

Studio morfologico e fotometrico del gruppo compatto HCG51 per mezzo del software GALFIT

Andrea Cicchini, Martina Di Pumpo, Elena Porto, Marco Rocchetto, Eugenio Warglien

Liceo Scientifico Statale “G.B. Benedetti”, Venezia

ABSTRACT

We determined the shape and the flux of the compact group of galaxies HCG 51. We studied each of the seven galaxies of the group (two of them extremely close and in gravitational interaction) in the photometric bands g , r , i , z . We created a model for each single galaxy using GALFIT. The data processing of every luminosity profile gave us magnitude, effective radius, ellipticity and the position angle of the bulge and the disk.

I. INTRODUZIONE

La maggior parte delle galassie risiede in coppie, gruppi o ammassi di galassie legate gravitazionalmente tra loro.

I gruppi compatti di galassie sono composti da 4-10 galassie di luminosità confrontabile. Tipicamente la dispersione di velocità del gruppo è dello stesso ordine di grandezza della velocità di rotazione delle singole galassie a spirale o della dispersione di velocità delle stelle in galassie ellittiche. È per questo motivo che le interazioni gravitazionali all'interno di un gruppo sono molto efficaci per modificare la morfologia originaria: poiché le velocità coinvolte sono dello stesso ordine di grandezza, le galassie hanno il tempo sufficiente per deformarsi. Due galassie a spirale possono per esempio fondersi e formare una galassia ellittica di dimensioni maggiori.

I primi gruppi di galassie sono stati individuati casualmente alla fine dell'Ottocento. Un primo catalogo definito è stato fatto solo negli anni '80: i gruppi compatti di Hickson, che sono ad oggi i più studiati.

Lo studio morfologico di una galassia consiste nel determinare la sua forma (ellittica, a spirale o irregolare). Una descrizione più articolata è data dalla Sequenza di Hubble che tiene conto del rapporto tra gli assi, della presenza o meno di una barra, della differenza di magnitudine tra bulge e disco. Lo studio non è sempre immediato poiché nella maggior parte dei casi le galassie si presentano con angolo di inclinazione diverso da 0° rispetto all'osservatore.

La fotometria consiste nella misurazione del flusso della radiazione elettromagnetica di un oggetto astronomico, in questo caso di una singola galassia. Normalmente la misurazione si effettua in determinate bande fotometriche, utilizzando cioè dei filtri (*ugriz*, *UBVRI*); in questo caso si parla di spettrofotometria. Quando si riesce a misurare la distanza dell'oggetto, dalla distribuzione dell'intensità nei diversi filtri possiamo ricavare informazioni sul totale dell'energia emessa, sulla dimensione, sulla popolazione di stelle che compone la galassia.

GALFIT è un software che elabora immagini di galassie applicando le principali funzioni che descrivono la distribuzione di luminosità della galassia (funzione Sersic, Freeman, De Vaucouleurs). Galfit restituisce un'immagine del modello della galassia e l'immagine risultante dalla sottrazione del modello dall'immagine originale. Inoltre fornisce tutti i parametri relativi alla funzione applicata. Possiamo dunque ricavare magnitudine, angolo di posizione, raggio e rapporto tra gli assi sia del bulge che, se presente, del disco.

II. DATI OSSERVATIVI

Ci sono state fornite cinque immagini del gruppo compatto HCG 51 nelle diverse bande fotometriche *u*, *g*, *r*, *i*, e *z* (Fig. 1). Le immagini sono state realizzate il 4/2/2005 dall'osservatorio “Apache Point” in New Mexico (USA) e prelevate dall'archivio della “Sloan Digital Sky Survey”.

HCG 51 è un gruppo compatto composto da sette galassie di cui due in forte vicinanza e interazione gravitazionale. HCG sta per “Hickson Compact Group”. È un catalogo pubblicato da Paul Hickson nel 1982 e contiene una lista di 100 oggetti che comprende anche HCG 92, noto come Stephan's Quintet, che è il primo gruppo compatto ad essere stato scoperto nel 1877 da Edouard Stephan.



Fig. 1: HCG 51 – © 2007 SSDS

Tabella 1: Caratteristiche principali delle galassie facenti parte del gruppo compatto HCG 51

#	Nome	RA	DEC
A	NGC 3651	11 22 26.4	+24 17 56
A1	UGC 6388 A	11 22 26.3	+24 17 43
B	NGC 3653	11 22 30.06	+24 16 45.1
C	IC 2759	11 22 14.20	+24 18 00.4
D	MCG+04-27-027	11 22 13.49	+24 18 59.9
E	MCG+04-27-030	11 22 30.77	+24 17 58.0
F	LEDA 34901	11 22 28.36	+24 17 41.9

Tabella 2: filtri *ugriz* (Sloan Digital Sky Survey)

Filtro	u'	g'	r'	i'	z'
λ max	3543	4770	6231	7625	9134

III. DESCRIZIONE DEL LAVORO

Sono state utilizzate tutte le immagini a parte quella ottenuta con il filtro u poiché è risultata troppo debole.

Nella prima fase abbiamo utilizzato Galfit per creare le immagini dei modelli di ogni singola galassia. Abbiamo lavorato con due funzioni: la legge di Sersic e la legge di Freeman. Entrambe rappresentano il profilo di luminosità delle galassie. La prima è utilizzata per il bulge, ossia per la componente centrale della galassia. La seconda è invece utilizzata per il disco galattico, nel caso questo sia presente.

Legge di Sersic:

$$S = S_e \exp \left(-b_n \left[\left(\frac{R}{R_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \right)$$

R : rappresenta la distanza dal centro, è una variabile.

R_e : raggio efficace, ossia il raggio entro cui è contenuta la metà della luce del bulge.

n : indice di Sersic.

b_n : costante che dipende dal valore di n

S_e : intensità superficiale alla distanza $R=R_e$

Legge di Freeman

$$S = S_0 \exp \left(-\frac{R}{h} \right)$$

R : distanza dal centro, è una variabile

h : lunghezza di scala del disco ($R = h \Rightarrow S = S_0/e$)

Queste leggi sono chiamate “leggi di scala delle galassie” e sono ricavate dall’osservazione sistematica e dall’esame dei dati fotometrici.

Oltre alle due già viste vi sono la *legge di De Vaucouleurs* (che corrisponde alla legge di Sersic con indice $n=4$) e il *profilo di brillantezza esponenziale* ($n=1$, spesso usato nei bulge delle galassie a spirale).

Galfit richiede che vengano inseriti dei valori stimati di tutti i parametri che fanno parte della funzione. Se questi valori stimati si discostano troppo da quelli reali Galfit non riesce ad elaborare alcun modello.

È necessario inoltre impostare a priori quali leggi deve utilizzare e per quali componenti (bulge e disco).

Se i valori sono sufficientemente corretti elabora molto rapidamente il profilo di luminosità della galassia restituendo la magnitudine, il raggio efficace, il rapporto b/a (ellitticità) e l’angolo di posizione per il bulge e, se presente, per il disco.

Oltre ai dati relativi alla galassia Galfit genera un’immagine che rappresenta il modello della galassia. Successivamente sottrae tale modello all’immagine originale e restituisce l’immagine residua.

Nelle immagini delle galassie sono ovviamente presenti anche delle stelle di campo che potrebbero falsare i modelli. Esse appaiono tuttavia distribuite in molti pixel, come sfuocate, a causa della turbolenza dell’atmosfera (*seeing*). La funzione che descrive come i fotoni provenienti da tali stelle sono distribuiti nell’immagine è detta PSF (*Point Spread Function*). Tale distribuzione viene spesso rappresentata con una funzione gaussiana.

Abbiamo associato così ad ogni filtro il profilo PSF che rappresenta la distribuzione media di luce di una stella. Galfit offre la possibilità di associare questo profilo all’immagine originale così da rimuovere da quest’ultima il degrado della qualità dei dettagli per effetto della turbolenza.

Ogni passaggio è stato ripetuto per ogni filtro e per ogni galassia. Quando un valore si discostava eccessivamente dalla media dei valori precedentemente trovati si ripeteva il procedimento variando la stima dei parametri.

La magnitudine ottenuta deve essere ulteriormente corretta trasformandola secondo la seguente relazione:

$$m = m_0 + m_r - kx$$

m_0 : è il punto zero del sistema fotometrico; è la costante che aggiunta alla magnitudine strumentale la trasforma in una magnitudine calibrata.

m_r : è la magnitudine ottenuta con Galfit

k : costante di estinzione atmosferica, dipende dalla lunghezza d'onda. Ha un valore più elevato per lunghezze d'onda minori e più basso per lunghezze d'onda maggiori.

x : è il valore della massa d'aria, ossia $1/\cos z$, dove z è la distanza dell'oggetto dallo zenith.

Sottraendo kx dalla magnitudine otteniamo la magnitudine priva dell'estinzione atmosferica.

Ottenuta la magnitudine corretta del bulge e del disco abbiamo calcolato la magnitudine apparente totale:

$$m_{tot} = -2,5 \log(10^{-0,4m_b} + 10^{-0,4m_d})$$

Le galassie che presentavano un disco le abbiamo classificate come spirali, mentre quelle che possedevano solo il bulge come ellittiche.

Per le galassie che presentavano il disco galattico (A, B, C, E) abbiamo calcolato la differenza di magnitudine tra bulge e disco per determinare il sottotipo morfologico.

Abbiamo utilizzato una curva che mette in relazione la differenza di magnitudine con il tipo morfologico (Fig. 2):

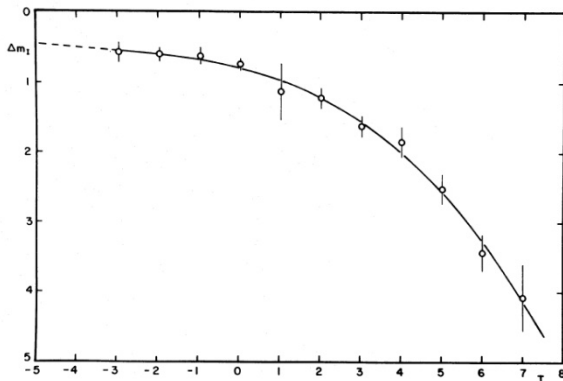


Fig. 2: Relazione $\Delta m_1/T$ (Simien & De Vaucouleurs, Astrophysical Journal v302, p. 564, 1986).

Tabella 3: Legenda grafico $\Delta m_1/T$

T	-5	-3	-2	0
Tipo	E	E-S0	S0	S0/Sa

T	1	2	3	4	5
Tipo	Sa	Sab	Sb	Sbc	Sc

Per le galassie che possiedono unicamente la componente del bulge abbiamo invece utilizzato la formula $T=10(1-b/a)$ per determinare il tipo morfologico secondo la Sequenza di Hubble.

In ultima fase abbiamo trasformato le magnitudini nei filtri *ugriz* ai filtri *UBVRI* che sono più classici, in modo da poter confrontare i nostri risultati con la letteratura o con quelli relativi ad altre galassie.

Le magnitudini sono state trasformate grazie alle seguenti equazioni ricavate dall'articolo "Setting *UBVRI* Photometric Zero-Points Using Sloan Digital SKy Survey *ugriz* Magnitudes" (Chonis & Gaskell, 2008):

$$B = g + 0.327(g - r) + 0.216$$

$$V = g - 0.587(g - r) - 0.011$$

$$R = r - 0.272(r - i) - 0.159$$

$$I = i - 3.337(r - i) - 0.370$$

$$U = u - 0.854$$

IV. RISULTATI

Di seguito l'immagine originale della galassia E (MCG+04-27-030), e le rispettive immagini ottenute con Galfit.

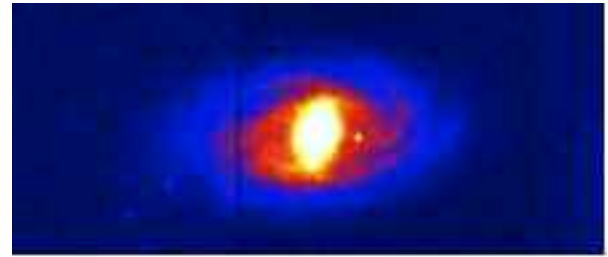


Fig. 3: immagine originale

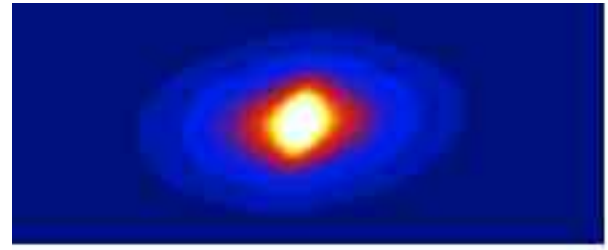


Fig. 4: modello creato da Galfit

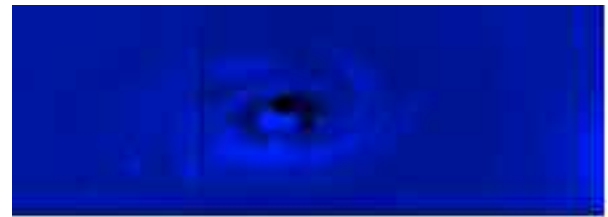


Fig. 5: residuo (sottrazione del modello dall'immagine originale)

Tabella 4: Magnitudini apparenti nei filtri *griz* (separate in bulge, disco – se presente – e totale) e *BVRI* (solo totale)

Galassia	Filtro (<i>griz</i>)	Magnitudine			Filtro (<i>BVRI</i>)	Mag Tot
		Bulge	Disco	Tot		
A	G	15,61	14,11	13,87	B	14,41
A	R	14,33	13,21	12,88	V	13,28
A	I	13,96	12,83	12,50	R	12,62
A	Z	13,64	12,62	12,26	I	12,00
A1	G	16,23		16,23	B	16,69
A1	R	15,49		15,49	V	15,78
A1	I	15,10		15,10	R	15,22
A1	Z	14,98		14,98	I	14,60
B	G	16,43	14,79	14,58	B	15,10
B	R	14,89	14,08	13,66	V	14,03
B	I	14,19	13,84	13,25	R	13,39
B	Z	13,97	13,52	12,97	I	12,74
C	G	16,68	15,03	14,82	B	15,27
C	R	15,69	14,38	14,09	V	14,38
C	I	15,00	14,14	13,73	R	13,84
C	Z	14,68	14,06	13,57	I	13,24
D	G	15,24		15,24	B	15,75
D	R	14,34		14,34	V	14,70
D	I	13,92		13,92	R	14,06
D	Z	12,95		12,95	I	13,41
E	G	17,11	16,07	15,72	B	16,27
E	R	16,57	14,94	14,72	V	15,12
E	I	16,21	14,63	14,40	R	14,47
E	Z	15,76	14,02	13,82	I	13,93
F	G	16,74		16,74	B	17,22
F	R	15,94		15,94	V	16,26
F	I	15,40		15,40	R	15,63
F	Z	15,19		15,19	I	14,85

Si può notare come i valori di magnitudine non variano eccessivamente da un filtro all'altro.

Tabella 5: Valori medi del raggio efficace, del rapporto b/a, dell'angolo di posizione (per disco e bulge), della differenza di magnitudine tra bulge e disco, e del tipo morfologico.

#	Bulge			Disco			B-T	Tipo
	Re	b/a	PA	Rs	b/a	PA		
A	5,9	0,9	34	23,5	0,9	17	1,5	Sab
A1	12,2	0,5	76					E5
B	5,1	0,5	1	13,4	0,6	-6	1,3	Sab
C	10,2	0,7	-18	24,9	0,5	-84	1,5	Sab
D	8,9	0,9	-67					E1
E	1,8	0,9	43	8,9	1,0	36	1,7	Sbc
F	2,6	0,6	59					E3

Abbiamo ottenuto dall'altro gruppo che ha lavorato sull'ammasso (Erriquez, Carlesso, Grittani - Liceo Morosini, Venezia) il valore della distanza dell'ammasso, che è risultato di 102 Mpc. Abbiamo così potuto calcolare la magnitudine assoluta di ogni galassia. Dalle magnitudini B e V abbiamo infine ricavato la luminosità espressa in unità solari.

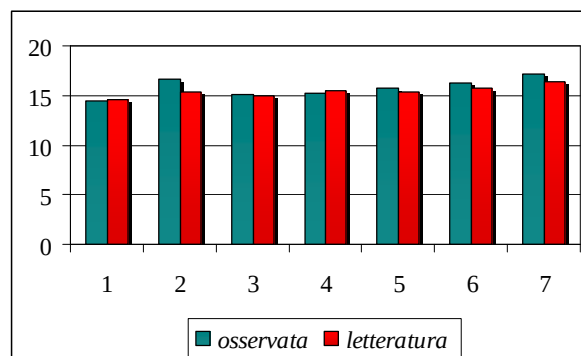
Tabella 6: Magnitudini assolute medie per ogni galassia.

A	A1	B	C	D	E	F
-22,0	-19,5	-21,2	-20,9	-20,6	-20,1	-19,0

Tabella 7: Luminosità nei filtri B e V per ogni galassia

	Galassia	Filtro	Luminosità	m osservata	m letteratura
1	A	B	2,78E+10	14,41	14,6
	A	V	4,35E+10	13,28	
2	A1	B	3,37E+09	16,69	15,4
	A1	V	4,31E+11	15,78	
3	B	B	1,48E+10	15,1	15
	B	V	2,18E+10	14,03	
4	C	B	1,26E+10	15,27	15,5
	C	V	1,57E+10	14,38	
5	D	B	8,12E+09	15,75	15,41
	D	V	1,18E+10	14,7	
6	E	B	5,05E+09	16,27	15,8
	E	V	7,95E+09	15,12	
7	F	B	2,09E+09	17,22	16,34
	F	V	2,79E+09	16,26	

Le maggiori difficoltà si sono presentate per il calcolo della magnitudine di A1, galassia molto vicina ad A e di dimensioni inferiori. La magnitudine ottenuta è superiore al valore di letteratura, ma poiché è stata ottenuta analizzando la galassia dopo aver sottratto il modello di A, dovrebbe essere attendibile. Il dato di letteratura non contiene informazioni relative al modo in cui essa è stata misurata.

Grafico 1: confronto valori rilevati con la letteratura

V. BIBLIOGRAFIA

Simien & De Vaucouleurs, *Astrophysical Journal* v.302, p564, 1986
 Taylot S. Chonis & C. Martin Gaskell, *Astronomical Journal*, 135, 264-267, 2008

VI. SITOGRAFIA

Sloan Digital Sky Survey: <http://www.sdss.org/>
Simbad: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
Galfit: <http://www.ociw.edu/~peng/work/galfit/galfit.html>