

## Relazione sullo stage ad Asiago 18-20 febbraio 2005

Licei Scientifici Statali “U. Morin” e “G. Bruno”  
Mestre (VE)

Studenti: Ferrara Roberto, Pagan Andrea, Tanese Dimitri

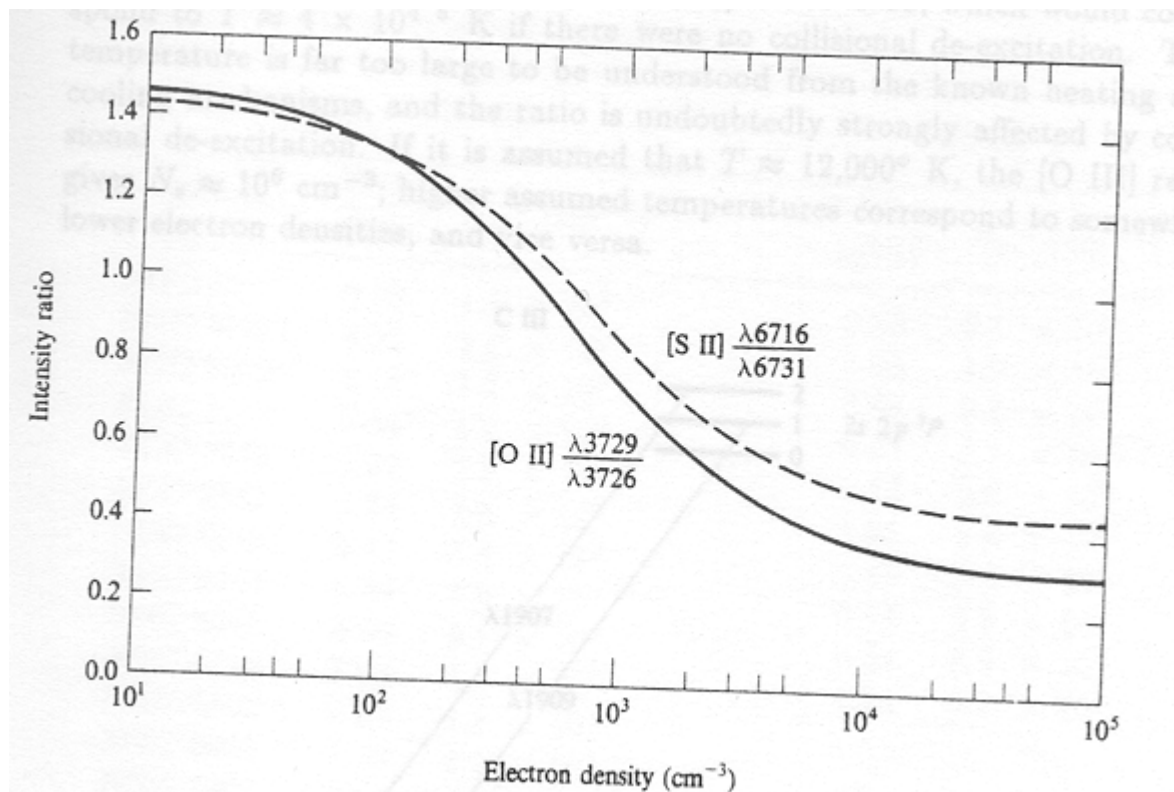
Docenti: Del Negro Antonio, Tegon Antonio

### Misura della densità elettronica in NGC 3659

Obiettivo: determinazione della densità elettronica nella galassia NGC 3659.

#### Cenni teorici

A tal fine misuriamo l'intensità delle due righe proibite in emissione dello SII, rispettivamente di  $\lambda=6716 \mu\text{m}$  e  $\lambda=6731 \mu\text{m}$  e calcoliamo il rapporto tra queste due intensità. Quindi, per determinare la densità elettronica, possiamo servirci del grafico seguente, detto diagramma di Aller, dove compaiono sull'asse delle ascisse i valori di densità elettronica e su quello delle ordinate i rapporti tra le intensità di emissione delle due vicine righe proibite. Le righe proibite sono causate dalla diseccitazione radiativa di elettroni situati in livelli metastabili (raggiunti mediante collisione con altri elettroni), in cui l'elettrone, in assenza di ulteriori urti, rimane per tempi molto lunghi ( $10^2 \text{ sec}$ ) prima di emettere un fotone.



Riassumiamo ora il motivo del legame tra rapporto d'intensità e densità elettronica.

L'intensità totale in emissione di una nube gassosa corrisponde a

$$I = \int J_v d\Omega$$

dove  $J_v$  è il coefficiente di emissività e  $d$  la densità.

Da questa passiamo all'intensità per steradiante espressa come

$$I = \int (1/4\pi) A_{ji} N_j h\nu d\Omega$$

in cui  $A_{ji}$  è la probabilità che avvenga il salto dal livello  $j$  a  $i$  con la conseguente emissione del fotone di intensità  $h\nu$ , e  $N_j$  è il numero di elettroni presenti sul livello  $j$ .

Il rapporto tra gli elettroni del livello fondamentale e di un livello metastabile  $j$  è dato dal seguente equilibrio statistico:

$$N_i C_{ij} = N_j A_{ji}$$

In cui  $C_{ij}$  è la probabilità che una collisione porti l'elettrone al livello  $j$ .

Calcolando quindi il rapporto tra le intensità di due ipotetici livelli metastabili  $k$  e  $j$  si ottiene che

$$I_{ki}/I_{ji} = (A_{ki}/A_{ji}) (N_k/N_j) (\nu_{ki}/\nu_{ji})$$

Ora,

$$N_k/N_j = (N_k/N_i) / (N_j/N_i)$$

Ma

$$N_k/N_i = (g_k/g_i) e^{(h\nu_{ki}/kT) / (1 + (A_{ki}/C_{ki}))}$$

Analogamente per  $N_j/N_i$  si ha:

$$N_j/N_i = (g_j/g_i) e^{(h\nu_{ji}/kT) / (1 + (A_{ji}/C_{ji}))}$$

$G_k$ ,  $g_j$  e  $g_i$  sono i pesi statistici dei livelli, ovvero la loro molteplicità quando vengono sottoposti a un campo magnetico. Se il fattore  $A_{ki}/C_{ki}$  tende a zero (ossia quando  $A_{ki}$  tende a zero), significa che prevalgono gli urti, nel qual caso l'equazione diventa uguale a quella di Boltzmann (il cui modello prevede infatti che ci siano solo urti). Sviluppando si ha:

$$N_k/N_j = (g_k/g_j) (1 + (A_{ji}/N_e * Q_{jk}) / (1 + (A_{ki}/N_e * Q_{ki})))$$

Da cui

$$I_{ki}/I_{ji} = (\nu_{ki}/\nu_{ji}) (A_{ki}/A_{ji}) (g_k/g_j) (1 + (A_{ji}/N_e * Q_{jk}) / (1 + (A_{ki}/N_e * Q_{ki})))$$

Dove  $N_e$  è la densità elettronica della nebulosa, e  $Q_{ki}$  e  $Q_{ji}$  sono le probabilità che gli elettroni tornino al livello  $i$  a causa di un urto.

In caso di alta densità elettronica si ha che

$$I_{ki}/I_{ji} = (g_k/g_j) (A_{ki}/A_{ji})$$

in quanto  $v_{ki}$  e  $v_{ji}$  sono quasi uguali nei casi considerati.

In caso di bassa densità elettronica si ha che

$$I_{ki}/I_{ji} = g_k/g_j$$

per le stesse considerazioni, e ponendo con buona approssimazione  $Q_{ki}=Q_{ji}$ .

Questi due casi estremi sono il punto di partenza per il disegno del grafico precedente, che presenta due asintoti orizzontali:

$$y = 0.4$$
$$y = 1.5$$

Misurando il rapporto  $I_{ki}/I_{ji}$  (determinato dai conteggi di fotoni) in funzione della distanza dal centro della galassia, possiamo attraverso tale grafico determinare la densità elettronica corrispondente (cosa che i programmi dell'osservatorio hanno invero fatto al posto nostro).

### **Osservazione**

Prima di iniziare l'osservazione abbiamo verificato la configurazione dello spettrografo e del rivelatore CCD. Quindi abbiamo acquisito una serie di bias, dark e flat field, e ottenuto lo spettro di una stella standard, per poter in seguito calibrare le immagini ottenute. Una volta scelto l'oggetto da osservare in un archivio cartaceo, ne abbiamo cercate le coordinate in un altro più aggiornato online, quindi abbiamo puntato il telescopio e orientata la fenditura lungo l'asse maggiore della galassia. Abbiamo quindi effettuato 2 pose da 15 minuti ciascuna.

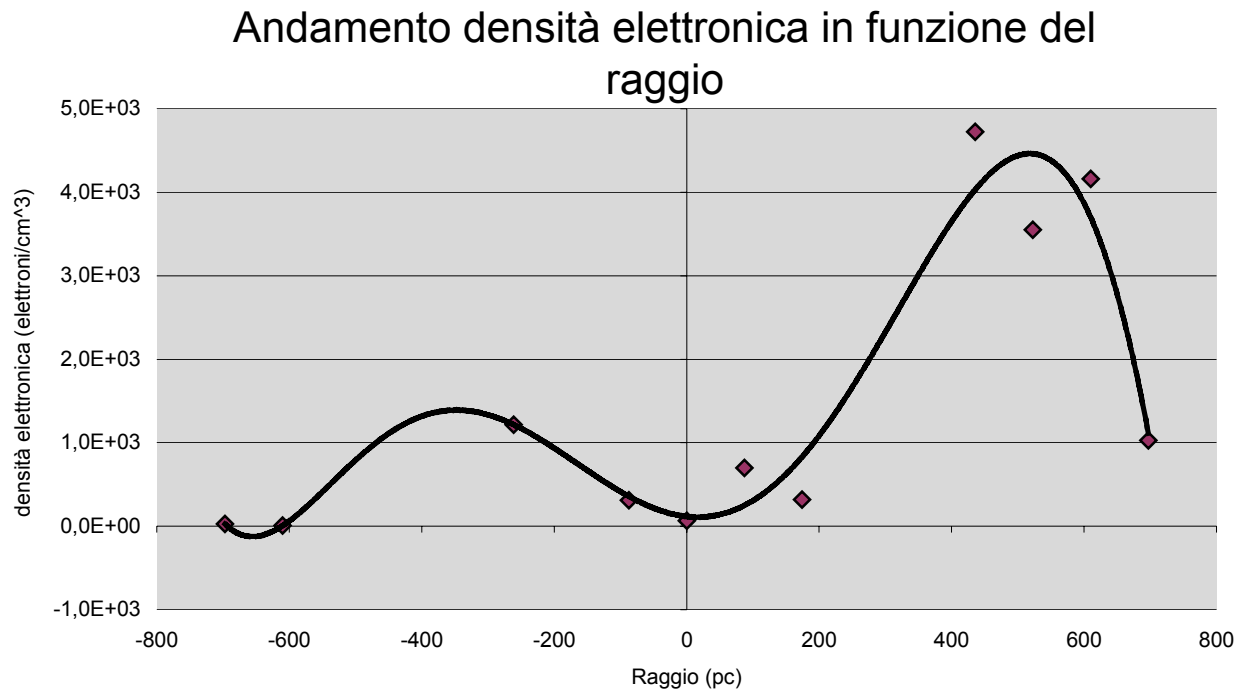
### **Riduzione**

Con il software IRAF siamo passati alla riduzione degli spettri bidimensionali rilevati. In particolare abbiamo eseguito:

- correzione per Bias
- correzione per flat field
- calibrazione in lunghezza d'onda
- calibrazione in flusso
- correzione dei raggi cosmici
- sottrazione del cielo

### Elaborazione dati

Ottenuti gli spettri monodimensionali in corrispondenza delle lunghezze d'onda desiderate, abbiamo individuato in questi spettri le righe proibite dello SII, misurandone l'intensità. Sono stati calcolati quindi, i rapporti d'intensità e le corrispondenti densità elettroniche in funzione della distanza dal centro. Successivamente abbiamo inserito i dati in questo grafico.



Questa è la relativa tabella:

| Colonna<br>(n) | Raggio<br>(colonne) | Raggio<br>(pc) | Flusso 6716<br>(10 <sup>-15</sup> erg/cm <sup>2</sup> /s) | Flusso 6731<br>(10 <sup>-15</sup> erg/cm <sup>2</sup> /s) | Flusso 6716/Flusso 6730 | Ne<br>(elettroni/cm <sup>3</sup> ) |
|----------------|---------------------|----------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 88             | -8                  | -697,08        | 3,06                                                      | 2,18                                                      | 1,404                   | 26,51                              |
| 89             | -7                  | -609,95        | 3,04                                                      | 2,11                                                      | 1,441                   | 10,00                              |
| 93             | -3                  | -261,41        | 1,54                                                      | 1,85                                                      | 0,832                   | 1216,78                            |
| 95             | -1                  | -87,14         | 1,99                                                      | 1,73                                                      | 1,150                   | 311,94                             |
| 96             | 0                   | 0,00           | 1,71                                                      | 1,26                                                      | 1,357                   | 64,48                              |
| 97             | 1                   | 87,14          | 1,91                                                      | 1,98                                                      | 0,965                   | 699,51                             |
| 98             | 2                   | 174,27         | 2,60                                                      | 2,27                                                      | 1,145                   | 319,73                             |
| 101            | 5                   | 435,68         | 1,25                                                      | 2,14                                                      | 0,584                   | 4725,32                            |
| 102            | 6                   | 522,81         | 1,73                                                      | 2,78                                                      | 0,622                   | 3549,72                            |
| 103            | 7                   | 609,95         | 1,64                                                      | 2,73                                                      | 0,601                   | 4160,53                            |
| 104            | 8                   | 697,08         | 1,74                                                      | 2,00                                                      | 0,870                   | 1029,32                            |

Dalla tabella appare subito come manchino i valori corrispondenti ad alcune colonne: questo è dovuto a eccessivo rumore che ha distorto le misure fornendoci dati di rapporto tra i flussi esterni all'intervallo considerabile 0,5-1,5.

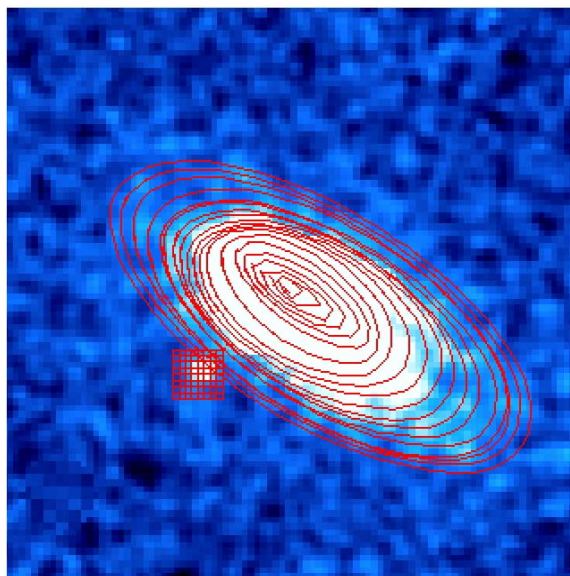
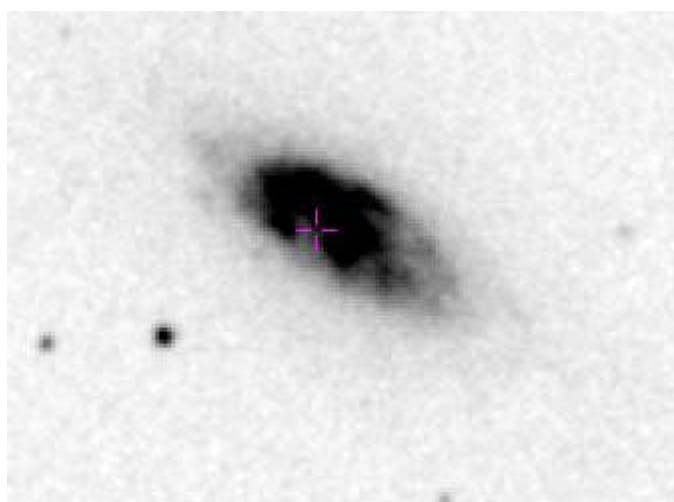
## Conclusione

Dal grafico ottenuto si può dedurre un andamento generale della densità elettronica che presenta una forte asimmetria e disomogeneità.

Pur premettendo che tale andamento potrebbe essere influenzato da alcuni valori mancanti (esterni all'intervallo 0,4-1,5), è possibile darne un'interpretazione riscontrando forme di asimmetria anche nelle precedenti analisi.

Nelle immagini nel visibile tale asimmetria risulta evidente, ed allo stesso modo succede nel grafico della Star Formation Rate.

Confrontiamo i grafici di SFR e Ne:

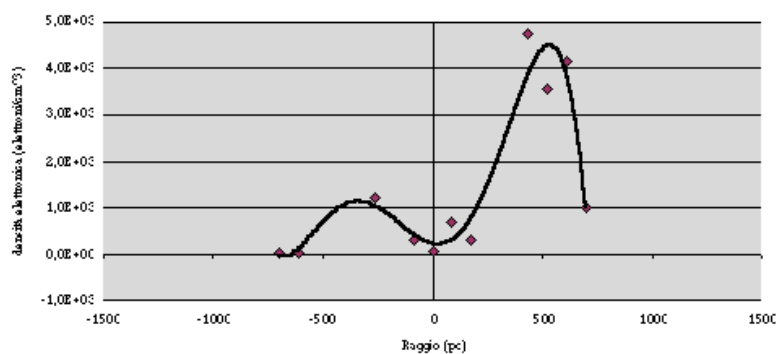


Si può notare come il massimo della Sfr corrisponde al centro ottico, ovvero al punto di massima luminosità della galassia, ma che contemporaneamente il massimo della Ne sia posizionato dalla parte opposta.

Nel tentativo di interpretare questi dati, si potrebbe notare come i dati utilizzati nel calcolo dell' Sfr (ovvero le intensità dell'H $\alpha$ ) potrebbero essere influenzati dallo riassorbimento interno delle emissioni, cosa che invece non dovrebbe influire eccessivamente nel calcolo della densità elettronica in quanto risultato di un rapporto di flusso.

Detto questo, associando la densità elettronica alla densità di materia in generale, la discesa della curva della Sfr potrebbe legarsi ad un maggiore riassorbimento dovuto al picco di densità dimostrato dalla Ne.

Andamento densità elettronica in funzione del raggio



SFR NGC3659

