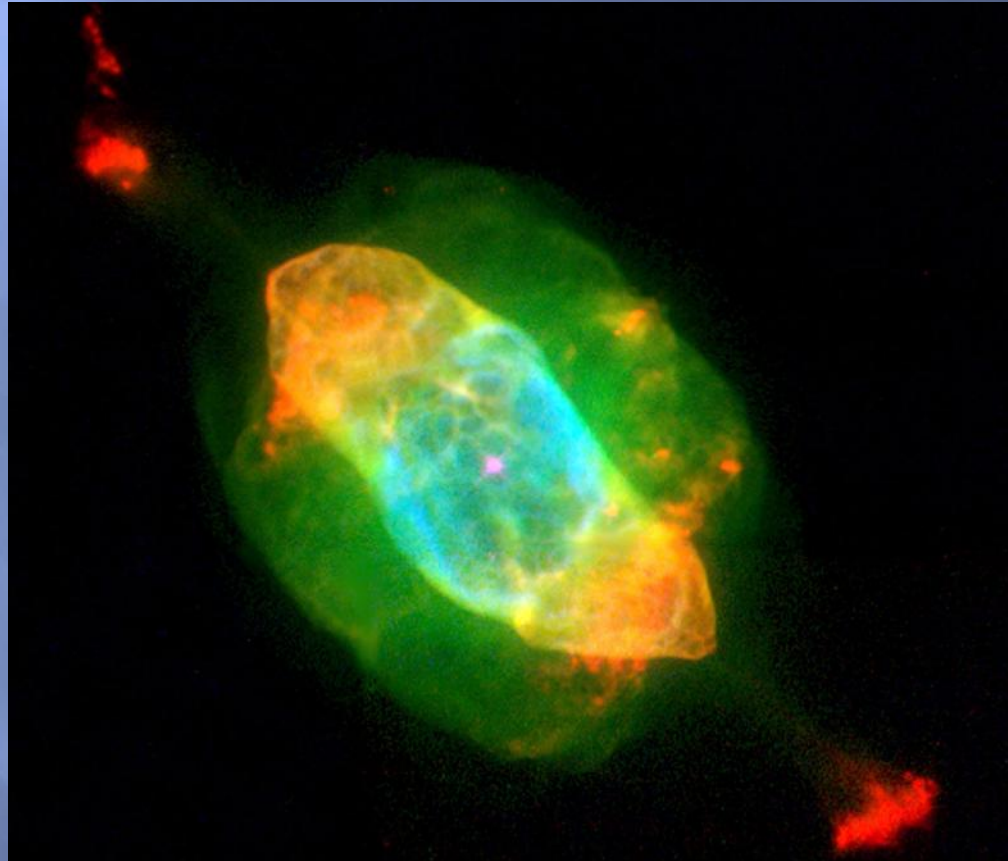


ANALISI SPETTROSCOPICA DELLA NEBULOSA PLANETARIA NGC7009



Liceo scientifico E. Majorana a.s. 2011-2012
Sabrina Cuogo, Giada Faraon, Francesco Pegoraro, Giada
Volpato, Alessandro Zecchin

Scopo: analisi spettroscopica della nebulosa planetaria NGC 7009, con determinazione di abbondanze chimiche, temperatura e densità.

Formazione di una nebulosa planetaria

Si definisce nebulosa planetaria una **nana bianca** circondata da una nube di gas, come risultato dell'evoluzione di una stella con massa fino a 4 volte quella solare.



- Bruciamento dell' H nel nucleo



stazionamento nella
Main Sequence del
diagramma di
Hertzprung-Russel

- Esaurimento dell' H nel nucleo

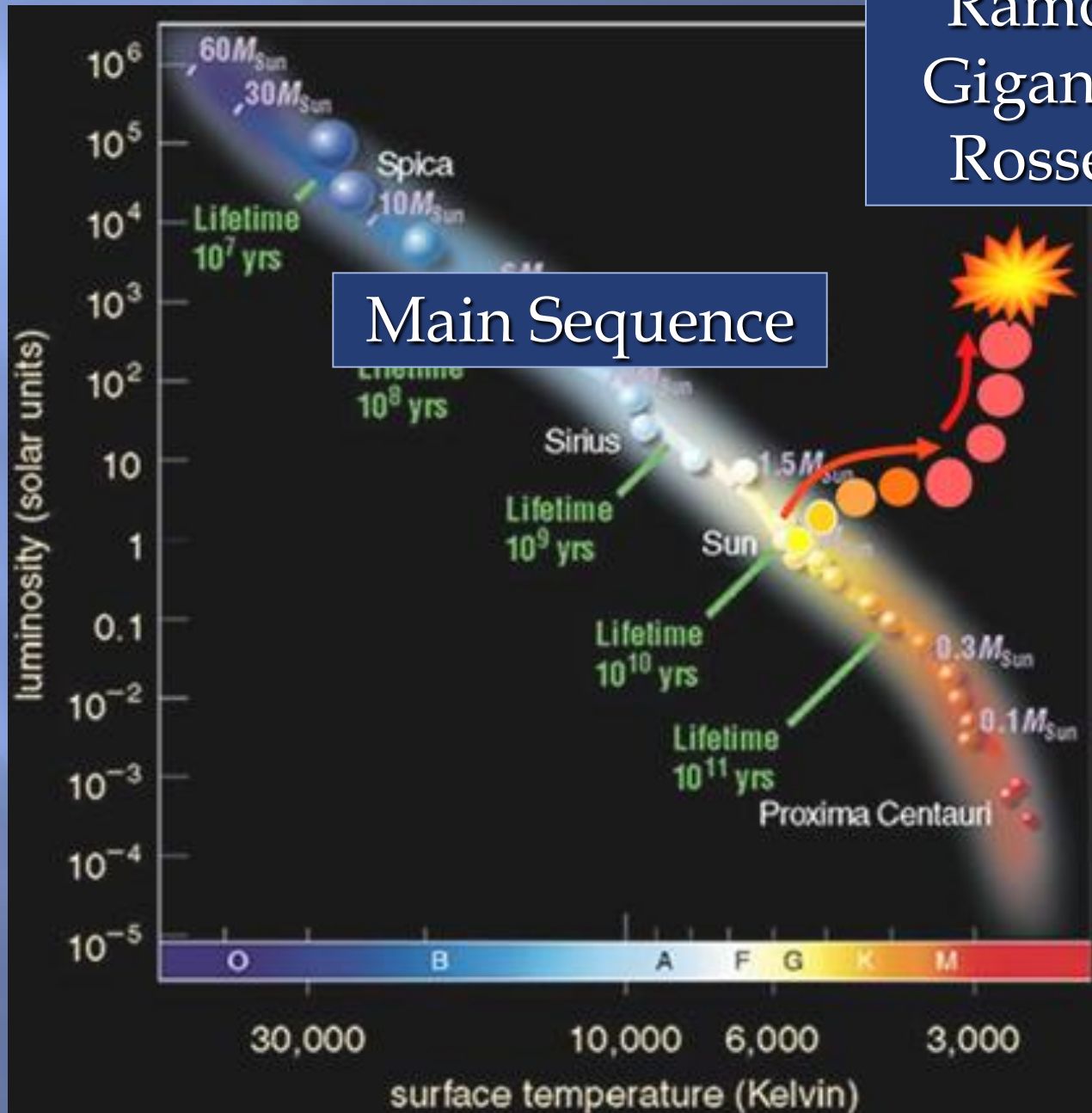
- Bruciamento dell' H in una shell intorno al nucleo, con espansione degli strati esterni



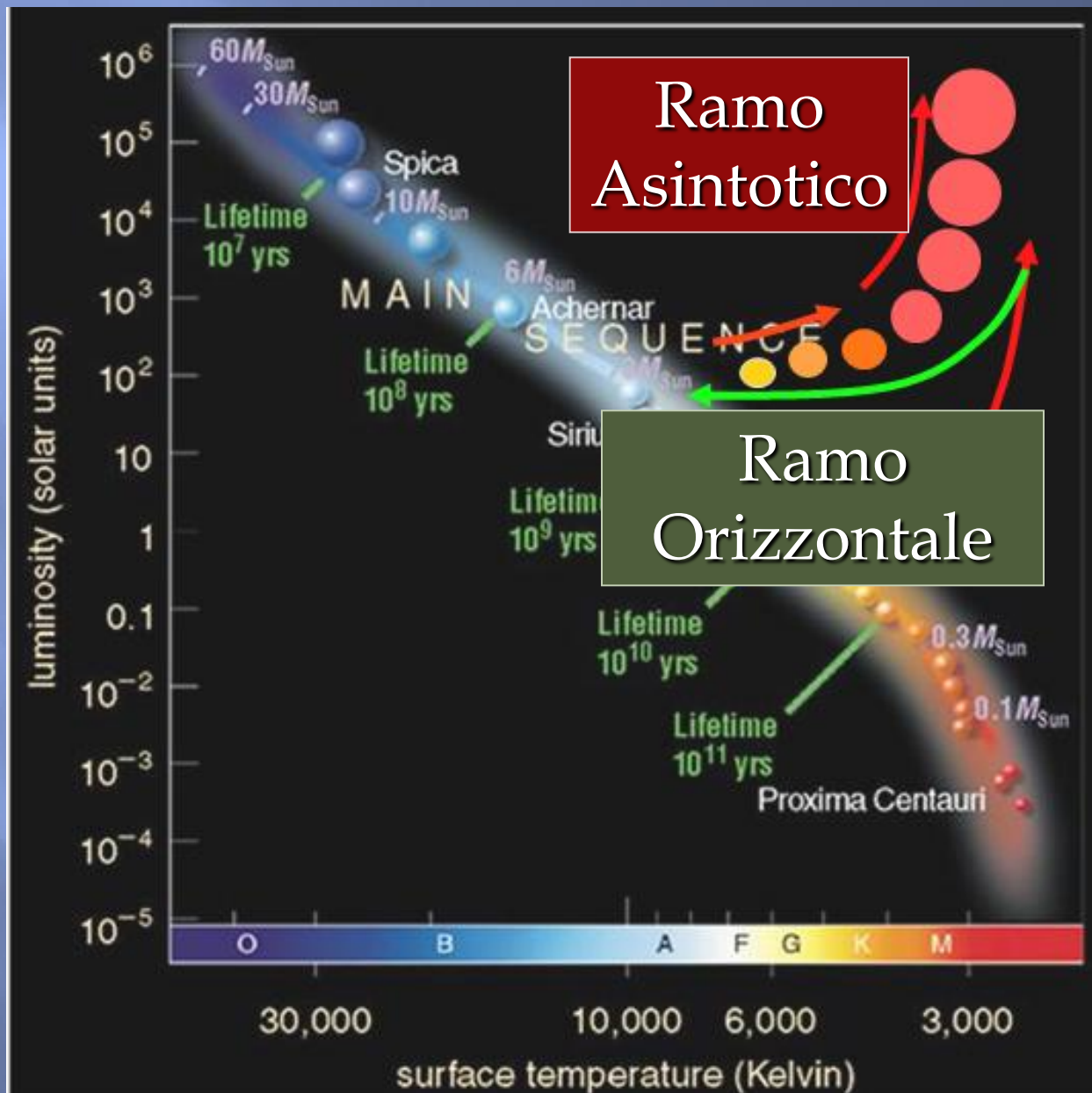
spostamento nel Ramo
delle Giganti



Ramo
Giganti
Rosse



- Fusione dell' He nel nucleo in C e O a causa della pressione gravitazionale: ulteriore espansione → Ramo Orizzontale
- Esaurimento dell' He nel nucleo
- Bruciamento dell' H e dell' He in due shells, il nucleo di C e O rimane inattivo → Ramo Asintotico



- Il nucleo, pur contraendosi, non raggiunge la temperatura necessaria ad innescare reazioni nucleari: gli strati esterni, non più vincolati dall'attrazione del nucleo, si espandono indefinitamente



- Il nucleo formato da C e O, caldissimo, è chiamato nana bianca, ed emettendo radiazioni ultraviolette ionizza il gas circostante



Nebulosa Planetaria

Caratteristiche della nebulosa NGC 7009:

- Ascensione retta: 21h 04m 10.877s
- Declinazione: $-11^{\circ} 21' 48.25''$
- Distanza: circa 774 pc
- Dimensione apparente: $41'' \times 35''$
- Magnitudine apparente: +12.8
- Magnitudine assoluta: tra 2.5 e 1
- Epoca delle coordinate: J2000.0

Lo studio della nebulosa è stato compiuto sullo spettro consegnatoci.

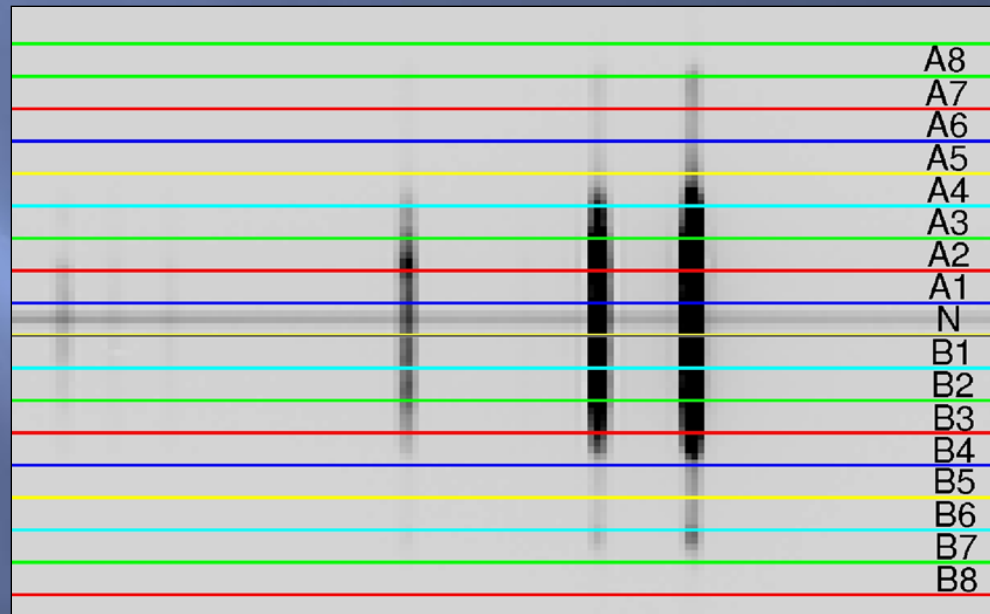


Lo spettro è stato ottenuto con tale strumentazione:

- Telescopio Isaac Newton (D=2.5m) delle Isole Canarie (Spagna) nell'agosto 2001
- Spettrografo IDS
- Reticolo 300 tratti/mm
- Fenditura da 1.5''
- CCD 1024x1024 pixel
- $\Delta\lambda = 3600\text{-}7000 \text{ \AA}$

Lo spettro consegnatoci è definito **bidimensionale** in quanto la dimensione verticale dell'immagine corrisponde alla direzione spaziale.

Perciò per analizzare al meglio le caratteristiche della nebulosa in ogni sua parte, lo spettro bidimensionale è stato diviso in 17 spettri “monodimensionali”, aventi ognuno altezza 5 pixel.

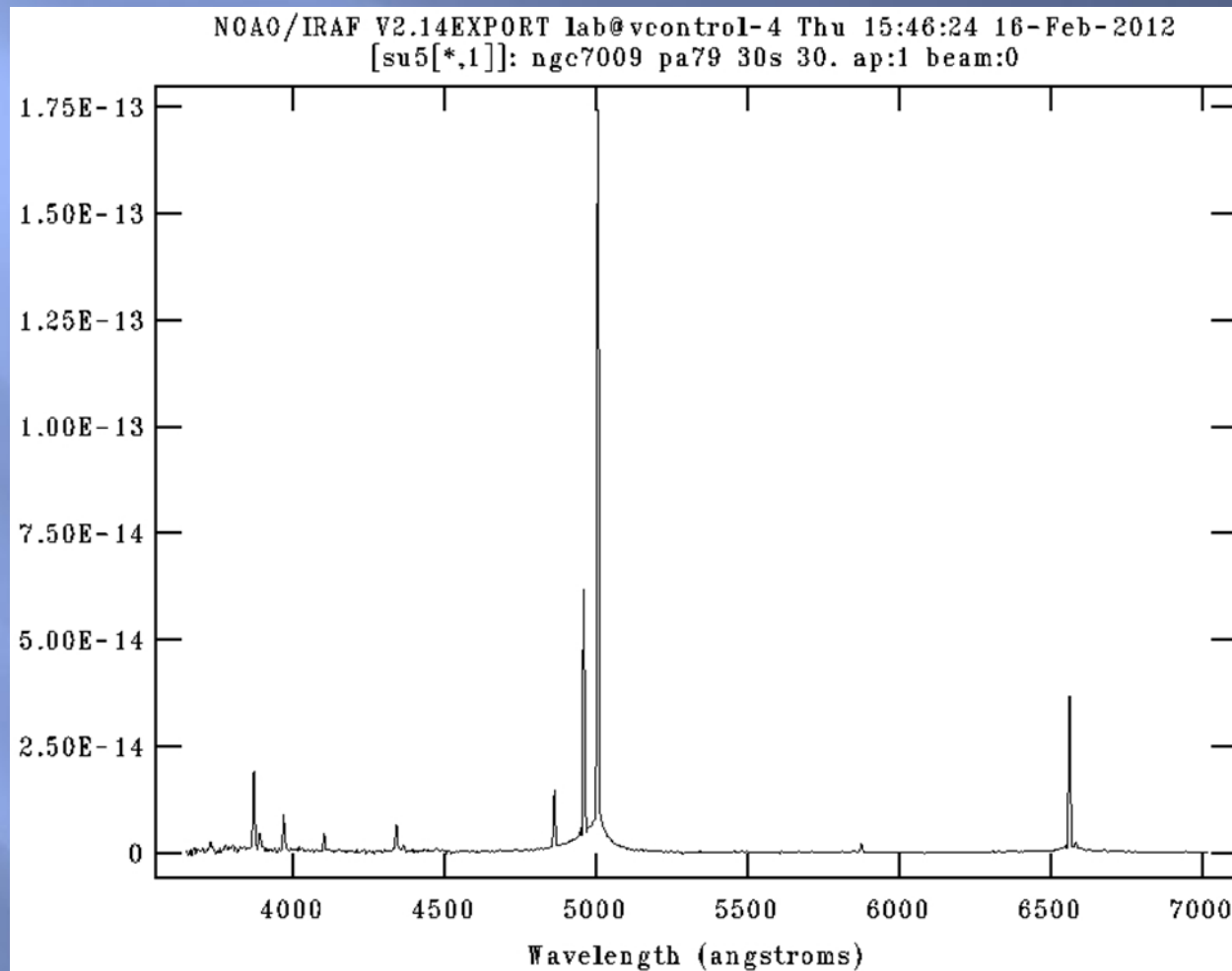


È possibile far corrispondere la dimensione verticale dello spettro, calcolato in pixel, alla dimensione spaziale reale, in parsec, attraverso le seguenti formule:

$$r('') = r(\text{px}) \times \text{scale}(''/\text{px}) \quad \text{con } \text{scale}(''/\text{px}) = 0.7''/\text{px}$$

$$r(\text{pc}) = [r('') \times d(\text{pc})] / 206265 \quad \text{con } d(\text{pc}) = 774 \text{ pc}$$

Quindi è stato possibile calcolare la distanza dal centro di ogni regione.

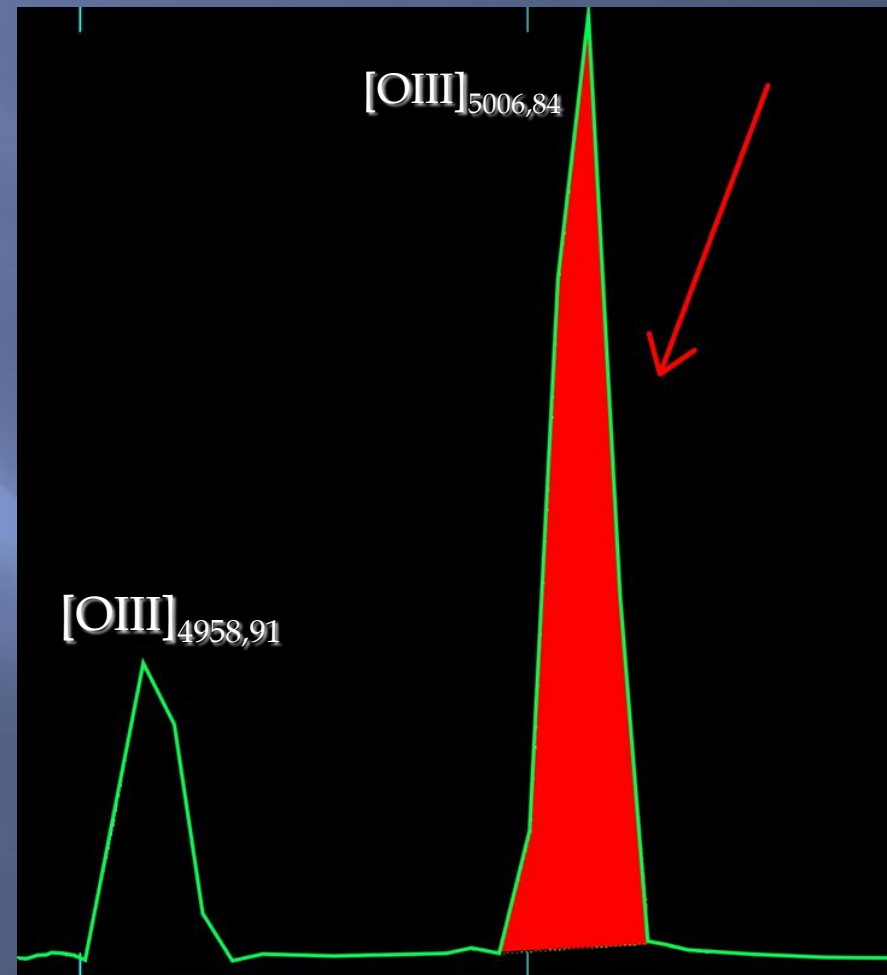


Spettro monodimensionale della regione A5
(regione compresa tra 0.07 e 0.08 pc dal centro)

In ogni sezione sono stati individuati i picchi più rilevanti e in ognuno è stato effettuato il fit: ovvero l'approssimazione del picco ad una curva gaussiana.

Di essa si è calcolata l'area, corrispondente al flusso di emissione della riga individuata.

Contemporaneamente lo stesso programma ci ha fornito le misure dello scarto quadratico medio.



Correzione dei flussi per estinzione tramite le formule di CCM:

$$(F_{H\alpha}/F_{H\beta})_{\text{int}} = (F_{H\alpha}/F_{H\beta})_{\text{oss}} \times 10^{(-0.1386 \times A_V)}$$

$$A(\lambda) = A(V) \times [a(y) + b(y)/3.1] \quad [\text{con } a(y) \text{ e } b(y) \text{ noti}]$$

$$F(\lambda)_{\text{int}} = F(\lambda)_{\text{oss}} \times 10^{0.4A(\lambda)}$$

Sapendo che il rapporto intrinseco vale 2.86 è possibile calcolare A_V , con cui si ricava $A(\lambda)$, attraverso la quale si è poi calcolato il **flusso intrinseco**, ovvero quello corretto.

Determinazione parametri fisici

- Densità = I_{6716} / I_{6731}
calcolato in (e^-/cm^3) nelle righe dello [SII]
- Temperatura = $(I_{5007}/I_{4959}) / I_{4363}$
calcolato in K nelle righe dell' [OIII]

I valori reali di tali parametri sono stati calcolati in modo iterativo con l'ausilio di un programma.

Le temperature (riscontrate solo in alcune regioni a causa della mancanza di alcuni elementi chimici nelle stesse) calcolate sono:

9861.70 e 9051.70 K per le regioni interne

10976.80 e 10269.40 K per le regioni esterne

Le densità, analogamente alla temperatura, sono state riscontrate solo in alcune regioni, e sono:

3849.42 e 3707.66 e⁻/cm³ per le regioni interne

1299.37 e 1912.67 e⁻/cm³ per le regioni esterne

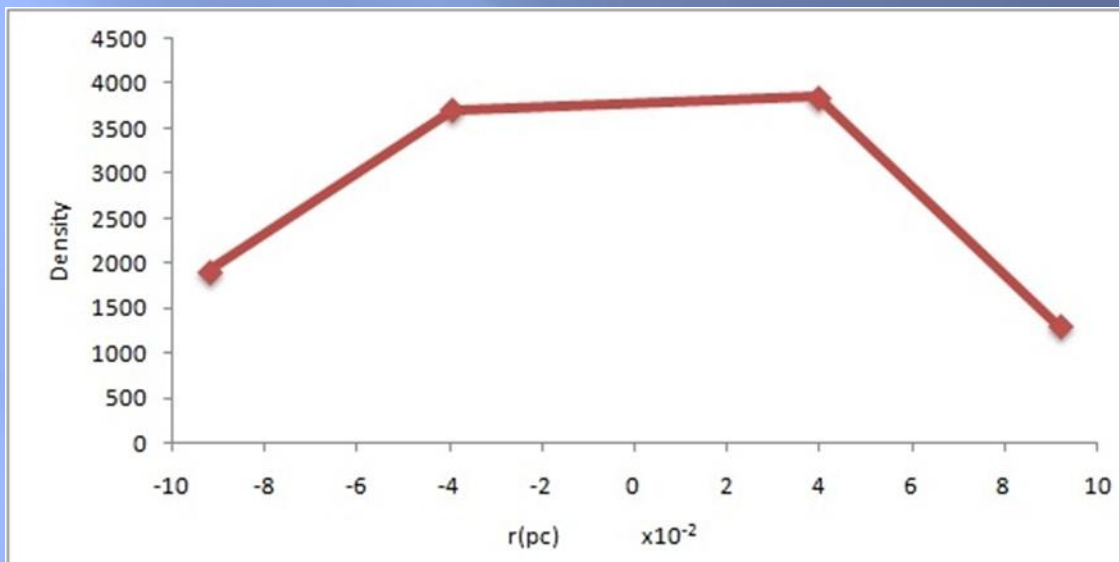


Grafico distanza - densità

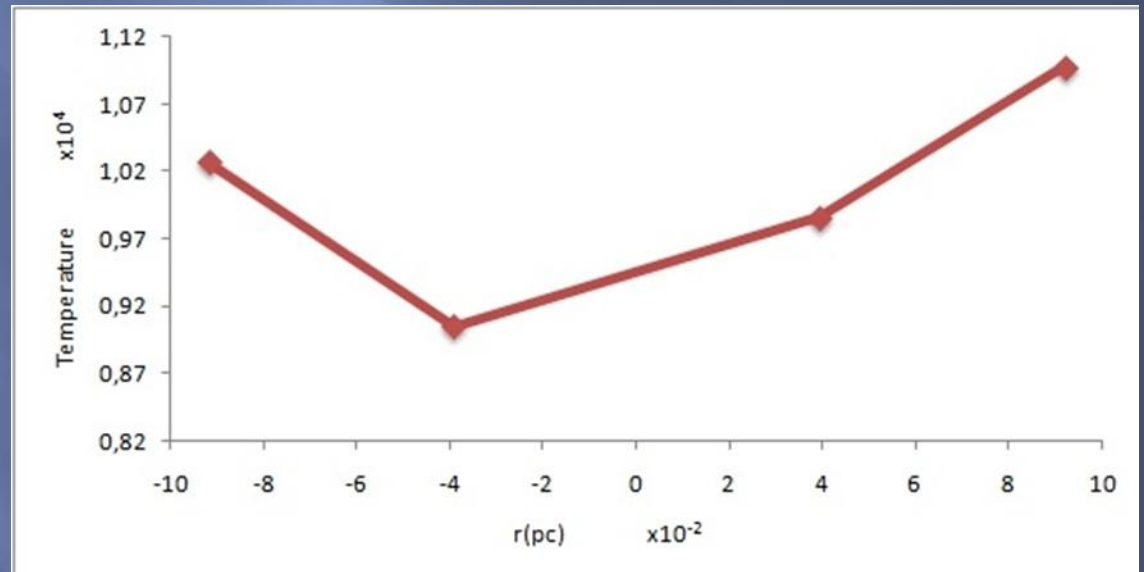


Grafico distanza - temperatura

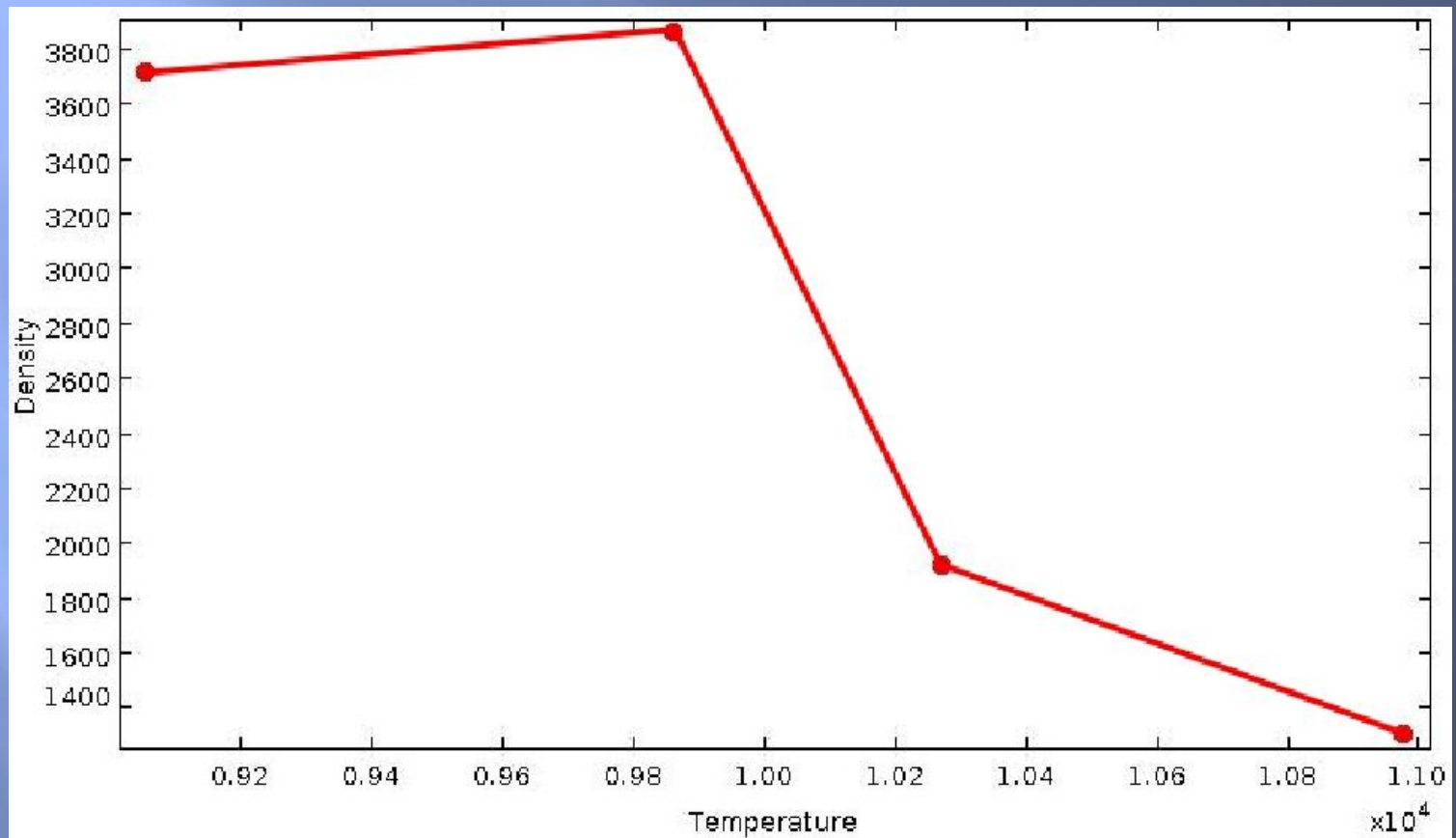


Grafico temperatura-densità

Come si è potuto osservare anche dai grafici, nelle regioni interne, corrispondenti alla prima shell, si ha una minore temperatura e una densità maggiore, a differenza delle regioni esterne in cui si ha un'elevata temperatura e una minore densità.

I dati dimostrano dunque che nelle parti finali della nebulosa, le particelle dei gas hanno una notevole energia cinetica rilevata sotto forma di elevate temperature, a differenza di quelle nelle parti centrali nonostante la vicinanza alla nana bianca.

I dati da noi calcolati sono stati in seguito confrontati con quelli di altri lavori sulla medesima nebulosa: in particolare è stato utilizzato uno studio di Bohigas, Lopez e Aguilar, in cui stimavano una temperatura media di 9000 ± 400 K ed una densità di 2300 ± 400 e⁻/cm³.

Tali stime differiscono ben poco dalle nostre:

$$T_{\text{media}} \approx 10040 \text{ K}$$

$$N_{\text{media}} \approx 2690 \text{ e}^{-}/\text{cm}^3$$

Le variazioni devono essere attribuite all' errore umano, ma la notevole somiglianza indica un metodo di lavoro adeguato.

Inoltre, confrontando i nostri dati con quelli di altre nebulose planetarie simili a quella da noi studiata, si possono riscontrare delle somiglianze:

NGC 7009

$T_{\text{media}} \approx 10040 \text{ K}$

$N_{\text{media}} \approx 2690 \text{ e}^-/\text{cm}^3$



NGC 7354

$T_{\text{media}} \approx 9500 \text{ K}$

$N_{\text{media}} \approx 2200 \text{ e}^-/\text{cm}^3$



NGC 2392

$T_{\text{media}} \approx 12500 \text{ K}$

$\approx 2230 \text{ e}^-/\text{cm}^3$

N_{media}

Abbondanze chimiche

Le abbondanze chimiche dell' O e dell' N rispetto all' H sono state calcolate mediante le seguenti formule:

Ossigeno: $O/H = ([OI] + [OII] + [OIII]) / H_I$

Azoto: $N/H = O/H \times N/O$

Avendo calcolato precedentemente i seguenti rapporti: $[OI]/H_I$; $[OII]/H_I$; $[OIII]/([OII] + [OI])$;
O/N

Le abbondanze chimiche riscontrate sono:

Ossigeno: $4.88 \text{ e } 6.59 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$

Azoto: $2.69 \text{ e } 3,35 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$

Esse si sono potute rilevare solo in alcune regioni interne a causa della mancanza degli elementi chimici necessari a calcolarle.

Infine sono state create delle **tabelle** comprendenti i vari valori trovati: flusso ($\times 10^{-4}$ erg cm $^{-2}$ sec $^{-1}$ Å $^{-1}$), errore sperimentale, temperatura (K), densità (cm $^{-3}$), abbondanze chimiche ($\times 10^{-4}$ cm $^{-3}$).

Eccone un esempio:

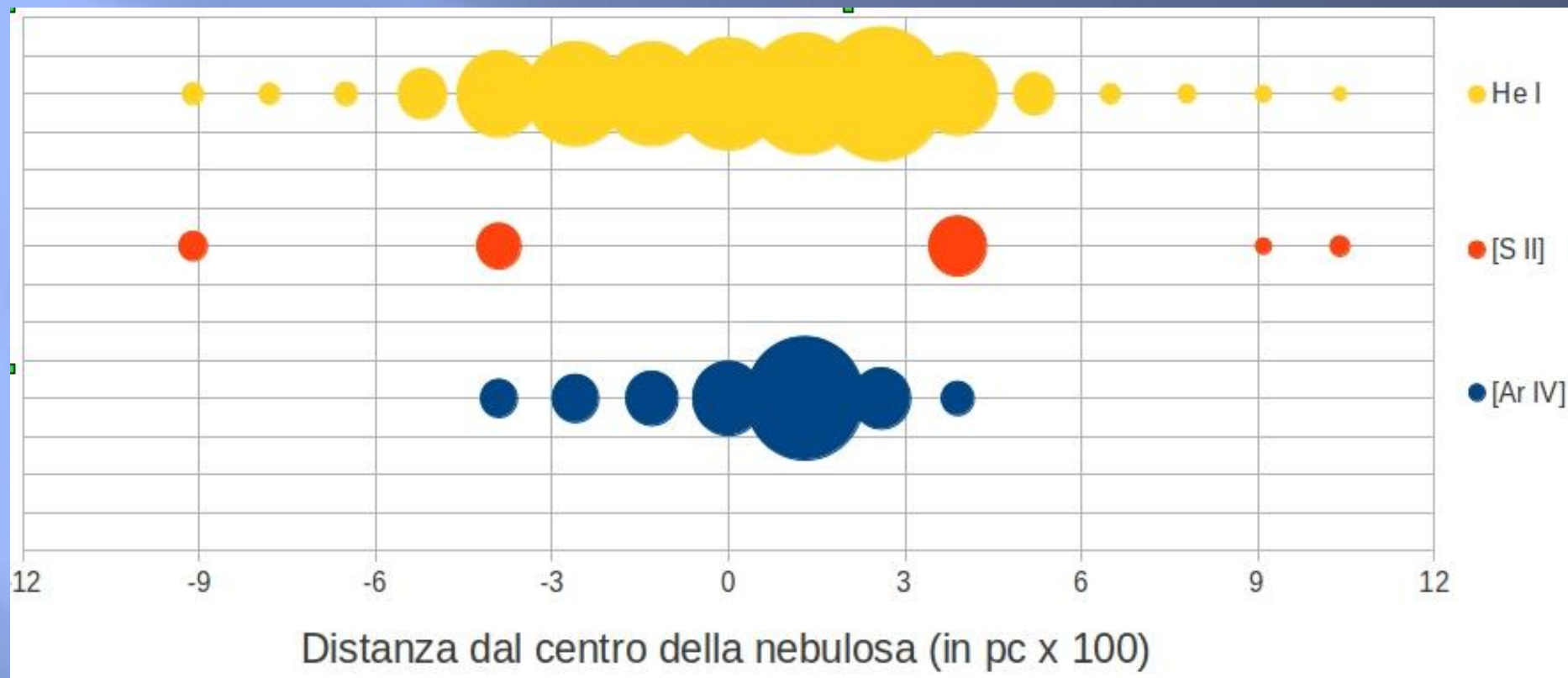
regione	[SII]6731	err [SII]6731	Te	Ne	O/H $_{\perp}$	N/H $_{\perp}$
N	-	-	-	-	-	-
A1	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-
A3	23.50	7.70	9861.70	3849.42	4.88	2.69
A4	-	-	-	-	-	-
A5	-	-	-	-	-	-
A6	-	-	-	-	-	-
A7	1.30	0.48	10976.80	1299.37	-	-
A8	1.82	0.60	-	-	-	-
B1	-	-	-	-	-	-
B2	-	-	-	-	-	-
B3	13.60	0.29	9051.70	3707.66	6.59	3.35
B4	-	-	-	-	-	-
B5	-	-	-	-	-	-
B6	-	-	-	-	-	-
B7	4.67	0.03	10269.40	1912.67	-	-
B8	-	-	-	-	-	-

Dalla catalogazione degli elementi attraverso le tabelle è possibile confrontare gli elementi chimici presenti nelle regioni esterne ed interne della nebulosa.

Nella regione interna sono stati riscontrati principalmente i seguenti elementi chimici: H10, H9, He II, [Ar IV], He I, [S II], Fe II, [O I], [N II], [O III];

mentre nella regione esterna:

[S II], [O III], Fe II, [N II], [O I], [S III], He I.

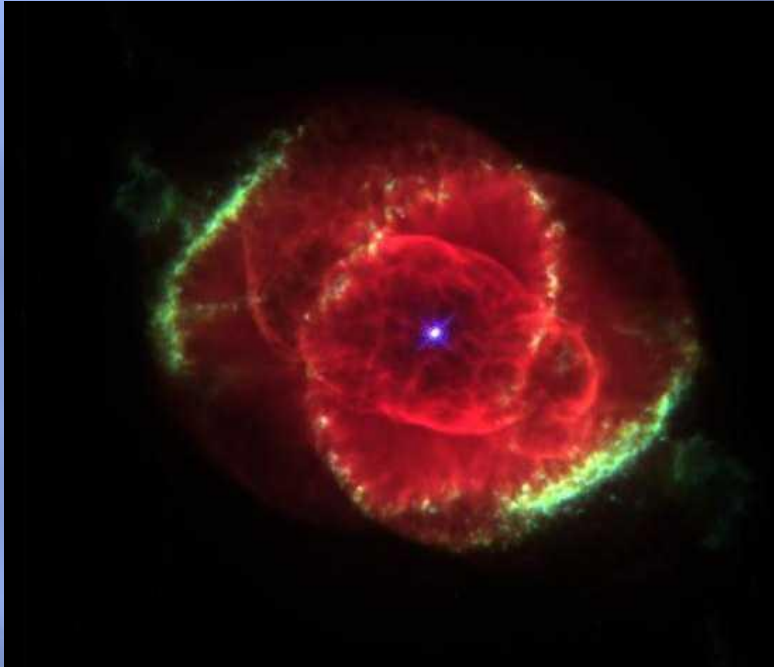


Questa tabella indica la concentrazione di tre diverse specie chimiche (He I-5876 / [S II]-6717 / [Ar IV]-4711) in relazione alla distanza dal centro della nebulosa.

Dalle rilevazioni degli elementi chimici si può notare come la concentrazione delle righe proibite sia molto maggiore nelle regioni interne rispetto a quelle esterne. Le righe proibite non possono essere formate dall'eccitazione dell'elettrone tramite l'assorbimento dell'energia dei fotoni, ma attraverso l'assorbimento dell'energia per gli urti con elettroni liberi sufficientemente energetici.

Nelle regioni interne vi è una maggiore densità e quindi consentirebbe un maggior numero di urti, anche se la temperatura risulta essere in esse minore.

Grazie dell'attenzione...



Liceo scientifico E. Majorana a.s. 2011-2012
Sabrina Cuogo, Giada Faraon, Francesco
Pegoraro, Giada Volpato, Alessandro
Zecchin

FINE!