

## STELLE A RIGHE FORTI E STELLE A RIGHE DEBOLI

Confronto fra  $\eta$  Boo (GO IV st) e  $\zeta$  Her (GO IV wk)

Nota di MARGHERITA HACK (\*)

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

RIASSUNTO. — Si fa un confronto quantitativo delle intensità delle righe spettrali di  $\eta$  Boo (GO IV st) e  $\zeta$  Her (GO IV wk). La suddivisione di Roman delle stelle F4-G5 in 2 gruppi, a righe forti (st) e a righe deboli (wk), è basata su criteri soltanto qualitativi; poiché le differenze fra i due gruppi sono molto piccole, si ritiene utile uno studio quantitativo di un numero abbastanza grande di stelle dei due gruppi. I nostri risultati sono confrontati con quelli delle analoghe ricerche di Wellmann e di M. e B. Schwarzschild. I primi risultati mostrano che il criterio che caratterizza i due gruppi non è un generale indebolimento delle righe metalliche negli spettri wk, ma piuttosto la maggior forza della banda G. Quest'ultimo criterio è quello che distingue anche i due gruppi di stelle G8-K1 aventi le stesse caratteristiche cinematiche delle stelle a righe forti e a righe deboli. Sembra quindi che il solo criterio della banda G sia sufficiente per distinguere in due gruppi tutte le stelle F4-G5 e G8-K1, aventi le stesse proprietà cinematiche.

ABSTRACT. — The subdivision of the F4-G5 stars in two classes, the strong lines and the weak lines stars, has been performed by N. G. Roman by qualitative criteria. Since the differences between the two classes are very small, a quantitative study of a fairly large number of objects is useful. A quantitative comparison for the intensities of the spectral lines of  $\eta$  Boo (GO IV st) and  $\zeta$  Her (GO IV wk) is done, and our results are compared with the similar researches of Wellmann and M. and B. Schwarzschild. These first results show that the criterion which characterizes the two classes is not the general weakening of the metallic lines in the wk stars spectra, but rather the larger strength of the CH features. This last criterion distinguishes also the two groups of stars G8-K1 having the same kinematical characteristics of the wk and st stars. It seems therefore that the only criterion of the G band is sufficient for distinguish in two groups all the stars F4-G5 and G8-K1, having the same kinematical properties.

In una nota comparsa nel 1950, N. G. Roman (<sup>1</sup>) dallo studio spettroscopico di un centinaio di stelle di tipi compresi fra F4 e G5, notava come le stelle di queste classi spettrali potevano essere suddivise in due gruppi, circa eguali di numero, distinguibili spettroscopicamente, pure occupando le stesse regioni del diagramma di Russell. A pari intensità della 4227 del Ca I le stelle del secondo gruppo mostrerebbero, secondo la Roman, le righe metalliche generalmente più deboli che quelle del primo gruppo. Quale criterio per riconoscere le stelle dei due gruppi viene suggerito che a pari intensità della 4227, il rapporto  $H_{\gamma}/4325$  è

(\*) Ricevuta il 5 settembre 1957.

notevolmente più piccolo nelle stelle a righe deboli. Sebbene le differenze spettroscopiche fra i due gruppi siano molto piccole, una riprova della realtà fisica dell'esistenza dei due gruppi è data dallo studio della distribuzione delle loro velocità spaziali, che è nettamente diversa: le stelle a righe forti presentano un massimo di frequenza fra 20 e 30 km/sec, e nessuna con velocità superiore ai 70 km/sec, le stelle a righe deboli invece hanno una distribuzione quasi uniforme fra 20 e 70 km/sec, ed un massimo secondario a 105 km/sec.

Nel 1952 la stessa Roman <sup>(2)</sup> estendeva le sue ricerche a stelle di tipo G5-K5 e trovava che anche fra le stelle da G8 e K1 si hanno due gruppi distinguibili spettroscopicamente per la forza della banda G e della 4227 del Ca I. Il gruppo caratterizzato dalla maggiore intensità della banda G e della 4227 presenta la stessa distribuzione delle velocità spaziali delle stelle F4-G5 classificate a righe deboli, mentre l'altro ha la stessa legge di distribuzione delle stelle a righe forti. Perciò, malgrado che il nome non abbia più il suo vero significato, la Roman propone di riunire i quattro gruppi in due, e di chiamarli, da F4 a K1, rispettivamente a righe forti e a righe deboli.

Dato che le differenze spettrali fra i due gruppi sono molto piccole, e la classificazione di Roman è stata fatta visualmente, con criteri qualitativi, su spettri di dispersione 125 Å/mm, è interessante ripetere il confronto fra coppie di stelle, a righe forti (st) e deboli (wk), classificate secondo i criteri di Morgan come appartenenti alla stessa classe spettrale e di luminosità, impiegando una dispersione maggiore e criteri quantitativi. Una prima coppia,  $\alpha$  C Mi (F5 IV st) e 110 Her (F5 IV wk), è stata studiata da Wellmann <sup>(3)</sup>. Il risultato è che la banda G è 2 volte più intensa in 110 Her, e le righe dei metalli neutri ed ionizzati sono dal 10 al 12% più forti sempre in 110 Her, cioè nella stella cosiddetta a righe deboli, mentre nessuna apprezzabile differenza si ha fra i profili di H $\gamma$ . Va notato che secondo l'ultima revisione della classificazione di Morgan <sup>(4)</sup>  $\alpha$  C Mi e 110 Her sono classificate rispettivamente F5 IV-V e F6 V. Perciò la piccola differenza di tipo spettrale fra le due stelle può spiegare in parte le contraddizioni coi risultati di Roman.

Data la piccolezza degli effetti osservabili e la difficoltà di distinguere due stelle di identico tipo spettrale e diverse caratteristiche st e wk da quelle di tipo leggermente diverso ed uguale gruppo, riteniamo sia necessario lo studio quantitativo di parecchi degli oggetti classificati st o wk. Si studia qui la coppia  $\eta$  Boo (G0 IV st, velocità spaziale 15 km/sec) e  $\zeta$  Her (G0 IV wk, velocità spaziale 57 km./sec). Il tipo spettrale e la classe di luminosità sono quelli assegnati da Morgan nella citata revisione.

E' nota la difficoltà di mettere in evidenza piccole differenze di intensità; anche le differenze da lastra a lastra di uno stesso spettro sono spesso più forti delle differenze che si vogliono misurare in questo caso. Fra le

varie cause d'errore notiamo le incertezze nel tracciamento del continuo, i possibili errori portati dalla curva di calibrazione, che non essendo mai presa in condizioni identiche a quella dello spettro stellare può influire in modo diverso a seconda della diversa densità, le piccole differenze di risoluzione da spettro a spettro e nella messa a punto del microfotometro, l'influenza della grana. Per ridurre al minimo queste cause d'errore si sono confrontate direttamente due coppie di spettri, ciascuna presa su una stessa lastra, con tempi di posa tali da avere densità quasi eguali per i due spettrogrammi. Così gli errori derivanti dalla curva di calibrazione influiscono in ugual modo permettendo un valido confronto relativo. Il tracciamento del continuo è stato fatto in modo da passare per le stesse finestre. La possibile obiezione che i blends di righe siano di notevolmente diversa intensità da stella a stella così da non presentare le stesse finestre sembra senza fondamento, tanto simile è in ogni punto dello spettro l'andamento generale delle righe, gruppi di blends e finestre.

Gli spettrogrammi sono stati presi allo spettrografo Zeiss dell'Osservatorio di Merate, con la camera lunga (Tabella I) che dà ad  $H_\gamma$  una dispersione di 20 Å/mm, e sono stati registrati direttamente ad intensità, con rapporto d'ingrandimento 100, impiegando il microfotometro del Department of Astronomy dell'Università di Berkeley in California.

TABELLA I

Lastra	Spettro N.	stella	tempo posa	fenditura
H90 Kodak0a-0	293	$\eta$ Boo	40 <sup>m</sup>	25 micron
H90 Kodak0a-0	294	$\zeta$ Her	60	»
H94 Ferrania Blù	301	$\eta$ Boo	90	»
H94 Ferrania Blù	302	$\zeta$ Her	60	»

Nella Tabella II sono riportate le larghezze equivalenti medie dei due spettrogrammi di ciascuna stella. Si sono confrontate solo le righe che erano ben misurabili su tutti e due gli spettrogrammi di ciascuna stella.

Notiamo che il rapporto  $H_\gamma/4325$  indicato dalla Roman quale criterio per distinguere le stelle st dalla wk ha i seguenti valori :

$$\begin{aligned}
 \text{per } \eta \text{ Boo} \quad H_\gamma/4325 &= 1.26 \text{ (rapporto delle profondità centrali)} \\
 &= 3.40 \text{ (rapporto delle intensità totali)} \\
 \text{per } \zeta \text{ Her} &1.10 \text{ (profondità centrali)} \\
 &2.70 \text{ (intensità totali)}
 \end{aligned}$$

e la differenza fra i due valori è quindi nel senso previsto.

TABELLA II

$\lambda$ mis.	identificazione	W (Angstrom)	
		$\zeta$ Her	$\eta$ Boo
4871.5	2.14 e 1.32 Fe I 318	0.18	0.29
4667.8	8.14 Fe I 554; 7.45 Fe I 822	0.38	0.26
4654.5	4.62 Fe I 554 e 821	0.23	0.13
4415.0	5.12 Fe I 41	0.57	0.40
4408.5	8.41 Fe I 68	0.39	0.30
4404.5	4.76 Fe I 41	0.81	0.70
4395.0	5.03 Ti II 19	0.45	0.36
4375.9	5.93 Fe I 2	0.35	0.23
4375.0	4.94 Y II 13	0.56	0.45
4371.0	1.28 Cr I 304	0.26	0.19
4370.0	9.77 Fe I 518; 69.40 Fe II 28	0.28	0.19
4367.5	7.90 Fe I 41; 7.58 Fe I 414	0.35	0.37
	7.65 Ti II 104		
4325.8	5.77 Fe I 42	0.73	0.59
4323.5	3.14 e 3.90 CH	0.39	0.29
4320.8	0.96 Ti II 41; 0.75 Sc II 15	0.18	0.25
4318.6	8.65 Ca I 5	0.12	0.09
4315.0	5.00 Fe I 71; 4.98 Ti II 41	0.33	0.27
4308.2	7.90 Fe I 42; 7.90 Ti II 41	0.96	0.84
	7.74 Ca I 5		
4282.4	2.40 Fe I 71	0.24	0.26
4280.5	0.40 Cr I 247	0.37	0.26
4274.8	4.80 Cr I 1	0.37	0.26
4273.5	3.31 Fe II 27; 3.87 Fe I 478	0.25	0.22
4271.8	1.76 Fe I 42	0.77	0.71
4260.5	0.47 Fe I 152	0.64	0.65
4254.3	4.34 Cr I 1	0.28	0.29
4242.0	2.38 Cr II 31	0.26	0.22
4236.0	5.94 Fe I 152	0.51	0.42
4233.5	3.60 Fe I 152	0.33	0.37
4230.0	9.76 Fe I 41	0.21	0.17
4227.0	6.72 Ca I 2; 7.43 Fe I 693	1.09	1.15
4217.6	7.55 Fe I 693	0.12	0.18
4215.8	5.52 Sr II 1	0.56	0.53
4213.7	3.65 Fe I 355	0.12	0.17
4202.0	2.03 Fe I 42	0.43	0.50
4198.1	8.31 Fe I 152; 8.97 Fe I 693	0.51	0.63
4191.4	1.44 Fe I 152	0.28	0.31
4182.0	1.76 Fe I 354	0.35	0.36
4177.6	7.60 Fe I 18; 7.54 Y II 14	0.32	0.42
4167.3	7.27 Mg I 15	0.37	0.36
4165.6	5.61 Ce II 10	0.13	0.13
4163.7	3.64 Ti II 105	0.13	0.14
4152.2	2.17 Fe I 18	0.33	0.33
4143.9	3.87 Fe I 43	0.53	0.55
4132.0	2.06 Fe I 43	0.56	0.54
4127.6	7.81 Fe I 558 e 727	0.36	0.38
	7.61 Fe I 357		
4118.5	8.90 Fe I 559; 8.55 Fe I 801	0.40	0.42
4092.5	2.51 Fe I 18	0.24	0.25
4083.5	3.63 Mn I 5; 2.94 Mn I 5	0.25	0.22
4079.3	9.42 Mn I 5; 9.24 Mn I 5	0.25	0.28

$\lambda_{\text{mis.}}$	identificazione	W (Angstrom)	
		$\zeta$ Her	$\eta$ Boo
4077.7	7.71 Sr II 1	0.43	0.45
4076.6	6.81 Fe I 557; 6.64 Fe I 558	0.28	0.35
4075.0	4.79 Fe I 524	0.15	0.17
4071.7	1.74 Fe I 43	0.51	0.49
4063.6	3.60 Fe I 43	0.60	0.57
4057.5	7.51 Mg I 16; 7.36 Fe I 277	0.39	0.35
4045.8	5.81 Fe I 43	0.84	0.75
4043.8	3.98 Fe I 559; 3.90 Fe I 276 e 557	0.17	0.18
4041.4	1.36 Mn I 5	0.22	0.22
4030.8	0.76 Mn I 2	0.46	0.40
4020.2	0.25 Hf II 40	0.18	0.17
4018.2	8.28 Fe I 560; 8.10 Mn I 5	0.22	0.25
4012.3	9.37 Ti II 11	0.20	0.22
4005.2	5.25 Fe I 43; 5.71 V II 32	0.61	0.61

Le due stelle soddisfano al requisito su cui si basa la possibilità di paragonare la generale intensità delle altre righe metalliche: infatti esse hanno praticamente la stessa intensità per la 4227 Ca I:

$$\eta \text{ Boo} : 1.15 \text{ A} \quad \zeta \text{ Her} : 1.09 \text{ A} \quad \eta \text{ Boo} / \zeta \text{ Her} = 1.05$$

Il corrispondente rapporto per  $\alpha$  C Mi e 110 Her è un po' maggiore:  $110 \text{ Her} / \alpha \text{ C Mi} = 1.15$ .

Per confrontare le intensità di  $H_\gamma$  si riporta in fig. 1 una zona spettrale intorno a  $\lambda$  4340. Un confronto diretto dei due profili è infatti troppo

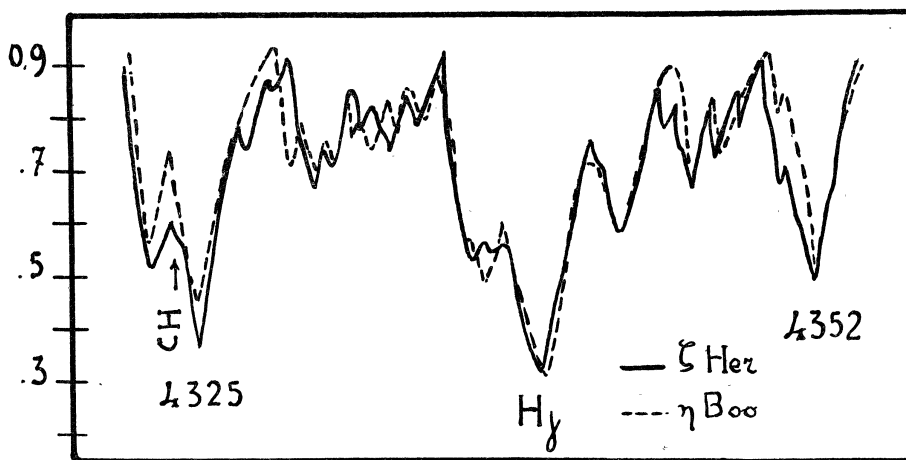


Fig. 1

incerto data la necessità di estrapolare in modo completamente arbitrario le ali della riga, causa il forte numero di blends metallici. Il confronto non permette di individuare differenze apprezzabili nei due tracciati. Se ne conclude che i due profili di  $H_\gamma$  sono probabilmente identici, e la larghezza equivalente può essere valutata, previa estrapolazione delle ali, dell'ordine di 2 Å. L'eguaglianza di  $H_\gamma$  e della 4227 è una conferma dell'eguaglianza di tipo spettrale delle due stelle studiate.

In fig 2 è dato il confronto fra le intensità totali delle righe metalliche nelle due stelle. Appare che gli scostamenti dalla retta a 45° sono piccoli, distribuiti in modo quasi uguale sopra e sotto la retta, così da non poter affermare che vi sia una sistematica differenza d'intensità fra le righe dei due spettri; caso mai vi è una leggera tendenza dei punti a disporsi leggermente al disopra della retta, il che indicherebbe che  $\zeta$  Her

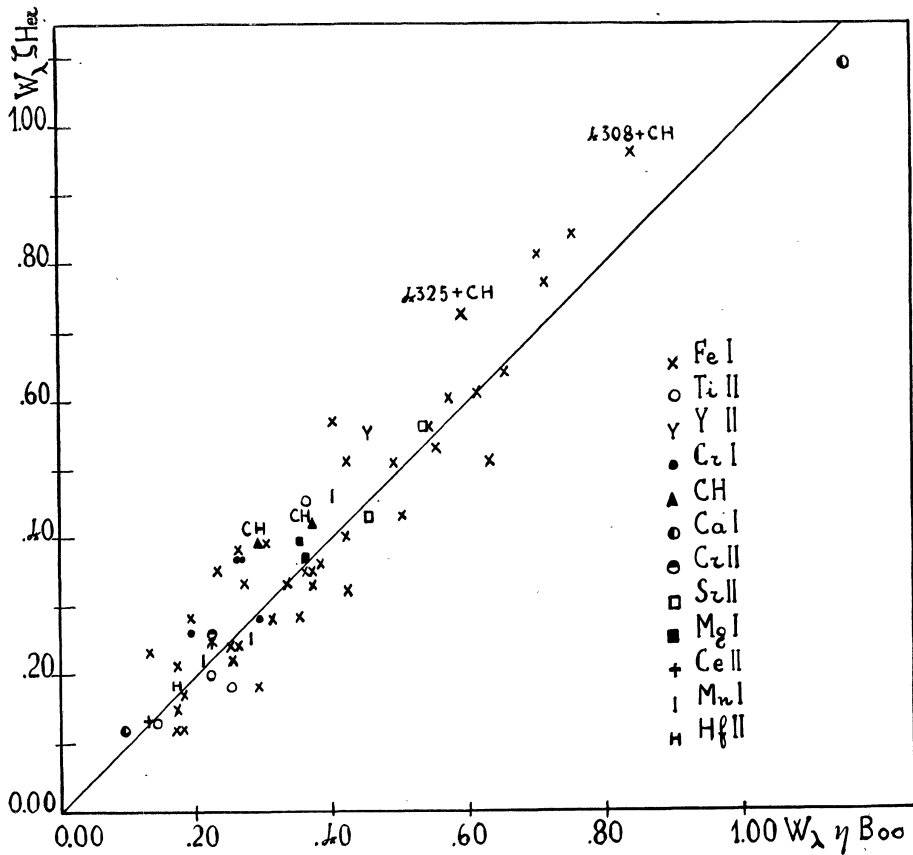


Fig. 2

ha in media righe un po' più forti. Nettamente più forti sono invece le righe che cadono in corrispondenza della banda G e  $\lambda$  4311 (fig. 3) e  $\lambda$  4324 (fig. 1) corrispondenti a due massimi della banda G. Quindi risulterebbe confermato il risultato trovato anche da Wellmann per cui le cosiddette stelle wk si distinguerebbero, a pari intensità della 4227 e della  $H\gamma$ , per una maggior forza della banda del CH. Un confronto dei tracciati dei due spettri nella zona corrispondente alla banda del CH è dato in fig. 3 e in fig. 1 e mostra l'esistenza di un sensibile se pur piccolo effetto; la differenza è però molto più piccola di quella riscontrata da

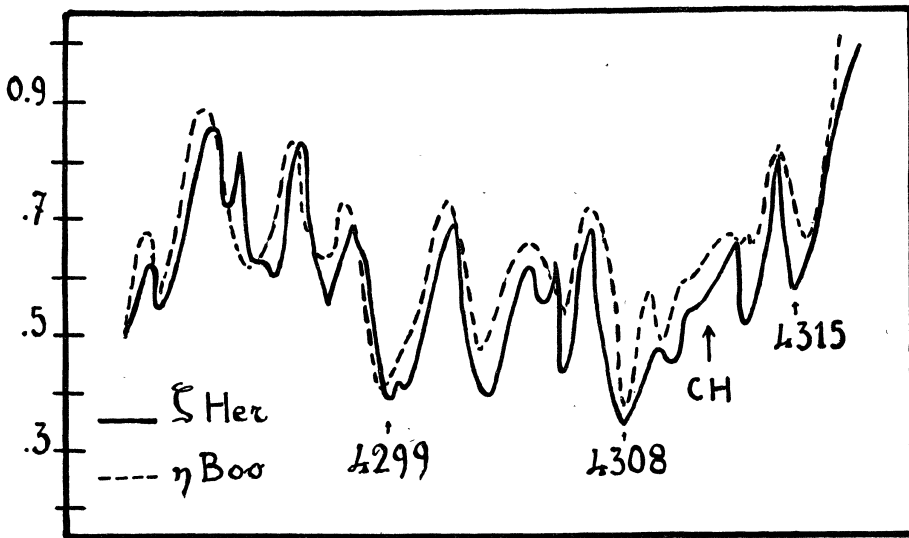


Fig. 3

Wellmann fra  $\alpha$  CMi e 110 Her, a cui però può probabilmente concorrere anche la piccola differenza di tipo spettrale, F6 per 110 Her e F5 per  $\alpha$  CMi. Anche il perchè del criterio  $H\gamma/4325$  viene spiegato dal fatto che la 4325 cadendo nell'immediata vicinanza del massimo del CH a 4324, e certamente negli spettri della Roman blend con esso, è più forte nelle stelle wk.

Questi risultati insieme a quelli di Wellmann confermano l'esistenza di una suddivisione in due gruppi spettrali distinti delle cosiddette stelle st e wk. Sembra però che il criterio di distinzione anche per le stelle F4-G5 non sia un generale indebolimento delle righe metalliche nelle stelle wk, ma piuttosto lo stesso criterio comune alle stelle di tipi G8-K1. E cioè le stelle chiamate a righe deboli si distinguerebbero da quelle cosiddette a righe forti per la maggiore intensità della banda G e di conse-

guenza anche per il criterio  $H_{\gamma}/4325$  (purchè la dispersione sia abbastanza piccola da avere la 4325 almeno parzialmente blend con la banda del CH). Un'altra conferma di questi risultati è data dalle ricerche di M. e B. Schwarzschild<sup>(5)</sup>. Essi studiano quantitativamente nove stelle nane di tipo F di alta e bassa velocità e concludono che l'unica differenza che risulta dalle osservazioni è la maggior intensità della banda G nelle stelle ad alta velocità. Anche in questo caso però le differenze spettroscopiche sono piuttosto piccole. Inoltre il confronto dei risultati degli Schwarzschild con quelli della Roman non ha molto significato; infatti ben tre delle stelle a bassa velocità studiate dai primi sono state classificate wk dalla Roman. Sempre dallo studio degli Schwarzschild appare possibile, ma molto incerto, che le righe del FeI siano un po' più deboli nelle stelle ad alta velocità.

## BIBLIOGRAFIA

- (<sup>1</sup>) Roman - Ap. J. **112**, 554, 1950.
- (<sup>2</sup>) Roman - Ap. J. **116**, 122, 1952.
- (<sup>3</sup>) Wellmann - Z. f. Ap. **36**, 194, 1955.
- (<sup>4</sup>) Morgan e Johnson - Ap. J. **117**, 313, 1953.
- (<sup>5</sup>) M. e B. Schwarzschild - Ap. J. **112**, 248, 1950.