

Determinazione della massa della galassia NGC 3659 mediante lo studio della dinamica

di Bonacin Cristina, Donà Pietro, Naccari Francesca, Pinzan Giulio, Zucchetta Fabio
Liceo Scientifico Statale "G.B. Benedetti" – Venezia
Tutor: prof. Claudio Forieri

Introduzione

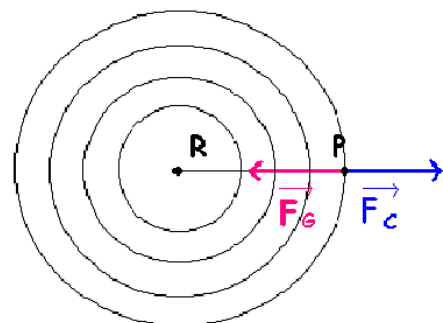
Nel corso dello stage, che si è tenuto presso l'osservatorio di Asiago nei giorni 17,18 e 19 febbraio 2005, abbiamo osservato la galassia NGC 3659 mediante il telescopio di 1,22 m del Pennar, ottenendo una serie di spettri nel visibile. Dall'analisi delle righe di emissione più intense di questa galassia abbiamo cercato di ricavare la sua massa, applicando le nozioni di fisica che avevamo appreso nei corsi di astronomia. In particolare abbiamo dovuto ricavare la curva di rotazione dell'oggetto osservato, che è risultato essere abbastanza in accordo con quella caratteristica delle galassie a spirale. Dal nostro studio, comunque, NGC 3659 è risultata essere un oggetto parzialmente asimmetrico.

La curva di rotazione delle galassie a spirale

La teoria della gravitazione universale, che abbiamo studiato in fisica ed in astronomia, ha una interessante applicazione nell'ambito delle galassie a spirale, per le quali è facile legare la velocità di rotazione, grandezza osservabile mediante effetto Doppler, con la sua massa.

Consideriamo un punto P sul disco galattico, a distanza R dal centro della galassia, che si muova di moto circolare. Esso si muove secondo la legge di Gravitazione universale e la sua accelerazione è determinata solo dalla massa interna alla sua orbita. L'equilibrio delle forze centripeta e centrifuga porta alla formula:

$$G \frac{M \cdot m}{R^2} = m \frac{v^2}{R} \quad \text{che semplificata da:} \quad M(R) = \frac{v^2 \cdot R}{G}$$



Il modello assume per la galassia una distribuzione della massa con simmetria sferica.

Obiettivi generali del nostro studio era perciò quello di determinare la velocità in vari punti di una galassia a spirale, mediante l'effetto Doppler e ricostruire così la distribuzione della massa in funzione della distanza dal centro.

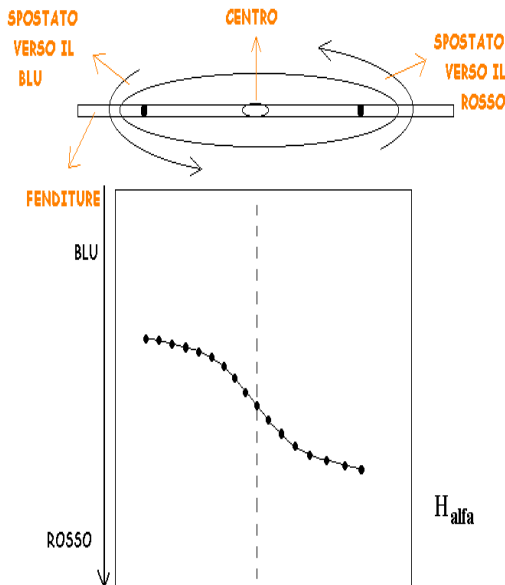
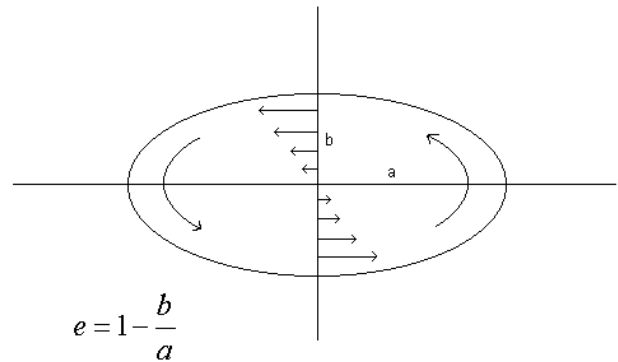
Per far questo è necessario determinare l'esatta lunghezza d'onda di alcune righe note. Inoltre sarà necessario conoscere l'esatta distanza per passare da una distanza apparente nel cielo, misurata in arcsec, alla reale distanza, misurata in pc.

La velocità di rotazione si ottiene, come sopra accennato, tenendo in considerazione che la galassia è in allontanamento secondo l'effetto Doppler, per cui le righe risultano spostate secondo la legge:

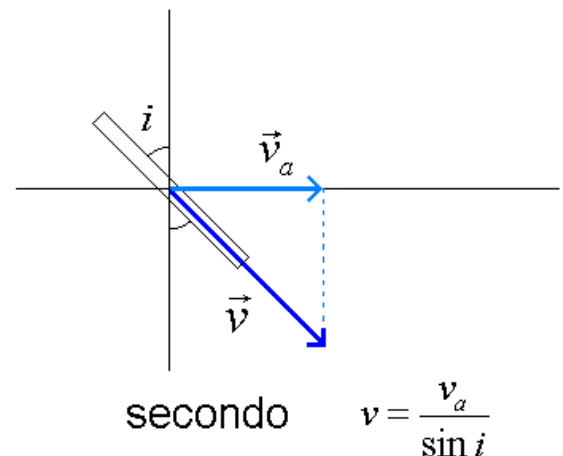
$$v = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}, \quad \text{dove } c \text{ è la velocità della luce e } \lambda \text{ e } \lambda_0 \text{ è la lunghezza d'onda della riga}$$

rispettivamente osservata e a riposo. Bisogna cioè correggere la velocità secondo il valore assunto di redshift della galassia nel suo complesso, che risulterà in allontanamento per l'espansione dell'universo.

La velocità di sistema, poi, non è uniforme in tutto il disco, perché la rotazione stessa della galassia produce diversi valori dell'effetto Doppler, assumendo quindi, come punto di riferimento, il centro della galassia.



Se poniamo la fenditura lungo l'asse maggiore della galassia, asse lungo il quale la componente della velocità di allontanamento o avvicinamento all'osservatore assume valore massimo, le righe dello spettro risulteranno inclinate come in figura a sinistra.



Inoltre dovremo tenere presente che la galassia si presenta inclinata, perciò la velocità calcolata dall'effetto Doppler rappresenta solo la componente sul nostro piano di osservazione. Per questo motivo sarà necessario effettuare una misura dei suoi semiasse apparenti. Poiché supponiamo la galassia a forma di disco circolare essi dovrebbero essere uguali, se ci appaiono differenti è solo a causa dell'inclinazione della galassia rispetto a noi.

Infine per determinare la reale massa della galassia è necessario conoscere a che distanza lineare corrisponde la distanza angolare che osserviamo nel cielo. Per far ciò determineremo la distanza della galassia tramite la legge di Hubble: $V = H_0 d$, utilizzando la velocità V di allontanamento della galassia così come risulta dalle nostre osservazioni spettrali e un valore per la costante H_0 pari a 75 km/s/Mpc.

Con questo valore di d , espresso in Megaparsec, il valore del reale raggio in parsec risulterà essere:

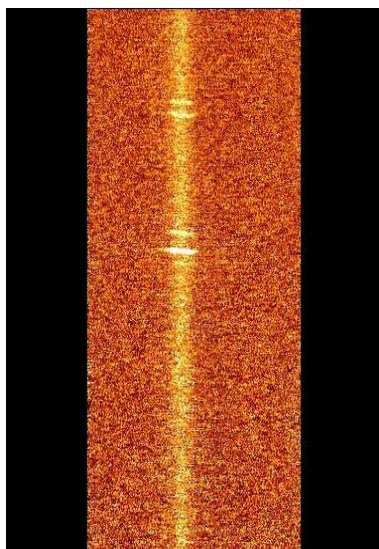
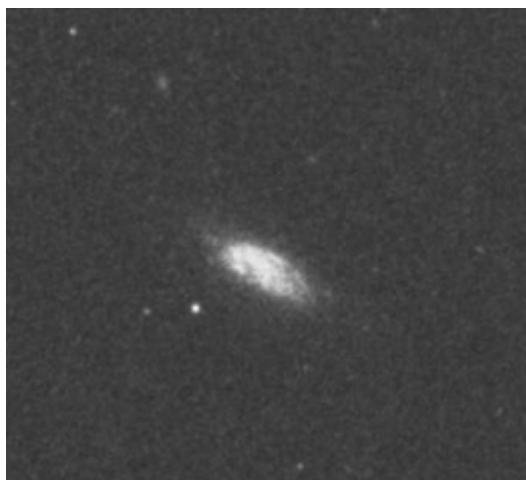
$$R = r_{(arc\ sec)} \frac{d}{0,206265}.$$

La galassia a spirale NGC 3659

La scelta di questa galassia è stata effettuata in base ad una scelta ragionata, su oggetti che nelle ore in cui avremmo osservato sarebbero stati sufficientemente alti nel cielo e sufficientemente distanti dalla Luna, che nelle notti in cui abbiamo osservato aveva già superato il primo quarto. Ci era stato richiesto che la galassia prescelta fosse di tipo Sc e sufficientemente luminosa per lo strumento utilizzato. La scelta è così caduta su NGC 3659, denominata in qualche catalogo come Thomas Wicker Galaxy. Le sue caratteristiche principali sono le seguenti:

- Ascensione retta (al 2000): 11h23m45s
- Declinazione (al 2000): +17°49'02''
- Magnitudine B= 12.7
- Morfologia= Sc/I

E' una galassia detta "a bassa luminosità superficiale".

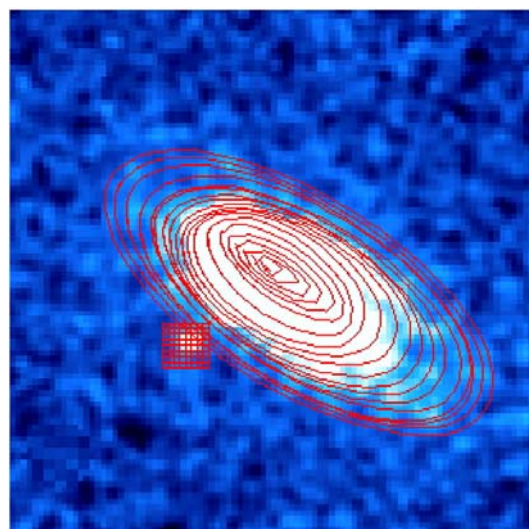


Le immagini che abbiamo analizzato sono state prese nella notte tra il 17 e il 18 febbraio 2005. Il reticolo utilizzato era quello da 1200 tratti/mm. Le immagini dell'oggetto sono state 2 con posa di 30 minuti ciascuna, con inizio alle 1h42m e alle 2h15m di U.T.. Sono state inoltre raccolte una immagine della lampada Fe-Ar, nonché quelle necessarie alla riduzione dell'immagine per bias, flat field e per il cielo.

Nella figura qui a fianco riportiamo una rappresentazione dell'immagine ottenuta dopo tutte le operazioni di riduzione. Le righe più evidenti sono, partendo dal basso, quelle dell'H α , dell' NII e del S I e II.

Già a prima vista è possibile osservare che le righe risultano essere inclinate, a causa della curva di rotazione. E' anche possibile osservare una importante asimmetria rispetto il centro della galassia, individuabile dalla linea verticale.

In questa fase del lavoro ci siamo divisi in due gruppi. Mentre uno procedeva nel lungo lavoro di riduzione delle immagini prese, mediante i programmi IRAF, l'altro cercava di determinare l'angolo di inclinazione della galassia. Per far questo venivano utilizzate delle immagini di archivio, prese nell'infrarosso. La figura mostra l'immagine finale elaborata mediante altre funzioni di IRAF. L'eccentricità è stata determinata in modo automatico tramite le isofote, ossia le righe uniscono i punti ad uguale luminosità superficiale. Per una migliore determinazione è stato necessario eliminare un oggetto esterno al corpo della galassia e mascherare un punto luminoso, che avrebbe pesantemente influito sulle nostre misure. Risulta particolarmente evidente come le diverse curve ellittiche ottenute non siano concentriche, e che la loro eccentricità aumenta allontanandosi dal centro della galassia. Questo non fa che confermare l'impressione che siamo di fronte ad una struttura complessa (vedi anche il lavoro effettuato sulla stessa galassia da D. Danese, R. Ferrara, A. Pagan, G. Grigiuolo, G. Ugliano e S.



Baldan del Liceo “Morin” di Mestre, che, osservando la densità elettronica, giungono allo stesso risultato). Per i nostri scopi abbiamo assunto per l’inclinazione un valore medio di 62° .

Risultati

Di seguito riassumiamo i dati relativi alla galassia nel suo complesso:

Velocità di allontanamento ricavata dalle diverse righe:

$H\alpha \rightarrow 1255,8 \text{ km/s}$ $NII \rightarrow 1212,7 \text{ km/s}$ $SI \text{ e } SII \rightarrow 1299,6 \text{ km/s}$

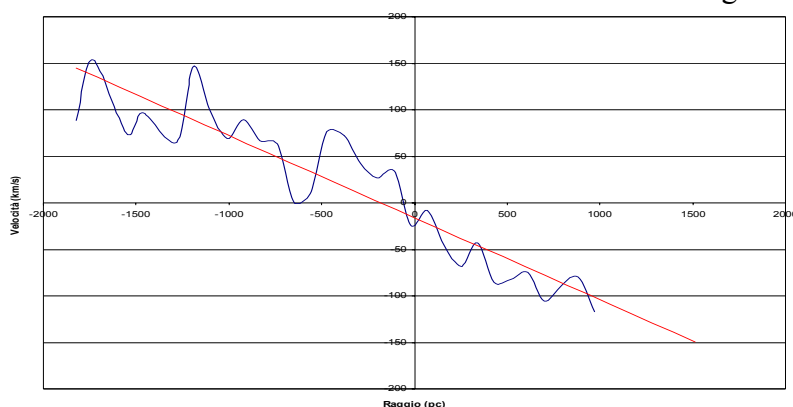
Velocità media di allontanamento $\rightarrow 1256,0 \text{ km/s}$

Distanza = $16,75 \text{ Mpc}$;

Unità di conversione: $81,19 \text{ pc/arcsec}$ (dalla distanza della galassia); $1,11 \text{ arcsec/pixel}$ (dalle caratteristiche dello strumento) $\rightarrow 90,1 \text{ pc/pixel}$

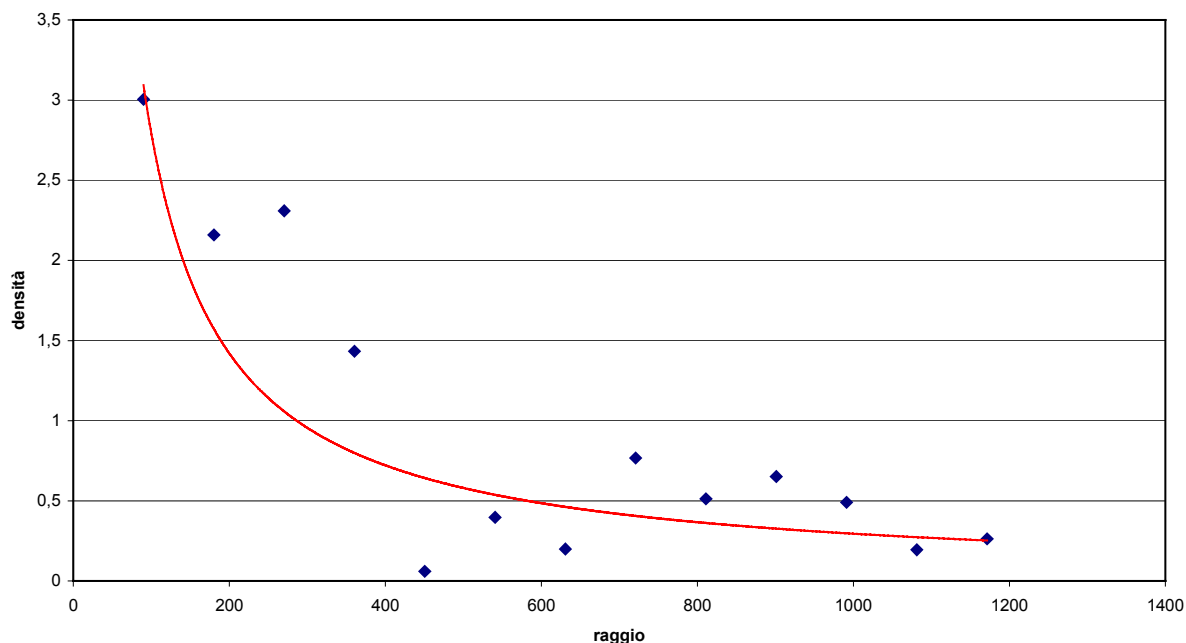
Il grafico successivo riassume i dati della velocità di rotazione ricavati mediante le diverse righe.

La linea rossa interpola linearmente le misure. Questo grafico mostra che la parte della galassia osservata ruota come un corpo rigido: la velocità di rotazione aumenta proporzionalmente con la distanza dal centro. Questo è il comportamento che è osservato per tutte le galassie spirali.



Dallo spostamento Doppler delle righe, utilizzando il procedimento sopra illustrato, è possibile calcolare la massa interna a ciascuna posizione osservata. Se calcoliamo la massa per un punto alla distanza di 1800 pc dal centro galattico, e avente velocità di rotazione di 150 km/s , questa risulta essere $9,4 \cdot 10^9$ masse solari.

Considerando poi il volume entro cui la massa è concentrata, abbiamo calcolato anche la densità di massa, espressa in Masse solari per parsec cubico. Di queste ultime misure riportiamo un grafico.



Come era da attendersi, la concentrazione della massa cresce molto rapidamente avvicinandosi al centro della galassia.

Conclusioni

Il nostro stage ci ha permesso di applicare quanto avevamo appreso nelle lezioni di fisica e di astronomia a dati che noi stessi avevamo raccolto. Buona parte del nostro lavoro non traspare da questo articolo, perché è consistita nella riduzione dei dati. Abbiamo conosciuto molte procedure anche complesse e abbiamo dovuto imparare ad usarle molto velocemente; di questo lavoro abbiamo fatto solo un cenno, in quanto si tratta di operazioni ben note e sulle quali altri gruppi hanno relazionato in modo particolareggiato.

Ringraziamenti

Vogliamo ringraziare i professori. Enrico Maria Corsini e Alessandro Pizzella del Dipartimento di Astronomia e il prof. Antonio Tegov, del Liceo Scientifico Statale “Morin” di Mestre, che ci hanno seguito con pazienza durante tutto lo stage. Più in generale tutto il Dipartimento di Astronomia dell’Università di Padova, il suo Direttore in particolare, e il nostro Liceo che ci hanno dato questa opportunità.

Con quanto appreso siamo stati in grado di fare bene e senza fatica le interrogazioni di geografia astronomica. Forse, e ci pare più importante, la nostra visione dell’astronomia è risultata più “fisica” e meno descrittiva dopo aver seguito questo stage.