

La nebulosa planetaria Eskimo Nebula (NGC 2392)

di Nicola Pierazzo (Liceo Scientifico "Galileo Galilei" Dolo), Alessio Boschini, Claudio Macchione e Giuseppe Patano (Liceo Scientifico "Giuseppe Berto" Mogliano Veneto)
coadiuvati dal prof. Antonio Tegon (Liceo Scientifico "Ugo Morin" Mestre)

Introduzione

L'evoluzione delle stelle è determinata dalla loro massa iniziale. In base a questa, è possibile determinare la luminosità e la temperatura di una stella durante il suo periodo di vita. Il diagramma HR è un grafico, molto usato in astronomia, che classifica le stelle in base alla loro luminosità e alla loro temperatura. Durante la prima fase della loro vita, le stelle si trovano in una zona del diagramma HR detta "sequenza principale", nella quale permangono durante tutta la fase di fusione dell'idrogeno.

Se la massa iniziale è sufficiente, uscita dalla sequenza principale, la stella inizia la fusione dell'elio e diventa una gigante rossa. In seguito, se la massa è inferiore a quella critica per una supernova, la stella attraversa delle fasi di instabilità durante le quali può espellere in forma più o meno violenta gas dagli strati superficiali e infine termina la sua vita come nana bianca. I materiali espulsi in queste fasi vanno a formare una nebulosa, che circonda la stella; si è così formata una nebulosa planetaria.

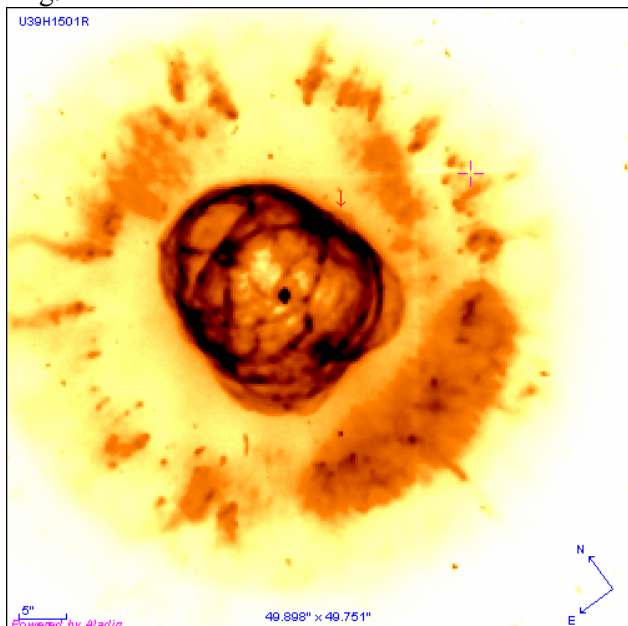
La Eskimo Nebula

La nebulosa planetaria che abbiamo analizzato è la NGC 2392, che viene comunemente chiamata Eskimo Nebula per la sua forma caratteristica (Fig 1 e 2)

Fig. 1



Fig. 2



Abbiamo osservato la Eskimo con il telescopio da 1,22 m dell'Osservatorio di Asiago-Stazione del Pennar, in combinazione con lo spettrografo Boller&Chivens +CCD durante le notti del 1-2 febbraio 2006. Il reticolo usato era un 300 tr/mm. Dopo aver operato la consueta riduzione dati (bias, flat-field, estinzione atmosferica, ecc.) abbiamo calibrato il frame bidimensionale in lunghezza d'onda e flusso (erg cm⁻² s⁻¹ Å⁻¹). Successivamente abbiamo esaminato tale frame lungo la dispersione, riga per riga, per vedere dove cominciava l'emissione della nebulosa; in pratica abbiamo notato che alla colonna 106 (vedi Tab. 1) si cominciavano a vedere tipiche righe nebulari (come, ad esempio, le [O III]4959,5007) e quindi abbiamo cominciato ad estrarre spettri monodimensionali a partire da questa colonna per fermarci alla col. 204 (sempre Tab. 1).

[illegible]

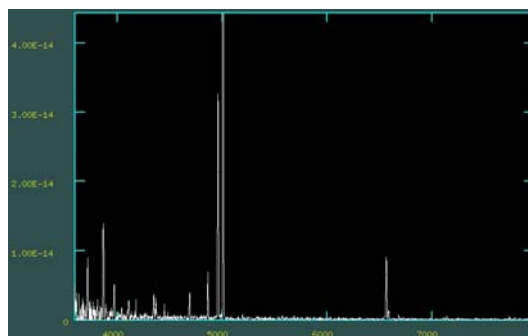
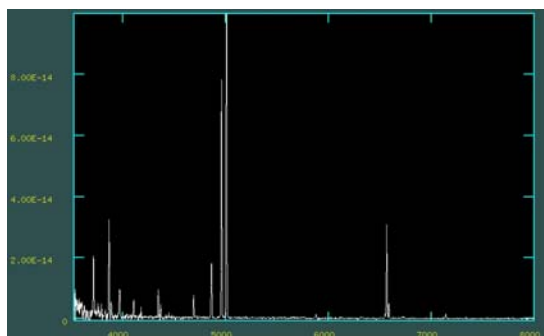
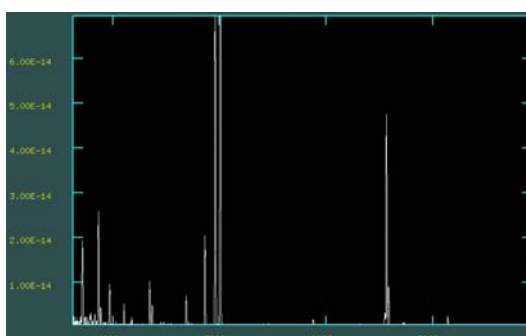
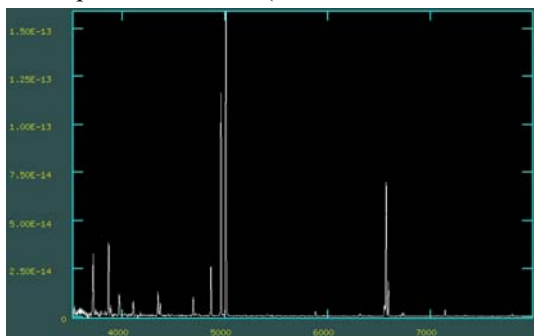
[illegible]

Abbiamo notato che verso le colonne centrali comincia a crescere il continuo dovuto evidentemente alla stella centrale; dalla tab. 2 si nota come siano presenti verso la col. 156 righe in assorbimento, evidente indice della presenza di una stella.

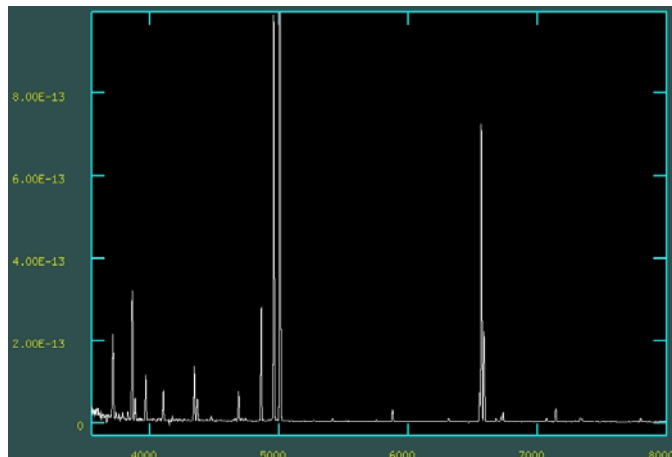
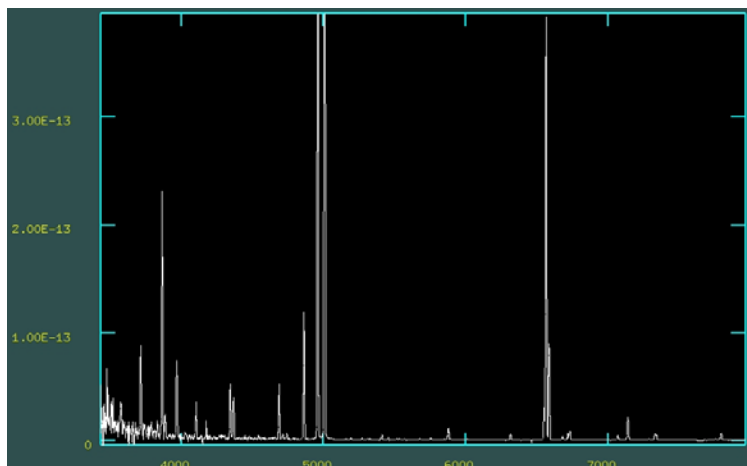
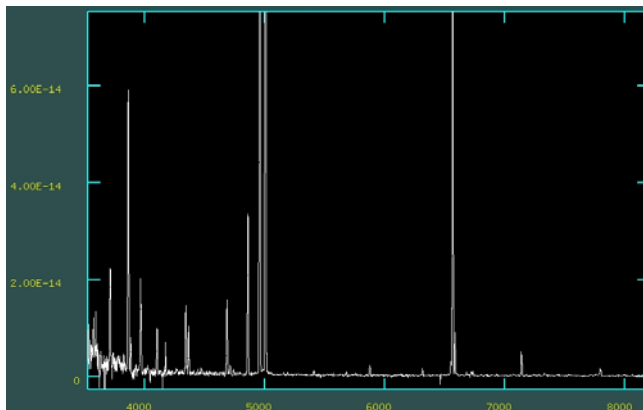
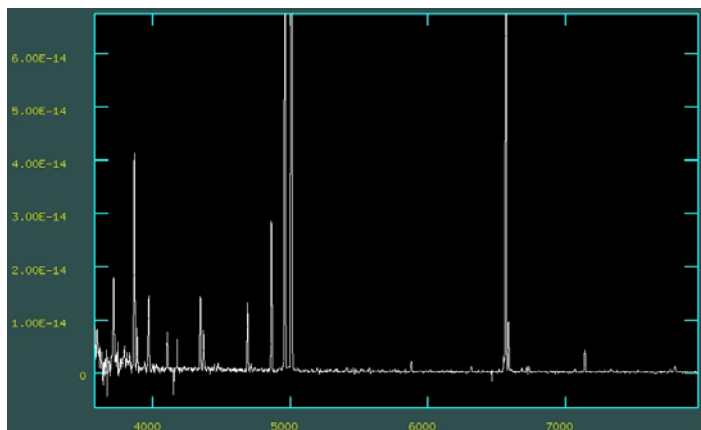
Tabella 2

[illegible]

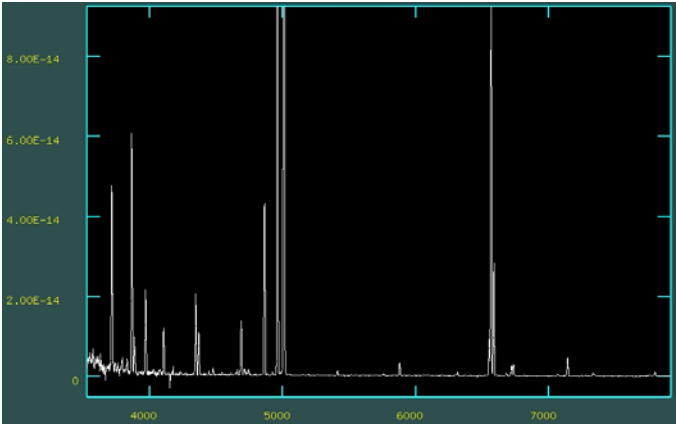
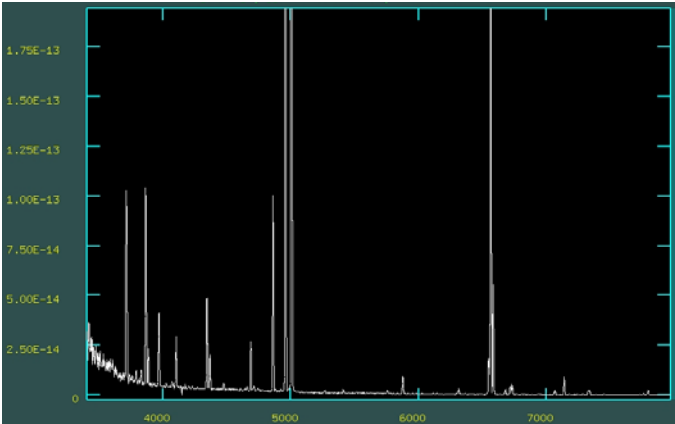
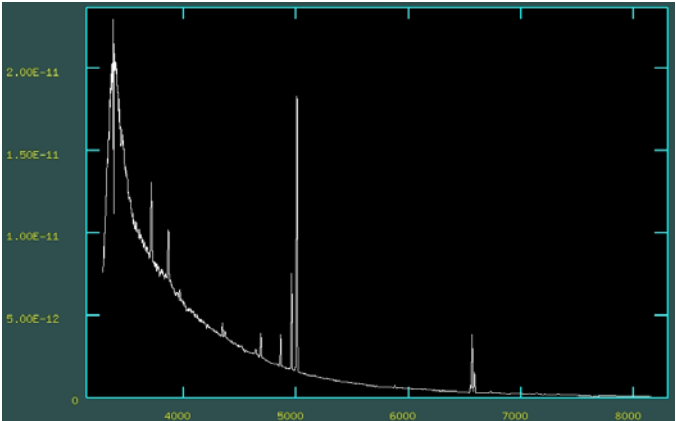
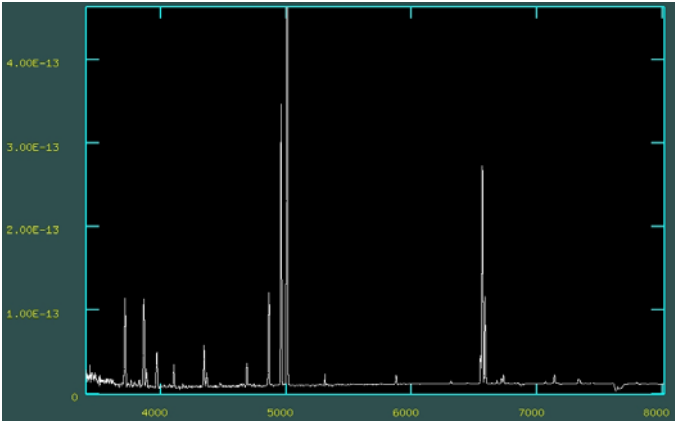
Spettri A,B,C,D (da sx a dx e dall'alto in basso)



Spettri E,F,G,H



Spettri I,J,K,L



Spettri M,N,O,P

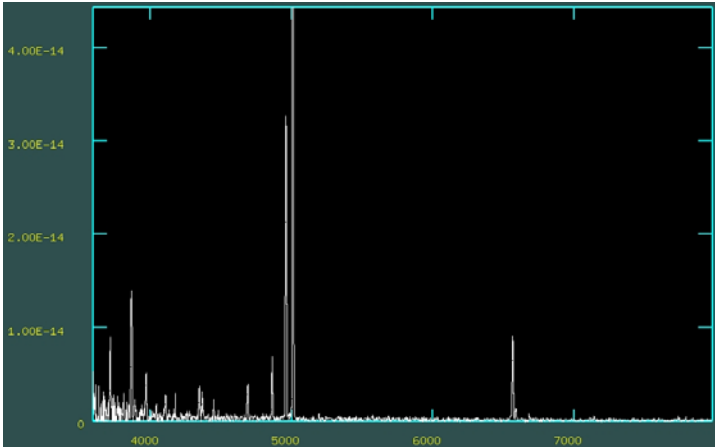
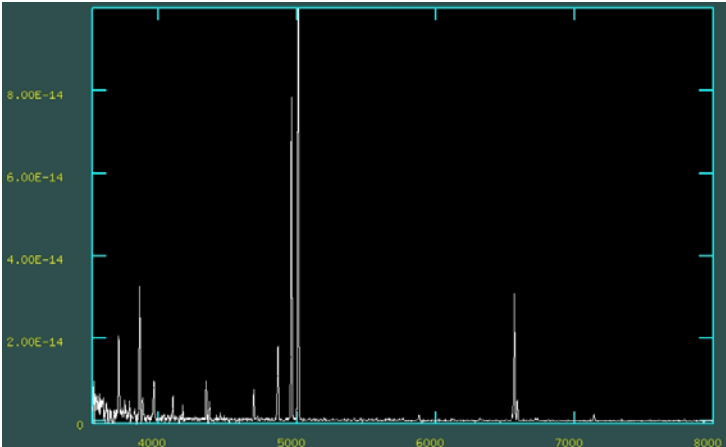
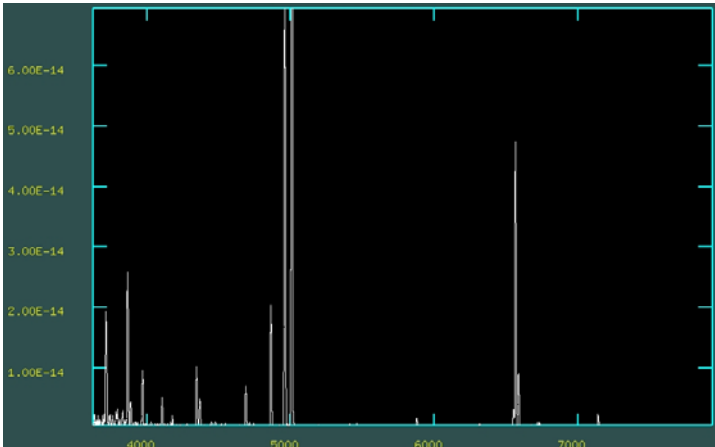
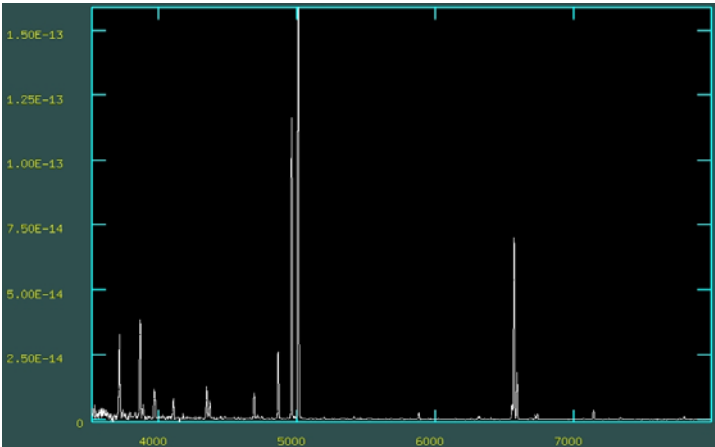


Tabella 4a

RIGA SPETTRALE						
	Spettro A	Spettro B	Spettro C	Spettro D	Spettro E	Spettro F
3712						
[Ne III]3868		1.21E-012	8.35E-013	3.39E-13	3.89E-13	5.64E-13
[Ne III]3967+H ϵ 3970?			2.20E-13	1.15E-13	1.36E-13	1.70E-13
H δ				5.50E-14	6.40E-14	3.43E-14
4175		3.07E-13		2.08E-14		
H γ		1.97E-13	1.47E-13	1.05E-13	1.29E-13	1.32E-13
[O III]4363		2.22E-13	1.21E-13	4.31E-14	6.60E-14	8.97E-14
He II 4686		1.53E-13	1.64E-13	8.40E-14	1.18E-13	1.67E-13
H β	1.24E-013	2.67E-013	2.83E-013	2.02E-013	2.48E-13	3.21E-13
[O III]4959	1.16E-12	1.70E-12	1.60E-12	1.00E-12	1.17E-12	1.56E-12
[O III]5007	3.15E-12	4.89E-12	4.72E-12	2.97E-12	3.55E-12	4.58E-12
He II 5411						
He I 5876						2.11E-14
[N II]6548		3.75E-14	3.61E-14	8.36E-13	1.41E-14	1.25E-14
H α 6563	4.19E-13	7.84E-14	7.99E-13	6.23E-13	6.61E-13	7.38E-13
[N II]6584	7.46E-14	8.33E-14	8.98E-14	7.62E-14	7.72E-14	7.79E-14
[S II]6717			1.07E-14			
[S II]6731			8.66E-15			
[Ar III]7135			4.75E-14	3.77E-14	3.89E-14	4.61E-14

Tabella 4b

RIGA SPETTRALE				Central star		
	Spettro G	Spettro H	Spettro I	Spettro J	Spettro K	Spettro L
3712		2.25E-12	1.12E-12	4.84E-11	9.69E-13	4.69E-13
[Ne III]3868	2.23E-12	3.05E-12	9.87E-13	3.03E-11	9.33E-13	5.41E-13
H8+HeI 3889					1.79E-13	7.20E-14
[Ne III]3967+H ϵ 3970?	6.49E-13	1.09E-12	4.00E-13	5.06E-12	3.82E-13	1.93E-13
H δ	3.09E-13	6.78E-13	2.61E-13	0.00E+00	2.01E-13	1.05E-13
H γ	5.10E-13	1.22E-12	4.66E-13	7.19E-12	4.31E-13	1.82E-13
[O III]4363	3.14E-13	5.02E-13	1.50E-13	2.83E-12	1.62E-13	9.03E-14
NIII 4634, 4641			4.92E-12	4.95E-12		
He II 4686	4.46E-13	8.27E-13	2.97E-13	1.20E-11	2.47E-13	1.24E-13
H β	1.02E-12	2.56E-12	1.01E-12	1.84E-11	9.38E-13	3.82E-13
[O III]4959	5.16E-12	9.03E-12	3.08E-12	5.38E-11	3.14E-12	1.56E-12
[O III]5007	1.52E-11	2.60E-11	9.06E-12	1.53E-10	9.24E-12	4.60E-12
He II 5411					2.02E-14	
He I 5876	1.18E-13	2.65E-13	9.82E-14	1.33E-12	7.93E-14	2.89E-14
[N II]6548	1.06E-13	4.20E-13	3.54E-13	1.94E-12	1.01E-13	6.27E-14
H α 6563	3.46E-12	6.32E-12	2.39E-12	2.99E-11	1.86E-12	8.38E-13
[N II]6584	8.09E-13	2.02E-12	9.38E-13	1.12E-11	5.07E-13	2.48E-13
He I 6678			3.15E-14	3.24E-13	2.79E-14	9.91E-15
[S II]6717		9.63E-14	6.70E-14	5.05E-13	3.88E-14	2.23E-14
[S II]6731		1.80E-13	9.94E-14	1.02E-12	4.99E-14	2.68E-14
[Ar III]7135	1.93E-13	2.87E-13	8.89E-14	1.21E-12	8.50E-14	3.99E-14

Tabella 4c

RIGA SPETTRALE					
	Spettro M	Spettro N	Spettro O	Spettro P	Spettro Q
3712	2.88E-13	1.85E-13	1.75E-13		
3792					
[Ne III]3868	3.67E-13	2.30E-13	2.87E-13	1.07E-13	
H8+HeI 3889	5.64E-14				
[Ne III]3967+He 3970?	1.16E-13	8.51E-14	9.46E-14	3.57E-14	
H δ	6.36E-14	4.69E-14	4.49E-14	1.29E-14	0.00E+00
H γ	1.06E-13	8.60E-14	7.61E-14	2.37E-14	0.00E+00
[O III]4363	5.59E-14	4.06E-14	3.25E-14	1.73E-14	
He II 4686	9.32E-14	6.64E-14	6.19E-14	3.39E-14	1.70E-15
H β	2.48E-13	1.80E-13	1.57E-13	5.62E-14	6.59E-15
[O III]4959	1.05E-12	7.35E-13	6.92E-13	2.76E-13	3.85E-14
[O III]5007	3.07E-12	2.18E-12	2.02E-12	8.32E-13	1.09E-13
He I 5876	2.21E-14				
[N II]6548	3.46E-14	1.66E-14	1.55E-14	6.39E-15	
H α 6563	6.24E-13	4.13E-13	2.62E-13	7.61E-14	9.92E-15
[N II]6584	1.62E-13	7.75E-14	3.82E-14	1.16E-14	
[S II]6717	1.67E-14	9.23E-15	3.27E-15		
[S II]6731	1.73E-14	9.83E-15	1.89E-15		
[Ar III]7135	3.17E-14	2.09E-14			

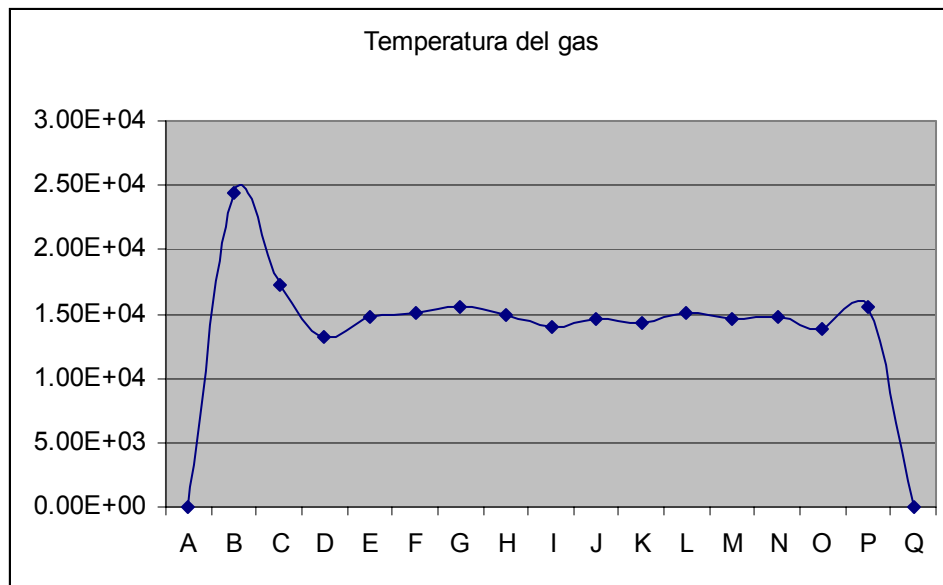
Risultati

Dall'analisi degli spettri monodimensionali si vede come l'energia prodotta si origini soltanto nelle righe di emissione dovute al gas; il continuo è praticamente assente fintanto che non si arriva allo spettro della zona centrale dove si fa sentire la presenza della stella HD59088. Man mano che ci si avvicina alla zona centrale della Eskimo, si nota come le righe si facciano via via più intense e numerose: questo indica che il gas esterno è soggetto in maniera maggiormente visibile da terra alla radiazione della stella. Infine nello spettro in cui è compresa la stella centrale HD59088 si vede come il continuo si alzi sino ad indicare una forte emissione che sembra crescere verso le lunghezze d'onda più corte del vicino UV, suggerendo così una stella centrale molto calda.

A questo punto abbiamo provato a ricavare alcune proprietà fisiche della Eskimo nebula. Per prima cosa abbiamo cercato di classificare la stella centrale. Essa è data come O6 da SIMBAD; in altre referenze abbiamo trovato classificazioni tipo O8. Da "Stars and their spectra" di C. Jaschek risulta che una stella O ha righe dell'elio sia ionizzato che neutro, oltre ad altre righe particolari; dalla figura ...risultano evidenti le HeI6678 e 5876 in emissione, la HeII 4686, sempre in emissione, mentre da una analisi più approfondita dello spettro risulta che potrebbero essere presenti le HeI4026 e HeII4541 in assorbimento (ma non è certo). Le stelle O possono avere spettri in emissione oltre che in assorbimento: se hanno la serie di Balmer in emissione senza avere le NeIII4634,4640 e HeII4686 in emissione sono classificate come Oe, altrimenti, se queste ultime righe sono presenti, sono Of. Nel nostro spettro si nota una riga in emissione a circa 4640 angstrom; essa potrebbe essere appunto un blend delle NIII 4634,4640 suggerendo così una classificazione della stella centrale della Eskimo come Of. La presenza delle intense righe in emissione della serie di Balmer è dovuta anche al gas della nebulosa; tipiche del gas sono poi le righe (proibite) [OIII]4363,4959,5007 [NeIII]....(vedi tab..quelle segnate []).

Dalla misura del rapporto della somma dei flussi delle [OIII]4959,5007 con la [OIII]4363 possiamo stimare la temperatura del gas (vedi Fig. 20) ;

Fig.20

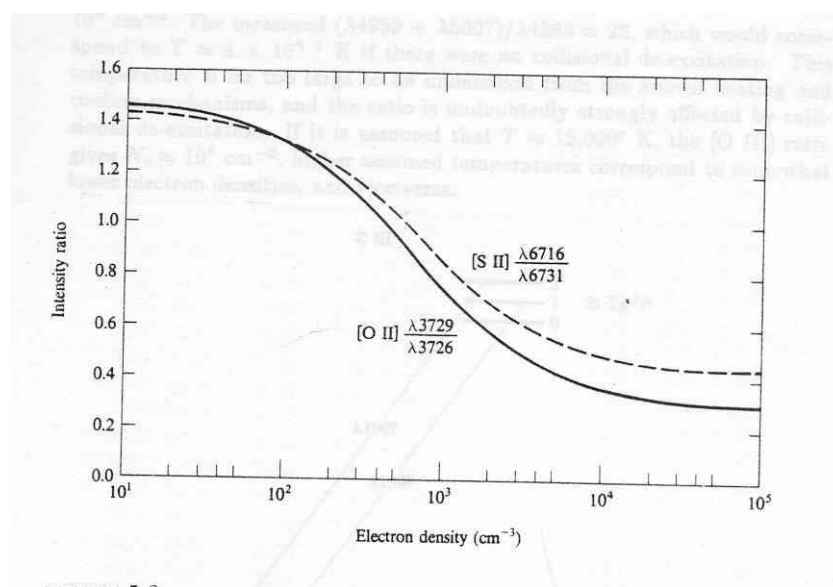


come si può notare essa è più o meno costante lungo tutta la nebulosa e vale all'incirca 15000 °K. Abbiamo poi misurato la densità elettronica dal rapporto delle [SII]6716,6731 (vedi Tabella 5);

Tabella 5

	Spettro C	Spettro H	Spettro I	Spettro J	Spettro K	Spettro L	Spettro M	Spettro N	Spettro O
SII 6717/6731	1.24	0.54	0.67	0.50	0.78	0.83	0.97	0.94	1.73

Usando il diagramma riportato in Osterbrock “Astrophysics of Gaseous Nebulae and AGNs” (vedi Fig. 20) Fig.20



abbiamo potuto stimare una densità elettronica tra i 900 e i 9000 elettroni/cm³ per tutti gli spettri tranne che per lo spettro C il cui valore indicherebbe densità molto basse (circa 100 elettroni/cm³). Il valore dello

spettro O non è fisicamente possibile; si potrebbe comunque pensare ad una zona di densità estremamente bassa. Usando poi un algoritmo sviluppato al computer abbiamo cercato di stimare la temperatura della stella centrale con il metodo di Ambartsumian. (Tabella 6a,b; per confronto abbiamo usato anche un altro metodo, detto di Zanstra, in uno spettro soltanto, e il risultato sembra abbastanza consistente con il metodo di Ambartsumian)

Tabella 6a

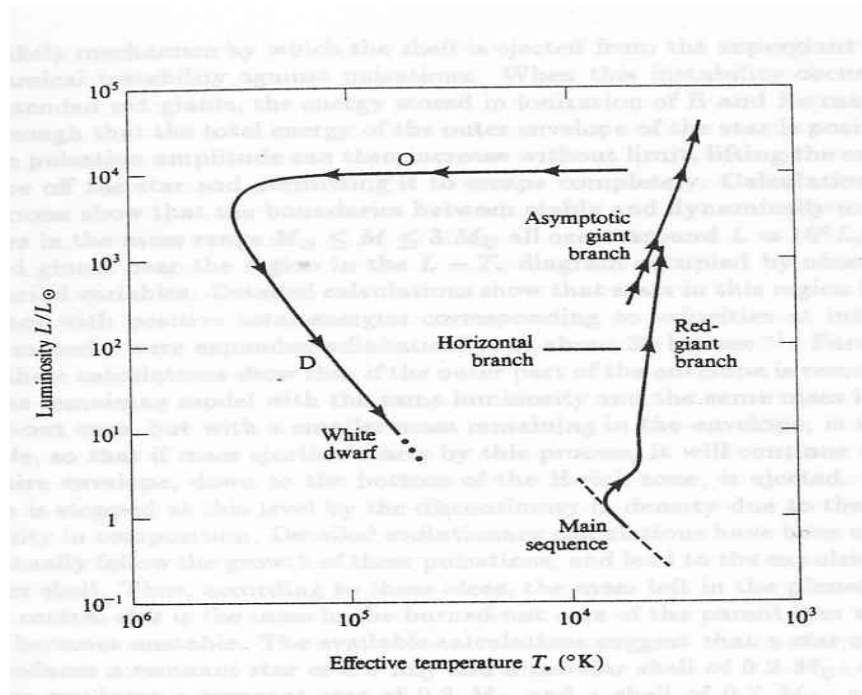
	B	C	D	E	F	G	H	I
T* con Ambartsumian	165000	166000	147000	154000	159000	150000	135000	131000
HeII4686/H β	0.573034	0.579505	0.415842	0.475806	0.520249	0.437255	0.323047	0.294059

Tabella 6b

	J	K	L	M	N	O	P	Q
T* con Ambartsumian 1	173000	127000	136000	142000	141000	145000	168000	126000
HeII4686/H β	0.652174	0.263326	0.324607	0.375806	0.368889	0.394268	0.603203	0.257967
T* con Zanstra	139000							

Esso si basa sulla misura del rapporto tra la HeII4686 e la H β . L'idea è che esse si originino allo stesso modo, cioè per ricombinazione a cascata. I loro flussi sono quindi direttamente proporzionali al flusso di fotoni ionizzanti che la stella emette; più essa è calda e più fotoni ionizzanti di energia sufficiente a ionizzare l'elio emette. Con stelle molto calde la riga dell'elio ionizzato risulterà quindi rinforzata rispetto all'Hbeta dell'idrogeno. Come si vede otteniamo risultati attorno ai 150 000 °K, che collocherebbero la stella centrale della Eskimo più o meno sul "gomito" della traccia evolutiva di fig.21 (sempre da Osterbrock "Astrophysics of Gaseous Nebulae and AGNs");

Fig. 21



si potrebbe trattare quindi di una planetaria relativamente giovane, non ancora diventata nana bianca. La temperatura elevata sarebbe quindi dovuta al guscio interno della stella progenitrice messo a nudo dall'espulsione della materia dalla stella. Assumendo una luminosità di circa 10^4 Lsolari si otterrebbe un raggio di circa 0.1 R solari.