

Il Cielo come Laboratorio

L'ammasso aperto NGC659

Giulio Cabrelle, Fabio Denti, Nicola di Pietro,
Alessia Fasolo, Ruggero Milazzo, Gregorio
Trevisan, Elia Vettore

Liceo Scientifico E. Curiel
Padova

24-27 Febbraio 2005

in ricordo di Fabio

OBIETTIVO

Obiettivo della nostra esperienza è stato il calcolo della distanza dalla Terra dell'ammasso aperto ngc659, appartenente alla costellazione di Cassiopea, e la costruzione del relativo diagramma di Hertzsprung-Russell.

A questi risultati siamo giunti attraverso fasi successive di riduzione e rielaborazione dei dati, ottenuti in parte dall'osservazione diretta e in parte dalla consultazione dell'archivio.

OSSERVAZIONE

La prima sera di lavoro abbiamo puntato il telescopio verso le stelle più luminose dell'ammasso e ne abbiamo registrato gli spettri. Abbiamo anche eseguito le calibrazioni necessarie, bias e flat-field, rispettivamente un'esposizione per un tempo nullo in assenza di luce e l'esposizione alla luce continua delle lampade alogene della cupola. Infine abbiamo esposto lo spettrografo alla luce di una lampada Fe-Ar (ferro-argon), estraendone lo spettro di emissione necessario alla calibrazione in lunghezza d'onda.

SPETTROSCOPIA

La fase di calcolo e rielaborazione dei dati è stata preceduta da una fase di pulitura, filtraggio e calibrazioni delle immagini, portata a termine grazie al software IRAF (*image reduction and analysis facility*).

Dopo aver sottratto il bias medio allo spettro di ciascuna stella e al flat-field medio, abbiamo normalizzato quest'ultimo, cioè lo abbiamo diviso per una funzione che lo approssima, ottenendo un'immagine mediamente uguale a 1, e poi abbiamo diviso ciascuno spettro stellare per questo flat-field normalizzato:

$$flat-field_m - bias_m = flat-field_b$$

$$flat-field_b \text{ normalizzato} = flat-field_n$$

$$spettro - bias_m = spettro_b$$

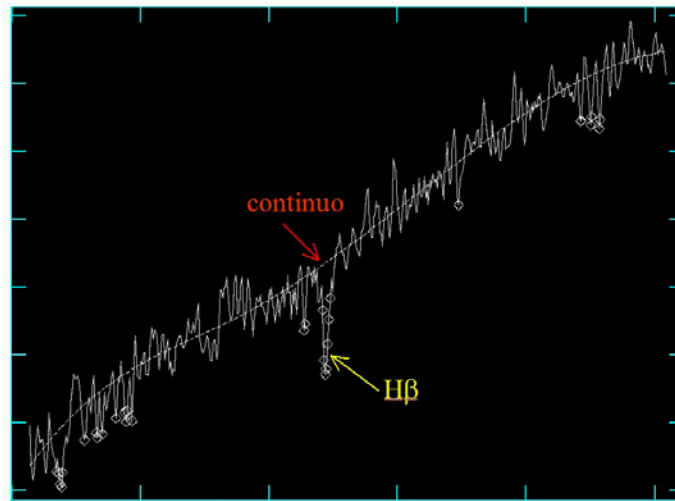
$$spettro_b / flat-field_n = spettro_f$$

Così facendo abbiamo ottenuto degli spettri "corretti": la sottrazione del bias è servita ad eliminare il rumore di fondo presente in ciascuna osservazione; la divisione per il flat-field normalizzato ha invece permesso di rimuovere la risposta non uniforme del CCD alle diverse lunghezze d'onda.

Sempre utilizzando IRAF, abbiamo eliminato dagli spettri i pixel "caldi" dovuti ai raggi cosmici. Conseguentemente abbiamo calibrato lo spettro della lampada di Fe-Ar confrontandolo con lo spettro noto degli elementi che la compongono, e associando così una lunghezza d'onda in Ångstrom a ciascun pixel. Tramite IRAF abbiamo applicato la scala in Ångstrom anche agli spettri delle stelle. Questa fase ci ha permesso di ottenere degli spettri calibrati in lunghezza d'onda.

Infine, abbiamo sottratto agli spettri delle stelle il contributo del cielo.

Dopo aver estratto gli spettri stellari monodimensionali abbiamo calcolato la larghezza equivalente della riga H β (una delle righe caratteristiche dello spettro dell'idrogeno), facendo il rapporto tra il flusso della riga (l'area chiusa del picco) e l'intensità media del continuo.



Infine, una volta conosciuta la larghezza equivalente (EW), abbiamo potuto inserirne il valore nella relazione:

$$\beta = \frac{EW + 100}{40}$$

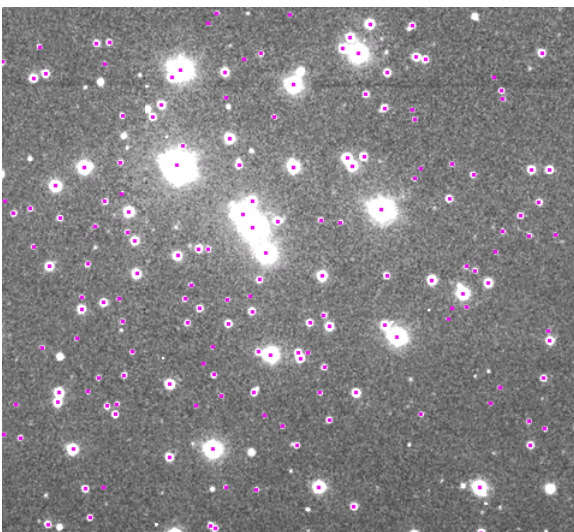
determinando il cosiddetto “indice beta”.

Tale valore ci è servito per calcolare le magnitudini assolute delle stelle studiate, tramite le relazioni (equivalenti):

$$M_V^{Turner} = 100 \cdot (-15.977065 + 11.740566 \cdot \beta - 2.158357 \cdot \beta^2)$$

$$M_V^{Walborn} = 100 \cdot (-16.066110 + 11.787246 \beta - 2.163074 \cdot \beta^2)$$

FOTOMETRIA DI APERTURA



La fase fotometrica si è sviluppata a partire da alcune immagini ottenute in Arizona, tratte da un database pubblico internazionale. Tali immagini erano fotografie dell'ammasso ottenute per ciascuno dei filtri B, V, R, relativi ad intervalli diversi dello spettro di radiazione elettromagnetica, rispettivamente blu, visibile e rosso.

Sempre con l'ausilio di IRAF abbiamo marcato i centri delle stelle in ciascuna delle tre immagini (i pixel dove il CCD aveva riconosciuto una maggiore emissione luminosa), eliminando poi a mano i punti che evidentemente non individuavano nessun astro; siamo stati quindi in grado di allineare le tre immagini per essere sicuri

di avere una perfetta corrispondenza tra le stelle.

In seguito, per ciascuna stella abbiamo misurato il valore della magnitudine apparente strumentale per ciascun filtro, sempre calcolata automaticamente dal software.

La fase successiva è stata la ricerca del cosiddetto “punto zero fotometrico”, ricavabile per ogni immagine tramite le formule:

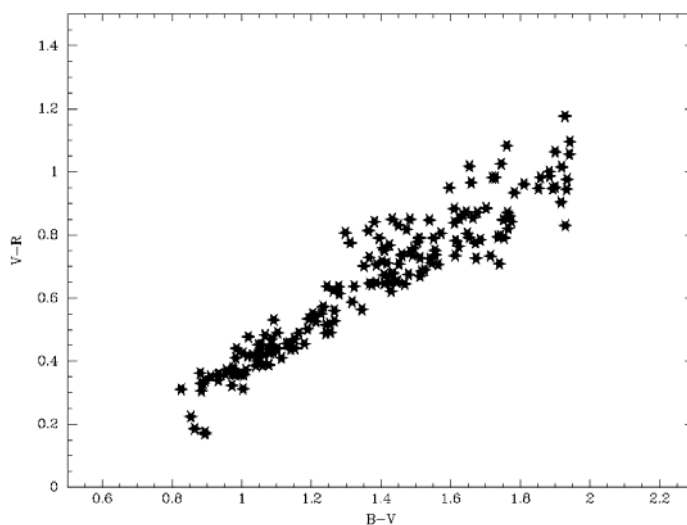
$$B_{zpt} = B - b, \quad V_{zpt} = V - v, \quad R_{zpt} = R - r$$

dove B, V e R sono i valori di magnitudine apparente, mentre b,v,r sono i valori strumentali ottenuti dall’osservazione e da “correggere”.

Abbiamo potuto ricavare i diversi “punti zero fotometrici” grazie alla conoscenza di alcuni valori di magnitudine ricavati da uno studio sull’ammasso in letteratura.

Una volta a conoscenza dei “punti zero fotometrici” ne abbiamo potuto utilizzare i valori per ottenere, attraverso le formule precedentemente citate, le magnitudini apparenti per tutte le stelle.

Infine, una volta in possesso dei dati sulle magnitudini apparenti, abbiamo compilato un diagramma “colore-colore” che riportava in ascisse l’indice di colore B-V e in ordinate l’indice V-R. Una particolarità di questo grafico è che le stelle vengono a disporsi lungo una linea retta uscente dall’origine degli assi. Sfruttando questa caratteristica, abbiamo anche eliminato dal grafico le stelle che ovviamente non appartenevano all’ammasso e che andavano a posizionarsi in punti “anomali” del grafico.



FASE CONCLUSIVA

Abbiamo finalmente ottenuto le informazioni sulle magnitudini (sia apparenti sia assolute) necessarie a ricavare il modulo di distanza. Prima di poter calcolare effettivamente la distanza dell’ammasso ngc659 dalla Terra, però, abbiamo dovuto tener conto di un altro parametro, l’arrossamento o estinzione interstellare: le polveri oscurano la luce delle stelle davanti alle quali sono interposte, e quindi la quantità di luce osservata risulta inferiore a quella effettivamente emessa dalla stella; tale arrossamento è dato dalla relazione:

$$A_v = 3.1 \cdot E(B-V) = 3.1 \cdot [(B-V) - (B-V)_0]$$

dove B-V è l’indice di colore osservato e $(B-V)_0$ è il colore intrinseco, ottenuto da una relazione nota che lo lega alla classe spettrale (e quindi alla magnitudine) della stella.

Ricavato l’arrossamento, abbiamo infine determinato la distanza dell’ammasso attraverso la relazione:

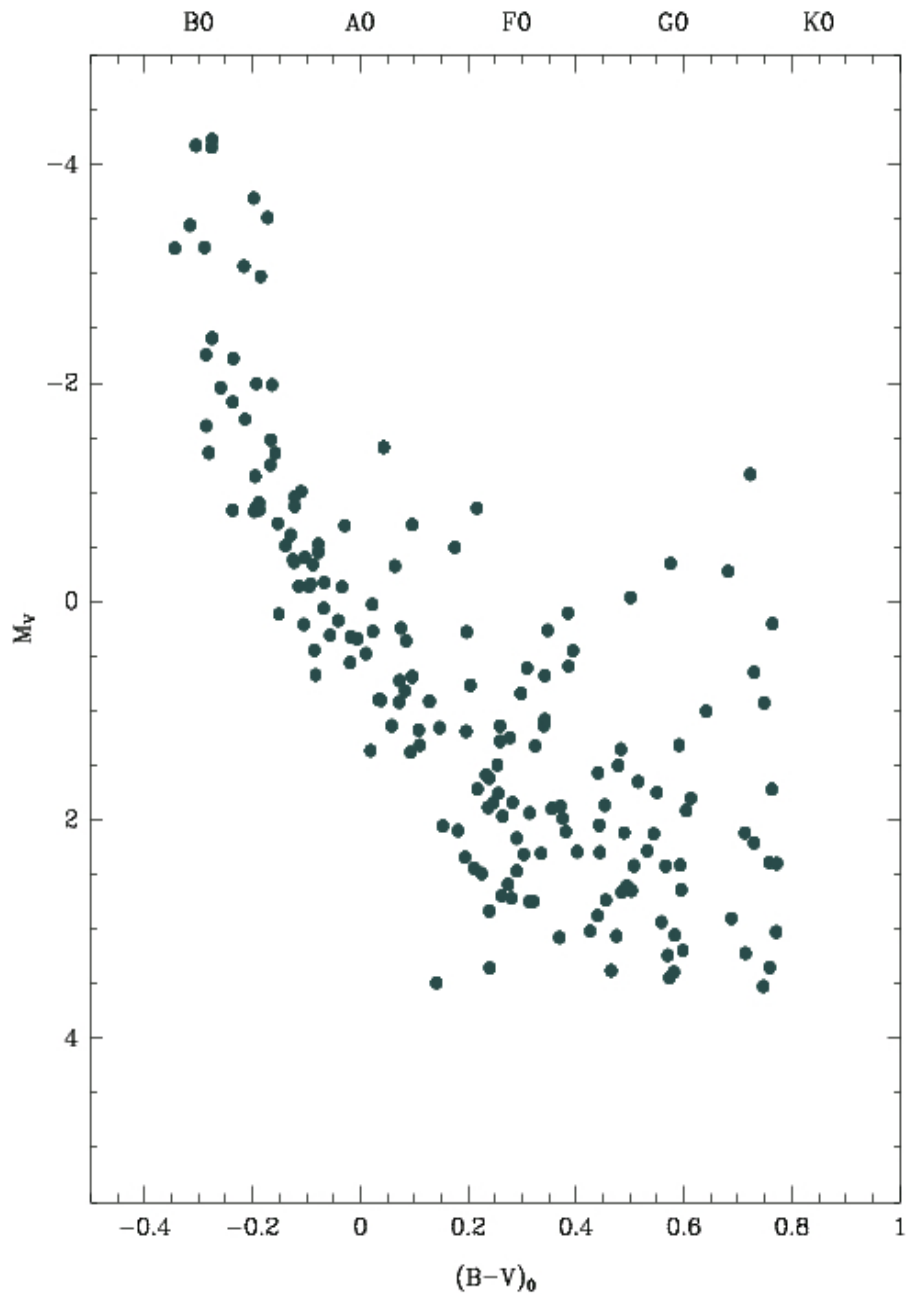
$$m - M = 5 \cdot \log_{10} d - 5 + A_v$$

dove m è la magnitudine apparente standard, M è la magnitudine assoluta, d è la distanza (la nostra incognita) e A_v è l’arrossamento.

Utilizzando i valori relativi ad una delle stelle, si ottiene $m - M - A_v = 13.7$, da cui la distanza risulta pari a circa 6 kpc. Tale valore concorda con i dati in letteratura.

Operazione finale del nostro studio è stata la costruzione del diagramma HR delle stelle dell'ammasso.

Dal grafico si può notare come in un ammasso aperto non vi siano stelle appartenenti al gruppo delle giganti rosse (tipiche degli ammassi globulari) e come vi siano numerose stelle di colore azzurro o comunque aventi temperature molto elevate.



FOTOMETRIA PSF

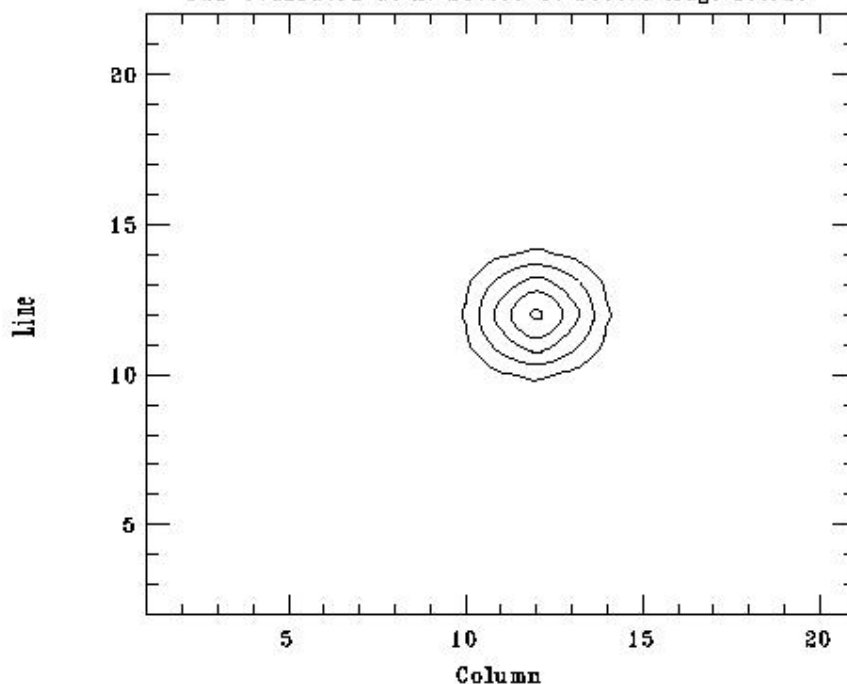
Il lavoro svolto è consistito nella fotometria dell'ammasso aperto ngc659 tramite PSF, acronimo per *Point Spread Function*, una tecnica alternativa utilizzata per studiare immagini di stelle molto vicine tra di loro, come ad esempio, l'oggetto di studio in questione. Abbiamo ricavato i dati riguardanti le caratteristiche tecniche del telescopio (2.4 m Hiltner del MDM Observatory), dello strumento con cui sono state ottenute le immagini, del CCD e delle immagini stesse: gain, scala spaziale in secondi d'arco per pixel, read-out noise, rumore del cielo, data di osservazione, FWHM (l'ampiezza a metà altezza della PSF, cioè le dimensioni dell'immagine stellare nel piano focale).

In seguito, elaborati i dati, è stata costruita la PSF di alcune stelle, rappresentata da una distribuzione gaussiana bidimensionale del numero di fotoni rilevati dal CCD. I diagrammi che seguono mostrano la PSF rappresentata con linee di isointensità, la PSF in tre dimensioni e infine il profilo radiale della PSF, una sezione della gaussiana ottenuta mettendo in ascissa la distanza dal centro e in ordinata il valore dell'intensità corrispondente.

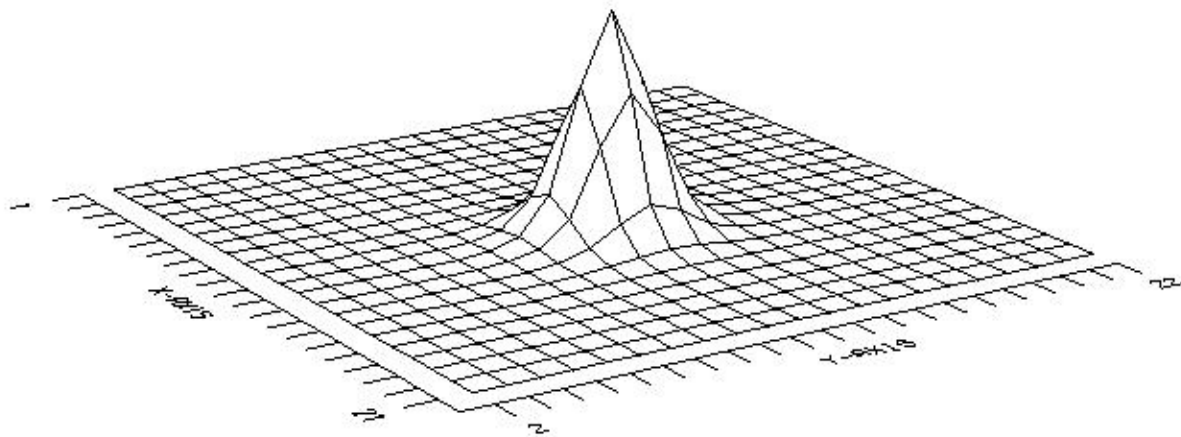
La PSF è stata applicata e adattata a ciascuna stella delle immagini, e ha permesso di misurarne la magnitudine totale strumentale.

Infine si è elaborato un diagramma H-R dell'ammasso senza, però, tener conto del fenomeno dell'arrossamento e senza aver calibrato i dati della magnitudine relativa rispetto a quella assoluta; nonostante ciò il diagramma è risultato abbastanza simile a quello ottenuto tramite fotometria di apertura.

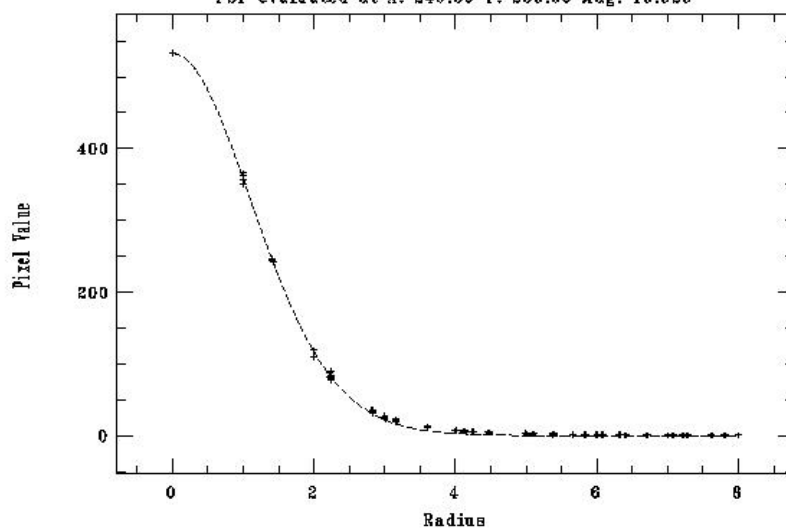
NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT skylab@dome3.pd.astro.it Fri 21:34:20 15-Apr-20
psf_b: Contoured from -0.07310002 to 499.9269, interval = 100.
PSF evaluated at X: 240.50 Y: 255.50 Mag: 15.929



NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT skylab@dome3.pd.astro.it Fri 21:33:40 15-Apr-20
 psf_b: Surface plot of [1:21,2:22]
 PSF evaluated at X: 240.50 Y: 255.50 Mag: 15.929



NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT skylab@dome3.pd.astro.it Fri 21:34:12 15-Apr-20
 psf_b: Radial profile at 11.99 12.00
 PSF evaluated at X: 240.50 Y: 255.50 Mag: 15.929



NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT skylab@dome3.pd.astro.it Fri 21:24:33 15-Apr-20
dome3.pd.astro.it/home/skylab/stage4/b_v

