



# Studio fotometrico di un ammasso globulare

Matteo Cogodi<sup>1</sup>, Lorenzo Gasbarri<sup>1</sup>, Carlo Gatto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Liceo Classico-Scientifico Euclide

**Abstract.** In this work we created a color-magnitude diagram of the globular cluster M2 starting from the public images of the Sloan Digital Sky Survey. Then, we tried to reproduce the diagram with isochrones in order to measure some of the main properties of the cluster (age, metallicity and distance). We used the software SEXTRACTOR to perform the measurements on the file and TOPCAT to work on the tables produced with SEXTRACTOR's data. From this comparison we estimated an age of about 13 billion years, a metallicity of 0.0004 and a distance of about 12.4 kpc.

## 1. Introduzione

Un ammasso globulare è un insieme sferoidale di stelle che orbita come un satellite intorno al centro di una galassia. Uno degli strumenti più utilizzati per lo studio di questi oggetti è il diagramma colore-magnitudine, che permette di individuare le principali caratteristiche dell'ammasso stesso. Esso mette in relazione l'indice di colore, situato nell'asse delle ascisse, e la magnitudine assoluta, situata nell'asse delle ordinate, di ciascuna stella. La magnitudine assoluta è definita come:

$$M = -2.5 \log\left(\frac{L}{4\pi d^2}\right) + \text{cost}, \quad (1)$$

Dove  $L$  è la luminosità della sorgente e  $d = 10$  pc è, per definizione, la distanza a cui deve essere posta una stella per calcolarne la magnitudine assoluta, mentre l'indice di colore è definito come la differenza tra le magnitudini di una stella in due diversi filtri (o bande):

$$C_{\lambda_1-\lambda_2} = M_{\lambda_1} - M_{\lambda_2} \quad (2)$$

Il diagramma colore-magnitudine è un caso particolare del più noto diagramma di Hertzsprung-Russell (diagramma H-R). Il diagramma H-R mette in relazione la luminosità di una stella con la sua temperatura. La differenza principale tra un diagramma H-R e un CMD di un ammasso, sta nel fatto che il primo, per essere realizzato, richiede la conoscenza di informazioni non ricavabili da semplici immagini. In particolare, per calcolare la luminosità (o la magnitudine assoluta) di una stella occorre conoscerne la distanza. Per quanto riguarda il CMD invece, nel caso particolare di un ammasso si può supporre che le stelle si trovino tutte alla stessa distanza dal punto di osservazione e di conseguenza si può utilizzare la magnitudine apparente invece di quella assoluta, semplificando notevolmente la

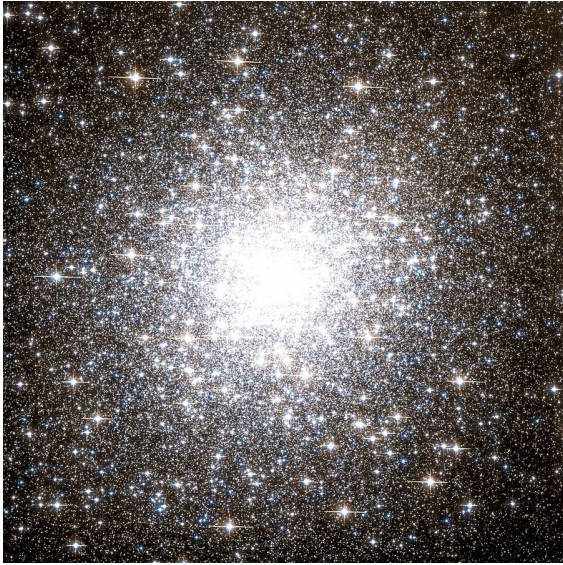
sua costruzione. L'obiettivo del nostro lavoro è di stimare distanza, età e metallicità (presenza di elementi diversi da idrogeno ed elio) di un determinato ammasso tramite la costruzione di un diagramma colore magnitudine.

## 2. Oggetto di Studio

M2 (21h 33m 27s, -00d 49m 24s, Fig. 1), noto anche come NGC 7089, è un ammasso globulare visibile nella costellazione dell'Aquario. Per questo studio abbiamo usato immagini pubbliche in banda g e in banda r provenienti dalla Data Release 7 della Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Essa è un'indagine conoscitiva del cielo effettuata con il telescopio ottico dedicato a grande campo di 2.5 metri dell'osservatorio di Apache Point, New Mexico, Stati Uniti. Per ogni filtro avevamo a disposizione due immagini perché l'area coperta dall'ammasso è superiore all'area coperta dal sensore in una singola immagine.

## 3. Analisi

Per misurare le magnitudini delle stelle dell'ammasso useremo il programma SEXTRACTOR. SEXTRACTOR viene utilizzato per costruire cataloghi di oggetti a partire da un'immagine astronomica. Esso rileva sorgenti luminose, all'interno di un'immagine e permette studi fotometrici, grazie alla possibilità di discriminare stelle e galassie dal fondo cielo. Per questa esperienza sono state fornite sei immagini, tutte rappresentanti lo stesso ammasso globulare (M2), in tre diversi filtri (g-r-i) Prima di procedere con le misure è necessario inserire all'interno della cartella contenente le immagini quattro file di cui andranno successivamente modificati alcuni parametri. Il primo



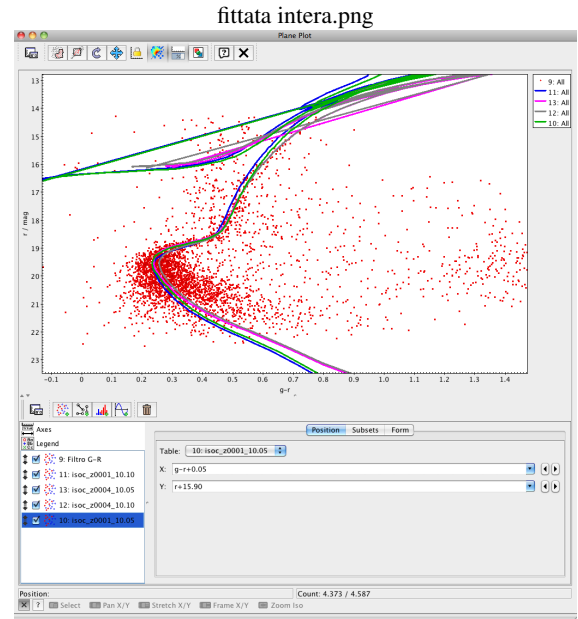
**Fig. 1.** Immagine della parte centrale dell'ammasso globulare M2 acquisita dall'Hubble Space Telescope (HST).

file da inserire, di configurazione del programma, è default.sex.

Tra i parametri presenti, quelli da modificare sono: CATALOG\_NAME (modifica il nome del catalogo), CATALOG\_TYPE (modifica il formato del catalogo), DETECT\_MINIAREA (modifica il numero minimo di pixel da considerare come corpo celeste), DEBLEND\_MINICONT (determina la capacità di distinguere corpi celesti vicini), DETECT\_TRESH (tiene conto dell'intensità minima che una sorgente deve avere), CHECKIMAGE\_TYPE (tipologia di immagine di output), CHECKIMAGE\_NAME (nome dell'immagine di output), Il secondo file da modificare è default.param, contenente le informazioni che si vogliono ottenere da SExtractor. In particolare in questo file è importante avere: NUMBER, FLUX\_BEST, X\_IMAGE, Y\_IMAGE, ELLIPTICITY, FWHM\_IMAGE. E' inoltre importante tener conto delle coordinate astronomiche delle singole stelle che compongono l'ammasso. In questo modo il file di output avrà 8 colonne che contengono il numero della sorgente assegnato dal programma, il flusso, le coordinate X,Y della sorgente nell'immagine, l'ellitticità dell'area considerata, la FWHM (Full Width at Half Maximum) e le coordinate astronomiche in X e Y.

Una volta eseguiti i passaggi precedenti possiamo procedere all'analisi delle immagini nei vari filtri. Fatto ciò, si apre l'immagine utilizzando il programma SAOImage DS9, e si controlla che i vari parametri precedentemente impostati consentano di individuare correttamente più corpi celesti possibili.

Dopo essersi assicurati di aver trovato i giusti parametri, si procede al calcolo delle magnitudini, utilizzando il programma TOPCAT. Il primo passaggio è



**Fig. 2.** Diagramma colore magnitudine ottenuto

stato escludere da tutte le sorgenti trovate quelle che non rispettano determinati parametri di ellitticità e di FWHM, e che quindi non possono essere classificate come stelle, andando appunto a impostare determinati limiti su queste caratteristiche (Per l'ellitticità abbiamo preso in considerazione valori minori o uguali a 0.1: questi valori, essendo molto bassi ci permettono di scartare tutti quei corpi che non sono stelle; per quanto la FWHM abbiamo preso in considerazione i valori compresi tra 2.6 e 3.5, che rappresentano i picchi dell'istogramma. A questo punto, dall'header delle immagini sono stati ricavati una serie di parametri, quali  $m_0$  (**punto 0 dello strumento**),  $T_{exp}$  (**tempo di esposizione**),  $k$  (**coefficiente di estinzione**) ed  $X$  (**massa d'aria**), che servono per calcolare la magnitudine apparente  $m$  calibrata degli oggetti a partire dai flussi misurati:

$$m = m_0 - 2.5 \log_{10} \left( \frac{flux}{T_{exp}} \right) - kX. \quad (3)$$

Questo lavoro va fatto per ciascuna immagine. Ottenute quindi le magnitudini di entrambe le parti di immagine in un filtro, bisogna ripetere la procedura per gli altri 2 filtri e, infine, unire i 3 risultati ottenuti in un'unica tabella, opzione facilmente applicabile sempre attraverso l'utilizzo di TOPCAT. Dopo ciò, TOPCAT consente di ricavare un diagramma colore magnitudine come quello in figura Fig. 3.

### 3.1. Analisi del diagramma colore magnitudine

Gli obiettivi di questa esperienza sono però quelli di misurare distanza, età e metallicità dell'ammasso M2. Per fare ciò, si parte da vari tipi di isocrone prese dal

catalogo PARSEC+COLIBRI<sup>1</sup> (Marigo et al. 2017), e si cerca di individuare quella (o quelle) che più si adattano al diagramma colore-magnitudine trovato. Una isocrona è il luogo dei punti che una popolazione stellare, composta da stelle che si sono formate contemporaneamente, forma sul diagramma H-R in un determinato istante di tempo. Dalle isocrone si ha la possibilità di ricavare una serie di proprietà dell'ammasso quali: età, metallicità, distanza ed estinzione. Per individuare l'isocrona più adatta abbiamo osservato il punto di turnoff dell'ammasso, il ramo delle supergiganti e la main sequence. Una volta individuato il range di età e metallicità dell'ammasso abbiamo effettuato degli spostamenti verticali (necessari a calcolare il modulo di distanza, differenza tra magnitudine apparente e assoluta) e orizzontali verso destra (utili a calcolare l'eccesso di colore, dovuto alle polveri tra l'osservatore e la sorgente luminosa, e conseguentemente il valore dell'estinzione).

#### 4. Risultati

L'analisi descritta nella sezione precedente ci ha permesso di ricavare i dati dell'ammasso a cui eravamo interessati. L'isocrona che meglio riproduce il CMD di M2 è quella corrispondente ad un'età di 13 miliardi di anni e ad una metallicità di 0.0004. Questi valori mostrano che l'ammasso è un sistema vecchio, come ci si aspetta per questo tipo di strutture, con una metallicità significativamente inferiore rispetto a quella solare: essi infatti riportano solitamente un'età di  $11.8 \pm 0.6$  Gyr ed una metallicità di 0.0004. Questi valori sono in buon accordo con i risultati della nostra analisi.

#### 5. Conclusioni

Al termine del lavoro mediante l'utilizzo dei programmi Source-Extractor e Topcat, adoperati per l'elaborazione e l'analisi dei dati a partire dalle immagini del catalogo Data Release 7 della Sloan Digital Sky Survey dell'ammasso stellare M2, abbiamo concluso che si tratta di un ammasso globulare molto vecchio, con un'età stimata di 13 miliardi di anni e una metallicità di 0.0004, esso inoltre si trova ad una distanza di circa 37000 anni luce.

*Acknowledgements.* Si ringraziano i dott. Enrico Congiu e Stefano Ciroi per averci dato il supporto necessario durante questa esperienza. si ringrazia inoltre il Prof. Tinti e il liceo Scientifico Euclide per averci dato la possibilità di partecipare a questa esperienza e di averci accompagnato in essa. La Sloan Digital Sky Survey è stata finanziata dalla Alfred P. Sloan Foundation e dal U.S. Department of Energy Office of Science. Il sito web della SDSS è <http://www.sdss.org>. La SDSS-III è gestita da Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions of the SDSS-III Collaboration che include: University of Arizona, Brazilian Participation

Group, Brookhaven National Laboratory, Carnegie Mellon University, University of Florida, French Participation Group, German Participation Group, Harvard University, Instituto de Astrofísica de Canarias, Michigan State/Notre Dame/JINA Participation Group, Johns Hopkins University, Lawrence Berkeley National Laboratory, Max Planck Institute for Astrophysics, Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, New Mexico State University, University of Portsmouth, Princeton University, the Spanish Participation Group, University of Tokyo, University of Utah, Vanderbilt University, University of Virginia, University of Washington, e la Yale University.

#### References

- Asplund, M. et al., 2009, ARA&A, 47, 481;  
 Bertin, E. & Arnouts, S. 1996, A&AS, 317, 393;  
 Marigo, P. et al., 2017, ApJ, 835, 77;  
 Roediger, J. C. et al., 2014, ApJS, 210, 10.

<sup>1</sup> (<http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>)