

Una simulazione basata sull'analisi fotometrica dell'Ammasso Globulare NGC 6397

Studenti: Monica Bellunato, Ilaria Forieri, Davide Girardini, Giulio Pinzan

Insegnante: Claudio Forieri

Liceo Scientifico "G.B. Benedetti" - Venezia.

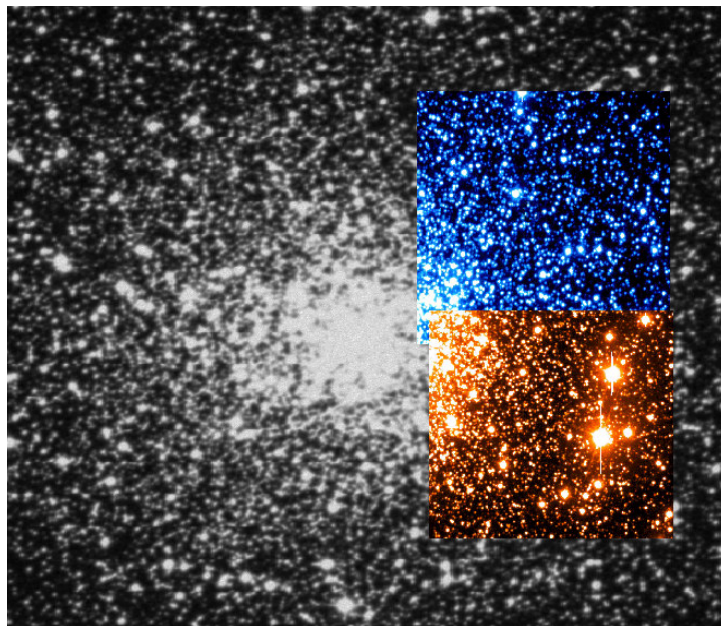
Introduzione

Nel corso di questo lavoro abbiamo innanzitutto ricavato il diagramma c-m dell'ammasso globulare NGC 6397, seguiti dallo staff del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova. Sotto la guida del prof. D'Onofrio, presso l'Osservatorio Astrofisico di Asiago, abbiamo analizzato alcune immagini dell'ammasso già utilizzate da Rosenberg A., Piotto G., Saviane I. & Aparicio per un loro articolo sugli ammassi globulari (2000), in modo da ricavare le magnitudini V e I di circa 2000 stelle. La complessa procedura ci ha fatto capire che ottenere un diagramma c-m significativo comporta molta attenzione e numerose scelte. Il diagramma di NGC 6397 è tipicamente di popolazione II. In un secondo momento, tornati a scuola, il nostro insegnante ci ha assegnato un esercizio di simulazione. Con un metodo statistico abbiamo provato a ricostruire il cielo così come è visto dall'interno dell'ammasso stesso. Il calcolo ci ha permesso non solo di applicare le formule di astronomia che avevamo imparato, ma anche di fare un esercizio di matematica semplice ma dai risultati molto suggestivi.

L'ammasso Globulare NGC 6397

Gli ammassi globulari sono gruppi formati da decine o anche centinaia di migliaia di stelle. Gli ammassi più popolosi sono formati anche da un milione di stelle. Esse sono strettamente vincolate tra loro dalla forza di gravità in un volume di spazio quasi sferico. La concentrazione delle stelle è massima al centro (la distanza media tra le stelle è di circa un anno luce) e decresce rapidamente verso l'esterno. La distribuzione dei diversi ammassi è sferica nell'alone galattico, con il centro coincidente con il centro stesso della Galassia. Le stelle che li compongono si sono formate contemporaneamente nelle prime fasi evolutive della Galassia. Le età stimate sono dell'ordine di 10 miliardi di anni o anche superiori. Esse sono quindi molto evolute, di popolazione II. In prevalenza le più brillanti sono giganti rosse.

NGC 6397 è un ammasso posto nell'emisfero meridionale e invisibile dall'Italia. Le sue coordinate sono: R.A. 17h 40m 41.3s, DEC -53h 40m 25s. E'. La sua distanza dal Sole è 7200 anni luce ossia 2.2 kpc; è dunque uno degli ammassi globulari più vicini e le sue stelle più luminose possono essere risolte anche con un piccolo telescopio. Abbiamo calcolato il suo modulo di distanza, che è 11,71. La sua distanza dal centro galattico è 19560 anni luce ossia 6.0 kpc. Ha magnitudine apparente integrata +5,16. Da questo dato e dalla sua distanza dal Sole possiamo ricavare una magnitudine assoluta integrata -6.55. Il suo diametro apparente è di circa 26 arc min, da cui ricaviamo un valore reale di 16.6 pc. Si avvicina a noi a 18.9 km/s. Se ci stesse realmente puntando ci raggiungerebbe in 310 milioni di anni.



La fotometria usando IRAF

Il gruppo di astronomi che ci seguiva ci ha fornito una serie di immagini dell'ammasso NGC 6397 che erano state prese nel 1997 al ESO/DUTCH 91cm in notti con buon seeing, ottenute con vari tempi di esposizione (da 15 a 900 s) sia in V che in I, oltre che immagini di flat field e di stelle campione.

Innanzitutto abbiamo voluto identificare la posizione precisa dei campi studiati in modo da capire in quale zona dell'ammasso si posizionassero e quanto fossero estesi rispetto all'ammasso stesso. La figura 1 riporta la sovrapposizione in finti colori delle nostre immagini su una immagine d'archivio dell'ammasso, che abbiamo tratto da STScI Digitized Sky Survey, all'indirizzo: http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss_form, nella loro esatta posizione.

Abbiamo definito i due campi rispettivamente A (in figura azzurro) e B (in figura arancione). Ciascun campo è stato studiato da due di noi, in modo che tutti potessero seguire il processo di riduzione dati. I nostri risultati si sono incrociati con quelli degli studenti del Liceo Morin di Mestre, Pontini e Ziosi, seguiti dal prof. Del Negro.

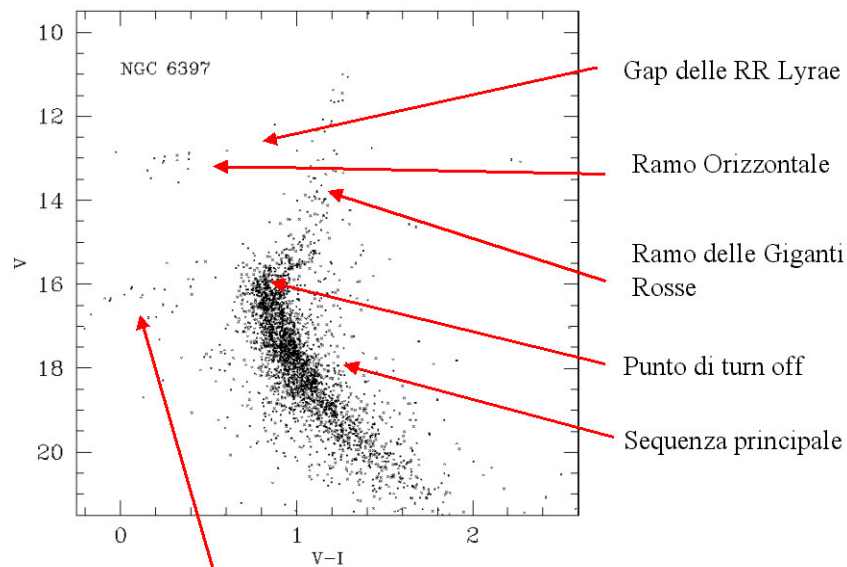
Successivamente abbiamo attuato le seguenti procedure:

- eseguito il cosiddetto "trim" dell'immagini, eliminando la parte che non conteneva informazioni
- sottratto il bias ossia il rumore di fondo medio del CCD
- diviso i conteggi fotometrici per il flat field, ossia abbiamo tenuto conto della diversa risposta dei pixel del CCD, e poi normalizzato i risultati, moltiplicando i conteggi per la media dei conteggi del flat field
- individuato la posizione delle stelle
- ridotto gli effetti dell'atmosfera terrestre, mediante la PSF (Point Spread Function)

Al termine di queste operazioni si ottiene per ognuna delle stelle riconosciute come tali dal programma una magnitudine apparente in scala arbitraria in V e in I. Mediante il confronto con stelle di calibrazione si arriva infine alla lista definitiva.

Imparare a svolgere tutte queste operazioni ha richiesto 3 giorni di lavoro. In qualche passaggio, come quando si trattava di stabilire l'effetto della massa d'aria sulle misure, l'intervento degli esperti è stato basilare. La procedura ci è risultata però chiara nel suo complesso.

Il risultato finale ha portato al un diagramma in cui era possibile riconoscere tutte le caratteristiche di un diagramma di Popolazione II.



Stelle di campo non appartenenti all'ammasso (?)

Il nostro diagramma non si discosta nelle sue caratteristiche principali da quello di Rosenberg & al., se si escludono un certo numero di stelle presenti all'altezza del punto di turn off e che non sono presenti nel diagramma citato. Esse sono, con grande probabilità, stelle di campo non appartenenti all'ammasso. La sequenza principale è comunque ben marcata, ed allo stesso modo il punto di turn off è facilmente distinguibile. Si può notare anche il ramo delle Giganti Rosse, oltre che il Ramo Orizzontale ed il gap delle RR Lyrae.

Commenti al lavoro di fotometria

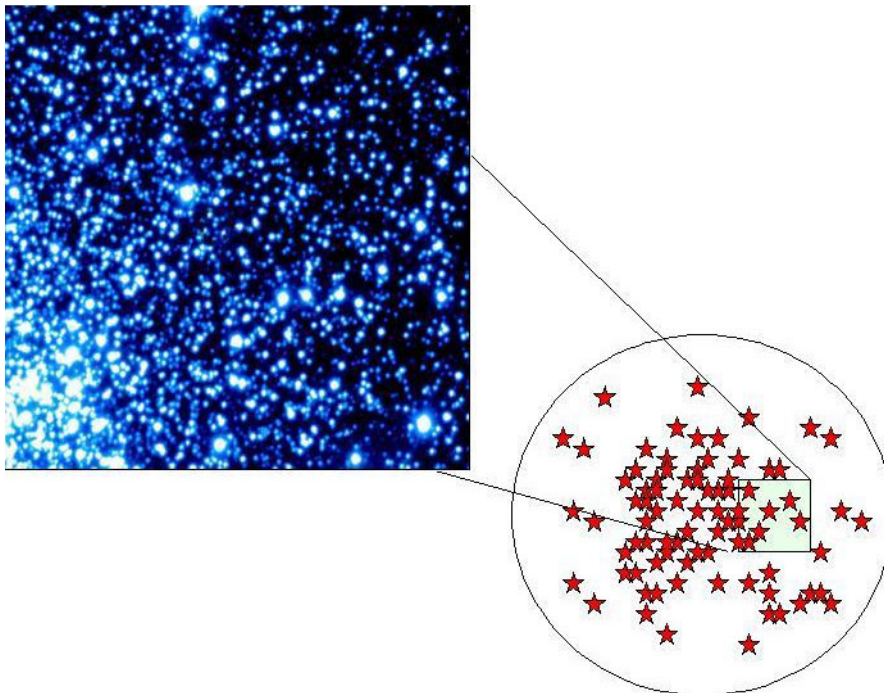
Nel diagramma abbiamo riconosciuto le caratteristiche già studiate a scuola, con la differenza che ci siamo resi conto del gran numero di problemi che devono essere affrontati per ottenerlo, cosa che non appare sui libri.

Anche se il momento in cui il diagramma è apparso per la prima volta definito sui nostri schermi è stato esaltante, dobbiamo aggiungere che tutto l'aspetto tecnico è stato interessante, anche perché era sicuramente qualcosa di nuovo per noi. E per aspetto tecnico intendiamo sia l'utilizzo IRAF e di altri sistemi operativi, sia l'applicazione delle tecniche di programmazione imparate a scuola.

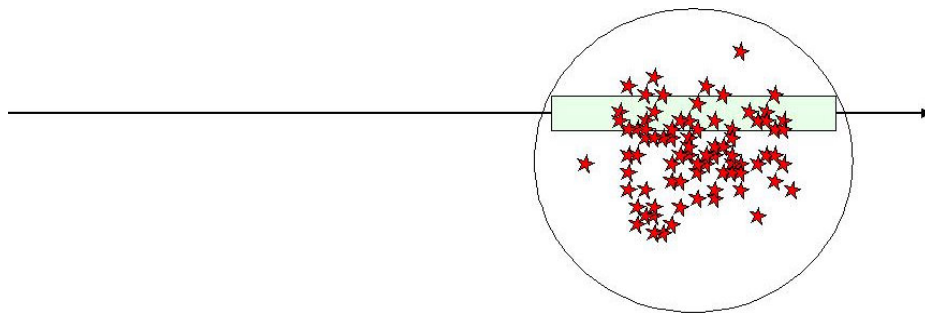
Esercizio di applicazione

Al termine dello stage avevamo un elenco di stelle di cui possedevamo la posizione nel campo stellare e la magnitudine in due bande di colore. Il professore ci ha proposto di lavorare ancora sui dati con un esercizio di simulazione, e di calcolare, con le formule che conoscevamo, come poteva essere visto il cielo dal centro del campo che stavamo prendendo in considerazione. Naturalmente ha subito precisato che non avremmo mai potuto sapere realmente come sarebbe stato il vero cielo visto dall'interno dell'ammasso, perché era impossibile stabilire la reale posizione delle stelle che avevamo osservato, ma ci ha consigliato di proseguire ugualmente, perché avremmo probabilmente trovato ugualmente dei risultati.

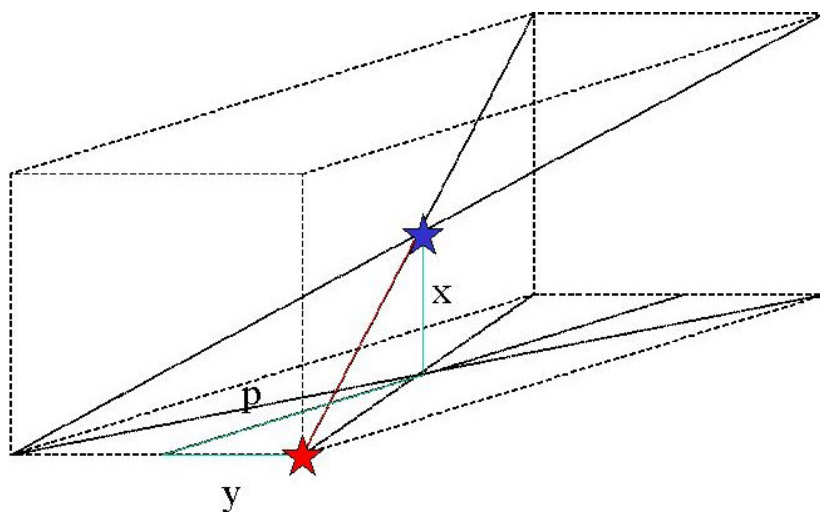
Le stelle che osserviamo nel nostro campo ci appaiono proiettate tutte su un piano



In realtà esse riempiono un solido che possiamo approssimativamente paragonare ad un parallelepipedo. L'altezza di questo, tenuto conto del diametro dell'ammasso e della posizione del campo rispetto al centro dello stesso, è circa 14 pc.



La figura seguente ci mostra che, data una stella qualsiasi, la sua posizione rispetto al centro del parallelepipedo è nota solo per quanto riguarda le coordinate x e y. La coordinata p (profondità) resta sconosciuta. Nella nostra simulazione abbiamo considerato che ciascuna stella avesse la stessa probabilità di essere in un punto qualsiasi lungo la linea di vista. Noi sappiamo che questo non è vero, perché le stelle sono più numerose a metà del solido, nel punto più vicino al centro dell'ammasso. Rispetto al cielo reale il nostro calcolo prevedrà un cielo un po' più povero di stelle luminose. Applicando il teorema di Pitagora, che vale anche nello spazio:



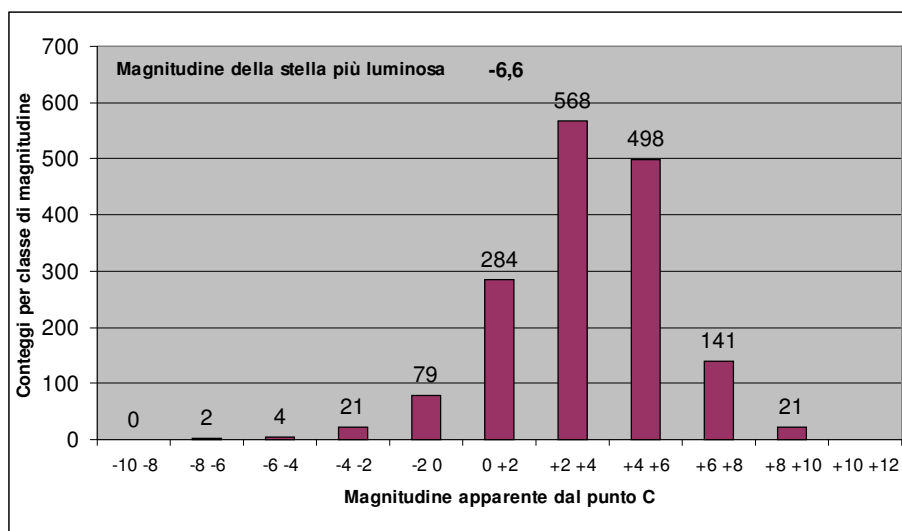
$$\text{Dist} (\text{★} - \text{★}) = \text{radq}(x^2 + y^2 + p^2)$$

A questo punto non ci rimaneva che procedere nella simulazione, cosa che abbiamo fatto utilizzando un foglio elettronico, che effettuava automaticamente il calcolo della distanza casuale p, un numero compreso tra 0 e 7, tutte le volte che lo chiedevamo.

I parametri inseriti nel foglio, oltre che la posizione x e y di ciascuna stella in pixel e la sua magnitudine apparente V, erano le dimensioni del pixel, 0,45", e la distanza dell'ammasso dalla Terra, 2200 parsec.

Ci siamo posizionati al centro C del parallelogramma, sul pixel di posizione 256x256, limitandoci a considerare le stelle del campo A.

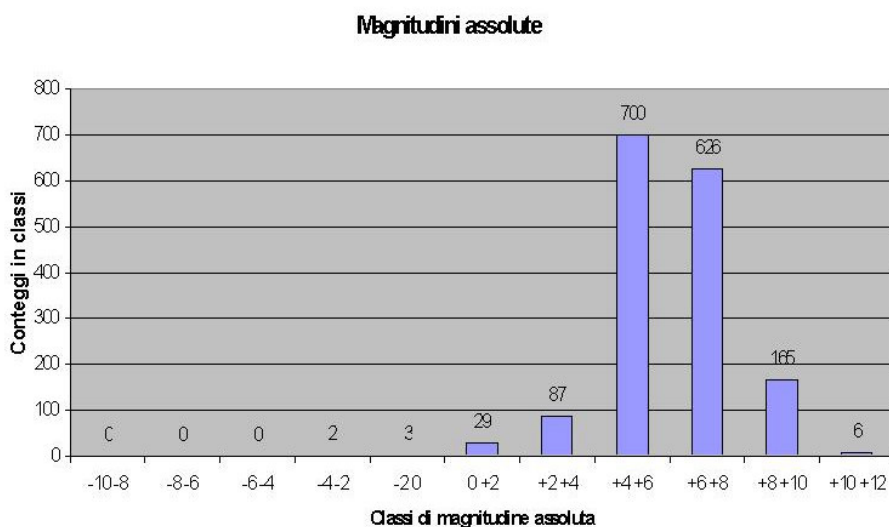
Ogni volta che il foglio effettuava un ricalcolo, esso ci forniva un istogramma come il seguente, che aggrega le stelle per classi di magnitudine apparente così come esse sarebbero viste dal punto C.



Naturalmente il grafico proposto è ogni volta diverso, perché la singola stella si va a posizionare ad una profondità differente. Ma, nonostante ciò, vi sono delle caratteristiche generali che si possono riscontrare ad ogni ricalcolo:

- ci sono sempre oltre 100 stelle, solo tra quelle del campo, con magnitudine apparente negativa (mentre sappiamo che dalla Terra, Sole escluso, ne vediamo solo tre, Sirio, Canopo e α Centauri);
- la magnitudine della stella più luminosa varia anche sensibilmente, ma essa rimane sempre molto negativa. Le stelle più luminose hanno sempre magnitudine apparente inferiore a quella di Venere vista dalla Terra
- si può notare un picco di conteggi per le stelle con magnitudine che varia tra +2 e +4;

Ci siamo chiesti il perché di quest'ultimo comportamento. Per far questo abbiamo considerato un ulteriore istogramma, questa volta non dipendente da altro se non dalla distanza dell'ammasso globulare. Abbiamo calcolato la magnitudine assoluta di tutte le stelle del nostro elenco.



Anche questo grafico mostra un picco, questa volta in corrispondenza della classe di magnitudine compresa tra +4 e +6. Questo è sospetto perché le indicazioni che noi abbiamo dalle vicinanze della Terra è che il numero di stelle poco luminose è, al contrario, molto superiore di quello delle stelle luminose. Il picco non può che significare che la nostra analisi considera poche stelle tra quelle meno

luminose e, in particolare, mostra che vengono perse molte stelle con $M_{\text{ass}} > +6$. Tenuto conto del modulo di distanza, esse, viste dalla Terra, hanno $m_{\text{app}} > +18$. Se il conteggio di fotoni fatto dal CCD non si discosta molto dal rumore di fondo il programma di fotometria non è più in grado di identificare la stella.

Conclusioni

La simulazione si è dunque rivelata significativa, sia pure con i suoi limiti. Essa ci ha permesso di arrivare comunque ad alcune conclusioni:

- Il cielo visto da punti “privilegiati” dello spazio è molto diverso da quello che noi osserviamo dalla Terra
- Il cielo dal “Punto C” è molto più luminoso di quello visto dalla Terra
- ... e questo senza neppure aver considerato quella “Piazza Lattea” circolare che è il centro dell’ammasso NGC 6397 visto da lì.

Nota dell’insegnante:

Se non fosse chiaro, esplicito le motivazioni che mi hanno spinto a suggerire l’esercizio:

- far prendere confidenza lo studente con le formule che legano magnitudine assoluta, magnitudine apparente e distanza;
- ripassare le formule che legano distanza angolare di due oggetti e loro distanza radiale;
- immergere lo studente nella situazione fisica in cui si trova il punto dello spazio osservato;
- fare un esercizio di simulazione statistica;
- fare un esercizio di geometria tridimensionale che poche volte si incontra nelle aule di scuola.

Naturalmente lo stesso esercizio può essere assegnato anche a partire da dati raccolti direttamente dalla letteratura. Ad esempio suggerisco di utilizzare i dati di Kaluzny (1997), posizionandosi al centro dell’ammasso stesso. Nel nostro caso c’era però il senso di completare un faticoso e comunque soddisfacente esercizio di fotometria, utilizzando le stelle del “nostro catalogo”.

Bibliografia essenziale:

- Rosemberg, A., Piotto G., Saviane, I. e Aparicio, A., 2000, A&AS 144, 5.
- Kaluzny, J., 1997, A&AS 122,1
- Wells, L., 1994, “Photometry Using IRAF”

Abbiamo inoltre consultato:

- Hanes,D. e Madore, B. Globular Cluster, 1980