

Fotometria e diagramma H-R di Leo I e II, due galassie nane del Gruppo Locale

Alessandro Baggio⁽¹⁾, Giacomo Baso⁽²⁾, Davide De Pazzi⁽³⁾,
Sara Mazzonetto⁽³⁾, Nicolò Pasini⁽³⁾, Lorenzo Scotton⁽³⁾

⁽¹⁾ Liceo Scientifico “G. Galilei”, Dolo (VE)

⁽²⁾ Liceo Scientifico “G. Bruno”, Mestre (VE)

⁽³⁾ Liceo Scientifico “U. Morin”, Mestre (VE)

ABSTRACT

We present the g-, r-, and i-band photometric analysis and the magnitude-colour diagrams of two dwarf galaxies of the Local Group: Leo I and Leo II. The bands used belong to the SDSS ugriz photometric system. We estimated their magnitudes, their distances from us, their dimensions, luminosities and masses through basic given formulas and computer operations. Leo I and II belong to a category of galaxies of high astronomical interest: they are studied, for instance, in relation with globular clusters (for their analogies) and the dark matter pattern (for a possible baryonic interpretation of the DM).

I. INTRODUZIONE

Con la definizione di “Dwarf Galaxies” si intende una categoria di oggetti astronomici di relativamente recente scoperta ma di grande importanza per la comprensione di alcuni aspetti del nostro universo.

Il primo ad osservarle fu C. Messier, nel ‘700, ma bisognerà attendere la prima metà del ‘900 perché, con lo sviluppo di teorie più moderne sulla struttura dell’universo e l’avvento di mezzi di osservazione più potenti, questi oggetti fossero riconosciuti come corpi galattici esterni al nostro: questo fu un passo non poco importante, poiché fino all’inizio del secolo si era creduto che la Via Lattea costituisse la totalità dell’universo.

Il problema della distinzione e dello studio dei vari tipi di galassie, comprese quelle nane, venne invece affrontato solo in seguito agli studi di Hubble.

Di recente però quest’ultime sono state oggetto di studi e ricerche più approfonditi poiché le loro particolari caratteristiche consentirebbero, a detta di alcuni studiosi, di fare luce su alcuni importanti interrogativi riguardo la nascita e la conformazione attuale del nostro universo.

Le galassie nane sono contraddistinte da alcune importanti caratteristiche:

1) presentano, come suggerisce il nome stesso, dimensioni minori, e quindi un numero inferiore di stelle (qualche decina di miliardi) rispetto alle galassie comuni (che ne contano 200 - 400 miliardi);

2) possiedono luminosità superficiale molto bassa, a volte inferiore a quella di singole stelle massicce (Fig. 1).

Esse vengono anche definite “galassie satelliti” poiché si trovano ad orbitare intorno a galassie di dimensioni maggiori: la Via Lattea, ad esempio, conta ben 14 galassie nane che le orbitano intorno.



Fig. 1. Differenza di luminosità tra una galassia nana (Leo I, la debole macchia chiara al centro) e una singola stella massiccia (Regolo, sulla sinistra).

Le galassie nane si dividono in tre categorie principali, con una suddivisione derivata dalla classificazione morfologica di Hubble:

1) Galassie Nane Ellittiche (dE).

Le galassie nane ellittiche sembrano essere versioni in scala ridotta delle comuni galassie ellittiche e delle più rare ellittiche giganti: esse quindi presentano una forma ellittica più o meno schiacciata e sono fortemente risolte in stelle, mentre la scarsità di materiale interstellare non permette una consistente attività di formazione stellare. Una caratteristica che contraddistingue questa categoria è il fatto che la curva della luminosità (diagramma luminosità-raggio) precipita in maniera esponenziale più ci si allontana dal centro, diversamente da quanto accade nelle

ellittiche comuni (in cui invece segue una differente legge matematica).

2) Galassie Nane Sferoidali (dSph).

Le galassie nane sferoidali (una sottocategoria di galassie nane ellittiche a bassa eccentricità) caratterizzate da una bassa luminosità superficiale e da una distribuzione più aperta e irregolare delle stelle. Al momento sono considerate nane sferoidali solo nove galassie-satellite della Via Lattea, ma studi recenti suggeriscono una parentela inaspettatamente profonda tra questi tipo di galassie e gli ammassi globulari.

3) Galassie Nane Irregolari (dIrr).

Le galassie nane irregolari sono simili alle comuni galassie irregolari, e condividono con esse sia una forma irregolare che una distribuzione variabile di stelle e materiale interstellare.

4) Galassie Nane Spirali (dSp).

Le galassie nane a spirale sono contraddistinte, da una struttura a spirale con bracci più o meno pronunciati, da una luminosità superficiale particolarmente bassa, da diametri inferiori a 5 kpc e da una massa di HI (gas interstellare neutro) superiore a quella delle altre categorie di galassie nane (anche se, ovviamente, inferiore a quelle delle galassie a spirale comuni): in realtà non si possiedono molte informazioni sulle caratteristiche di questa tipologia poiché essa è la meno comune e quella più difficile da rilevare.

Si è accennato prima che le galassie nane e gli ammassi globulari presentano alcune caratteristiche che possono far pensare ad un qualche legame tra di loro.

Gli ammassi globulari sono raggruppamenti più o meno densi di stelle appartenenti alla stessa galassia e sono caratterizzati da simmetria sferica e da bassa luminosità: si differenziano dalle galassie nane poiché si trovano all'interno di altre galassie (precisamente in una regione sferica detta "alone galattico"), sono molto meno massivi e luminosi, di dimensioni minori e meno risolti in stelle.

Le somiglianze tra gli ammassi globulari e le galassie nane, tuttavia, spinse a pensare che gli ammassi globulari non siano altro che nuclei di galassie nane che, inglobate dalle galassie intorno a cui orbitavano, sono state private di gran parte delle loro stelle: questa ipotesi spiegherebbe sia la simmetria sferica (che corpi piccoli e compatti come i nuclei tenderebbero ad assumere più facilmente) che i bassi valori di massa e luminosità (entrambe dovute al basso numero di stelle rimasto).

L'analisi delle stelle che compongono una galassia nana è molto importante per lo studio di questi oggetti poiché consente di determinare non solo la loro età e le loro caratteristiche chimiche, ma anche l'età della galassia stessa: sebbene si ritenesse che le galassie nane fossero formate da stelle molto antiche, e quindi da materiale primordiale, oggi sappiamo che la formazione stellare occupò un arco di tempo compreso tra 3 e 10 miliardi di anni fa (nel caso di Leo II, ad

esempio, si arrestò intorno a 7 miliardi di anni fa) e che raramente si osservano quantità rilevanti di stelle più antiche (10 - 13 miliardi di anni).

Si è inoltre osservato che le tipiche stelle che formano le galassie nane presentano una bassa metallicità (cioè mancano degli elementi metallici, che in astronomia comprendono qualunque nucleo più pesante dell'elio): la presenza o l'assenza di questi elementi è significativa per la comprensione dell'evoluzione delle stelle poiché essi vengono prodotti nel nucleo dalle reazioni di fusione nucleare che, in fasi successive, coinvolgono elementi diversi e caratteristici.

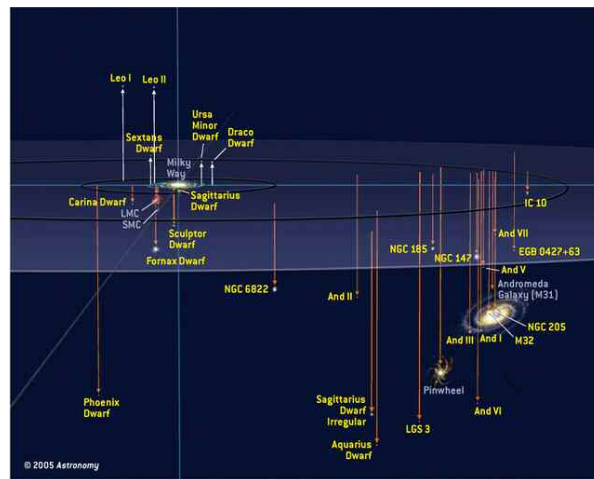


Fig. 2. Veduta tridimensionale del Gruppo Locale.

Leo I e Leo II, oggetto del nostro studio, sono entrambe galassie nane appartenenti al "Gruppo Locale" (Fig. 2): tale ammasso di galassie è composto da circa 40 oggetti, la sua massa totale si aggira intorno a $1,3 \times 10^{12}$ masse solari e la massima dispersione di velocità presente è 150 km/s.

Il diametro del Gruppo è di circa 10 milioni di anni luce, con il centro gravitazionale situato tra la Via Lattea e la galassia di Andromeda (M31).

Il Gruppo Locale fa a sua volta parte del Superammasso della Vergine, detto anche "Superammasso Locale", un insieme di ammassi di galassie.

Contrariamente a quanto avviene normalmente, nel Gruppo Locale alcune galassie (ad esempio Andromeda e Leo II) possiedono velocità di recessione negativa: da ciò consegue che la legge di Hubble non vale localmente, poiché galassie sufficientemente vicine tendono ad avvicinarsi, anziché ad allontanarsi, a causa della reciproca attrazione gravitazionale.

Quindi, in riferimento a galassie non troppo distanti tra di loro, è necessario parlare di collisione galattica, probabilità d'urto e sezione d'urto: in riferimento a questo genere di interazioni, si teorizza che la formazione dei corpi galattici di maggiori dimensioni possa essere avvenuta per mezzo di scontri e fusioni tra galassie nane.

Il rapporto tra le varie categorie di galassie cambia se si considerano le galassie nane e quelle non nane: prendendo in esame il Gruppo Locale si osserva che le

prime sono prevalentemente ellittiche (13) o ellittiche-sferoidali (9) e se ne registra una sola di irregolare, mentre nelle seconde si contano tre spirali (Via Lattea, Andromeda e Galassia del Triangolo), due ellittiche (M32 e M110) e un buon numero di irregolari.

A causa della loro bassa luminosità, lo studio delle galassie nane è limitato a quelle che si trovano abbastanza vicine a noi da poter essere individuate, cioè appunto quelle presenti nel Gruppo Locale: non abbiamo alcuna informazione (tranne che in termini statistici) circa il numero, la disposizione e le caratteristiche delle galassie nane presenti nel resto dell'universo, ma si è ipotizzato che, se la densità di galassie nane nell'universo fosse pari o superiore a quella presente nel Gruppo Locale, si potrebbe ritenere che esse ne costituiscano la popolazione dominante.

A provocare questa bassa luminosità è anche il fatto che gran parte della materia che costituisce le galassie nane è a noi invisibile; a questo poi si aggiunge la quasi totale assenza di emissioni diffuse nella banda dei raggi X, poiché il gas caldo che produrrebbe una tale emissione dovrebbe essere stato espulso dalla galassia durante la sua formazione.

Questa presenza di materia non rilevabile potrebbe spiegare l'andamento tanto particolare della "curva di rotazione" di queste galassie, accreditando la teoria della "Dark Matter" (materia oscura): essa tuttavia in questo contesto verrebbe ad assumere connotati prevalentemente barionici, in quanto costituita da materia ordinaria (sebbene non visibile).

Una alternativa a questa teoria viene invece dalla "MOND" (Modified Newtonian Dynamics, Dinamica Newtoniana Modificata, sviluppata da Milgrom), che elimina la necessità della presenza di massa non visibile apportando sostanziali cambiamenti alla seconda legge della dinamica.

II. DATI OSSERVATIVI

Gli oggetti della nostra indagine sono le galassie nane Leo I (Fig. 3) e Leo II (Fig. 4), entrambe appartenenti al gruppo locale.



Fig. 3. Immagine ad alta risoluzione di Leo I

Di seguito sono presentati i dati fondamentali degli oggetti astronomici studiati, ottenuti da materiale già pubblicato: successivamente, nella sezione IV, alcuni

di questi valori saranno confrontati con quelli ottenuti dall'elaborazione dei dati.

	Leo I	Leo II
Ascensione Retta	10h 13m 27.4s	11h 13m 29.2 s
Declinazione	+12° 18' 27"	+22° 9' 17"
Tipologia	dE3 / sSph	dE0 / dSph
Distanza	$8.2 \cdot 10^5 \pm 7 \cdot 10^4$ ly $2.5 \cdot 10^5 \pm 2 \cdot 10^4$ pc	$6.9 \cdot 10^5 \pm 7 \cdot 10^4$ ly $2.1 \cdot 10^5 \pm 2 \cdot 10^4$ pc
Velocità Radiale	285 ± 2 km/s	-87 ± 5 km/s
Magnitudine (v)	11.2	12.6
Dim. Apparente (v)	9.8×7.4 arcmin ²	12.0×11.0 arcmin ²

Le immagini analizzate sono state selezionate dall'archivio SDSS (Sloan Digital Sky Survey), ottenute con il CCD da 120 Mpx del telescopio da 2.5 metri di Apache Point (New Mexico, USA): l'analisi dei dati ha riguardato tre diverse immagini ottiche della galassia, ottenute in tre bande fotometriche diverse (bande g, r, i del sistema ugriz, evidenziate nella tabella sottostante).

Lunghezze d'onda caratteristiche delle bande fotometriche UGRIZ	
u	3551 Å
g	4686 Å
r	6165 Å
i	7481 Å
z	8931 Å



Fig. 4. Immagine di Leo II dal database SDSS

III. DESCRIZIONE DEL LAVORO

Dato che le condizioni meteo non erano ottimali non abbiamo potuto effettuare direttamente l'osservazione delle due galassie Leo I e Leo II, quindi abbiamo preso le immagini nelle bande g, r e i dall'archivio digitale Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Inizialmente sono stati impostati i requisiti a cui deve rispondere un generico punto luminoso dell'immagine per essere classificato come stella (la soglia minima di distinzione tra sorgente e rumore, pari a 4 volte il rumore del cielo

e l'intensità massima di stelle da prendere in considerazione, ossia 50000 conteggi), poi i parametri per la fotometria di apertura. Dato che ad ogni pixel dell'immagine delle stelle corrispondeva una certa intensità luminosa, abbiamo considerato un cerchio intorno ad una stella e calcolato il flusso entro questa apertura; poi abbiamo determinato un anello intorno alla circonferenza entro il quale abbiamo calcolato il flusso del cielo (valgono rispettivamente 4 e 7 volte la larghezza di una stella in pixel). Abbiamo preso come modello la media dei valori delle FWHM trovati per 4 stelle e poi confrontati con tutte le stelle dell'immagine utilizzando IRAF per vedere quali stelle realmente appartenevano alla galassia.

Per differenza abbiamo ottenuto il numero di fotoni emessi dalla stella per unità di superficie (in fotoni/cm²) mentre dividendo per il tempo di esposizione abbiamo ricavato l'intensità luminosa I (in fotoni/(cm²s)); a questo punto il programma ha potuto trovare le magnitudini strumentali per ogni stella. Poi abbiamo effettuato la fotometria di fit con la PSF (Point Spread Function) poiché risultava complicato selezionare e confrontare le varie stelle in quanto molto vicine tra di loro.

Questo tipo di fotometria consiste nel determinare un modello di PSF che rappresenta la distribuzione della luce dovuta a una sorgente puntiforme. Dopo aver preso una decina di stelle per definire il modello il programma ha confrontato i profili delle varie stelle delle nostre immagini con la PSF campione.

A questo punto il programma misura la magnitudine strumentale di ogni stella. Quest'ultima però non coincide con quella reale per tre motivi principali:

- si aggiunge una costante arbitraria per lavorare sempre con numeri positivi;
- il fenomeno dell'estinzione atmosferica provoca una riduzione del flusso di fotoni;
- si è soliti riferirsi ad una magnitudine standard m_0 rispetto alla quale vengono definite tutte le altre.

La formula per calcolare le magnitudini è quella riportata di seguito mentre i valori per la correzione sono quelli riportati in tabella:

$$m(\lambda) = m_0(\lambda) + m_s - 25 - k_\lambda x_\lambda$$

dove:

m_s = magnitudine strumentale;

$m_0(\lambda)$ = punto zero della banda fotometrica;

k_λ = coefficiente di estinzione atmosferica;

x_λ = massa d'aria;

25 = costante sommata arbitrariamente per fare in modo che il programma non operi con numeri negativi.

Il parametro x equivale alla massa d'aria, ossia all'inverso del coseno (o alla secante) della distanza zenitale z , e ci restituisce un valore adimensionale (riferito allo zenit, in corrispondenza del quale l'assorbimento atmosferico è minimo, essendo minimo il percorso che un fotone deve percorrere nell'atmosfera terrestre). La misura della costante k

(espressa in magnitudini su massa d'aria) dell'estinzione atmosferica è indipendente da z ma è legata alla lunghezza d'onda λ in modo inversamente proporzionale. Moltiplicata per x , ci restituisce il valore (legato ad una specifica λ) dell'intensità luminosa che viene sottratta per azione dell'atmosfera (la magnitudine misurata al di fuori dell'atmosfera è dunque minore e pertanto il prodotto kx andrà sottratto).

Le costanti utilizzate sono ottenute sperimentalmente e riportate nelle tabelle sottostanti insieme ai passaggi successivi:

Leo I:

λ	m_0	K	x
G	24.480	0.154	1.105
R	24.061	0.076	1.099
I	23.754	0.054	1.100

A questo punto è possibile leggere direttamente dal grafico i contro r-i (Fig. 5) il valore della magnitudine apparente del punto RGBT (Red Giant Branch Tip) in banda i ($m_{\text{RGBT}(i)} = 18,2$); sapendo che esso corrisponde ad una magnitudine assoluta $M_{\text{RGBT}(i)} = -4,2$ e sfruttando la relazione del modulo di distanza è immediato trovare quanto dista la galassia:

$$m_{\text{RGBT}(i)} - M_{\text{RGBT}(i)} = -5 + 5\log(d)$$

da cui:

$$d \sim 3,0 \cdot 10^2 \text{ kpc} \sim 9,8 \cdot 10^5 \text{ anni luce.}$$

Questo è un dato estremamente significativo in quanto ci dimostra che l'oggetto si trova al di fuori della Via Lattea, dal momento che il diametro di quest'ultima vale circa 100,000 anni luce (pari a circa 31 kpc).

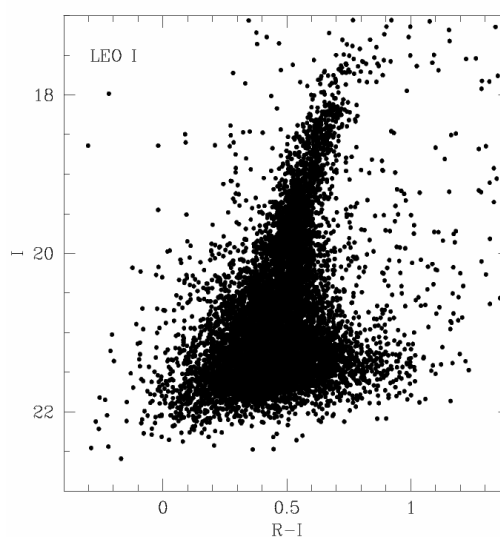


Fig. 5. Il grafico i contro r-i di Leo I.

Conoscere la distanza inoltre permette di calcolare i valori delle magnitudini assolute nelle tre bande fotometriche g, r, i, essendo note quelle apparenti:

	g (4686 Å)	r (6165 Å)	i (7481 Å)
m	10,5	10,5	9,9
M	-11,9	-11,9	-12,4

Grazie ai valori delle magnitudini nelle varie bande è possibile costruire altri grafici, come ad esempio r contro g-r (Fig. 6), i contro g-i (Fig. 7) e r contro r-i (Fig. 8):

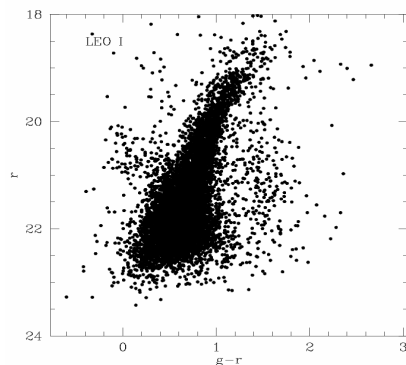


Fig. 6. Il grafico r contro g-r di Leo I.

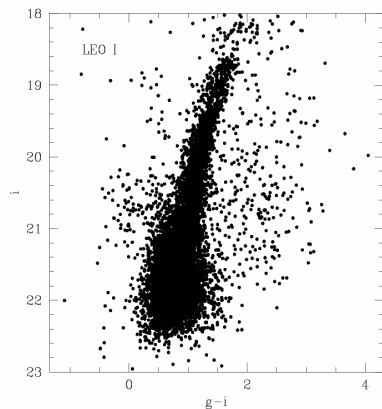


Fig. 7. Il grafico g-i contro i di Leo I.

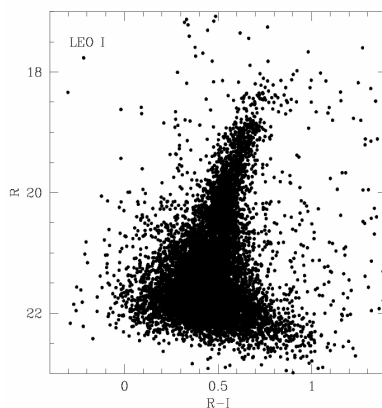


Fig. 8. Il grafico r contro r-i di Leo I.

Per ricavare le dimensioni angolari di Leo I (e quindi anche quelle reali) si opera come segue: viene registrato il numero di pixel occupati dalla galassia sia lungo il semiasse maggiore (a) che lungo quello minore (b) (assimilando la forma della galassia a quella di un'ellisse) e, sapendo la scala dell'immagine (pari a 0,4''/pixel), si ricavano le dimensioni angolari (D) espresse in secondi d'arco:

	2a	2b
N° pixels	1300	1000
Dimensioni angolari (')')	520	400
Dimensioni angolari (')	8,66	6,66
Dimensioni reali (pc)	754	580

A 1300 pixels per l'asse maggiore e a 1000 per quello minore corrispondono rispettivamente 520 e 400 secondi d'arco.

Dalla formula seguente, che mette in relazione la distanza (d), la dimensione angolare (θ) e la dimensione reale (D) della galassia, è possibile risalire alle dimensioni effettive dei due assi dell'ellisse e, dunque, fornire anche un approssimativo mezzo di confronto per quanto riguarda altri corpi celesti:

$$D = d \cdot \theta(\text{rad})$$

Per definizione l'arco sotteso da un certo angolo è uguale al prodotto del raggio per la misura dell'angolo stesso espresso in radianti, ma se esso è sufficientemente piccolo (come in questo caso) la misura dell'arco approssima quella della corda corrispondente: in questo modo, se al raggio si sostituisce la distanza della galassia dall'osservatore e all'angolo la misura della dimensione angolare considerata, si otterranno le dimensioni reali dell'oggetto.

$$2a = d \cdot \theta_{2a} = 3.0 \cdot 10^5 \text{ pc} \cdot 0.0025 = 7.5 \cdot 10^2 \text{ pc}$$

$$2b = d \cdot \theta_{2b} = 3.0 \cdot 10^5 \text{ pc} \cdot 0.0019 = 5.8 \cdot 10^2 \text{ pc.}$$

A questo punto è possibile fornire una scala S dell'immagine della galassia:

$$S = 754 \text{ pc}/520'' = 1,45 \text{ pc}'' = 145 \text{ pc}/100''.$$

A 100'', equivalenti a 145 pc, corrispondono dunque 250 pixel (quindi 1 pixel = 0,4''): questo calcolo consente dunque di dotare di una scala un'immagine della galassia (Fig. 9).

Come si nota dalle due dimensioni, si può spiegare il nome che viene dato alla galassia: si parla infatti di galassia nana in quanto risulta molto più piccola di quelle usuali (si pensi ad esempio che l'asse maggiore risulta 1/40 del diametro della Via Lattea).

La sua ellitticità ($e = 1 - b/a$) è pari a 0,2, valore che non si discosta molto da quello con cui viene classificata, ossia 0,3 (infatti è una dE3, dove 3 = 10e).

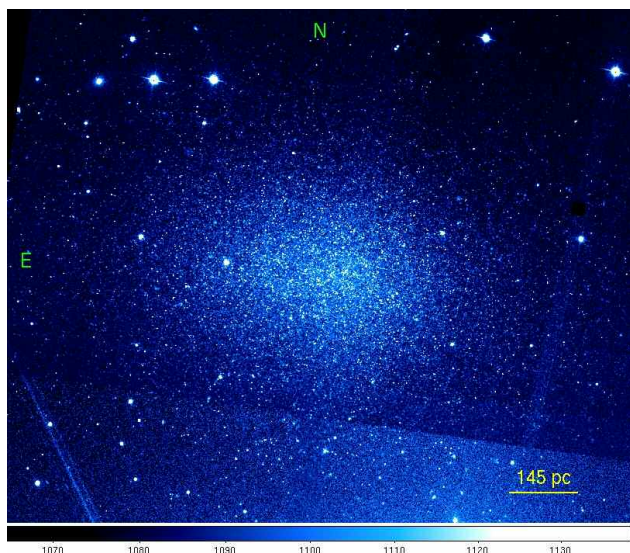


Fig. 9 Immagine di Leo I

Comunque, bisogna sottolineare che la differenza non ha niente a che vedere con errori relativi al calcolo delle magnitudini, ma deriva solo dalla stima effettuata ad occhio dell'ellisse che meglio approssima la forma della galassia, con tutti gli immaginabili problemi per quanto riguarda la distinzione, ai limiti dell'oggetto, tra stelle appartenenti o meno ad esso.

Sfruttando le equazioni che consentono di passare dal sistema fotometrico ugriz a quello UBVRI è possibile risalire al valore della magnitudine apparente m_V (detta anche V) e dunque a quella assoluta M_V ; si può fare lo stesso per la magnitudine B e risalire così all'indice di colore $B - V$:

$$m_V = V = g - 0,587(g - r) - 0,011 = 10,48$$

$$M_V = m_V + 5 - 5 \log d = -11,91$$

$$m_B = B = g + 0,327(g - r) + 0,216 = 10,74$$

$$M_B = m_B + 5 - 5 \log d = -11,65$$

$$B - V = 0,26.$$

Grazie alla relazione $M_V - M_\odot = -2,5 \log L_V/L_\odot$ otteniamo una misura della luminosità totale della galassia in unità di luminosità solari:

$$L_V/L_\odot \sim 4,6 \cdot 10^6$$

Leo I irradia una luminosità pari a quella che emetterebbe un insieme di quasi 5 milioni di stelle equivalenti al nostro Sole.

Conoscendo infine l'equazione che collega massa e luminosità (ripresa da dati presenti in letteratura, che forniscono un valore per il logaritmo del rapporto pari a 0.1) è immediato trovare una misura della massa della galassia: $\log (M/L) = 0,1$ da cui segue $M \sim 5,79 \cdot 10^6 M_\odot$.

Infine nel grafico M_i contro $r-i$ abbiamo sovrapposto le tracce evolutive, ricavate da modelli teorici che descrivono la posizione che una stella occupa nel diagramma H-R in base alle sue caratteristiche fisiche,

e abbiamo cercato di trovare l'isocrona che meglio si adattasse alla distribuzione ottenuta sperimentalmente. L'età complessiva della galassia risulta essere dell'ordine di circa una decina di miliardi di anni, visto che la maggior parte delle stelle si distribuisce lungo la traccia dei 10 Gyr (vedi Fig.10), sempre che sia valida la sovrapposizione comunque arbitraria che è stata effettuata.

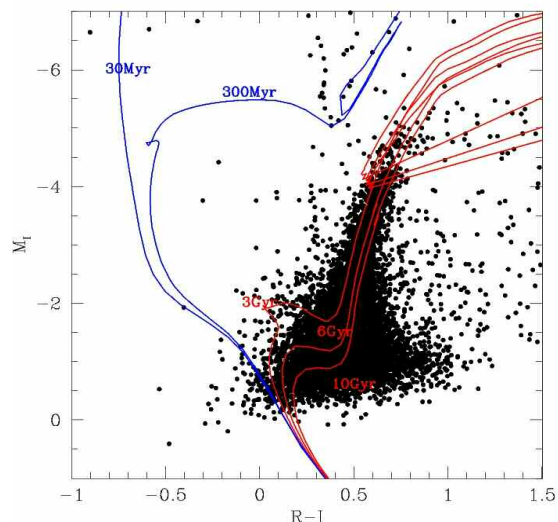


Fig.10. Il diagramma H-R di Leo I con le tracce evolutive.

Leo II:

Nel caso di Leo II il procedimento è del tutto analogo a quello appena esposto, dunque ci si limiterà alla descrizione dell'analisi dei dati.

Per Leo II i valori di k , x e m_0 sono diversi e vengono riassunti in tabella:

λ	m_0	k	x
g	24,331	0,169	1,021
r	24,016	0,084	1,023
i	23,645	0,049	1,023

A questo punto abbiamo tracciato i seguenti grafici colore-magnitudine: i contro $g-i$ (Fig. 11), i contro $r-i$ (Fig. 12) e r contro $r-i$ (Fig. 13).

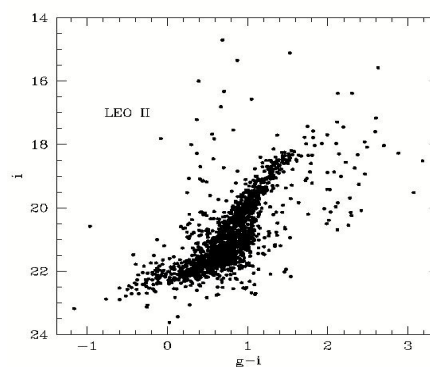


Fig. 11 : Il grafico $g-i$ contro i di Leo II.

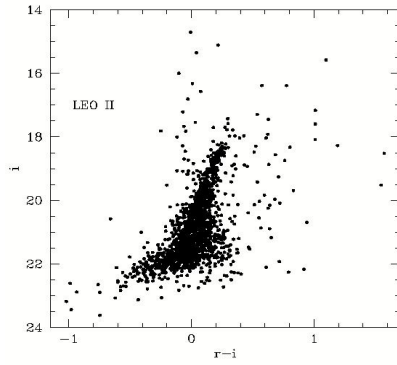


Fig. 12: Il grafico r-i contro i di Leo II.

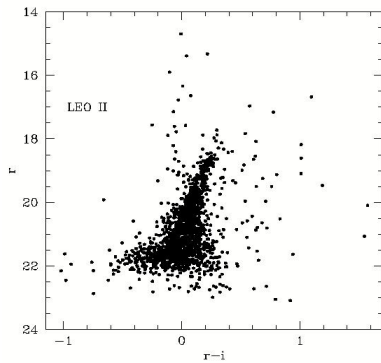


Fig. 13: Il grafico r-i contro r di Leo II.

Una volta trovato il punto corrispondente al RGBT nella banda I e conoscendo la sua magnitudine assoluta ($M_I = -4,2$) abbiamo trovato la distanza della galassia.

$$M_I - m_I = 5 - 5 \log d$$

Da cui $d = 2,8 \cdot 10^2$ Kpc

Sfruttando la distanza è possibile così associare ad ogni magnitudine apparente calcolata a partire da quella strumentale la relativa magnitudine assoluta per le 3 bande.

	g (4686 Å)	r (6165 Å)	i (7481 Å)
m	12,5	12,7	12,1
M	-9,7	-9,5	-10,2

Tramite i valori di conversione che ci erano stati forniti abbiamo trovato le magnitudini nelle bande V, R e I.

$$V = g - (0,587 \pm 0,022)(g - r) - (0,011 \pm 0,013)$$

$$R = r - (0,272 \pm 0,092)(r - i) - (0,159 \pm 0,022)$$

$$I = i - (0,337 \pm 0,191)(r - i) - (0,370 \pm 0,041)$$

Da cui:

$$m_V = V = 12,6$$

$$M_V = m_V + 5 - 5 \log d = -9,6$$

$$m_B = B = 12,7$$

$$M_B = m_B + 5 - 5 \log d = -9,5$$

$$B - V = 0,1.$$

A questo punto abbiamo tracciato il grafico M_I contro $V-I$ e sovrapposto le isocrone, traslandole per farle coincidere con i punti osservati (Fig. 14).

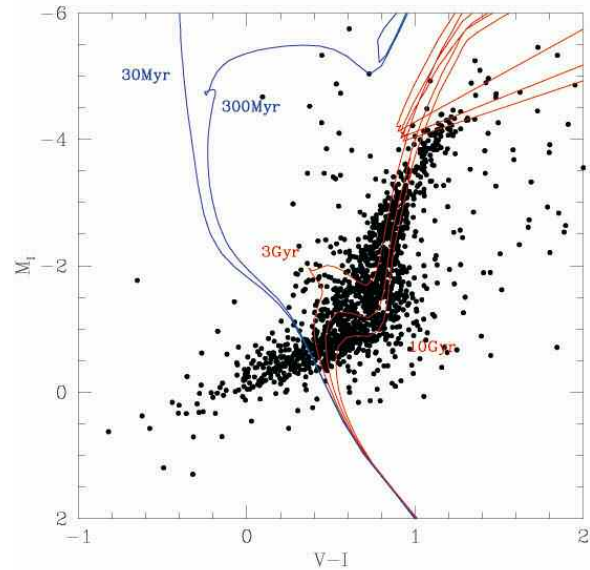


Fig. 14: Il diagramma H-R di Leo II con le tracce evolutive.

Successivamente abbiamo provato a determinare l'estensione spaziale della galassia procedendo in due modi diversi. Come prima cosa abbiamo tracciato nell'immagine della galassia una ipotetica ellisse che la racchiudesse. Sapendo la lunghezza in pixel degli assi è stato poi facile ottenere la misura in parsec: alla fine la misura dei due semiassi trovata è:

$$a \sim 277 \text{ pc}$$

$$b \sim 330 \text{ pc}$$

L'altro metodo consisteva nel calcolare la magnitudine di apertura a diversi raggi dal centro e costruire per tutte e tre le bande il grafico raggio contro magnitudine. Il punto in cui la curva tende ad appiattirsi indica l'estensione massima della galassia. I tre grafici sottostanti sono quelli ottenuti nelle tre bande g (Fig. 15), r (Fig. 16) e i (Fig. 17).

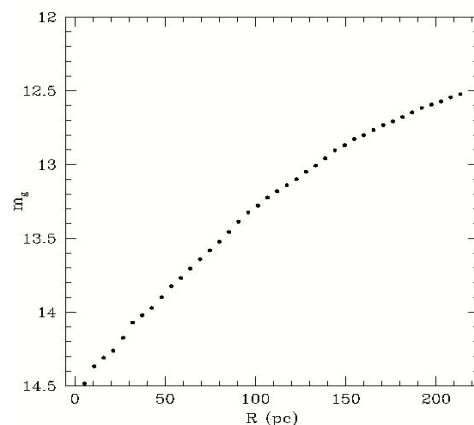


Fig. 15: Andamento della magnitudine in funzione della distanza dal centro in Leo II (banda g).

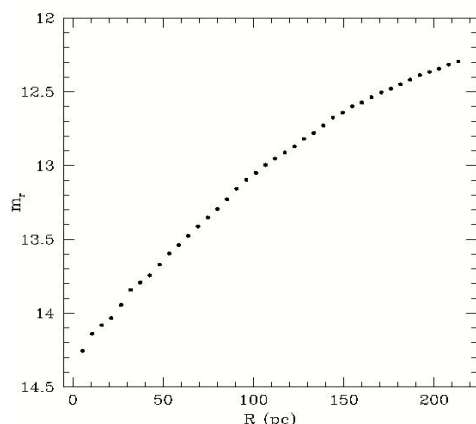


Fig. 16 : Andamento della magnitudine in funzione della distanza dal centro in Leo II (banda r).

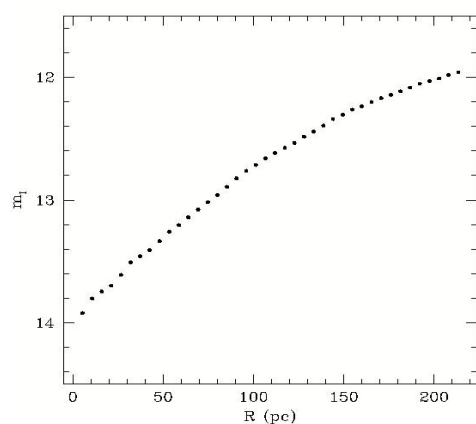


Fig. 17 : Andamento della magnitudine in funzione della distanza dal centro in Leo II (banda i).

Per ultima cosa, utilizzando la magnitudine assoluta nella banda V, abbiamo trovato la luminosità in unità di luminosità solari:

$$M_V - M_{\odot} = -2,5 \log(L_V/L_{\odot})$$

Da cui abbiamo trovato che: $L_V = 5,9 \cdot 10^5 L_{\odot}$. Sapendo inoltre che il rapporto tra massa e luminosità vale circa 10 allora $M \sim 10^7 M_{\odot}$.

IV. RISULTATI

Come si può vedere, i dati sperimentali confermano la classificazione delle due galassie come galassie nane: le loro dimensioni sono molto minori rispetto a quelle di una galassia di tipo comune.

L'età delle due galassie è inoltre stata stimata tra i 3 e i 10 Gyr.

In conclusione i dati ottenuti rispecchiano con buona approssimazione quelli ricavati in esperimenti precedenti. Da notare che, nel caso di Leo II, i diagrammi magnitudine – distanza dal centro sottostimano il raggio della galassia: questo è dovuto sia al fatto che essa continua ad estendersi oltre il limite delle immagini a disposizione, sia all'inevitabile approssimazione nel tracciare la circonferenza su cui sono stati basati i calcoli. Per quanto riguarda i

diagrammi H-R, essi sono stati confrontati con quelli pubblicati negli articoli citati, e se ne è potuta verificare la somiglianza. Inoltre le stelle delle due galassie, come ci aspettavamo, si trovano principalmente nel punto di turn-off, come si può vedere nei vari diagrammi H-R riportati.

Leo I		
Caratteristiche fisiche	Dati calcolati	Dati di confronto *
Distanza	$9,8 \cdot 10^5$ anni luce ($3,0 \cdot 10^2$ kpc)	$(8,2 \pm 0,7) \cdot 10^5$ anni luce ($(2,5 \pm 0,2) \cdot 10^2$ kpc)
Diametro (pc)	$7,5 \cdot 10^2$	1000
m_V	10,5	9,8
M_V	-11,9	-11,9
Massa	$5,8 \cdot 10^6 M_{\odot}$	$5,01 \cdot 10^6 M_{\odot}$
Luminosità	$4,6 \cdot 10^6 L_{\odot}$	$4,6 \cdot 10^6 L_{\odot}$
B-V	0,26	0,63

Leo II		
Caratteristiche fisiche	Dati calcolati	Dati di confronto *
Distanza	$9,1 \cdot 10^5$ anni luce ($2,8 \cdot 10^2$ kpc)	$(6,9 \pm 0,7) \cdot 10^5$ anni luce ($(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^2$ kpc)
Diametro (pc)	$6,6 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^2$
m_V	12,6	12,6
M_V	-9,6	-9,6
Massa	$10^7 M_{\odot}$	$10^7 M_{\odot}$
Luminosità	$5,9 \cdot 10^5 L_{\odot}$	$5,9 \cdot 10^5 L_{\odot}$
B - V	0,1	0,6

* Dati ottenuti da: Mateo M. L., 1998, *Ann. Rev. Astron. Astroph.*

BIBLIOGRAFIA

- Bellazzini, M., Gennari, M. & Ferrario, F. R., 2005, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **360**, 185
 Chonis, T. S. & Gaskell, C. M., 2008, *The Astronomical Journal*, **135**, 264
 Demers, S. & Harris, W. E., 1983, *The Astronomical Journal*, **88**, 329
 Mateo M. L., 1998, *Ann. Rev. Astron. Astroph.*, **36**, 435
 Reid, N. & Mould, J., 1991, *The Astronomical Journal*, **101**, 1299

SDSS (Sloan Digital Sky Survey, <http://www.sdss.org>);
 Wikipedia, the free encyclopedia (<http://www.wikipedia.org>).