



Istituto Nazionale di Astrofisica

Osservatorio astronomico di Brera



Universo in fiore

Le Galassie caratteristiche ed evoluzione



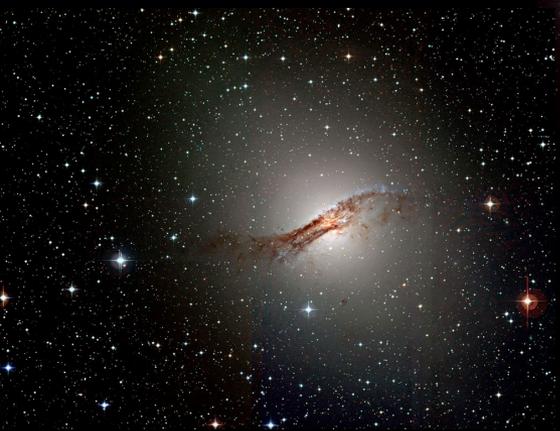
Ginevra Trinchieri

ginevra.trinchieri@brera.inaf.it

INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

26/02/2014

Cos'è una galassia?



Cos'è una galassia?



Stelle
[+ pianeti]



Gas

Polveri



GRAVITÀ +



“Materia
oscura”

tutto ruota intorno a un nucleo centrale

Galassia -- dal greco ΓΑΛΑ: dal latte di Era

Via Lattea

- Fiume d'argento [Cina, Corea, Vietnam]
- Fiume celeste [Giappone]
- La via dell'inverno [Islanda]
- Via della paglia [Turchia Armenia]
- Il sentiero degli uccelli [Lituania/Estonia/Finlandia]
- La via del lupo/degli spiriti/Grande fiume/
Dove corre il cane [Indiani d'America]
- Gange celeste [Hindi]



In SudAfrica nasce dalle fiamme/ceneri di un fuoco



Fiume:

Arte rupestre delle Isole baltiche

La via Lattea vista dalla cima dell'osservatorio di Mauna Kea



Wally Pacholka / AstroPics.co

La via Lattea e le Nubi di Magellano dal deserto di Atacama in Cile



Di cosa e' fatta una galassia?

Stelle calde
luminose e
giovani
colore bianco/blu

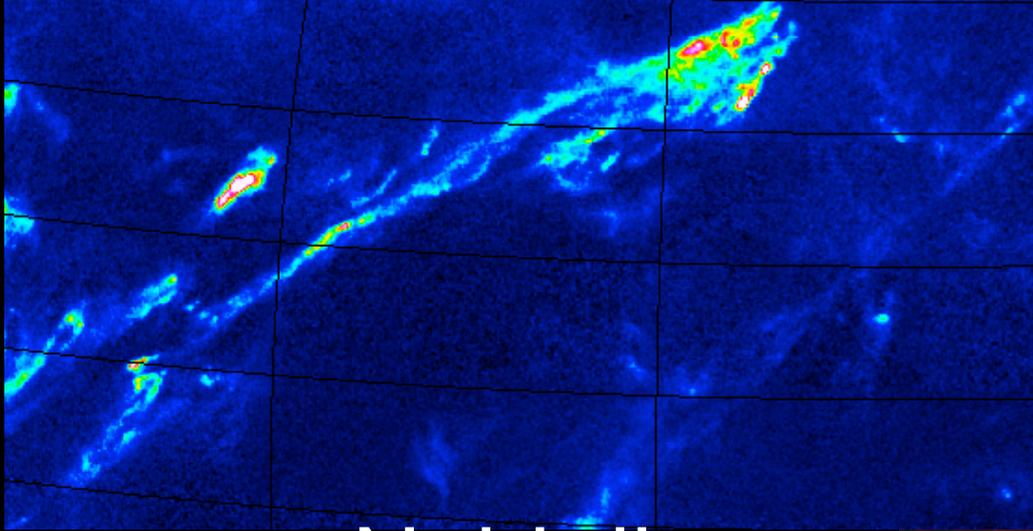
stelle fredde e
vecchie
colore giallo/rosso

In "raggruppamenti" [ammassi] o
distribuite "nel campo"

con possibili
sistemi planetari



Di cosa e' fatta una galassia?



Nubi di gas

freddo : idrogeno neutro

Nubi di gas

caldo: ionizzato

Nubi di gas
caldissimo



Di cosa e' fatta una galassia?



polvere

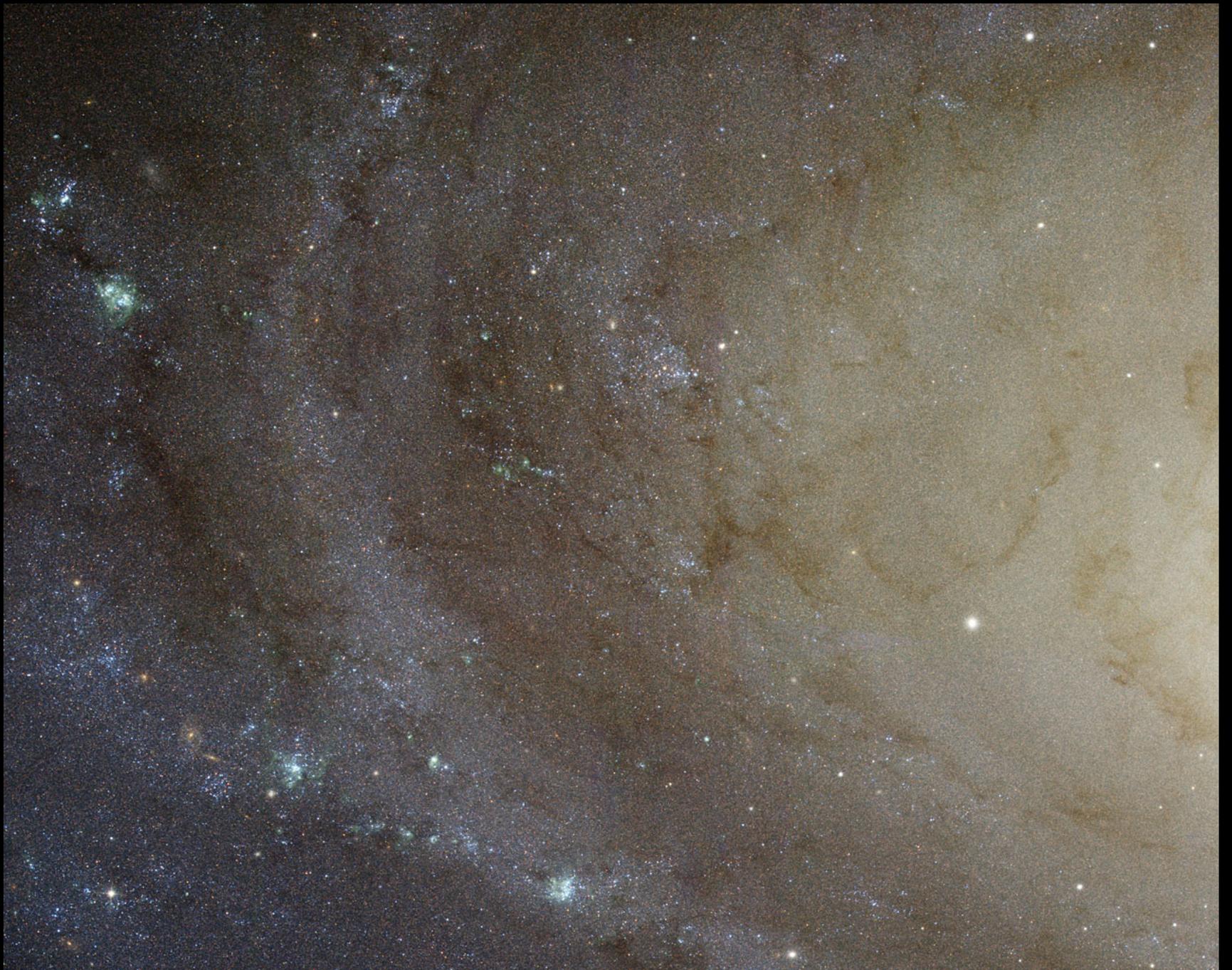
emissione

assorbimento





M32: Credit: Thomas M. Brown (GSFC) et al., NASA - from APOD nov. 1999



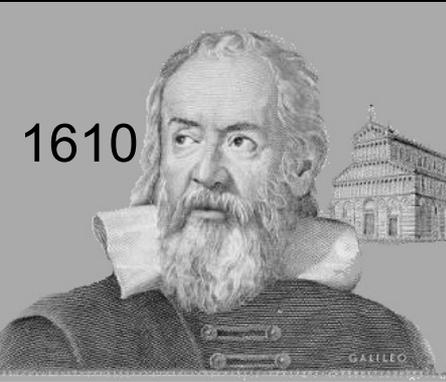
NASA, ESA and the Hubble Heritage Team STScI/AURA). Acknowledgment: A. Zezas and J. Huchra

Di cosa e' fatta una galassia?



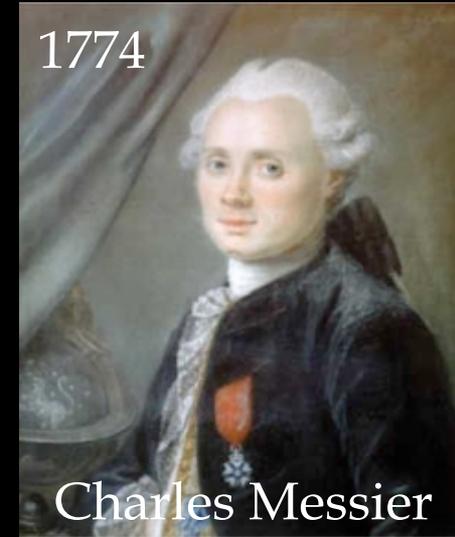
Materia oscura

Come sono state scoperte le galassie



“NEBULOSE” son raggruppamenti di piccole stelle

Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius* 1610



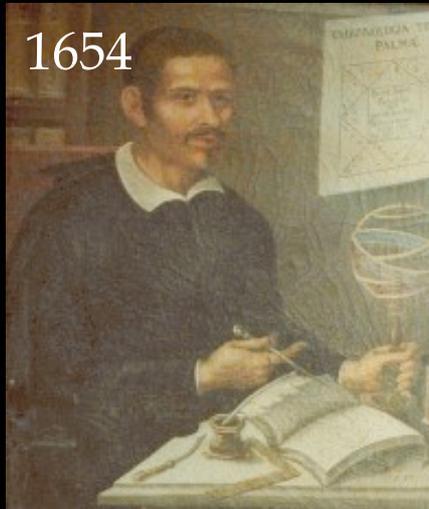
Charles Messier

Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Étoiles



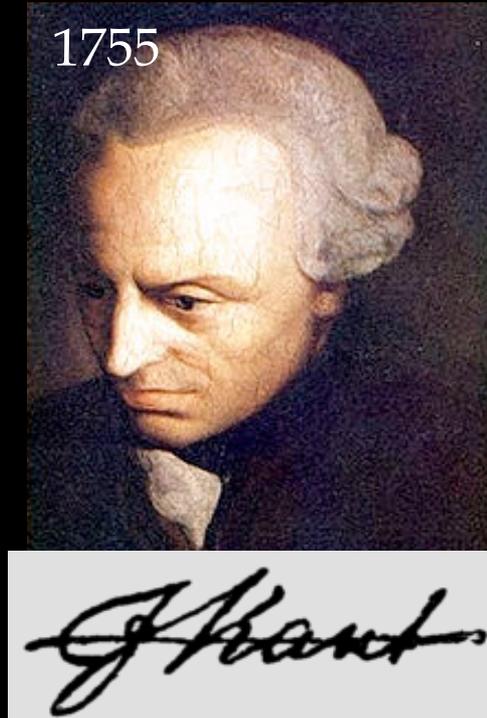
Giordano Bruno

«.. per conseguenza l'universo sarà di dimensione infinita e gli mondi saranno innumerabili... »
De Infinito 1584



Giovan Battista Hodierna

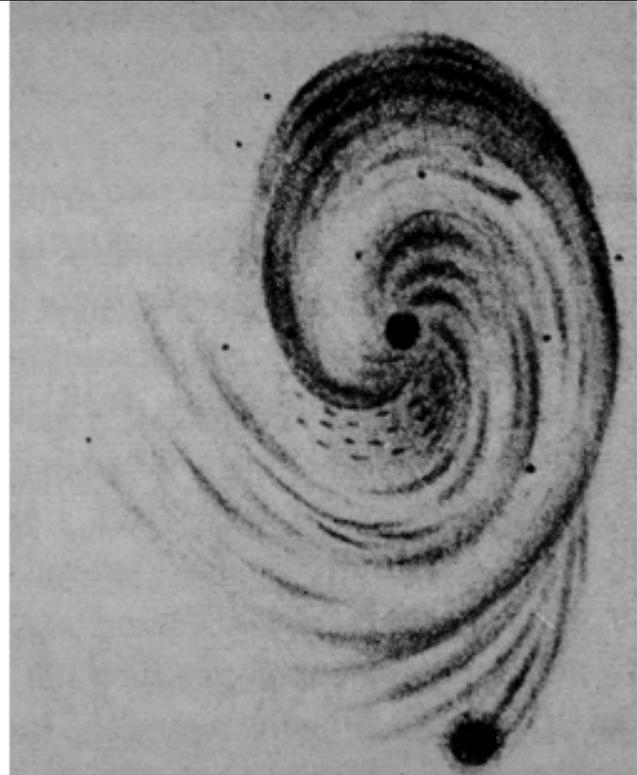
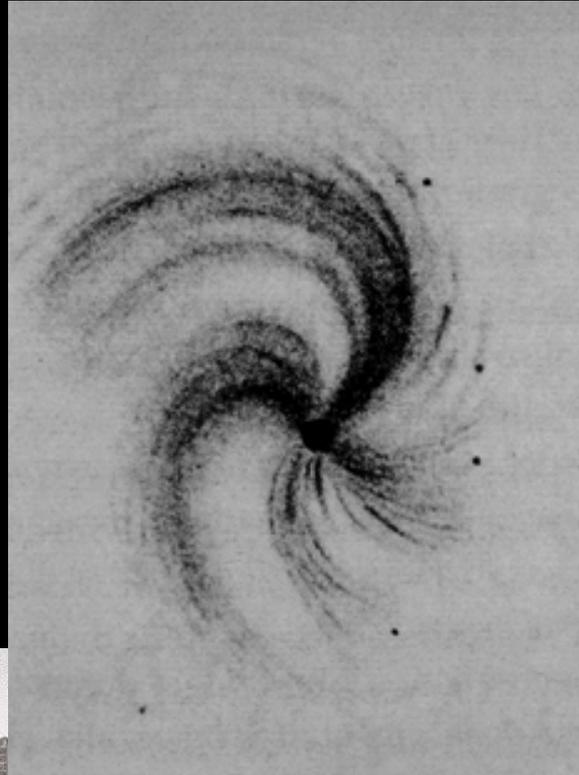
De Admirandis Coeli Characteribus



Storia universale della natura e teoria del cielo

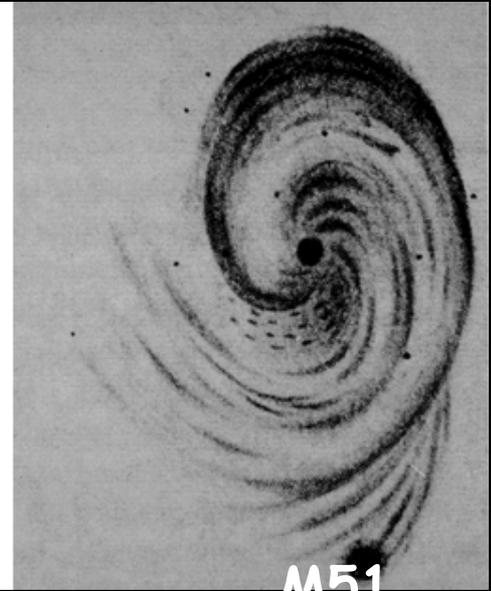
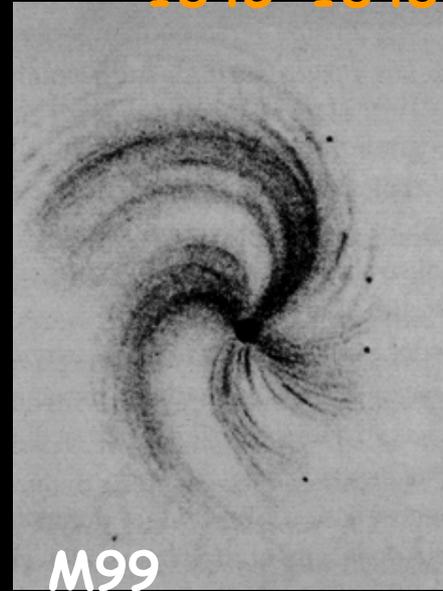
Le prime "immagini" di struttura a spirale

1845-1848



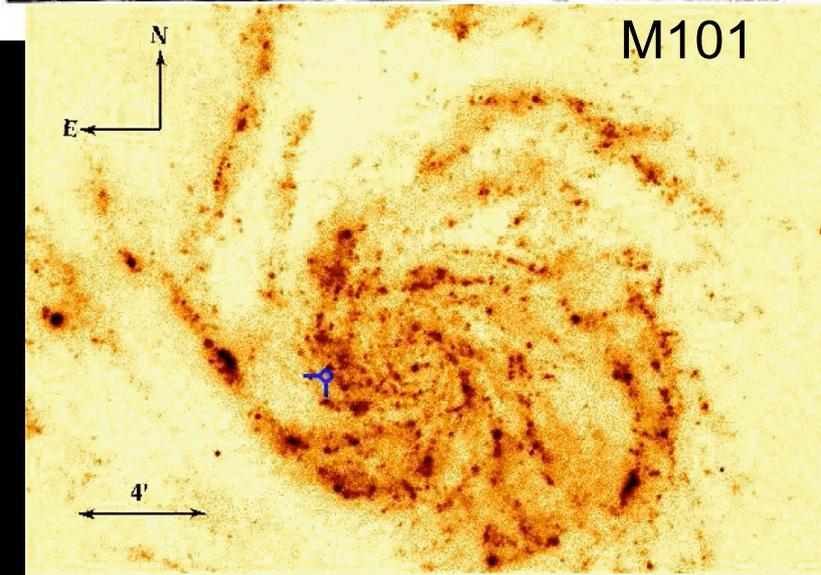
Lord Rosse e i moderni telescopi a confronto

1845-1848

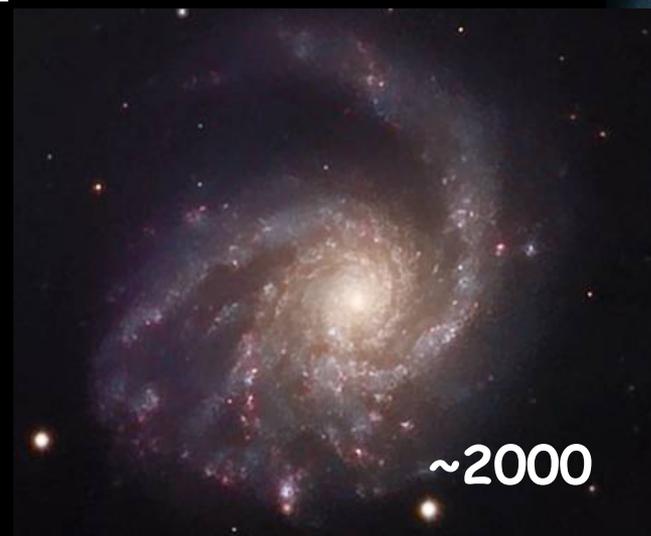


M99

M51



M101



~2000



Le Nebulose diventano Galassie!

il grande dibattito Harlow Shapley—Heber Curtis ~1920

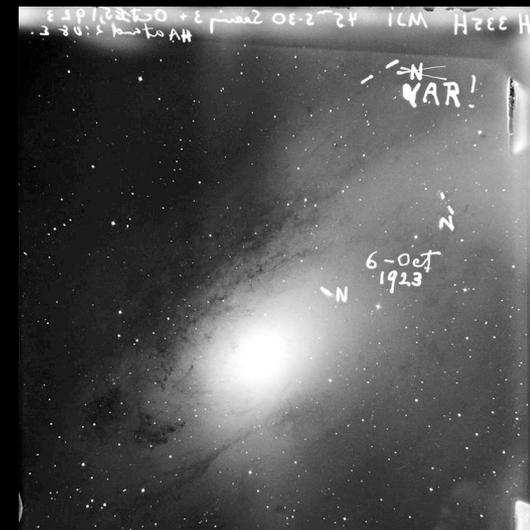
la Galassia è la “totalità” dei mondi! [HS]

Il ruolo della nebulosa di ANDROMEDA !

1917: Heber Curtis osserva supernove : “troppe” e “troppo deboli”

1923: Edwin Hubble scopre una stella variabile “troppo luminosa”

→ ANDROMEDA e' TROPPO lontana per essere nella Via Lattea!



La stella cefeide vista da E. Hubble “oggi” con il telescopio Hubble

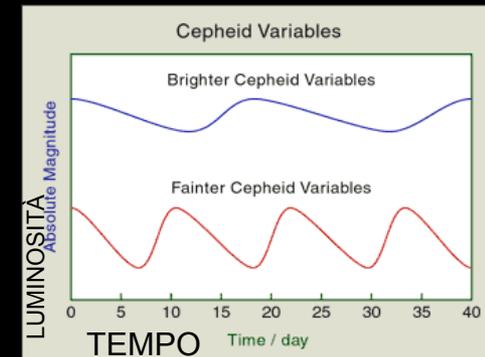
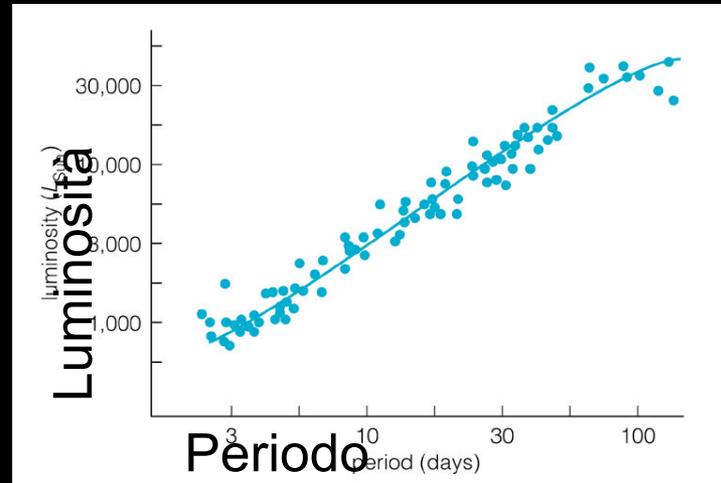


NASA / ESA / Hubble Heritage Team

La stella cefeide usata come “candela standard” per la misura delle distanze



1922 Miss Henrietta Leavitt,



Dalla relazione Luminosità - Periodo:
misurando flusso e Periodo $\rightarrow L \sim f \times D^2$
per M31 : $D \sim 700$ kpc \varnothing Galassia ~ 30 kpc

$$1 \text{ pc} = 3.1 \times 10^{18} \text{ cm}$$

Cos'è una galassia?

Sistema di stelle-gas-polveri-materia oscura in rotazione attorno al proprio nucleo

- Dimensioni tipiche: 10-50 kpc diametro
[componente stellare]

- Luminosità: $10^9-12 L_{\odot}$

$L = 4 \times 10^{33}$ erg/s
40000000000000000000000000000000
lampadine da 100 W

- Masse : $10^{10-13} M_{\odot}$

Massa del sole
 $M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$ g

- Forme: - Ellittiche, Spirali, Irregolari

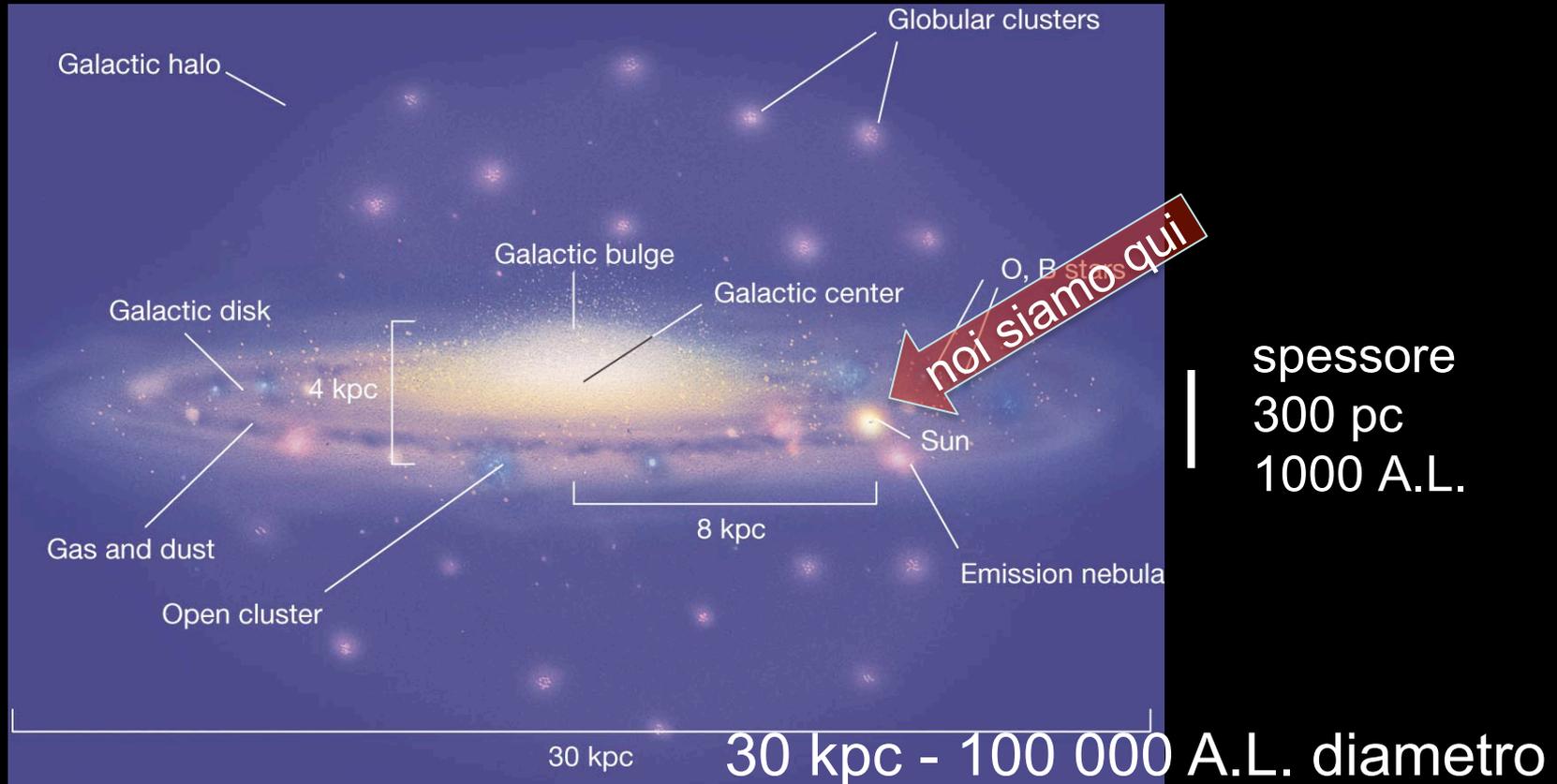
La via Lattea

No. di stelle $\sim 4 \times 10^{11}$

Luminosità $\sim 2 \times 10^{10} L_{\odot}$

Massa $\sim 2\div 6 \times 10^{11} M_{\odot}$

Massa totale $\sim 10^{12} M_{\odot}$



Se potessimo guardare la Via Lattea dall'esterno, ci
apparirebbe così
NGC 6744



blu verde, arancione e rosso = luce blu, giallo-verde e rossa [stelle] + idrogeno gassoso

➤ per capire come e' fatta la Galassia dobbiamo studiare anche le "altre" galassie: sia simili alla nostra sia diverse

→ noi siamo dentro la nostra galassia!!!!

➤ d'altra parte per capire cosa vediamo nelle altre galassie dobbiamo partire dalla Galassia

→ tutto e' piu' vicino e possiamo avere maggiori dettagli

Perche' sono importanti le Galassie

Testimoni del passato e del presente!

Cosa ci insegnano?

Perché sono come le vediamo oggi?

Possiamo capire come saranno in futuro?



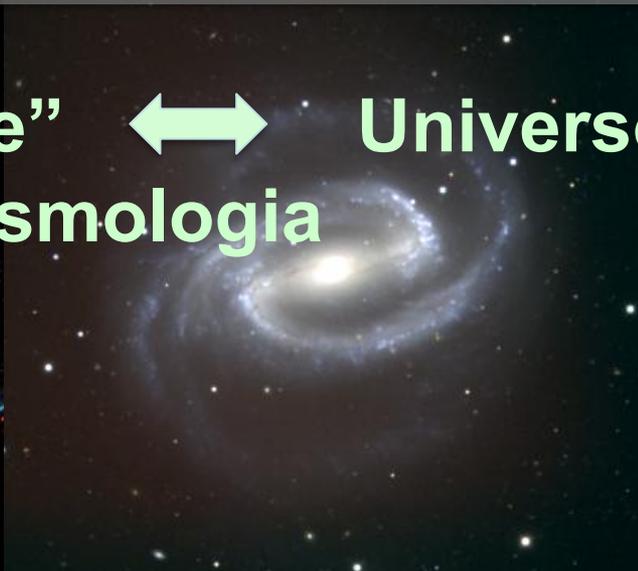
alcuni ingredienti

Dove sono nell'Universo : distanze

Come sono fatte : morfologia

Dove vivono : ambiente

Universo "locale" ↔ Universo "distante" :
evoluzione e cosmologia



Come si misurano le distanze delle galassie

usando “candele standard”

Cefeidi [~20 M A.L.] [Andromeda]

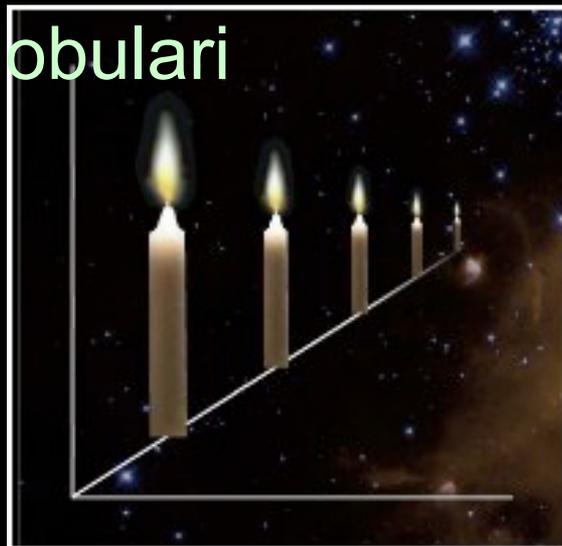
Nebulose planetarie

Supergiganti

Ammassi Globulari

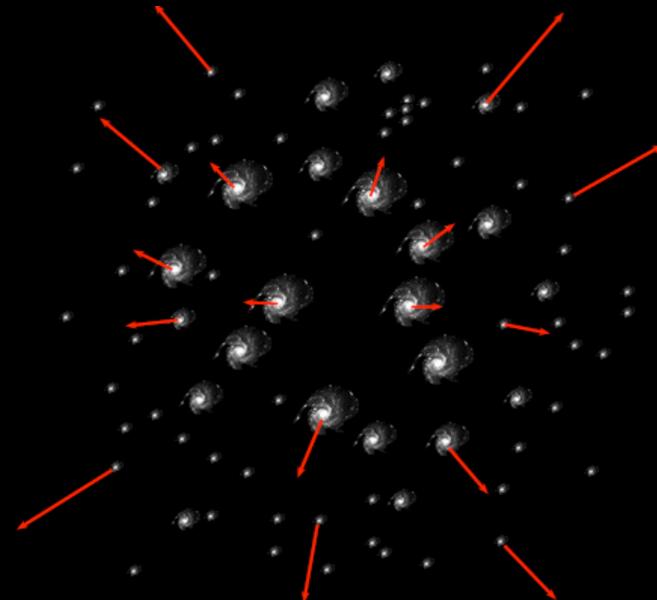
....

SN tipo Ia



usando l'espansione
dell'Universo

velocità di recessione
“z”

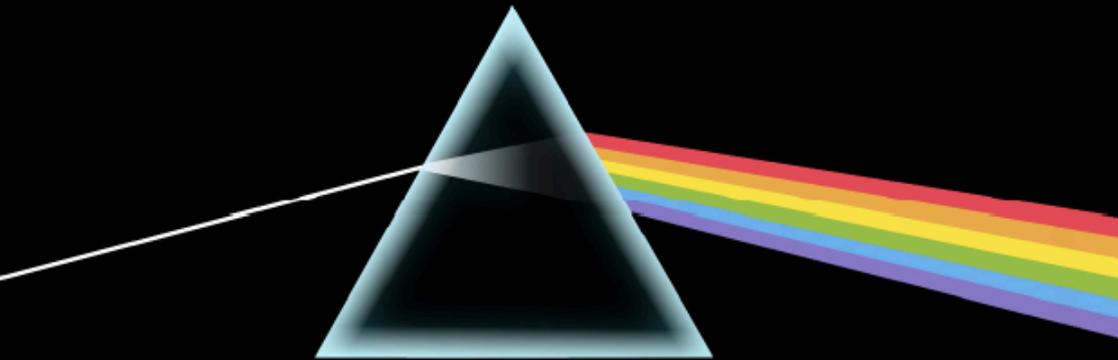


Scomposizione
della luce

+

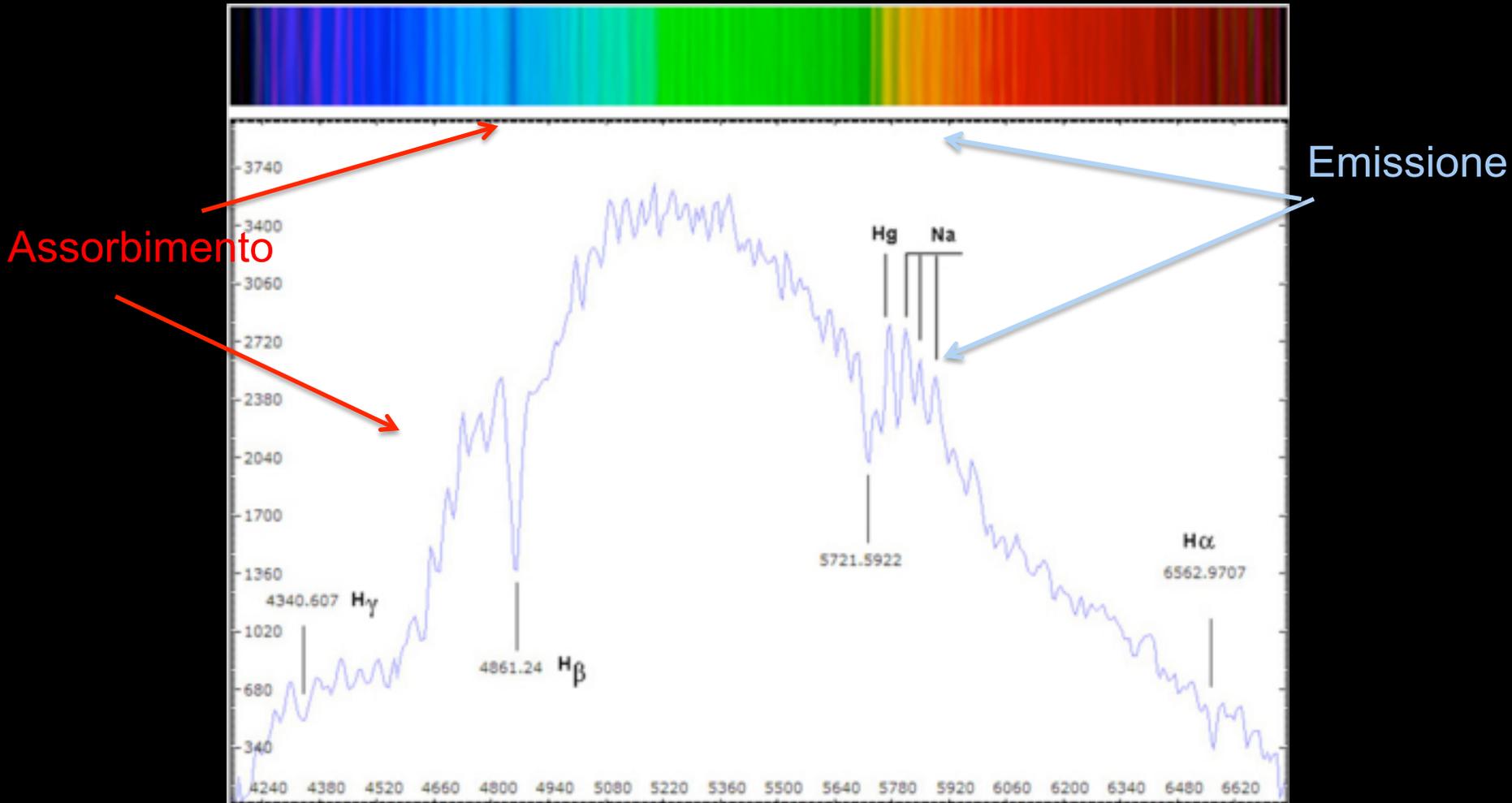
Effetto Doppler

(non relativistico)



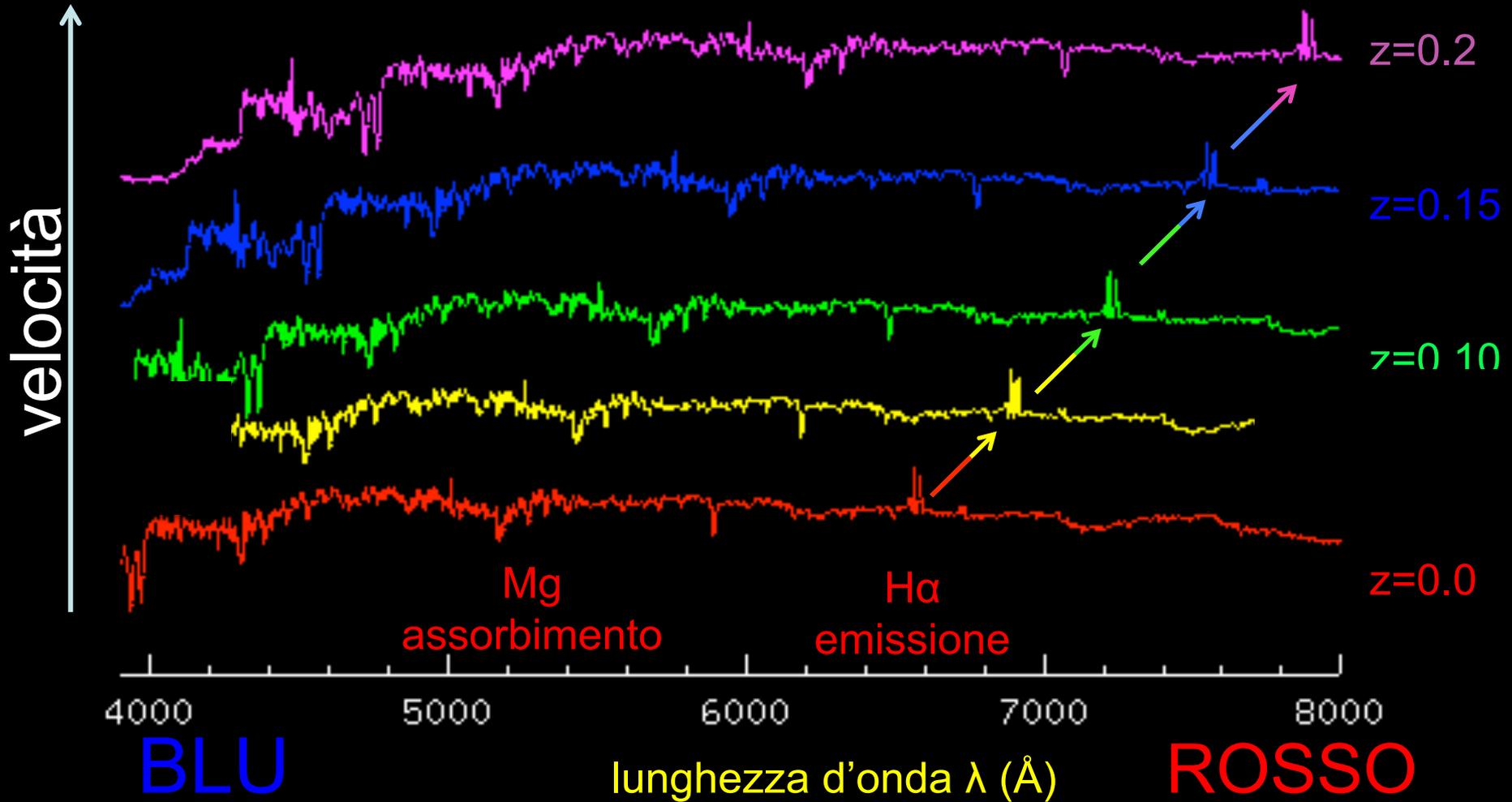
$$\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} = \frac{v_s}{c} \approx z$$

SPETRO DELLE STELLE HA RIGHE CARATTERISTICHE che indicano elementi presenti nelle stelle



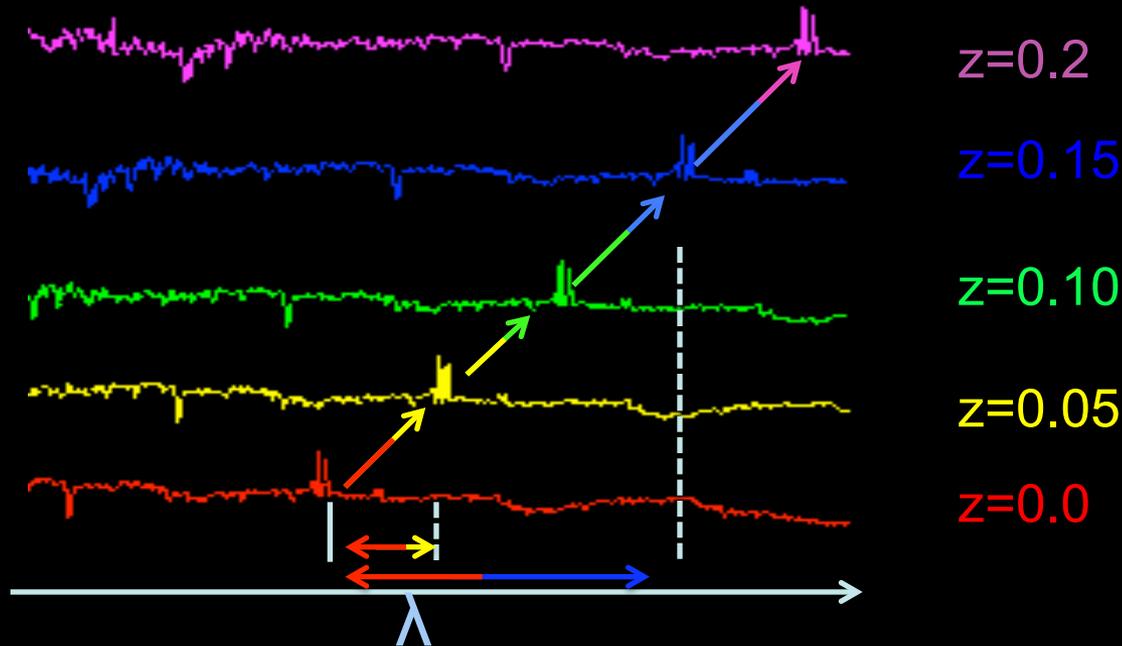
Spettro di una galassia: si allontana

Le righe si spostano a lunghezze d'onda λ maggiori (\rightarrow rosso)



Lo spettro delle galassie

Le galassie si muovono! e le righe si spostano!

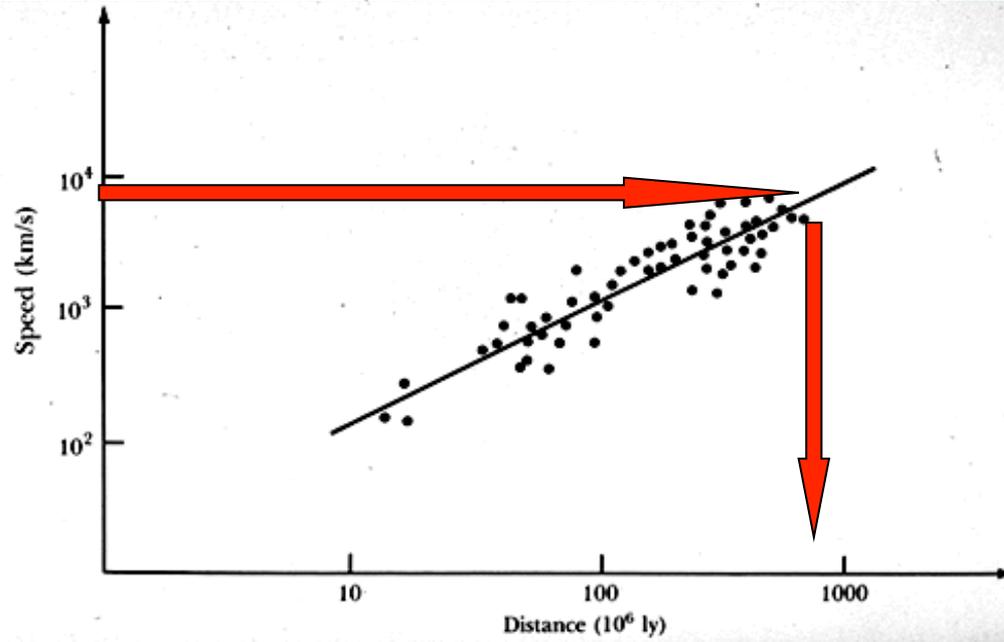
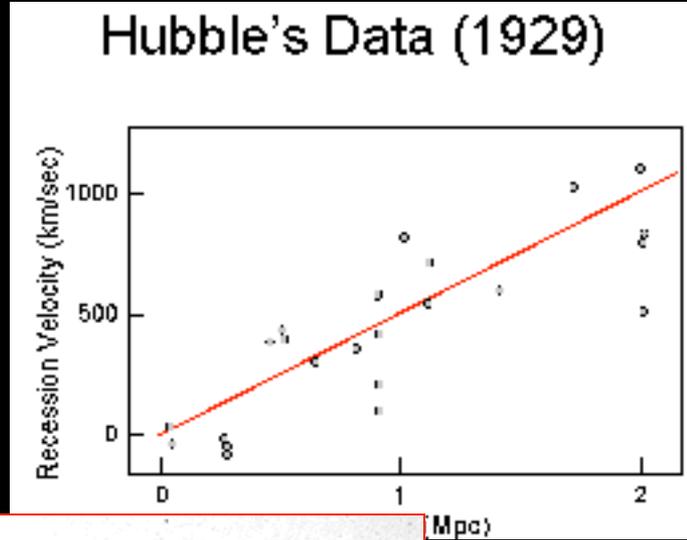


Così noi possiamo misurare la loro distanza:

spostamento \Leftrightarrow velocità \Leftrightarrow distanza
redshift $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ $v = cz$ $d = H_0 v$

Mount Wilson Observatory
100 inch [2.5 m]

E. P. Hubble scopre la legge di Hubble



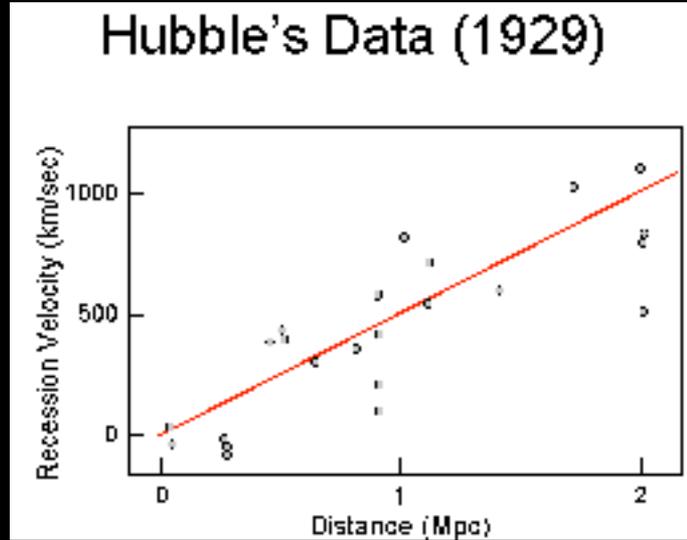
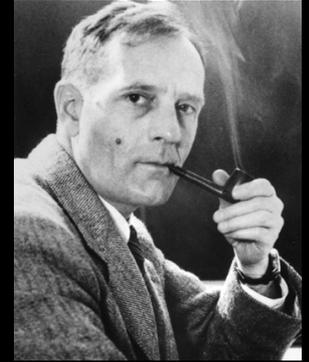
vel = Distanza x Cost.

Cost: H_0 costante di Hubble
 ~ 1900 galassie

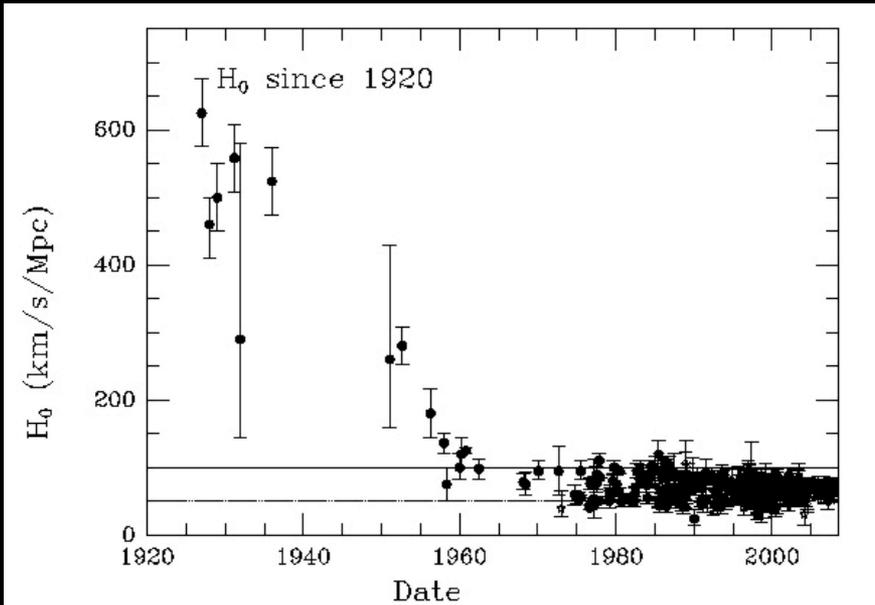
$H_0 \approx 1/\text{età universo}$

Mount Wilson Observatory
100 inch [2.5 m]

E. P. Hubble scopre la legge di Hubble



$$d = \frac{v}{H_0} \approx \frac{cz}{H_0}$$



H_0 : costante di Hubble

1970 : 50-100 km/s
2000 : 60-80 km/s
2010 : 73 km/s

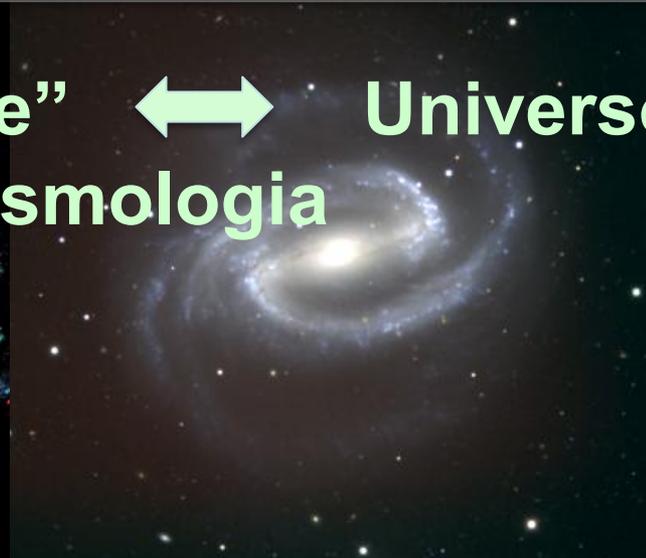
alcuni ingredienti

Dove sono nell'Universo : distanze

Come sono fatte : morfologia

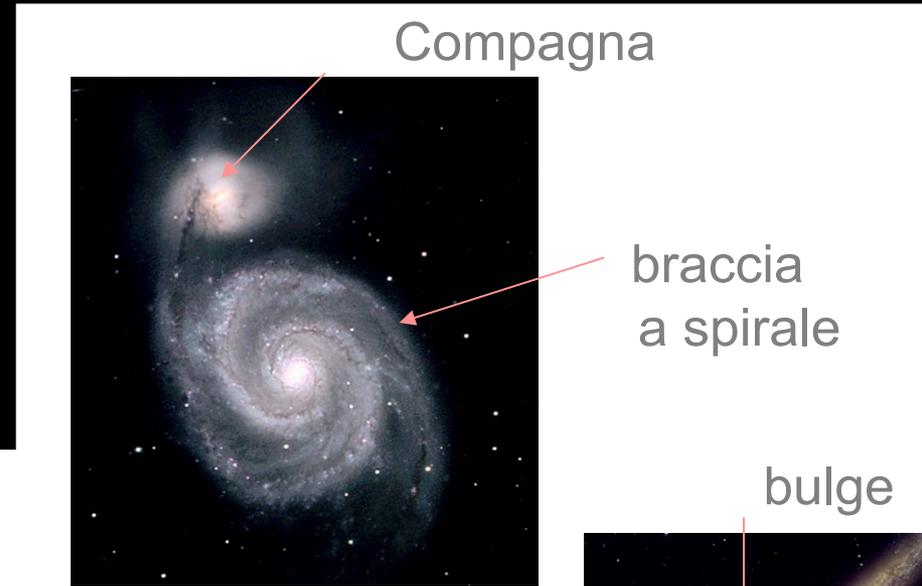
Dove vivono : ambiente

Universo "locale" ↔ Universo "distante" :
evoluzione e cosmologia



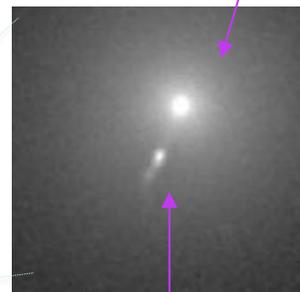
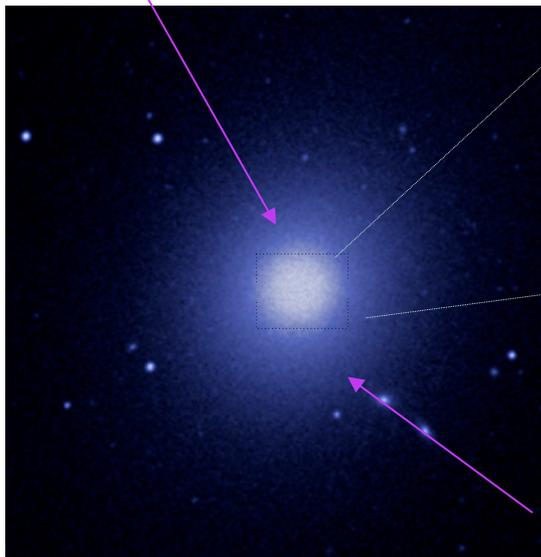
Come e' fatta una galassia?

- Nucleo - [jet] [→ AGN]
- bulge
- disco - braccia [spiral]i
- alone

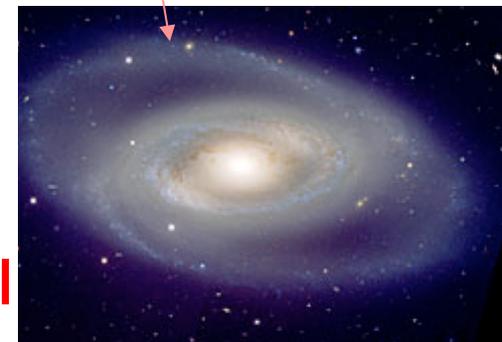
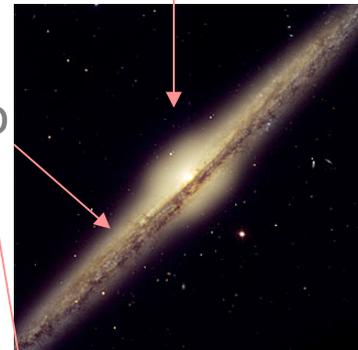


regione centrale

nucleo



disco



ELLITTICHE

SPIRALI

Mount Wilson Observatory
100 inch [2.5 m]



E. P. Hubble negli anni 20 propone un sistema di classificazione delle “galassie” basato sul loro aspetto [morfologia]



Ellittiche

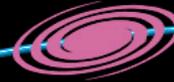
E0 E3 E5 E7 S0



Sa



Sb



Sc



Spirali

Irregolari

SBa



SBb



SBc



La classificazione :
e' basata sulla forma Ma

- e' legata a un significato fisico!
- corrisponde a proprietà specifiche!
- e' legata allo stadio evolutivo!

Sequenza di Hubble non e' una
sequenza evolutiva!!!



Ellittiche

E0 E3 E5 E7 S0



Sa



Sb



Sc

Spirali



SBa



SBb



SBc

Irregolari



Colore rosso
Stelle "vecchie"
Strutture "evolute"

Colore blu
stelle "giovani"
strutture "giovani"

in evoluzione

Come e' fatta una galassia?

Colore \leftrightarrow contenuto

Sirio \rightarrow colore blu, giovane,
calda [A]

Betelgeuse \rightarrow colore rosso
vecchia, fredda [M]

Polveri \rightarrow assorbimento

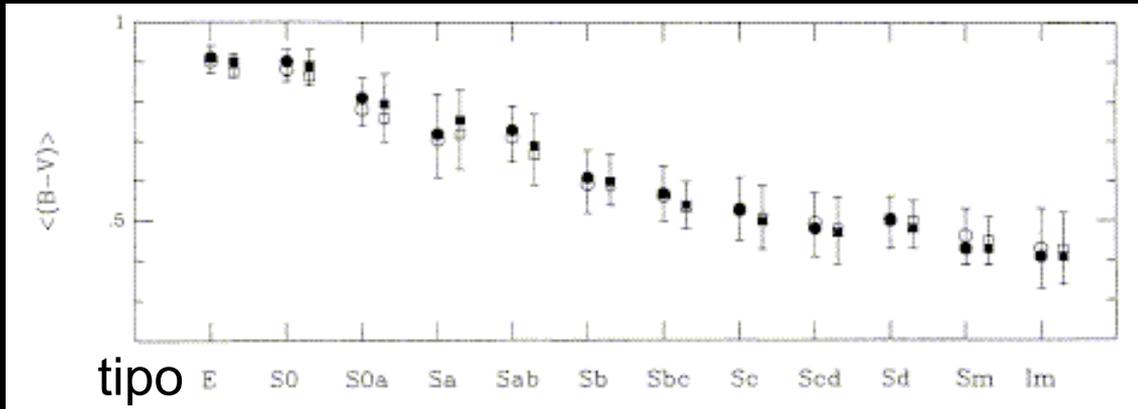
Polveri \rightarrow emissione



Nebulosa "IC 1396"

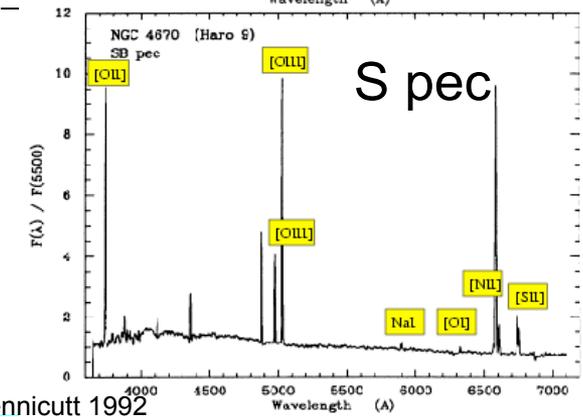
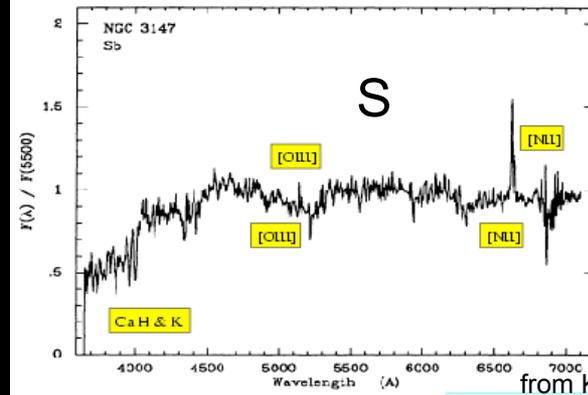
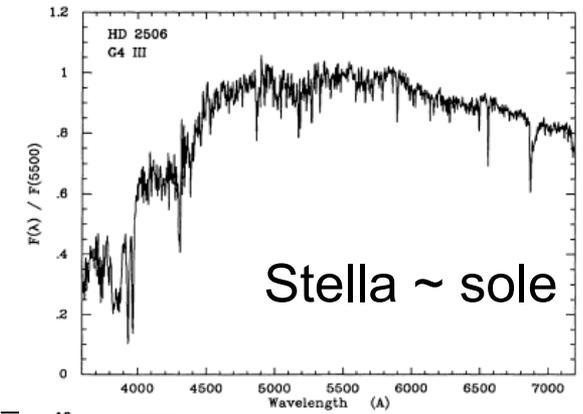
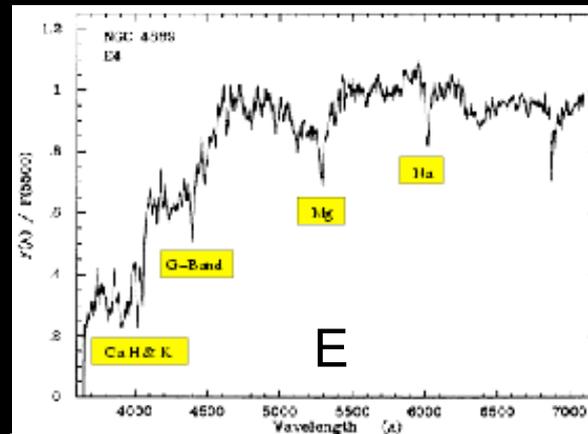


Legame tra colore, tipo morfologico, contenuto stellare



In Ellittiche:
righe di assorbimento dovute a metalli nell'atmosfera stellare della popolazione di stelle "medio-vecchie" e di bassa luminosità.

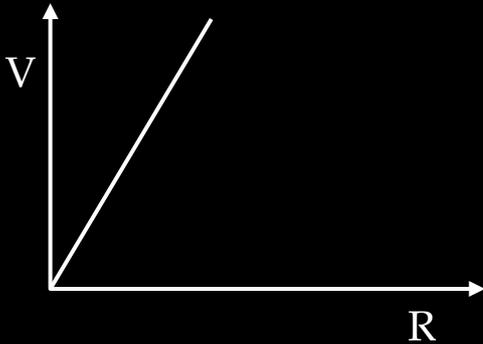
In Spirali:
Righe di emissione dovute a stelle calde giovani+ assorbimenti dovuti alla popolazione stellare vecchia.



from Kennicutt 1992

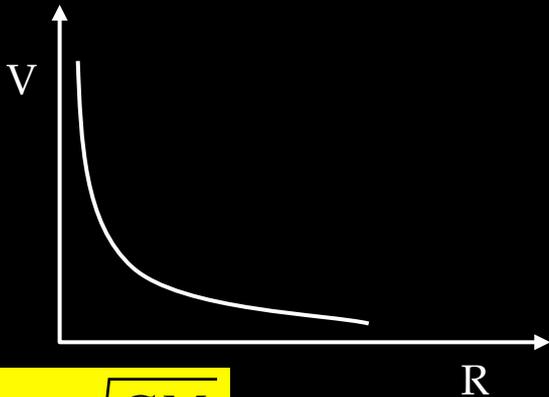
Cinematica delle stelle in Spirali

Regioni interne: corpo rigido

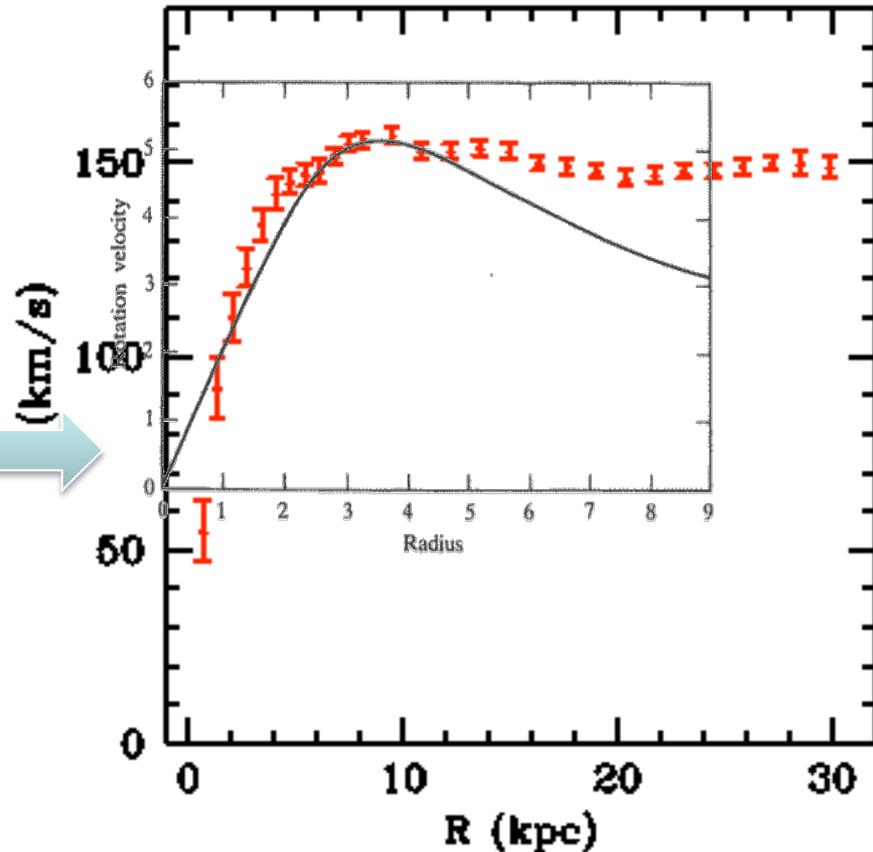


$$V = \omega R \Rightarrow V \propto R$$

Regioni esterne: rotazione differenziale

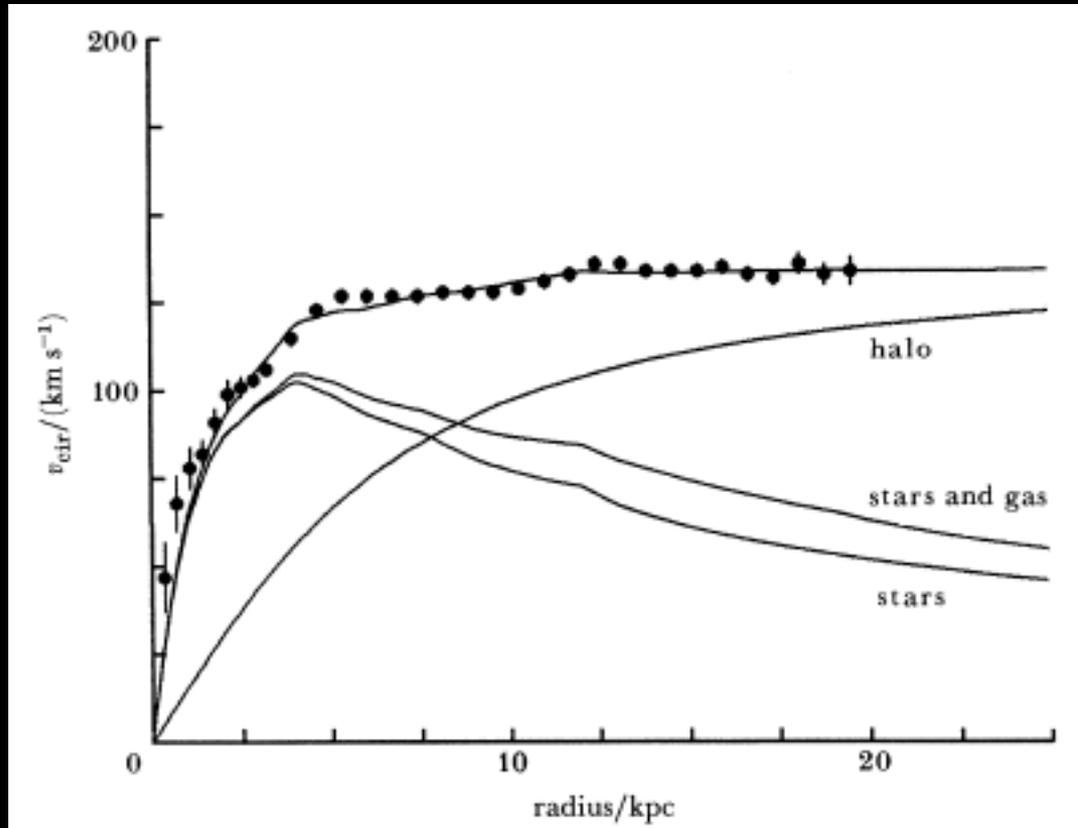


$$V = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$



The rotation curve for the galaxy NGC3198 from Begeman 1989

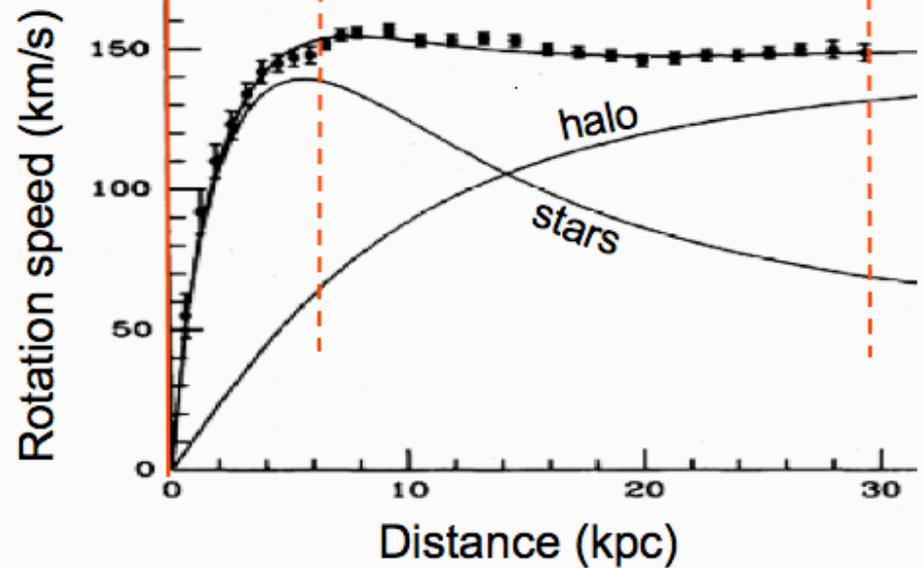
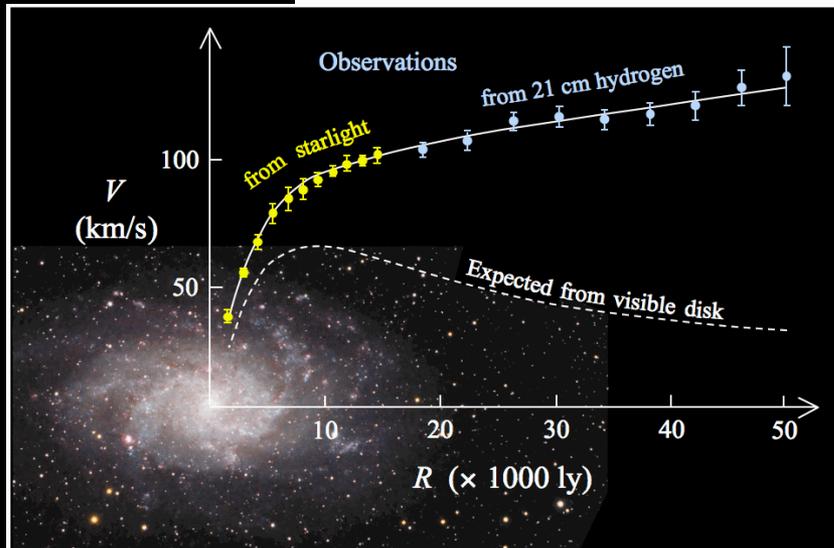
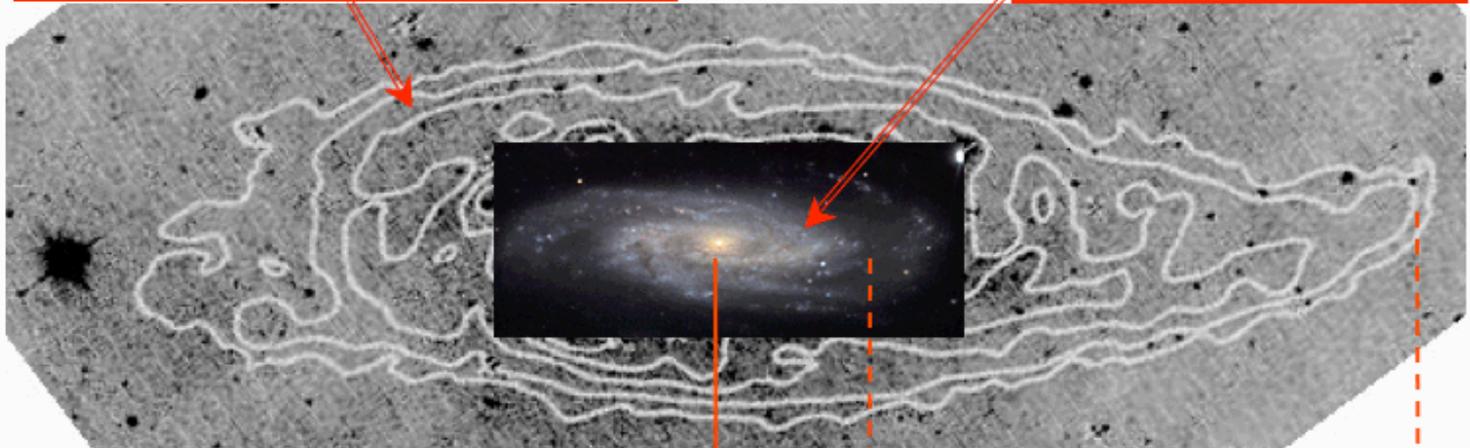
Per interpretare le curve di rotazione:



Aggiunta di un "alone" di materia oscura --

Hydrogen gas: white contours

Optical image: stars



Evidenza viene dalle regioni piu' esterne

NGC 6964: same scale

Optical (stars)

radio 21cm (hydrogen gas)

from Tom Oosterloo's web page

Si sfrutta l'effetto
Doppler anche per le
curve di rotazione

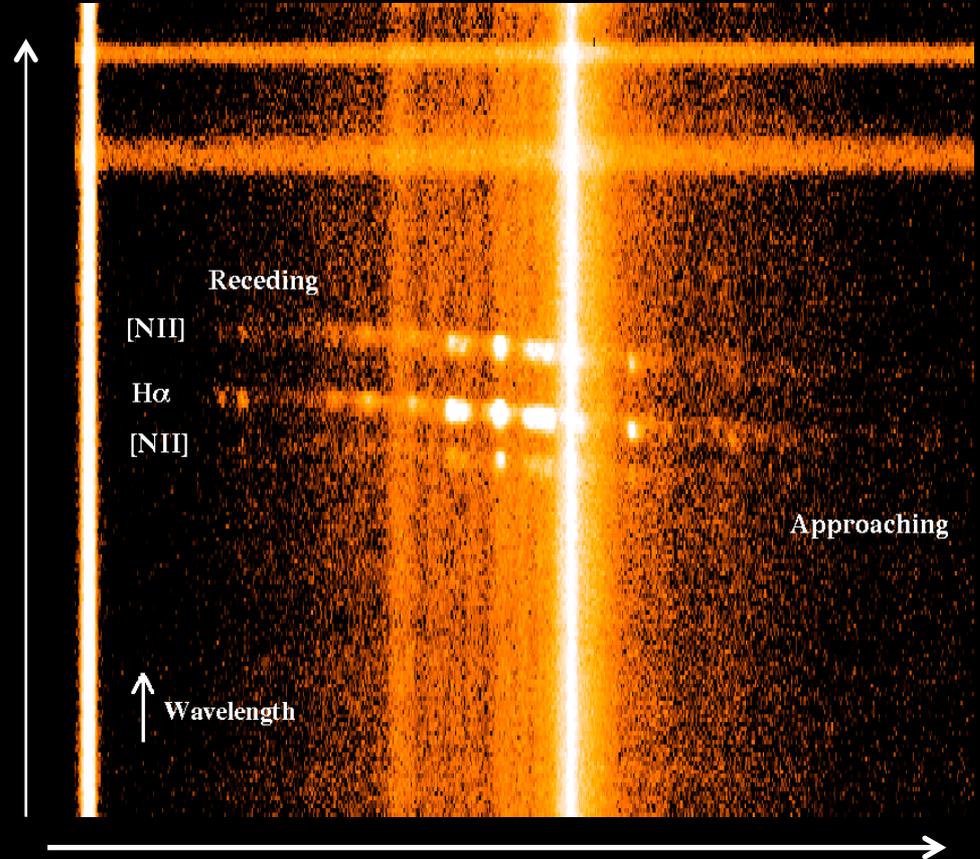
$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

In allontanamento



In avvicinamento

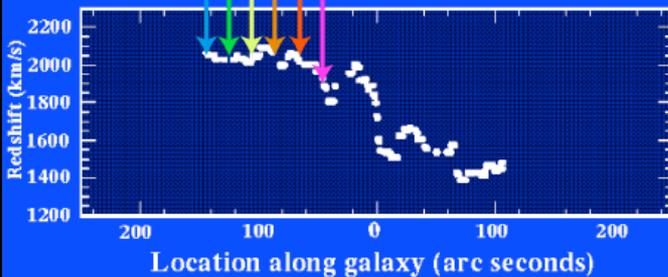
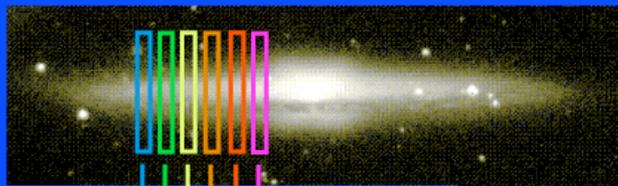
λ



raggio della galassia

spettro di HCG 87a con il telescopio Gemini

NGC 5746



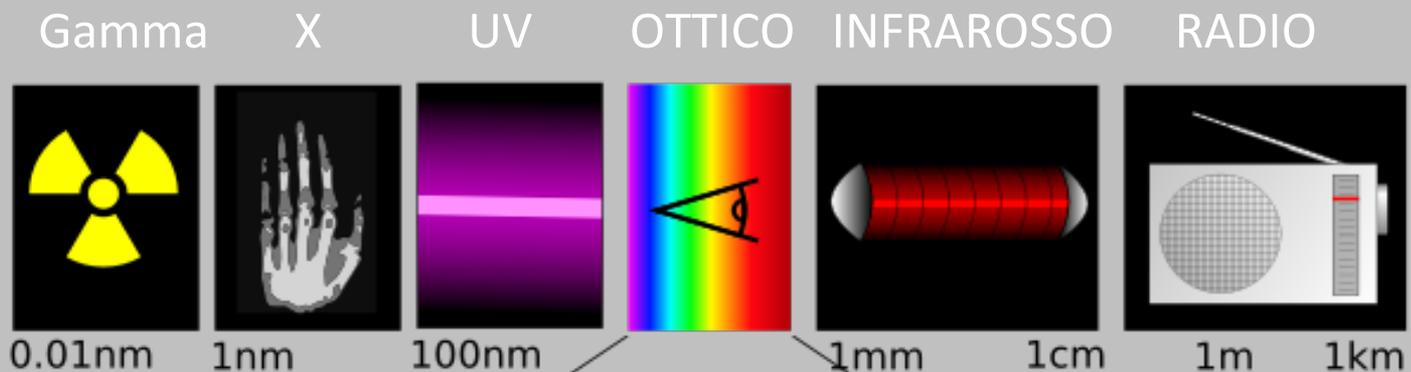
Come possiamo sapere cosa c'è in una galassia?

Osservandola!

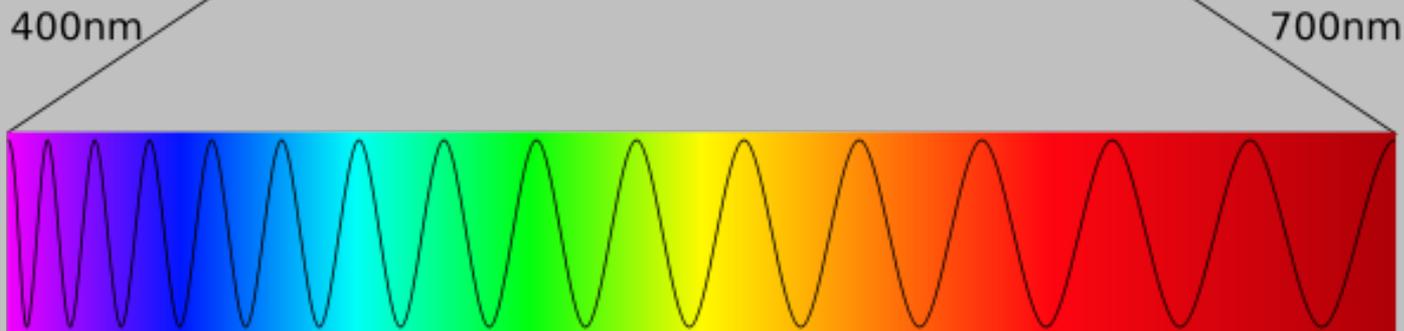
a diverse lunghezze d'onda per "ingredienti" diversi

- ✓ GAS :
 - onde radio [neutro/freddo]
 - righe di emissione [ionizzato]
 - raggi X [ionizzato/caldo]
- ✓ STELLE:
 - ottico/infrarosso/UV/
 - raggi X [popolazione "evoluta"]
- ✓ POLVERE:
 - ottico [fredda in assorbimento]
 - IR [calda in emissione]

c'e' di piu' di cio' che l'occhio vede ...



Noi siamo in grado di VEDERE le onde "VISIBILI" perche' siamo condizionati dal sole, ma ora possiamo usare anche altre onde, come i raggi X e le onde radio, per "VEDERE" l'universo

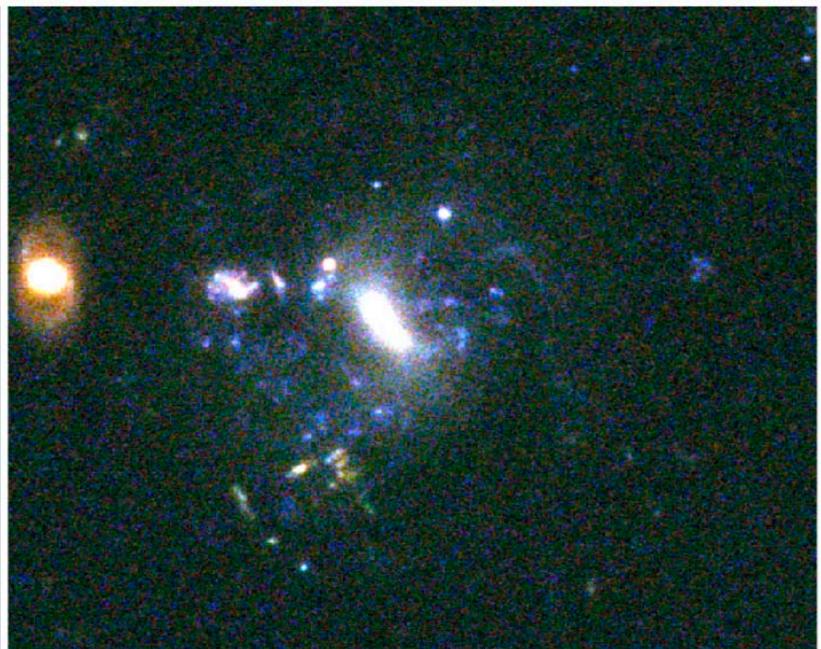
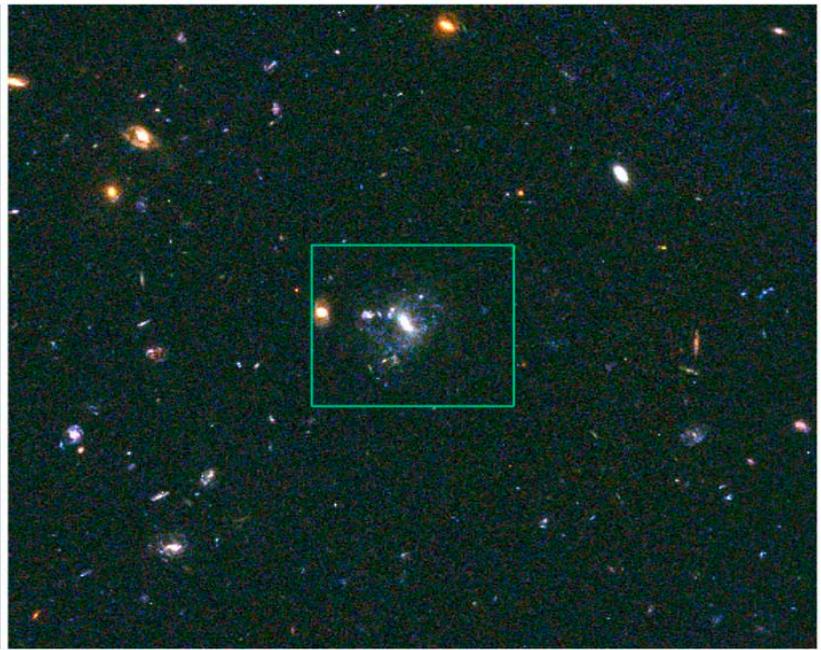
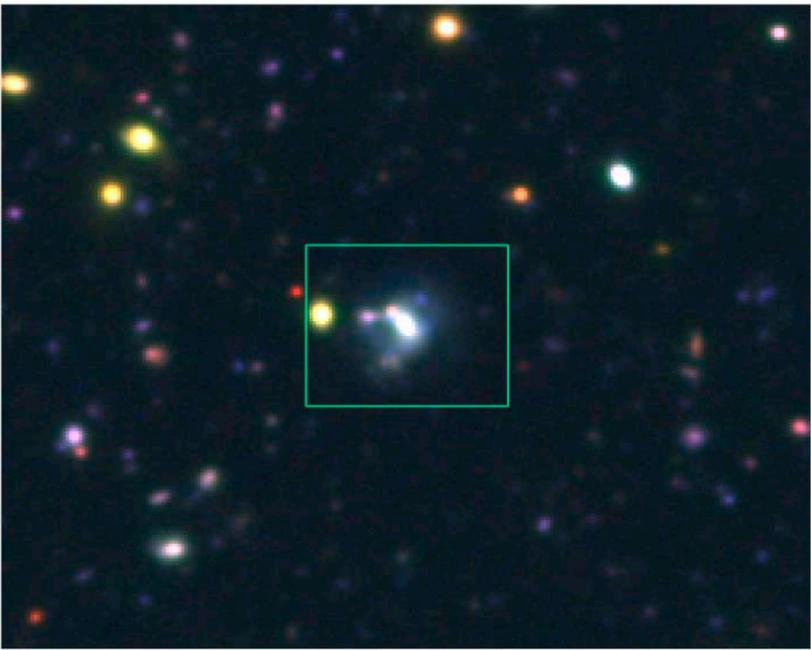


Di

Ground: Subaru (8m)

Space: HST (2.4m)

ze



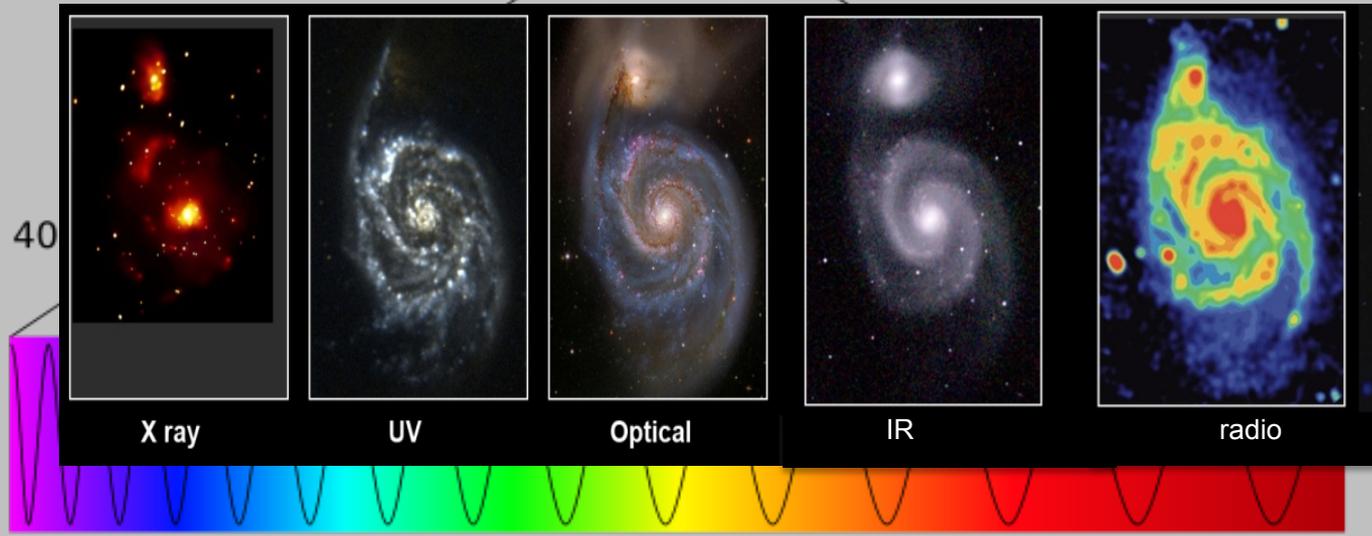
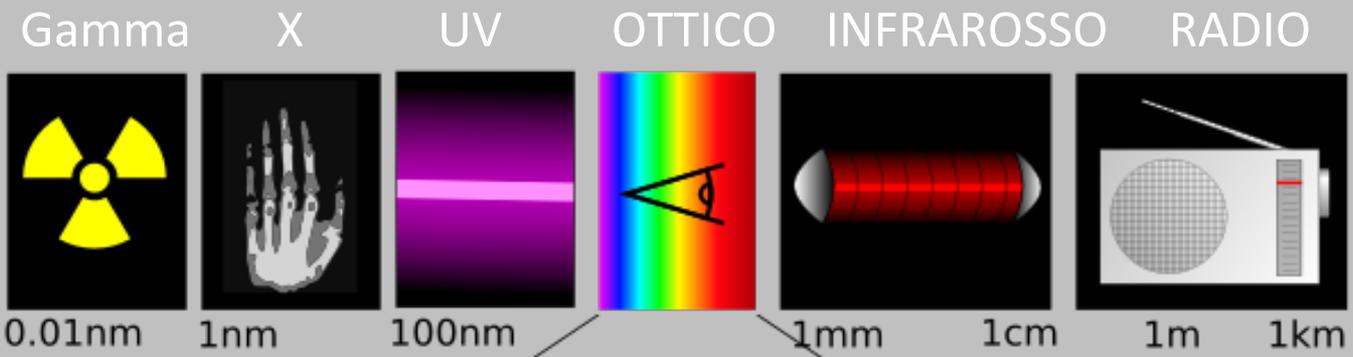
P

M

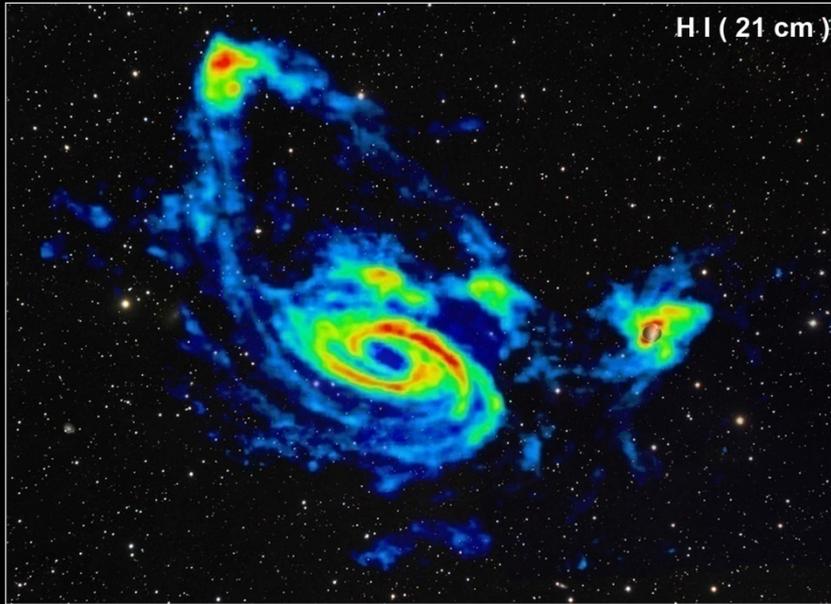
OB

S

c'e' di piu' di cio' che l'occhio vede ...



Altri esempi



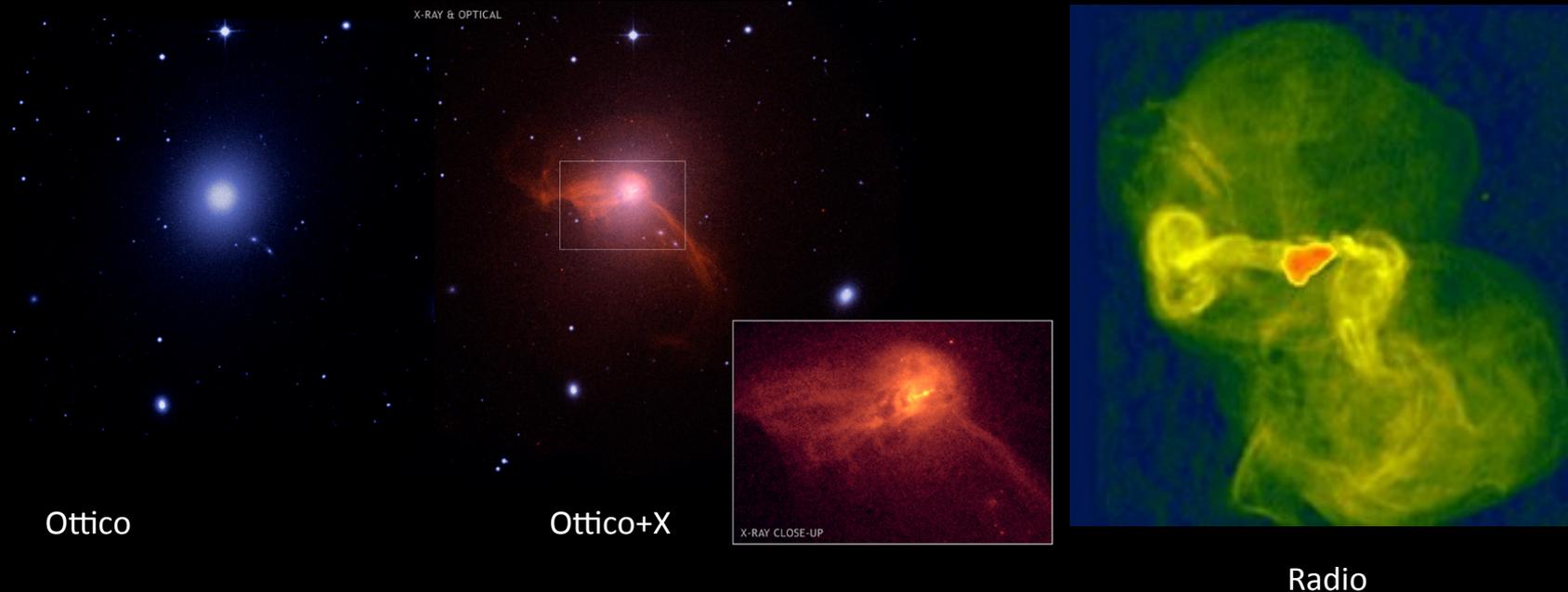
Gas
freddo



stelle

M87 al centro della Vergine

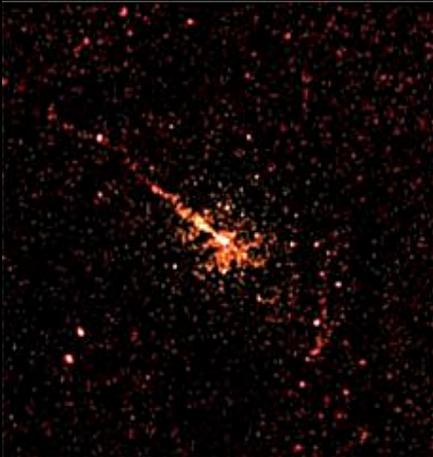
scala ~200,000 Anni Luce



Stelle

Gas caldo
massa totale

particelle
campo magnetico

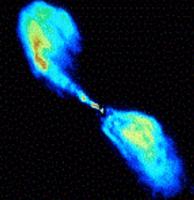
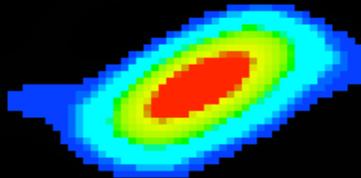


X rays: Chandra

Ultraviolet:
GALEX

Visible Color:
AAO

Mid-Infrared:
Spitzer



Near-Infrared:
2Mass

Far-Infrared:
IRAS

Radio :
VLA

Galassia Sombrero

Distance: 50,000,000 light-years (15.3 kpc)



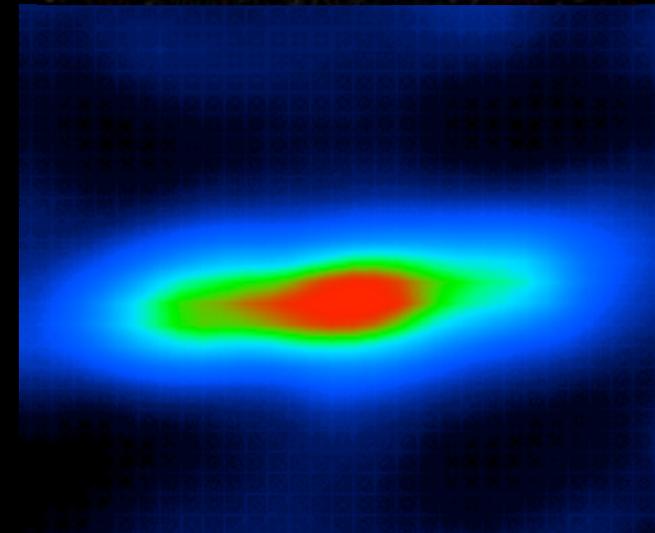
X-rays : Chandra



Visible: HST



Mid-Infrared: Spitzer

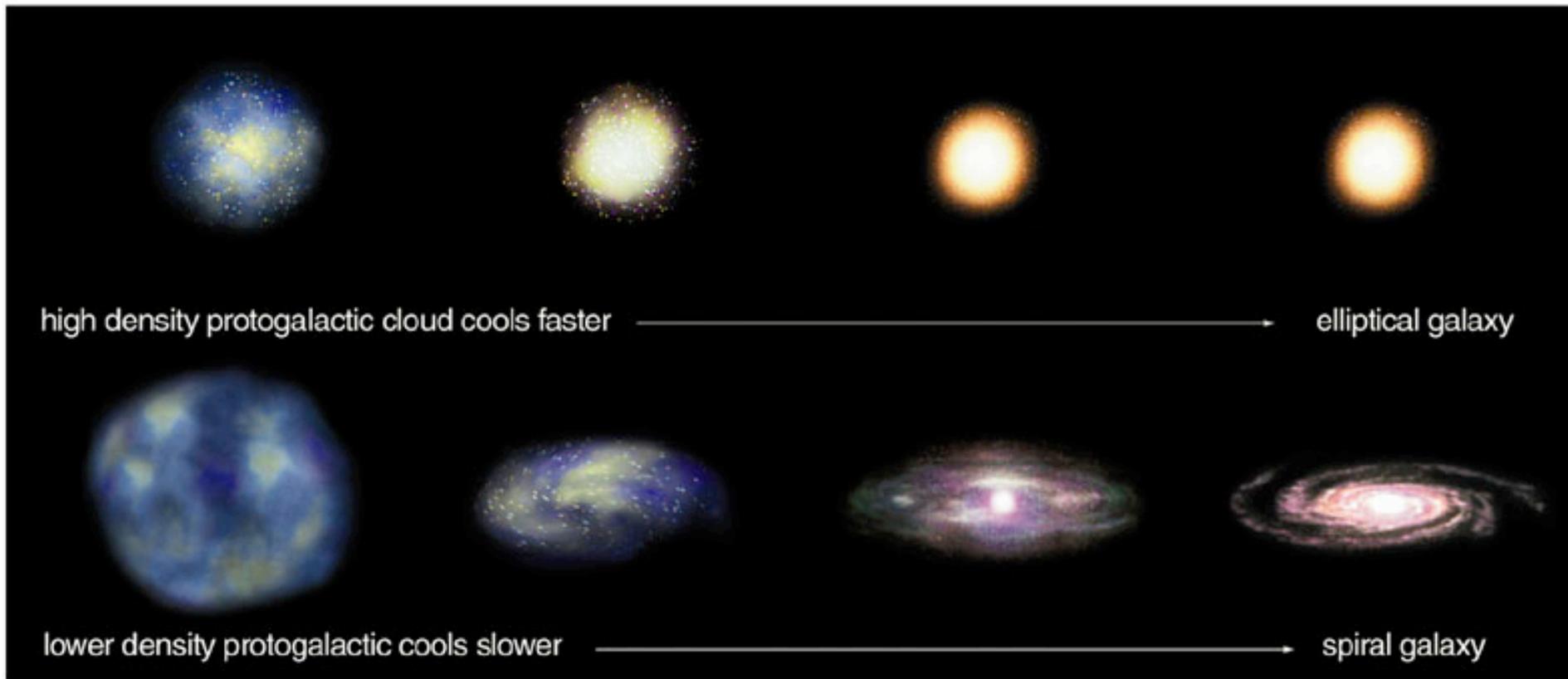


Far-Infrared : IRAS

Come si formano le galassie? si trasformano?

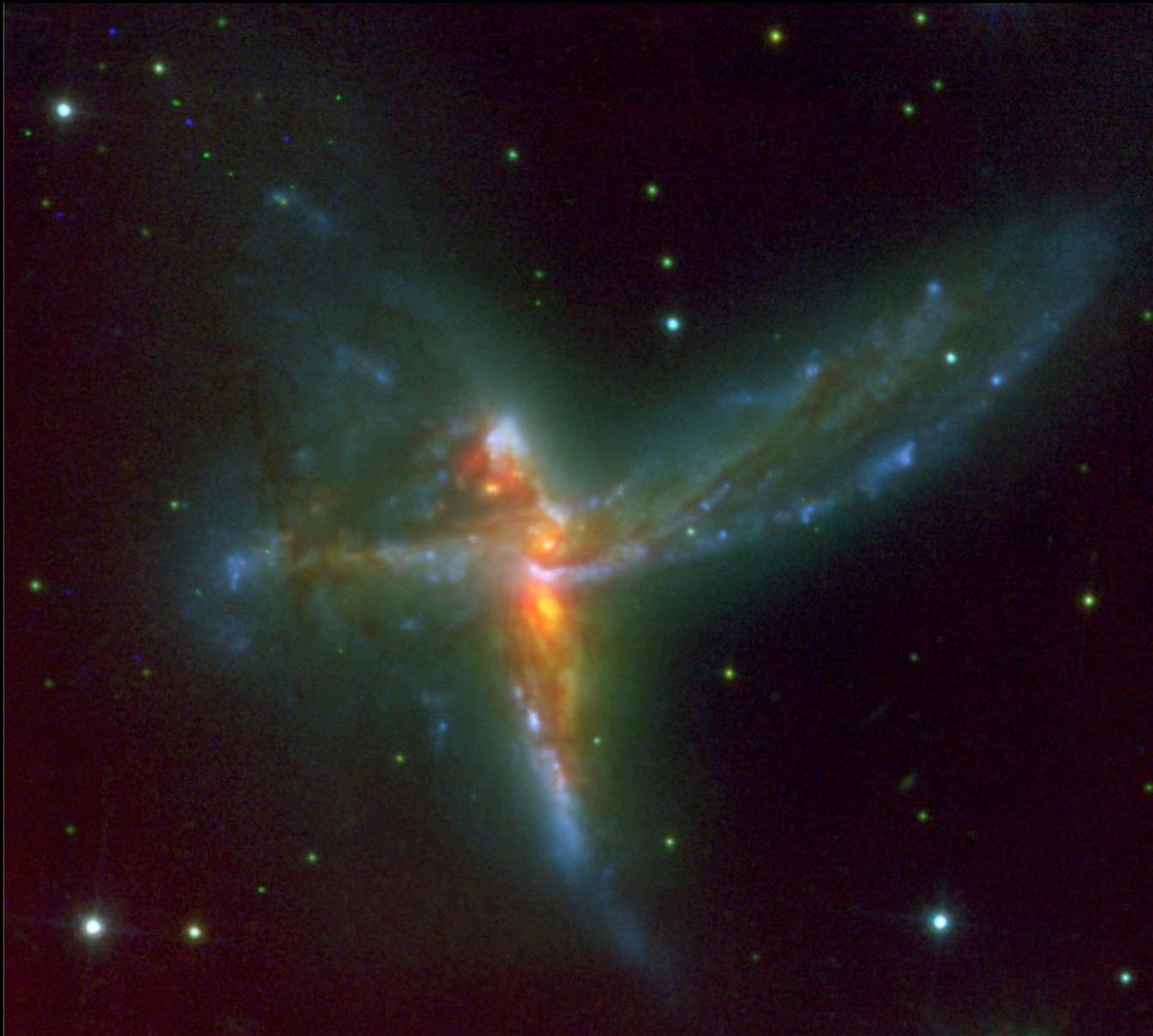
Dalla protonube

al prodotto finale





Galassie interagenti: prima...



durante...



...e dopo!

Danza gravitazionale



Image Credit: NASA/Caltech-JPL

La galassia perde pezzi???



Image credit: [NASA/JPL-Caltech](#)

Ellittiche blu??

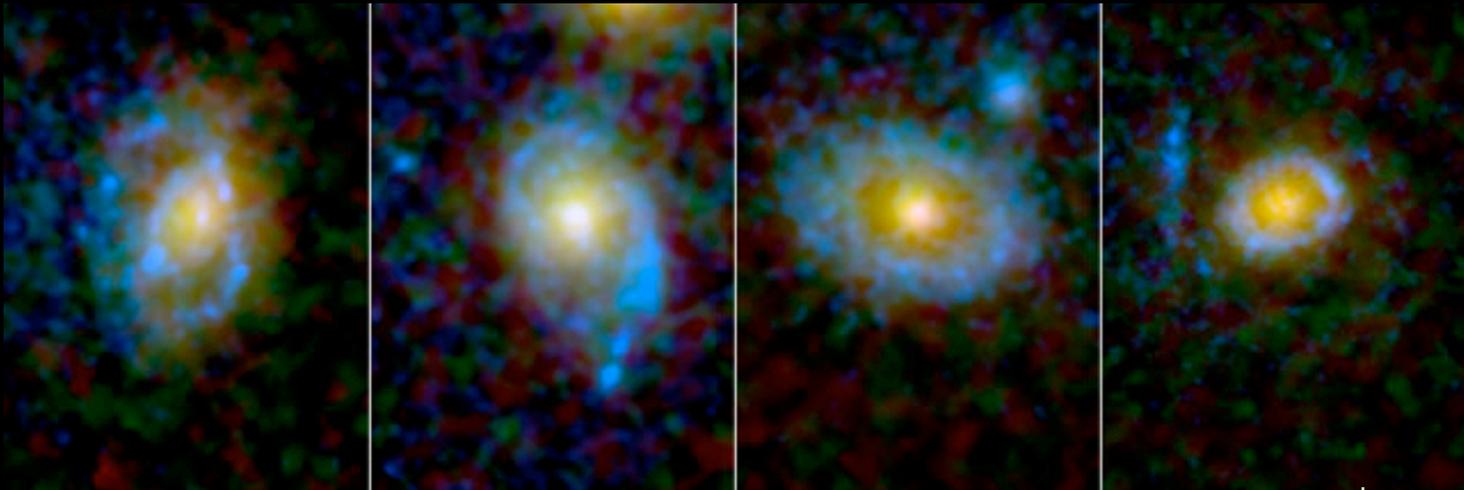
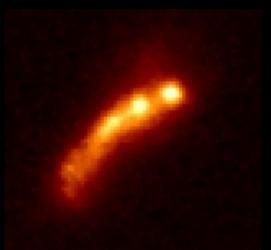
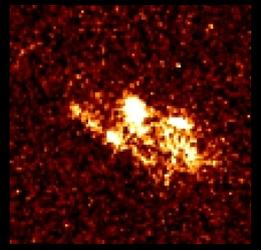
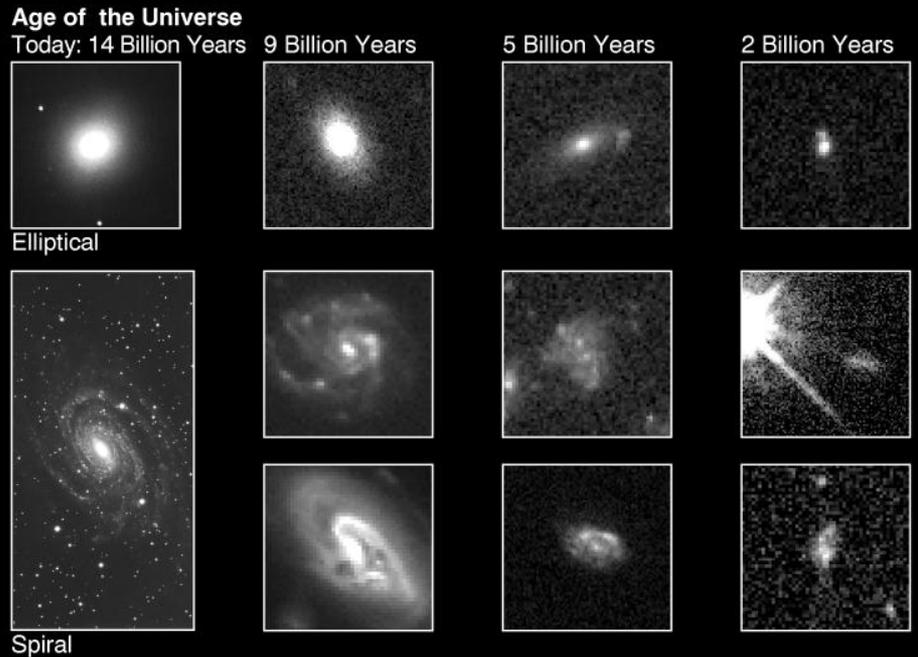


Image credit: [NASA/JPL](#)

Le galassie si trasformano? SI



TEMPO COSMICO



Galaxies: Snapshots in Time HST · WFPC2



alcuni ingredienti

Dove sono nell'Universo : distanze

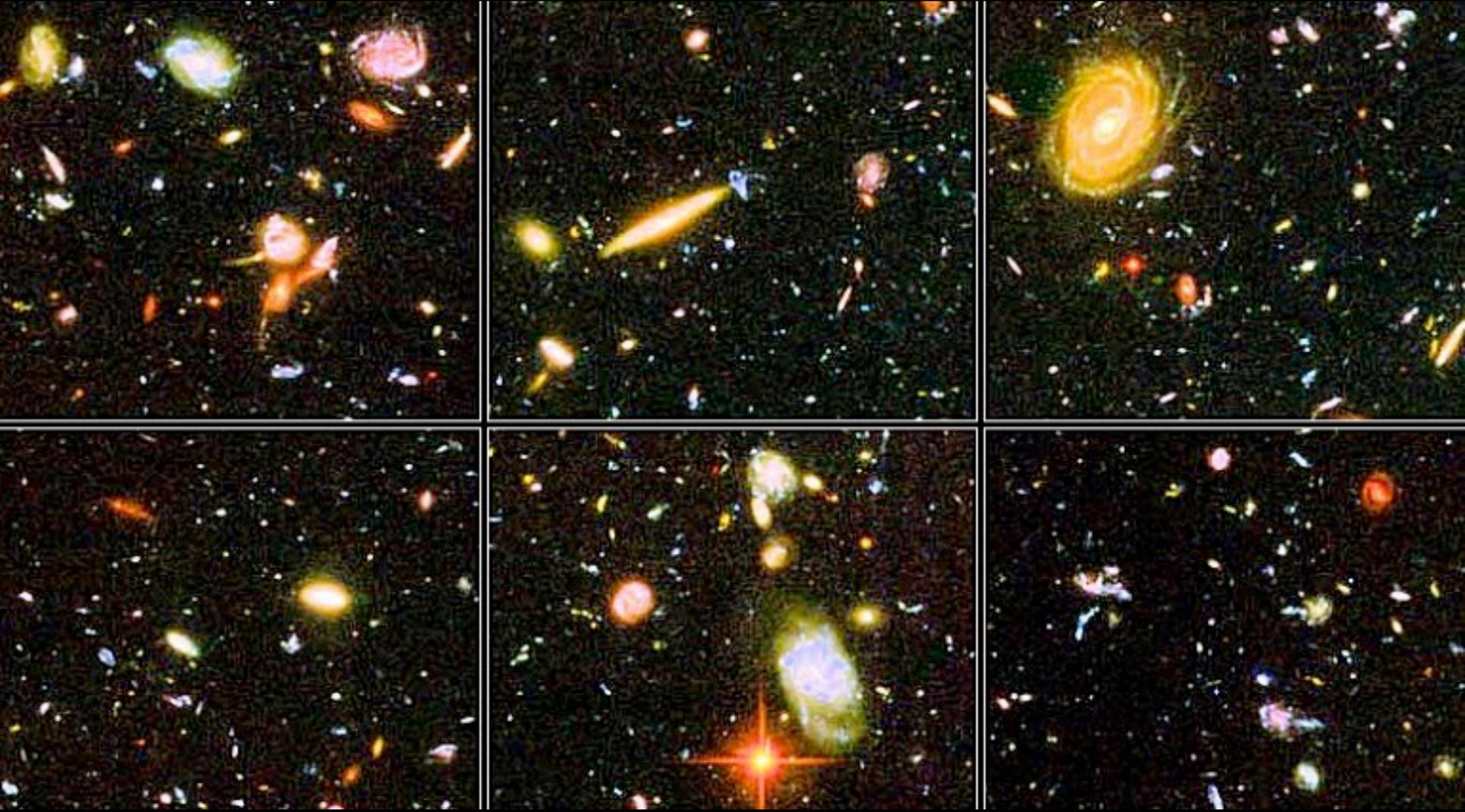
Come sono fatte : morfologia

Dove vivono : ambiente

Universo "locale" ↔ Universo "distante" :
evoluzione e cosmologia



Dove vivono le galassie? a ciascuno il suo ambiente



Vignettes from the Hubble Ultra Deep Field image

Dove vivono le galassie?



Campo rado

Dove vivono le galassie?



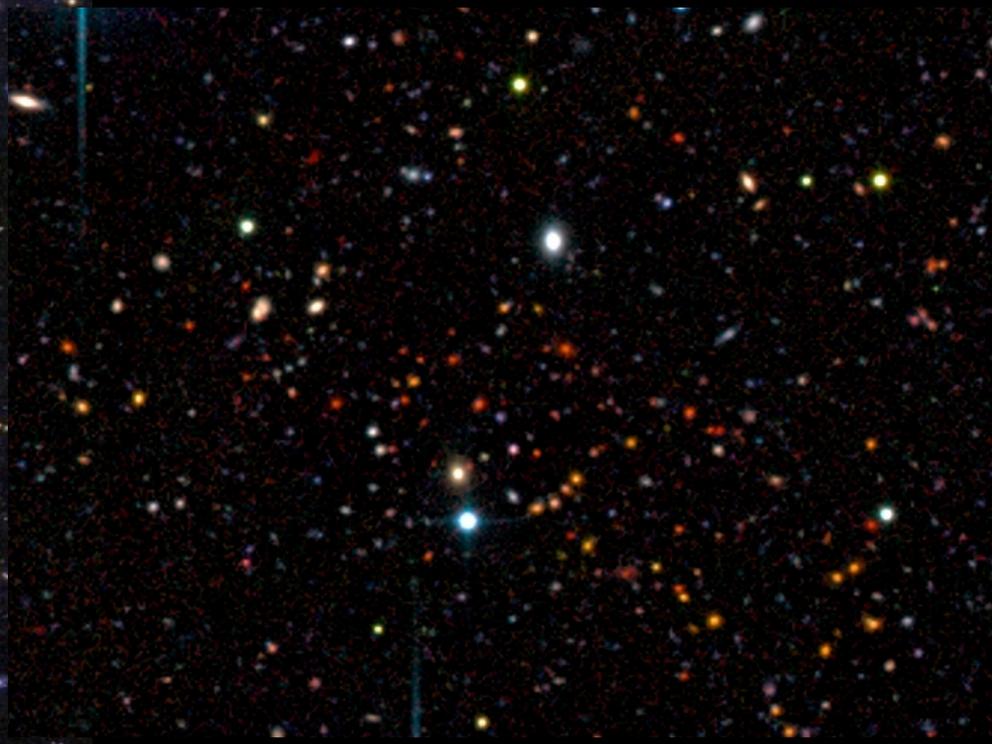
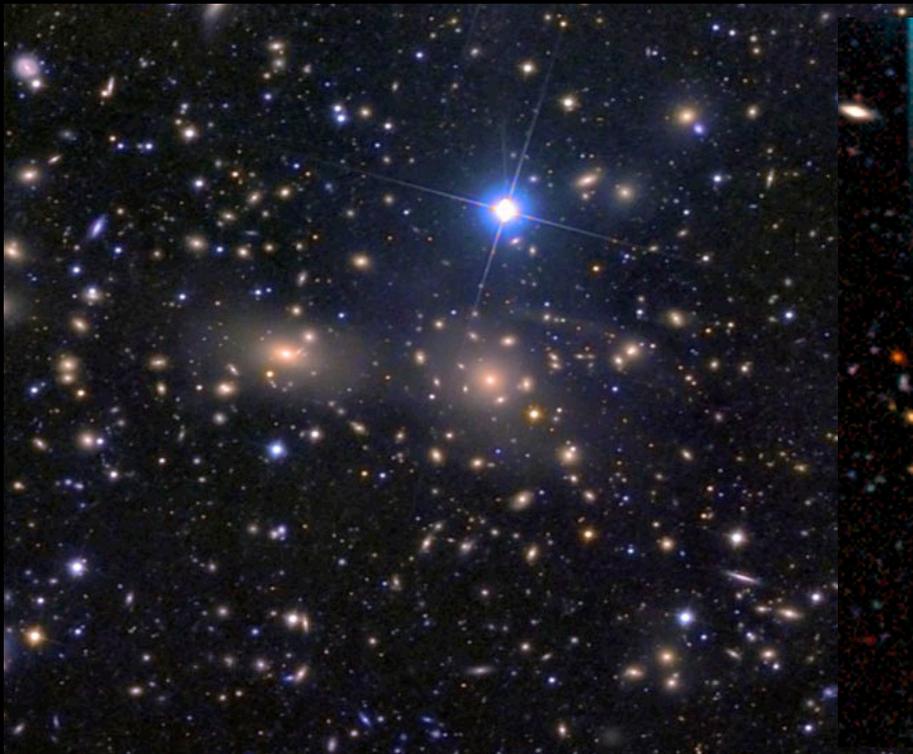
Stephan's Quintet

Campo intermedio: gruppo di galassie

Dove vivono le galassie?

COMA BERENICES @ $z=0$

JKCS041 @ $z=1.8$

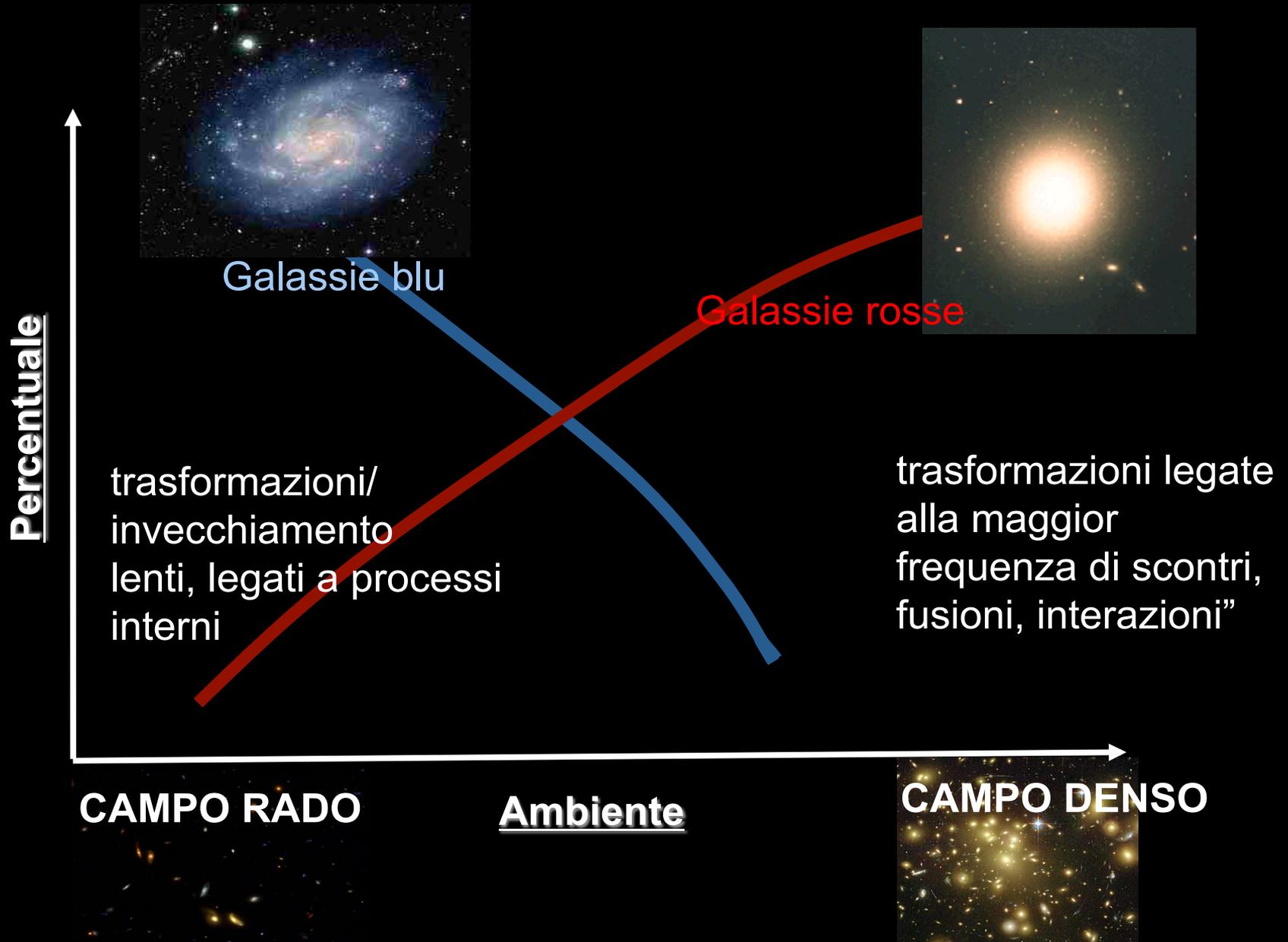


Campo denso --- ammasso di galassie

Dove vivono le galassie?



a ciascuno il suo ambiente !!!!



JKCS041

Grazie