{\text{Via Lattea}}$



Andromeda è un'altra galassia!

La Via Lattea



Gruppo Locale

100,000,000,000 Soli (cioè $2 \times 10^{30} \times 10^{11} = 2 \times 10^{41} \text{ kg}$)

Sequenza di Hubble (1.0)



E0

E3

E7

S0

Sa

Sb

Sc

SBa

SBb

SBc

Ellittiche

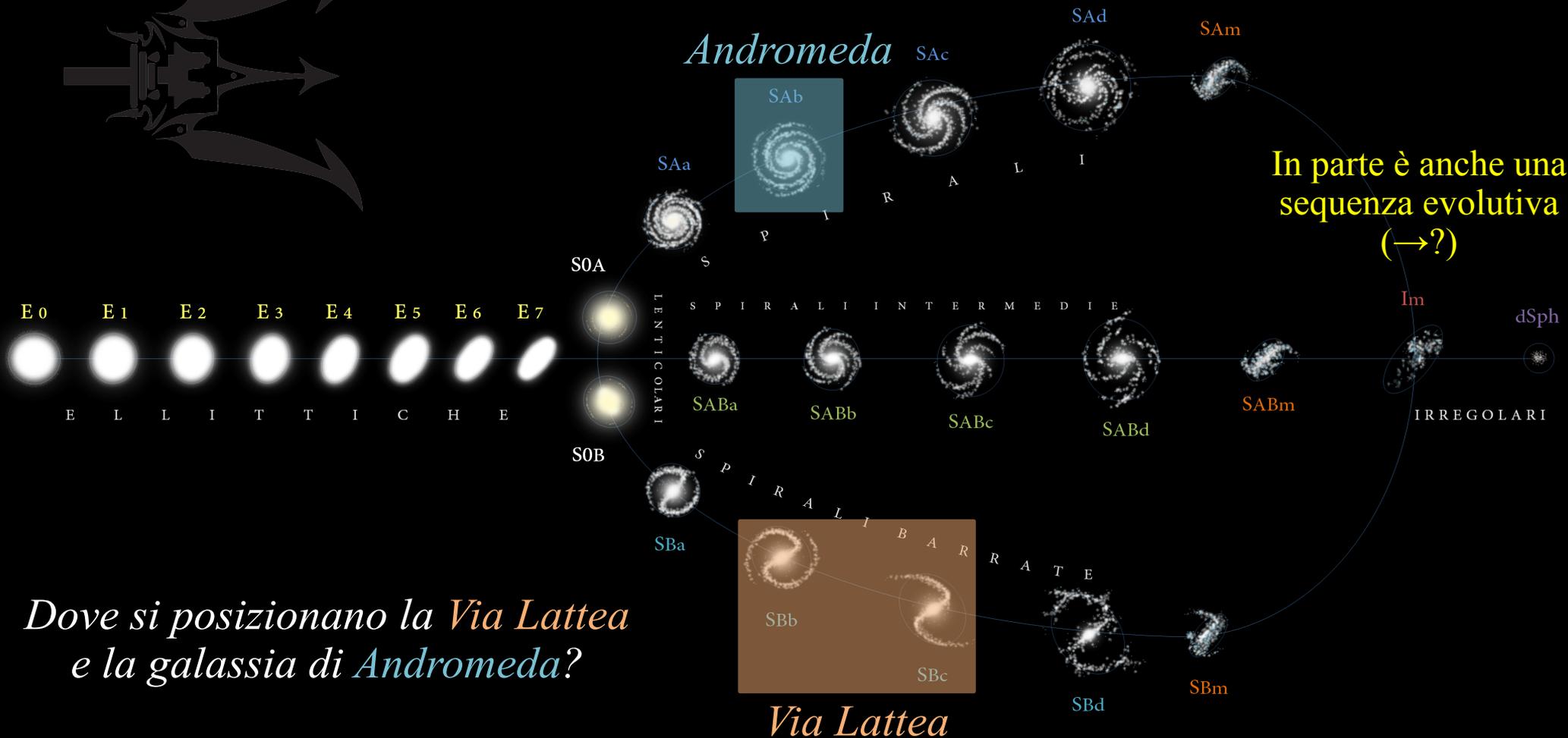
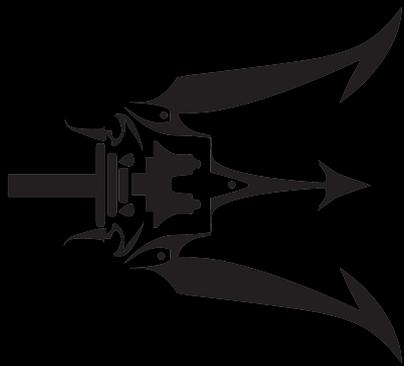
Lenticolari

Spirali

In parte è anche una
sequenza evolutiva
(→?)



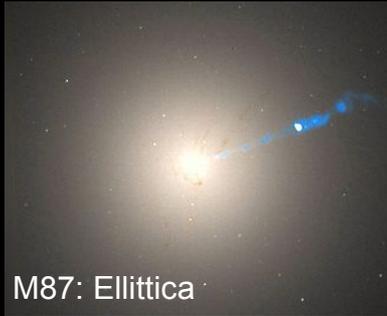
Sequenza di Hubble (2.0)



Dove si posizionano la Via Lattea e la galassia di Andromeda?

Via Lattea

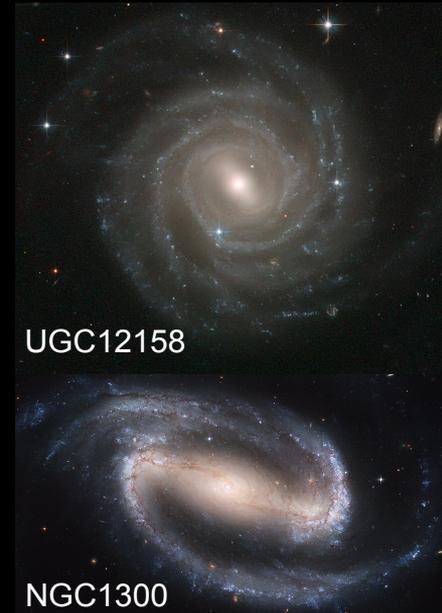
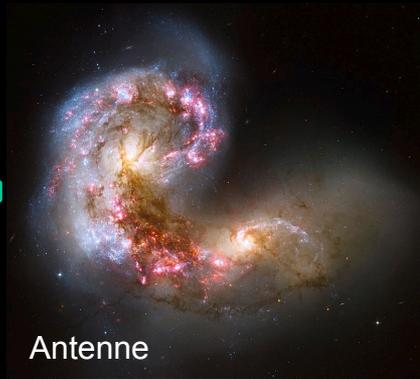
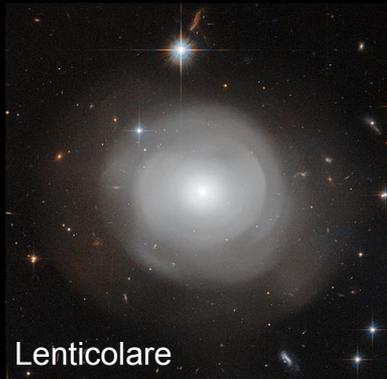
Evoluzione delle galassie



Ellittiche: rossastre
(stelle vecchie)
povere di gas e
polvere

Spirali: bluastre
(stelle giovani)
ricche di gas e
polvere

Quindi
l'evoluzione che
direzione prende?

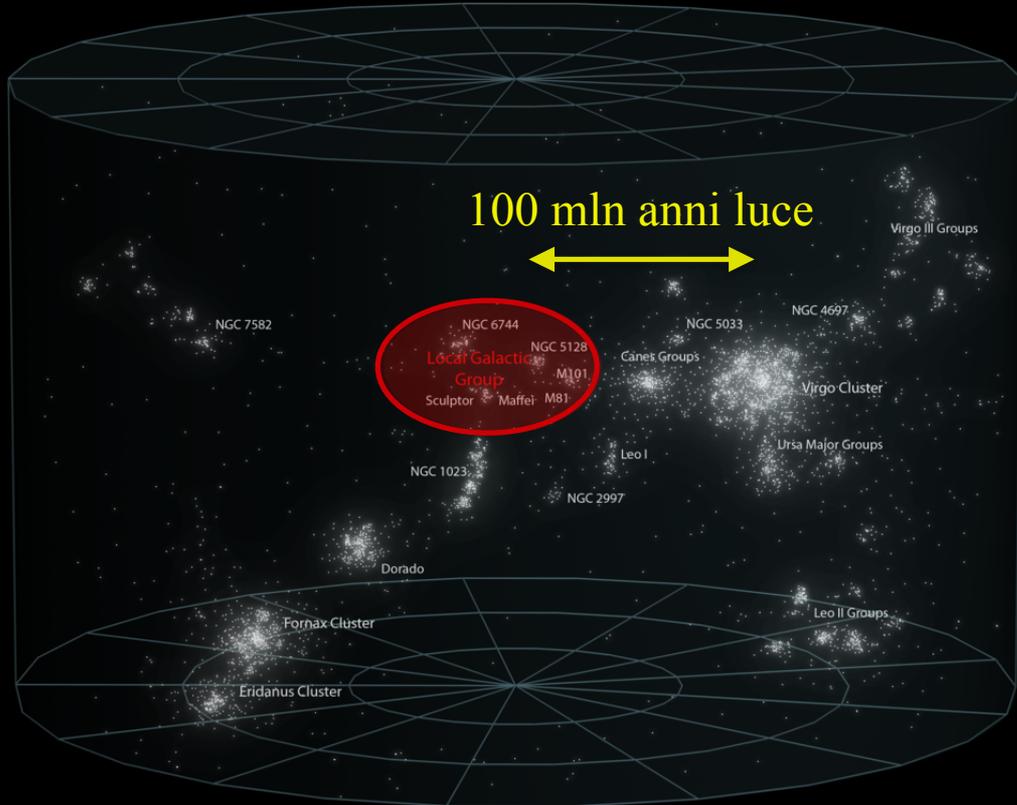


Lenticolari: disco di gas e polvere ma senza spirali

The image shows a dark, star-filled field. Two prominent, bright blue-white stars are visible, one on the left and one on the right. They are surrounded by a faint, diffuse blue glow. The rest of the field is filled with numerous smaller, dimmer stars of various colors. In the upper right quadrant, there is a yellow text overlay.

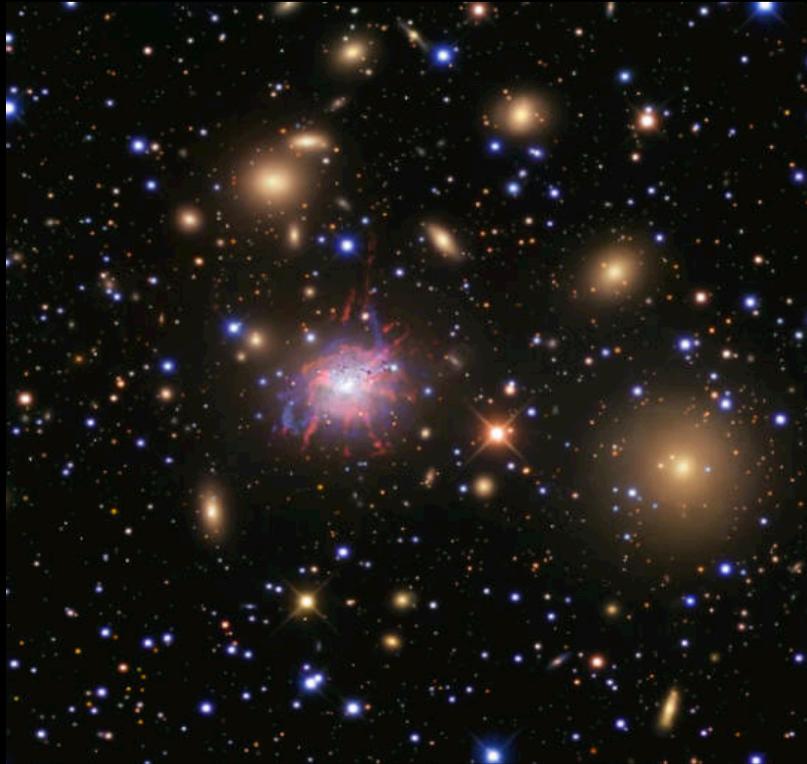
Ma le stelle si
scontrano?

L'universo locale



LANIAKEA, in Hawaiano cielo immenso (super-ammasso)

Nel cuore del Perseo



Gruppo Locale



Potenziale ed Energia P. Gravitazionale

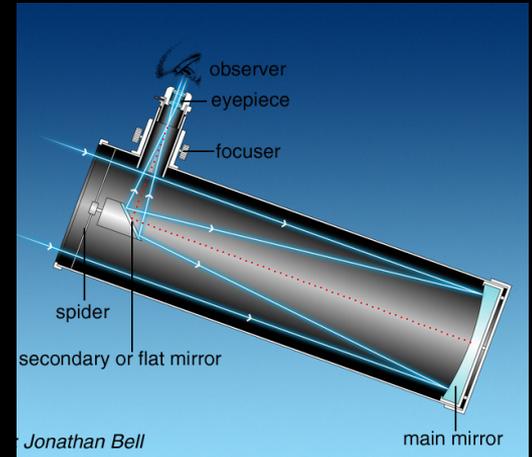


Ammassi =
Bicchieri + pieni
(di materia)

$$V(r) = -\frac{GM}{r} \quad |U| = \frac{GM^2}{R}$$

10,000,000,000,000 Soli

~ 10,000 °C



Visto in un
Telescopio
ottico

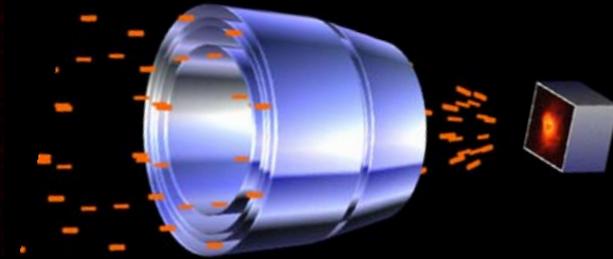
Nucleo galassia
dominante

~~10,000,000,000,000 Soli~~
100,000,000,000,000 Soli

$10^{14} M_{\odot}$

$\sim 10,000,000^{\circ}\text{C}$

Caverne o crateri?



Visto in un
Telescopio
a raggi X

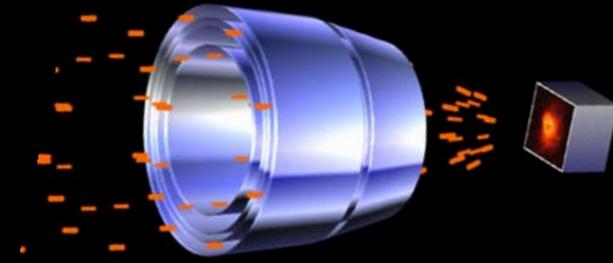
Nucleo galassia
dominante

~~10,000,000,000,000 Soli~~
100,000,000,000,000 Soli

$10^{14} M_{\odot}$

$\sim 10,000,000^{\circ}\text{C}$

Caverne o crateri?



Visto in un
Telescopio
a raggi X

Attraverso un filtro di gradiente

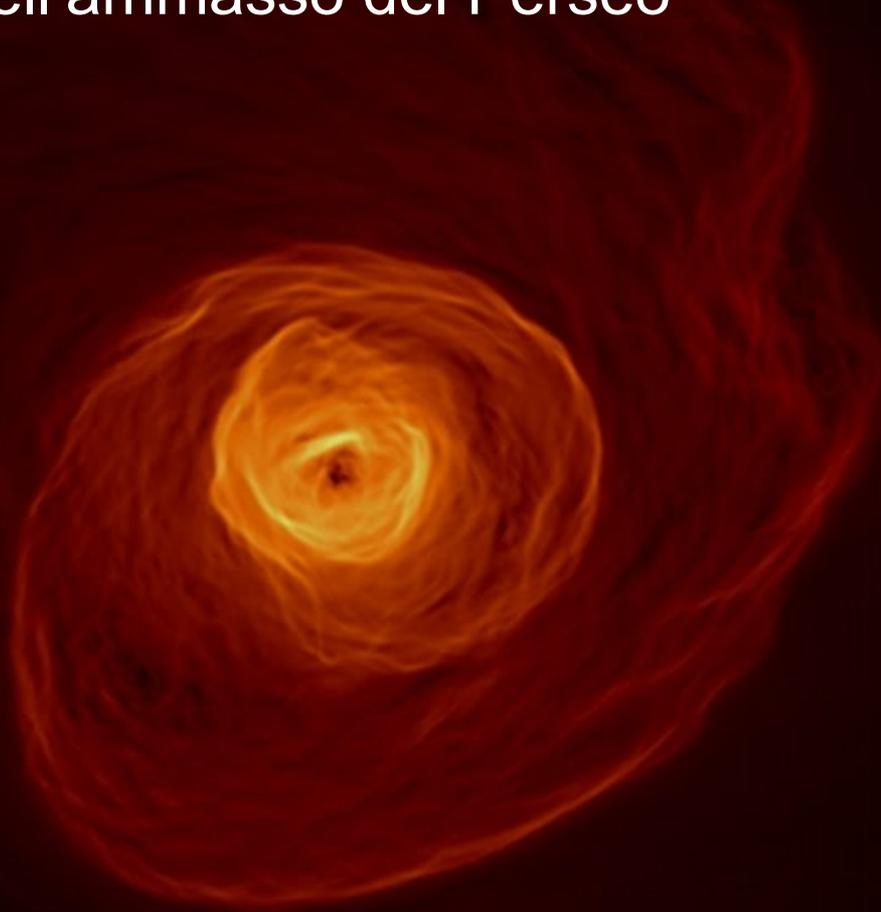
Simulazione: una galassia “cade” nell’ammasso del Perseo

250,000 light-years



A Kelvin-Helmholtz
wave develops

4.07 billion years



Un panettone pieno di canditi dove l'idrogeno è la farina

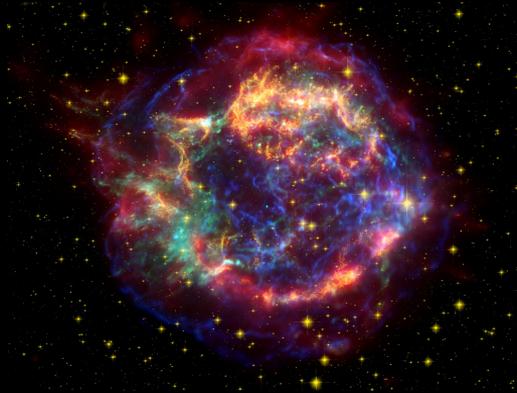
Stelle di Massa
Intermedia <8M



Forti venti

**Elementi leggeri
(N e C)**

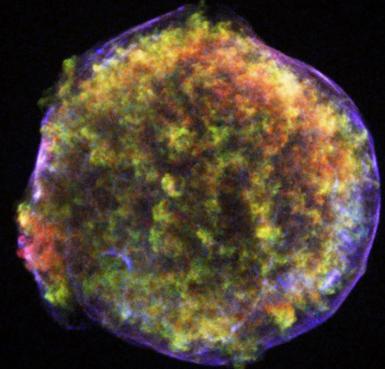
Supernove di tipo II
(collasso)



Esplosione

**Elementi medi
(O, Ne, Mg)**

Supernove di tipo I
(stelle binarie)

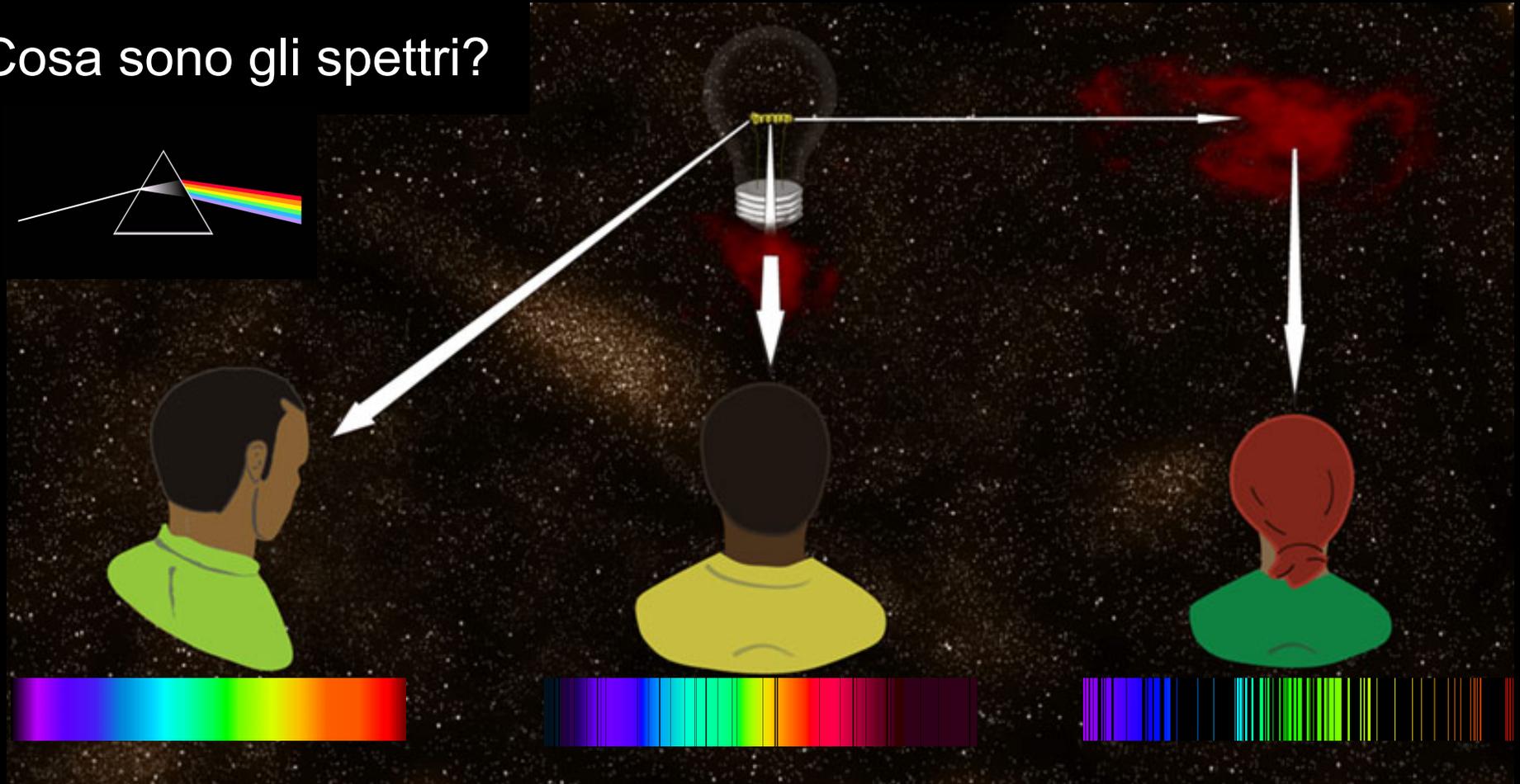


Esplosione

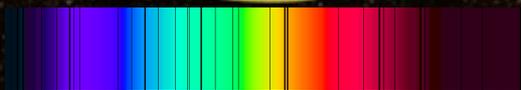
**Elementi pesanti
(Si, S, Fe, Ni)**

Una sorta di codici a barre, come quando fate la spesa

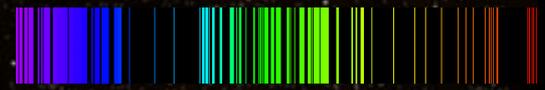
Cosa sono gli spettri?



CONTINUO SPETTRALE

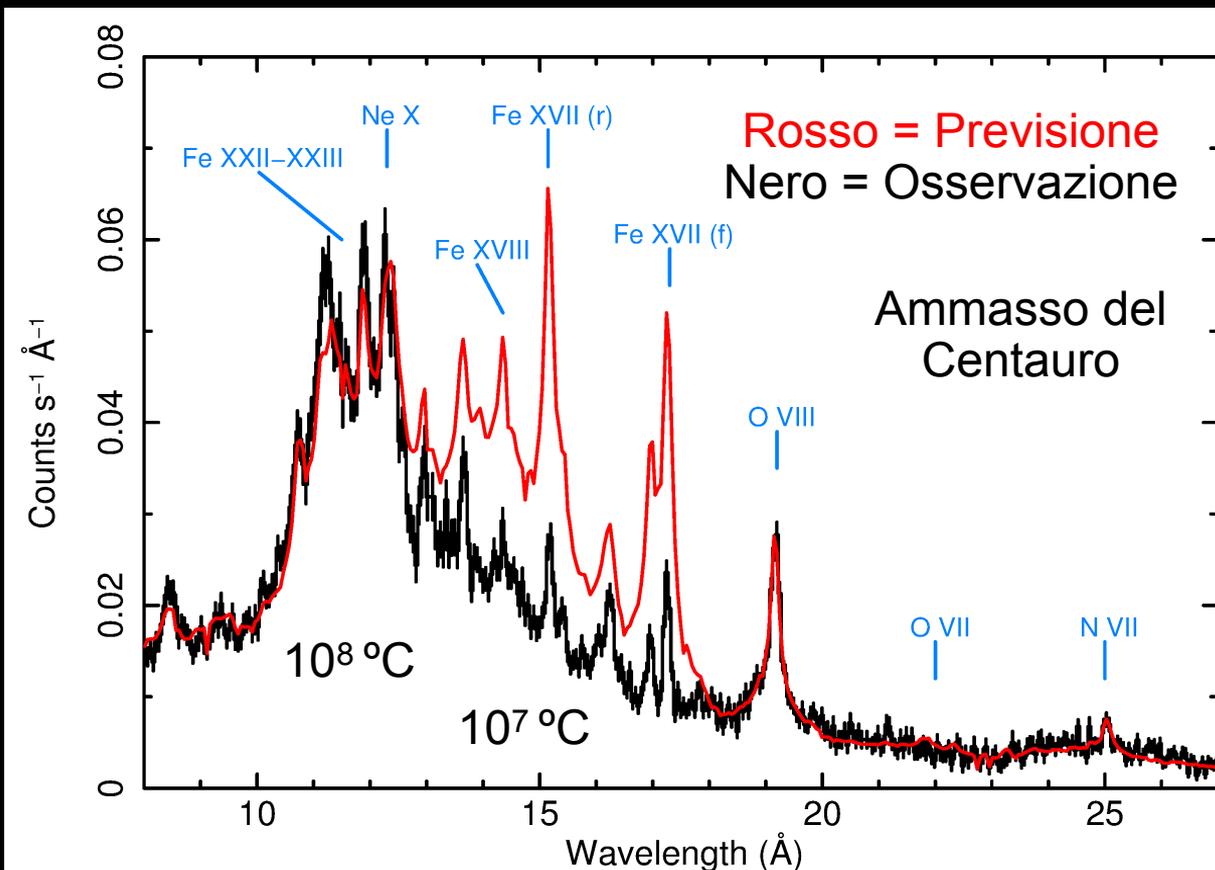


RIGHE DI ASSORBIMENTO



RIGHE DI EMISSIONE

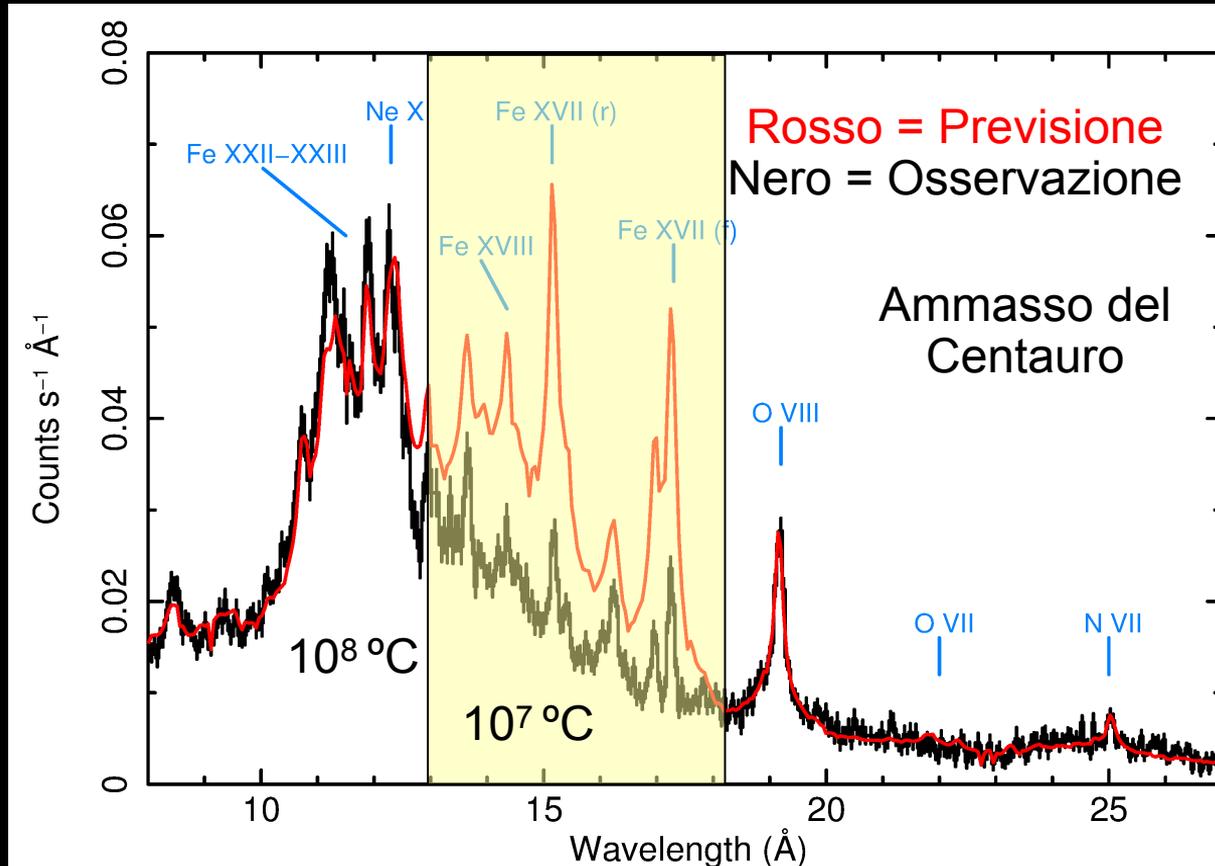
Righe di emissione del gas caldo in spettri a raggi X



Spettri X dal satellite XMM-Newton



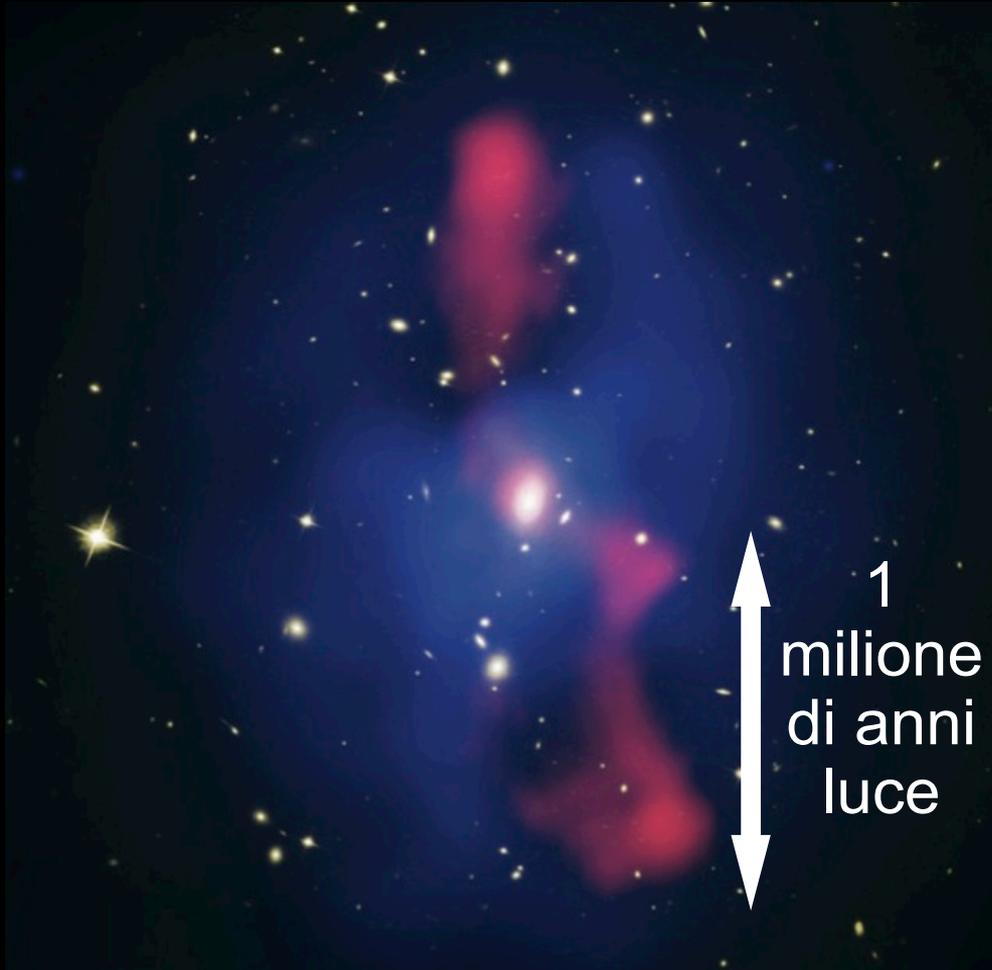
Deboli righe di emissione del gas in raffreddamento



Manca un bel pò
di gas in via di
raffreddamento

Gas più caldo del
previsto!

Un'eruzione nucleare scava (e riscalda) il gas!



Ammasso: MS 0735.6+7421

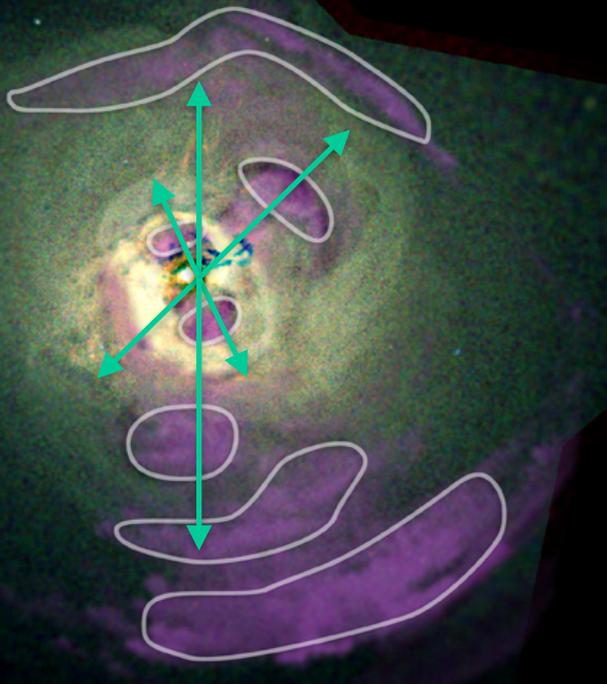
Stelle ottico / Hubble

Gas raggi X / Chandra

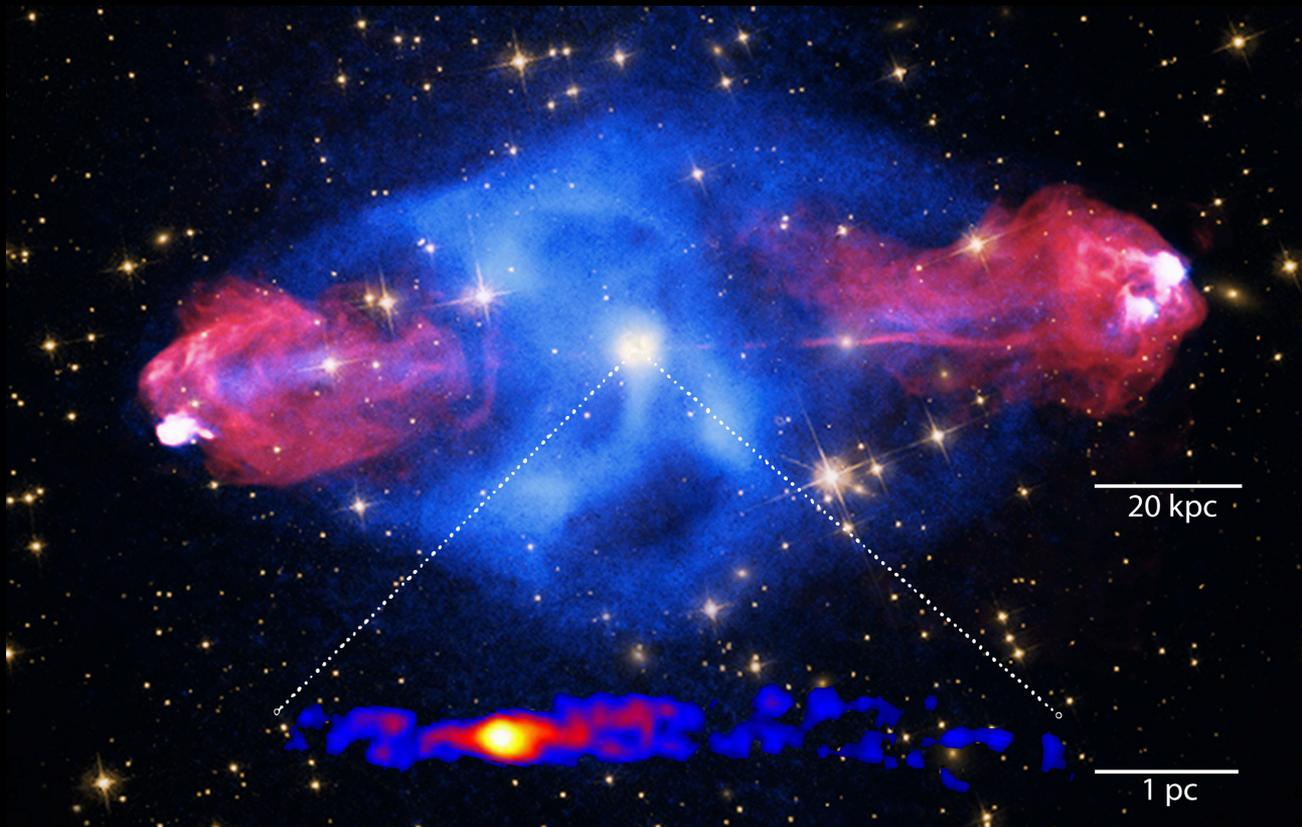
Getto radio / VLA

L'importanza di osservazioni multi-banda

Una o più eruzioni nucleari? Dove iniziano?



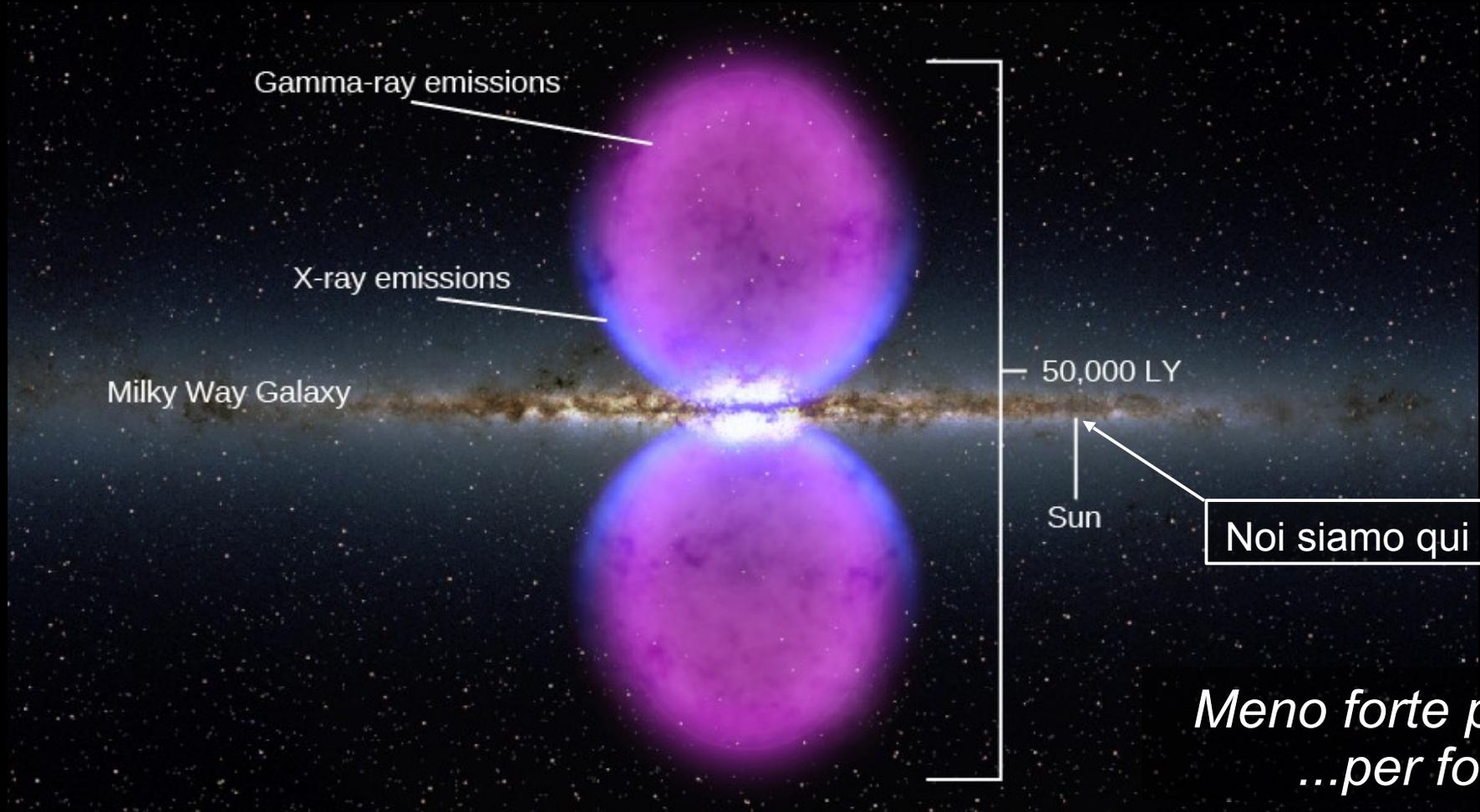
Perseo



Cygnus A

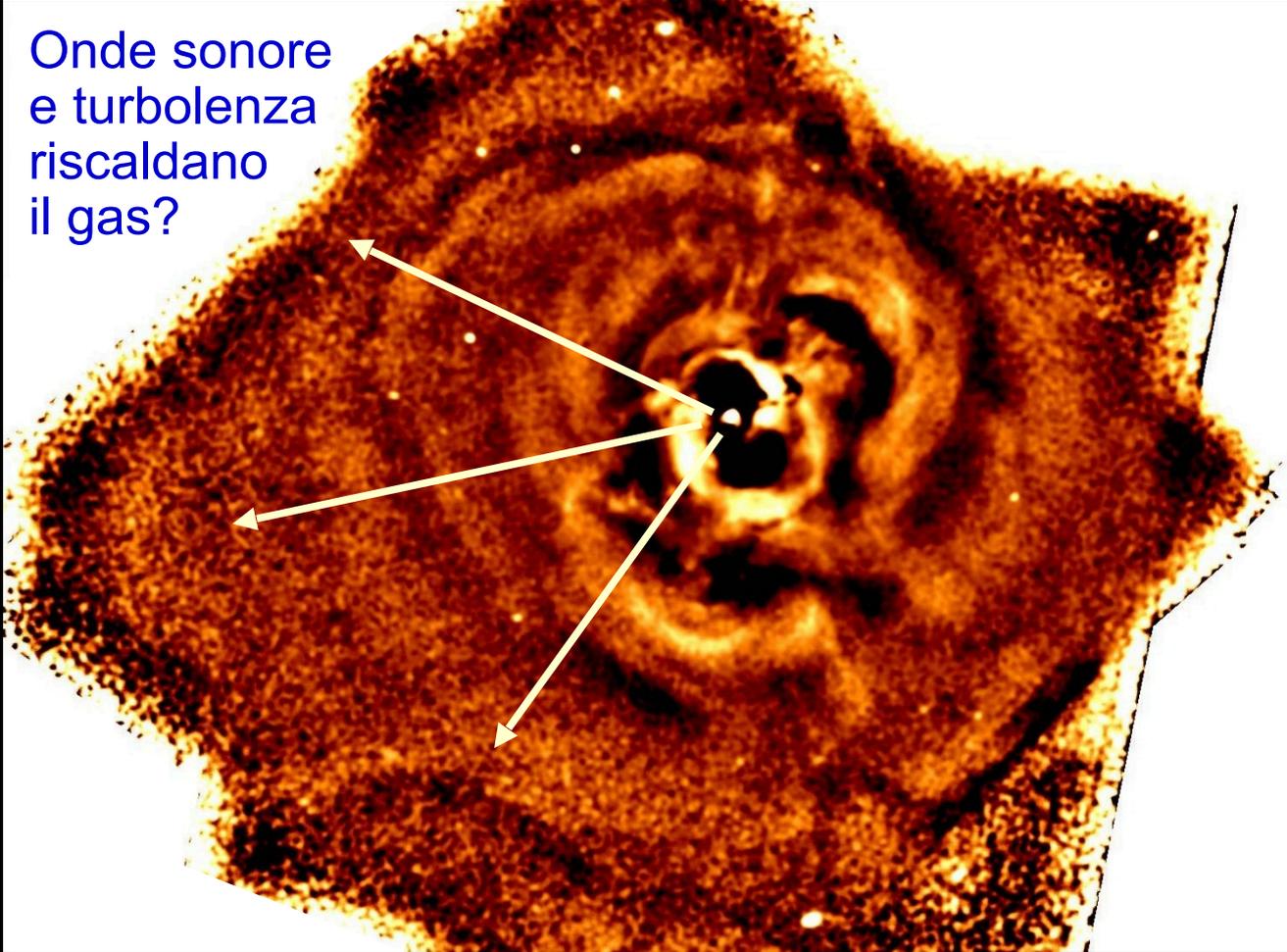
1 parsec = 3.26 anni luce

...e persino a casa nostra!



Come un aereo supersonico che spazza via le nuvole

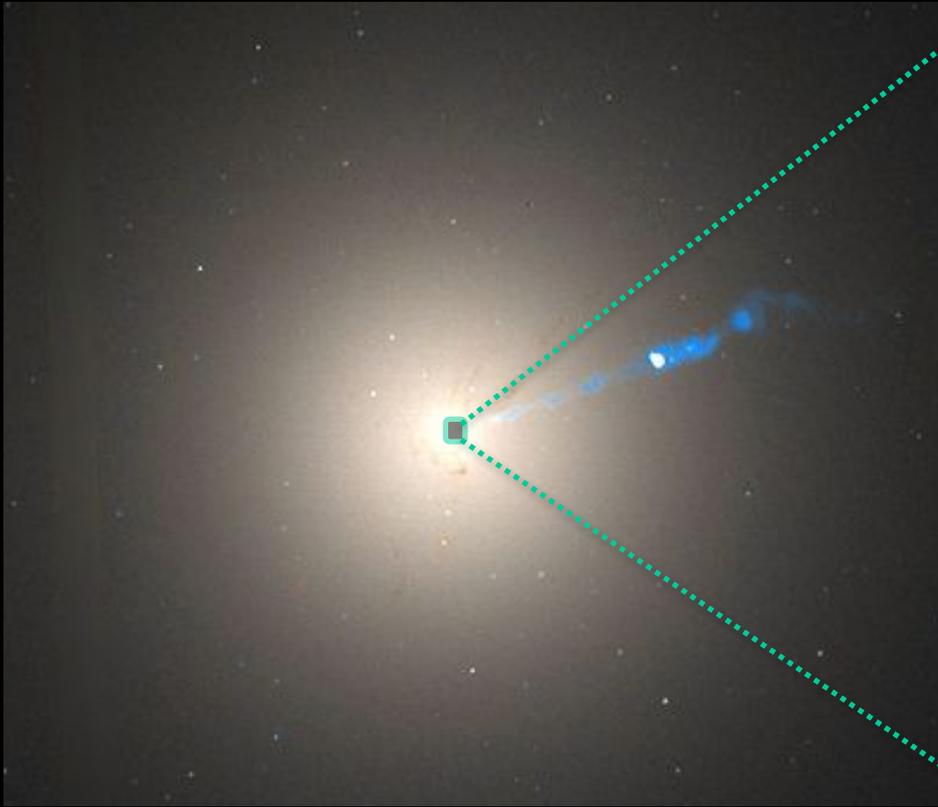
Onde sonore
e turbolenza
riscaldano
il gas?



Cosa sta
succedendo?

Chi sta facendo tutto
questo?

Un gigante così denso e pesante ...



6 miliardi di masse solari!

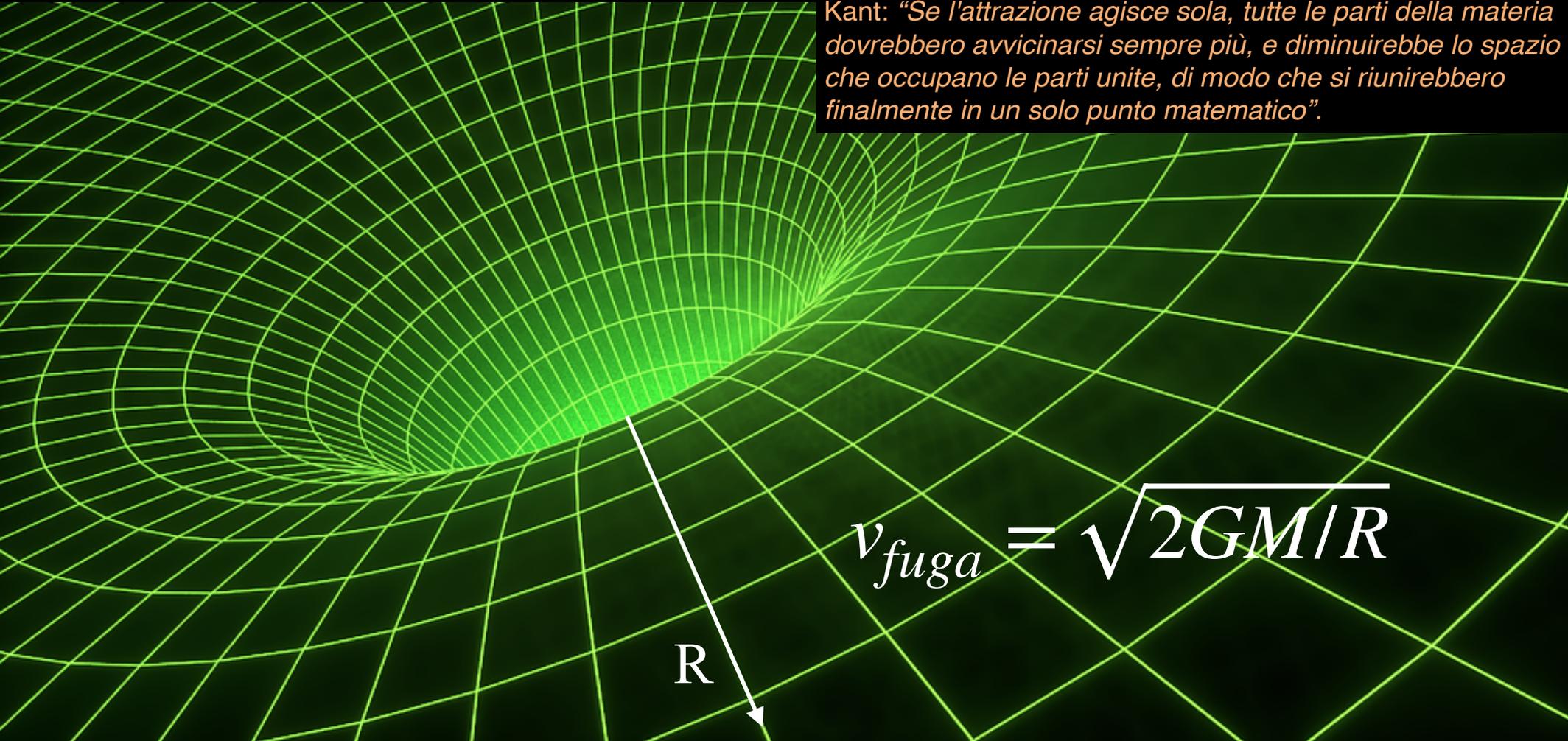


Sistema Solare

Al centro della galassia Messier 87 (cuore di Virgo)

Capace di alterare fortemente lo spazio (ed il tempo)

Kant: "Se l'attrazione agisce sola, tutte le parti della materia dovrebbero avvicinarsi sempre più, e diminuirebbe lo spazio che occupano le parti unite, di modo che si riunirebbero finalmente in un solo punto matematico".

A diagram illustrating the curvature of spacetime. A grid of green lines represents the fabric of spacetime, which is distorted into a deep, funnel-like shape. The lines are more densely packed near the center of the well, indicating a region of high gravitational potential. A white arrow labeled 'R' points from the center of the well towards the right, representing the radial distance from the center of mass. The equation $v_{fuga} = \sqrt{2GM/R}$ is written in white text to the right of the well.
$$v_{fuga} = \sqrt{2GM/R}$$

R

Quanto forte può essere un buco nero (supermassiccio)?



Evento di distruzione mareale
(disintegrazione di una stella)

Se la stella si avvicina troppo viene stiracchiata dalle forze di marea

... fino a distruggersi ...

Metà di essa cade verso di esso formando un disco di accrescimento

Nel disco l'energia gravitazionale viene convertita in radiazione!

Luminosità:

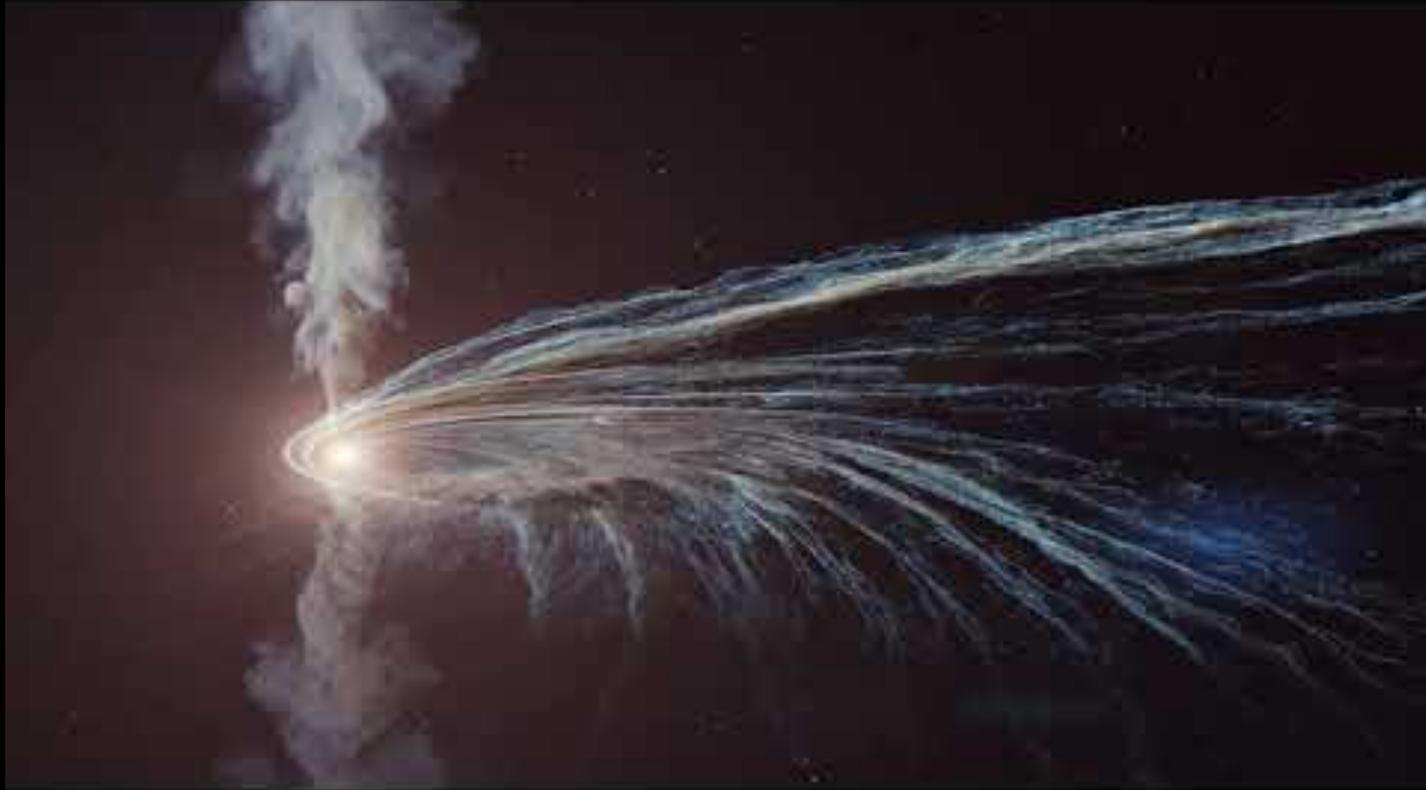
$$L = \epsilon \frac{dM}{dt} c^2$$

Efficienza $\sim 10\%$

Cosa c'è di familiare nella definizione di luminosità?

Avete presente l'equazione di Einstein? $E = Mc^2$

Evento di distruzione mareale

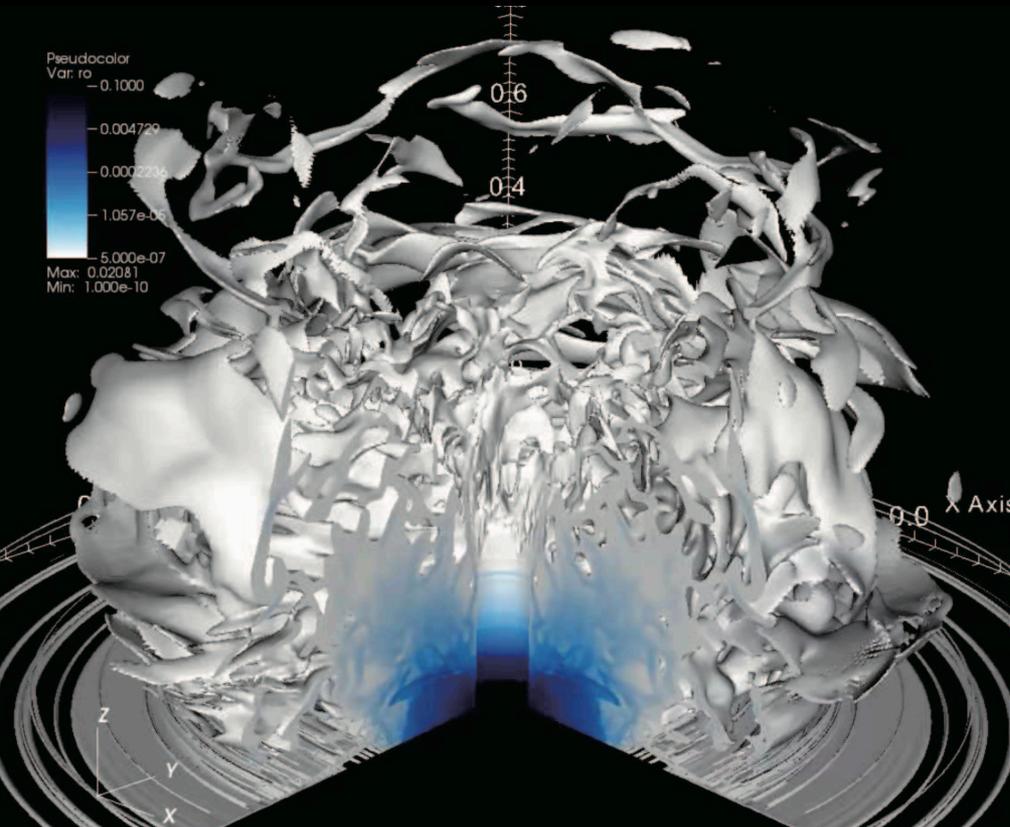


Quando c'è troppa materia da digerire ... eruzioni

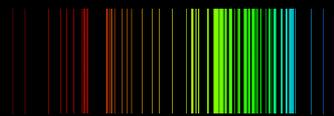
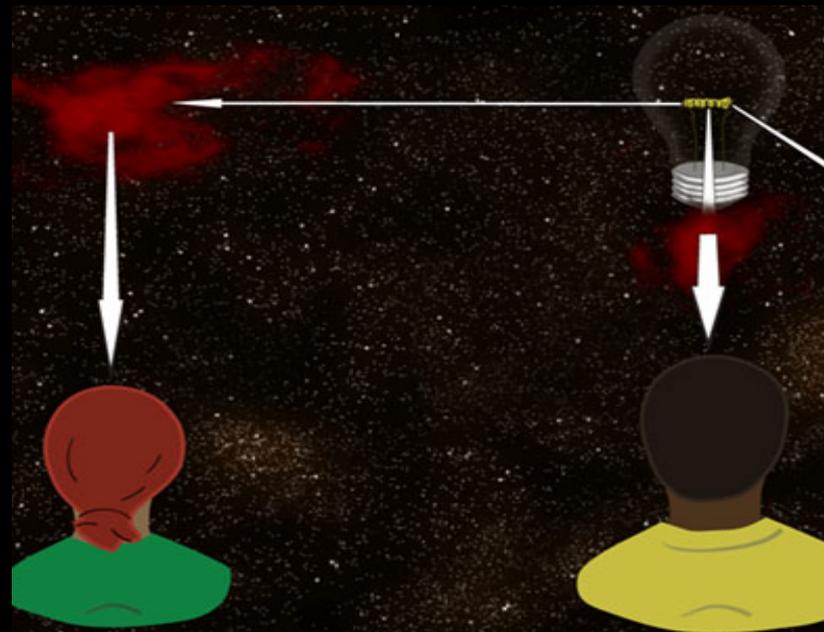
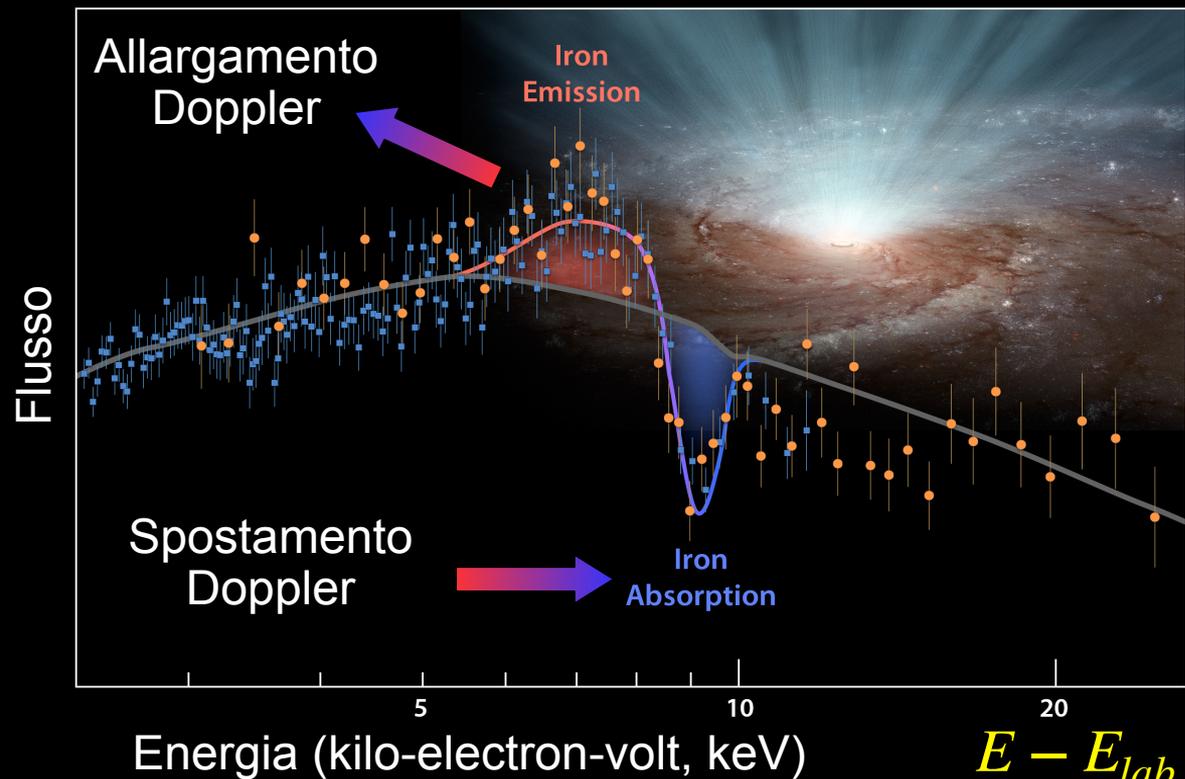
Simili a quelle dell'Etna, ma *un pò* più forti ...

40,000 km/s

0.1-0.4 km/s



Come scoprirle, vi ricordate la storia dei codici a barre?



RIGHE DI EMISSIONE



RIGHE DI ASSORBIMENTO

$$v = \frac{E - E_{lab}}{E_{lab}} c$$

La presenza di righe spostate verso il blue è il marchio dei venti!

Quasar o *quasi-stellar* radio source

Identificati negli anni '50 come fonti di emissione di onde radio di origine fisica sconosciuta.

In fotografie a lunghezze d'onda visibili sembravano deboli punti di luce simili a stelle.



Come ci siamo arrivati?

‘700 Idee di Kant, Michell e LaPlace

1915 relatività di Einstein

1916 soluzione di Schwarzschild

1963 soluzione di Kerr

1967 concetto di “bucco nero” di J. Wheeler
Un coronografo permette di bloccare la luce del quasar,

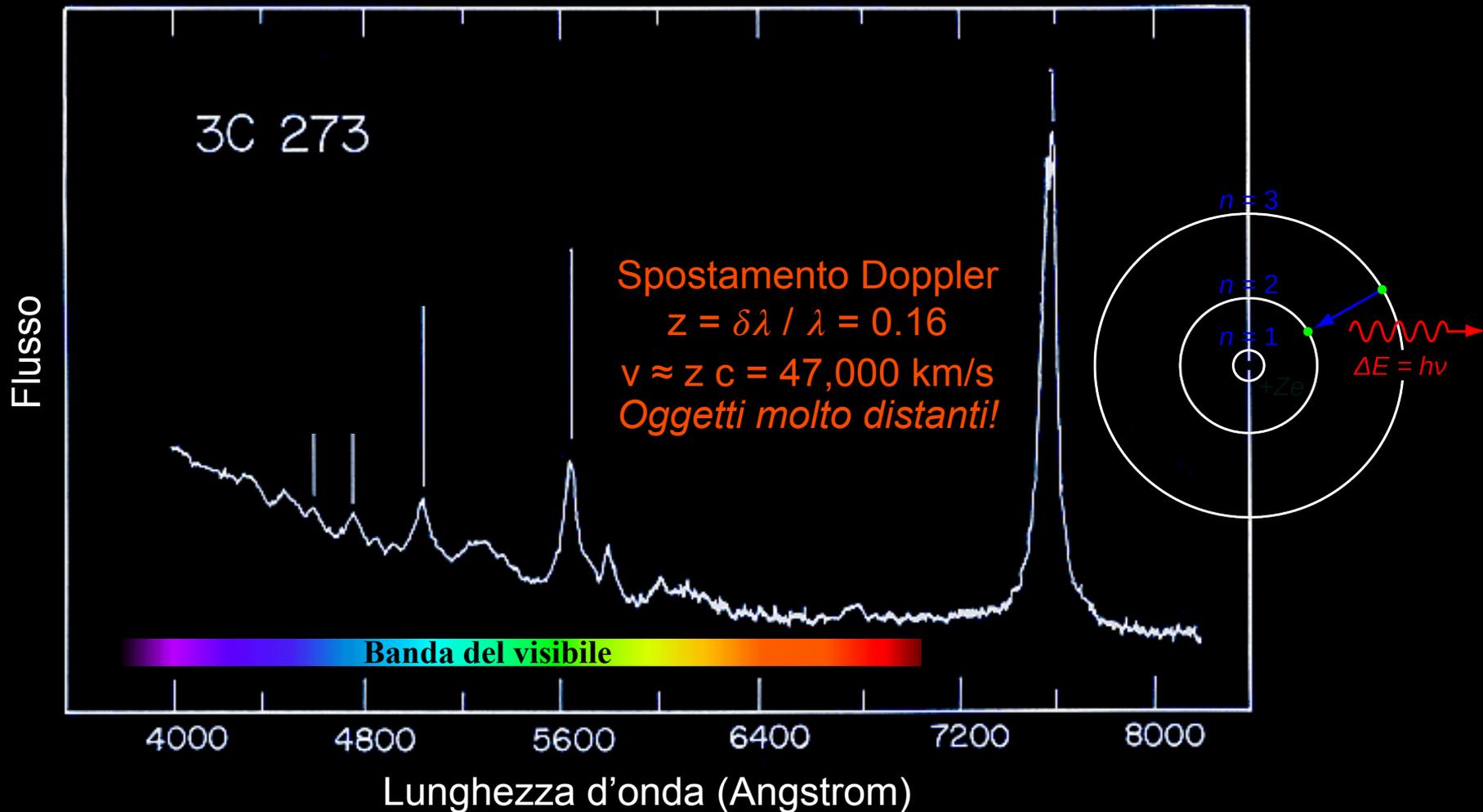
rendendo più facile rilevare la galassia ospite circostante.

Hoyle, Lynden-Bell, Rees etc: BN **supermassiccio**



Immagine Hubble del quasar 3C 273 (già prima da Maarten Schmidt, 1963)

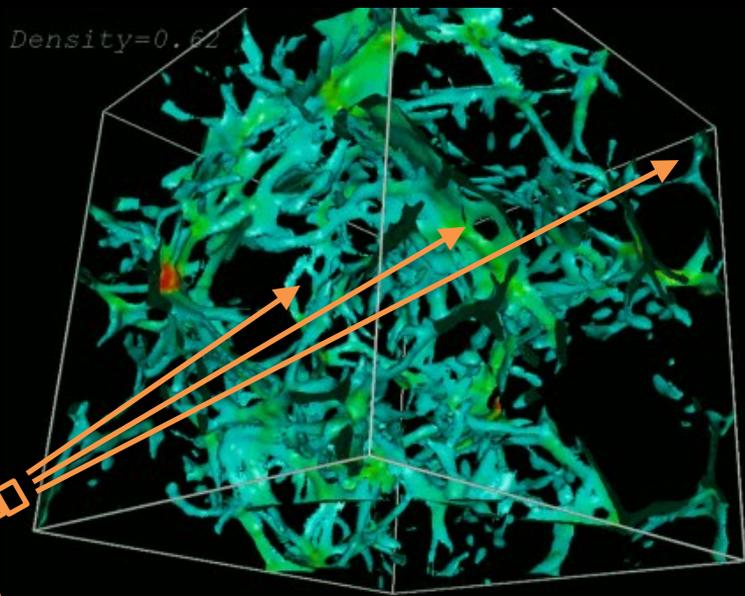
Righe misteriose negli spettri ottici



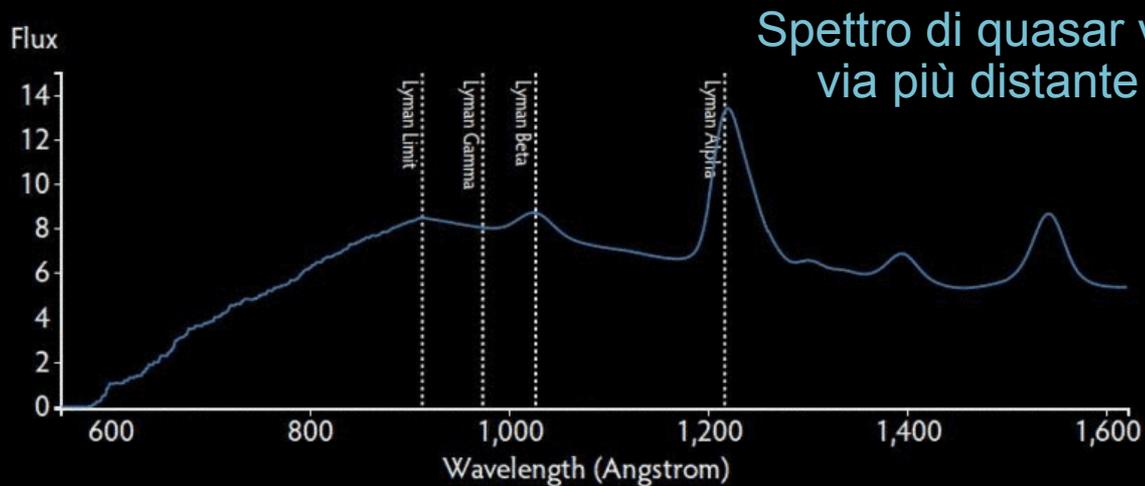
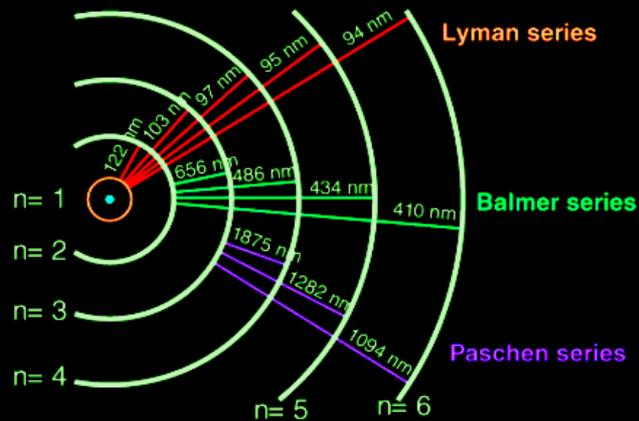
Permettono di vedere il cosmo più profondo

Spazio profondo visto con Hubble Space Telescope

La foresta di righe Lyman del mezzo intergalattico

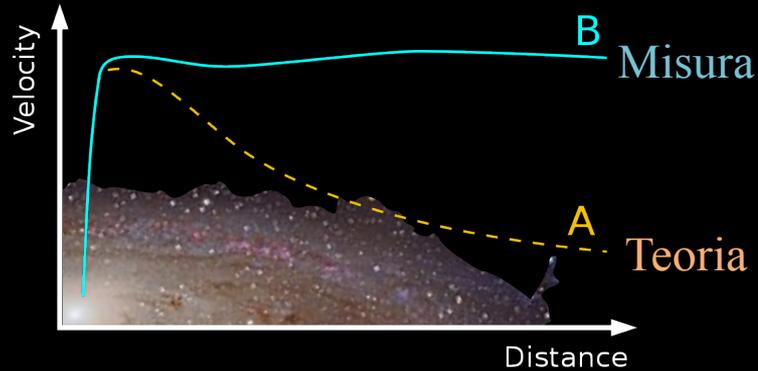


Mezzo intergalattico (simulazione)

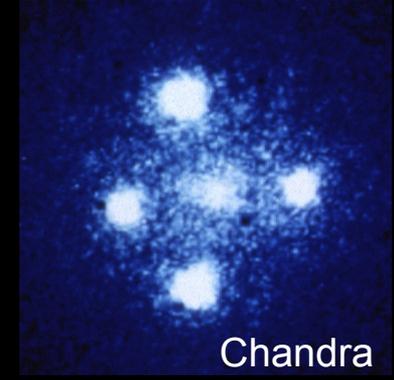
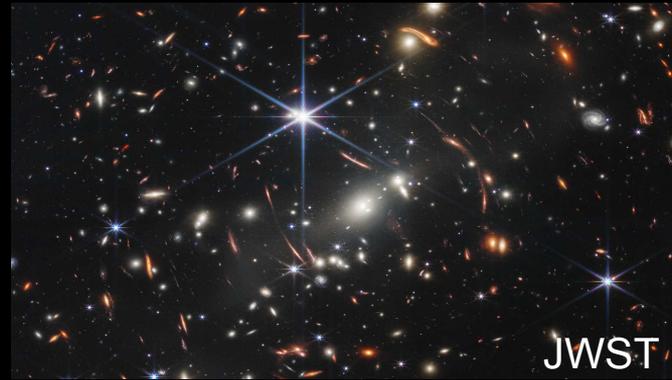


Cosa invece facciamo fatica a capire (o vedere)?

Servirebbe un alone di **ulteriore materia** intorno

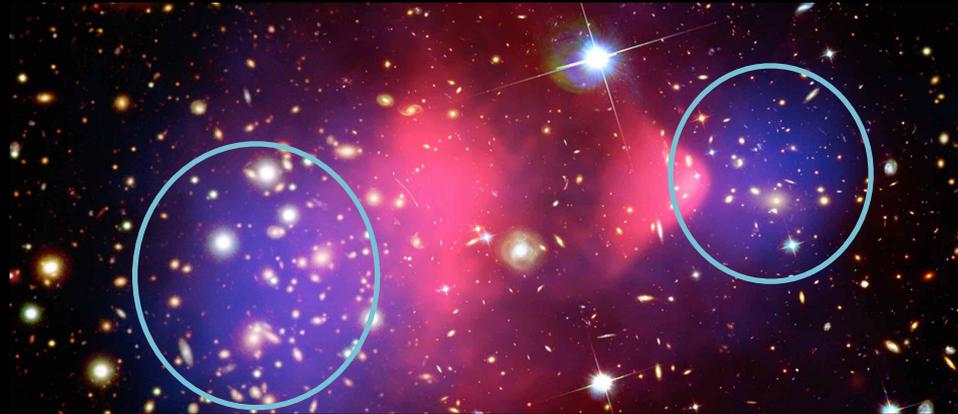


Servirebbe **ulteriore materia** nell'ammasso-lente



Più urti tra particelle → +
grande buca di potenziale
(**ulteriore materia**)

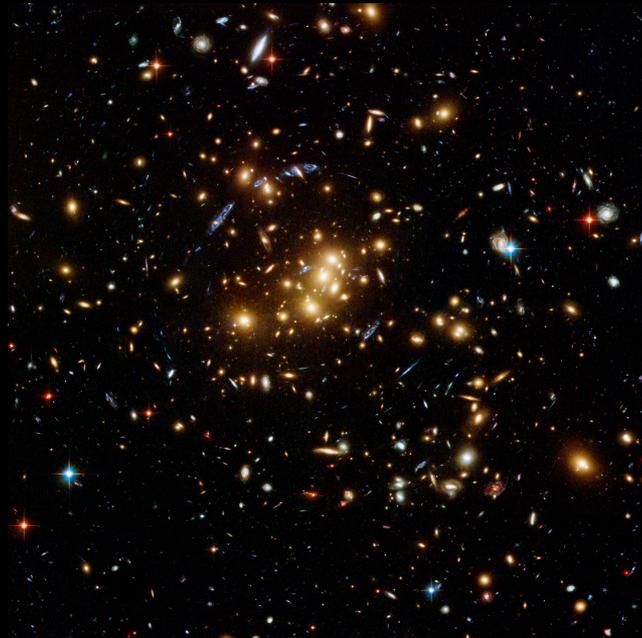
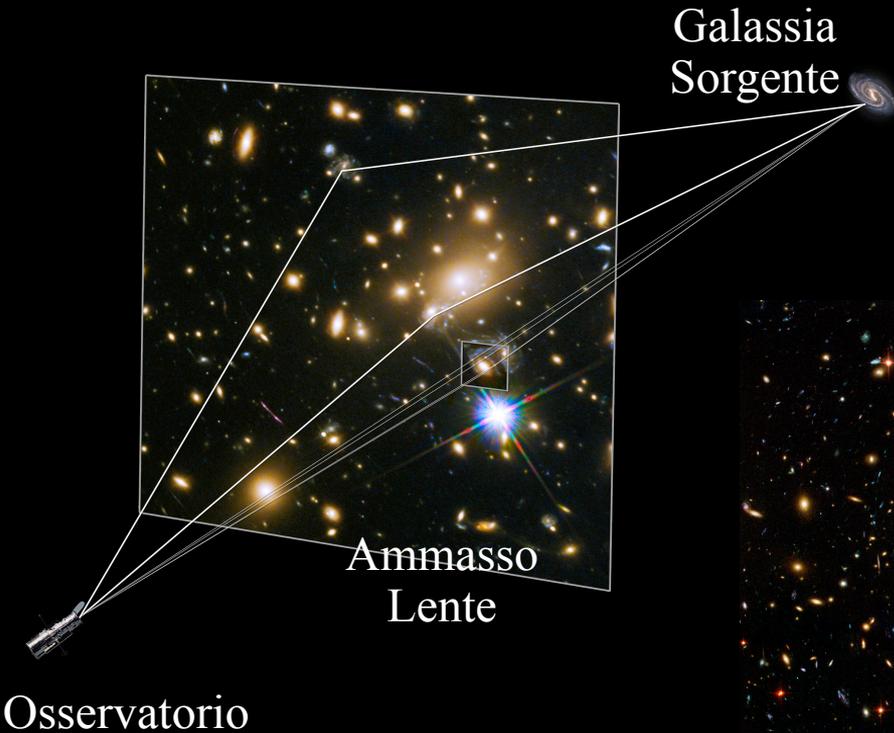
$$T_{gas} \propto \sqrt{M}$$



Serve **ulteriore materia**
localizzata intorno alla
componente stellare

Materia invisibile o oscura

	% massa	Evidenze
Galassie e stelle	1	Luce visibile
Gas caldo	9	Raggi X
Materia oscura	90	Lensing



Diversi punti di vista

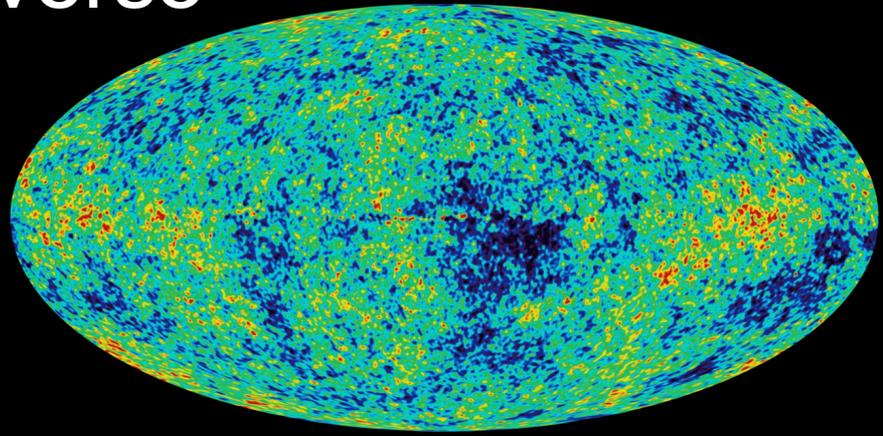
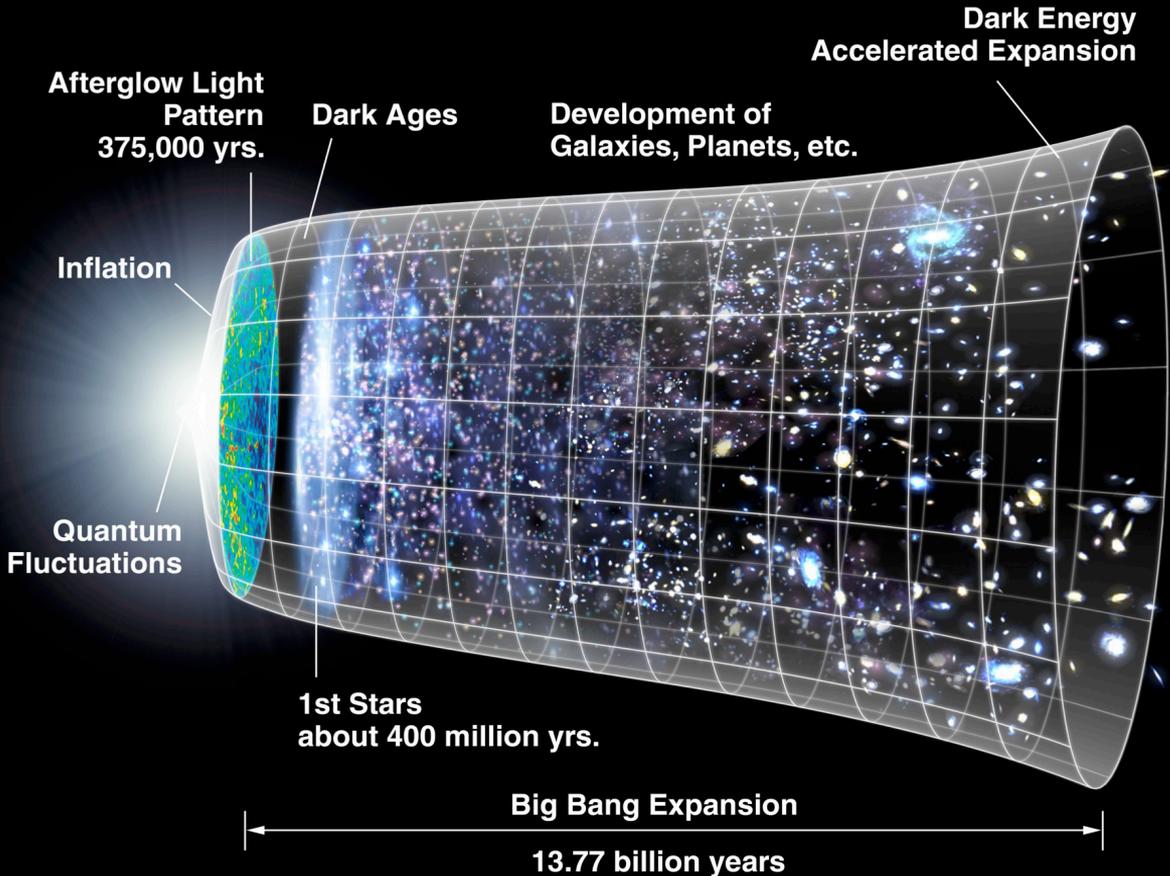


- Perché è utile andare oltre la luce “visibile”
- La Via Lattea è / non è un piccolo ecosistema
- Lo spazio è / non è vuoto
- C'è / non c'è connessione tra le piccole e le grandi scale
- Si può / non si può andare indietro nel tempo

Backup

Cosmologia ed espansione dell'universo

Big Bang e l'evoluzione dell'universo



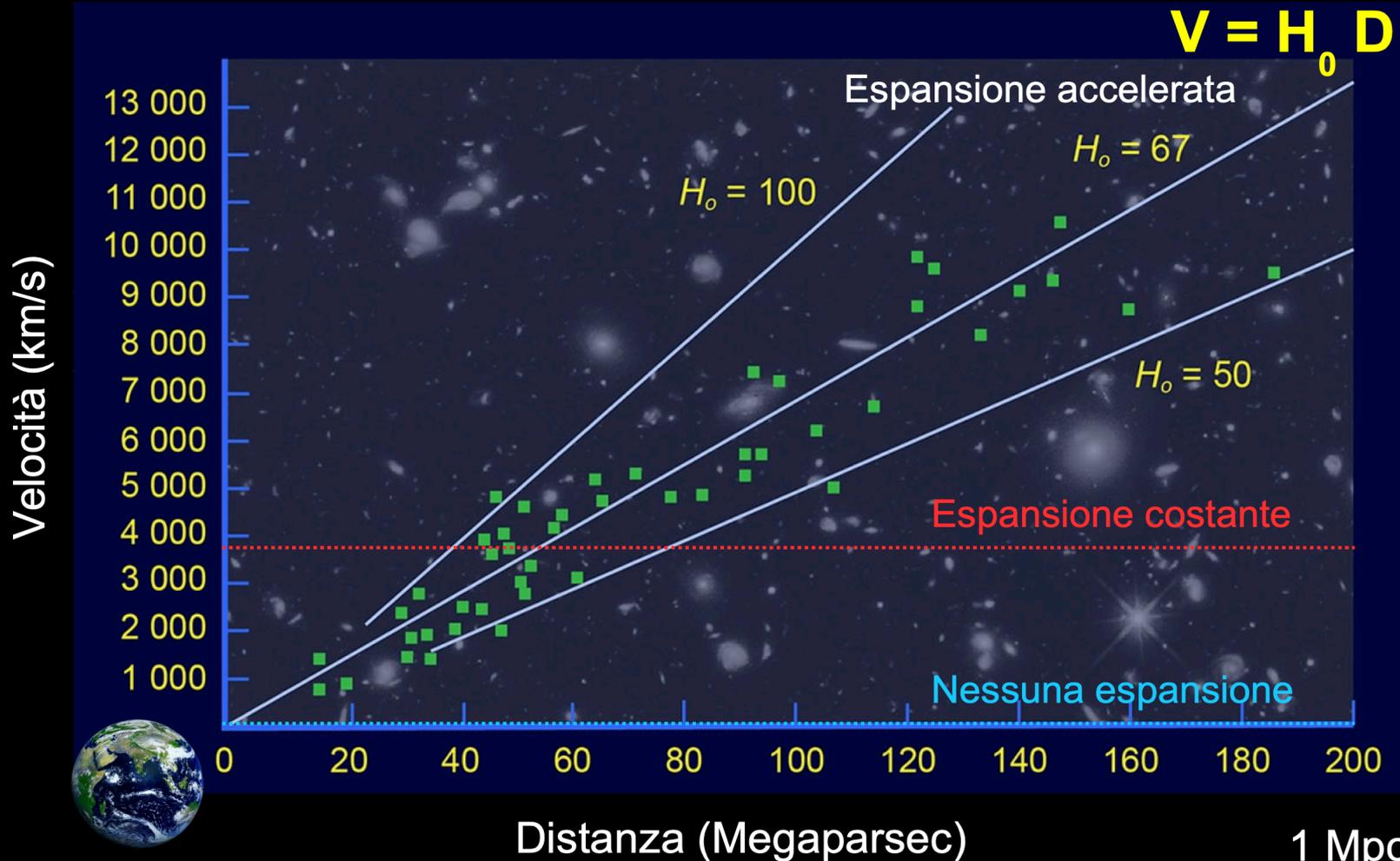
Radiazione cosmica di fondo
Fossile, $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$



Jim Peebles:

*"La teoria del Big Bang
descrive come il nostro
universo evolve e non
come esso iniziò."*

Espansione dell'Universo: Legge di Hubble



Henrietta
Leavitt

Espansione dell'Universo: Legge di Hubble

