

IL CIELO COME LABORATORIO

RELAZIONE FINALE:

**STUDIO MORFOLOGICO
DI UNA GALASSIA A SPIRALE
(GALASSIA NGC2913)**

LICEO E. CURIEL

Lazzaro Giacomo, Paoli Elisa, Reschiglian Marco, Riello Aldo

25-28 gennaio 2006

INTRODUZIONE

Nei giorni dal 25 e al 28 gennaio 2006 abbiamo partecipato ad una attività di stage presso l'Osservatorio astronomico di Asiago, a conclusione del corso di approfondimento pomeridiano di otto lezioni organizzato dal Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova per i ragazzi delle scuole superiori.

In particolare abbiamo avuto modo di mettere in pratica le conoscenze teoriche acquisite durante il corso, partecipando in maniera concreta alle operazioni di catalogazione, descrizione, organizzazione ed interpretazione dei dati fisico-astronomici derivanti dall'osservazione del cielo.

L'attività a noi proposta dai professori Cioi e Di Mille riguardava la descrizione del carattere morfologico di una galassia. Purtroppo il cattivo tempo che ha accompagnato il nostro soggiorno non ci ha permesso di lavorare su dati acquisiti direttamente dal telescopio dell'Osservatorio. Abbiamo quindi dovuto analizzare dati e immagini presenti nell'archivio pubblico della "Sloan Digital Sky Survey" (SDSS).

SCOPO

Al nostro gruppo è stata assegnata la galassia a spirale NGC2913. Di essa dovevamo studiare alcuni caratteri morfologici quali brillantezza, position angle, ellitticità, velocità di allontanamento e dimensione in kpc.

PARTE PRIMA: CENNI TEORICI DI BASE

Sappiamo che una galassia corrisponde ad un enorme conglomerato di centinaia, migliaia o addirittura decine di migliaia di miliardi di stelle. Il suo aspetto ricorda quello di un disco con una concentrazione di stelle più alta al centro, che nella maggior parte dei casi forma un nucleo molto evidente (*bulge*).

La classificazione più usata è la cosiddetta classificazione di Hubble (1925).

Egli distinse le galassie in quattro famiglie:

- galassie ellittiche (E0-E7): hanno una forma apparente ellittica più o meno schiacciata.
- galassie lenticolari: presentano un bulge centrale e un disco senza evidenti bracci di spirale
 - o normali (S0)
 - o barrate (SB0)
- galassie spirali: hanno un bulge centrale e un disco con evidenti bracci di spirale
 - o normali (Sa-b-c)
 - o barrate (Sba-b-c)
- galassie irregolari: hanno poca o nessuna simmetria.

Gli strumenti che abbiamo per l'analisi di questi dati sono le immagini raccolte della galassia e lo spettro.

Nel nostro caso, le immagini sono state ottenute tramite un dispositivo chiamato CCD: una camera costituita principalmente di chip al silicio sensibili alla luce, la quale trasforma i fotoni che arrivano sulla superficie del chip in segnali elettronici digitali che sono usati per ricreare le immagini di oggetti astronomici e analizzare quanta luce viene emessa da questi oggetti.

In questo modo dall'immagine ricaviamo informazioni:

- di ordine geometrico: forma, dimensioni;
- di ordine fisico: luminosità.

Il programma che abbiamo utilizzato per l'analisi delle immagini della nostra galassia ci ha consentito di calcolare alcuni dati fondamentali per la descrizione della galassia:

- la forma della galassia;
- l'angolo di posizione: in astronomia è l'angolo di un punto del bordo del disco di un corpo celeste, misurato a partire dal punto Nord ed in direzione del punto Est;
- la misura degli assi minori e maggiori;
- l'ellitticità: definita come il rapporto tra la distanza tra i fuochi e l'asse maggiore di una ellisse.
- le coordinate del centro della galassia.
- la luminosità di ogni singolo pixel dell'immagine, che corrisponde al numero di fotoni percepiti dal pixel stesso nel tempo di osservazione.

Le immagini che analizziamo sono ottenute tramite l'utilizzo di diversi filtri: questi sono detti a banda larga e consentono di visualizzare le emissioni del soggetto dell'immagine a diversi intervalli di lunghezze d'onda.

A partire da questi dati possiamo introdurre alcuni concetti fondamentali per il proseguo delle osservazioni quali brillantezza e isofota.

Entrambi costituiscono parte integrante della descrizione della galassia, in quanto ci permettono di definirne la struttura interna con maggior precisione, permettendoci di individuare le zone in cui sono più presenti stelle giovani rispetto a quelle vecchie e le zone di formazione stellare.

Per **brillantezza** si intende la magnitudine visuale media di un'area ampia un secondo d'arco quadrato della porzione illuminata. Questo dato non è identico alla luminosità per pixel di cui abbiamo parlato precedentemente ma rappresenta il risultato di una procedura matematica (che spiegheremo in dettaglio nella parte pratica della relazione) che tiene conto dell'emissione media del cielo, dell'area di un pixel e del tempo di esposizione dell'oggetto osservato.

La linea che collega ed unisce tutti i punti della galassia caratterizzati da identica brillantezza viene detta **isofota**. In astronomia le isofote sono usate nello studio della distribuzione della luminosità sulla superficie delle sorgenti estese come per esempio la galassia che stiamo considerando.

I dati che fino ad ora abbiamo trattato sono stati prelevati direttamente dalle immagini tramite i diversi filtri a banda larga.

Passiamo ora all'importanza dello **spettro del bulge** della galassia. Nel nostro particolare caso abbiamo utilizzato questo strumento per calcolare la distanza e la velocità della galassia.

Per far questo è stato necessario analizzare il **redshift** presentato dalla galassia nello spettro: con redshift intendiamo lo spostamento dello spettro verso lunghezze d'onda maggiori, a causa dello stiramento delle onde della radiazione elettromagnetica provenienti da un corpo in allontanamento rispetto al punto di osservazione. Dal redshift possiamo risalire alla velocità di allontanamento di una galassia e alla sua distanza. Il rapporto tra tale velocità e la distanza è stato determinato nel 1929 da Hubble che mise in luce la relazione di proporzionalità diretta tra le due grandezze e cercò di calcolarne il rapporto costante che appunto prende il nome di costante di Hubble.

Una volta acquisite queste conoscenze teoriche di base, approfondiamo i concetti toccati all'interno della specifica attività svolta presso l'Osservatorio.

PARTE SECONDA: APPLICAZIONE PRATICA SULLA GALASSIA NGC2913

La galassia studiata si chiama NGC2913 ($\alpha = 143.51^\circ$; $\delta = 9.48^\circ$). Si tratta di una galassia a spirale di tipo “c”, appartenente alla costellazione del Leone.

Abbiamo ricavato dati e immagini dal sito della “Sloan Digital Sky Survey” (www.sdss.org/dr4).

FILTRI A BANDA LARGA

Per poter eseguire uno studio approfondito dei tipi stellari che popolano la galassia, abbiamo utilizzato immagini acquisite utilizzando cinque diversi filtri a banda larga (U, G, R, I, Z).

La funzione dei filtri a banda larga è quella di consentire osservazioni di emissioni luminose in diversi intervalli di lunghezza d'onda ($\Delta\lambda$).

In particolare:

- il filtro U rileva la luce ultravioletta con λ in un intorno di $\lambda_U = 3551\text{\AA}$ ¹,
- il filtro G la luce “verde” in un intorno di $\lambda_G = 4686\text{\AA}$ ²,
- il filtro R la luce “rossa” ($\lambda_R = 6165\text{\AA}$ ³),
- il filtro I la luce infrarossa ($\lambda_I = 7481\text{\AA}$ ⁴),
- il filtro Z la luce con lunghezze d'onda maggiori ($\lambda_Z = 8931\text{\AA}$ ⁵).

In particolar modo le immagini della galassia nelle bande I e G sono state da noi utilizzate per avere un'idea dei tipi stellari che la popolano. Il filtro nella banda I ($\lambda_I = 7481\text{\AA}$) ci consente, come già specificato, di osservare le emissioni infrarosse della galassia, mentre quello nella banda G ($\lambda_G = 4686\text{\AA}$) le emissioni blu: dal confronto di queste si può capire quale tipo di popolazione stellare predomina e in quali zone, dal momento che, come è noto, stelle giovani appaiono “blu” e stelle vecchie, al contrario, “rosse”⁶.

Tuttavia, pur essendo l'idea di base semplice, è necessario fare altre considerazioni aggiuntive. Ecco come varia secondo la *legge di Planck* il flusso di radiazione emessa dal corpo nero (a cui si approssimano le stelle che osserviamo) in λ , al variare

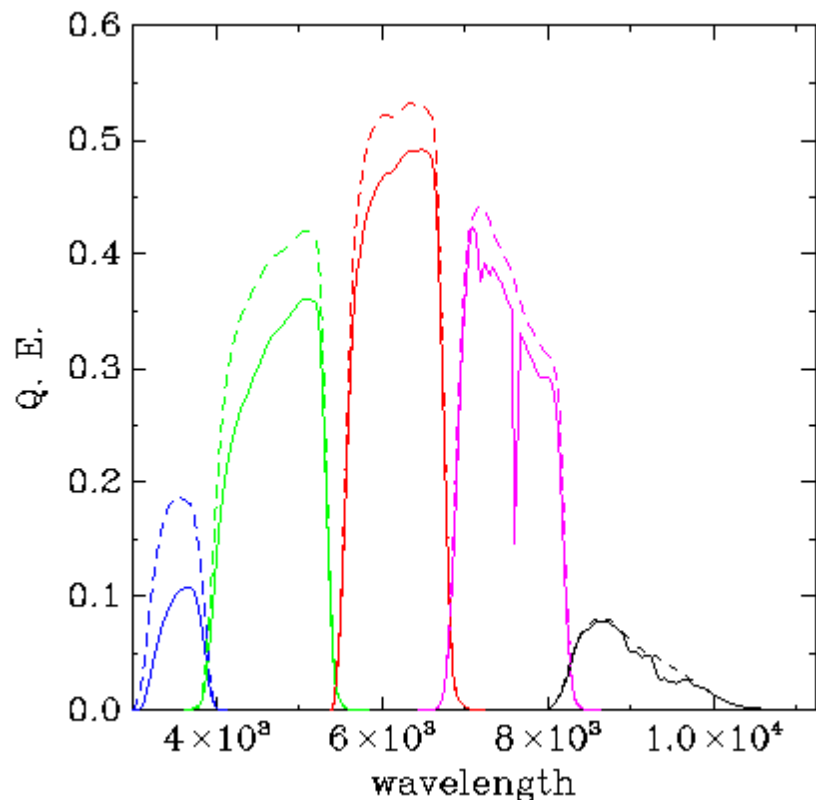


Grafico 1 – Filtri a banda larga

¹ lunghezza d'onda media dichiarata dal sito della “Sloan Digital Sky Survey” (www.sdss.org/dr4), da cui abbiamo ricavato immagini e dati

² v. nota 1

³ v. nota 1

⁴ v. nota 1

⁵ v. nota 1

⁶ per una trattazione approfondita di questo tipo di analisi vedere il paragrafo sul COLORE GT

della temperatura T del corpo:

$$B(\lambda, T) = 2\pi \cdot \frac{hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}$$

Dall'esemplificazione (grafico 2) si nota come, per una qualsiasi lunghezza d'onda λ , l'emissione della stella a temperatura più alta (ovvero di quella più giovane, che appare "blu") è sempre maggiore rispetto alle stelle più fredde: cosicché, laddove percepiamo un'alta emissione di energia nel blu (filtro G), percepiamo anche un'alta emissione nell'infrarosso (filtro I), senza che essa sia dovuta alla presenza di stelle vecchie e quindi "rosse". Infatti, il nostro attribuire un colore a una stella (definirla cioè "blu" o "rossa") dipende da come la percepiamo ad occhio nudo, e la nostra percezione è dettata dalla lunghezza d'onda per cui si ha la massima emissione di energia ($\lambda_{\max}$), la quale varia in modo inversamente proporzionale alla temperatura (T [°K]) secondo la legge di Wien:

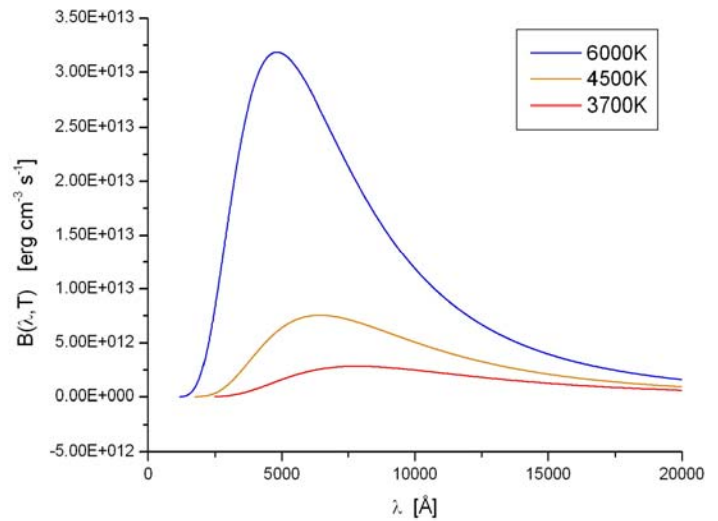


Grafico 2 – Esempi di planckiane

$$\lambda_{\max} = \frac{0.2898}{T} \text{ (cm)}$$

Nell'analisi e confronto delle immagini acquisite con l'uso di filtri è dunque importante tener conto di questi elementi, per non giungere a conclusioni errate.

BRILLANZA

Le immagini⁷ a nostra disposizione (figure 1 e 2) hanno dovuto subire alcune fasi di elaborazione, prima di essere considerate significative da un punto di vista fisico.

Il primo passo è consistito nel fare una valutazione della luminosità media del cielo e nel sottrarre di conseguenza questo valore (*sky*) dalla luminosità di ogni singolo pixel⁸ che compone l'immagine ($I = I_0 - sky$). Per dare un significato fisico a questo dato, è poi necessario dividerlo per il tempo di esposizione (nel nostro caso pari a $t_{exp} = 54sec$) e per l'area del singolo pixel ($S_{pxl} = 0.16 arcsec^2$ ⁹), in modo da ottenere un valore esprimibile in [cts·sec⁻¹·arcsec⁻²], cioè numero di fotoni emessi per unità di tempo e unità di area. Il valore così ottenuto è un valore strumentale dell'intensità luminosa del pixel, che deve essere moltiplicato per un fattore di calibrazione ($f = f_{strum} \cdot f_0$) per avere il flusso di energia.

⁷ Le immagini basate su dati strumentali ci sono state fornite dal sito alla nota 1 in formato .FIT

⁸ Le immagini in formato .FIT associano ad ogni singolo pixel cinque grandezze: intensità (cioè numero di fotoni che hanno colpito in quel punto il CCD durante tutto il tempo di esposizione), ascensione retta, declinazione e due coordinate X,Y legate alla posizione del pixel nel file immagine. Vi sono inoltre tutta una serie di dati di carattere generale: dal tempo di esposizione alla data di acquisizione dell'immagine.

⁹ Il valore $l_{pxl} = 0.4 arcsec$ ci è stato fornito in precedenza.

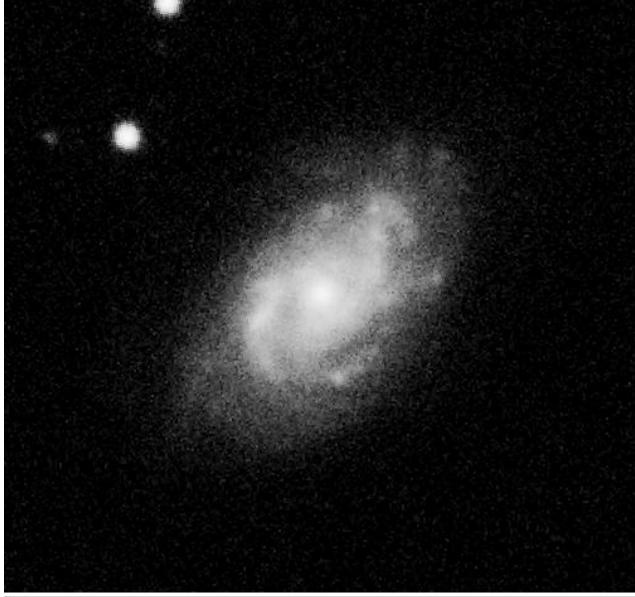


Figura 1 - immagine della galassia NGC2913 originale in banda G



Figura 2 - immagine originale della medesima galassia in banda I.

Per ottenere, infine, il valore della brillantezza (μ) di ogni singolo pixel, basta applicare la definizione:

$$\mu = -2.5 \log_{10}(f),$$

e, ripercorrendo i passaggi eseguiti finora:

$$\mu = -2.5 \log \left(\frac{I - sky}{t_{exp} \cdot S_{pxl}} \cdot f_0 \right) = -2.5 \log \left(\frac{I - sky}{t_{exp} \cdot S_{pxl}} \right) - 2.5 \log(f_0) = -2.5 \log \left(\frac{I - sky}{t_{exp} \cdot S_{pxl}} \right) + \mu_0.$$

Il valore correttivo μ_0 ci è stato fornito dal sito www.sdss.org/dr4. A questo punto si è in possesso di un dato fisico relativo ad ogni singola unità di area della galassia: la brillantezza¹⁰.

COLORE G-I

Una semplice sottrazione pixel per pixel delle brillanze in G e in I, dà un'immagine che viene definita "colore G-I" e attraverso la quale si possono fare delle interessanti considerazioni da un punto di vista matematico. Consideriamo la formula:

$$G - I = \mu_G - \mu_I = 2.5 \log \frac{f_I}{f_G},$$

Un alto valore del colore sta ad indicare una maggiore potenza di emissione nell'infrarosso rispetto a quella nel blu, al contrario un basso valore del colore sta ad indicare il predominio di emissione nel blu. Alla luce di queste considerazioni e di quanto si è detto in precedenza (v. anche grafico 2) si può effettivamente concludere che il colore è un buon indicatore dell'età di una data zona: infatti, per quanto una stella blu emetta in gran quantità anche nel rosso, nel momento in cui si considera il rapporto tra le due grandezze, si privilegiano quelle lunghezze d'onda prossime alla λ_{max} , per cui si ha il picco di emissione; le stelle rosse, invece, hanno un'emissione nel blu pressoché nulla. È anche

¹⁰ Si tratta di un valore apparente (cioè come ci appare dalla Terra) e non assoluto; ciò significa che questo valore della brillantezza non è confrontabile con quello di altre galassie. Come per la magnitudine per averne un valore assoluto:

$$\mu_{ass} = \mu + 5 - 5 \log d,$$

dove d è la distanza della galassia misurata in [pc].

interessante osservare che l'indicatore di colore non è influenzato dal fatto che una stella blu emette molta più energia di una stella rossa su tutte le lunghezze d'onda: non si sta infatti considerando l'intensità luminosa, ma solo il rapporto tra intensità luminose calcolate negli intorno di due lunghezze d'onda prestabilite (v. filtri).

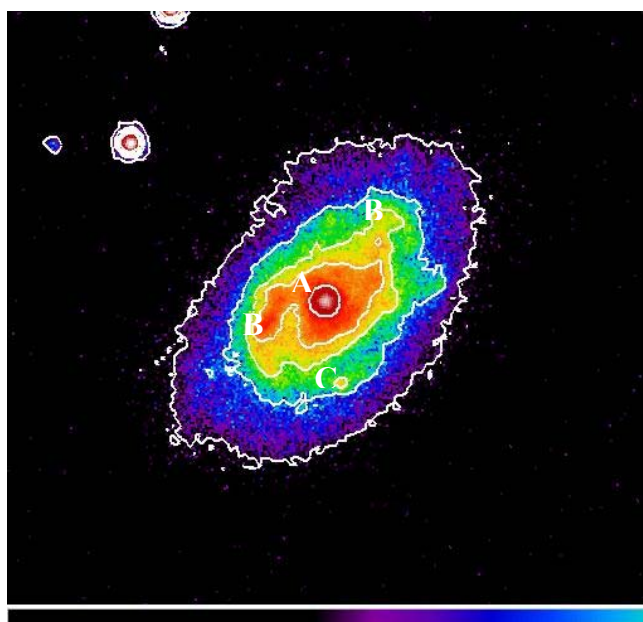


Figura 3 - immagine della galassia nella banda G, con evidenziate le isofote reali.

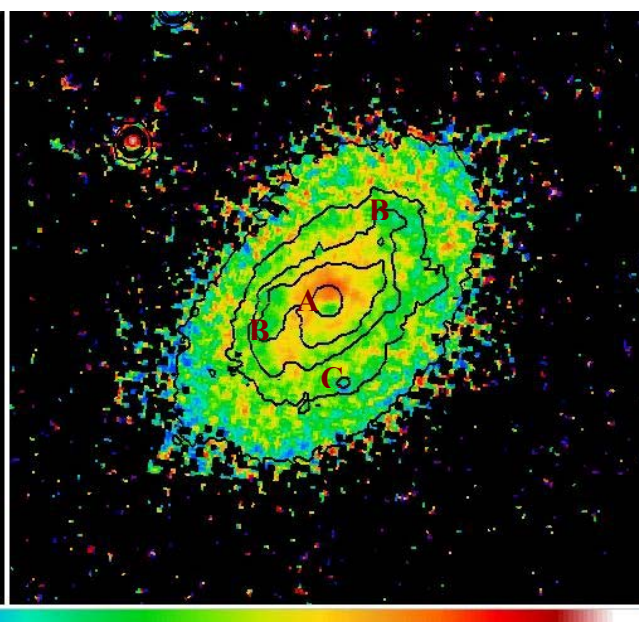


Figura 4 – immagine della galassia vista in G_I con sovrapposte le isofote reali tratte dalla figura 1.

In figura 4 è rappresentata la galassia nel colore G-I: il blu indica valori bassi e quindi stelle giovani e blu, il rosso l'opposto. Si nota immediatamente come le stelle più vecchie, le stelle rosse, siano concentrate principalmente nel nucleo della galassia; ma proprio a fianco alla zona più vecchia (di colore rosso più intenso) vi è una zona (indicata con A) piuttosto giovane (in verde – infatti, la galassia si presenta organizzata piuttosto uniformemente: stiamo quindi considerando differenze lievi di colore): da un'analisi più accurata delle due immagini si può anche vedere come il punto di divisione fra le due zone sia in realtà il punto più luminoso di tutta la galassia. Anche le zone indicate con B sono piuttosto giovani e vanno a coincidere con quelle strutture che sembrano degli abbozzi di bracci della galassia. Infine, la zona C è quella di maggior formazione (*nursery*) stellare e, anche considerando la luminosità, ci appare come una zona di intensa attività.

MODELLI VIRTUALI DELLA GALASSIA

Un altro modo per analizzare la struttura di una galassia è quello di costruire sulla base dei dati osservativi dei modelli virtuali che approssimino in modo semplificato, le caratteristiche principali della galassia.

Con l'ausilio del programma *SAOImage* abbiamo tracciato un'ellisse che approssimasse il più possibile il contorno della galassia e avesse centro nel suo *bulge*. Quest'operazione di carattere squisitamente pratico ci ha permesso di ricavare i seguenti parametri relativi alla galassia:

- coordinate del centro;
- lunghezza dell'asse maggiore (ax_M);
- lunghezza dell'asse minore (ax_m);
- ellitticità¹¹;

¹¹ l'ellitticità (e) è un concetto puramente geometrico, indice dello "schiacciamento" di un'ellisse (un cerchio è un ellisse con $e = 0$). Formalmente è definita come il rapporto tra la distanza tra i fuochi e l'asse maggiore dell'ellisse:

dove $e = c / ax_M$
 $c = (ax_M^2 - ax_m^2)^{1/2}$. Da cui: $e = (1 - (ax_m / ax_M)^2)^{1/2}$

- angolo di posizione (o *position angle*, PA).¹²

Forniti dunque questi parametri al programma *IRAF*, sono state tracciate ellissi virtuali che approssimassero al meglio le isofote reali con l'unica condizione di mantenerne fisso il centro nel *bulge* galattico. Alla fine della procedura otteniamo la rappresentazione delle *isofote virtuali* (v. fig. 5) di forma ellittica, che tengono conto dei dati geometrici di partenza (coordinate del centro, lunghezza degli assi, ellitticità, angolo di posizione PA) e del dato fisico riguardante l'intensità luminosa.

Vale la pena di soffermarsi un istante sulla natura e l'importanza del dato fisico che caratterizza ciascuna isofota virtuale. Questo dato è in realtà il parametro fondamentale su cui il programma costruisce le isofote virtuali: esso nell'elaborazione era vincolato soltanto dalla forma ellittica da attribuire alle isofote e dal centro di quest'ellissi; notiamo però dalla figura 3, che queste due condizioni di base non sono affatto casuali, ma dettate da una prima analisi che ci aveva portato alla conclusione che l'errore commesso era accettabile.

Dunque la variazione dell'intensità luminosa è proprio quel parametro che il modello da noi impostato descrive.

Come abbiamo in precedenza ricordato (v. par. sulla BRILLANZA), il dato "intensità luminosa" non è ancora propriamente fisico, ma necessita di una elaborazione e correzione matematica che ci permetta di passare, con il procedimento descritto precedentemente, dall'intensità luminosa (I) alla brillantezza (μ).

Raccolti e ordinati questi dati in opportuni grafici, si possono fare interessanti osservazioni sulla struttura della galassia.

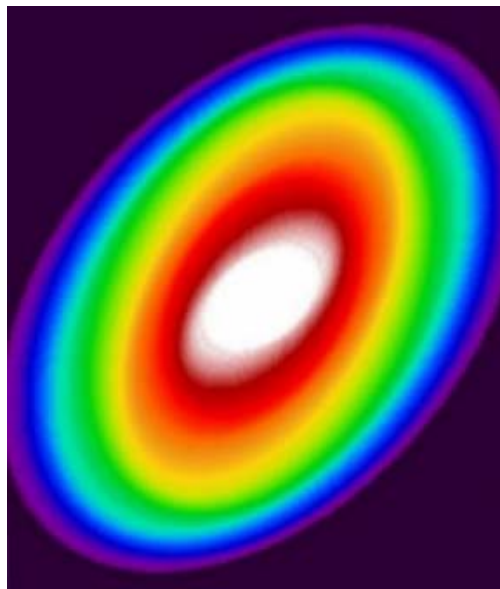
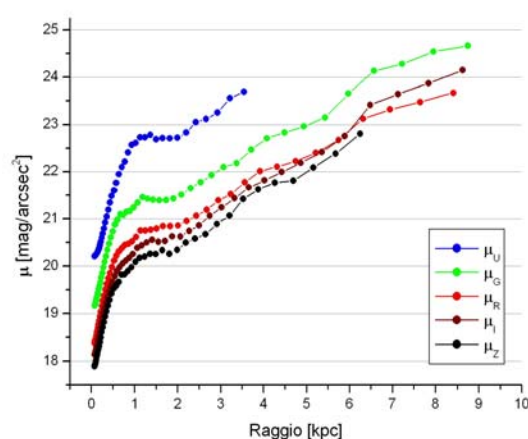
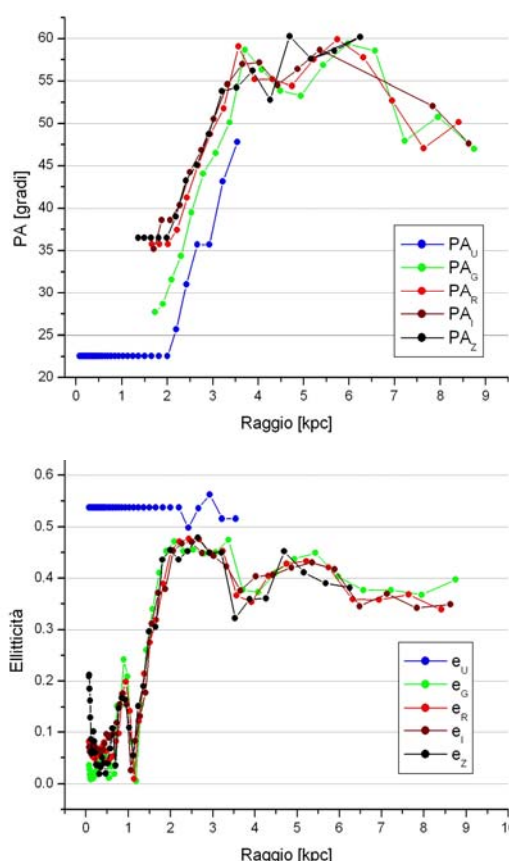


Figura 5 – modello della galassia elaborato a partire dall'immagine nel filtro I.

¹² l'angolo di posizione (PA) è definito come l'angolo compreso fra l' ax_M della galassia e un asse preferenziale, ad esempio il Nord Celeste (NC)



In senso orario a partire da in alto a sinistra:

Grafico 3 – PA delle isofote virtuali costituenti i vari modelli elaborati in U,G,R,I,Z in funzione della distanza dal centro, detta raggio (che è in pratica la lunghezza dell'asse maggiore dell'ellisse).

Grafico 4 – Brillanza delle isofote virtuali in funzione del raggio.

Grafico 5 – Ellitticità delle isofote virtuali in funzione del raggio.

Riguardo al PA, si nota che esso è maggiore per le ellissi più esterne rispetto a quelle più interne. Questo fatto indica che ci sono due strutture indipendenti all'interno della galassia con orientazione diversa. I valori relativi alle ellissi molto prossime al *bulge* sono stati eliminati dal grafico, poiché non avevano alcun significato: il loro comportamento estremamente disordinato è la conseguenza della tendenza delle isofote centrali ad assumere una forma pressoché circolare (cfr. grafico sull'ellitticità), cosicché l'asse maggiore (su cui il PA viene calcolato) può essere, di fatto, un qualsiasi diametro di questa circonferenza.

Il grafico sulla brillantezza, invece, ci mostra come il centro della galassia (*bulge*) sia la zona più luminosa, indice di una notevole concentrazione e attività stellare. La brillantezza, però, aumenta in fretta (quindi la luminosità diminuisce) allontanandosi dal centro galattico. Il valore di 1-1.5 kpc denota un improvviso cambiamento di pendenza: questo ci porta a identificare questo valore come il raggio del *bulge*.

A sua volta il grafico sull'ellitticità conferma ampiamente questa nostra osservazione; per valori del raggio minori di ~1.2 kpc, l'ellitticità è tendenzialmente prossima allo zero (come ci si aspetterebbe supponendo il *bulge* sferico), mentre per valori maggiori si assesta intorno a ~0.4 (cioè è dovuto soltanto all'inclinazione del piano galattico rispetto a quello di osservazione).

RESIDUI

A questo punto, sempre con l'ausilio dello stesso programma, abbiamo sottratto¹³ all'immagine reale della galassia il modello virtuale appena ottenuto: il risultato, chiamato *residuo*, indica i punti in cui la popolazione stellare si discosta da quella del modello. E' interessante considerare il residuo

¹³ si è, cioè, matematicamente eseguita, pixel per pixel, la differenza fra le intensità luminose dell'immagine reale e del modello da essa ottenuto.

ottenuto dallo studio delle immagini nella banda U (v. fig. 6): esso evidenzia quelle zone in cui esiste una più alta emissione di radiazione “blu” rispetto a quella prevista. Questa discrepanza può essere interpretata come una maggiore concentrazione di stelle giovani in quelle aree, da individuarsi quindi come zone di formazione stellare. Tale ipotesi è confermata dal confronto dell’immagine del residuo in U con quella del colore G-I.

CALCOLO SCALA KPC/ARCSEC

Il sito della SDSS dichiara la dimensione di un pixel in secondi d’arco ($0.4''$), quindi, per conoscere le dimensioni della galassia, è sufficiente tramutare i secondi d’arco in kiloparsec, ma per compiere questa operazione è necessario conoscere la distanza della galassia. Quest’ultimo dato è stato ricavato dallo studio dello spettro del *bulge* della galassia: una volta individuata la riga di emissione $H\beta^{14}$ se ne può comodamente calcolare il redshift¹⁵ e dunque la velocità di allontanamento della galassia dall’osservatore:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c},$$

e da questa la distanza (secondo la legge di Hubble):

$$D = \frac{v}{H_0} = 40 \text{ Mpc}.$$

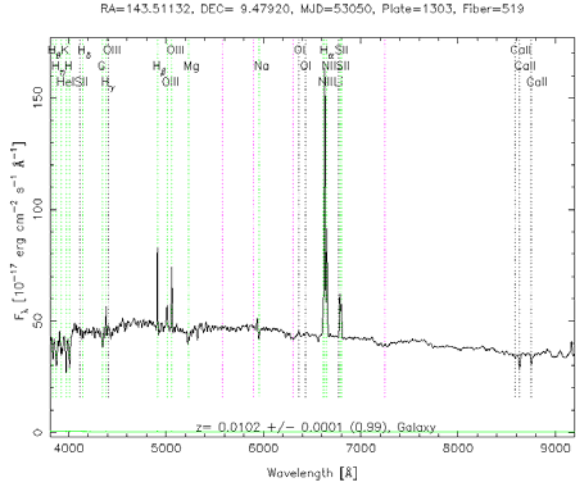


Grafico 2 – spettro del nucleo della galassia

Si convertono poi le dimensioni in pixel della galassia in secondi d’arco moltiplicando il dato per 0,4. Usando la misura del redshift si crea una scala secondo la formula $s = \frac{D}{206265} * 1000 \text{ kpc/''} = 0.2 \text{ kpc/''}$. Basta quindi moltiplicare il valore della scala per le dimensioni in secondi d’arco della galassia e si ottiene che la sua dimensione risulta essere di circa 20 kpc.

CONCLUSIONI

Nonostante il cattivo tempo, che ci ha reso impossibile un’osservazione diretta del cielo, abbiamo comunque potuto sfruttare e mettere in pratica le nozioni acquisite solo in forma teorica, scoprendoci in grado di studiare e descrivere le principali caratteristiche morfologiche della galassia a noi assegnata.

¹⁴ Questa fase è stata eseguita sullo spettro del bulge della galassia scaricato dal sito della SDSS: si è plottato il picco relativo all’ $H\beta$ con una curva gaussiana e da questo si è ottenuto un valore di λ relativa al picco con un’ottima approssimazione.

¹⁵ In realtà il sito della SDSS fornisce già un valore per il redshift della galassia, pari a $z = 0.0102$, ampiamente confermato dal nostro calcolo: $z = (4912 - 4861) / 4861 = 0.0105$: tra i due vi è una differenza <3%.