

RICERCHE SULLE STELLE A RIGHE METALLICHE: ζ LYRAE A E CONFRONTO CON LE STELLE NORMALI δ CASSIOPEIAE, β CASSIOPEIAE E 41 CYGNI

Nota di MARGHERITA HACK (*)

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

RIASSUNTO. — Con lo spettrografo a fenditura (dispersione 35 A/mm ad H_γ) applicato al riflettore da 1 m dell'Osservatorio di Merate, si prosegue il programma di ricerche sulle stelle a righe metalliche. Si danno i risultati dello studio della stella a righe metalliche ζ Lyr A e delle stelle normali, studiate per confronto, δ Cas, 41 Cyg e β Cas. Dalle curve di crescita si determina la velocità di turbolenza, la costante di smorzamento, la temperatura d'eccitazione, e le abbondanze degli elementi rispetto al Sole. Dallo studio delle ali delle righe dell'idrogeno si stima il valore della gravità superficiale e della temperatura relativa agli strati in cui le ali si formano. I presenti risultati confermano quelli delle precedenti ricerche; lo spettro delle righe metalliche indica per ζ Lyr A caratteri di stella supergigante, in tutto simili a quelli della supergigante 41 Cyg: e cioè alta turbolenza, bassa costante di smorzamento, opacità e pressione elettronica 8 volte minori delle analoghe quantità per il Sole. D'altra parte le ali delle righe di Balmer indicano per la gravità: $\log g = 4$ e quindi carattere di stella nana in accordo col valore della luminosità dedotto dalla parallasse trigonometrica.

La concentrazione di atomi di idrogeno appare 4 volte maggiore che nel Sole, mentre per le stelle normali è eguale a quella solare, entro l'ordine degli errori. Poiché questo risultato si trova per tutte le stelle a righe metalliche finora studiate, si pensa che l'ipotesi che stelle e Sole seguano lo stesso modello, che è alla base del metodo di determinazione, non sia vera per le stelle a righe metalliche.

Si mette in evidenza che per tutte le stelle a righe metalliche studiate si riscontra una deficienza nelle concentrazioni di Ca, Ti, Sc, Zr, rispetto al Sole.

ABSTRACT. — The program of research initiated with the reflector of 1 m of the Merate Observatory and the one prism slit spectrograph Zeiss (35 A/mm at H_γ) in order to investigate the atmospheres of the metallic lines stars is continued with the study of the metallic lines star ζ Lyrae A and the normal stars δ Cas (A5V), β Cas (F2 III) and 41 Cyg (F5II). The curves of growth given the values of turbulence, damping constant, abundances of the elements, relative to the Sun, opacity and excitation temperature.

The contours of the hydrogen lines are compared with the theoretical contours calculated by Verweij, and a value for $\log g$ and the temperature relative to the layers concerned is determined.

These results confirm those of the foregoing researches: namely the metallic lines spectrum of ζ Lyr A presents characteristics of a supergiant star, very similar to those of 41 Cyg: the turbulence is considerable, the damping constant, the electron pressure and the opacity are low. But the wings of the hydrogen lines given $\log g = 4$ according with the luminosity of the star deduced by the trigonometric parallaxe.

The concentration of the H atoms is found 4 times greater than for the Sun. For the other normal stars the concentration is equal to that of the Sun. Since this results is found for all

(*) Pervenuta il 20 agosto 1955.

the metallic lines stars which we have studied, it is probable that the assumption that star and Sun follow the same model, on which the method of determination is based, is not verified for the metallic lines stars.

It is put in evidency that also for this metallic lines star, ζ Lyr A, a deficiency for Ca, Ti, Sc, Zr relative to the Sun, is found.

Proseguendo il programma di ricerche sulle stelle a righe metalliche, iniziato allo spettrografo Zeiss applicato al riflettore di 1 m dell'Osservatorio di Merate ⁽¹⁾, ⁽²⁾ si danno qui i risultati delle osservazioni della stella a righe metalliche ζ Lyrae A e delle stelle normali studiate per confronto, β Cassiopeiae, 41 Cygni, ambedue di tipo F, e δ Cassiopeiae, di tipo A. ζ Lyr è una doppia visuale, la cui componente più brillante, ζ Lyr A, è una doppia spettroscopica con spettro a righe singole. Essa è inclusa nella lista di stelle a righe metalliche data da Slettebak ⁽³⁾ ed è classificata di tipo A4 dall'intensità della K del Ca II, di tipo A7 dall'intensità delle righe dell'idrogeno e di tipo F0 dalle righe metalliche.

41 Cyg e β Cas sono rispettivamente una supergigante e una gigante di tipo F classificate da Morgan come F5II e F2III. Per queste tre stelle è stato possibile determinare la curva di crescita, mentre la quarta stella, δ Cas, di tipo A5V presenta poche righe misurabili ed inoltre tutte allargate per velocità di rotazione, che è stata recentemente determinata da Slettebak ⁽⁴⁾ pari a 120 km/sec. Lo studio di questa stella si è dovuto perciò limitare alla sola determinazione dei profili e delle larghezze equivalenti delle righe dell'H e del Ca II, che sono state confrontate con quelle relative alla stella a righe metalliche.

In tabella I sono riportati i dati relativi alle stelle studiate, le parallassi date dal catalogo di Schlesinger ⁽⁵⁾ e le grandezze assolute.

In tabella II si danno le modalità di presa degli spettrogrammi.

TABELLA I

stella	m	parallasse	M
ζ Lyr A	4.3	0."025	1.3
δ Cas	2.9	0."029	0.2
β Cas	2.4	0."072	1.7
41 Cyg	4.1	0."007	-1.7

Gli spettrogrammi sono stati allargati correggendo il moto orario; l'altezza è stata al solito tenuta di 0.4 mm. La calibrazione è stata eseguita, come già descritto nelle precedenti note ⁽¹⁾ e ⁽²⁾, illuminando la fenditura dello spettrografo con una lampada da 4 V alimentata attraverso uno stabilizzatore di corrente, e facendo variare la larghezza della

fenditura da 40 a 160 micron. Per il tracciamento del continuo e l'identificazione delle righe spettrali si è seguito il solito procedimento descritto in (1).

TABELLA II

Stella	Numero		data	tempo di posa	tipo lastra	fend.
	lastra	spettrogr.				
ζ Lyr A	H 27	91	7/9/54	30m	Ferrania Blù	40 μ
»	H 28	95	8/9/54	20m	»	»
»	»	96	»	40	»	»
»	H 32	104	17/9/54	20	»	»
»	»	105	»	40	»	»
»	H 33	109	18/9/54	20	»	»
»	»	110	»	20	»	»
»	»	111	»	40	»	»
β Cas	H 47	142	5/11/54	5	»	»
»	»	143	»	10	»	»
»	H 48	146	6/11/54	5	»	»
»	»	147	»	10	»	»
41 Cyg	H 52	159	15/11/54	30	»	»
»	H 53	161	16/11/54	30	»	»
»	»	162	»	30	»	»
ϵ Cas	H 54	164	4/12/54	10	»	»
»	»	166	6/12/54	20	»	»
»	»	167	»	10	»	»

Per la misura delle larghezze equivalenti tutte le righe, ad eccezione naturalmente di quelle dell'H e del Ca II, sono state considerate come dei triangoli; è stato già spiegato in (1) la ragione per cui questo procedimento offre maggiori garanzie che una determinazione accurata dei profili, la quale richiederebbe sempre incerte estrapolazioni. La relazione fra la larghezza della riga misurata ad un assorbimento pari al 50% di quello massimo e la profondità centrale R_c è stata determinata scegliendo su ciascun spettro tutte le righe non disturbate.

LE CURVE DI CRESCENZA E I RISULTATI CHE SE NE TRAGGONO.

In tabella III sono riportate le righe impiegate nella costruzione della curva di crescita, i $\log Nf$ solari (6), le profondità centrali, le larghezze equivalenti A , e i $\log A/\lambda$.

TABELLA III (*)

Mg I

λ	Multi-pletto	log Nf	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4702.99	11	4.22	4.33	0.23	0.41	4.06	0.22	0.33	4.15	—	—	—
4167.28	15	4.22	4.33	0.27	0.29	4.15	0.27	0.24	4.24	0.36	0.43	3.99

Mg II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4481.33	4	1.22	8.33	0.47	0.66	3.83	0.43	0.60	3.87	0.51	0.71	3.80
4481.13		1.42										

Si II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4130.88 b	3	—	9.80	0.37	0.37	4.05	—	—	—	0.37	0.37	4.05

Ca I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4226.73 b	2	5.30	0.00	0.29	0.47	3.95	0.48	0.57	3.86	0.64	0.77	3.73
4454.73 b	4	3.92	1.88	0.37	0.52	3.93	0.35	0.49	3.91	0.44	0.62	3.81
4434.96 b	4	3.53	1.88	—	—	—	—	—	—	0.37	0.52	3.92
4425.44	4	3.35	1.88	0.21	0.26	4.22	0.22	0.23	4.28	0.26	0.27	4.21
4435.69	4	3.02	1.88	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(*) Il simbolo *b* a fianco della lunghezza d'onda significa « blend ».

Ca II

λ	Multi-pletto	log. Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
3.933.66	1	4.05	0.00	—	—	3.01	—	—	2.74	—	—	2.56

Sc II

λ	Multi-pletto	log. Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4246.83 b	7	(3.20)	0.31	0.32	0.38	4.05	0.37	0.44	3.99	0.49	0.59	3.85
4374.45 b	14	2.75	0.60	0.32	0.45	3.99	0.40	0.56	3.89	0.56	0.78	3.75
4415.56 b	14	2.75	0.60	0.34	0.48	3.96	0.37	0.52	3.92	0.52	0.73	3.77
4384.81 b	14	1.03	0.60	0.39	0.55	3.90	0.40	0.56	3.89	0.58	0.81	3.73
4354.61	14	1.52	0.60	—	—	—	—	—	—	0.26	0.27	4.20
4314.08 b	15	2.88	0.60	0.39	0.55	3.89	0.40	0.56	3.89	0.61	0.86	3.71
4320.75 b	15	—	0.60	0.22	0.27	4.20	0.29	0.30	4.15	0.44	0.62	3.84
4325.01 b	15	3.03	0.60	0.35	0.49	3.94	0.38	0.53	3.91	0.58	0.82	3.73
4279.93	15	[1.70]	0.60	0.11	0.10	4.63	0.18	0.11	4.60	0.22	0.20	4.33

Ti I

λ	Multi-pletto	log. Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
3998.63 b	12	—	0.05	0.31	0.28	4.15	—	—	—	0.44	0.44	3.96
4008.93	12	(2.20)	0.02	0.20	0.18	4.35	0.16	0.12	4.53	0.32	0.32	4.10
3958.21	13	—	0.05	0.30	0.22	4.26	0.16	0.08	4.72	0.38	0.31	4.10
4512.73	42	2.04	0.83	0.13	0.15	4.47	—	—	—	—	—	—

Ti II

λ	Multi-pletto	log. Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4395.03	19	3.31	1.08	0.35	0.49	3.95	0.38	0.53	3.91	0.52	0.73	3.77
4443.80	19	3.13	1.08	0.42	0.59	3.87	0.38	0.53	3.92	0.55	0.77	3.75
4294.10 b	20	—	1.08	0.30	0.32	4.13	0.26	0.23	4.28	0.43	0.52	3.91
4337.92	20	—	1.10	0.14	0.14	4.49	—	—	—	0.49	0.68	3.80

segue Ti II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\gamma}$
4344.29	20	—	1.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4287.89	20	2.15	1.10	0.23	0.25	4.23	0.24	0.22	4.29	0.44	0.53	3.91
4501.27	31	3.20	1.13	0.27	0.38	4.07	0.32	0.51	3.94	0.31	0.49	3.96
3913.46	34	—	1.11	0.41	0.33	4.08	—	—	—	0.60	0.48	3.92
4417.72	40	(2.65)	1.16	0.33	0.46	3.93	—	—	—	0.41	0.58	3.87
4300.05	41	—	1.18	0.42	0.58	3.87	0.44	0.53	3.90	0.53	0.64	3.83
4312.86	41	3.01	1.18	0.23	0.29	4.16	0.32	0.45	3.98	—	—	—
4563.76	50	3.09	1.22	0.26	0.38	4.08	0.22	0.22	4.32	0.39	0.62	3.86
4544.02	60	(1.07)	1.24	—	—	—	0.18	0.14	4.51	—	—	—
4571.97	82	3.28	1.56	0.29	0.42	4.03	0.23	0.27	4.22	0.28	0.34	4.12
4028.33 b	87	—	1.88	0.28	0.25	4.20	0.22	0.15	4.42	0.41	0.41	3.99
4805.10	92	2.16	2.05	0.18	0.27	4.25	—	—	—	—	—	—
4799.99 b	92	1.94	2.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4330.26	94	1.32	2.04	0.15	0.16	4.43	0.25	0.26	4.22	0.37	0.52	3.91
4163.64	105	(2.60)	2.58	0.26	0.28	4.17	0.22	0.20	4.32	0.37	0.44	3.99
4411.08	115	[1.54]	3.08	0.22	0.27	4.21	—	—	—	0.28	0.29	4.17

V. II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4183.43 b	37	1.45	2.04	0.33	0.40	4.02	0.28 b	0.25	4.22	0.45	0.54	3.90

Cr I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4274.80	1	(3.95)	0.00	2.25	0.27	4.20	0.30	0.30	4.15	0.41	0.49	3.94
4254.35	1	4.14	0.00	0.28	0.30	4.15	0.26	0.23	4.27	0.35	0.42	4.01
4344.51	22	—	1.00	—	—	—	—	—	—	0.30	0.39	4.04
4500.29 b	150	—	3.07	0.23	0.33	4.13	—	—	—	0.34	0.55	3.91
4039.10	251	—	3.83	0.13	0.10	4.60	—	—	—	0.14	0.07	4.78
4165.52	305	—	4.43	0.18	0.16	4.42	0.16	1.10	4.62	0.20	0.12	4.55

Cr II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4113.24	18	—	3.09	0.19	0.14	4.47	—	—	—	0.34	0.34	4.08
4051.97	19	—	3.09	0.26	0.23	4.25	—	—	—	0.39	0.39	4.02
4179.43 b	26	(2.20)	3.81	0.43	0.52	3.90	0.33	0.40	4.02	0.55	0.66	3.80
4812.36	30	1.10	3.85	0.17	0.25	4.28	—	—	—	—	—	—
4848.24	30	—	3.85	—	—	—	0.13	0.13	4.57	—	—	—
4864.32	30	—	3.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4876.41	30	—	3.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4242.38 b	31	—	3.85	0.27	0.29	4.16	—	—	—	0.37	0.44	3.98
4252.63	31	(0.98)	3.84	0.20	0.20	4.32	—	—	—	0.26	0.23	4.26
4261.92	31	(1.60)	3.85	0.23	0.25	4.23	—	—	—	0.25	0.22	4.29
4269.28	31	(1.07)	3.84	0.20	0.18	4.37	0.23	0.18	4.37	0.31	0.37	4.06
4284.21	31	—	3.84	0.18	0.16	4.43	—	—	—	0.27	0.24	4.24
4558.66	44	2.17	4.06	0.25	0.36	4.10	0.18	0.14	4.50	0.22	0.22	4.31
4145.77	162	—	5.30	0.22	0.20	4.32	0.14	0.07	4.80	0.30	0.30	4.14
4038.03	194	—	6.46	0.18	0.13	4.50	0.19	0.10	4.60	0.08	0.04	5.00

Mn I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4030.75	2	—	0.00	0.46	0.46	3.94	0.40	0.40	4.00	0.66	0.66	3.78
4033.07 b	2	—	0.00	—	—	—	—	—	—	0.57	0.57	3.84
4034.49	2	—	0.00	0.28	0.25	4.20	0.22	0.16	4.40	0.42	0.42	3.98
4035.73	5	—	2.13	0.25	0.22	4.26	0.21	0.16	4.40	0.44	0.44	3.96
4041.36	5	3.30	2.11	0.28	0.25	4.20	—	—	—	0.41	0.41	3.99
4235.29	23	2.11	2.88	—	—	—	0.26	0.19	4.35	—	—	—
4235.14	23		2.91	—	—	—				—	—	

Fe I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4427.31	2	3.47	0.05	0.22	0.27	4.21	0.19	0.13	4.53	0.33	0.46	3.97
3920.26	4	[4.05]	0.12	0.38	0.31	4.09	—	—	—	0.51	0.41	3.98
3922.91	4	[4.45]	0.05	0.38	0.31	4.09	—	—	—	0.52	0.42	3.97
3927.92	4	—	0.11	0.37	0.30	4.11	0.24	0.14	4.44	0.43	0.34	4.06
3930.30	4	[4.55]	0.09	0.41	0.33	4.07	—	—	—	—	—	—
4177.60 b	18	—	0.91	0.44	0.53	3.89	0.35	0.42	4.00	0.56	0.67	3.79
4152.17	18	(2.75)	0.95	0.36	0.28	4.17	0.22	0.20	4.32	0.33	0.40	4.02

segue Fe I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4172.75 b	19	(2.70)	0.95	0.60	0.90	3.67	0.45	0.54	3.88	0.59	0.71	3.77
4383.55	41	5.21	1.48	0.46	0.64	3.84	0.38	0.53	4.05	—	—	—
4404.75	41	4.90	1.55	0.32	0.45	3.99	0.26	0.27	4.21	0.36	0.50	3.94
4415.12 b	41	4.35	1.60	0.34	0.48	3.96	0.37	0.52	3.93	0.52	0.73	3.77
4294.13	41	—	1.48	0.30	0.33	4.11	0.26	0.23	4.27	0.43	0.52	3.91
4271.76	42	4.86	1.48	—	—	—	0.40	0.48	3.95	0.50	0.60	3.85
4325.76 b	42	4.81	1.60	0.35	0.49	3.94	0.38	0.53	3.90	0.58	0.81	3.72
4202.03	42	—	1.48	0.39	0.47	3.95	0.30	0.36	4.07	0.54	0.65	3.81
4250.79 b	42	4.27	1.55	0.28	0.30	4.14	0.28	0.25	4.22	0.49	0.59	3.85
4147.67	42	2.82	1.48	0.19	0.17	4.39	0.20	0.10	4.62	0.29	0.22	4.28
4045.81	43	5.26	1.48	0.57	0.71	3.75	0.45	0.45	3.95	0.72	0.72	3.74
4063.60	43	5.00	1.55	0.47	0.47	3.93	0.38	0.38	4.02	0.60	0.60	3.82
4071.74	43	4.86	1.60	0.40	0.40	4.01	0.33	0.33	4.09	0.52	0.52	3.89
4143.87	43	4.55	1.55	0.47	0.47	3.94	0.37	0.37	4.05	0.56	0.56	3.86
4005.25 b	43	(4.30)	1.55	0.52	0.65	3.79	0.42	0.42	3.98	0.70	0.70	3.75
4132.06	43	4.37	1.60	0.41	0.41	4.00	0.34	0.34	4.08	0.56	0.56	3.86
4528.62 b	68	—	2.17	0.32	0.51	3.94	0.29	0.35	4.11	0.40	0.64	3.84
4494.57	68	3.53	2.19	0.24	0.30	4.17	—	—	—	0.32	0.45	4.00
4459.12	68	3.25	2.17	0.25	0.31	4.15	0.25	0.26	4.23	0.30	0.42	4.03
4447.72	68	3.37	2.21	0.22	0.27	4.22	0.19	0.13	4.54	0.21	0.16	4.44
4482.26 b	68	2.96	2.21	0.33	0.46	3.99	0.43	0.60	3.87	0.47	0.66	3.83
4408.42	68	3.03	2.19	0.26	0.33	4.12	0.25	0.26	4.22	0.38	0.53	3.91
4407.71	68	2.89	2.17	0.22	0.27	4.21	0.22	0.23	4.28	0.35	0.49	3.95
4282.41	71	3.35	2.17	0.26	0.28	4.18	0.30	0.35	4.09	0.40	0.48	3.95
4252.74 b	71	—	2.21	—	—	—	0.37	0.52	3.91	—	—	—
3949.95	72	—	2.17	0.34	0.27	4.17	—	—	—	0.52	0.42	3.98
4009.71	72	(3.00)	2.21	0.18	0.13	4.50	0.17	0.08	4.71	0.36	0.36	4.05
4001.67 b	72	(2.75)	2.17	0.28	0.25	4.20	0.16	0.08	4.71	0.39	0.39	4.01
4630.13 b	115	2.21	2.27	0.31	0.50	3.96	0.26	0.35	4.12	0.33	0.50	3.95
4260.48	152	4.72	2.39	0.33	0.39	4.04	0.33	0.40	4.03	0.48	0.58	3.85
4235.94	152	4.31	2.41	0.37	0.44	3.99	0.30	0.36	4.07	0.45	0.54	3.88
4250.12	152	4.09	2.46	0.31	0.37	4.06	0.32	0.38	4.05	0.49	0.59	3.85
4198.31 b	152	(3.90)	2.39	0.50	0.60	3.84	0.42	0.51	3.91	0.56	0.67	3.79
4187.80 b	152	4.16	2.41	0.40	0.48	3.94	0.34	0.41	4.02	0.46	0.55	3.88
4187.04 b	152	3.96	2.44	0.34	0.41	4.02				0.50	0.60	3.84
4271.16	152	4.39	2.44	—	—	—	0.34	0.41	4.02	0.52	0.62	3.83
4299.24 b	152	3.68	2.41	0.42	0.50	3.93	0.45	0.54	3.90	0.56	0.67	3.81
4210.35	152	3.57	2.47	0.26	0.28	4.17	0.24	0.22	4.28	0.37	0.45	3.97
4191.44	152	4.15	2.46	0.34	0.41	4.01	0.24	0.22	4.28	0.44	0.53	3.89
4222.22	152	3.14	2.44	0.25	0.27	4.19	0.21	0.19	4.34	0.32	0.38	4.05
4095.97	217	—	2.58	—	—	—	—	—	—	0.26	0.20	4.31
4055.05	218	—	2.55	—	—	—	—	—	—	0.42	0.42	3.98
4049.34	218	(1.90)	2.58	—	—	—	—	—	—	0.39	0.39	4.01
4010.77	219	(1.35)	2.80	0.12	0.09	4.65	0.17	0.08	4.71	0.22	0.17	4.37
4266.97	273	(2.40)	2.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4184.22	274	—	2.72	0.33	0.40	4.02	0.28	0.25	4.22	0.45	0.54	3.89
3998.05 b	276	(3.20)	2.72	0.31	0.31	4.11	—	—	—	—	—	—
3983.96	277	(3.00)	2.72	0.29	0.26	4.18	0.28	0.21	4.28	0.40	0.40	4.00
4021.87	278	—	2.75	0.30	0.29	4.15	0.21	0.16	4.40	0.40	0.40	4.00
4957.60 b	318	—	2.80	0.34	0.74	3.82	0.27	0.44	4.05	—	—	—
4957.30 b	318	—	2.85							—	—	—

segue Fe I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. ecclit.	γ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.						
				Rc	A	$\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$				
4891.50 b	318	4.12	2.84	0.32	0.70	3.84	0.21	0.31	4.20	—	—	—				
4890.76 b	318	3.66	2.85							—	—	—	—	—	—	—
4872.14 b	318	3.56	2.85							—	—	—	—	—	—	—
4871.32 b	318	3.76	2.85	0.20	0.33	4.17	0.25	0.41	4.08	—	—	—				
4903.32	318	2.97	2.85							—	—	—	—	—	—	—
4878.22	318	—	2.85	—	—	—	0.16	0.18	4.44	—	—	—				
4476.02	350	3.24	2.82	0.23	0.29	4.18	—	—	—	0.21	0.21	4.33				
4245.27	352	(2.95)	2.82	0.19	0.17	4.40	0.17	0.10	4.62	0.26	0.23	4.28				
4181.76	354	(3.42)	2.82	0.35	0.42	4.00	0.29	0.26	4.20	0.46	0.55	3.88				
4156.80	354	(3.10)	2.82	0.35	0.42	4.00	0.30	0.27	4.19	0.47	0.56	3.87				
4107.49	354	—	2.82	0.26	0.23	4.25	—	—	—	0.29	0.22	4.27				
4184.89	355	(2.95)	2.82	0.27	0.29	4.15	—	—	—	0.46	0.55	3.88				
4203.99	355	—	2.82	0.35	0.42	4.00	0.20	0.12	4.55	—	—	—				
4213.65	355	(2.75)	2.82	0.15	9.14	4.47	—	—	—	0.12	0.07	4.79				
4114.45	357	(2.60)	2.82	0.16	0.12	4.54	0.30	0.22	4.27	0.24	0.18	4.36				
4387.90 b	476	(2.40)	3.00	0.19	0.20	4.34	—	—	—	0.38	0.53	3.91				
4267.83	482	(2.85)	3.00	0.13	0.12	4.55	0.24	0.22	4.28	0.20	0.18	4.37				
4225.96	521	—	3.03	—	—	—	—	—	—	0.42	0.50	3.93				
4199.10 b	522	(3.65)	3.03	0.50	0.60	3.84	0.42	0.50	3.92	0.56	0.67	3.79				
4143.42 b	523	(2.95)	3.03	0.47	0.47	3.95	0.37	0.37	4.05	0.54	0.54	3.88				
4074.79	524	(2.95)	3.03	—	—	—	—	—	—	0.28	0.21	4.29				
4017.16	527	—	3.03	0.29	0.26	4.18	0.25	0.19	4.32	0.37	0.37	4.04				
4736.78	554	3.27	3.20	—	—	—	0.20	0.20	4.37	0.27	0.41	4.06				
4668.14 b	554	2.77	3.20	0.34	0.60	3.87	0.28	0.38	4.07	—	—	—				
4073.76	558	—	3.25	—	—	—	—	—	—	0.32	0.32	4.10				
4018.28	560	—	3.25	0.30	0.27	4.17	0.23	0.17	4.24	0.40	0.40	4.00				
4285.44	597	—	3.22	0.16	0.14	4.48	—	—	—	—	—	—				
4040.65 b	655	—	3.25	0.28	0.25	4.20	0.29	0.22	4.26	0.44	0.44	3.96				
3986.18	655	(2.50)	3.25	0.24	0.22	4.26	—	—	—	0.32	0.32	4.09				
3985.39	661	(2.40)	3.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
4238.02	{ 689 696	(2.85)	3.40	0.29	0.31	4.13	—	—	—	0.45	0.54	3.89				
4208.61	{ 689 696	—	3.38	0.30	0.32	4.12	—	—	—	0.34	0.41	4.01				
4264.21	692	—	3.35	0.11	0.10	4.63	—	—	—	0.12	0.07	4.80				
4227.43 b	693	(3.42)	3.32	0.43	0.52	3.90	0.48	0.58	3.85	0.64	0.76	3.74				
4247.43 b	693	(3.10)	3.32	0.32	0.38	4.05	0.32	0.38	4.05	0.56	0.67	3.80				
4238.82	693	(3.00)	3.38	0.27	0.29	4.15	0.31	0.37	4.05	0.42	0.50	3.92				
4217.55	693	2.95	3.42	0.20	0.18	4.37	0.17	0.10	4.63	0.24	0.22	4.28				
4157.79	695	(3.10)	3.40	0.25	0.27	4.18	0.21	0.19	4.34	—	—	—				
4208.61	{ 696 689	—	3.38	0.30	0.32	4.12	—	—	—	0.34	0.41	4.01				
4238.02	{ 696 689	(2.85)	3.40	0.29	0.31	4.13	—	—	—	0.45	0.54	3.89				
4133.87	698	—	3.35	0.33	0.33	4.10	0.21	0.10	4.62	0.42	0.42	4.00				
4137.00	726	(2.85)	3.40	0.29	0.26	4.20	0.16	0.08	4.74	0.38	0.38	4.04				
4003.76	728	—	3.40	0.22	0.20	4.30	—	—	—	—	—	—				
4219.36	800	(3.25)	3.56	0.24	0.26	4.20	0.23	0.21	4.30	0.32	0.38	4.05				
4118.55	801	—	3.56	0.34	0.34	4.08	0.30	0.23	4.25	0.47	0.47	3.94				
4014.53	802	—	3.56	0.25	0.23	4.24	0.24	0.18	4.35	0.40	0.40	4.00				
4678.85	821	(2.70)	3.59	0.19	0.26	4.26	—	—	—	—	—	—				

segue Fe I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4669.17	821	(2.05)	3.64	0.24	0.38	4.15	0.24	0.32	4.15	—	—	—
4525.14	826	—	3.59	0.27	0.39	4.06	0.25	0.30	4.17	0.28	0.34	4.12
4611.28	826	—	3.64	0.14	0.19	4.36	—	—	—	0.18	0.16	4.40
4388.41	830	(2.60)	3.59	0.19	0.20	4.34	—	—	—	—	—	—
4243.37 b	906	—	3.62	0.27	0.29	4.16	—	—	—	0.37	0.45	3.99
4265.26	993 e 994	(1.85)	3.92	0.12	0.11	4.59	—	—	—	0.12	0.07	4.80

Fe II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Rc	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
3914.48	3	—	1.66	0.30	0.21	4.28	—	—	—	0.60	0.48	3.92
3938.29	3	—	1.66	0.35	0.28	4.14	—	—	—	—	—	—
4580.05	26	—	2.57	0.23	0.34	4.13	0.19	0.15	4.48	0.28	0.33	4.14
4128.73 b	27	1.43	2.77	—	—	—	—	—	—	0.51	0.51	3.91
4173.45 b	27	—	2.57	0.40	0.48	3.94	0.45	0.54	3.89	0.59	0.71	3.77
4273.32	27	—	2.77	0.22	0.23	4.27	0.40	0.48	3.95	0.33	0.40	4.03
4351.76 b	27	—	2.57	0.42	0.59	3.86	0.37	0.52	3.91	0.53	0.74	3.75
4385.38	27	2.50	2.77	0.35	0.49	3.95	—	—	—	—	—	—
4416.82 b	27	2.32	2.77	0.33	0.46	3.98	—	—	—	0.53	0.74	3.77
4258.15	28	—	2.69	0.27	0.29	4.16	0.29	0.26	4.21	0.42	0.52	3.92
4296.57	28	2.26	2.69	0.33	0.40	4.03	0.29	0.26	4.21	0.37	0.44	3.99
4002.07	29	(1.10)	2.77	0.28	0.25	4.20	0.16	0.08	4.71	0.38	0.38	4.02
4278.13	32	(0.65)	2.68	0.15	0.13	4.53	0.18	0.11	4.60	0.24	0.22	4.29
4384.33 b	32	[1.35]	2.65	—	—	—	0.43	0.60	3.86	0.60	0.84	3.72
4472.92	37	1.55	2.83	0.26	0.33	4.13	0.04	0.03	5.16	—	—	—
4489.18	37	1.98	2.82	0.33	0.46	3.99	—	—	—	0.43	0.60	3.86
4491.40	37	2.10	2.84	0.26	0.32	4.15	0.26	0.27	4.22	—	—	—
4515.34	37	2.35	2.83	0.27	0.36	4.10	0.18	0.14	4.50	0.30	0.36	4.10
4520.22	37	2.37	2.79	0.28	0.40	4.05	0.27	0.32	4.14	—	—	—
4555.89 b	37	2.43	2.82	0.36	0.58	3.89	0.30	0.36	4.10	0.46	0.74	3.78
4582.83 b	37	1.57	2.83	0.30	0.43	4.03	0.33	0.50	3.96	0.43	0.68	3.83
4629.34	37	2.64	2.79	0.31	0.55	3.92	0.26	0.34	4.13	0.33	0.53	3.93
4508.28	38	2.52	2.84	0.29	0.42	4.03	0.25	0.30	4.17	0.30	0.36	4.10
4522.63	38	2.86	2.83	0.35	0.56	3.90	0.30	0.36	4.10	0.33	0.53	3.92
4541.52	38	1.90	2.84	0.25	0.36	4.10	0.20	0.16	4.45	—	—	—
4576.33	38	1.83	2.83	0.28	0.40	4.06	0.16	0.13	4.56	0.18	0.14	4.51
4583.83 b	38	2.84	1.80	0.30	0.44	4.02	0.33	0.53	3.93	0.43	0.69	3.82
4138.40	39	[0.90]	2.82	0.22	0.20	4.32	0.14	0.07	4.80	0.31	0.29	4.15
4656.97	43	—	2.88	0.21	0.34	4.13	—	—	—	—	—	—
4663.70	44	0.95	2.88	0.19	0.26	4.25	—	—	—	—	—	—
4012.47	126	—	4.46	0.40	0.40	4.00	0.22	0.13	4.50	0.54	0.54	3.87
4032.95	126	—	4.48	0.40	0.40	4.00	0.33	0.33	4.08	0.57	0.57	3.84
4015.20	142	—	4.60	0.28	0.25	4.20	0.15	0.07	4.78	0.30	0.23	4.24
4031.46 b	151	—	4.71	0.40	0.40	4.00	0.33	0.33	4.08	0.57	0.57	3.84
4048.83 b	172	—	5.54	0.34	0.34	4.07	—	—	—	0.39	0.39	4.01
3960.89	212	—	7.24	0.39	0.39	4.01	0.29	0.29	4.13	0.43	0.43	3.97

Ni I

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4604.99	98	2.36	3.47	0.20	0.27	4.22	—	—	—	—	—	—
4546.93	261	—	4.15	0.22	0.32	4.15	0.20	0.16	4.45	—	—	—

Sr II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4077.71	1	4.17	0.00	0.59	0.74	3.74	0.47	0.47	3.94	0.71	0.71	3.76
4215.52	1	4.06	0.00	0.45	0.54	3.89	0.37	0.37	4.05	0.57	0.57	3.86

Y II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4398.02	5	—	0.18	0.18	0.19	4.36	—	—	—	—	—	—
4235.73	5	—	0.13	—	—	—	—	—	—	0.45	0.54	3.88
4682.32	12	(1.30)	0.41	0.21	0.30	4.19	—	—	—	—	—	—
4374.94 b	13	—	0.41	0.32	0.45	3.99	—	—	—	0.50	0.70	3.79
4177.54 b	14	(2.60)	0.41	0.44	0.53	3.89	0.35	0.42	4.00	0.56	0.67	3.79

Zr II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4211.88	15	(1.10)	0.52	0.19	0.17	4.39	0.16	0.10	4.62	0.22	0.20	4.32
4379.78	88	(1.10)	1.33	—	—	—	0.19	0.13	4.54	0.19	0.13	4.54

Ba II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4554.03	1	3.62	0.00	0.36	0.58	3.88	0.29	0.35	4.11	0.46	0.74	3.78
4984.09 b	1	3.68	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Ce II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4684.60	228	[0.95]	0.90	0.20	0.27	4.24	—	—	—	—	—	—

Eu II

λ	Multi-pletto	log Nf.	Pot. eccit.	ζ Lyrae			β Cas.			41 Cyg.		
				Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$	Re	A	$-\log \frac{A}{\lambda}$
4205.05	1	(1.30)	0.00	0.37	0.44	3.98	0.27	0.24	4.24	0.51	0.62	3.83

Nota alla Tab. III. - I log Nf in parentesi tonda sono determinati impiegando i valori delle larghezze equivalenti date da Allen insieme alla tavola di interpolazione per Nf. I valori in parentesi quadra indicano che si è risalito alle larghezze equivalenti solari tramite le tavole di Rowland.

Con il solito procedimento, dall'entità delle traslazioni verticali da dare alla curva empirica per riportarla sulla teorica, si risale alla velocità di turbolenza, mentre dalle traslazioni orizzontali da dare ai rami relativi alle righe di un dato elemento, ed originate da livelli inferiori aventi circa lo stesso potenziale d'eccitazione, si ricava la temperatura d'eccitazione e le abbondanze relative rispetto al Sole.

In tabella IV si riportano i valori della velocità di turbolenza ξ_T e della costante di smorzamento γ per ζ Lyr, β Cas, 41 Cyg, e per le stelle precedentemente studiate ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽⁷⁾.

In fig. 1, 2 e 3 sono date le curve di crescita relative a ζ Lyr, β Cas, 41 Cyg, determinate saldando insieme i rami relativi alle varie famiglie di multipletti (curve a tratto pieno) insieme alla curva teorica che meglio vi si adatta (curva a tratti).

TABELLA IV

Stella	Spettro	v_T	a	γ	$\log \frac{P_{e*}}{P_{e\odot}}$	$\log \frac{k_*}{k_{\odot}}$
ζ Lyr A	r. met.	3.8 Km/sec	10^{-2}	$5.85 \cdot 10^8$	-0.82	-0.84
ξ Cep (1)	»	4.5	$5 \cdot 10^{-3}$	$3.30 \cdot 10^8$	-1.10	-0.85
δ Cep (2)	»	4.8	$6 \cdot 10^{-3}$	$4.20 \cdot 10^8$	-0.97	-0.92
ι Peg (2)	F5V	2.5	$7 \cdot 10^{-2}$	$24.0 \cdot 10^8$	-0.14	-0.60
FF Aql (7)	F7I Cef.	4.5	$5 \cdot 10^{-3}$	$3.30 \cdot 10^8$	-1.25	-1.80
β Cas	F2III	2.3	10^{-2}	$3.81 \cdot 10^8$	-0.54	-0.61
41 Cyg	F5II	5.4	10^{-3}	$0.82 \cdot 10^8$	-0.98	-1.07

La temperatura d'eccitazione è stata determinata coll'usuale procedimento, impiegando le righe del Fe I; solo questo elemento presenta un gran numero di righe misurabili e originate da livelli inferiori di potenziale d'eccitazione sufficientemente diverso da permettere una determinazione attendibile. Per ζ Lyr A le righe sono state suddivise in 5 gruppi di potenziale 0.05 eV, 1.50, 2.25, 3.00, 3.65. Per β Cas, che ha una velocità di rotazione di 70 km/sec (⁴), è possibile misurare un numero notevolmente minore di righe; perciò le righe del Fe I disponibili sono solo quelle relative ai potenziali di 1.50 eV, 2.25 e 3.65. Per 41 Cyg si hanno 4 gruppi di righe: quelle relative ai potenziali 0.05, 1.50, 2.25, e 3.65. Le rette

$$\Delta_* - \Delta_{\odot} = \chi_{r,s} (\vartheta_{\odot} - \vartheta_*) + \text{costante}$$

dove $\Delta_* - \Delta_{\odot}$ rappresenta la differenza fra le traslazioni orizzontali date ai rami relativi alla stella e al Sole per riportarli sulla curva teorica, e la costante è data da

$$\log \frac{N_r^*}{N_{r\odot}} - \log \frac{R_c^*}{R_{c\odot}} - \log \frac{r_*}{v_{\odot}}$$

(N_r rappresenta il numero di atomi di un elemento r volte ionizzato contenuti in una colonna di altezza eguale all'altezza efficace dell'atmosfera, considerata a pressione e temperatura costante, gli R_c sono praticamente

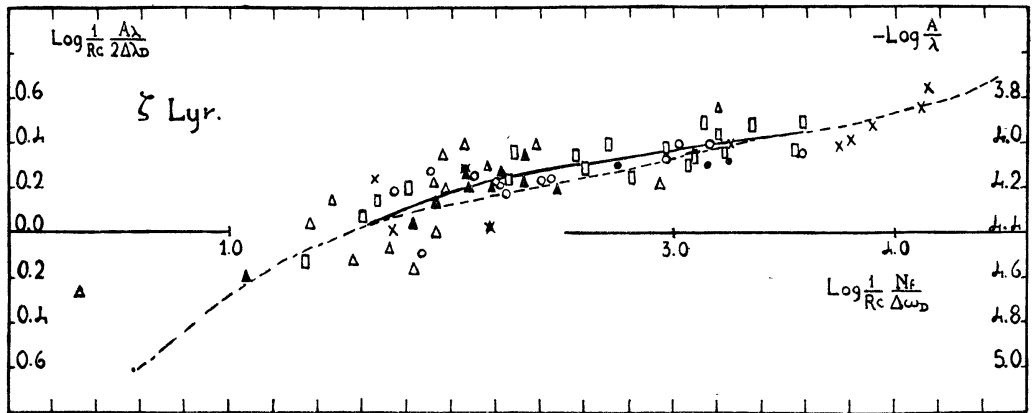


Fig. 1

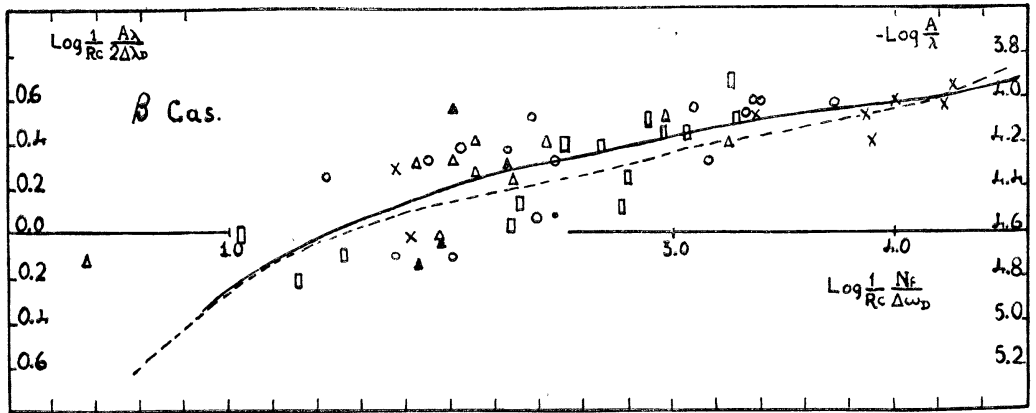


Fig. 2

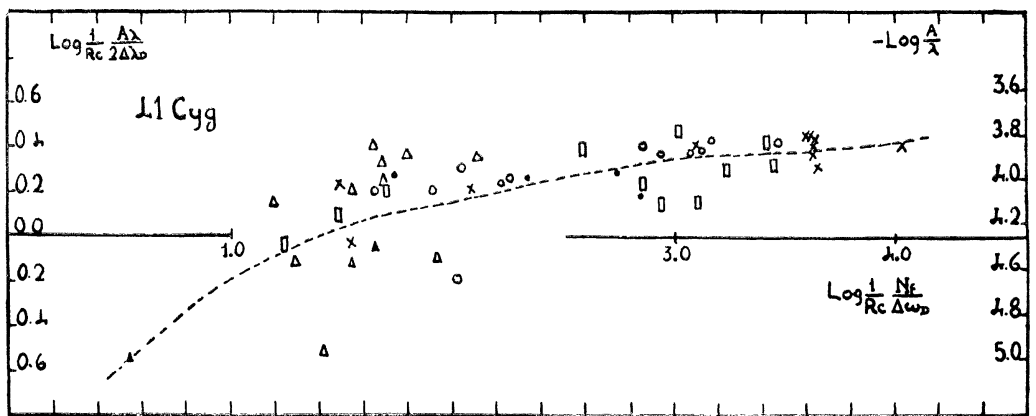


Fig. 3

- | | | |
|------------------------|--------------------|--------------------|
| ● Fe I 0,00 — 0,10 e V | ○ Fe I 2,10 — 2,50 | ▲ Fe I 3,40 — 3,90 |
| × » 0,90 — 1,60 | △ » 2,80 — 3,20 | □ Fe II 2,70 |

eguali nella stella e nel Sole, v è la componente nella direzione della visuale, della velocità termica e di turbolenza) dànno per le tre stelle:

TABELLA V

stella	$\vartheta_* - \vartheta_{\odot}$	$\log \frac{N_*}{N_{\odot}}$ (Fe I)
ζ Lyr A	-0.10	-0.90
β Cas	-0.10	-1.12
41 Cyg	-0.10	-0.92

Abbondanze relative. In tabella VI sono riportate le abbondanze relative determinate impiegando le temperature d'eccitazione date sopra, per mezzo della relazione

$$\log \frac{N_{r*}}{N_{r\odot}} = \Delta_* - \Delta_{\odot} + \log \frac{R_{c*}}{R_{c\odot}} + \chi_{r,s} (\vartheta_* - \vartheta_{\odot}) + \log \frac{v_*}{v_{\odot}}$$

Poichè tutti gli atomi metallici, ad eccezione del Mg si trovano praticamente tutti ionizzati una volta, tanto nella stella che nel Sole, è possibile il confronto diretto delle abbondanze relative, senza bisogno di introdurre, tramite la legge di Saha, incertezze derivanti dal non conoscere la temperatura di ionizzazione. Il rapporto del numero di atomi una volta ionizzati presenti in una colonna di atmosfera stellare e solare darà di conseguenza anche una misura del rapporto delle opacità delle rispettive atmosfere:

$$\log \frac{N_{\text{tot}*}}{N_{\text{tot}\odot}} = \log \frac{N_{1*}}{N_{1\odot}} = \log \frac{k_{\odot}}{k_*}$$

Come già era stato notato da Greenstein (⁸), (⁹) per τ UMa e da me per ξ Cep e θ Cep, si notano anche per ζ Lyr A alcune anomalie: una deficienza rispetto al Sole, del Ca, denunciata dall'anormalmente bassa intensità della K, che è la principale caratteristica dello spettro di queste stelle, e inoltre una deficienza del Ti, Sc e Zr. Resterebbe pertanto confermata l'osservazione fatta da Greenstein per τ UMa (⁹) delle deficienze di quegli elementi il cui secondo potenziale di ionizzazione è compreso fra 11.7 e 15 eV. Nella determinazione delle opacità di ζ Lyr A si impiegano perciò solo gli elementi che non presentano comportamento anormale. I valori per $\log \frac{k_*}{k_{\odot}}$ sono dati in tabella VII.

In fig. 4 e 5 si riportano i valori di $\log \frac{N_{1*} k_*}{N_{1\odot} k_{\odot}}$ in funzione del 2° potenziale di ionizzazione. Se le abbondanze relative degli elementi nella stella e nel Sole sono le stesse e la differenza nel numero di atomi assor-

TABELLA VI

elemento	$\log \frac{N_*}{N_\odot}$		
	ζ Lyr A	β Cas	41 Cyg
Mg I	-1.73	-1.67	-1.79
Mg II	1.78	1.98	1.92
Ca I	-0.65	0.35	0.51
Ca II	-0.55	0.39	0.99
Sc II	-0.20	-0.14	0.41
Ti I	-0.25	-0.20	0.46
Ti II	0.43	0.93	1.17
Cr I	-1.28	-0.68	-0.84
Cr II	0.86	0.52	0.68
Fe I	-0.90	-1.12	-0.92
Fe II	0.81	0.31	0.95
Sr II	0.66	0.46	0.80
Zr II	0.16	0.50	1.04
Ba II	1.04	0.74	1.58
Eu II	2.80	2.10	3.64

TABELLA VII

elemento	$\log \frac{k_*}{k_\odot} = \log \frac{N_\odot}{N_*}$			peso
	ζ Lyr A	β Cas	41 Cyg	
Ca II	—	-0.39	-0.99	1
Ti II	—	-0.93	-1.17	2
Cr II	-0.86	-0.52	-0.68	1
Fe II	-0.81	-0.31	-0.95	3
Sr II	-0.66	-0.46	-0.80	1
Ba II	-1.04	-0.74	-1.58	1
Zr II	—	-0.50	-1.04	1
$\log \frac{k_*}{k_\odot} =$	-0.84	-0.61	-1.07	

benti è dovuta solo alla differenza di opacità delle atmosfere, i $\log \frac{N_1 k_*}{N_1 \odot k_\odot}$ (dove $N_1 k$ rappresenta il numero di atomi dell'elemento una volta ionizzato, e quindi praticamente il numero totale di atomi di quell'elemento, contenuti nell'unità di volume), devono essere eguali a zero.

La fig. 4 relativa alle stelle a righe metalliche e la fig. 5 relativa a stelle F normali mostra chiaramente l'evidente deficienza di Ca, Sc, Ti e Zr per le stelle a righe metalliche, mentre per le stelle normali i punti si addensano quasi uniformemente intorno allo zero. (Si tenga presente che

l'errore nelle determinazioni delle abbondanze relative è, in logaritmo, di ± 0.30).

L'eccesso di Eu trovato tanto per alcune stelle metalliche che normali è molto incerto, la determinazione di abbondanza essendo fatta in base alla sola riga 4205, assai disturbata.

Pressione elettronica. La pressione elettronica è stata determinata applicando la legge di Saha ed impiegando i valori trovati per le abbondanze relative del Fe I e Fe II; si introduce, in luogo della temperatura di ionizzazione, incognita, la temperatura di eccitazione. Si ha la relazione

$$\log \frac{N_{r+1*}}{N_{n+1\odot}} - \log \frac{N_{r*}}{N_{r\odot}} + \log \frac{P_{e*}}{P_{e\odot}} = 2.5 \log \frac{T_*}{T_{\odot}} - \chi_r (\vartheta_* - \vartheta_{\odot})$$

Poichè in questa entrano solo i rapporti delle temperature e le differenze degli inversi, l'errore che si compie sostituendo alla temperatura di ionizzazione quella di eccitazione è molto ridotto. I risultati sono dati in tabella IV.

Esaminando i risultati dati dalle curve di crescita, raggruppati in tabella IV, si conclude, sia dai valori della velocità di turbolenza e della costante di smorzamento che della pressione elettronica e dell'opacità, che le stelle a righe metalliche e in particolare ζ Lyr A, oggetto di questa nota, presentano caratteri più vicini alle due supergiganti 41 Cyg e FF Aql che alla gigante β Cas e alla nana τ Peg, malgrado la posizione da esse occupata nel diagramma di Russell, nella sequenza principale.

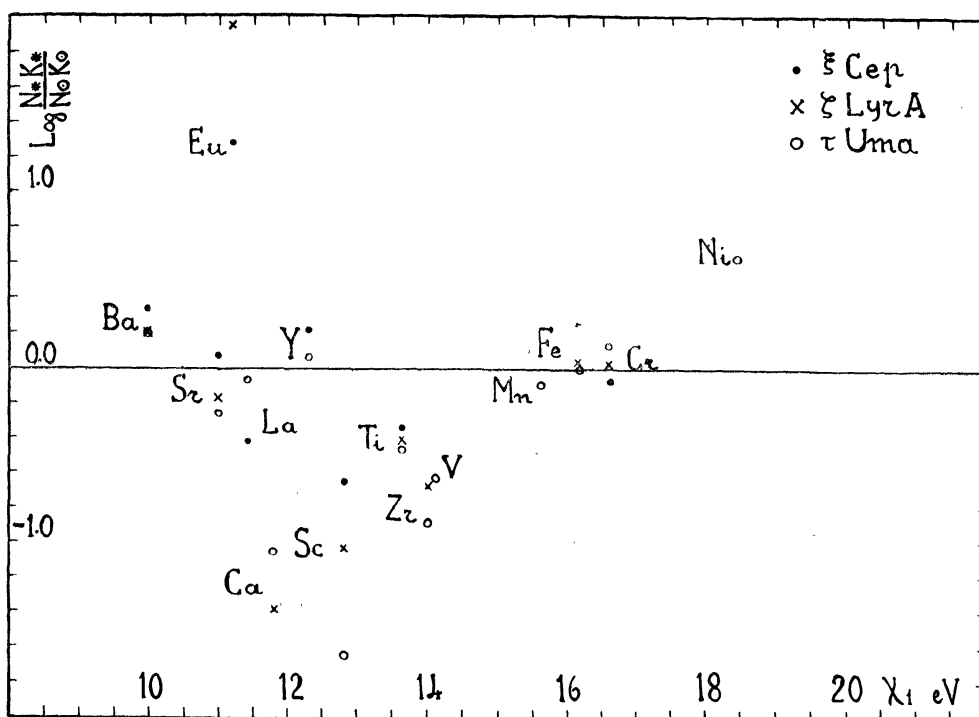


Fig. 4

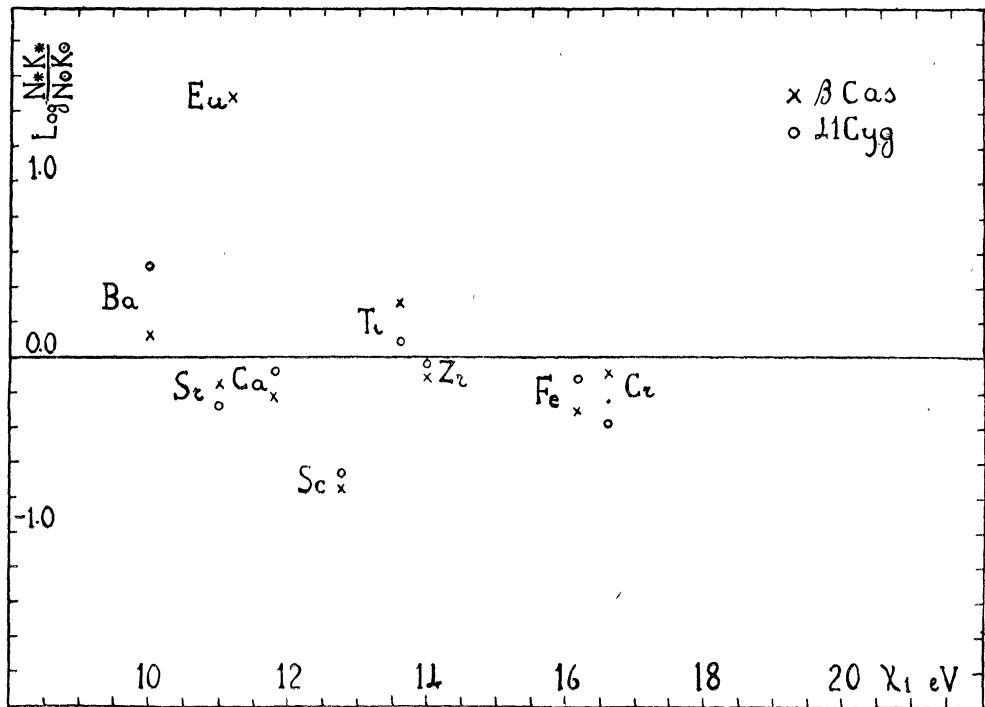


Fig. 5

LE RIGHE DELL'IDROGENO E DEL CA II-ABBONDANZA RELATIVA DELL'IDROGENO.

In tabella VIII sono date le larghezze equivalenti e le profondità centrali delle righe dell'idrogeno e del Ca II, per le stelle oggetto della presente nota; per confronto si riportano anche i dati relativi alle due metalliche ζ Cep e θ Cep, alla nana ι Peg e alla supergigante FF Aql.

TABELLA VIII

Stella	Sp	H_4		H_5		H_6		$H_7 + H$		H_8		K	
		A	Rc	A	Rc	A	Rc	A	Rc	A	Rc	A	Rc
ζ Lyr	r. m.	15.2	0.90	20.5	0.90	16.5	0.89	17.0	$\left\langle \begin{smallmatrix} 0.89 \\ 0.92 \end{smallmatrix} \right.$	12.3	0.81	3.8	0.90
ξ Cep	»	13.3	0.80	11.0	0.85	11.6	0.86					3.7	0.91
θ Cep	»	15.1	0.75	17.0	0.86	17.0	0.88					4.1	0.90
FF Aql	F7 I	4	0.74	4	0.80	4	0.83					14.5	0.89
41 Cyg	F5 II	10.5	0.72	10.5	0.85	11.2	0.89	14.2	0.96	7.5	0.82	10.7	0.96
β Cas	F2 III	8.6	0.72	10.0	0.80	11.0	0.83	12.0	$\left\langle \begin{smallmatrix} 0.90 \\ 0.92 \end{smallmatrix} \right.$	7.4	0.82	7.0	0.92
ι Peg	F5 V	9.0	0.68	10.0	0.75	11.0	0.84					9.6	0.95
δ Cas	A5 V	17.8	0.76	20.4	0.85	19.2	0.89	20.6	0.94	16.5	0.90	6.0	0.93

Dai valori riportati nella tabella si vede che le larghezze equivalenti delle righe dell'idrogeno indicano per ζ Lyr A un tipo spettrale circa eguale a quello di δ Cas. Il tipo spettrale dedotto dall'intensità delle righe

dell'idrogeno è un po' più avanzato per δ Cep ed ancora un po' più per ξ Cep; per tutte e tre queste stelle l'intensità totale della K è circa i $2/3$ di quella di δ Cas, di tipo A5.

I profili della $H + H_7$ e della K per le quattro stelle qui studiate sono dati in fig. 6 e 7.

Va notata la forte profondità centrale di tutte le righe dell'idrogeno, eguale o di poco inferiore a quella della K. Anche δ Cas, malgrado la forte velocità di rotazione, presenta righe molto profonde.

I profili della H_4 , H_5 , H_6 sono stati confrontati con i profili teorici calcolati da Verweij (¹⁰). Solo per δ Cas il confronto non è stato possibile, essendo i profili modificati dalla velocità di rotazione (fig. 8).

Come è noto la teoria non è ancora in grado di render conto in modo soddisfacente delle parti centrali dei profili; ma scegliendo i profili le cui ali meglio si accordano con l'osservazione, si sono potuti stimare i

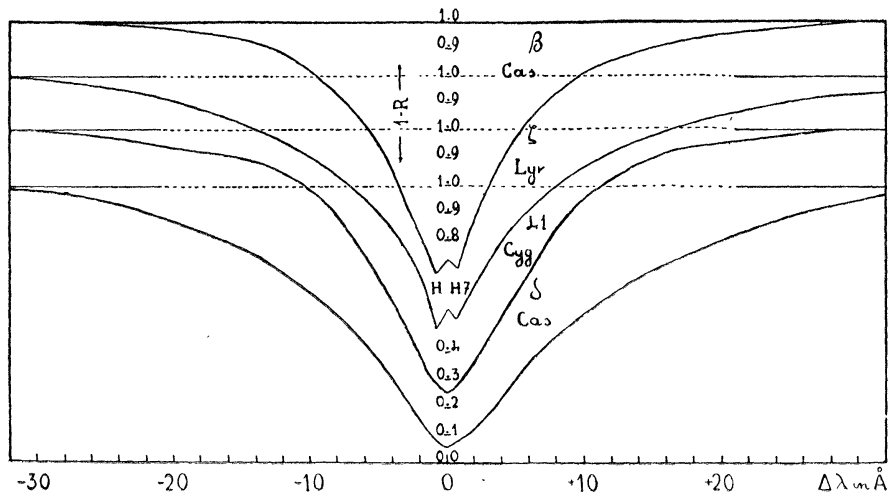


Fig. 6

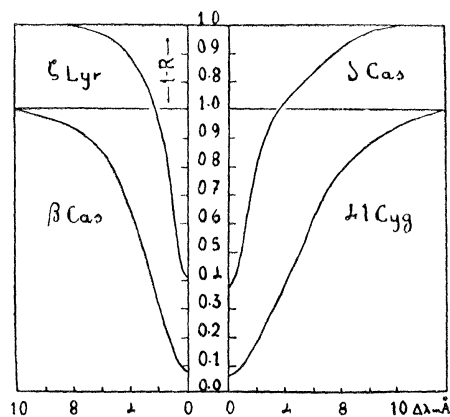


Fig. 7

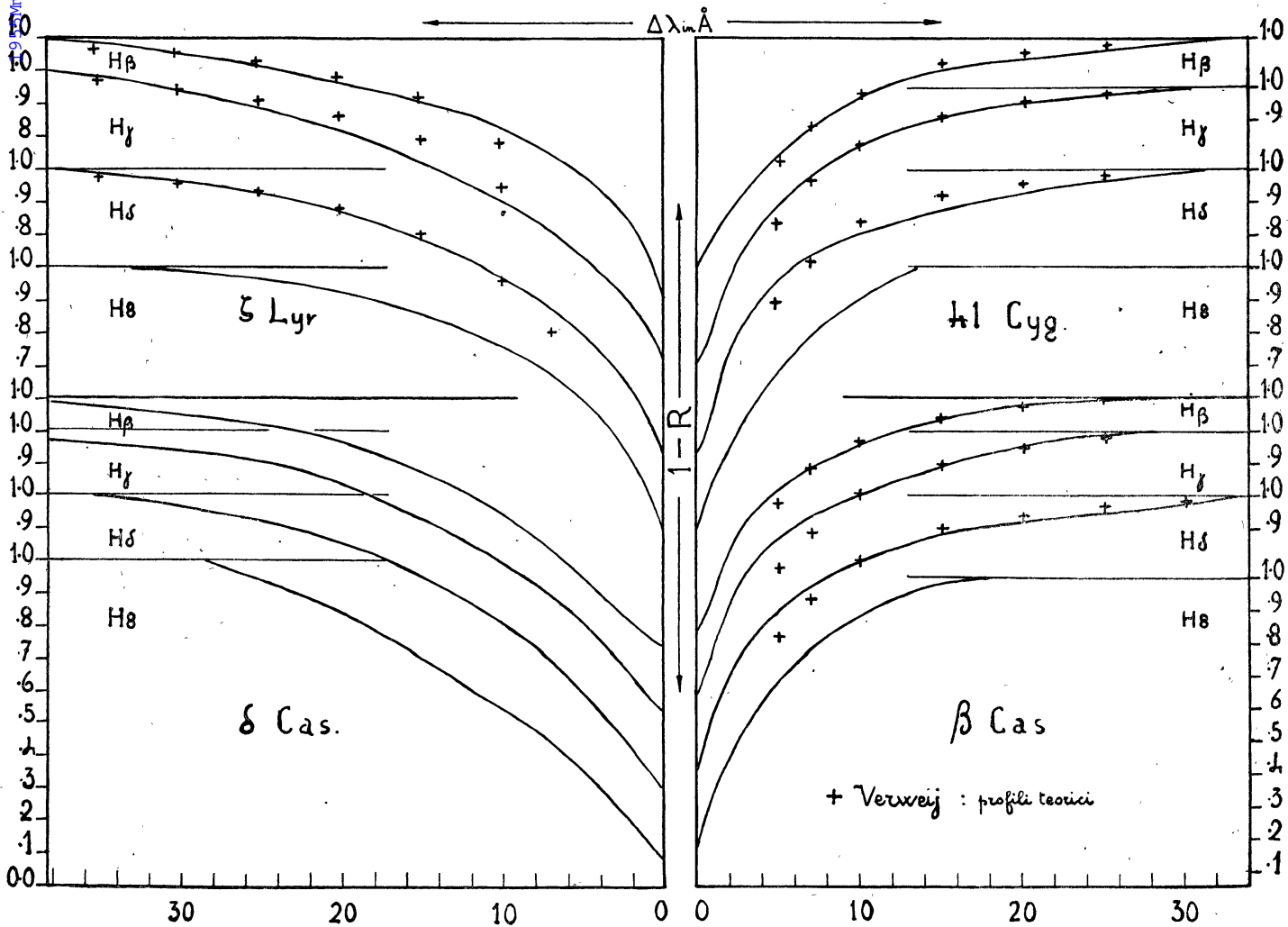


Fig. 8

valori della gravità superficiale e della temperatura relativa agli strati in cui si formano le ali. Si trova :

$$\begin{aligned}
 \zeta \text{ Lyr A} &: \log g = 4 \quad \vartheta = 0.6 \\
 41 \text{ Cyg} &: \log g = 3 \quad \vartheta = 0.6 \\
 \beta \text{ Cas} &: \log g = 3.5 \quad \vartheta = 0.55
 \end{aligned}$$

Come per le precedenti stelle a righe metalliche studiate, anche per ζ Lyr A il valore della gravità superficiale indica una luminosità che meglio si accorda con il valore della grandezza assoluta ricavata dalla parallasse trigonometrica. Lo studio di questa stella conferma perciò di nuovo il duplice aspetto degli spettri delle stelle a righe metalliche : spettro di righe dell'idrogeno che indica il loro carattere di stelle della sequenza principale, in accordo col valore della grandezza assoluta dedotto

dalle parallassi trigonometriche: spettro delle righe metalliche che indica caratteristiche in tutto simili a quelle di una supergigante F, però con qualche peculiarità rispetto a queste; e cioè la minore intensità delle righe del Ca, Ti, Sc, Zr, che portano a dedurre una deficienza nelle abbondanze di questi elementi rispetto al Sole.

Sia per ζ Lyr A che per le altre due stelle si riscontra, come al solito ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽⁷⁾, ⁽¹¹⁾, che le temperature date dalle ali delle righe di Balmer sono molto più alte delle temperature di eccitazione e un po' superiori ai valori delle temperature effettive e dal colore. Questo proverebbe che le ali delle righe di Balmer si formano a profondità ottiche medie maggiori di 0.5; un solo effetto di stratificazione non è però sufficiente a spiegare le basse temperature di eccitazione; è possibile pensare che le righe metalliche da cui esse sono derivate, si formino a profondità ottiche molto piccole e che intervengano deviazioni considerevoli dell'equilibrio termico.

L'incertezza nel valore della temperatura rende difficile anche una determinazione della concentrazione di idrogeno rispetto al Sole.

Si procede alla determinazione del numero di atomi di idrogeno nello stato eccitato 2 impiegando il metodo di Greenstein, descritto nelle precedenti note. Ammesso che stella e Sole seguano lo stesso modello e quindi ad uno stesso assorbimento nell'ala corrisponda uno stesso rapporto $\eta = \frac{k_{\nu}}{k}$ fra il coefficiente d'assorbimento nella riga e quello del continuo, si ottiene (tenendo conto per il coefficiente d'assorbimento della riga, del solo effetto Stark)

$$\frac{\eta_{*} (\Delta\lambda_{*})}{\eta_{\odot} (\Delta\lambda_{\odot})} = 1 = \frac{P_{e*}}{P_{e\odot}} \frac{T_{\odot}}{T_{*}} \frac{N_{02*}}{N_{02\odot}} \frac{k_{\odot}}{k_{*}} \left(\frac{\Delta\lambda_{\odot}}{\Delta\lambda_{*}} \right)^{5/2}$$

I valori $\frac{\Delta\lambda_{*}}{\Delta\lambda_{\odot}}$ rappresentano i rapporti fra le distanze dal centro della riga per cui nelle stelle e nel Sole si ha lo stesso assorbimento. Per i profili delle righe solari si sono al solito ⁽²⁾ impiegati quelli determinati da De Jager ⁽¹²⁾ per $\sin \vartheta = 0.74$. N_{02} indica ora il numero di atomi di H neutro nello stato eccitato 2, per unità di volume.

I risultati sono dati in tabella IX.

TABELLA IX

stella	$\frac{\Delta\lambda_{*}}{\Delta\lambda_{\odot}}$	$\log \frac{N_{02*}}{N_{02\odot}}$
ζ Lyr A	6.30	2.11
β Cas	3.95	1.65
41 Cyg	4.09	1.56

Per passare dal valore di $\log \frac{N_{02*}}{N_{02\odot}}$ al rapporto fra il numero totale di atomi neutri presenti nella stella e nel Sole per unità di volume, occorre impiegare la formula di Boltzmann e scrivere

$$\log \frac{N_{0*}}{N_{0\odot}} = \log \frac{N_{02*}}{N_{02\odot}} + 10.16 (\vartheta_* - \vartheta_{\odot}).$$

L'incertezza nel valore di $\vartheta_* - \vartheta_{\odot}$ influisce enormemente sul valore di $\log \frac{N_{0*}}{N_{0\odot}}$ causa il fattore 10,16 che moltiplica $\vartheta_* - \vartheta_{\odot}$. Inoltre ci si può chiedere se, date le alte temperature indicate dalle ali dell'idrogeno, sia lecito ammettere che tutto l'idrogeno si trovi praticamente allo stato neutro nella stella come nel Sole e quindi il rapporto $\frac{N_{0*}}{N_{0\odot}}$ non indichi anche il rapporto fra le concentrazioni di atomi di idrogeno nella stella e nel Sole. Tale ipotesi sarebbe invece lecita se le temperature degli strati atmosferici interessati fossero quelle di eccitazione.

Si calcolano perciò i valori di $\log N_0$ e $\log N_1$ impiegando per ϑ_* i valori 0.5; 0.6; 0.7; 0.8 e 0.9. Poichè si può ammettere che i valori di $\frac{N_*}{N_{\odot}}$ non debbano essere troppo diversi dall'unità, si cerca quali valori di ϑ_* soddisfano a questa condizione. Si trova che gli stessi valori di ϑ_* dati dalle ali dell'idrogeno e che sono anche più vicini ai valori corrispondenti alla temperatura effettiva della stella considerata, sono anche quelli per cui le concentrazioni di H nella stella e nel Sole sono circa le stesse. Si riportano qui i dati anche per le stelle studiate precedentemente.

TABELLA X

Stella	$\log \frac{N_*}{N_{\odot}}$					$\vartheta_*(\text{ali}, H)$
	$\vartheta_* = 0.5$	0.6	0.7	0.8	0.9	
ζ Lyr A	1.04	0.60	1.14	2.11	—	0.6
ξ Cep	0.97	0.49	0.81	1.75	—	0.67
ϑ Cep	0.96	0.50	0.91	1.87	—	0.6
41 Cyg	0.65	0.02	0.60	1.56	2.56	0.6
β Cas	0.30	-0.04	0.67	1.65	—	0.55
ι Peg	-0.47	-0.66	0.25	1.25	—	0.7

Si nota che il valore di ϑ_* che dà per $\log \frac{N_*}{N_{\odot}}$ il valore più vicino a zero è quello già determinato dal confronto delle ali delle righe dell'idrogeno con i profili teorici calcolati da Verweij. Si nota inoltre che per le tre stelle metalliche studiate il valore di $\frac{N_*}{N_{\odot}}$ che più si avvicina all'unità

è sempre maggiore di quello trovato per le altre stelle normali, e dell'ordine di 3.5. Più che ad un effettivo eccesso di idrogeno rispetto al Sole si pensa che questo sia apparente e dovuto forse al fatto che non possa applicarsi l'ipotesi fatta che Sole e stelle a righe metalliche seguano lo stesso modello.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) Hack - Contributi dell'Oss. di Milano-Merate, n. 60, 1955.
- (²) Hack - Ricerche su δ Cep e ι Peg; Contrib. Osserv. Milano-Merate, n. 65, 1955.
- (³) Slettebak - Ap. J. **109**, 547, 1949.
- (⁴) Slettebak - Ap. J. **121**, 653, 1955.
- (⁵) Schlesinger - General Catalogue of stellar parallaxes. Yale Un. Obs.
- (⁶) Allen - Comm. Sol. Obs. n. 5 e 6, 1934, 1935.
- (⁷) Hack - Studio dell'atmosfera della cefeide FF Aq. Contrib. Osserv. Milano - Merate, n. 70, 1955.
- (⁸) Greenstein - Ap. J., **107**, 151, 1948.
- (⁹) Greenstein - Ap. J. **109**, 121, 1949.
- (¹⁰) Verweij - Publ. Astr. Inst. Un. Amsterdam, n. 5, 1936.
- (¹¹) Walraven - Publ. Astr. Inst. Un. Amsterdam, n. 8, 1948.
- (¹²) De Jager - Recherches astr. de l'Obs. de Utrecht, XIII, I, 1952.

