

# UFFICIO ANAGRAFE DELL'UNIVERSO

OSSERVAZIONI CON TELESCOPI ROBOTICI PER MISURARE L'ETA' DEGLI AMMASSI STELLARI

Lorenzo Manzoni, Lorenzo Serafini e Francesco Visentin

## INTRODUZIONE

In questo stage presso l'INAF - IASF Bologna abbiamo elaborato diagrammi Hertzsprung-Russel (HR) a partire da immagini di ammassi stellari acquisite nell'ambito della *survey* SDSS. Nel caso dell'ammasso M3 abbiamo anche analizzato le immagini acquisite dal telescopio Cassini di Loiano prese nel corso di una nostra visita. La luminosità delle stelle degli ammassi è stata ricavata usando software professionali. Dopo aver applicato una selezione degli oggetti, abbiamo prodotto il suddetto grafico che ci ha permesso di determinarne l'età. Le età degli ammassi pongono un limite all'età dell'universo stesso. Nel primo paragrafo tratteremo le caratteristiche degli ammassi stellari aperti e globulari; nel secondo verranno introdotti alcuni parametri astronomici fondamentali alla comprensione delle procedure eseguite. Il terzo paragrafo si concentrerà sull'attività svolta, sui processi eseguiti e sui risultati ottenuti. La quarta sezione racchiuderà il nostro commento personale sull'esperienza e alcune proposte per migliorarla.

## 1 AMMASSI STELLARI

---

### 1.1 AMMASSO GLOBULARE

Un ammasso globulare (detto anche ammasso chiuso o ammasso di alone) è un insieme sferoidale di stelle che orbita, come un satellite, intorno al centro di una galassia. Gli ammassi globulari sono sorretti al loro interno da una forte gravità, che dà loro il tipico aspetto sferico e mantiene al loro centro una densità di stelle relativamente elevata.

### 1.2 AMMASSO APERTO

Un ammasso aperto è un gruppo di stelle nate insieme da una nube molecolare gigante, ancora unite dalla reciproca attrazione gravitazionale. Sono anche chiamati *ammassi galattici* poiché si trovano solo all'interno del disco galattico. Oltre che per la loro diversa posizione nella galassia, si distinguono dagli ammassi globulari per il minor numero di stelle, un'attrazione gravitazionale meno forte e, come vedremo, per la loro più giovane età.

## 2 PARAMETRI ASTRONOMICI

---

Qui descriviamo i principali parametri astronomici usati per il nostro lavoro di analisi e interpretazione dati.

### 2.1 MAGNITUDINE

La magnitudine come unità di misura per valutare la luminosità delle stelle fu inventata dagli astronomi greci. Ipparco di Nicea e Claudio Tolomeo la usarono per dividere la brillantezza, luminosità apparente delle stelle, in sei classi di grandezza, che è il significato latino di magnitudine. Successivamente si scoprì che l'occhio umano reagisce alla sensazione della luce in modo logaritmico. Questo permise a Pogson di trovare una relazione matematica che legasse la magnitudine all'intensità luminosa:

$$m_2 - m_1 = -2.5 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$$

Dove  $m_1$  e  $m_2$  sono le magnitudini "apparenti" di due corpi celesti mentre  $I_1$  e  $I_2$  le corrispondenti intensità luminose (flusso). L'equazione spiega inoltre perché la magnitudine decresce all'aumentare dell'intensità luminosa e può anche essere negativa. Infatti un oggetto molto brillante ha una magnitudine piccola. La stella Sirio è la più brillante del cielo, escludendo il Sole, ed ha una magnitudine apparente di circa  $-1.4$ .

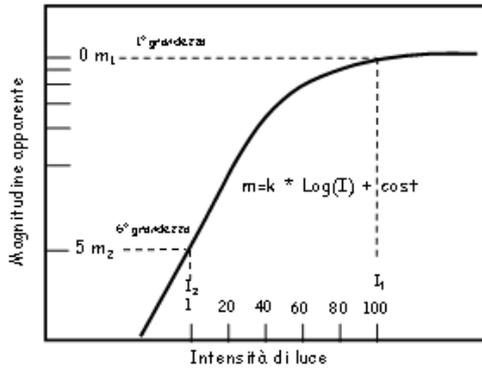


Figura 1: legge della magnitudine.

## 2.2 FLUSSO

Si definisce flusso la quantità di energia emessa da un corpo celeste che attraversa una superficie unitaria nell'unità di tempo. Dall'immagine in Fig. 2 possiamo capire come il flusso diminuisce in maniera quadratica in funzione della distanza. In particolare essendo la luce delle stelle emessa in tutte le direzioni, cioè su una superficie sferica, abbiamo:

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

Dove  $L$  è la luminosità intrinseca della sorgente e  $d$  la sua distanza.

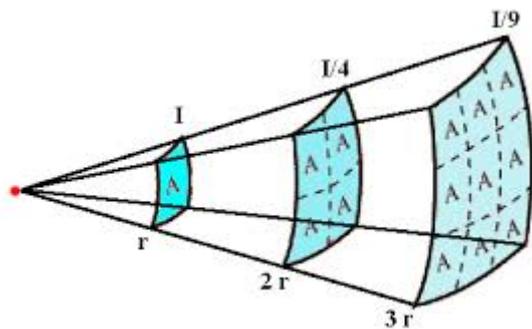


Figura 2: Schema della legge quadratica del flusso.

Ciò può essere integrato nell'equazione di Pogson per legare la magnitudine alla distanza. Se conosciamo due sorgenti che hanno stessa  $L$  ma si trovano a distanze diverse  $d_1$  e  $d_2$ , dopo alcuni passaggi algebrici otteniamo l'equazione:

$$m_2 - m_1 = -5 \log \left( \frac{d_1}{d_2} \right)$$

## 2.3 MAGNITUDINE ASSOLUTA

Da queste considerazioni si intuisce che la stella che appare più luminosa non è detto che lo sia realmente, di conseguenza si sono dovuti introdurre i concetti di magnitudine *apparente* e *assoluta*: la prima calcola quanto luminosa vediamo una stella dal punto di vista osservativo ed è espressa dall'equazione di Pogson, la seconda invece determina la luminosità della stella se si trovasse a 10 pc (1 pc = 3.26 anni luce) da noi. Quindi ci permette di confrontare le luminosità intrinseche delle stelle.

$$M - m = -5 \log \left( \frac{d}{10pc} \right)$$

Purtroppo per determinare la magnitudine assoluta di una stella è necessario conoscerne la distanza. Questo è un parametro molto difficile da ottenere in quanto occorrono lunghi periodi per misurarla. In queste equazioni in  $M$ ,  $m$ ,  $d$  se si conoscono due delle quantità è possibile conoscere la terza.

## 2.4 MAGNITUDINI A BANDA LARGA

La magnitudine a banda larga indica l'energia proveniente da un corpo celeste in una definita regione dello spettro. Questo concetto è importante perché non essendo possibile misurare l'energia proveniente da tutto lo spettro è necessario l'utilizzo di filtri fotometrici che consentono il passaggio solo di determinate lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico emesso dalla stella. Esistono diversi sistemi di filtri fotometrici che hanno formato e larghezza leggermente diversi fra loro. Per esempio i filtri Sloan  $u, g, r, i, z$  e i filtri Johnson  $U, B, V, R, I$ . Osservando stelle di magnitudine nota, dette stelle standard, è possibile, per ciascuna regione dello spettro, calcolare la magnitudine.

## 2.5 COLORI DELLE STELLE

Gli indici di colore sono la differenza tra le magnitudini apparenti o assolute calcolate in due diverse bande dello spettro:

$$C_{B,V} = M_B - M_V = -2.5 \log \left( \frac{f_B}{f_V} \right)$$

Dove B e V sono due filtri diversi. Inoltre utilizzando la legge di Planck si riesce a dimostrare che il colore di una stella è legato alla sua temperatura. Perciò conoscere il suo colore permette di avere informazioni sulla sua temperatura. Essendo il colore dato da una differenza di magnitudini, non è influenzata dalla distanza delle stelle da noi, e quindi non è necessario essere a conoscenza di quel valore.

## 2.6 DIAGRAMMI HR

I diagrammi HR furono elaborati per la prima volta dagli astronomi Hertzsprung e Russel per mettere in relazione la temperatura delle stelle con la loro luminosità intrinseca. I grafici vengono costruiti su un piano cartesiano in cui sull'asse  $x$  si pone il colore (oppure la temperatura) e sull'asse  $y$  la magnitudine assoluta (oppure la luminosità) come si vede in Fig. 3. Usando la magnitudine assoluta sarebbe scomodo studiare oggetti con distanze dalla terra diverse le une dalle altre, perciò si tende ad analizzare stelle molto più vicine tra loro di quanto sia la loro distanza dalla terra. Queste situazioni sono spesso presenti negli ammassi stellari soprattutto in quelli globulari.

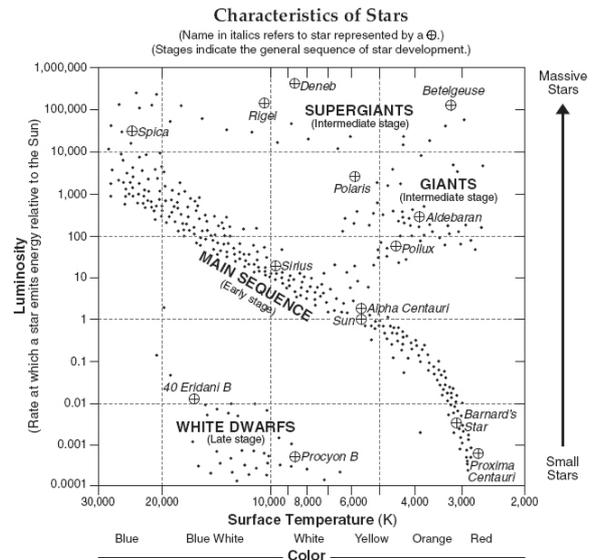


Figura 3: diagramma HR che spiega dove si posizionano le varie tipologie di stelle

## 3 LAVORO SVOLTO

Durante lo stage abbiamo elaborato la *fotometria*, cioè misurato la magnitudine in diversi filtri, delle stelle di alcuni ammassi stellari, sia globulari che aperti, costruendone i diagrammi HR.

### 3.1 PROCEDIMENTO

#### 3.1.1 Acquisizione dei dati

Per ottenere le immagini abbiamo acceduto al sito della survey SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) e abbiamo scaricato le immagini relative ai filtri Sloan g, r, i. Quindi le abbiamo decomprese da `fits.bz2` a `fits`.

#### 3.1.2 Gaia

Dopo aver caricato le immagini sul software Gaia abbiamo usato il comando "AUTOCUT" per regolare la luminosità delle immagini e rendere più visibili le stelle alla periferia dell'ammasso. Prima abbiamo verificato di stare osservando una stella singola tramite "MEAN X & Y PROFILES"; quest'ultimo mostra come varia la luminosità di una regione dell'immagine in funzione delle coordinate  $x$  e  $y$ . Se si ottengono nel grafico due gaussiane l'oggetto preso in esame è una stella. In seguito usando "PICK OBJECT"

abbiamo calcolato la FWHM di alcune di queste. La FWHM (*Full Width at Half Maximum*) è la larghezza della gaussiana a metà della sua altezza ed è rappresentativa della dimensione apparente degli oggetti sul rivelatore. Successivamente, utilizzando “OBJECT DETECTION”, abbiamo impostato i criteri con cui il programma avrebbe individuato gli oggetti nell’ammasso. Tra i parametri, oltre alla dimensione degli oggetti, abbiamo definito il SEEING e lo ZERO POINT. Il SEEING in astronomia esprime il degrado delle immagini di oggetti celesti a causa della turbolenza dell’atmosfera terrestre e si misura in secondi d’arco. Lo ZERO POINT deve essere calcolato tenendo conto dell’assorbimento atmosferico ( $k_\lambda \times \text{Airmass}$ ) e della FGE (*Foreground Galactic Extinction*),  $A_\lambda$ , ovvero ciò che vi è tra il telescopio e l’oggetto osservato. Nel caso delle immagini SDSS la formula è:

$$\text{Zero Point} = 22.5 - A_\lambda - k_\lambda \times \text{Airmass}$$

In questo modo Gaia fornisce una tabella con i dati richiesti per ciascuna stella.

### 3.1.3 Topcat

Abbiamo poi utilizzato il software Topcat per elaborare i dati ottenuti da Gaia. Dopo aver caricato sul programma le tre tabelle in formato testo (filtri g, r, i), abbiamo fatto una selezione dei dati sulla base dei valori di FWHM creando un “SUBSET”. La distribuzione dei valori di FWHM delle stelle degli ammassi è circa gaussiana. Abbiamo quindi selezionato solo le stelle la cui FWHM era entro un sigma.

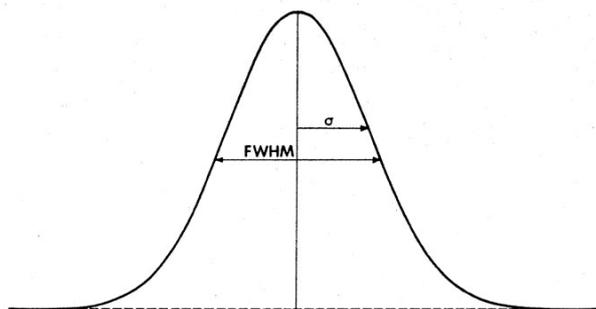


Figura 4: gaussiana con FWHM e  $\sigma$

Per fare ciò abbiamo calcolato il valore di un sigma utilizzando la formula trascritta sotto sapendo che esso corrisponde al 68% dei valori (Fig. 4).

$$\text{FWHM} = 2.354 \sigma$$

Abbiamo poi unito le tabelle mettendo in corrispondenza oggetti con coordinate spaziali pressoché uguali (con errore minore di 0.1 secondi d’arco). In seguito abbiamo convertito le magnitudini nei filtri Sloan g, r, i in quelli Johnson B, V, R, comunemente usati per costruire i diagrammi HR, applicando le formule di Lupton riportate sul sito <http://classic.sdss.org/dr6/algorithms/sdssUBVRITransform.html>. In un’altra colonna abbiamo riportato i valori di B-V. Infine, abbiamo costruito il diagramma HR relativo all’ammasso, plottando sull’asse x i valori B-V, sull’asse y quelli V; è necessario ricordarsi di invertire l’asse delle ordinate, poiché la luminosità aumenta al diminuire della magnitudine (comando “FLIP Y”).

## 3.2 AMMASSI ANALIZZATI

### 3.2.1 Ammasso globulare M3

Messier 3 (M3, conosciuto anche come NGC 5272) è un ammasso globulare visibile nella costellazione dei Cani da Caccia; è fra i più brillanti del cielo. Esso ha un’ascensione retta di 13h 42m 10s e una declinazione di  $28^\circ 23'$ , inoltre dista dalla terra 10400 pc.

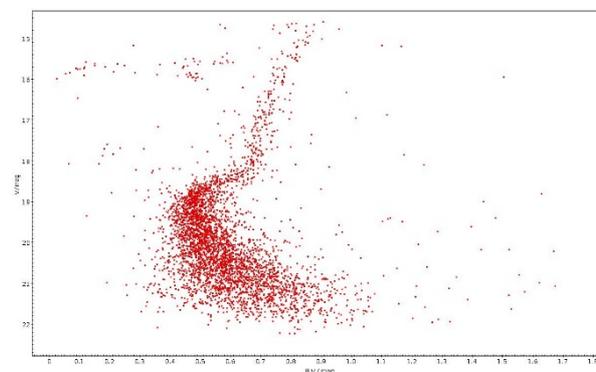


Figura 5: diagramma HR dell’ammasso globulare M3

Dal grafico in Fig. 5 emerge che la maggior parte delle stelle si trovano nella sequenza principale (zona molto densa in basso), quindi

non hanno ancora finito di bruciare idrogeno. Nel punto in cui la curva formata dalle stelle cambia direzione si trova il *Turn-Off point* che indica il momento in cui gli astri esauriscono l'idrogeno nel nucleo, è quindi un indicatore dell'età dell'ammasso: a magnitudine più negativa corrisponde un maggiore età. Sopra questo punto si trovano le giganti rosse. Negli ammassi globulari la lunghezza della sequenza principale è ridotta e il Turn-Off ha bassa luminosità. Ciò indica che questi ammassi sono generalmente vecchi, M3 nello specifico ha circa 10 miliardi di anni.

### 3.2.2 Ammasso aperto NGC 2420

NGC 2420 è un ammasso aperto visibile nella costellazione dei Gemelli. Esso ha un'ascensione retta di 07h 38m 24s e una declinazione di 21° 34' 27". Inoltre dista dalla Terra 3085 pc.

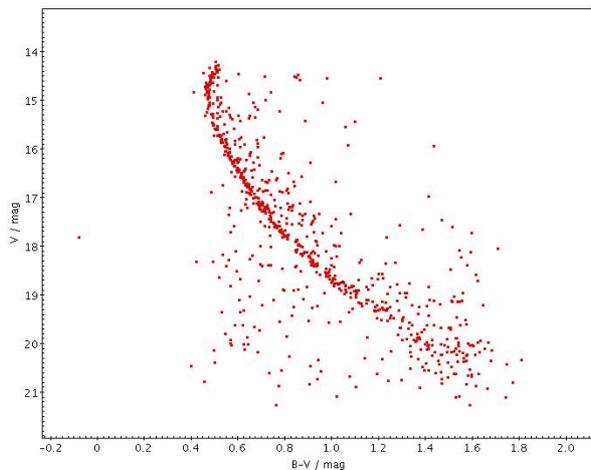


Figura 6: diagramma HR dell'ammasso aperto NGC 2420

In Fig. 6 la sequenza principale è più lunga e il Turn-Off è appena accennato, questo indica che le stelle sono più giovani che nell'altro ammasso. Infatti la sua età è stimata intorno a 1.1 miliardi di anni.

### 3.2.3 Diagrammi a confronto

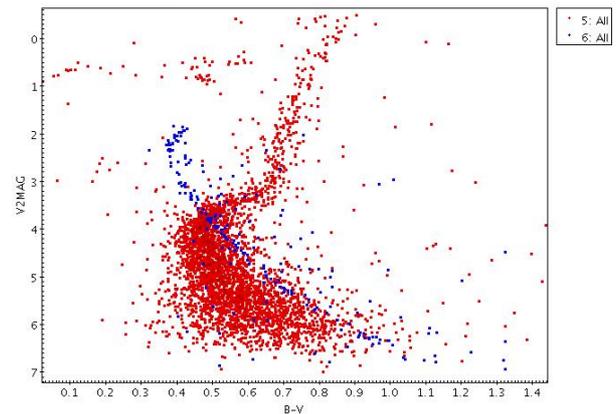


Figura 7: diagrammi di M3 (rosso) e NGC 2420 (blu) in magnitudine assoluta.

Per realizzare questo grafico abbiamo convertito le magnitudini relative in magnitudini assolute grazie alla formula scritta nel paragrafo 2.3.

## 4 APPENDICE

### 4.1 SITO WEB DI SUPPORTO

Notare che questo rapporto è complementato da una pagina web dove riportiamo alcune figure esplicative del procedimento di analisi applicato: [ross.iasfbo.inaf.it/hr-stage2015](http://ross.iasfbo.inaf.it/hr-stage2015).

### 4.2 NON SOLO ANALISI DATI

Nella nostra esperienza all'INAF-IASF Bologna siamo entrati in contatto con dei ricercatori che ci hanno mostrato il loro ambiente di lavoro e le loro attività. Abbiamo notato che spesso utilizzano il computer sul quale montano il sistema operativo Linux, qui la tastiera riveste un ruolo più importante poiché i comandi vengono fatti eseguire dal terminale. Perciò è necessario conoscere una grande quantità di codici che identificano le varie operazioni possibili. E' stato molto interessante effettuare osservazioni astronomiche sia dalla rete tramite "GLORIA project" sia direttamente dal telescopio di Loiano. Nell'osservatorio di Loiano abbiamo potuto comprendere il funzionamento dell'arcana macchina. Inoltre abbiamo visto la superficie lunare, Saturno, una nebulosa

planetaria e un ammasso globulare, oltre a raccogliere immagini scientifiche. In aggiunta un ricercatore belga ci ha mostrato come ognuno possa costruirsi uno spettrometro con un DVD, del cartone e una webcam.

L'esperienza ci ha lasciato una conoscenza più approfondita dell'astronomia e soprattutto dell'ambiente della ricerca. Infatti parlare con i tutor ci ha aiutato a comprendere meglio in cosa consiste la carriera del ricercatore; ci hanno anche spiegato di quali ambiti di ricerca si occupano nello specifico rendendoci partecipi dei loro risultati.

#### **4.3 PROPOSTE**

Lavorare direttamente al computer ci ha permesso di apprendere ciò che era necessario per svolgere le attività previste dallo stage. Di conseguenza riteniamo che nei primi giorni si possano iniziare subito le attività pratiche, introducendo i concetti teorici gradualmente al procedere del lavoro. Consigliamo inoltre una visita della struttura e in particolare della sezione di astrofisica, annettendo gli ambiti di ricerca e i rispettivi risultati.