

Sintesi di popolazione stellare nelle galassie NGC 3193 e NGC 5676

F. Bertolini⁽¹⁾, E. Cescatti⁽²⁾, A. Peretti⁽¹⁾, E. Poiesi⁽¹⁾,
F. Righetti⁽¹⁾, R. Righetti⁽¹⁾, G. Sardella⁽²⁾

⁽¹⁾ Liceo Scientifico “Primo Levi”, San Pietro in Cariano (Verona)

⁽²⁾ Liceo Scientifico “G. Fracastoro” (Verona)

I. INTRODUZIONE

Attaverso la combinazione lineare di spettri di diverse classi di stelle sono stati riprodotti gli spettri osservati delle galassie NGC 3193 (ellittica) e NGC 5676 (spirale di tipo Sc).

Per NGC 3193 sono state prese in considerazione stelle di tipo F0III, G0V, K1III, M2III. Per NGC 5676: B2IV-V, B9III, K1III, G0V, F0III, M2III. Si è valutato anche il numero di stelle presenti nelle galassie relativamente ai tipi spettrali presi in considerazione. Inoltre, viene ricavata l'età delle galassie dalla misura delle larghezze equivalenti delle righe del ferro e del magnesio, queste righe sono degli ottimi indicatori dell'evoluzione delle galassie.

II. OSSERVAZIONE E RIDUZIONE DEI DATI

Le osservazioni spettroscopiche degli oggetti in esame sono state eseguite con lo spettrografo B&C montato al fuoco Cassegrain del telescopio di 120 cm dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago, durante la notte del 09/02/2006. La configurazione dello spettrografo era la seguente: reticolo da 300 tratti/mm, larghezza della fenditura 3 arcsec, dispersione di circa 2.6 Å/px. In Fig. 1 sono

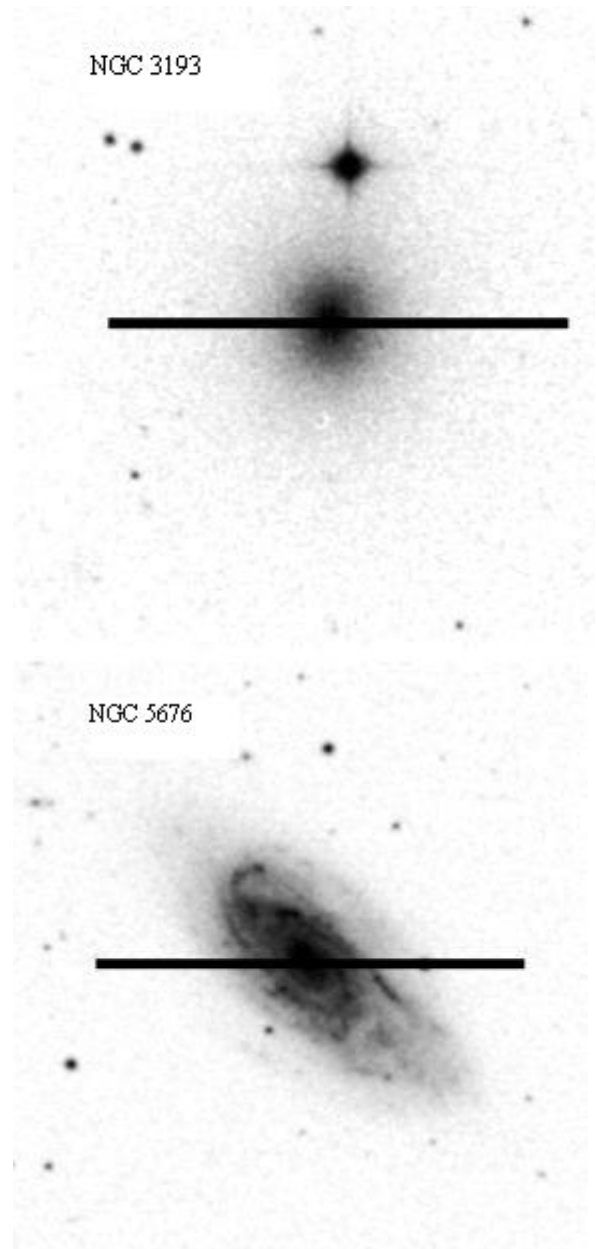


Fig 1

riportate le galassie osservate con sovrapposta l'immagine della fenditura dello spettrografo. In Tab. 1 sono riportati gli oggetti osservati, le due galassie e le sei stelle che sono state utilizzate nella sintesi, per ogni oggetto si hanno le magnitudini apparenti e le distanze in parsec.

Le immagini sono state corrette per bias, dark e flat field, quindi sono stati estratti gli spettri e calibrati in lunghezza d'onda e flusso, gli spettri delle galassie sono stati corretti per redshift. Per la riduzione e la misura è stato usato IRAF, per la rappresentazione grafica degli spettri e l'elaborazione il foglio elettronico Excel.

Tabella 1

Oggetto	Classe	<i>m</i>	<i>d</i> (pc)
120 Tau	B 2 IV	5.667	574
Hy 34168	B 9 III	6.368	424
Hy 27338	F 0 III	5.479	389
Psi Aur 5	G 0 V	5.525	16
Psi Aur 120	K 1 III	5.222	130
HD 012479	M 2 III	6.012	259
NGC 3139	E	11.8	$1.97 \cdot 10^7$
NGC 5676	Sc	11.9	$2.92 \cdot 10^7$

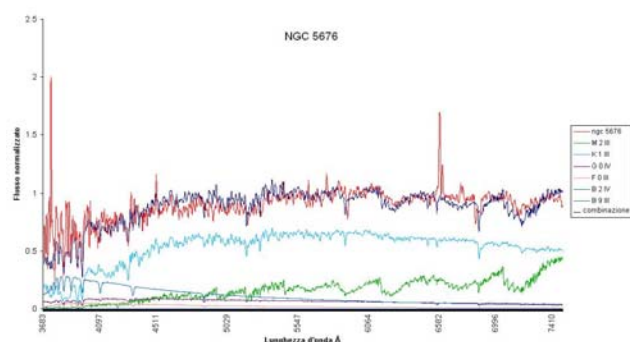
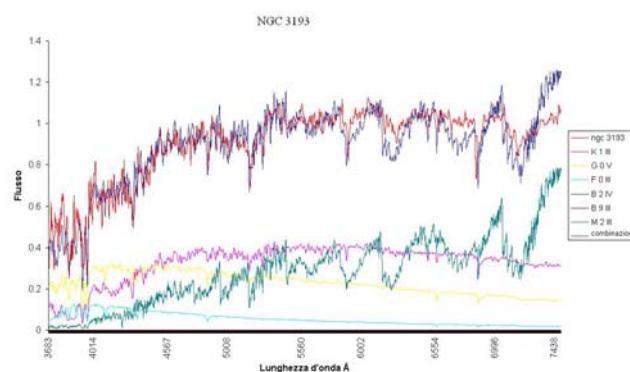
III. SINTESI DI POPOLAZIONE

Le caratteristiche spettroscopiche di una galassia dipendono dalle popolazioni e dai tipi spettrali delle stelle di cui è costituita. Ogni stella contribuisce, anche se in modo infinitesimo, all'emissione luminosa della galassia. Quindi lo spettro di una galassia si può vedere come l'integrato dei singoli spettri emessi. La sintesi di popolazione consiste nel combinare linearmente una serie di spettri di diverse stelle in modo da riprodurre lo spettro osservato della galassia, in questo modo si ha un'idea del contributo delle diverse classi spettrali alla luce totale emessa.

Prima di procedere alla sintesi, si sono normalizzati gli spettri a 5500 Å (Fig. 2).

Ogni spettro viene moltiplicato per un coefficiente ($0 \leq c \leq 1$) che rappresenta la percentuale del

contributo in luce del determinato tipo spettrale (la somma dei coefficienti deve dare come risultato 1, ossia il 100%), quindi vengono sommati gli spettri. Il calcolo è stato fatto per mezzo di un foglio elettronico; nella prima colonna è stata posta la scala in lunghezza d'onda, da 3683 a 7483.89 Å e nelle colonne successive il flusso normalizzato di tutte le stelle in ordine di classificazione spettrale, ogni colonna è stata moltiplicata per il coefficiente *c*, quindi sono state sommate tutte le colonne per ottenere lo spettro di sintesi.



Procedendo per tentativi si è cercato di valutare quale fosse la combinazione migliore. Per

controllare la buona approssimazione dei coefficienti inseriti, è stata calcolata la differenza tra il valore trovato e il flusso normalizzato osservato della galassia calcolando lo scarto quadratico medio. Si è riusciti ad ottenere una deviazione standard di 0.007 per la galassia ellittica e 0.015 per quella a spirale. Il risultato della combinazione lineare è riportato nelle figure 3 e 4. In tabella 2 sono riportati i coefficienti usati nelle sintesi.

Tabella 2

<i>stella</i>	<i>Classe</i>	<i>C</i> <i>NGC 3193</i>	<i>C</i> <i>NGC 5676</i>
120 Tau	B 2 IV	0	0,03
Hy 34168	B 9 III	0	0,06
Hy 27338	F 0 III	0,05	0,02
Psi Aur 5	G 0 V	0,25	0,07
Psi Aur 120	K 1 III	0,4	0,65
Hd 012479	M 2 III	0,3	0,17

IV. STIMA DEL NUMERO DI STELLE

Moltiplicando la luminosità della galassia (L_{gal}) per il coefficiente utilizzato nella la sintesi di popolazione, si trova il contributo alla luminosità totale di ogni tipo spettrale. Quindi dividendo questo numero per la luminosità della stella usata nella sintesi si stima il numero di stelle della classe in questione (1).

$$N = \frac{L_{gal} \cdot c}{L_{stella}} \quad (1)$$

Per usare la (1) si deve trovare la luminosità delle galassie e quella delle singole stelle. Sono state ricercate, attraverso Simbad, la magnitudine apparente e l'angolo di parallasse delle stelle. Grazie al modulo di distanza (2) è stata trovata la magnitudine assoluta delle stelle.

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log_{10} d \quad (2)$$

È stata calcolata la luminosità relativa delle stelle L/L_0 con la (3) (Rosino, 1979) e poi moltiplicata quest'ultima, di valore $3.9 \cdot 10^{33}$ erg/s per ottenere la luminosità effettiva.

$$\frac{L}{L_0} = 10^{\frac{4.75-M}{2.5}} \quad (3)$$

Le magnitudini apparenti delle galassie (Tab. 1) sono state trovate nel *Catalogue of Principal Galaxies*, (Paturel 1989).

Il parametro di redshift è stato ricavato dagli spettri osservati, misurando la lunghezza d'onda dell'H α degli spettri ottenuti. Utilizzando la (4) si sono calcolate le velocità di recessione delle galassie e, infine, per trovare la distanza è stata usata la legge di Hubble (5). Come valore di H_0 si è adottato 72 km/sec/Mpc preso da *An Introduction to galaxies and cosmology* di Mark H. James & al. (2004).

$$z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad (4)$$

$$v = H_0 \cdot d \quad (5)$$

I risultati sono riportati nella tabella 3.

Tabella 3

<i>galassia</i>	<i>z</i>	<i>Velocità (km/s)</i>	<i>Distanza (Mpc)</i>
NGC 3139	0.0048	1426	19.7
NGC 5676	0.0070	2100	29.2

La magnitudine e la distanza ci permettono di calcolare la luminosità delle galassie nello stesso modo delle stelle.

Tabella 4

Oggetto	Classe	M	L/L ₀	L	C NGC 3193	C NGC 5676	N ₃₁₉₃	N ₅₆₇₆
120 Tau	B 2 IV	-3.13	1419	5,53 *10 ³⁶	0	0,03	0	2.5 *10 ⁵
Hy 34168	B 9 III	-1.77	406	1,58 *10 ³⁶	0	0,06	0	1,75 *10 ⁶
Hy 27338	F 0 III	-2.47	773	3,01 *10 ³⁶	0,05	0,02	3,82 *10 ⁵	3,06 *10 ⁵
Psi Aur 5	G 0 V	4.23	1,61	6,28 *10 ³³	0,25	0,07	9,15 *10 ⁵	5,13 *10 ⁵
Psi Aur 120	K 1 III	-0.37	112	4,37 *10 ³⁵	0,4	0,65	2,11 *10 ⁷	6,86 *10 ⁷
Hd 012479	M 2 III	-1.05	209	8,15 *10 ³⁵	0,3	0,17	8,47 *10 ⁶	9,6 *10 ⁶

Ngc 3139	E	-19.67	5,86 *10 ⁹	2,3 *10 ⁴³				
Ngc 5676	Sc	-20.43	1,18 *10 ¹⁰	4,6 *10 ⁴³				

N stelle	3.1 * 10 ⁷
N stelle	8.1 * 10 ⁷

Dopo aver applicato la (1), abbiamo ottenuto la stima del numero di stelle come indicato in Tab. 4. Operando il rapporto tra il numero di stelle appartenenti ad una classe e il numero di stelle totali si è potuto stimare la percentuale in numero delle stelle per ogni classe spettrale (Tab. 5).

Tabella 5

oggetto	Classe	% ₃₁₉₃ N	% ₅₆₇₆ N
120 Tau	B 2 IV	0	0.3
Hy 34168	B 9 III	0	2.2
Hy 27338	F 0 III	1.2	0.4
Psi Aur 5	G 0 V	2.8	0.6
Psi Aur 120	K 1 III	69	84.5
Hd 012479	M 2 III	27	12

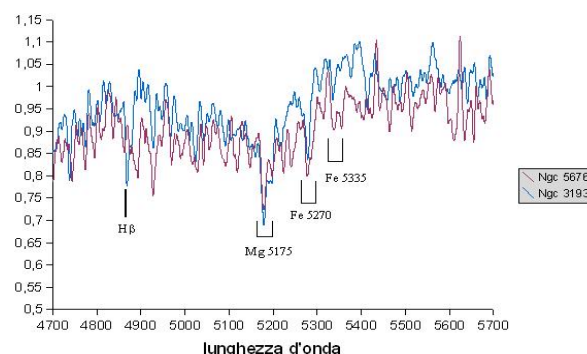
galassia (indici di Lick; G. Worthey et al., 1994). Dai modelli di Tantalo e Chiosi (Tantalo & Chiosi, 2004), risulta che un indice significativo è la combinazione delle larghezze equivalenti delle bande del Fe e del Mg, secondo la seguente relazione

$$[MgFe] = \sqrt{Mg_{5175} \frac{1}{2} (Fe_{5270} + Fe_{5335})}$$

dove Mg₅₁₇₅, Fe₅₂₇₀ e Fe₅₃₃₅, sono le larghezze equivalenti delle bande in oggetto. Nella figura 5 sono riportate le regioni degli spettri delle galassie dove si trovano le bande suddette.

V. STIMA DELL'ETÀ

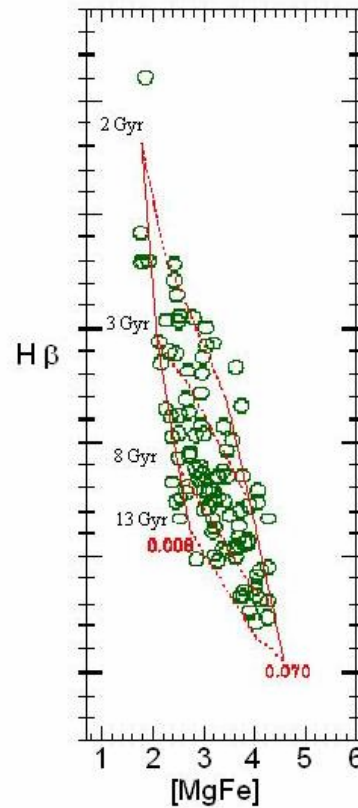
L'intensità di alcune bande e righe di assorbimento negli spettri delle galassie, sono fortemente correlate con la metallicità e quindi con l'età. Dalla misura delle larghezze equivalenti di queste righe si può quindi risalire all'età della



L'indice $[MgFe]$ è correlato con la larghezza equivalente dell' $H\beta$ come evidenziato nel diagramma riportato in figura 6 (Tantalo & Chiosi, 2004); secondo i modelli evolutivi sopracitati, tale correlazione è legata all'età della galassia. Pertanto, entrando nel diagramma con le misure delle larghezze equivalenti si può risalire all'età. Le misure delle larghezze equivalenti e la stima dell'età sono in tabella 6.

VI. CONCLUSIONI

Per quanto riguarda la sintesi delle popolazioni, bisogna tenere presente che si sono soprattutto utilizzate stelle giganti e appartenenti a 5 classi, ignorando del tutto le diverse sottoclassi. Ad ogni modo i risultati ottenuti sono assimilabili a quelli pubblicati in *Mark H. James & al., 2004*. Le stelle che maggiormente contribuiscono all'emissione sono le G, K e M, e, nel caso della spirale, anche le B; queste ultime sono stelle ad elevata temperatura ($T > 30000$ °K) e giovani, che solitamente sono presenti nei bracci di spirale delle galassie. Pur avendo ottenuta una luminosità totale della galassia assolutamente in linea con i dati conosciuti, il numero di stelle stimato nei due casi è 1 o 2 ordini di grandezza inferiori dell'aspettato. Questo è sicuramente dovuto al fatto di avere usato quasi solamente stelle di tipo III; le stelle più numerose sono di norma quelle di classe V, ma queste sono anche estremamente più deboli delle giganti.



L'età stimata per NGC 5676 è in accordo con l'età media dei bulge delle galassie a spirale, infatti, nello spettro si aveva un buon segnale in corrispondenza del bulge. Inoltre lo spettro di questa galassia mostra delle intense righe di emissione della serie di Balmer e dello zolfo $[SII]$ 6717-6731, segno evidente che nella galassia si trova molto gas, che buona parte delle stelle è ancora giovane (classi O, A e B) e la formazione stellare è ancora in atto. L'età di NGC 3193 appare invece piuttosto bassa; le galassie ellittiche sono notoriamente costituite da stelle più evolute, quindi stelle fredde, e la formazione stellare è ormai cessata.

Tabella 6

	$H\beta$	Mg 5175	Fe 5270	Fe 5335	$[MgFe]$	Età
NGC 3193	2.5	3.9	1.5	0.9	2.16	3Gys
NGC 5676	1.78	2.71	2.19	0.85	2.03	9 Gys

Secondo i modelli di Forbes and Ponman, 1999, che considerano una relazione fra dispersione di velocità – magnitudine assoluta B e età, delle galassie ellittiche, risulta un'età di 10 Gyr. Gli stessi autori però ammettono la difficoltà di determinare l'età delle ellittiche con l'osservazione spettroscopica, in quanto non sempre l'elevata metallicità è indice di età avanzata. Inoltre, dai loro modelli non sono escluse galassie ellittiche giovani (< 3 Gyr). Infine non dimentichiamo che i modelli di Tantalo e Chiosi (2004) sono sicuramente più aggiornati.

Bibliografia

Mark H. James & al., 2004, An Introduction to galaxies of cosmology, Cambridge University Press
Paturel, 1989, Catalogue of Principal Galaxies,
L. Rosino, 1979, Lezioni di astronomia, edizioni Cedam – Padova
Worthey et al.; 1994; Ap.J.S.S., 94:687-722;
Tantalo & Chiosi; 2004; Mon. Not. R. Soc. 353, 405-421;
Forbes and Ponman, 1999, Mon. Not. R. Soc., 309, 623 - 628

APPENDICE A

