

Studio delle galassie ARP63 e M82

Martino Fassina⁽¹⁾, Matteo Schiavon⁽¹⁾, Fabio Lorenzi⁽¹⁾,
Enrico Chinello⁽²⁾, Michele Tonellato⁽¹⁾

⁽¹⁾Liceo scientifico E.Curiel – Padova

⁽²⁾ITIS F.Severi - Padova

ABSTRACT

During our experience we have studied two galaxies: M82 and ARP63. We used the “Galileo telescope” (122cm) of the Asiago Observatory, and we made measures and computations in order to obtain their distance, velocity, star formation rate and other information.

I. INTRODUZIONE

E' noto che, poiché le galassie sono in continuo allontanamento, i loro spettri sono affetti dal fenomeno del **redshift**.

Il calcolo del redshift è dunque il primo passo per procedere a qualsiasi altra misurazione. Da esso è possibile ricavare la velocità di allontanamento della galassia e, misurandola in varie zone della galassia stessa, è possibile ottenere la curva di rotazione.

Applicando il teorema del Viriale si può quindi stimare la massa della galassia.

Infine, dal calcolo del flusso e poi della luminosità della riga di emissione $H\alpha$, si ricava il tasso di formazione stellare SFR.



Fig. 2 : La galassia Arp63

Durante lo stage all'Osservatorio Astrofisico di Asiago abbiamo osservato due galassie: M82 (Fig. 1) e Arp63 (Fig. 2). Per entrambe le galassie è stato utilizzato un reticolo da 300 tratti/mm che ci ha permesso di ottenere uno spettro esteso da 3600 fino a 8000 Å. Gli spettri delle due galassie mostrano righe in emissione caratteristiche della presenza di regioni di formazione stellare.

II. DATI OSSERVATIVI



Fig. 1 : La galassia M82

III. DESCRIZIONE DEL LAVORO

Il primo passo è stato l'acquisizione dei dati tramite dei sensori digitali che funzionano per effetto fotoelettrico e termoelettrico. Dopo aver acquisito i dati sono state necessarie un certo numero di correzioni degli errori strumentali per trasformare il dato grezzo in dato scientifico.

Correzione del Bias: si tratta dell'intensità catturata a otturatore chiuso e con un tempo di posa praticamente nullo. Poiché questa intensità ha una variazione casuale, è necessario ricavare più di un bias, e poi sottrarre all'immagine ottenuta la media di questi. In tali operazioni gli spettri vengono trattati come matrici di numeri: i vari pixel

corrispondono alle caselle, e ad ognuno di essi è associato un numero, la sua intensità. La media tra i bias, quindi, non è altro che la media aritmetica tra le intensità corrispondenti a uno stesso pixel, identificato da una determinata posizione. Nel bias medio si appianano le differenze casuali tra pixel e pixel che si notano invece nei singoli bias.

Correzione per flat-field: bisogna tenere presente che non tutti i pixel danno la stessa risposta alle stesse stimolazioni, cioè la capacità di catturare fotoni non è distribuita tra di essi in modo omogeneo. I rilevatori CCD attualmente in uso sono alquanto sottili, e permettono un'alta efficienza (80-90 %), anche se con alcuni effetti collaterali (alcuni fotoni li attraversano creando fenomeni d'interferenza). D'altra parte, la loro efficienza quantica diminuisce nelle lunghezze d'onda del blu. Il flat-field è uno spettro ricavato con la cupola chiusa e l'interno illuminato con luce diffusa da una lampada alogena, che emette uno spettro continuo. Per le ragioni appena esposte (minore efficienza quantica nelle zone del blu) tale spettro, in un grafico $I(\lambda)$ contro λ si configura come una curva crescente, che assume i valori più bassi appunto nelle zone di λ corrispondenti al blu. Ma, a causa delle disomogeneità tra i pixel, tale curva non è una perfetta funzione matematica, bensì presenta delle piccole variazioni, che la discostano dalla curva attesa. Sono tali variazioni che è necessario interpolare con una funzione matematica precisa, che è tanto più precisa tanto maggiore è l'ordine del polinomio che la identifica.

Normalizzazione: consiste nel dividere l'intensità di ogni pixel ricavata nel flat-field per l'intensità assegnata allo stesso pixel dalla funzione matematica. Se l'approssimazione è buona, in ogni punto il risultato dovrebbe essere circa uguale a 1.

Calibrazione in lunghezze d'onda: è l'operazione che consente di passare da pixel a Angstrom, per trasformare le coordinate del pixel in unità di lunghezze d'onda. Per fare ciò ci siamo serviti di uno spettro (corretto solo per bias) di una lampada ferro-argon agganciata allo spettrografo stesso. Dato che tale lampada emette a lunghezze d'onda note, siamo stati in grado di riconoscerle nello spettro da noi ricavato, per trovare così la funzione di conversione dei pixel in Angstrom.

Calibrazione in flusso (Fig. 3): tramite il confronto con lo spettro di una stella nota (Feige 32), le intensità dei vari pixel sono state convertite in unità di misura fisiche ($\text{erg cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{\AA}^{-1}$).

Infine, per ottenere lo spettro effettivo della galassia, è stato necessario togliere il contributo del cielo (Fig. 4).

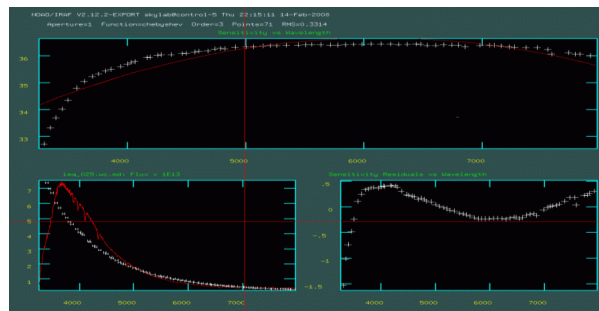


Fig. 3 : Determinazione della funzione per la calibrazione in flusso degli spettri

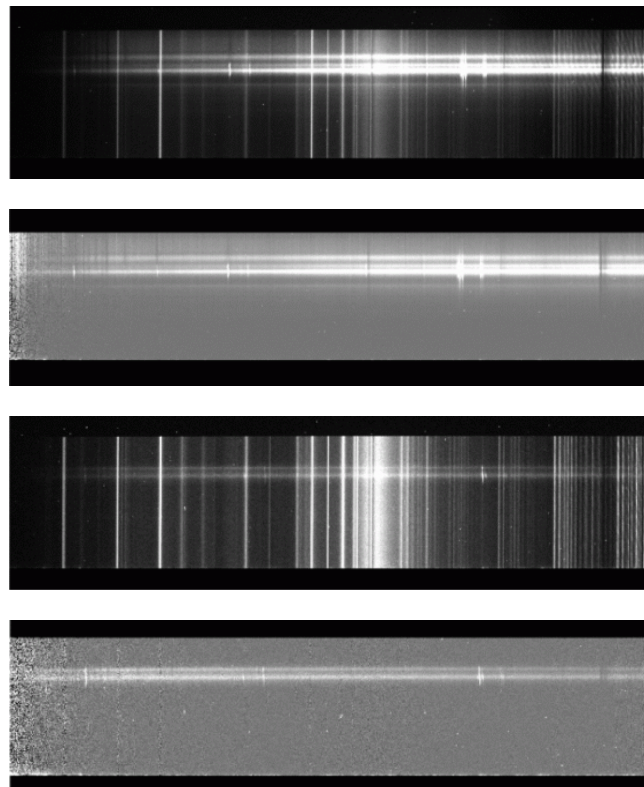


Fig. 4 : Spettri di M82 (i primi due in alto) e Arp63 (i due in basso) prima e dopo la correzione e l'eliminazione del cielo.

IV. RISULTATI

Bisogna però tenere conto che la radiazione, prima di giungere sino a noi, subisce un assorbimento ad opera di materia interstellare (gas e polveri), che è maggiore alle lunghezze d'onda inferiori. Per quantificare tale assorbimento si sono calcolati negli spettri i flussi delle righe $H\alpha$ e $H\beta$. Dal confronto di tali flussi con il decremento di Balmer teorico per un gas ionizzato a una temperatura di 10 000 K :

$$\frac{f_{H\alpha}}{f_{H\beta}} = 2.86$$

si ottiene il coefficiente di estinzione interstellare c . Da qui si può ricavare il valore

$$A_V = 2,147 \cdot c$$

il quale rappresenta il numero di magnitudini perse per colpa dell'estinzione. Si può a questo punto calcolare il flusso reale ad una qualsiasi lunghezza d'onda λ con la formula:

$$I_\lambda = f_\lambda \times 10^{0,1386 \cdot A_V} \quad (\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

dove I_λ rappresenta il flusso reale e f_λ quello da noi rilevato.

Lo spettro della galassia M82 è stato diviso in 3 parti (Fig. 5), mentre quello di ARP63 in quattro (Fig. 6), aventi tutte circa la medesima ampiezza in pixel, e corrispondenti a diverse regioni della galassia stessa.

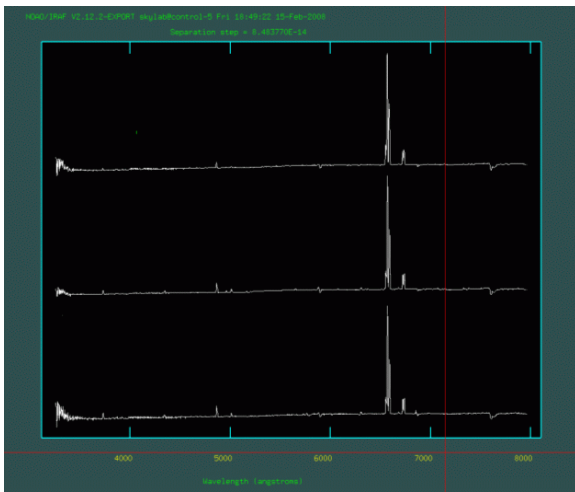


Fig. 5 : Spettro riassuntivo delle tre regioni di M82

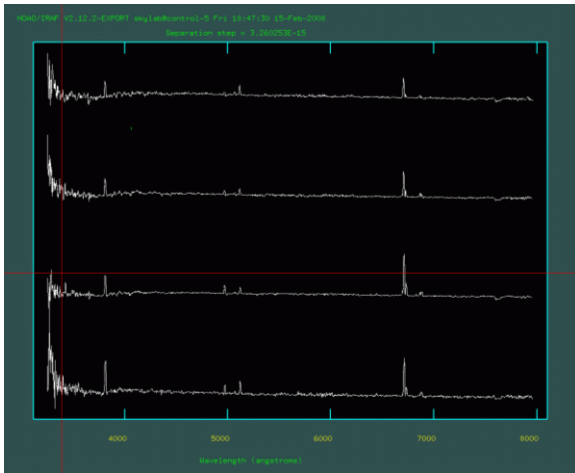


Fig. 6 : Spettro riassuntivo delle quattro regioni di ARP63

Per ognuna delle sette parti sono stati quindi individuati dai grafici I_λ vs. λ i picchi corrispondenti alle emissioni di elementi noti ([O II] 3727; [O III] 5007; [S II] 6716,6731; [N II] 6584). Abbiamo quindi misurato i flussi di tali emissioni e, con la formula sopra indicata, abbiamo ricavato i flussi reali dovuti alle emissioni di tali elementi.

A causa dell'allontanamento della galassia in questione, le righe ci appaiono spostate verso il rosso (redshift).

Abbiamo potuto così calcolare, nella regione centrale di ciascuna galassia, il redshift (z):

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Dove λ è la lunghezza d'onda misurata sperimentalmente e λ_0 la lunghezza d'onda prevista. Usando il valore così trovato siamo stati in grado di calcolare la distanza delle due galassie dalla Terra attraverso la relazione:

$$d = \frac{c \cdot z}{H_0}$$

dove c è la velocità della luce e H_0 la costante di Hubble.

Per entrambe le galassie si è potuto calcolare la luminosità L della riga $H\alpha$ tramite la relazione:

$$L_{H\alpha} = 4\pi \cdot d^2 I_{H\alpha} \quad (\text{erg sec}^{-1})$$

dove $I_{H\alpha}$ è il flusso reale dell' $H\alpha$ e d la distanza della galassia. Da questa si è determinato la SFR (*Star Formation Rate*), cioè il tasso di formazione stellare della galassia espresso in masse solari all'anno, grazie alla relazione:

$$SFR = 7,9 \cdot 10^{-42} L_{H\alpha} \quad (M_\odot / \text{anno})$$

Per ognuna delle due galassie abbiamo sommato la SFR delle varie zone, per ottenere il valore totale nell'area osservata. Per quanto riguarda M82 è stato possibile inoltre determinare quello complessivo, poiché si è potuto stimare l'area totale della galassia, approssimabile a un'ellisse (Fig. 7).

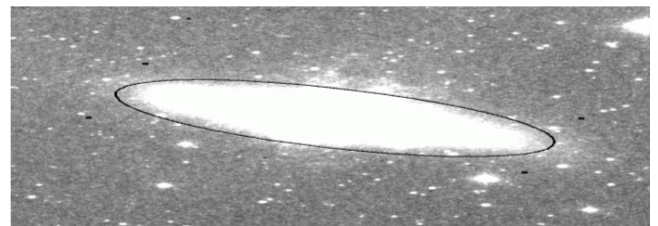


Fig. 7 : Approssimazione di M82 ad un'ellisse

La SFR, per M82, è risultata particolarmente elevata ($154 M_\odot / \text{anno}$). L'alto tasso di formazione, soprattutto nella parte centrale, provoca la presenza di forti venti stellari che spingono verso l'esterno grandi quantità di materiale stellare. Tali getti vengono designati con il nome di "fontane galattiche".

Si sono poi stimate le dimensioni degli assi della galassia M82 (sempre rimanendo all'interno della sua approssimazione a un'ellisse). Per fare ciò si è reso necessario calcolare quanti kiloparsec vale ogni secondo d'arco, tramite la relazione:

$$\frac{kpc}{sec} = \frac{d}{206265}$$

dove d è la distanza in kpc della galassia. Moltiplicando poi il valore così ottenuto per le misure in secondi d'arco degli assi dell'ellisse si ottiene la stima in kpc degli assi della galassia.

Ricordando che la riga $H\alpha$ è emessa quando elettroni liberi si ricombinano con i loro protoni, si deduce che la sua intensità è strettamente legata al numero di fotoni ionizzanti ($E_\gamma > 13,6 \text{ eV}$) emessi da una sorgente (ad esempio stelle calde). E' quindi semplice calcolare il numero di fotoni ionizzanti Q , legati alla luminosità L della riga $H\alpha$ tramite la relazione

$$Q = 7,3 \cdot 10^{11} L_{H\alpha} \text{ (fotoni/sec)}$$

Dividendo poi tale valore per il contributo in fotoni ionizzanti di una tipica stella calda O5 ionizzante, è possibile stimare il numero di queste nella regione osservata. Ancora una volta, se per ARP63 ci si deve fermare a questa misura, per M82 è possibile procedere a una stima complessiva del numero di tali stelle nell'intera galassia.

In ARP63 (Fig. 8) abbiamo considerato regioni dello spettro distanti 3 pixel una dall'altra e misurato nel grafico di ognuna la lunghezza d'onda λ corrispondente alla riga $H\alpha$. In tal modo si calcola il redshift in ogni riga e, con la formula $v = c \cdot z$, la velocità v della galassia in ogni regione di spazio considerata. Si è quindi sottratto ad ogni punto la velocità di recessione del centro, ottenendo le varie velocità periferiche di allontanamento e di avvicinamento, che corrispondono alle velocità di rotazione della galassia.

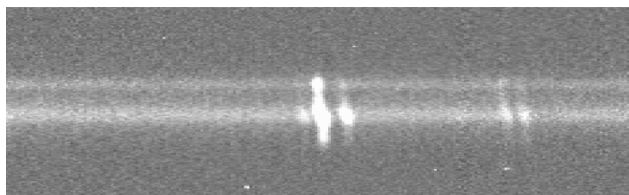


Fig. 8 : Ingrandimento dello spettro della galassia ARP63. La zona mediana più luminosa corrisponde al centro della galassia.

Usando la formula già precedentemente richiamata $kpc/sec = d/206265$ abbiamo ricavato che un secondo d'arco corrisponde in questo caso a 0,444 kpc. Poiché avevamo le distanze delle regioni della galassia considerate dal centro e misurate in pixel, abbiamo dovuto anche tenere conto che la scala spaziale dello spettrografo è 1 pixel = 0,6 secondi d'arco. Sfruttando tali relazioni siamo riusciti a determinare le distanze dal centro della galassia in kpc e costruire un grafico con in ascissa tali distanze e in ordinata la velocità delle varie zone in km/s. Si è così ottenuta la curva di rotazione della galassia (Fig. 9).

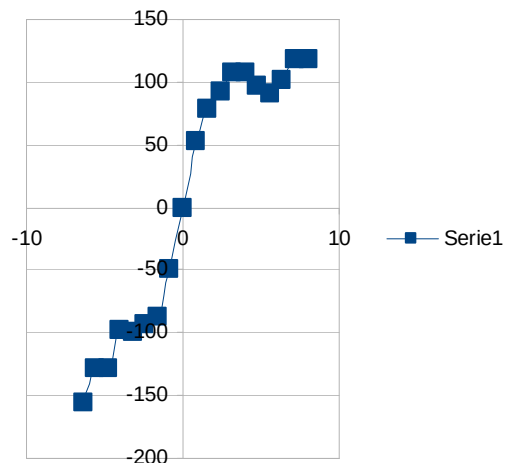


Fig. 9 : Curva di rotazione della galassia ARP63. In ascissa ci sono le distanze dal centro della galassia in kpc e in ordinata le velocità di rotazione in km/sec.

Infine, abbiamo provato a stimare la massa della galassia stessa grazie alla relazione:

$$M = \frac{v^2 r}{G}$$

assumendo un raggio di 5 kpc a cui corrisponde una velocità media di rotazione di 100 km/s.

	ARP63	M82
Redshift z	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$7,62 \cdot 10^{-4}$
Distanza (Mpc)	91,7	3,13
Distanza (cm)	$2,83 \cdot 10^{26}$	$9,66 \cdot 10^{24}$
SFR ($M_\odot$ /anno)		
(nell'area esaminata)	0,8485	0,1313
Asse maggiore (secondi d'arco)		652
Asse minore (secondi d'arco)		232
Asse mag (kpc)		9,78
Asse min (kpc)		3,48
SFR (totale)		154
N (stelle O5) (nell'area esaminata)	1570	240
N(O5) (totale)		$2,90 \cdot 10^5$
Massa (kg)	$2,32 \cdot 10^{40}$	
Massa (masse solari)	$1,16 \cdot 10^{10}$	