

Relazione sullo stage ad Asiago 11-13/02/2005

POLO di VERONA

Studenti: Fornaser Alberto, Benanti Michele

Liceo Scientifico “Primo Levi”, San Pietro in Cariano – Verona

Verdiana Steccanella, Federico Bertasi

Liceo Scientifico “G. Fracastoro” - Verona

Davide Conigliaro

Liceo Scientifico “E.Medi”, Villafranca – Verona

Insegnanti: Luigi Vaona, Marco Gazzaniga

La nebulosa planetaria IC 2149

Introduzione

Argomento di studio del presente lavoro è la Nebulosa Planetaria IC 2149, situata nella costellazione dell'Auriga (ascensione retta: 05h56m29.9sec, declinazione +45°06'11''), considerata di particolare interesse viste le sue peculiari caratteristiche morfologiche (Vasquez et al, 2002; Goncalves et al. 2001).

IC 2149 ha un aspetto ellittico ma dall'analisi di immagini ad alta risoluzione appare una struttura molto complessa: la maggior parte del gas che la compone è concentrata in un complesso e brillante anello visto di taglio, incastrato in un guscio apparentemente ellissoidale e schiacciato ai poli (fig.1).

La scarsa presenza di elementi pesanti ha portato a concludere che la massa emessa sia bassa e che la stella centrale sia relativamente giovane; la nebulosa si trova quindi in uno stadio iniziale per cui al momento quella che si osserva non sarà la sua struttura definitiva.

In questo lavoro ci si propone di determinare le caratteristiche fisiche e chimiche del gas e di determinare alcune caratteristiche della stella centrale.

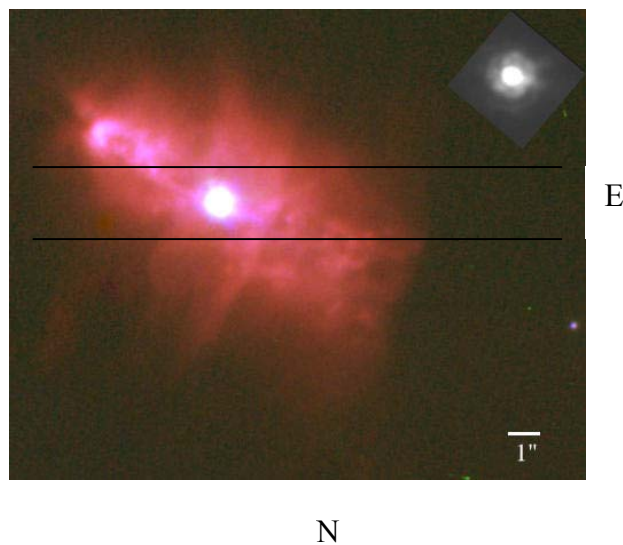


Figura 1

Picture credits: Patrick A. Young, Donald W. McCarthy, Craig Kulesa, Karen A. Knierman, Jacqueline Monkiewicz (Steward Observatory), Guido Brusa, Douglas Miller, Matthew Kenworthy (Center for Astronomical Adaptive Optics)

1. Osservazione e riduzione delle immagini

Le osservazioni spettroscopiche sono state fatte con lo spettrografo B&C montato al fuoco Cassegrain del telescopio di 122 cm dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago, nella notte del 10/02/2005.

La configurazione dello spettrografo era la seguente:

- reticolo da 300 tratti/mm
- larghezza della fenditura: 3,8 arcsec

- perpendicolarmente alla dispersione ad ogni pixel corrispondono 1,1 arcsec.
- inclinazione del reticolo:

- $6^{\circ}10'$ per l'intervallo spettrale 3500-5500 Å
- $4^{\circ}10'$ per l'intervallo spettrale 5500-7500 Å

Sono stati ottenuti 4 spettri due per ogni intervallo spettrale.

Nella figura 1 è tracciata l'immagine della fenditura sovrapposta all'oggetto.

Le immagini sono state corrette per bias, dark e flat field, quindi, dopo aver sottratto i raggi cosmici, sono state calibrate in lunghezza d'onda (lampada di confronto FeAr), in intensità (correzione per il tempo di posa) e in flusso (fattore di correzione adottato $C=0.3$). Per la riduzione e la misura è stato usato IRAF mentre per la rappresentazione grafica degli spettri monodimensionali è stato usato EXCEL.

2. Analisi

2.1 Spettri e misure

Nella figura 2 è riportato l'intero spettro ottenuto combinando le pose nel rosso e nel blu.

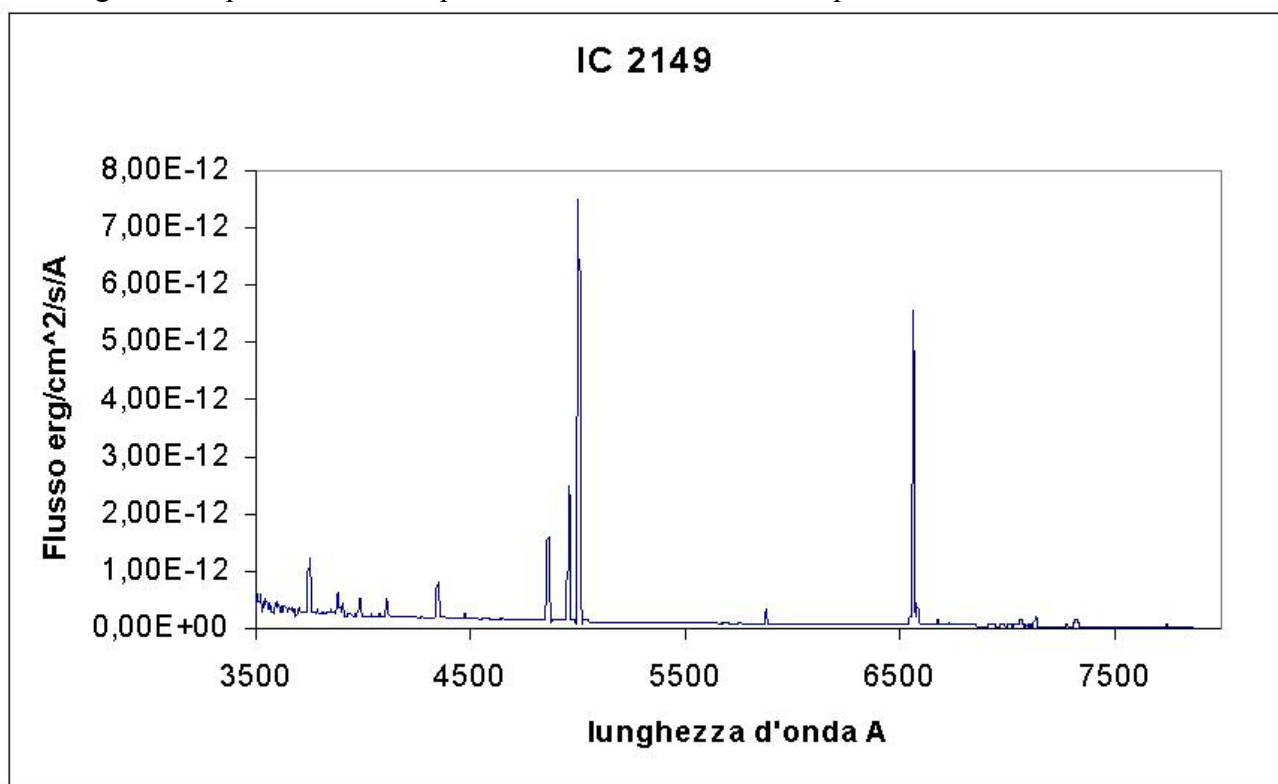


Figura 2

Dallo spettro sono state isolate le due componenti: quella di pura emissione (figura 3) e quella del continuo (figura 4). Questo è stato fatto semplicemente sottraendo le righe dallo spettro ridotto. In questo modo si sono studiate separatamente le due sorgenti; la componente gassosa e la stella (con l'ipotesi che tutto il continuo provenga dalla stella centrale).

Nella figura 3 abbiamo lo spettro di pura emissione con l'individuazione delle righe e lunghezza d'onda corrispondente.

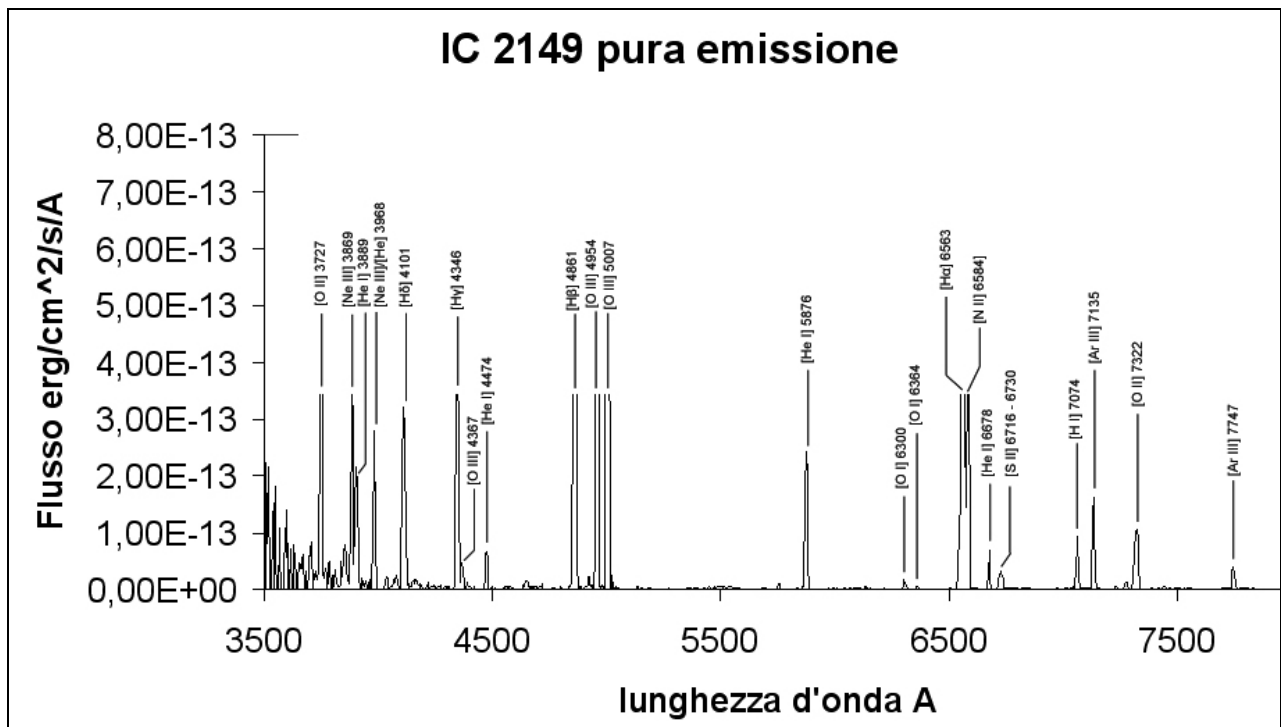


Figura 3

I flussi delle righe spettrali rilevate seguono in tabella 1.

Le lunghezze d'onda sono in Å mentre i flussi in $\text{erg/cm}^2/\text{s}$.

Fattore di correzione adottato per i flussi è pari a $C = \log I(\text{H}\beta)/F(\text{H}\beta) = 0.3$

L'errore stimato sui flussi è di $10^{-14} \text{ erg/cm}^2/\text{s}$.

TABELLA 1

Line	Lunghezza d'onda	Flusso $\text{erg/cm}^2/\text{s}$	Flusso relativo $F/\text{H}\beta$	flusso corretto	$F/\text{H}\beta$
OII	3727	1,250E-11	0,676	1,358E-11	0,733
NeIII	3869	3,870E-12	0,209	4,160E-12	0,224
HeI	3889	2,380E-12	0,129	2,554E-12	0,138
NeIII - HeI	3968	3,670E-12	0,198	3,917E-12	0,211
Hδ	4101	4,020E-12	0,217	4,253E-12	0,229
Hγ	4346	7,670E-12	0,415	7,995E-12	0,431
OIII	4369	5,300E-13	0,029	5,517E-13	0,030
He I	4474	8,980E-13	0,049	9,304E-13	0,050
Hβ	4861	1,850E-11	1,000	1,853E-11	1,000
OIII	4958	3,030E-11	1,638	3,012E-11	1,625
OIII saturated	5006	9,230E-11	4,989	9,143E-11	4,933
NII	5755	1,620E-13	0,009	1,528E-13	0,008
He I	5876	2,950E-12	0,159	2,763E-12	0,149
OI	6305	4,070E-13	0,022	3,730E-13	0,020
OI	6364	5,640E-14	0,003	5,154E-14	0,003
Hα	6563	6,270E-11	3,389	5,679E-11	3,064
NII	6582	1,450E-12	0,078	1,312E-12	0,071
He I	6678	8,360E-13	0,045	7,534E-13	0,041
S II	6716	2,290E-13	0,012	2,061E-13	0,011
S II	6730	4,610E-13	0,025	4,146E-13	0,022
He I	7074	1,160E-12	0,063	1,029E-12	0,056
ArIII	7135	2,030E-12	0,110	1,797E-12	0,097
He I	7280	1,900E-13	0,010	1,673E-13	0,009
O II	7322	1,950E-12	0,105	1,714E-12	0,092
Ar III	7747	4,530E-13	0,024	3,926E-13	0,021

2.2 Densità e temperatura del gas

Per la determinazione della densità elettronica (N_e) si è utilizzato il rapporto dell'intensità delle righe proibite dello [SII], la 6716 e la 6730, tale rapporto è un ottimo indicatore della densità e dipende debolmente dalla temperatura. Assumendo una temperatura elettronica del gas di 10000°K, e il valore misurato del rapporto di $I(6716)/I(6730) = 0.5$, dal grafico riportato in Aller (1984), si ricava la densità, che risulta essere di $N_e = 6300 \text{ cm}^{-3}$.

La temperatura del gas è stata ricavata dal rapporto delle righe dell'[OIII] ((5007+4959)/4363), con la seguente relazione (Osterbrock, 1974):

$$\frac{I_{4959} + I_{5007}}{I_{4363}} = \frac{8,32e^{\frac{3,29 \cdot 10^4}{T}}}{1 + 4,5 \cdot 10^{-4} \frac{N_e}{\sqrt{T}}}$$

dove N_e è la densità ottenuta in precedenza. La temperatura risulta essere di $T_e = 10000^\circ\text{K}$.

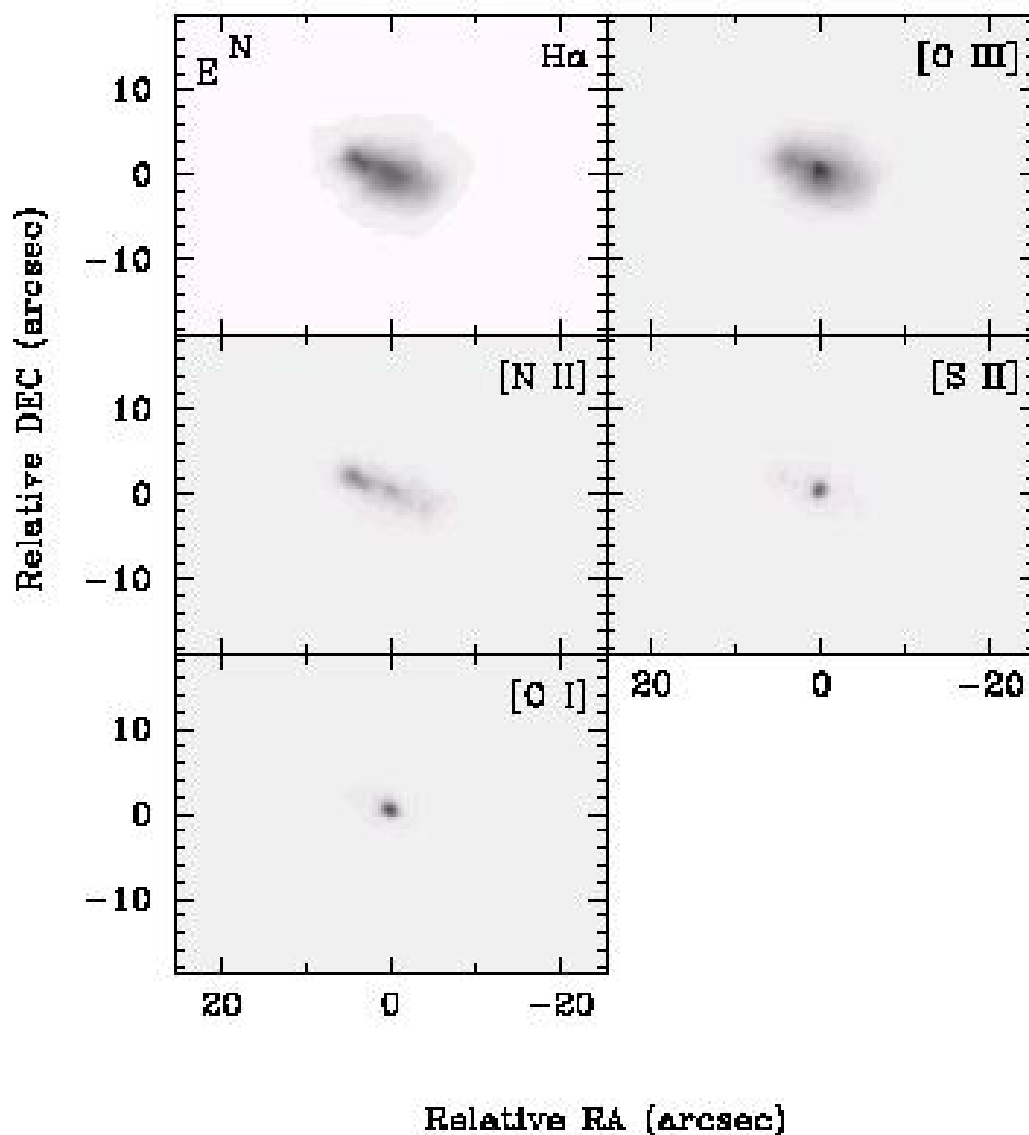


Figura 4 (tratta da Vazquez et al., 2002)

2.3 Struttura di ionizzazione e abbondanze chimiche

In alcune nebulose planetarie si notano delle piccole strutture con bassa ionizzazione; IC 2149 rientra fra questi oggetti (Gonçalves et al. 2001), nella figura 4, tratta da Vasquez (2002), vengono presentate 5 immagini ottenute con i filtri interferenziali dove si nota la diversa distribuzione ionica. Le immagini relative allo [SII] e allo [OI] confermano una piccola struttura a bassa ionizzazione in prossimità della stella centrale. Quindi la densità e la temperatura trovate in precedenza si possono riferire a zone diverse della nebulosa. Questo potrebbe condizionare la determinazione delle abbondanze chimiche.

Per calcolare le abbondanze chimiche si sono trovate le abbondanze ioniche (esprese come il rapporto fra il numero di ioni e il numero di nuclei di idrogeno) di:

[HeII] , [OII] , [OIII] , [SII] , [NII] e [ArIII].

L'abbondanza ionica di [HeII] è stata ricavata dalla media delle abbondanze ottenute da tre rapporti delle righe dello [HeI] relativamente alle righe dell'idrogeno (Peimbert e Costero, 1969):

$$\frac{N(He^+)}{N(H^+)} = 0.736 \cdot T_e^{0.11} \frac{I_{4474}}{I_{4861}};$$

$$\frac{N(He^+)}{N(H^+)} = 0.522 \cdot T_e^{0.15} \frac{I_{5876}}{I_{6563}};$$

$$\frac{N(He^+)}{N(H^+)} = 1.70 \cdot T_e^{0.16} \frac{I_{6678}}{I_{6563}}$$

L'abbondanza ionica degli altri elementi è stata trovata utilizzando il formalismo di Aller (1984):

$$\frac{N(ion)}{N(H^+)} = a(1 + bx) \cdot \sqrt{t} \cdot E_{4,2}^0 \cdot 10^{\frac{d}{t}} \cdot \frac{I(neb)}{I(H\beta)} \quad \text{per [ArIII], [OIII], [NII]}$$

$$\frac{N(ion)}{N(H^+)} = a \cdot L_j(x, t) \cdot \sqrt{t} \cdot E_{4,2}^0 \cdot 10^{\frac{d}{t}} \cdot \frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} \quad \text{per [SII], [OII]}$$

con $t = \frac{T}{10000}$, tutti i coefficienti si trovano in Aller (1984).

TABELLA 2.1

Abbondanze ioniche

N(He+)/N(H+)	1,00E-01
N(O+)/N(H+)	1,00E-04
N(O++)/N(H+)	1,20E-04
N(S+)/N(H+)	3,17E-07
N(N+)/N(H+)	9,68E-07
N(Ar++)/N(H+)	5,18E-07

Dalle abbondanze ioniche si risale alle abbondanze totali moltiplicando per dei coefficienti opportuni (ICF, Ionization Correction Factor) che tengono conto degli altri eventuali stati di ionizzazione, tali coefficienti si trovano in Perinotto et al. (2004). In definitiva le abbondanze totali sono date dalle seguenti relazioni:

$$\frac{N(O)}{N(H)} = \frac{N(O^+)}{N(H^+)} + \frac{N(O^{++})}{N(H^+)}$$

$$\frac{N(S)}{N(H)} = \frac{N(S^+)}{N(H^+)} \cdot \frac{N(O)}{N(H)} \cdot \frac{N(H^+)}{N(O^+)}$$

$$\frac{N(N)}{N(H)} = \frac{N(N^+)}{N(H^+)} \cdot \frac{N(O)}{N(H)} \cdot \frac{N(H^+)}{N(O^+)}$$

$$\frac{N(He)}{N(H)} = \frac{N(He^+)}{N(H^+)} \cdot 0,13 \cdot \frac{N(O)}{N(H)} \cdot \frac{N(H^+)}{N(O^{++})}$$

$$\frac{N(Ar)}{N(H)} = \frac{N(Ar^{++})}{N(H^+)} \cdot 1,87$$

In tabella 2.2 sono riportati i valori ottenuti delle abbondanze totali, il valore esprime il rapporto fra il numero di atomi e il numero di atomi di idrogeno. Nella seconda colonna vengono riportati i valori delle abbondanze degli stessi elementi della fotosfera del Sole (Asplund e al., 2005); dal confronto risulta evidente come il gas che compone IC 2149 sia decisamente meno arricchito di elementi pesanti.

TABELLA 2.2

Abbondanze chimiche		Abbondanze della fotosfera del Sole
N(He)/N(H)	2,38E-02	9,00E-02
N(O)/N(H)	2,20E-04	4,60E-04
N(S)/N(H)	6,97E-07	1,40E-05
N(N)/N(H)	2,13E-06	6,00E-05
N(Ar)/N(H)	7,77E-07	1,50E-06

3. La stella centrale

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche fisiche della stella che è nella nebulosa IC 2149, si è assunto che il continuo dello spettro sia di origine puramente stellare. Nella figura 5 si riporta il continuo dello spettro dopo aver tolto le righe di emissione, quindi il continuo corretto per assorbimento e sovrapposto a quest'ultimo il tratto di plankiana trovato dopo aver misurato la temperatura di colore nelle bande B e V.

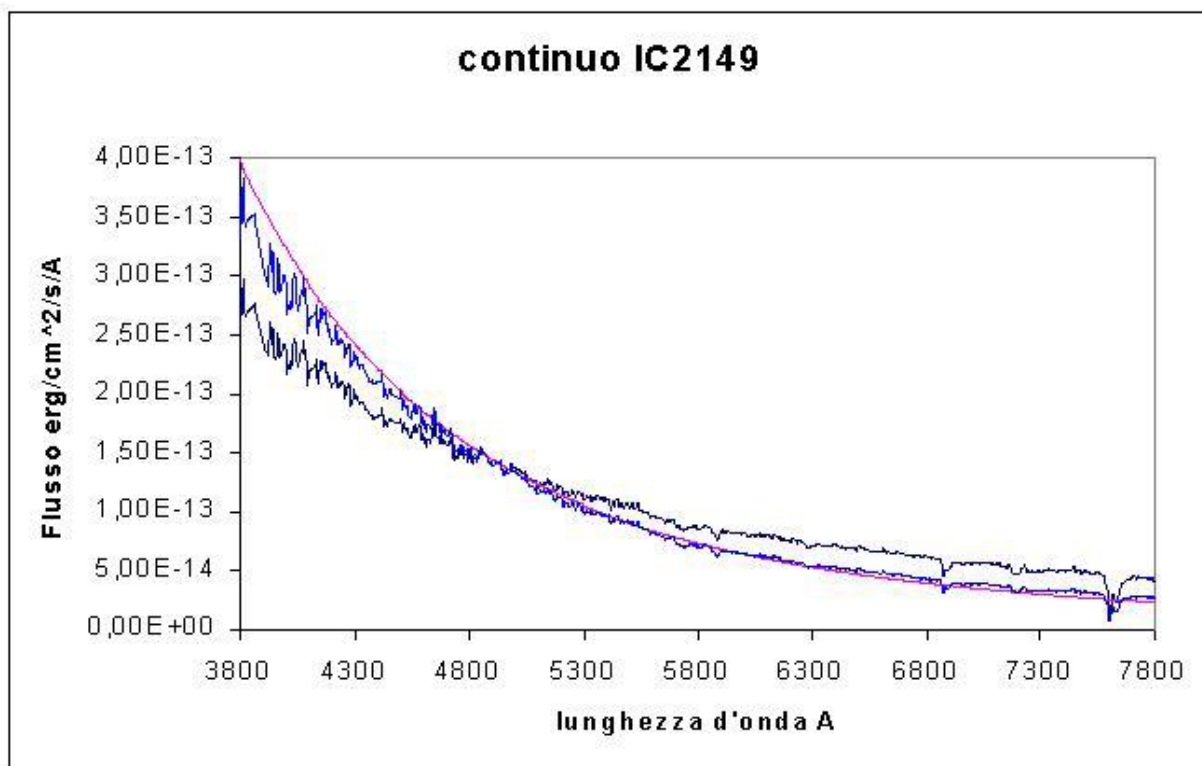


Figura 5

Infatti, trattandosi di una nana bianca, o comunque di una stella molto calda, lo spettro continuo dovrebbe essere molto simile a quello di un corpo nero alla stessa temperatura superficiale della stella.

La funzione che fornisce l'emissione (la potenza emessa da una superficie unitaria) di un corpo nero è la seguente

$$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad 1)$$

con $C_1 = 3,74 \cdot 10^{-5} \text{ erg/cm}^2/\text{s}$ e $C_2 = 1,44 \text{ cm degr}$

Dal confronto del flusso del continuo in due lunghezze d'onda diverse si può determinare la temperatura del corpo nero (definita temperatura di colore). A questo proposito prendiamo come riferimento le lunghezze d'onda $\lambda_B = 4400 \text{ \AA}$ e $\lambda_V = 5500 \text{ \AA}$, dove con B si intende la lunghezza d'onda rappresentativa del blu e con V quella relativa al visibile (giallo-verde).

Si indichi con I_λ il flusso misurato, quindi dalla 1), tenendo conto dell'approssimazione di Wien

$$\frac{B(\lambda_B, T)}{B(\lambda_V, T)} = \frac{I_{\lambda_B}}{I_{\lambda_V}} = \left(\frac{\lambda_V}{\lambda_B} \right)^5 \frac{(e^{\frac{C_2}{\lambda_V T}} - 1)}{(e^{\frac{C_2}{\lambda_B T}} - 1)} \approx \left(\frac{\lambda_V}{\lambda_B} \right)^5 \frac{e^{\frac{C_2}{\lambda_V T}}}{e^{\frac{C_2}{\lambda_B T}}} \quad 2)$$

dalla formula di Pogson si trovano le magnitudini B ($\lambda = 4400 \text{ \AA}$) e V ($\lambda = 5500 \text{ \AA}$)

$$m_B = -2,5 \log \frac{I_{\lambda_B}}{I_{\lambda_{B0}}} = -2,5 \log I_{\lambda_B} + 2,5 \log I_{\lambda_{B0}} \quad 3)$$

dove $I_{\lambda_{B0}}$ è il flusso di riferimento al quale corrisponde una magnitudine $m=0$.

$m_B=0 \implies I_{\lambda_{B0}} = 6,95 \cdot 10^{-9} \text{ erg/cm}^2/\text{s/\AA}$

$m_V=0 \implies I_{\lambda_{V0}} = 3,63 \cdot 10^{-9} \text{ erg/cm}^2/\text{s/\AA}$

I flussi di riferimento sono tabulati.

A questo punto dalla differenza delle magnitudini si trova

$$m_B - m_V = -2,5 \log \frac{I_{\lambda_B}}{I_{\lambda_V}} = -12,5 \log \left(\frac{\lambda_V}{\lambda_B} \right) - 2,5 \frac{C_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_V} \right) + 2,5 \log I_{\lambda_{B0}} - 2,5 \log I_{\lambda_{V0}} \quad 4)$$

esprimendo e raccogliendo le costanti si ha (Rosino ***)

$$m_B - m_V = -0,68 + \frac{7200}{T} \quad 5)$$

Applicando la 5) si trova che la temperatura della stella è di circa **15000°K**, consistente con una stella di nebulosa planetaria anche se non particolarmente calda. In effetti, non notando righe di HeII, la ionizzazione è piuttosto bassa questo significa che la temperatura dovrebbe essere $< 20000^\circ\text{K}$.

Se si riesce ad avere una stima della distanza di IC2149 si può cercare di determinare il raggio della stella centrale, tramite la legge di Stefan-Boltzmann, con

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad 6)$$

dove L è la luminosità totale della stella.

Da Vasquez (2002) si ha una stima della distanza di $1,1 \times 10^3$ pc. La magnitudine apparente misurata dallo spettro è di $m_v=11,5$, quindi la magnitudine assoluta risulta $M \approx 1,29$. Dalla magnitudine assoluta si ricava la luminosità che risulta $L = 9,42 \times 10^{27}$ J/sec. A questo punto tramite la 6) e utilizzando la temperatura di 15000 gradi Kelvin si ottiene infine il raggio che risulta essere $R = 0,73 R_{\odot}$

4. Conclusioni

La temperatura e la densità della nebulosa sono consistenti con tutti i valori citati in letteratura (Vasquez 2002).

Per quanto concerne le abbondanze chimiche risultano coincidenti a quelle indicate da Perinotto et al. (2004), tranne che per l'azoto (N), ciò può essere imputabile alla diversa distribuzione degli ioni all'interno di IC 2149. Dallo spettro risulta evidente una bassa ionizzazione del gas, infatti non si vedono righe di HeII; secondo Goncalves et al. (2001) tale planetaria presenta al suo interno peculiari strutture di bassa ionizzazione. La composizione chimica del gas rivela, relativamente al Sole, un modesto arricchimento di elementi pesanti, segno evidente che si tratta di materia ancora poco evoluta.

Le magnitudini V e B, della stella centrale, misurate sono coincidenti coi dati in letteratura.

La temperatura di 15000°K, trovata con l'indice di colore B-V, è consistente con lo spettro osservato nel visibile in cui non sono state riscontrate righe di HeII, anche se la temperatura fornita in letteratura, ottenuta da osservazioni in ultravioletto, è decisamente più alta, ed è stata stimata intorno a 30.000 K (Feibelman 1994).

Anche il raggio della stella è consistente con le stelle che si trovano al centro delle nebulose planetarie.

Bibliografia

- Aller, 1984, Physics of thermal gaseous nebulae, Reidel Publishing Company
Aspland et al., 2005, ASP Conference Series, vol XXX, Bash and Barnes editors
Feibelman et al, 1994, Ap.J,426
Osterbrock, 1974, Astrophysics of gaseous nebulae, Freeman and Company, San Francisco
Peimbert e Costero, 1969, Bol. Obs. Ton. Y Tac. 6, 000
Perinotto et al., 2004, M.N.R.A.S.,349
Rosino, 1979, Lezioni di astronomia, Cedam, Padova
Vasquez et al, 2002, Ap.J,576