



Fotometria dell'ammasso aperto NGC 2420

Alessandro Palermo¹, Sara Deiana¹, Chiara Argiolas¹

¹ Liceo Classico-Scientifico Euclide

Abstract. The aim of this work is to measure the main properties (age, metallicity, distance) of the open cluster NGC2420. We used g and r band images from the Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 to produce the color-magnitude diagram of the cluster. A fit with the isochrones from the (Salasnich et al. 2000) libraries allowed us to measure the properties we were looking for. We found that the cluster is located at a distance between 2.7 kpc and 2.9 kpc, it is approximately 1.58 billion years old and has a solar metallicity.

1. Introduzione

Con il termine ammasso aperto indichiamo un gruppo di stelle generatesi insieme da una stessa nube molecolare gigante. Le stelle risultano unite mediante la reciproca attrazione gravitazionale, si trovano alla stessa distanza dal punto di osservazione e, data la loro origine comune, hanno approssimativamente la stessa età e la stessa composizione chimica iniziale; ogni differenza tra loro è legata unicamente alla loro massa. L'uniformità delle stelle rende gli ammassi aperti un'ottima verifica dei modelli di evoluzione stellare. Inoltre, analizzando la luce proveniente da un ammasso e confrontando la differente abbondanza di stelle delle varie classi spettrali è possibile stimarne l'età, più semplicemente di quanto sarebbe possibile per una singola stella.

Lo strumento principale per lo studio degli ammassi è il diagramma H-R, dal nome degli scienziati Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell che lo idearono nel 1913. Esso mette in relazione la temperatura di una stella, decrescente sull'asse delle ascisse, con la sua luminosità, crescente sull'asse delle ordinate. La maggior parte delle stelle di un ammasso giace sulla *sequenza principale*: una stretta fascia che va dall'angolo in basso a destra del grafico verso la parte in alto a sinistra. Il punto in cui le stelle escono dalla sequenza principale è detto *turn-off*, coincide col momento in cui le stelle smettono di bruciare idrogeno ed è fondamentale per determinare l'età degli ammassi. Il limite del diagramma H-R è che per realizzarlo è necessario conoscere la luminosità di ogni oggetto (e quindi la sua magnitudine assoluta). Occorre quindi avere una misura relativamente accurata della distanza delle stelle, quantità difficilmente misurabile e spesso non disponibile. Per gli ammassi però è possibile costruire un diagramma simile al diagramma H-R chiamato diagramma colore-magnitudine CMD. Esso

prevede di utilizzare come valore della luminosità la magnitudine apparente delle stelle -che non necessita della distanza per essere misurata, a differenza di quella assoluta- ottenuta con un determinato filtro¹, mentre nell'asse delle ascisse si utilizza il valore dell'indice di colore; legato alla temperatura, esso è dato dalla differenza di magnitudine tra due filtri diversi. L'utilizzo del diagramma CMD è possibile grazie al fatto che la distanza tra le stelle che compongono l'ammasso è trascurabile rispetto alla distanza tra l'ammasso e l'osservatore, quindi tutti gli oggetti possono essere considerati alla stessa distanza. Una volta costruito il diagramma colore-magnitudine di un ammasso, è possibile confrontarlo con delle isocrone. Le isocrone sono i risultati di simulazioni teoriche dell'evoluzione stellare di un ammasso in un diagramma colore-magnitudine; la loro forma varia in relazione all'età e alla metallicità delle stelle che rappresentano. Esse permettono di calcolare l'età, la metallicità e la distanza di un ammasso.

È appunto questo l'obiettivo di questo studio: realizzare un diagramma CMD dell'ammasso aperto NGC2420 e stimarne età, metallicità e distanza. Nella sezione 2 sono riportate informazioni sull'ammasso oggetto dello studio e sulle immagini astronomiche utilizzate, nella sezione 3 è descritta l'analisi e la riduzione dei dati, nella sezione 4 i risultati dello studio. Nelle conclusioni è riportata una breve sintesi generale dell'esperienza.

2. Target

L'ammasso stellare aperto NGC 2420, scoperto nel 1783 da William Herschel, risulta visibile nella costel-

¹ Le immagini astronomiche possono essere acquisite con filtri diversi a seconda delle lunghezze d'onda della luce che si vogliono studiare.

lazione dei Gemelli. Le coordinate astronomiche dell'ammasso sono: $\alpha = 07^h38^m23^s$ e $\delta = 21^\circ34'24''$. Per questo studio si è fatto uso di 4 immagini provenienti dalla Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 (SDSS DR7): 2 in filtro g e 2 in filtro r; come già accennato l'utilizzo di due filtri è necessario per poter poi costruire il diagramma colore magnitudine.² Inoltre abbiamo due immagini per filtro perchè la dimensione dell'ammasso è superiore al campo osservato dal telescopio con un singolo puntamento. Successivamente è stato infatti necessario eseguire delle operazioni per unire i dati provenienti dalle diverse immagini, evitando che le stesse fonti luminose venissero contate più volte.

3. Analisi

Per costruire il diagramma colore magnitudine, occorre misurare la magnitudine del maggior numero possibile di stelle dell'ammasso a partire dalle immagini precedentemente descritte. Per fare ciò utilizziamo il programma Source Extractor, noto anche come SExtractor, un software che costruisce cataloghi di oggetti a partire da immagini astronomiche. Performa ragionevolmente bene anche su campi stellari moderatamente popolati (Bertin et al. 1996). I parametri che ci servono per costruire il diagramma CMD sono: il numero delle sorgenti luminose, ellitticità, flusso, coordinate astronomiche e full width at half maximum (FWHM). La FWHM è una misura dell'allargamento dei dischi stellari apparenti nell'immagine (in unità di pixel o di secondi d'arco), dovuto alla presenza dell'atmosfera.

Per permettere una adeguata individuazione delle sorgenti e una misura precisa del loro flusso, sono state portate avanti una serie di prove di modifica di impostazioni di tale programma. I parametri, riportati in Tab. 1, sono il minimo numero di pixel dell'immagine astronomica che si considera essere una sorgente (*detect minarea*), l'intensità che una sorgente luminosa deve avere rispetto alla media del rumore di fondo del cielo (*detect tresh*) e la capacità di separare sorgenti vicine e/o sovrapposte (*detect minicont*).

Table 1: Parametri di SExtractor utilizzati per ciascuna immagine.

	g1	g2	r1	r2
Detect Minarea	5	5	5	6
Detect Tresh	2	2.5	2.5	2.5
Detect Mincont	0.005	0.005	0.005	0.005

L'output di SExtractor è una tabella contenente tutte le informazioni ottenute dalle immagini. Per visualizzare e lavorare con questi dati abbiamo usato il programma TOPCAT. Topcat, acronimo di "Tool for

² I filtri g ed r hanno un picco di trasmissione rispettivamente per le lunghezze d'onda di 468 nm e 616 nm.

Table 2: Valori di Ellitticità e FWHM, misurata in pixel, delle sorgenti luminose tenute in considerazione.

	g1	g2	r1	r2
Ellipticity	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1
FWHM	3.4 – 5	2.9 – 3.6	3.4 – 4.5	2.4 – 3.2

Table 3: Numero di sorgenti luminose prese in considerazione e scartate attraverso l'analisi di ellitticità e FWHM.

	g1	g2	r1	r2
totali	953	1393	1853	2835
scartate	372	488	781	1071
rimaste	581	905	1072	1764
percentuale rimaste	61%	65%	58%	62%

Operations on Catalogues And Tables", è un visualizzatore ed editor di tabelle, permette di visualizzare e compiere facilmente operazioni sui dati analizzati.

Tuttavia non si devono prendere in considerazione tutte le sorgenti luminose individuate da SExtractor, in quanto alcune sono galassie dell'universo locale, stelle sature (cioè troppo brillanti), stelle troppo vicine tra di loro che sono state considerate come un'unica sorgente dal programma. Questi dati non necessari sono stati eliminati tramite l'analisi dei grafici dell'ellitticità e della FWHM. Sono stati considerati solo alcuni valori per ogni immagine del grafico analizzato, riportati in Tab. 2. In particolare sono state selezionate le sorgenti luminose con una bassa ellitticità, in quanto, essendo le stelle sorgenti puntiformi, dovrebbero avere forma circolare nelle immagini. Per la FWHM è stato considerato un intervallo intorno al picco dell'istogramma (Fig. 2). Questa selezione consente di ridurre il numero di sorgenti con misure errate. La Tab. 3 mostra il risultato della selezione.

Il passo successivo prevede il calcolo della magnitudine delle stelle selezionate sia nel filtro g che in r, a partire dal flusso misurato. Per fare ciò è necessario conoscere alcuni parametri, che sono riportati nell'header delle immagini³. In particolare sono necessari i valori di m_0 (costante di calibrazione per passare dalle unità di misura dell'immagine astronomica, a unità fisiche), T_{exp} (tempo di esposizione), k (coefficiente di estinzione), X (massa d'aria). La formula per il calcolo della magnitudine m è la seguente:

$$m = -m_0 - 2.5 \log\left(\frac{\text{Flusso}}{T_{exp}}\right) - k \cdot X \quad (1)$$

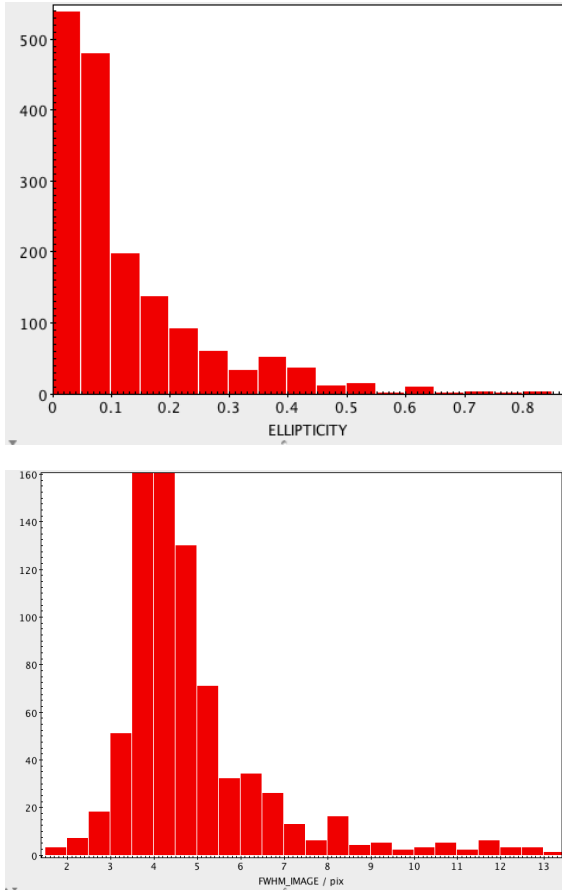
La Tab. 4 mostra i valori di m_0 , k , X ed T_{exp} per ogni immagine.

Con altre funzionalità di topcat si sono "unite" le tabelle relative alle due immagini per ciascun filtro in

³ Nel caso di immagini astronomiche, l'header è una sezione di testo presente all'interno del file stesso in cui sono riportate tutte le informazioni riguardanti l'immagine e il target delle osservazioni, quali, ad esempio, coordinate, condizioni meteo, strumentazione utilizzata.

g	NUMBER	FLUX_BEST	X_IMAGE	Y_IMAGE	ALPHA_J2000	DELTA_J2000	ELLIPTICITY	FWHM_IMAGE
1	1	4,39688E5	1713,63	66,789	114,51546	21,36142	0,012	3,67
2	3	4,69564E5	358,44	23,283	114,62734	21,25485	0,064	3,71
3	4	30068,	137,555	20,636	114,64593	21,23782	0,01	3,75
4	5	3495,33	147,14	20,085	114,64507	21,23851	0,086	3,73
5	11	4484,53	681,008	32,897	114,60067	21,28016	0,021	3,78
6	12	1,99896E5	716,018	71,944	114,60087	21,28593	0,039	3,69
7	13	3319,31	1524,11	34,352	114,52896	21,34443	0,011	3,61
8	14	68493,	21,75	57,48	114,65879	21,23193	0,044	3,73
9	16	2,82327E5	628,541	80,53	114,60902	21,27995	0,031	3,73
10	22	2,25932E5	1950,77	93,961	114,49746	21,38162	0,029	3,62
11	23	3123,6	795,005	61,258	114,59327	21,29109	0,044	3,85
12	26	1466,39	1248,64	58,046	114,55437	21,32535	0,097	3,95
13	27	2715,63	169,427	65,073	114,64685	21,24377	0,058	3,83
14	28	27373,	1091,19	80,824	114,56965	21,31518	0,036	3,7
15	31	6519,26	1281,5	82,977	114,55361	21,32984	0,007	3,76
16	33	11749,	32,099	88,761	114,66047	21,2352	0,05	3,74

Fig. 1: Esempio di una parte delle tabelle visualizzate con topcat.

Fig. 2: **Alto:** Istogramma delle ellitticità. **Basso:** Istogramma delle FWHM.

modo tale che eventuali sorgenti luminose presenti in entrambe le immagini dello stesso filtro venissero congegnate una sola volta. Per questo passaggio abbiamo sfruttato le coordinate astronomiche delle singole sorgenti fornite da SExtractor. Infine sempre tramite le coordinate astronomiche si sono “uniti” i dati delle stelle comuni ai due filtri in un’unica tabella. A questo punto si è proceduto alla realizzazione di un diagramma

Table 4: Valori di m_0 , k , X ed T_{exp} per ogni immagine.

	g1	g2	r1	r2
m_0	-24.4	-24.4	-24.1	-24.1
k	0.142	0.142	0.0902	0.0902
T_{exp}	53.9	53.9	53.9	53.9
X	1.20	1.07	1.22	1.06

colore-magnitudine. Sull’asse x del diagramma è rappresentato l’indice di colore ($g-r$), cioè la differenza tra le due magnitudini. Nel caso di emissione di corpo nero, con cui può essere approssimata l’emissione stellare, questa quantità è legata alla temperatura del corpo nero e di conseguenza al tipo spettrale della stella. Sull’asse y abbiamo la magnitudine r (Fig. 3).

Per stabilire età e metallicità dell’ammasso si è confrontato il diagramma ottenuto con le isocrone dello studio Salasnich et al. (2000). Le isocrone non coincidono con la sequenza principale del diagramma in quanto esse sono espresse in magnitudine assoluta e non tengono conto della presenza di polveri tra l’ammasso e l’osservatore. Le polveri del mezzo interstellare assorbono la luce in modo inversamente proporzionale alla sua lunghezza d’onda. Di conseguenza lo spettro delle stelle (e di conseguenza l’indice di colore) risulta più rosso del dovuto e trasla tutto il CMD verso la parte destra del diagramma. Si devono quindi spostare le isocrone nel grafico verso destra e verso il basso. I valori di cui spostiamo le isocrone sono: l’eccesso del colore sull’asse x, causato dall’assorbimento delle polveri tra noi e ciò che stiamo osservando (E_{g-r}) e il modulo di distanza causato dal fatto che le isocrone sono espresse in magnitudine assoluta mentre i valori nel diagramma colore-magnitudine sono espressi in magnitudine apparente ($R - M_r$).

4. Risultati

L’isocrona che rappresenta meglio l’ammasso è quella dello studio Salasnich et al. (2000) avente metallicità $z = 0.019$, pari a quella solare, e $\log age = 9.20$, quindi l’ammasso ha età pari a $10^{9.20} = 1.58 \cdot 10^9$ yr (Fig. 4).

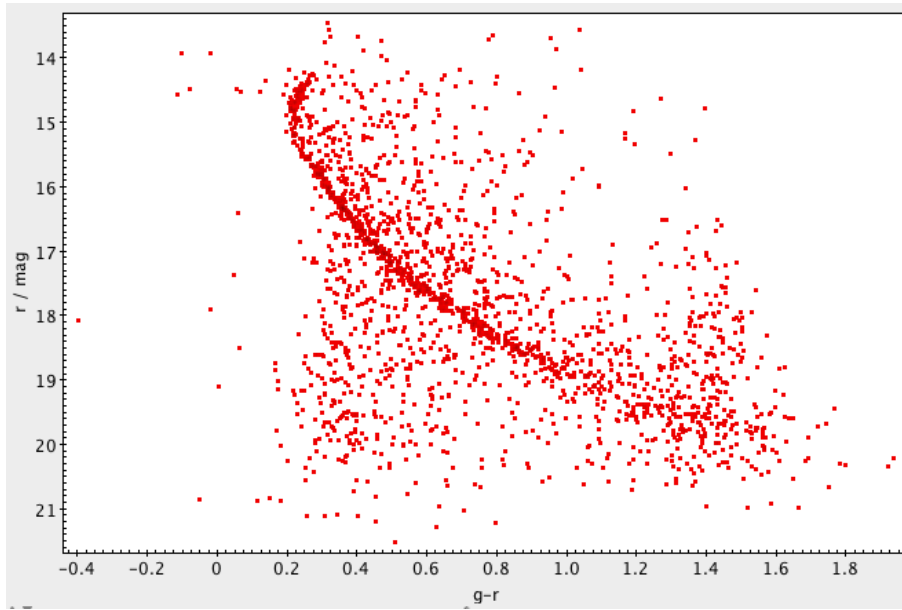


Fig. 3: Il diagramma colore magnitudine ottenuto. È ben visibile la main sequence dell'ammasso e un principio di turn-off.

Rimane infine da stimare la distanza. Essa si ricava dai valori di eccesso di colore e modulo di distanza con la formula:

$$d = 10^{\frac{(r-M_r)+5-(2.57 \cdot E_{g-r})}{5}} \quad (2)$$

Dai calcoli risulta che l'ammasso si trova ad una distanza compresa tra 2.78 kpc e 2.98 kpc; valore plausibile in quanto compreso nel diametro della Via Lattea di circa 30 kpc.

Confrontando i risultati con quelli ottenuti in Sharma et al. (2006) si nota che questi differiscono leggermente. In particolare il valore della metallicità da noi ottenuto è più alto: $z = 0.019$ contro $z = 0.008$; così come la distanza: stimata tra 2.78 e 2.98 kpc piuttosto che 2.42 kpc. Invece il valore dell'età qui è più basso: 1.58 Gy contro 2 Gy.

5. Conclusioni

Al termine della ricerca, effettuata attraverso l'uso di programmi specifici come Source-Extractor e Topcat, per l'analisi e l'elaborazione dei dati a partire dalle immagini astronomiche della SDSS DR7, l'ammasso NGC2420, scoperto nel 1783 da William Herschel, è stato classificato come un ammasso aperto piuttosto vecchio e di magnitudine solare. Esso ha un'età pari a 1,58 Gy ed inoltre è posto ad una distanza compresa tra 2.78 kpc e 2.98 kpc, valori plausibili in quanto la Via Lattea, ospitante tale ammasso, ha un diametro di circa 30 kpc. Tali risultati sono dunque conformi a quelli ottenuti da numerosi scienziati e contenuti nel

sito "WEBDA page for open cluster NGC2420"⁴, mentre si discostano leggermente in Sharma et al. (2006).

Acknowledgements. Funding for the Sloan Digital Sky Survey has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation and the U.S. Department of Energy Office of Science. The SDSS web site is <http://www.sdss.org>. SDSS-III is managed by the Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions of the SDSS-III Collaboration including the University of Arizona, the Brazilian Participation Group, Brookhaven National Laboratory, Carnegie Mellon University, University of Florida, the French Participation Group, the German Participation Group, Harvard University, the Instituto de Astrofísica de Canarias, the 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, and Yale University.

References

- Taylor M. B. 2005, ASPC, 347, 29 .
- Bertin E. & Arnouts S. 1996, A&AS, 317, 393
- Congiu E. 2018, I diagrammi colore-magnitudine degli ammassi; Il Cielo Come Laboratorio.

⁴ http://www.univie.ac.at/webda/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=NGC+2420

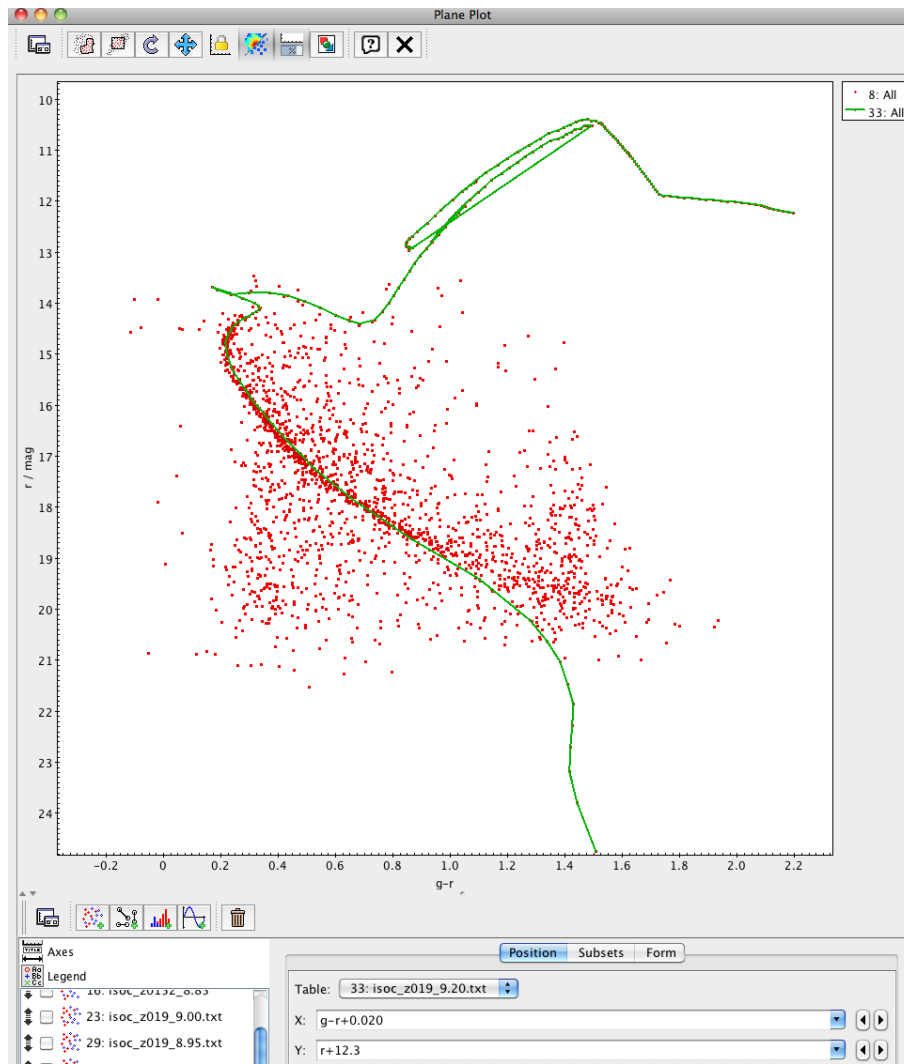


Fig. 4: La linea verde è l'isocrona che rappresenta meglio l'ammasso. Essa ha metallicità pari a quella solare e un logaritmo in base 10 dell'età pari a 9.20. Inoltre i valori di eccesso di colore e modulo di distanza sono rispettivamente di 0.020 e 12.3.

https://it.wikipedia.org/wiki/Diagramma_Hertzsprung-Russell.

B. Salasnich, L. Girardi, A. Weiss, C. Chiosi, 2000, A&A 361, 1023.

Saurabh Sharma, A. K. Pandey, K. Ogura, H. Mito, K. Tarusawa & and R. Sagar; 2006, AJ, 132, 1669