



**Istituto Nazionale di Astrofisica**  
Osservatorio astronomico di Brera



*Universo in fiore*

# I Nuclei Galattici Attivi

*Anna Wolter*

Anna.Wolter@brera.inaf.it

INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

12 marzo 2014

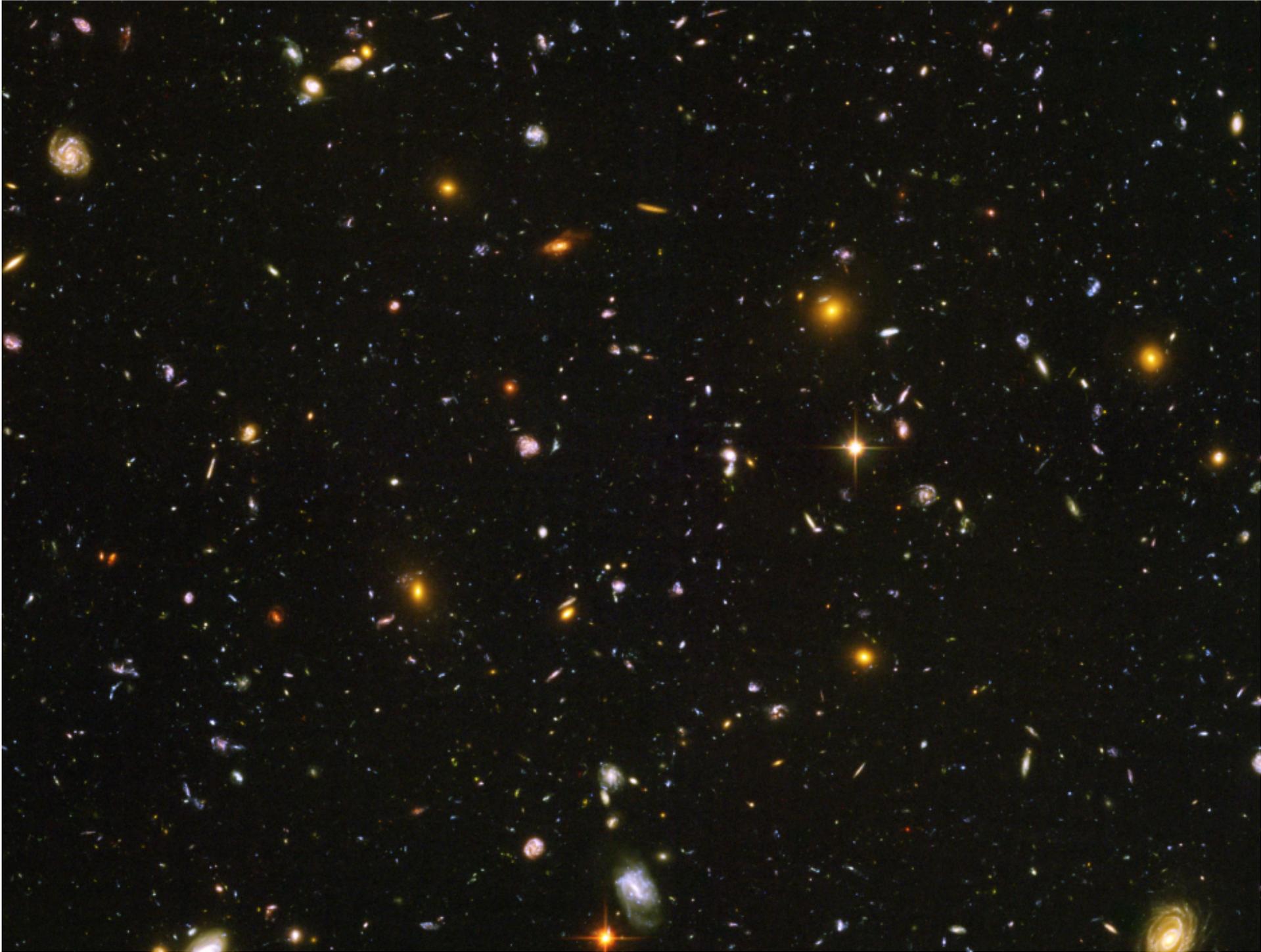
# Sommario

1. Un po' di storia e di tassonomia
2. Proprietà degli AGN
3. Modello unificato
4. Cosmologia

# 1

## Storia e Tassonomia

dal [greco](#) τάξις, *taxis*, "ordinamento", e νόμος, *nomos*, "norma" o "regola"  
è, nel suo significato più generale, la disciplina della classificazione



# La Via Lattea

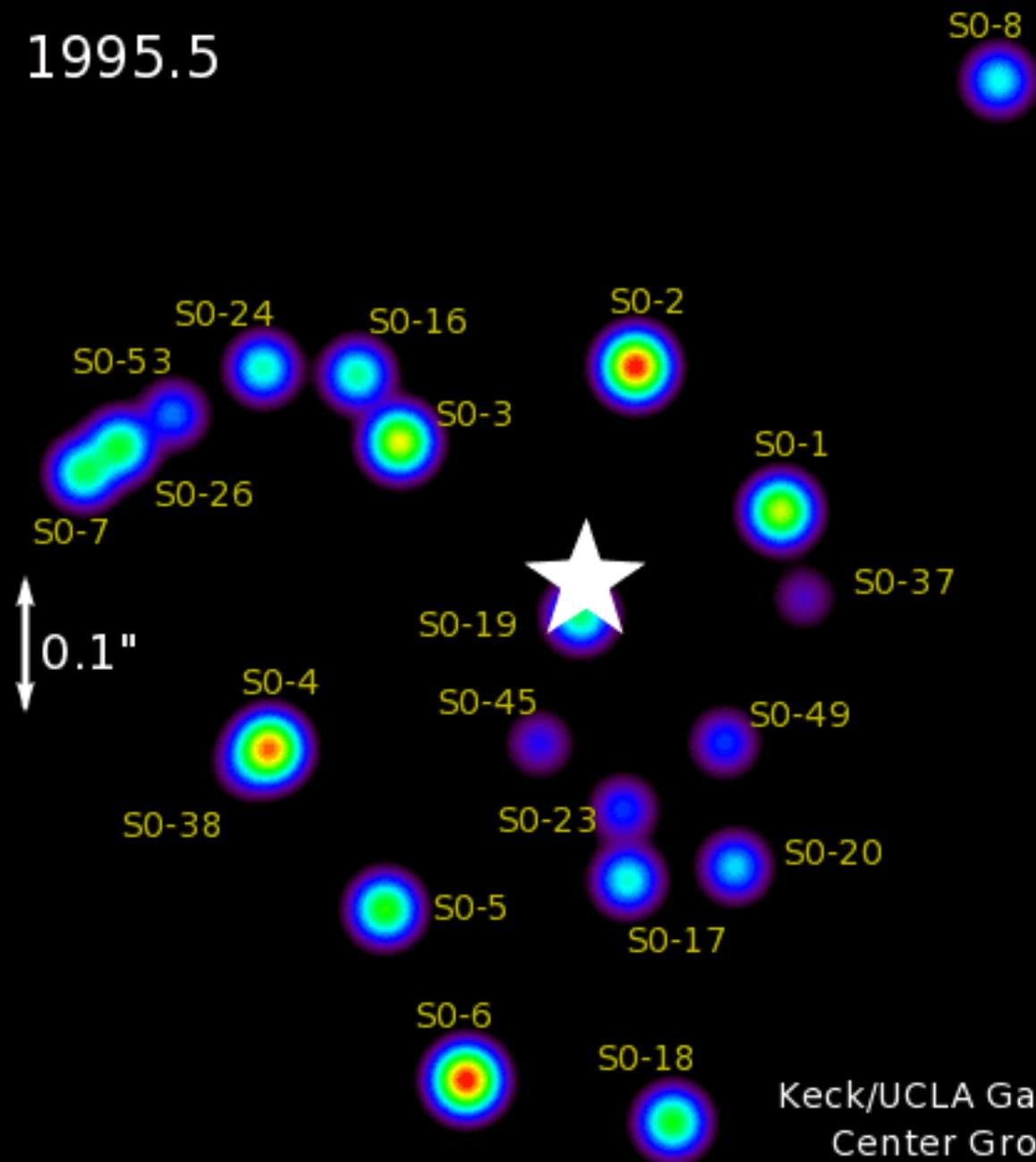


**Outer Arm**  
**Perseus Arm**  
**Orion Arm**  
**Carina Arm**  
**Crux Arm**

**Norma Arm**  
**24Kpc Arm**  
**Sagittarius Arm**  
**Scutum Arm**

**UNSC Space**  
**Covenant Space**

1995.5



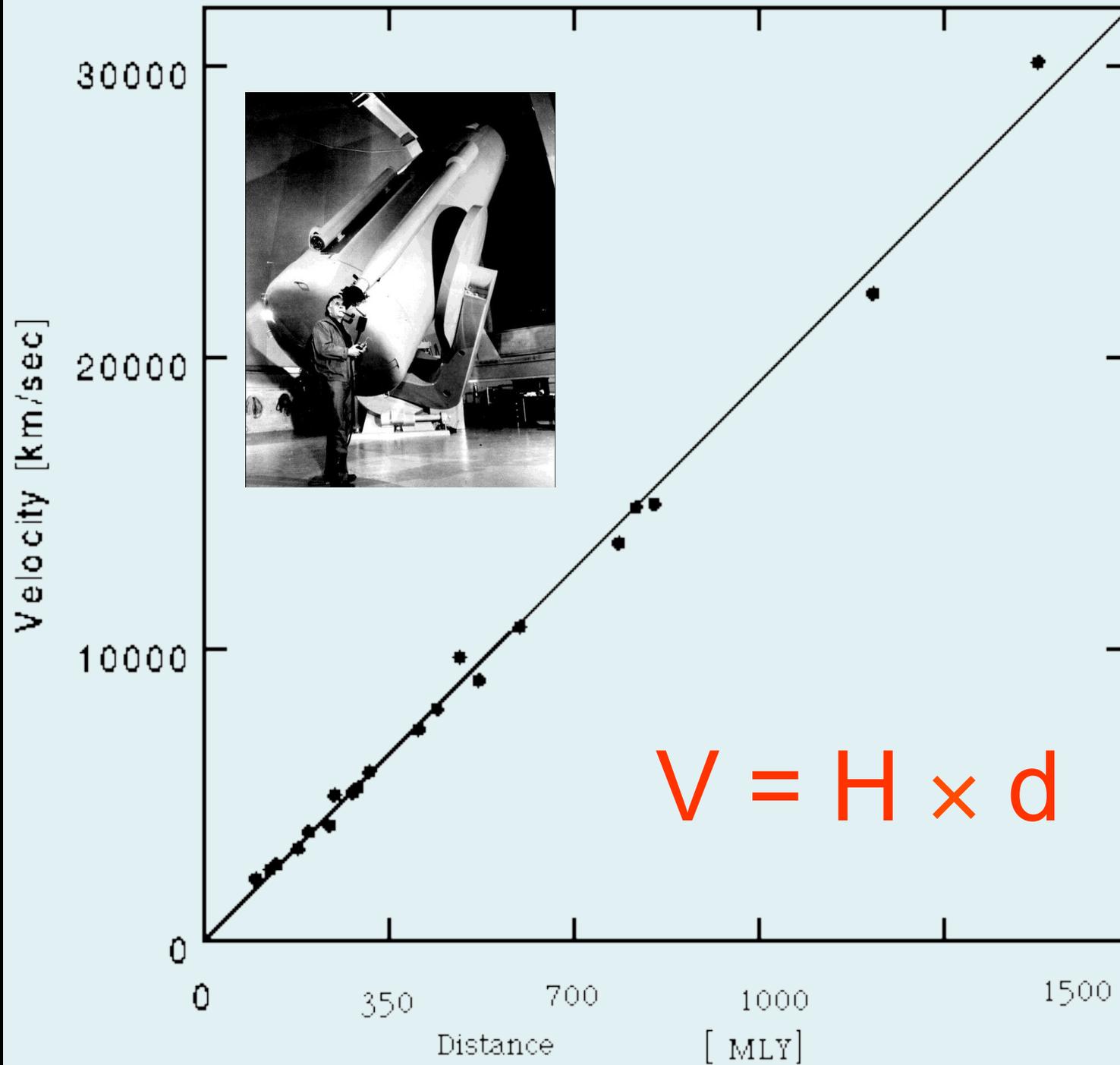
Keck/UCLA Galactic  
Center Group

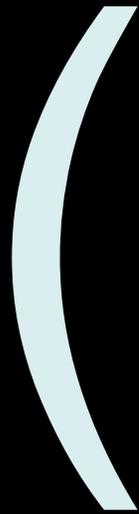
# Massa del Buco Nero

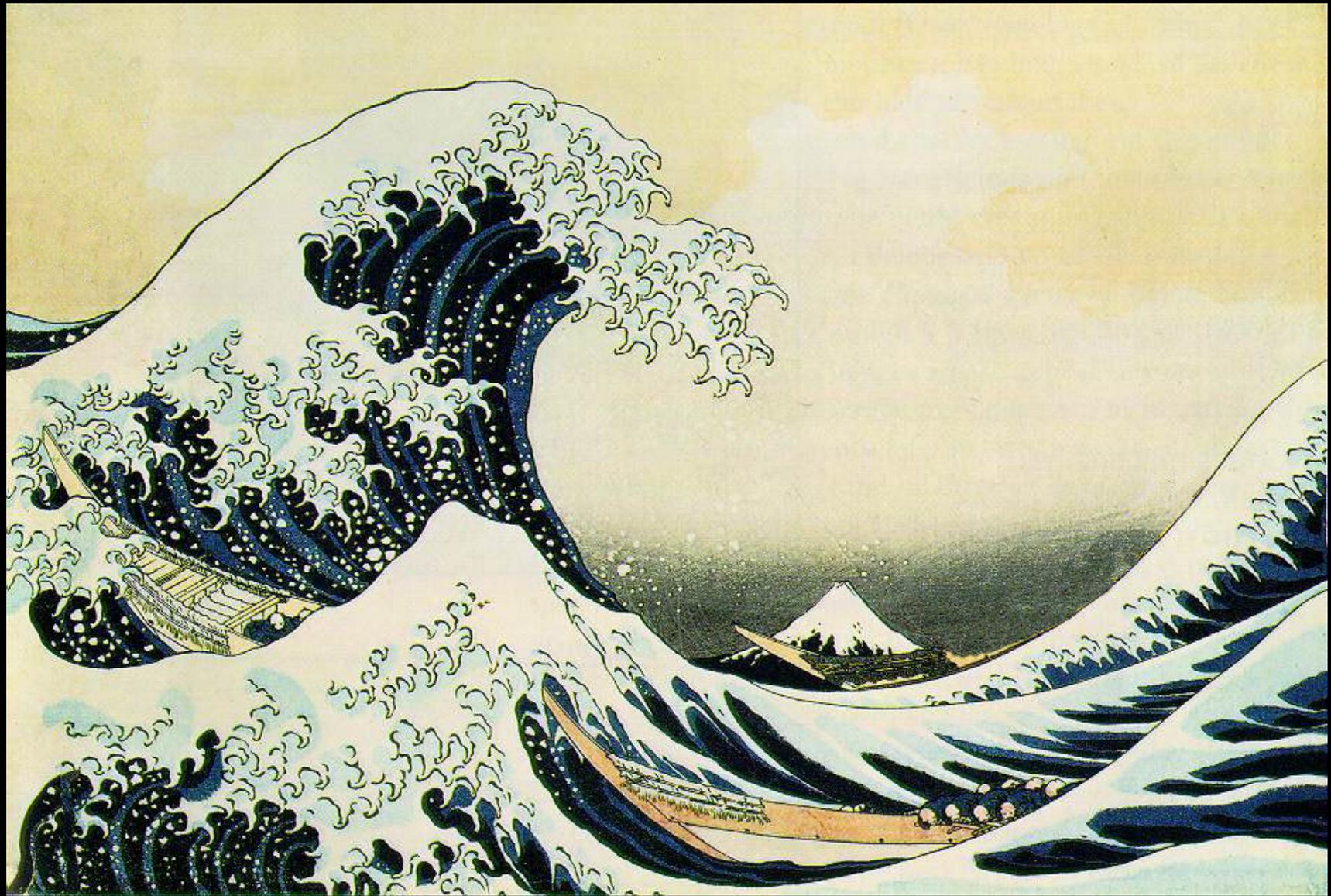
$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$
$$p^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3$$

3<sup>a</sup> legge di Keplero

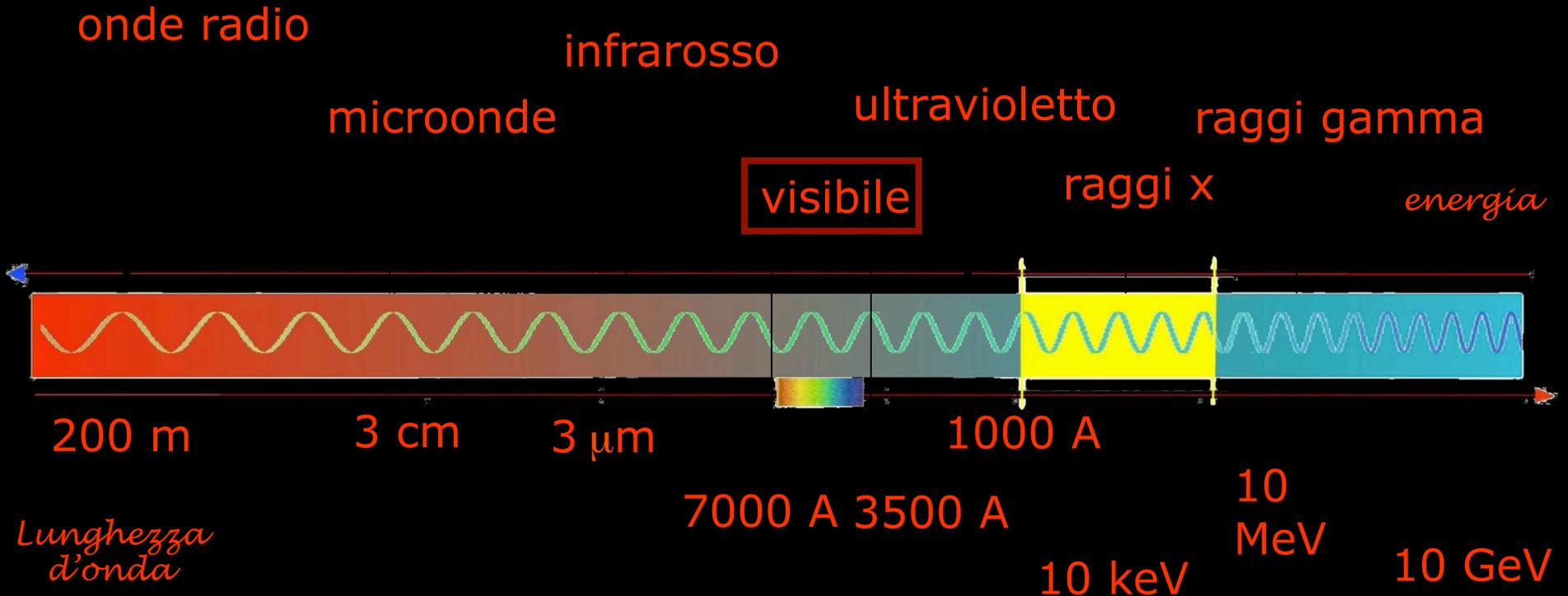
$M =$  4 milioni di volte la  
massa del Sole



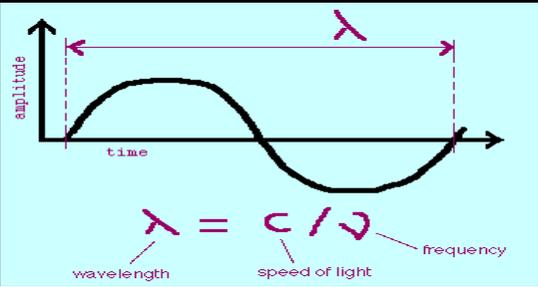




# Lo spettro elettromagnetico

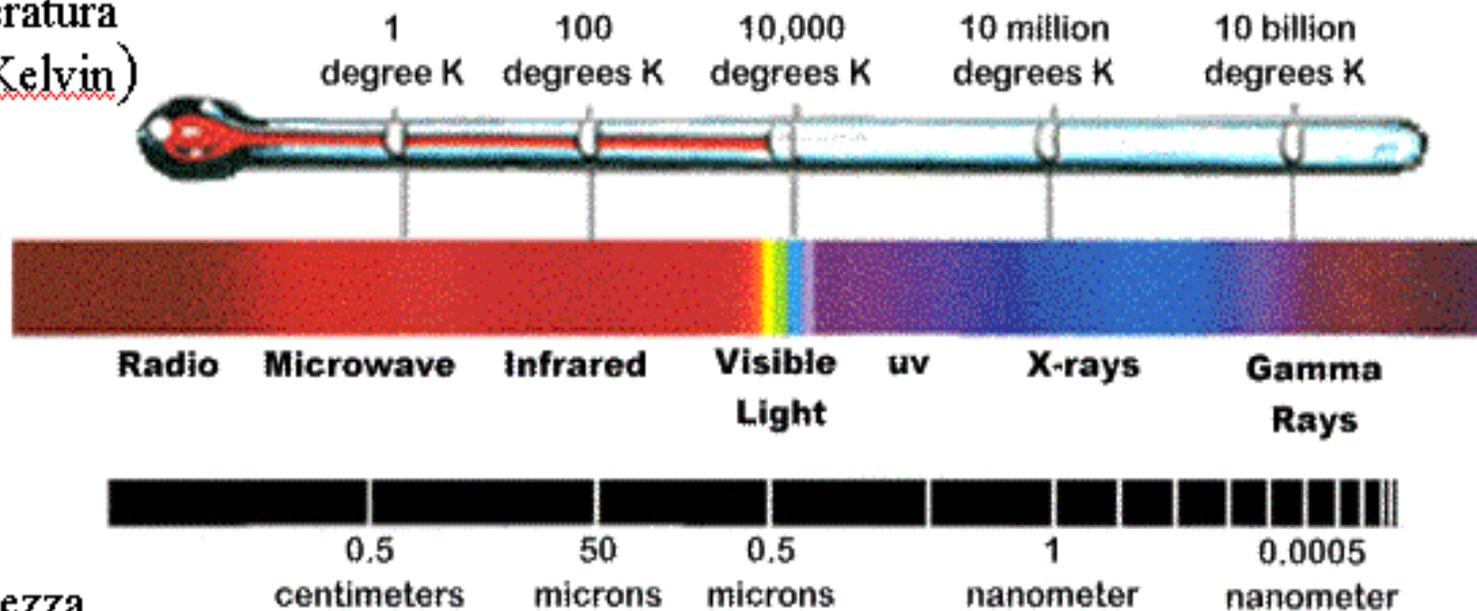


$$E = h\nu = hc / \lambda$$



# Radiazione Termica

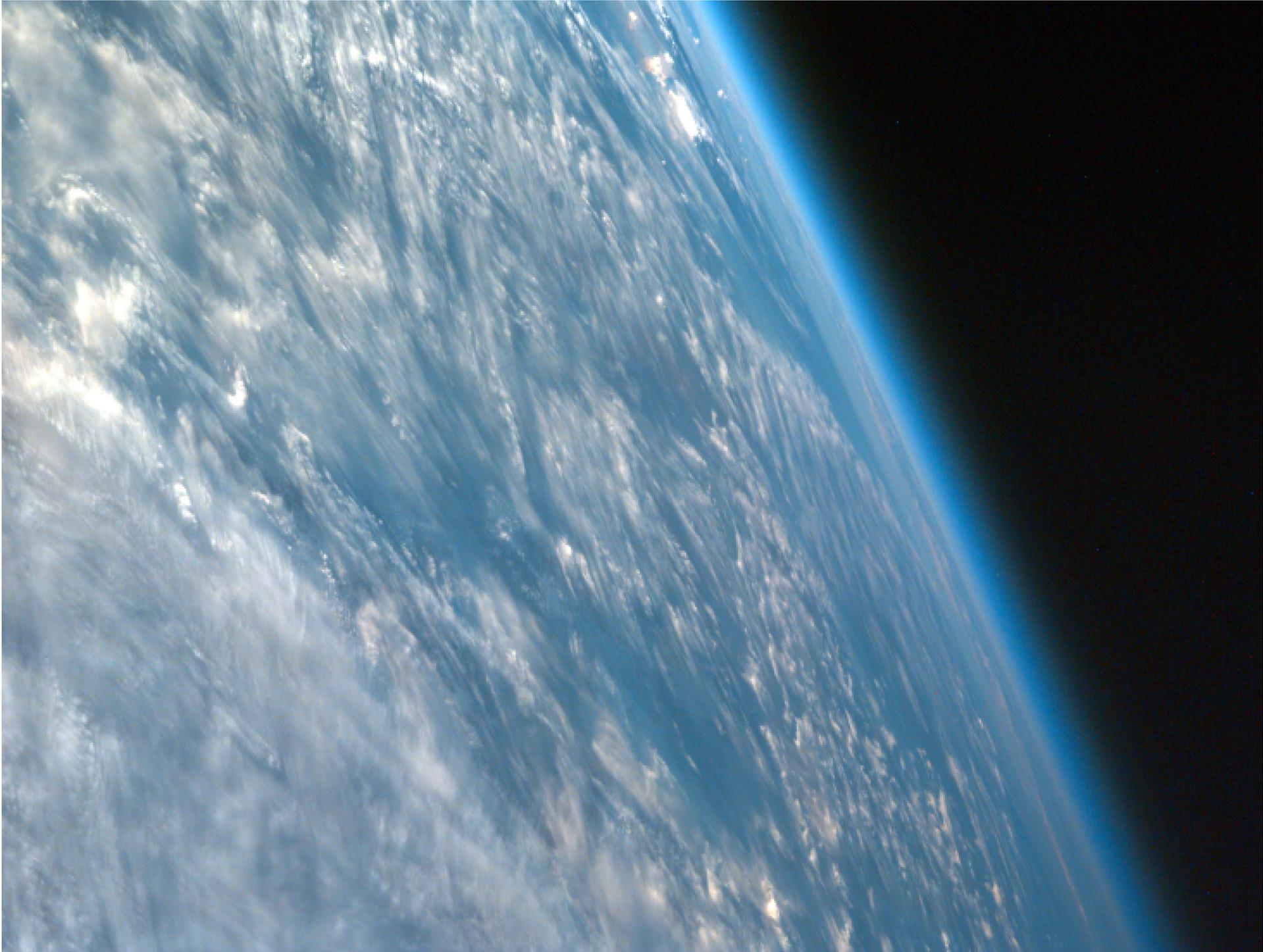
Temperatura  
(gradi Kelvin)

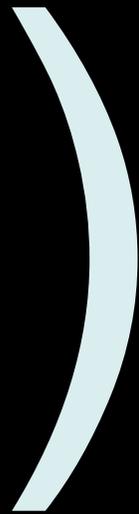


Lunghezza  
d'onda

**WAVELENGTH**

Note: degrees Kelvin (K) = degrees Celsius (C) + 273





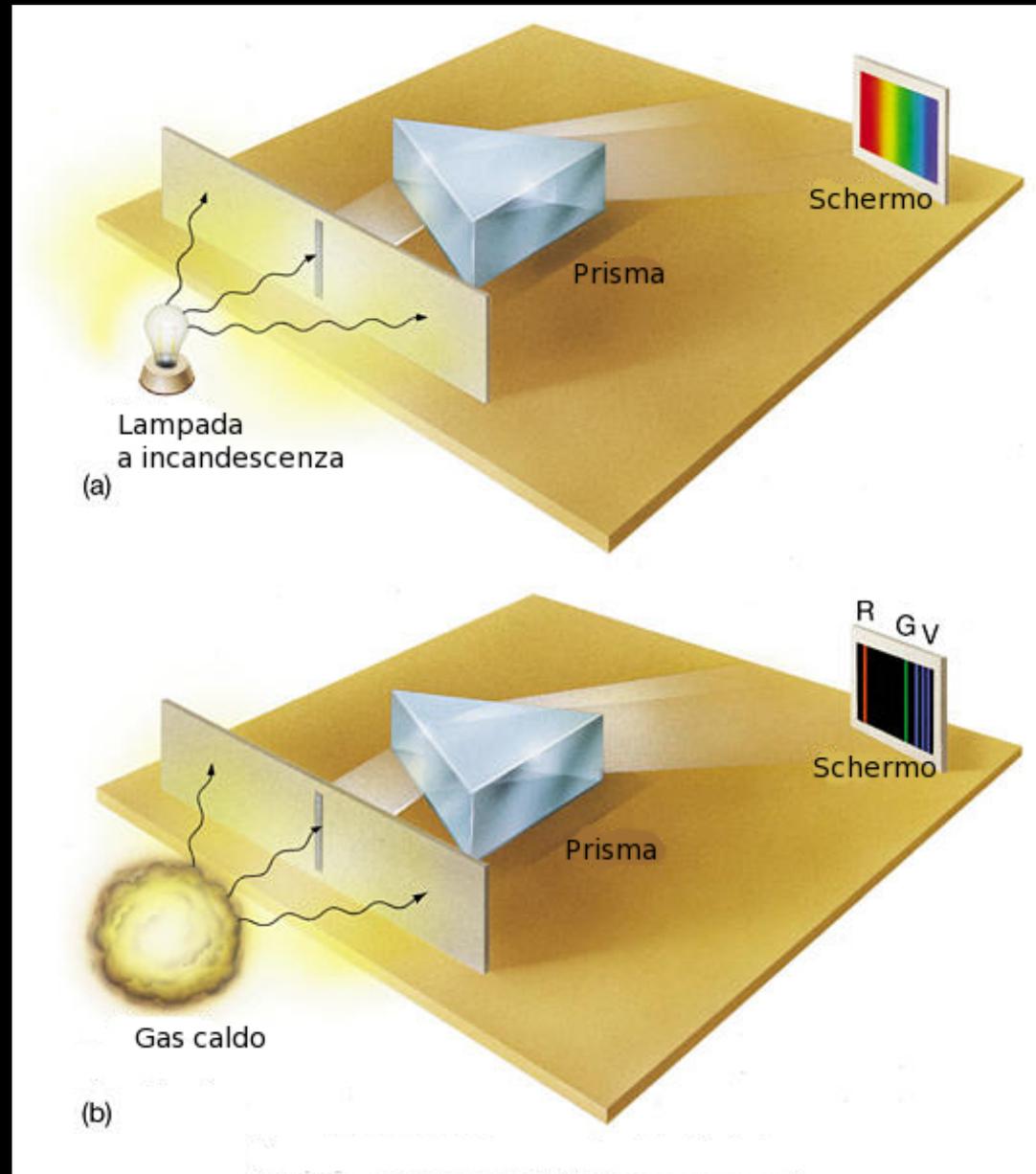
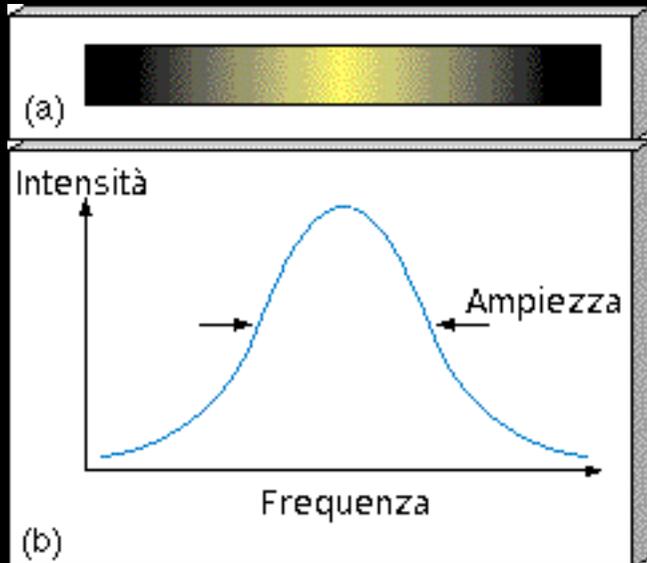
“L’unico vero viaggio verso la scoperta non consiste nella ricerca di nuovi paesaggi, ma nell’averne nuovi occhi”

Marcel Proust, *Alla ricerca del tempo perduto*

# Come si studiano le sorgenti cosmiche: spettri

Per cercare di capire la natura delle sorgenti cosmiche, gli astronomi usano gli *spettri*, che non sono fantasmi, ma delle specie di arcobaleni artificiali...

**Nota etimologica:** *Spettro*: dal latino *spectrum*, costituito dalla base *spec-*, che a sua volta deriva da *specere* (guardare, vedere; cfr spettacolo) e dal suffisso *-trum*, indicante lo strumento. Letteralmente: *il mezzo per vedere*.

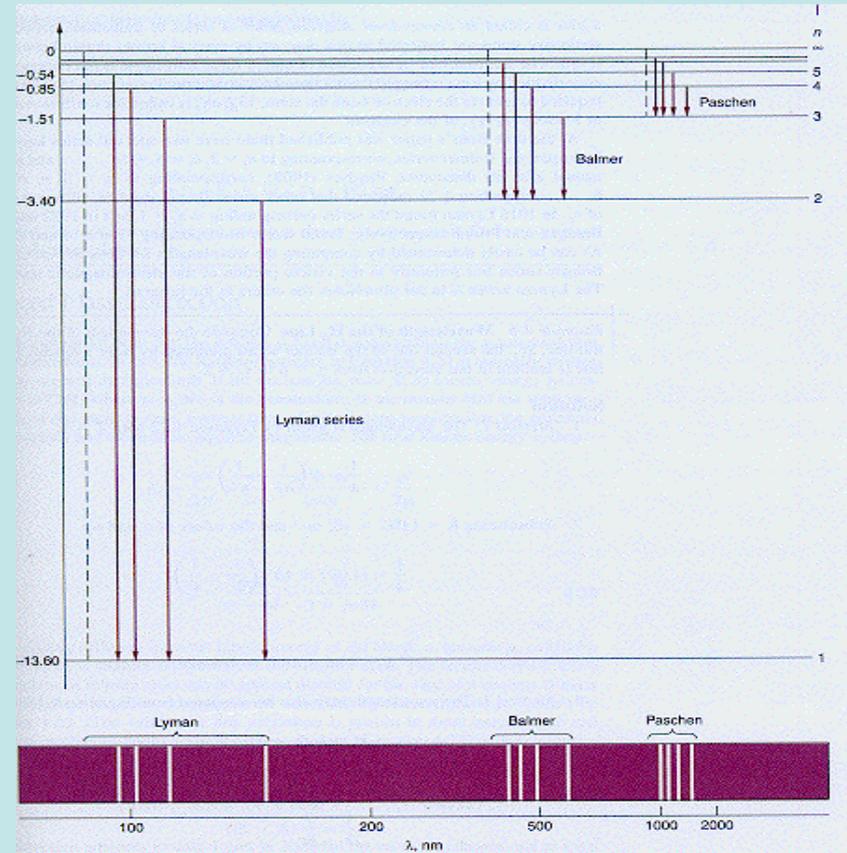


# Transizioni quantizzate

Le energie di un atomo di idrogeno seguono la legge

$$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} \times 13.6 \text{ eV}$$

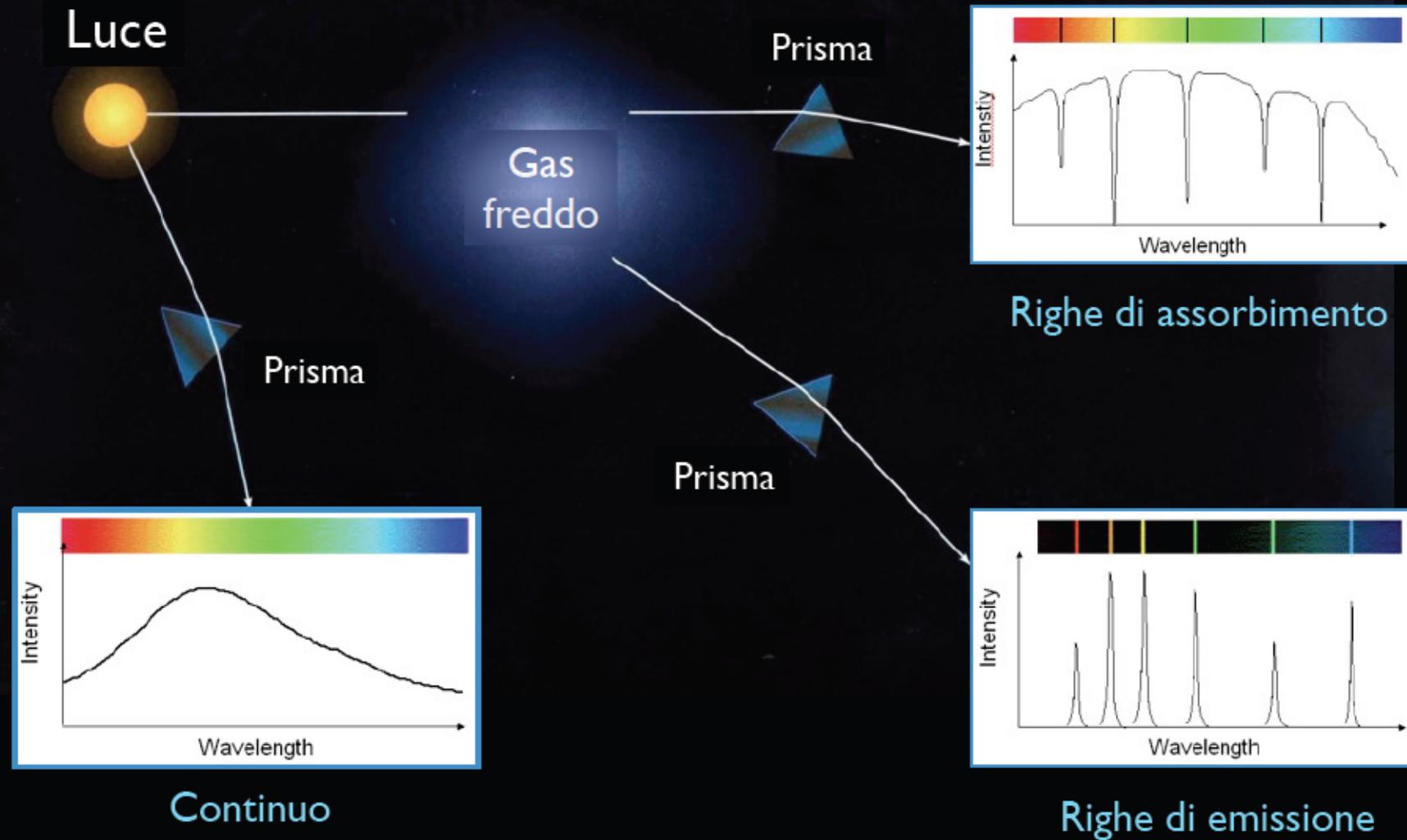
Emissione o assorbimento di fotoni tra livelli quantizzati di un atomo [o di uno ione]



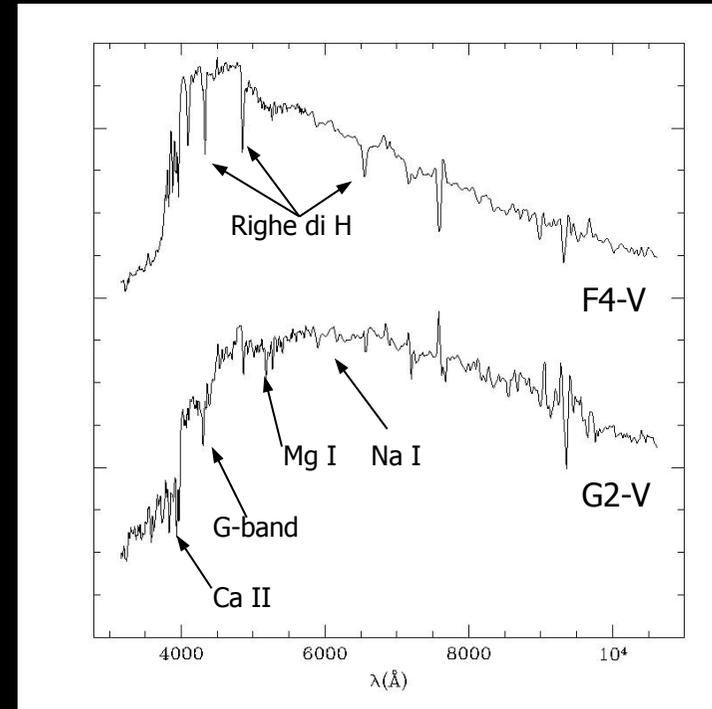
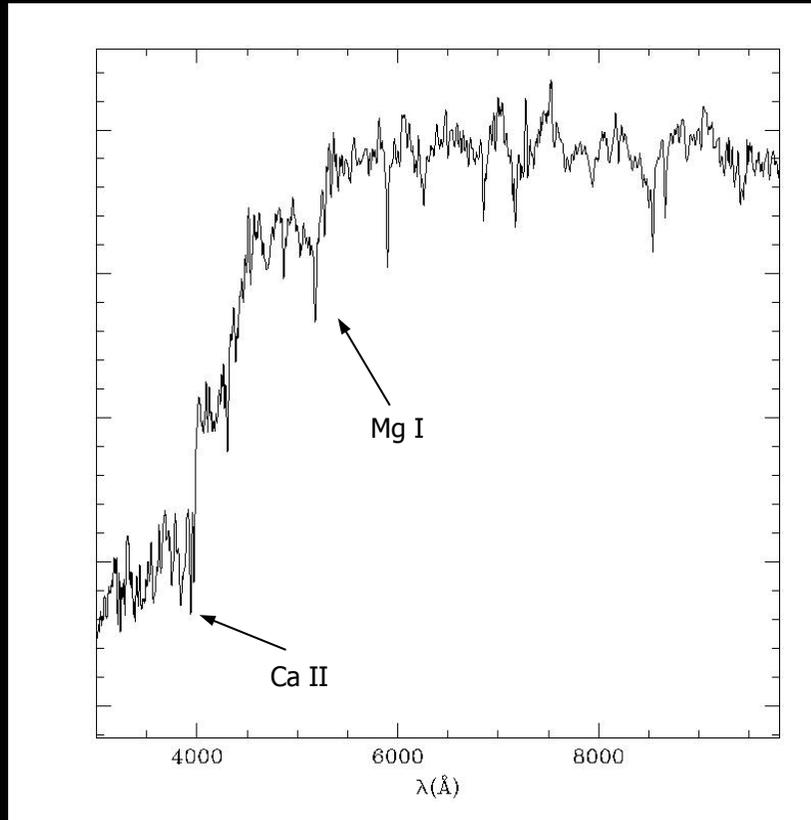
Energie dei fotoni:  $hf_{mn} = E_n - E_m$

1 fotone di  $f=10^{15}$  Hz  $E = 6.62 \cdot 10^{-19}$  Joule lampadina: 100 joule/sec  
 $\sim 10^{20}$  fotoni/sec

# Tipi di spettro

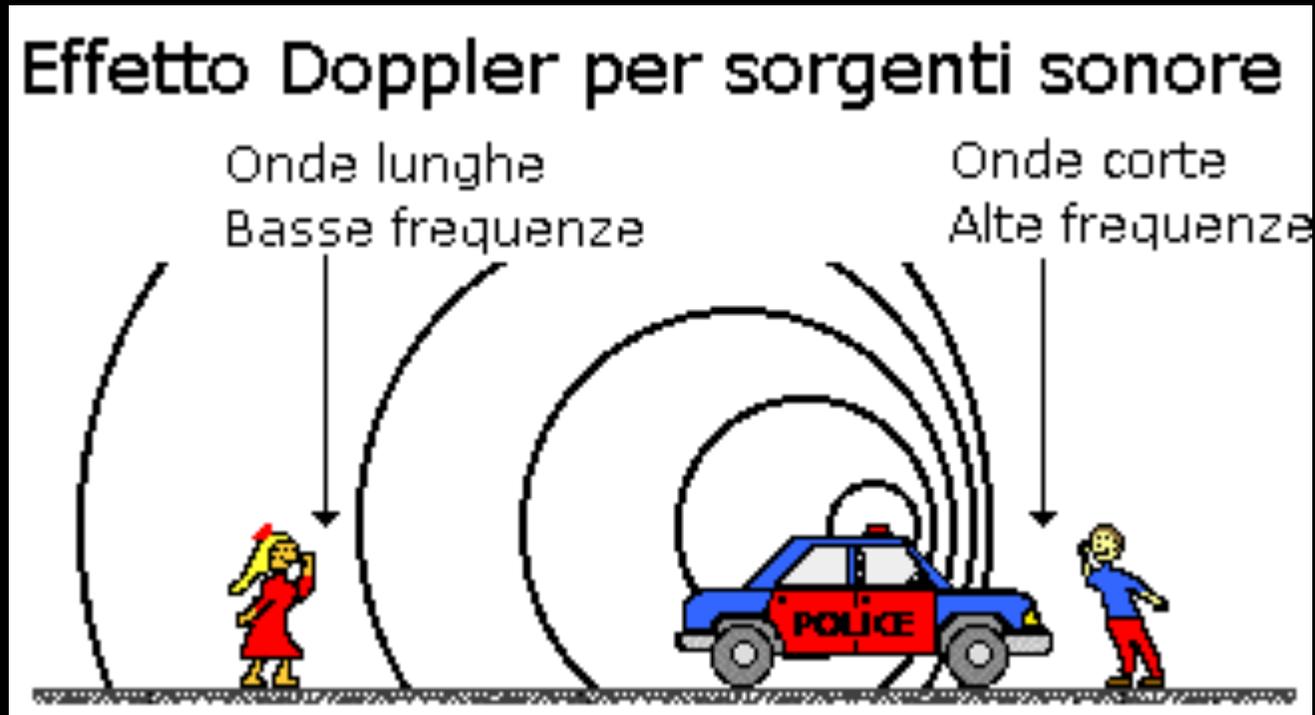


# Spettro di una galassia



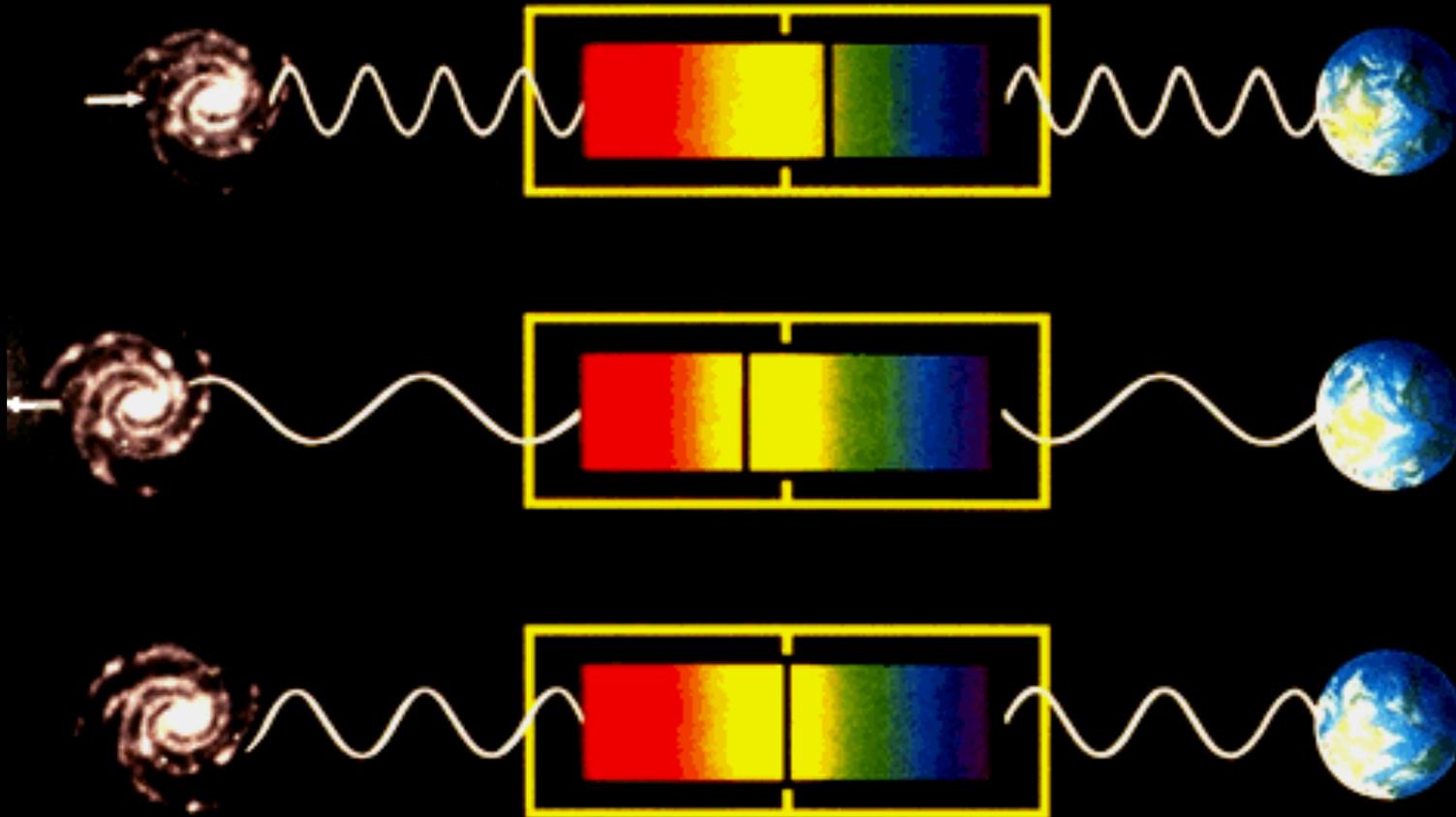
## Effetto Doppler

Una sirena su un'auto che si **avvicina** viene udita con un **suono acuto** (alte frequenze), mentre la stessa sirena su un'auto che si **allontana** viene udita con un **suono grave** (basse frequenze).



Negli spettri astronomici, una galassia che si allontana mostrerà uno spostamento delle righe verso le basse frequenze (colore rosso; **redshift**), mentre una galassia che si avvicina mostrerà uno spostamento verso le alte frequenze (colore blu; **blueshift**).

**La radiazione di una stella che si avvicina alla terra è più blu**



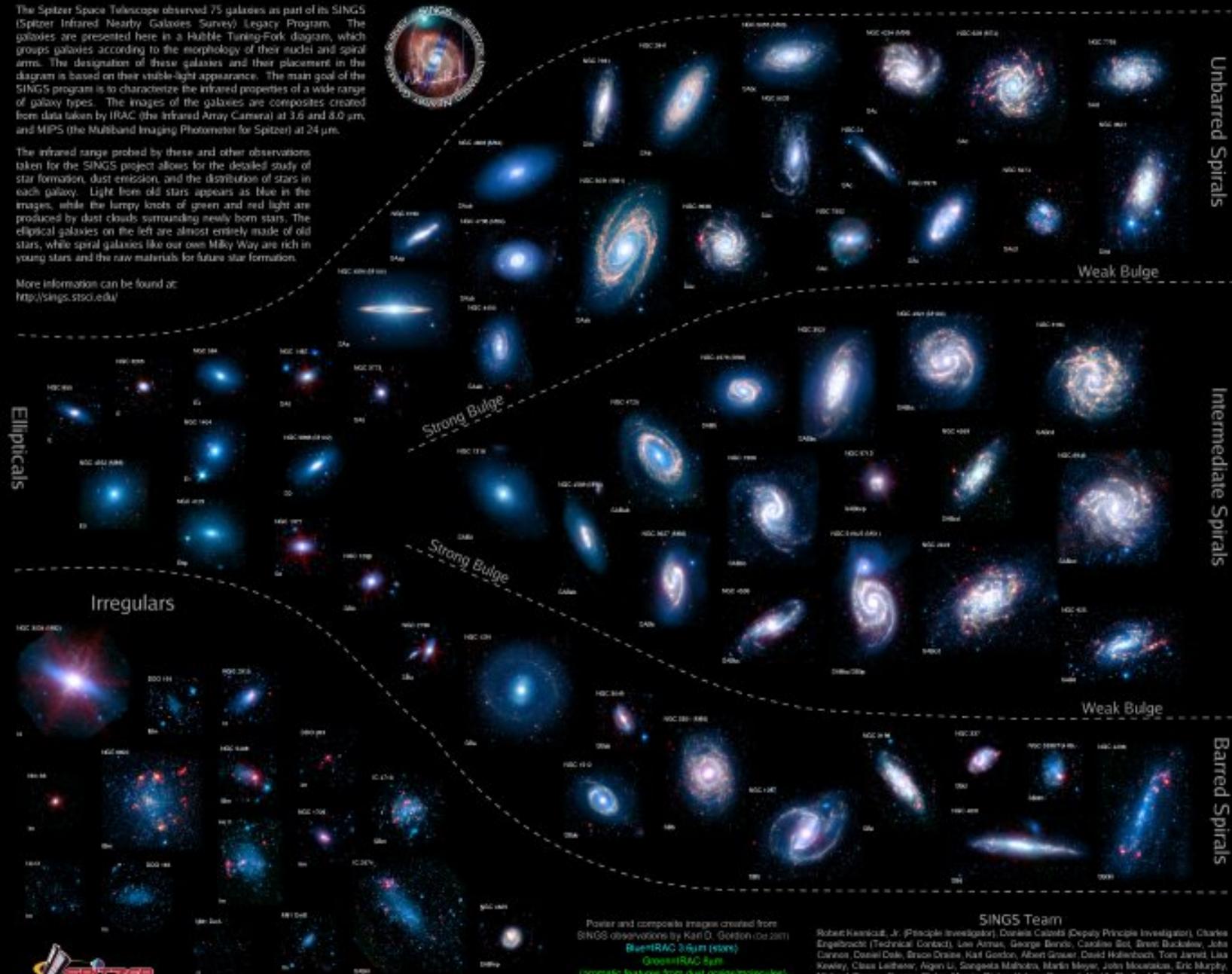
**La radiazione di una stella che si allontana dalla terra è più rossa**

# The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork

The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0  $\mu\text{m}$ , and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24  $\mu\text{m}$ .

The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.

More information can be found at: <http://sings.stsci.edu/>



Ellipticals

Irregulars

Strong Bulge

Strong Bulge

Unbarred Spirals

Weak Bulge

Intermediate Spirals

Weak Bulge

Barred Spirals



Poster and composite images created from SINGS observations by Karl O. Gordon (ed 2001)  
 BlueIRAC 3/4um (stars)  
 GreenIRAC 8um  
 (orange features from dust grains/molecules)  
 RedMIPS 24um (warm dust)

### SINGS Team

Robert Kennicutt, Jr. (Principal Investigator), Coralia Calzad (Deputy Principle Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Danneke, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Grouer, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kinney, Cassa Leitherer, Arjen U, Sangita Mahata, Marlin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Ragan, George Rieke, Manca Rieke, Heleno Rosado, Karik Shebi, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walker & George Hatzu

Spettri di galassie  
in ordine di “tipo di  
Hubble”

Sono la SOMMA  
degli spettri stellari  
Un poco “spostati”  
a causa del redshift

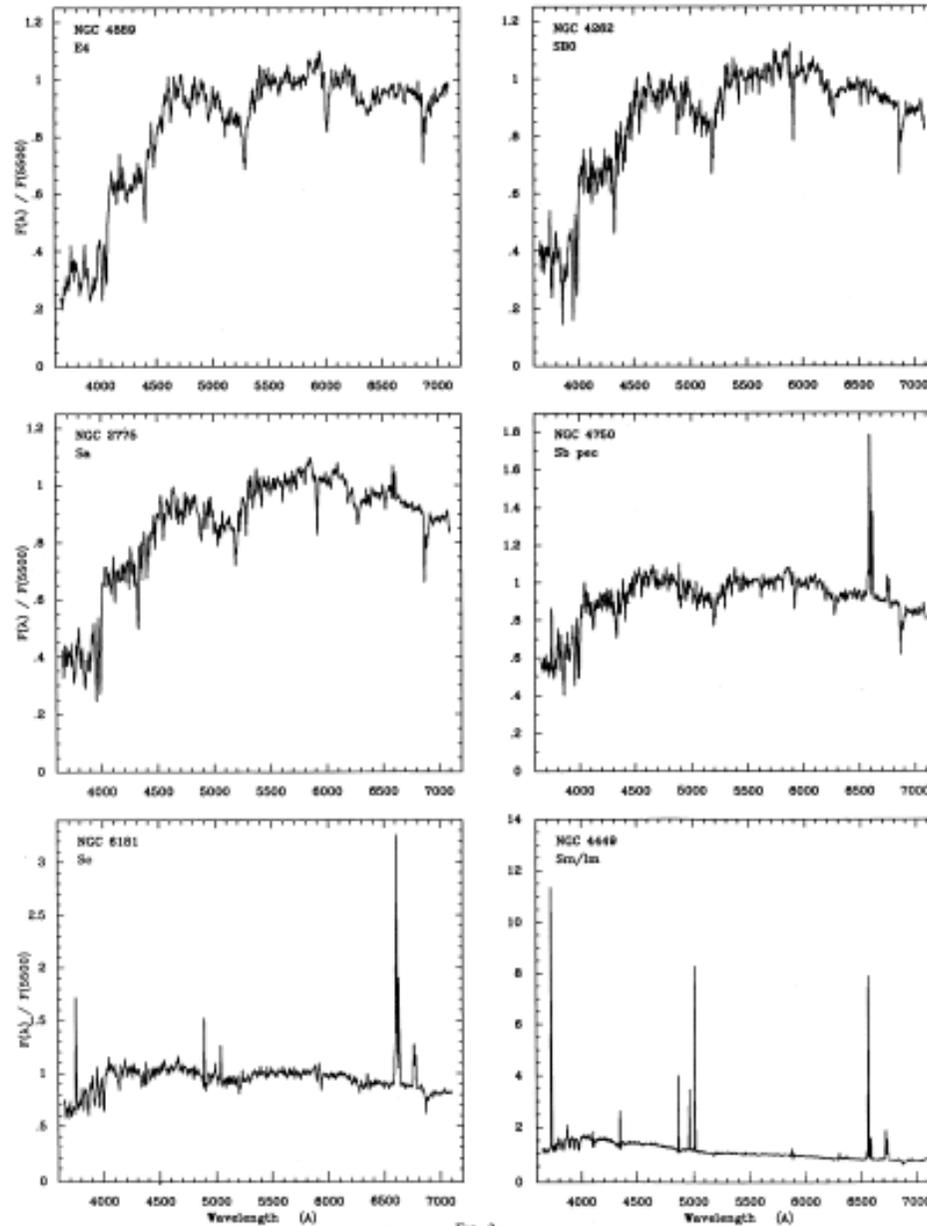
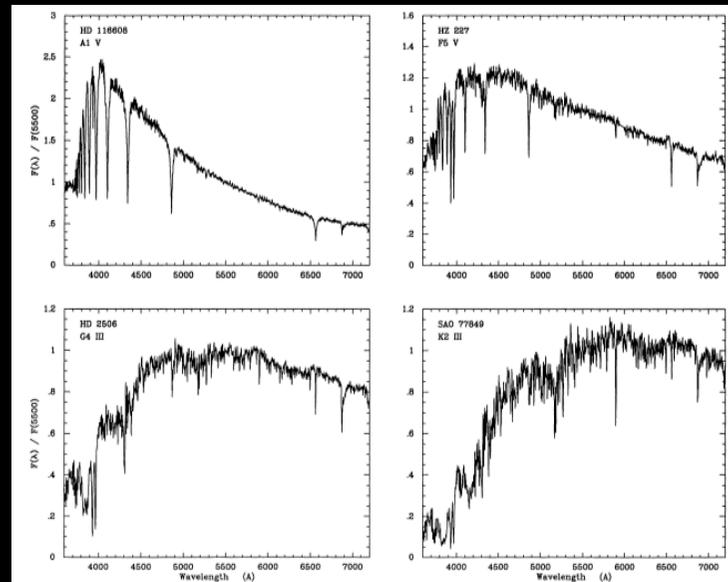


FIG. 2a

FIG. 2—(a) The spectral Hubble sequence. Galaxies are shown in order of increasing Hubble type from top to bottom. See Table 3 for data on the galaxies. (b) Same spectra as in (a), but expanded in the blue to show the properties of the absorption-line spectra.



Hubble elabora una **relazione tra distanza e velocità** (confermando i risultati teorici del belga Lemaître).

Gli effetti della velocità (redshift) vengono usati come misura della **distanza**.

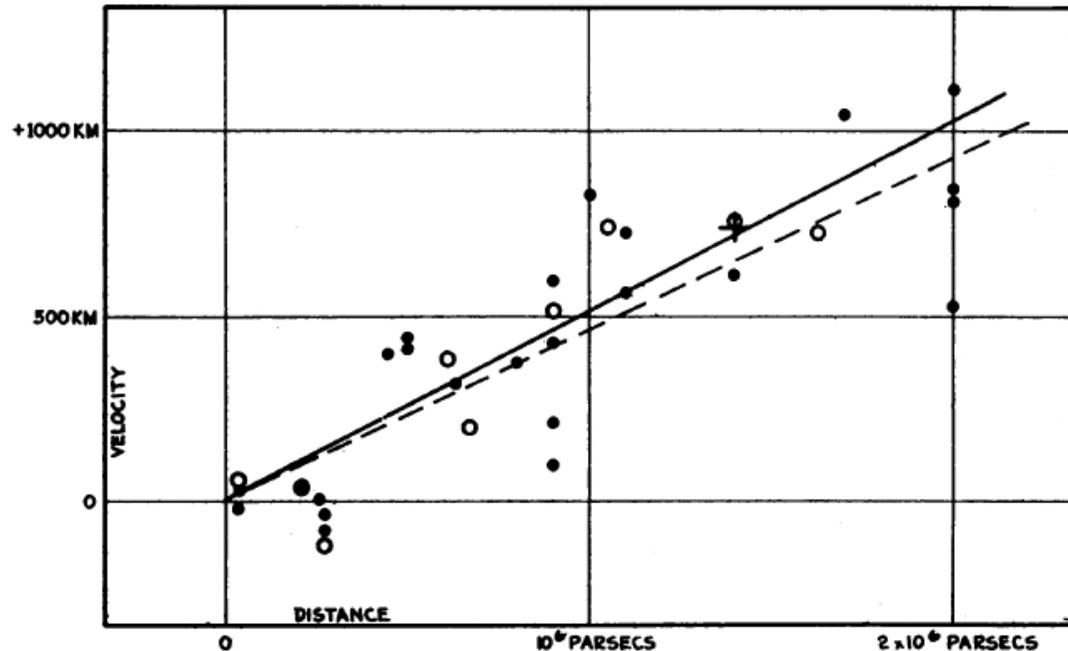


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

*A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY  
AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE*

BY EDWIN HUBBLE

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

Communicated January 17, 1929

Determinations of the motion of the sun with respect to the extra-galactic nebulae have involved a  $K$  term of several hundred kilometers which appears to be variable. Explanations of this paradox have been sought in a correlation between apparent radial velocities and distances, but so far the results have not been convincing. The present paper is a re-examination of the question, based on only those nebular distances which are believed to be fairly reliable.

Si tratta della base osservativa che condurrà alla formulazione della teoria del **Big Bang**.

2

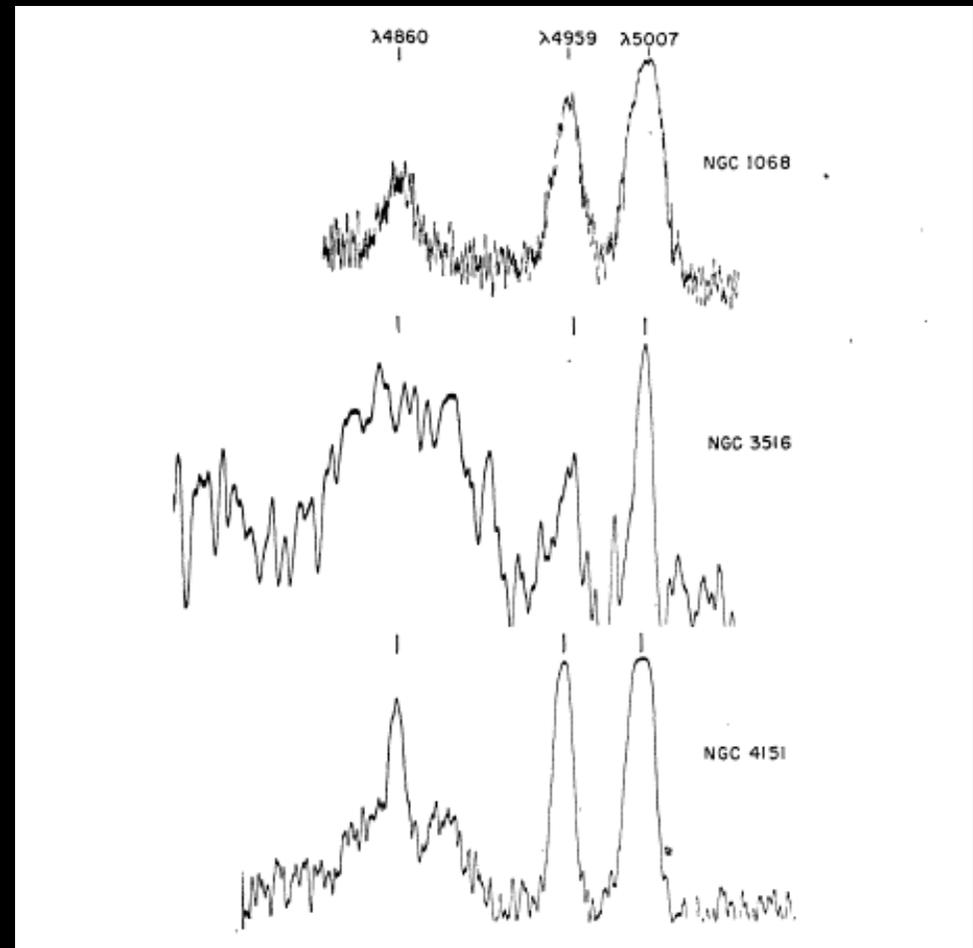
Strane galassie

# Nel 1943 si scoprono delle “strane” galassie: “Nuclear Emission in Spiral Nebulae” by Carl K. Seyfert

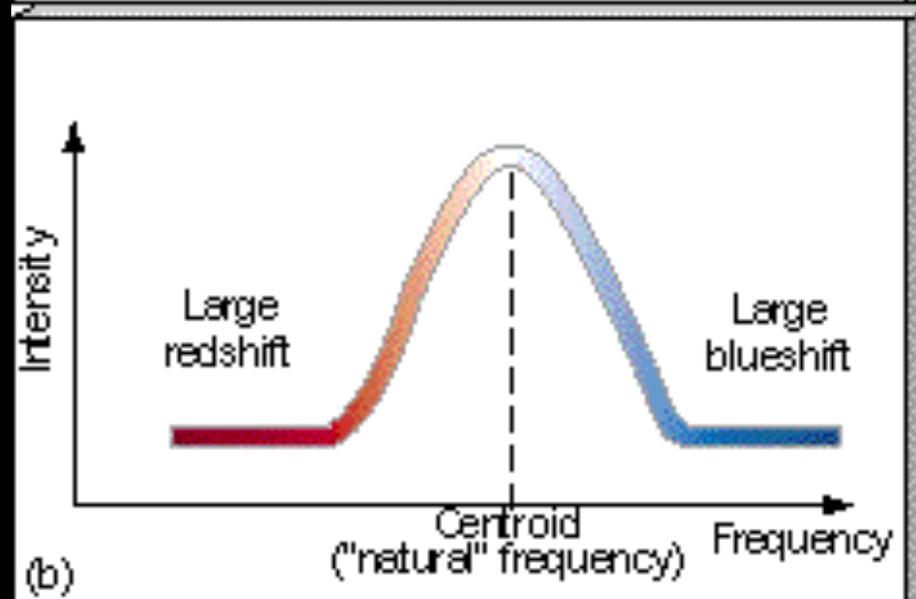
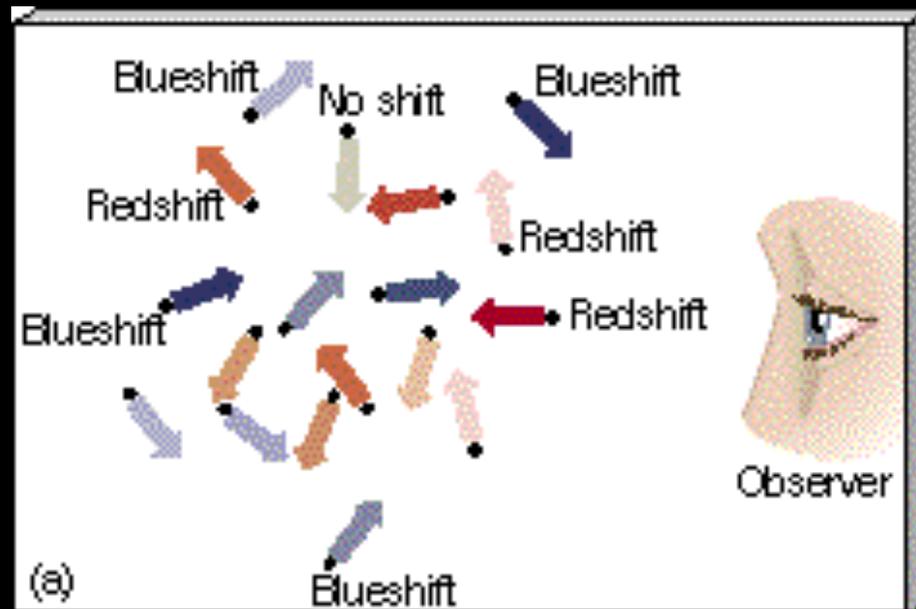
- Nucleo
- Variabilità < 1 anno
- Righe di Emissione



Carl Seyfert al telescopio da 24 pollici della Vanderbilt University.  
(Credit: U. Vanderbilt)



# Spettri

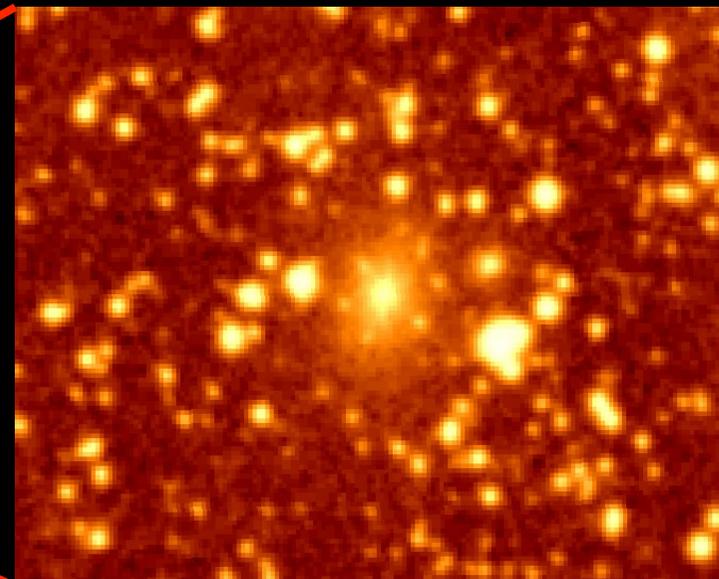
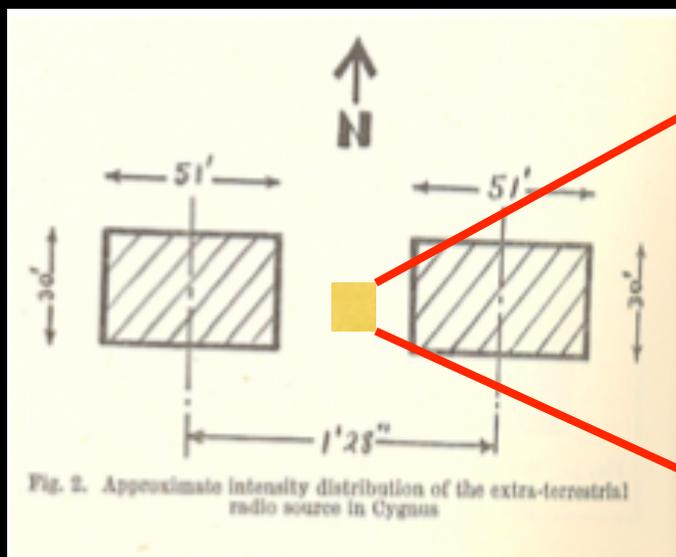


## I primi radiotelescopi



# Identificazione delle radio sorgenti

- Se l'identificazione della radio sorgente è corretta, allora non c'è alcuna correlazione tra l'emissione di onde radio e la galassia



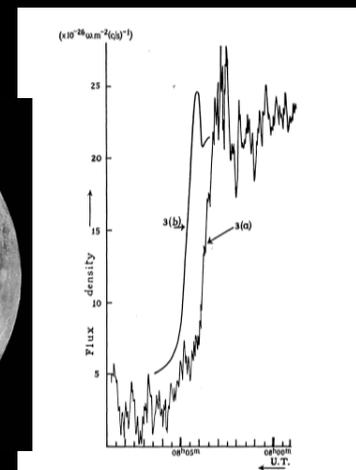
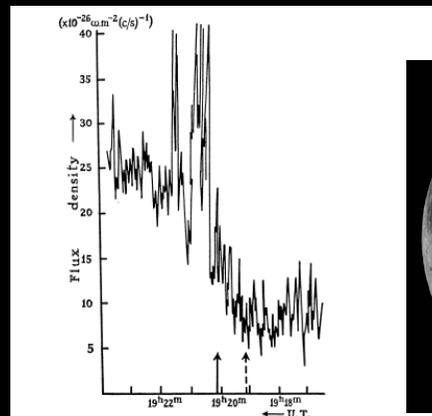
# Osservazione di 3C 273

Dal 3° catalogo di Radio Sorgenti di Cambridge (Edge et al 1959)  
Che contiene 471 sorgenti di onde radio (159 MHz)

Schmidt 1962: 3C 286 riga a  $5170 \text{ \AA}$  Non identificato!

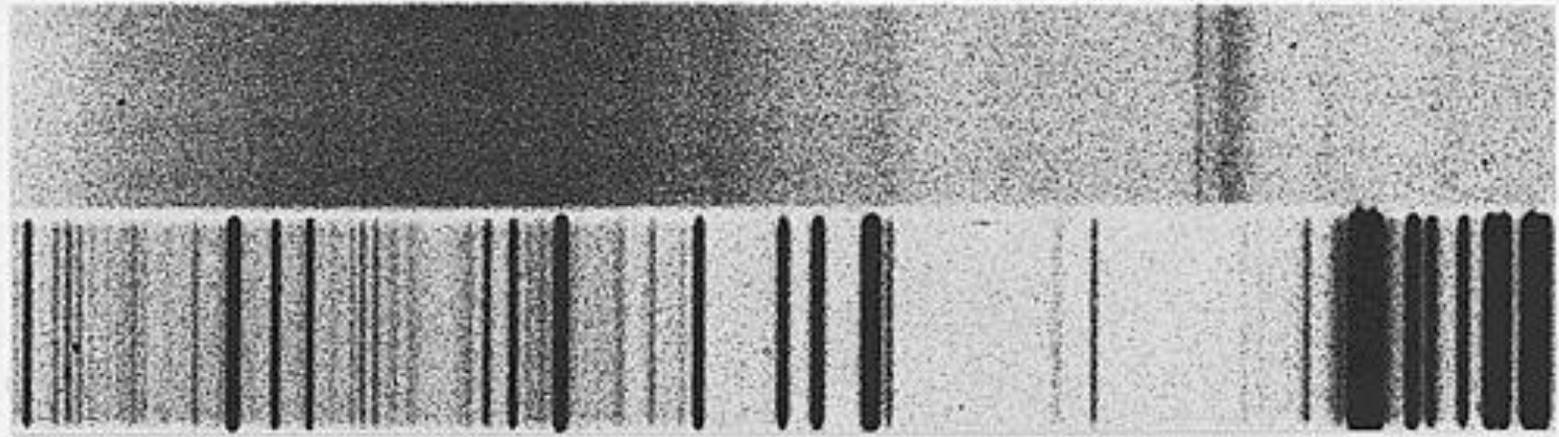
Matthews & Sandage 1963 "Radio stars" 3C 48 3C 169 e 3C 286

Hazard + 1963 occultazione lunare



3C 273

H $\delta$     H $\gamma$     H $\beta$

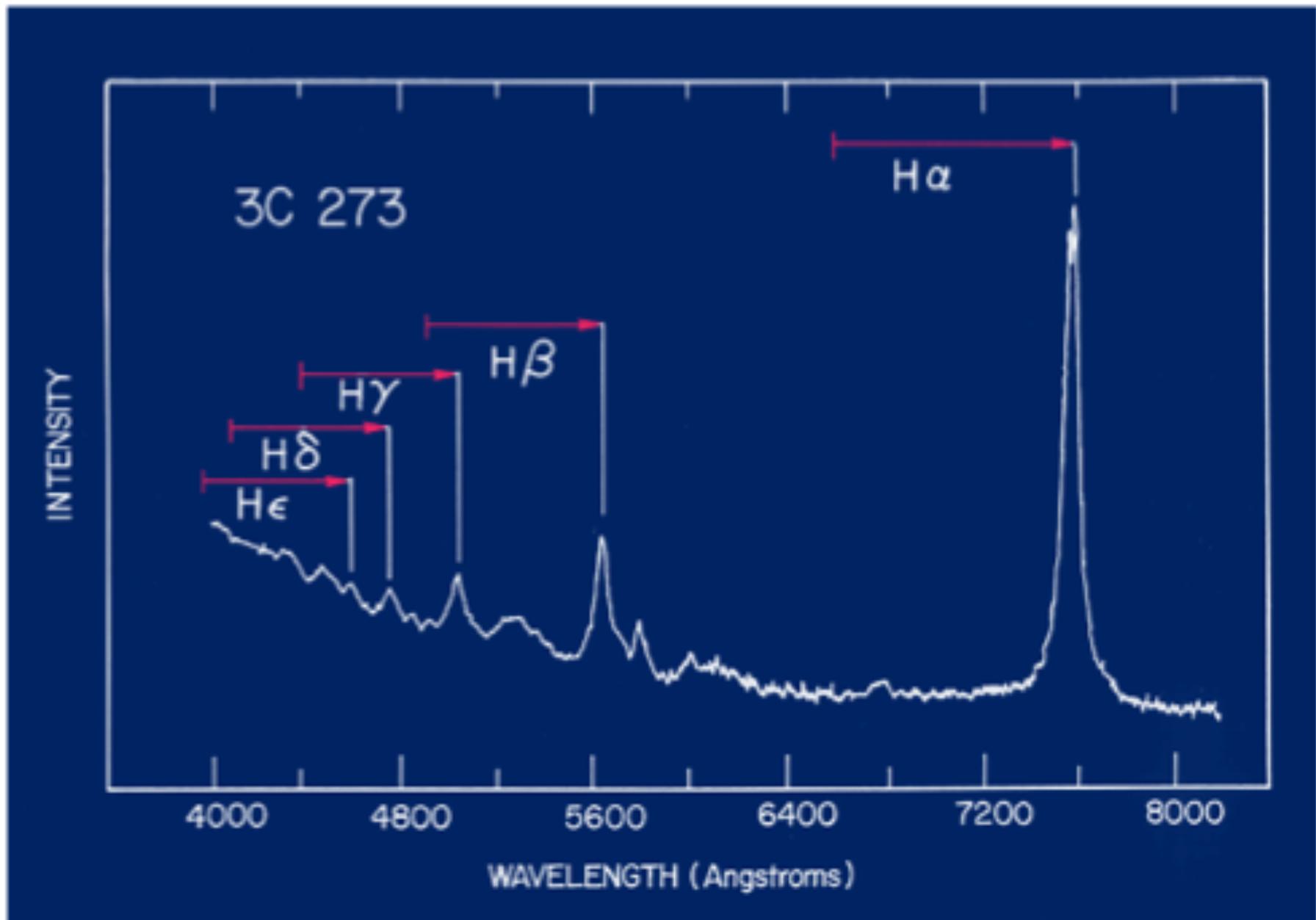


Comparison  
Spectrum

410 nm    434 nm    486 nm

Table 1. WAVE-LENGTHS AND IDENTIFICATIONS

$\lambda$	$\lambda/1.158$	$\lambda_0$	Identifications
3230	2797	2798	Mg II
4595	3968	3970	H $\epsilon$
4753	4104	4102	H $\delta$
5032	4345	4340	H $\gamma$
5200-5415	4490-4675		
5632	4864	4861	H $\beta$
5792	5002	5007	[O III]
6005-6190	5186-5345		
6400-6510	5527-5622		



# QUASAR

Secondo la legge di Hubble, questo voleva dire che 3C 273 è distante dalla Terra ben 500 Mpc (~2 miliardi di anni luce) e si allontana alla velocità di 50000 km/s (1/6 di quella della luce!).

“Most direct and least objectionable”  
La spiegazione più diretta e meno discutibile



1040 NATURE March 16, 1963 vol. 197

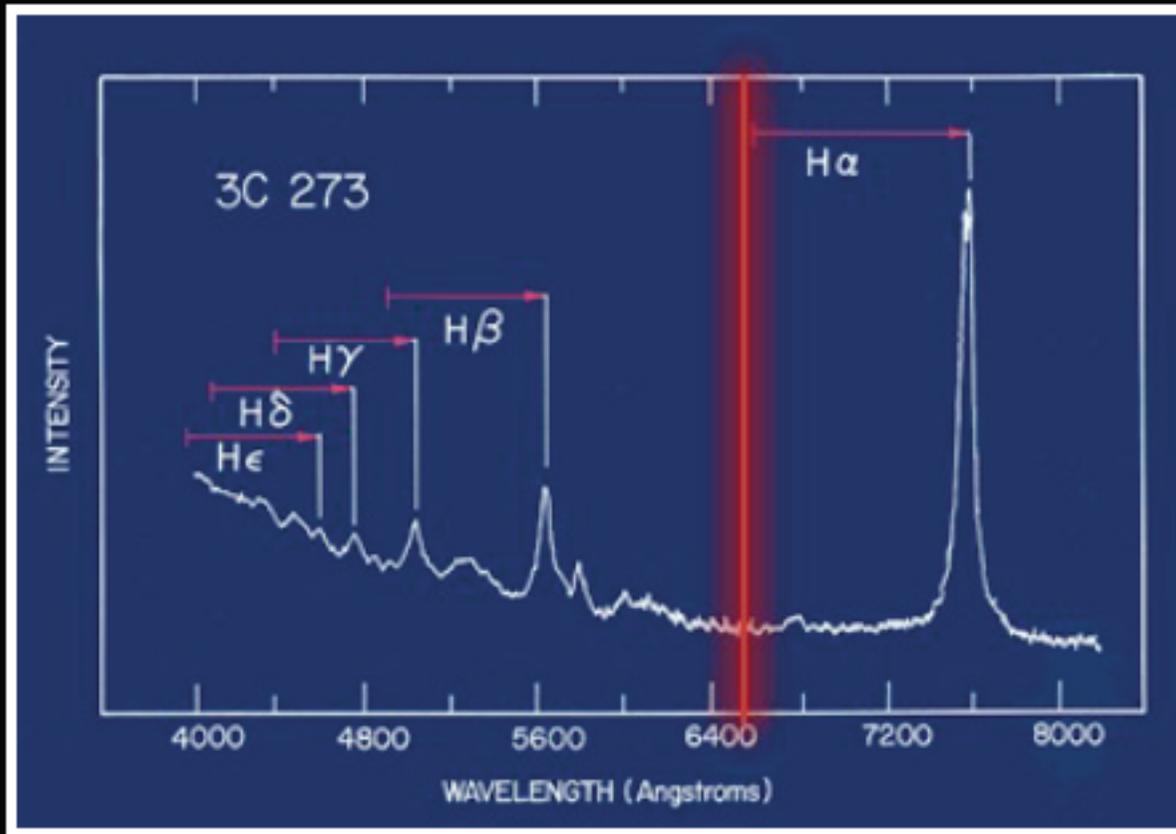
**3C 273: A STAR-LIKE OBJECT WITH LARGE RED-SHIFT**  
By Dr. M. SCHMIDT

Mount Wilson and Palomar Observatories, Carnegie Institution of Washington, California Institute of Technology, Pasadena

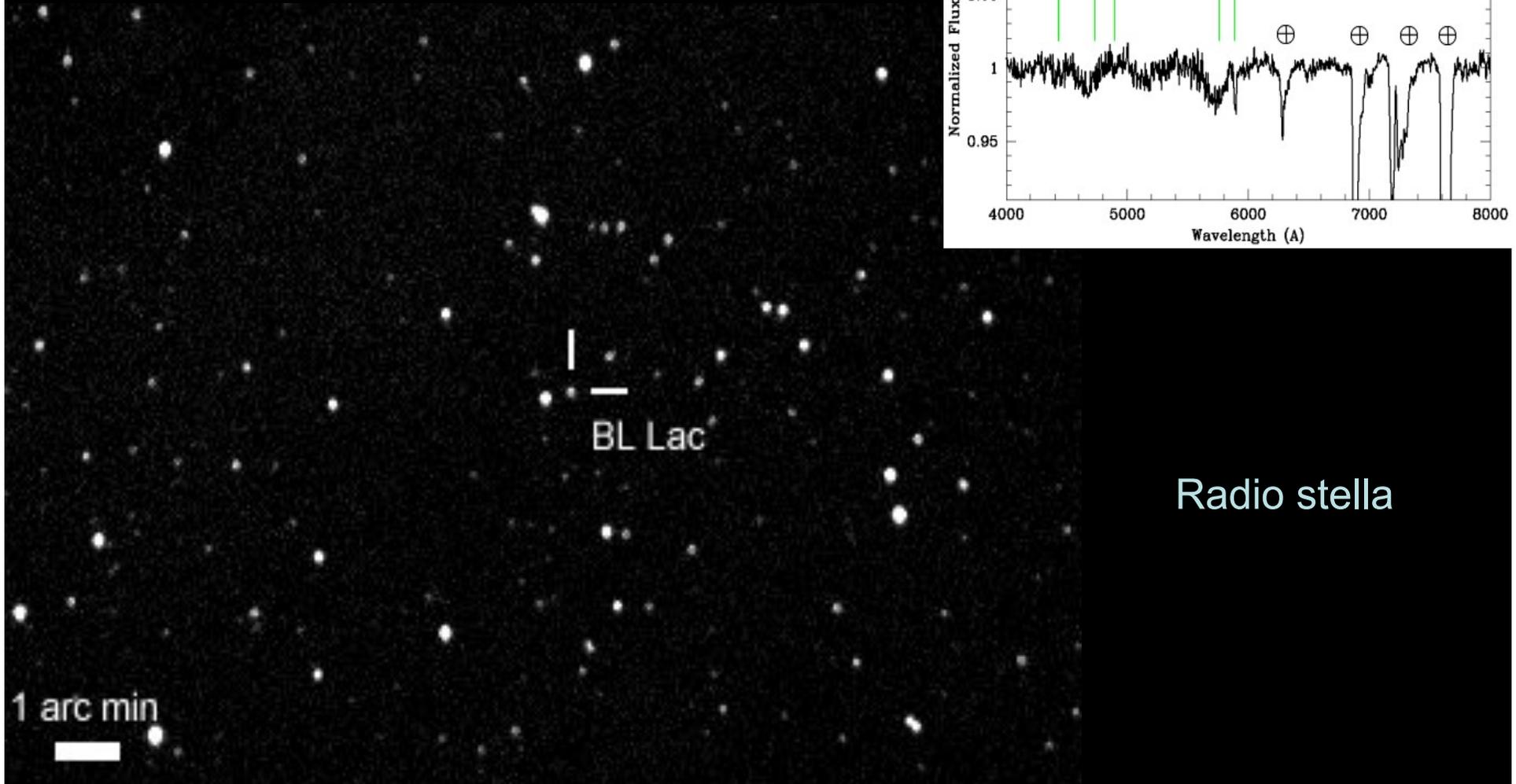
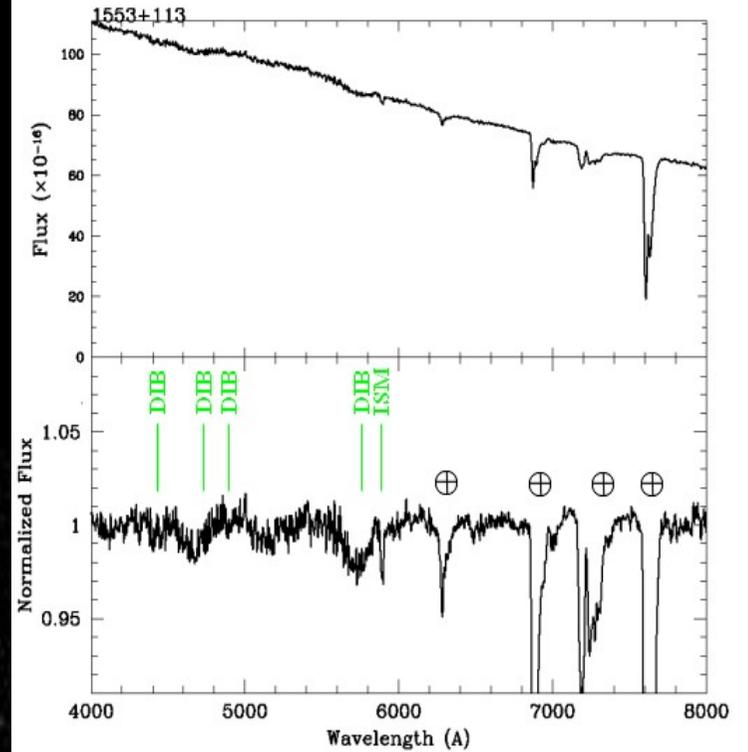
THE only objects seen on a 200-in. plate near the positions of the components of the radio source 3C 273 reported by Hazard, Mackey and Shimozina in the preceding article are a star of about thirteenth magnitude and a faint wispy jet. The jet has a width of 1"-2" and extends away from the star in position angle 43°. It is not visible within 11" from the star and ends abruptly at 20" from the star. The position of the star, kindly furnished by Dr. T. A. Matthews, is B 4

$\lambda$	3C 273	$\lambda$	Identifications
3230	3747	3796	Mg II
4046	3986	3970	H $\alpha$
4133	4134	4132	H $\beta$
4267	4265	4267	H $\gamma$
5050-5115	4860-5075		
5452	5454	5451	H $\delta$
5791	5491	5491	H $\epsilon$
6050-6130	5796-5795		
6495-6125	5517-5422		

La luminosità di questa sorgente è 100-1000 volte maggiore di qualsiasi oggetto noto in quel momento.



# Oggetti di tipo BL Lac



# La ricerca continua

1967: >100 quasars identificati, spettri codificati e distanze misurate  
(M. Burbidge 1967, Annual Review of Astronomy & Astrophysics)



*M. Burbidge*

FR I Sey 1.8 NLXG CSS  
BLRG HPO LINER  
QSO GPS BLRG  
BALQSO Sey 1 LPO QSR  
NLS1 Sey 1.9 Sey 2  
BLL OVV  
FR II

# Proprietà

Spettri con righe di **emissione larghe**

Luminosità elevata

Morfologia peculiare – **getti**

Variabilità

**Emissione RADIO**

Moti **superluminali**

# Proprietà

Spettri con righe di **emissione larghe**

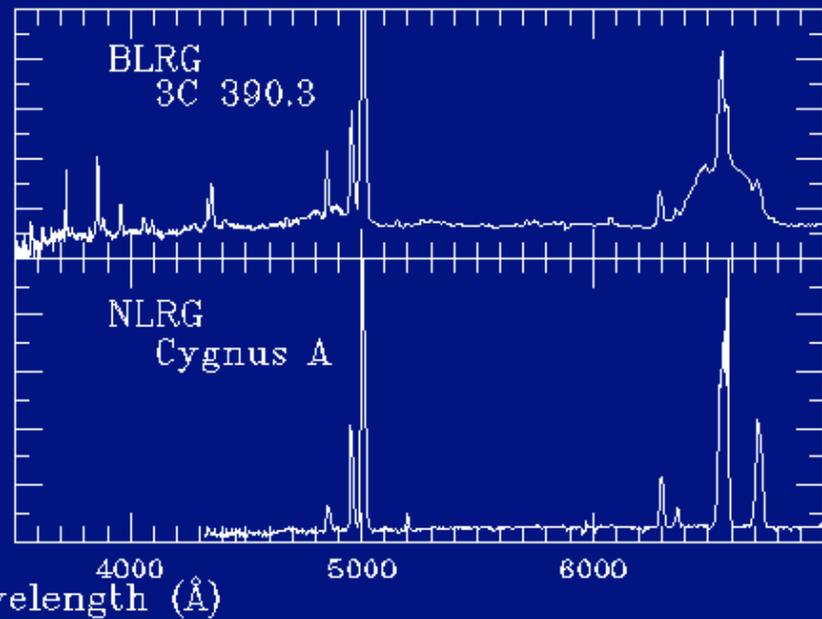
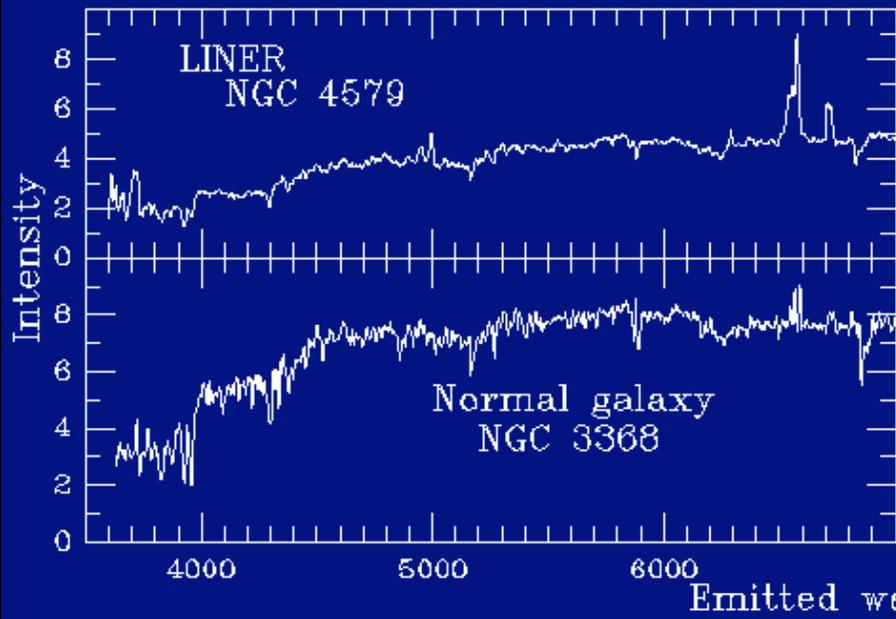
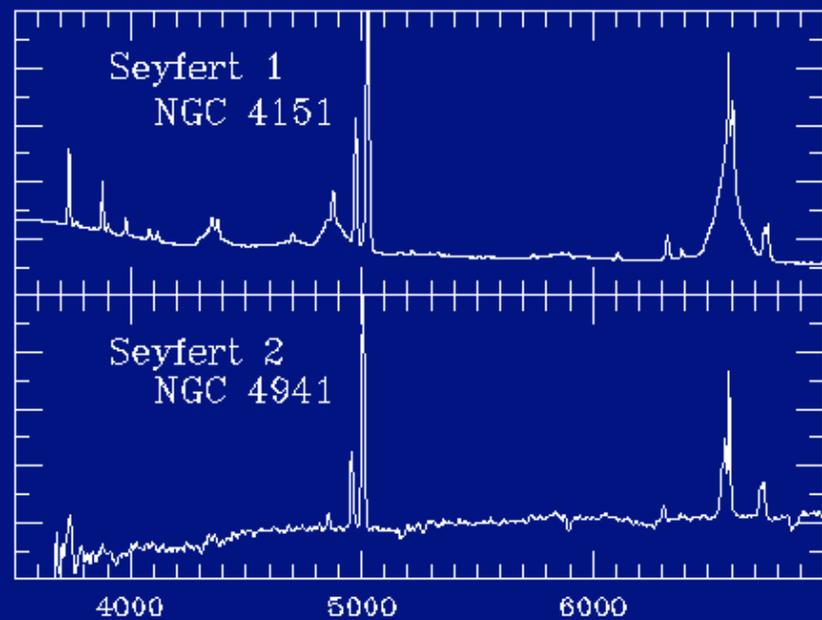
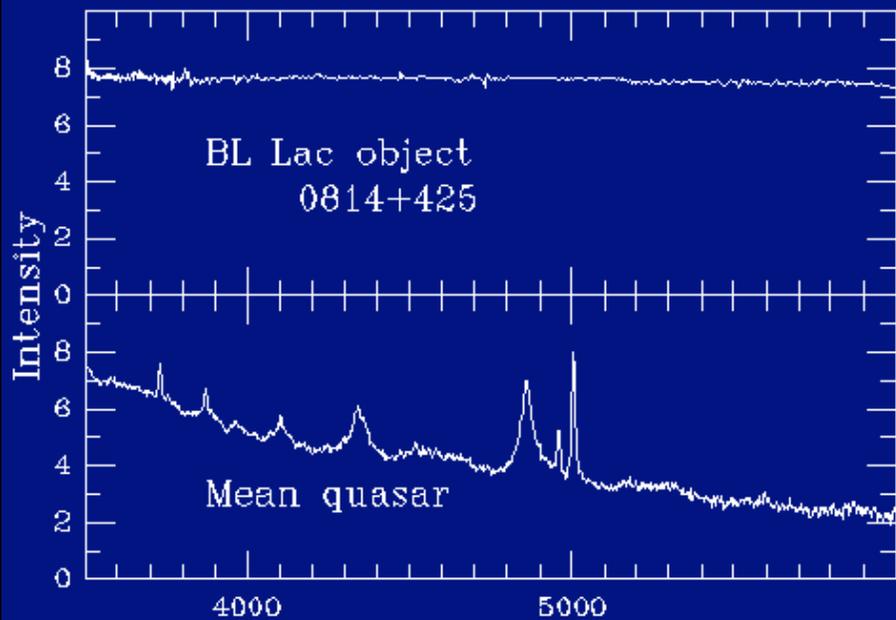
Luminosità elevata

Morfologia peculiare – getti

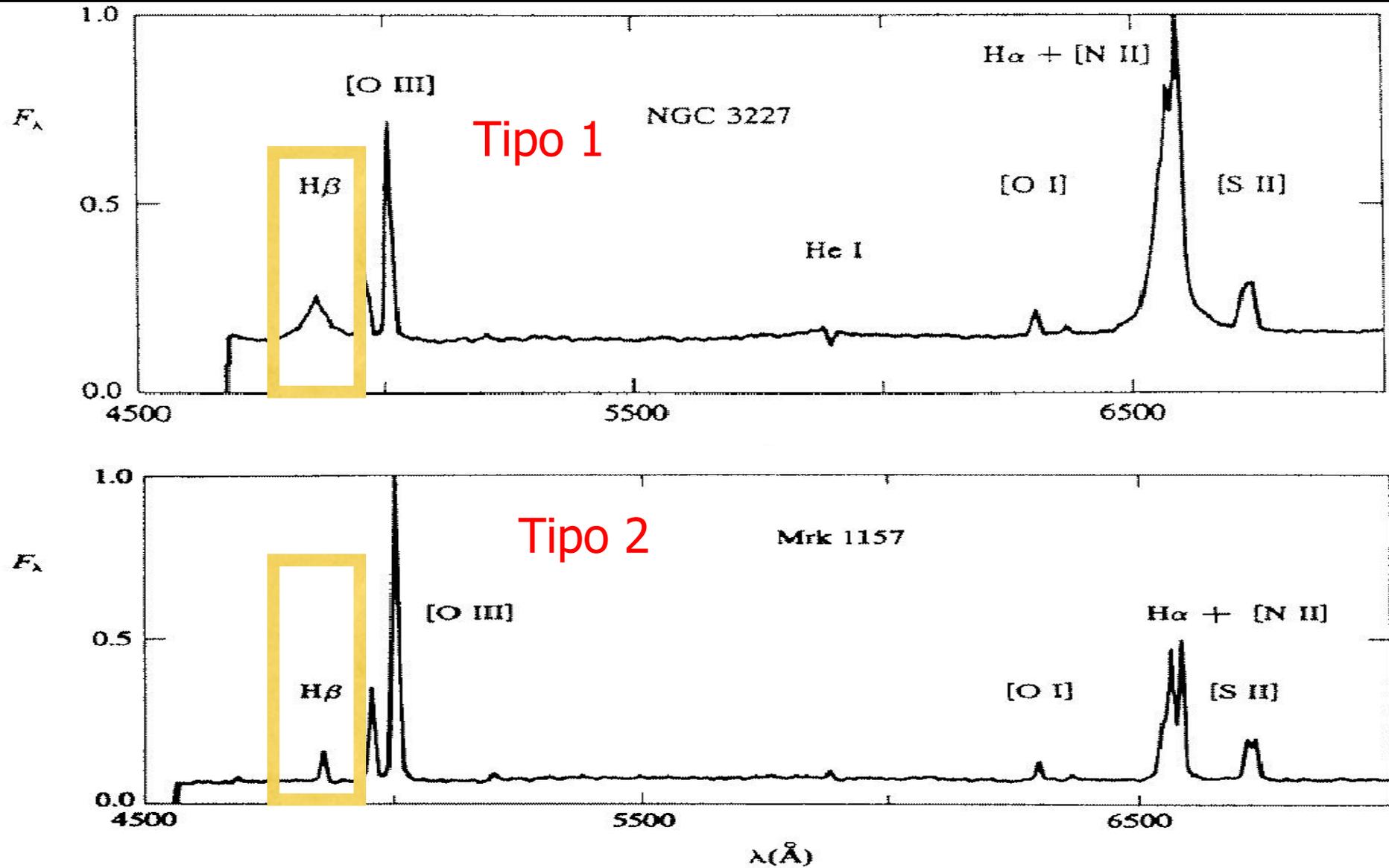
Variabilità

Emissione RADIO

Moti superluminali



# Spettro di emissione



# Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe

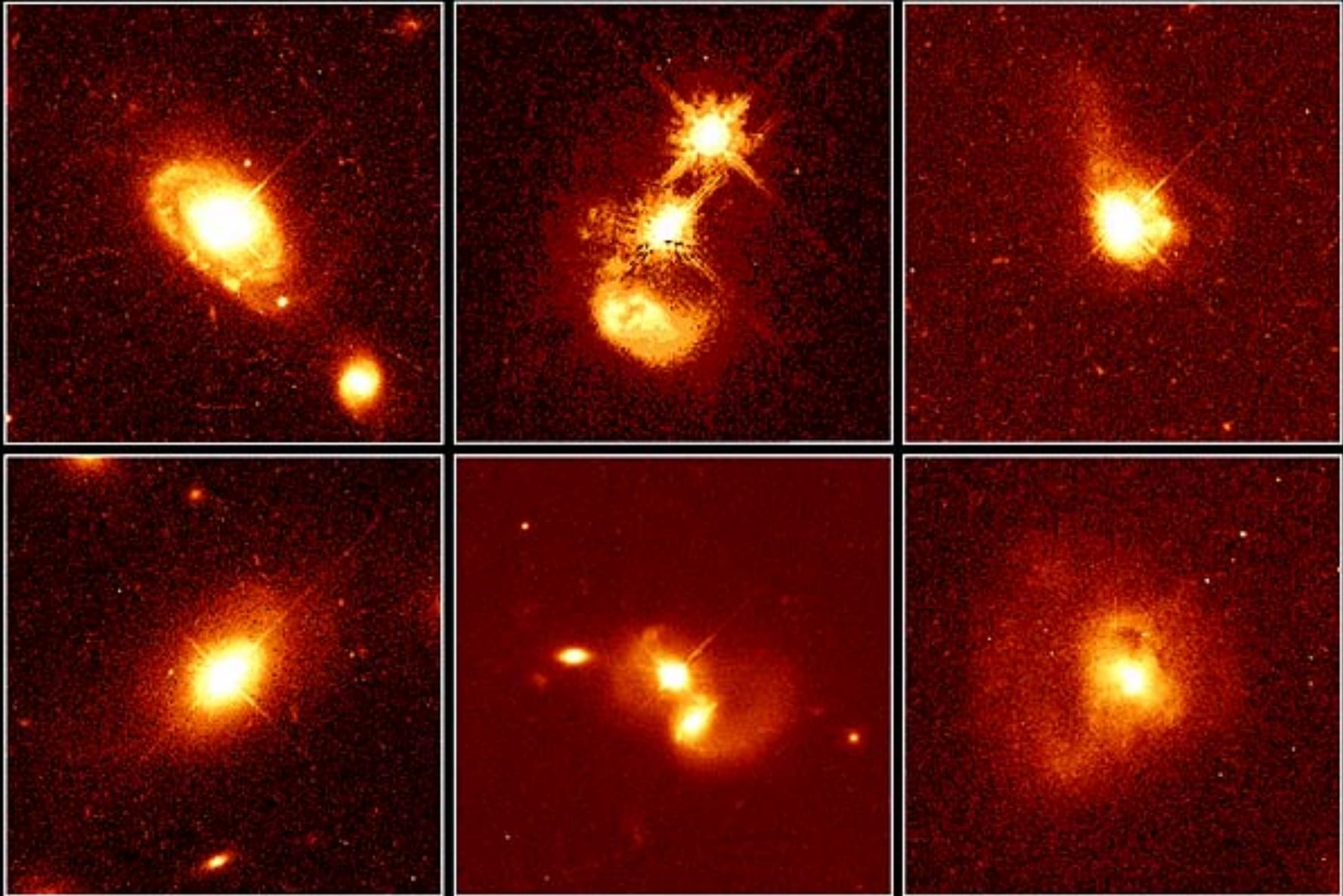
Luminosità elevata

Morfologia peculiare – getti

Variabilità

Emissione RADIO

Moti superluminali



## Quasar Host Galaxies

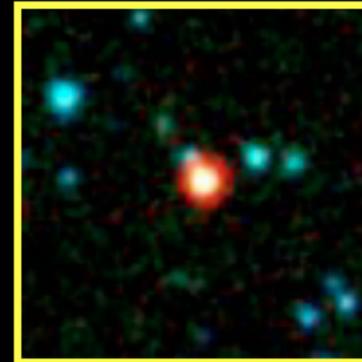
HST • WFPC2

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

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

Produce molta energia:

Spesso di più di quella prodotta dalla galassia che lo ospita



$10^{37}$  Watt

1'000'000'000'000'000'000'000'000'000 ×

Energia consumata sulla  
Terra ogni secondo



# Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe

Luminosità elevata

Morfologia peculiare – **getti**

Variabilità

Emissione RADIO

Moti superluminali

# 3C273

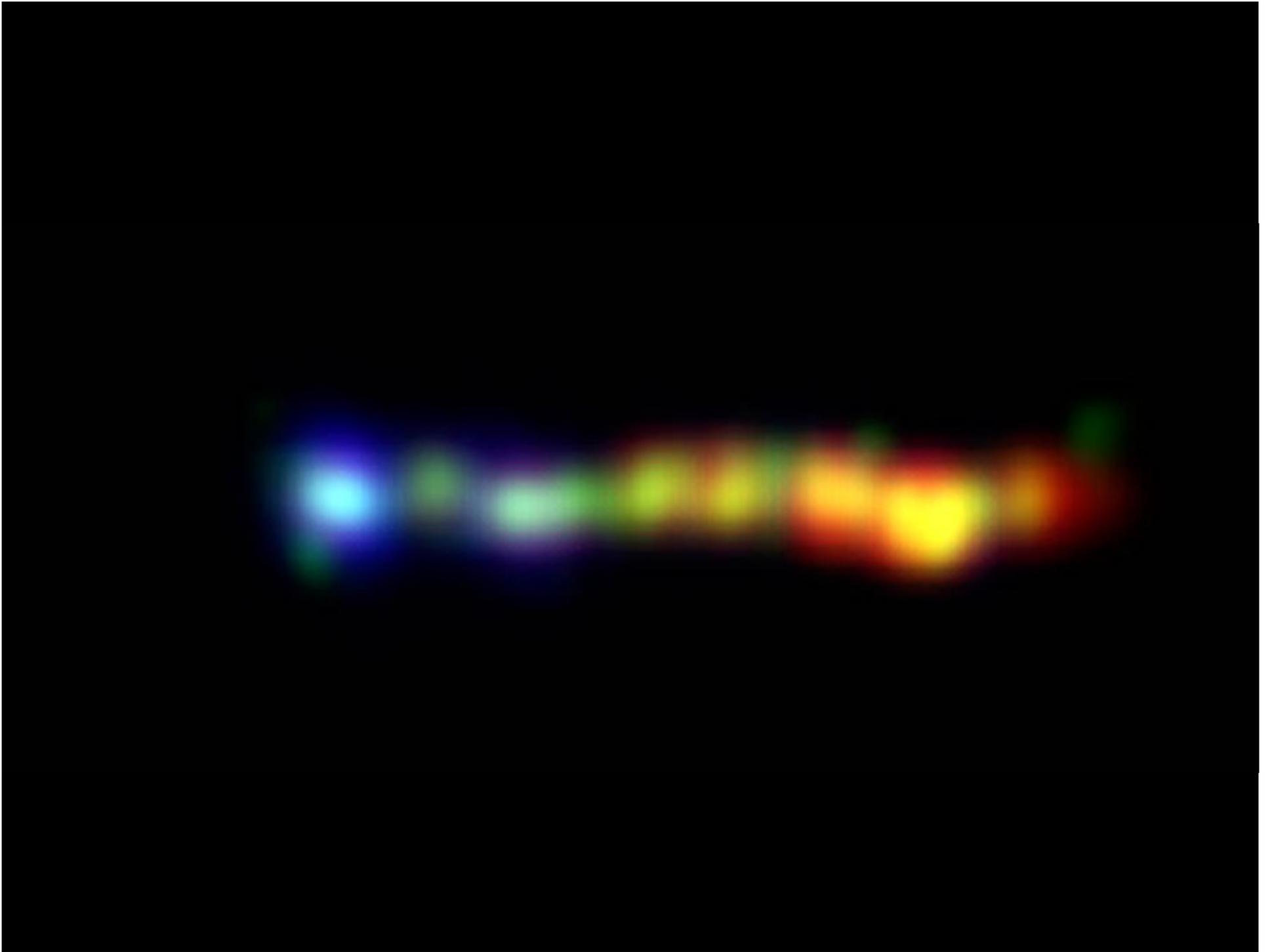
Uno dei più vicini a noi,  
3 miliardi di anni luce

Pur essendo il più  
brillante è mille volte  
troppo debole per  
essere visto ad occhio  
nudo dalla Terra

La sua luminosità è  
12 ordini di grandezza  
( $10^{12}$  volte maggiore di  
quella del Sole)

Il getto è visibile anche in raggi X

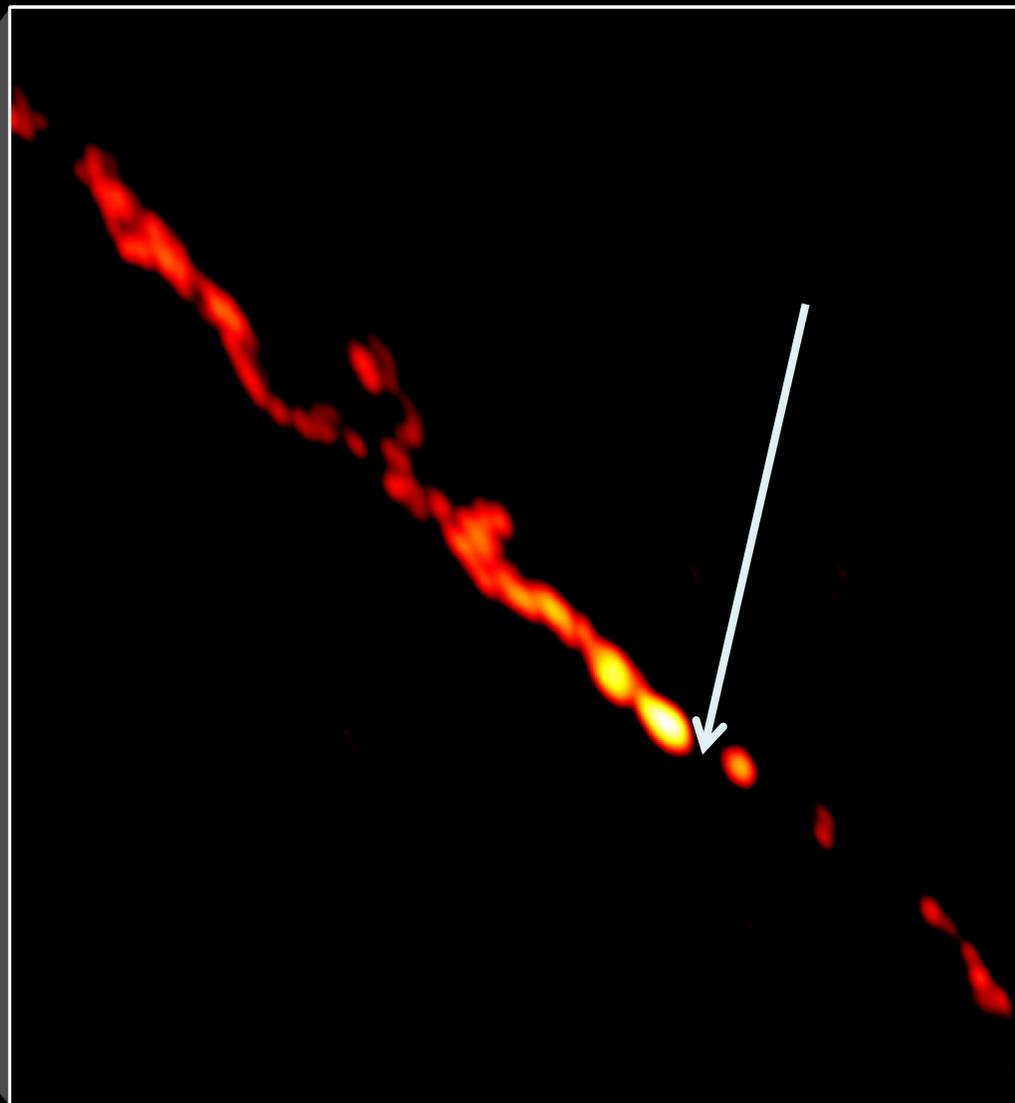




# Centauro A: risultato di uno scontro



# I getti interni di Centauro A



# Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe

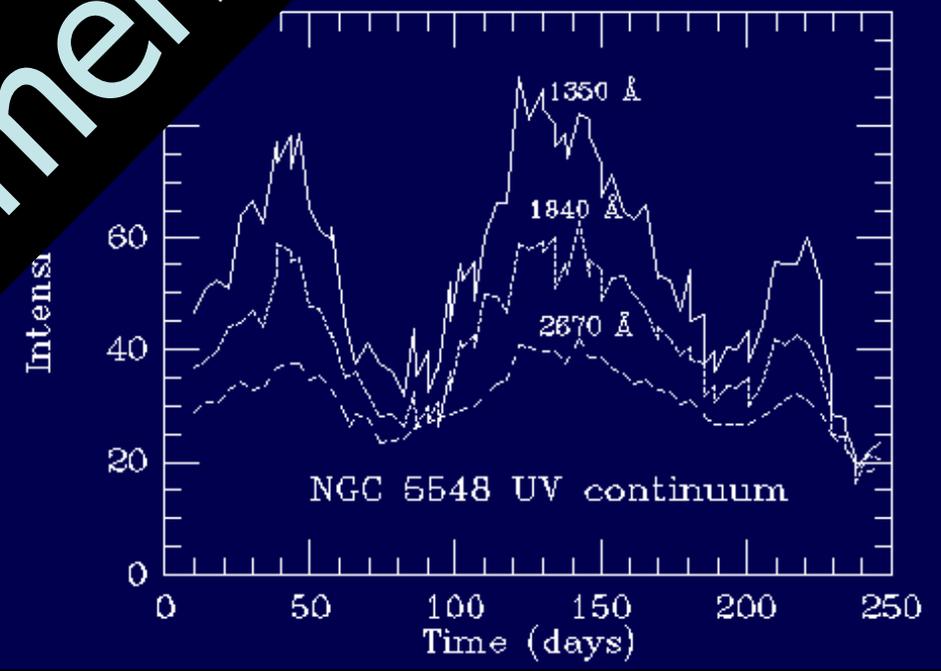
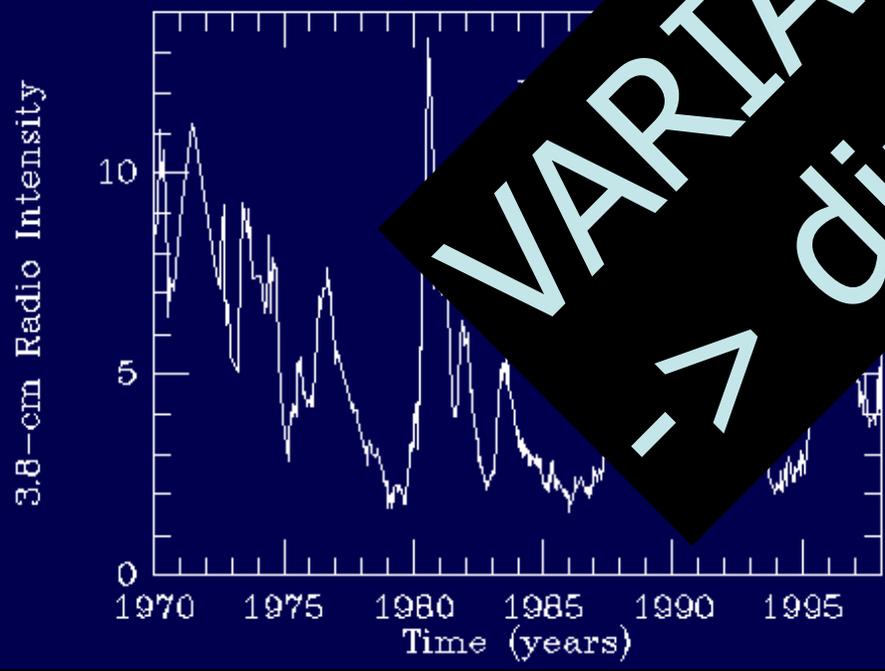
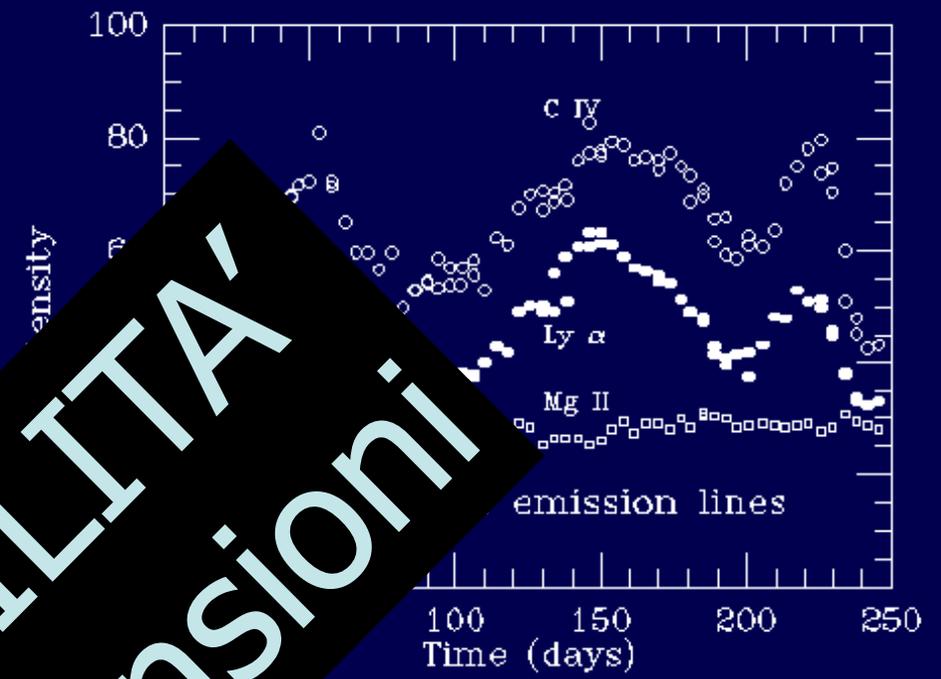
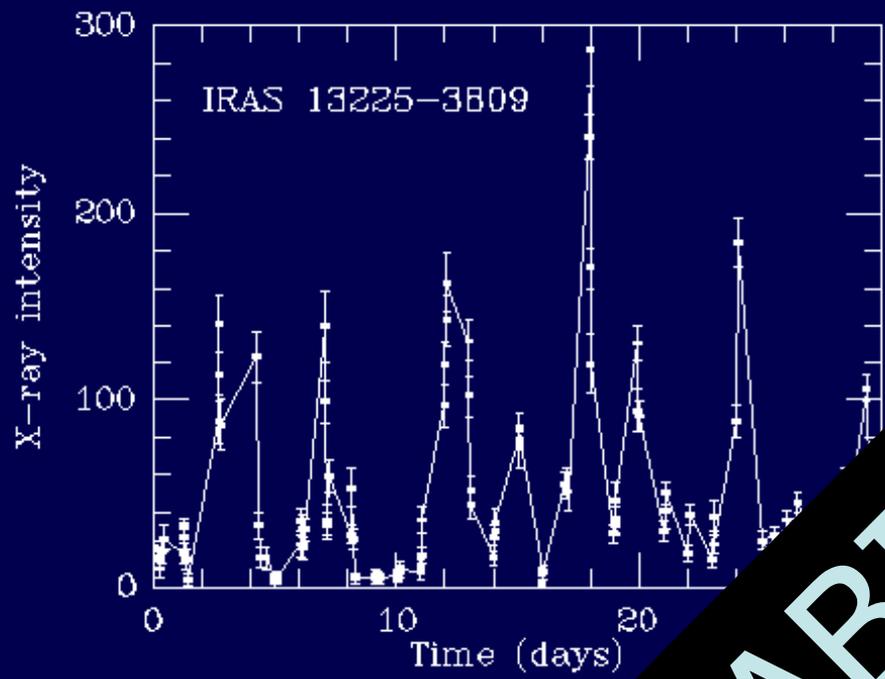
Luminosità elevata

Morfologia peculiare – getti

**Variabilità**

Emissione RADIO

Moti superluminali

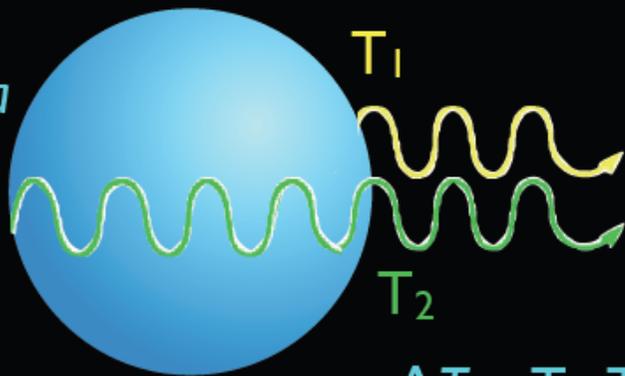


VARIABILITA'  
→ dimensioni

La variabilità implica una sorgente di dimensioni piccole

$\Delta T$  = tempo sul quale la  
luce varia

$c$  = velocità della luce



$$\Delta T = T_2 - T_1$$



$$D = \Delta T \times c$$



# Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe

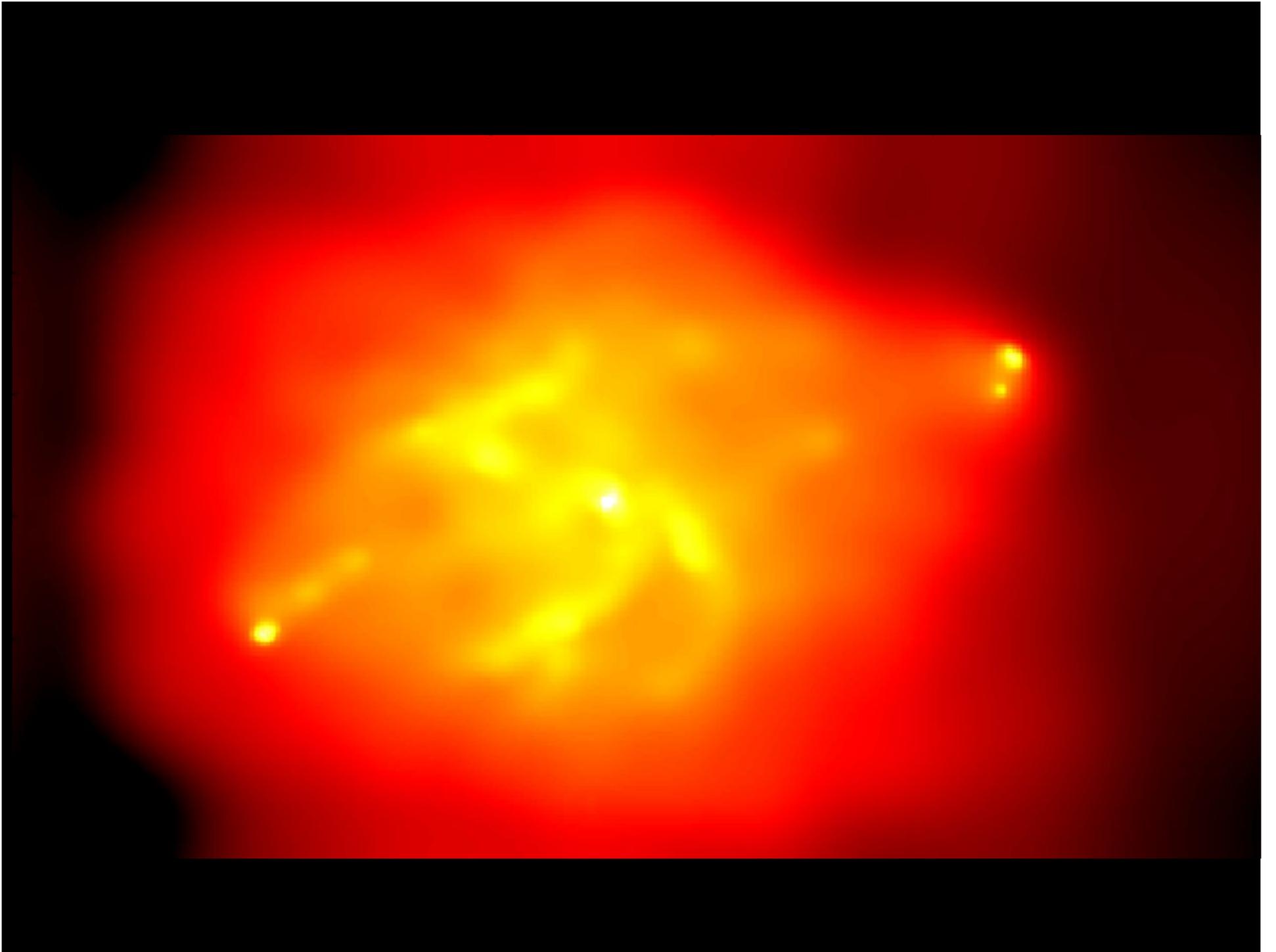
Luminosità elevata

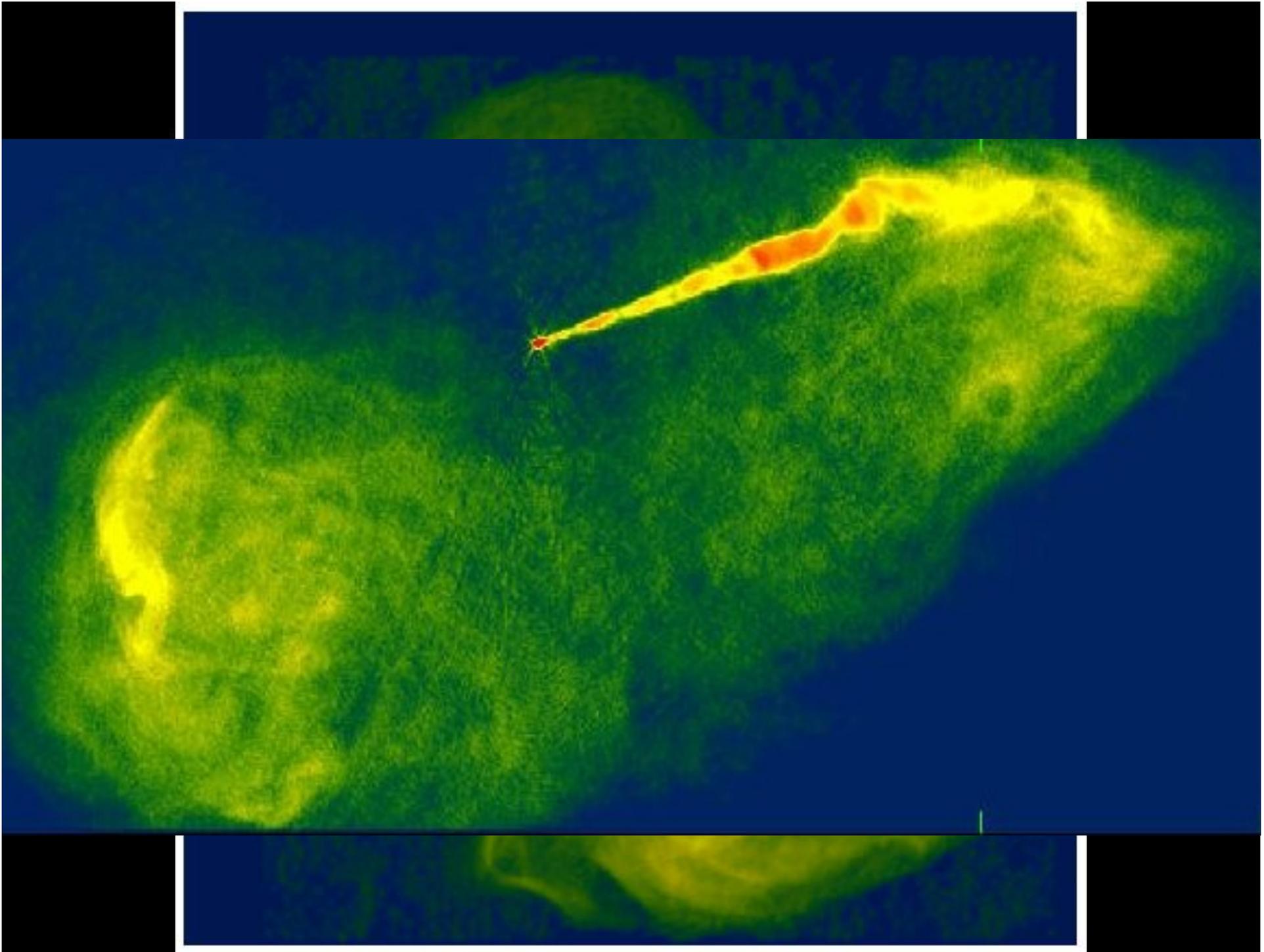
Morfologia peculiare – getti

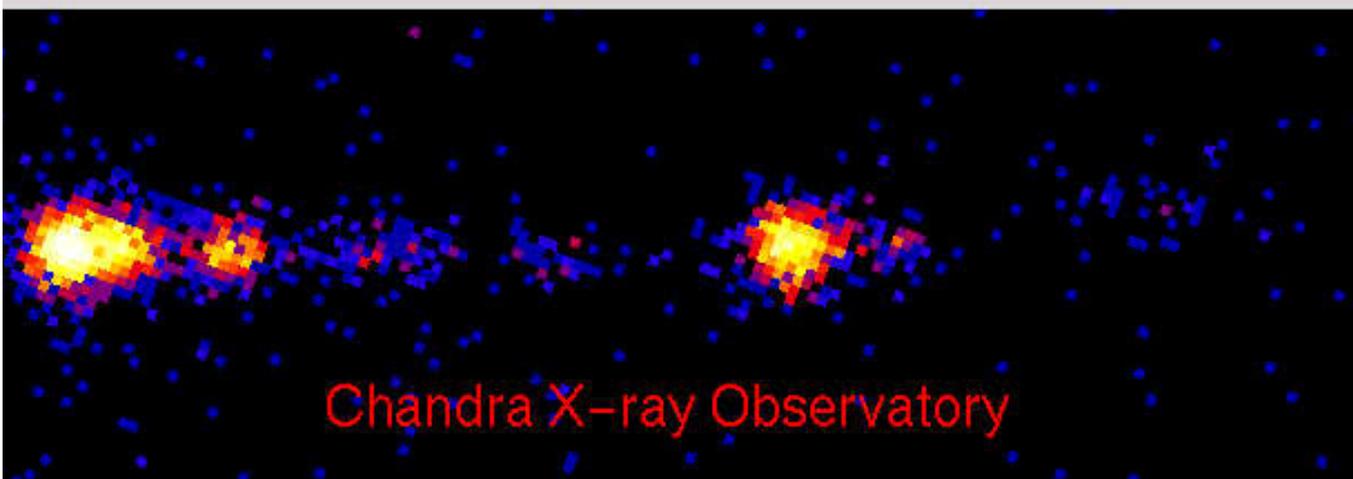
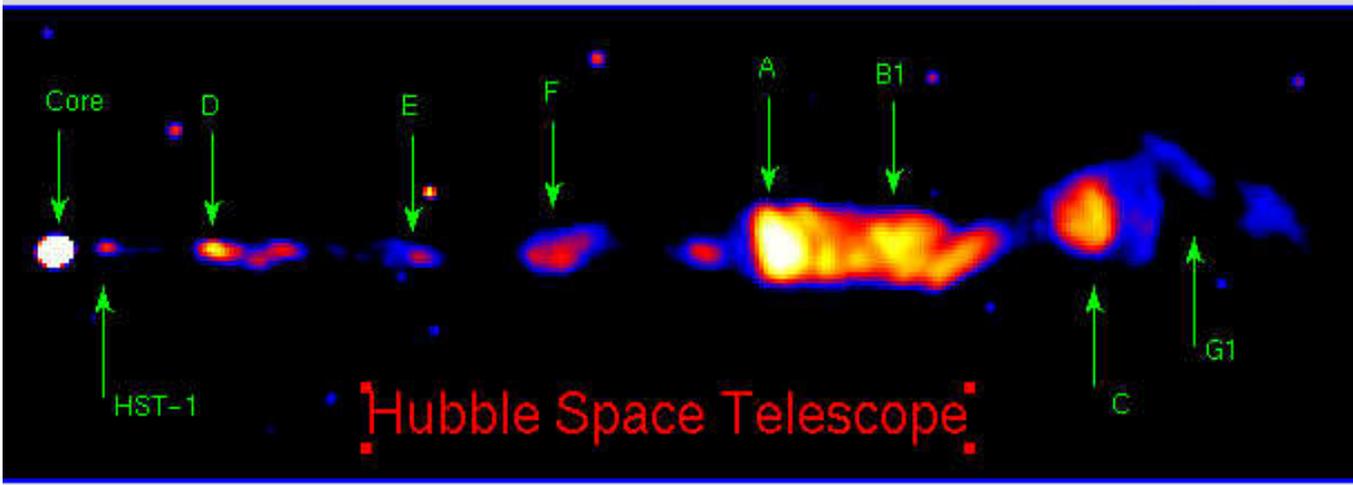
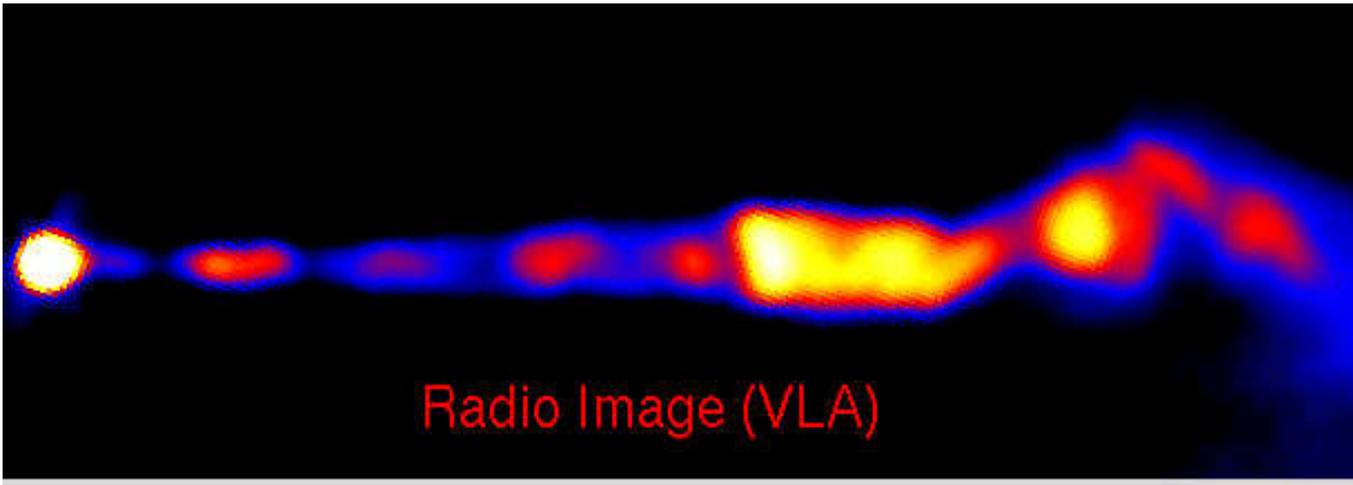
Variabilità

**Emissione RADIO**

Moti superluminali



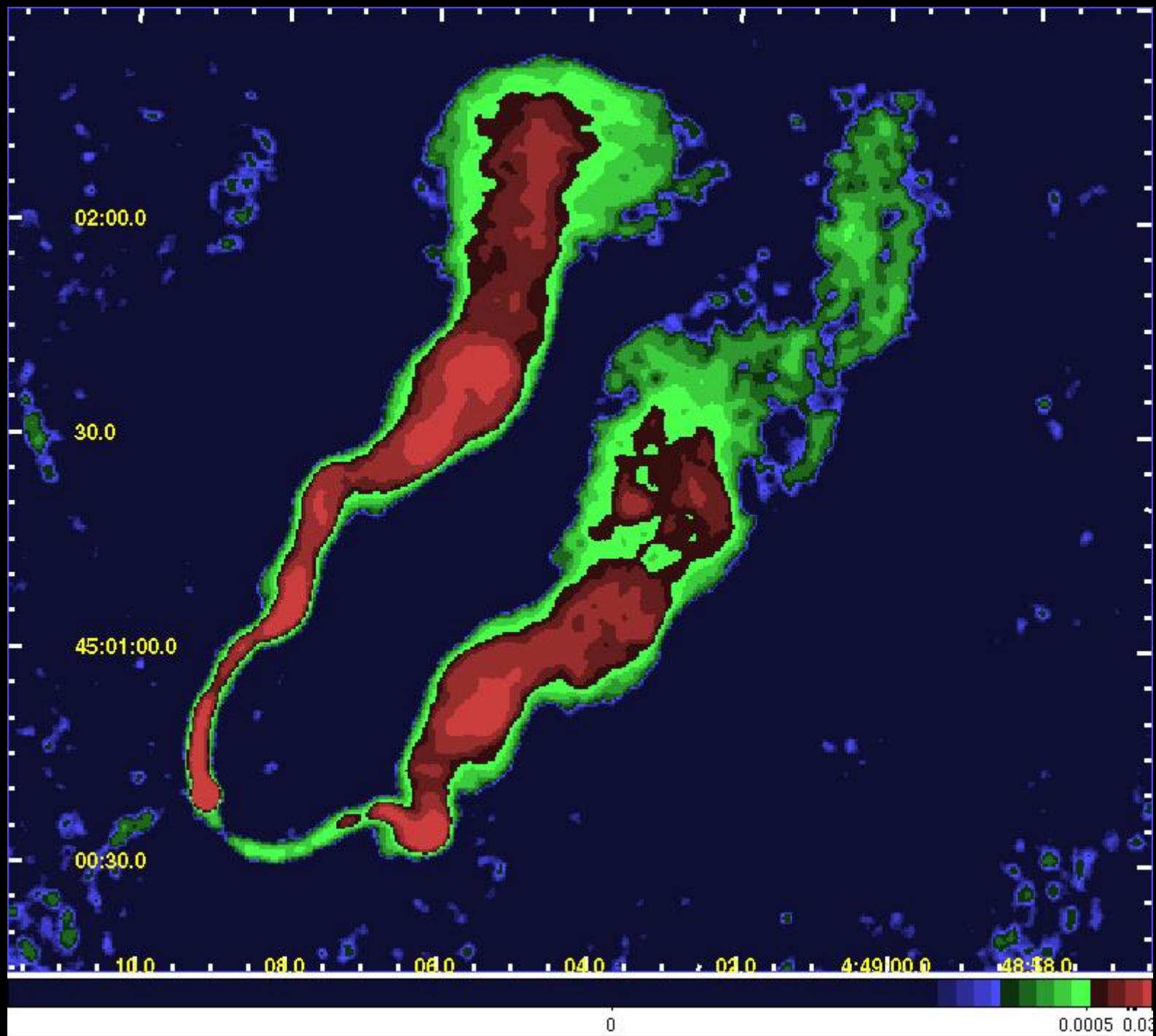




PKS2356-61 ( $z = 0.1$ )



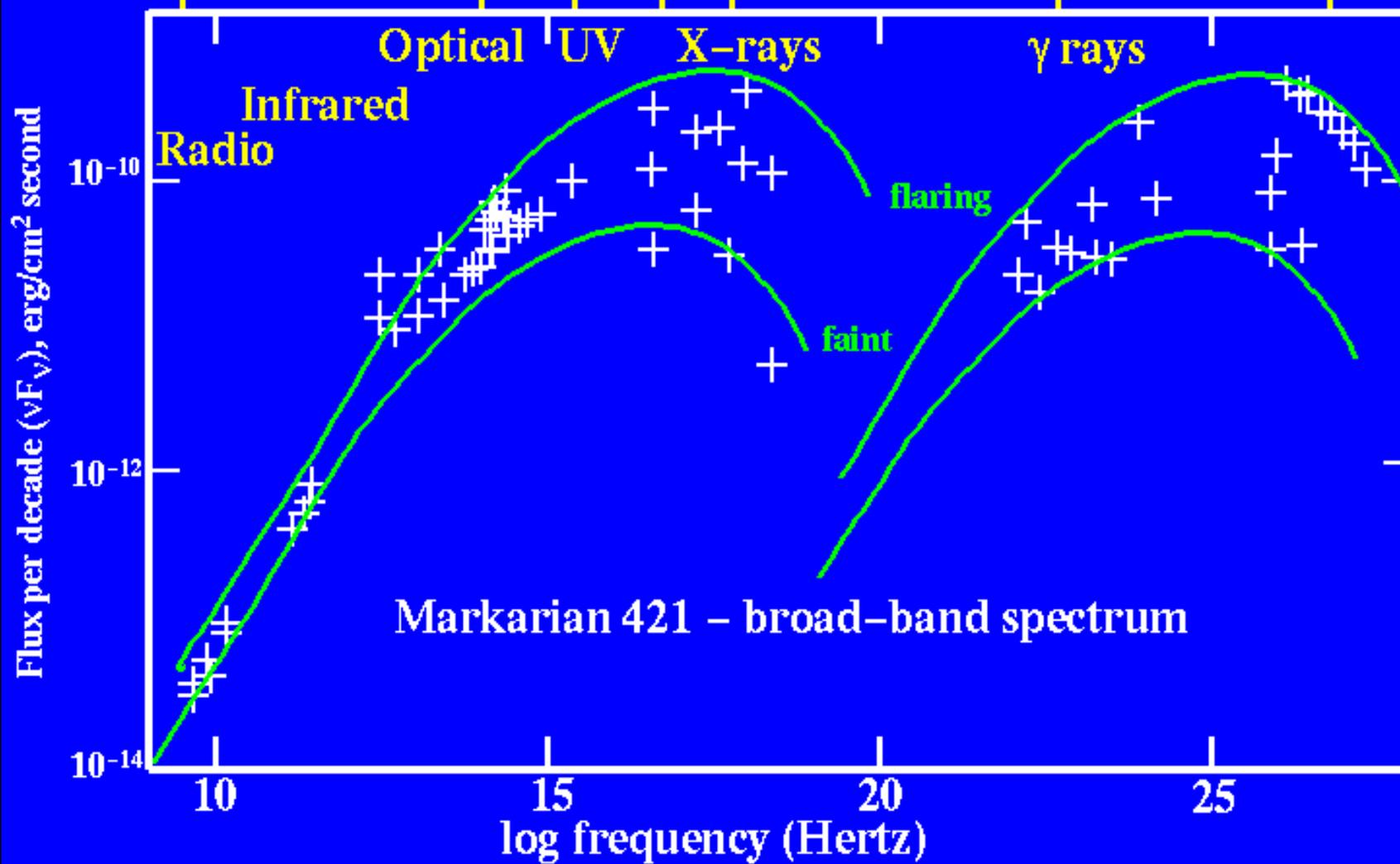
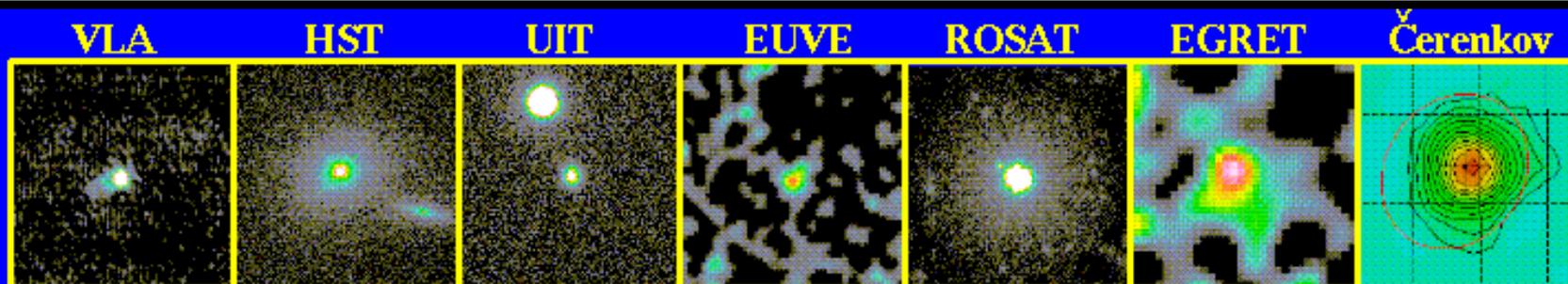
Quasar  
in una  
galassia  
ellittica

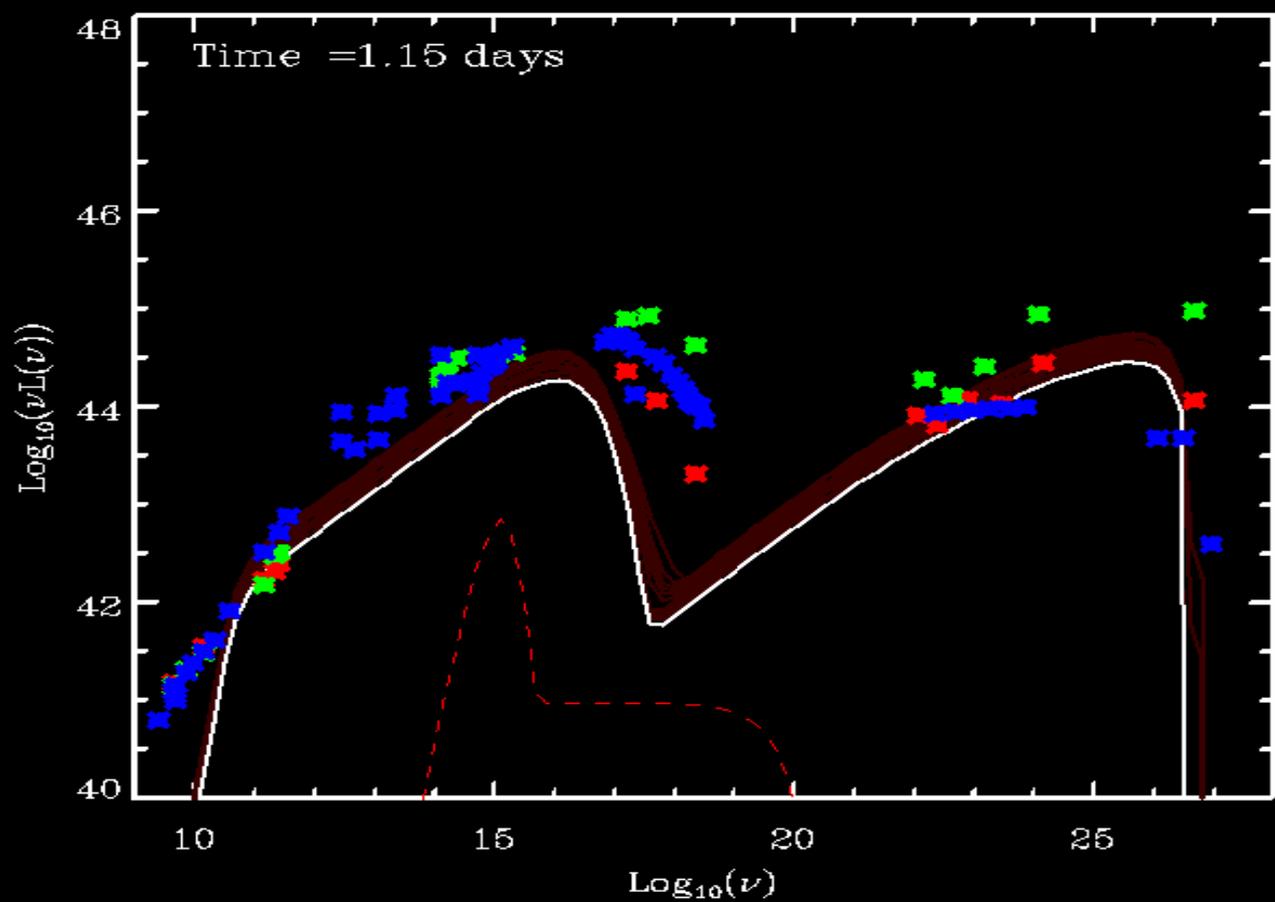
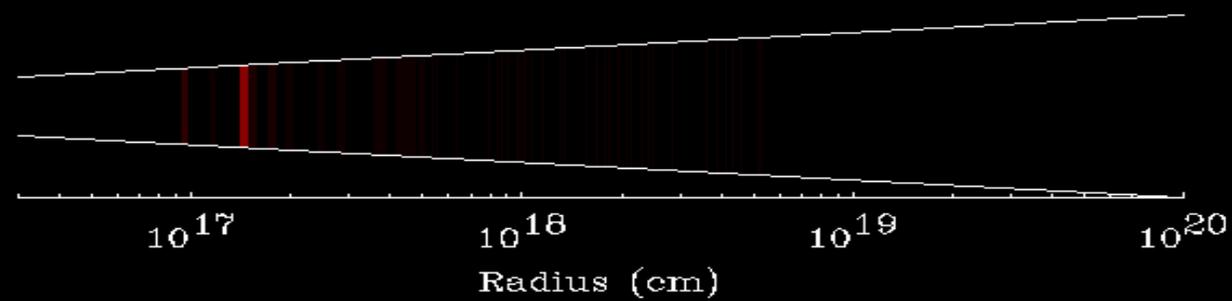


3C 129

$\lambda \sim 90 \text{ cm}$







# Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe

Luminosità elevata

Morfologia peculiare – getti

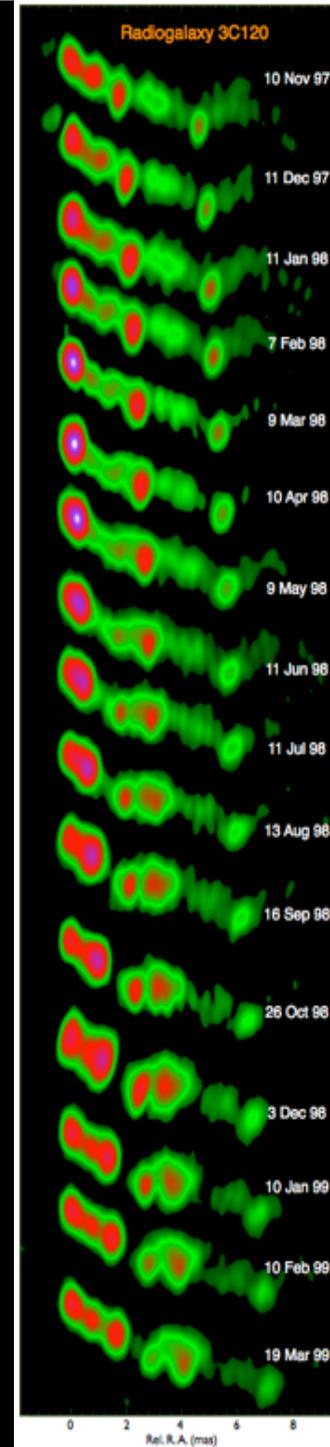
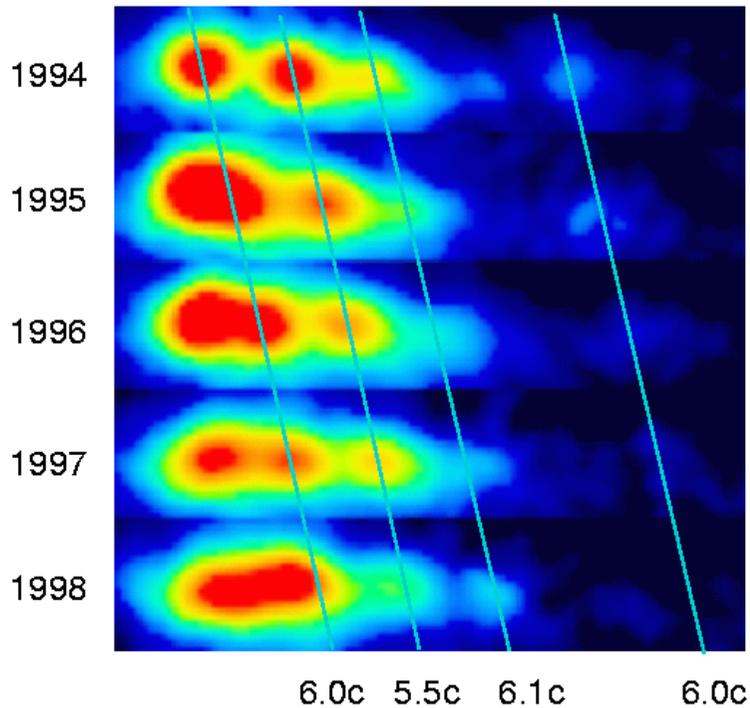
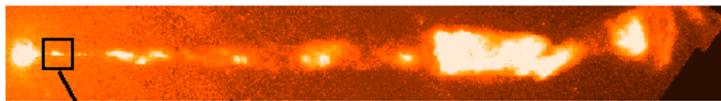
Variabilità

Emissione RADIO

Moti superluminali

# Moti superluminali

Superluminal Motion in the M87 Jet



*VLBA 22 GHz Observations*  
*of*  
*3C120*

*José-Luis Gómez*

*IAA (Spain)*

*Alan P. Marscher*

*BU (USA)*

*Antonio Alberdi*

*IAA (Spain)*

*Svetlana Marchenko-Jorstad*

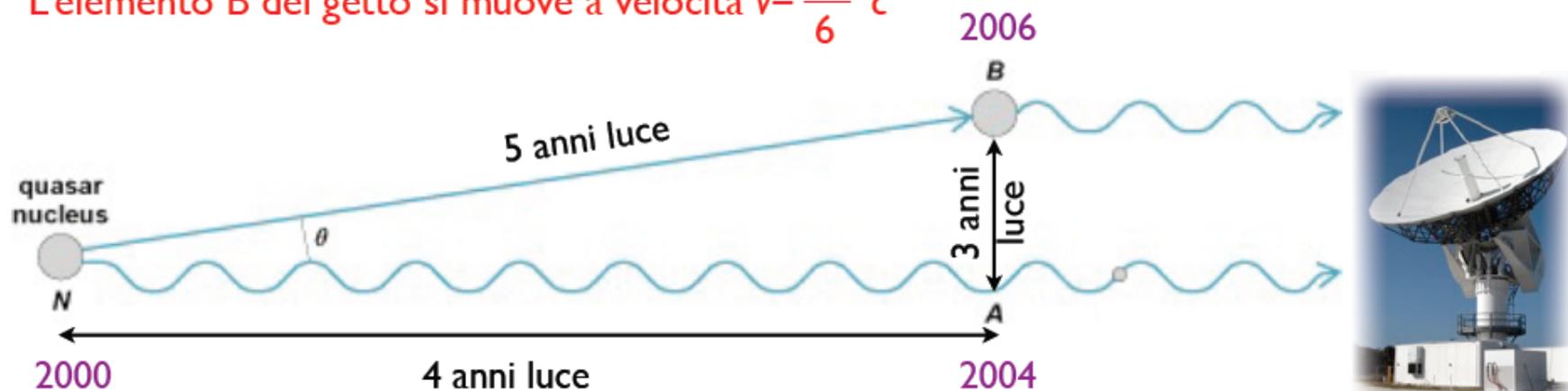
*BU (USA)*

*Cristina García-Miró*

*IAA (Spain)*

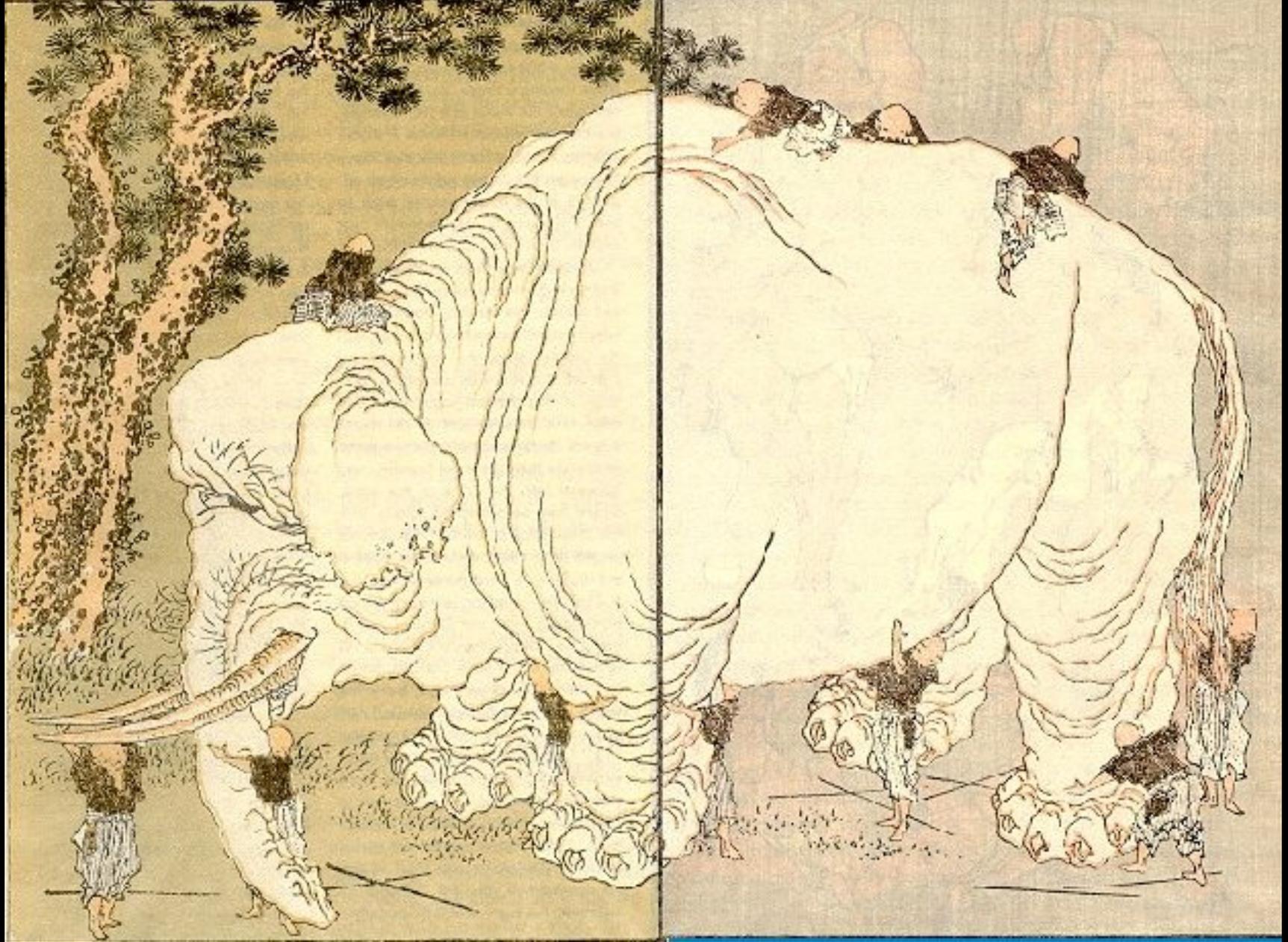
# Più veloce della luce!!!

L'elemento B del getto si muove a velocità  $v = \frac{5}{6} c$



Il segnale dell'elemento B giungerà a noi 2 anni dopo il segnale dell'elemento N, ma la distanza apparente tra i due elementi sarà di 3 anni luce

Velocità apparente  $v_{app} = \frac{3}{2} c$

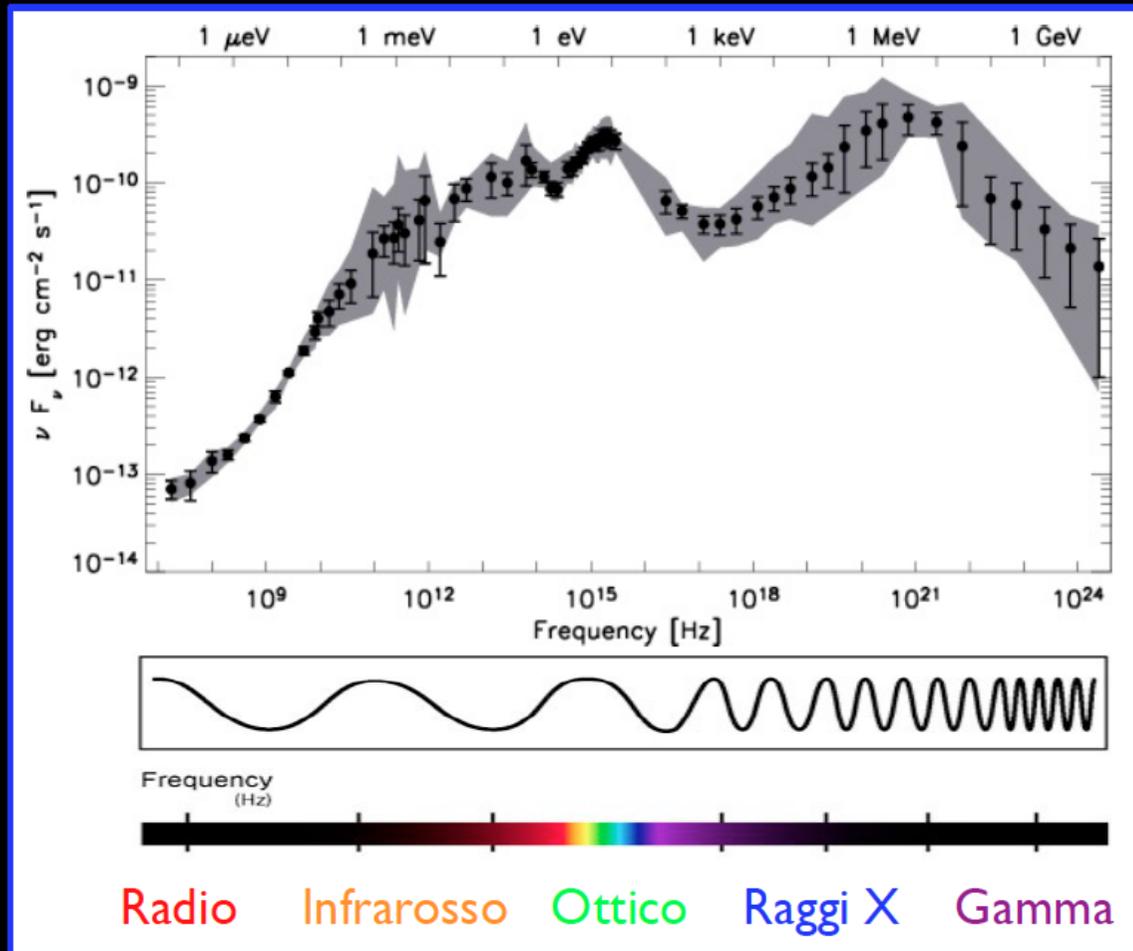


# Modello Unificato

## Quasars compared with Stars

Property	Stars range value	Quasars range value
Luminosity range	$10^9$ $10^{-4} - 10^5 L_{\odot}$ (M8-O5)	$>10^7$ $10^7 - 10^{14} L_{\odot}$
Mass range	$1000$ $0.05 - 50 M_{\odot}$	$1000$ $10^6 - 10^9 M_{\odot}$
Temperature range	$10$ $3,000 \text{ K} - 50,000 \text{ K}$	$\sim 10^?$ [big blue bump]
Lifetime	$10,000$ $1 \text{ Myr} - 10 \text{ Gyr}$	$<1000?$ $\sim 10 \text{ Myr} - 10^? \text{ yr}$
Spectra	$\sim$ black body	$\sim$ power-law

# I Quasars emettono radiazione a tutte le lunghezze d'onda



AGN senza getto  
≈90%

Narrow-Line Seyfert 1  
Seyfert 1 e 2  
LINERS 1 e 2



Galassia ospite: spirale  
Raggi gamma: no!

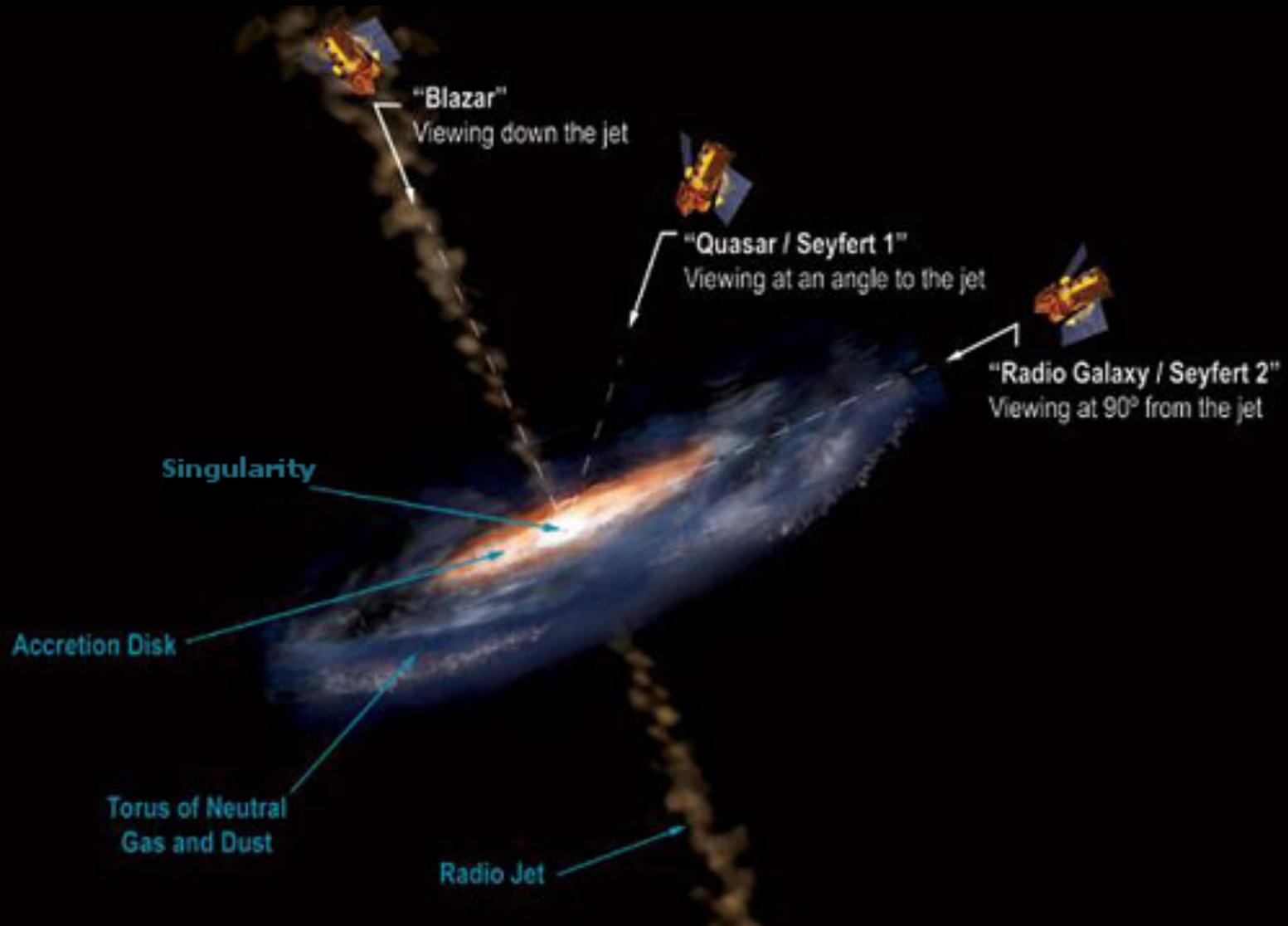
AGN con getto  
≈10%

Blazars (BL Lac + Quasar)  
Radiogalassie HE  
Radiogalassie LE

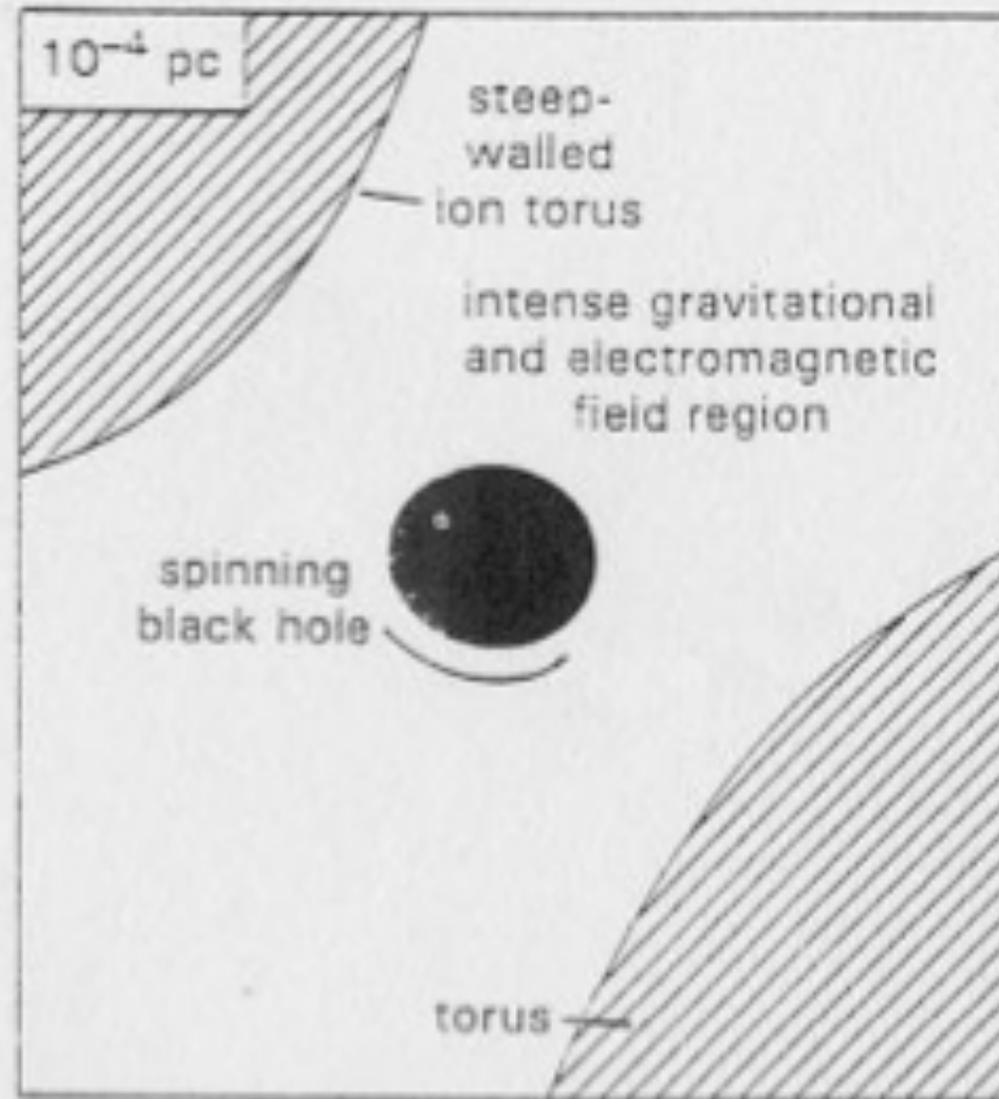


Galassia ospite: ellittica  
Raggi gamma: sì!

Anche se in fase di scoperta sono state classificati molti tipi di nuclei galattici attivi, dopo un'attenta analisi (R. Antonucci; C.M. Urry & P. Padovani) si è visto che molte differenze potevano essere spiegate in termini di differenti punti di vista.



# Diverse scale



The black hole. The Schwarzschild radius for a  $10^6 M_{\odot}$  black hole is 2 AU ( $10^{-3}$  pc). The spin will introduce twisted magnetic field lines and particle acceleration.

## Broad-Line Region (BLR)

Il gas interstellare che si trova oltre il disco, interagisce con la radiazione emessa da quest'ultimo generando delle linee di emissione.

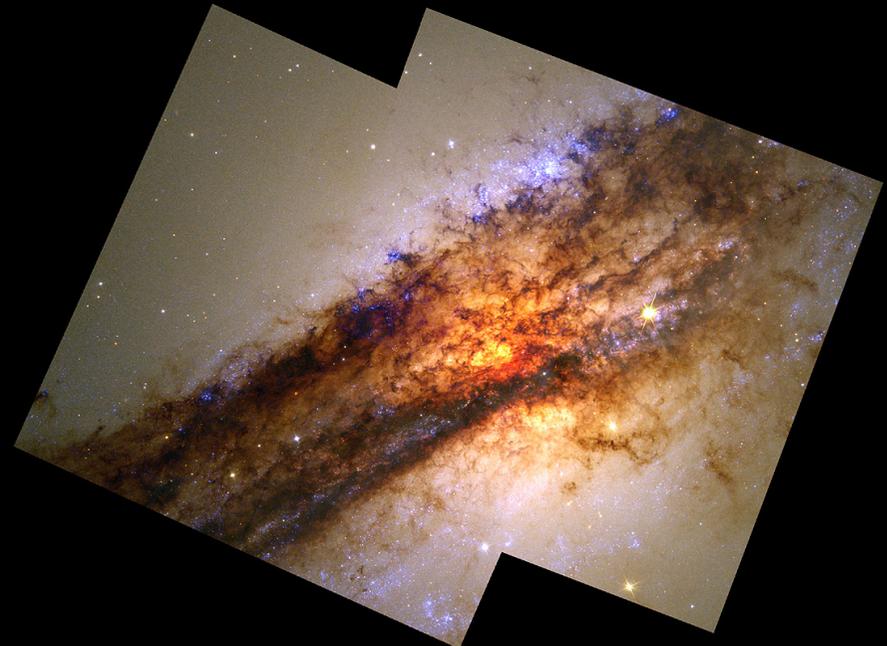
La vicinanza alla singolarità richiede che la velocità orbitale sia elevata (1000-10000 km/s) e si determina un allargamento (broadening) del profilo delle linee.

## Narrow-Line Region (NLR)

Più lontano dal disco, ma ancora in grado di interagire con la radiazione emessa da quest'ultimo, c'è un'altra regione che emette delle linee. Questa volta, essendo più lontana dalla singolarità, la velocità orbitale è inferiore ( $< 1000$  km/s) e quindi anche l'allargamento. Le righe sono più strette (narrow).

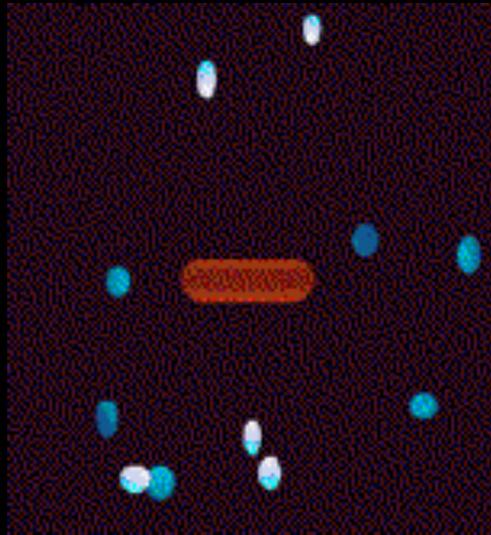
## Toro molecolare

Tra le due regioni (BLR e NLR) c'è una ciambella di materiale freddo che oscura la vista diretta del nucleo o della BLR.

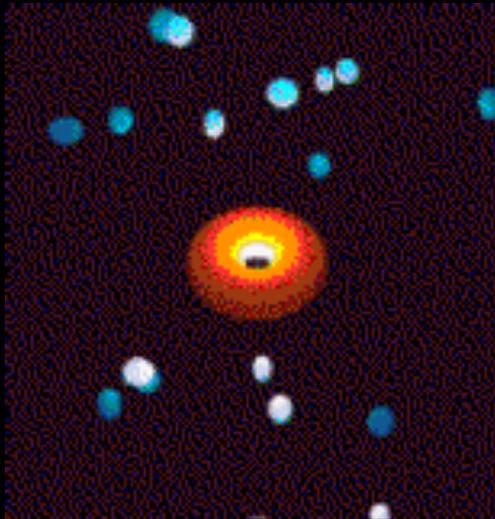


# Modello Unificato

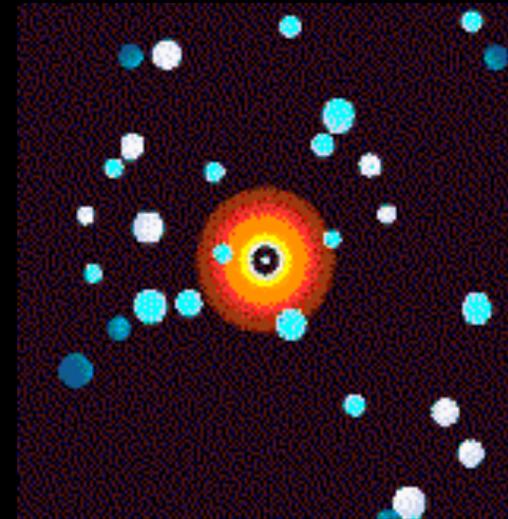
## BH + Disco + Toro



SY2  
di fianco

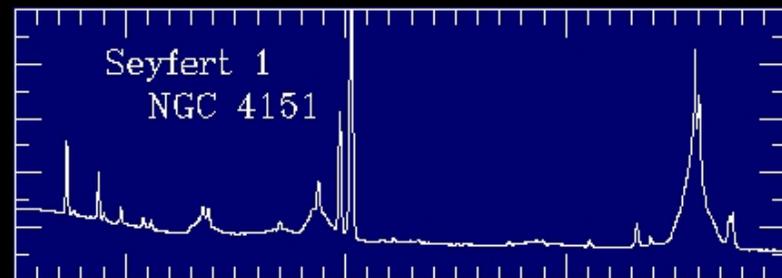
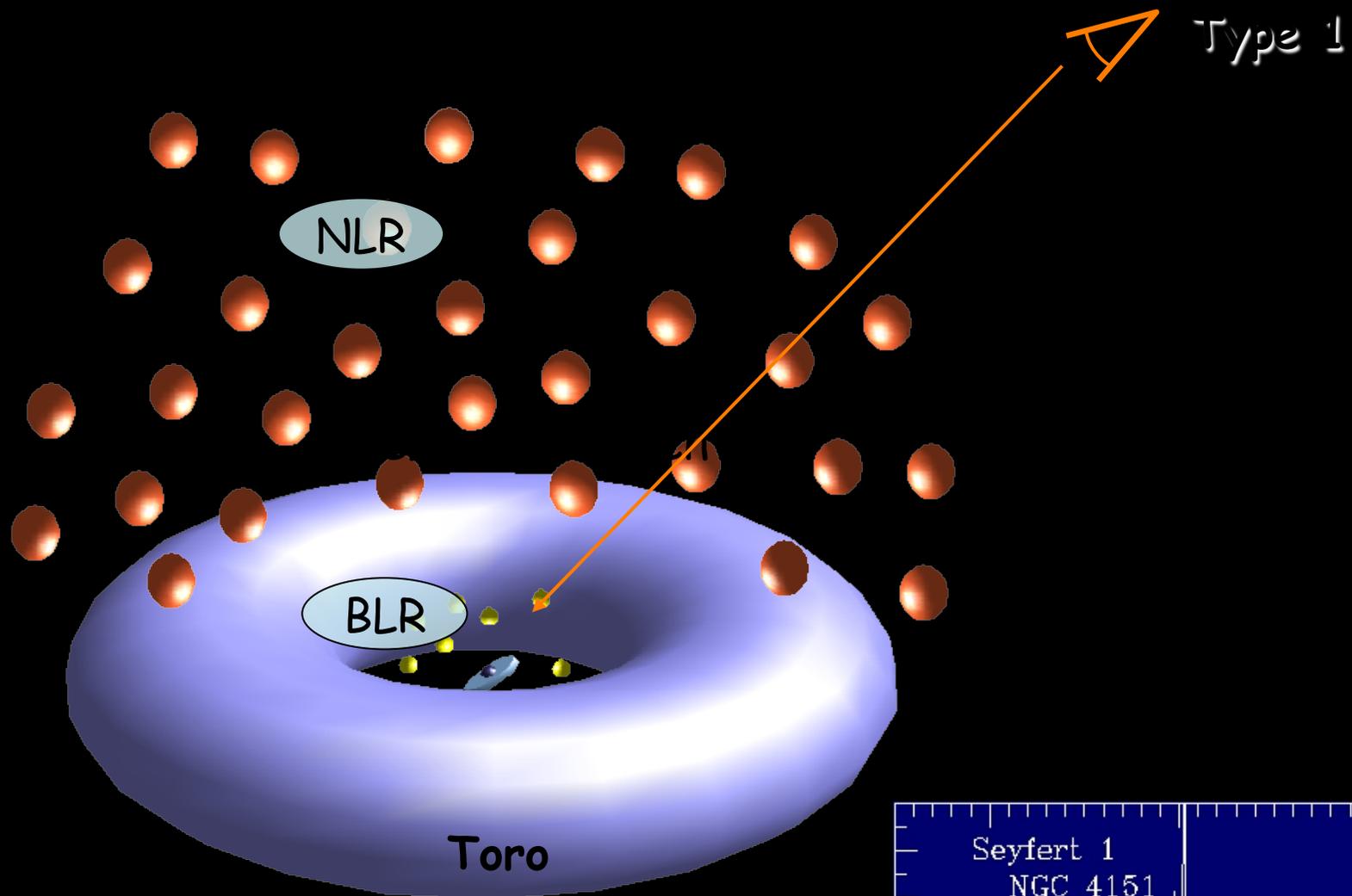


SY1  
inclinato

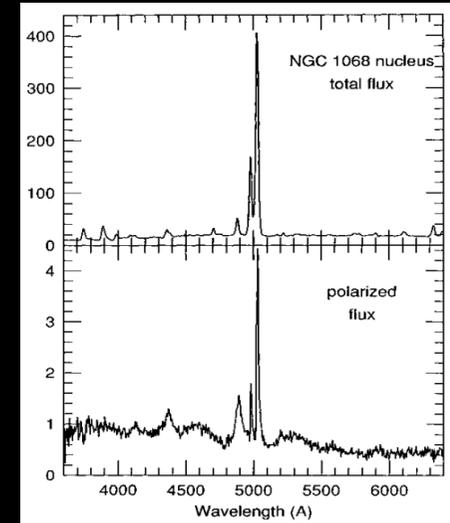
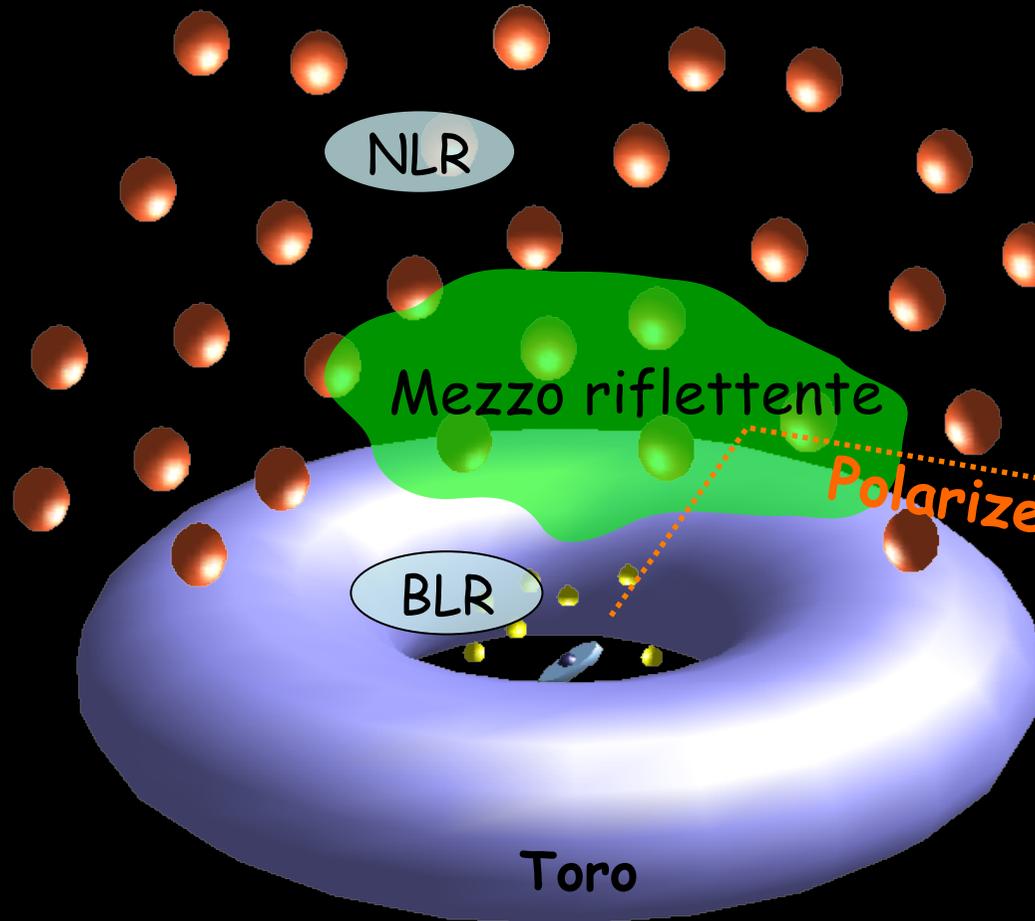


BL Lac  
dritto nello scarico!

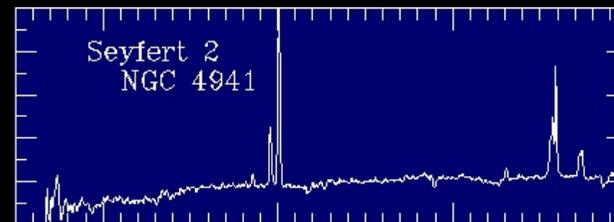
# Il Modello Unificato



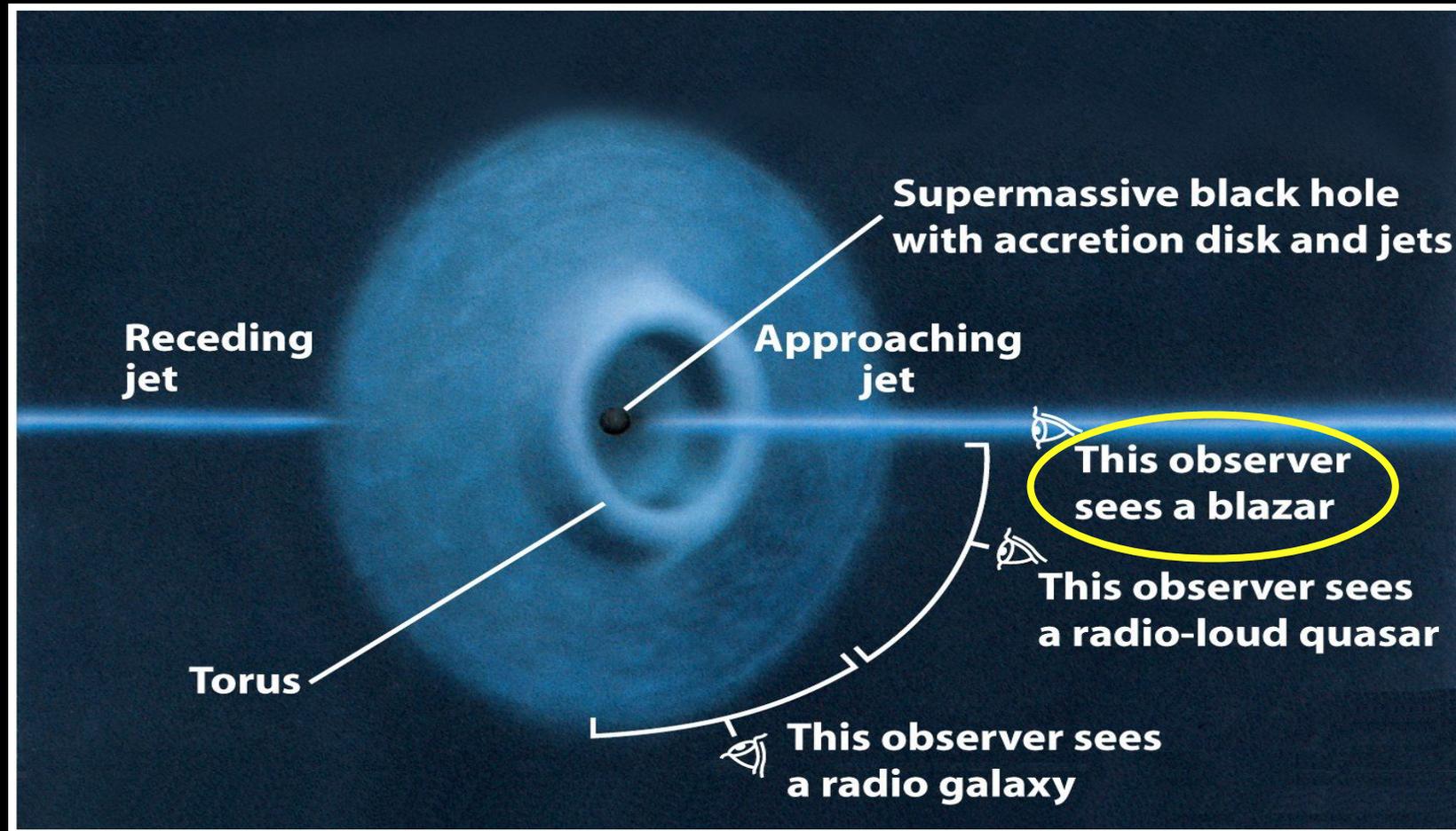
# Il Modello Unificato



Narrow Lines  
Polarized Broad Lines  
No broad lines  
Type 2



## Getti extragalattici:



*Courtesy: Ski Antonucci*



# Al centro di una grande galassia



Ground



Disk in Galaxy NGC 7052

HST • WFPC2



Active Galaxy  
NGC 4438

Hubble Space Telescope  
WFPC2

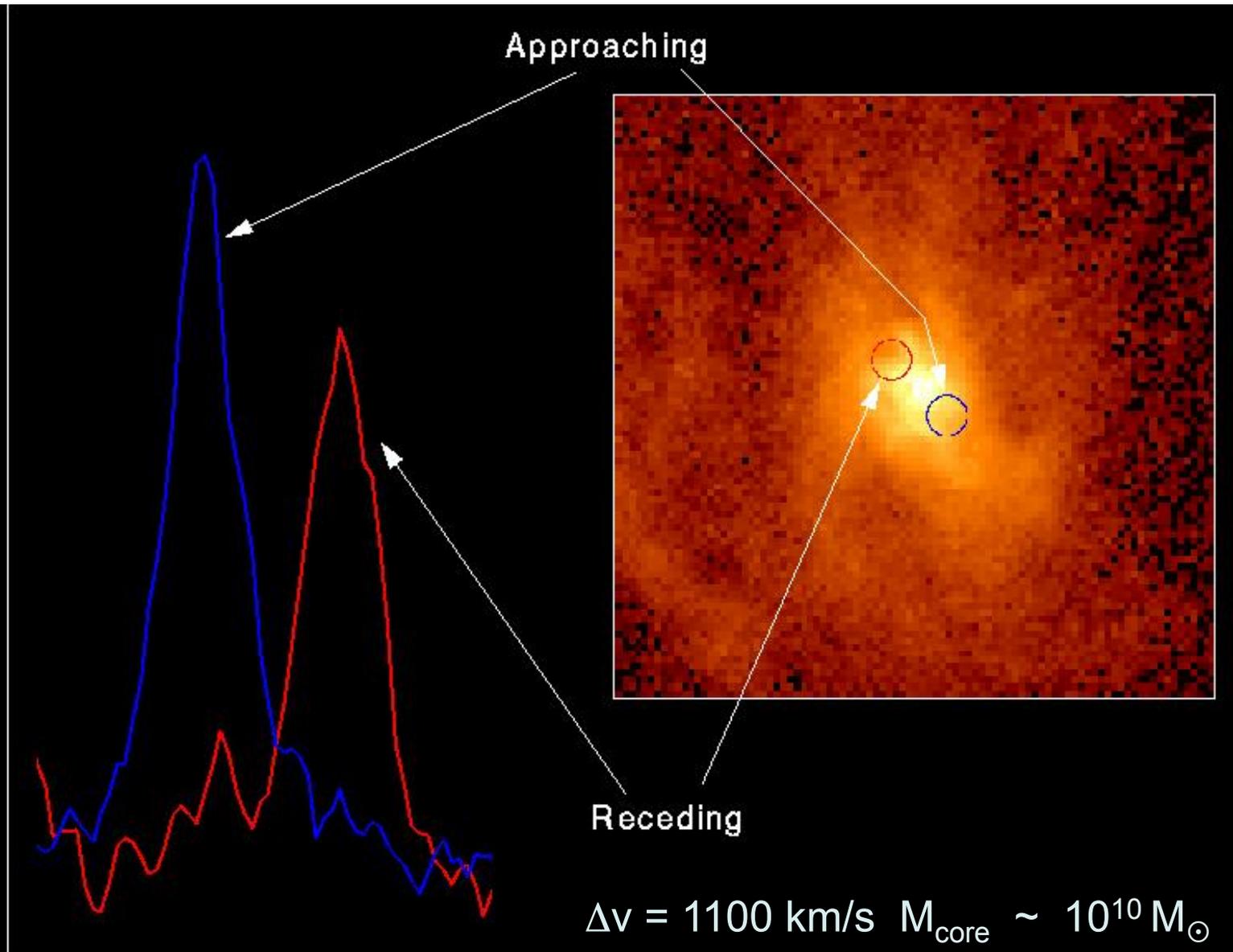
NASA and J. Kenney (Yale University)  
STScI-PRC00-21



<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black-hole/1998/22/results/20/> and

[http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black%20hole/2000/21/image/a/format/web\\_print/results/20/](http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black%20hole/2000/21/image/a/format/web_print/results/20/)

# Spettro del disco di gas nella galassia attiva M87

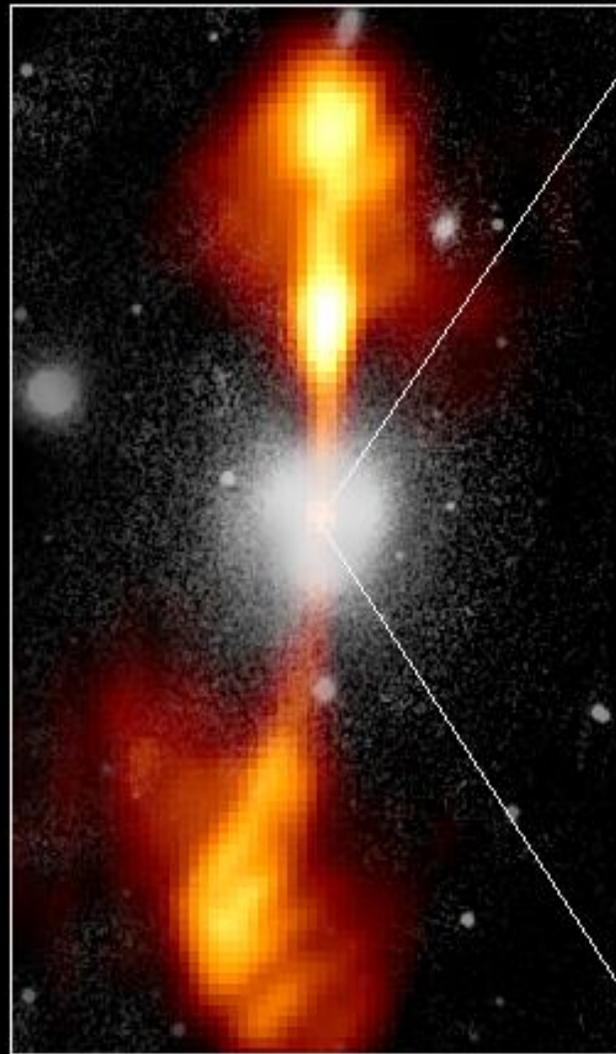


Hubble Space Telescope • Faint Object Spectrograph

# Hubble Space Telescope

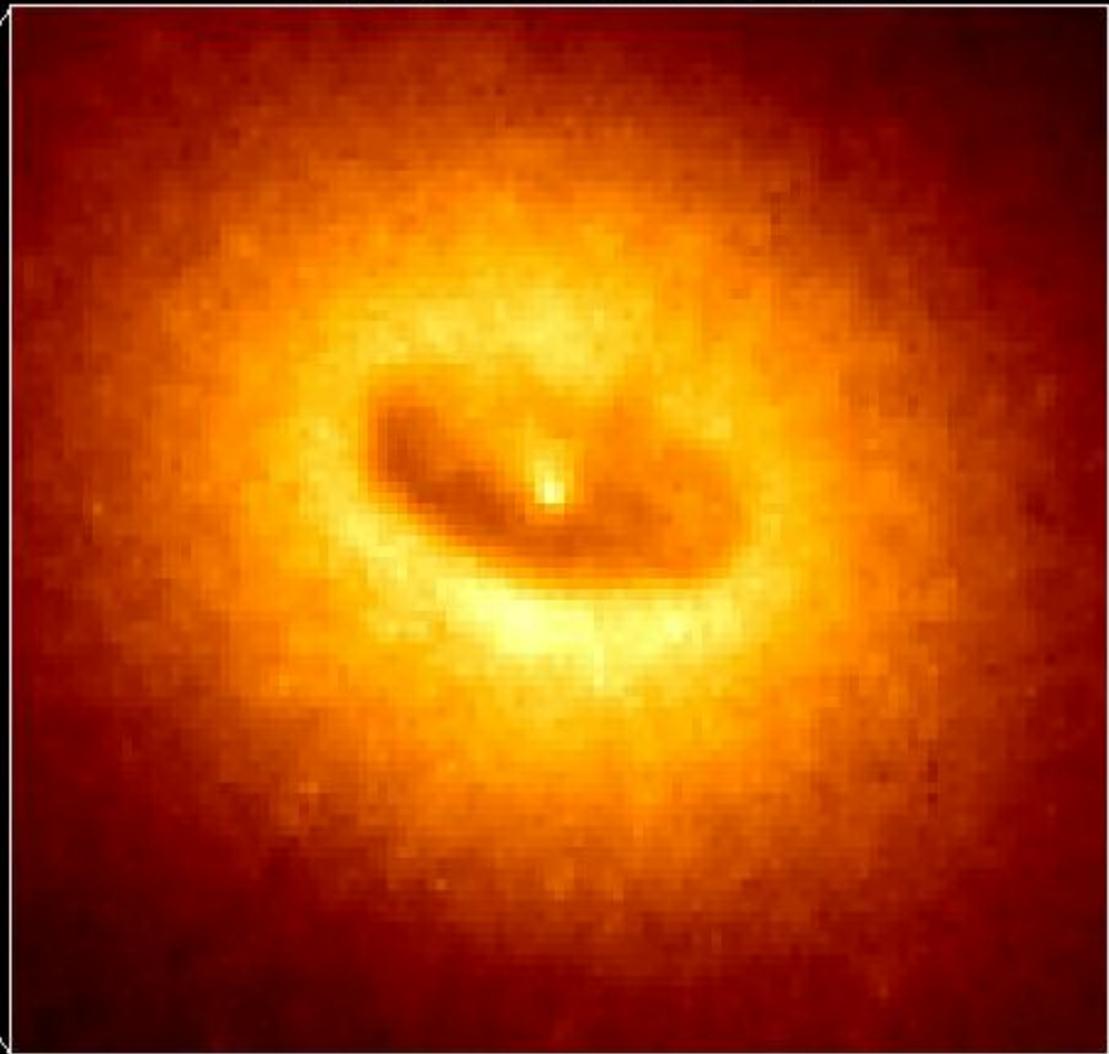
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



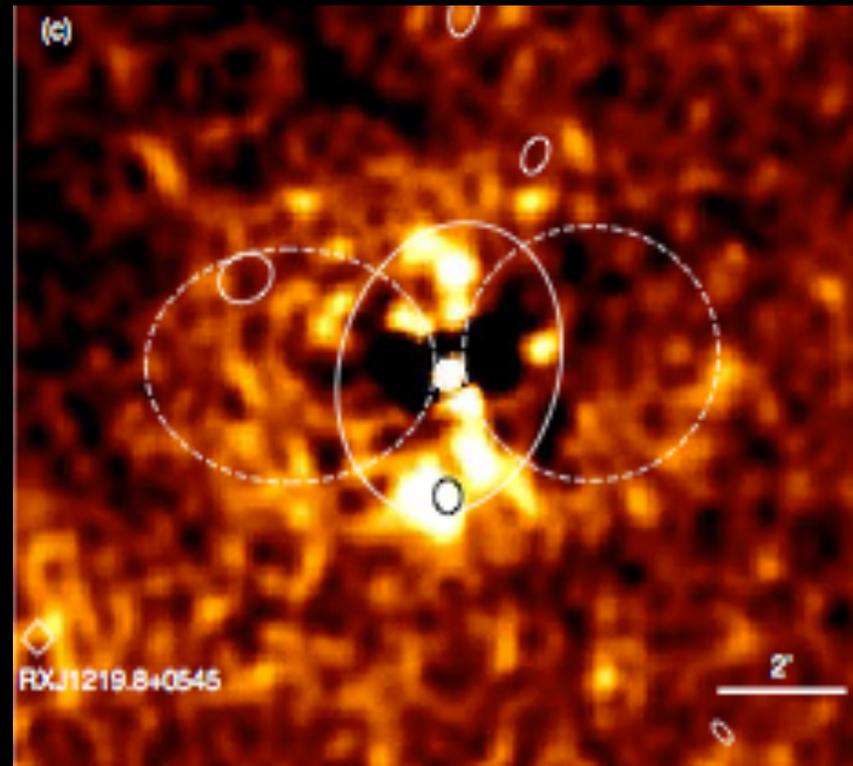
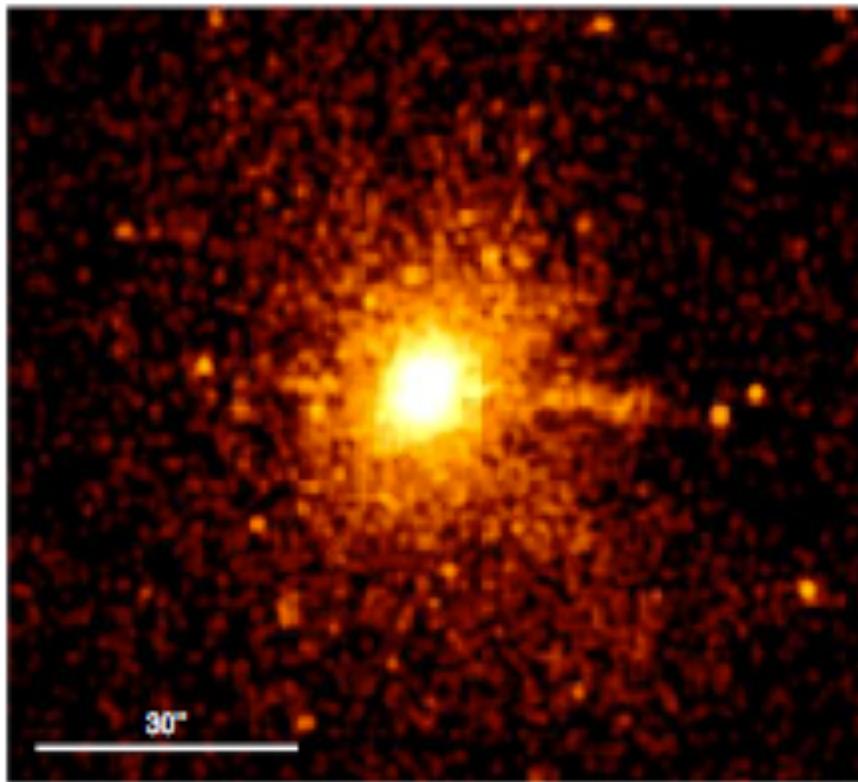
380 Arc Seconds

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds

# NGC 4261



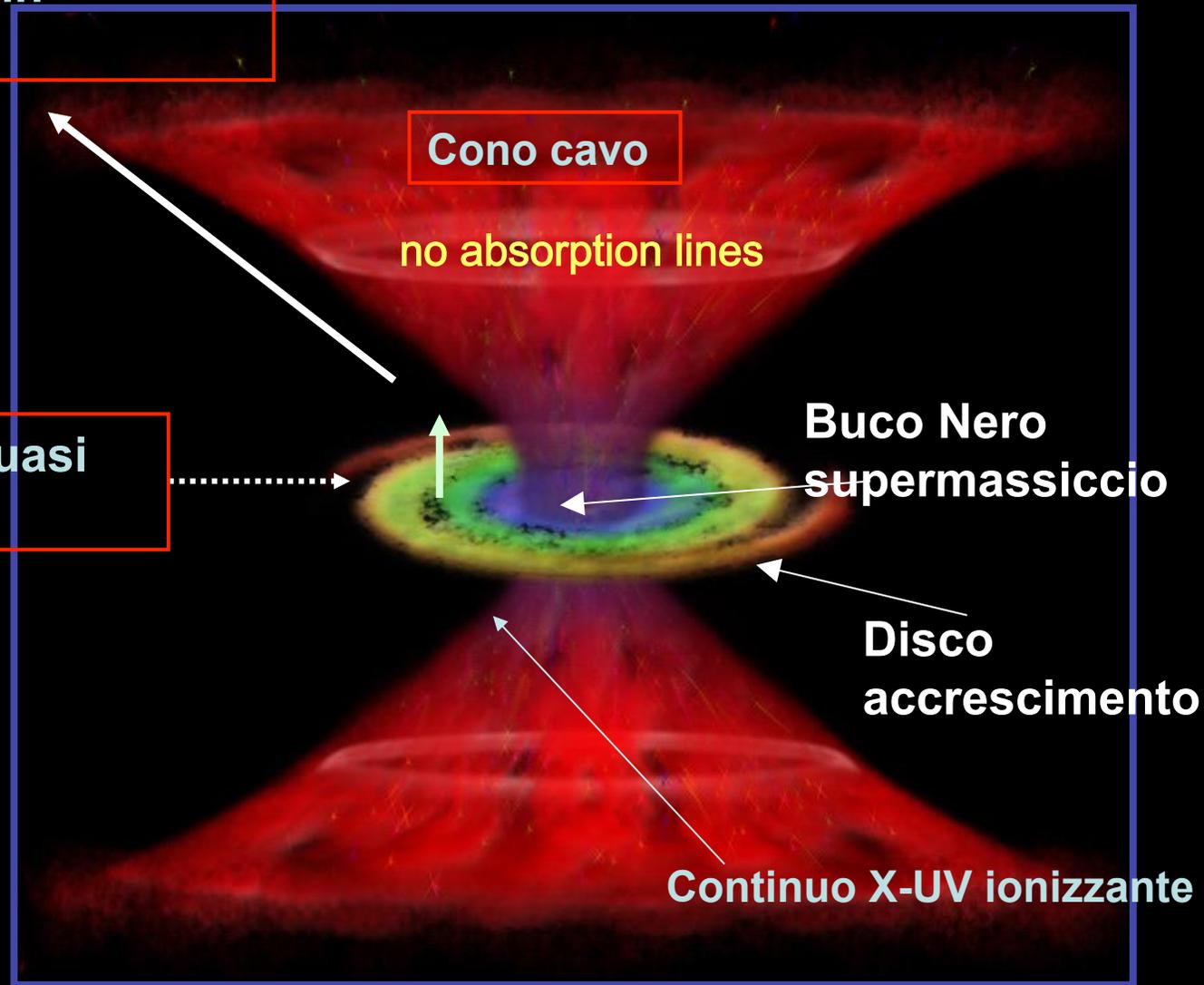
- Immagini Chandra O'Sullivan et al

Vento bi-conico in accelerazione

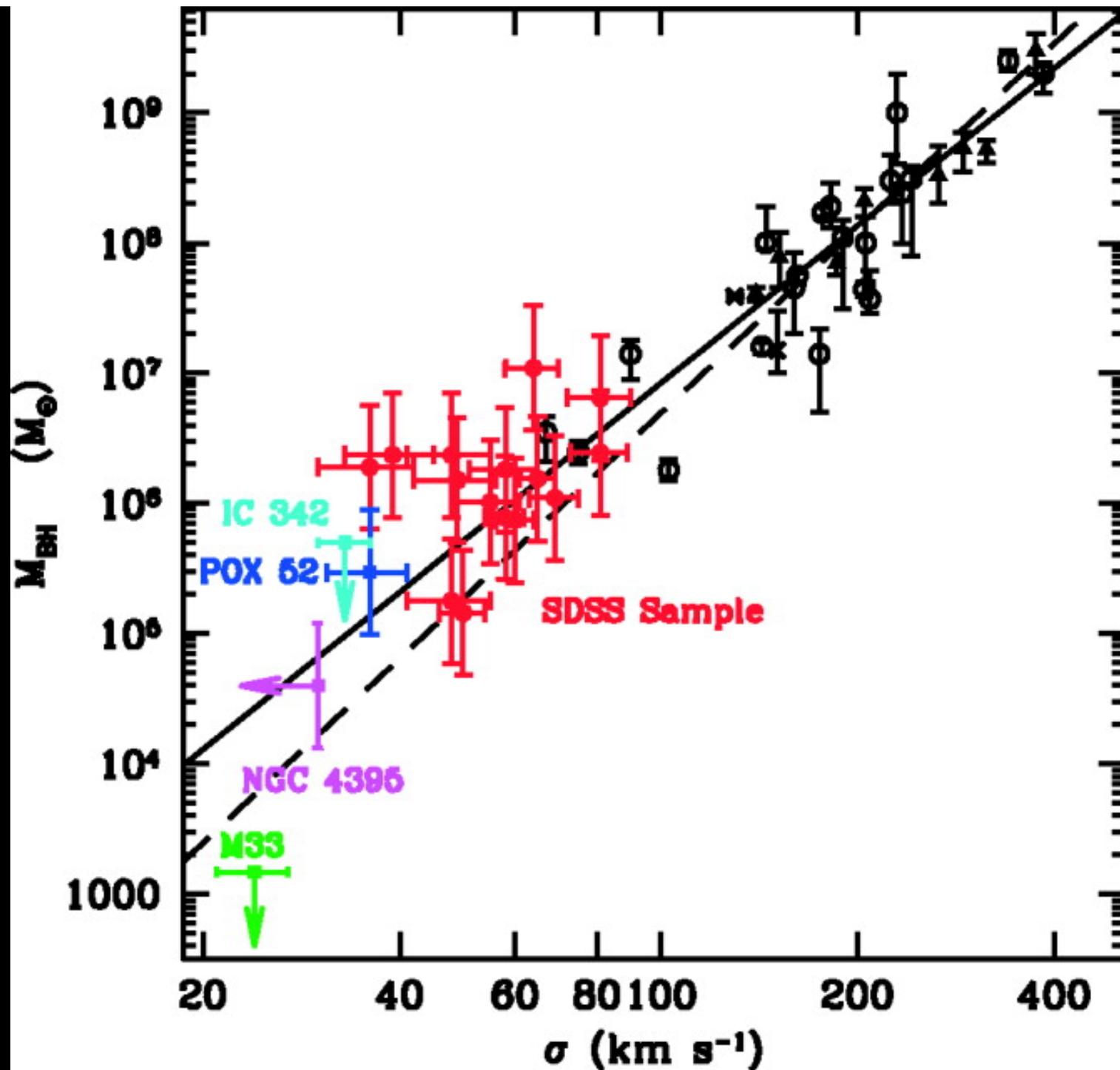
BALs  
Polarization

Vento "sottile" quasi verticale

WAs  
NALs  
BELs

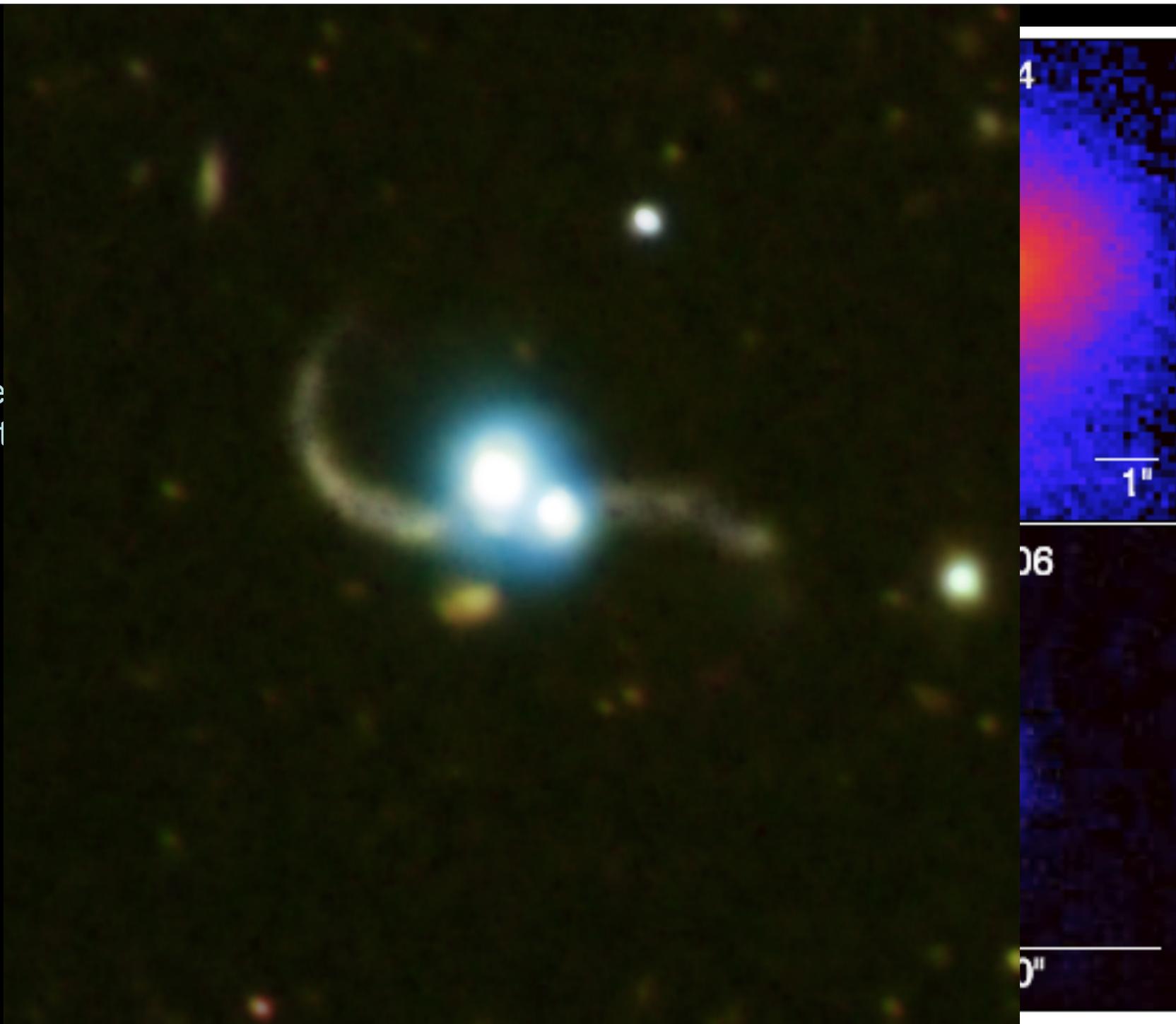


Elvis M., 2000, ApJ, 545, 63

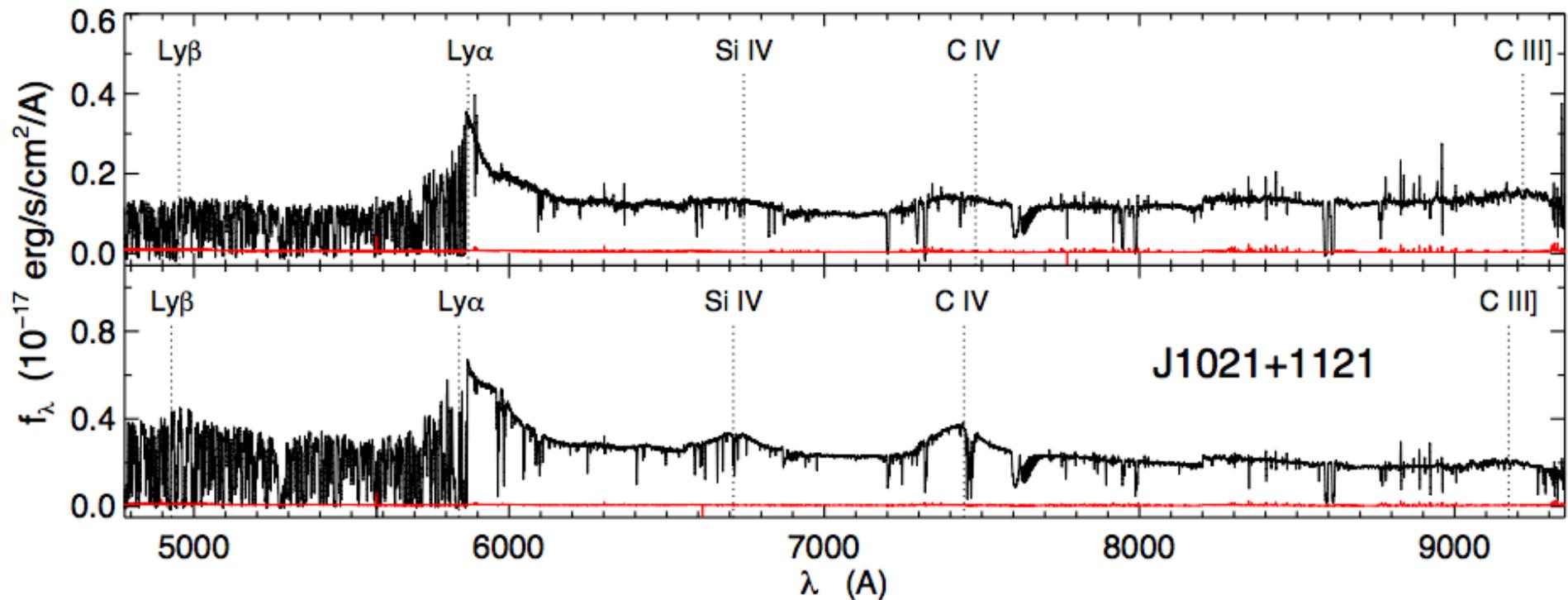
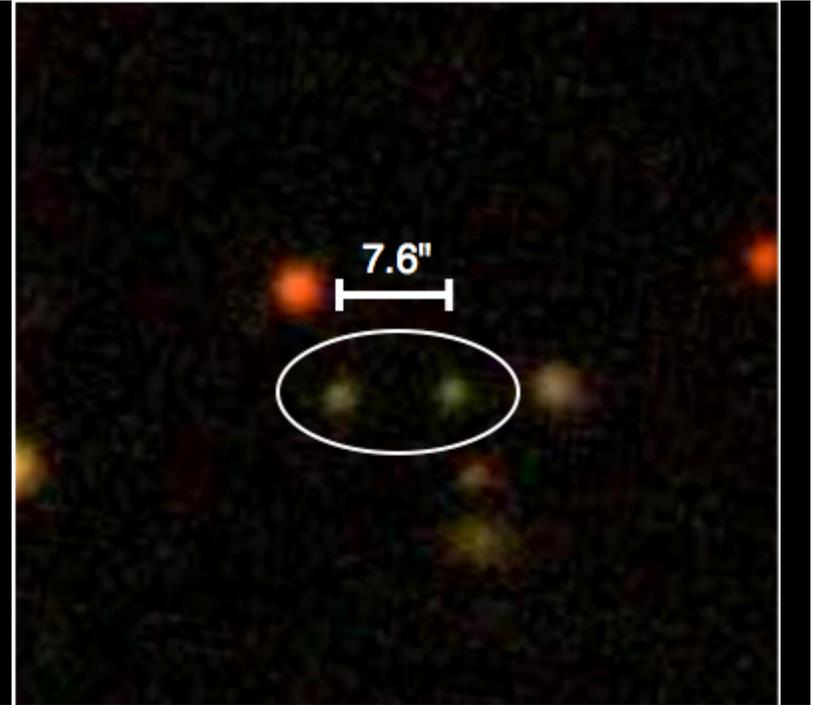




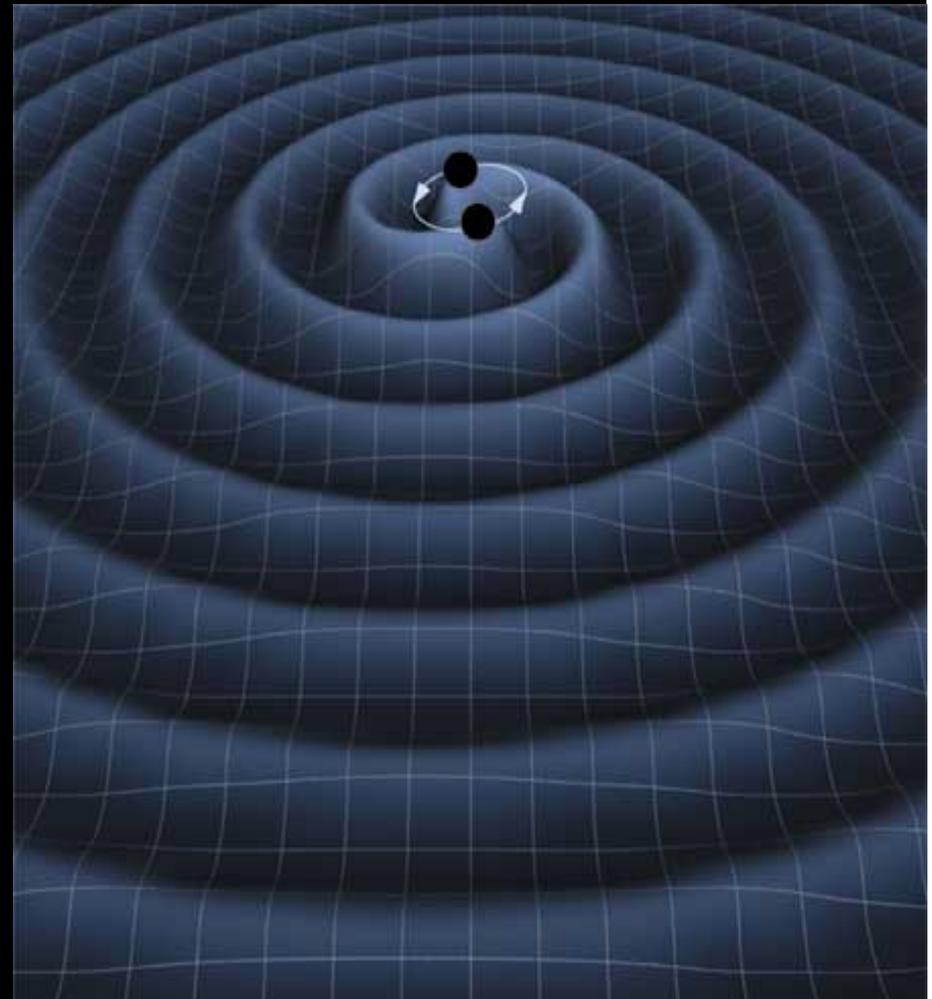
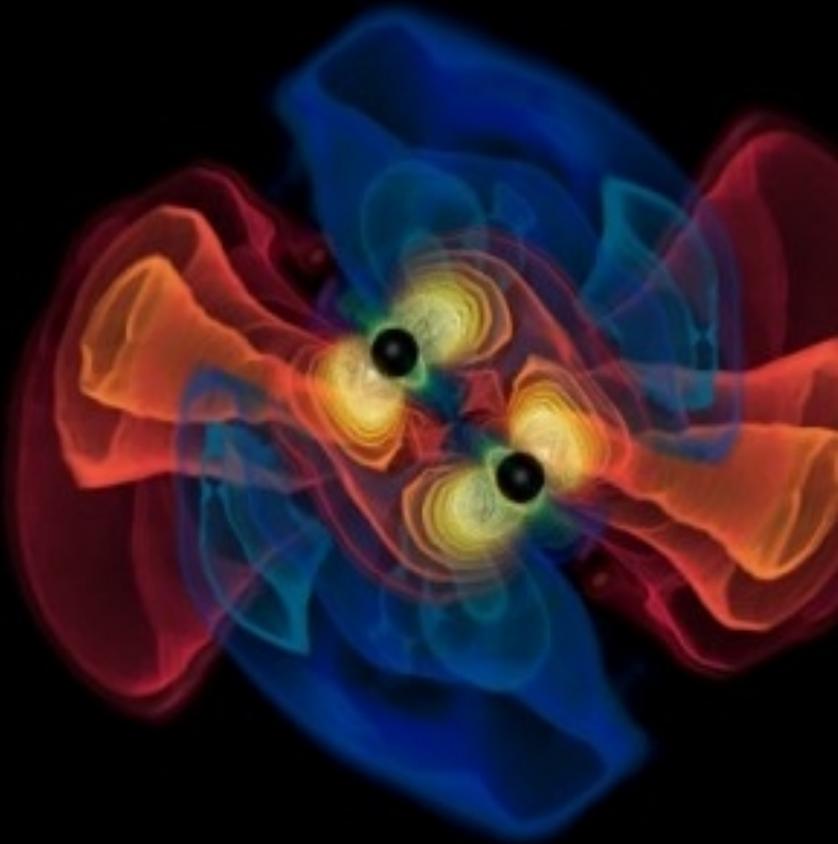
4  
galassie  
di Sefert  
con  
Doppio  
Nucleo  
in IR



Coppia di quasar a  $z=3.8$ ,  
40 kpc  
27 coppie a  $z > 2.9$



# Onde Gravitazionali



# Ma cosa sono infine gli AGN?

Sono galassie ad alto/altissimo z

Hanno distanze cosmologiche ( $>10^9$  LYs) che fanno sembrare questi oggetti, che hanno brillanze intrinseche enormi, delle deboli stelle

Dai dati X tale potenza ( $\sim 10^{47}$  erg/sec) è confermata, risultando circa 10 trilioni maggiore di quella emessa dal Sole per un oggetto di diametro pari a quello del Sistema Solare.

Si nutrono del materiale circostante, da 1 Sole alla settimana a 1 Sole all'anno

Una piccola frazione presenta getti ed emissione radio collimata

## Abbiamo visto che:

- Le galassie sono sede di fenomeni “violenti”
- La causa è la caduta di materia per gravità verso la regione centrale

## Resta da capire:

- Come si estrae l'energia dal buco nero per trasmetterla ai getti?
- Se ogni galassia attiva ha un buco nero centrale, perché solo alcune hanno getti radio?
- Perché non ce ne sono vicini a noi?
- ...

Cosmologia →

# Cosmologia

# I Quasars: sonde cosmologiche

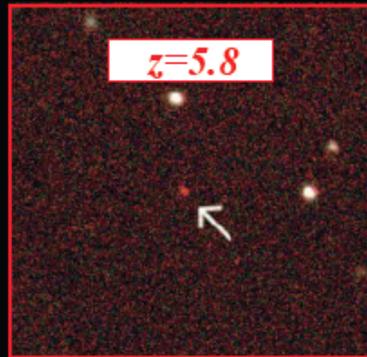
L'elevata luminosità ed apparenza puntiforme offrono la possibilità di usare i quasars come strumenti per sondare l'universo lontano.

I Quasars sono tra gli oggetti più distanti che riusciamo a vedere.

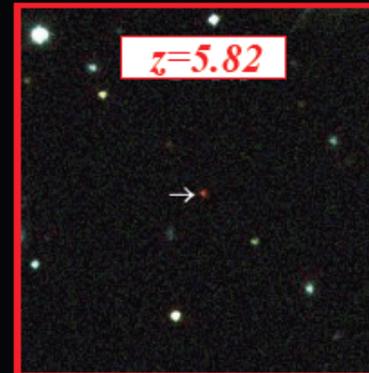
$z \approx 6$



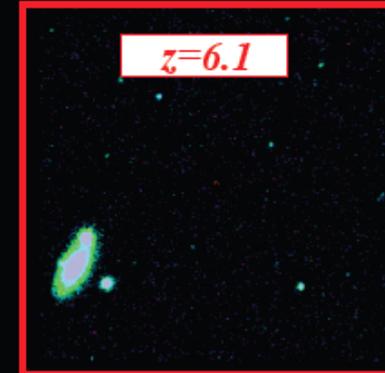
*Età dell'universo  $\approx$   
1 miliardo di anni*



$z=5.8$



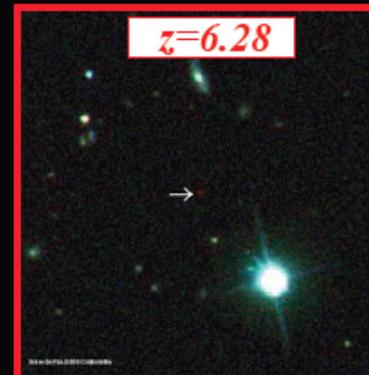
$z=5.82$



$z=6.1$



$z=5.99$



$z=6.28$



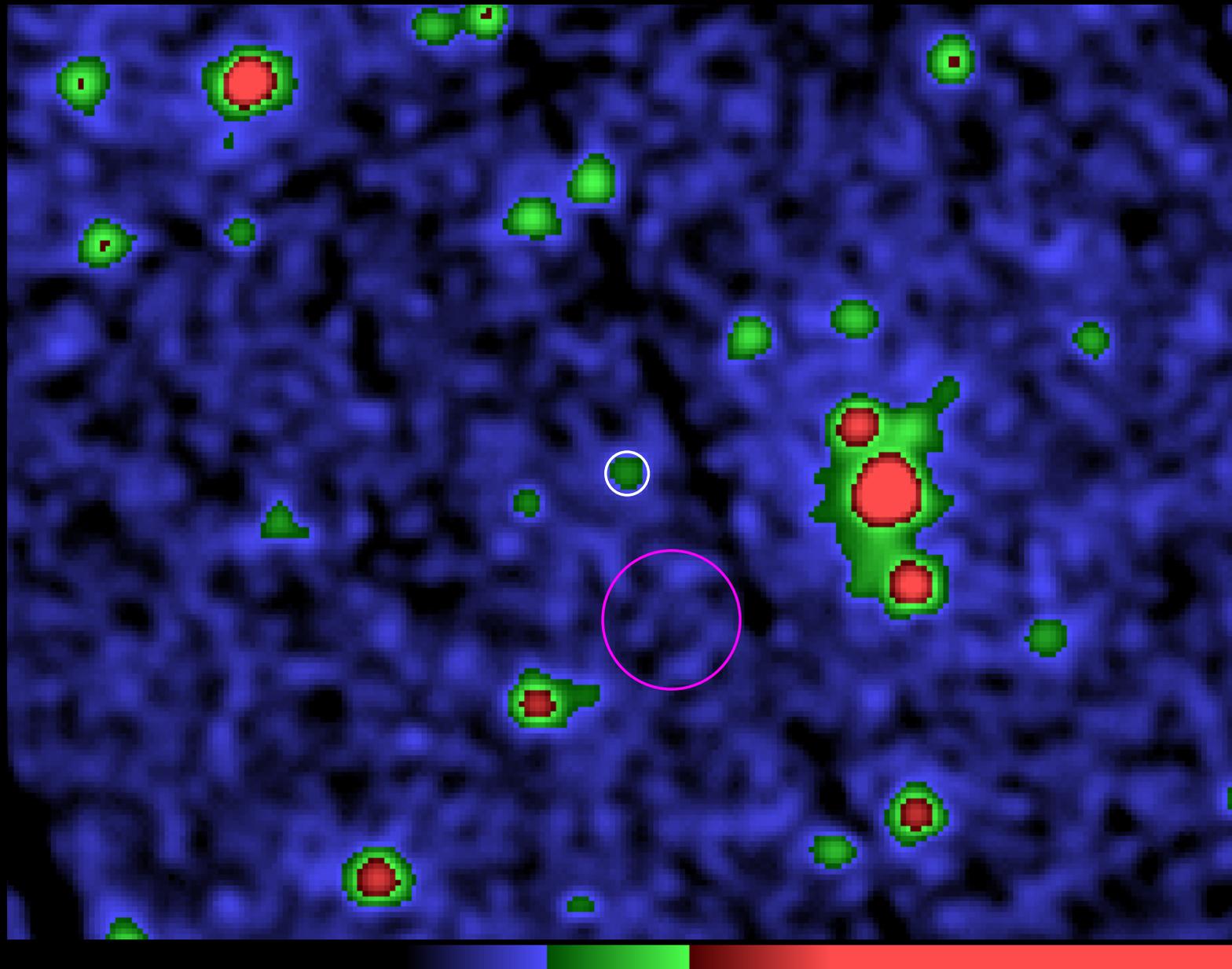
$z=6.4$

# Il quasar più distante

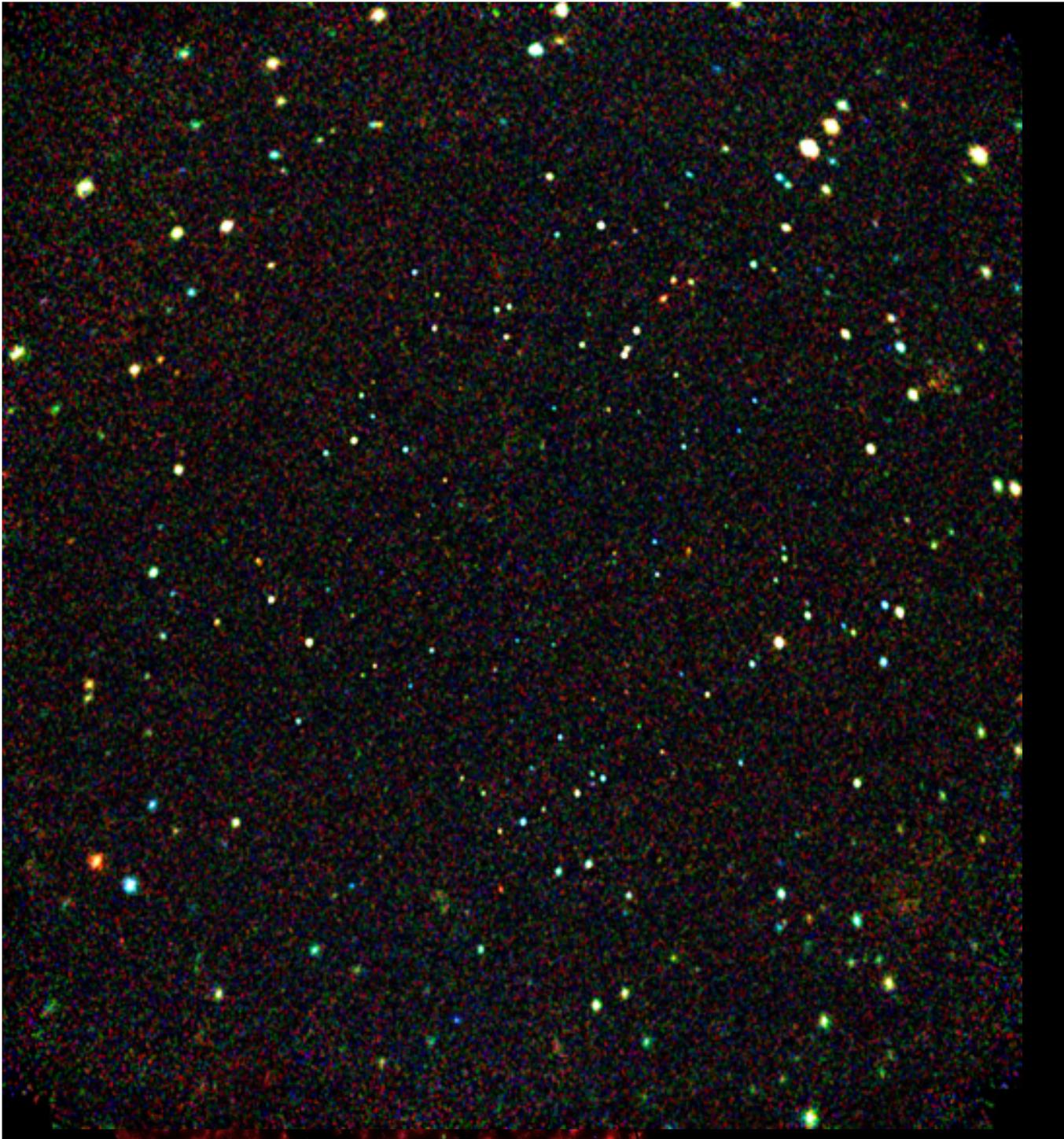
La luce emessa ha impiegato circa  
12.9 miliardi di anni per raggiungerci.



$z=7.1$  cioè 770 milioni di anni dopo il Big Bang



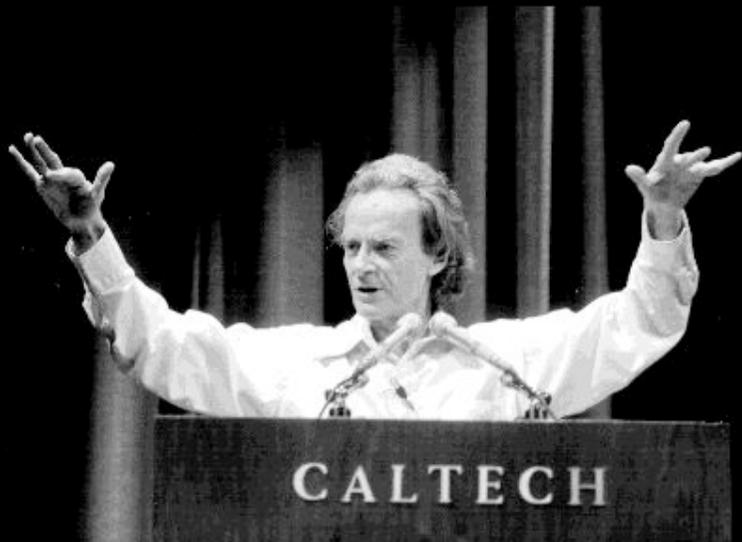
ULAS J1120+0641



Le profondità del  
cosmo con XMM-  
Newton e Chandra

La maggioranza di  
queste sorgenti  
sono quasar (AGN)  
l'80% circa del  
"fondo cosmico" in  
raggi X

...on the other hand, when experiments are in hopeless conflict – or when the observations do not make sense according to conventional ideas, or when none of the new models seems to work, in short when the situation is an unholy mess- that is when one is really making hidden progress and a breakthrough is just around the corner!



© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.  
Commercial use or modification of this material is prohibited.

R. Feynman, 1973 Hawaii Summer Institute, cited by D. Perkins at the 1995 EPS Conference, Brussels).



**SCIENZA  
TI  
APPASSIONA?**

**RACCONTALA**

**IN 3 MINUTI**

**ISCRIVITI  
SUBITO!**

**REGOLAMENTO**

# Viaggio nell'Universo noto

