

Daniele Cini, Marco Coppola, Caterina Derossi e Elena Sofia Lappon

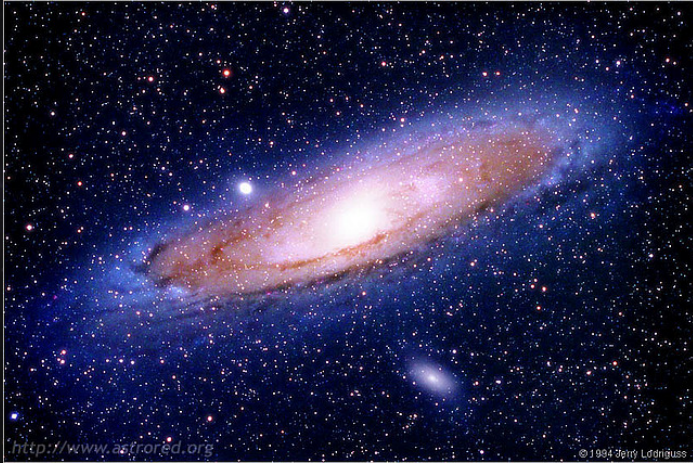
CINEMATICA DELLE STELLE IN NGC7331

**Dispersione di velocità
e
massa del bulge**

Il cielo come laboratorio as. 2011/2012

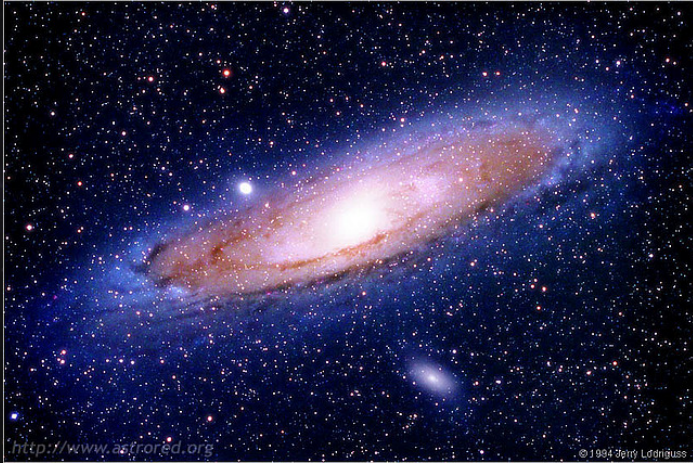
Classificazione morfologica di Hubble

Galassie ellittiche



Classificazione morfologica di Hubble

Galassie ellittiche

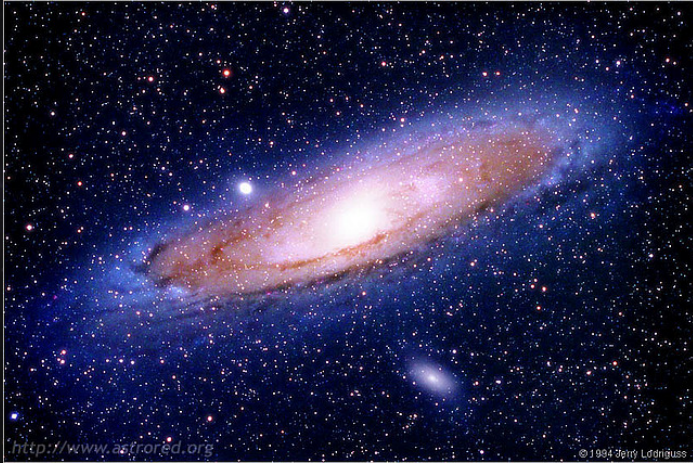


Galassie lenticolari



Classificazione morfologica di Hubble

Galassie ellittiche



Galassie a spirale

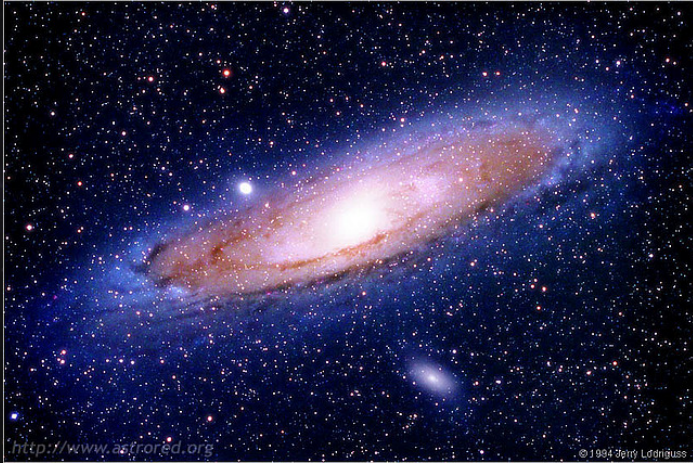


Galassie lenticolari



Classificazione morfologica di Hubble

Galassie ellittiche



Galassie a spirale



Galassie lenticolari



Galassie irregolari



Galassie a spirale

★ Contengono dalle 10^9 alle 10^{11} stelle



Galassie a spirale

- ★ Contengono dalle 10^9 alle 10^{11} stelle
- ★ Diametro compreso tra i 10^3 e i 10^5 pc

Galassie a spirale

- ★ Contengono dalle 10^9 alle 10^{11} stelle
- ★ Diametro compreso tra i 10^3 e i 10^5 pc
- ★ Tipi spettrali più diffusi nel bulge: G, K e M

Galassie a spirale

- ★ Contengono dalle 10^9 alle 10^{11} stelle
- ★ Diametro compreso tra i 10^3 e i 10^5 pc
- ★ Tipi spettrali più diffusi nel bulge: G, K e M
- ★ Bracci: formazione stellare

Galassie a spirale

- ★ Contengono dalle 10^9 alle 10^{11} stelle
- ★ Diametro compreso tra i 10^3 e i 10^5 pc
- ★ Tipi spettrali più diffusi nel bulge: G, K e M
- ★ Bracci: formazione stellare
- ★ Bulge: stelle di popolazione II

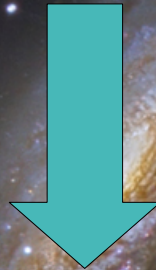
Cinematica delle stelle nelle galassie ellittiche

**Le stelle si muovono di moto disordinato
attorno al centro di massa...**



Cinematica delle stelle nelle galassie ellittiche

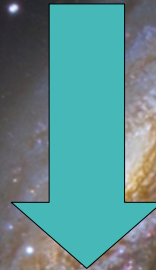
**Le stelle si muovono di moto disordinato
attorno al centro di massa...**



... le righe spettrali subiscono un allargamento

Cinematica delle stelle nelle galassie ellittiche

**Le stelle si muovono di moto disordinato
attorno al centro di massa...**



... le righe spettrali subiscono un allargamento



Si studia l'allargamento delle righe spettrali

Maggiore massa



**Maggiore potenziale
gravitazionale**



**Maggiore dispersione
di velocità**

Maggiore massa



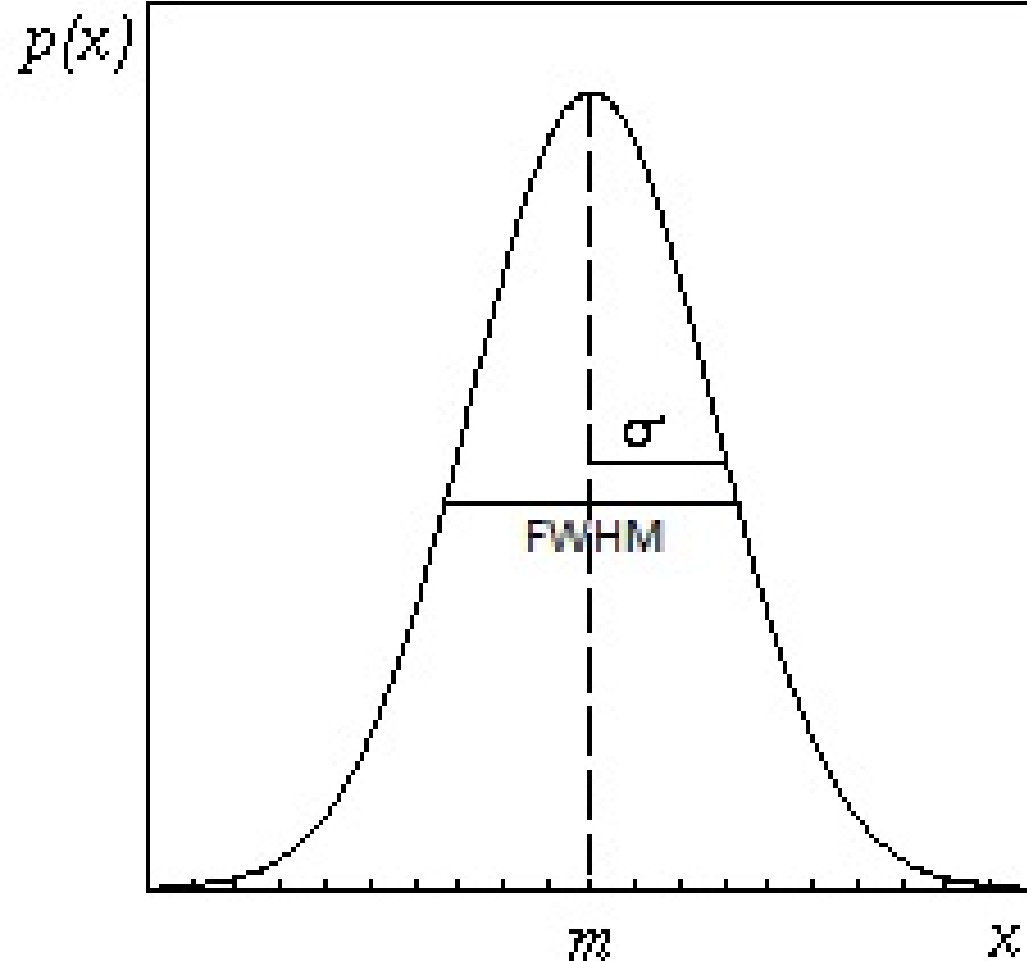
**Maggiore potenziale
gravitazionale**



**Maggiore dispersione
di velocità**

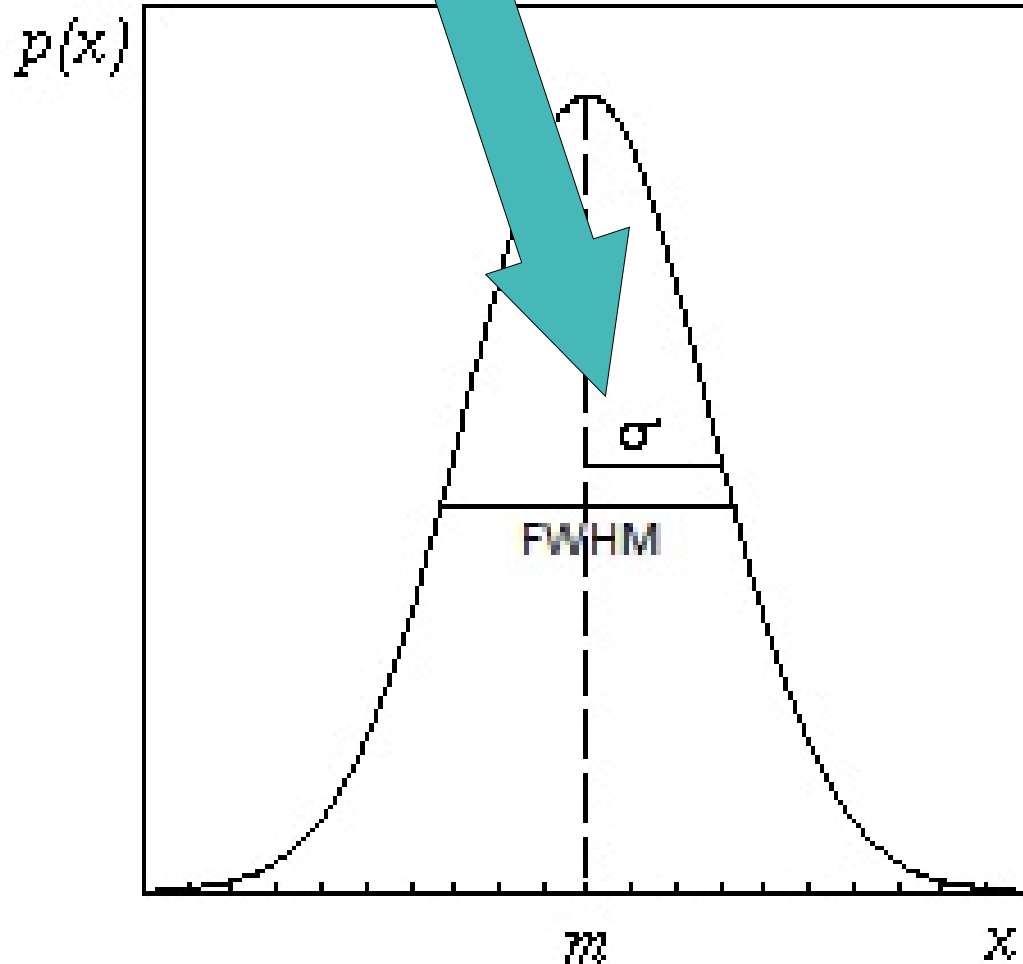
★ **La distribuzione della componente delle velocità
risulta descritta da leggi probabilistiche**

Gaussian function - example



Dispersion di velocità

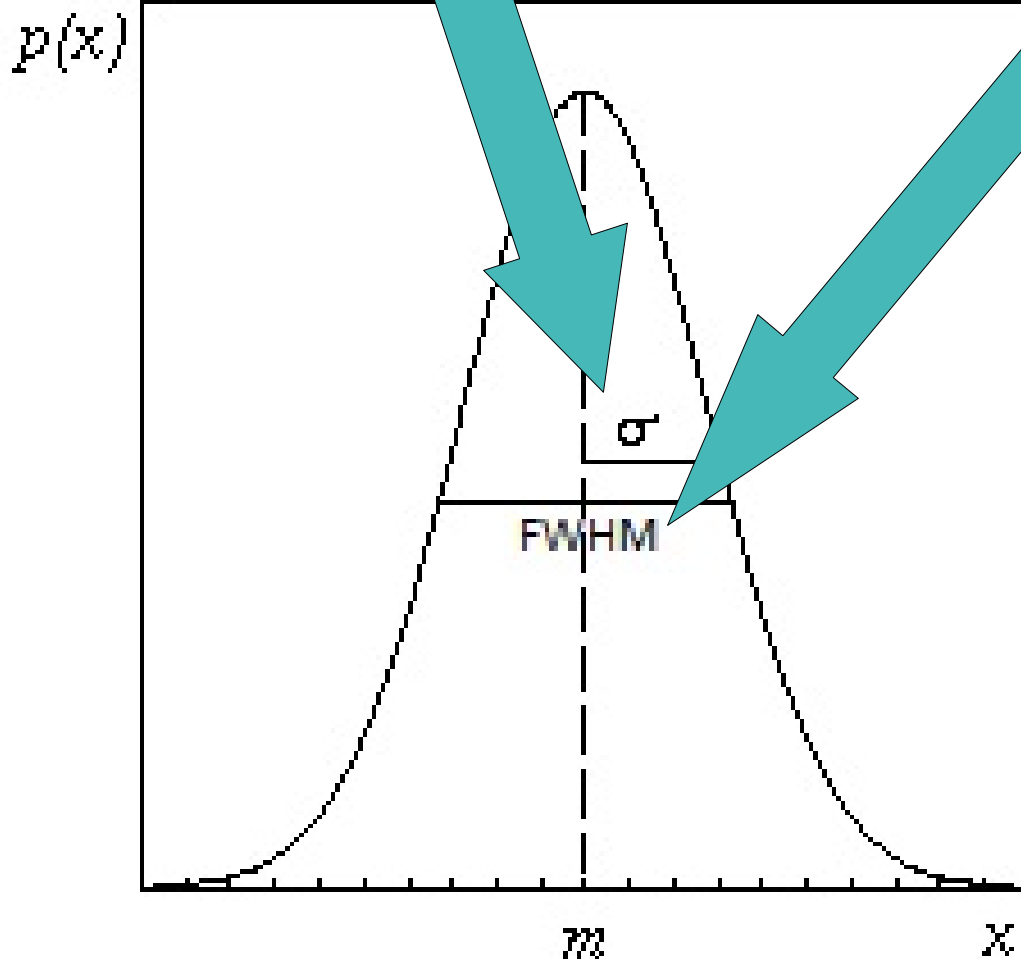
Gaussian function - example



Dispersione di velocità

Full Width at Half Maximum

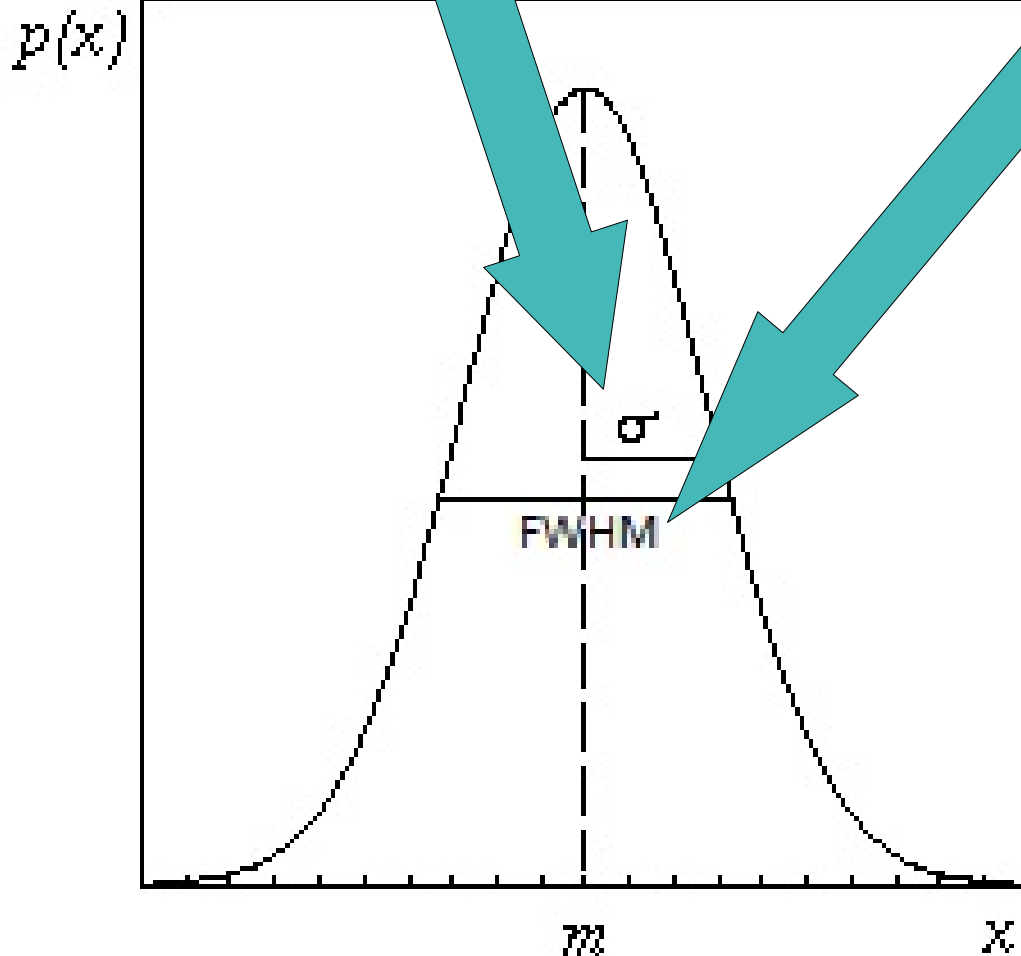
Gaussian function - example



Dispersione di velocità

Full Width at Half Maximum

Gaussian function - example



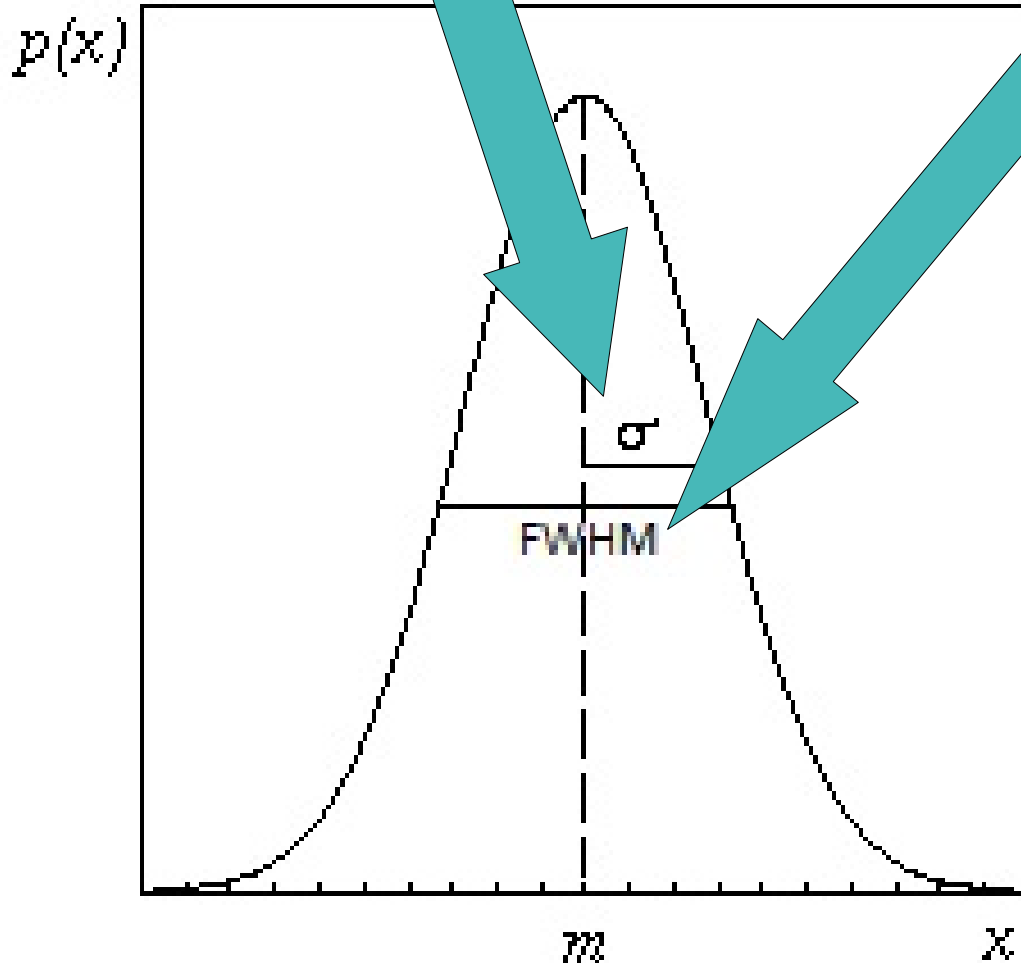
**Maggiore allargamento
della riga**

Maggiore sigma

Dispersion di velocità

Full Width at Half Maximum

Gaussian function - example

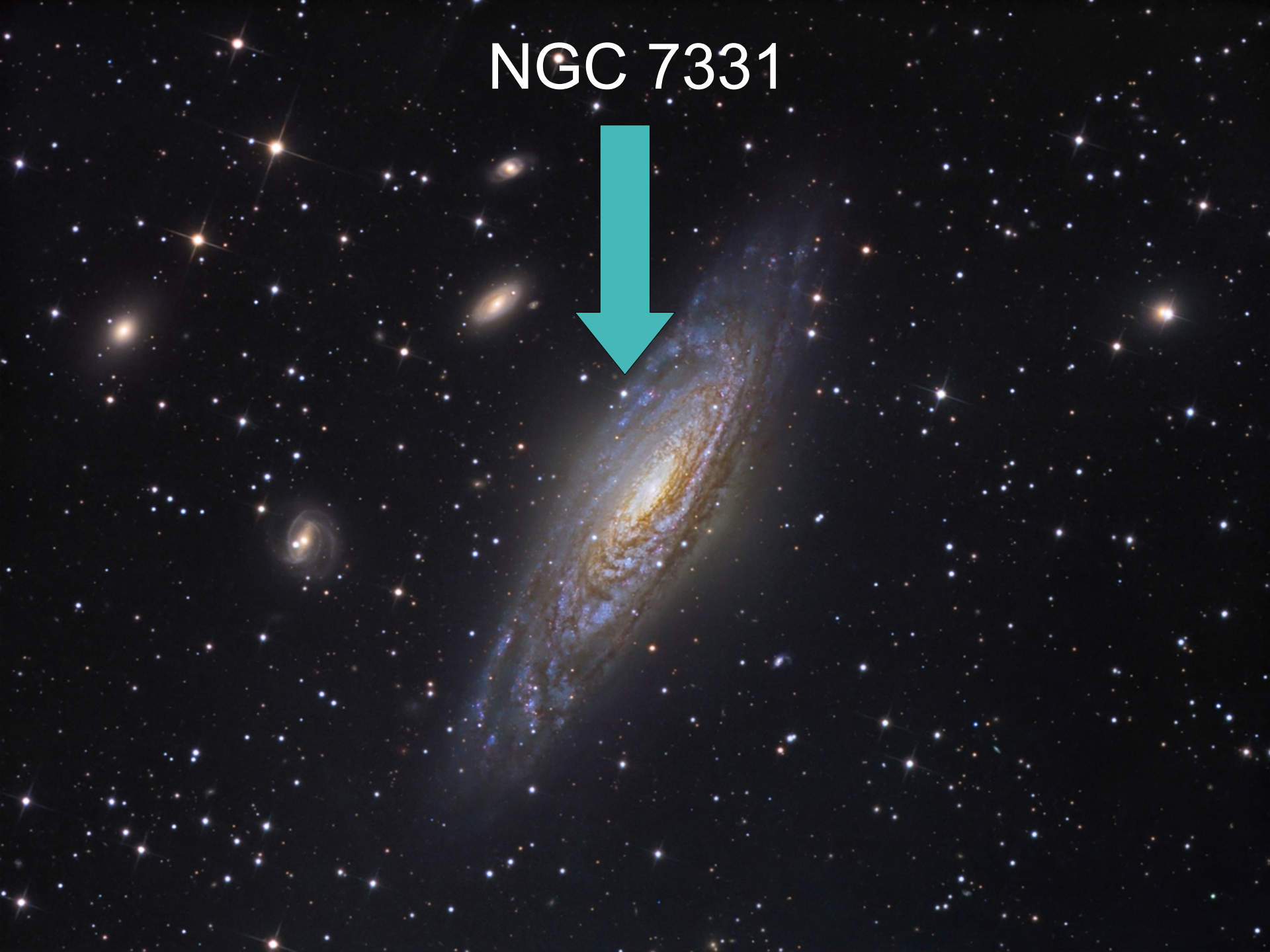


Maggiore allargamento
della riga

Maggiore sigma

$$FWHM = 2.35 \times \sigma$$

NGC 7331



NGC 7331



Galassia a spirale

Distanza: 12.2 Mpc

Massa: 10^{41} kg

**Costellazione di
Pegaso**

RA: 22h 37m 4.1 s

DEC: 34° 24' 56"

Dimensione angolare: 10.5'x3.7'

PROCEDIMENTO

- ★ Preparazione degli spettri
- ★ Convoluzione dello spettro stellare con gaussiane di σ crescente
- ★ Suddivisione dello spettro in più regioni
- ★ Correlazione dello spettro stellare originale con quelli convoluti (IRAF, blkavg)
- ★ Misura della FWHM del picco di correlazione (IRAF, fxcor)
- ★ Individuazione del polinomio (Excel)
- ★ Correlazione dello spettro galattico con quello stellare (Excel)
- ★ Calcolo della dispersione di velocità
- ★ Calcolo della massa della galassia

Ottenimento dello spettro

**Si posiziona uno
spettrografo a
fenditura lungo
l'asse maggiore...**

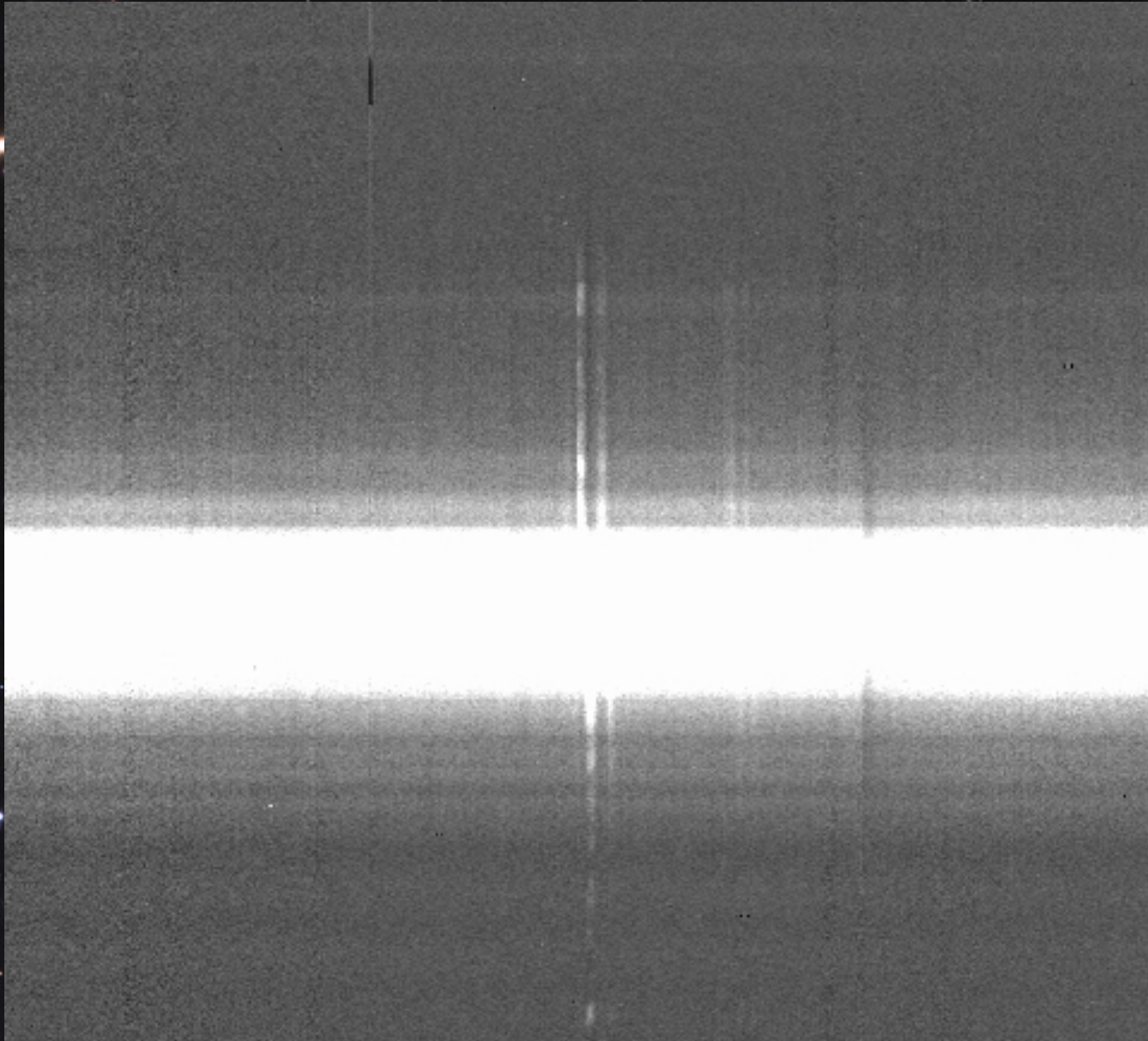


Ottenimento dello spettro

Si posiziona uno spettrografo a fenditura lungo l'asse maggiore...



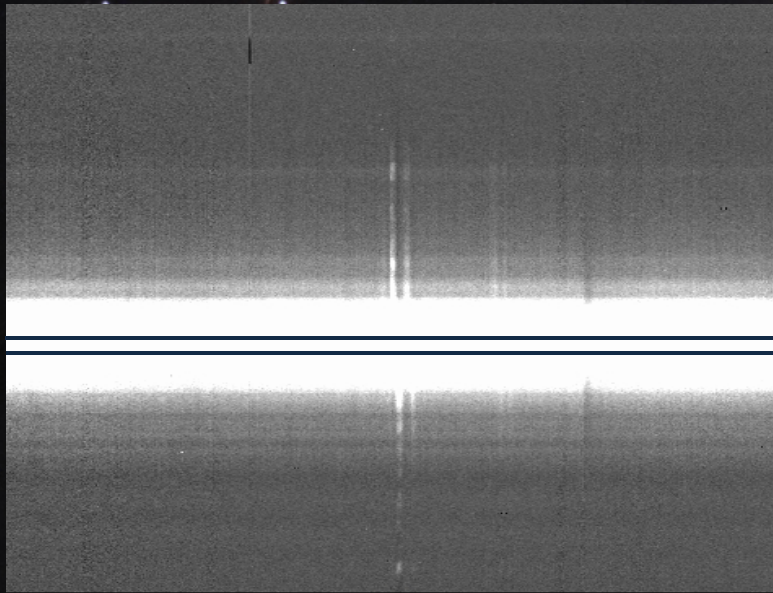
...e si ottiene uno spettro a fenditura



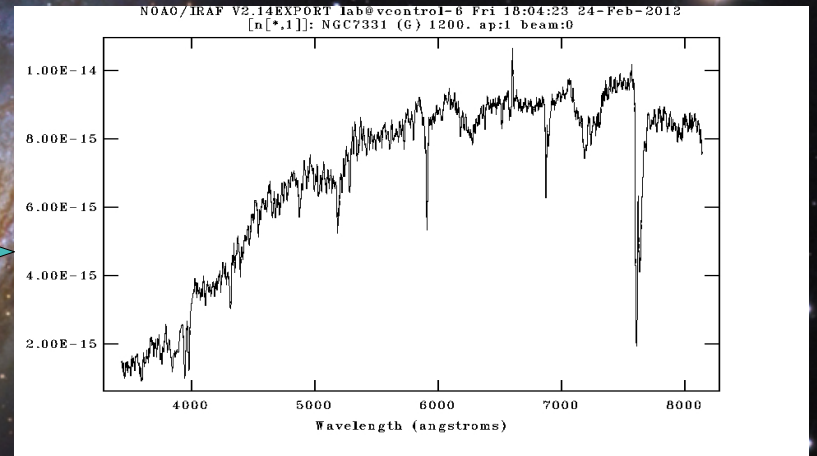
Suddivisione dello spettro in regioni

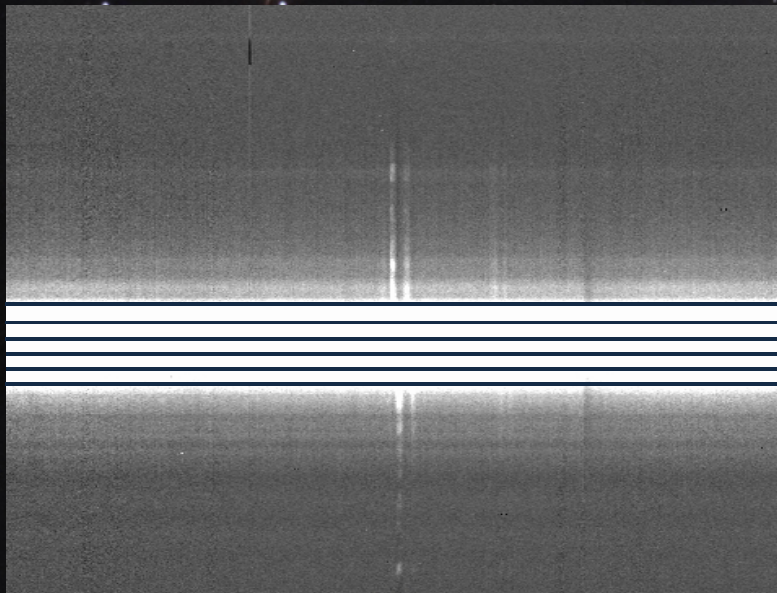
**Si incomincia dal centro della galassia
spostandosi verso l'esterno**



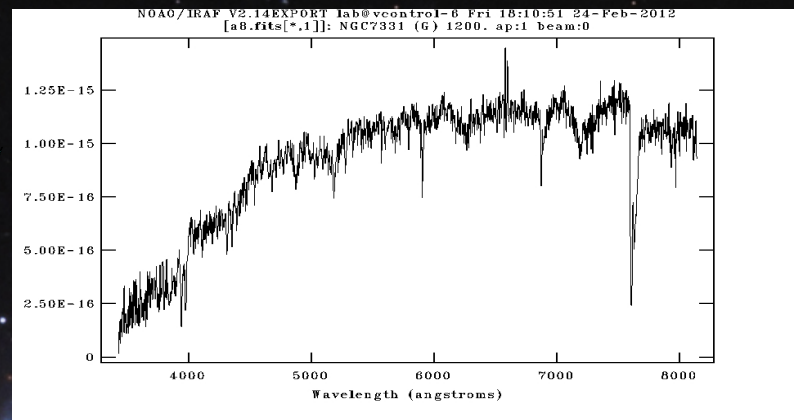


n

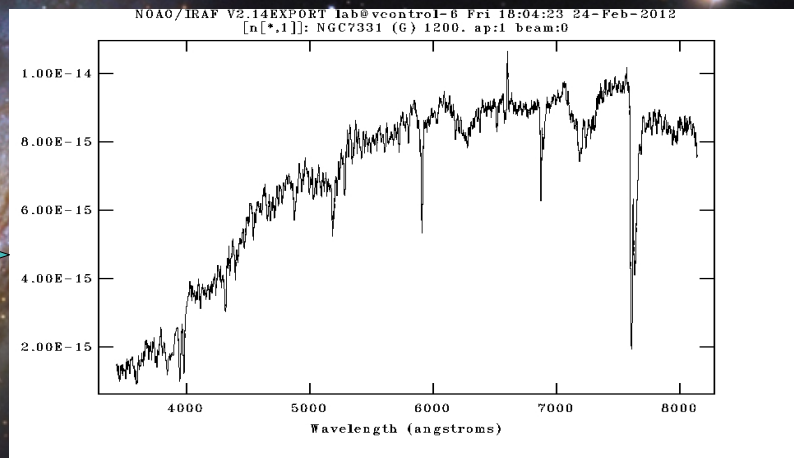




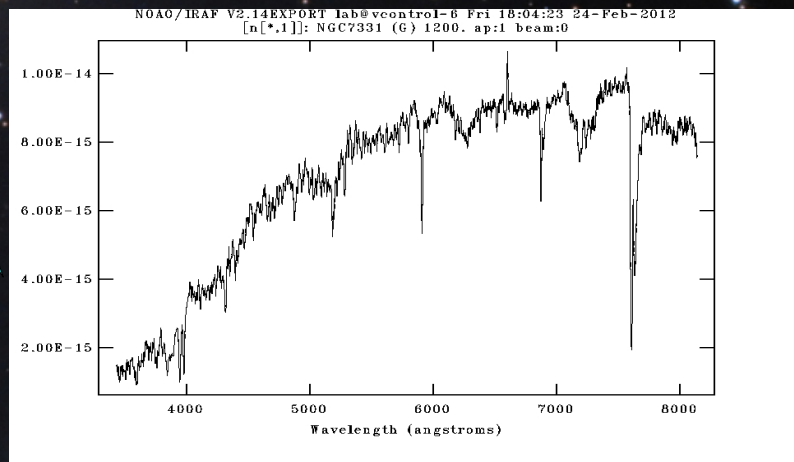
a8



n



b8



Suddivisione dello spettro in regioni

**Si incomincia dal centro della galassia
spostandosi verso l'esterno**



**Dimensione singola regione:
3 arcsec**

Suddivisione dello spettro in regioni

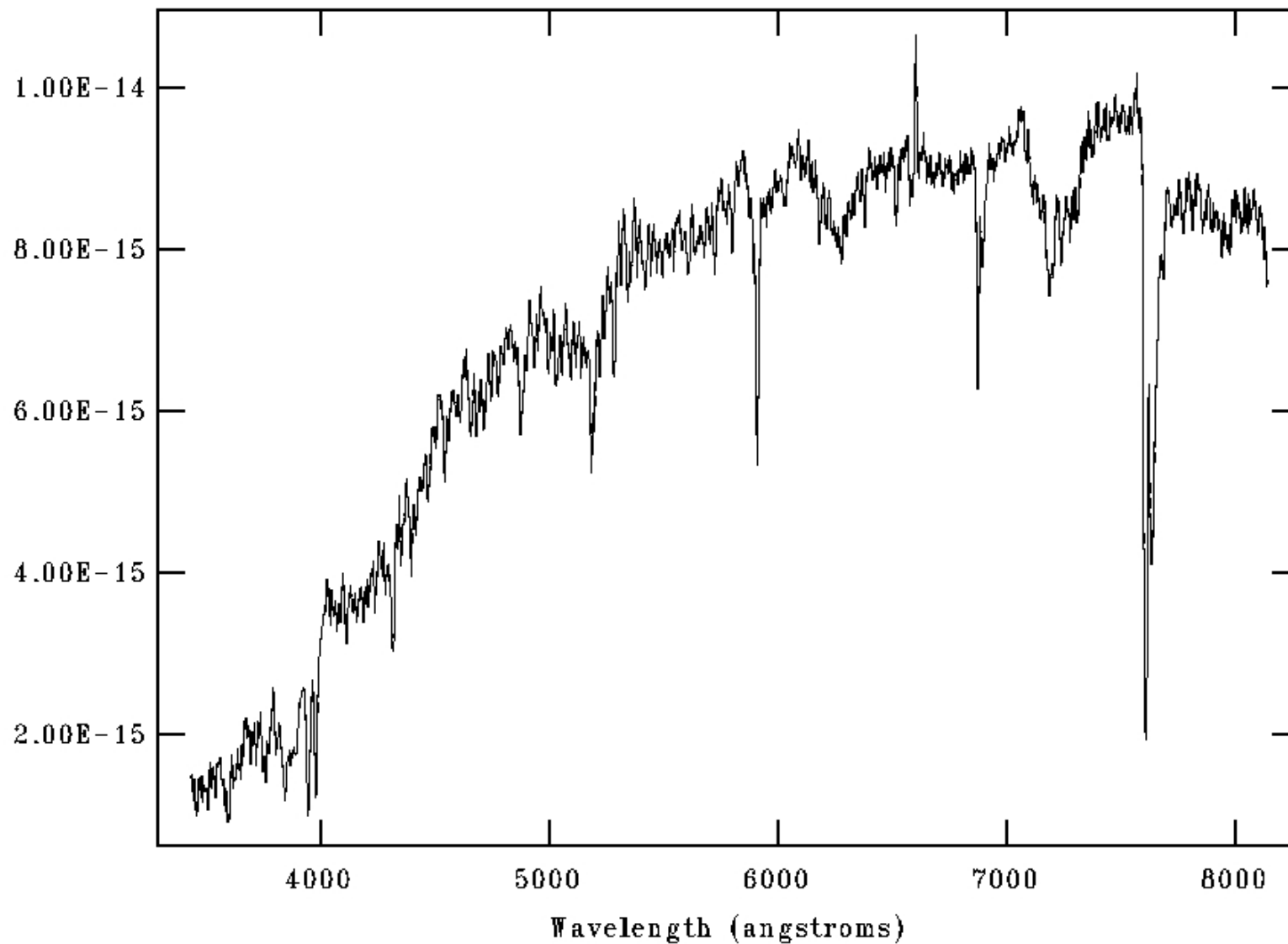
**Si incomincia dal centro della galassia
spostandosi verso l'esterno**



**Dimensione singola regione:
3 arcsec**



Si ottengono 29 spettri



Spettro della zona centrale della galassia

**Ma non è possibile allontanarsi
troppo dal centro**



**Ma non è possibile allontanarsi
troppo dal centro**



perchè

**Il rapporto segnale/rumore è
troppo piccolo**

**Ma non è possibile allontanarsi
troppo dal centro**



perchè

**Il rapporto segnale/rumore è
troppo piccolo**

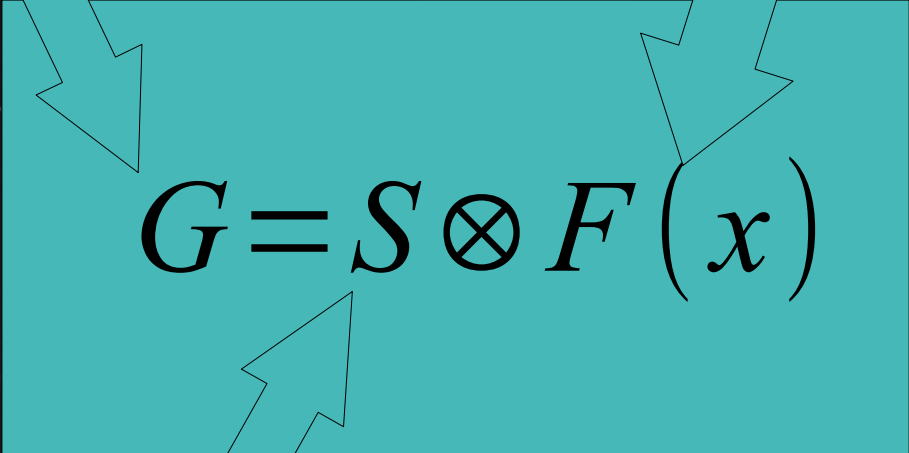


quindi

**I valori ottenuti perdono
di significato**

Spettro galassia

**Funzione
gaussiana**



The diagram features a central teal rectangle containing the equation $G = S \otimes F(x)$. Three teal arrows point towards this rectangle: one from the top-left labeled 'Spettro galassia', one from the top-right labeled 'Funzione gaussiana', and one from the bottom labeled 'Spettro stelle'. The background is a deep space image with stars and galaxies.

$$G = S \otimes F(x)$$

Spettro stelle

Si crea un modello fittizio con sigma prestabilito...



Si crea un modello fittizio con sigma prestabilito...



**... per individuare una funzione
polinomiale che descriva
la relazione tra sigma e FWHM**

Si crea un modello fittizio con sigma prestabilito...



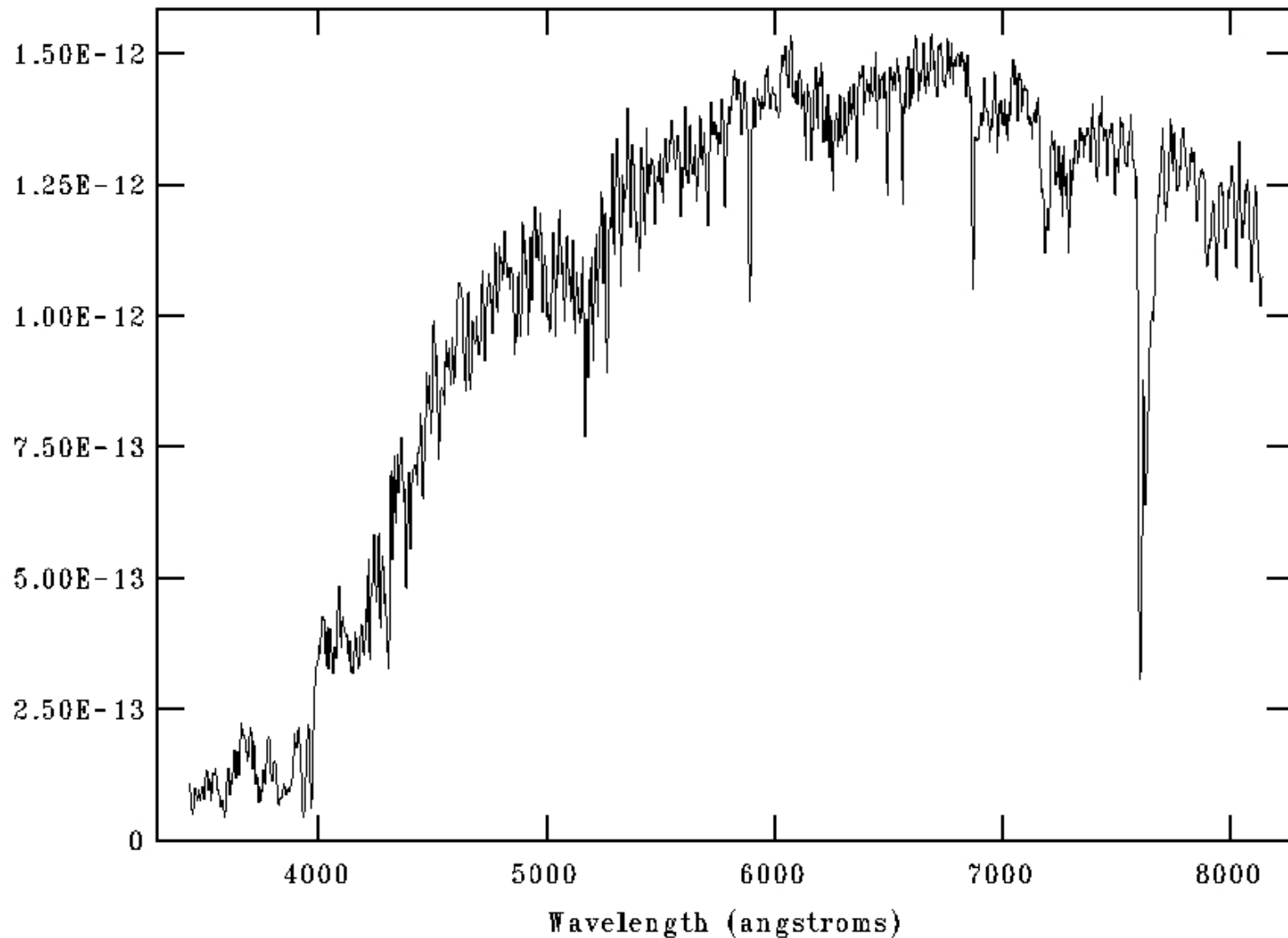
... per individuare una funzione polinomiale che descriva la relazione tra sigma e FWHM



A questo scopo si utilizzano spettri di stelle K5 convoluti con gaussiane di sigma definito

Sigma (σ)
50
100
150
200
250
300
350
400

NOAO/IRAF V2.14EXPORT lab@vcontrol-6 Fri 18:43:20 24-Feb-2012
[star_K5.fits[*,1,1]]: SA049289 (K5) 60. ap:1 beam:1



Spettro di una stella K5

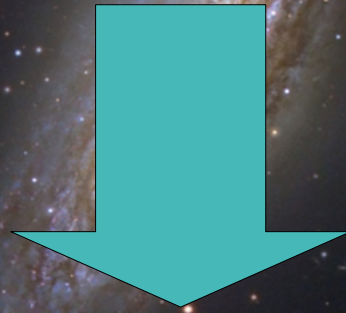
Analisi del picco di correlazione

**La posizione del picco dà
la velocità radiale**



Analisi del picco di correlazione

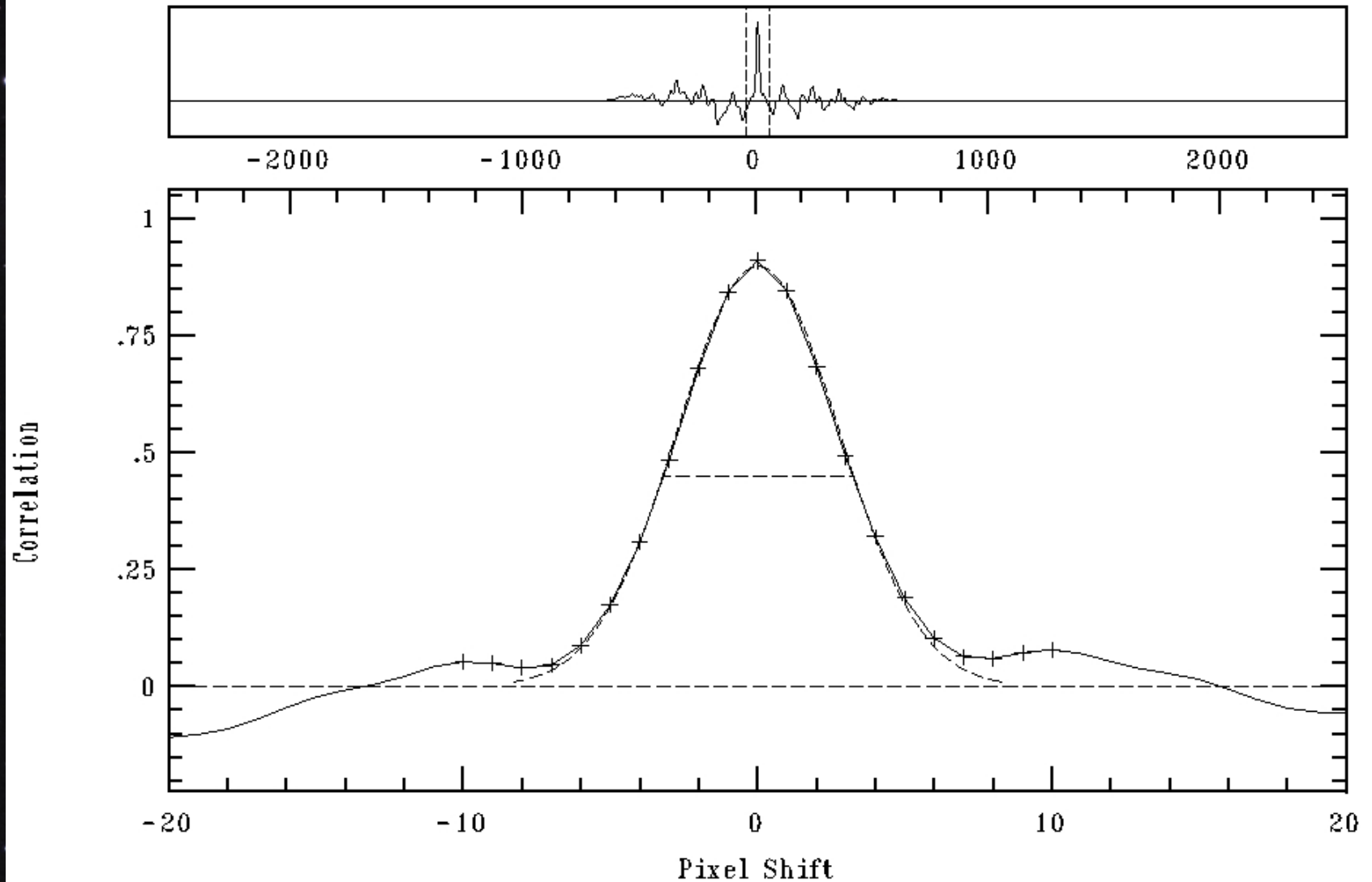
**La posizione del picco dà
la velocità radiale**



**La larghezza a metà altezza è legata
alla dispersione di velocità**

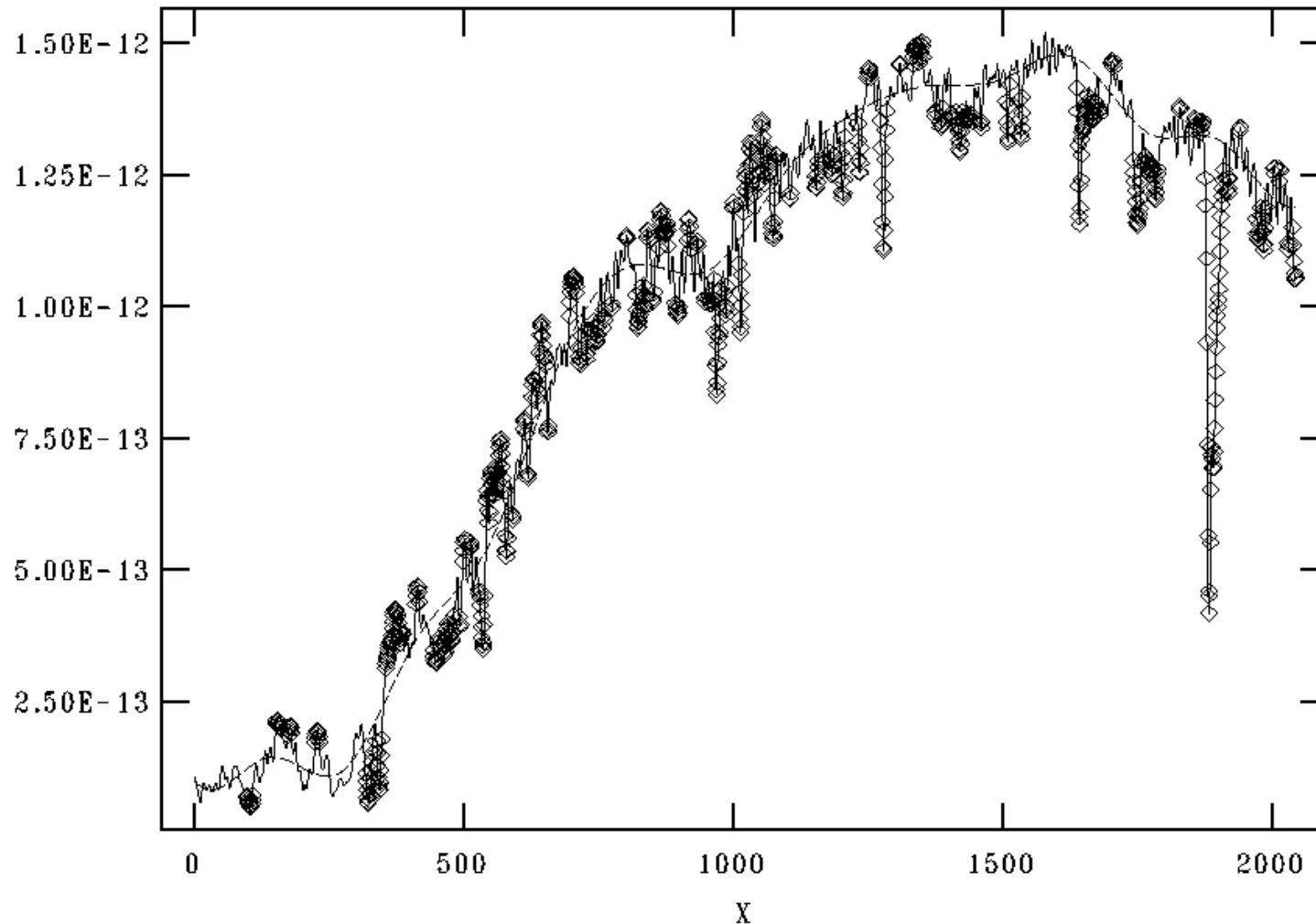
Funzione di cross-correlazione e picco di correlazione

Object='sig150' Temp='star_K5' npts=2048 aperture=1
Star = '' Template = 'SA049289_(K5)'

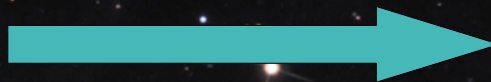


Appiattimento degli spettri con funzione polinomiale

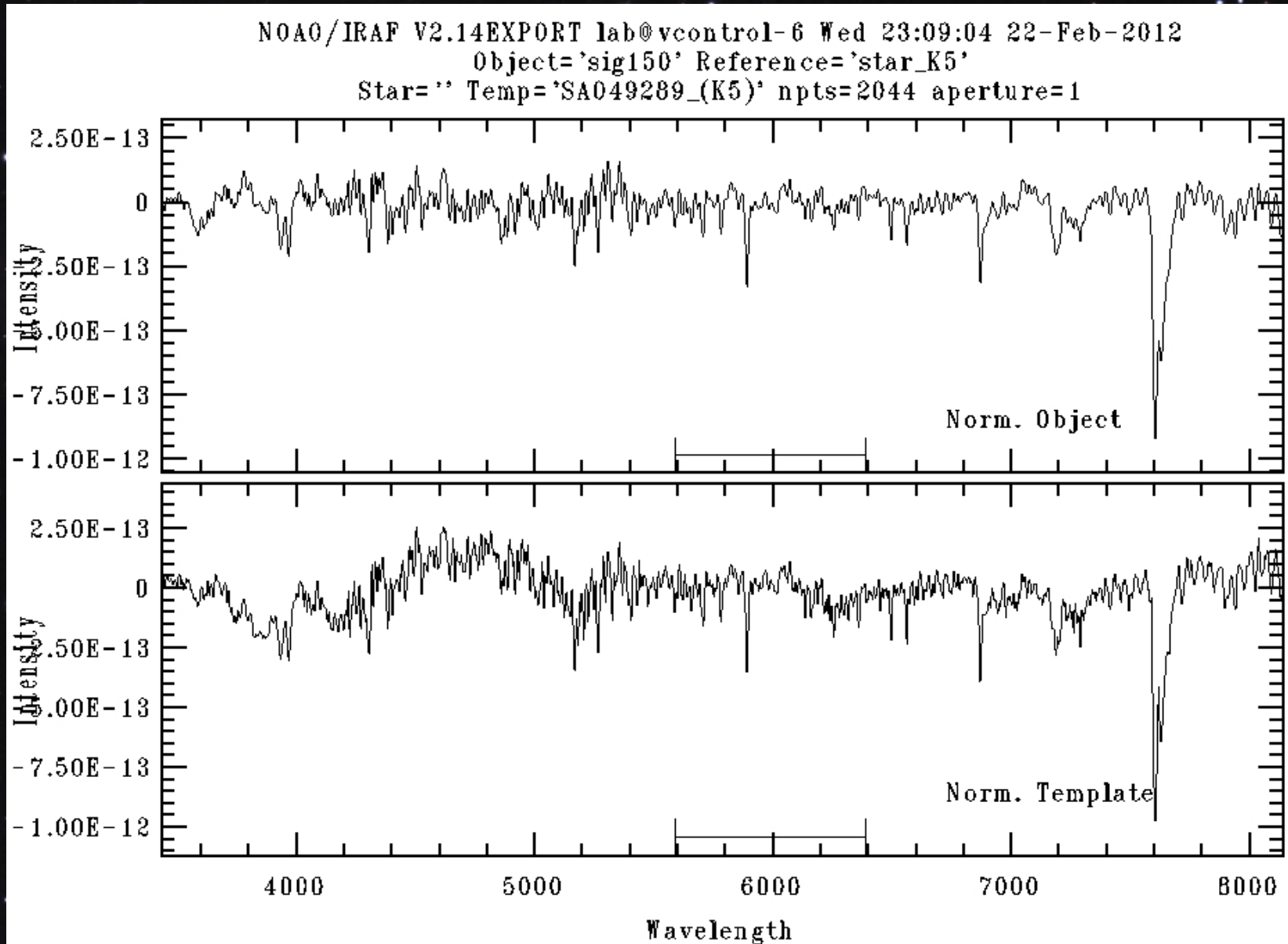
NOAO/IRAF V2.14EXPORT lab@vcontrol-6 Wed 23:12:15 22-Feb-2012
func=spline3, order=15, low_rej=2, high_rej=2, niterate=10, grow=1
total=2044, sample=2044, rejected=703, deleted=0, RMS=2.6E-14



Spettri appiattiti

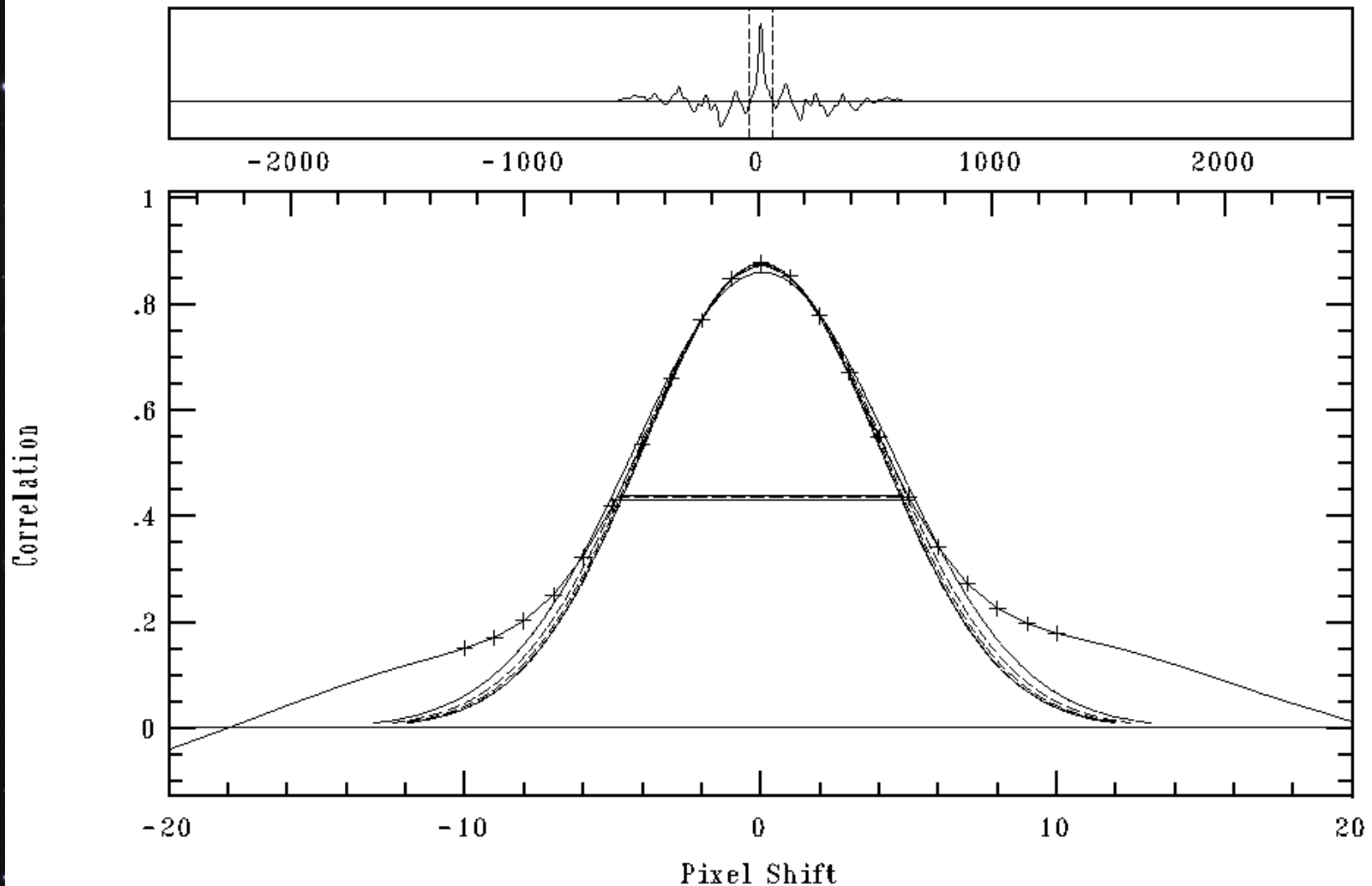


Selezione $\Delta\lambda$ (6400-5600 Å)

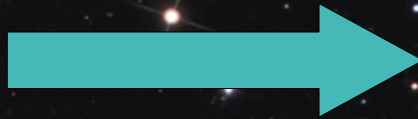


Fittaggio del picco con funzione gaussiana

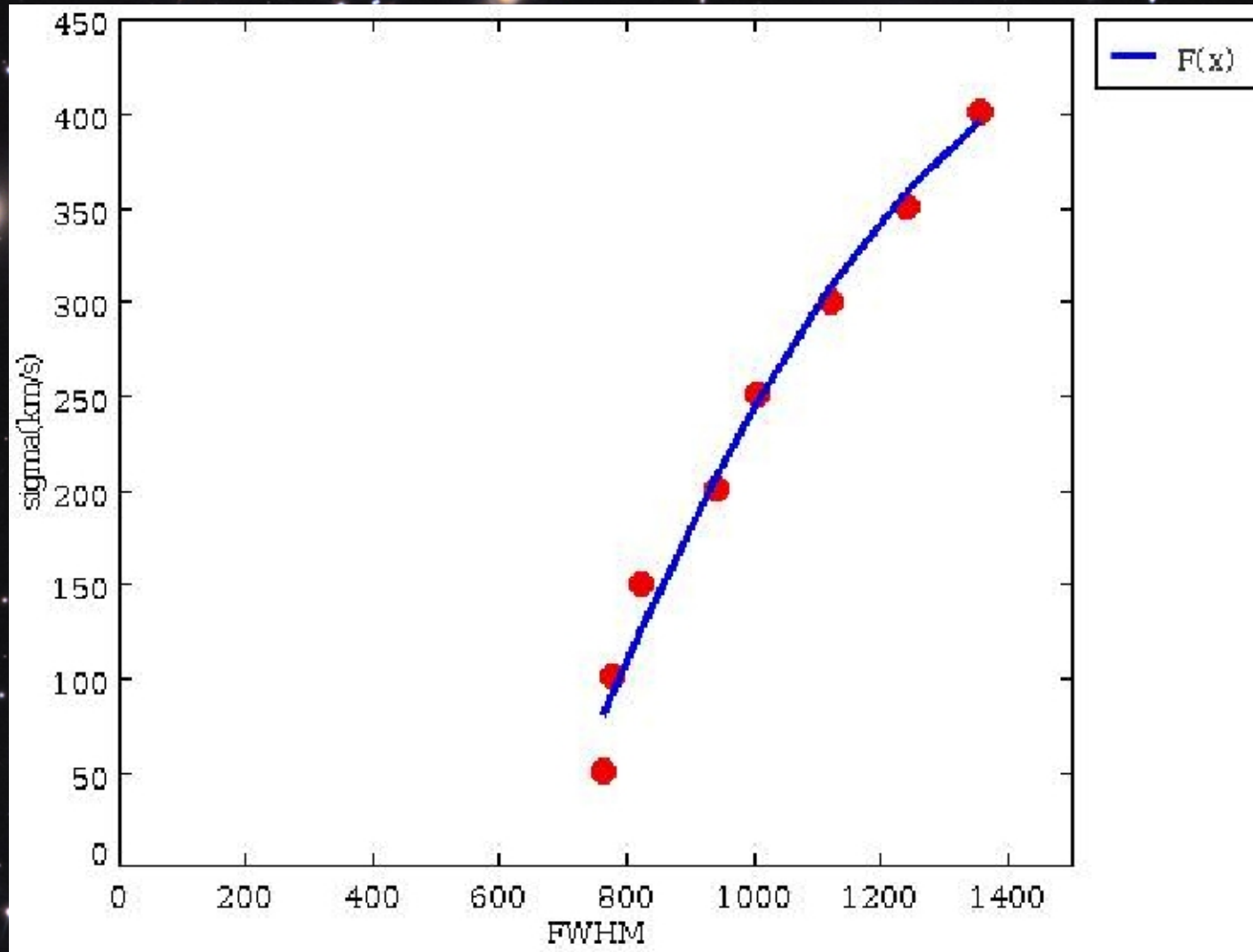
Object='sig350' Temp='star_K5' npts=2048 aperture=1
Star = '' Template = 'SA049289_(K5)'



Si annotano i valori
di FWHM...



...e si crea un grafico
 σ -FWHM



**Dalla funzione interpolante si ottiene
un polinomio di calibrazione**

$$\sigma = 0.00045 \cdot (FWHM)^2 + 1.4872 \cdot (FWHM) - 794.47$$

**Spettri regioni
galassia**

Spettro stella K5



**Spettri regioni
galassia**



**Cross-correlazione
e
analisi del picco...**



Spettro stella K5

**Spettri regioni
galassia**



**Cross-correlazione
e
analisi del picco...**



**...ottenuti i valori
effettivi di FWHM
e
velocità radiali**

Spettro stella K5



**Si inseriscono i valori di FWHM trovati
nel polinomio di calibrazione...**

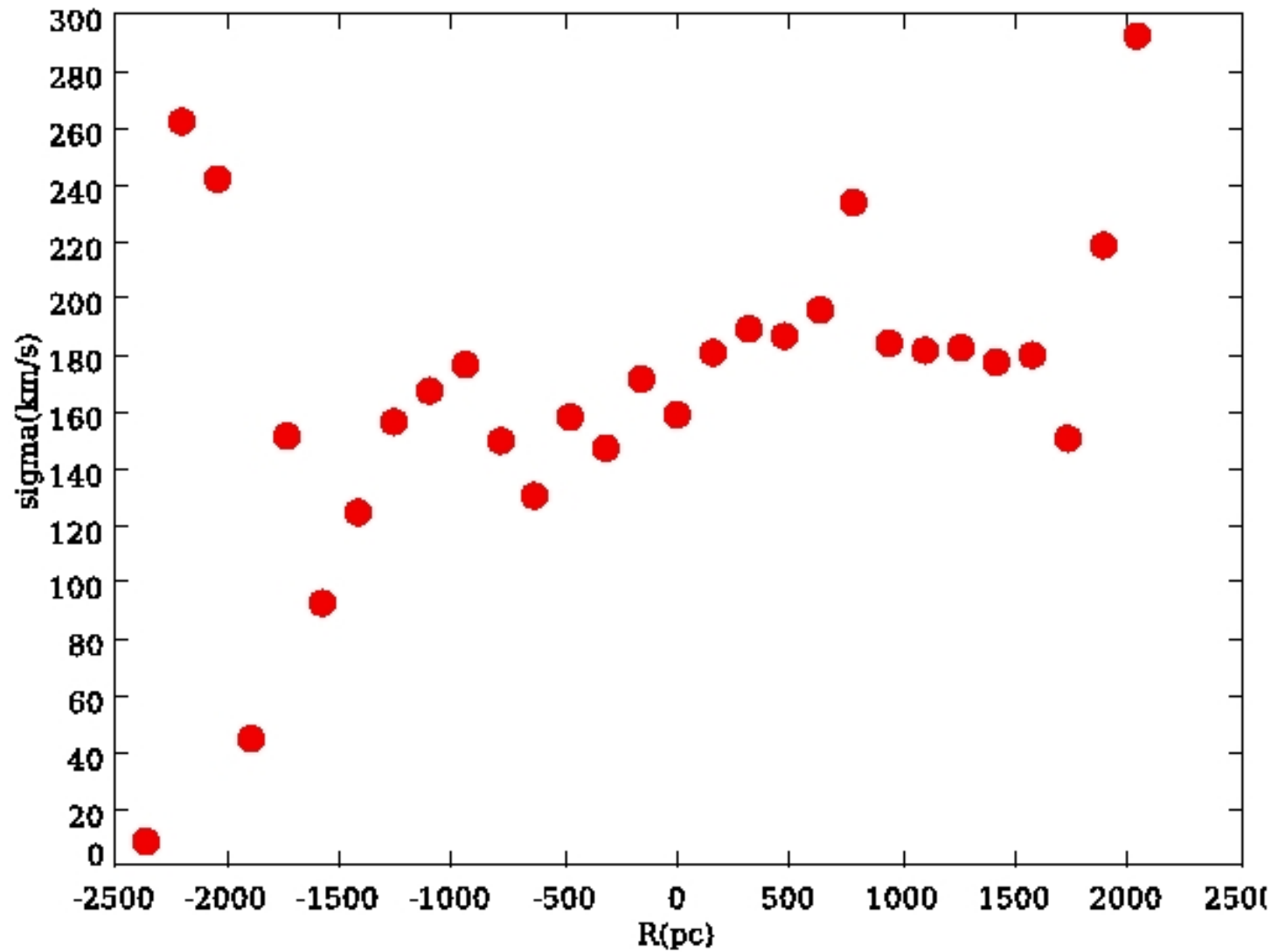


**Si inseriscono i valori di FWHM trovati
nel polinomio di calibrazione...**



**...e si ottengono valori della dispersione
di velocità al variare del raggio**

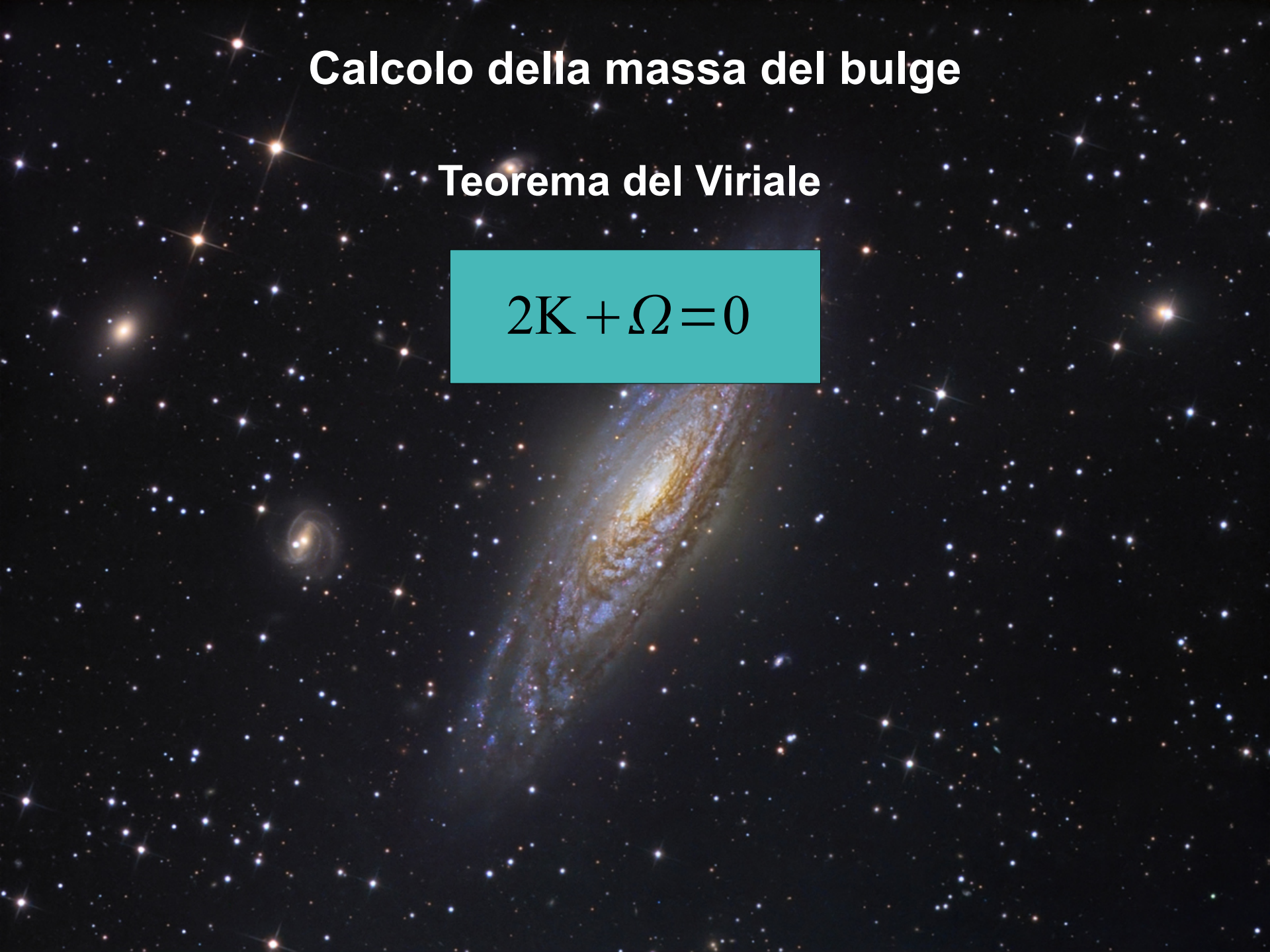
Costruisco grafico raggio/sigma



Calcolo della massa del bulge

Teorema del Viriale

$$2K + \Omega = 0$$



Calcolo della massa del bulge

Teorema del Viriale

$$2K + \Omega = 0$$

$$K = \frac{M(r_{eff}) \times [\sigma(r_{eff})]^2}{2}$$

$$\Omega = \frac{-G \times [M(r_{eff})]^2}{r_{eff}}$$

...e con dovuti calcoli si giunge alla formula della massa del bulge

$$M = \frac{r_{eff} \cdot \sigma^2}{0.33 \cdot G}$$

Dove 0.33 è un fattore di calibrazione

**È necessario convertire il
raggio efficace in pc...**

$$r_{eff}(kpc) = \frac{r_{eff}(arcsec) \times D(kpc)}{206265}$$

**È necessario convertire il
raggio efficace in pc...**

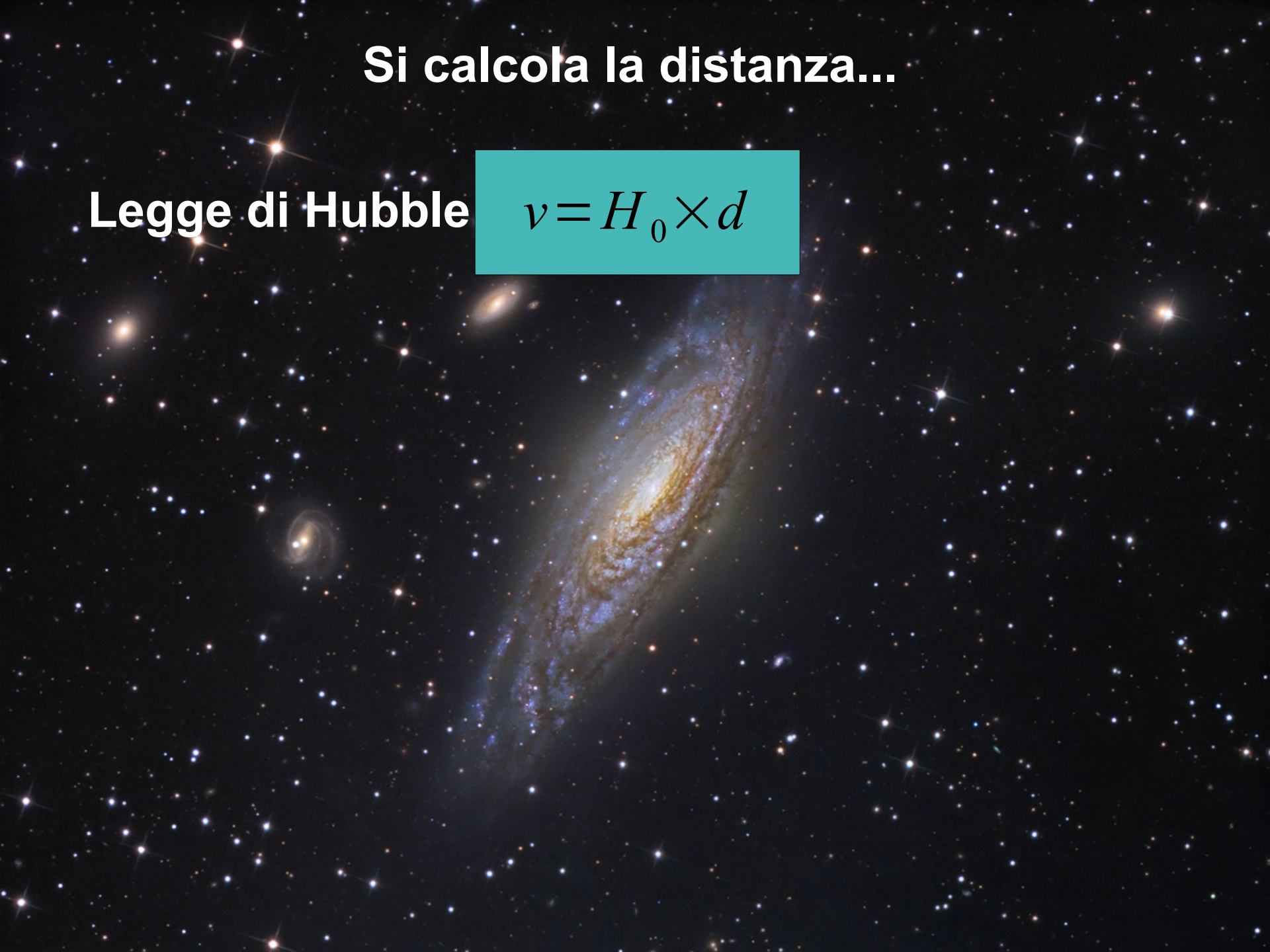
$$r_{eff}(kpc) = \frac{r_{eff}(arcsec) \times D(kpc)}{206265}$$

**...per fare questo si deve prima
calcolare la distanza**

Si calcola la distanza...

Legge di Hubble

$$v = H_0 \times d$$

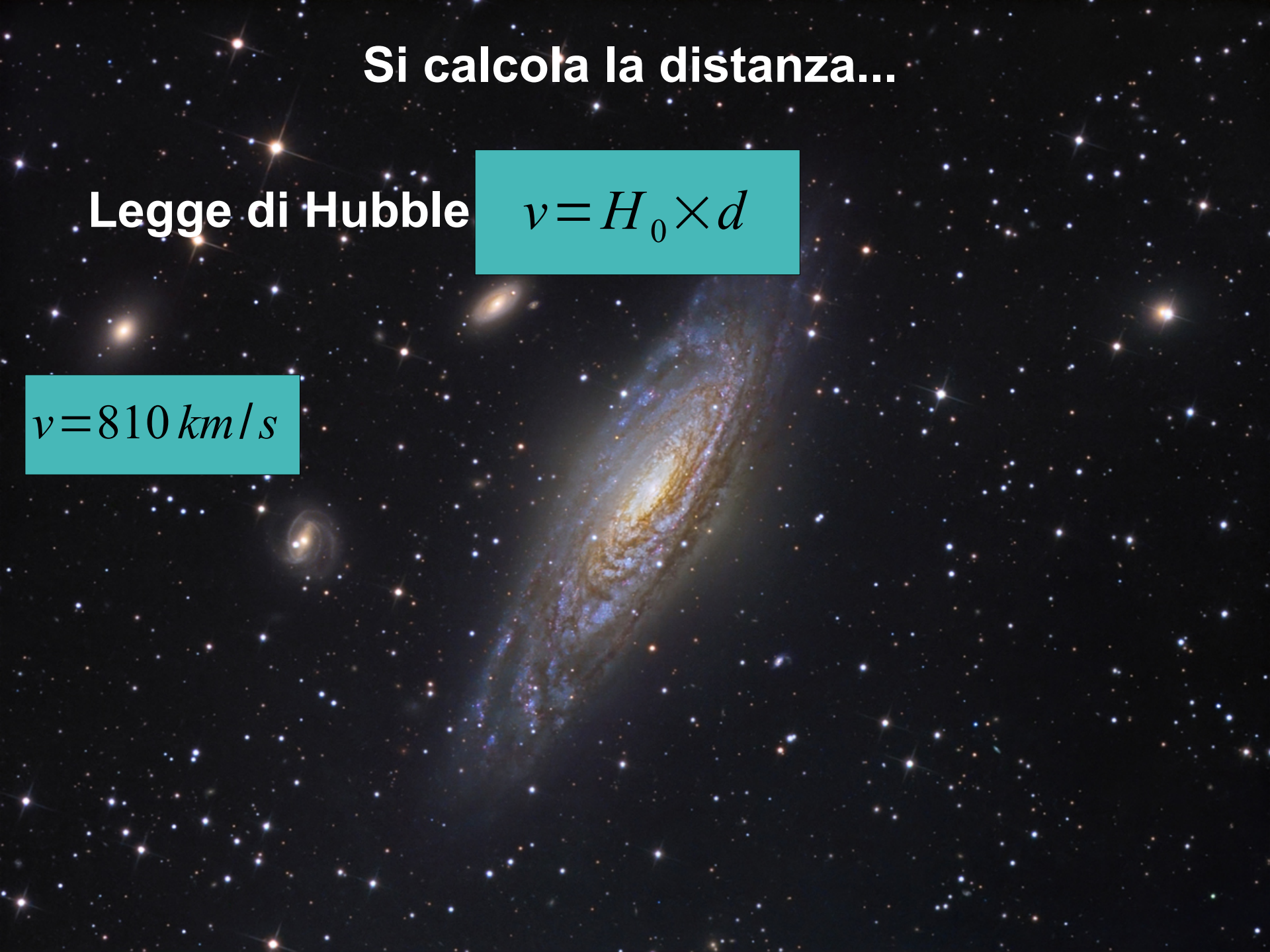


Si calcola la distanza...

Legge di Hubble

$$v = H_0 \times d$$

$$v = 810 \text{ km/s}$$



Si calcola la distanza...

Legge di Hubble

$$v = H_0 \times d$$

$$v = 810 \text{ km/s}$$

$$H_0 = 75 \text{ Mpc/(km/s)}$$

Si calcola la distanza...

Legge di Hubble

$$v = H_0 \times d$$

$$v = 810 \text{ km/s}$$

$$H_0 = 75 \text{ Mpc/(km/s)}$$



$$d = 10.8 \text{ Mpc}$$

Si calcola la distanza...

Legge di Hubble

$$v = H_0 \times d$$

$$v = 810 \text{ km/s}$$

$$H_0 = 75 \text{ Mpc/(km/s)}$$



$$d = 10.8 \text{ Mpc}$$

....ed è possibile convertire
Il raggio in pc

$$r_{\text{eff}} = 34 \text{ arcsec}$$

Si calcola la distanza...

Legge di Hubble

$$v = H_0 \times d$$

$$v = 810 \text{ km/s}$$

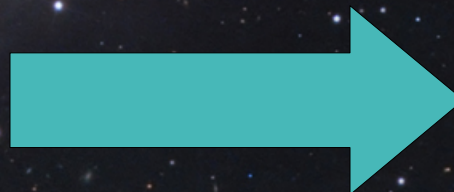
$$H_0 = 75 \text{ Mpc/(km/s)}$$



$$d = 10.8 \text{ Mpc}$$

....ed è possibile convertire
Il raggio in pc

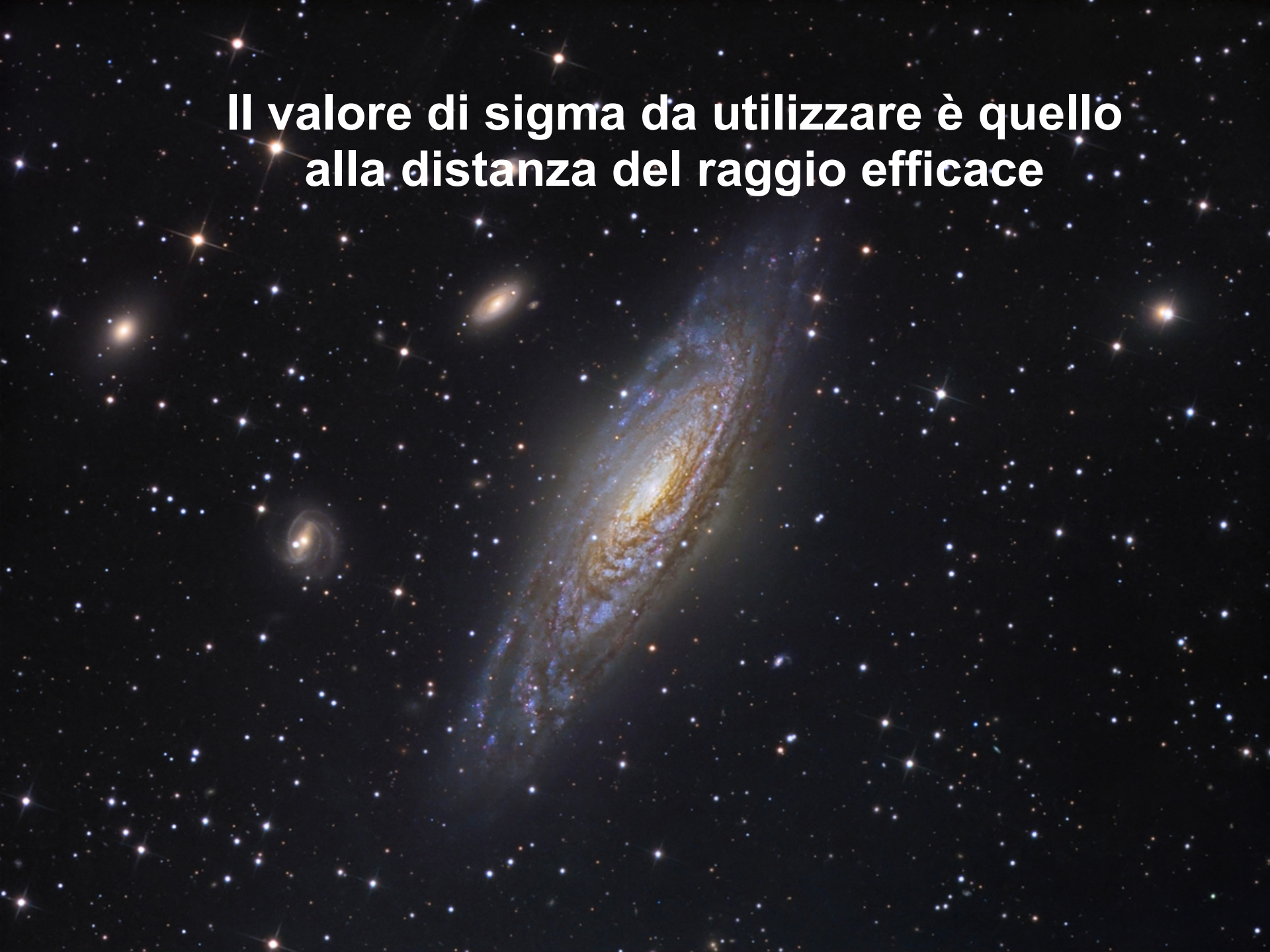
$$r_{\text{eff}} = 34 \text{ arcsec}$$



$$r_{\text{eff}} = 1.83 \text{ kpc}$$

$$r_{\text{eff}} = 34 \text{ arcsec}$$

**Il valore di sigma da utilizzare è quello
alla distanza del raggio efficace**



**Il valore di sigma da utilizzare è quello
alla distanza del raggio efficace**



**nel nostro caso però il grafico σ -raggio
aveva andamento piatto...**

**Il valore di sigma da utilizzare è quello
alla distanza del raggio efficace**



**nel nostro caso però il grafico σ -raggio
aveva andamento piatto...**



**...è possibile applicare
una media dei valori**

$$\sigma = 166 \text{ km/s}$$

4 arcsec

**Si inseriscono infine i
valori nella formula
facendo attenzione
alle unità di misura**

$$M = \frac{r_{eff} \cdot \sigma^2}{0.33 \cdot G}$$

**Si inseriscono infine i
valori nella formula
facendo attenzione
alle unità di misura**

$$M = \frac{r_{eff} \cdot \sigma^2}{0.33 \cdot G}$$



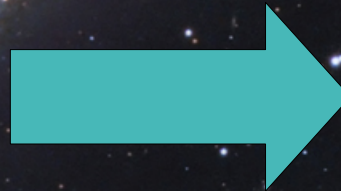
**...e si ottiene il valore
della massa**

**Si inseriscono infine i
valori nella formula
facendo attenzione
alle unità di misura**

$$M = \frac{r_{eff} \cdot \sigma^2}{0.33 \cdot G}$$



**...e si ottiene il valore
della massa**



$$M = 9 \times 10^{40} \text{ kg}$$

Un passo in più: curva di velocità

**Si costruisce un grafico
velocità radiale
e
distanza dal centro...**



Un passo in più: curva di velocità

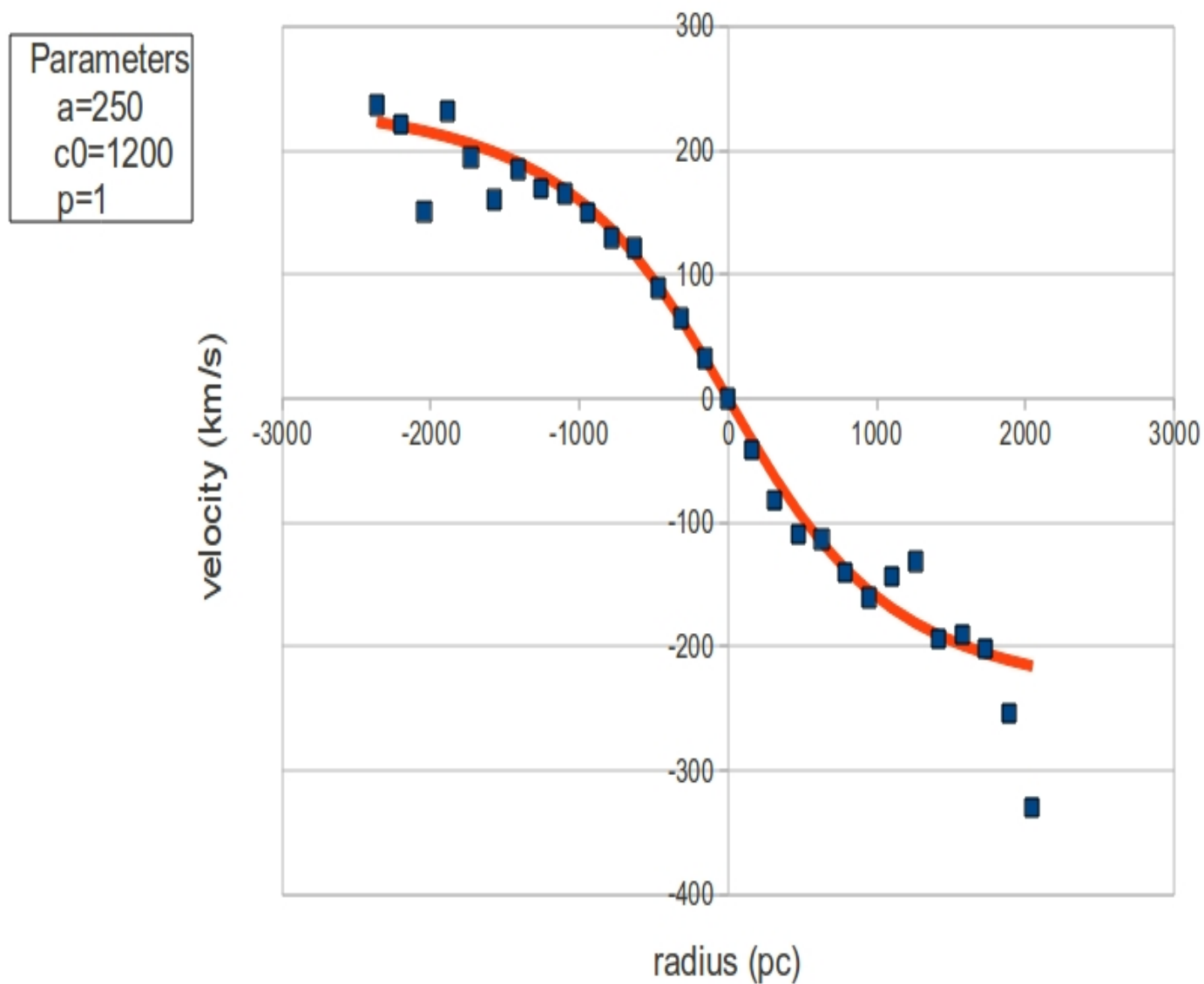
**Si costruisce un grafico
velocità radiale
e
distanza dal centro...**



**...si cerca di *fittare* al meglio
i punti per ottenere una
funzione interpolante**

Curva di velocità

Comparison between observed velocity and model



**Si confronta la curva di velocità
ottenuta con quella del gruppo
di L. Angeli, M. Doda e U. Villani**

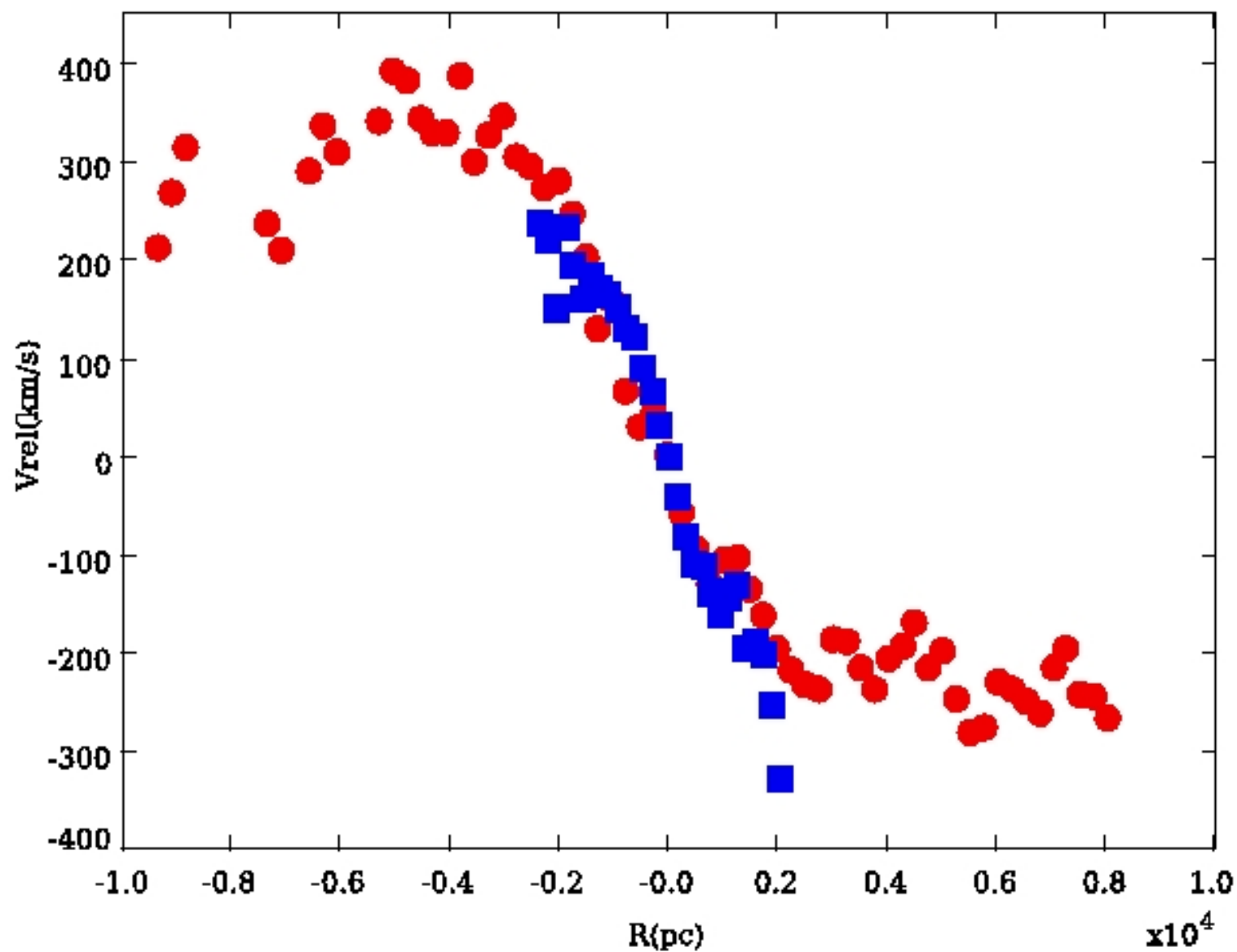


**Si confronta la curva di velocità
ottenuta con quella del gruppo
di L. Angeli, M. Doda e U. Villani**



**...si inseriscono entrambe nello stesso
grafico e si osservano la
Sovrapposizione delle due**

Curve di velocità messe a confronto





**Ringraziamo infine lo staff
dell'Osservatorio Astrofisico
di Asiago che ci ha assistito
durante la realizzazione
del progetto.**