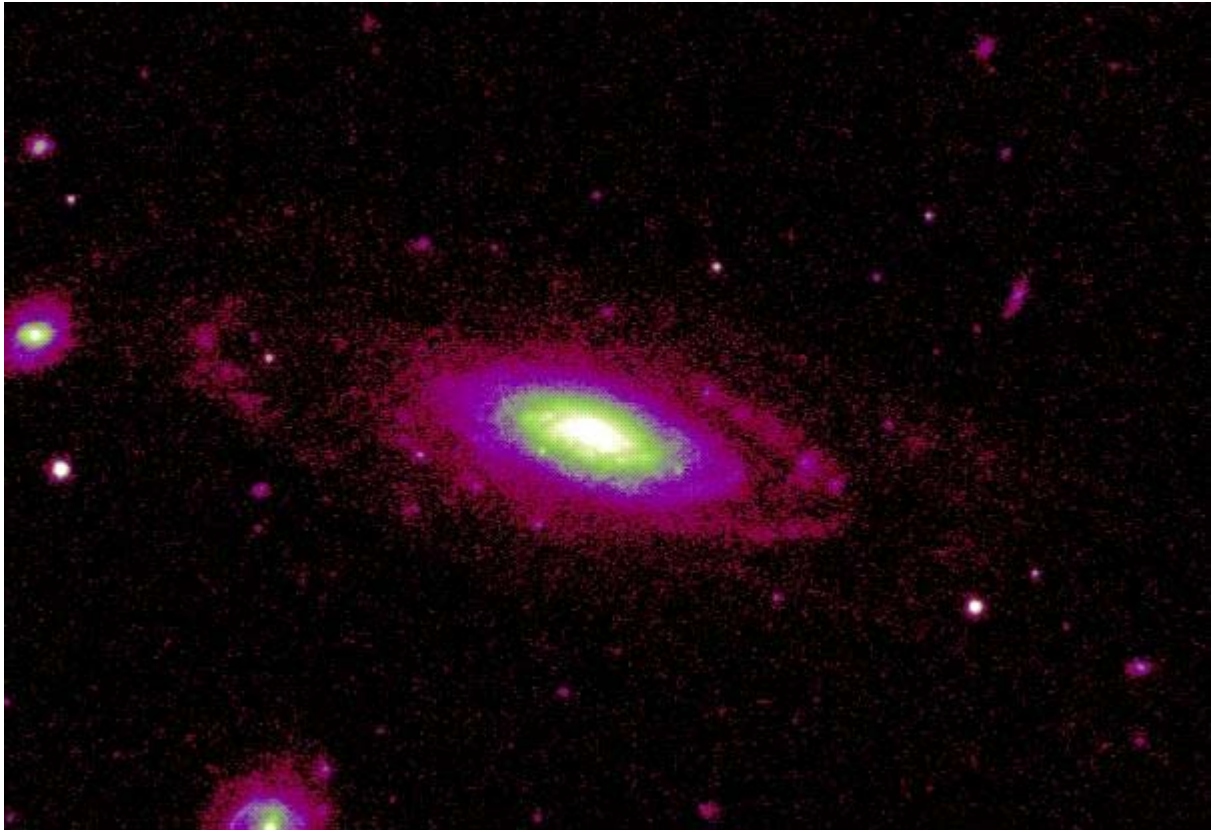


# *Studio della galassia IC0673*



*A cura di:*  
*Daniele Enrico*  
*Sandei Ludovica*  
*Zanardo Enrico*  
*(Liceo Scientifico "E. Fermi")*  
*Mazzuccato Federico*  
*(Liceo Scientifico "C. Cattaneo")*

## Introduzione

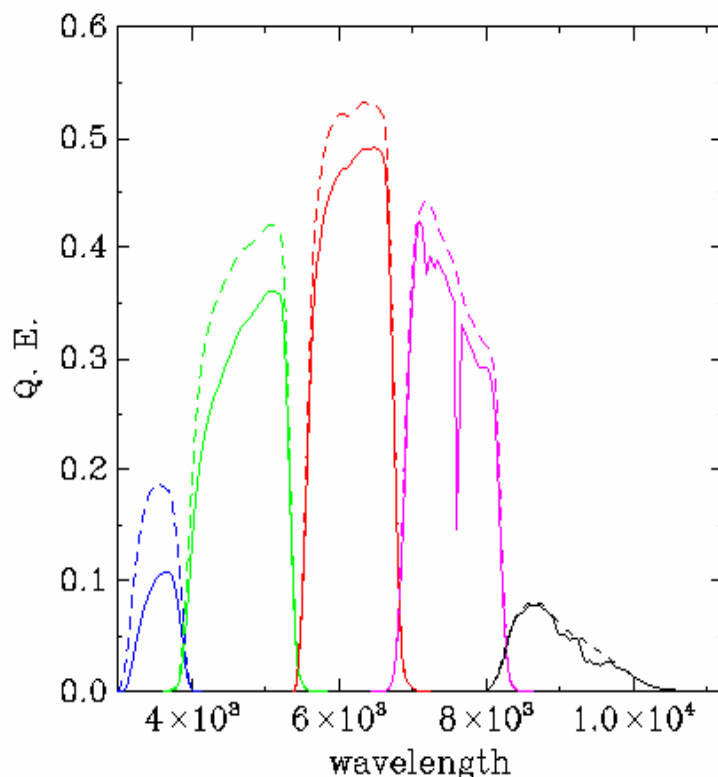
Durante lo stage presso l'Osservatorio Astrofisico di Asiago, sulla cima Pennar, abbiamo avuto a disposizione alcune immagini della galassia IC0673, ottenute da un archivio di dati astronomici disponibile in rete. Il nostro lavoro è consistito nell'utilizzo di alcune funzioni di un software per lo studio di queste immagini, e nell'applicazione di nozioni teoriche ai dati ottenuti. In questo modo siamo stati in grado di determinare alcune proprietà della galassia, sia dal punto di vista morfologico, che energetico, che fisico. Nella nostra tesina procederemo da un'analisi dei presupposti teorici ad uno studio sperimentale dei dati.

## Strumenti utilizzati

Nello studio della galassia vengono analizzate una serie di immagini rilevate con un CCD (strumento collegato al telescopio vero e proprio che, esposto alla luce degli oggetti da osservare, viene impressionato dai fotoni riproducendoli in file .fits elaborabili attraverso software che ne descrivono la posizione e la luminosità) che permette di studiare la struttura sotto esame.

Nel caso dello studio di una galassia si analizzano le immagini in diverse bande fotometriche: ponendo tra l'oggetto e l'osservatore dei filtri è possibile selezionare il tipo di radiazione luminosa che impressionerà il rivelatore. Usando questi filtri si può disporre di più file che rappresentano la galassia in base alla sua luminosità in intervalli di frequenza diversi.

I filtri solitamente usati per lo studio morfologico sono detti "a banda larga" in quanto permettono di rivelare fotoni a frequenza molto diverse. In questo modo la radiazione nel visibile (che va da 3500 a 8000 Angstroms) viene recepita con cinque filtri diversi denominati da cinque lettere (U, G, R, I, Z) ed identificati da cinque intervalli di frequenza.



Lo studio di queste immagini avviene attraverso un'analisi delle luminosità dei pixel (ossia l'intensità della radiazione luminosa in un intervallo di frequenze in un dato pixel) nelle varie immagini rilevate.

# 1) Studio morfologico di una galassia – Presupposti teorici

Ipotizzando le galassie a simmetria sferica si può supporre che punti ad uguale luminosità si trovino lungo delle ellissi (che rappresentano circonferenze viste in prospettiva): queste ellissi interpolano tutti i punti ad uguale intensità luminosa e per questo le linee individuate sono dette “isofote”.

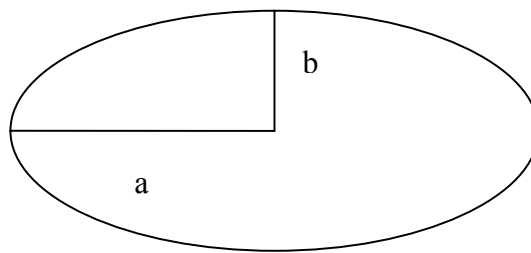
Dall’analisi di ellitticità, angolo di posizione (PA) e semiasse maggiore (SMA) si può individuare la posizione di oggetti a medesima intensità e quindi descrivere la morfologia della galassia.

1) Ellitticità. L’ellitticità è il valore che, espresso in funzione degli assi dell’ellisse, ne descrive la forma.

La formula dell’ellitticità “e” è la seguente:

$$e = 1 - \frac{b}{a}$$

Un’ellisse sarà detta molto ellittica nel caso in cui il rapporto tra b ed a sia molto piccolo (quando quindi la forma è molto schiacciata) mentre un’ellisse sarà poco ellittica nel caso contrario.



2) Angolo di posizione (PA). Il PA dà l’orientazione delle ellissi nel piano del cielo. E’ l’angolo formato tra l’asse maggiore delle ellissi che rappresentano le isofote e la direzione Nord-Sud.

Il PA si calcola positivamente da nord verso est e negativamente da nord verso ovest (in questo modo il sud è rappresentato dai valori +180 o meno 180 indifferentemente).

3) Semiasse maggiore (SMA, semi-major-axis). Il semiasse maggiore delle isofote rilevate rappresenta la distanza dal centro della galassia del punto più lontano di ogni ellisse e si calcola in arcsec o parsec.

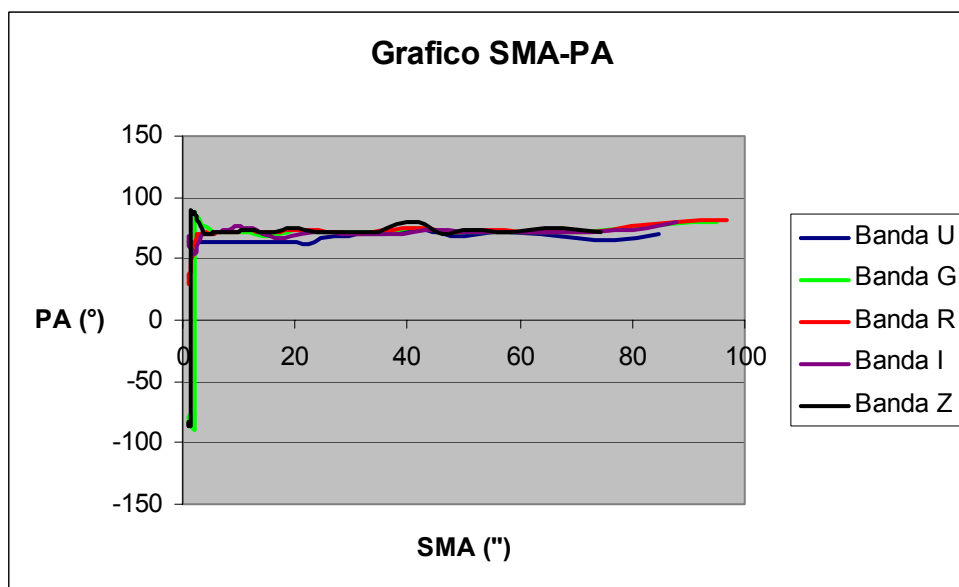
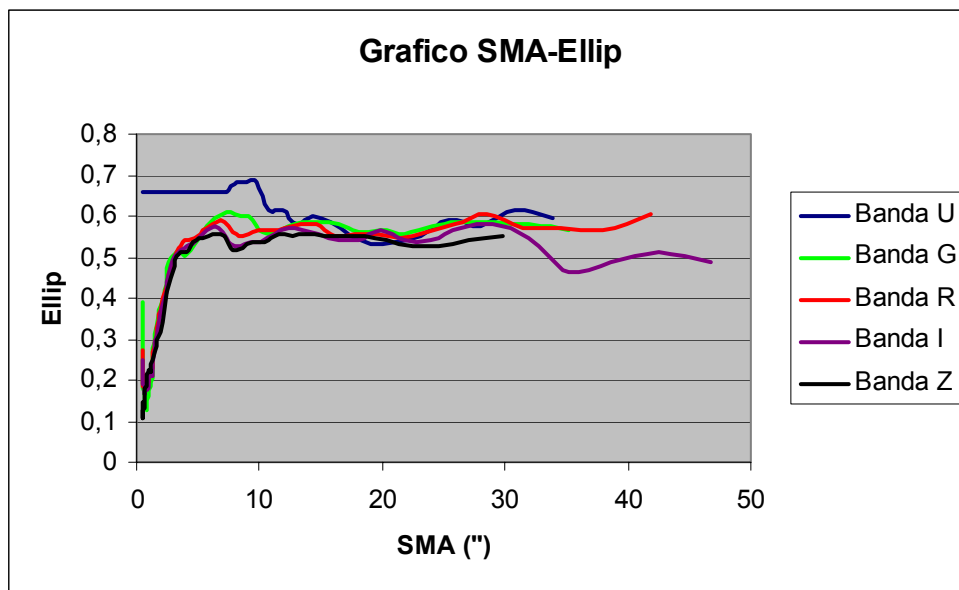
Il valore del semiasse maggiore è la variabile che viene confrontata con i valori di PA ed ellitticità. Perciò il primo passo nella definizione della morfologia di una galassia è l’analisi dei grafici con in ascissa l’SMA ed in ordinata prima l’ellitticità e poi il PA.

## a) Studio morfologico della galassia IC0673

Abbiamo avuto a disposizione cinque immagini (una per banda, come già detto) della galassia IC0673, galassia relativamente vicina alla Terra osservata dall' Apache Point Observatory del Nuovo Messico del Sud (Latitudine  $32^{\circ} 46' 49.30''$  N, Longitudine  $105^{\circ} 49' 13.50''$  W, altitudine 2788m). Il telescopio è un Ritchey-Chretien di 2.5 m di diametro.

Grazie al software IRAF abbiamo ricavato le isofote in ogni banda e quindi abbiamo tabulato i valori di PA, ellitticità apparente e SMA. Successivamente abbiamo disegnato i grafici che esprimono i valori di PA ed ellitticità in funzione della distanza dal centro della galassia.

I grafici ottenuti sono i seguenti



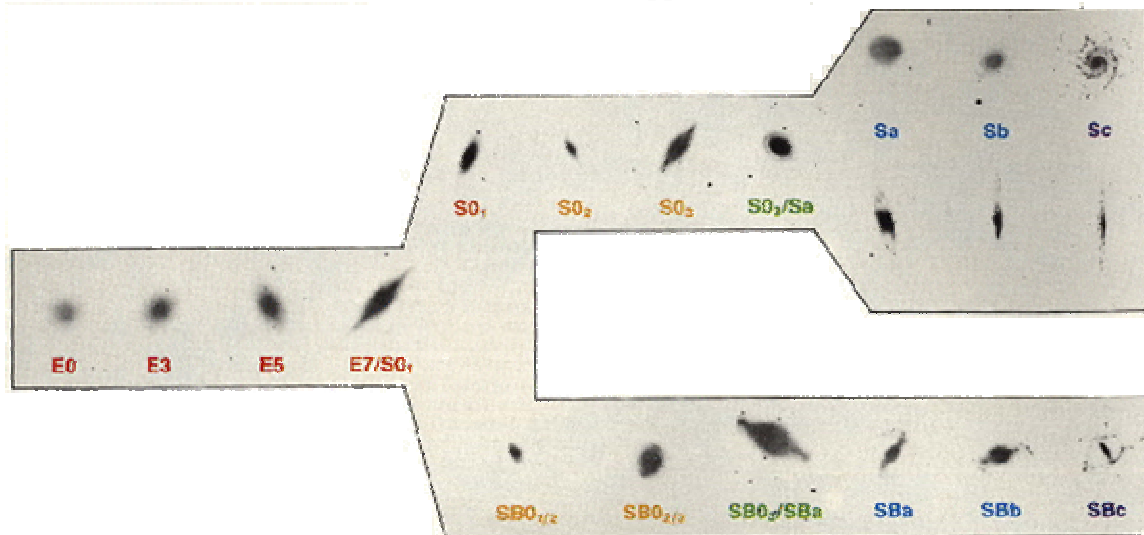
Il primo grafico evidenzia l'andamento dell'ellitticità in funzione del SMA, mentre il secondo in ordinata riporta i valori del PA, sempre in funzione del SMA (in secondi d'arco). In questi grafici compaiono i parametri delle isofote di ogni banda non tanto perché sia utile allo studio morfologico della galassia una comparazione tra le varie immagini, quanto perché riportando più linee si minimizza l'errore che può essere causato da una scorretta analisi della luminosità da parte del software utilizzato.

Nell'analisi di questi grafici bisogna ignorare l'andamento delle linee interpolanti per SMA molto piccoli, poiché le isofote molto prossime al centro della galassia sono in genere quasi circolari e quindi è difficile determinarne il comportamento preciso.

Se invece osserviamo l'andamento delle linee interpolanti ad un raggio sufficientemente grande (12''-13'' ca.) notiamo che i valori di ellitticità e PA variano poco ed in base a questi dati possiamo dedurre che la struttura non presenta barre (se avesse barre noteremmo dei valori del PA molto diversi per un tratto relativamente breve del grafico) e, in corrispondenza dei bracci, valori simili a quelli del bulge.

Il profilo regolare evidenzia inoltre che la galassia non può essere qualificata come ellittica, poiché questo tipo di galassie ha il profilo dell'ellitticità variabile in funzione del raggio, cosa che non avviene nel nostro grafico.

A questo punto proponiamo lo schema riassuntivo della classificazione di Hubble ed, in base ai dati ottenuti possiamo ipotizzare la classe di galassie a cui appartiene la IC 0673.



Possiamo quindi concludere da questa prima parte di analisi che la galassia è una spirale non barrata, appartiene quindi a gruppo Sa-Sb-Sc: per stabilire a quale di questa classe appartenga bisogna passare ad un'analisi del bulge e dei bracci. In una Sa, ad esempio, avremmo un bulge prominente ed i bracci molto avvolti attorno al nucleo, al contrario le Sc presenteranno un bulge piccolo ed i bracci poco avvolti. Solo dopo lo studio della brillantezza della galassia potremmo quindi darne una classificazione sicura.

## 2) Studio della luminosità di una galassia – Presupposti teorici

Per analizzare la luminosità della galassia si utilizza una grandezza diversa, la brillantezza superficiale, attraverso cui i dati rilevati dal CCD sono meglio utilizzabili e non si presentano errori sistematici.

### Brillantezza superficiale

Per ciascun punto di una sorgente luminosa estesa si definisce come brillantezza superficiale il rapporto tra il flusso e l'angolo solido unitario,

$$I = \frac{F}{\Omega} \text{ (è l'intensità superficiale in unità lineari - } L_{\odot} \text{ pc}^{-2} \text{ )}$$

Supponiamo infatti di avere una sorgente con una luminosità  $L$  posta a distanza  $d$  dall'osservatore. Si sa che quando questa luce ha raggiunto l'origine in cui è posto l'osservatore, è distribuita su una sfera di superficie  $4\pi d^2$ , e quindi il flusso che si misura è:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

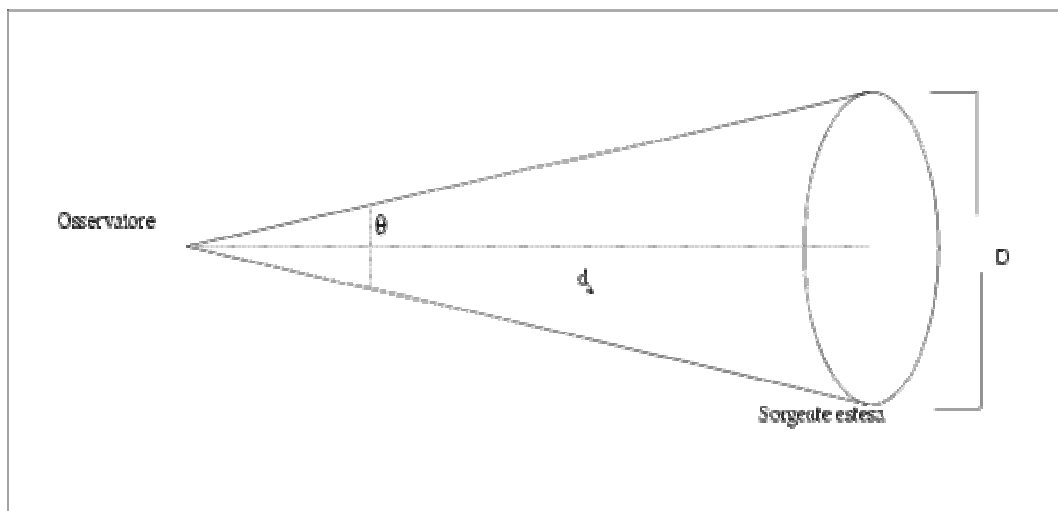
Inoltre, sappiamo che l'angolo solido sotteso dalla sorgente è uguale all'area della sorgente estesa divisa per il quadrato della distanza tra la sorgente stessa e l'osservatore:

$$\theta = \frac{A}{d^2}$$

Si dimostra che l'intensità superficiale nell'universo locale non dipende dalla distanza, infatti:

$$I = \frac{F}{\theta} = \frac{L/4\pi d^2}{A/d^2} = \frac{L}{4\pi A}$$

dove  $F$  è il flusso misurato dall'osservatore,  $L$  la luminosità della sorgente,  $A$  l'area della sorgente,  $d$  la distanza dall'osservatore e  $\theta$  l'angolo solido sotteso dalla sorgente.



Passando ad unità logaritmiche si ottiene la brillantezza superficiale

$$\mu = -2,5 \times \log(I) + k$$

In realtà la brillantezza superficiale è meglio definita come

$$\mu = -2,5 \log\left(\frac{I - I_{cielo}}{t_{exp} \times Area}\right) + k$$

dove Area è misurata in unità di arcsec<sup>2</sup>. Se la sorgente ha un'estensione lineare D e si trova a distanza d dall'osservatore, la sua estensione angolare in radianti è approssimativamente  $\theta = D/d$ , mentre in arcsec vale  $D/d \times 206265$ .

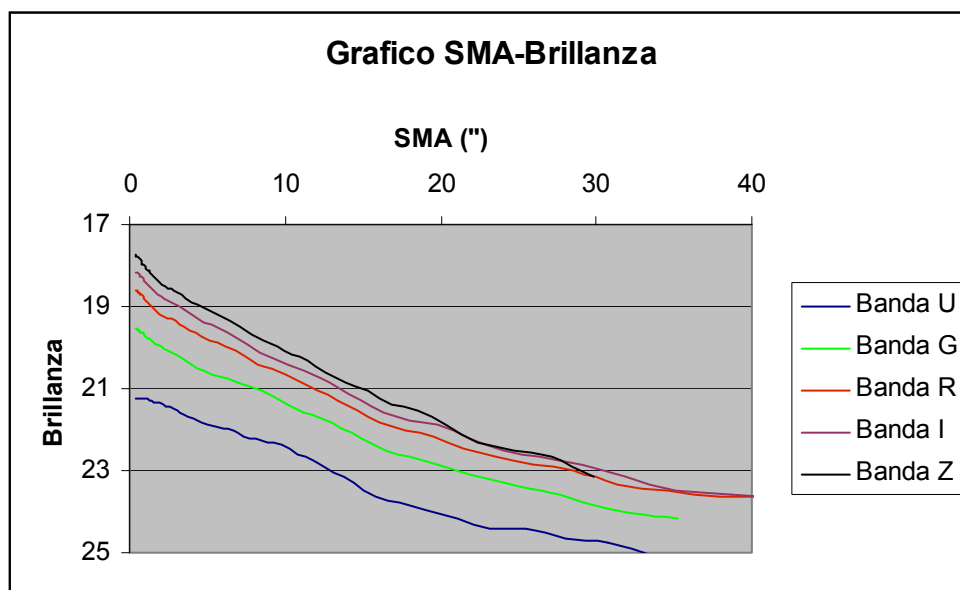
L'unità di misura della brillantezza superficiale è  $[\mu] = \text{mag arcsec}^{-2}$ .

Nella formula si tiene conto che la brillantezza calcolata dal rivelatore CCD è data dalla somma della brillantezza del cielo e di quella della galassia. E' utile quindi stimare una brillantezza media del cielo e sottrarla alla brillantezza I rilevata per avere la brillantezza relativa della galassia. Inoltre, poiché il numero di fotoni ricevuti dal CCD sarà maggiore per maggiori tempi di esposizione è necessario inserire il valore "t<sub>exp</sub>" al denominatore dell'argomento del logaritmo.

## a) Studio della Brillantezza della galassia IC 0673

Il grafico  $\mu$ -SMA evidenzia una curva che si chiama profilo di brillantezza superficiale e descrive l'andamento della brillantezza superficiale in funzione della distanza dal centro.

Abbiamo calcolato i valori della brillantezza in tutte le immagini di cui disponevamo. E' utile incominciare lo studio della brillantezza dal grafico che comprende tutte e cinque le curve ottenute, in modo da valutare complessivamente l'andamento della brillantezza della galassia.



Si nota dal grafico che la brillantezza segue un andamento decrescente dal centro verso l'esterno della galassia determinato da una progressiva diminuzione della luminosità. Poiché la scala di brillantezza è

logaritmica, si capirà che la luminosità diminuisce moltissimo procedendo dal bulge verso l'esterno. La ripidità con cui la curva scende a valori di SMA piccoli è indice della grandezza del bulge, la nostra galassia sarà quindi dotata di un bulge piuttosto piccolo, la curva ha infatti inclinazione minima (tenendo conto che le curve sono tutte comprese tra un massimo di 18 ca. ed un minimo di 25).

Un'altra considerazione utile è quella del rapporto tra le immagini nelle bande diverse: con il software Xiraf abbiamo potuto sottrarre quella nella banda Z a quella nella banda U, in questo modo si può analizzare quantitativamente la prevalenza di stelle che emettono ad alte temperature o di stelle più fredde. Dato che questa parte di studio non è stato condotto a termine ci limiteremo ad analizzare qualitativamente il grafico sopra proposto. Si noterà certo che la curva nera, che rappresenta la brillantezza dell'immagine sensibile alle onde elettromagnetiche di circa 8000 Å, è in ogni punto della galassia più alta di tutte le altre ed allo stesso modo la linea blu è sempre la più bassa.

Notando questa costanza nella galassia, possiamo capire che le stelle più fredde (quelle che per la legge di Wien irradiano a lunghezze d'onda più alte) saranno più presenti rispetto alle stelle calde e considerando poi che la temperatura di una stella è proporzionale alla luminosità assoluta (teorema di Stephan Boltzman), capiamo che saranno maggior presenti stelle piccole. Inoltre, poiché la maggior parte di stelle apparterrà alla classe K o M, possiamo dire che nel bulge troviamo più stelle vecchie che giovani.

Questa serie di ipotesi, non necessita di un'analisi quantitativa anche se attraverso la sottrazione operata dal programma si possono trovare informazioni più precise ed interessanti.

### 3) Studio dello spettro di una galassia e analisi della velocità di recessione – Presupposti teorici

- 1) Effetto Doppler: le onde emesse da un corpo in movimento mutano le loro caratteristiche. Lo spostamento verso l'osservatore di un corpo irradiante provoca un addensamento delle onde e quindi rende la lunghezza dell'onda emessa minore di quella che avrebbe se il corpo fosse fermo. Allo stesso modo un corpo in allontanamento provoca l'effetto opposto: la lunghezza d'onda aumenta proporzionalmente alla velocità di recessione mutando l'aspetto dell'onda stessa. Nel nostro caso tratteremo onde luminose, quindi l'effetto da considerare sarà il cambiamento di colore: nel primo caso avremo un blue-shift (spostamento di una linea dello spettro verso l'ultravioletto, causato da una diminuzione della lunghezza d'onda), nel secondo, più interessante per oggetti come le galassie si parlerà invece di red-shift (analogamente avremo uno spostamento delle linee verso l'infrarosso). In termini quantitativi si avrà la seguente equazione:

$$\frac{\lambda_{\text{osser}} - \lambda_{\text{lab}}}{\lambda_{\text{lab}}} = \frac{v}{c}$$

Il cambiamento della lunghezza d'onda di una riga dello spettro, diviso per la lunghezza d'onda dell'oggetto fermo è uguale al rapporto tra la velocità di recessione dell'oggetto emittente e la velocità della luce (trattandosi di onde luminose).

- 2) Sapendo inoltre che lo spettro è il prodotto degli spettri delle stelle che compongono la galassia, possiamo analizzarne alcune caratteristiche. Le righe di assorbimento sono originate dai gas che costituiscono l'atmosfera stellare e che assorbono parte della radiazione del nucleo, mentre le righe di emissione evidenziano la presenza di gas interno alla galassia che, riscaldato da stelle molto energetiche (di tipo O, B o A), viene ionizzato. In questo modo il moto caotico degli elettroni, darà origine a righe di emissione nello spettro.

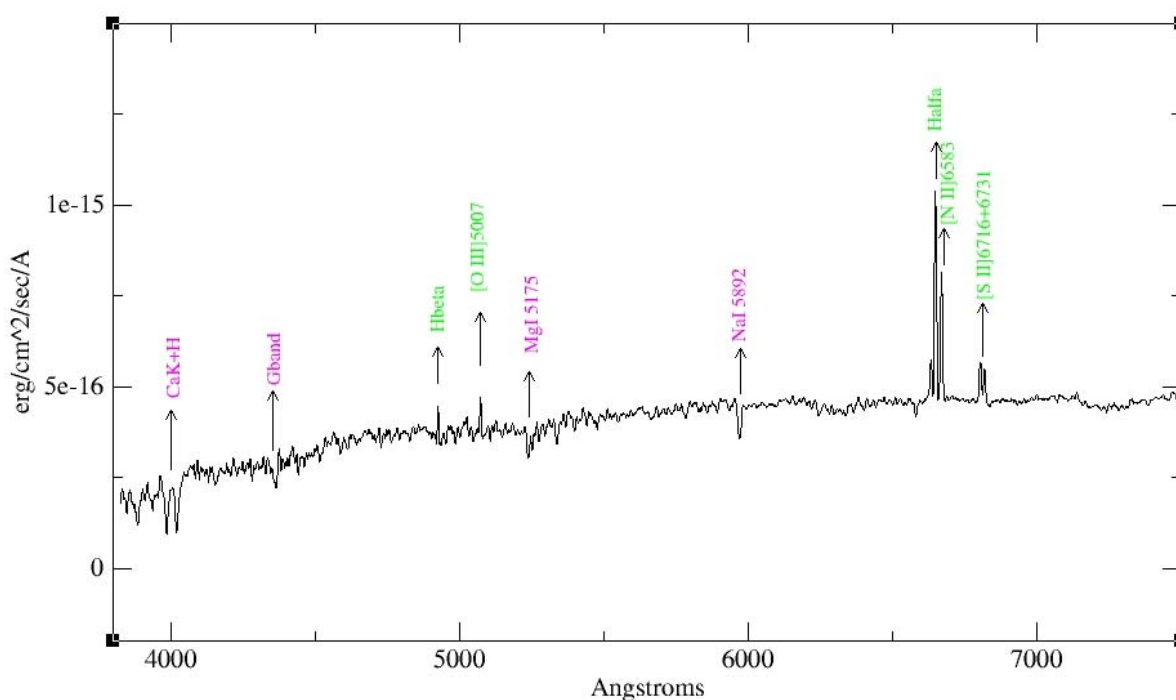
- 3) Legge di Hubble, che determina la proporzionalità diretta tra la velocità relativa di un oggetto e la sua distanza dall'osservatore:

$$v = H_0 d$$

## a) Studio dello spettro della nostra galassia IC 0673

Lo spettro di cui disponevamo ad Asiago copre un diametro di 3", quindi non comprende che il nucleo della galassia. Per questo la nostra analisi deve limitarsi al nucleo stesso: non ci sarà possibile analizzare la velocità di rotazione della galassia perché non ci è possibile calcolare le velocità tangenziali dei punti esterni della galassia.

Con il software IRAF abbiamo misurato lo spettro riportato nel grafico sotto. Abbiamo identificato le principali righe in emissione e in assorbimento presenti nello spettro.



Nel grafico sono già state indicate le righe di emissione (in verde) e di assorbimento (in viola).

Gli spettri di emissione evidenziano la presenza di gas fotoionizzati e questo ci porta a supporre che ci siano stelle calde ed energetiche (e quindi giovani) che riscaldano i gas di cui vediamo le emissioni (H, N, O, ecc...) fino a causare la transizione degli elettroni che emette radiazione elettromagnetica. Siccome non riusciamo a vedere in dettaglio cosa emette quelle righe, non possiamo affermare che tali righe di emissione derivino esclusivamente da atmosfere di stelle calde, ma dobbiamo supporre che possano derivare anche da nebulose, o comunque nubi di gas di H, He e elementi pesanti, riscaldate e ionizzate da stelle brillanti.

Bisogna anche considerare le righe di assorbimento, che al contrario sono originate dai gas delle atmosfere stellari che trattengono le radiazioni a determinate lunghezze d'onda. Si nota infatti che sono assorbite le linee di CaK+H, ed il fatto che dei metalli si trovino nelle atmosfere è segnale di stelle di I popolazione, poiché le stelle di II popolazione non hanno metalli, in quanto la formazione dei metalli avviene solo dopo lo scoppio dei nuclei.

La presenza di righe di assorbimento corrobora le ipotesi proposte nello studio del profilo di brillantezza: nella galassia saranno presenti stelle piccole e quindi poco luminose, di conseguenza saranno anche poco energetiche (non in grado di ionizzare i metalli delle atmosfere stellari). Questi

dati ci portano a pensare che si tratti di stelle vecchie, nelle fasi finali della loro vita. D'altro canto la presenza di righe di emissione evidenzia anche la nascita di nuove stelle, che, essendo più energetiche delle altre vecchie permettono la ionizzazione dei gas.

## b) Analisi della recessione, della distanza e del volume della galassia IC 0673

Per un'analisi cinematica della galassia – recessione, distanza, volume - è necessario misurare la posizione delle righe e confrontarle con il loro valore per una sorgente a riposo (red-shift).

Dall'analisi dello spettro emerge che la riga  $H\alpha$  ha lunghezza d'onda uguale a 6649 Å, quindi ricordando che la lunghezza d'onda a riposo è 6563 Å, avremo che:

$$\Delta\lambda = +86 \Rightarrow \frac{86}{6563} = \frac{v}{c} \Rightarrow v \cong 3900 \text{ km/s}$$

Una volta trovata la velocità reale è possibile individuare la distanza della galassia in Mpc utilizzando la già citata legge di Hubble:

$$H_0 = 75 \text{ km/sec/Mpc} \Rightarrow d = 3930 / 75 \cong 52 \text{ Mpc}$$

Se  $D$  è la dimensione lineare corrispondente a 1 arcsec sulla galassia, sapendo quanto vale la distanza e sapendo che 1 radiante = 206265 arcsec, si può calcolare la scala in kpc/'' :

$$s = 52 / 20265 \approx 0,25 \text{ kpc /''}$$

Visto che il massimo raggio angolare di estensione della galassia corrisponde a circa 35'', la galassia ha un raggio di circa 9 kpc.

## Conclusioni

In conclusione possiamo riassumere i risultati ottenuti attraverso lo studio della galassia:

- 1) La galassia appartiene alla classe Sc, poiché è a spirale ed il **bulge** è molto piccolo (dato ottenuto in parte dallo studio morfologico ed in parte dall'analisi della brillantezza);
- 2) La galassia ha PA ed ellitticità che non variano molto al variare del semiasse maggiore (valori ottenuti dalla tabulazione dei dati forniti dal software IRAF);
- 3) La galassia ha SMA di circa 9 kpc (valore ottenuto dall'analisi delle immagini e dall'uso della scala tra secondi e kpc);
- 4) La galassia si trova ad una distanza di circa 52 Mpc e si allontanava con una velocità di 3900 Km/s (valori ottenuti con l'applicazioni dell'equazione del red-shift e della legge di Hubble).