

# EW vs. B-V e classificazione spettrale di alcune stelle dell'ammasso aperto NGC 2168 (M 35)

Gianluca Borgato<sup>(1)</sup>, Sara Durighetto<sup>(1)</sup>, Miriam Duso<sup>(1)</sup>, Sabrina Benetello<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Liceo Scientifico “G. Berto”, Mogliano Veneto

<sup>(2)</sup> Liceo Scientifico “G. Bruno”, Mestre

## SOMMARIO

*In questo lavoro abbiamo misurato le larghezze equivalenti delle righe della serie di Balmer, del Fe I 4383 Å, del Ca II H e K, del Mg I 5170 Å e della G-band 4300 Å di alcune stelle dell'ammasso aperto M35 per porle in relazione con l'indice di colore B-V e confrontare quanto ottenuto con le previsioni teoriche basate sulle equazioni di Boltzmann e Saha e la letteratura esistente in merito a tale relazione. Infine, per confronto con dati disponibili da precedenti lavori, si è eseguita la classificazione spettrale delle medesime stelle.*

## I. INTRODUZIONE

L'intensità delle righe spettrali dipende non solo dalla abbondanza della specie chimica nell'atmosfera stellare ma soprattutto, dalle condizioni di temperatura e pressione elettronica presenti nell'atmosfera medesima in relazione alle caratteristiche fisiche intrinseche dell'elemento considerato. L'equazione di Boltzmann, scritta in forma logaritmica

$$\log \frac{N_2}{N_1} = -\frac{5040}{T} E_{12} + \log \frac{g_2}{g_1}$$

dove  $N_1$  e  $N_2$  rappresentano la popolazione dei livelli 1 e 2 (inferiore e superiore) della specie atomica in considerazione,  $E_{12}$  la differenza di potenziale, in eV, tra i livelli 1 e 2,  $T$  la temperatura e  $g_1$ ,  $g_2$  i pesi statistici dei due livelli (grado di degenerazione dei livelli), prevede che all'aumentare della temperatura aumenti la popolazione del livello superiore rispetto a quello inferiore di un certo elemento e quindi, ad esempio, prevede un aumento dell'intensità delle righe di Balmer all'aumentare della temperatura. Come noto le specie atomiche presenti nell'atmosfera stellare sono soggette a ionizzazione e questo comporta, per l'atomo di idrogeno, che gli atomi ionizzati non possono dar luogo a serie spettrali, quindi l'intensità e la presenza delle righe dipende dall'equilibrio dei processi che popolano i livelli energetici coinvolti e i processi di ionizzazione. La ionizzazione è descritta, all'equilibrio termo-dinamico, dall'equazione di Saha:

$$\log \frac{N_{r+1}}{N_r} = -\frac{5040}{T} V_r + 2,5 \log T - \log P_e + \log \frac{2B_{r+1}}{B_r} - 0,48$$

dove  $N_r$  e  $N_{r+1}$  sono il numero di atomi ionizzati  $r$  e  $r+1$  volte,  $V_r$  è il potenziale di ionizzazione (in eV) di grado  $r+1$ ,  $P_e$  la pressione elettronica in dyne  $\text{cm}^{-2}$  e  $B_r$ ,  $B_{r+1}$  le funzioni di partizione.

Questa equazione fondamentale descrive l'equilibrio di tre processi: a) l'aumento della ionizzazione per urto al crescere della temperatura; b) la diminuzione della ionizzazione all'aumentare del potenziale di ionizzazione; c) la diminuzione della ionizzazione all'aumentare della pressione elettronica che favorisce la ricombinazione tra elettroni e ioni.

Sulla base delle equazioni di Boltzmann e Saha e considerando i dati disponibili sui potenziali di ionizzazione, i pesi statistici e le funzioni di partizione dell'idrogeno si ottiene una curva che rappresenta la frazione di atomi disponibile per la formazione delle righe di Balmer e questa curva presenta un massimo a circa  $10^4$  K (Fig. 1).

Queste considerazioni si possono applicare anche agli altri elementi presenti nell'atmosfera stellare e ricavare delle curve teoriche che rappresentano la variazione dell'intensità delle righe spettrali con la temperatura (Fig. 1).

Nel nostro lavoro abbiamo ricavato sperimentalmente le intensità delle righe spettrali di alcune stelle dell'ammasso M35 e le abbiamo messe in relazione all'indice di colore B-V – che è strettamente legato alla temperatura della fotosfera stellare – confrontandole con le previsioni teoriche basate sulle equazioni di Boltzmann e Saha.

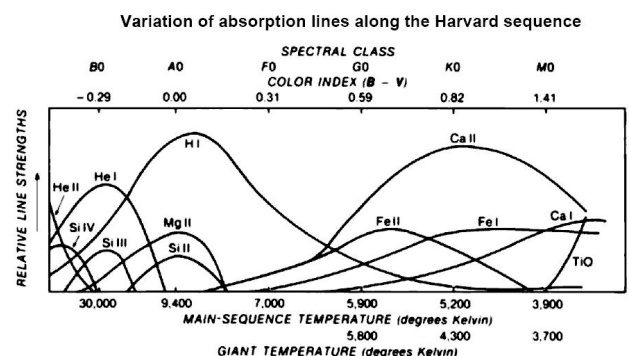


Figura 1: Intensità delle righe in funzione della temperatura.

## II. DATI OSSERVATIVI

Gli spettri osservati sono spettri di stelle dell'ammasso aperto NGC 2168 (M35),  $\alpha = 06^h 09^m$  (J2000),  $\delta = +24^\circ 21'$  (J2000), longitudine galattica  $l=186^\circ.587$ , latitudine galattica  $b=2^\circ.219$ , un ammasso aperto ricco (Fig.2) e molto studiato.



Figura 2: Immagine dell'ammasso M35

D'ora in avanti faremo riferimento alle stelle osservate con la numerazione ad esse attribuita nella Tabella 3 dell'articolo [1] della bibliografia. Le stelle di cui abbiamo rilevato lo spettro con lo spettrografo a 300 righe/mm applicato al fuoco del telescopio di 122 cm dell'Osservatorio Astrofisico di Asiago, Cima Pennar, sono le n° 1, 3, 4, 5, 42, 46, 53, 58, 83 della Tabella 3 contenuta in detto articolo. Come stella per la calibrazione in flusso è stata osservata la stella HD 84937,  $\alpha=09^h 46^m 12^s.0$ ,  $\delta=+13^\circ 59' 17''$ , tipo spettrale sdF5V.

## III. DESCRIZIONE DEL LAVORO

Gli spettri sono stati ottenuti nella notte tra il 31 gennaio ed il primo febbraio 2007. I dati grezzi sono stati trattati con l'ausilio di IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*) secondo la consueta procedura: 1) bias 2) flat field 3) calibrazione in lunghezza d'onda 4) calibrazione in flusso 5) sottrazione del cielo, ottenendo così 10 spettri in formato fits. Per quanto concerne la calibrazione in lunghezza d'onda è stato letto lo spettro della lampada Fe-Ar per ogni osservazione. Nella stessa notte è stata osservata la stella standard spettrofotometrica.

Per ricavare l'intensità delle righe spettrali dai file fits a nostra disposizione abbiamo proceduto alla misura della loro larghezza equivalente, d'ora in avanti EW, che non dipende dalla forma specifica della riga - il cosiddetto profilo di Voigt - ma solo dall'energia assorbita rispetto al flusso del continuo medio. La

larghezza equivalente può essere così definita in maniera elementare: la larghezza del rettangolo la cui base corrisponde all'assorbimento del 100% della radiazione e la cui area, quindi l'energia assorbita, è la stessa della reale riga spettrale (Fig. 3):

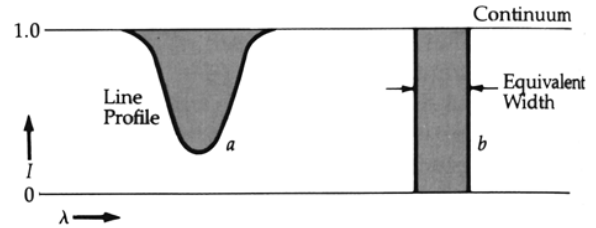


Figura 3: Descrizione del concetto di larghezza equivalente

dal punto di vista matematico:

$$EW = \int_{\lambda_i}^{\lambda_f} \frac{I_{cont} - I_{\lambda}}{I_{cont}} d\lambda$$

Le misure sono state eseguite con il comando SPLOT di IRAF, tasto "e", ed in una prima fase, per le righe di Balmer, sono state eseguite prima e dopo aver approssimato le righe spettrali con il loro profilo gaussiano. I dati ottenuti sono stati sempre molto simili tra loro differendo per non più del 5%. Per la lettura dell'EW del Fe I 4383 Å, della G-band 4300 Å, del Mg I 5175 Å ci siamo riferiti a quanto indicato nell'articolo [2] per le lunghezze d'onda estreme delle righe (bande) spettrali. I dati sono stati riletti tutti due volte per poter apprezzare l'errore dovuto alle scelte dell'operatore che effettua la misura. Abbiamo ritenuto necessaria questa operazione in quanto non trattiamo l'analisi degli errori di misura nel nostro lavoro. La doppia serie di misurazioni ci ha convinto che il margine d'incertezza nell'operazione di misura si aggira intorno al 15%. Una volta letti gli spettri abbiamo creato delle tabelle con le lunghezze d'onda centrali delle righe (bande) considerate e le EW misurate. Per costruire i grafici EW vs B-V abbiamo applicato un eccesso di colore (operazione di *dereddening*) di 0.26 mag ai dati indicati nell'articolo [1] in relazione alle stelle osservate. Ovviamente tale operazione era già stata applicata a monte ai file fits degli spettri ottenendo dei file da noi denominati "der.fits" sui quali abbiamo lavorato. Il valore 0.26 è quello indicato nel sito "WEBDA" e riferito a NGC 2168 e nell'articolo [3] della bibliografia.

L'ultima fase del nostro lavoro è consistita nella classificazione spettrale ottenuta per confronto delle EW da noi misurate con le EW contenute nell'articolo [4] della bibliografia.

Tutti gli articoli citati sono da noi stati acquisiti mediante i database presenti in internet.

## IV. RISULTATI

Le tabelle 1, 2 e 3 riportano le misure effettuate di EW:

tab. 1

| $\lambda$ (Å) | 6563       | 4861      | 4340       | 4102       |
|---------------|------------|-----------|------------|------------|
|               | H $\alpha$ | H $\beta$ | H $\gamma$ | H $\delta$ |
|               | EW (Å)     | EW (Å)    | EW (Å)     | EW (Å)     |
| stella 1      | 2,3        | 4,0       | 1,4        | 0,6        |
| stella 3      | 3,4        | 4,6       | 4,8        | 4,3        |
| stella 42     | 2,6        | 5,6       | 2,1        | 2,1        |
| stella 46     | 8,5        | 21,9      | 12,3       | 13,5       |
| stella 53     | 7,7        | 10,1      | 11,1       | 11,4       |
| stella 58     | 1,5        | 2,0       | 0,2        | 0,9        |
| stella 83     | 3,9        | 5,5       | 5,9        | 4,9        |

tab. 2

| $\lambda$ (Å) | 3970    | 3933    |          |
|---------------|---------|---------|----------|
|               | Ca II H | Ca II K | Ca II HK |
|               | EW (Å)  | EW (Å)  | EW (Å)   |
| stella 1      | 8,4     | 11,8    | 20,3     |
| stella 3      | 5,3     | 0,7     | 6,0      |
| stella 42     | 7,5     | 7,4     | 15,0     |
| stella 46     | 12,6    | 1,0     | 13,6     |
| stella 53     | 10,2    | 0,0     | 10,2     |
| stella 58     | 8,9     | 11,8    | 20,7     |
| stella 83     | 7,6     | 5,0     | 12,6     |

tab. 3

| $\lambda$ (Å) | 4300   | 4380    | 5170   | 5892     |
|---------------|--------|---------|--------|----------|
|               | G-band | Fe 4380 | Mg I   | Na D1+D2 |
|               | EW (Å) | EW (Å)  | EW (Å) | EW (Å)   |
| stella 1      | 6,9    | 3,1     | 1,5    | 2,3      |
| stella 3      | 0,0    | 0,7     | 0,0    | 0,8      |
| stella 42     | 4,4    | 1,8     | 1,6    | 1,6      |
| stella 46     | 0,0    | 0,0     | 0,0    | 1,2      |
| stella 53     | 0,0    | 0,0     | 0,0    | 0,7      |
| stella 58     | 6,6    | 4,1     | 2,7    | 2,3      |
| stella 83     | 1,6    | 0,1     | 0,8    | 1,2      |

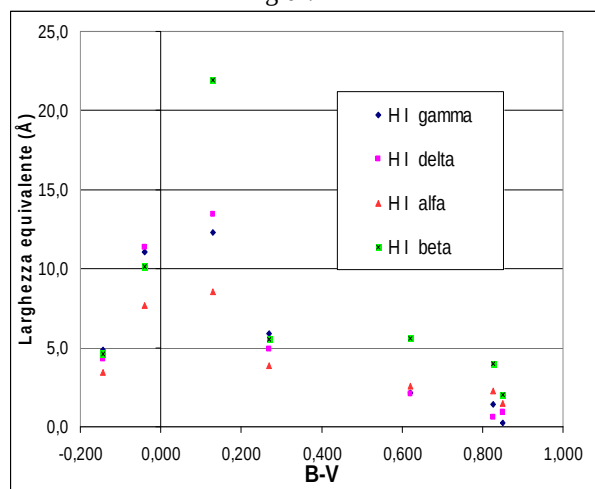
La tabella 4 riporta l'indice di colore B-V da [1], il reddening e l'indice di colore corretto:

tab. 4

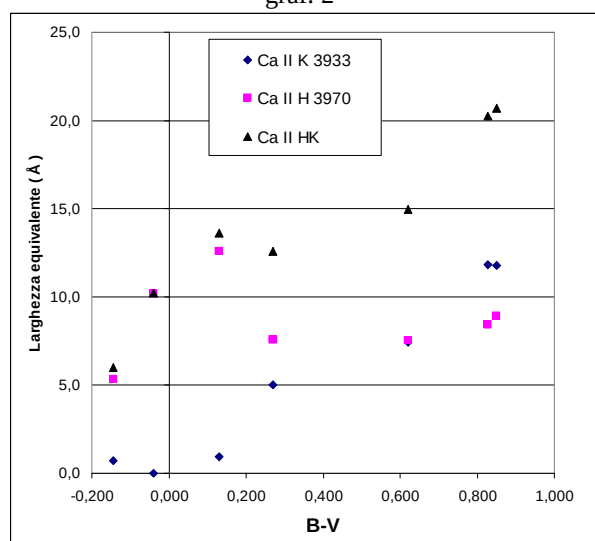
|           | B-V da [1] | reddening | B-V    |
|-----------|------------|-----------|--------|
| stella 1  | 1,087      | 0,26      | 0,827  |
| stella 3  | 0,115      | 0,26      | -0,145 |
| stella 42 | 0,880      | 0,26      | 0,620  |
| stella 46 | 0,390      | 0,26      | 0,130  |
| stella 53 | 0,220      | 0,26      | -0,040 |
| stella 58 | 1,110      | 0,26      | 0,850  |
| stella 83 | 0,530      | 0,26      | 0,270  |

Dalle precedenti tabelle abbiamo ricavato i seguenti grafici:

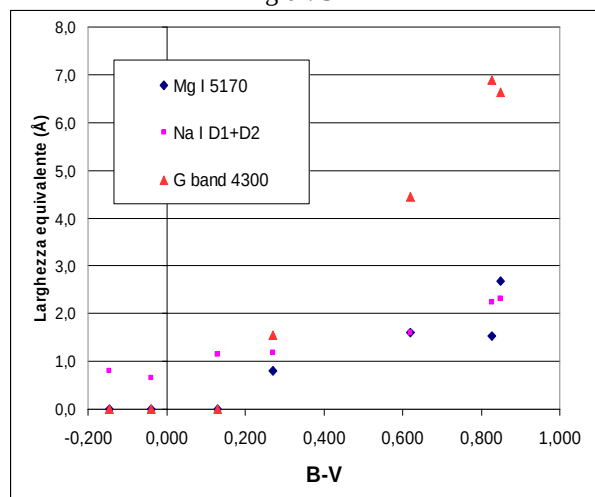
graf. 1



graf. 2



graf. 3



Le tabelle ed i grafici trovati sono in discreto accordo con quanto ci aspetta dalla teoria, infatti, consultando la seguente tabella (tab. 5), compilata dai dati disponibili nei database di internet:

tab. 5

| Potenziali di ionizzazione |                |                |                |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                            | V <sub>0</sub> | V <sub>1</sub> | V <sub>2</sub> |
| elemento                   | (eV)           | (eV)           | (eV)           |
| H                          | 13,6           | -              | -              |
| He                         | 24,58          | 54,4           | -              |
| Mg                         | 7,64           | 15,03          | 80,12          |
| Na                         | 5,14           | 47,29          | 71,65          |
| Ca                         | 6,11           | 11,87          | 51,21          |
| Fe                         | 7,87           | 16,18          | 30,64          |

si ricava, attraverso l'esame della equazione di Saha in particolare, che il comportamento dell'intensità delle righe del Ca II (misurato), del Mg II e del Fe II (non misurati) dovrebbe essere simile a quello dell' H I. Le righe di Mg I, Ca I, Fe I dovrebbero comparire ed aumentare la loro intensità con l'aumentare dell'indice di colore B-V, al diminuire quindi della temperatura dell'atmosfera stellare. Infine He I e He II dovrebbero essere presenti solo nelle atmosfere delle stelle calde e caldissime con indici di colore B-V negativi ed in tali atmosfere si dovrebbe avere un comportamento simile a quello di He II da parte del Ca III (si vedano gli andamenti delle curve in Fig. 1).

Infine, per confronto con i dati della seguente tabella, tratta da [4] e [5]:

tab. 6

|      | H $\alpha$<br>EW<br>(Å) | H $\beta$<br>EW<br>(Å) | H $\gamma$<br>EW<br>(Å) | H $\delta$<br>EW<br>(Å) | CaHK<br>EW<br>(Å) | Fe<br>4380<br>EW<br>(Å) | G<br>4300<br>EW<br>(Å) |
|------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|
| B3V  | 5,3                     | 6,7                    | 6                       | 6,1                     | 4,7               | 0                       | 0                      |
| B57V | 5,5                     | 9,3                    | 8,9                     | 9,3                     | 7,4               | 0                       | 0                      |
| B8V  | 4,8                     | 5,2                    | 5,2                     | 6                       | 2,1               | 0                       | 0                      |
| B9V  | 6,6                     | 10,1                   | 10,1                    | 10,4                    | 6,5               | 0                       | 0                      |
| A0V  | 9,8                     | 13,4                   | 13,9                    | 14,7                    | 12,1              | 0                       | 0                      |
| A2V  | 9,2                     | 14,6                   | 14,6                    | 14,6                    | 11,6              | 0                       | 0                      |
| A3V  | 9,3                     | 13,6                   | 13,8                    | 14                      | 13,9              | 0                       | 0                      |
| A5V  | 8,7                     | 12,7                   | 12,3                    | 12,6                    | 13,4              | 0                       | 0                      |
| A7V  | 8                       | 12,6                   | 13,2                    | 13,3                    | 15                | 0                       | 0                      |
| F0V  | 6,6                     | 9,5                    | 9,4                     | 9,3                     | 15,1              | 0                       | 0                      |
| F2V  | 5,2                     | 6,2                    | 6,5                     | 6,4                     | 16,1              | 0                       | 0                      |
| F5V  | 3,6                     | 4,7                    | 3,9                     | 3,8                     | 18                | 0                       | 1,5                    |
| wF5V | 4                       | 3,7                    | 3,7                     | 3,7                     | 15                | 0                       | 1                      |
| F6V  | 4,1                     | 4,8                    | 4                       | 3,8                     | 19,1              | 0                       | 1,8                    |
| rF6V | 3,4                     | 4,2                    | 2,7                     | 2,3                     | 21,4              | 0,08                    | 2,8                    |
| F8V  | 3,2                     | 4,6                    | 2,9                     | 2,4                     | 10,6              | 0,07                    | 2,9                    |
| wF8V | 3,1                     | 3,9                    | 3,7                     | 2,9                     | 17,3              | 0,01                    | 1,5                    |
| rF8V | 2,9                     | 4,3                    | 2,3                     | 1,5                     | 21,4              | 1,05                    | 3,5                    |
| G0V  | 2,9                     | 4,2                    | 2,5                     | 1,7                     | 21,8              | 2,05                    | 3,8                    |
| wG0V | 3,4                     | 4,2                    | 2,6                     | 2,5                     | 20,4              | 0,03                    | 3,3                    |
| rG0V | 2,4                     | 2,4                    | 0,4                     | 0                       | 21,9              | 4,01                    | 4,8                    |
| G2V  | 2,5                     | 3,2                    | 0,8                     | 0                       | 22,3              | 3,04                    | 5                      |

|      |     |     |     |     |      |      |     |
|------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| G5V  | 1,9 | 2,9 | 0,8 | 0   | 24,3 | 4,08 | 5   |
| wG5V | 2,1 | 2,5 | 0,9 | 0,1 | 22,4 | 3,01 | 5,3 |
| rG5V | 2,2 | 3,3 | 0,1 | 0   | 23,3 | 4,05 | 5,1 |
| G8V  | 1,5 | 2,1 | 0   | 0   | 25,4 | 6,04 | 4,7 |
| K0V  | 1,3 | 1,3 | 0   | 0   | 22,5 | 6,07 | 4,7 |
| rK0V | 1,9 | 2,2 | 0   | 0   | 25,7 | 7,06 | 6   |
| K2V  | 0,6 | 1,1 | 0   | 0   | 24,7 | 8,06 | 5,9 |
| K3V  | 0,8 | 0   | 0   | 0   | 28,9 | 9,02 | 5,5 |
| K4V  | 0,1 | 0   | 0   | 0   | 28,4 | 10   | 5,1 |
| K5V  | 0   | 0   | 0   | 0   | 23,6 | 11   | 5,7 |
| K7V  | 0   | 0   | 0   | 0   | 22,7 | 10   | 3,7 |
| M0V  | 0   | 0   | 0   | 0   | 18,4 | 11   | 2,9 |
| M1V  | 0   | 0,4 | 0   | 0   | 17,1 | 9,09 | 3,9 |
| M2V  | 0   | 1,1 | 0   | 1   | 24,2 | 9,07 | 3   |
| M2V  | 0   | 3,3 | 0   | 0   | 22   | 12   | 2,2 |
| M3V  | 0   | 3,9 | 0   | 0   | 3    | 10   | 4   |
| M4V  | 0   | 5,9 | 0   | 8,5 | 20,4 | 15   | 0   |
| M5V  | 0   | 4,3 | 1,7 | 7   | 9,1  | 14   | 0   |
| M6V  | 0   | 3,4 | 0   | 0   | 0    | 19   | 6,8 |

Abbiamo classificato gli spettri delle stelle come segue:

tab. 7

|           | Classe<br>spetttrale |
|-----------|----------------------|
| stella 1  | G2V                  |
| stella 3  | B3V                  |
| stella 42 | rF8V-G0              |
| stella 46 | A5V                  |
| stella 53 | B9-A0                |
| stella 58 | G8V                  |
| stella 83 | F3-F4                |

Due stelle sulle quali abbiamo effettuato misure non sono state comprese nei dati fin qui riportati, le stelle 4 e 5. Le stelle in questione sono considerate in [1] come delle probabili giganti. Le nostre misure di larghezza equivalente per esse sono:

tab. 8

| $\lambda$ (Å) | 6563       | 4861      | 4340       | 4102       |
|---------------|------------|-----------|------------|------------|
|               | H $\alpha$ | H $\beta$ | H $\gamma$ | H $\delta$ |
|               | EW (Å)     | EW (Å)    | EW (Å)     | EW (Å)     |
| stella 4      | 1,3        | 1,7       | 0,5        | 0,3        |
| stella 5      | 10,8       | 15,2      | 16,8       | 16,3       |

tab. 9

| $\lambda$ (Å) | 3970   | 3933   |        |
|---------------|--------|--------|--------|
|               | Ca H   | Ca K   | CaHK   |
|               | EW (Å) | EW (Å) | EW (Å) |
| stella 4      | 11,2   | 14     | 25,2   |
| stella 5      | 14,26  | 0,32   | 14,58  |

tab. 10

| $\lambda$ (Å) | 4300   | 4380    | 5170   | 5892     |
|---------------|--------|---------|--------|----------|
|               | G band | Fe 4380 | Mg I   | Na D1+D2 |
|               | EW (Å) | EW (Å)  | EW (Å) | EW (Å)   |
| stella 4      | 7,4    | 4,2     | 3,0    | 3,0      |
| stella 5      | 0,0    | 0,0     | 0,0    | 0,5      |

che, per confronto con la tabella disponibile da [4] e [5] e qui parzialmente riprodotta:

tab. 11

|        | H $\alpha$<br>EW<br>(Å) | H $\beta$<br>EW (Å) | H $\gamma$<br>EW (Å) | H $\delta$<br>EW (Å) | CaHK<br>EW (Å) | Fe<br>4380<br>EW (Å) | G<br>4300<br>EW<br>(Å) |
|--------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------------|------------------------|
| O8III  | 1.8                     | 2.7                 | 0.5                  | 2.8                  | 1.9            | 0.0                  | 0.0                    |
| B12III | 2.9                     | 4.8                 | 4.1                  | 4.1                  | 4.0            | 0.0                  | 0.0                    |
| B3III  | 2.0                     | 3.8                 | 2.8                  | 3.6                  | 3.0            | 0.0                  | 0.0                    |
| B5III  | 3.7                     | 5.0                 | 4.2                  | 4.7                  | 4.0            | 0.0                  | 0.0                    |
| B9III  | 7.6                     | 12.3                | 11.4                 | 11.6                 | 7.6            | 0.0                  | 0.0                    |
| A0III  | 9.0                     | 17.7                | 16.6                 | 14.0                 | 13.9           | 0.0                  | 0.0                    |
| A3III  | 8.6                     | 15.8                | 16.3                 | 14.4                 | 13.1           | 0.0                  | 0.0                    |
| A5III  | 6.7                     | 12.5                | 11.0                 | 10.0                 | 13.6           | 0.0                  | 0.0                    |
| A7III  | 7.3                     | 12.3                | 12.4                 | 10.8                 | 15.0           | 0.0                  | 0.0                    |
| F0III  | 7.3                     | 9.6                 | 11.0                 | 9.6                  | 14.7           | 0.0                  | 0.0                    |
| F2III  | 3.9                     | 6.8                 | 6.2                  | 5.4                  | 16.4           | 0.0                  | 0.0                    |
| F5III  | 4.6                     | 6.1                 | 5.7                  | 4.2                  | 18.0           | 0.0                  | 1.0                    |
| G0III  | 2.2                     | 4.0                 | 1.0                  | 0.0                  | 22.1           | 3.2                  | 4.1                    |
| G5III  | 1.0                     | 2.4                 | 0.0                  | 0.0                  | 27.8           | 5.9                  | 5.9                    |
| wG5III | 1.1                     | 2.5                 | 0.0                  | 0.0                  | 23.7           | 5.1                  | 5.4                    |
| rG5III | 1.3                     | 2.4                 | 0.0                  | 0.0                  | 27.1           | 7.4                  | 6.1                    |
| G8III  | 1.1                     | 2.7                 | 0.0                  | 0.0                  | 28.1           | 7.0                  | 6.2                    |
| wG8III | 1.6                     | 2.8                 | 0.4                  | 0.0                  | 30.1           | 5.1                  | 6.1                    |
| K0III  | 1.3                     | 2.3                 | 0.0                  | 0.0                  | 26.9           | 7.4                  | 5.5                    |
| wK0III | 0.9                     | 2.5                 | 0.0                  | 0.0                  | 24.6           | 5.9                  | 5.0                    |
| rK0III | 1.7                     | 2.4                 | 0.0                  | 0.0                  | 28.7           | 7.9                  | 5.9                    |
| K1III  | 1.0                     | 2.8                 | 0.0                  | 0.0                  | 28.6           | 7.7                  | 6.2                    |
| wK1III | 0.9                     | 2.7                 | 0.0                  | 0.0                  | 27.1           | 6.8                  | 5.6                    |
| rK1III | 1.2                     | 2.6                 | 0.0                  | 0.0                  | 28.8           | 8.4                  | 6.2                    |
| K2III  | 1.0                     | 2.7                 | 0.0                  | 0.0                  | 29.5           | 8.1                  | 5.7                    |
| wK2III | 1.1                     | 2.1                 | 0.0                  | 0.0                  | 29.3           | 6.5                  | 6.1                    |
| rK2III | 0.8                     | 2.1                 | 0.0                  | 0.0                  | 32.7           | 9.8                  | 6.9                    |

possono essere classificate come:

- stella 4                      tra G0 III e G3 III
- stella 5                      A0 III

La stella 5 può essere classificata anche come A2 V, come si trova per confronto con i dati di tab. 6, comunque la sua classificazione è del tutto incompatibile con l'indice di colore B-V per essa riportato in [1], B-V=1,308 e conduce a due possibili conclusioni: la stella 5 da noi misurata non è la stella 5 di NGC 2168 oppure l'articolo in questione contiene un errore nell'indicazione dell'indice di colore della stella.

Un esame della larghezza delle righe dell'idrogeno fa propendere per una classificazione di luminosità V, in

quanto le righe dovrebbero essere più strette in una gigante dalla gravità inferiore e quindi dalla pressione elettronica inferiore.

Tutte le nostre conclusioni vanno confrontate ed integrate con quelle del gruppo Liceo U. Morin (Mestre), Liceo G. Galilei (Dolo) che ha lavorato esplicitamente alla classificazione spettrale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Sung et al. 1992, The Journal of Korean Astronomical Society 25, 91. *UBV photoelectric photometry of open cluster M35*
- [2] Worthey et al. 1994, The Astrophysical Journal Supplement Series 94, 687. *Old stellar populations. V. absorption features indices for the complete Lick/Ids sample of stars*
- [3] Sung & Bessell 1999, Mon. Not. R. Astron. Soc. 306, 361. *UBVI CCD photometry of M35 (NGC 2168)*
- [4] Pickles 1998, Pub. Astronomical Society of the Pacific, 110, 863. *A Stellar Spectral Flux Library: 1150–25000 Å*
- [5] Pickles 1998, VizieR On-line Data Catalog: J/PASP/110/863