

Relazione sullo stage ad Asiago 12-15/02/2004

Studenti: Tommaso Dal Corso, Alice Mariotti,  
Liceo Scientifico “Primo Levi”, San Pietro in Cariano – Verona

Marco Bellone, Martina Fontana, Michele Mazzi  
Liceo Scientifico “G. Fracastoro” - Verona

Insegnanti: Luigi Vaona, Marco Gazzaniga

# Misure di velocità e densità elettronica in NGC 650 (M 76) e NGC 1952 (M 1)

## Introduzione

Si presentano delle osservazioni spettroscopiche, nella regione di  $H\alpha$ , della nebulosa planetaria NGC 650 e del resto di supernova NGC 1952. Il nostro obbiettivo è quello di misurare la velocità del gas e la densità elettronica delle nebulose in oggetto e di confrontarle fra loro.

La planetaria NGC 650, conosciuta col nome di Piccolo Manubrio è uno degli oggetti più deboli del catalogo di Messier ( $m_v=10.1$ ), ha una struttura formata da un anello ellittico e da due lobi esterni di gas ionizzato in espansione simili ad ali di farfalla (fig. 1).

La nebulosa NGC1952, o Nebulosa del Granchio, situata nel Toro, fu il primo oggetto inserito nel catalogo di Messier ( $m_v=8.4$ ), è il resto della supernova esplosa nel 1054. Si tratta di gas in rapida espansione (circa 1500 km/s), diffuso su un volume di circa 10 anni-luce di diametro; la forma ricorda una caotica ragnatela (fig. 2).

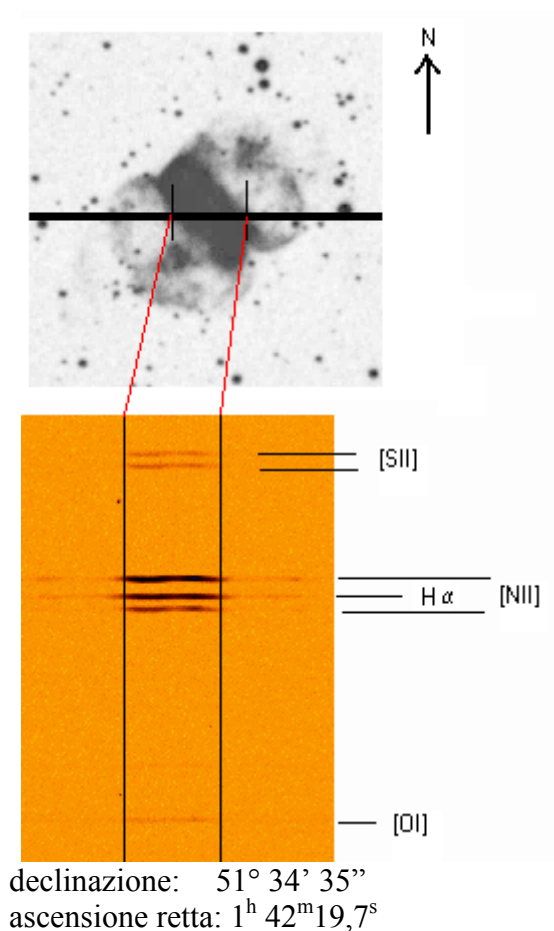


fig. 1

## 1. Osservazione e riduzione delle immagini

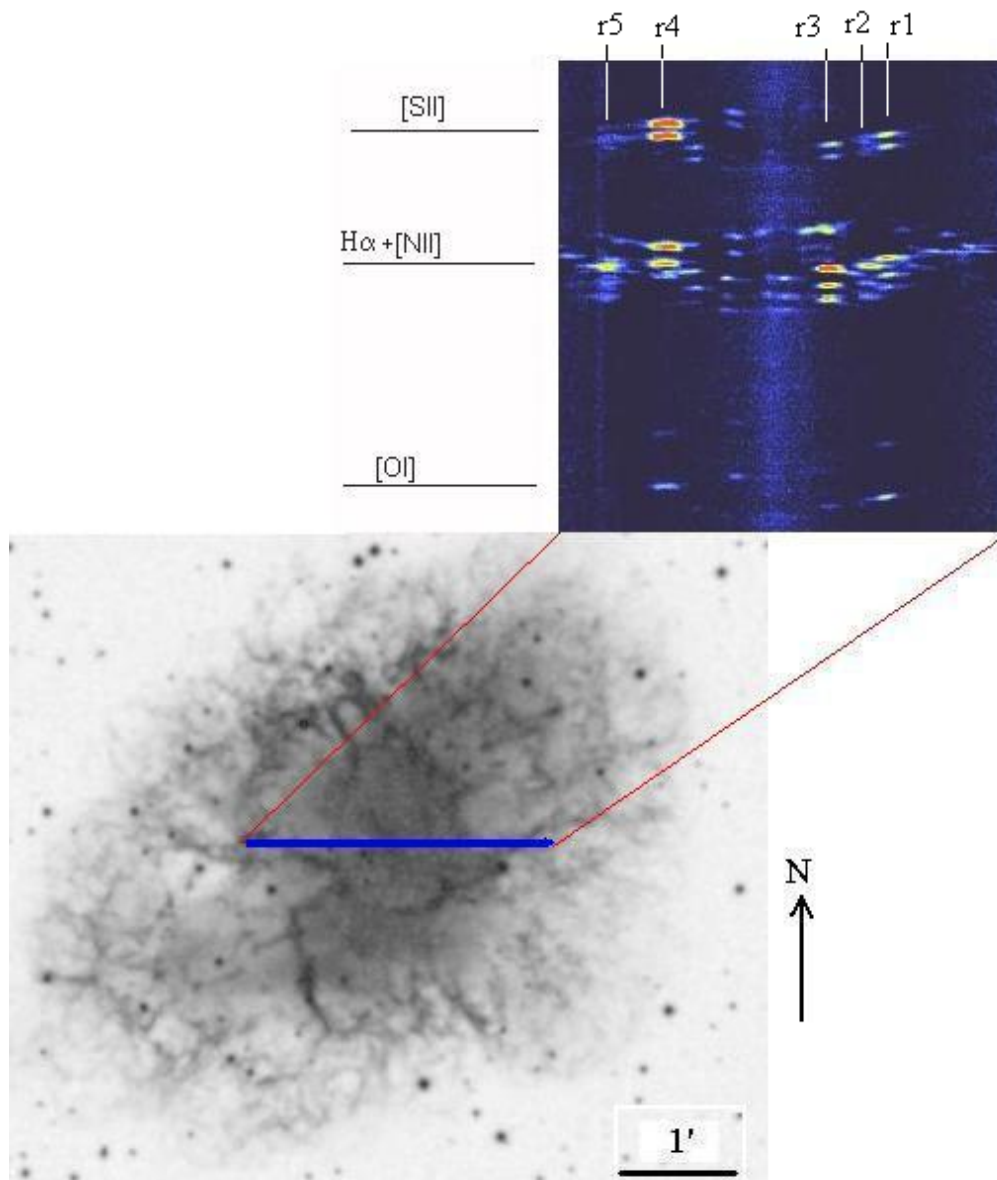
Le osservazioni spettroscopiche degli oggetti studiati sono stati ottenuti con lo spettrografo B&C montato al fuoco cassegrain del telescopio di 122 cm dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago.

La configurazione dello spettrografo era la seguente:

- reticolo da 600 tratti/mm
- larghezza della fenditura: 3,8 arcsec
- perpendicolarmente alla dispersione ad ogni pixel corrispondono 1,1 arcsec.

Le immagini sono state corrette per bias, dark e flat field, quindi calibrate in lunghezza d'onda e flusso. Per la riduzione e la misura è stato usato IRAF mentre per la rappresentazione grafica delle immagini e degli spettri è stato usato IRIS.

Nella figura 1 è riportata l'immagine della nebulosa NGC 650 tratta dalla DSS-red, alla quale è sovrapposta l'immagine della fenditura, i tratti verticali identificano la regione studiata, nella stessa immagine è riportato lo spettro bidimensionale con l'identificazione delle righe.



declinazione : 22° 01' 00''  
ascensione retta: 5<sup>h</sup> 34<sup>m</sup> 30<sup>s</sup>

fig. 2

Nella figura 2 è riportata l'immagine della nebulosa NGC 1952 tratta dalla DSS-red, alla quale è sovrapposta l'immagine della fenditura della regione studiata e, analogamente alla figura 1, viene riportata la parte analizzata dello spettro bidimensionale.

2. Analisi di NGC 650

2.1 Spettri e misure

Lo spettro bidimensionale è stato suddiviso in 6 regioni, ogni regione abbraccia 10 pixel che corrispondono a circa 11 arcsec, quindi sono stati creati i relativi spettri monodimensionali. Ogni regione è individuata da un numero progressivo, procedendo da ovest verso est. Di seguito riportiamo lo spettro della terza regione che corrisponde al centro della nebulosa.

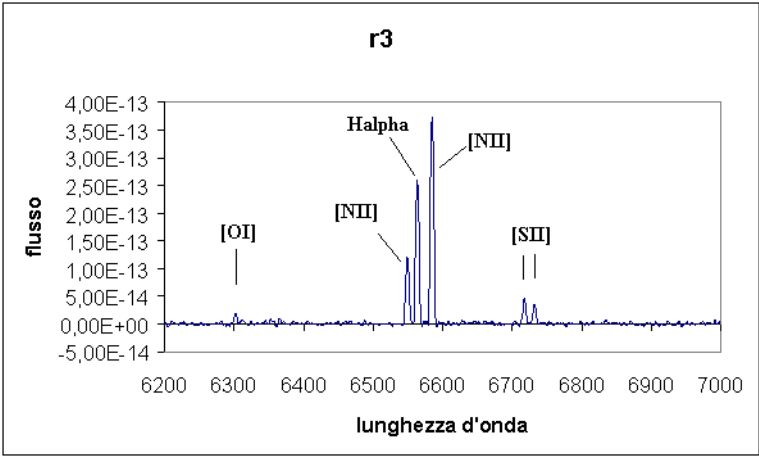


Fig. 3

Le righe misurabili negli spettri sono le seguenti: [OI]6300, [NII]6548, H $\alpha$ , [NII]6583, [SII]6716, [SII]6731, di queste abbiamo misurato la lunghezza d'onda e il flusso, le misure seguono nella tabella 1. Le lunghezze d'onda sono in Å mentre i flussi in erg/cm<sup>2</sup>/s. L'errore stimato sui flussi è di 10<sup>-14</sup> erg/cm<sup>2</sup>/s

TABELLA 1

| region     | 1         |          | 2         |          | 3         |          | 4         |          | 5         |          | 6         |          |
|------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| columns    | [78;87]   |          | [88;97]   |          | [98;107]  |          | [108;117] |          | [118;127] |          | [128;137] |          |
| Id         | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     |
| [OI]6300   |           |          |           |          | 6302,04   | 1,89E-14 | 6301,58   | 4,32E-14 | 6300,67   | 7,37E-14 |           |          |
| [NII]6548  |           |          | 6548,47   | 1,55E-13 | 6549,22   | 6,96E-13 | 6548,73   | 6,28E-13 | 6548,15   | 7,69E-13 | 6548,87   | 2,96E-13 |
| H $\alpha$ | 6562,22   | 3,34E-13 | 6562,92   | 1,37E-12 | 6563,44   | 1,53E-12 | 6563,22   | 1,54E-12 | 6563,04   | 1,59E-12 | 6563,40   | 7,83E-13 |
| [NII]6583  | 6583,28   | 3,61E-13 | 6583,95   | 1,79E-12 | 6584,59   | 2,14E-12 | 6584,23   | 2,10E-12 | 6583,54   | 2,53E-12 | 6584,16   | 1,05E-12 |
| [SII]6716  |           |          | 6717,27   | 1,71E-13 | 6717,63   | 2,20E-13 | 6717,28   | 2,33E-13 | 6716,35   | 2,54E-13 | 6717,17   | 1,29E-13 |
| [SII]6731  |           |          | 6730,90   | 1,29E-13 | 6732,16   | 1,76E-13 | 6731,56   | 1,60E-13 | 6730,38   | 2,25E-13 | 6730,97   | 9,10E-14 |

## 2.2 Velocità del gas

La morfologia di questo oggetto è estremamente interessante (Pascoli, 1985), la nebulosa è costituita da un anello in espansione visto quasi di taglio, e da due lobi (ben visibili anche nella figura 1) molto più lontani di cui non è stato possibile ottenere alcuna misura in quanto troppo deboli. Per quanto riguarda l'anello gli spettri ottenuti sono di buona qualità anche se la risoluzione non ci permette di evidenziare il doppio picco nelle righe, tipico della "shell" in espansione. In ogni caso dalla misura della larghezza della riga di  $H\alpha$  e di  $[NII]6583$  si è trovato un valore di  $4,7 \text{ \AA}$ , che corrisponde ad una velocità di  $\pm 100 \text{ km/s}$ . Tale valore è in buono accordo con quanto trovato da Sabbadin (1981).

TABELLA 2

| Region | Center  | velocità km/s | region | center  | velocità km/s |
|--------|---------|---------------|--------|---------|---------------|
| 1      | 6562,22 | -35,65        | 4      | 6301,58 | 75,00         |
| 1      | 6583,28 | 12,81         | 4      | 6548,73 | 33,49         |
| 2      | 6548,47 | 21,53         | 4      | 6563,22 | 10,10         |
| 2      | 6562,92 | -3,66         | 4      | 6584,23 | 56,14         |
| 2      | 6583,95 | 43,11         | 4      | 6717,28 | 57,22         |
| 2      | 6717,27 | 56,55         | 4      | 6731,56 | 24,91         |
| 2      | 6730,90 | -4,55         | 5      | 6300,67 | 31,76         |
| 3      | 6302,04 | 97,14         | 5      | 6548,15 | 6,69          |
| 3      | 6549,22 | 55,71         | 5      | 6563,04 | 1,97          |
| 3      | 6563,44 | 20,25         | 5      | 6583,54 | 24,43         |
| 3      | 6584,59 | 72,55         | 5      | 6716,35 | 15,50         |
| 3      | 6717,63 | 72,86         | 5      | 6730,38 | -27,59        |
| 3      | 6732,16 | 51,52         | 6      | 6548,87 | 39,91         |
|        |         |               | 6      | 6563,40 | 18,10         |
|        |         |               | 6      | 6584,16 | 52,68         |
|        |         |               | 6      | 6717,17 | 52,26         |
|        |         |               | 6      | 6730,97 | -1,34         |

Nella tabella 2 si riportano le righe con le relative velocità calcolate. Mentre nelle figure 4 e 5 abbiamo la velocità delle stesse righe in funzione rispettivamente della lunghezza d'onda e della regione considerata.

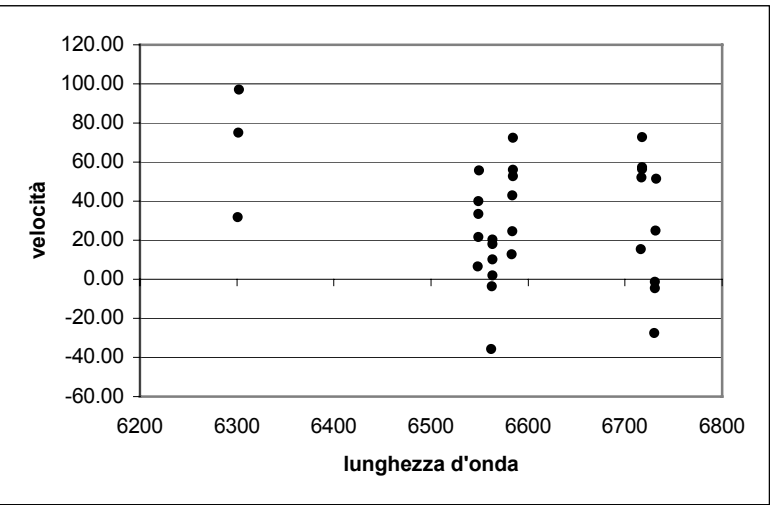


fig. 4

Dall'analisi della figura 4 appare subito un fatto degno di nota ossia che le velocità ottenute dalla misura della riga  $H\alpha$  sono in media più basse da quelle ottenute dalle righe di [NII], di [SII] e di [OI], questo potrebbe essere spiegato con una distribuzione differente degli elementi chimici, l'idrogeno avrebbe subito un processo di diffusione maggiore rispetto agli elementi più pesanti, i quali sarebbero confinati in zone ben precise (Louise 1982). Secondo Pascoli (1985) questo effetto sarebbe dovuto semplicemente alla struttura di ionizzazione (le righe dello zolfo, dell'azoto e dell'ossigeno sarebbero prodotte negli strati esterni, più veloci, e con minore ionizzazione). Nella figura 5 si nota una certa variazione di velocità da una regione ad un'altra, questo è interpretabile in termini di espansione dell'anello e forse di una possibile rotazione.

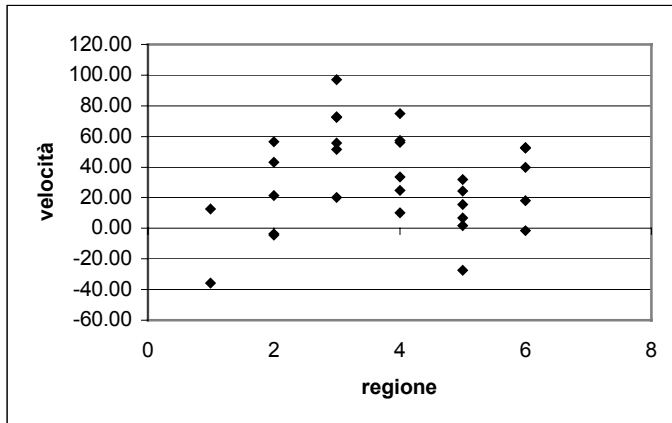


fig. 5

## 2.3 Densità elettronica

Per la determinazione della densità abbiamo sfruttato il rapporto delle intensità del doppietto delle righe dello [SII], a tal fine si dovrebbe conoscere la temperatura elettronica ( $T_e$ ), anche se la dipendenza di tale rapporto dipende debolmente da essa, come appare nella figura 6 (Aller 1984). Nel caso in oggetto abbiamo assunto la  $T_e$  di  $10.000^\circ \text{K}$ . Quindi abbiamo individuando graficamente la densità elettronica  $N_e$  per le diverse regioni esclusa la regione 1 in quanto non misurabili le righe di [SII], i risultati sono riportati nella tabella 3.

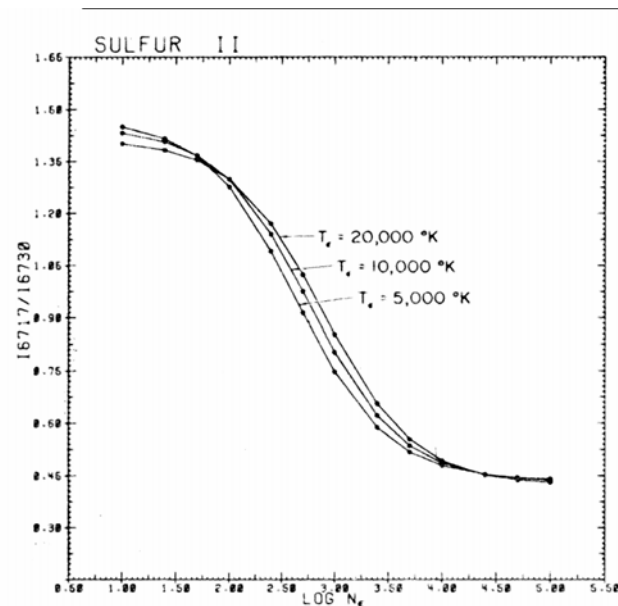


fig. 6

TABELLA 3

| REGION | [SII]6716/6731 | densità (cm <sup>-3</sup> ) |
|--------|----------------|-----------------------------|
| 2      | 1,32           | 79                          |
| 3      | 1,25           | 126                         |
| 4      | 1,46           | <10                         |
| 5      | 1,13           | 269                         |
| 6      | 1,42           | 12                          |

Le densità trovate esprimono l'ordine di grandezza che è di circa  $10^2\text{cm}^{-3}$ , in accordo con quanto trovato da Pascoli (1985) e perfettamente in accordo con le densità tipiche delle nebulose planetarie.

### 3. Analisi NGC 1952

#### 3.1 Spettri e misure

Lo spettro bidimensionale è stato suddiviso in 5 regioni, ogni regione abbraccia un numero variabile di pixel, quindi sono stati creati i relativi spettri monodimensionali. Ogni regione è individuata da un numero progressivo, procedendo da ovest verso est.

Di seguito riportiamo gli spettri relativi alle singole regioni.

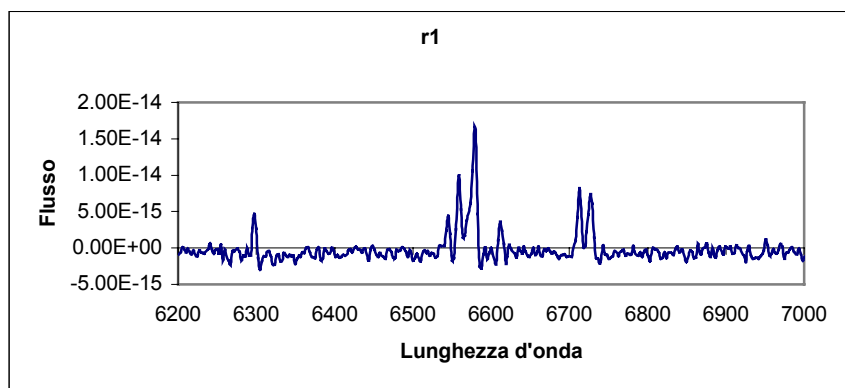


Fig. 7a

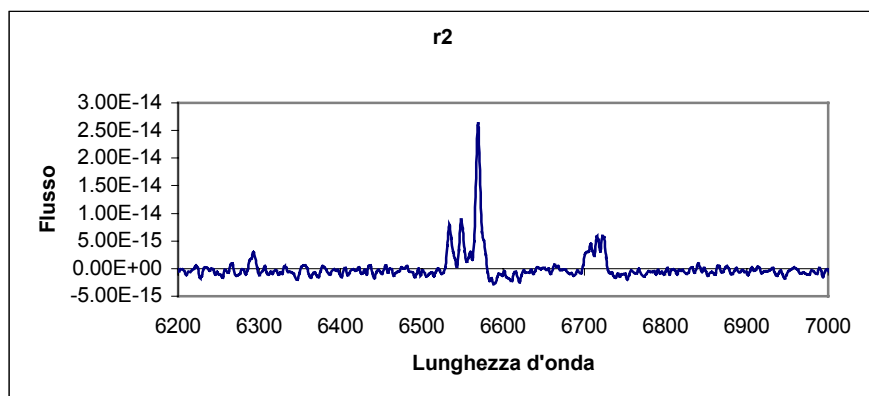


Fig. 7b

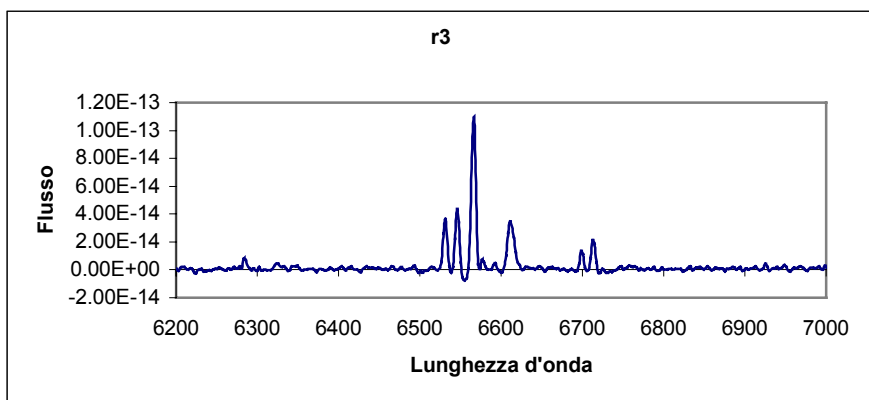


Fig. 7c

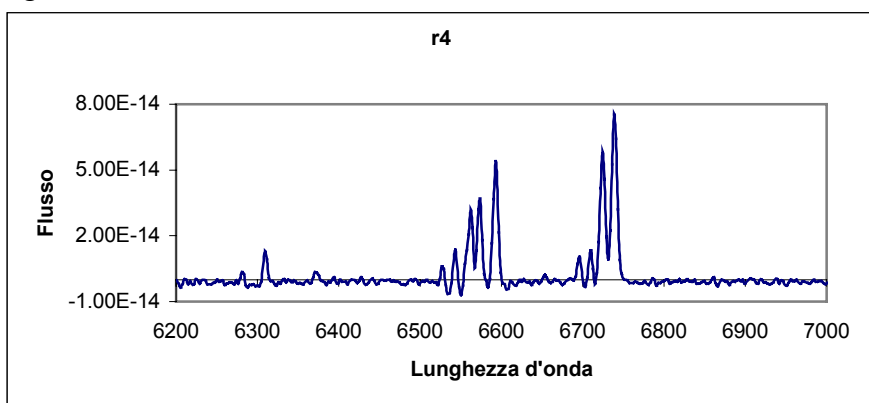


Fig. 7d

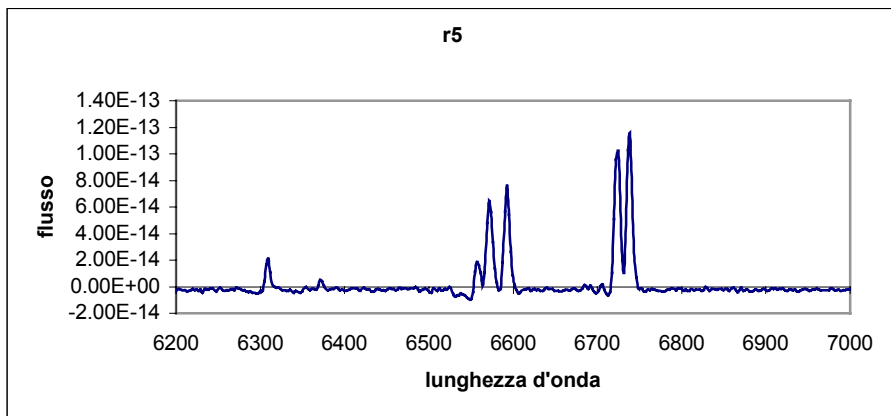


Fig. 7e

E' interessante notare come rispetto a NGC 650 gli spettri differiscano in modo sostanziale da regione a regione. A causa dell'effetto Doppler le misurazioni sono spesso doppie poiché in ogni regione si incontrano filamenti con velocità differenti; le misure seguono nella tabella 4



TABELLA 4

| Region       | 1         |          | 2         |          | 3         |          | 4         |          | 5         |          |
|--------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| Columns      | [52,59]   |          | [70,75]   |          | [83,100]] |          | [157;175] |          | [176;190] |          |
| Id           | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     | $\lambda$ | flux     |
| [OI]6300     |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |
| [OI]6300*    |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |
| [NII]6548    | 6545,419  | 2,43E-14 | 6534,151  | 4,59E-14 | 6530,909  | 2,18E-13 | 6527,213  | 2,35E-14 | 6558,228  | 1,33E-13 |
| H $\alpha$   | 6558,594  | 5,97E-14 | 6548,611  | 4,90E-14 | 6545,767  | 1,78E-13 | 6542,763  | 7,05E-14 | 6572,056  | 5,43E-13 |
| [NII]6583    | 6578,877  | 1,55E-13 | 6568,918  | 1,54E-13 | 6565,813  | 6,04E-13 | 6560,881  | 2,18E-13 | 6592,641  | 5,63E-13 |
| [NII]6548*   |           |          |           |          | 6577,063  | 3,15E-14 |           |          |           |          |
| H $\alpha$ * |           |          |           |          | 6592,075  | 2,54E-14 | 6573,053  | 2,17E-13 |           |          |
| [NII]6583*   | 6612,159  | 1,99E-14 |           |          | 6612,525  | 3,37E-14 | 6592,874  | 3,45E-13 |           |          |
| [SII]6716    | 6712,857  | 5,09E-14 |           |          | 6699,499  | 5,73E-14 | 6695,929  | 3,92E-14 | 6723,805  | 7,36E-13 |
| [SII]6731    | 6727,057  | 4,20E-14 | 6716,292  | 1,57E-14 | 6713,718  | 6,68E-14 | 6710,003  | 4,70E-14 | 6738,212  | 8,07E-13 |
| [SII]6716*   |           |          |           |          |           |          | 6724,825  | 3,58E-13 |           |          |
| [SII]6731*   |           |          | 6723,896  | 2,23E-14 |           |          | 6739,232  | 5,17E-13 |           |          |
| Ar           |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |

### 3.2 Velocità del gas

Analogamente a quanto è stato fatto per NGC 650 abbiamo calcolato la velocità per le diverse righe, queste sono riportate nella tabella 5.

TABELLA 5

| Region       | 1         |                 | 3         |                 | 4         |                 | 5         |                 |
|--------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| Columns      | [52,59]   |                 | [83,100]] |                 | [157;175] |                 | [175;190] |                 |
| Id           | $\lambda$ | Velocità (km/s) | $\lambda$ | Velocità (km/s) | $\lambda$ | Velocità (km/s) | $\lambda$ | Velocità (km/s) |
| [OI]6300     | 6297,746  | -107,20         |           |                 | 6309,745  | 463,70          | 6308,921  | 424,50          |
| [OI]6300*    |           |                 |           |                 | 6372,597  | 405,00          | 6371,729  | 364,10          |
| [NII]6548    | 6545,419  | -118,20         | 6530,909  | -782,50         | 6527,213  |                 | 6558,228  | 468,30          |
| H $\alpha$   | 6558,594  | -201,30         | 6545,767  | -787,20         | 6542,763  |                 | 6572,056  | 413,70          |
| [NII]6583    | 6578,877  | -187,80         | 6565,813  | -782,70         | 6560,881  |                 | 6592,641  | 439,00          |
| [NII]6548*   | 6591,513  | 1992,2          | 6577,063  | 1330,6          | 6560,881  |                 |           |                 |
| H $\alpha$ * | 6600,175  | 1698,1          | 6592,075  | 1328,1          | 6573,053  |                 |           |                 |
| [NII]6583*   | 6612,159  | 1328,0          | 6612,525  | 1344,6          | 6592,874  |                 |           |                 |
| [SII]6716    | 6712,857  | -140,30         | 6699,499  | -736,60         | 6695,929  | -896,00         | 6723,805  | 348,40          |
| [SII]6731    | 6727,057  | -175,60         | 6713,718  | -769,70         | 6710,003  | -935,20         | 6738,212  | 321,20          |
| [SII]6716*   |           |                 |           |                 | 6724,825  | 394,00          |           |                 |
| [SII]6731*   |           |                 |           |                 | 6739,232  | 366,60          |           |                 |
| Ar           |           |                 |           |                 | 7146,583  | 697,20          | 7053,844  | 606,40          |

Le misurazioni relative alla velocità della seconda regione, e nella banda H $\alpha$  della quarta, non sono state calcolate per difficoltà d'interpretazione dello spettro.

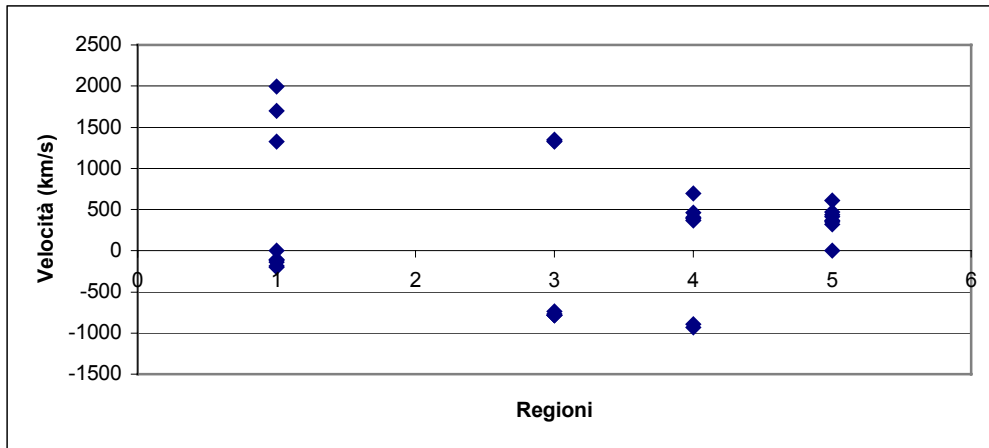


Fig. 8

Dal grafico in figura 8 risultano evidenti i diversi filamenti incrociati dalla fenditura. Le velocità positive e negative indicano la presenza di filamenti in allontanamento (positive) e in avvicinamento (negative). I valori trovati sono in ottimo accordo con le velocità tipiche del gas in espansione di un resto di supernova.

### 3.3 Densità elettronica

Trattandosi di un gas ionizzato da onde di “shock”, non si può risalire alla densità usando il grafico di Aller, valido nel caso di fotoionizzazione da parte di una stella, ma si deve ricorrere a dei modelli specifici. Nella figura 9 abbiamo il rapporto del doppietto dello [SII], in funzione della temperatura e della densità (Dopita, 1977), da questo grafico possiamo determinare un intervallo delle densità possibili, il risultato è nella tabella 6; anche in questo caso troviamo che l’ordine di grandezza della densità è di  $10^2 \text{cm}^{-3}$ .

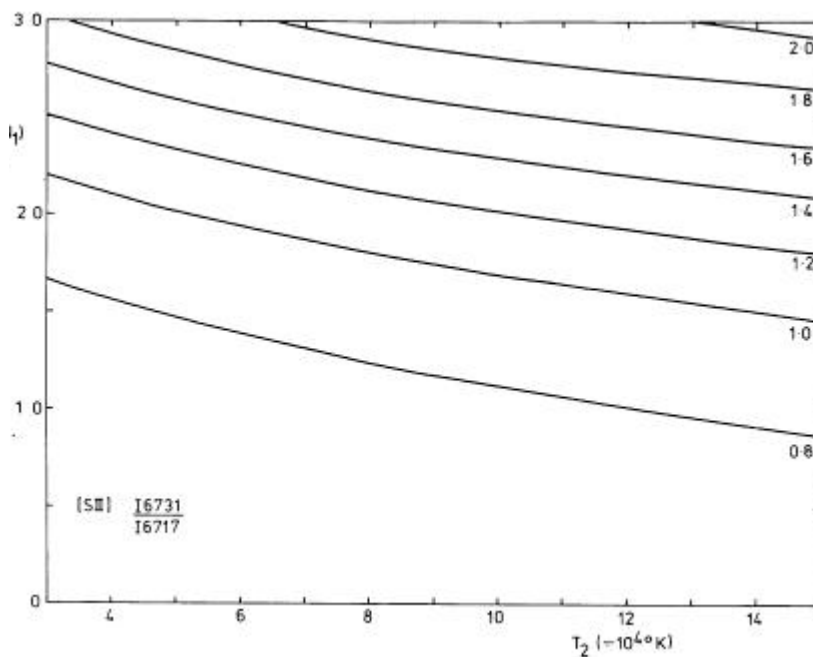


Fig. 9

TABELLA 6

| REGION | [SII]6716/6731 | densità (cm <sup>-3</sup> ) |
|--------|----------------|-----------------------------|
| 1      | 1,21           | 60<d<310                    |
| 2      |                |                             |
| 3      | 0,858          | 12<d<40                     |
| 4      | 0,692          | 6<d<13                      |
| 5      | 0,912          | 25<d<125                    |

#### 4 Conclusioni

Già da uno sguardo degli spettri bidimensionali ci si accorge come la fisica in gioco in questi due oggetti debba essere profondamente differente. La regolarità dello spettro nel caso di NGC 650 e la caoticità nel caso di NGC 1952 riflettono quella che può essere la fine di una stella; una fine tranquilla, da gigante rossa a nana bianca con perdita degli strati esterni, come nel caso di una nebulosa planetaria, oppure catastrofica come nel caso di una supernova.

Quello che abbiamo messo in evidenza è proprio questa profonda diversità dal punto di vista cinematico; trovando valori che sono perfettamente in accordo con quanto previsto e mettendo in risalto delle peculiarità, per NGC 650, come le differenti velocità trovate dalla riga H $\alpha$  rispetto alle righe proibite e l'espansione con una possibile rotazione dell'anello.

Le condizioni del gas non differiscono nella densità, che sono praticamente uguali, bensì nella diversa ionizzazione (fotoionizzazione nel primo caso e onde di shock nel secondo), velocità e, presumibilmente, temperatura.

#### Bibliografia

- Aller, (1984) Physics of thermal gaseous nebulae, Reidel Publishing Company  
Dopita, (1987), Ap. J. Supp. 33, 437  
Louise, R., (1982) Astron. Astrophys. 114, 205.  
Pascoli G., (1985) Astrophysics and Space Science 114, 357-364  
Sabbadin F. & Hamzaoglu E. (1981), Mon. Not. R. astr. Soc.197, 363-368