

LE VARIAZIONI SPETTRALI DI ζ TAURI DAL 1950 AL 1956

Nota di MARGHERITA HACK (*)

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

RIASSUNTO. — Si studiano le variazioni dello spettro shell e dello spettro stellare dal 1950 al 1956. Si trova che nel 1951 le righe stellari dell'He I presentano un minimo di intensità. Lo spettro shell, dopo l'aumento d'intensità subito nel 1950 resta costante fino al 1955; nel 1956 esso subisce una ulteriore forte intensificazione resa particolarmente evidente dallo spettro del Fe II, Si II, Ca II e Cr II.

Le precedenti osservazioni affermano che ogni intensificazione dello spettro shell è accompagnata da un rapporto $V/R > 1$ per le ali in emissione di $H\beta$. Le nostre osservazioni mostrano invece che mentre nel 1951, '54, '55 è $V/R > 1$, nel '56 si ha $R/V > 1$ e una emissione nell'ala rossa è visibile anche in $H\gamma$.

ABSTRACT. — The variations of the shell spectrum and the spectrum of the underlying star, in the period 1950-1956, are studied. He I stellar lines show a minimum of intensity in november 1951. The shell spectrum, after the strengthening occurred in 1950, is practically invariable until 1955; it shows another strengthening in 1956; this is specially visible in the spectra of Si II, Ca II, Cr II and Fe II.

Precedent observations assure that all the strengthenings of the shell spectrum are accompanied by a ratio $V/R > 1$ for the $H\beta$ emission wings. On the contrary our observations show: $V/R > 1$ in 1951, '54 and '55; $R/V > 1$ in 1956, and an emission is visible, too, in the red wing of $H\gamma$.

Allo scopo di seguire le variazioni dello spettro di ζ Tauri, si sono presi alcuni spettrogrammi di questa stella, nel febbraio 1955 e nel febbraio 1956, allo spettrografo Zeiss di Merate, nella combinazione camera media.

Nella Tabella I sono riportate date e condizioni di posa.

TABELLA I

Spettro	Data	Fenditura	Posa	Lastra
172	9.2.55	40 μ	8 ^m	Kodak 0a-0
178	10.2.55	»	15	»
179	10.2.55	»	5	»
265	27.1.56	»	30	»
266	21.2.56	»	20	»
267	21.2.56	»	30	»
268	28.2.56	»	10	»
269	28.2.56	»	6	»

(*) Ricevuta il 10 dicembre 1956.

E' noto che le principali caratteristiche dello spettro di ζ Tauri sono: l'aspetto estremamente largo e diffuso delle righe dell'He I, C II, N II, O II, Si III, che si formano nell'atmosfera vera e propria della stella, e che indica l'esistenza di una forte velocità di rotazione; l'abbondanza e l'intensità di righe metalliche, formatesi nello shell, il cui tipo spettrale è più avanzato di quello della stella sottostante; il profilo delle righe dell'idrogeno con larghe ali appiattite dalla rotazione, formatesi nell'atmosfera stellare, e il sottilissimo nucleo centrale, indice della bassissima densità dello shell; il profilo della 3965 dell'He, unica riga di questo elemento che appare nitida e sottile e quindi formata nello shell.

Lo scopo di questo lavoro è di studiare le variazioni spettrali dal '55 al '56 e confrontarle con i risultati di precedenti studi durante il periodo 1950-'54, ed inoltre di cercare di determinare il tipo spettrale della stella e quello dello shell, in base alle misure delle intensità totali delle righe spettrali.

DESCRIZIONE DELLO SPETTRO FORMATOSI NELL'ATMOSFERA STELLARE.

Nella tabella II sono riportate le righe identificate come appartenenti allo spettro stellare. Più che di righe si può parlare di deboli ed estese depressioni del continuo. Solo le righe più intense, e cioè le righe dell'elio, la 4481 del Mg II e la 3995 dell'N II presentano un contorno sufficientemente definito da poterne misurare l'intensità totale.

TABELLA II

Righe identificate	Righe identificate	Righe identificate
3956 N II	4119 O II }	4472 He I
3970 H γ	4121 He I '}	4481 Mg II
3995 N II	4144 He I	4713 He I
4009 He I	4149 O II	4861 H β
4026 He I	4238 N II	4922 He I
4042 N II	4340 H γ	
4102 H δ	4388 He I	

Note alla Tabella II: C II - la più intensa riga dello spettro del C II, la 4267 non si vede assolutamente. N II - è misurabile solo la 3995; una depressione del continuo a 4238 indica la presenza delle righe 4237 e 4242. O II - l'asimmetria dell'ala rossa della 4144 dell'He I indica la presenza delle righe 4146-4153. Si II - le righe del Si II appartengono allo spettro shell ma probabilmente è pure presente la parte dovuta allo spettro della stella, rappresentata da una unica depressione del continuo da 4128 a 4131. Si III - le righe del Si III a 4553 e a 4568 sono probabilmente nascoste dalla presenza di righe dello spettro shell.

Nella tabella III, oltre alle larghezze equivalenti misurate sugli spettrogrammi del '55 e '56, si riportano quelle relative agli anni 1950, '51 e '54 determinate dalla scrivente ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾ e tratte in parte dai risultati di Underhill ⁽⁴⁾.

Nella fig. 1 sono date le variazioni delle righe più intense dell'He I e della 4481 del Mg II dal 1950 al 1956 : in fig. 1a è riportata la variazione delle larghezze equivalenti della 4471, 4026, 4388, 4144 e 4009 separate-

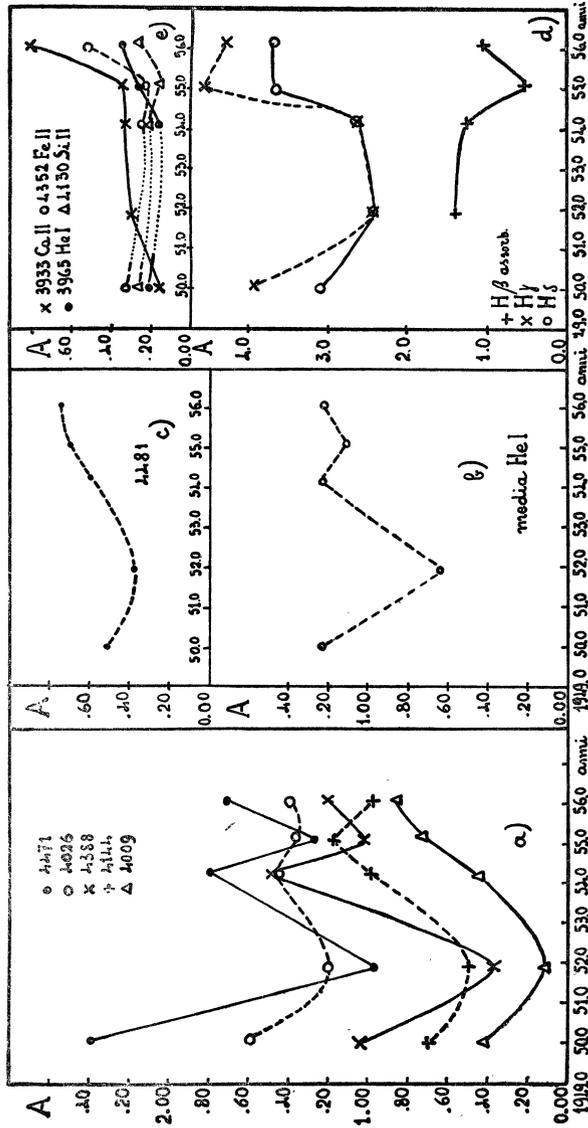


Fig. 1

mente, e in fig. 1b la variazione della media delle larghezze equivalenti di queste 5 righe. E' evidente che le cinque curve hanno tutte circa lo stesso andamento.

TABELLA III

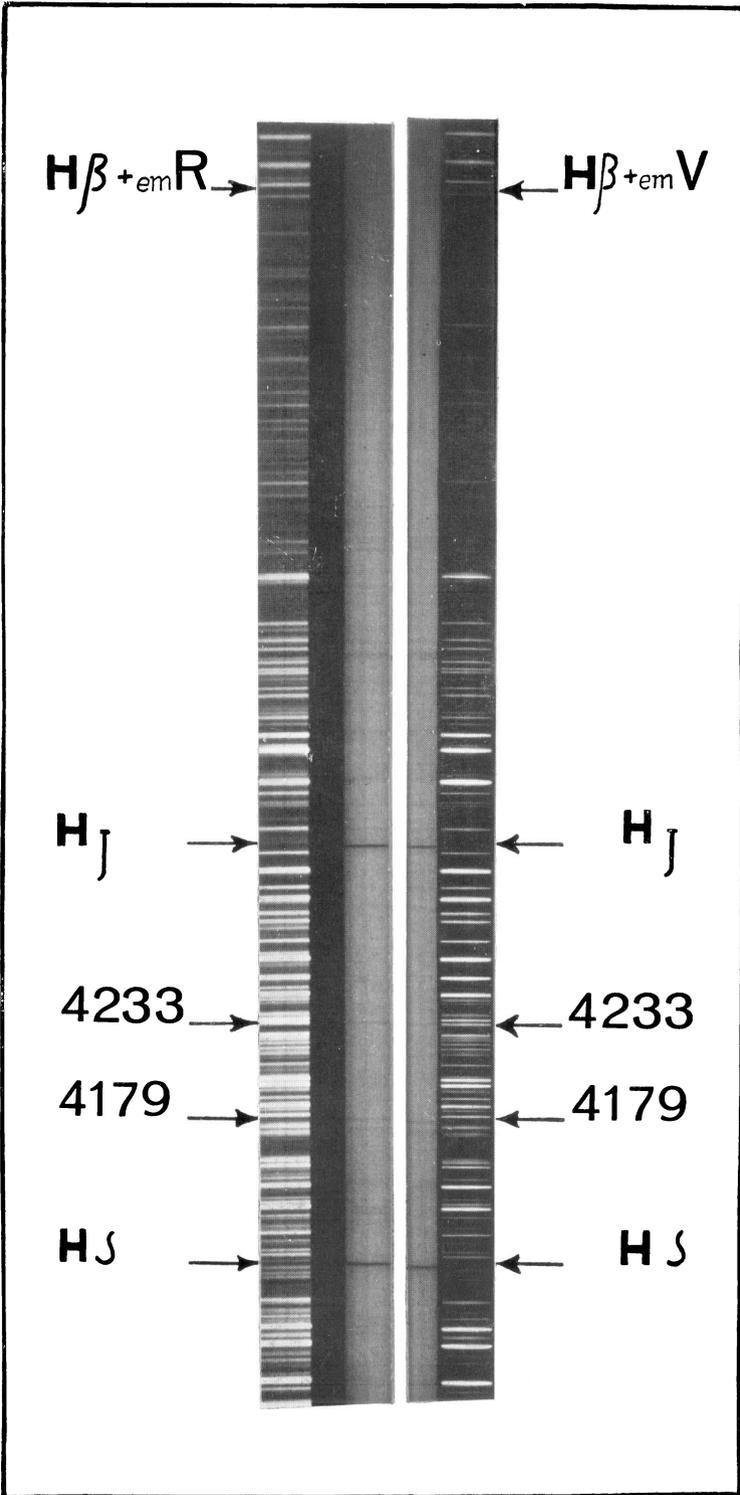
Riga	1/'50 (U)	2/'50 (H)	11/'51 (H)	3/'54 (H)	2/'55 (H)	2/'56 (H)
4922	—	—	—	0.80	0.73	0.84
4713	—	—	0.44	0.88	0.60	0.98
4472	2.44	2.30	0.97	1.80	1.27	1.70
4388	1.02	1.10	0.35	1.47	1.03	1.20
4144	0.86	0.50	0.47	0.99	1.17	0.96
4121	—	—	—	0.77	0.72	0.79
4026	1.40	1.75	1.21	1.45	1.37	1.40
4009	0.43	—	0.11	0.45	0.73	0.85
3819	—	—	—	0.60	1.01	1.35
3995	—	—	—	—	0.23	0.25
4481	—	0.50	0.38	0.58	0.69	0.75

E' notevole la forte diminuzione d'intensità dall'inizio del 1950 alla fine del 1951, soprattutto per la 4471.

La variazione d'intensità della 4481 (fig. 1 c) ha circa lo stesso andamento di quella dell'elio.

Va notato che, sebbene queste osservazioni siano state fatte con strumenti diversi, esse sono assai poco influenzate dal fattore strumentale. Lo dimostra l'ottimo accordo esistente fra le intensità del febbraio 1950, misurate su spettrogrammi presi dalla scrivente al prisma obiettivo con dispersione 70 A/mm, e da Underhill su spettrogrammi presi con spettrografo a fenditura e dispersione 11 A/mm. Le osservazioni del novembre 1951 sono state fatte con spettrografo senza fenditura e dispersione 40 A/mm. Poichè la mancanza di fenditura, diminuendo il potere risolutivo dello spettrografo ha l'effetto di aumentare il numero dei blends, e questo specialmente nel caso di righe larghe e diffuse, ci si dovrebbe aspettare caso mai, un aumento strumentale delle intensità totali; a maggior ragione si può quindi ritenere reale la diminuzione osservata. Le osservazioni del '54, '55, '56 sono state tutte eseguite con spettrografi a fenditura e dispersione 40 A/mm e 10 A/mm nel '54 e 35 A/mm nel '55 e '56.

Queste variazioni sono un indice delle variazioni delle condizioni fisiche dell'atmosfera stellare. Le ricerche su questa stella sembrano provare che queste variazioni sono del tutto irregolari, ma poichè le osservazioni sono disposte a intervalli molto lunghi di tempo, sarà interessante vedere, con un numero di osservazioni riportate su un periodo di tempo più lungo, e più fittamente disposte, se esiste una qualche periodicità. Resta comunque escluso che questa abbia qualche relazione col periodo di 133 giorni della curva di velocità radiale.



LO SPETTRO DELL'IDROGENO.

Nella tabella IV sono riportate le intensità totali di $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$, le profondità centrali, e il numero di righe di Balmer visibili. L'intensità totale si riferisce all'area complessivamente abbracciata dalla riga e cioè dal nucleo dello shell e dalle ali stellari. Nella fig. 2 sono dati i profili di

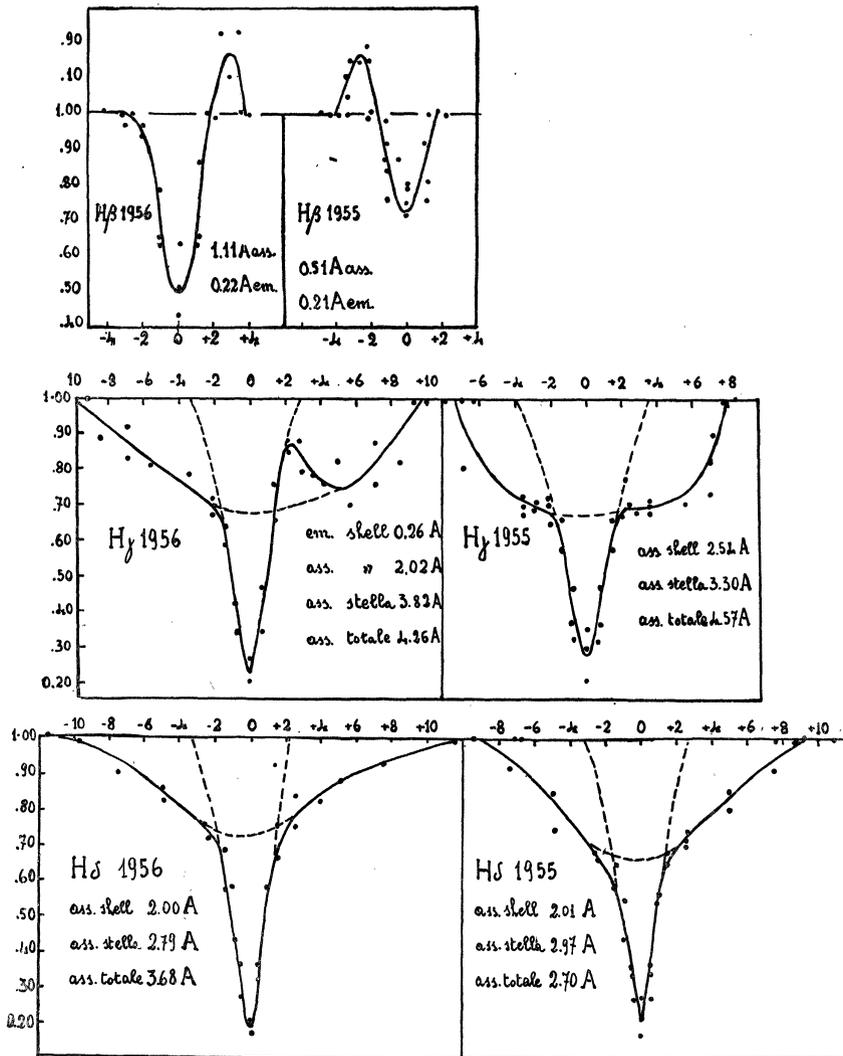


Fig. 2

queste tre righe; si è cercato di stimare il contributo alla larghezza equivalente portato dall'atmosfera stellare e dallo shell continuando, con una linea tratteggiata, i profili del nucleo e delle ali. Si noti la forma caratteristica delle ali, dovuta alla forte velocità di rotazione, che secondo determinazioni di Slettebak è dell'ordine di 300 km/sec.

H β è completamente priva di ali, che sono evidentemente riempite da componenti in emissione. Ben visibile è l'emissione nell'ala violetta nel 1955 e nell'ala rossa nel 1956. L'intensità totale della componente in emissione resta costante dal 1955 al '56. Confrontando poi con l'emissione del '54 si trova che allora era visibile una componente nel rosso ed una nel violetto, che, sommate insieme, hanno la stessa intensità osservata negli anni successivi. Anche nel profilo di H γ del 1956 è chiaramente visibile una componente in emissione nell'ala rossa.

TABELLA IV

Riga	1/'50	2/'50	11/'51	3/'54	2/'55	2/'56
H β ass	—	—	1.39	1.25	0.51	1.11
H β emR	—	—	—	0.06	—	0.22
H β emV	—	—	—	0.14	0.21	—
H γ	3.9	3.9	2.39	2.65	4.57	4.26
H δ	3.1	3.1	2.43	2.65	3.70	3.68
Re	0.65	—	0.65	0.87	0.77	0.84
n	30	—	26	33	25	34

La curva della fig. 1 d, che dà le variazioni di H γ e H δ dal '50 al '56 mostra una certa affinità con l'analoga relativa alle righe dell'elio, ma mentre nel '54 le righe dell'elio sono circa di eguale intensità che nel '55 e nel '56, le righe dell'idrogeno restano più lungamente stazionarie al minimo di intensità, riscontrato anche per l'elio nel novembre '51.

H β , soggetta alle variazioni della componente in emissione, si comporta diversamente. La debole intensità riscontrata nel '55 è molto probabilmente dovuta ad emissione che riempie il nucleo centrale.

E' interessante anche vedere le variazioni della profondità centrale. In una precedente nota ⁽³⁾ relativa allo spettro del '54 è stata già discussa la possibile influenza dell'effetto strumentale, e si è concluso che essa non è grande. Poichè gli spettri del '55 e '56 sono stati presi in condizioni simili a quelle impiegate nel '54, ammetteremo quindi in ogni caso, piccola l'influenza dei diversi strumenti.

E' notevole l'aumento di profondità dagli anni '50, '51 agli anni '54-'56, in cui essa è rimasta praticamente costante, passando dal valore 0,65 proprio delle stelle di tipo B5-B8 circa, a valori propri delle stelle A5 circa.

Il numero di righe visibili della serie di Balmer è più influenzato dal potere risolutivo dello strumento e dall'esposizione stessa degli spettri, comunque sembra sicuro l'aumento di righe visibili dal '55 al '56, indice di una diminuita pressione elettronica.

TABELLA V

riga	A ('55)	A ('56)	riga	A ('55)	A ('56)
	He I			Cr II	
3964.73	0.25	0.33	3865.59	0.06	0.09
	Si II		3905.64	0.07	0.13
3853.63	0.05	0.10	4558.66	0.12	0.31
3856.02	0.15	0.25	4588.22	0.19	0.21
3862.59	0.08	0.18	4592.09	0.12	0.17
4128.05	0.14	0.23	4516.64	—	0.17
4130.88	0.14	0.25	4618.83	0.15	0.18
	Ca II			Fe I	
3933.66	0.36	0.79	4005.25	0.07	0.22
	Sc II		4045.81	0.13	0.08
4246.82	0.06	0.10	4063.60	0.08	0.10
4320.75	0.26	0.12	4071.74	0.13	0.09
4325.01	0.08	blend	4132.36	0.08	0.06
	Ti II		4202.03	0.11	0.12
3741.62	0.12	0.13	4222.21	0.08	0.12
3757.68	0.17	0.14	4325.76	0.15	0.18
3759.29	0.22	0.19		Fe II	
3761.32	0.22	0.19	4178.45	0.27	0.35
3900.55	0.11	0.08	4178.86	0.21	0.32
3913.46	0.13	0.16	4233.16	0.24	0.44
4163.64	0.14	0.10	4258.15	0.11	0.10
4171.90	0.11	—	4296.59	0.03	—
4290.22	0.15	—	4308.18	0.11	0.31
4294 bl Sc II e Fe I	0.11	0.55	4351.76	0.23	0.52
4300.05	0.13	0.18	4385.33	0.24	0.28
4301.92	0.09	0.25	4416.81 blend	0.45	0.92
4307.90	0.14	—	4549.47 blend	0.24	0.63
4312.86	0.22	0.18	4555.89	0.32	0.39
4314.98	0.22	—	4583.83	0.15	0.52
4395.03	0.12	0.13	4629.34	0.19	0.44
4399.76	0.17	0.08		Ni II	
4427.71 bl Fe II	0.45	0.92	4067.05	0.09	0.28
4443.80	0.26	0.27		Sr II	
4450.49	—	0.20	4077.71	—	0.07
4501.27	0.16	0.17			
4533.97	0.24	0.25			
4549.62 bl Fe II	0.24	0.63			
4573.76	0.16	0.22			
4571.97	0.22	—			

LO SPETTRO SHELL.

Nella tabella V sono date le larghezze equivalenti delle più intense righe dello spettro shell. Il confronto dei dati relativi al 1955 e al 1956 indica un notevole aumento di intensità della maggior parte delle righe. Oltre che confrontare direttamente le singole righe, allo scopo di avere un indice più sicuro della variazione globale di intensità dello spettro di un dato elemento, nella tabella VI si riportano i valori medi delle larghezze equivalenti di tutte le righe misurate, elemento per elemento. Mentre gli spettri del Fe I e Ti II sono rimasti praticamente costanti, Fe II, Cr II, Si II, e Ca II, per cui le misure sono particolarmente buone, indicano un sicuro aumento d'intensità. In particolare questo aumento viene esaltato nei blends composti di due o tre intense righe metalliche, e precisamente il blend a 4294 dello Sc II, Ti II e Fe I che passa da un'intensità totale 0.11 A, nel '55, a ben 0.55 A nel '56: il blend a 4417 del Fe II, Ti II e Sc II passa da 0.45 A a 0.92 A, e il blend a 4549 del Fe II e Ti II va da 0.24 a 0.63 A.

Nella fig. 1e sono date le variazioni di alcune delle principali righe metalliche e della 3965 dell'He I, caratteristica dello spettro shell. Questa figura mostra che lo spettro shell è rimasto circa costante dal '50 al '55 (mancano però tutti i dati relativi al novembre '51, ad eccezione che per la K del Ca II); esso subisce un notevole aumento d'intensità nel '56. Notiamo che già nel '50 si era riscontrato un forte aumento d'intensità dello spettro shell, rispetto agli anni precedenti. Questo del '56 rappresenta quindi un ulteriore aumento di intensità, spiegabile, piuttosto che con un aumento di pressione dello shell, che a giudicare dal numero di righe di Balmer visibili sembra invece in diminuzione, con una diminuzione della temperatura e con uno spostamento del tipo spettrale dello shell da B8 ad A1, come vedremo in seguito.

La mancanza di punti in corrispondenza del novembre 1951 rende difficile stabilire se queste curve hanno all'incirca lo stesso andamento

TABELLA VI

Elemento	Numero righe impiegate	Larghezza equivalente media		$\bar{A} 1956/\bar{A} 1955$
		$\bar{A} 1955$	$\bar{A} 1956$	
He I	1	0.25	0.33	1.3
Si II	5	0.11	0.20	1.8
Ca II	1	0.36	0.79	2.2
Sc II	3 (55) 2 (56)	0.13	0.11	0.8
Ti II	20 15	0.16	0.17	1.05
Cr II	6 7	0.12	0.18	1.5
Fe I	8	0.10	0.12	1.2
Fe II	13 12	0.22	0.43	1.95
Ni II	1	0.09	0.28	3.1

di quelle relative allo spettro dell'elio e dell'idrogeno, perchè per ambedue il '51 rappresentava proprio un punto di minimo; però l'andamento della variazione della K mostra che esso è diverso da quello per H e He.

IL TIPO SPETTRALE DI ζ TAURI.

In base alle intensità delle righe dell'elio e dell'idrogeno (per la parte dovuta all'atmosfera stellare) si stima il tipo spettrale e la classe di luminosità della stella sottostante allo shell; precisamente si impiegano delle curve intensità-tipo spettrale, parametro la classe di luminosità ⁽⁵⁾ ottenute servendosi dei dati di Williams ⁽⁶⁾ e in esse si entra con i nostri valori. Ecco i risultati:

TABELLA VII

Criterio	Spettro e classe di luminosità	
	1955	1956
H γ , H δ 4026, 4471	B1 IV-V B2 IV-V	B1 IV-V B3 IV-V

Se ne conclude che il tipo spettrale più probabile per la stella è B2 e che essa appartiene alla sequenza principale. A simili conclusioni era arrivata anche Underhill ⁽⁴⁾, mentre tutti i precedenti lavori tendevano ad attribuire a ζ Tauri un tipo un po' più avanzato, B3 o B5.

Analogamente si cerca di stimare il tipo spettrale per lo shell. Le intensità totali di H γ , H δ relative al solo shell, indicano un tipo spettrale più avanzato di B6 e classe di luminosità Ia. Le intensità delle righe del Si II, Ca II, Ti II, Cr II e Fe II, confrontate anche con quelle di α Cygni ⁽⁷⁾ e α Lyrae ⁽⁸⁾ indicano che dal 1955 al 1956 il tipo spettrale si è spostato da B8 o B9 Ia ad A0 o A1 Ia.

VELOCITA' DI ROTAZIONE.

Una stima della velocità di rotazione può farsi determinando la larghezza delle ali delle righe non blend, e abbastanza deboli da poter ammettere che la loro larghezza in assenza di rotazione è dovuta soltanto al profilo strumentale. Data la forte velocità di rotazione, le righe sono tutte molto più larghe della larghezza strumentale e quindi il metodo, seppure grossolano, può dare risultati attendibili.

Per la stima della velocità di rotazione dello shell si impiegano le righe più intense del Fe II, Ti II, Si II e la K del Ca II. Si ottiene che la velocità di rotazione dello shell è dell'ordine di 100 km/sec. Per la stima della velocità di rotazione della stella si possono impiegare soltanto la

4481 del Mg II e la 3995 dell'N II, perchè le righe dell'elio sono allargate anche per effetto Stark, e le altre righe sono tutte troppo deboli, e difficilmente può dirsi dove esattamente termini la depressione del continuo. Si trova per la velocità di rotazione un valore dell'ordine di 200 km/sec.

Mentre il valore della velocità di rotazione dello shell è paragonabile a quello di 150 km/sec, trovato da Underhill nel 1950, impiegando lo stesso metodo e le stesse righe, per la velocità di rotazione della stella il disaccordo è forte. Underhill dalle due stesse righe del Mg II e dell'N II trova infatti una velocità dell'ordine di 350 km/sec. Malgrado che il metodo impiegato sia, come abbiamo detto, molto grossolano, è probabile che questa variazione sia, almeno in parte, reale.

CONCLUSIONE.

Sappiamo che la curva di velocità radiale di ζ Tauri indica che essa è una stella binaria con periodo 133^d e compagno invisibile. Le variazioni spettrali di ζ Tauri sono però, come abbiamo detto, del tutto indipendenti da questo periodo, e probabilmente del tutto irregolari. Anche le emissioni nelle ali di H β , che sono a volte nel lato rosso, a volte nel violetto, a volte da ambedue i lati, sembra che siano del tutto indipendenti dal periodo di 133^d. Le osservazioni fin'ora eseguite (⁹) riportano che V/R (indicando con V/R il rapporto delle intensità dell'ala violetta e dell'ala rossa) è quasi sempre eguale ad 1, e solo quando lo spettro shell appare particolarmente intenso questo rapporto diventa notevolmente maggiore di 1. Ora le nostre osservazioni in parte confermano ed in parte contraddicono questa affermazione: nel '51, '54 e '55, epoche in cui lo spettro shell è rimasto praticamente costante dopo l'aumento di intensità subito nel '50, si aveva: V/R > 1 nel '51, V/R = 2.3 nel '54, e V/R \gg 1 nel '55, in cui l'ala rossa non è visibile. Ma nel '56, epoca in cui lo spettro shell è molto più intenso che negli anni precedenti, risulta R/V \gg 1, l'ala violetta è invisibile, ed anche H γ presenta una notevole componente in emissione nell'ala rossa. Queste variazioni si possono pensare dovute ad espansioni e contrazioni dello shell. Ogni intensificazione dello spettro shell potrebbe accompagnarsi ad una espansione o ad una contrazione con la conseguente asimmetria delle ali e quindi V/R \neq 1, mentre quando lo shell è stazionario e quindi le ali sono simmetriche anche lo spettro shell risulterebbe meno intenso. Ripetiamo che resta di particolare interesse che le intensificazioni dello spettro shell fino ad ora osservate erano state accompagnate da un rapporto V/R > 1, e quindi da una contrazione dello shell. Per la prima volta quindi si osserva il caso inverso.

Come si vede, il problema di ζ Tauri presenta ancora molte incognite e si ritiene necessario osservare questa stella con continuità, per un lungo periodo di tempo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Hack - Mem. S.A.I., **22**, 105, 1951.
- 2) Hack - Mem. S.A.I., **25**, 281, 1954.
- 3) Hack - Mem. S.A.I., **26**, 41, 1955.
- 4) Underhill - Publ. Victoria, **9**, 139 e 219, 1952.
- 5) Casati e Hack - Mem. S.A.I., **27**, 307, 1956.
- 6) Williams - Ap. J., **83**, 279 e 305, 1936.
- 7) Chadeau - Ann. Astroph., **18**, 100, 1955.
- 8) Hunger, Z. f. Ap., **36**, 42, 1955.
- 9) Hynek e Struve - Ap. J., **96**, 425, 1942.

