



QUASAR:
**un salto dalla nostra galassia
ai confini dell'universo**

Mari Polletta

Istituto Nazionale di Astrofisica

Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Milano

L'anno della scoperta dei Quasars

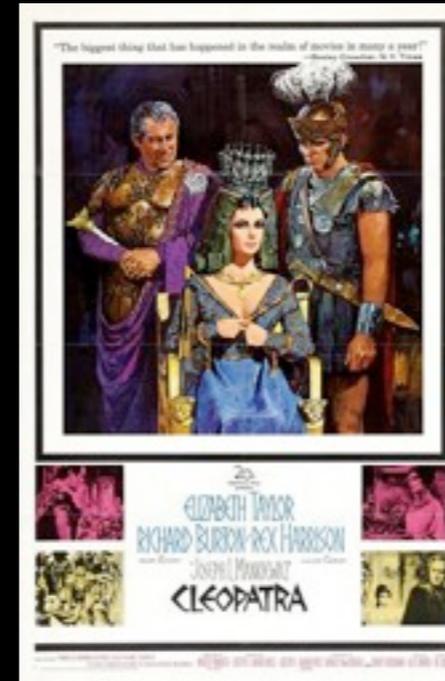
Primo album dei Beatles



1^a donna nello spazio



Cleopatra



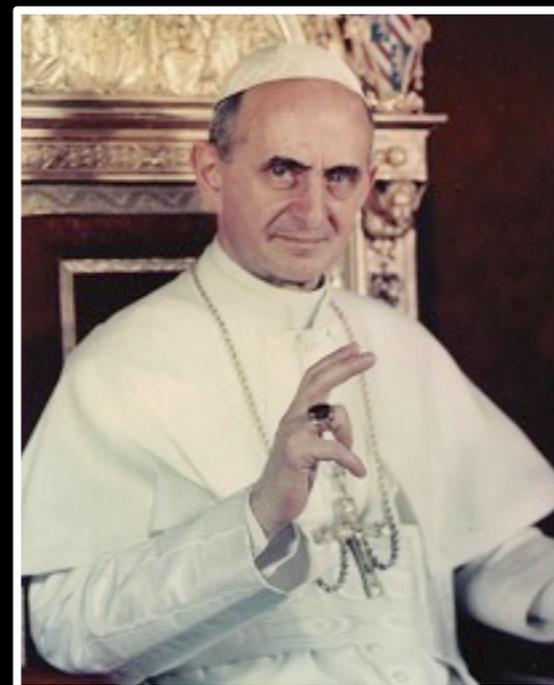
Leone Primo Ministro



JFKennedy è assassinato



Paolo VI diventa papa



MLKing: "I have a dream"



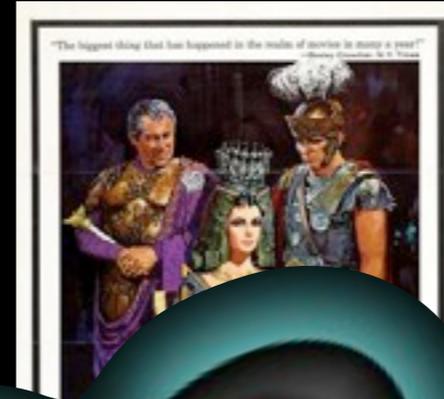
L'anno della scoperta dei Quasars

Primo album dei Beatles

1^a donna nello spazio

Cleopatra

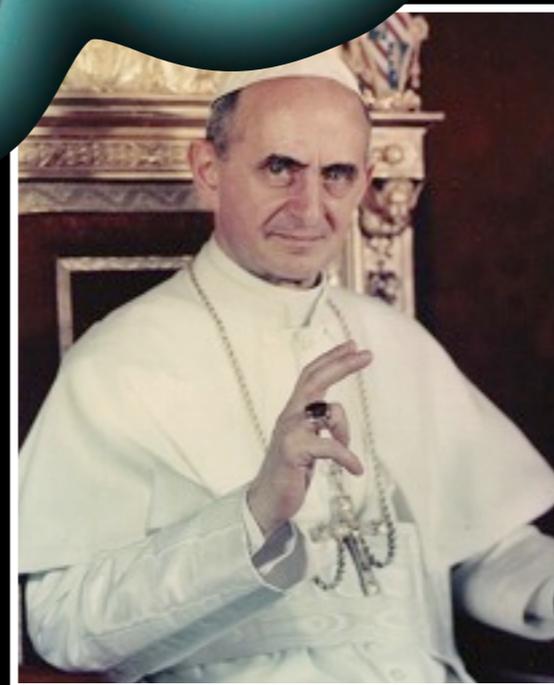
Leone Primo Ministro



JFKennedy è assas

papa

MLKing: "I have a dream"



1963

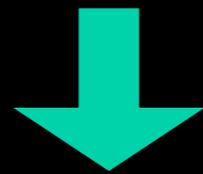
Un po' di storia...

1950-1960: Sorgenti radio non identificate

1963: Localizzazione di una sorgente radio sfruttando l'occultazione della luna

(Hazard et al. 1963, Nature)

Queste sorgenti radio sono associate ad oggetti dall'apparenza stellare, MA le stelle non sono sorgenti radio !!!



Quasar: quasi stellar radio source
Sorgente radio quasi stellare

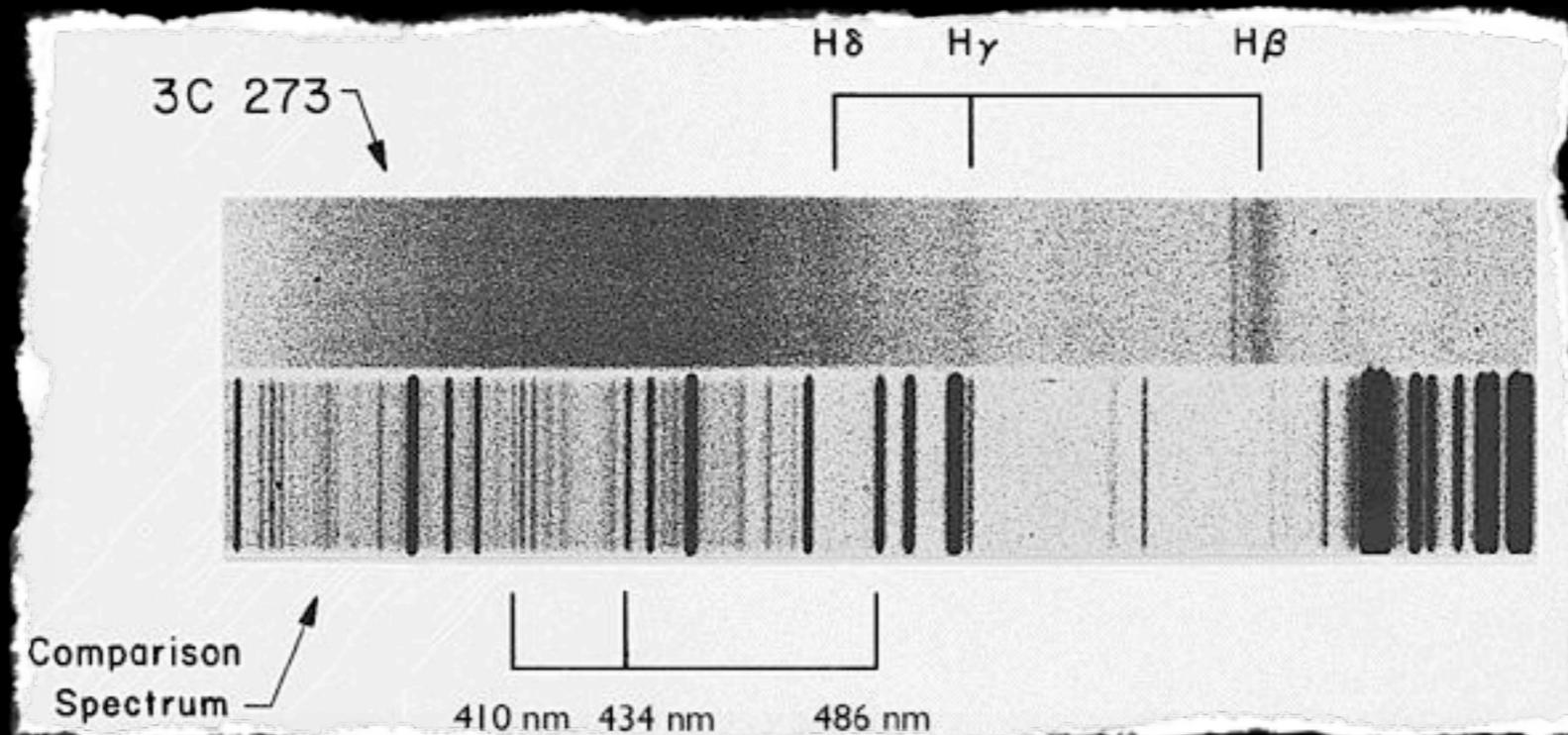
Cosa sono questi Quasars ?

1936 Grote Reber costruisce un telescopio radio e lo punta verso il cielo



Il primo indizio

1963: Lo spettro della sorgente localizzata, 3C273, viene ottenuto e codificato (Schmidt 1963, Nature)

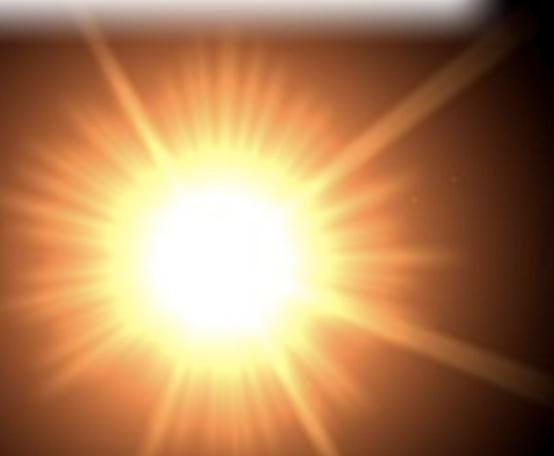


Cos'è uno spettro e che informazione contiene ?

Cosa è uno spettro ?

Spettro: striscia di luce variamente colorata prodotta da un raggio di luce o da una radiazione che attraversa un prisma ottico.

Luce bianca



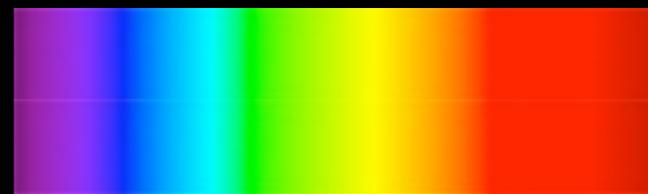
Decomposizione
della luce → spettro



Prisma



UV

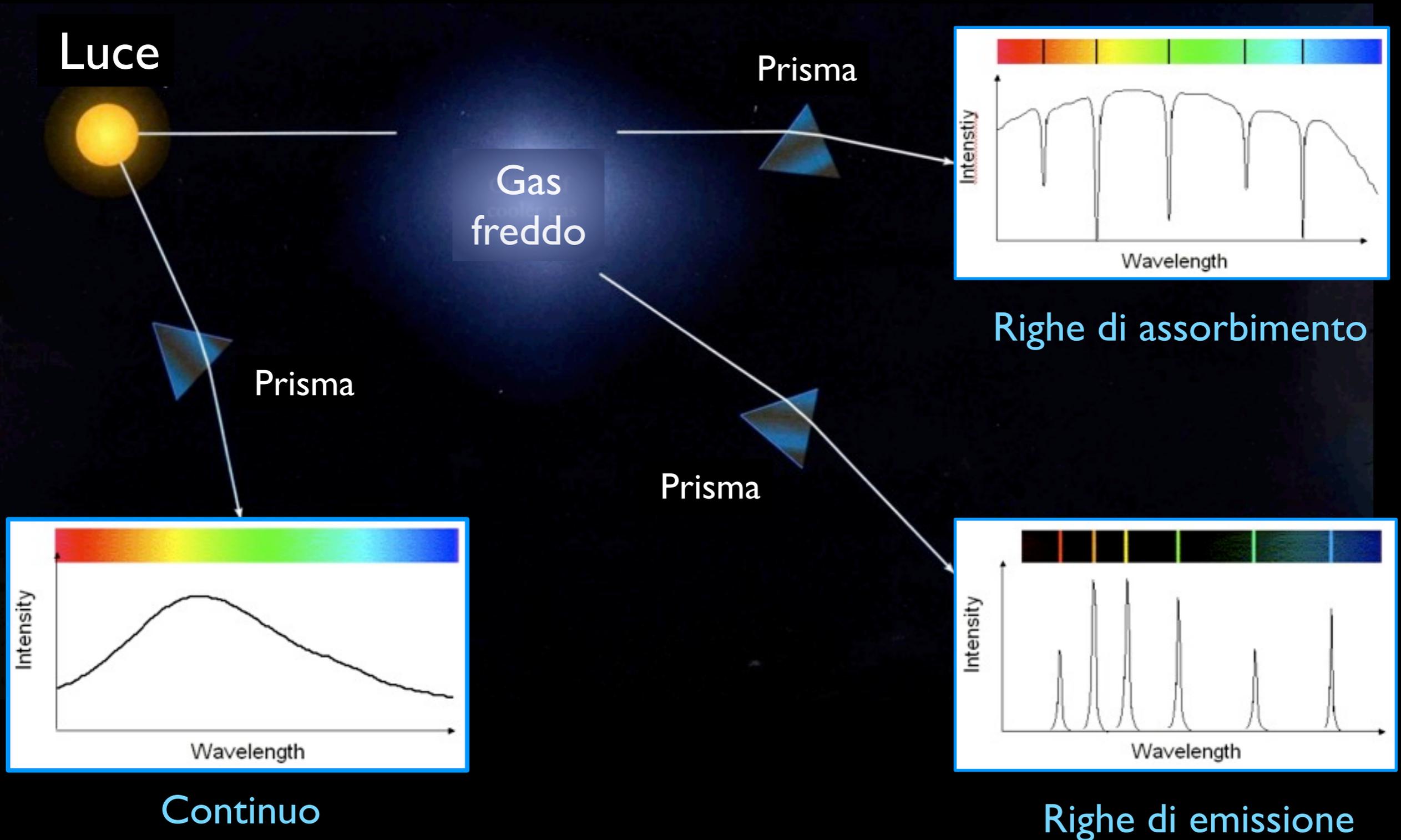


Lunghezza d'onda = Energia



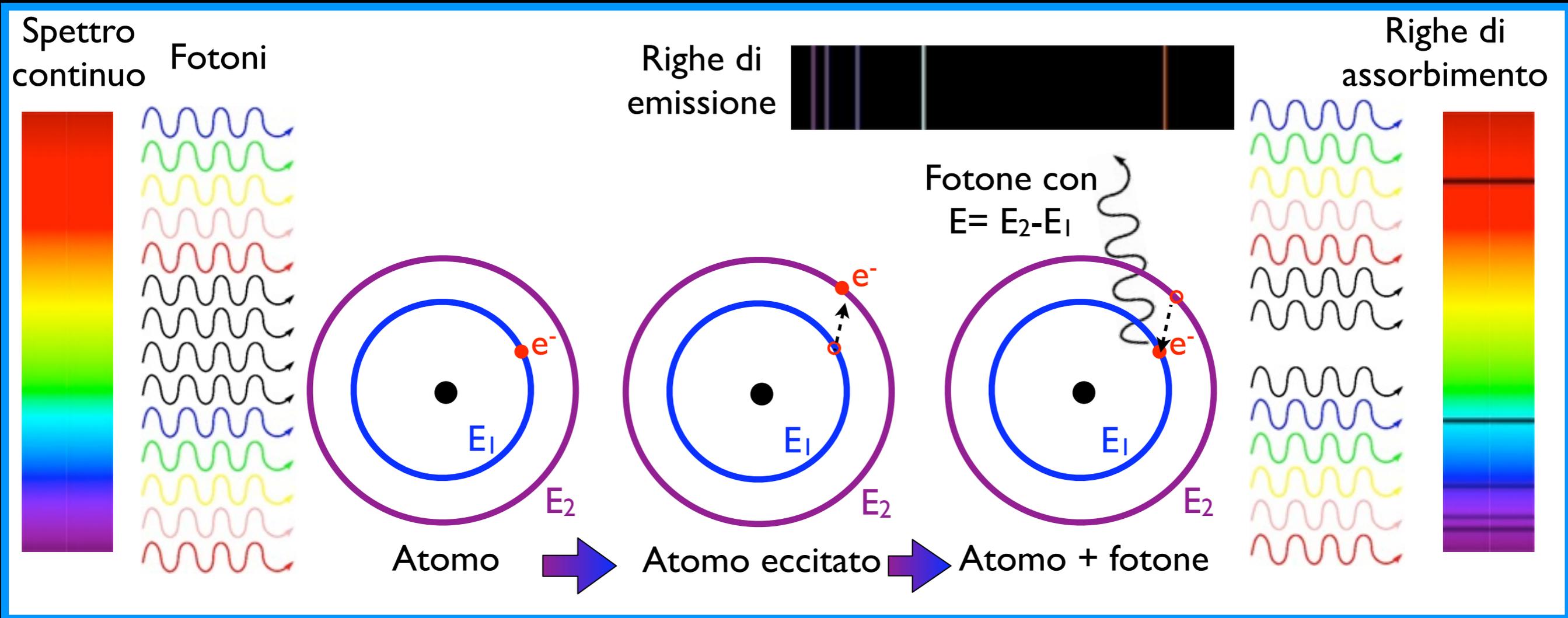
Infrarosso

Tipi di spettro



A cosa corrispondono le righe ?

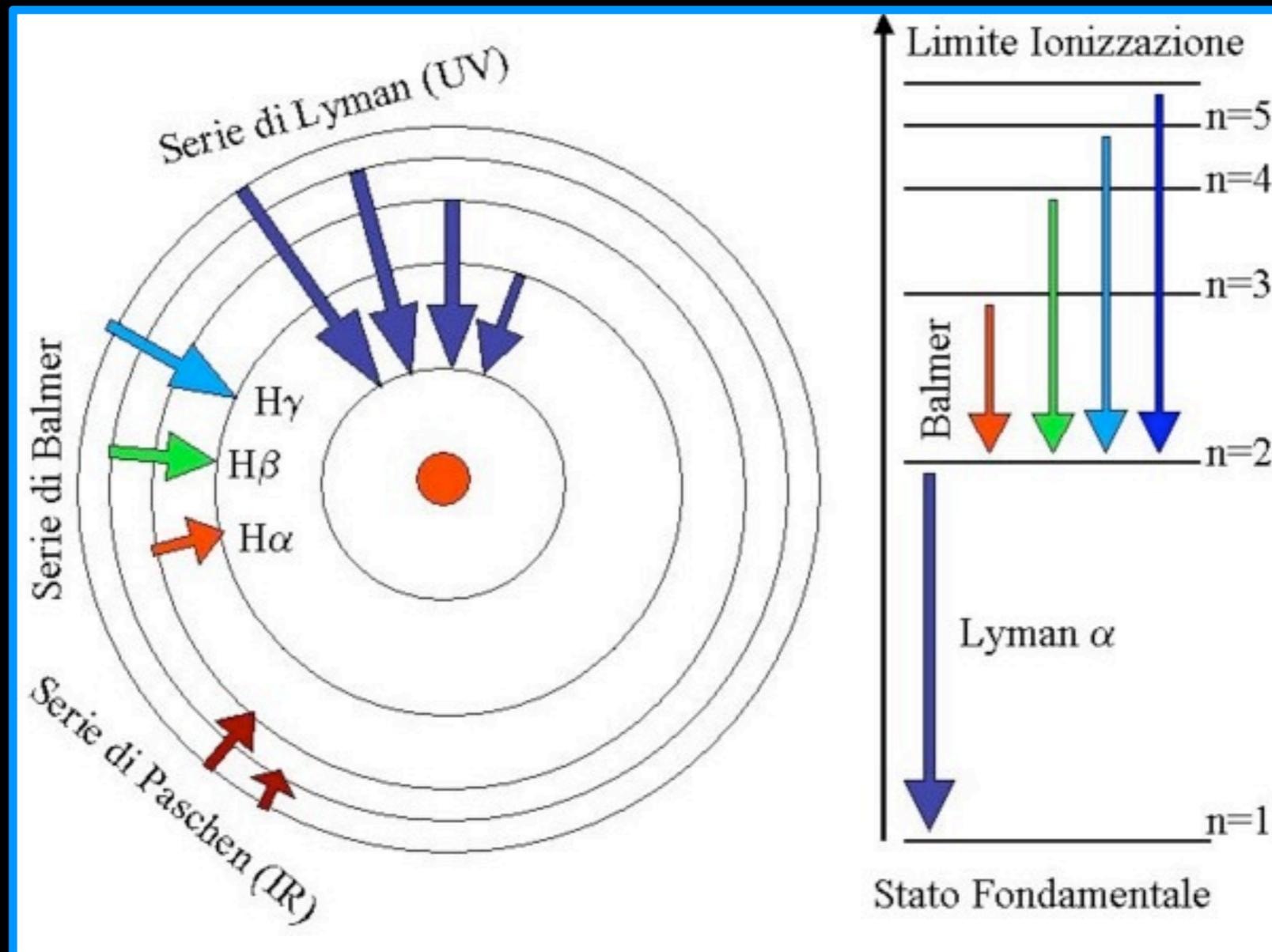
Alla differenza di energia tra due livelli sui quali un elettrone in un atomo si sposta



L'atomo più diffuso nell'universo ed il suo spettro

L'idrogeno : un nucleo + un elettrone

I cambiamenti di livello di energie dell'elettrone danno origine a delle serie di righe (serie di Lyman, di Balmer, di Paschen)

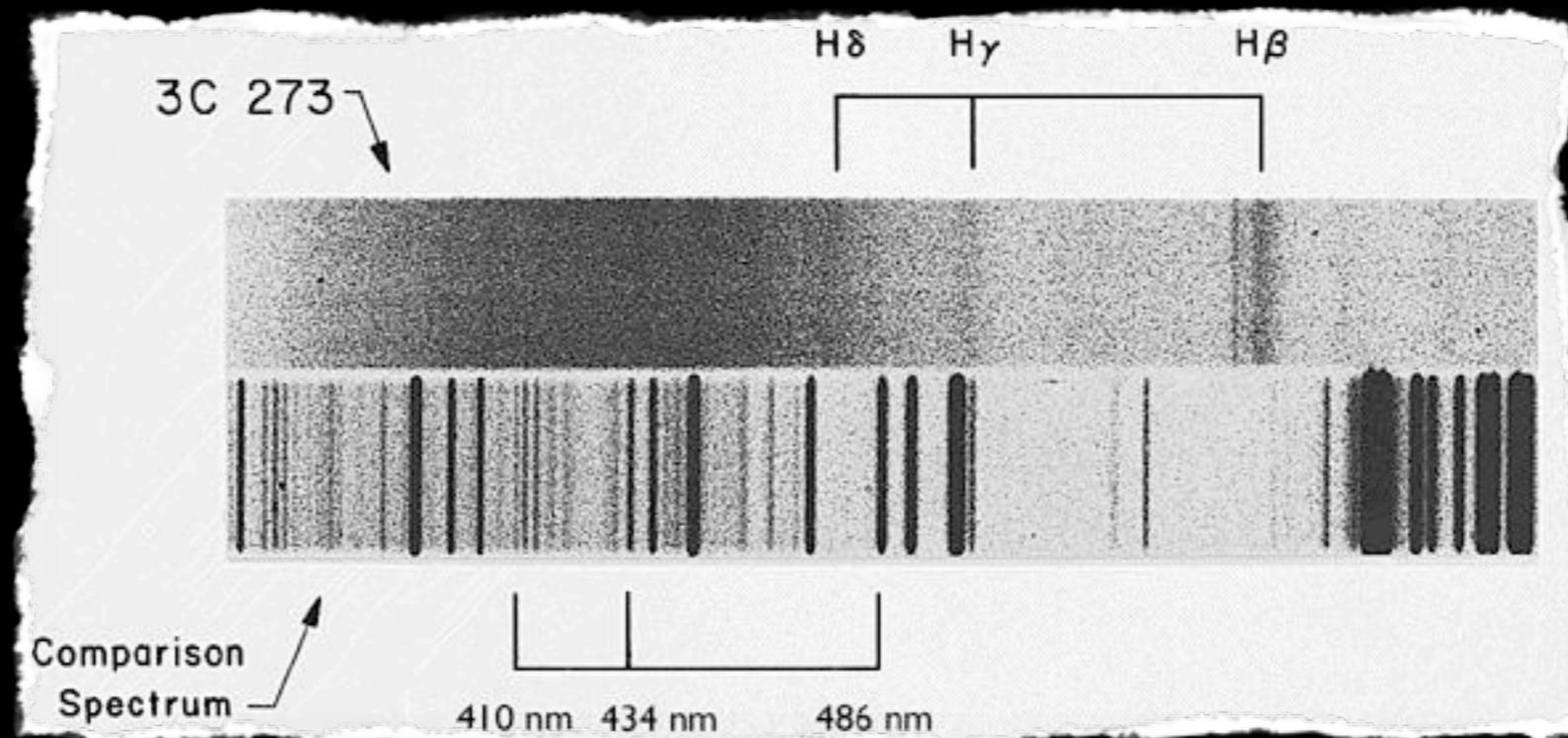


Il primo indizio

Lo spettro del quasar 3C273 mostrava le righe della serie di Balmer dell'idrogeno ma spostate di un fattore costante

$$\lambda_{\text{osservata}} = \lambda_{\text{laboratorio}} \times (1 + z)$$

$$z = 0.158$$



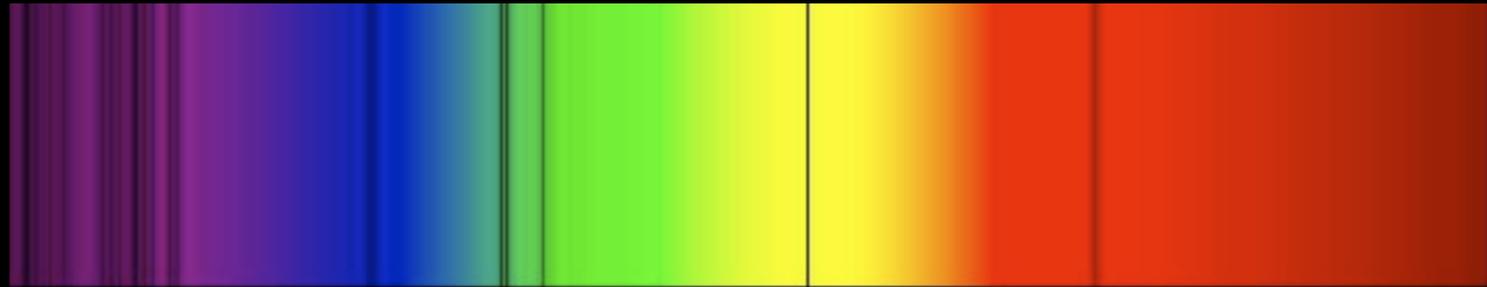
1963: Lo spettro della sorgente localizzata, 3C273, viene ottenuto e codificato (*Schmidt 1963, Nature*)

Perché le righe si spostano ?

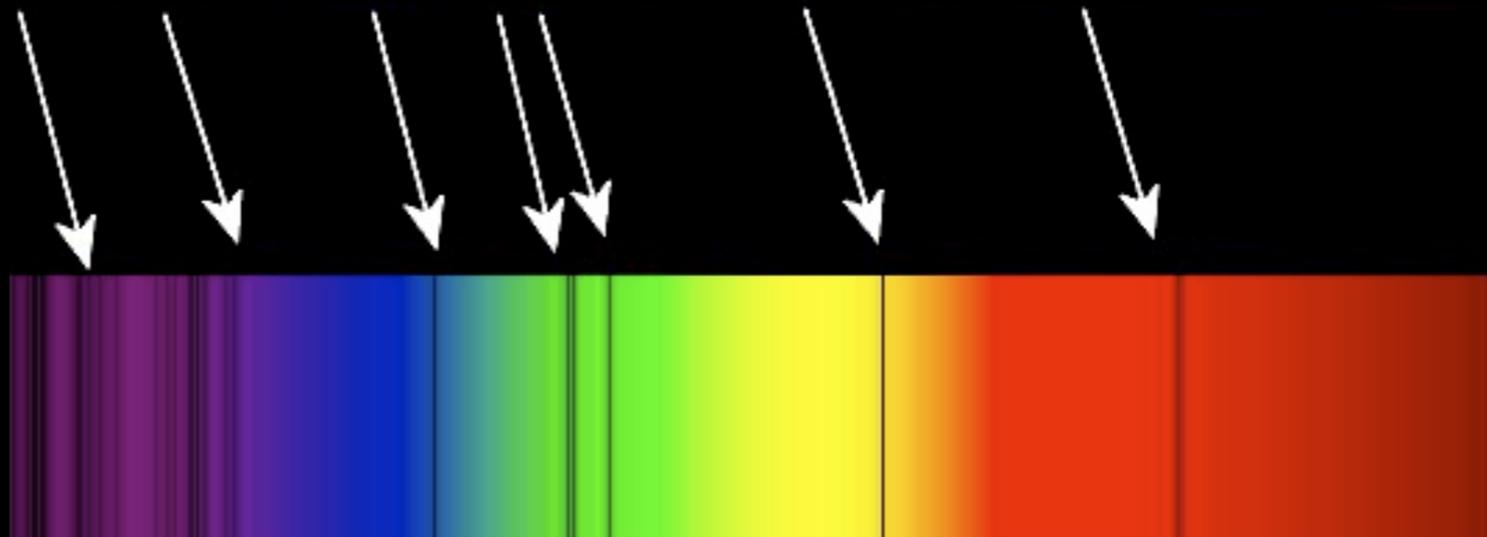
Lo spettro di una galassia presenta delle righe di emissione corrispondenti a dei valori energetici ben precisi.

Osservarli ad un'energia diversa, implica che la sorgente si sta spostando.

Spettro emesso
di una galassia



Spettro osservato
di una galassia



Spostamento ad energie maggiori => si sta allontanando

Spostamento ad energie inferiori => si sta avvicinando

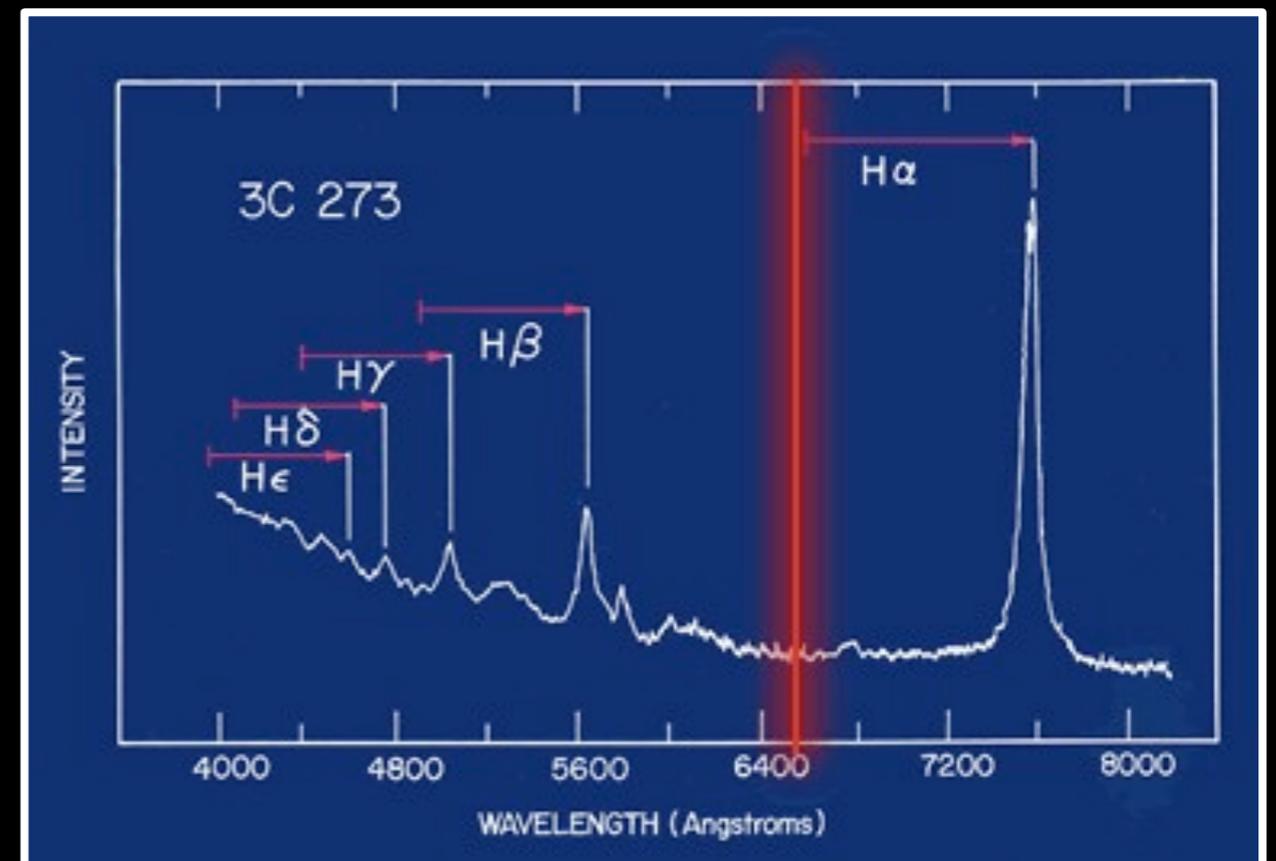
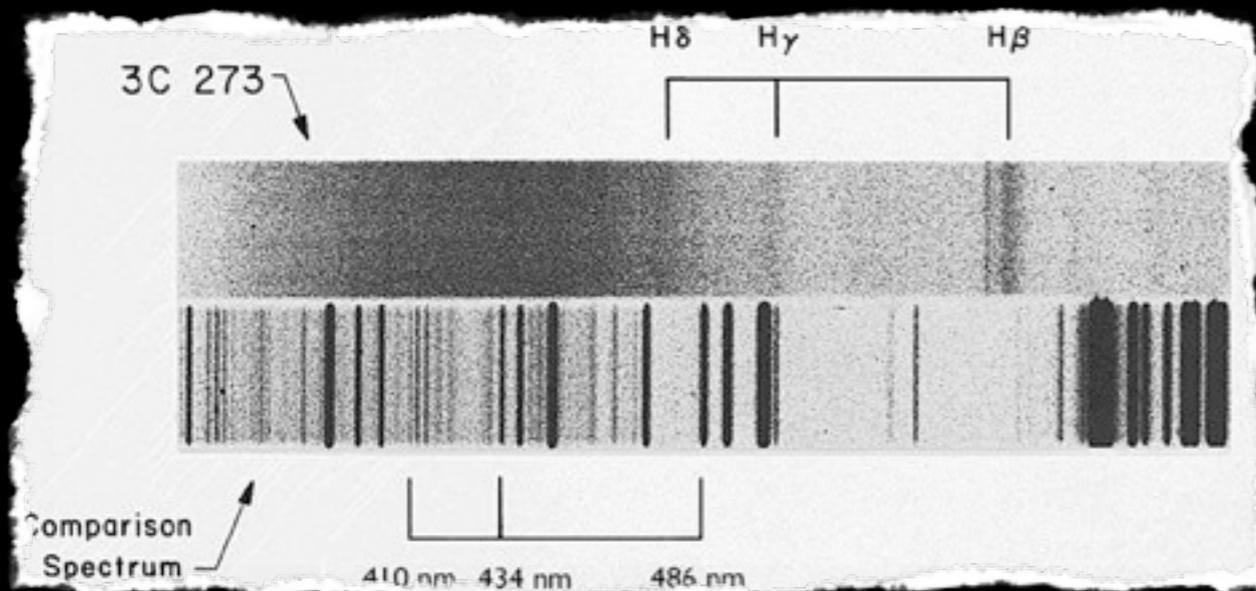
Maggiore è lo spostamento, maggiore saranno la velocità e la distanza.

3C 273 risultò l'oggetto più lontano allora noto

$$z = 0.158$$

Lo spostamento delle righe della serie di Balmer implicava:

- 1) una **distanza** di 2 miliardi di anni luce
- 2) una **velocità** di allontanamento di 47500 km/s (170 milioni di km/h)
- 3) una **luminosità** 100 volte maggiore di qualsiasi altro astro



Il primo spettro di un quasar viene decodificato

1966: un astronomo, Marten Schmidt, sulla copertina di TIME

Si ampliano i confini dell'universo:

“Esistono corpi celesti molto più lontani e luminosi di quelli conosciuti”



Guarda il video “The known Universe” qui:

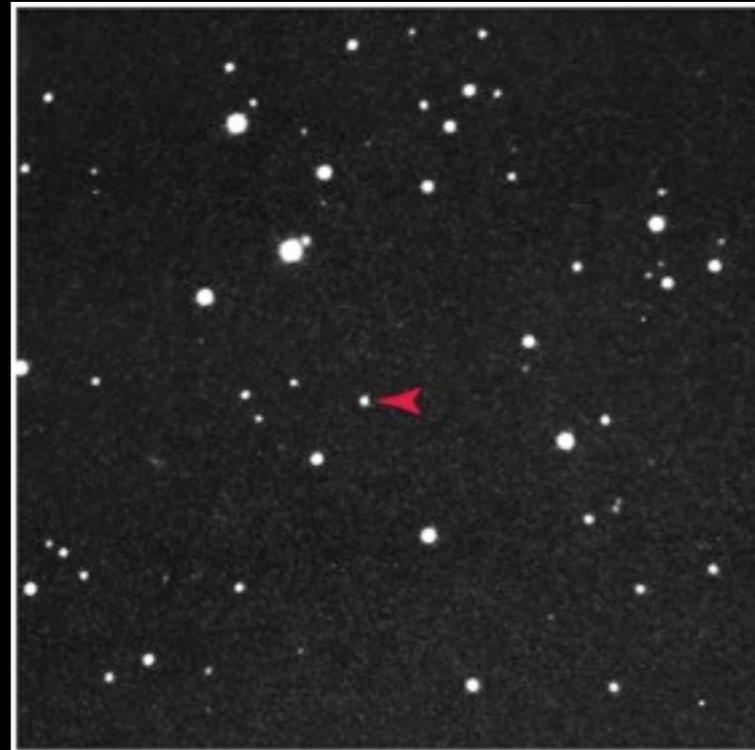
<http://www.amnh.org/news/use-of-videos-on-this-site/>

Il record durò 15 min

Lo spettro di un altro quasar, 3C48, viene codificato 15min più tardi implicando una distanza maggiore !

3C 48: $z = 0.36$

J. Greenstein &
Th. Matthews



Lo spostamento delle righe della serie di Balmer implicava:

- 1) una **distanza** di 4 miliardi di anni luce
- 2) una **velocità** di allontanamento di 110'000 km/s (400 milioni di km/h)
- 3) una **luminosità** centinaia di volte maggiore di qualsiasi altro astro

Una volta trovata la chiave centinaia di quasars vengono scoperti

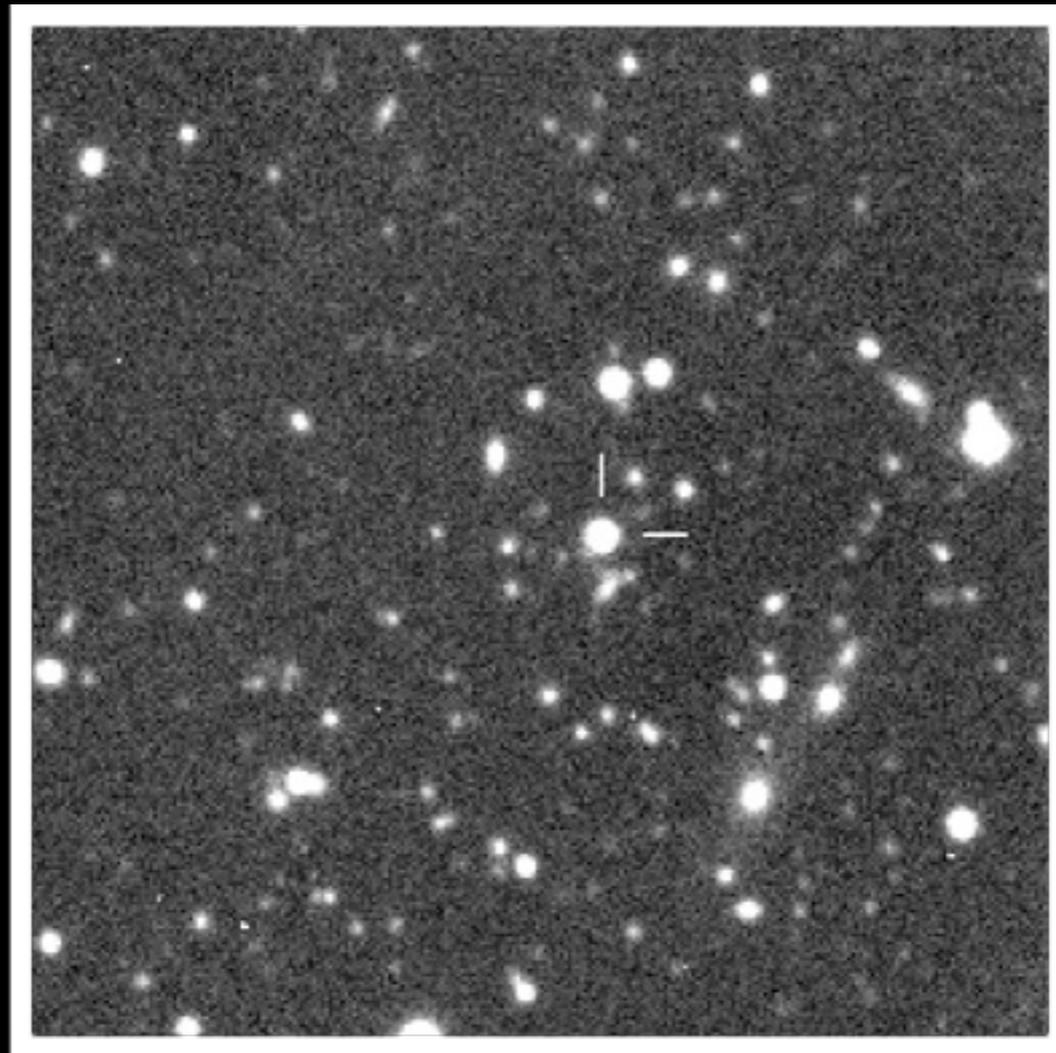
1967: >100 quasars identificati, spettri codificati e distanze misurate
(M. Burbidge 1967, Annual Review of Astronomy & Astrophysics)



M. Burbidge

Cosa sono i Quasars?

- Corpi celesti dall'apparenza stellare ma emettitori di onde radio
- Oggetti estremamente lontani
- Astri estremamente luminosi
(100 – 1000 più brillanti della Via Lattea)



Quanta energia produce un quasar ?

Spesso di più di quella prodotta dalla galassia che lo ospita



10^{37} Watt

Quanta energia produce un quasar ?

Spesso di più di quella prodotta dalla galassia che lo ospita



10^{37} Watt

1.000.000.000.000.000.000.000.000 ×

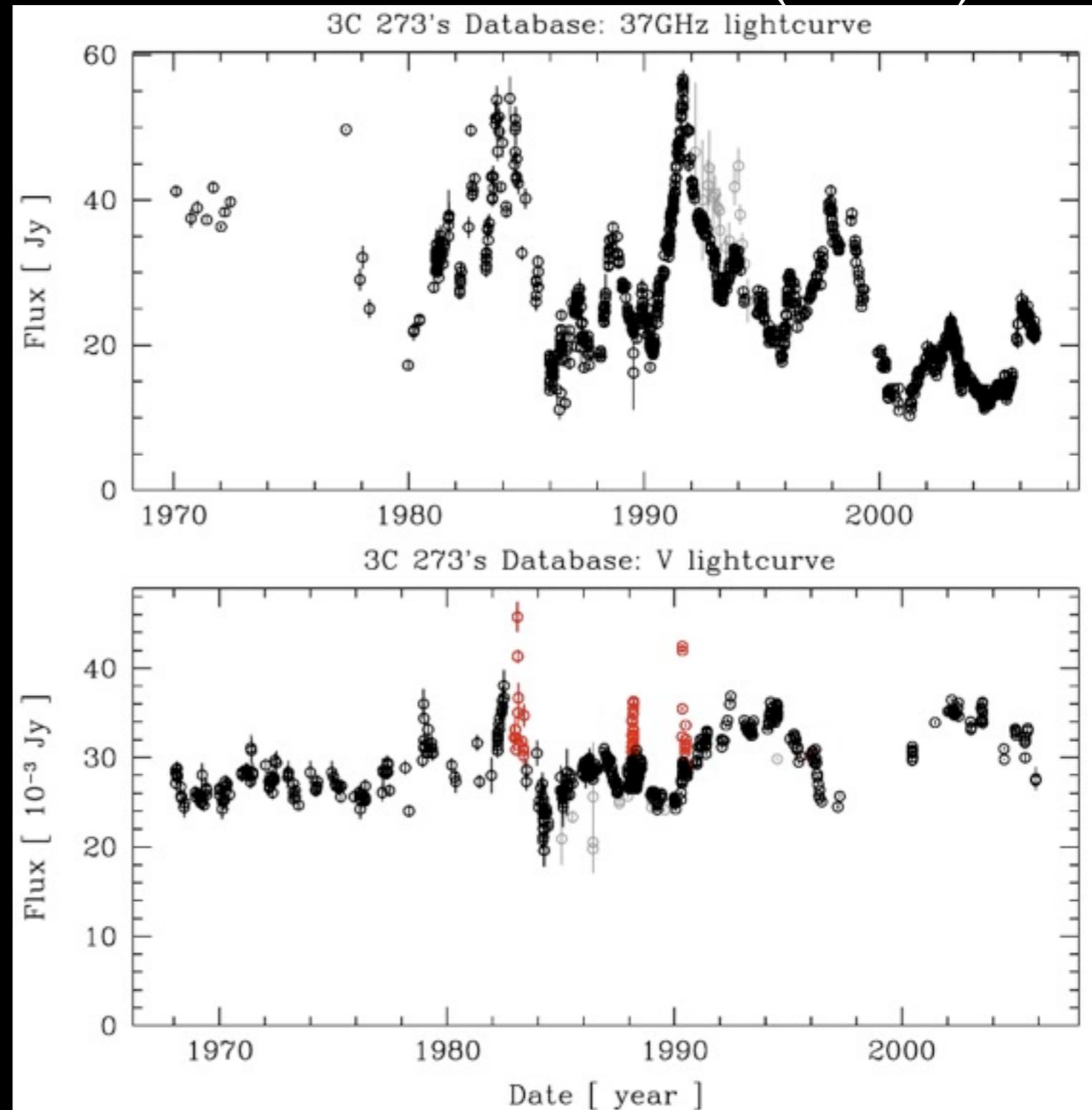
Energia consumata sulla
Terra ogni secondo



Un'altra sorprendente scoperta : 3C273 è variabile !

Intensità della radiazione radio e visibile di
3C273 dal 1968 al 2008 (40 anni)

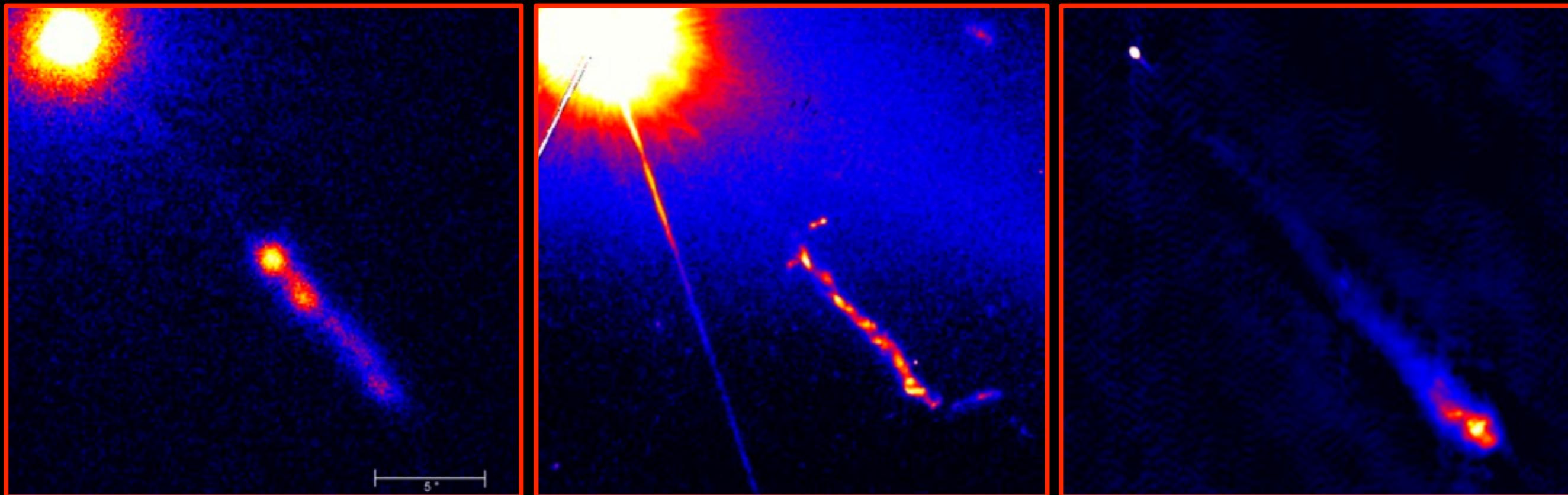
La luce di 3C 273 varia
nell'arco di un anno,
giorni, ore !



Un'altra sorpresa: 3C273 non è puntiforme!

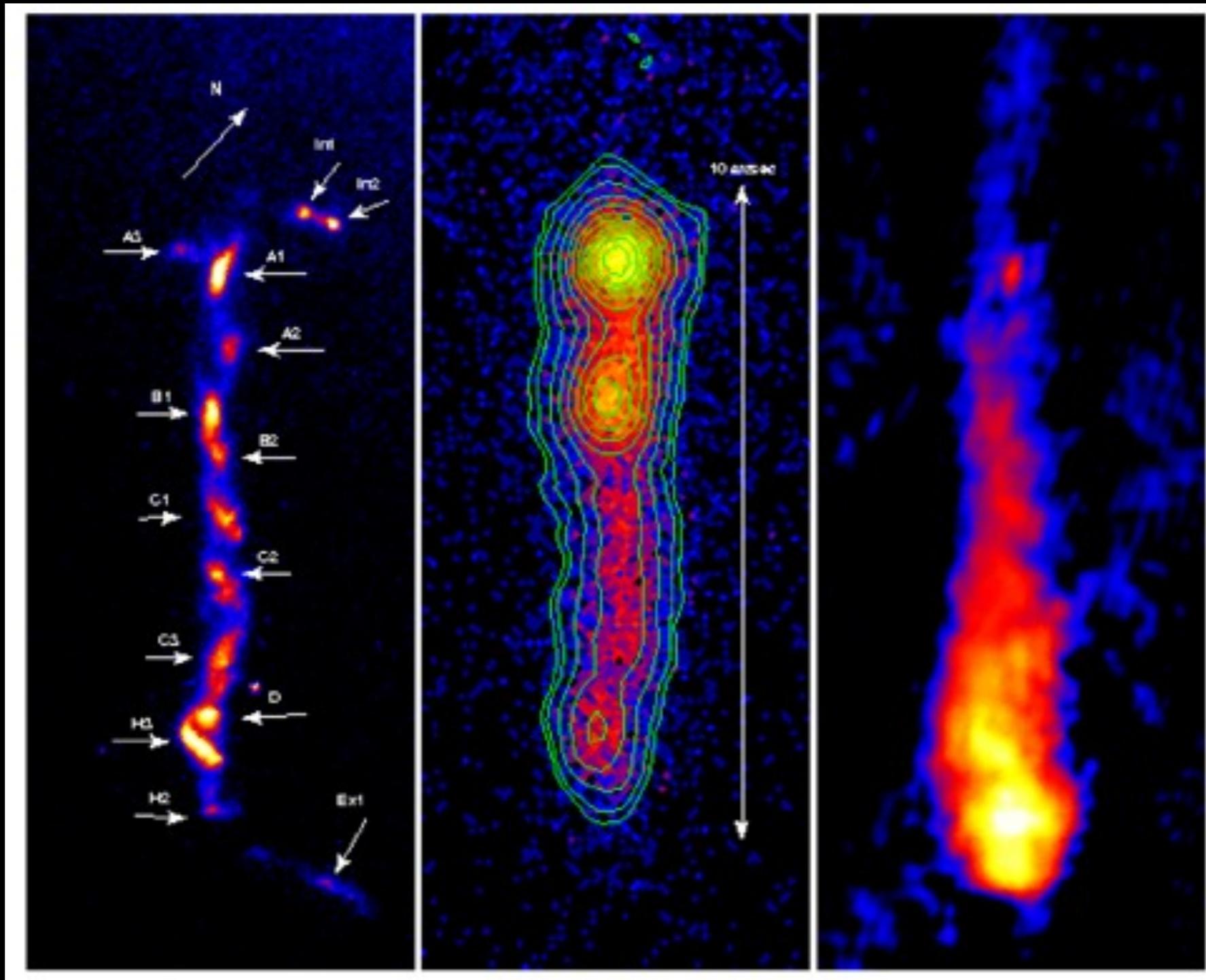
3C273 possiede una struttura allungata a forma di lancia che si estende per 20 arcsec ($\sim 8 \times$ distanza tra noi ed il centro della via Lattea).

La lancia è visibile a diverse lunghezze d'onda, ed è particolarmente brillante nelle onde radio.



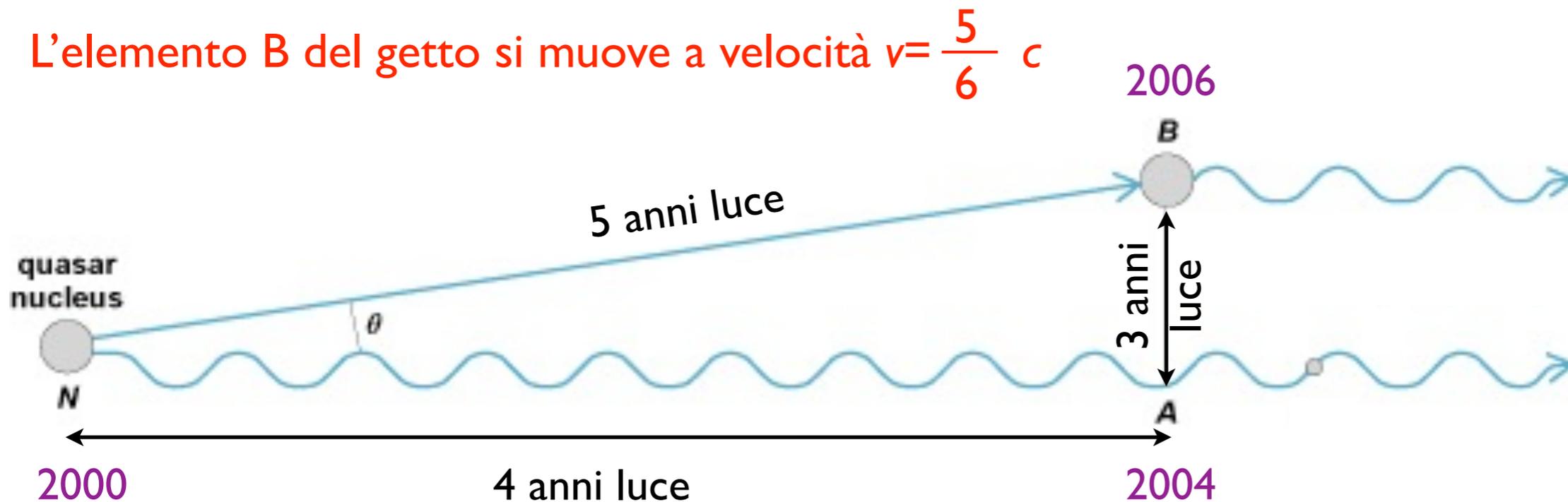
La lancia

La lancia è un getto costituito da elementi che sembrano spostarsi alla velocità della luce o addirittura a velocità maggiori !!!



La lancia

La lancia è un getto costituito da elementi che sembrano spostarsi alla velocità della luce o addirittura a velocità maggiori !!!

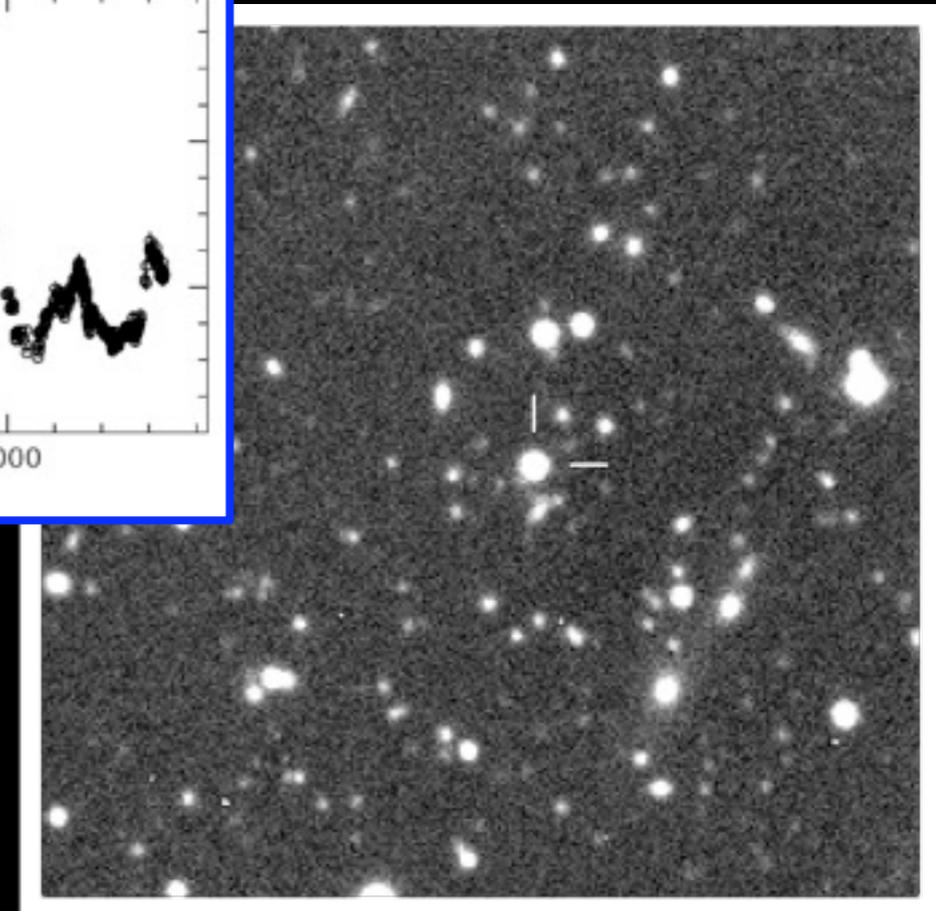
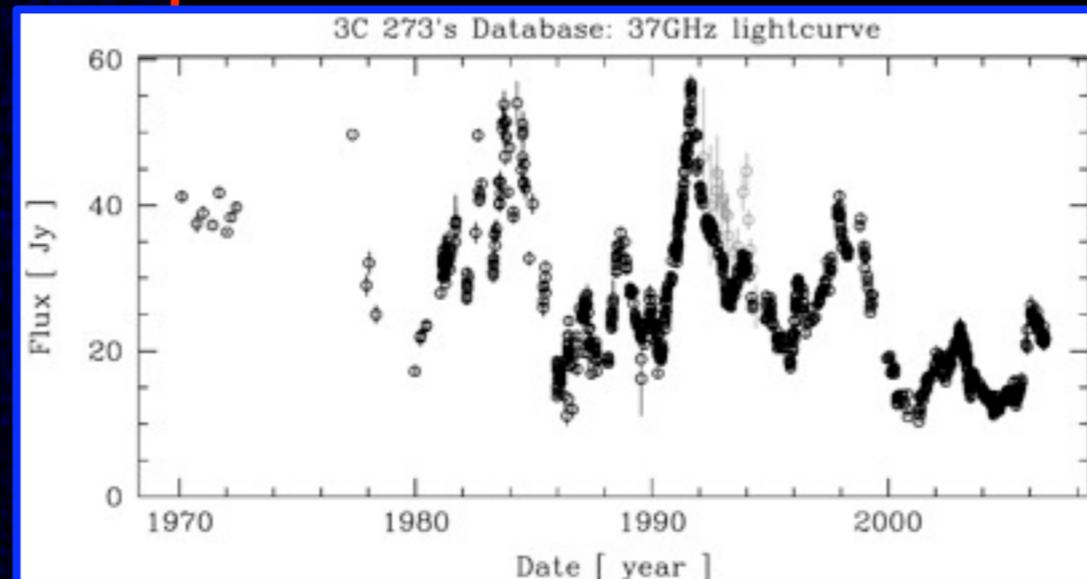
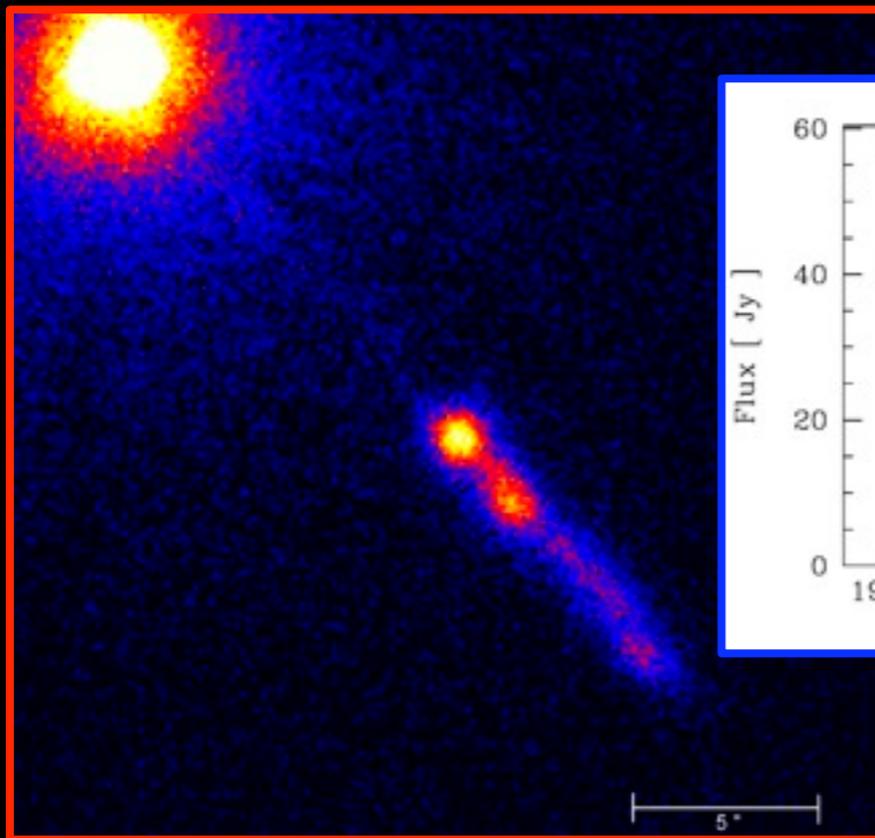


Il segnale dell'elemento B giungerà a noi 2 anni dopo il segnale dell'elemento N, ma la distanza apparente tra i due elementi sarà di 3 anni luce

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

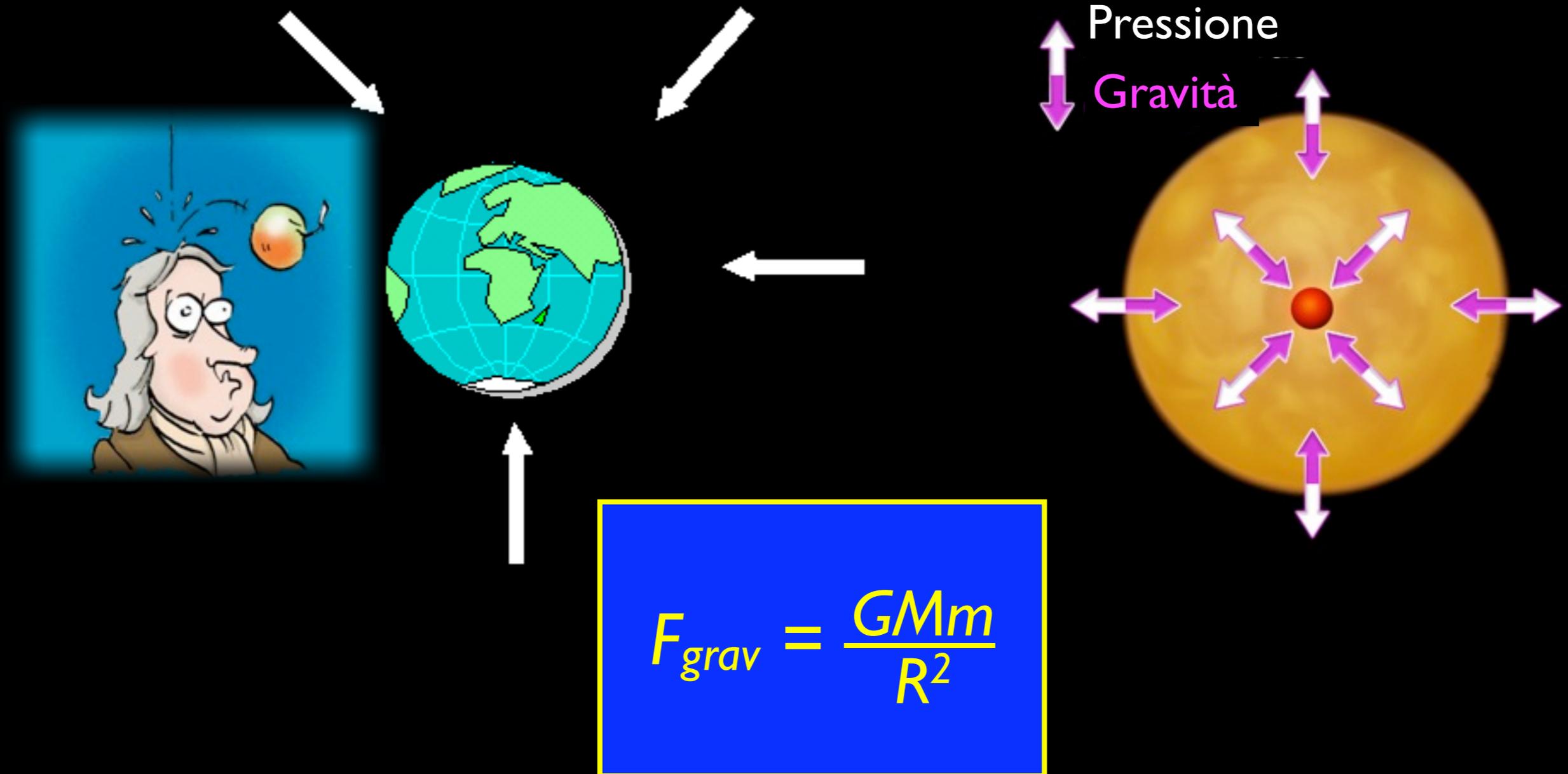
Cosa sono i Quasars?

- Corpi celesti dall'apparenza stellare ma emettitori di onde radio
- Oggetti estremamente lontani
- Astri estremamente luminosi (100 – 1000 più brillanti della Via Lattea)
- La loro luce può variare in tempi molto brevi
- Possono avere strutture estese che si muovono con $v \sim c$



Cosa genera l'enorme luminosità prodotta dai quasars ?

La gravità

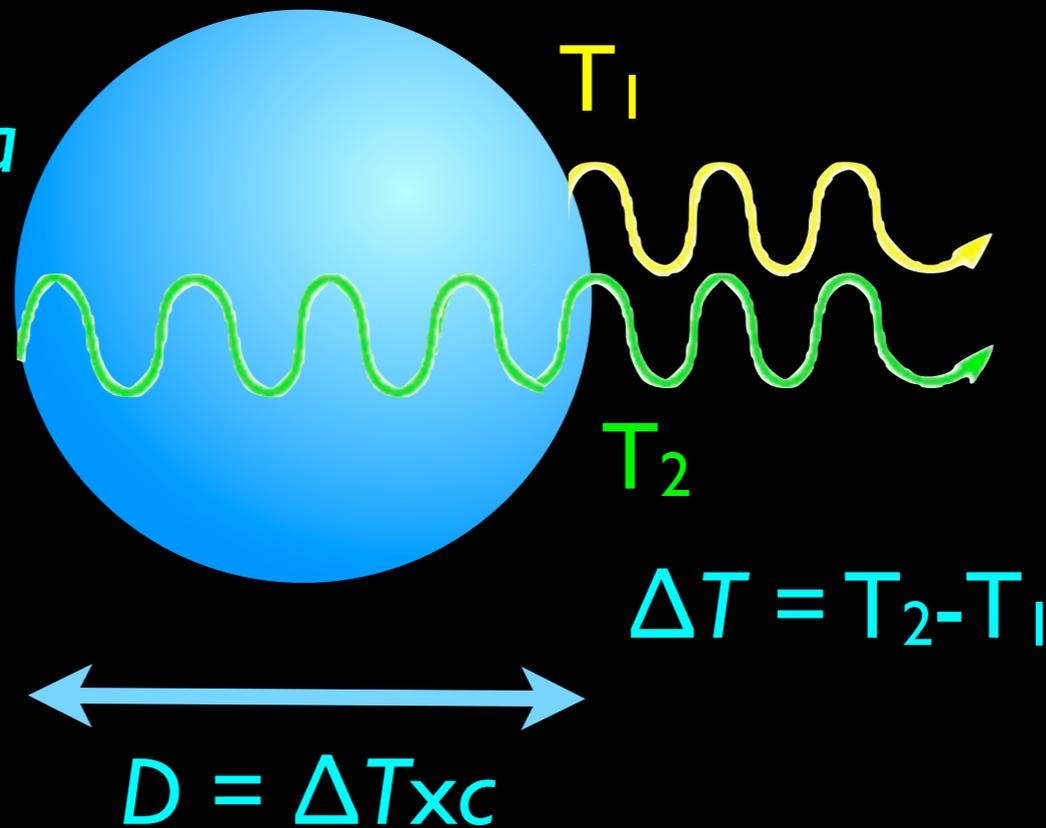


Elevate luminosità richiedono enormi masse!

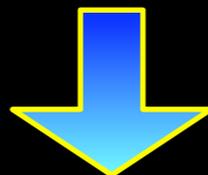
L'energia dei quasars è generata dalla gravità

La variabilità implica una sorgente di dimensioni piccole

ΔT = tempo sul quale la luce varia
 c = velocità della luce



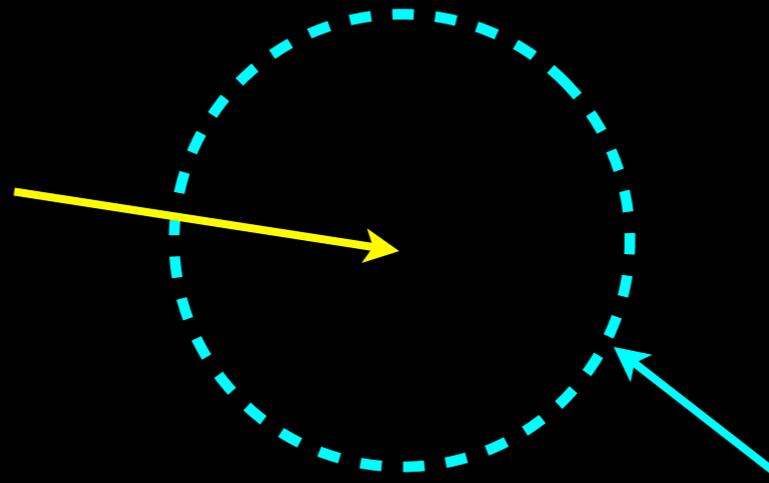
Massa elevata + dimensioni piccole



Buco nero supermassiccio !!

Che cos'è un buco nero ?

La materia è talmente compressa che non ha più una dimensione



Orizzonte degli eventi

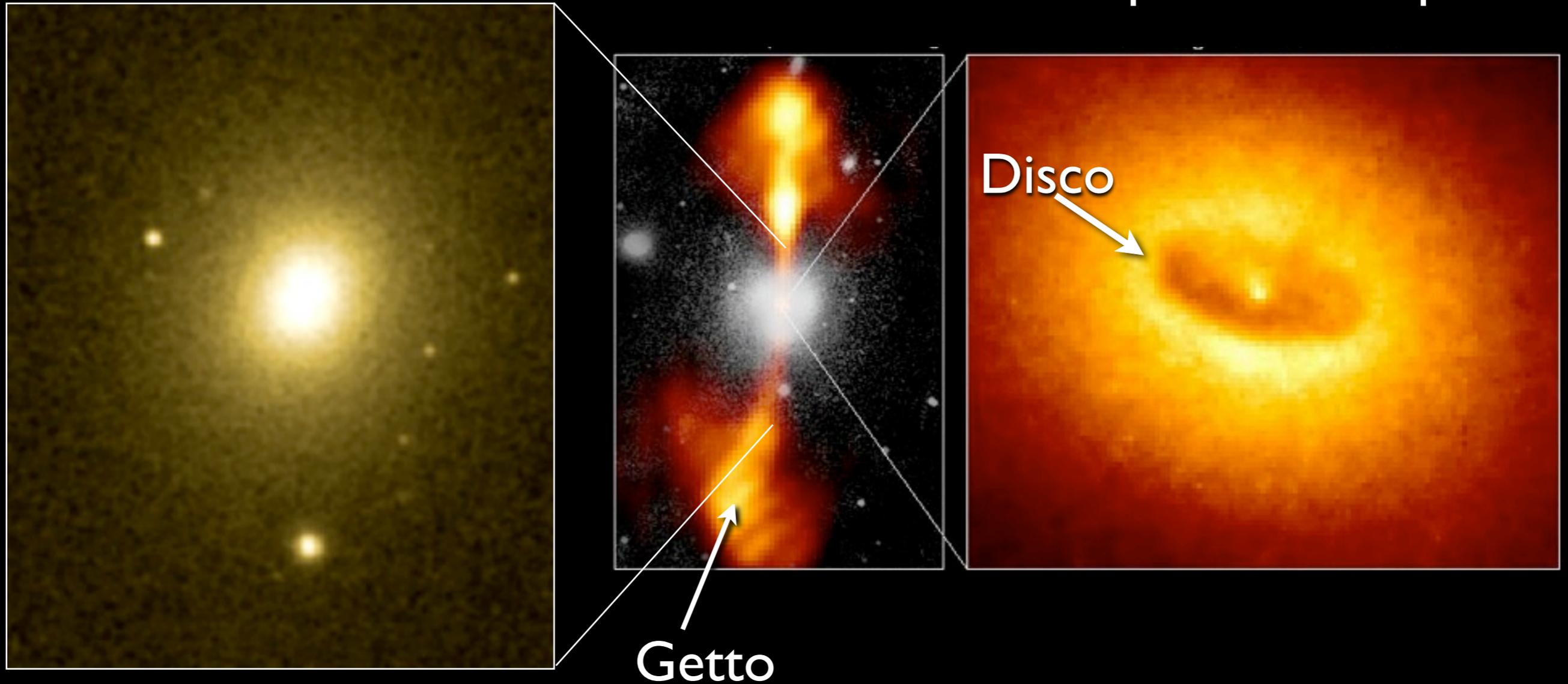
$$v_{fuga} = c$$

- Un buco nero è una stella alla fine della sua vita
- La stella deve essere originariamente molto massiccia
- Tutta la massa della stella è concentrata in un punto
- La gravità è così alta che neanche la luce può sfuggire ($v_{fuga} = c = 300'000 \text{ km/s}$)

Prova della presenza di un buco nero

Ottico: **stelle** !

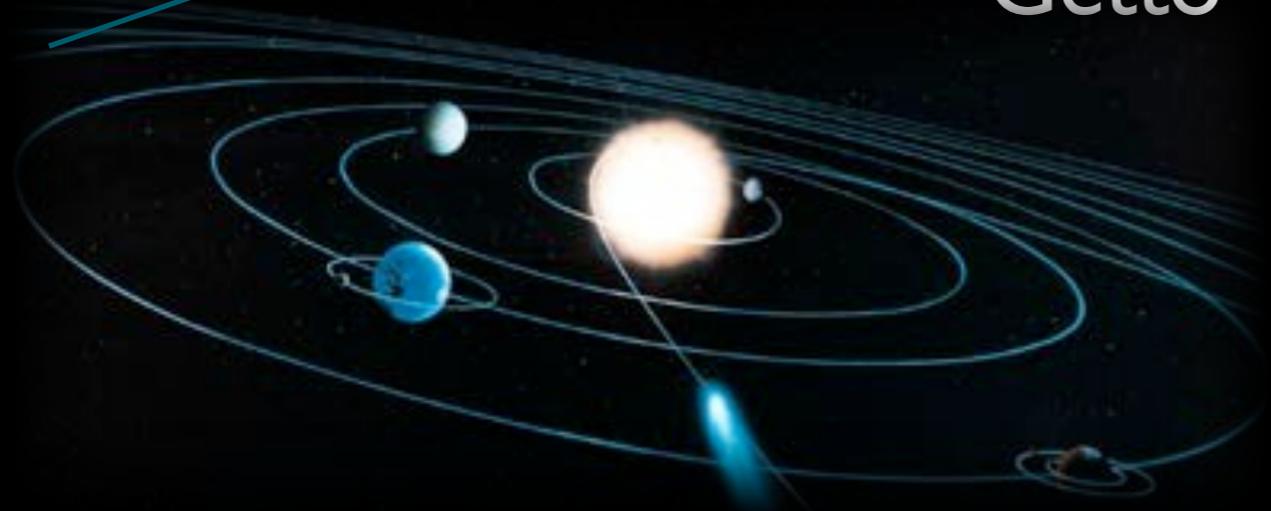
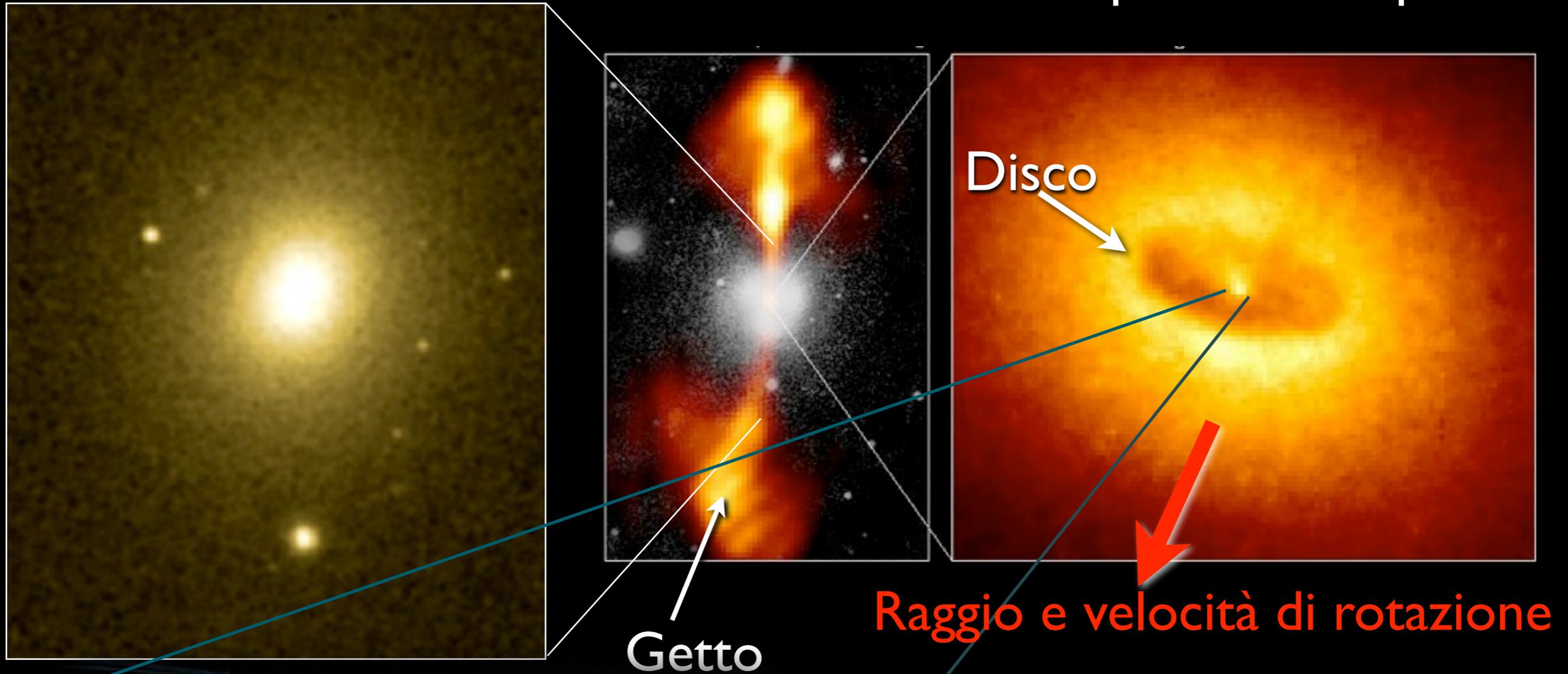
Il Centro della galassia NGC 4261
visto dall'Hubble Space Telescope



Prova della presenza di un buco nero

Ottico: **stelle** !

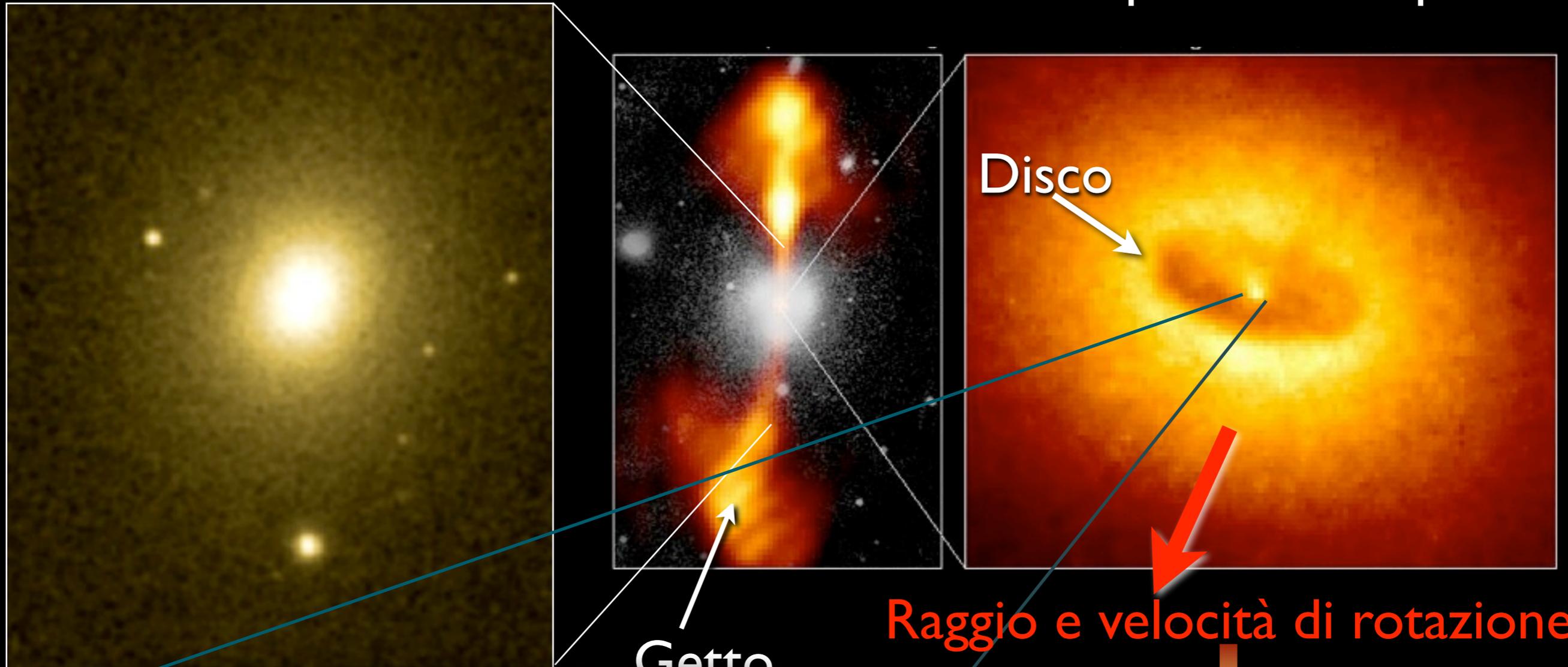
Il Centro della galassia NGC 4261
visto dall'Hubble Space Telescope



Prova della presenza di un buco nero

Ottico: **stelle** !

Il Centro della galassia NGC 4261
visto dall'Hubble Space Telescope



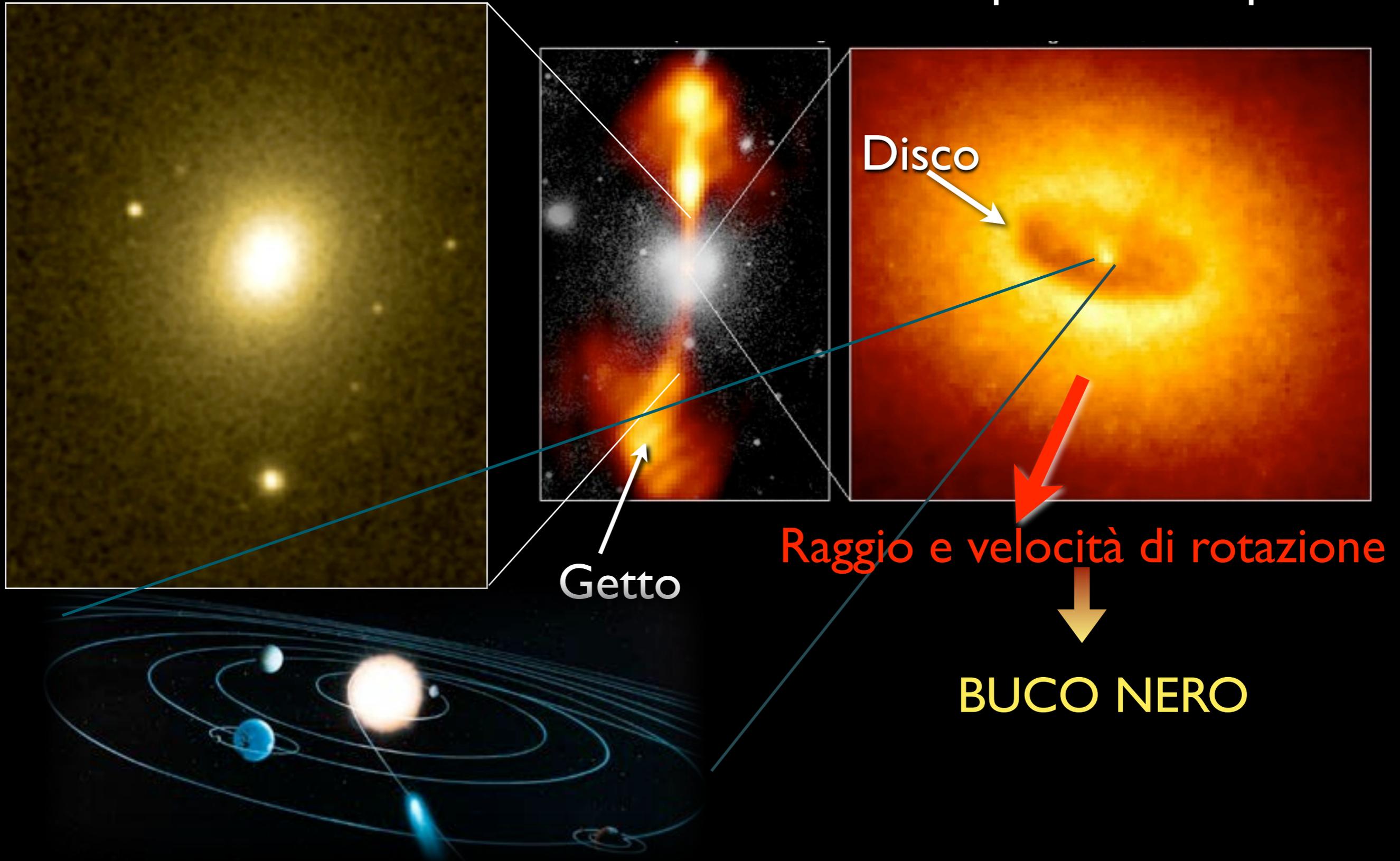
↓
Massa al centro = 1.2 miliardi
di soli



Prova della presenza di un buco nero

Ottico: **stelle** !

Il Centro della galassia NGC 4261
visto dall'Hubble Space Telescope

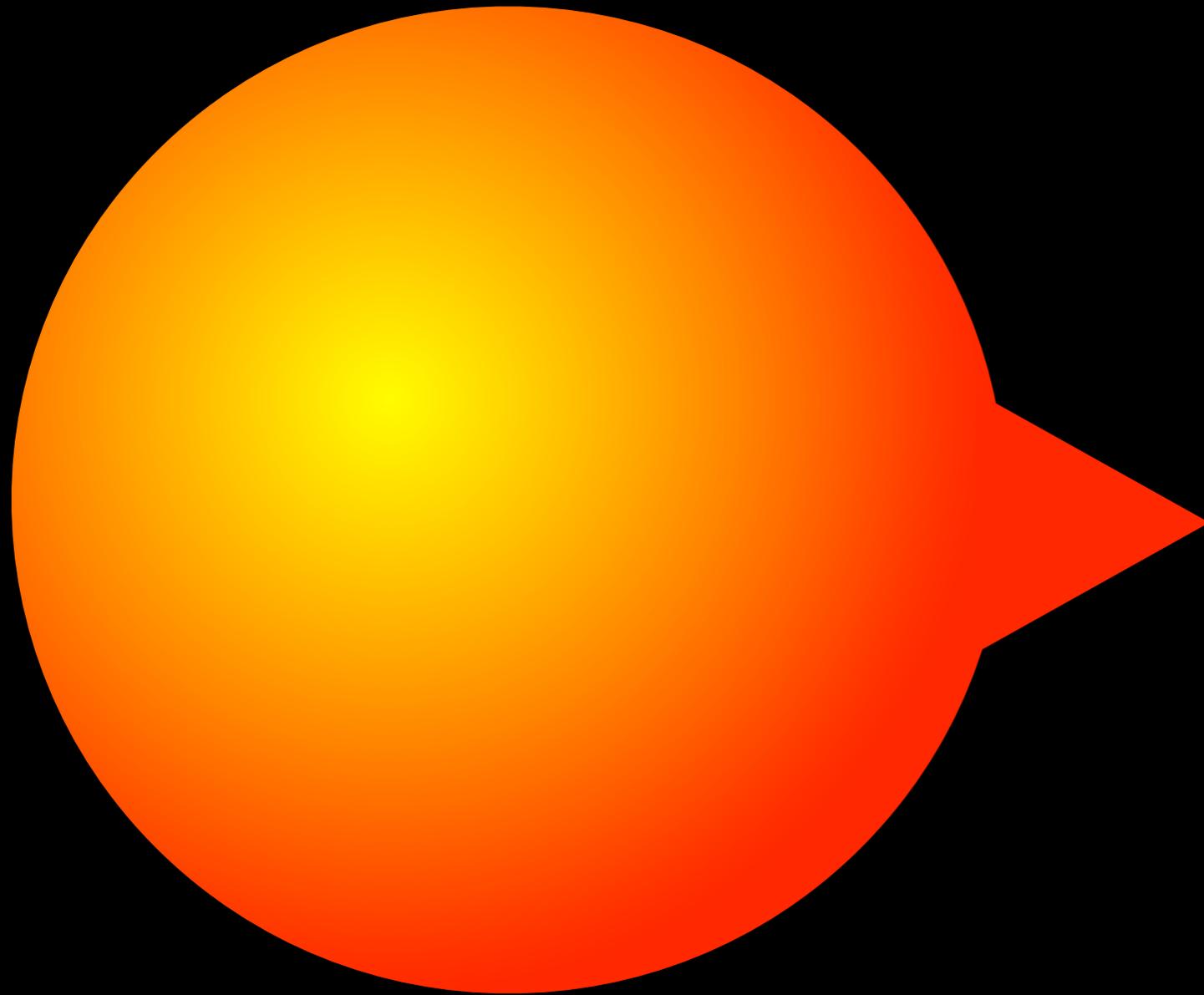


Cosa succede intorno ad un buco nero ?

Stella

Buco nero

Orizzonte degli eventi
del buco nero



Cosa succede intorno ad un buco nero ?

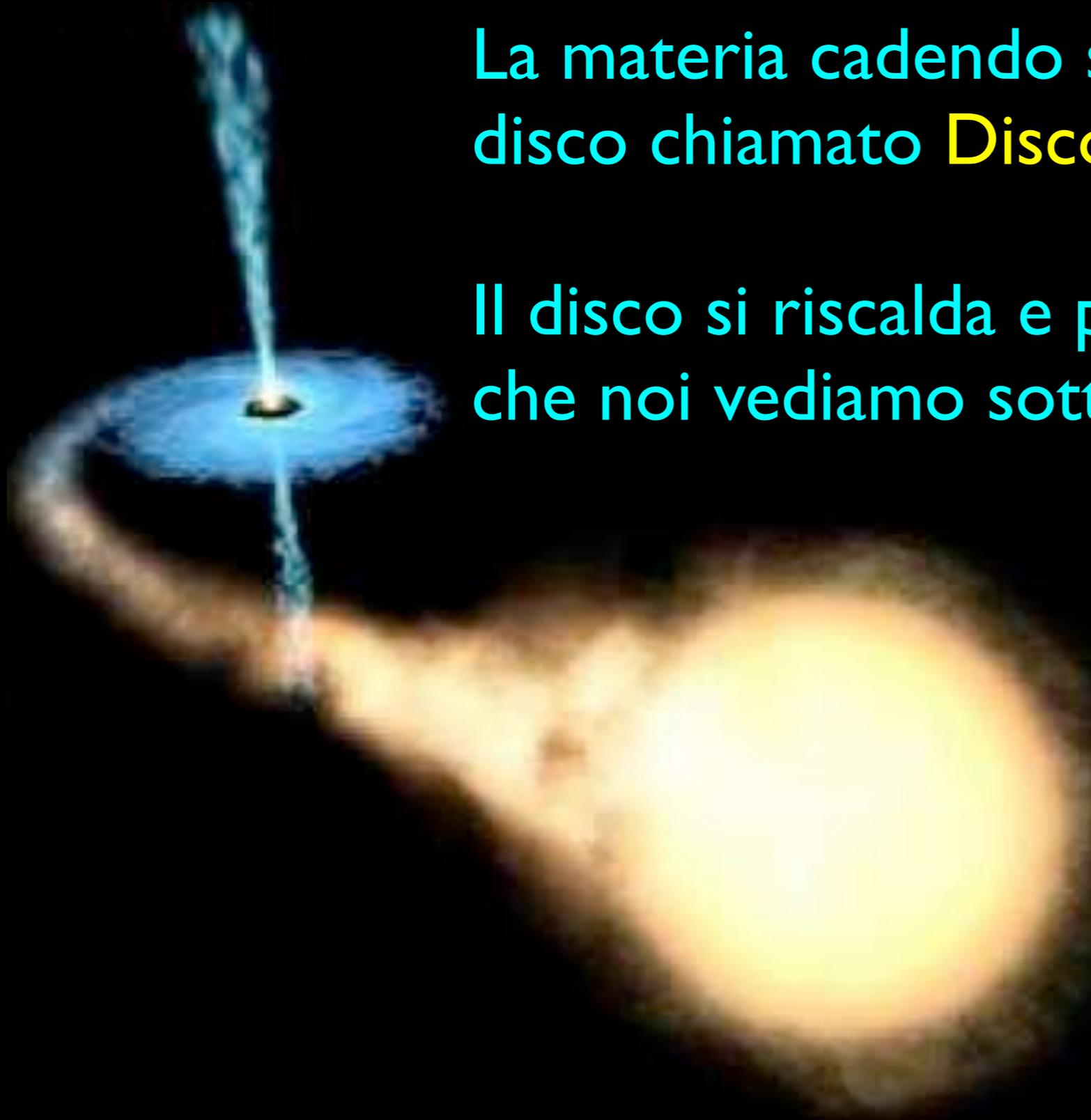


HERBY

Disco di accrescimento

La materia cadendo sul buco nero forma un disco chiamato **Disco di accrescimento**.

Il disco si riscalda e produce molta energia che noi vediamo sotto forma di **radiazione X**.



Viaggio al centro di un quasar

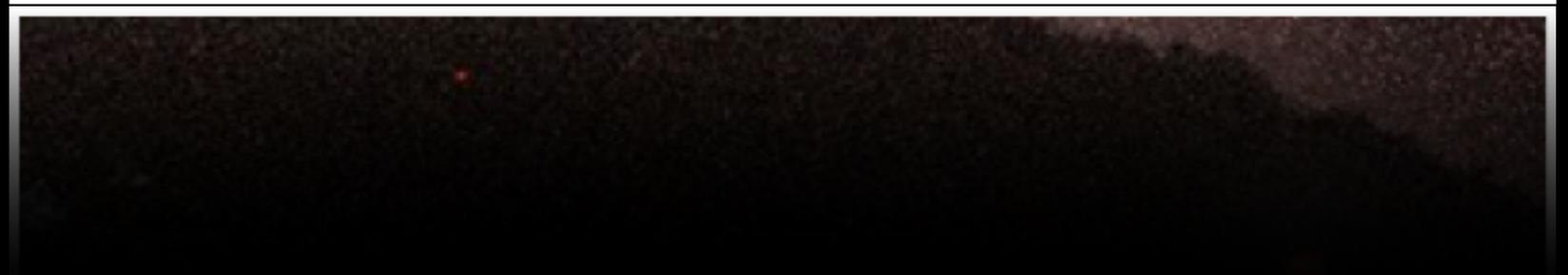
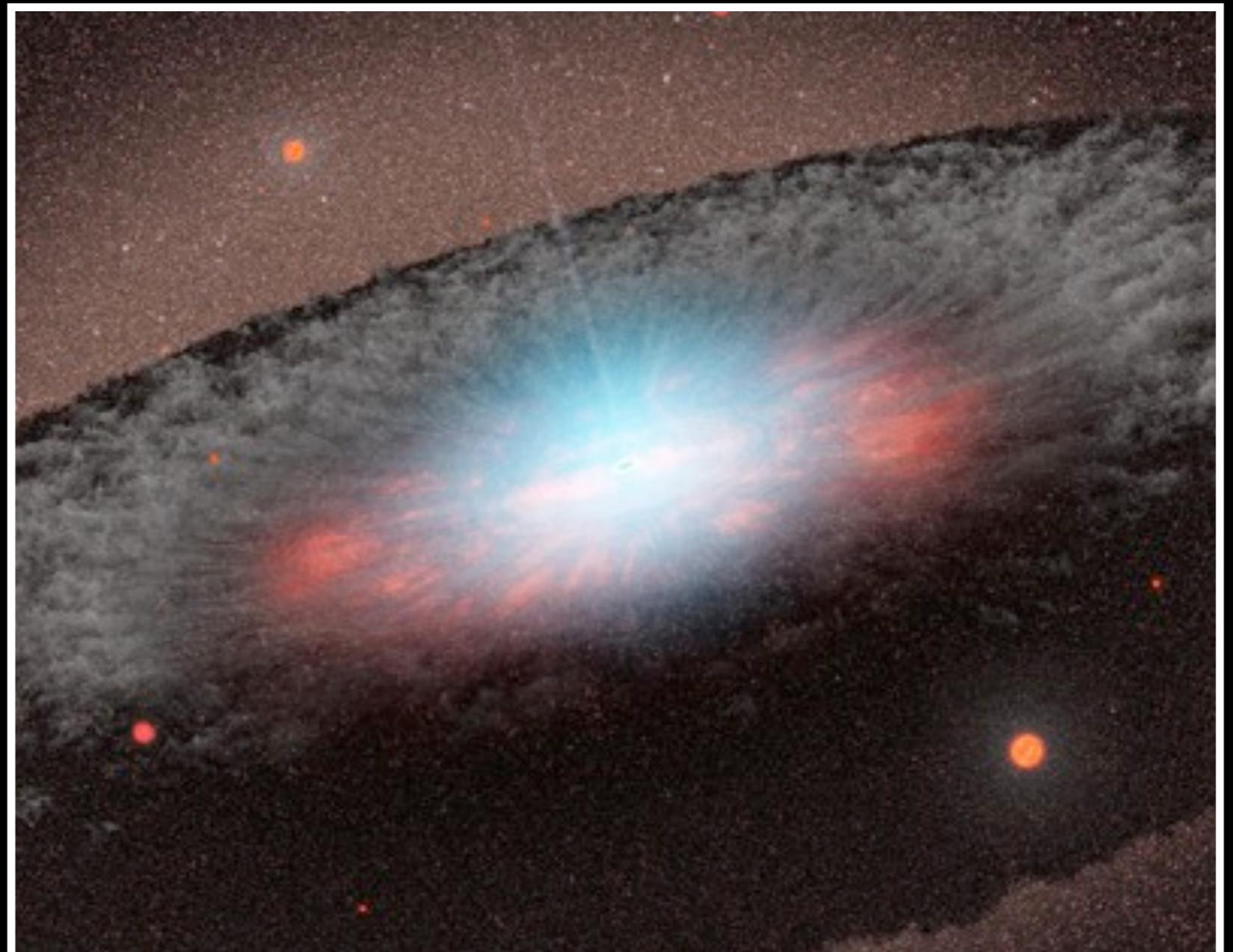
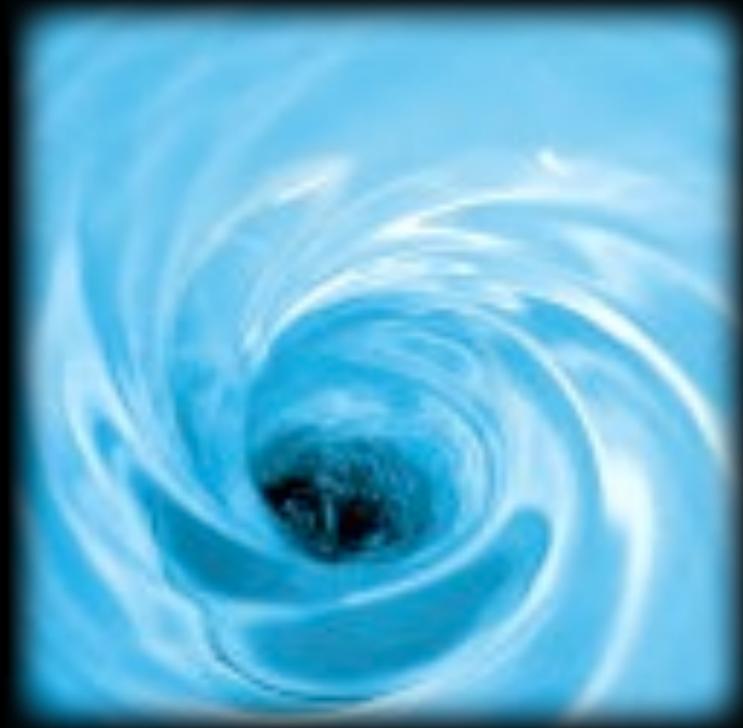
Guarda il video “Black hole animation” su:

[http://chandra.harvard.edu/resources/animations/
black_hole_sm.mov](http://chandra.harvard.edu/resources/animations/black_hole_sm.mov)

Cosa cade in un buco nero e come

gas, polvere, stelle...

I Sole all'anno
↓
I Sole a settimana



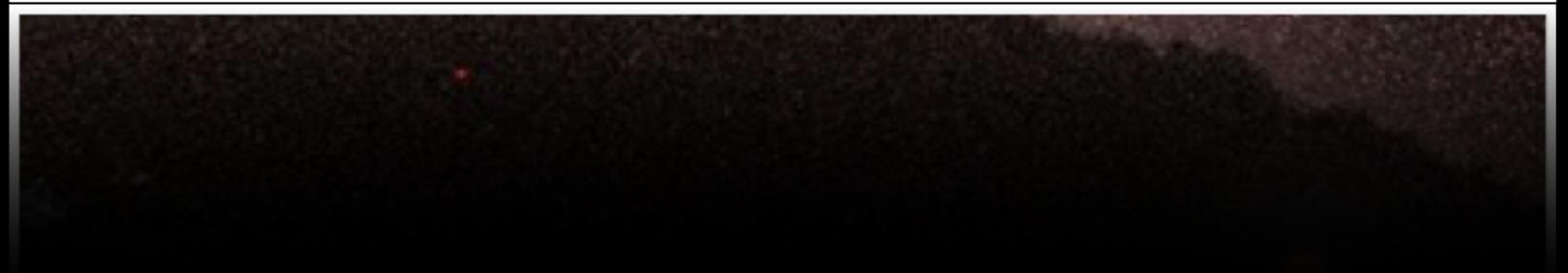
Cosa cade in un buco nero e come

gas, polvere, **stelle...**

I Sole all'anno



I Sole a settimana



Cosa esce da un buco nero

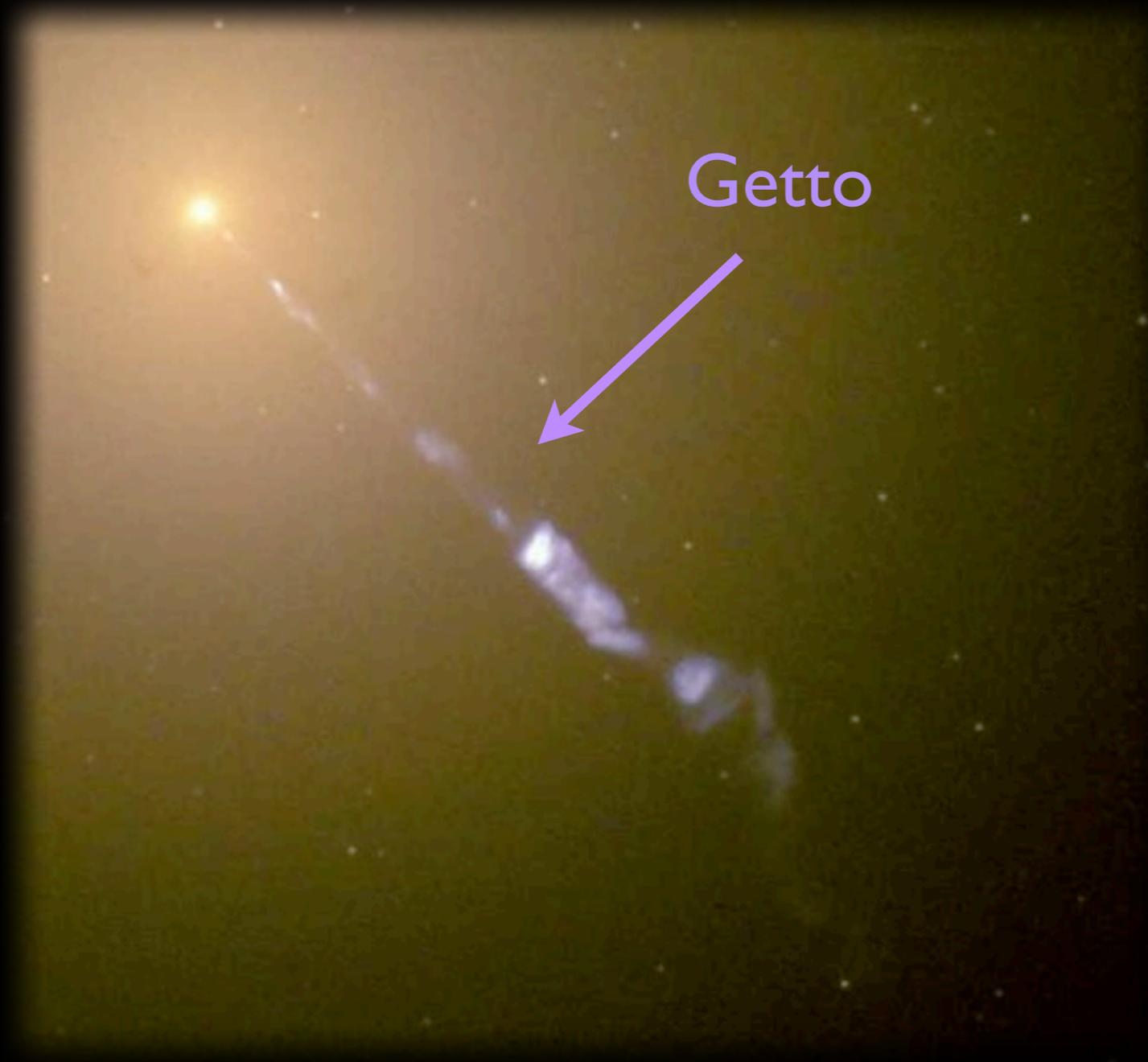
Raggi X dal
disco di gas



Vento



Cosa esce da un buco nero



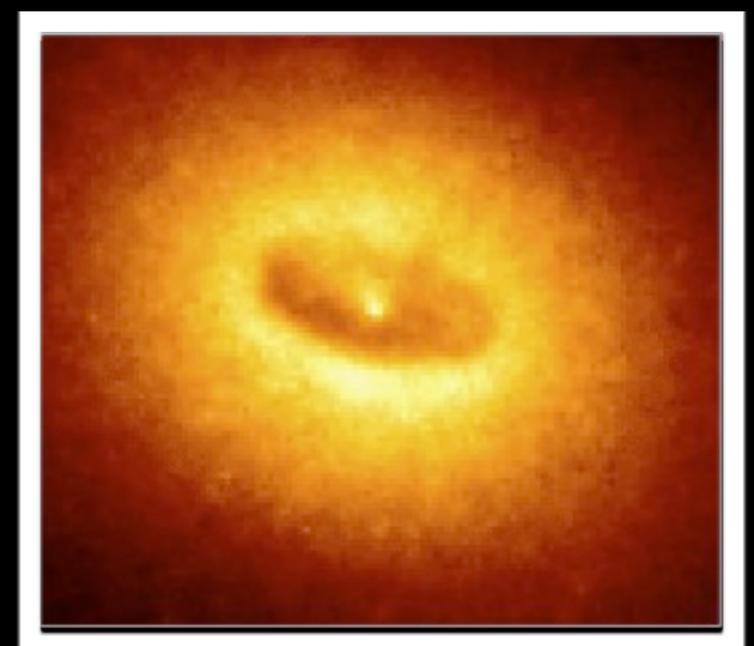
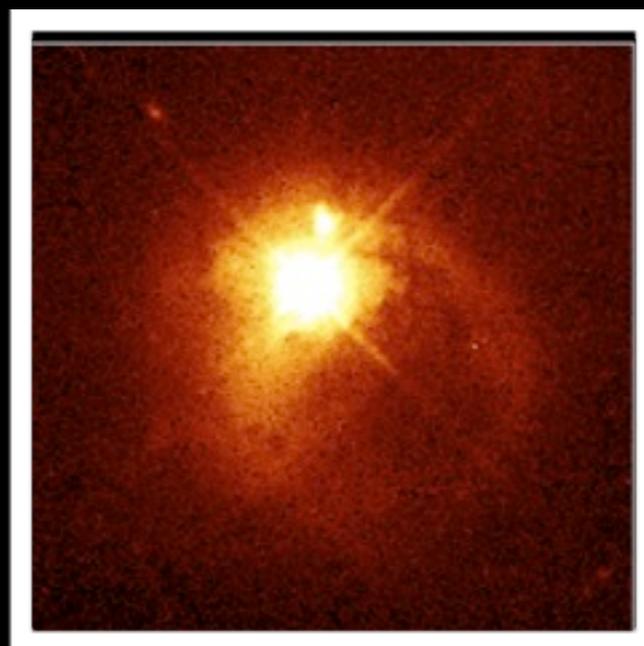
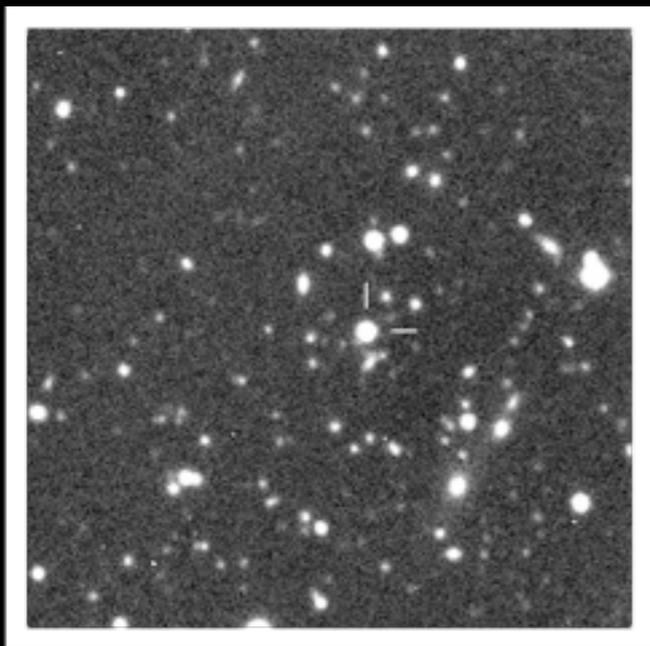
Eruzioni da un quasar

Guarda il video “Quasar Black Hole” su:

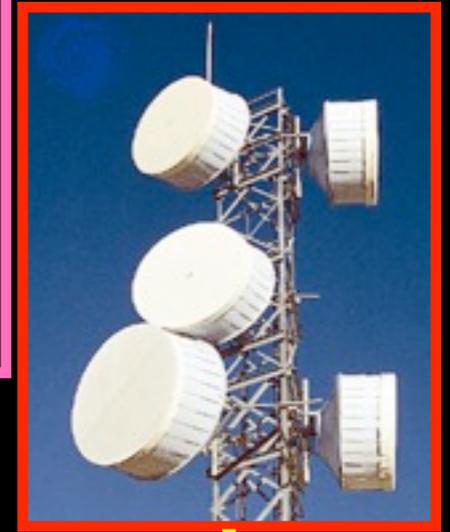
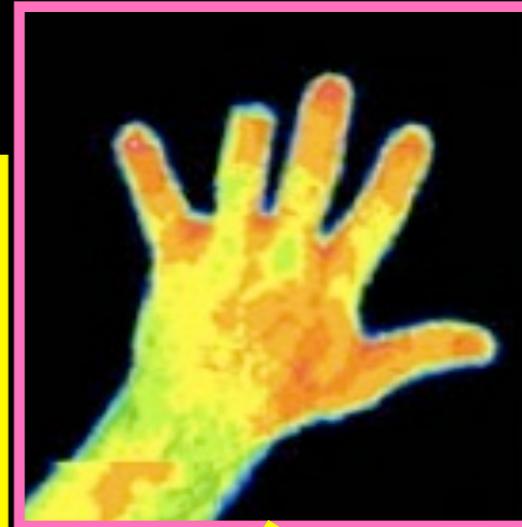
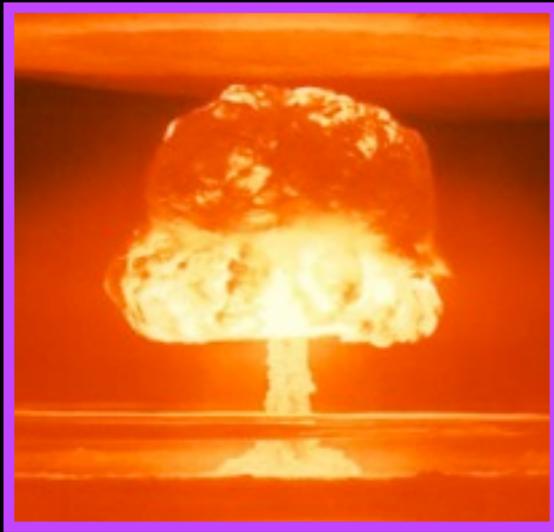
<http://www.youtube.com/user/memareaste#p/u/5/mnj-X0bn9BA>

Cosa sono i Quasars?

- Corpi celesti dall'apparenza stellare ma emettitori di onde radio
- Oggetti estremamente lontani
- Astri estremamente luminosi (100 – 1000 più brillanti della Via Lattea)
- La loro luce può variare in tempi molto brevi
- Possono avere strutture estese che si muovono con $v \sim c$
- Il nucleo contiene il buco nero ed occupa dimensioni molto piccole (\sim sistema solare)
- L'energia è prodotta da un BUCO NERO supermassiccio ($M_{\text{BN}} \sim 10^6 - 10^9 M_{\text{Sole}}$)
- La radiazione è prodotta da gas che cade nel BUCO NERO



Come si manifesta l'energia prodotta da un buco nero?



Gamma

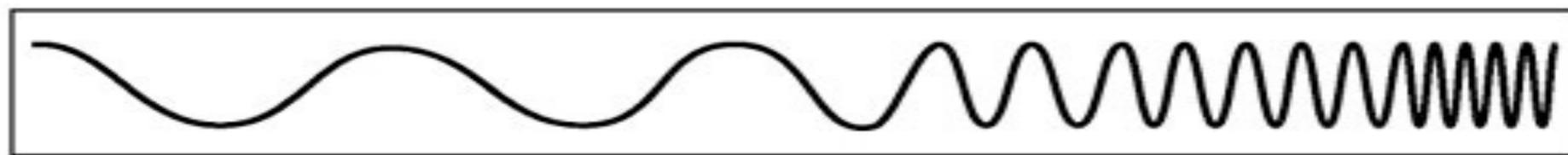
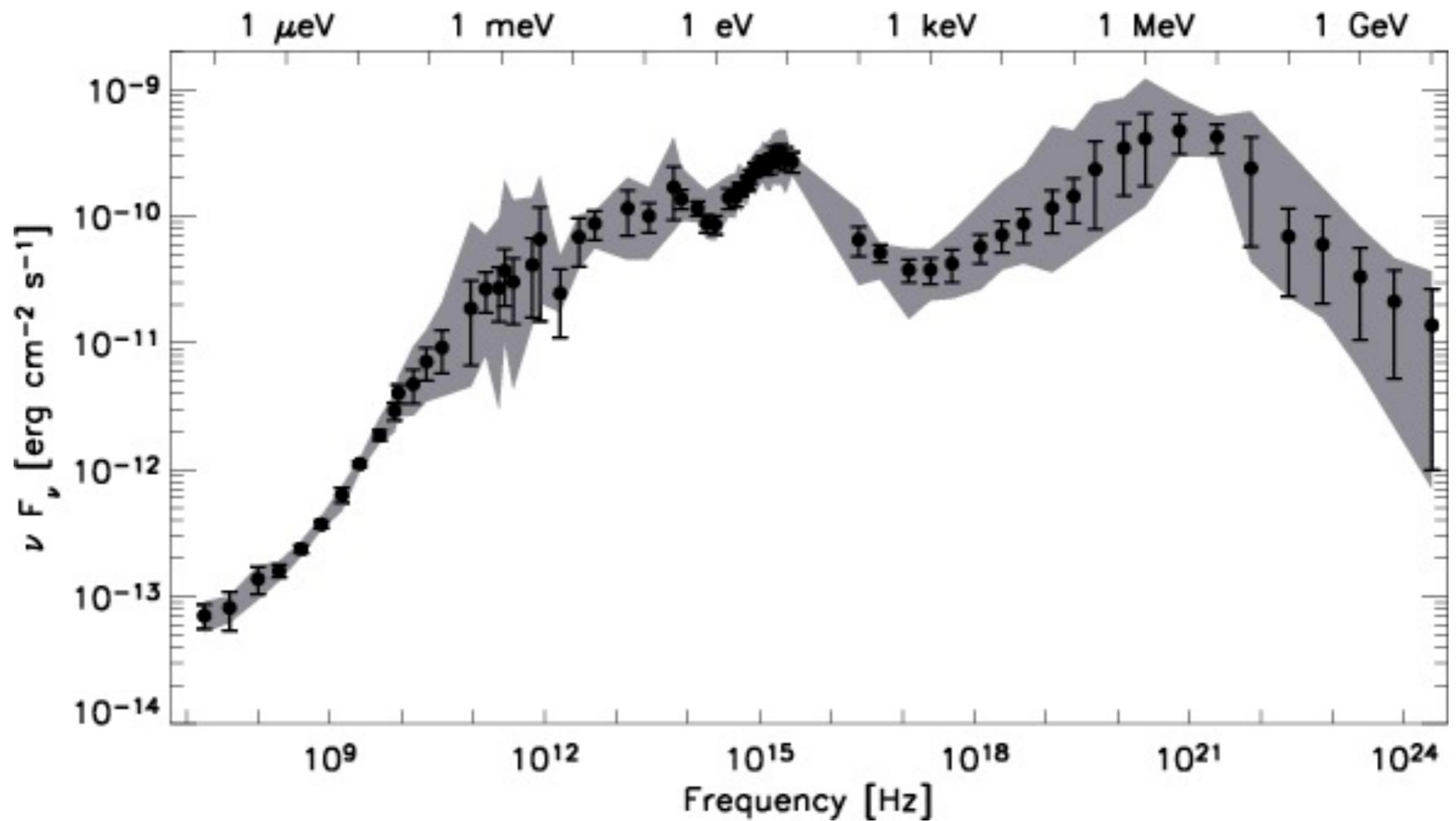
Raggi X

Ottico

Infrarosso

Radio

I Quasars emettono radiazione a tutte le lunghezze d'onda



Frequency
(Hz)



Radio

Infrarosso

Ottico

Raggi X

Gamma

Galassia Sombrero



Raggi X



Chandra X-ray

Ottico



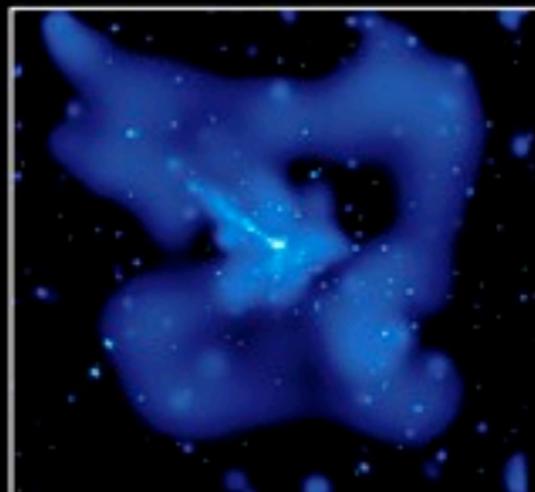
Hubble Optical

Infrarosso



Spitzer Infrared

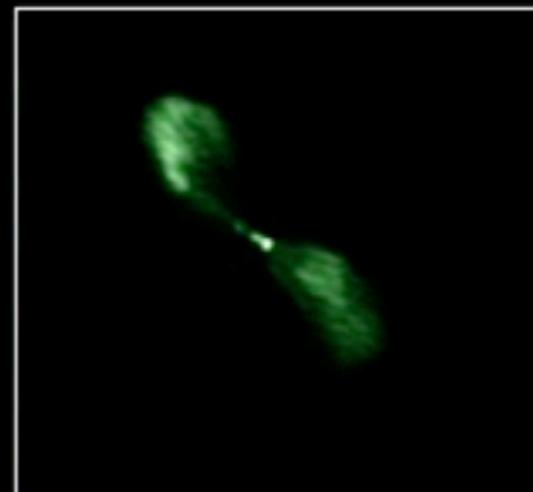
La Galassia
Centauro A



Raggi X



Ottico



Radio

Ma quanto sono estesi i getti ?

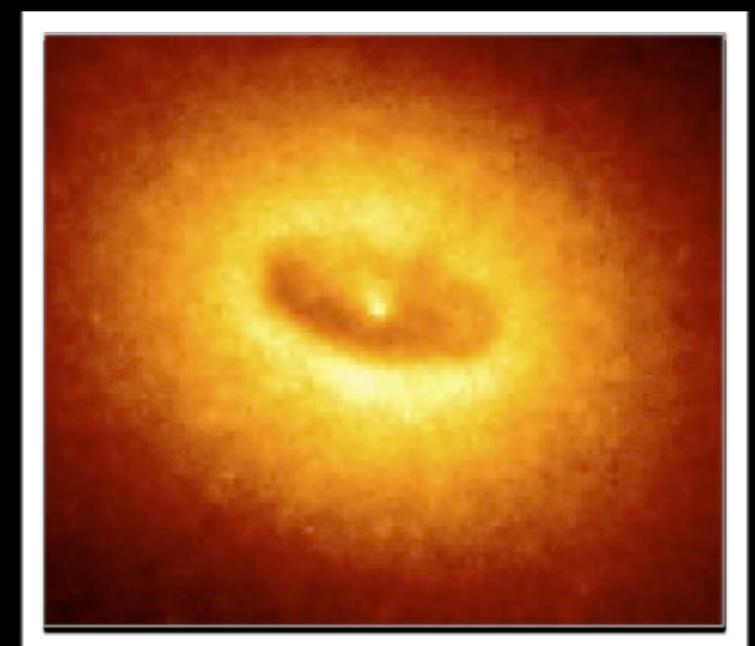
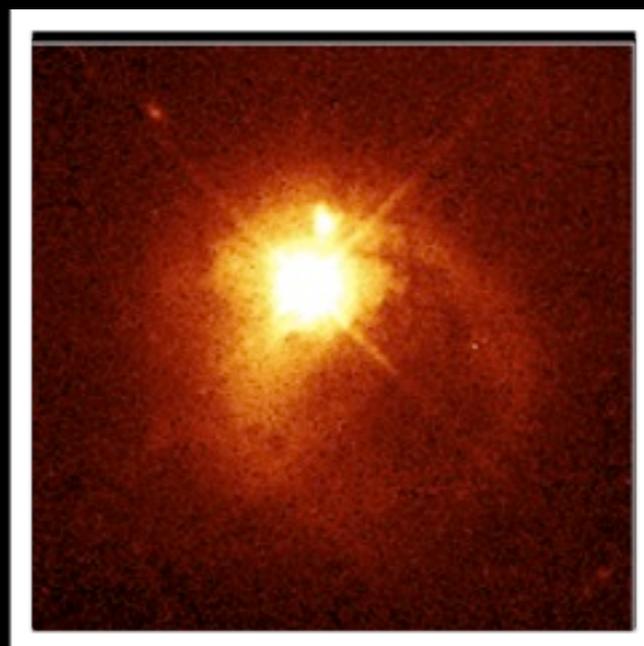
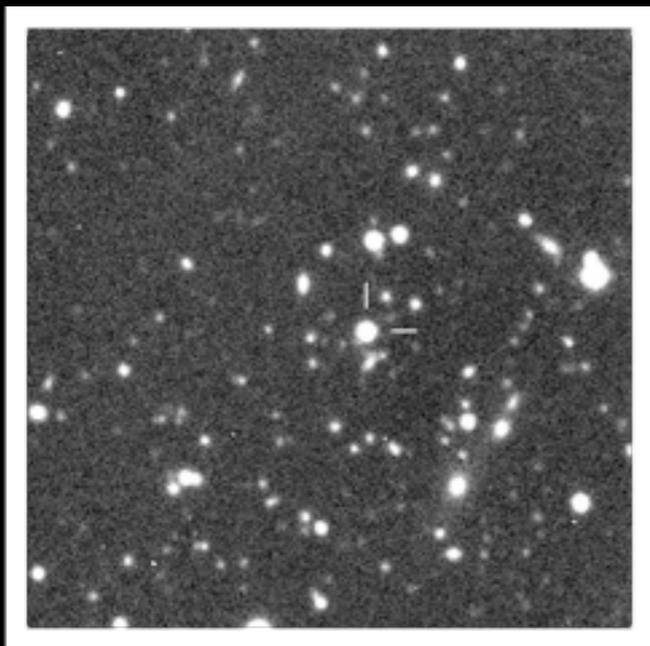
Immagine radio di
Centaurus A

Il getto si estende
per 1 milione di
anni luce !



Cosa sono i Quasars?

- Corpi celesti dall'apparenza stellare ma emettitori di onde radio
- Oggetti estremamente lontani
- Astri estremamente luminosi (100 – 1000 più brillanti della Via Lattea)
- La loro luce può variare in tempi molto brevi
- Possono avere strutture estese che si muovono con $v \sim c$
- L'energia è prodotta da un BUCO NERO supermassiccio ($M_{\text{BN}} \sim 10^6 - 9 M_{\text{Sole}}$)
- La radiazione è prodotta da gas che cade nel BUCO NERO
- Il nucleo contiene il buco nero ed occupa dimensioni molto piccole (\sim sist. sol.)
- Emettono radiazione a tutte le lunghezze d'onda (radio-X-Gamma)



I Quasars: le Parche delle galassie ?

L'energia prodotta dai quasars sembra possa dar inizio alla vita delle galassie, regolarne la crescita e determinarne la fine.

Questa energia può provocare la compressione del gas a partire del quale si formano le stelle o distruggerlo e così arrestare la loro formazione.



Nella mitologia Parca, Nona e Decima stabilivano il destino degli uomini. La prima filava il tessuto della vita, la seconda dispensava i destini e la terza tagliava il filo della vita.

Effetto di un quasar sull'ambiente circostante

Guarda il video “Collisione di due galassie”

<http://www.youtube.com/watch?v=DxYwdgHpbKM>

Effetto dei quasars su se stessi e sulle galassie

Lo scontro tra due galassie facilita la formazione di **stelle** e la crescita del **buco nero**.

Le enormi quantità di energia prodotte dal buco nero **spazzano via il gas** !

Il **buco nero** non può più crescere (e produrre energia) e le **stelle** non si possono più formare.

Rimane una galassia dove si formano più stelle !



I Quasars: sonde cosmologiche

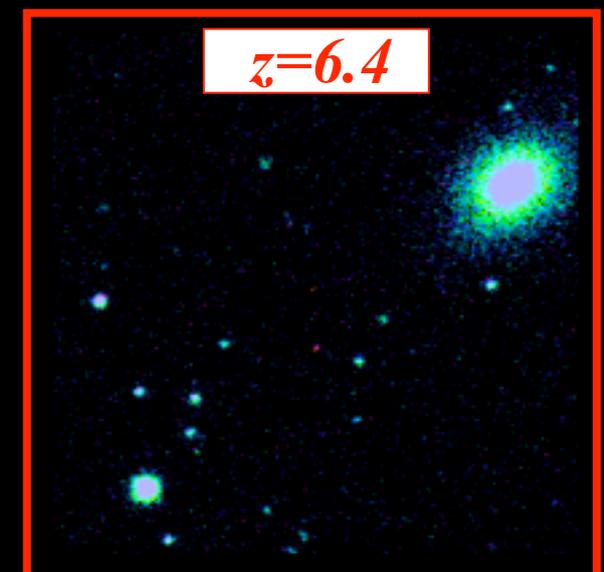
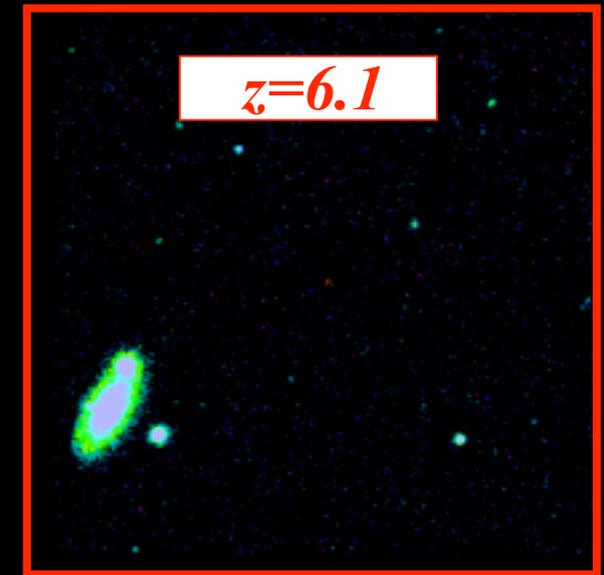
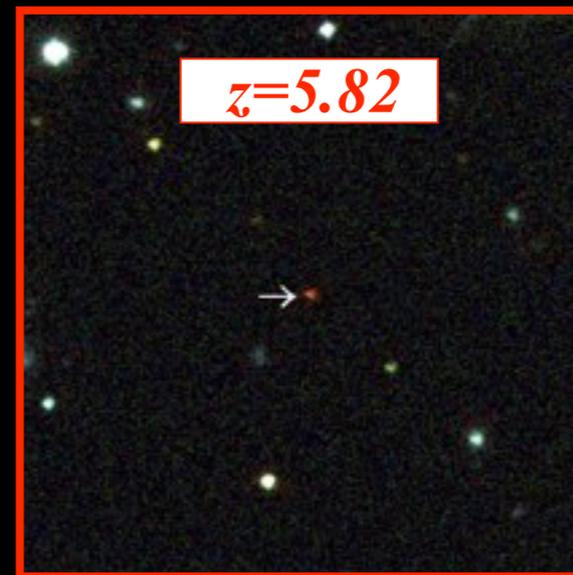
L'elevata luminosità ed apparenza puntiforme offrono la possibilità di usare i quasars come strumenti per sondare l'universo lontano.

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

$z \cong 6$



*Età dell'universo \cong
1 miliardo di anni*



Il lato oscuro dei Quasars

Risvolti non chiari e misteri irrisolti

- Come si **formano** questi buchi neri giganteschi ?
- Le **galassie** che ospitano i quasars sono anch'esse molto luminose e massicce, ma in alcuni casi sono quasi inesistenti
- I quasars contengono elementi, come certi **metalli**, che implicano una formazione molto intensa quando l'universo era molto giovane
- Perché non esistono quasars tra i nostri **vicini** ?

Una possibile soluzione: EVOLUZIONE

EVOLUZIONE vuol dire:

che nel passato accadevano fenomeni diversi

MA

Tante proprietà (X, righe spettrali) sono le stesse oggi come allora, quindi il motore, l'accrescimento non è cambiato.

Come fa una macchina ad andare più veloce con lo stesso motore ? Sarà il combustibile ? O la strada (l'ambiente) ?

La ricerca continua....

Ringraziamenti

Nasa Extragalactic Database

The Rubin Museum of Art (www.rmanyc.org) and the
American Museum of Natural History

Global Telescope Network, Sonoma State University

Washed-out Astronomy (washedoutastronomy.com)

[http://hubblesite.org/explore_astronomy/black_holes/
encyclopedia.html](http://hubblesite.org/explore_astronomy/black_holes/encyclopedia.html)