



Ammassi Globulari

GC - Ammassi Chiusi

(di Leonardo Malentacchi)

Indice

1	Definizione	2
2	Caratteristiche Generali	2
2.1	Analisi.....	2
2.2	Osservazione.....	2
2.3	Dimensioni.....	3
2.4	Densità.....	3
2.5	Massa.....	3
2.6	Dinamica.....	5
2.7	Numero	4
2.8	Stelle	4
2.9	Luminosità.....	4
2.10	Composizione Chimica.....	6
2.11	Materia Interstellare.....	6
2.12	Nebulose Planetarie	6
2.13	Tabella Caratteristiche Generali	7
3	Classificazione.....	7
3.1	Classificazione per concentrazione di Harlow Shapley	7
3.2	Classificazione di King.....	7
3.3	Classificazione per Metallicità.....	8
3.4	Tipi.....	8
4	Pianeti	8
4.1	Ricerca Vita Extraterrestre.....	9
5	Altre Galassie	9
6	Distanze Cosmiche	9
7	Età.....	9
7.1	Origini.....	9
7.2	Diagramma HR.....	9
7.3	Età dell'universo.....	10
8	Oggetti visibili ad occhio nudo.....	11
9	Ammassi Particolari.....	11
10	Materia Oscura (DM)	11
11	Storia.....	11
11.1	Denominazione	12
11.2	Decentramento del Sole	12
11.3	Diametro della Galassia.....	12
11.4	Popolazioni Stellari.....	12
11.5	Diagramma HR – Evoluzione stellare	13
11.6	Omega Centauri	13
11.7	M13 – Ammasso di Ercole	13
12	Acronimi.....	13
13	Glossario.....	13
14	Bibliografia e info. documento	14



1 Definizione

La densità delle stelle all'interno di una Galassia non è distribuita in tutto il volume omogeneamente, ma si possono avere zone dove si trovano più concentrate o rarefatte. Le zone dove si concentrano più stelle, sono definiti ammassi. Gli ammassi sono definiti globulari per oggetti che si trovano distribuiti all'interno dell'alone galattico, dove la concentrazione di stelle può arrivare a contenere da decine di migliaia a oltre un milione di corpi celesti. Per la loro concentrazione di stelle, gli GC sono chiamati anche ammassi chiusi. Il termine in inglese è definito come Globular Cluster da cui l'acronimo GC. In letteratura inglese si trova anche l'acronimo GGC che sta per Galattic Globular Cluster.

2 Caratteristiche Generali

Gli GC, circondano le galassie e sono formati da stelle di popolazione II, lo stesso tipo di stelle che si trovano nell'alone galattico. Tutte le GC sono molto simili e si distinguono prevalentemente per la loro Luminosità, per il diametro apparente e per la classe di densità.

2.1 Analisi

Lo studio degli GC permette di poter conoscere i limiti e la dinamica della Via Lattea, in particolare, le loro posizioni, consentono di definire i confini della Galassia. Sono sistemi stellari che rivestono una notevole importanza sia dello studio dell'evoluzione stellare che galattica, che cosmologica.

2.2 Osservazione

L'apertura angolare di un GC si aggira intorno a qualche primo d'arco, questo permette di poterlo osservare anche con telescopi di modeste prestazione, ad esempio con apertura di 10 cm. Questa dimensione è tale che anche con ingrandimenti modesti si possa capire che abbiamo di fronte non una stella ma un oggetto particolare. Tra gli ammassi più spettacolari dell'emisfero Sud, che possiamo osservare, troviamo ω Centauri. Nell'emisfero Nord abbiamo: M13 in Ercole, M22 nel Sagittario, 47 Tucanae vicino alla piccola Nube di Magellano. Alcuni GC sono osservabili anche ad occhio nudo, come ad esempio, ω Centauri, ma per gli GC prossimi all'equatore galattico è difficile anche con strumenti a causa dell'assorbimento dovuto alla materia interstellare e per il grande numero di stelle presenti. Per poter superare tale difficoltà occorre superare la zona di invisibilità, ampia 16° in latitudine dal centro galattico. Anche se sono molto estesi e concentrati, la loro distribuzione e posizione nell'alone galattico è tale che, sono abbastanza lontani da non poter essere visti facilmente ad occhio nudo. La difficoltà aumenta se vogliamo distinguere le singole stelle componenti. Le singole stelle sono più visibili verso la periferia dell'ammasso, nella zona centrale la densità è così elevata che appare come un unico corpo luminoso.

2.2.1 Morfologia

La maggior parte delle stelle è concentrata al suo centro. Gli GC hanno una forma quasi sferica, con distribuzione di stelle crescente verso il nucleo. Il loro rapporto assiale medio, che definisce il grado di ellitticità della forma, è di: 0.92 ± 0.01 (White & Shawl, 1987) ed è indipendentemente dal contenuto di metallicità del GC (composizione chimica). La morfologia del GC, che vede un'alta concentrazione di stelle in poco spazio, ha determinato una delle sue denominazioni che, per distinguersi dagli oggetti che presentano stelle che si osservano disperse nello spazio (gli ammassi aperti), sono chiamati ammassi chiusi. In apparenza tutti gli GC sembrano uguali, ma in realtà vi sono delle piccole differenze che li caratterizzano. Sebbene tutti i GC siano sferici, si possono osservare varie peculiarità come:

- Deformazioni Visibili.
- Su molti dei più brillanti si possono riconoscere degli asterismi formati da alcune stelline,
- Golfi formati da assenza di stelle lungo i bordi.



2.2.2 Distribuzione

Dal sistema Solare, i GC, sono osservati prevalentemente concentrati nella regione del cielo dello Sco-Oph-Sgr (Scorpione-Ofiuco-Sagittario), attorno al nucleo della Via Lattea. Dei 146 ammassi presenti sul catalogo di W.H.Harris il 91% (133 ammassi) si trovano nell'emisfero che ha per centro la costellazione del Sagittario, mentre il 9% (solo 13) sono della direzione opposta. In particolare il 51,4% degli ammassi (71), dei 138 elencati nello Sky Catalog 2000, si osservano 29 nel Sagittario, 18 nello Scorpione, 24 in Ofiuco. Ma 4 GC del Sagittario probabilmente non fanno parte della Via Lattea in quanto appartengono alla galassia ellittica nana del Sagittario scoperta nel 1994. La distanza di questi oggetti può arrivare sino ai 300.000 a.l. dal centro galattico, ma la maggior parte è distribuita nello spazio in modo da formare un sistema di forma grosso modo sferico avente un diametro di circa 40.000 pc. in una regione della galassia chiamata alone o corona. La concentrazione degli oggetti nell'alone diminuisce con l'aumentare della distanza dal centro. Benché questi oggetti si trovino apparentemente distanti dal corpo principale (della galassia) sono considerati inquilini galattici in quanto legati gravitazionalmente. I GC più distanti dal piano galattico sono molto più estesi e con densità inferiori (classe XII) di quelli vicini.

2.2.3 Distanze

Gli GC orbitano molto distanti, dal centro della Galassia, a tal punto che alcuni possono essere considerati liberi dal campo gravitazionale della Galassia stessa. Facendo parte dell'alone delle galassie possono arrivare sino a 300.000 a.l. di distanza dal centro. La distanza del più vicino GC, dal Sistema Solare, si trova a circa 2.000 Pc. Recentemente, grazie al satellite Hipparcos, è stato possibile misurare con maggiore precisione, con il metodo della parallasse, distanze di stelle vicine povere di metalli, che assomigliano a quelle degli GC. Tarato il modello delle stelle di uguale colore, per confronto sulla luminosità, è stato possibile appurare con precisione più elevata le relative posizioni ed è risultato che gli GC sono più lontani di circa il 10% di quello che si ritenesse precedentemente e questo li rende più luminosi e di conseguenza più giovani. Queste misure saranno rese ancora più precise di almeno 250 volte, sempre per mezzo del metodo della parallasse, grazie ai nuovi osservatori orbitanti come GAIA dell'ESA e Space Interferometry Mission della NASA. Questi potranno misurare direttamente le distanze degli GC della nostra galassia potendo così verificare con esattezza gli attuali modelli. Un altro metodo per misurare le distanze è attraverso il moto delle stelle.

2.3 Dimensioni

Le dimensioni di un GC medio si aggira attorno ai 150 a.l., ma possono variare tra i 20 e i 100 pc. Non è facile determinare il diametro di un ammasso perché il contorno limite di questi oggetti sono sfumati ai bordi. In genere si valuta prendere, come diametro, la distanza che comprende almeno il 90% della luce dell'ammasso. Il diametro a metà intensità dei GC è indipendente dalla luminosità (Van de Bergh, Morbey & Pazder, 1991) ed è legato alla distanza (R) dal centro della Galassia, dalla relazione: $D_h = \sqrt{R}$.

2.4 Densità

La densità stellare si calcola a partire dalle regioni periferiche, dove è possibile risolvere le singole stelle, e si estrapola poi per l'intero ammasso. Essendo il diametro di un GC medio dell'ordine di un centinaio di a.l., la distanza media di una stella dall'altra può variare fra 1/2 e 2 a.l.. Si va da 150 alle 10.000 stelle per pc^3 , ovvero da 2.000 a 150.000 volte la densità nei dintorni del sole. Per confronto, la densità stellare nel disco, è mediamente compresa tra 0.1 e 50 stelle per pc^3 . All'interno di un GC, un ipotetico abitante di un pianeta osserverebbe una volta celeste piena di stelle, come se la via lattea si fosse allargata a coprire tutto il cielo. Al centro, la densità degli GC può essere così elevata che le stelle possono distare da pochi giorni a poche ore luce, a tal punto che, all'osservazione, molte volte non è possibile risolvere le singole stelle.

2.5 Massa

La massa di un GC è dell'ordine di 10^6 Masse solari.



2.6 Numero

Nella Via Lattea è stato stimato che vi possa essere circa 200 GC, ma sinora ne sono stati scoperti 146 (1996 - W.E. Harris). Numerosi GC sono inosservati, perché si trovano dalla parte opposta del centro della Via Lattea, nascosti dalle polveri e dalle stelle del disco galattico. Ma non è escluso che alcuni GC catalogati possono in realtà fare parte della galassia ellittica nana del Sagittario scoperta nel 1994.

2.7 Stelle

Al loro centro è stato verificato che non sono presenti buchi neri. Negli GC si osservano molte sorgenti X (probabilmente stelle di neutroni membri di binarie) e Pulsar al millesimo di secondo che non nel resto della galassia, ma la ragione di ciò non è conosciuta. L'alone della Galassia è povero di Gas, pertanto vi si formano poche nuove stelle, e quelle presenti tendono ad essere vecchie. Fra le stelle di un GC si trovano meno stelle azzurre, cioè le stelle sono anziane, a differenza di quelle degli ammassi aperti.

2.7.1 Numero di Stelle

Un GC medio ha una popolazione stellare di 100.000 stelle, ma possono variare da decine di migliaia a oltre un milione di corpi celesti.

2.7.2 Diagramma HR

Il diagramma HR, di un GC, presenta il ramo della sequenza principale vuota e con stelle poco luminose. Questo è dovuto perché un GC è generalmente molto vecchio e le stelle più massicce sono morte. Le più brillanti sono le supergiganti rosse con il ramo orizzontale molto popolato. Gli GC avendo tutti un'età di diversi miliardi di anni presentano un diagramma HR più o meno tutti simili tra loro.

2.7.3 Variabili RR Lyrae

Nel diagramma HR le stelle di popolazione I sono caratterizzate da una lacuna di stelle (HG: Hertzsprung Gap), presente nel ramo orizzontale (HB), di colore intermedio tra le più brillanti stelle blu e le più brillanti stelle rosse. Negli GC, questa lacuna è popolata dalle cefeidi a breve periodo, meglio conosciute come variabili RR Lyrae. E' grazie alle RR Lyrae che Shapley, dimostrò la posizione eccentrica del sole rispetto al centro galattico.

2.8 Luminosità

Un GC medio presenta una magnitudine assoluta di circa $-8,5$, con una luminosità media dell'ordine di 100.000 volte superiore a quella del Sole. Ma per risalire a tale valore è necessario misurare la magnitudine apparente, ma non è un'operazione semplice dato che un GC è un oggetto esteso con i bordi non ben definiti. Inoltre per ricavare la magnitudine assoluta reale [magnitudine assoluta integrata $(M_v)_0$], deve essere preso in considerazione in qualche modo l'assorbimento interstellare con la distanza dell'ammasso. In genere la distribuzione delle magnitudini assolute dei GC è compresa nell'intervallo $10 \leq (M_v)_0 \leq -5$, con un picco in corrispondenza di $(M_v)_0 \approx -8,5$ ed una larghezza a metà altezza di circa ± 1 magnitudini (Oort, 1977). Gli GC presentano un rapporto massa-luminosità media di circa $1,2 (M / L_v)$ con variabilità compresa tra: $\approx 0,66 < M / L_v < \approx 2,9$. Un'intera popolazione di ammassi può essere utilizzata come candela standard, perché la distribuzione della funzione di luminosità degli GC ha una forma Gaussiana,

2.8.1 Funzione di Luminosità

La funzione di luminosità (LF) fornisce informazioni sullo spettro di masse relativo alla formazione stellare. Dà una misura della rapidità con cui una stella attraversa le successive fasi evolutive. La funzione di luminosità per i GC segue una forma Gaussiana con $M_v \geq -7,3 \pm 0,2$ e $\sigma = 1,3$ mag (Harris, 1991). M_v non è in relazione alla distanza dal centro della Galassia (Van den Bergh, 1992).



2.9 Dinamica

Gli GC nascono da una nube di gas e polveri di enormi dimensioni e massa. Raggiunte particolari condizioni gravitazionali, l'intera nube comincia a collassare, ma questa non condensa in un unico corpo. Durante la contrazione si formano più collassi locali di più piccole dimensioni, si frammenta a formare più componenti. La distribuzione di masse stellari risultante al termine della serie di frammentazioni dipendono dalla composizione chimica iniziale, in particolare dal contenuto di metalli. I metalli condizionano sia l'opacità che i meccanismi di raffreddamento della materia stessa, e questi processi giocano un ruolo fondamentale nella dinamica della contrazione e della frammentazione della nube primordiale che porta alla nascita delle singole stelle. Ma un GC, una volta formato, non continua il collasso della nube, anche se la gravità reciproca dei singoli componenti tende ad attrarre e legare tutte le componenti, le stelle iniziano a disperdersi. Vi sono varie cause che portano a minare la stabilità dei GC, come:

- **Evaporazione cinematica delle stelle dall'ammasso.** Un GC, può essere visto come un sistema di particelle autogravitanti (le stelle) che, a causa delle mutue interazioni gravitazionali, sono destinate a raggiungere uno stato di equilibrio, equipartendo l'energia cinetica tra i vari componenti. L'ammasso tende a espandersi perdendo le stelle più periferiche. Il tempo di rilassamento di questi processi è dell'ordine del miliardo di anni. Essendo i GC della Via Lattea con età di più di 10 miliardi di anni, l'equilibrio cinematico è stato raggiunto già da molto tempo. Pertanto questo processo, di ricerca di equilibrio, coinvolge gli ammassi solo nei primi momenti della loro formazione, dopodiché la dissipazione di stelle diventa trascurabile.
- **Stelle binarie a contatto.** Al centro di un GC si formano gruppi di stelle binarie a contatto che, a causa dei rapidi moti orbitali, contengono un'elevata energia gravitazionale angolare. Per le interazioni mareali, questa energia, tende a trasferirsi a tutte le altre componenti, aumentando l'energia angolare complessiva dell'ammasso. La conseguenza diretta è l'espansione delle dimensioni del GC. Questo processo può avvenire in qualsiasi periodo di vita dell' GC.
- **Perturbazione reciproca del moto Orbitale delle stelle.** Le stelle, nel loro moto orbitale attorno alla GC, si possono avvicinare a tal punto che si perturbano reciprocamente, qualche corpo può diminuire la sua velocità relativa e qualcun altro aumentarla da uscire dall'ammasso.
- **Incontri stretti ammasso-ammasso.** Se due GC, durante il loro peregrinare attorno alla galassia si avvicinano si possono strappare reciprocamente delle stelle disperdendole nell'alone.
- **Interazioni gravitazionali nel periodico attraversamento del disco.** Benché l'GC si trova nell'alone della Galassia, il suo moto orbitale attorno al centro lo obbliga prima o poi a passare anche attraverso il piano galattico. Nel piano galattico troviamo una concentrazione superiore di nubi e quindi vi è una maggiore possibilità che capitino di attraversarle. La disgregazione per incontri con nubi molecolari giganti è proporzionale alla massa dell'ammasso. Ci si può aspettare che questi incontri abbiano impoverito la distribuzione di GC aventi masse più piccole rispetto a quella corrispondente a masse più grandi. Questo implicherebbe che la maggior parte dei GC non si siano formati in orbite radiali che sono distrutte più efficacemente da interazioni con le zone centrali galattiche (Van den Bergh, 1996b). L'attuale tasso di distruzione dei GC, secondo una stima fatta da Aguilar e al., 1988, sarebbe dell'ordine di 0,5 ammassi per miliardo di anni ovvero circa lo 0,3% della popolazione. Questa previsione è in accordo con le osservazioni. Questo spiegherebbe perché molti GC sopravvivono a questi incontri mentre gli ammassi aperti, di bassa densità, vengono decimati.
- **Forze di marea gravitazionale.** Forze disgregatrici dovute a masse concentrate disposte casualmente nella galassia o al campo gravitazionale galattico. Queste forze agiscono maggiormente nei bracci a spirale a causa della rotazione differenziale. Queste cause fanno sì che, anche se con tempi molto lunghi, l'ammasso si riduca a tal punto da dissiparsi.

Anche se vi sono varie cause che portano alla disgregazione dei GC, l'attrazione gravitazionale delle sue componenti è così elevata da impedire che l'ammasso si smembri velocemente, la dispersione dei GC risulta essere inferiore rispetto agli ammassi aperti, i quali si trovano nel disco galattico e hanno un numero di stelle minore. L'ordine di tempo di disgregazione di un ammasso aperto è di circa 500 milioni di anni, mentre occorrono almeno 100 miliardi di anni per un ricco GC. Pertanto dato che oggi osserviamo ammassi aperti questi devono essere recenti, mentre gli GC, dato che l'universo non ha più di 12 miliardi di anni, devono essere nati insieme alle galassie che li ospita. Nell'evoluzione del processo di disgregazione è anche possibile che gli GC possano respirare in una serie di cicli di espansione e contrazione.



2.9.1 Collisioni

L'alta densità stellare degli GC fa sì che le interazioni tra stelle e le collisioni mancate siano all'ordine del giorno. Il loro centro è una regione favorita per l'interazione tra più stelle che possono portare alla formazione di stelle doppie e di strani oggetti, come le stelle vagabonde blu (Blue Straggler), risultato della fusione di due stelle, la stella appare ringiovanita e più blu delle due progenitrici, pulsar veloci con periodi di millisecondi e stelle binarie a raggi x di piccola massa.

2.9.2 I moti delle GC

La misura delle velocità radiali ha evidenziato come la maggior parte dei GC sono disposti su orbite altamente ellittiche, attorno al centro, più o meno inclinate sul piano galattico. Le velocità radiali rispetto al sole arrivano a circa 500 Km/s, con un periodo di rivoluzione è di circa $3 \cdot 10^8$ anni (300 Milioni).

2.9.3 I moti delle stelle misurano la distanza

Esaminando i moti di un gran numero di stelle all'interno dell'ammasso si può ricavare la distanza.

Il moto di ciascuna stella ha 2 componenti:

Velocità radiale. Lungo la linea di vista.

Velocità angolare. Trasversalmente al cielo.

Ciascuna componente si ricava con metodi indipendenti: la velocità radiale tramite l'effetto doppler, e la velocità angolare mediante fotografie riprese a distanza di anni. Lo spostamento osservato angolare nel cielo, dipende dalla distanza della stella da noi, in un GC, dove migliaia di stelle si muovono casualmente, la velocità radiale media, dovrebbe essere uguale alla velocità angolare media, la correlazione fra le due grandezze ci fornisce il valore della distanza da noi. Tale metodo è stato utilizzato per misurare le distanze degli ammassi con il risultato che le distanze trovate con il metodo Hipparcos siano sovrastimate.

2.10 Composizione Chimica

Dall'analisi spettroscopica dell'atmosfera delle stelle è possibile desumere la composizione chimica. Le stelle di un GC sono caratterizzate da una inferiore presenza di metalli rispetto agli ammassi aperti. Hanno un contenuto medio 100 volte inferiore a quello di una stella come il Sole (stella di Popolazione I). Si ritiene quindi che gli GC si siano formati da una precedente generazione di stelle, quelle cosiddette di Popolazione II, nate dalla materia primordiale presente nella giovane galassia poco dopo la sua formazione, poco dopo il big bang. Le stelle contengono solo tracce di elementi più pesanti dell'elio, rappresentano solo lo 0,01-0,5 % di una stella in un GC. A parte il litio, prodotto della sintesi stellare, la loro scarsità indica che gli ammassi sono molto antichi, formati da materia che non doveva essere contaminata dai residui di generazioni di stelle come quelli di popolazione I, e pertanto molto vicini al periodo del big bang. Generalmente gli ammassi meno densi hanno un contenuto in metalli maggiore e i GC disposti vicino al disco Galattico hanno metallicità più alte di quelli dell'alone (Armandroff, 1986). Sul diagramma HR, a parità di età, ammassi che sono più ricchi di metalli hanno bracci delle giganti meno popolati (Sandage & Wallerstein, 1960) e più rossi di quelli degli ammassi poveri di metalli (Sandage & Smith, 1966). Ciò è dovuto principalmente all'accrescimento dell'opacità dell'involucro, determinata dagli elettroni donati dagli atomi metallici. Nel ramo orizzontale (HB) si osserva una certa dipendenza dell'abbondanza metallica, un ammasso ricco di metalli ha un HB più rosso rispetto ad un ammasso povero di metalli.

2.11 Materia Interstellare

Negli GC non si trovano tracce né di Gas né di polvere.

2.12 Nebulose Planetarie

Gli GC essendo molto vecchi dovrebbero aver portato molte stelle a evolvere a tal punto da formare nebulose planetarie ma finora se ne sono trovate ben poche.



2.13 Tabella Caratteristiche Generali

GC della Via lattea			
Caratteristica	Valore	Dimensione	Note
Diametro	50 – 100 ^[8]	pc	
Massa	10 ⁴ – 10 ⁵ ^[8]	1 Ms	Massa Sole
Numero di Stelle	10 ⁴ – 10 ⁵ ^[8]		
Colore stelle più brillanti	Rosso ^[8]		
Magnitudine Assoluta Visuale	-5 ÷ -9 ^[8]		
Densità delle stelle	0,5 – 10 ³ ^[8]	Ms / pc ³	
Numero di Oggetti osservati	146 ^[8]		

3 Classificazione

Tutti gli GC sono molto simili e si distinguono per la loro Luminosità, per il diametro apparente, e per la morfologia. Al grado di concentrazione degli GC é spesso associato il parametro della composizione chimica delle sue stelle, della metallicità.

3.1 Classificazione per concentrazione di Harlow Shapley

Gli GC si distinguono per la loro morfologia dal modo con cui le componenti si addensano dalla periferia verso il centro del sistema. Fu Harlow Shapley che propose questa classificazione suddividendola in 12 classi, indicate con i numeri romani, dai più densi (Classe I) ai più rarefatti (Classe XII). Più basso è il numero, maggiore è la variazione di luminosità verso l'interno, definito come gradiente di luce. Un GC di classe XII si presenta pallido e di luminosità uniforme, ossia di gradiente nullo. Ad esempio M13 è inquadrato nella classe V. M2 è uno dei globulari più densi, M55 uno dei più rarefatti tanto da essere a malapena distinguibile dagli ammassi aperti più compatti. La classe di concentrazione può essere ricavata dai parametri della classificazione di King, in modo indipendente dall'indice di ricchezza, come rapporto tra il Raggio di marea e il Raggio del Nucleo (Peterson & King, 1975).

3.2 Classificazione di King

King et al. (1968) hanno dimostrato che gli GC possono essere caratterizzati basandosi solo su 3 parametri

1. Raggio del nucleo **R_c** (Core radius).
2. Raggio di marea **r_t** (Tidal Radius)
3. Indice di ricchezza

Raggio del nucleo: Distanza definita dal centro dell'ammasso dove la luminosità risulta dimezzata rispetto al valore centrale. Questa quantità specifica le dimensioni entro cui la densità centrale è costante, ed è quindi legata alla funzione di luminosità (Peterson & King, 1975).

Raggio di marea: Distanza, dal centro del GC, oltre la quale il campo gravitazionale galattico diventa predominante rispetto a quello dell'ammasso stesso.

L'indice di ricchezza: assume valori variabili tra 0 e 1 e fornisce una stima della distinguibilità dal fondo stellare. Non essendo un parametro di facile identificazione può essere sostituito dalla magnitudine totale.

Nel modello di King questi 3 parametri sono tali da soddisfare la relazione :

$$f(r) = K \{ [1 + (r / r_c)^2]^{1/2} - [1 + (r_t / r_c)^2]^{1/2} \}^2$$

dove con $f(r)$ si intende il rapporto tra i profili di densità e di intensità.

I profili di densità degli GC mostrano diversi gradi di concentrazione centrale.

Da i parametri di King si possono definire diverse caratteristiche come la classe di concentrazione.



3.3 Classificazione per Metallicità

La valutazione della metallicità delle stelle di un GC viene fatta attraverso un'analisi spettroscopica. In genere viene espressa come il logaritmo del rapporto tra il ferro e l'idrogeno tenendo come riferimento il Sole. I valori essendo espressi in logaritmo, affermare che un GC ha una metallicità di “- 1” è come dire che il rapporto medio ferro/idrogeno delle sue stelle è 1/10 (10^{-1}) di quello del nostro Sole. Un indice di “- 2” porta il rapporto a 1/100 (10^{-2}).

La distribuzione della metallicità dei GC copre l'intervallo: $-2.5 \leq (M/H) \leq 0$ (M = Metalli; H = Idrogeno)

3.3.1 Classificazione di Morgan

Metodo di classificazione basato sulla metallicità degli GC sviluppato da Morgan (1959). Le righe degli spettri dei GC sono suddivisi in 8 gruppi (I ... VIII). Gli ammassi del gruppo "I" presentano righe metalliche estremamente deboli, e sono molto poveri di metalli. Gli ammassi di classe "VIII", presentano un contenuto metallico pressoché normale, paragonabile a quello degli ammassi aperti.

3.4 Tipi

3.4.1 Ammassi di età intermedia

Gli Ammassi di età intermedia ("*Intermediate age clusters*") sono stati definiti da Halton Arp. Sono alcuni GC che non si riescono a distinguere con la sola osservazione visuale. Apparentemente sono GC meno densi simili ai più vecchi e compatti. Solo un'analisi del contenuto di metalli delle stelle e altre peculiarità sul diagramma HR riescono a definirli.

3.4.2 GC Blu

Gli GC giovani sono indicati come “GC Blu” dal colore delle stelle giovani molto calde.

3.4.3 Sottosistemi di Zinn

Nel 1985, Robert Zinn, ha dimostrato che il sistema di GC della nostra galassia è in realtà costituito da 2 sottosistemi:

1. Sistema di halo
2. Sistema di disco

I due sottosistemi risultano distinti da:

- **Abbondanze chimiche.**
- **Distribuzione spaziale.** Gli GC del disco più ricchi di metalli, sono disposti più vicini al disco della Galassia (Armandroff, 1993, Norris, 1993), mentre quelli più poveri di metalli, gli Halo, appartengono all'alone sferoidale della Galassia.
- **Cinematica.** Gli ammassi di disco ruotano rapidamente, con una dispersione di velocità relativamente ridotta. Gli ammassi di Halo ruotano molto più lentamente ed presentano un'elevata dispersione di velocità. Tale comportamento è stato evidenziato dalle stelle RR Lyrae (Zinn, 1988b).

4 Pianeti

Gli GC, presentano una bassa probabilità di condizioni favorevoli alla vita, tanto da escluderla. In una ricerca, effettuata mediante lo Hubble Space Telescope diretto da Brown e Ron Gilliland dello Space Telescope Science Institute, sono state messe sotto osservazione 34.000 stelle dell'GC 47 Tucane per 8 giorni. Il team di ricerca pensava, su base statistica, di poter osservare almeno 17 transiti di pianeti, ma non ne hanno rilevato nessuno. L'assenza di pianeti potrebbe essere giustificata dalla ridotta presenza di metalli nell'ammasso (senza i metalli, i pianeti rocciosi non possono formarsi) o alle distanze ridotte fra le stelle che possono aver perturbato le orbite nei circa 10 Miliardi di anni dalla formazione dell'ammasso.



4.1 Ricerca Vita Extraterrestre

Alla ricerca di un contatto con altre civiltà intelligenti extraterrestri, è stato inviato un messaggio nel 1974 tramite il radiotelescopio di Arecibo di Puerto Rico verso l'GC di Ercole. Il messaggio conteneva una serie binaria di 1679 caratteri con una serie di informazioni che riguardavano la nostra civiltà. Adesso siamo in attesa di una risposta che, data la distanza di 25.000 a.l. dovrebbe arrivare tra 50.000 anni.

5 Altre Galassie

Gli GC sono presenti in tutte le galassie, si trovano sia nelle galassie ellittiche, che in quelle spirali, per lo più raggruppati in aloni sferici attorno ad essi e potenti telescopi, anche se non in dettaglio, possono osservarli. Si è visto che la loro distribuzione è più o meno la stessa della Via Lattea. Su M87 ad esempio sono state evidenziate molte migliaia di GC. Nel 1990 Harris e Pritchett hanno fotografato in NGC6166, un GC a ben 375 milioni di a.l. Andromeda potrebbe avere circa 500 GC, ma alcune galassie ellittiche giganti come M87 possono arrivare a 15.000. I GC nella Grande nuvola di Magellano (LMC large Magellanic Cloud) sono più grandi e più appiattiti di quelli della Via Lattea (Van den Bergh, 1991). Su M31 vi sarebbero quasi 500 GC. La galassia gigante ellittica M87 ne ha diverse migliaia.

6 Distanze Cosmiche

Uno dei problemi più importanti in astrofisica è la determinazione delle distanze. Gli GC possono essere utilizzati a questo scopo, perché possono essere considerati come delle candele standard. Questi ammassi hanno un elevato numero (N) di sorgenti, approssimativamente tutte poste alla stessa distanza dall'osservatore. Sebbene la singola sorgente luminosa, statisticamente, può avere una dispersione nel valore assoluto di luminosità, preso un elevato numero di oggetti, la dispersione della media dei valori diventa molto più piccola quanto più è grande è il numero (scala di Disp. = $1 / \sqrt{N}$). Questo metodo può essere valido per gli GC in quanto è stato verificato che questi oggetti hanno una luminosità molto simili tra loro. Il valore della luminosità con il numero di ammassi varia con buona approssimazione con funzione gaussiana. Nell'ipotesi che la luminosità intrinseca sia sempre la stessa, si riesce a stimare la distanza di diversi sistemi di ammassi.

7 Età

Nella scala dell'evoluzione dell'universo, gli GC sono anziani, risalgono alla formazione della galassia. Le età possono variare attorno ai 10 miliardi di anni. Ci sono però anche le eccezioni, come NGC2070 nella costellazione del Dorado, che si trovano nella fase di formazione. Nel sistema di galassie del gruppo locale, mentre tutti gli ammassi della Via Lattea, del sistema M31 e di Andromeda sono vecchi, nelle galassie come la Grande e la Piccola Nube di Magellano ed M33, la galassia triangolo, si trovano GC abbastanza giovani. Dall'analisi effettuata sul diagramma HR, tutte le stelle, componenti un singolo ammasso, si sono formate praticamente allo stesso tempo, ovvero è difficile trovare stelle che si siano formate in altri periodi. Ma è stata una sorpresa maggiore scoprire che tutti gli GC sembrano essere coetanei, come se esistesse una ragione fisica per la quale si sarebbero tutti formati in un breve intervallo di tempo della storia dell'universo. L'età di un GC è quindi importante perché, considerati tra gli attori più anziani del cosmo, forniscono un limite inferiore dell'età dell'universo. Un metodo per stabilirne la loro età si basa attraverso un'analisi delle traiettorie evolutive delle stelle di una determinata classe sul diagramma HR, varie stime li collocano tra 12 e 15 Miliardi.

7.1 Origini

Le GC molto grandi come Omega Centauri, 47 Tucanae e G1 della galassia M31, con una massa equivalente a molti milioni del nostro sole, potrebbero avere avuto origine da nuclei di galassie satelliti che orbitavano attorno alla galassia maggiore (nel nostro caso alla Via Lattea). Grazie alle interazioni gravitazionali, le stelle esterne potrebbero essere state inglobate dalla galassia principale lasciando solo il denso nucleo. Per gli GC più giovani sembra molto probabile che la loro formazione sia innescata da eventi catastrofici come gli scontri tra galassie. Gli GC potrebbero essere i mattoni di base rimasti che sono serviti a costruire le galassie.

7.2 Diagramma HR

Tutte le stelle di un ammasso sono nate praticamente nello stesso periodo. Analizzando il diagramma HR, che mette in relazione la luminosità con la temperatura superficiale delle stelle, siamo in grado di determinare l'età dell'ammasso, in



base ai modelli di evoluzione stellare. Le stelle, durante la propria vita, bruciano idrogeno che viene trasformato in elio, durante questa fase si distribuiscono, nel diagramma HR, lungo una retta chiamata sequenza principale (MS). L'evoluzione di una stella dipende dalla propria massa, maggiore è la massa, dato che trasforma più velocemente gli atomi in elio, minore è il tempo necessario per arrivare ad un successivo stadio di evoluzione. In particolar modo la luminosità di una stella varia in funzione della sua massa con legge tra M^3 e M^4 , e quindi il tempo di permanenza sulla MS varia come:

$$t = k M/L^{0.7}$$

dove per

t	tempo
k	Costante
M	Massa della stella
L	Luminosità

In un GC (sul digramma HR) si osserva un netto confine nella distribuzione delle stelle dalla sequenza principale: tutte le stelle più pesanti che hanno esaurito l'idrogeno come combustibile nucleare sono sparite, si sono trasformate in giganti rosse. Le stelle meno massicce, a vita più lunga, sono abbondanti e distribuite secondo la linea della SP. Per conoscere l'età dell'ammasso quindi occorre semplicemente verificare la linea dell'abbandono (TO riferito al diagramma HR) dalla MS delle stelle. Nella linea di confine TO, si può identificare la massa media delle stelle più massicce che in quell'ammasso ha esaurito il combustibile nucleare. Tutte le stelle che hanno appena esaurito l'idrogeno nel nucleo hanno quasi la stessa luminosità e temperatura, ovvero la stessa massa ed hanno impiegato lo stesso tempo per esaurire il combustibile nucleare secondo una relazione data dall'astrofisica stellare. A questo punto siamo in grado di misurare il limite superiore dell'età dell'ammasso prendendo la stella più luminosa della MS dal diagramma HR, per quel tipo di massa sappiamo quanto tempo hanno impiegato a bruciare il combustibile nucleare:

$$\text{Age} < k/L_{(MS_max)}^{0.7}$$

dove per

$L_{(MS_max)}$ Luminosità della stella con maggiore Massa della sequenza principale osservata.

Nell'analisi potremmo incorrere in errore dovuto all'assenza nell'ammasso delle condizioni per far nascere stelle di massa superiore. Pertanto l'età dell'ammasso verrebbe falsata in funzione delle condizioni iniziali di quando si è formato l'insieme di stelle. Si ritiene che per ammassi con centinaia di membri, statisticamente è improbabile che vi sia un buco nella distribuzione delle masse, per cui il metodo di analisi si considera affidabile. Anche se stabilire l'esatta età di un GC è resa imprecisa da 3 fattori:

1. Dalla sensibilità all'esatta composizione stellare.
2. Dai dettagli dei modelli stellari evolutivi
3. Dalle incertezze nella conversione da luminosità apparente ad assoluta.

Se la SP è troncata in corrispondenza di stelle con luminosità 70 volte e di massa 3 volte quella del Sole, allora l'ammasso ha apparentemente un'età di circa 350 milioni di anni.

7.3 Età dell'universo

Dato che gli GC sono tra i più vecchi corpi dell'universo, servono a definire l'ordine di grandezza temporale della sua età e così confermare i vari modelli cosmologici legati alla teoria del big bang. Utilizzando la formula dell'età degli GC anche su altre galassie ($\text{Age} < k/L_{(MS_max)}^{0.7}$), Chaboyer, Demarque, Kernan e Krauss (1996), hanno tentato di valutare l'età dell'universo, stimando un periodo di 12,07 miliardi di anni con una confidenza del 95%. Ma studi successivi effettuati da Chaboyer (1997) hanno fornito altre stime considerate migliori portando l'età degli GC dell'universo a 14.6 ± 1.7 miliardi di anni. Ma dato che abbiamo a che fare con un'evoluzione continua dei dati, grazie al satellite Hipparcos ci siamo accorti che gli GC delle galassie più distanti sono più lontani della precedente stima, per cui le stelle essendo più luminose, gli ammassi sono più recenti. Altre analisi forniscono altri valori come:

Gratton et al: tra 8.5 e 13.3 Miliardi di anni con 12.1 più probabile.

Reid: tra 11 e 13 miliardi di anni

Chaboyer et al. : 11.5 ± 1.3 miliardi di anni come età media

Queste variabilità sono dovute ad ampi margini di errore, e finché i numeri non mostreranno un accordo migliore non potremo dire che l'età esatta dell'universo è corretta, o che le teorie dell'evoluzione stellare siano completamente confermate. Nella metà degli anni 1990 la stima dell'età dell'Universo in base al valore accettato della costante di Hubble era valutato in circa 10 miliardi di anni, gli GC in base ai modelli di evoluzione stellare suggerivano che avessero un'età di circa 15 miliardi di anni. Vi era una contraddizione di fondo, alcune parti dell'Universo apparivano



essere più vecchie dell'Universo stesso, di conseguenza si presentò un grosso problema che sembrava che i modelli astrofisici di evoluzione stellare non erano compatibili con le teorie cosmologiche, invalidando il modello del Big Bang. L'inconsistenza è stata poi risolta alla fine degli anni 1990, quando nuove simulazioni che includevano gli effetti di perdita di massa dovute ai venti stellari indicavano per gli GC un'età molto minore.

8 Oggetti visibili ad occhio nudo

Oggetto	A.R.	Declinaz.	Costellazione	0'	Magnit.	Classe	Note
M4	16h 24m	-26° 32'	Scorpione	26	5.9	9	Molto Basso Sull'orizzonte
M5	15h 19m	+02° 05'	Ser Caput	80	5,75	5	Stellina di 5 ^a a 22' SSE
M13	16h 42m	+36° 28'	Ercole	16	5.8	5	Facile col cielo limpido
M22	18h 36m	-23° 54'	Sagittario	24	5.1	7	Facile, ma basso sull'orizzonte

9 Ammassi Particolari

Vi sono alcuni GC che rispetto alla categoria mostrano qualche caratteristica anomala per l'appartenenza al gruppo. Alcuni di questi ammassi sono: M4, NGC2419, NGC5139.

10 Materia Oscura (DM)

Fahlman e al., nel 1991 hanno proposto che i GC possono contribuire alla DM barionica nell'alone galattico. E' possibile che stelle di piccola massa, che sono evaporate o strappate agli GC, siano andati dispersi attorno all'alone. A conferma di questa tesi, Ben Oppenheimer della University of California Berkeley e i suoi colleghi delle Università di Edimburgo, Cambridge e della Vanderbilt University di Nashville, osservando una zona di cielo dell'halo a caso, allo scopo di cercare deboli stelle rosse potenziali costituenti della DM, hanno trovato 38 stelle nuove.

11 Storia

A causa della mancanza di capacità di osservare i dettagli degli oggetti celesti i primi ammassi vennero catalogati come nebulose. Probabilmente il primo ad identificare un GC come nebula è stato G. B. Hodierna nel 1659 il quale a pag. 48 del *De Admirandis Coeli Characteribus*, stampato a Palermo, tra le nebulae catalogate troviamo "inter Leporem et Columbam"; e, in uno schizzo dei manoscritti di Vigevano, un simbolo indica una nebula nella posizione dell'GC M79. Ma queste non sono riconosciute come prove certificate e pertanto ufficialmente la scoperta è al momento assegnata all'astronomo tedesco Abraham Ih, il quale ha scoperto M22 del Sagittario nel 1665, mentre osservava il pianeta Saturno. In sequenza sono stati individuati:

- (Tolomeo, ω Centauri come "stella nebbiosa")
- ? (1659 - M79 da G. B. Hodierna) ?
- 1665 - M22 da Abraham Ih
- 1677 - ω Centauri da Edmund Halley (riconosciuto come nebula)
- 1702 - M5 del Serpente da Kirch,
- 1714 - M13 di Ercole da Halley
- M4 dello Scorpione da de Chéseaux
- M71 della Sagitta
- 1746 - M2 dell'acquario e M15 del Pegaso da Maraldi
- Lacaille, nella spedizione a Capo di Buona Speranza identificò altri 5 oggetti
- C. Messier aggiunse altri 9 oggetti al suo catalogo. Uno scoperto dal suo collaboratore Méchain.
- Altre nebulose furono scoperte da W. Herschel

L'obbiettivo principale di C. Messier era quello di individuare le comete, ma occasionalmente poteva osservare un GC. Con la sua attrezzatura, dotata di basso ingrandimento, questi oggetti non si riescono a distinguere nei loro dettagli, la loro vera morfologia non essendo risolta, appaiono di forma per lo più circolare e di aspetto fortemente cometario, tanto che li descrive frequentemente come "*nébuleuse sans étoiles*" o "*ne contient aucune étoiles*". Con la unica eccezione di M4, che essendo un ammasso disperso è stato definito come "ammasso di stelline molto piccole". In poco tempo si



arrivò rapidamente da un centinaio di nebulae a 2500. Ma solo più tardi i GC passarono ad essere riconosciuti come tali, da nebulose senza stelle ad ammassi di stelle. A determinare la identificazione della nuova classe di oggetti (GC) non bastò l'aumento del numero di nebulae catalogate, ma si dovette aspettare la classificazione degli spettri stellari con l'invenzione dello spettroscopio. Novità arrivarono nel 1900, con le scoperte delle variabili di tipo RR Lyrae da parte di Bailey, con l'introduzione nel 1905 del diagramma HR, e con la scoperta della distribuzione degli GC e il relativo decentramento del Sole nel 1907 da parte di Shapley. Nel 1944 Baade caratterizzò il tipo di popolazione stellare degli GC. Da allora le novità riguardano prevalentemente la scoperta di nuovi componenti sia nella Via lattea che su altre galassie.

11.1 Denominazione

Allo scopo di raggruppare una determinata categoria di oggetti celesti, W. Herschel è stato il primo a usare l'espressione di GC che inserì nel suo catalogo di nebulae del 1786. Questa classificazione era indicativa e non distingueva i tipi di ammassi oggi definiti.

11.2 Decentramento del Sole

Contro la vanità dell'uomo, gli GC hanno contribuito a decentrare la nostra dislocazione nell'universo. Nell'antichità l'uomo credeva di essere il fulcro di tutto il cosmo, riteneva che lo scopo della natura ruotasse intorno ad esso, ovvero si era posto al centro dell'universo. A poco a poco invece abbiamo scoperto di non essere l'asse del mondo. La rivoluzione parte con il sistema Copernicano: la nostra casa, il pianeta terra, lasciava il posto al Sole. Rimaneva l'illusione che almeno la nostra stella fosse al centro della Via Lattea (allora ritenuto tutto l'universo) e dato che l'importanza si misura dalla distanza, dopo tutto non eravamo molto fuori dal centro. Il Sole appare trovarsi nel mezzo della galassia, perché la distribuzione delle stelle osservabili appare uniforme. Ma intorno al 1920 Shapley, utilizzando le variabili RR Lyrae appartenenti ad GC, come indicatori di distanza, si era accorto che rispetto all'osservatore e quindi rispetto al Sole, a differenza delle stelle, ammassi aperti, regioni HII e nebulose planetarie, che sono concentrati vicino al piano galattico, i GC erano posti a distanze molto grandi e che la distribuzione non era sferica ma eccentrica rispetto al Sole. Il 91% degli oggetti era osservato concentrato attorno alla costellazione del Sagittario. Questo implicava che in realtà il Sole non poteva essere al centro, ma che si trovava nella periferia del sistema stellare della galassia a circa 30.000 a.l. dal centro. Shapley scoprì che la distribuzione degli GC è sferica nella Galassia, diversa da quella della restante componente stellare, ma che si osservava ellittica perché il nostro sistema solare non coincide con il centro galattico. Una delle caratteristiche messe in evidenza era che la Galassia osservabile era solo una piccola parte di quella vera oscurata da gas e polveri. Shapley grazie alla sua analisi evidenziò che la distribuzione degli GC era prevalentemente concentrata nella regione del cielo dello Sco-Oph-Sgr, attorno al nucleo della galassia, oscurata da imponenti nebulose oscure.

11.3 Diametro della Galassia

Intorno al 1920 Shapley misurando le distanze degli GC, non solo ha individuato la esatta posizione del nostro sistema solare, ma ha anche dato una stima dell'estensione della Via lattea assegnandogli un diametro di circa 300.000 a.l.

11.4 Popolazioni Stellari

L'analisi delle stelle degli ammassi ha portato a identificare i differenti tipi di popolazioni stellari esistenti nella Galassia. Negli ammassi aperti dei bracci a spirale troviamo le stelle di Popolazione I, blu, più giovani. Negli GC troviamo stelle di popolazione II, rosse, più vecchie. Nel 1943 A. Baade, dall'Osservatorio di Monte Wilson di 2,5 m, approfittò che a Los Angeles erano state oscurate le luci per timore di un attacco giapponese per eseguire un'analisi sulle stelle componenti gli ammassi. Per primo scoprì l'esistenza di questi diversi gruppi di stelle. Osservò che le stelle di Popolazione II, sono presenti negli GC, e che le stelle di Popolazione I, erano presenti negli ammassi aperti. Successivamente, tramite la spettroscopia, fu confermata l'esistenza delle due popolazioni stellari, e si identificò un diverso tipo diagramma HR per ciascuna popolazione stellare.



11.5 Diagramma HR – Evoluzione stellare

Grazie all'analisi delle stelle sui GC, attraverso il diagramma HR, si è cominciato ad analizzare lo studio dell'evoluzione stellare.

11.6 Omega Centauri

Senza saperlo gli antichi conoscevano un solo GC, ω Centauri, e Tolomeo lo aveva catalogato solo come una “stella nebbiosa”. Successivamente, non potendo ad occhio nudo evidenziare le sue componenti, fu considerata solo una stella, guadagnandosi la denominazione ω della costellazione che gli è stata assegnata nella catalogazione del 1603 nell'*Uranometria* di Johann Bayer. Infine è stato riconosciuto come nebula nel 1677 da Edmund Halley, che finalmente la osservò telesopicamente a S. Elena.

11.7 M13 – Ammasso di Ercole

L'ammasso di Ercole, M13, è stato identificato da Halley nel 1714.

12 Acronimi

a.l.	Anni Luce 1 a.l. $\approx 9.46 \cdot 10^{12}$ Km	Misura di distanze Astronomiche
galassia	Galassia generica (g Minuscola)	
Galassia	Via Lattea (G Maiuscola)	
DM	Dark Matter	acronimo inglese di materia oscura
GC	Globular Cluster	acronimo inglese di GC
HB	Horizontal Branch	- Zona del diagramma HR, acronimo inglese di Ramo Orizzontale
HR	Diagramma Hertzsprung-Russell	
m	Magnitudine (Luminosità)	
Mxx	Classificazione degli oggetti celesti fatta da Messier	
MS	Main Sequence	- Zona del diagramma HR, acronimo inglese di Sequenza principale
NGCxxxx		
OC	Open Cluster,	dall'acronimo inglese
Pc	Parsec 1 Pc = 3,26 a.l.	(distanza stellare più usata, negli articoli identificati, rispetto ad a.l.)

13 Glossario

Candele Standard	Oggetti di Luminosità assoluta fissa e nota. (In genere utilizzati per determinare distanze)
Halo	Termine inglese per Alone della galassia
Metalli	In astronomia, per metalli si intende tutti gli elementi più pesanti dell'Elio.



14 Bibliografia e info. documento

Revisione documento:

Rev. 01 del 18/09/2006

Bibliografia:

- [1] Le scienze n°395 luglio 2001 pag. 42. Il problema dell'età delle stelle
- [2] Le scienze n° 398 Ottobre 2001 Pag. 70 Una nicchia nella Galassia.
- [3] [2] Notiziario di Newton, internet, Giovani stelle giocano a Mosca
cieca 22/07/2002
- [4] Le scienze n°405 maggio 2002 "Bagliori dalla materia oscura" Patrizia Caraveo e Marco Roncadelli.
- [5] <http://www.osservatorioacquaviva.it/costellazione.htm?idcostellazione=71>
- [6] http://www.galassiere.it/ammassi_globulari.htm
- [7] <http://www.vialattea.net/cosmo/età.htm> L'età dell'universo – Paolo Sirtoli
- [8] <http://diamante.uniroma3.it/hipparcos/?????> *Ammassi aperti e globulari - Pietro Musilli Roma 1997.*
- [9] <http://www.otticademaria.it/astro/Introduzione/ammassi.html>
- [10] <http://192.106.166.8/mclink/astro/messier/Messier.html> Hartmut Frommert
- [11] **Wikipedia**
- [12] <http://www.astrofiliveronesi.it/astro/corso/corsoastro.html>
- [13] http://www.galassiere.it/ammassi_globulari.htm
- [14] <http://www.racine.ra.it/planet/testi/indtesti.htm> PENSIERI SULLA VIA LATTEA di Oriano Spazzoli
- [15] *Elementi di Astrofisica 2 – La scala di distanze in astrofisica – Amedeo Balbi*
- [16] *Un due tre stella. V°B&C 1998-1999 - Scuola Elementare Italo Calvino Cologno Monzese – Milano*
- [17] Le Stelle n° 43 Agosto-Settembre 2006 Pag. 62 Il regno dei Globulari Luigi Fontana.

Autore articolo:

Leonardo Malentacchi

Revisore Scientifico:

Leonardo Malentacchi