

# OSSERVAZIONI SPETTROGRAFICHE DI $\epsilon$ AURIGAE ESEGUITE A MERATE NEL PERIODO OTTOBRE 1956 - APRILE 1957

Nota di M. FRACASSINI e M. HACK (\*)

*(Osservatorio astronomico di Merate - Centro di astrofisica del C.N.R.)*

RIASSUNTO. — Si danno i risultati delle osservazioni spettrografiche di  $\epsilon$  Aur eseguite a Merate nel periodo ottobre 1956-aprile 1957. Le intensità delle righe spettrali, costituite da uno stretto blend fra le righe stellari e le righe dello spettro shell che appare nella fase parziale dopo la fine della totalità, dal lato violetto dello spettro stellare, non mostrano apprezzabili cambiamenti durante tutta la fase parziale. Le velocità radiali sono determinate da un gruppo di righe prevalentemente stellari, cioè in cui la componente shell è assente o debole, e da un gruppo di righe in cui la componente shell è importante. Si riesce a mettere in evidenza una differenza sistematica nelle velocità radiali dei due gruppi di righe, le seconde conducendo ad una velocità sempre più negativa delle prime. La scelta fra righe « stellari » e righe prevalentemente shell è stata fatta impiegando per confronto degli spettrogrammi di M. Wilson del gennaio 1957, studiati da Hack. Alcuni forti scarti delle velocità radiali dal valore medio vengono interpretati con la presenza di nubi nello shell eclissante e nell'atmosfera della stella principale i cui moti radiali d'avvicinamento o d'allontanamento spostano il baricentro delle righe impiegate nelle misure di velocità radiale.

ABSTRACT. — The results for the spectrographic observations of  $\epsilon$  Aur made in Merate from October 1956 to April 1957 are given. The spectral lines are a close blend of the stellar lines and the shell lines, which appear in the violet side of the stellar spectrum, after the end of the totality. The total intensities do not show appreciable variations during the partial phase. The radial velocities have been derived with a set of « stellar » lines, for which the shell component is missing or weak, and with a set of lines for which the shell component is important. It is possible to emphasize a systematic difference between the radial velocities of the two sets of lines; the « shell » lines always give a radial velocity more negative than the « stellar » lines. « Stellar » and « shell » lines have been selected by comparison with some spectrograms taken at M. Wilson in January 1957 and studied by Hack. Some large departures for the stellar radial velocities from the mean value has been explained with the presence of clouds in the eclipsing shell or in the atmosphere of the primary star; the radial motions of these clouds can displace the center of the lines.

In occasione della campagna internazionale di osservazione di  $\epsilon$  Aur per l'eclisse 1955-1957 all'Osservatorio di Merate sono state eseguite osservazioni spettrografiche durante il periodo ottobre 1956-aprile 1957, impiegando una dispersione di 20 Å/mm ad  $H\gamma$ . Nella tabella I sono riportati i dati relativi ai singoli spettrogrammi.

Scopo della ricerca è di mettere in evidenza eventuali variazioni di intensità delle righe spettrali in questo periodo, corrispondente alla fase parziale dopo la fine della totalità, e di determinare le velocità radiali.

(\*) Ricevuta il 10 dicembre 1957.

Mentre a Merate M. Fracassini eseguiva le osservazioni di  $\epsilon$  Aur, M. Hack, durante il suo soggiorno all'Università di California aveva l'opportunità di studiare alcuni spettri di  $\epsilon$  Aur presi nel gennaio e nell'aprile 1957 a M. Wilson con una dispersione di 4.5 A/mm. I risultati di questa ricerca sono in corso di stampa <sup>(1)</sup>. Su questi spettri a gran dispersione è ben visibile il caratteristico spettro shell, già osservato anche nel 1930 dopo la fine della totalità, presentante segni evidenti di diluizione di radiazione. Esso compare dal lato violetto del normale spettro stel-

TABELLA I

Lastre	Pose	T.U. a metà posa	Fenditura
H 130	60 <sup>m</sup>	Ott. 12,00 - '56	25 micron
»	30	» 12,04	» »
F 139	60	Dic. 19,93	» »
F 141	30	» 24,89	» »
»	90	» 24,94	» »
F 142	30	» 27,88	» »
»	90	» 27,93	» »
F 143	30	» 28,88	» »
»	90	» 28,93	» »
F 144	30	Gen. 9,84 - '57	» »
»	90	» 9,88	» »
F 146	30	» 13,83	» »
»	90	» 13,87	» »
F 147	30	» 18,86	» »
»	60	» 18,89	» »
»	30	» 18,92	» »
F 148	30	» 19,80	» »
»	60	» 19,83	» »
»	30	» 19,89	» »
F 149	20	» 20,82	» »
»	40	» 20,84	» »
F 150	20	Feb. 2,77	» »
»	40	» 2,80	» »
F 151	20	» 19,75	» »
»	40	» 19,78	» »
F 152	30	» 21,78	» »
»	60	» 21,81	» »
F 153	40	Mar. 16,79	» »
F 154	16 <sup>(1)</sup>	» 19,84	» »
»	30	» 19,87	» »
F 155	16	Apr. 13,83	» »
»	32	» 13,85	» »
F 156	10	» 14,78	» »
»	20	» 14,79	» »
F 157	10	» 15,82	» »
»	20	» 15,83	» »
F 158	10	» 16,79	» »
»	20	» 16,80	» »

<sup>(1)</sup> In quel periodo era stato alluminato lo specchio del Riflettore Zeiss.

lare; la separazione fra le righe stellari e le corrispondenti shell era in gennaio di circa 40 km/sec ed in aprile di circa 30 km/sec.

Questo spettro shell è attribuito, secondo la recente ipotesi di Struve <sup>(2)</sup> ad uno shell molto esteso involupante la compagna invisibile; lo shell sarebbe l'unico responsabile dell'eclisse, rendendo conto così con la sua estensione della durata della totalità e delle fasi parziali, e con la sua bassissima densità del fatto che lo spettro della stella F è sempre visibile e indisturbato durante tutta la totalità. Dai risultati ottenuti a Berkeley, Hack trova <sup>(1)</sup> che la diluizione fisica della radiazione è  $W = 0.13$ , mentre la diluizione geometrica in base ai valori del rapporto fra raggio stellare e raggio dello shell eclissante, determinato da Kuiper <sup>(3)</sup> risulterebbe  $W_0 = 10^{-3}$ . Correggendo la formula di Saha con questo valore della diluizione fisica, si trova per la densità elettronica un valore in grado di render conto dell'opacità osservata durante la fase di totalità, come dovuta soltanto a scattering elettronico da parte dello shell.

Il divario fra diluizione fisica e diluizione geometrica è interpretato da Hack <sup>(1)</sup> come dovuto ad un eccesso di radiazione ultravioletta della stella eccitante. Nell'ipotesi che sia lo shell della compagna a provocare l'eclisse, non c'è più bisogno di postulare per la compagna invisibile una bassissima temperatura, circa 1000°K, bassissima densità ed enormi dimensioni, come richiedeva la precedente ipotesi di Kuiper, Struve e Strömgren <sup>(3)</sup>.

D'altra parte poichè questo eccesso deve essere da 100 a 1000 volte superiore all'energia irraggiata nell'ultravioletto da una stella di tipo F, come  $\epsilon$  Aur <sup>(4)</sup>, Hack arriva alla conclusione che responsabile dell'eccesso possa essere la compagna invisibile, la quale potrebbe essere una stella di tipo B, di grandezza bolometrica circa due grandezze più debole della stella principale. In tal caso si spiega che lo spettro della compagna non è visibile, ma nell'estremo ultravioletto è presente l'eccesso di radiazione richiesto. Anche la mancanza di un'eclisse secondaria sarebbe spiegata dal fatto che a tale epoca la stella principale eclisserebbe soltanto lo shell della stella secondaria.

Nei microfotogrammi degli spettri ottenuti a Merate è possibile scorgere le punte delle corrispondenti, più intense righe dello spettro stellare. E' quindi impossibile determinare le intensità delle righe shell e delle righe stellari separatamente.

Il confronto delle larghezze equivalenti misurate sugli spettri presi in gennaio a Merate con quelle ricavate dagli spettri presi a M. Wilson nella stessa epoca indica che le intensità totali misurate a Merate rappresentano all'incirca la somma delle intensità totali della stella e dello shell.

Però sia per effetto dei blends delle due componenti che dei blends con deboli righe vicine, le intensità totali di Merate sono superiori a

quelle di M. Wilson circa del 10%. La 4481 Mg II, che è l'unica riga ben misurabile sui nostri spettri che non abbia componente shell, concorda entro l'ordine degli errori con le misure di M. Wilson (Fig. 1).

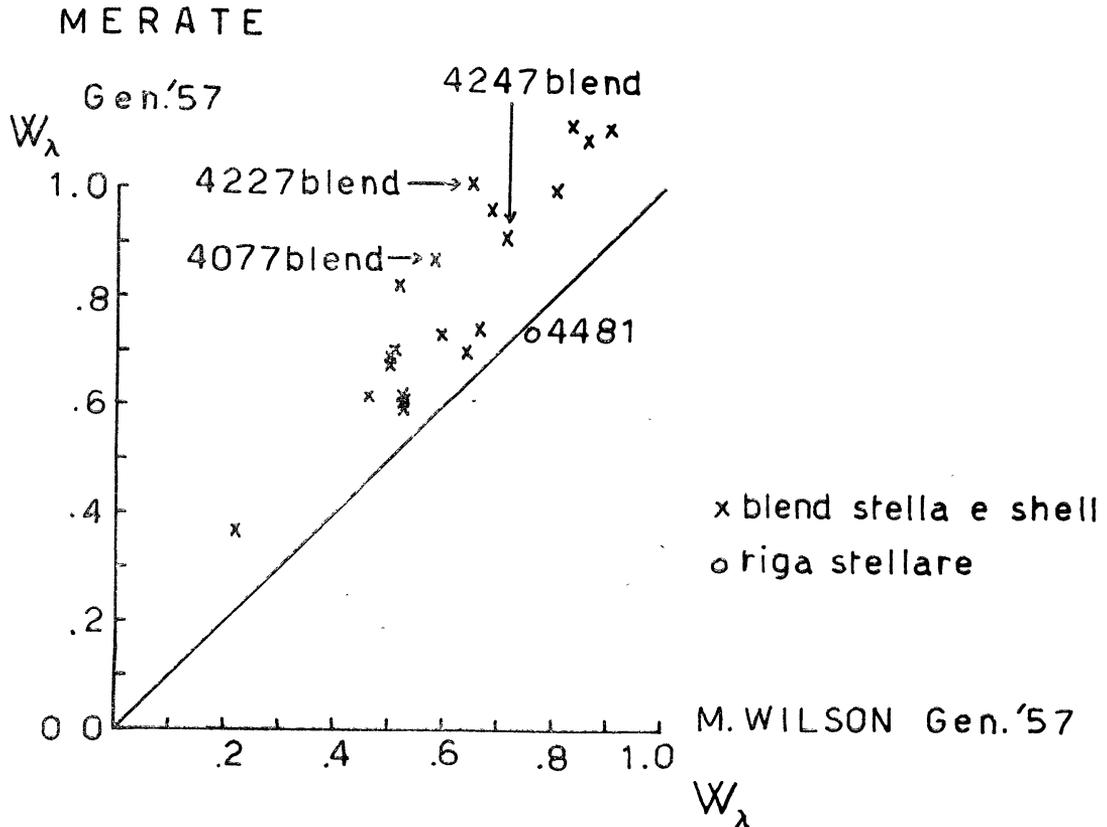


Fig. 1

E' piuttosto difficile mettere in evidenza eventuali piccole variazioni reali nelle intensità delle righe spettrali; infatti si possono avere differenze sistematiche da lastra a lastra, dovute specialmente a differenze d'esposizione, in quanto la curva di calibrazione non è mai ottenuta nelle identiche condizioni in cui è stato preso lo spettro stellare. Per ridurre in parte la possibilità di errori sistematici si è ritenuto più conveniente considerare, oltre al modo di variare delle intensità delle singole righe, anche il rapporto dell'intensità d'una riga alla media di tutte le altre di uno stesso spettro.

In questo modo un eventuale errore di lastra si elimina nel rapporto. Le curve che si ottengono sia riportando le intensità totali che il loro quoziente per la media delle intensità totali di tutte le righe di uno spettro, in funzione della fase, sono molto simili. Le variazioni di intensità sono piccole e circa negli ordini degli errori. E' difficile stabilire se si tratti anche di variazioni reali, in quanto è noto che l'intensità delle

righe di  $\epsilon$  Aur varia leggermente in modo irregolare, probabilmente per variazioni della microturbolenza. Anche variazioni di macroturbolenza, indicate da variazioni dei profili <sup>(1)</sup> possono cambiare il grado di blend con la riga shell e quindi indirettamente l'intensità complessiva.

Non è possibile mettere in evidenza sugli spettri di Merate la diminuzione d'intensità delle righe shell che è stata osservata da gennaio ad aprile sugli spettri di M. Wilson <sup>(1)</sup>, data l'entità dei blends con le righe stellari. Per mettere in evidenza eventuali differenze di comportamento delle righe dei vari elementi durante la fase parziale, si sono raggruppate le righe per elemento e potenziale d'eccitazione e si sono riportate le medie delle intensità relative ad un gruppo di righe di uno stesso elemento, originate circa nello stesso livello, (media divisa al solito per la media di tutte le righe di un dato spettro) in funzione della fase. Nella tabella II è dato l'elenco delle righe di cui è stata misurata l'intensità. In fig. 2 sono riportati i risultati per 10 righe del Fe II originate da livelli aventi potenziali d'eccitazione di circa 2.7 eV, 9 righe del Ti II con potenziale d'eccitazione minore di 1.5 eV, 4 righe del Fe I, potenziale 1,5 eV, le due righe di risonanza dello Sr II, 2 righe dello Sc II, potenziale 0.3 e 0.6 eV, la 4481 Mg II, la 4558 Cr II e la 4227 Ca I. Le misure relative alle varie iastre si distribuiscono intorno ad una retta parallela all'asse delle ascisse, indicando che non vi sono variazioni apprezzabili d'intensità, e che tutti gli elementi si comportano allo stesso modo.

Anche le osservazioni di gennaio ed aprile di M. Wilson <sup>(1)</sup> confermano questi risultati: le intensità delle righe stellari rimangono circa costanti. Le righe shell invece sono più profonde e più sottili in aprile e presentano una piccola diminuzione d'intensità, dovuta alla diminuzione dello strato di shell eclissante. Come abbiamo detto però, a causa del blend con le righe stellari è impossibile mettere in evidenza un tale effetto sui nostri spettri di Merate.

Confrontando i microfotogrammi degli spettri di M. Wilson con quelli di Merate è stato possibile scegliere un gruppo di righe prevalentemente stellari, cioè con la componente shell molto più debole della stellare, o addirittura mancante, ed un gruppo in cui la componente shell è forte. A causa della bassa temperatura d'eccitazione e della diluizione di radiazione regnante nello shell le righe del Fe II e del Cr II, originate da livelli con potenziali di eccitazione rispettivamente di 2.7 e 4 eV sono assai deboli nello spettro shell; così pure le righe originate in livelli non metastabili. Intense invece le righe di risonanza. Si è così potuto misurare le velocità radiali per il gruppo di righe « stellari » e per il gruppo di righe « shell », tentando di mettere in evidenza, malgrado il forte grado di blend delle due componenti, la differenza di velocità radiale fra la stella principale e lo shell eclissante.

Nella tabella III sono riportate le righe dell'arco del ferro, e le righe « stellari » e « shell » impiegate nelle misure di velocità radiale.

1958MNRAS...29...101F

W  
W

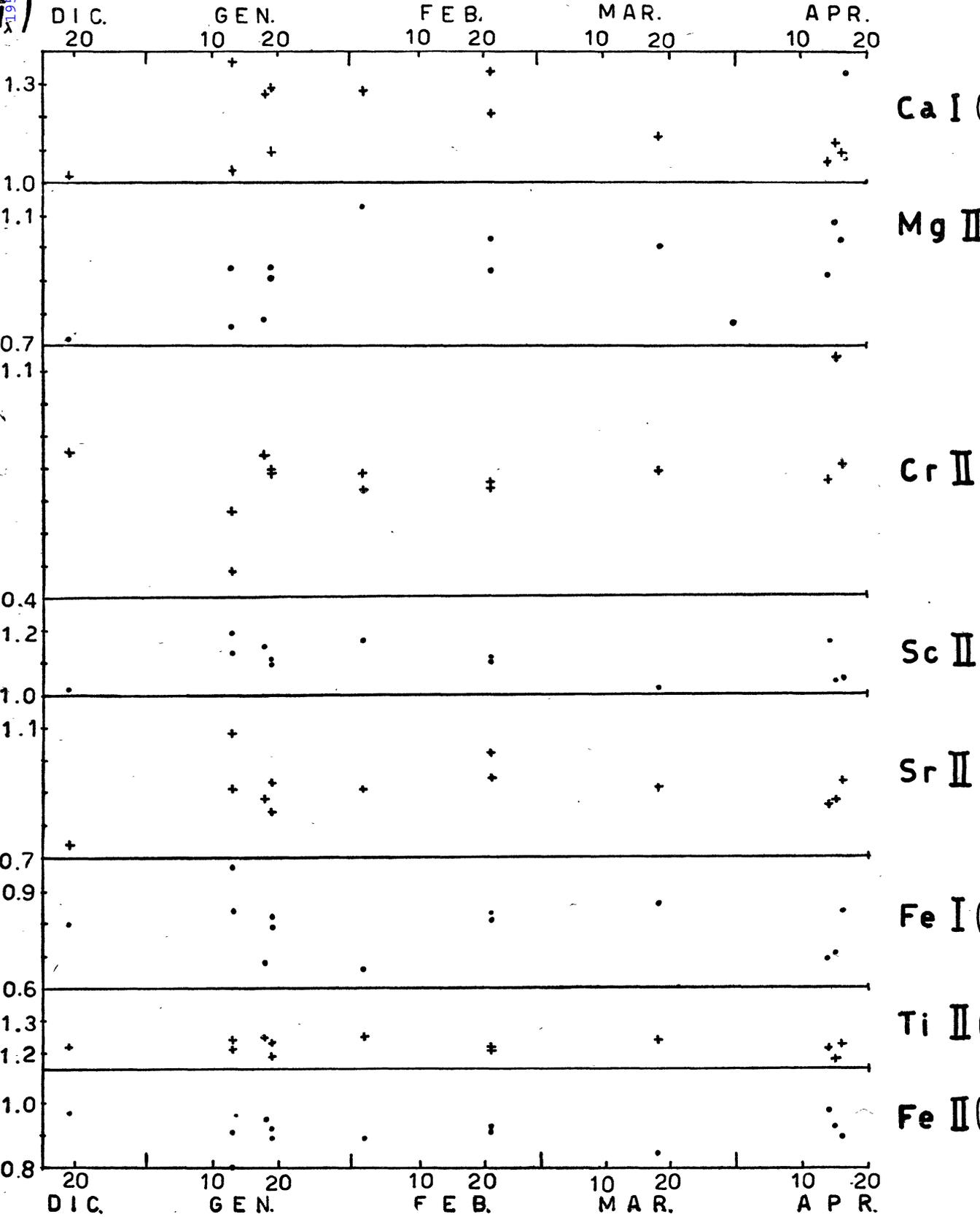


Fig. 2

Le misure sono state eseguite al misuratore di spettri Mioni dell'Osservatorio di Merate. Per ciascuna riga si sono eseguite quattro puntate andando dal rosso al violetto e quattro dal violetto al rosso.

Ad ogni singola riga stellare è stato attribuito un peso a seconda del maggior o minor grado di blend con le righe vicine. E' stato dato peso eguale ad 1 alle righe completamente isolate, 0.75 alle righe leggermente blend nelle ali, 0.5 alle righe affette da blend con righe molto più deboli e 0.25 alle righe seriamente blend. Le righe con peso 0.25 sono state scelte solo quando erano righe originate in livelli non metastabili e quindi con componente shell assente o di intensità completamente trascurabile.

TABELLA II

$\lambda$	Identificazione	
4012.37	Ti II	11
4045.81	Fe I	43
4071.74	Fe I	43
4077.71	Sr II	1
4122.14	Fe II	28
4215.52	Sr II	1
4226.72	Ca I	2
4233.16	Fe II	27
4246.84	Sc II	7
4271.76	Fe II	42
4278.12	Fe II	32
4290.22	Ti II	41
4294.76	Sc II	15
4395.03	Ti II	19
4404.75	Fe I	41
4443.80	Ti II	19
4450.49	Ti II	19
4468.49	Ti II	31
4481.2	Mg II	4
4501.27	Ti II	31
4508.29	Fe II	38
4515.34	Fe II	37
4520.22	Fe II	37
4522.63	Fe II	38
4558.66	Cr II	44
4563.76	Ti II	50
4571.98	Ti II	82
4576.33	Fe II	38
4582.84	Fe II	37
4629.34	Fe II	37

TABELLA III

$\lambda$		$\lambda$	
4602.944	Ferro	4233.615	Ferro
4571.971	Stella	4227.432	Ferro
4563.761	Stella	4226.728	Shell
4558.659	Stella	4202.093	Shell
4547.851	Ferro	4181.757	Ferro
4541.523	Stella	4147.673	Ferro
4528.619	Ferro	4143.772	Shell
4522.634	Stella	4118.549	Ferro
4515.337	Stella	4107.492	Ferro
4494.568	Ferro	4076.642	Ferro
4481.208	Stella	4071.751	Shell
4476.022	Ferro	4067.237	Stella
4472.792	Stella	4063.607	Shell
4450.487	Stella	4063.597	Ferro
4447.722	Ferro	4045.827	Shell
4415.125	Ferro	4033.073	Shell
4404.745	Shell	4030.673	Shell
4375.932	Ferro	4021.869	Ferro
4337.049	Ferro	4012.372	Shell
4315.087	Ferro	4009.717	Ferro
4307.914	Shell		
4282.406	Ferro		
4278.128	Stella		
4274.803	Shell		
4269.280	Stella		
4261.92	Stella		
4260.479	Stella		
4254.330	Shell		
4246.829	Shell		
4242.38	Stella		

Per le righe shell il peso è stato ottenuto dal prodotto di due serie di pesi, una serie che tien conto del grado di blend con le righe vicine, secondo i criteri già esposti per le righe stellari, un'altra che dà pesi inversamente proporzionali alla dispersione dello spettrografo alle varie lunghezze d'onda, per tener conto del fatto che a dispersioni minori la riga

shell è più blend con la corrispondente stellare, e quindi la velocità radiale da essa determinata è influenzata in maggior misura dalla velocità radiale della stella.

I risultati mostrano che è possibile mettere in evidenza una differenza di velocità fra le righe stellari e le righe in cui la componente shell è importante. La velocità radiale delle righe « stellari » mostra piccole variazioni da ottobre ad aprile (Tabella IV e fig. 3), mantenendosi in media fra  $-5$  e  $-10$  km/sec, e cioè poco diversa da quella che è la velocità del centro di massa del sistema che è di  $-2.5$  km/sec. Nella passata eclisse del 1928-30 alla stessa epoca la velocità radiale misurata su spettrogrammi di M. Wilson era compresa fra  $-20$  e  $-5$  km/sec, con forti scarti dalla curva media per effetto dei blend con le righe dello shell.

TABELLA IV

Data T.U.			VR Stella	VR Shell
1956	Ott.	12.00	$- 2.7$ Km/s	$- 8.4$ Km/s
	»	12.04	$- 4.1$	$- 3.5$
	Dic.	19.93	$- 8.5$	$- 11.0$
1957	Gen	13.83	$+ 24.1$	$+ 0.3$
	»	13.87	$+ 27.4$	$+ 5.3$
	»	18.86	$- 3.8$	$- 14.6$
	»	18.89	$+ 5.2$	$- 11.3$
	»	19.80	$- 6.7$	$- 19.8$
	»	20.82	$+ 5.2$	$- 8.3$
	»	20.84	$+ 5.5$	$- 11.8$
	Feb.	2.77	$- 27.9$	$- 29.5$
	»	2.80	$- 13.2$	$- 22.4$
	»	19.75	$- 8.7$	$- 17.7$
	»	19.78	$- 16.0$	$- 23.5$
	»	21.78	$- 16.6$	$- 19.9$
	Mar.	16.79	$- 26.8$	$- 28.8$
	Apr.	13.83	$+ 20.4$	$+ 4.5$
	»	13.85	$+ 11.3$	$+ 1.5$
	»	14.78	$+ 9.4$	$- 11.3$
	»	14.79	$+ 5.6$	$- 7.9$
	»	15.82	$+ 15.6$	$- 6.0$
	»	15.83	$+ 7.7$	$- 10.4$
	»	16.79	$+ 13.1$	$- 6.0$
	»	16.80	$+ 4.4$	$- 6.6$

Vanno notati due forti scarti dal valore medio per le osservazioni del 13 gennaio e del 16 marzo 1957. Alla prima data la velocità risulta di  $+25$  km/sec mentre 5 giorni dopo è intorno a zero. A marzo invece la velocità stellare è quasi eguale a quella delle righe « shell », e di  $-27$  km/sec. Scarti così forti dalla media non sono attribuibili ad errori che sono compresi fra  $\pm 2$  e  $\pm 4$  km/sec per spettrogramma; essi devono pertanto ritenersi reali e dovuti probabilmente alla presenza momentanea

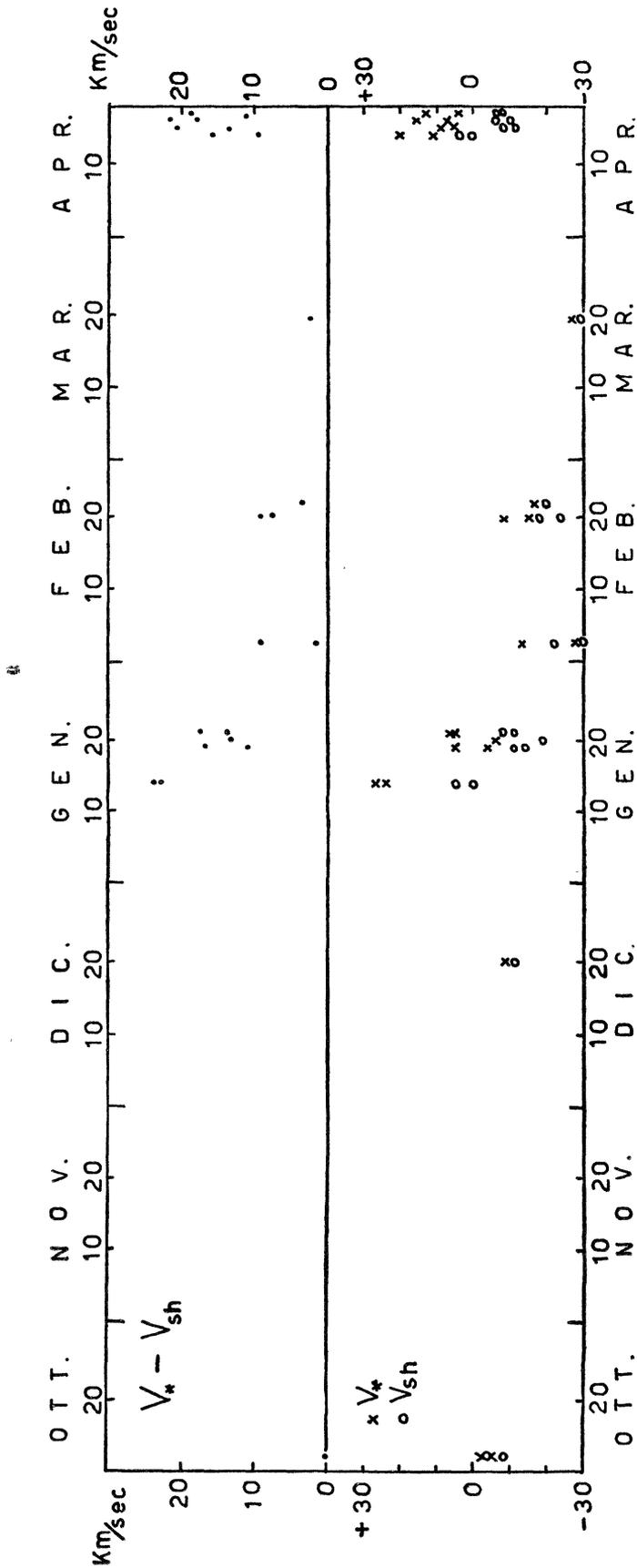


Fig. 3

di nubi, sia nello shell eclissante che nell'atmosfera estesa della componente principale, o anche nell'involuppo gassoso che circonda probabilmente tutto il sistema; queste nubi in moto radiale di allontanamento o di avvicinamento possono spostare il baricentro della riga stellare e shell verso il rosso o verso il violetto.

La rapida variazione delle velocità nel giro di pochi giorni è spiegabile se queste nubi sono intese come fenomeni analoghi alle protuberanze eruttive solari, ma su una scala enormemente più vasta.

Questa interpretazione è confermata anche da ricerche di Struve e Pillans<sup>(5)</sup> su spettrogrammi di M. Wilson dell'ottobre 1956. Essi mettono in evidenza che certe righe appaiono addirittura divise in tre componenti con velocità varianti fra  $+10$  e  $-53$  km/sec, e differenze notevoli di velocità si notano anche fra le righe dei differenti elementi.

Anche nell'aprile 1957 la velocità radiale stellare supera il valore medio, essendo circa eguale a  $+10$  km/sec.

La velocità radiale determinata per le righe cosiddette « shell », ha lo stesso andamento delle velocità date dalle righe « stellari ». Come abbiamo infatti detto le righe « shell » in realtà sono sempre un blend della riga stellare e della corrispondente shell. Quest'ultima pur essendo in questi casi particolarmente intensa, è al massimo di eguale intensità della riga stellare, come risulta dalle nostre osservazioni di M. Wilson. Di conseguenza anche le velocità radiali che noi misuriamo sono una media della velocità della stella e dello shell.

La differenza  $v_* - v_{\text{shell}}$  è piccola in ottobre e dicembre, cioè poco prima della fine e poco dopo la fine della totalità. A tali epoche infatti anche sugli spettrogrammi di gran dispersione non è ancora visibile un vero e proprio spettro shell, ma piuttosto un'asimmetria nel profilo delle righe stellari. La differenza raggiunge poi un massimo in gennaio, passa per un minimo in febbraio e marzo ed aumenta di nuovo in aprile.

Alle epoche in cui è possibile il confronto coi risultati di M. Wilson abbiamo: in gennaio  $v_* - v_{\text{shell}}$  è circa eguale a  $+40$  km/sec mentre dagli spettrogrammi di Merate risulta eguale a  $+18$  km/sec, in aprile è di circa  $+30$  km/sec mentre dai nostri spettrogrammi risulta di  $+16$ .

In conclusione le irregolarità osservate nelle velocità radiali stellari come pure la presenza di uno spettro shell sistematicamente spostato verso il rosso nella fase parziale prima della totalità e verso il violetto nella fase parziale dopo la totalità è spiegabile con la presenza di un'atmosfera estesa circondante  $\epsilon$  Aur e di uno shell ancora più esteso circondante la stella secondaria il cui tipo spettrale è probabilmente B. Lo shell della secondaria è responsabile dell'eclisse della primaria e dello spettro shell; quest'ultimo subisce un trascinarsi ad opera della principale che spiega il suo spostamento nel senso del moto orbitale di questa. Poichè è più probabile che questi shell siano costituiti da un'insieme di nubi distri-

buite più o meno irregolarmente <sup>(5)</sup>, con velocità radiali più o meno irregolari, sia pure in modo predominante dirette nel senso del moto orbitale, si può render conto degli scarti osservati nelle velocità radiali della stella.

#### BIBLIOGRAFIA

- (<sup>1</sup>) Hack, in corso di stampa.
- (<sup>2</sup>) Struve, P.A.S.P. **68**, 27, 1956.
- (<sup>3</sup>) Kuiper, Struve, Strömngren, Ap. J. **86**, 570, 1937.
- (<sup>4</sup>) Kopal, Observatory **74**, 14, 1954.
- (<sup>5</sup>) Struve e Pillans, P.A.S.P. **69**, 169, 1957.

