

## RICERCHE SULLE STELLE A RIGHE METALLICHE

 $\mu$  Orionis e confronto con altre 5 stelle normali

Nota di MARGHERITA HACK (\*)

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

RIASSUNTO. — Si danno i risultati dello studio della stella a righe metalliche  $\mu$  Ori e delle stelle normali  $\theta$  Per,  $\omega$  Pis,  $\alpha$  Cep,  $\alpha$  Tri,  $\tau$  Peg. Le prime tre stelle sono state studiate col metodo della curva di crescita. Le principali caratteristiche trovate per  $\mu$  Ori sono: una elevata velocità di turbolenza, 8 km/sec, una bassa costante di smorzamento, una deficienza del titanio e dello scandio, oltre a quella del calcio, resa evidente dalla principale peculiarità del suo spettro, e cioè la debole intensità della K.

ABSTRACT. — The metallic line star  $\mu$  Ori and the normal stars  $\theta$  Per,  $\omega$  Pis,  $\alpha$  Cep,  $\alpha$  Tri,  $\tau$  Peg are studied. The first three stars are investigated through the growth curve method. The principal peculiarities for  $\mu$  Ori are: a high turbulence, 8 km/sec, a low damping, and a deficiency in the abundances of Ca, Sc and Ti.

Con lo studio di  $\mu$  Ori e delle stelle normali  $\omega$  Pis,  $\theta$  Per,  $\tau$  Peg,  $\alpha$  Tri e  $\alpha$  Cep, si prosegue il programma di ricerche sulle stelle a righe metalliche iniziato allo spettrografo Zeiss applicato al riflettore di 1 m dell'Osservatorio di Merate, nella combinazione camera media, che dà una dispersione di 35 Å/mm ad  $H_\gamma$ . La presa degli spettrogrammi, la calibrazione e la riduzione dei microfotogrammi sono state eseguite con i soliti criteri <sup>(1)</sup>.

Nella tabella I sono riportati i dati relativi alle stelle studiate.

TABELLA I

Stella	Spettro	Vel. di rot. (°)	$m_v$	$M_v$
$\mu$ Ori	A3(K Ca II) A7(met) A8(H)	(< 50)	4.19	1.34
$\alpha$ Cep	A7 V	240	2.60	2.00
$\alpha$ Tri	F6 IV	90	3.58	2.08
$\tau$ Peg	A7 III	150	4.65	2.05
$\omega$ Pis	F4 IV	30	4.03	0.83
$\theta$ Per	F7 V	25	4.22	3.82

(\*) Ricevuta il 27 giugno 1956.

I tipi spettrali sono dati da Morgan, le velocità di rotazione sono state determinate da Slettebak, eccetto che per  $\mu$  Ori, per cui è stata da noi stimata confrontando l'aspetto dei profili di alcune righe del Fe I e Fe II e del Mg II con quello di stelle dello stesso tipo e di bene determinata velocità di rotazione. Le grandezze assolute sono state calcolate impiegando le parallassi date da Schlesinger (<sup>3</sup>).

$\mu$  Ori,  $\omega$  Pis e  $\delta$  Per sono state studiate col metodo della curva di crescita. Nella tabella II sono riportati i dati necessari alla loro costruzione. Per  $\alpha$  Cep,  $\alpha$  Tri,  $\tau$  Peg affette da forte velocità di rotazione, ci siamo limitati a determinare le larghezze equivalenti delle righe dell'idrogeno e della K del Ca II (Tabella III).

TABELLA II

$\lambda$	Mult.	log Nf	Pot. ecc.	$\mu$ Ori	$\delta$ Per.	$\omega$ Pis	$-\log \frac{A}{\lambda}$
Mg I							
4167.28	15	4.22	4.33	4.30	3.93	—	b
Mg II							
4481.33	4	1.22	8.33	3.81	4.00	—	b
4481.13		1.42					
Si II							
4130.88	3	—	9.80	4.05	—	—	b
Ca I							
4454.79	4	3.92	1.88	3.99	3.84	—	b
4435.69	4	3.02	1.88	4.24	—	—	
4425.44	4	3.35	1.88	4.21	4.36	4.41	b
4455.88	4	3.07	1.88	—	3.95	—	b
4318.65	5	3.13	1.88	—	4.54	4.06	b
Sc II							
4246.83	7	(3.20)	0.31	3.99	4.07	3.99	b
4374.45	14	2.75	0.60	3.91	—	—	b
4354.61	14	1.52	0.60	—	4.33	4.21	b
4314.08	15	2.88	0.60	4.29	—	—	
4279.93	15	[1.70]	0.60	4.25	—	—	b
4670.40	24	1.79	1.35	—	4.27	—	
Ti I							
4008.93	12	(2.20)	0.02	4.71	—	—	
3958.21	13	—	0.05	4.53	—	—	
4512.73	42	2.04	0.83	4.77	—	—	
4527.30	42	2.29	0.81	—	—	4.19	

## segue tabella II

$\lambda$	Mult.	log Nf	Pot. ecc.	$\mu$ Ori	$\vartheta$ Per.	$\omega$ Pis	$-\log \frac{A}{\lambda}$
Ti II							
4012.37	11	—	0.57	4.10	4.09	4.01	
4395.03	19	3.31	1.08	3.98	—	—	
4450.49	19	2.64	1.08	—	—	4.22	
4443.80	19	3.13	1.08	4.20	4.19	4.01	
4294.10	20	—	1.08	4.20	4.02	3.93	
4287.89	20	2.15	1.10	4.23	4.16	4.09	
4501.27	31	3.20	1.13	4.24	—	4.03	
3913.46	34	—	1.11	4.11	—	—	
4417.72	40	(2.65)	1.16	—	4.21	—	
4300.05	41	—	1.18	3.94	—	—	
4312.86	41	3.01	1.18	4.20	4.07	3.89	
4563.76	50	3.09	1.22	3.91	—	4.14	
4589.96	50	2.26	1.23	—	4.51	—	
4418.34	51	1.91	1.23	—	—	4.11	
4571.97	82	3.28	1.56	4.22	4.33	4.14	
4028.23	87	—	1.88	4.32	4.35	—	
4330.26	94	1.32	2.03	—	4.39	—	
4316.80	94	1.37	2.04	—	4.75	4.60	
4163.64	105	(2.60)	2.58	4.24	4.39	4.28	
4411.08	115	[1.54]	3.08	4.29	—	—	
V II							
4002.94	9	—	1.42	—	4.32	—	
4183.43	37	1.45	2.04	4.48	—	4.26	b
Cr I							
4274.80	1	(3.95)	0.00	4.21	4.00	4.06	
4254.35	1	4.14	0.00	4.01	4.13	4.15	
4391.75	22	1.59	1.00	—	—	4.41	
Cr II							
4179.43	26	2.20	3.81	4.01	—	—	
4242.38	31	—	3.85	4.25	4.10	4.12	
4252.63	31	(0.98)	3.84	4.31	—	—	
4261.92	31	(1.60)	3.85	4.13	—	—	
4269.28	31	(1.07)	3.84	4.40	—	—	
4284.21	31	—	3.84	4.10	—	—	
4558.66	44	2.17	4.06	4.62	4.33	—	
4588.21	44	2.03	4.05	—	4.46	4.65	
4038.03	194	—	6.46	4.78	—	—	
Mn I							
4033.07	2	—	0.00	—	3.98	3.90	
4034.49	2	—	0.00	4.32	4.12	4.07	
4083.63	5	2.96	2.15	—	4.13	—	b
4082.95	5	2.66	2.17	—	4.26	—	b
4035.73	5	—	2.13	4.35	4.12	4.01	
4041.36	5	3.30	2.11	4.33	—	—	
4048.76	5	—	2.15	4.72	—	—	
4458.26	28	—	3.06	—	3.94	—	

## segue tabella II

$\lambda$	Mult.	log Nf	Pot. ecc.	$\mu$ Ori	$-\log \frac{A}{\lambda}$	$\wp$ Per.	$\omega$ Pis
<b>Fe I</b>							
4489.74	2	3.03	0.12	—	4.10	4.14	
3920.26	4	[4.05]	0.12	4.15	—	—	
3922.91	4	[4.45]	0.05	4.18	—	—	
3927.92	4	—	0.11	4.14	—	—	
3930.30	4	[4.55]	0.09	4.29	—	—	
4152.17	18	(2.75)	0.95	4.34	4.05	4.24	
4531.16	39	3.24	1.48	—	4.11	4.19	
4602.94	39	3.05	1.48	—	4.95	4.34	
4383.55	41	5.21	1.48	3.90	—	—	
4404.75	41	4.90	1.55	4.08	3.89	3.92	
4229.76	41	2.22	1.48	—	4.28	4.00	
4294.13	41	—	1.48	4.20	4.02	3.93	
4202.03	42	—	1.48	4.00	3.92	4.00	
4250.79	42	4.97	1.55	3.94	3.98	3.91	
4147.67	42	2.82	1.48	—	4.26	4.47	
4045.81	43	5.26	1.48	3.90	3.66	3.89	
4063.60	43	5.00	1.55	3.98	3.74	3.90	
4071.74	43	4.86	1.60	4.04	3.79	3.97	
4143.87	43	4.55	1.55	3.97	3.88	3.98	
4005.25	43	(4.30)	1.55	3.95	3.71	3.86	
4132.06	43	4.37	1.60	4.04	3.88	3.90	
4528.62	68	(4.50)	2.17	4.06	—	—	
4494.57	68	3.53	2.19	4.37	4.14	4.15	
4459.12	68	3.25	2.17	—	3.99	—	
4447.72	68	3.37	2.21	4.44	4.26	4.64	
4430.61	68	3.07	2.21	—	4.15	—	
4482.26	68	2.96	2.21	3.81	3.96	—	b
4408.42	68	3.03	2.19	4.75	—	—	
4282.41	71	3.35	2.17	4.29	4.21	4.09	
4009.71	72	(3.00)	2.21	4.40	4.26	—	
4001.67	72	(2.75)	2.17	4.71	4.30	—	
4235.94	152	4.31	2.41	4.00	3.94	3.99	
4250.12	152	4.09	2.46	3.94	3.89	—	
4198.31	152	(3.90)	2.39	3.92	3.73	3.89	
4187.80	152	4.18	2.41	4.00	3.94	3.94	
4187.04	152	3.96	2.44	4.06	—	—	
4299.25	152	3.68	2.41	4.00	—	—	
4210.35	152	3.57	2.47	4.01	4.20	4.26	
4191.44	152	4.15	2.46	4.13	3.92	4.26	
4222.22	152	3.14	2.44	4.32	4.26	4.28	
4049.34	218	(1.90)	2.58	4.31	—	—	
4184.22	274	—	2.72	4.24	—	—	
3983.96	277	(3.00)	2.72	4.10	—	—	
4021.87	278	—	2.75	4.37	4.24	—	
4891.50	318	4.12	2.84	3.69	—	—	
4890.76	318	3.66	2.85	—	—	—	
4872.14	318	3.56	2.85	4.09	4.09	4.41	
4871.32	318	3.76	2.85	—	4.33	4.48	
4878.22	318	—	2.85	—	—	3.79	
4443.20	350	—	2.85	—	4.15	3.94	
4476.02	350	3.24	2.82	4.24	4.40	—	
4245.27	352	(2.95)	2.82	4.33	4.28	4.28	

*segue tabella II*

$\lambda$	Mult.	log Nf	Pot. ecc.	$\mu$ Ori	$\delta$ Per.	$\omega$ Pis
$-\log \frac{A}{\lambda}$						
<i>segue Fe I</i>						
4181.76	354	(3.42)	2.82	4.28	3.95	3.99
4184.89	355	(2.95)	2.82	4.14	—	—
4213.65	355	(2.75)	2.82	4.30	4.52	4.28
4134.68	357	(3.30)	2.82	—	3.89	4.04
4390.95	414	2.57	3.00	—	—	3.97
4000.47	426	—	—	4.49	—	—
4199.10	522	(3.65)	3.03	4.24	—	4.03
4074.79	524	(2.95)	3.03	—	4.30	—
4017.16	527	—	3.03	4.20	—	—
4073.76	558	—	3.25	4.72	—	—
4067.99	559	(3.10)	3.20	—	—	4.03
4018.28	560	—	3.25	4.40	4.12	—
4285.44	597	—	3.22	4.56	—	—
4299.25	597 e 152	—	3.25	4.00	—	—
4377.96	645	{0.15}	3.26	—	4.44	4.40
3986.18	655	(2.50)	3.25	4.35	—	—
4238.02	689-696	2.85	3.40	4.15	—	—
4208.61	696-689	—	3.38	4.26	—	—
4264.21	692	—	3.35	4.40	—	—
4247.43	693	(3.10)	3.22	4.26	—	—
4238.82	693	(3.00)	3.38	4.15	4.20	4.03
4217.55	693	2.95	3.42	4.48	4.30	4.47
4133.87	698	2.90	3.35	4.30	—	—
4090.08	700	—	3.38	—	4.31	4.31
4051.97	700	(2.40)	3.38	4.72	—	—
4137.00	726	(2.85)	3.40	4.47	—	—
4219.36	800	(3.25)	3.56	4.30	4.26	—
4611.29	819	(2.75)	3.64	—	4.51	4.67
4484.22	828	2.71	3.59	—	4.42	—
4243.37	906	—	3.62	4.25	—	—
4265.26	993 e 994	1.85	3.92	4.40	—	—
<i>Fe II</i>						
3938.29	3	—	1.66	4.18	—	—
4128.73	27	1.43	2.57	4.05	—	—
4273.32	27	—	2.77	4.06	—	—
4303.18	27	2.46	2.69	—	—	3.86
4258.15	28	—	2.69	3.99	—	—
4296.57	28	2.26	2.69	4.18	—	—
4002.07	29	(1.10)	2.77	4.57	4.32	—
4472.92	37	1.55	2.83	4.36	—	—
4489.18	37	1.98	2.82	4.06	4.09	4.03
4491.40	37	2.10	2.84	3.94	—	—
4515.34	37	2.35	2.83	4.06	4.30	4.33
4520.22	37	2.37	2.79	4.04	—	—
4555.89	37	2.43	2.82	4.19	—	—
4582.83	37	1.57	2.83	4.19	—	4.15
4629.34	37	2.64	2.79	—	—	4.35
4508.28	38	2.52	2.84	3.95	—	4.15
4522.63	38	2.86	2.83	4.06	4.10	4.17
4541.52	38	1.90	2.84	4.37	—	4.39

*segue tabella II*

$\lambda$	Mult.	log Nf	Pot. ecc.	$\mu$ Ori	$\delta$ Per.	$\omega$ Pis	
<i>segue Fe II</i>							
4576.33	38	1.83	2.83	—	4.31	4.29	
4583.83	38	2.84	2.80	4.19	—	4.04	
4138.40	39	[0.90]	2.82	4.90	—	—	
4656.97	43	—	2.88	4.56	—	—	
4663.70	44	0.95	2.88	4.47	—	—	
3960.89	212	—	7.24	4.18	—	—	
<i>Ni I</i>							
4604.99	98	2.36	3.47	—	4.65	—	
<i>Ni II</i>							
4015.50	12	(0.60)	4.01	4.40	—	—	
<i>Sr II</i>							
4077.71	1	4.17	0.00	3.89	3.78	3.92	b
4215.52	1	4.06	0.00	3.95	3.91	3.90	b
<i>Y II</i>							
4374.94	13	—	0.41	3.91	—	—	b
<i>Zr II</i>							
4211.88	15	(1.10)	0.52	4.42	4.59	4.62	b
4379.77	88	(1.10)	1.53	4.63	—	4.28	b
<i>Ba II</i>							
4554.03	1	3.62	0.00	4.24	—	—	b
<i>Ce II</i>							
4142.40	10	(0.20)	0.22	—	4.07	—	b
4165.60	10	(1.56)	0.43	4.67	4.28	4.67	b
<i>Eu II</i>							
4205.05	1	(1.30)	0.00	4.26	4.07	—	b

Le intensità delle righe di Balmer, confrontate con quelle relative ad  $\alpha$  Cep e a  $\tau$  Peg, rispettivamente A7 V e A7 III, indicano per  $\mu$  Ori un tipo A7 o A8 V. L'intensità della K del Ca II è invece un po' più bassa di quella corrispondente al tipo A7. Lo spettro di righe metalliche di  $\mu$  Ori è invece notevolmente più intenso di quello relativo ad  $\alpha$  Cep e a  $\tau$  Peg.

TABELLA III

Stella	H $\beta$	H $\gamma$	H $\delta$	H + H7	K	H8
$\mu$ Ori	16.0	19.0	17.5	18.8	3.9	14.2
$\alpha$ Cep	15.4	22.0	19.5	19.5	6.0	13.9
$\alpha$ Tri	4.7	5.1	6.0	9.4	7.7	
$\tau$ Peg	—	15.8	14.5	21.0	4.2	
$\omega$ Pis	5.4	7.8	6.5	—	—	—
$\theta$ Per	5.7	6.0	5.4	13.7	(9.5)	

Il confronto dei profili osservati per le righe di Balmer, con quelli calcolati da Verweij (<sup>4</sup>) permette di determinare i valori della temperatura degli strati in cui queste righe si formano; il valore della gravità può determinarsi solo per  $\mu$  Ori e  $\tau$  Peg; per  $\theta$  Per,  $\alpha$  Pis e  $\alpha$  Tri, di tipo spettrale eguale o più avanzato che F5, la dipendenza delle righe di Balmer dalla gravità diviene trascurabile e praticamente non c'è differenza apprezzabile fra i profili teorici delle nane e delle giganti. Il confronto non è stato fatto per  $\alpha$  Cep, a causa della forte velocità di rotazione che ne modifica i profili.

I risultati sono :

TABELLA IV

Stella	$\theta$	Log g
$\mu$ Ori	0.6	4
$\tau$ Peg	0.63	4
$\alpha$ Tri	0.9	—
$\theta$ Per	0.78	—
$\omega$ Pis	0.78	—

#### RISULTATI TRATTI DALLE CURVE DI CRESCENZA.

In fig. 1 sono riportate le curve di crescita per  $\mu$  Ori,  $\theta$  Per e  $\omega$  Pis. I punti relativi alle due stelle normali cadono tutti sul ramo di smorzamento e sul tratto piano, mentre per  $\mu$  Ori abbracciano la fine del ramo Doppler e il tratto piano.

Le velocità di turbolenza derivate dalla traslazione verticale data alla curva empirica per riportarla sulla teorica è notevolmente alta per  $\mu$  Ori, ancora più alta che per le altre stelle a righe metalliche precedentemente studiate. La costante di smorzamento è invece di un ordine di grandezza inferiore a quella delle due stelle F nane. Pertanto si ritrova

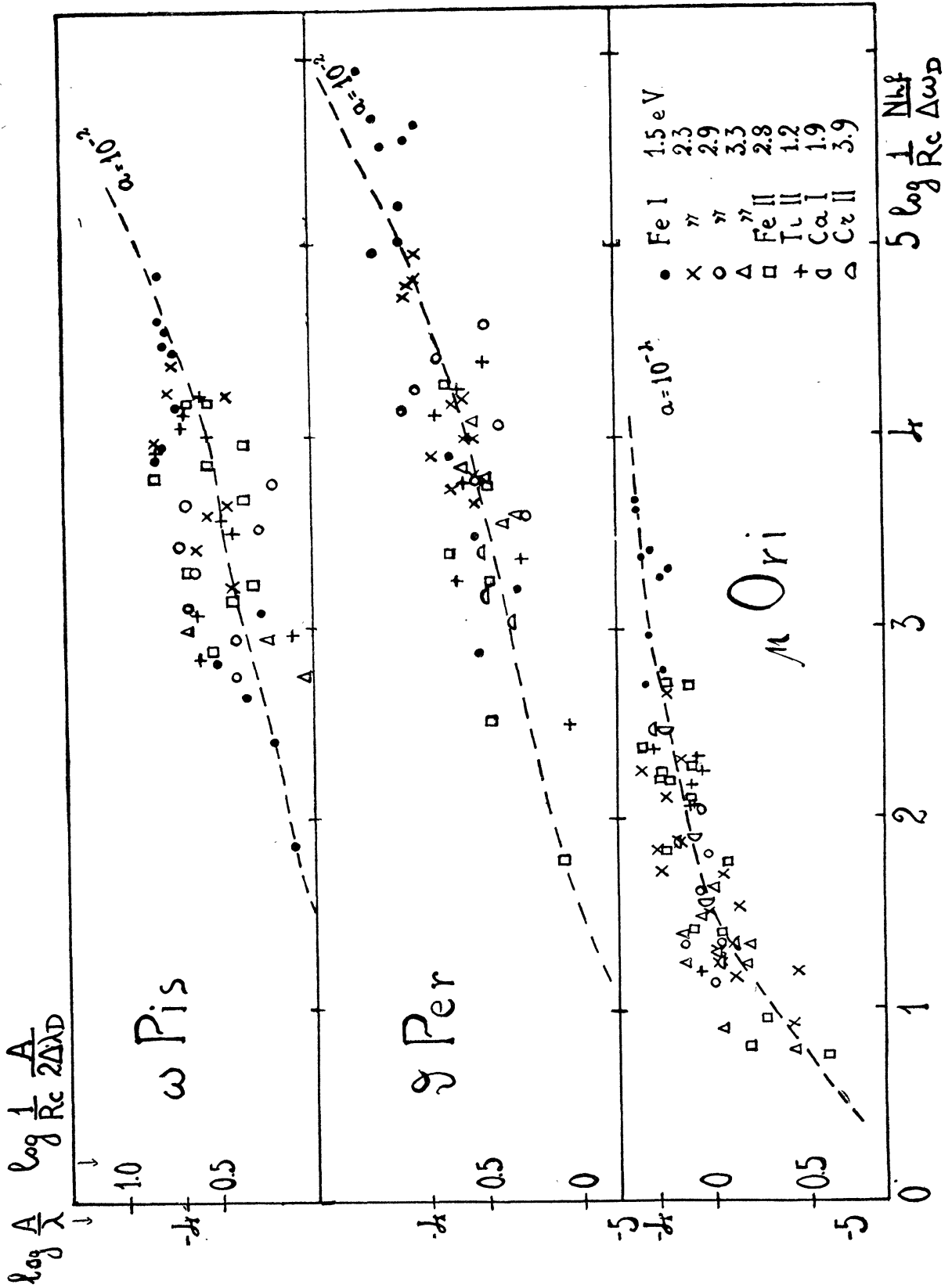


Fig. 1



il comportamento comune alle stelle a righe metalliche, la cui curva di crescita presenta l'aspetto caratteristico delle stelle supergiganti, e cioè alta velocità di turbolenza e bassa costante di smorzamento, in contrasto netto con l'aspetto delle righe di Balmer, indicanti invece caratteristiche di stella nana. D'altra parte la posizione che  $\mu$  Ori occupa nel diagramma di Russell è leggermente superiore alla retta delle nane, se la consideriamo una stella di tipo spettrale A7 o A8; nella classificazione di Morgan rientrerebbe nella classe IV o meglio III - IV.

Nella tabella V sono date le velocità di turbolenza e le costanti di smorzamento.

TABELLA V

Stella	$\xi_T$ in km/sec	$\gamma$ in sec <sup>-1</sup>
$\mu$ Ori	8.7	$1.3 \cdot 10^7$
$\theta$ Per	2.7	$4.4 \cdot 10^8$
$\omega$ Pis	3.5	$5.4 \cdot 10^8$

Con l'usuale procedimento si determinano le abbondanze degli elementi rispetto al Sole. Come è noto dalla curva di crescita si ricava direttamente il rapporto  $\frac{N_{r,s} h_*}{N_{r,s} h_{\odot}}$  fra il numero di atomi di un dato elemento, nello stato ionizzato  $r$  ed eccitato  $s$ , presenti in una colonna di base  $1 \text{ cm}^2$  e altezza rispettivamente eguale all'altezza efficace dell'atmosfera della stella e del Sole. Per risalire da questo al rapporto fra il numero totale di atomi ionizzati  $r$  volte, e cioè  $\frac{N_r h_*}{N_r h_{\odot}}$  occorre applicare la formula di Boltzmann, e quindi conoscere la temperatura di eccitazione. Poichè non è stato possibile determinare quest'ultima impiegando i dati relativi ai vari stati eccitati del Fe I, a causa dello scarso numero di gruppi di righe, ristretti entro un intervallo di potenziali di eccitazione inferiore ai 2 eV, si è dovuto assumere un valore della temperatura di eccitazione in base alle seguenti considerazioni: è nota la temperatura relativa agli strati in cui si formano le righe dell'idrogeno; questa è stata infatti determinata confrontando il profilo osservato con quello calcolato teoricamente da Verweij. Questa temperatura per la gran maggioranza delle stelle concorda bene col valore della temperatura effettiva quale si ricava dalla relazione di Kuiper in funzione del tipo spettrale (<sup>5</sup>). Poichè la temperatura d'eccitazione delle righe è sempre molto più bassa, con valori vicini a quelli della temperatura superficiale, si è assunto per la temperatura di eccitazione un valore ricavato applicando la relazione

di Milne, e cioè moltiplicando il valore di  $\theta$  dato dalle righe dell'idrogeno, per 1.19. Si ottiene perciò :

$\mu$ Ori	$\theta_{\text{ecc}} = 0.72$
$\theta$ Per	» 0.93
$\omega$ Pis	» 0.93

mentre per il Sole si ha  $\theta_{\text{ecc}} = 1.03$  ( $^{\circ}$ ).

Ne segue per le abbondanze relative i valori dati nella Tabella VI :

TABELLA VI

Elemento	$\log \frac{N_r h_*}{N_r h_{\odot}}$		
	$\mu$ Ori	$\theta$ Per	$\omega$ Pis
Sc II	— 0.88	1.12	—
Ti II	— 0.75	1.08	0.80
Cr I	— 1.48	0.50	— 0.34
Cr II	— 0.24	0.71	—
Mn I	— 1.81	—	—
Fe I	— 1.92	0.53	— 0.23
Fe II	0.13	1.11	1.17
Ni II	0.05	—	0.56
Sr II	0.28	—	—

Introducendo le abbondanze relative del Fe I e del Fe II rispetto al Sole e le temperature di eccitazione, nella formula di Saha, si determina la pressione elettronica rispetto al Sole. Si trova ( $\log P_{e\odot} = 1.51$  ( $^{\circ}$ )).

TABELLA VII

Stella	$\log \frac{P_e^*}{P_e \odot}$	$\log P_e^*$
$\mu$ Ori	0.80	2.31
$\theta$ Per	0.33	1.84
$\omega$ Pis	— 0.49	1.02

Applicando la legge di Saha ai valori trovati per le abbondanze relative degli elementi in un dato stato di ionizzazione, si può risalire alle abbondanze totali. Precisamente si ha  $N = N_0 + N_1 + N_2 + \dots$  e poichè

già gli atomi due volte ionizzati sono in quantità assolutamente trascurabile si può scrivere

$$\frac{N h_*}{N h_{\odot}} = \frac{N_o h_*}{N_o h_{\odot}} \frac{(1 + N_1/N_o)_*}{(1 + N_1/N_o)_{\odot}} = \frac{N_1 h_*}{N_1 h_{\odot}} \frac{(1 + N_o/N_1)_*}{(1 + N_o/N_1)_{\odot}}$$

Si ottiene così

TABELLA VIII

Elemento	$\log \frac{N h_*}{N h_{\odot}}$		
	$\mu$ Ori	$\theta$ Per	$\omega$ Pis
Sc	-0.95	1.08	—
Ti	-0.82	1.04	0.72
Cr	-0.37	0.62	0.99
Mn	-0.42	—	—
Fe	-0.58	0.63	0.50
Ni	-0.75	—	—
Sr	0.28	—	0.56

Dalla media dei valori di  $\frac{N h_*}{N h_{\odot}}$  si ricava il rapporto  $\frac{k_{\odot}}{k_*}$  delle opacità delle atmosfere solare e stellare. Nettamente inferiore alla media appare il rapporto relativo a Ti e Sc per  $\mu$  Ori, riconfermando la già osservata deficienza di questi elementi, caratteristica comune a quasi tutte le stelle a righe metalliche. Perciò nella determinazione del valore medio di  $\frac{k_{\odot}}{k_*}$  per  $\mu$  Ori, non si tiene conto del Ti e dello Sc.

Si trova

$$\log \frac{k_{\odot}}{k_*} = \begin{array}{ll} -0.13 & \text{per } \mu \text{ Ori} \\ 0.81 & \text{per } \theta \text{ Per} \\ 0.71 & \text{per } \omega \text{ Pis} \end{array}$$

Cioè l'opacità di  $\mu$  Ori risulta circa eguale a quella del Sole, mentre  $\theta$  Per ed  $\omega$  Pis, malgrado il loro carattere di stelle nane appaiono circa 6 volte più trasparenti. Questo comportamento indica che la temperatura dell'atmosfera di  $\mu$  Ori è notevolmente maggiore di quella di  $\theta$  Per e di  $\omega$  Pis, ed il maggior contributo all'assorbimento continuo è dato dall'ionizzazione dell'idrogeno, mentre nelle altre due prevale l'assorbimento dell'idrogeno negativo.

#### STIMA DELL'ABBONDANZA RELATIVA DELL'IDROGENO RISPETTO AL SOLE.

Una stima dell'abbondanza dell'idrogeno rispetto al Sole è stata fatta con il metodo basato sul confronto degli assorbimenti nelle ali delle righe di Balmer stellari e solari (<sup>7</sup>).

Dalla determinazione della distanza  $\Delta\lambda$  dal centro della riga, a cui la riga stellare e solare presentano il medesimo assorbimento, segue per il rapporto fra numero di atomi di idrogeno neutro nello stato eccitato 2 contenuti per unità di volume nelle rispettive atmosfere:

$$\log \frac{N_{0,2*}}{N_{0,2\odot}} = \log \frac{P_e \odot T_* k_*}{P_{e*} T_{\odot} k_{\odot}} + 2,5 \log \frac{\Delta \lambda_*}{\Delta \lambda_{\odot}}$$

Poichè sono in giuoco gli strati in cui si formano le righe dell'idrogeno le temperature da introdurre nella formula sono probabilmente quelle determinate direttamente dai profili di  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$ ,  $H_{\delta}$ . In realtà il dover assumere per  $T$  un valore medio relativo a tutta l'atmosfera, introduce una notevole incertezza nel metodo. Lo stesso appunto si potrebbe fare riguardo ai valori della pressione elettronica e dell'opacità, che sono anch'essi dei valori medi, ma nella formula entra solo il rapporto  $P_e/k$  che è praticamente indipendente dalla profondità ottica.

Per i profili delle righe di Balmer solari si sono presi quelli determinati da De Jager (<sup>8</sup>) per  $\sin \theta = 0.74$ . Si trova

$$\frac{\Delta \lambda_*}{\Delta \lambda_{\odot}} = 4,99 \text{ per } \mu \text{ Ori}, \quad \frac{\Delta \lambda_*}{\Delta \lambda_{\odot}} = 2,11 \text{ per } \theta \text{ Per}; \quad \frac{\Delta \lambda_*}{\Delta \lambda_{\odot}} = 2,18 \text{ per } \omega \text{ Pis.}$$

Introducendo questi valori nella relazione scritta sopra si trovano i valori di  $\log \frac{N_{0,2*}}{N_{0,2\odot}}$  e applicando le leggi di Boltzmann e Saha si ha

$$\frac{N_*}{N_{\odot}} = \frac{N_{0,2*}}{N_{0,2\odot}} \frac{\left( \frac{N_0}{N_{0,2}} + \frac{N_1}{N_{0,2}} \right)_*}{\left( \frac{N_0}{N_{0,2}} + \frac{N_1}{N_{0,2}} \right)_{\odot}}$$

L'incertezza nel valore da assumere per  $T$  si ripercuote in modo notevole sul valore di  $\log \frac{N_*}{N_{\odot}}$  poichè nelle formule di Saha e di Boltzmann la differenza  $\theta_* - \theta_{\odot}$  viene moltiplicata rispettivamente per 3.39 eV e per 10.16 eV. In tabella IX sono dati i risultati ottenuti impiegando per  $\theta$  il valore ricavato dai profili delle righe; è dato inoltre il valore di  $\theta$  che rende il rapporto  $\frac{N_*}{N_{\odot}}$  il più vicino ad uno, come è plausibile che sia. Si

TABELLA IX

Stella	$\log \frac{N_{0,2*}}{N_{0,2\odot}}$	$\log \frac{N_*}{N_{\odot}}$			
		$\theta$ (H)		$\theta$	
$\mu$ Ori	1.23	-0.77	0.6	0.23	0.7
$\theta$ Per	-0.31	-0.31	0.78	0.18	0.85
$\omega$ Pis	0.66	0.27	0.78	0.27	0.78

trova che i valori di  $\theta$  che rendono questo rapporto circa eguale ad 1, entro gli ordini degli errori, sono un po' più alti di quelli indicati dalle ali delle righe, per  $\mu$  Ori e  $\theta$  Per. In accordo invece per  $\omega$  Pis.

Date le incertezze da cui sono affette le grandezze che entrano nella determinazione, e il dover assumere dei valori medi, relativi a strati atmosferici medi, non meglio specificati, si può concludere solo che il numero di atomi di idrogeno per grammo di materia stellare è dello stesso ordine di grandezza nelle stelle qui studiate e nel Sole.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) Hack - Contributi Oss. Milano-Merate, n. 60, 65, 74, 1955.
- 2) Slettebak - Ap. J. **121**, 653, 1955.
- 3) Schlesinger - General Catalogue of stellar parallaxes. Yale Un. Obs.
- 4) Verweij - Publ. Astr. Inst. Amsterdam, n. 5, 1936.
- 5) Kuiper - Ap. J. **88**, 429, 1938.
- 6) Wright - Publ. Victoria **8**, 1, 1951.
- 7) Greenstein - Ap. J. **107**, 151, 1948.
- 8) De Jager - Rech. Astr. de l'Obs. de Utrecht XIII, 1, 1952.

