

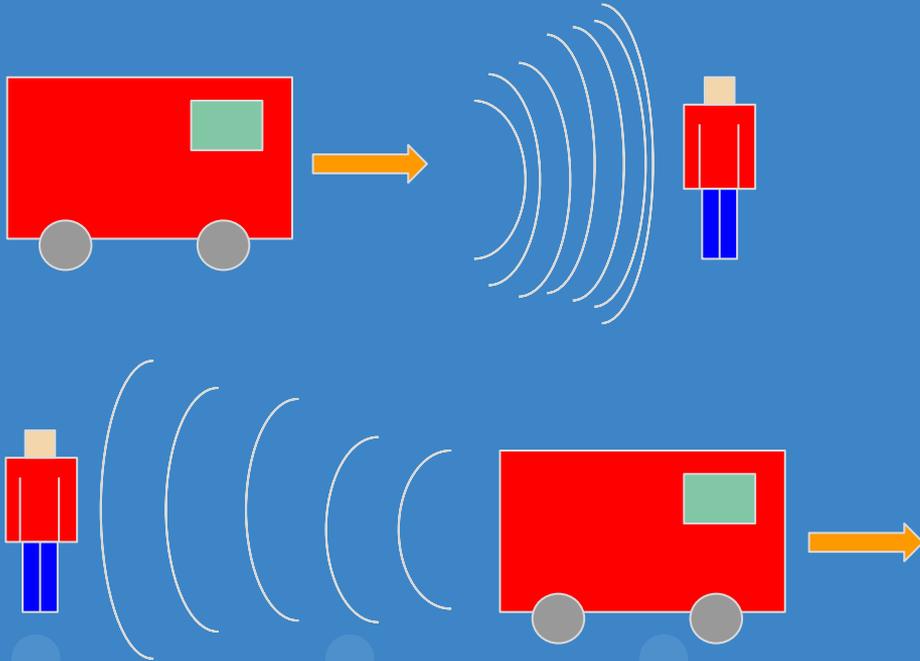
Studio della cinematica di NGC 7331

Dario Castagna
Edoardo Donolato
Gianluca Faggian
Stefano Maniero
Andrea Pone
Alessandro Rosa



TRATTAZIONE TEORICA

Effetto Doppler



Lo studio si basa su un fenomeno fisico chiamato effetto doppler

Quando una sorgente di onde si muove rispetto ad un osservatore la frequenza percepita da esso risulta diversa da quella emessa:

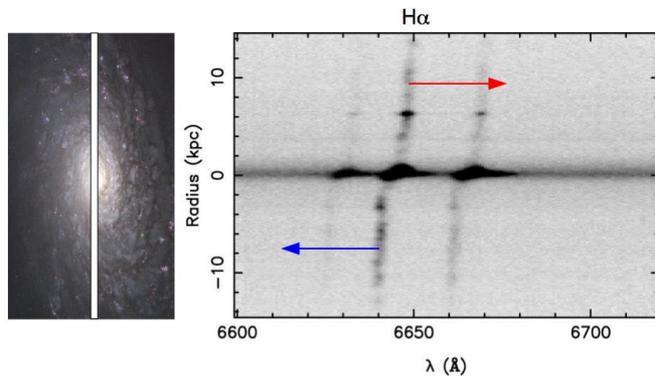
- maggiore se e in avvicinamento
- minore se e in allontanamento

$$v = \frac{v_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

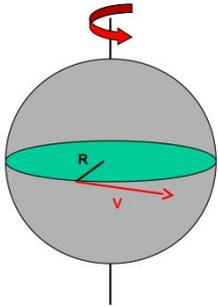
Redshift/Blueshift

L'effetto Doppler coinvolge anche le onde elettromagnetiche. Le galassie che si muovono rispetto a noi emettono onde elettromagnetiche, che avranno una lunghezza d'onda differente in base alla velocità relativa. Questo fenomeno prende il nome di Redshift/Blueshift.

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{\frac{c}{\lambda_0}}{1 + \frac{v}{c}} \Rightarrow \lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right) \Rightarrow z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

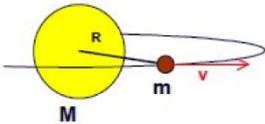


Relazione tra velocità e raggio di un corpo in rotazione



Rotazione rigida

$$v = \omega R \Rightarrow v \propto R$$



Rotazione kepleriana

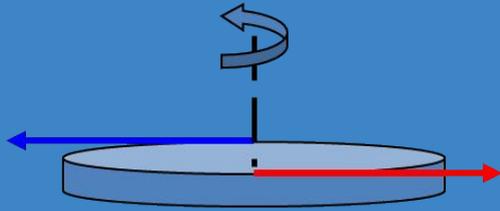
$$\frac{R^3}{T^2} = k \Rightarrow \left(\frac{R}{T}\right)^2 \cdot R = k \Rightarrow v^2 \cdot R = k \Rightarrow v \propto R^{-1/2}$$

Nel caso di una rotazione rigida, la velocità è direttamente proporzionale al raggio

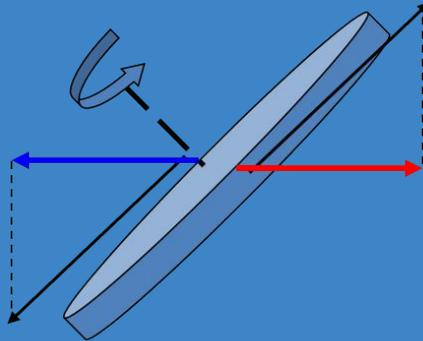
Nel caso di una rotazione kepleriana, a partire dalla terza legge di Keplero, otteniamo che la velocità sia inversamente proporzionale alla radice quadrata del raggio

Inclinazione della galassia

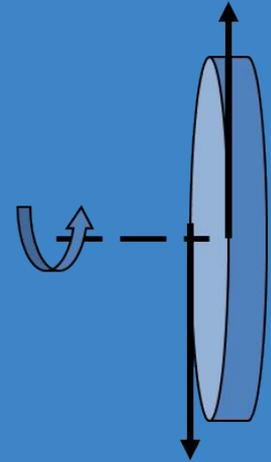
La velocità che otteniamo tramite il redshift dipende dall'inclinazione della galassia rispetto al piano di vista.



$i = 90^\circ$



$i = 45^\circ$



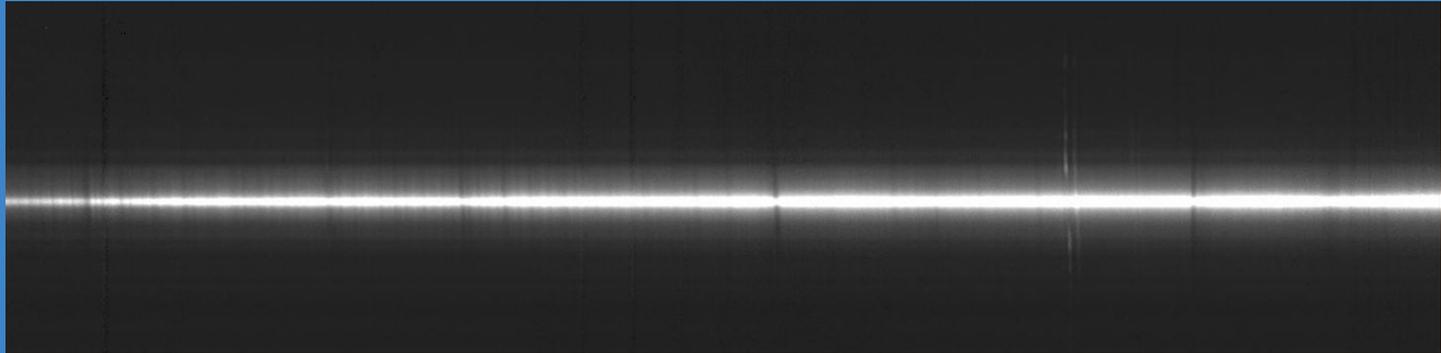
$i = 0^\circ$

PROCEDIMENTO

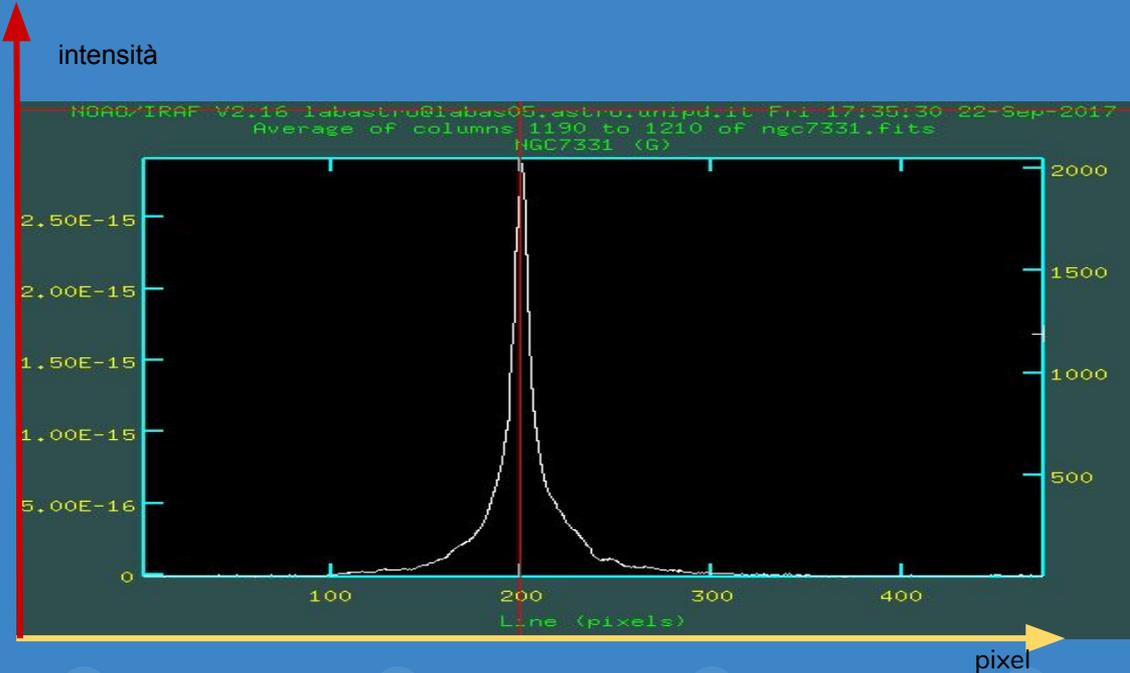
Individuazione del centro della galassia

L'immagine rappresenta lo spettro della luce della galassia che passa attraverso una fenditura allineata con il suo semiasse maggiore.

La fascia chiara rappresenta la porzione centrale (bulge), più luminosa.



Individuazione del centro della galassia



Attraverso la finestra grafica del programma IRAF, possiamo fare un grafico lungo la direzione della fenditura, per visualizzare la distribuzione della luce lungo la fenditura. Il centro della galassia è nella posizione del picco di distribuzione della luce.

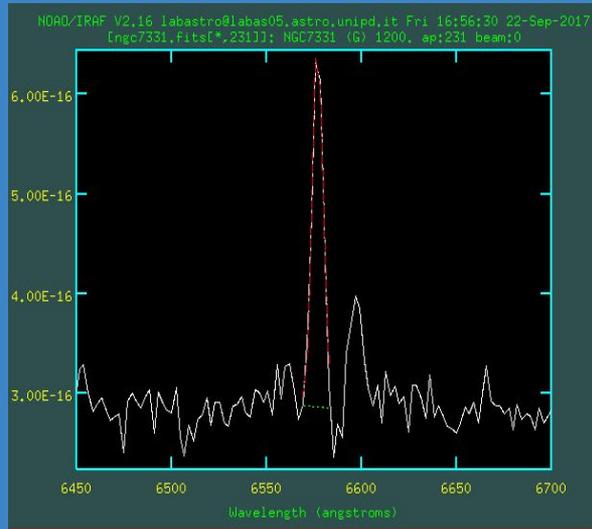
STUDIO DELLA
CINEMATICA DEI
GAS E DELLE
STELLE

INDIVIDUARE LE RIGHE DI EMISSIONE DEI GAS

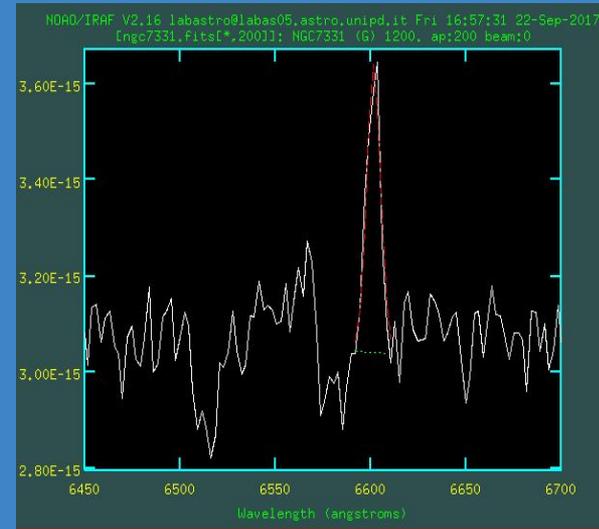
Per calcolare la velocità di rotazione dei gas si analizzano le righe di emissione dell'Idrogeno H α e dell'Azoto [N II].

Individuato un intervallo di lunghezze d'onda all'interno del quale, al netto del redshift, cadevano le righe di emissione di H α e di [N II]

Misurato le lunghezze d'onda del picco più significativo (H α o [N II] a seconda delle situazioni) partendo dal pixel centrale di tre in tre, misurando i valori sia prima che dopo il centro, fino al limite del segnale luminoso.

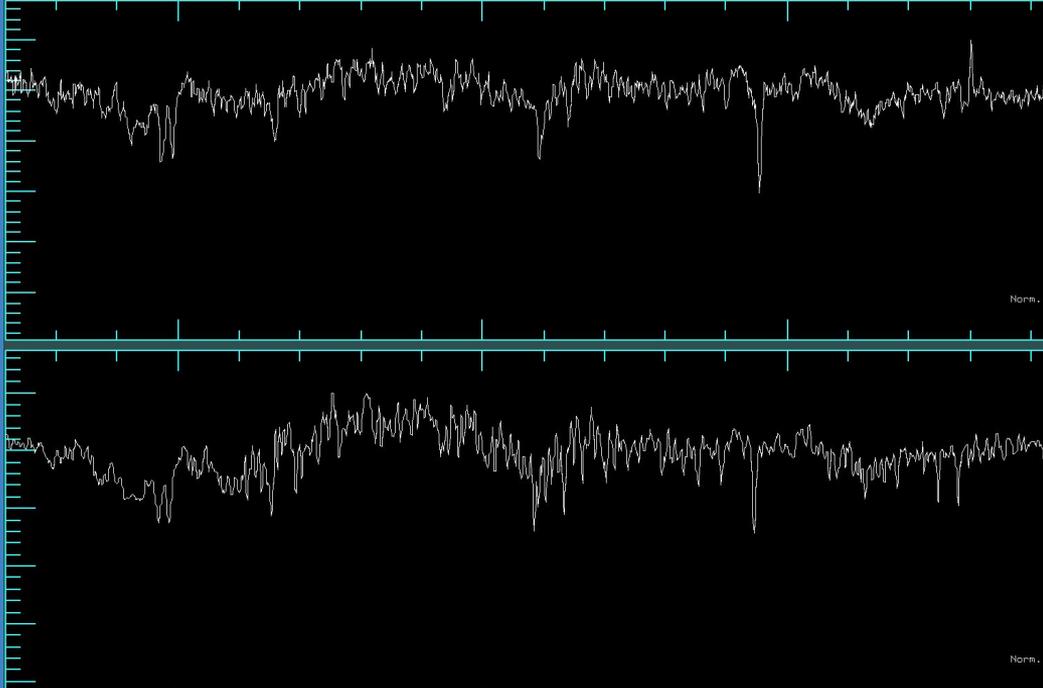


H α $\lambda_0 = 6563 \text{ \AA}$



[N II] $\lambda_0 = 6584 \text{ \AA}$

Determinazione della velocità delle stelle

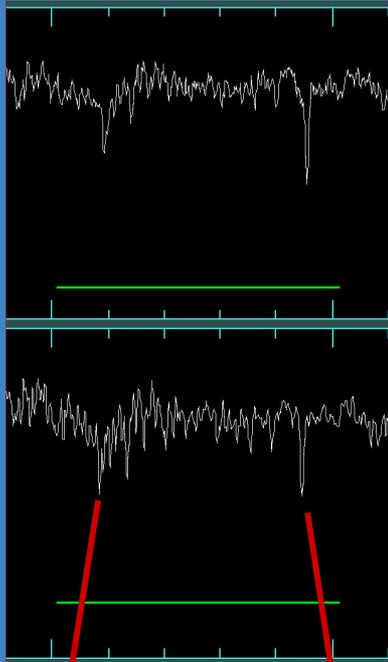


Possiamo ricavare la curva di rotazione della componente stellare della galassia, confrontando lo spettro della galassia con quello di una stella K o F.

Il primo grafico mostra lo spettro della galassia osservata, mentre il secondo mostra lo spettro di una stella K5.

Gli assorbimenti sono leggermente spostati a causa del Redshift.

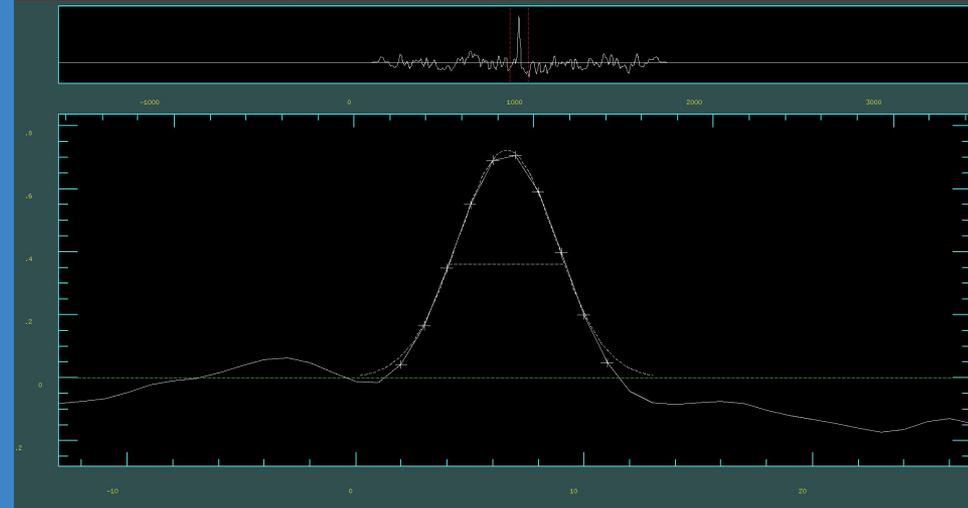
INDIVIDUARE RIGHE DI ASSORBIMENTO DELLE STELLE



Mg

Na

Selezioniamo l'intervallo che vogliamo studiare, e lo analizziamo punto per punto. Le misurazioni effettuate sono relative a: Mg, Na e Na-Mg (come nell'immagine), sia per la stella K5 che per una F2



Tramite il software possiamo cross-correlare lo spettro della galassia e quello della stella. Dalla posizione del picco della funzione di correlazione si ottiene la velocità di rotazione.

Determinazione della velocità

I dati ottenuti vengono messi in una tabella a due colonne: posizione lungo la fenditura (in pixel) e lunghezza d'onda del centro della riga (in Angstrom), attraverso il programma TOPCAT. Successivamente le lunghezze d'onda vengono trasformate in velocità grazie alla formula dell'effetto Doppler.

posizione (pixel) velocità (km/s)

The screenshot shows the TOPCAT software interface. The main window displays 'Table List' with '1: vel_NaMg_F.txt' selected. The 'Current Table Properties' section shows: Label: vel_NaMg_F.txt, Location: /Users/labastro/Desktop/NGC7331/Victorio's Secret/vel_NaMg_F.txt, Name: , Rows: 91, Columns: 2, Sort Order: (up arrow), Row Subset: All, and Activation Action: (no action). A 'Table Browser for 1: vel_NaMg_F.txt' window is open, showing a table with two columns: 'col5' and 'col12'. The table contains 11 rows of data. Arrows point from the text 'posizione (pixel)' to the 'col5' column and 'velocità (km/s)' to the 'col12' column.

	col5	col12
11	161	1097,1714
12	162	1079,5402
13	163	12285,898
14	164	950,4077
15	165	1032,0488
16	166	926,673
17	167	986,1473
18	168	1054,8151
19	169	999,6448
20	170	1012,8971
21	171	973,1582
22	172	995,2829
23	173	1026,4132
24	174	1001,7215
25	175	1063,9751

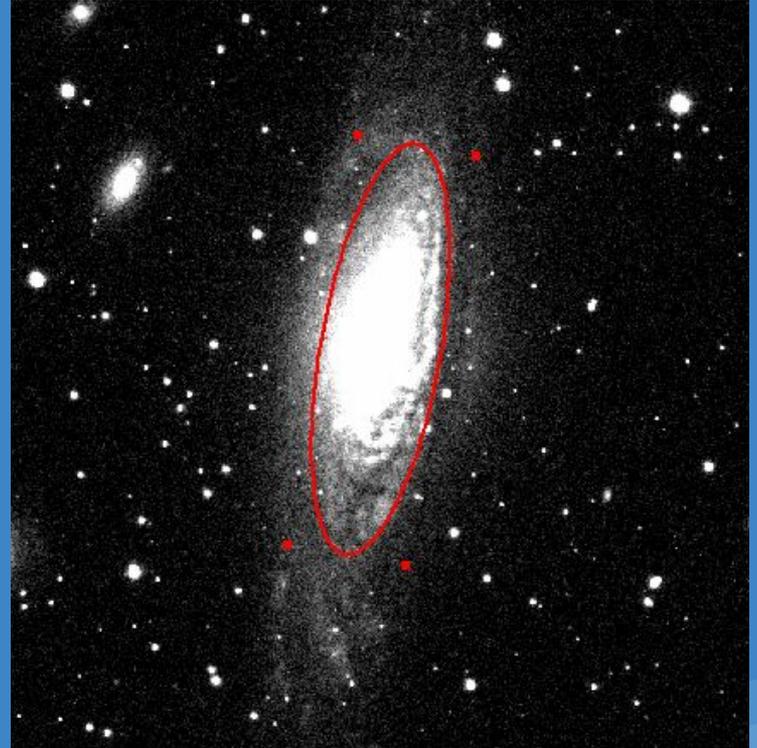
DETERMINAZIONE DELL' INCLINAZIONE

Si approssima la galassia attraverso un' ellisse per trovare la sua inclinazione rispetto al nostro piano di osservazione (ipotizzandola circolare)

$$i = \arccos(b/a)$$

con b semiasse minore e a semiasse maggiore

Dai calcoli è risultato $i=69^\circ$



Elaborazione dei dati

Utilizzando l'equazione dell'effetto Doppler si ottiene la velocità in funzione dei pixel, cui bisogna sottrarre la velocità del centro, cioè quella di allontanamento della galassia.

Si corregge la velocità in funzione dell'inclinazione della galassia, dividendola per il seno dell'angolo di inclinazione.

Sottraendo infine il valore del pixel centrale a tutti gli altri si ottiene una tabella con la velocità di rotazione in funzione della posizione di ogni punto rispetto al centro, espressa in pixel.

Elaborazione dei dati

Per calcolare la distanza della galassia rispetto a noi, è necessario utilizzare la legge di Hubble:

$$d = v_r / H_0 \text{ (Mpc)} \quad H_0 = 72 \text{ km/s Mpc}$$

Effettuando i calcoli la **distanza** della galassia risulta di **11,6 Mpc**

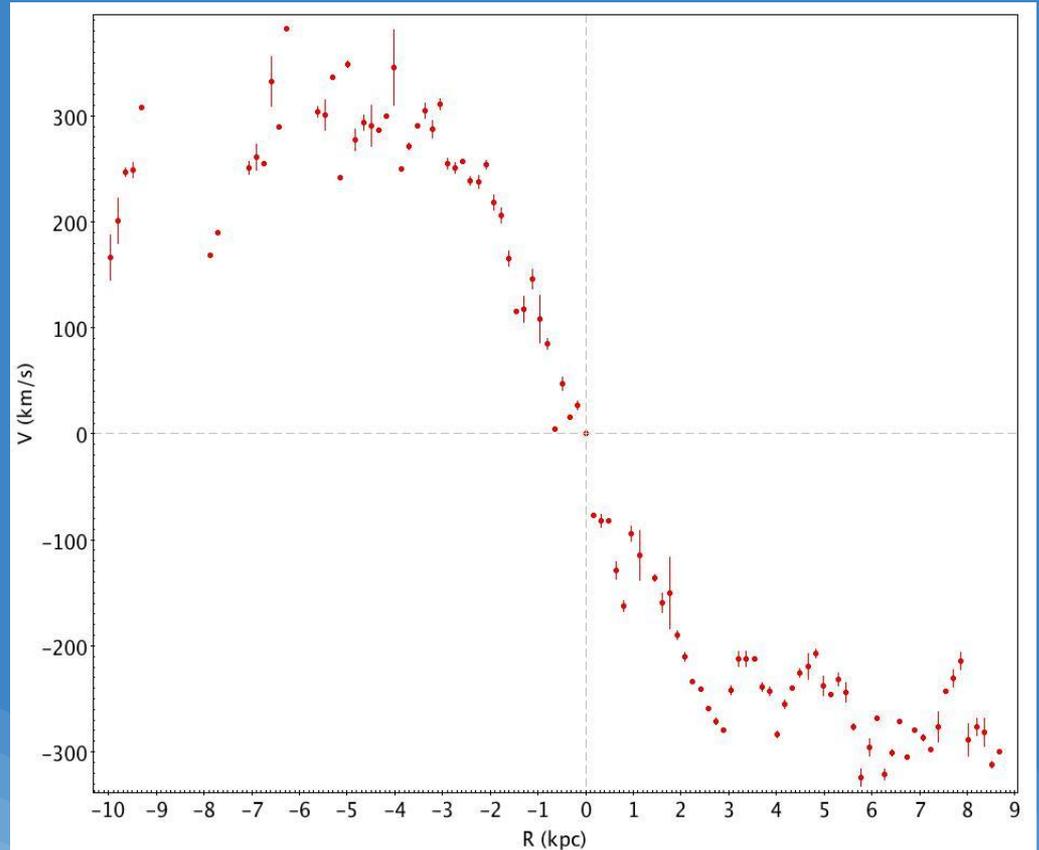
Ogni pixel corrisponde ad un secondo d'arco, ma per ottenere le misure corrette bisogna convertire i Pixel in kiloparsec (kpc). Per farlo troviamo la proporzione scalare e convertiamo i dati numerici.

$$s(\text{kpc}) = (d \times 1000) / 206265$$

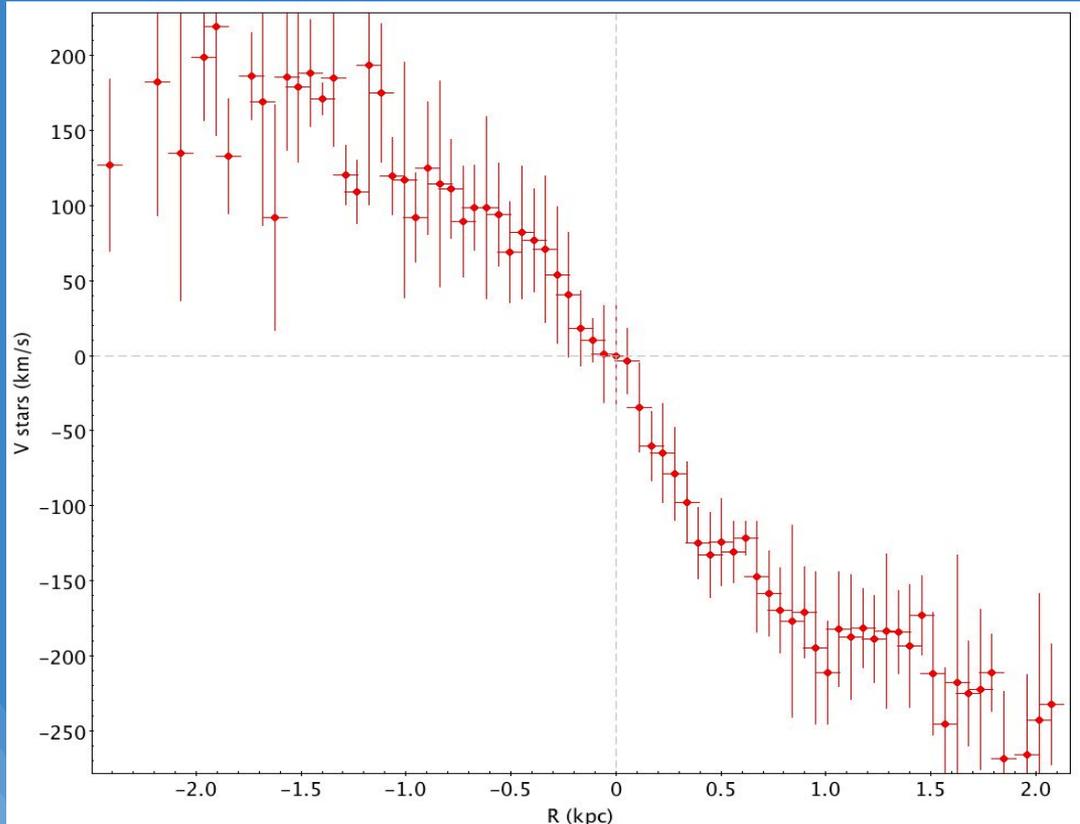
Il raggio della parte di galassia analizzata dall'analisi dei gas è di **9 kpc**, mentre il raggio preso in considerazione per l'analisi stellare è di **2,5 kpc**.

ELABORAZIONE DEI DATI A PARTIRE DAI GAS

Con la velocità in km/s e il raggio in kpc, abbiamo ottenuto questo grafico.



Analisi della velocità a partire dalle stelle



Notiamo come la velocità possa essere approssimata, fino ai 2 kpc, a quella di un disco rigido, con $v=kR$.

Calcolo della massa

Possiamo stimare la massa della galassia a partire dal teorema del Viriale:

$$U + 2T = 0 \Rightarrow -G \frac{Mm}{R} + 2 \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = 0$$

$$M = \frac{(\Delta v)^2 \times R}{G} \quad (\text{kg})$$

con
$$\Delta v = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2}$$

La **massa** entro i 9 kPc è **$1,6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$** , mentre la **massa** stimata all'interno del raggio massimo disponibile attraverso l'analisi stellare (2,5 kPc) è **$2,5 \cdot 10^{10} M_{\odot}$** , dove M_{\odot} corrisponde alla massa del Sole (**$2 \cdot 10^{30}$ kg**).

Risultato finale

Confronto dei dati ottenuti

	STUDIO DEI GAS DELLA GALASSIA	STUDIO DELLA COMPONENTE STELLARE DELLA GALASSIA
Raggio (kpc)	9	2,5
Massa (M_{\odot})	$1,6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$	$2,5 \cdot 10^{10} M_{\odot}$

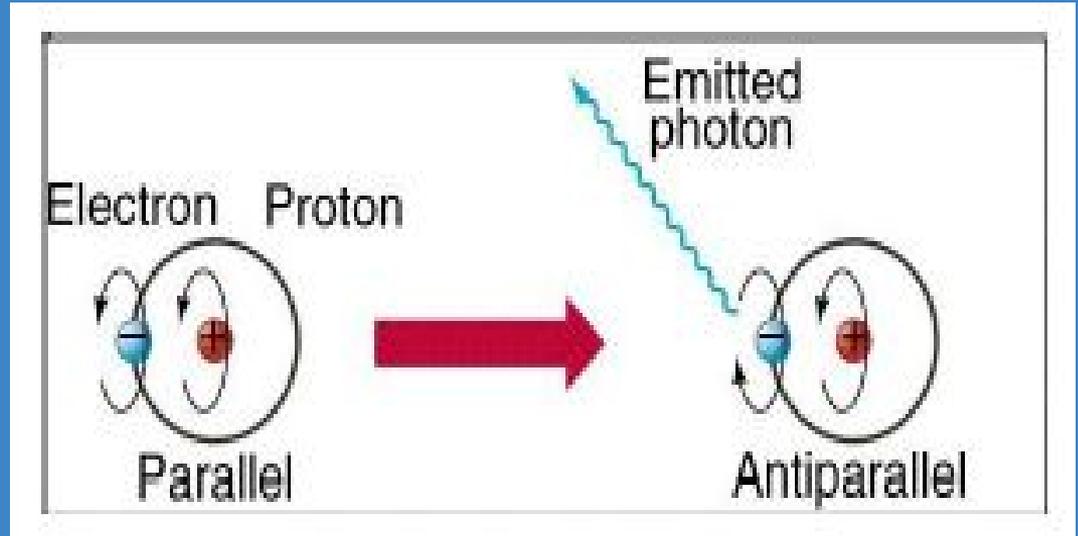
One more thing...



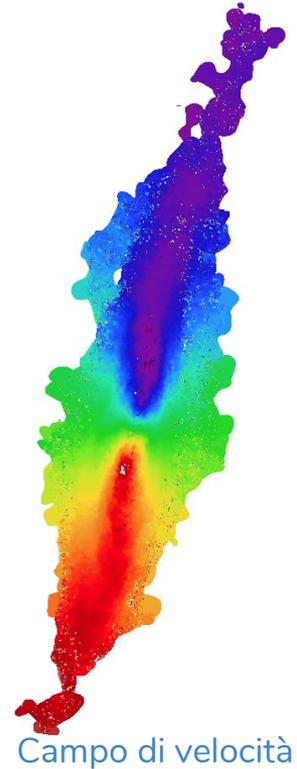
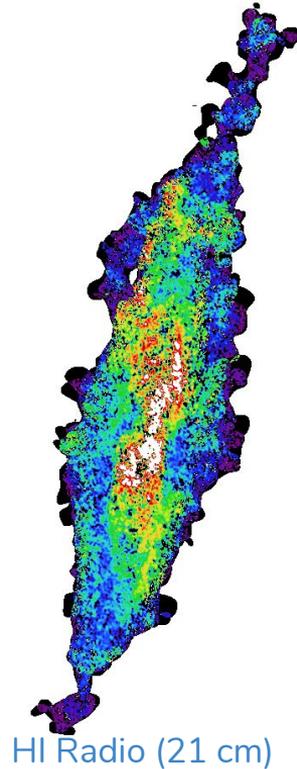
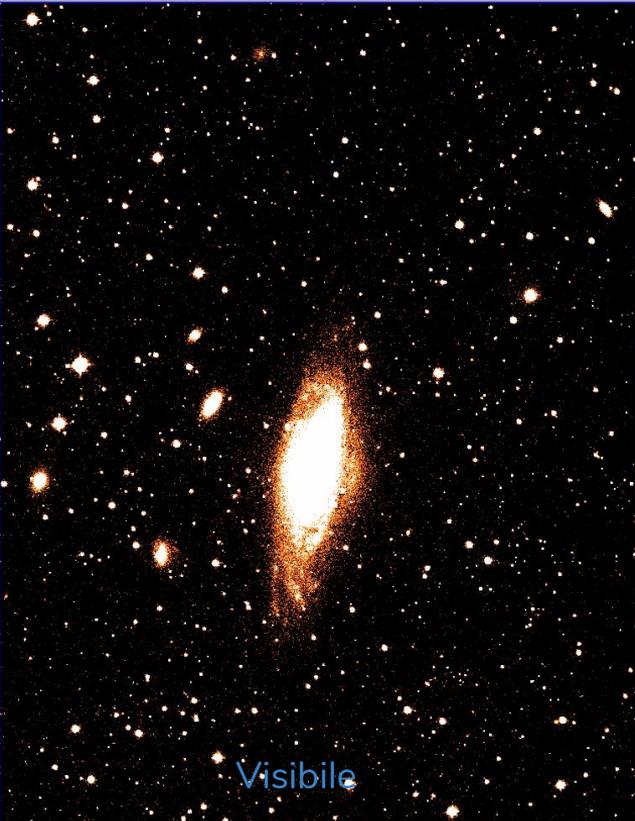
Studio cinematico mediante emissioni radio

Nell'atomo di idrogeno l'elettrone e il protone in casi rari hanno spin parallelo, per tornare alla configurazione antiparallela più stabile viene emesso un fotone radio dalla caratteristica λ di 21 cm (riga proibita).

Quindi si può studiare la cinematica della galassia mediante l'effetto doppler relativo a questa particolare emissione radio



Determinazione della velocità dal redshift delle emissioni radio

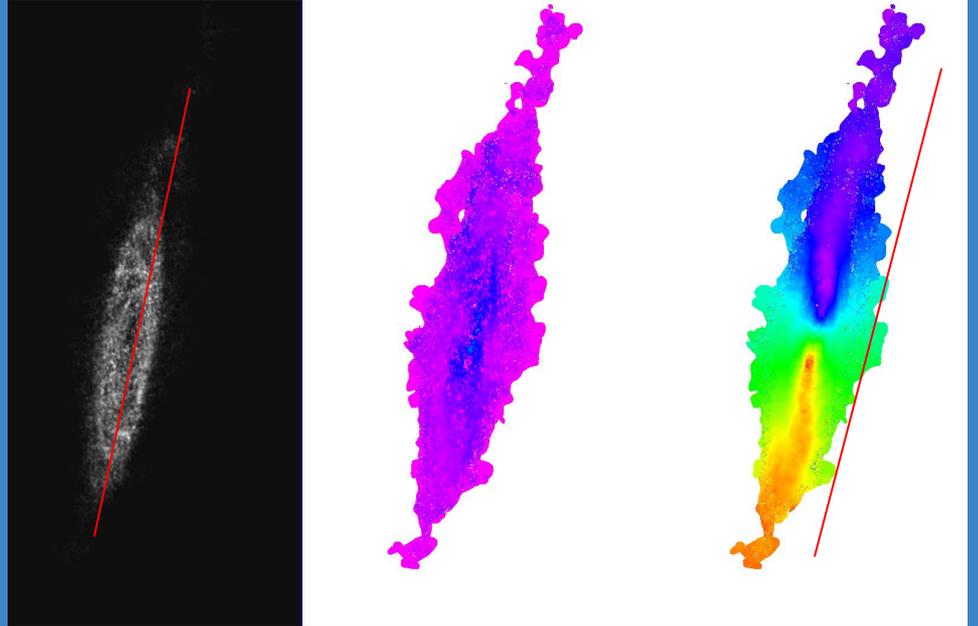


Procedimento

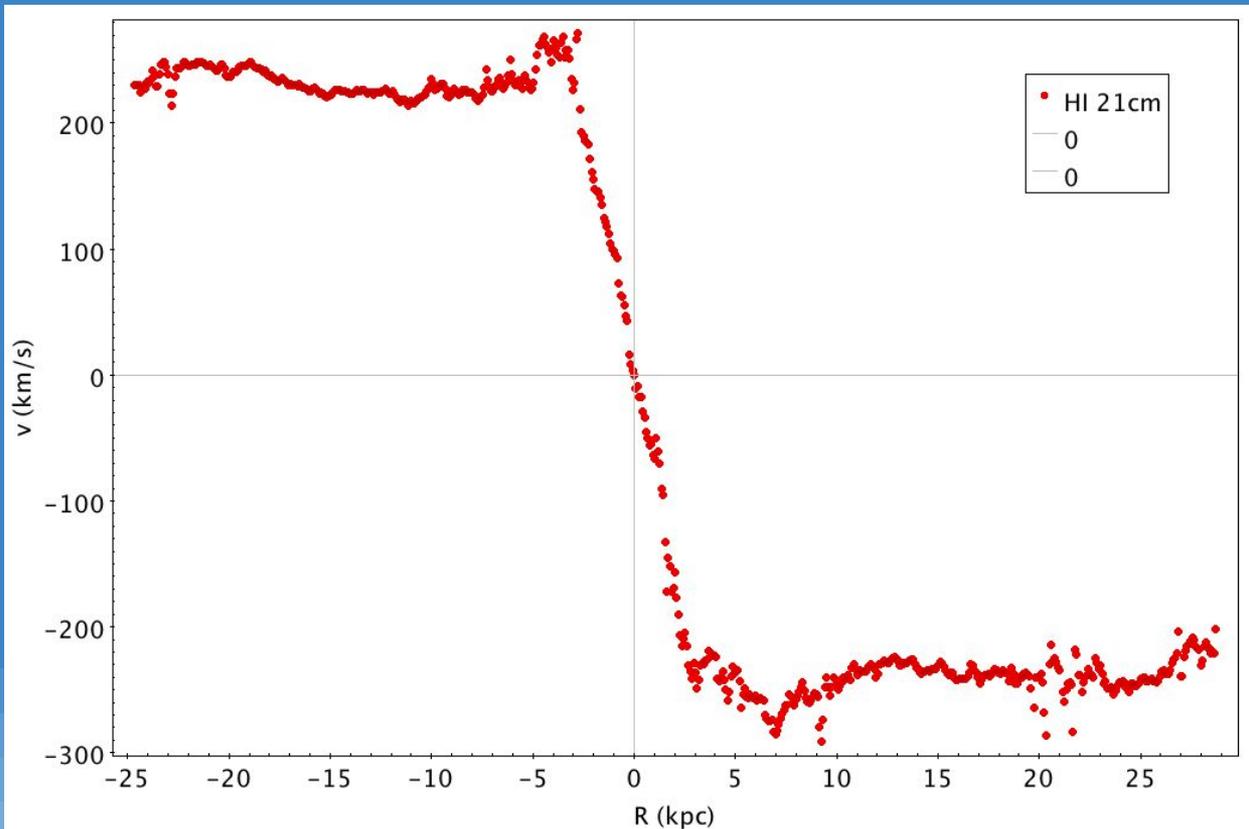
Si traccia l'asse maggiore della galassia e si trova il centro.

Con il ds9, tracciando una linea lungo il campo di velocità, si possono ottenere le velocità di rototraslazione in funzione dei pixel.

Con le informazioni della posizione del centro (pixel), velocità di rototraslazione, per ogni pixel, (km/s) svolgendo le stesse operazioni viste precedentemente otteniamo il grafico della velocità (v_o) in funzione della distanza dal centro (R)



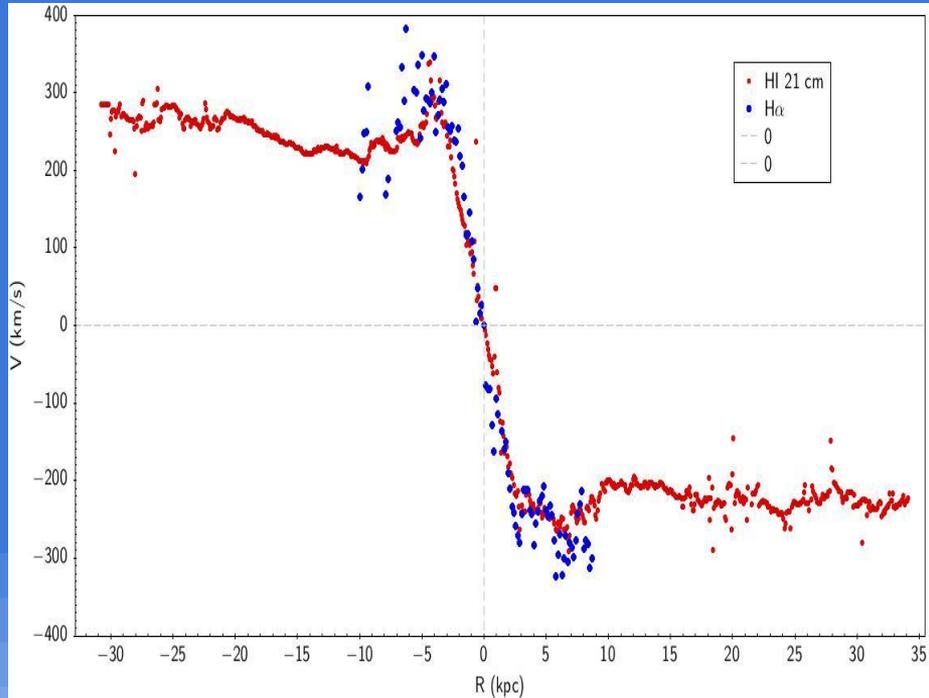
Determinazione della velocità dal redshift delle emissioni radio



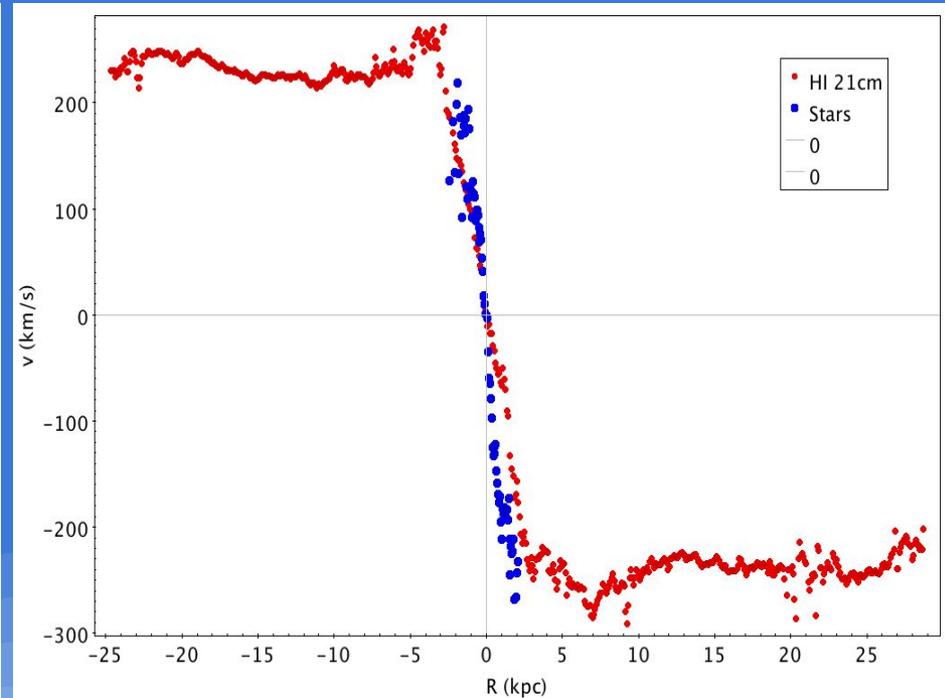
Creiamo il grafico della velocità, secondo il metodo dell'emissione radio, e convertiamo successivamente i dati nelle stesse unità del grafico relativo alle velocità analizzate attraverso i gas e le stelle.

Risultato finale

Confronto con i dati ottenuti dallo studio dei gas della galassia



Confronto con i dati ottenuti dallo studio della componente stellare della galassia.



Risultato finale

Grazie al teorema del viriale, possiamo trovare la massa della galassia anche a partire dai dati ricavati dalle emissioni radio

	STUDIO DEI GAS DELLA GALASSIA	STUDIO DELLA COMPONENTE STELLARE DELLA GALASSIA	STUDIO DELLE EMISSIONI RADIO DELLA GALASSIA
raggio(kpc)	9	2,5	25
massa (M_{\odot})	$1,6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$	$2,5 \cdot 10^{10} M_{\odot}$	$3,1 \cdot 10^{11} M_{\odot}$

Il Cielo come laboratorio 2017

A presentation by:

Edoardo Donolato (Liceo Galilei, Dolo)

Gianluca Faggian (Liceo Galilei, Dolo)

Stefano Maniero (Liceo Galilei, Dolo)

Dario Castagna (Liceo Berto, Mogliano)

Andrea Pone (Liceo Da Vinci, Treviso)

Alessandro Rosa (Liceo Berto, Mogliano)