



Istituto Nazionale di Astrofisica

Osservatorio astronomico di Brera



Universo in fiore

Le galassie: forme e colori



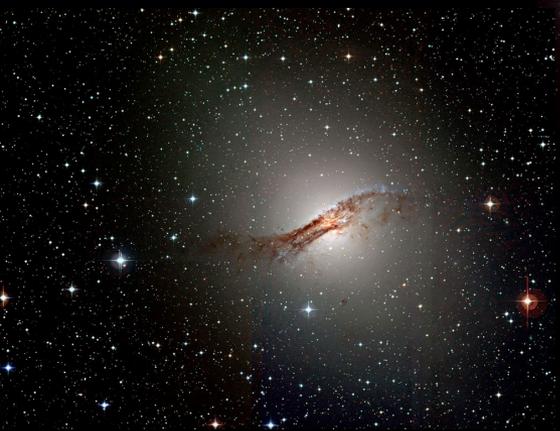
Ginevra Trinchieri

ginevra.trinchieri@brera.inaf.it

INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

28/01/2015

Cos'è una galassia?



Cos'è una galassia?



Stelle
[+ pianeti]



ISM

Gas

Polveri



GRAVITÀ +



“Materia
oscura”

tutto ruota intorno a un nucleo centrale

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"

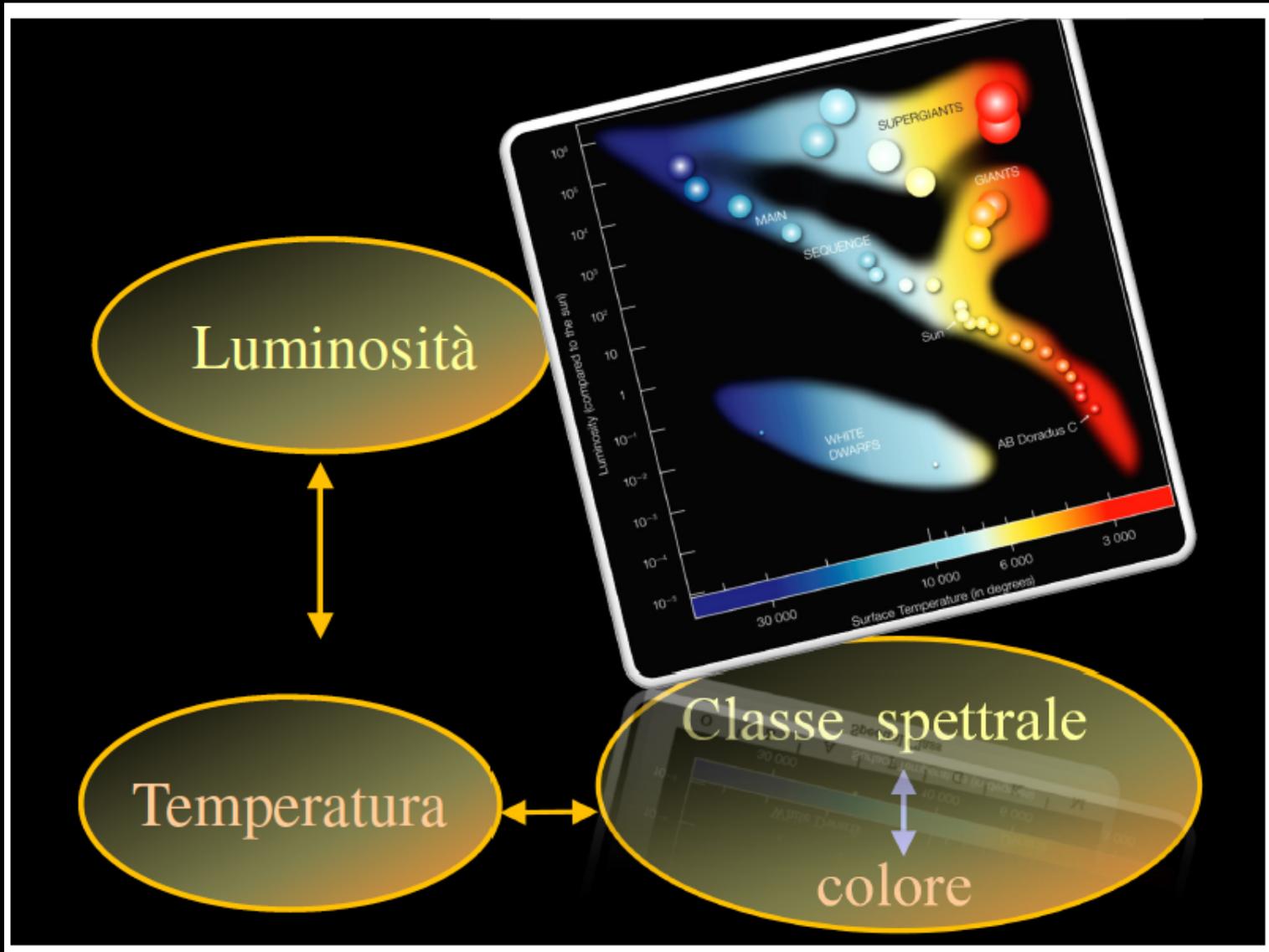
con possibili
sistemi planetari





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

Le Stelle



Mezzo Interstellare ISM

miscela piuttosto rarefatta di

gas [99%] H, He, [C, Ca, Fe, Mg,]

polveri [1%]

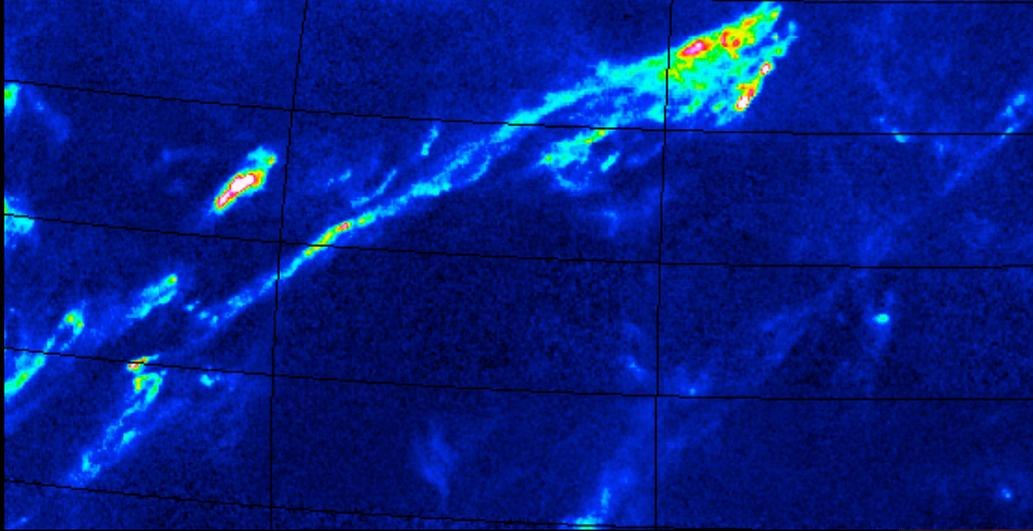
particelle energetiche [raggi cosmici]

campi magnetici

.....

Importante per gli effetti che ha !

Di cosa e' fatta una galassia?



Gas interstellare
 \approx Idrogeno

freddo : neutro
100-300 K

caldo: ionizzato 10.000 K

caldissimo
>1.000.000 K



Di cosa e' fatta una galassia?



polvere \approx silicati, grafite
e altri materiali carbonacei.

Riscaldata: emissione

assorbimento





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

Di cosa e' fatta una galassia?



Materia oscura

a dopo ...

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



Wally Pacholka / AstroPics.co

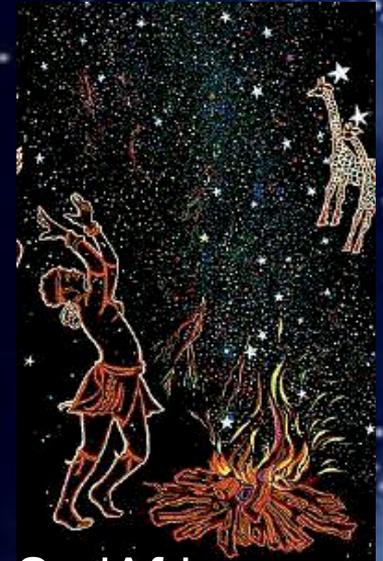
La via Lattea e le Nubi di Magellano dal deserto di Atacama in Cile



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

Come e' fatta la "nostra" Galassia ?



Come e' fatta la "nostra" Galassia ?

Noi viviamo dentro la **Galassia**
e non possiamo uscire -
ma neanche andare in giro

➤ Per "uscire" : osserviamo come e'
"fuori"

➤ Per capire " il fuori" dobbiamo partire dal "dentro" :
la Galassia



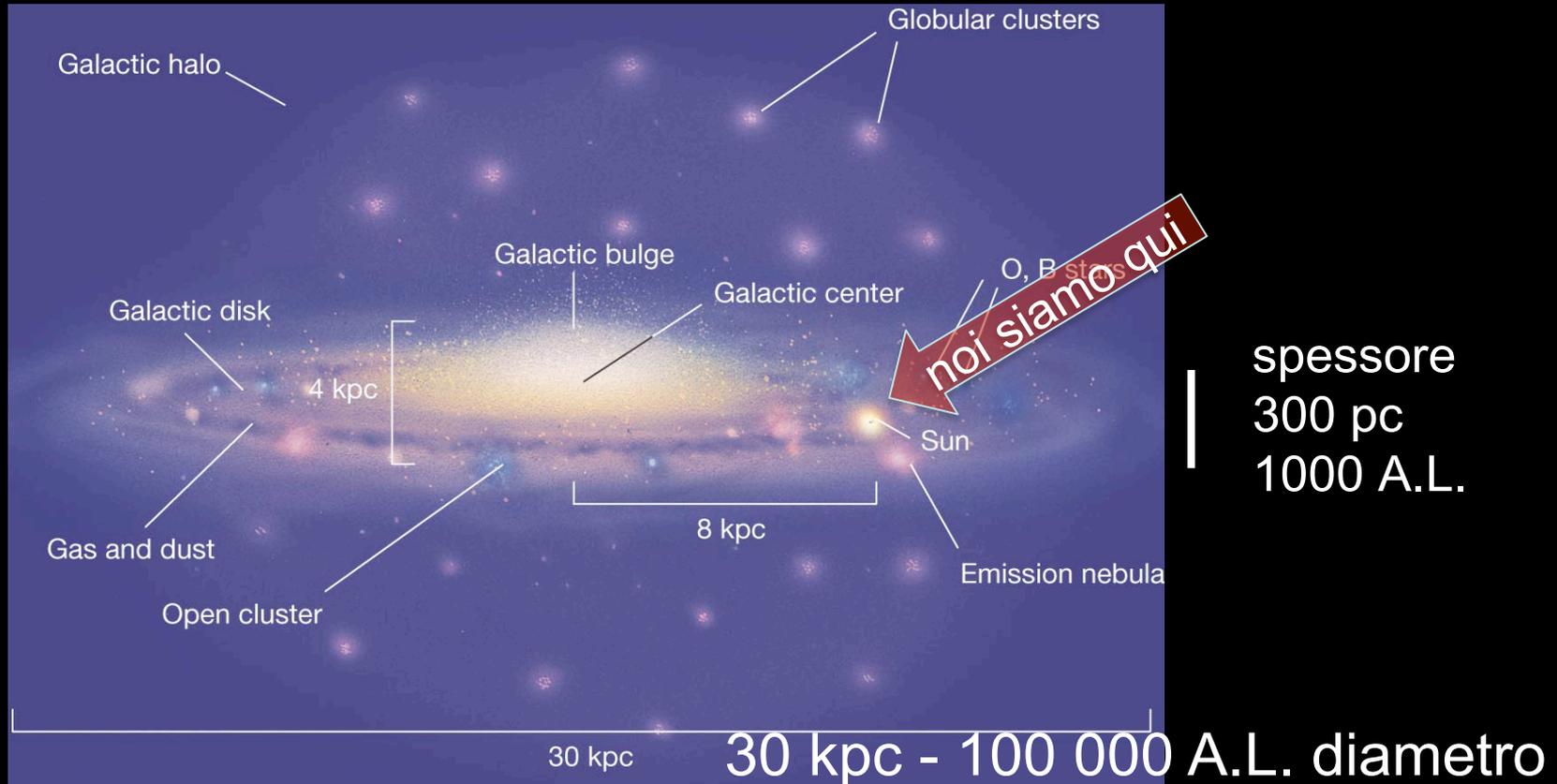
La via Lattea

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

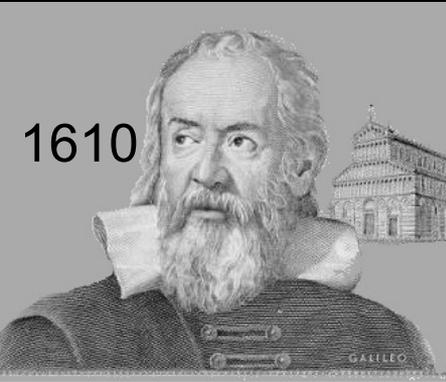


Se potessimo guardare la Via Lattea dall'esterno, ci
apparirebbe così
NGC 6744



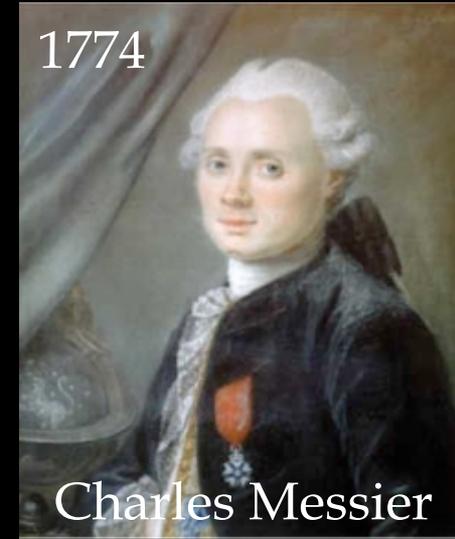
blu verde, arancione e rosso = luce blu, giallo-verde e rossa [stelle] + idrogeno gassoso

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



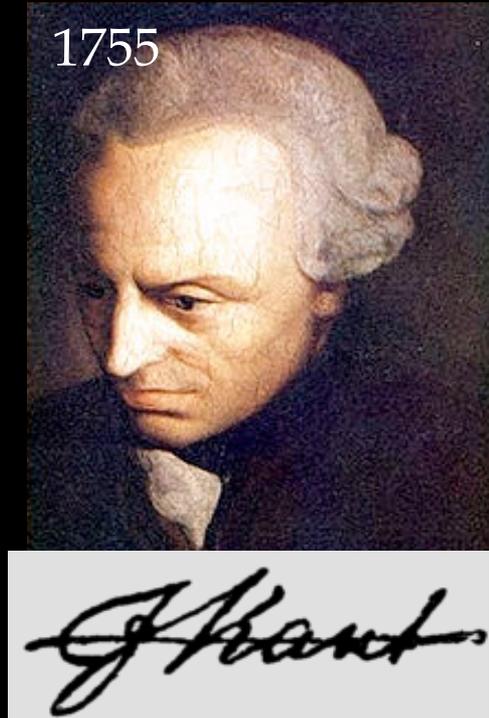
Giordano Bruno

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



Giovan Battista Hodierna

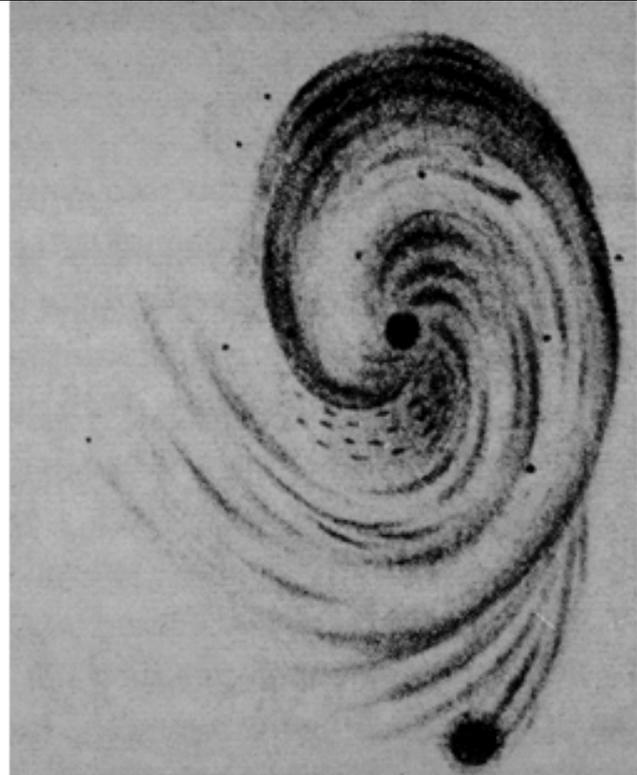
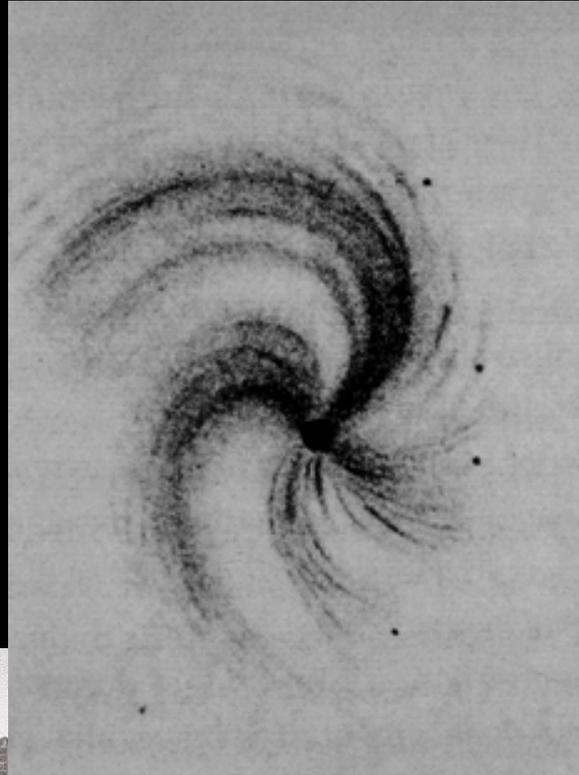
De Admirandis Coeli Characteribus



Storia universale della natura e teoria del cielo

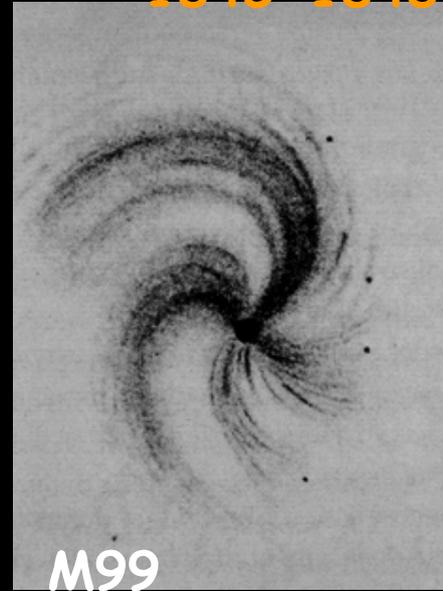
Le prime "immagini" di struttura a spirale

1845-1848

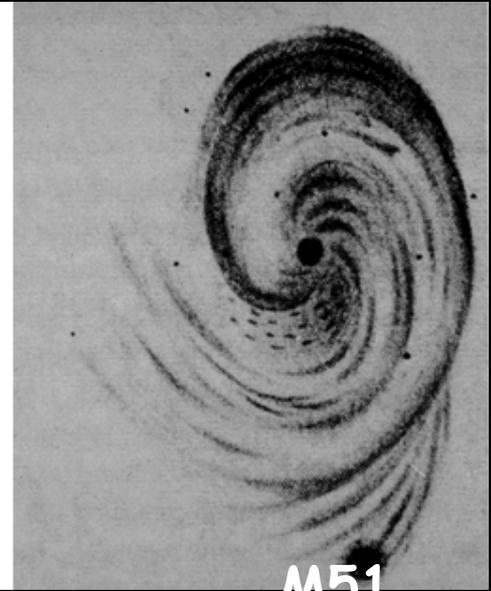


Lord Rosse e i moderni telescopi a confronto

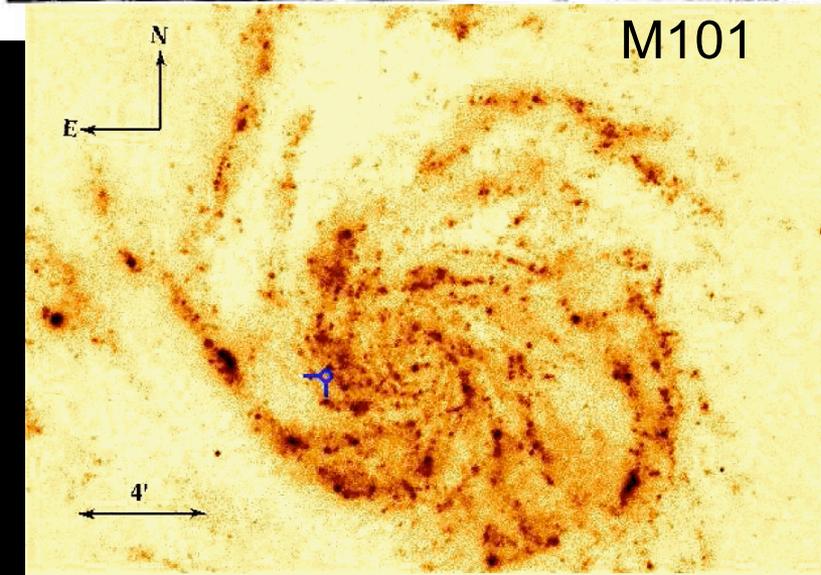
1845-1848



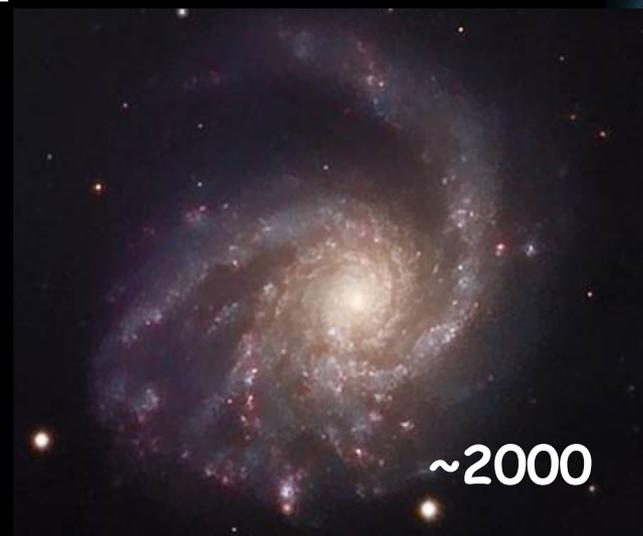
M99



M51



M101

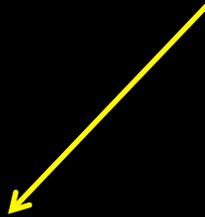
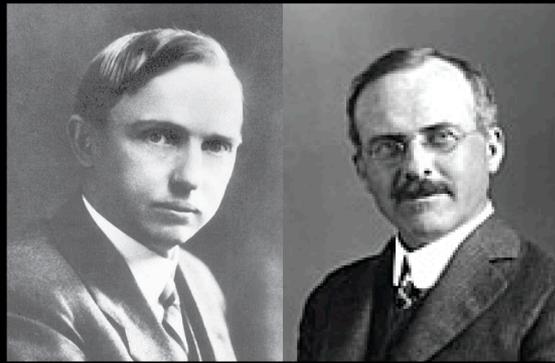


~2000

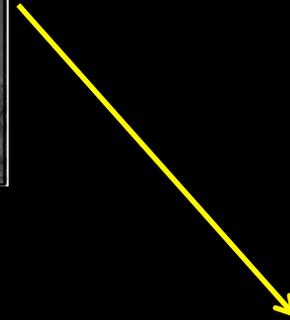


Le Nebulose diventano Galassie! il grande dibattito ~1920

Harlow **Shapley**—Heber **Curtis**



la Galassia è la “totalità” dei mondi!



Andromeda e le altre nebulae sono
galassie separate dalla nostra

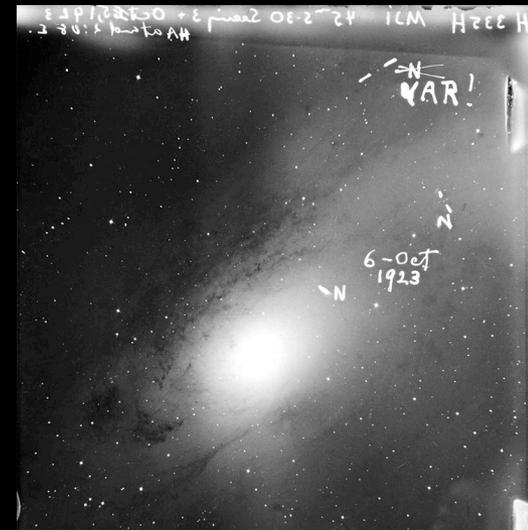
Le Nebulose diventano Galassie! ~1920

1923: Edwin Hubble scopre una stella variabile
“troppo luminosa” nella nebulosa di Andromeda

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



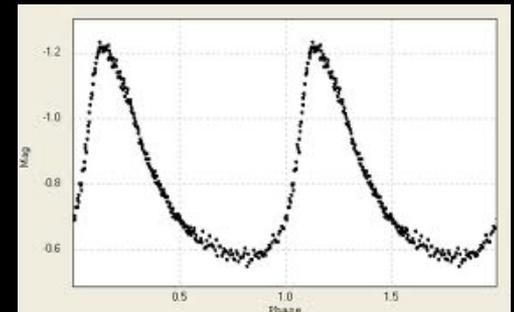
Hubble osserva con il
telescopio da 2,5 metri
di Mount Wilson



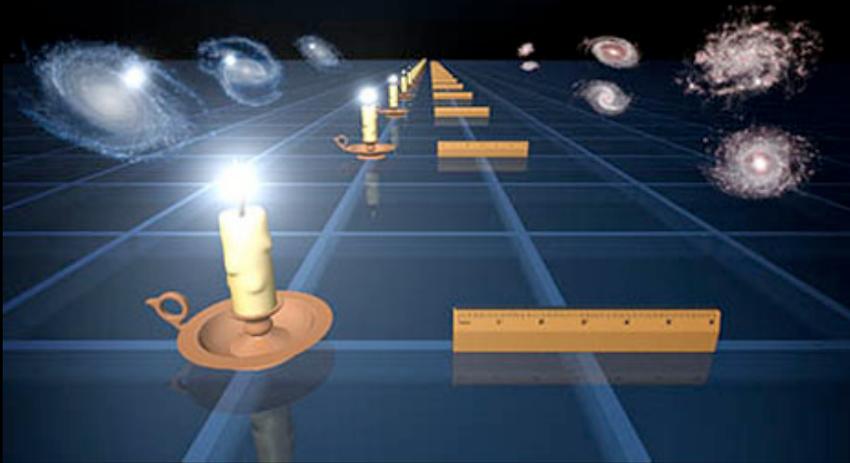
La stella cefeide vista da E. Hubble “oggi” con il telescopio Hubble



NASA / ESA / Hubble Heritage Team



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



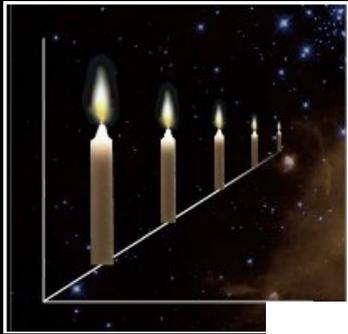
Candela Standard

IPOTESI

L'oggetto e' lo stesso
la “distanza” modifica cio'
che vedo e misuro

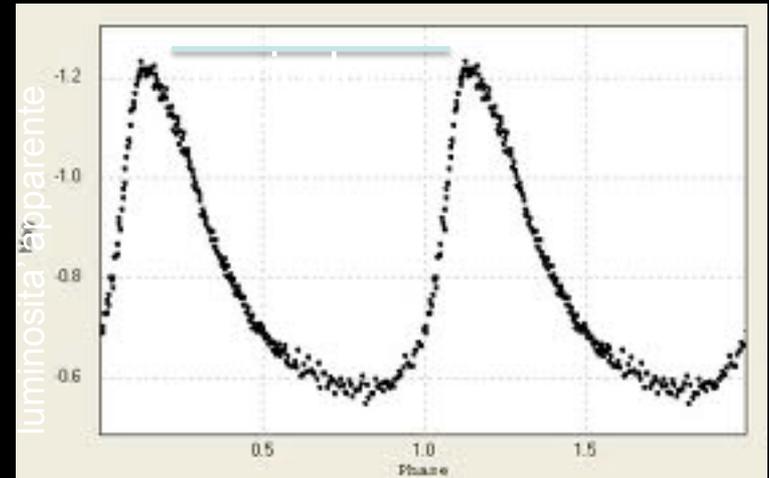
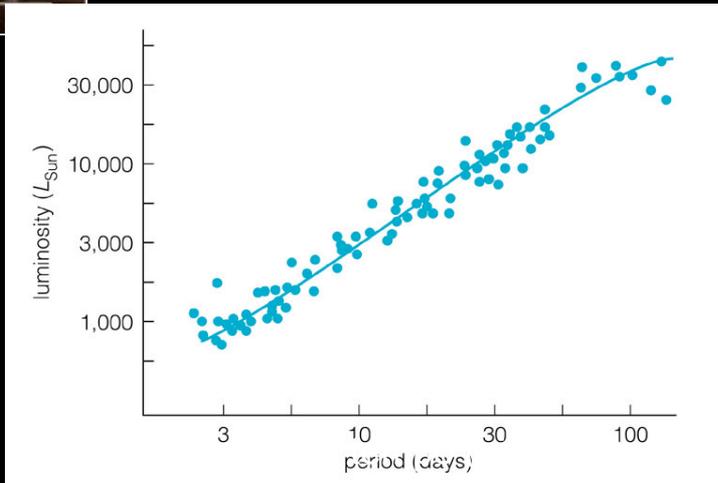


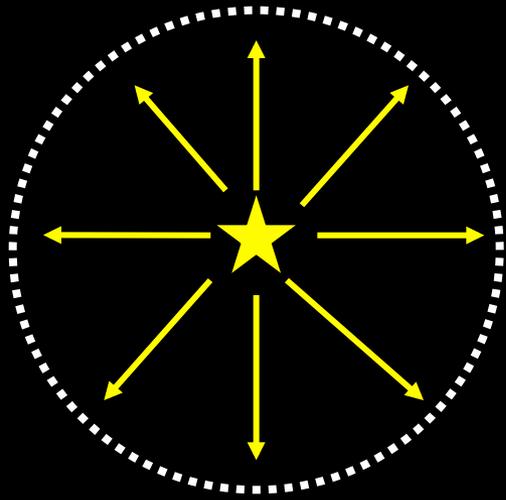
La stella cefeide usata come “candela standard” per la misura delle distanze



Relazione Periodo-
Luminosità

1922 Miss Henrietta Lewitt





È quello che ricavo
dalla relazione

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

È quello che misuro
con gli strumenti

È quello che riesco
ad ottenere

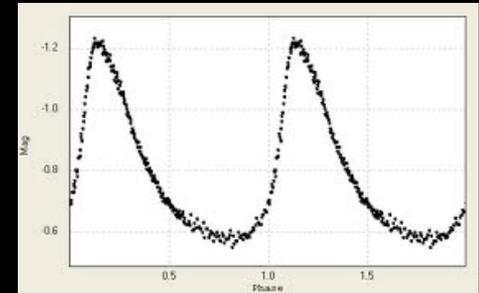
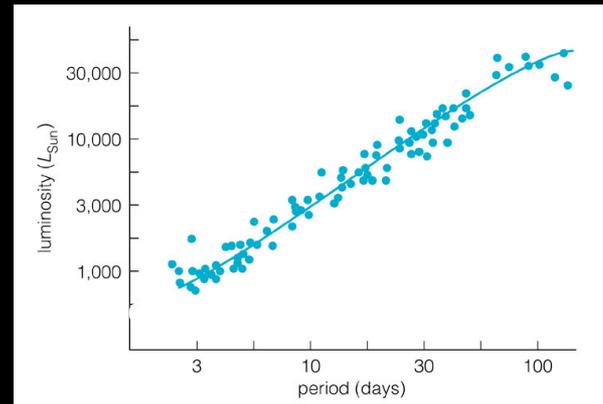
La stella cefeide usata come “candela standard” per la misura delle distanze



1922 Miss Henrietta Lewitt



Relazione Periodo-Luminosità



Dalla relazione $L[M]$ e P , m

→ D

per M31 : $D \sim 700$ kpc \emptyset Galassia ~ 30 kpc

$1 \text{ pc} = 3,1 \times 10^{16} \text{ m}$
 $\sim 3,26$ anni luce.

Perche' sono importanti le Galassie

Testimoni del passato e del presente!

Elementi fondamentali dell'Universo

Cosa ci insegnano?

Perché sono come le vediamo oggi?

Possiamo capire come saranno in futuro?

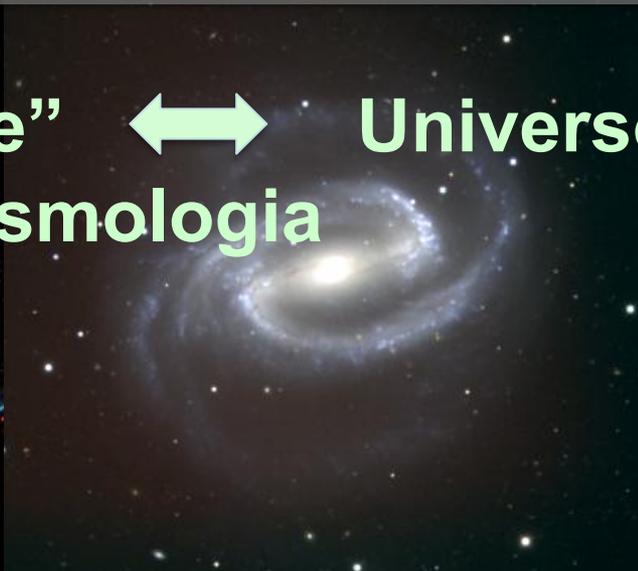
alcuni ingredienti

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]

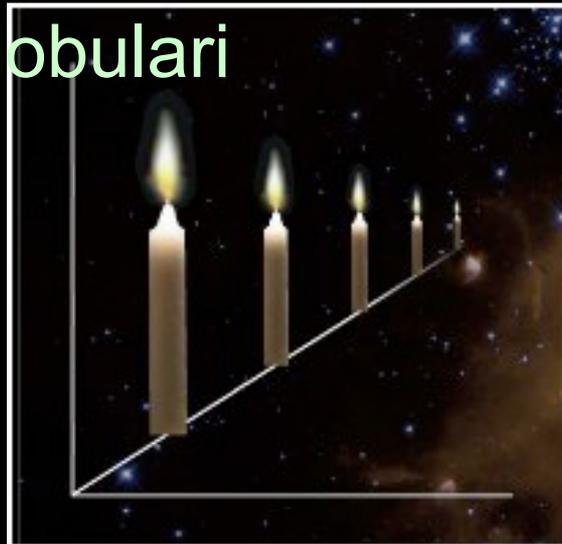
Nebulose planetarie

Supergiganti

Ammassi Globulari

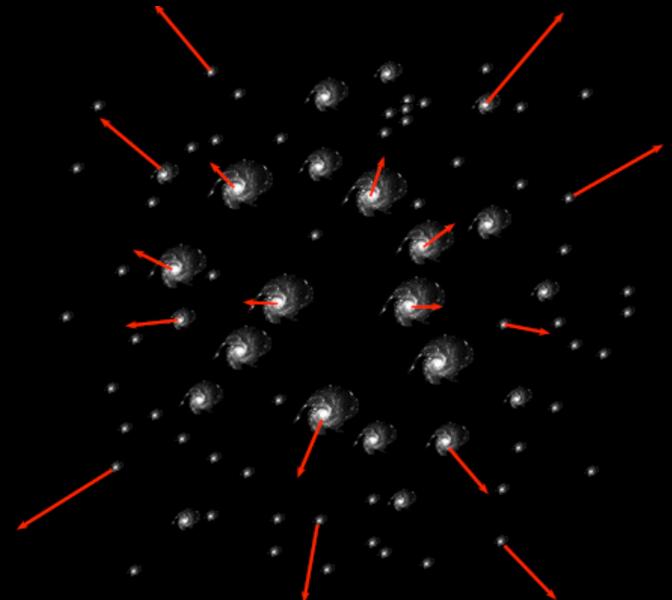
....

SN tipo Ia



usando l'espansione
dell'Universo

velocità di recessione
“z”

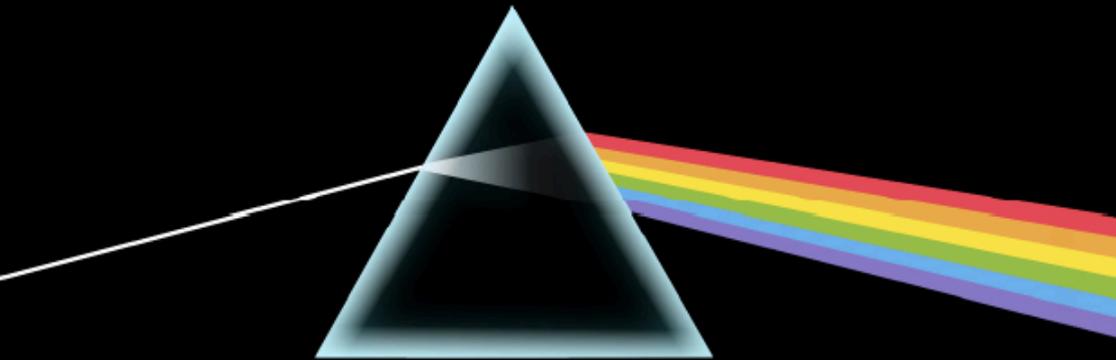


Scomposizione
della luce

+

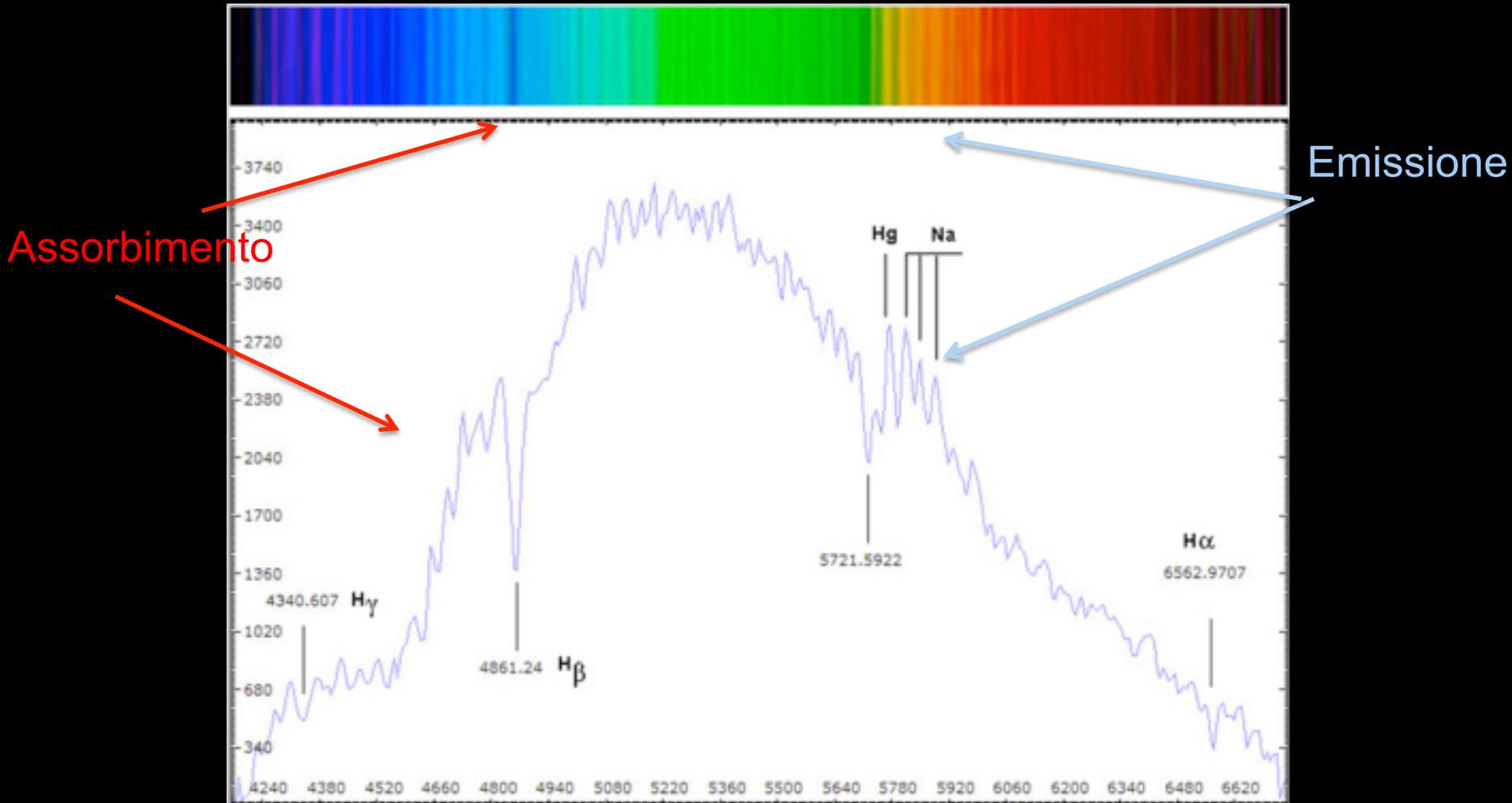
Effetto Doppler

(non relativistico)



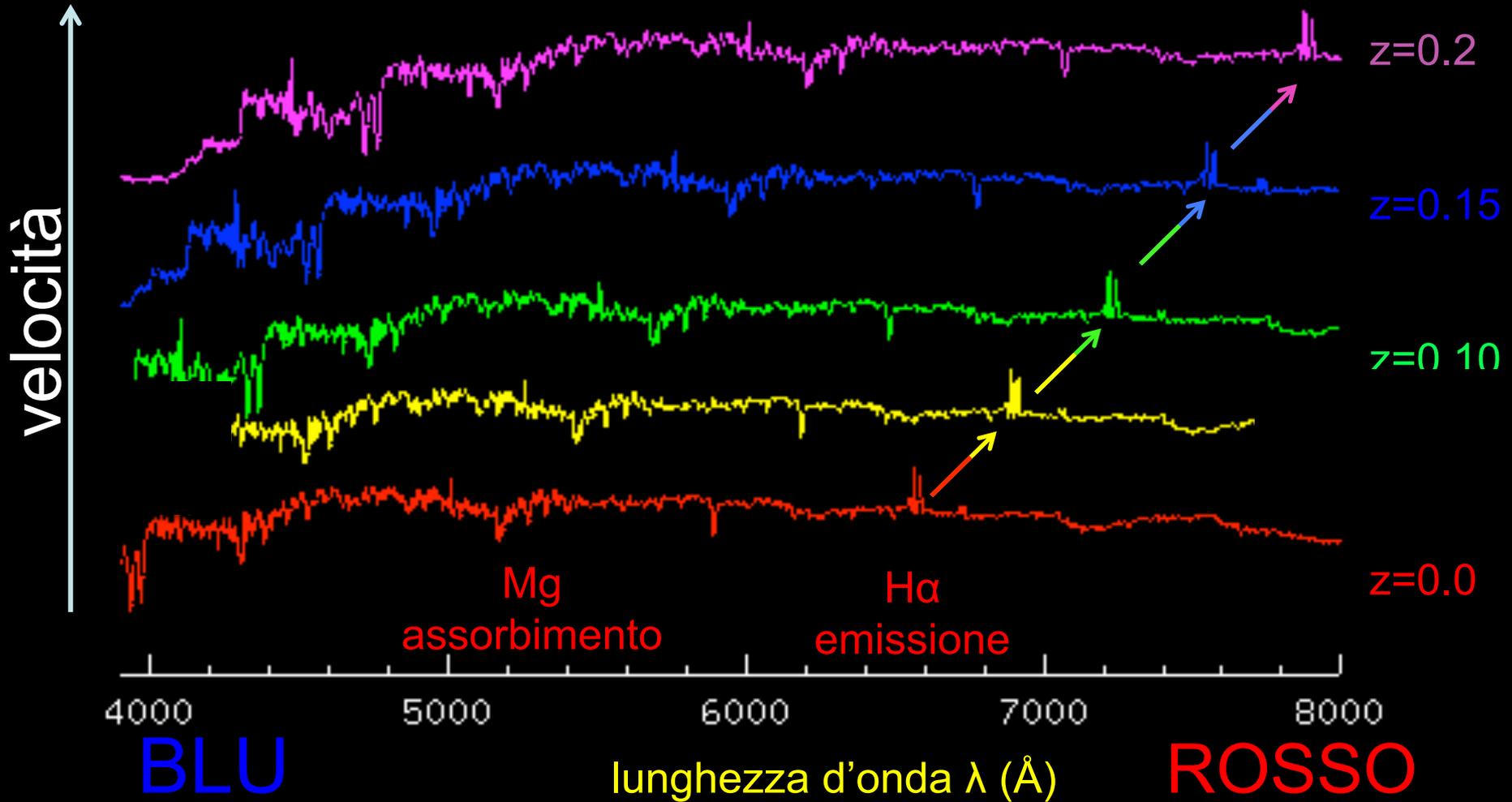
$$\frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} = \frac{v_s}{c} \approx z$$

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



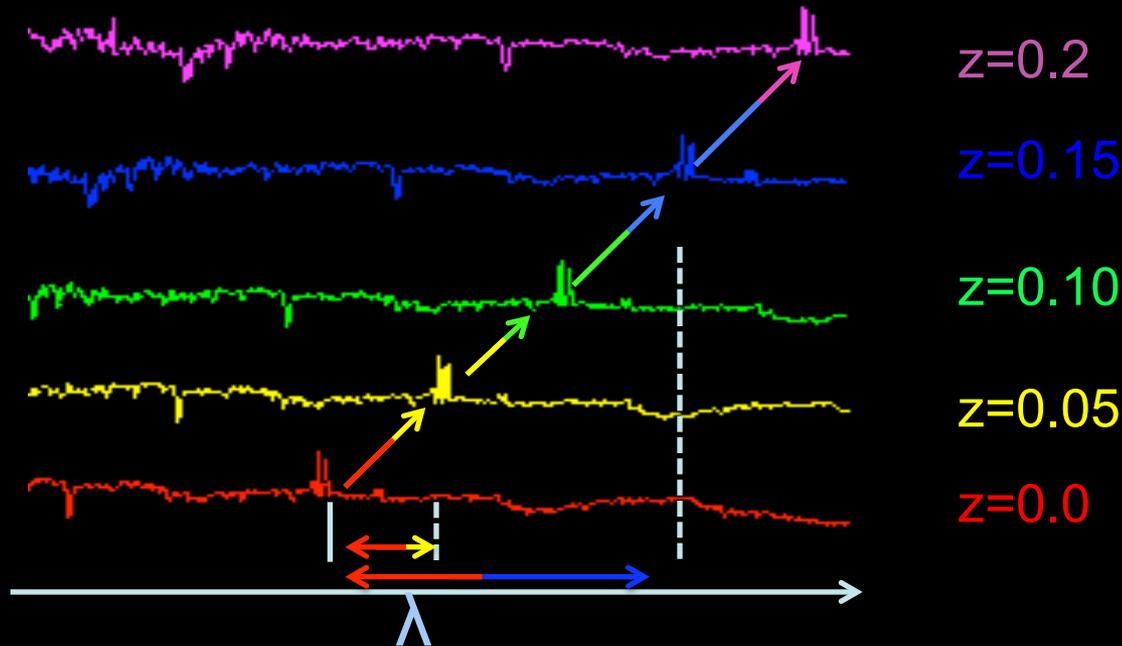
Spettro di una galassia: si allontana

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!



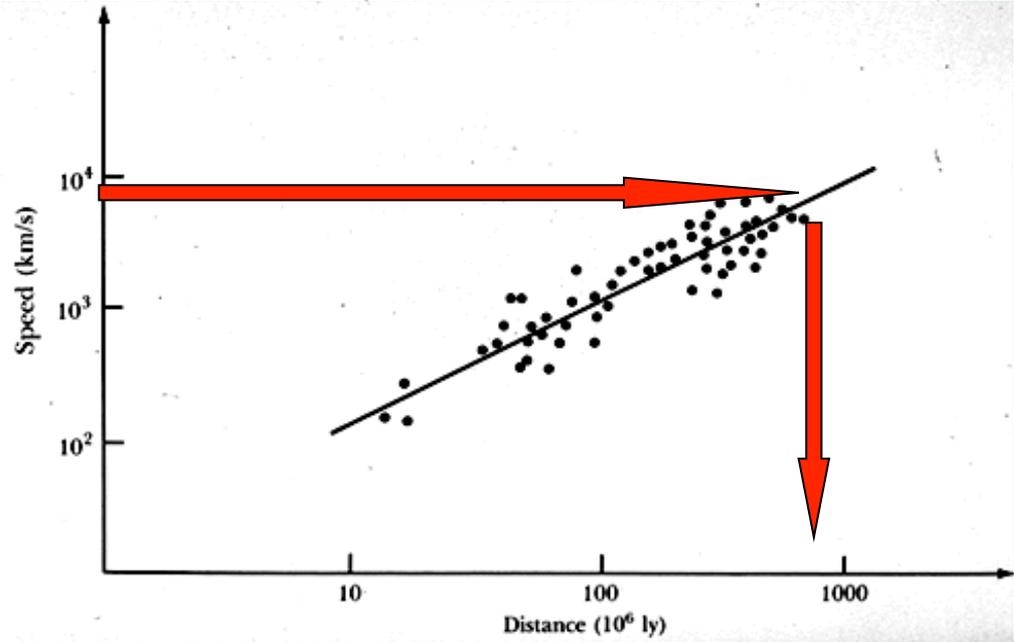
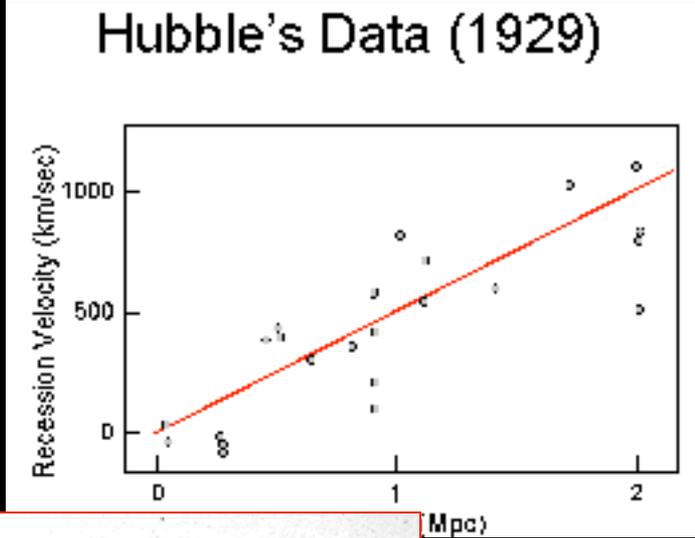
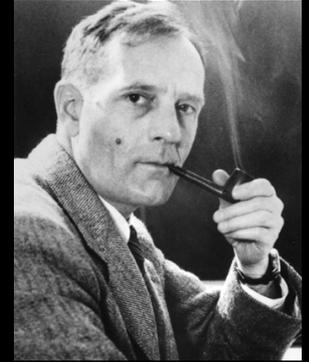
Così noi possiamo misurare la loro distanza:

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



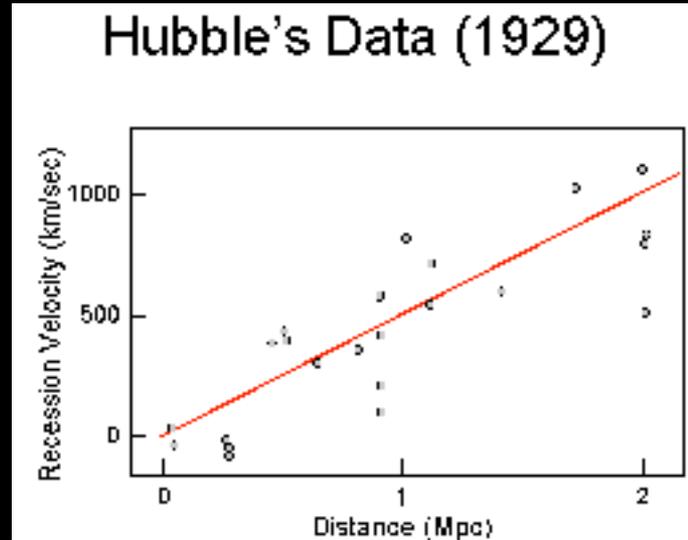
vel = Distanza x Cost.

Cost: H_0 costante di Hubble
 ~ 1900 galassie

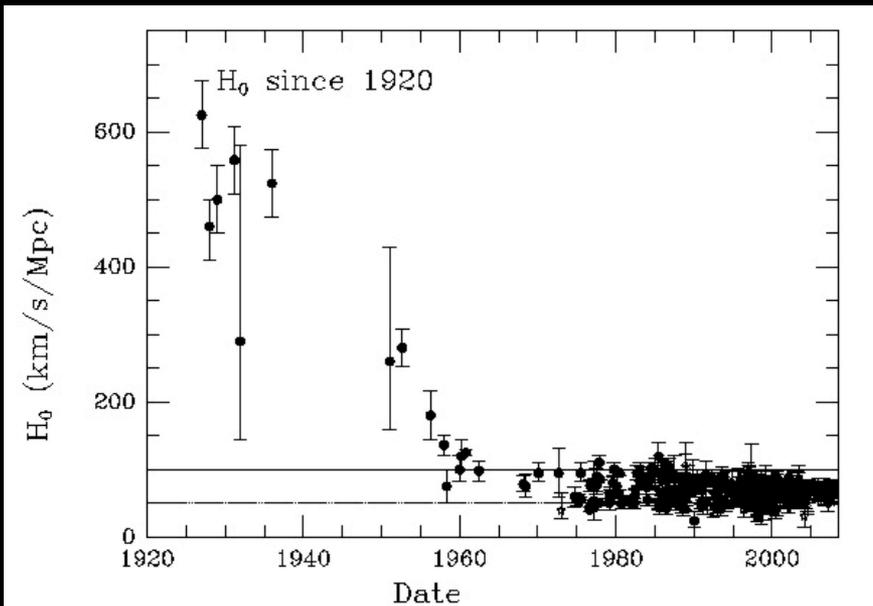
$H_0 \approx 1/\text{età universo}$

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

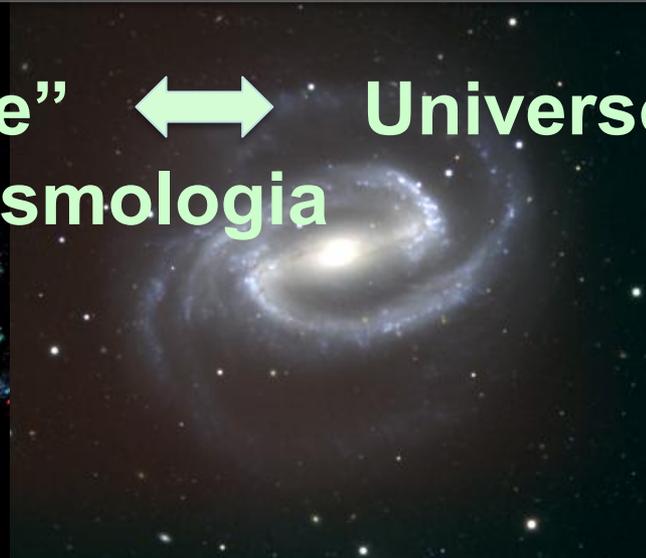
alcuni ingredienti

Dove sono nell'Universo : distanze

Come sono fatte : morfologia

Dove vivono : ambiente

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



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

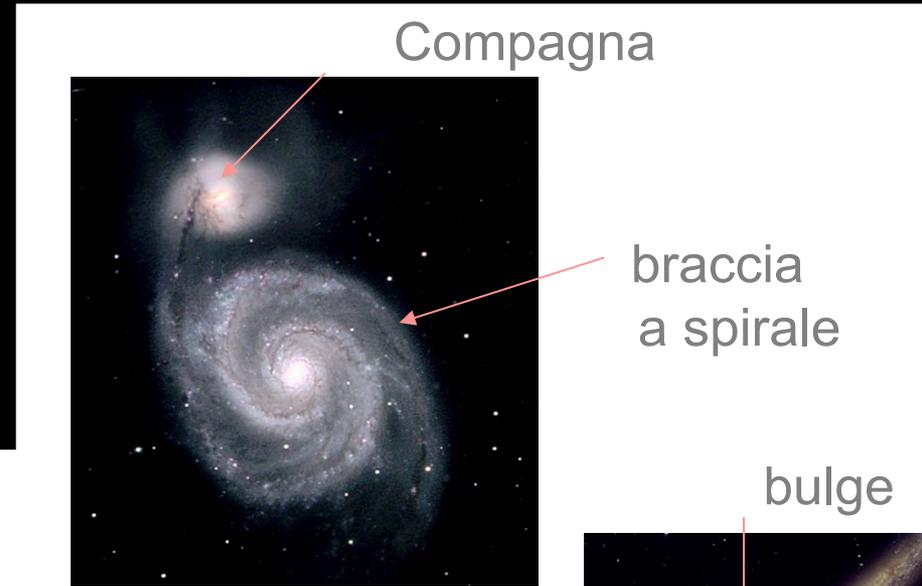


SBc



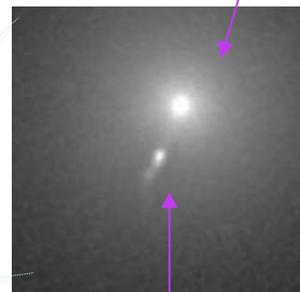
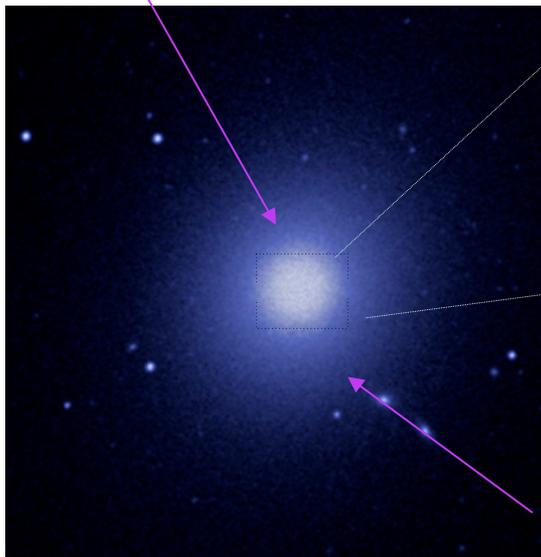
Come e' fatta una galassia?

- Nucleo - [jet] [→ AGN]
- bulge
- disco - braccia [spirali]
- alone

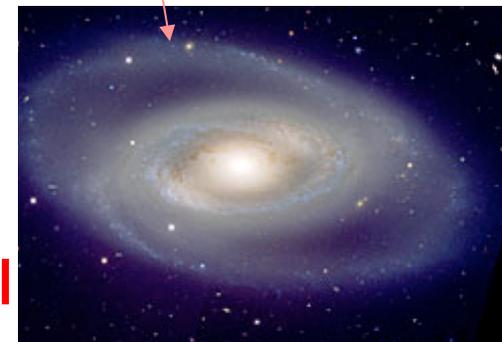
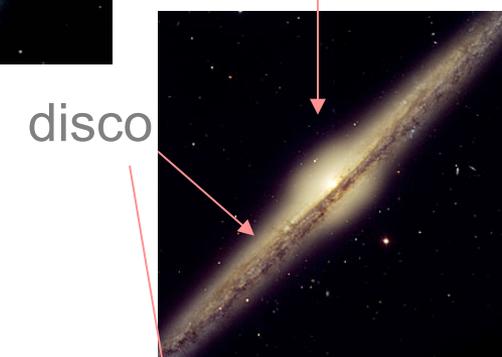


regione centrale

nucleo



ELLITTICHE



SPIRALI

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

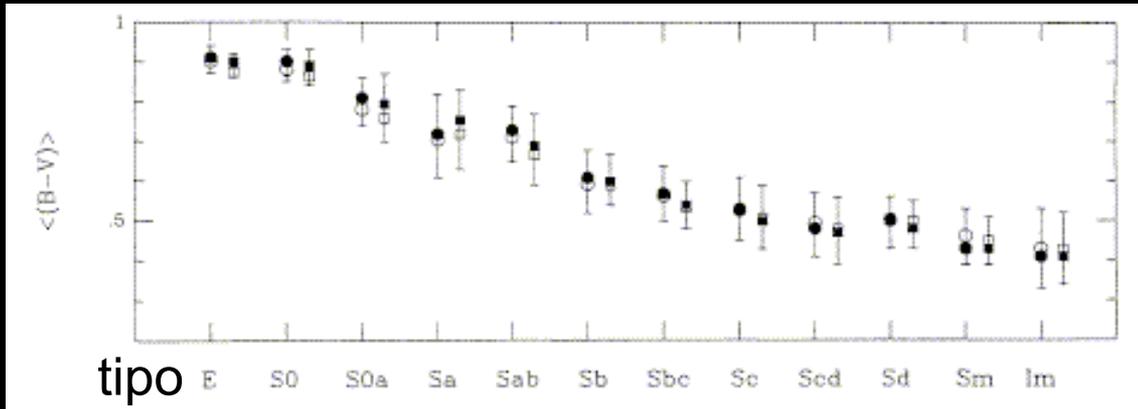
Polveri \rightarrow emissione



Nebulosa "IC 1396"

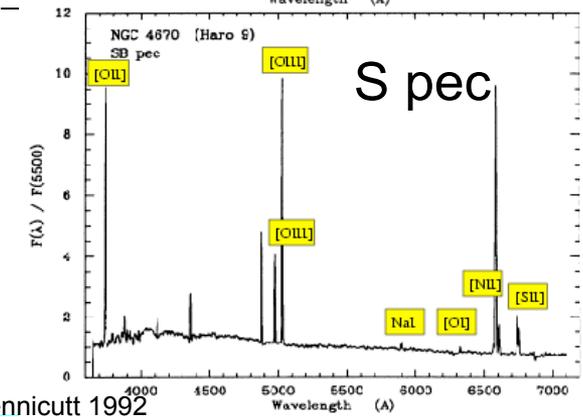
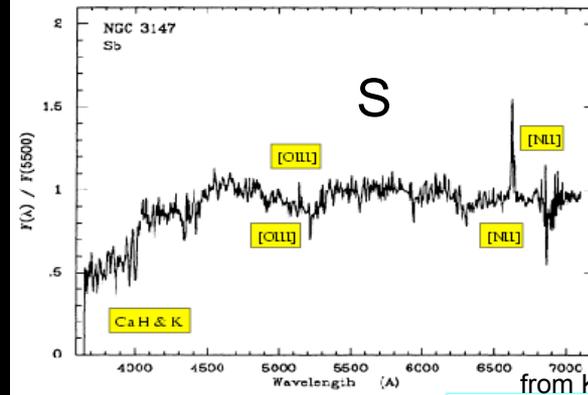
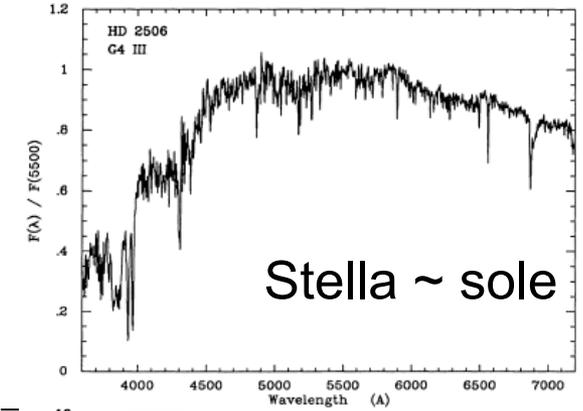
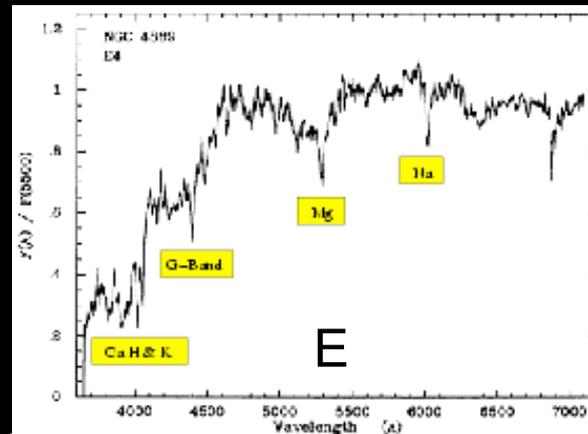


Legame tra colore, tipo morfologico, contenuto stellare



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.



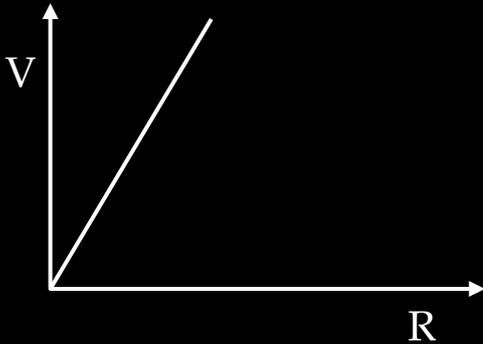
from Kennicutt 1992

Ci manca l'ultimo elemento



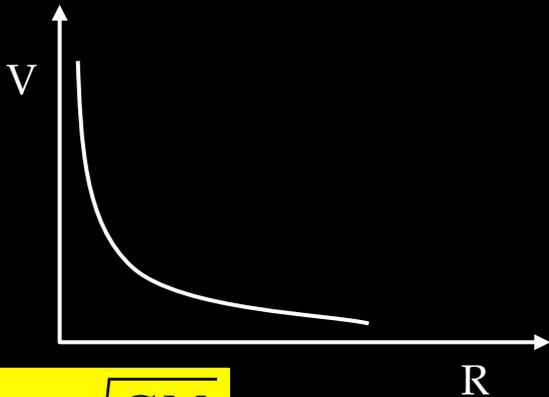
Cinematica delle stelle in Spirali

Regioni interne: corpo rigido

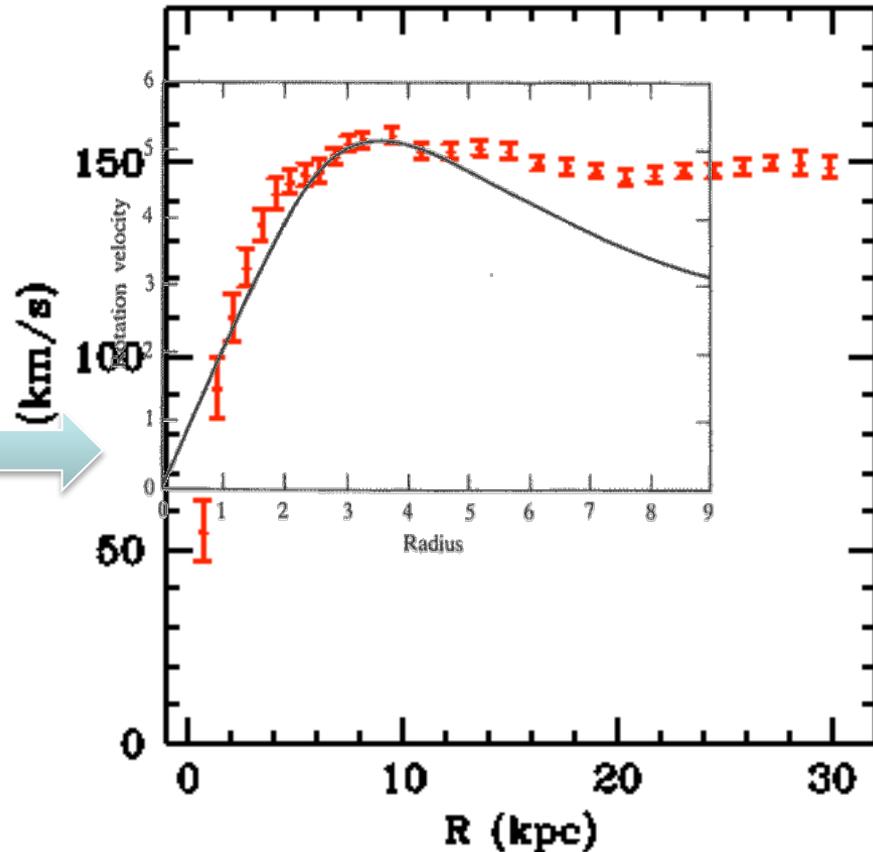


$$V = \omega R \Rightarrow V \propto R$$

Regioni esterne: rotazione differenziale

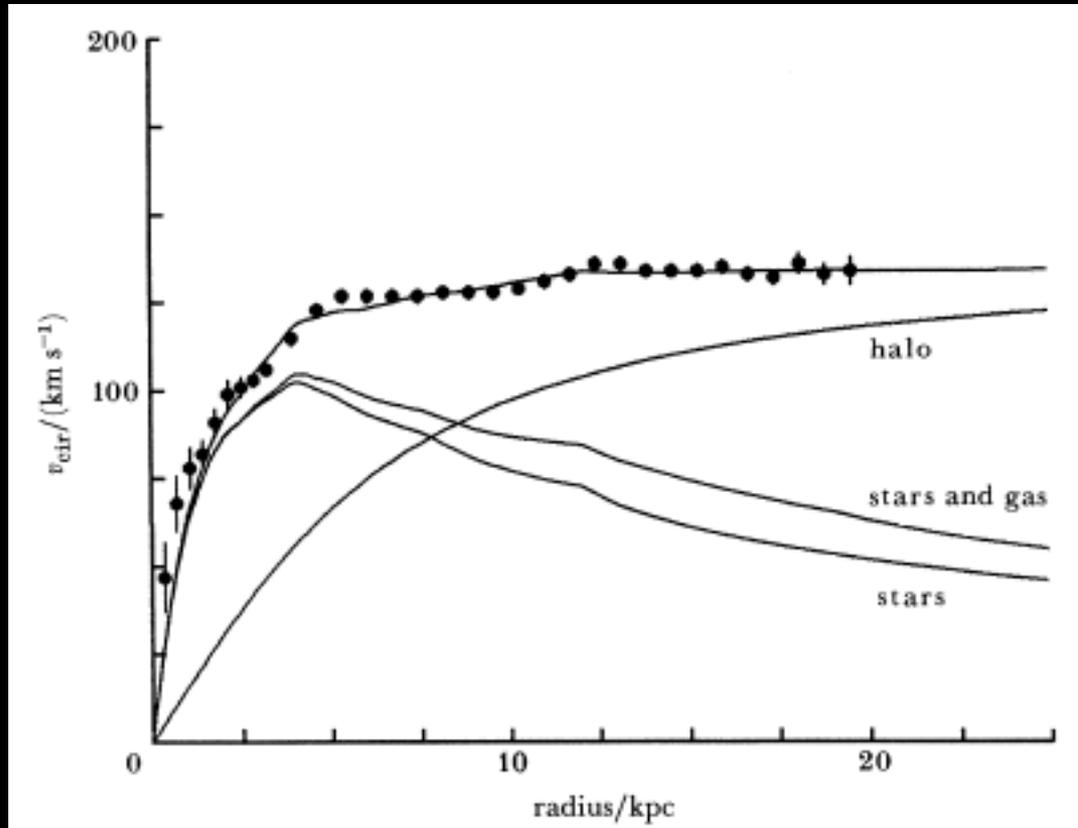


$$V = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$



The rotation curve for the galaxy NGC3198 from Begeman 1989

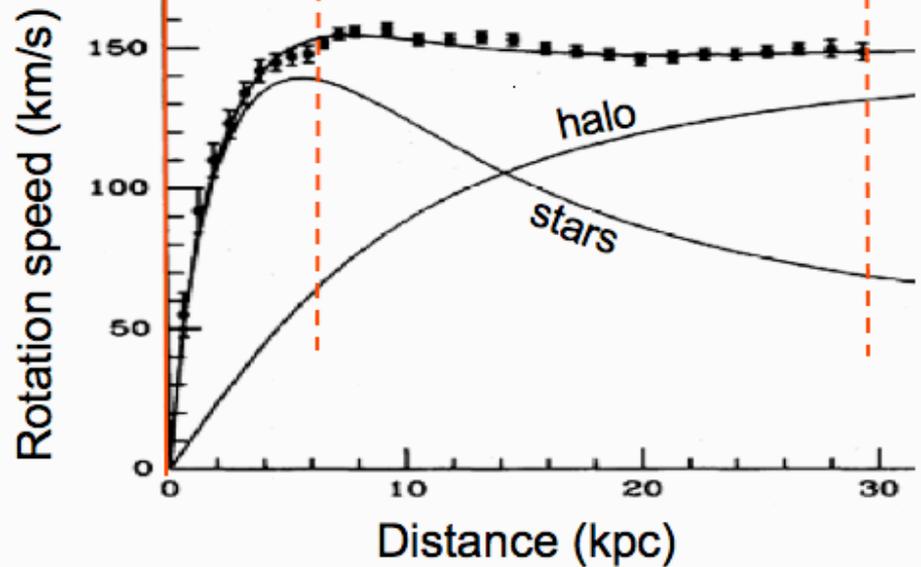
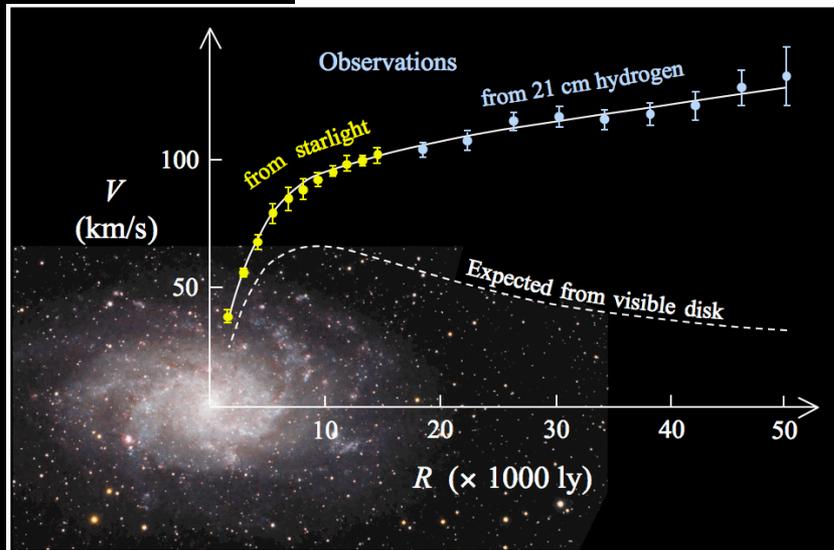
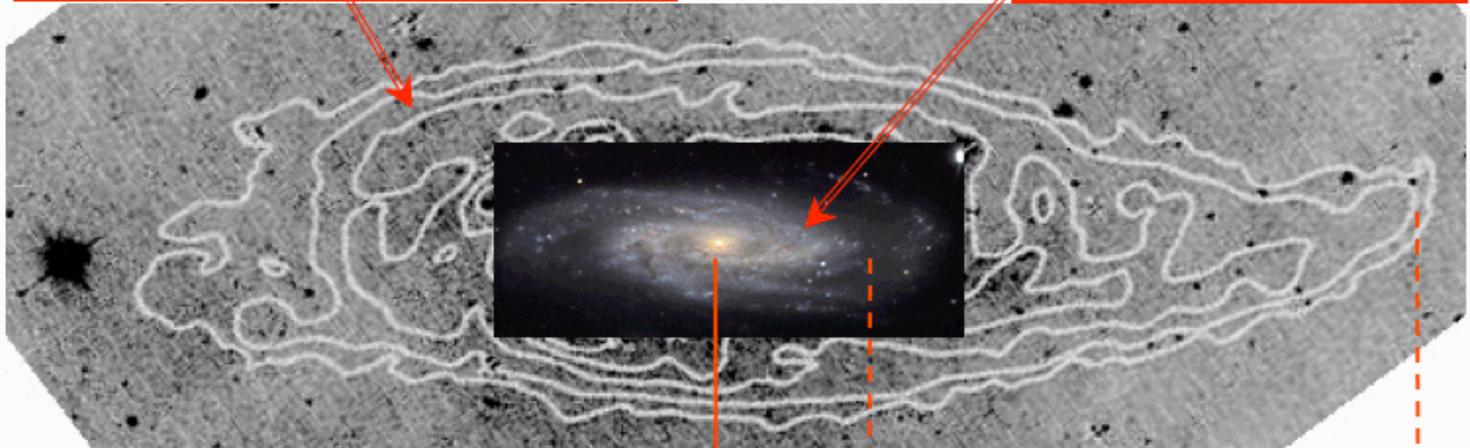
Per interpretare le curve di rotazione:



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)

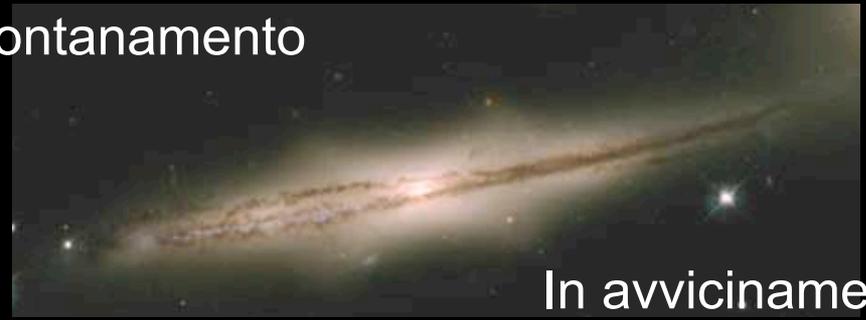
radio 21cm (hydrogen gas)

from Tom Oosterloo's web page

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

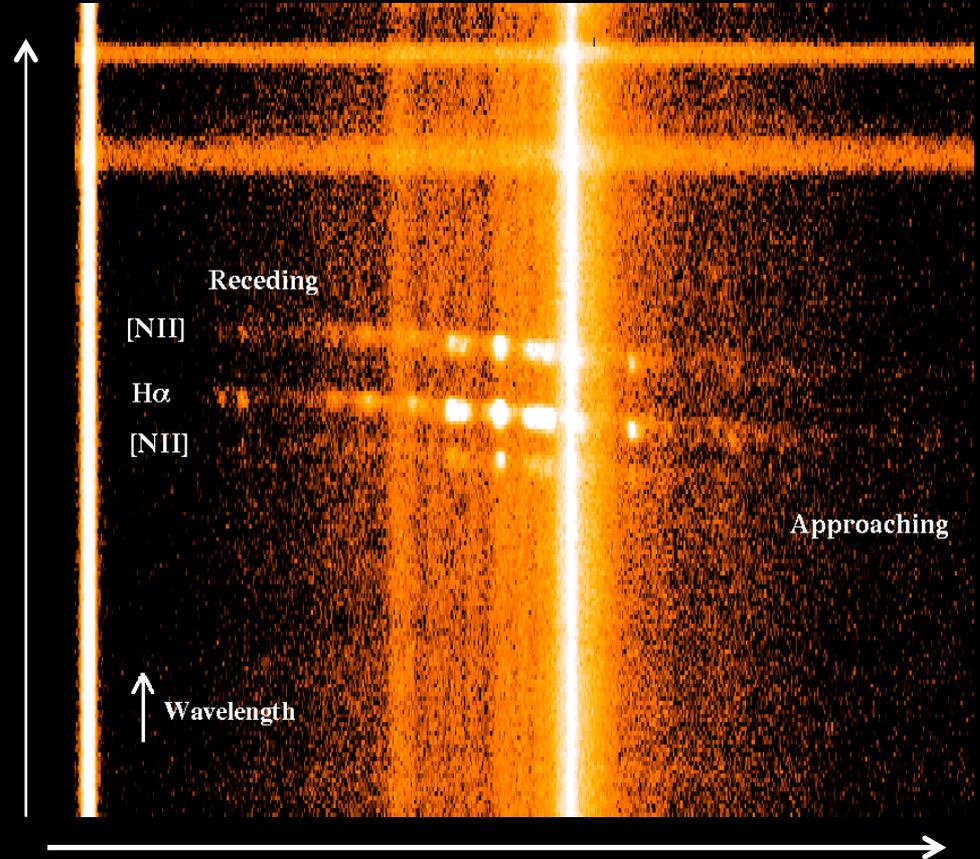
$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

In allontanamento



In avvicinamento

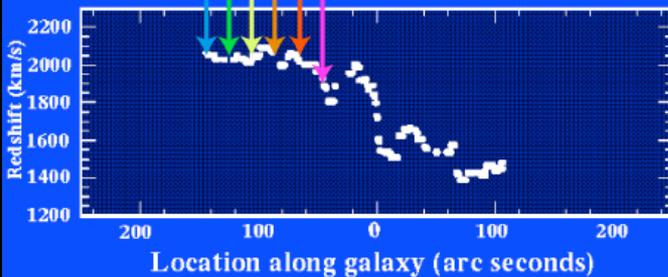
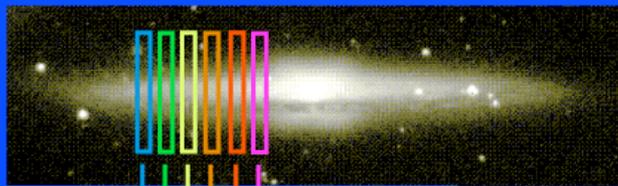
λ



raggio della galassia

spettro di HCG 87a con il telescopio Gemini

NGC 5746



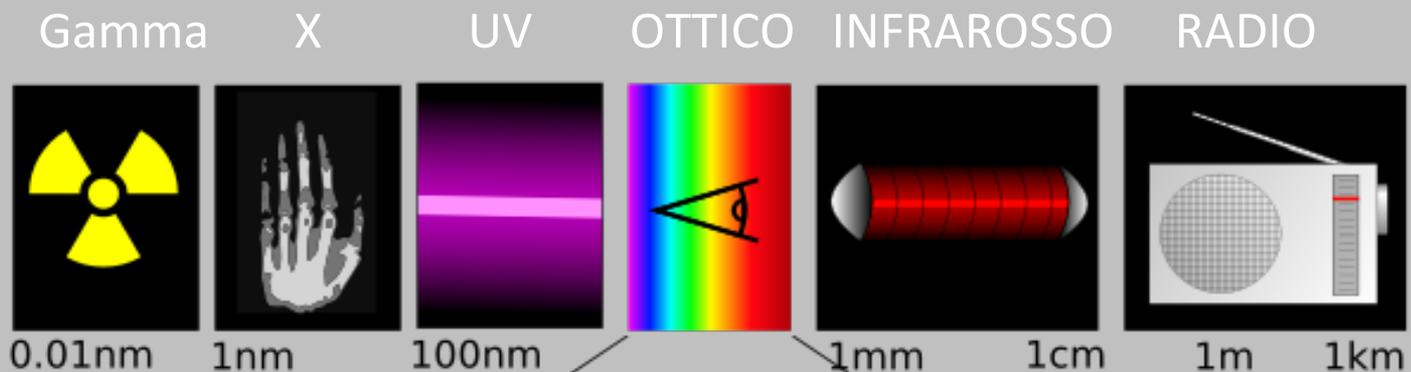
Come possiamo sapere cosa c'è in una galassia?

Osservandola!

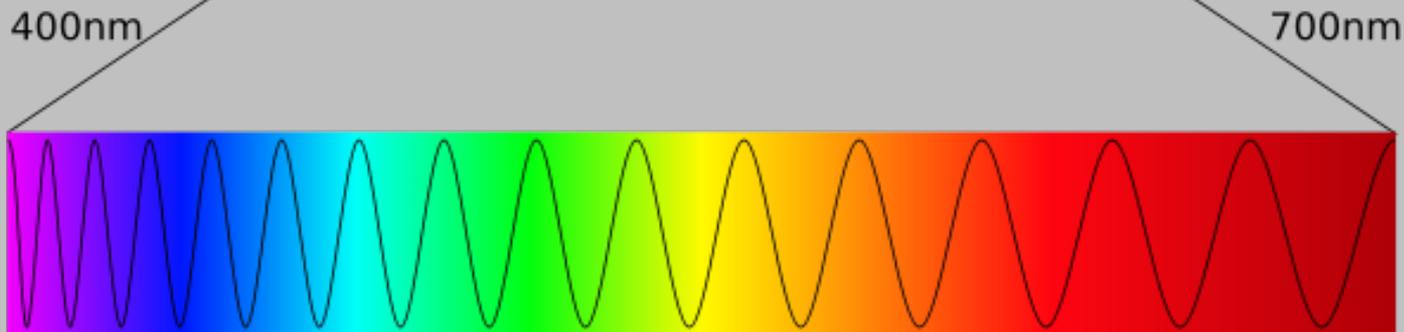
a diverse lunghezze d'onda per "ingredienti" diversi

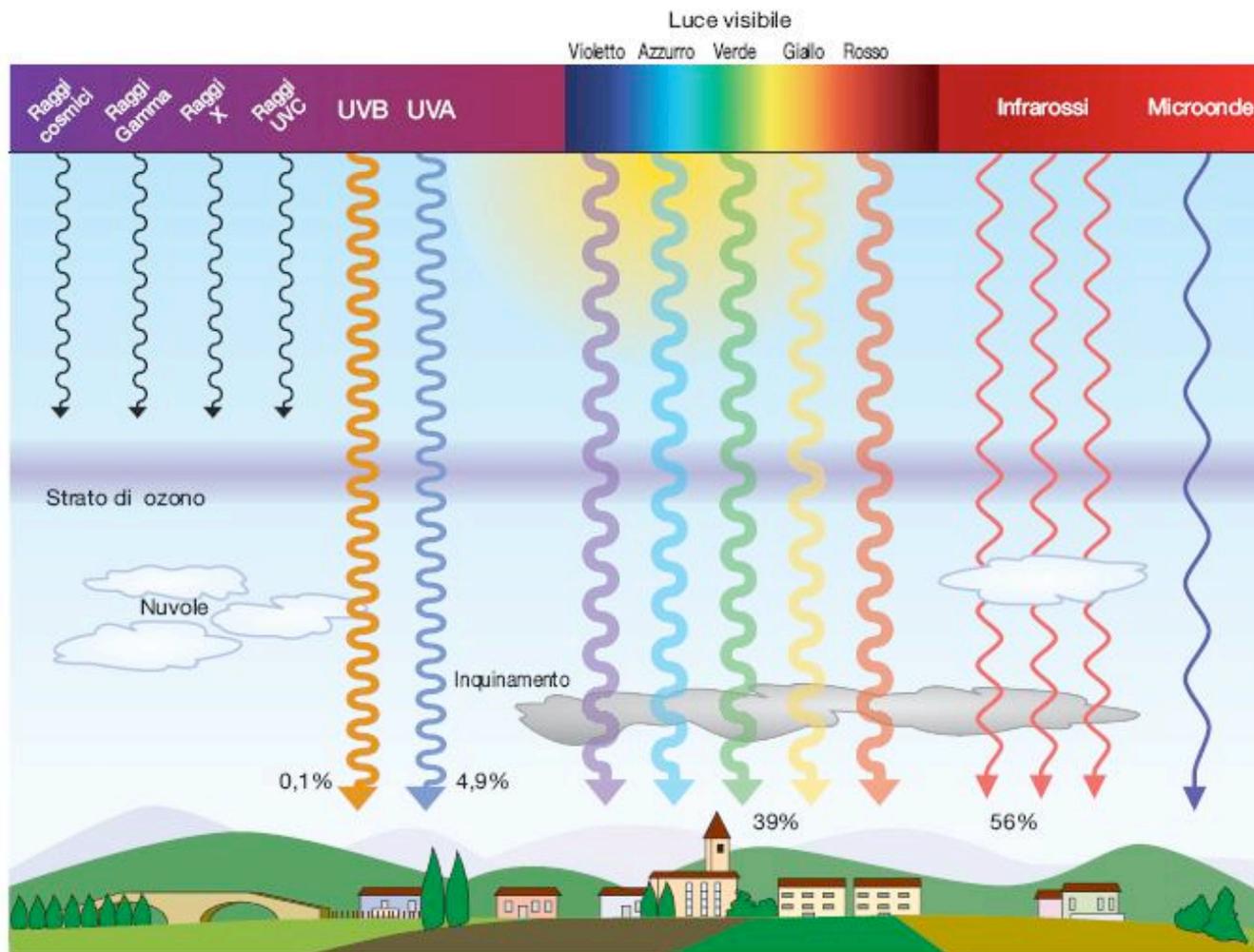
- ✓ GAS :
 - onde radio [neutro/freddo]
 - righe di emissione [ionizzato]
 - raggi X [ionizzato/caldo]
- ✓ STELLE:
 - ottico/infrarosso/UV/
 - raggi X [popolazione "evoluta"]
- ✓ POLVERE:
 - ottico [fredda in assorbimento]
 - IR [calda in emissione]

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





Rappresentazione delle radiazioni che raggiungono la superficie terrestre



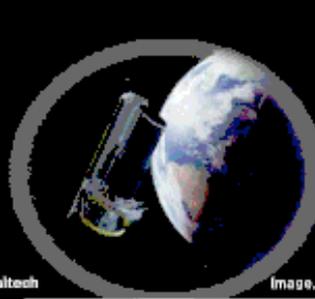
Image, ESA

XMM-Newton



Image, NASA/JPL/Caltech

GALEX



Image, NASA/JPL/Caltech

Spitzer

Nello spazio:
per vedere
per vedere meglio



X-rays

UV

Visible

IR

Sub-mm

Radio



Subaru Telescope

UKIRT

Sulla terra:
strumenti enormi
in luoghi remoti
sulle alte vette



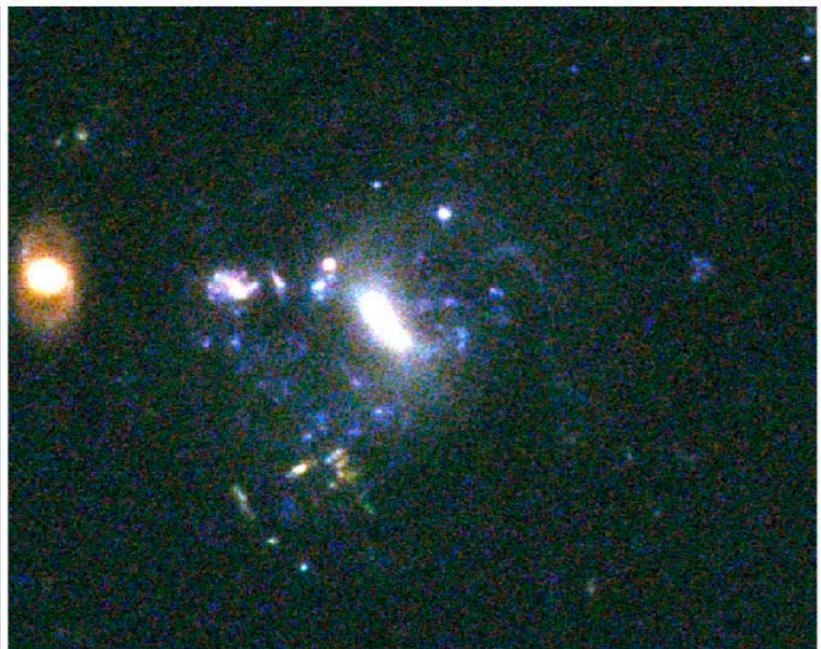
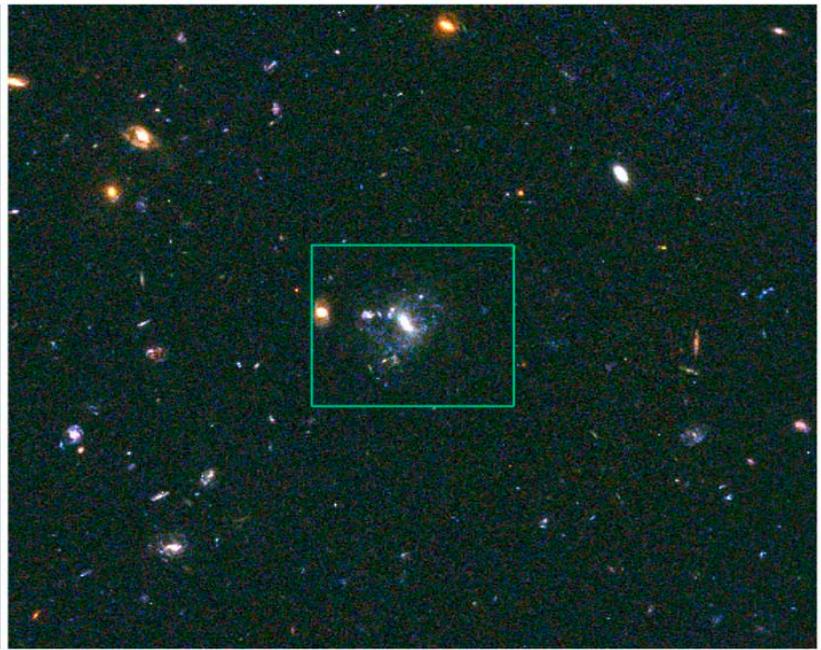
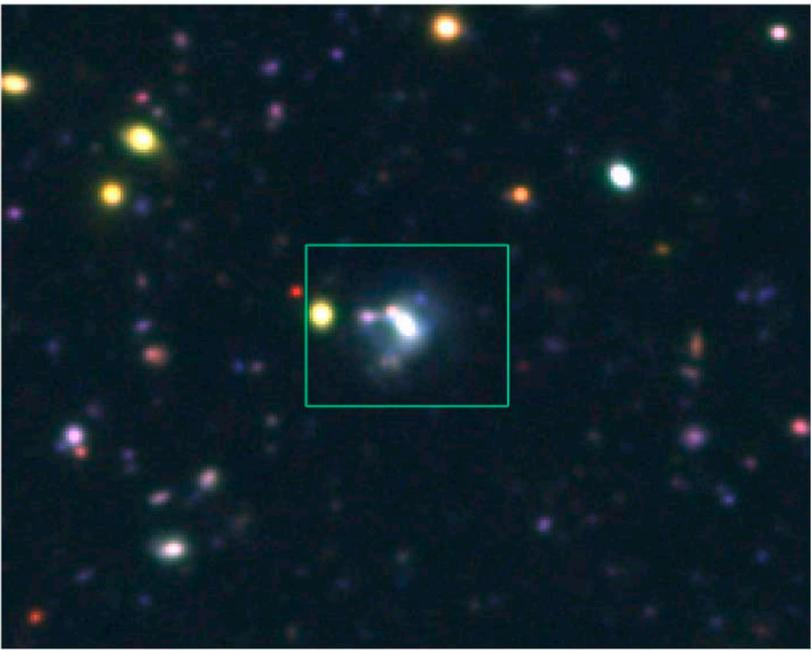
VLA

Di

Ground: Subaru (8m)

Space: *HST* (2.4m)

ze



P

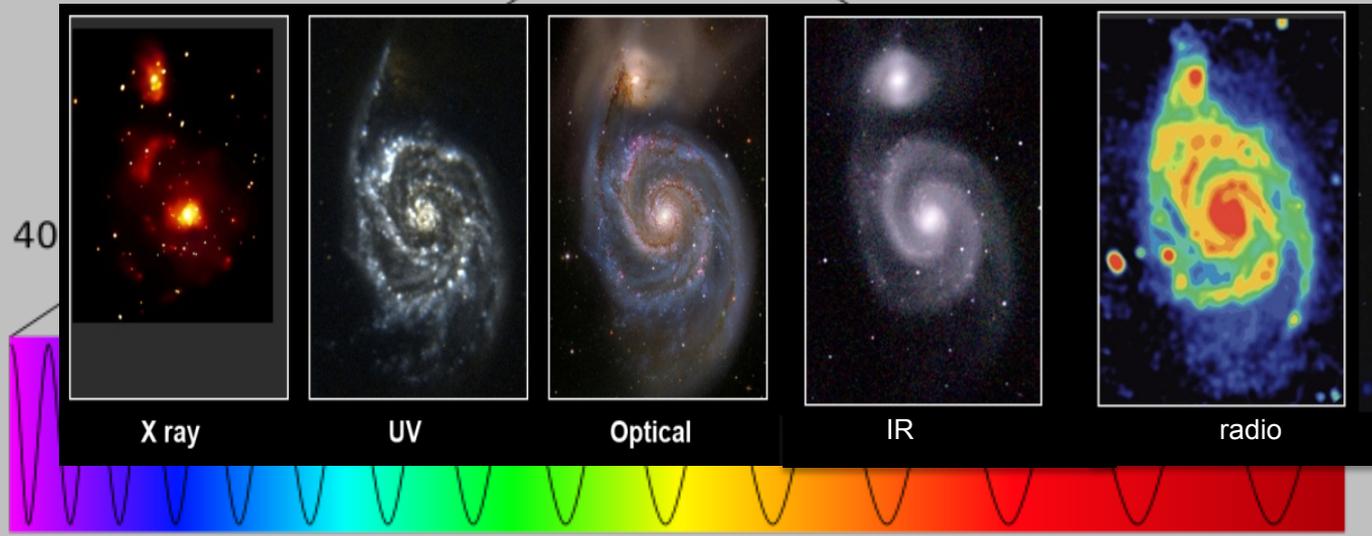
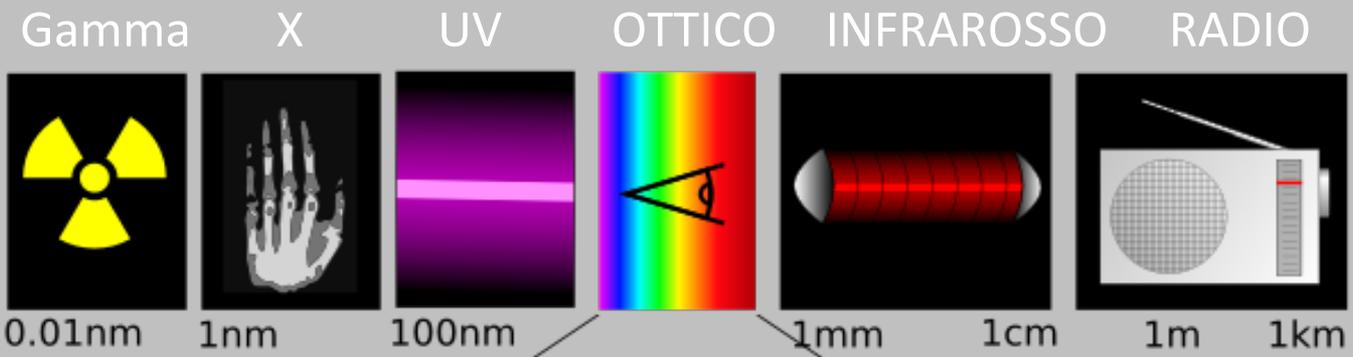
W

M

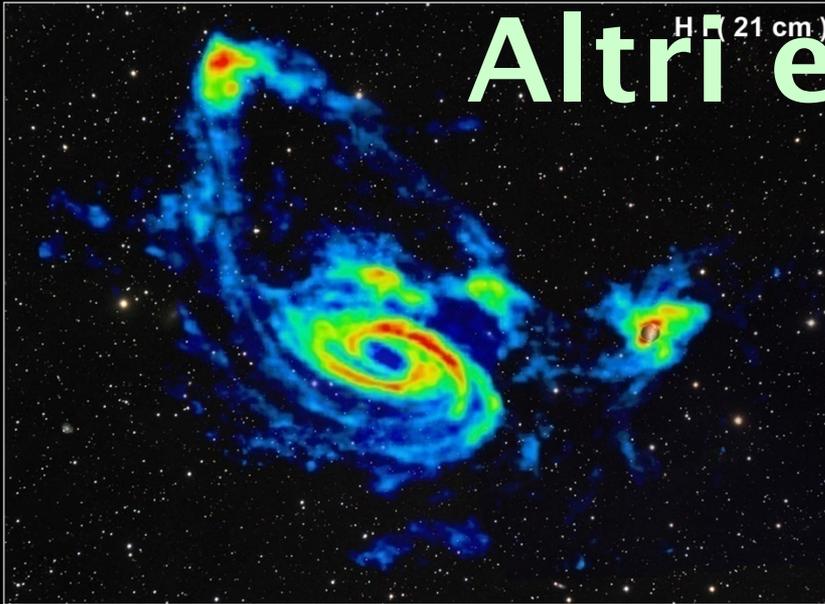
OB

S

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



Altri esempi



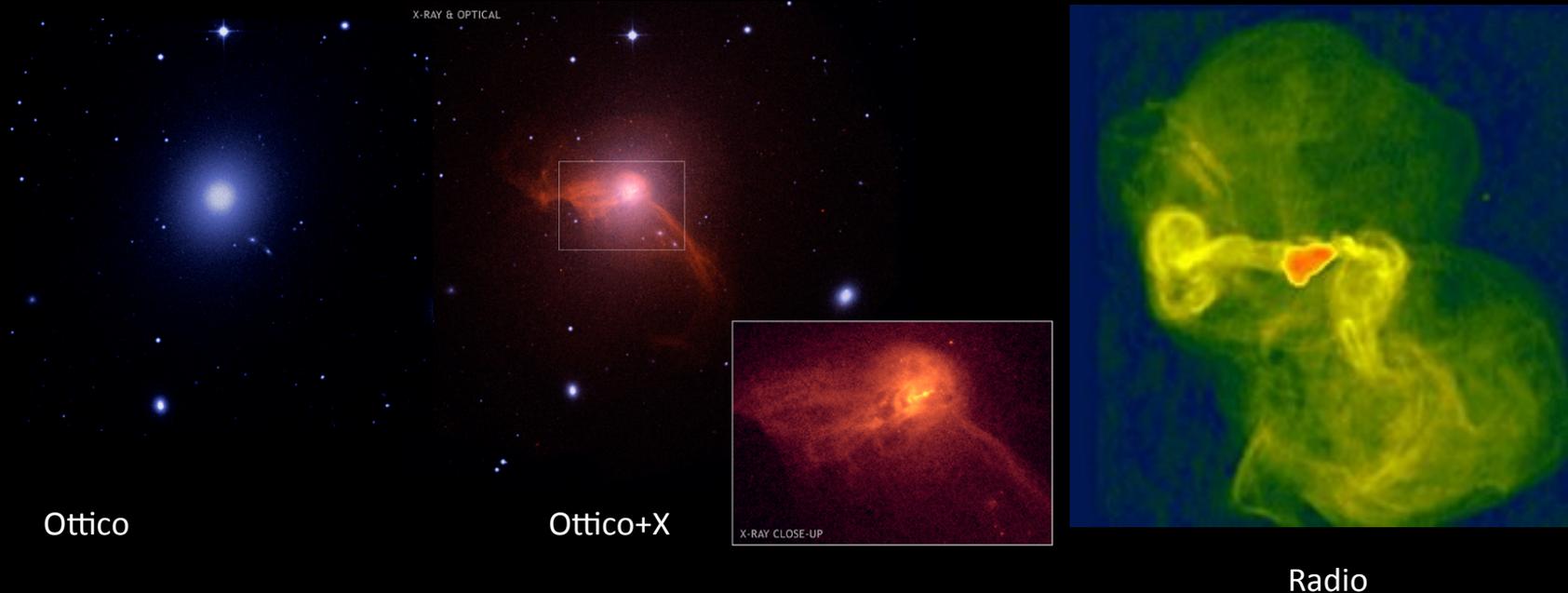
Gas
freddo



stelle

M87 al centro della Vergine

scala ~200,000 Anni Luce



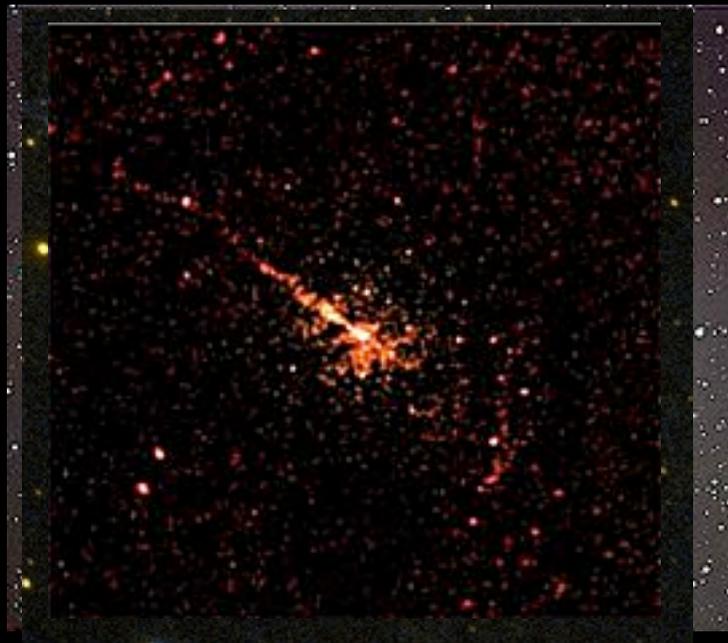
Stelle

Gas caldo
massa totale

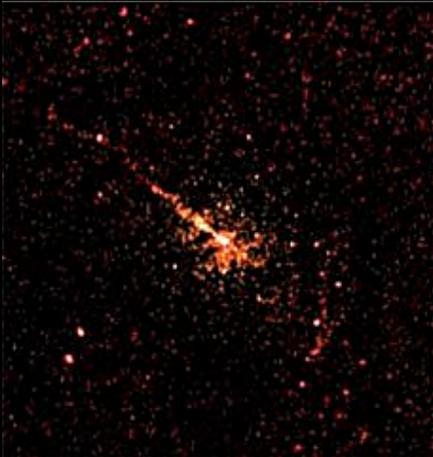
particelle
campo magnetico

Centauro A: la piu' vicina galassia ellittica gigante

Distanza: 11,000,000 AL (3.4 Mpc)



X rays: Chandra



X rays: Chandra

Ultraviolet:
GALEX

Visible Color:
AAO

Mid-Infrared:
Spitzer



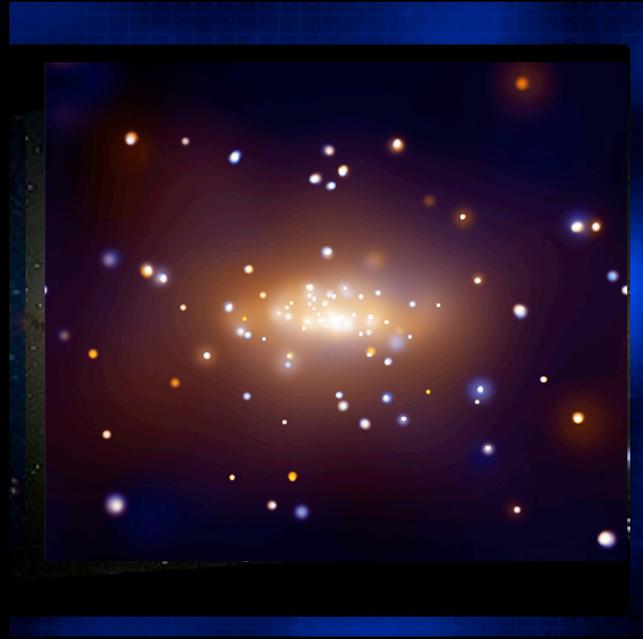
Near-Infrared:
2Mass

Far-Infrared:
IRAS

Radio :
VLA

Galassia Sombrero

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



X-rays : Chandra

Galassia Sombrero

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



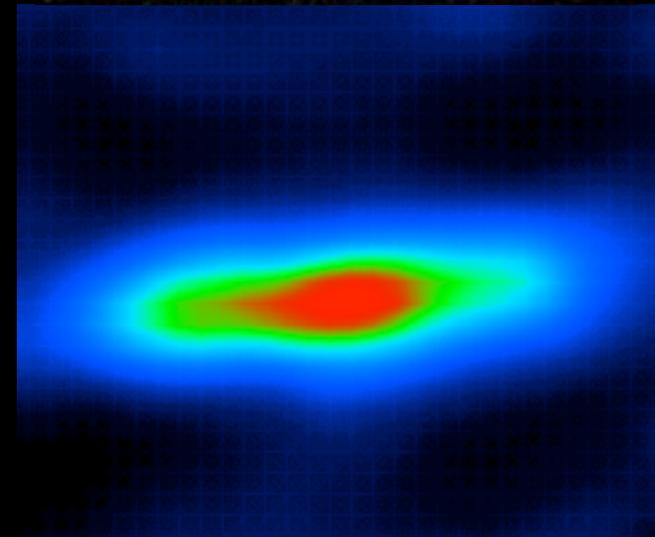
X-rays : Chandra



Visible: HST



Mid-Infrared: Spitzer



Far-Infrared : IRAS

