

Spettroscopia della nebulosa M42

Matteo Ceccarello, Caterina Kulyk, Beatrice Miccoli, Marco Palma

Liceo Scientifico “E. Fermi”, Padova

ABSTRACT

In our experience at the Asiago Observatory we examined the spectrum of three different regions of the Orion Nebula: the first contained one of the star of the Trapezium Region, the second contained a very bright star situated south from the Trapezium and the third one contained no stars, but only a region of ionized gas. Afterwards, we made our data suitable for scientific purposes through Bias, Flat-Field and other corrections and then we studied the intensity of the [O III] and [S II] emissions in order to obtain the temperature and density of the regions.

I. INTRODUZIONE



Fig. 1: La posizione della nebulosa di Orione (M42)

La nebulosa di Orione (nota anche come Messier42, M42 o NGC 1976), osservata per la prima volta nel

1610 da Nicolas-Claude Fabri de Peiresc, è situata a sud della cintura della costellazione di Orione, a 1270 anni luce dalla terra (Fig. 1). Essa è una delle parti visibili di una nube molecolare gigante che si estende attraverso tutta la costellazione ed è una zona di intensa formazione stellare. La nebulosa è composta da nubi di gas neutro, diverse stelle e volumi di gas ionizzato, che la rendono visibile a occhio nudo. In particolare, nella nebulosa di Orione troviamo una delle regioni HII più brillanti della volta celeste. Le regioni HII sono regioni di gas ionizzato da fotoni emessi da stelle molto calde (di classe spettrale O e B), in cui gli elettroni liberi si ricombinano con gli atomi provocando un'emissione di fotoni. Le dimensioni della regione di gas ionizzato coincidono con la sfera di Strömgren (Fig. 2), all'esterno di tale sfera non ci sarà più alcun fotone ionizzante e il gas sarà neutro.

Un'altra caratteristica delle regioni HII è la presenza nello spettro delle cosiddette righe proibite, che sono date da transizioni, in teoria non possibili, fra livelli di energia detti metastabili. In particolare, osservando le righe proibite [O III] e [S II] di tre regioni di M42 che abbiamo scelto di esaminare, e calcolando i rapporti delle loro intensità abbiamo misurato la temperatura e la densità del gas.

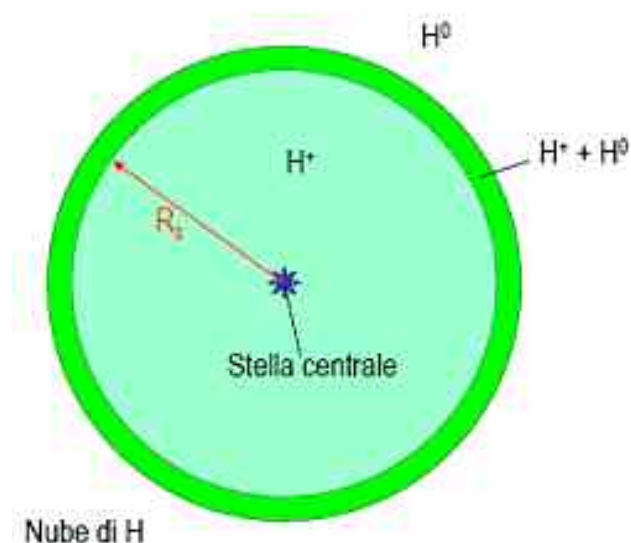


Fig. 2: Sfera di Strömgren

II. DATI OSSERVATIVI

La nebulosa è stata osservata da noi il 13 Febbraio 2008, con il telescopio di 122cm di diametro dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago, puntato secondo le coordinate:

Ascensione retta: $05^h 35^m 17.3^s$

Declinazione: $-05^\circ 23' 28''$

La magnitudine apparente della nebulosa è di +3.0.

La sua distanza è approssimativamente di 1,270 anni luce.

Abbiamo ricavato gli spettri di tre distinte zone della nebulosa (Fig. 3): la prima zona, chiamata da noi *M42a*, corrisponde al Trapezio, la seconda, *M42b*, ad una regione a sud del Trapezio comprendente una stella particolarmente luminosa e la terza, *M42c*, ad una regione di gas priva di stelle.

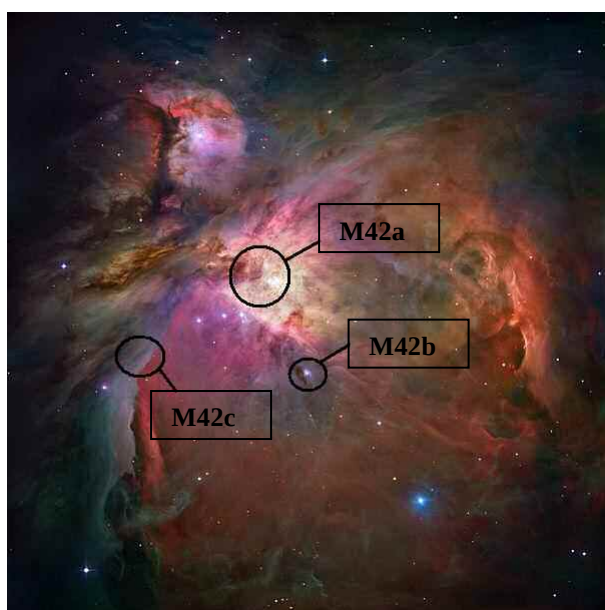


Fig. 3: Le tre regioni della nebulosa osservate col telescopio

III. DESCRIZIONE DEL LAVORO

Per tutte e tre le zone abbiamo effettuato tre pose con tempi di esposizione di 1 min, 3 min e 10 min.

Dopo aver ricavato gli spettri grezzi delle tre regioni della nebulosa, abbiamo elaborato i dati utilizzando il programma IRAF, in modo da ottenere dati utilizzabili per scopi scientifici.

Ecco le correzioni che abbiamo apportato:

1. BIAS

Per prima cosa, bisogna effettuare la correzione per BIAS, ossia la sottrazione del rumore di fondo del CCD, dovuto all'agitazione termica degli elettroni. Il BIAS costituisce una sorta di intensità di base e va sottratta a tutte le immagini scientifiche (Fig. 4).

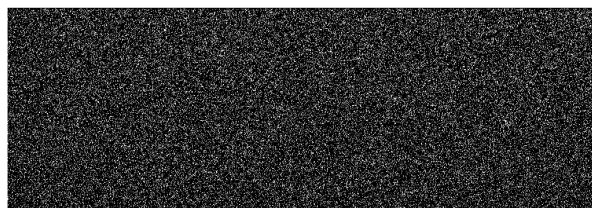


Fig. 4: Immagine di Bias

2. FLAT-FIELD

Ogni zona del CCD reagisce in maniera differente alla radiazione da cui viene colpita in quanto ogni singolo pixel reagisce diversamente quando è colpito dalla luce. Quindi, per effettuare la correzione, si illumina la cupola chiusa con dei fari e si prende lo spettro della zona illuminata. Lo spettro ottenuto (Fig. 5) ci fornisce una sorta di "mappa" della sensibilità del CCD. L'immagine scientifica andrà quindi calibrata in modo da compensare le deformazioni dovute alla diversa sensibilità.

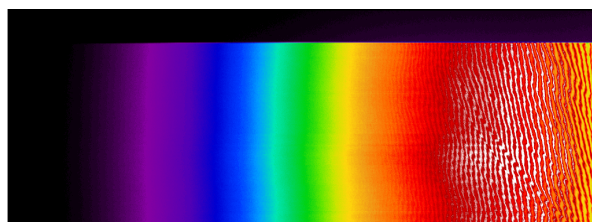


Fig. 5: Spettro di Flat-Field

3. CALIBRAZIONE IN λ

Confrontando lo spettro grezzo con quello di una lampada al Ferro-Argon (le cui righe spettrali hanno lunghezze d'onda note), è stato possibile cambiare l'unità di misura delle lunghezze d'onda da pixel ad Angström (Fig. 6).

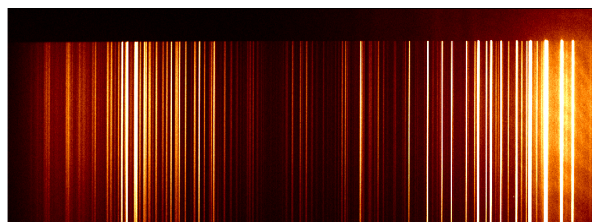


Fig. 6: Spettro della lampada Ferro-Argon

4. CALIBRAZIONE IN FLUSSO

Tramite lo spettro di una stella di cui conosciamo il flusso alle diverse lunghezze d'onda, abbiamo corretto la deformazione dello spettro grezzo dovuta alla diversa sensibilità del CCD alle diverse lunghezze d'onda.

5. SOTTRAZIONE DEL CIELO

L'atmosfera terrestre contribuisce allo spettro osservato con un'intensità di fondo e con numerose righe spettrali; si procede quindi a sottrarre lo spettro di una zona di cielo priva di sorgenti celesti per eliminare questo contributo (Fig. 7).

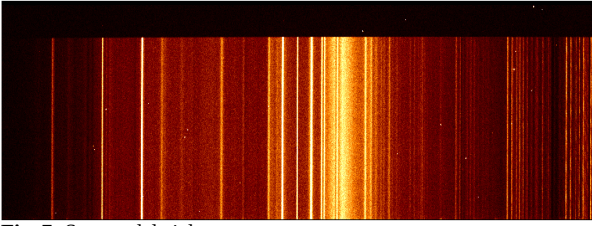
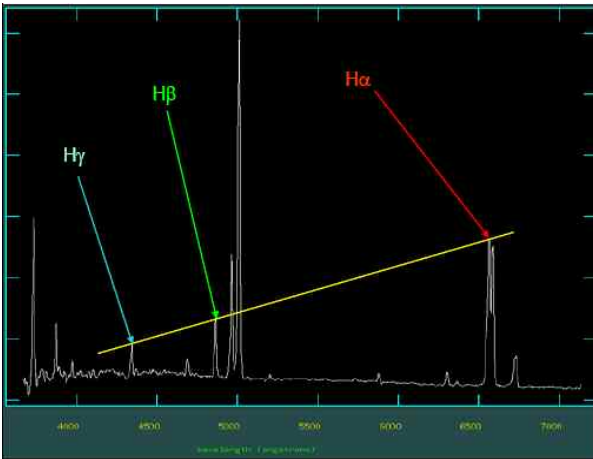


Fig. 7: Spettro del cielo

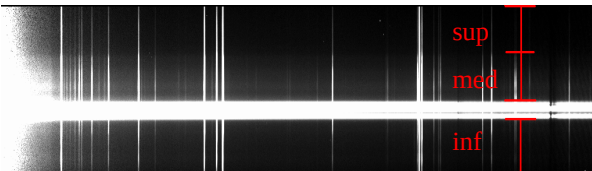
Infine si è dovuto correggere lo spettro per l'effetto della presenza del mezzo interstellare. Infatti le polveri e i gas presenti fra noi e la nebulosa assorbono parte della radiazione emessa, attenuando in maniera più evidente le righe di più bassa lunghezza d'onda. Quindi si misura il rapporto delle intensità delle righe $H\alpha$ e $H\beta$, che dovrebbe essere teoricamente pari a 2,86. Infatti le intensità delle righe di emissione dell'idrogeno della serie di Balmer ($H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$) hanno rapporti costanti, formando il cosiddetto decremento di Balmer, evidenziato nella seguente figura:



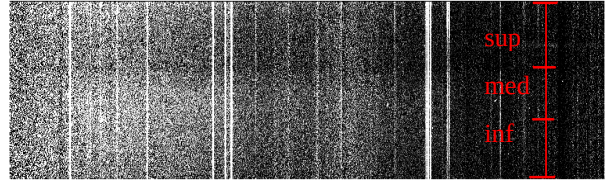
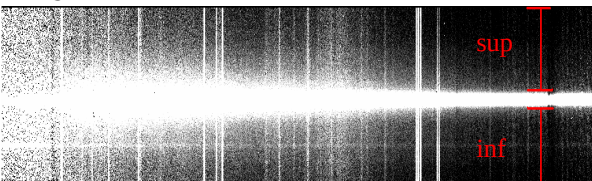
Trovare valori differenti da 2,86 significa che il mezzo interstellare ha provocato una deformazione dello spettro. Si procede quindi al calcolo del coefficiente che servirà a correggere questa deformazione e alla correzione dei valori.

A questo punto gli spettri sono pronti per essere analizzati. Le tre zone che abbiamo esaminato sono state a loro volta divise in fasce per isolare le stelle presenti dal gas ionizzato che le circonda.

M42a



M42b



Nello spettro di ciascuna zona abbiamo misurato i flussi delle tre righe di [O III] e delle due di [S II] ottenendo i seguenti valori (in unità di $\text{erg cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$):

	[O III] 4363	[O III] 4959	[O III] 5007
m42a_inf	$1,49 \times 10^{-12}$	$2,46 \times 10^{-10}$	$7,29 \times 10^{-10}$
m42a_md	$5,12 \times 10^{-12}$	$4,84 \times 10^{-10}$	$14,3 \times 10^{-10}$
m42a_sup	$9,05 \times 10^{-13}$	$0,89 \times 10^{-10}$	$2,67 \times 10^{-10}$
m42b_inf	*	$1,65 \times 10^{-13}$	$5,09 \times 10^{-13}$
m42b_sup	*	$1,95 \times 10^{-13}$	$5,61 \times 10^{-13}$
m42c_inf	$1,73 \times 10^{-13}$	$0,96 \times 10^{-12}$	$2,90 \times 10^{-12}$
m42_md	$2,21 \times 10^{-14}$	$1,65 \times 10^{-13}$	$4,68 \times 10^{-13}$
m42_sup	*	$4,08 \times 10^{-13}$	$12,3 \times 10^{-13}$

	[S II] 6731	[S II] 6716	
m42a_inf	$1,58 \times 10^{-11}$	$1,10 \times 10^{-11}$	
m42a_md	$2,32 \times 10^{-11}$	$1,33 \times 10^{-11}$	
m42a_sup	$7,55 \times 10^{-12}$	$6,45 \times 10^{-12}$	
m42b_inf	$1,80 \times 10^{-13}$	$2,33 \times 10^{-13}$	
m42b_sup	$0,94 \times 10^{-13}$	$1,20 \times 10^{-13}$	
m42c_inf	$1,82 \times 10^{-13}$	$2,31 \times 10^{-13}$	
m42_md	$3,40 \times 10^{-14}$	$3,78 \times 10^{-14}$	
m42_sup	$2,32 \times 10^{-13}$	$2,92 \times 10^{-13}$	

(*) Purtroppo per queste zone non è stato possibile misurare il flusso della riga [O III] a 4363 Å in quanto tale riga era andata persa probabilmente durante la sottrazione del cielo. Infatti fra le righe in emissione prodotte dal cielo c'è la riga del Hg a 4358 Å. Se la risoluzione spettrale non è elevata, nella sorgenti galattiche o a bassissimo redshift questa riga si sovrappone a quella di [O III] rendendo spesso molto difficile la sua identificazione.

Attraverso le seguenti formule

$$\frac{I(4959) + I(5007)}{I(4363)} = \frac{7.73 \cdot e^{\frac{3.29 \cdot 10^4}{T_e}}}{1 + 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{N_e}{\sqrt{T_e}}}$$

$$N_e = \frac{I(6716)}{I(6731)}$$

ed eseguendo i calcoli con il programma IRAF abbiamo calcolato una stima della temperatura e della densità delle varie zone della nebulosa.

IV. RISULTATI

L'analisi dei dati ci ha portati alle seguenti misure di temperatura e densità per le varie zone della nebulosa.

	Temperatura (°K)	Densità (e^-/cm^3)
m42a_inf	7400	2100
m42a_md	8500	5100
m42a_sup	8400	1000
m42b_inf	*	*
m42b_sup	*	*
m42c_inf	31000	150
m42c_md	25000	500
m42c_sup	*	*

(*) A causa dell'impossibilità di misurare il flusso della riga di [O III] a 4363 Å non è stato possibile applicare le formule per calcolare temperatura e densità.

Osservando i risultati ottenuti per quanto riguarda la densità risulta evidente che all'interno della nebulosa di Orione il gas non è distribuito in maniera omogenea. Infatti la densità è molto più elevata nella regione del Trapezio, e in special modo nelle zone indicate con *m42a_md* e *m42a_inf*, che sono adiacenti alle stelle. Questo può essere spiegato col fatto che in quella regione nuove stelle si stanno formando.

L'alta densità del gas fa sì che gli scontri tra particelle siano più frequenti, e ciò si riflette nell'intensità delle righe di [O III], che risultano più marcate in questa zona che nella regione *m42c*, meno densa: infatti in *m42a* l'intensità di [O III] 5007 è dell'ordine di 10^{-10} erg cm⁻² sec⁻¹, mentre in *m42c* è dell'ordine di 10^{-12} . Quindi l'energia cinetica posseduta dagli atomi del gas si trasforma in radiazione che si disperde nello spazio. Dato che la temperatura può essere intesa come una rappresentazione della velocità delle particelle del gas nel loro moto casuale, se parte dell'energia cinetica viene dispersa sotto forma di radiazione, la temperatura deve necessariamente diminuire. Questo spiega i valori di temperatura di questa regione, nettamente inferiori rispetto a quelli di *m42c*.

Nella regione *m42c* la situazione è radicalmente diversa. Anzitutto non sono presenti stelle, ma solo gas. Dall'analisi dello spettro si evince come la densità sia molto bassa mentre, al contrario, la temperatura sia molto elevata. Si ha quindi una situazione opposta rispetto alla zona *m42a*: la bassa densità non permette numerosi scontri fra elettroni liberi e atomi, quindi le righe proibite che deriverebbero da questi scontri si manifestano con minore intensità. Nel contempo il gas riesce a mantenere la sua temperatura più elevata.

Con i dati in nostro possesso possiamo anche azzardare una previsione sulla possibilità di formazione di nuove stelle in questa zona. Data la bassa densità del gas è improbabile che si formino nuove stelle, a meno di eventi che modifichino la situazione, portando alla

formazione di zone di maggiore densità in grado di attirare masse sempre maggiori di gas. Ad esempio l'onda d'urto provocata dallo scoppio di una vicina supernova potrebbe dare l'avvio a questo processo.

Ovviamente si tratta di un'ipotesi, in quanto abbiamo suddiviso la regione solamente in tre zone, e quindi potrebbero esserci piccole regioni a più alta densità. Tuttavia i valori di densità media ottenuti (150 e 500 e^-/cm^3) sembrerebbero escludere quasi completamente la possibilità dell'esistenza di tali zone.