

Daniele Gasparri

# Galassie

Proprietà, formazione ed evoluzione dei mattoni dell'Universo



Grazie per l'acquisto e ricorda che *quest'opera è autopubblicata, quindi vive della nostra pubblicità.*

**Per conoscere gli altri miei libri, segui il link seguente:**

**<http://danielegasparri.blogspot.it/p/i-miei-libri-di-astronomia.html>**

Daniele Gasparri

# Galassie

Proprietà, formazione ed evoluzione dei mattoni dell'Universo

Copyright © 2010 Daniele Gasparri

Questa opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore. Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla ristampa, traduzione, all'uso di figure e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla riproduzione su microfilm o in database, alla diversa riproduzione in qualsiasi altra forma, cartacea o elettronica, rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La riproduzione di questa opera, o di parte di essa, è ammessa nei limiti stabiliti dalla legge sul diritto d'autore.

La violazione delle norme comporta sanzioni previste dalla legge.

**In copertina, fronte:** La galassia a spirale M74 ripresa dal telescopio spaziale Hubble.

**In copertina, retro:** L'Hubble ultra deep field, la ripresa più profonda del cosmo, rivela 10000 galassie in un'area 50 volte più piccola della Luna piena.

---

## **Prefazione**

Meno di un secolo fa si pensava che l'Universo fosse confinato alla nostra galassia, la Via Lattea. 90 anni dopo sappiamo che l'Universo contiene almeno 500 miliardi di galassie grandi come la nostra, che spesso si influenzano reciprocamente a causa dell'immensa forza gravitazionale.

Come si è passati dalla concezione di un Universo statico e piccolo, a quella di un luogo sterminato e in perenne evoluzione? Quali sono le domande che hanno ricevuto risposta e quali quelle ancora irrisolte?

Questo volume cerca di dare una panoramica chiara e sintetica sulle galassie, i mattoni dell'Universo, enunciando le principali problematiche e le caratteristiche più profonde di questa classe di oggetti che popola tutto l'Universo conosciuto.

Senza soffermarsi su pesanti formule matematiche, si sono enfatizzate le nozioni più originali e stravaganti, spesso sconosciute al grande pubblico che si limita ad ammirare questi oggetti dalla forma unica.

Avrete davanti a voi sicuramente molte sorprese, a cominciare dalla forma veramente incredibile di alcuni di questi oggetti, per poi passare alle dimensioni, alla loro dinamicità, fino ad immergervi in problemi astrofisici ancora non risolti, come la materia oscura, gli scontri galattici, la formazione e l'esistenza dei bracci di spirale.

Avrete anche la possibilità di conoscere il lavoro intenso ed interessante di migliaia di astronomi, i quali cercano risposte a domande che ogni essere umano si è posto almeno una volta nella vita: come funziona l'Universo? Cosa c'è nell'enorme vastità dello spazio?

Ogni capitolo cerca di coinvolgere il lettore e far capire come, sebbene la scienza abbia un linguaggio a volte difficile da comprendere, le domande e i principi da cui si sviluppano tutte le teorie partono da semplici osservazioni. Questa è l'essenza della scienza, in particolare dell'astronomia: alzare gli occhi al cielo, spinti dalla curiosità di osservare ciò che si trova oltre la nostra sottile atmosfera, e porci semplicemente delle domande.

Godetevi lo spettacolo che offre il nostro Universo e gli sforzi fatti dagli esseri umani nel cercare di comprenderne il funzionamento.

**Daniele Gasparri, Luglio 2010**



---

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Proprietà e classificazione delle galassie</b> .....	<b>5</b>
1.1 La vera natura di alcune nebulose.....	6
1.2 L'espansione dell'Universo .....	12
1.3 La classificazione di Hubble .....	19
<b>2. La Via Lattea</b> .....	<b>25</b>
<b>3. I nostri vicini</b> .....	<b>33</b>
<b>4. Galassie a spirale</b> .....	<b>41</b>
4.1 Velocità di rotazione e materia oscura .....	47
4.2 Rapporto massa-luminosità.....	55
4.3 Una teoria alternativa alla materia oscura, l'ipotesi MOND .....	58
4.3 I bracci di spirale.....	63
4.4 Leggi di scala per le galassie a spirale .....	72
4.4.1 Tully-Fisher .....	73
4.4.2 Legge di De Vaucouleurs (bulge).....	74
4.4.3 Profilo di luminosità del disco (esponenziale).....	75
4.4.4 Legge di Freeman .....	75
<b>5. Galassie ellittiche</b> .....	<b>77</b>
5.1 Forma e classificazione .....	79
5.2 Classificazione morfologica .....	82
5.3 Velocità di rotazione .....	84
5.4 Proprietà fotometriche.....	87
5.5 Leggi di scala per le galassie ellittiche .....	90
5.5.1 Faber-Jackson .....	91
5.5.2 Kormendy .....	92
5.6 Il piano fondamentale .....	93
<b>6. Galassie irregolari e peculiari</b> .....	<b>95</b>
6.1 Caratteristiche .....	96
<b>7. Galassie interagenti</b> .....	<b>99</b>

---

7.1	Il significato della parola collisione.....	100
7.2	Frizione dinamica.....	102
7.3	Approssimazione impulsiva.....	104
7.4	Collisioni e merging (fusioni) .....	105
7.4	Le galassie barrate .....	113
<b>8.</b>	<b>Quasar e AGN.....</b>	<b>115</b>
8.1	Una teoria alternativa per i quasar .....	122
8.2	Qualche chiarimento sui buchi neri.....	126
<b>9.</b>	<b>La nascita delle galassie .....</b>	<b>133</b>
9.1	La formazione primordiale delle galassie .....	135
9.2	L'evoluzione.....	143
9.3	La formazione della Via Lattea.....	146
9.4	Alcune precisazioni sui modelli di formazione delle galassie .....	152
<b>10.</b>	<b>Ammassi di galassie.....</b>	<b>157</b>
10.1	Proprietà dinamiche e fotometriche .....	162
10.2	La materia oscura negli ammassi di galassie .....	170
10.3	Formazione ed evoluzione .....	179
10.4	Il grande attrattore .....	187
	<b>Bibliografia.....</b>	<b>189</b>

## Introduzione

Le galassie sono dei giganteschi agglomerati di gas e stelle, contenenti la quasi totalità della massa visibile dell'intero Universo.

In una galassia media si trovano centinaia di miliardi di stelle e grandi quantità di gas e polveri.

Se disponessimo di un telescopio abbastanza potente, qualsiasi zona di cielo puntissimo lontano dal disco della Via Lattea, troveremmo migliaia di galassie in uno spazio molte volte più piccolo della Luna piena vista ad occhio nudo.

Le galassie sono presenti in ogni punto della sfera celeste e sono distribuite in modo pressoché uniforme lungo tutto lo spazio: ogni zona di cielo che inquadrriamo nasconde circa lo stesso numero di galassie.

Secondo le ultime stime, si pensa che vi siano più galassie nell'Universo che stelle nella Via Lattea, la nostra galassia; un numero prossimo a 500 miliardi!

Se supponiamo che ogni galassia abbia in media 100 miliardi di stelle, possiamo stimare il numero di stelle nell'Universo osservabile, pari a circa  $5 \cdot 10^{22}$ , cioè un 5 seguito da 22 zeri!

Ogni galassia ha dimensioni tipiche di decine, o centinaia, di migliaia di anni luce, le più grandi di milioni di anni luce, distanziate le une dalle altre da enormi spazi vuoti, decine o centinaia di volte maggiori delle dimensioni galattiche.

Le galassie si presentano a gruppi, detti ammassi di galassie, formati da decine o centinaia di componenti in rotazione attorno al comune centro di massa.

Gli ammassi di galassie formano a loro volta i superammassi, composti da decine di migliaia di galassie: nell'Universo non esiste una galassia completamente isolata da tutte le altre.

L'intero Universo sembra essere permeato da una rete, una specie di connessione primordiale che tiene connesse tutte le galassie.

Una spettacolare immagine del telescopio spaziale Hubble, nella pagina seguente, può darci un'idea di come appare una piccola porzione di cielo presa a caso tra la vastità della sfera celeste: questo è ciò che realmente si osserva nello spazio e nel tempo, in uno spaccato profondo

circa 13 miliardi di anni, ovvero dall'epoca attuale fino ad 1 miliardo di anni dopo la nascita dell'Universo.



L'Hubble ultra deep field è la ripresa più profonda effettuata fino ad oggi e mostra uno spaccato casuale del nostro Universo contenente circa 10000 galassie fino alla magnitudine 30. Questa immagine ha richiesto una posa complessiva di ben 11,3 giorni. Analizzando questo scorcio di cielo, gli astronomi hanno stimato nell'Universo osservabile circa 500 miliardi di galassie.

L'immagine ripresa dal telescopio spaziale Hubble è la più profonda mai effettuata e ritrae oggetti fino alla magnitudine 30.

In questa piccola porzione di cielo, 50 volte inferiore a quella della Luna piena, si possono contare circa 10000 galassie a diverse distanze,

un ottimo spaccato di come è distribuita la materia visibile nell'Universo.

Le galassie sono molto diverse le une dalle altre.

Una prima classificazione verrà fatta in base alla forma tra ellittiche e spirali, ma anche all'interno di queste due grandi famiglie esistono altri gruppi.

Sebbene le regole della Natura siano stringenti ed abbiano plasmato allo stesso modo questi immensi e spettacolari oggetti, è difficile trovarne due identici, poiché molte sono le variabili che ne influenzano le dimensioni, la forma (reale e apparente), il colore e la distribuzione di stelle e gas al loro interno.

Il Sole e il Sistema Solare appartengono ad una galassia chiamata Via Lattea, alla stregua di tutte le stelle che possiamo ammirare in cielo ad occhio nudo o con un piccolo telescopio.

Le dimensioni galattiche sono immense e fuori da ogni immaginazione: la Via Lattea ha un diametro visibile stimato in circa 100000 anni luce.

E' utile ricordare che 1'anno luce corrisponde alla distanza percorsa in un anno da un raggio di luce, che nel vuoto ha una velocità fissata a circa 300000 km/s; in un anno la luce percorre quindi circa 9600 miliardi di km: impressionante!

Nonostante l'immensa velocità (nulla può andare più veloce della luce e nessun corpo dotato di massa la può raggiungere, si parla quindi di velocità limite), un raggio di luce impiega 100000 anni per attraversare il disco della Via Lattea ed oltre 2 milioni di anni per giungere alla galassia più vicina, Andromeda, l'oggetto più lontano visibile ad occhio nudo, destinata un giorno a scontrarsi con la nostra.

Non preoccupatevi di questo scontro tra titani; le galassie sono oggetti molto diffusi e la distanza media tra le stelle è così elevata che è quasi impossibile che durante uno scontro si scontrino anche esse. Inoltre, esso avverrà non prima di un paio di miliardi di anni.

Vedremo nel capitolo 7 che uno scontro galattico assomiglia di più ad un attraversamento di due nubi o due banchi di nebbia.

Nelle galassie, soprattutto nelle spirali, si formano continuamente nuove stelle, e la struttura, di cui daremo spiegazione nelle pagine seguenti, è in perenne movimento ed evoluzione.

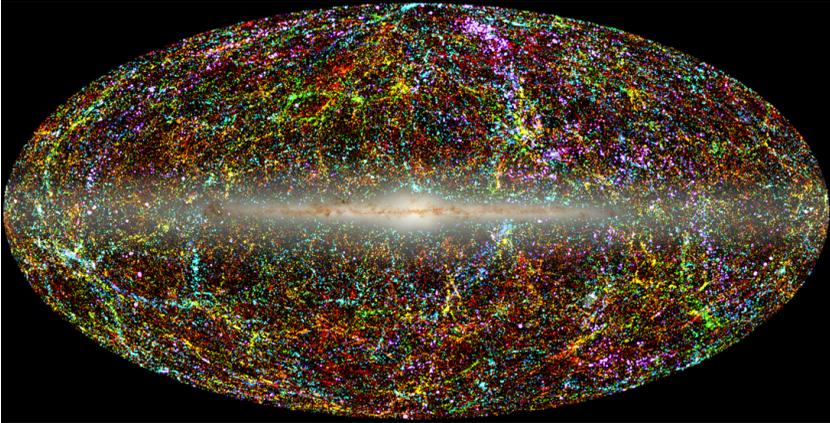
Benché possano apparire statiche ed immobili, ogni galassia è in realtà un oggetto estremamente dinamico, nel quale nascono, evolvono, muoiono, stelle, pianeti, nebulose, il tutto alla velocità orbitale di appena 200 km/s (!) attorno al centro.

Nel centro di ogni galassia è presente un buco nero con massa milioni o miliardi di volte quella del Sole, che risucchia stelle e gas nelle immediate vicinanze.

E' molto difficile dare spiegazione e giustificazione fisica della formazione, evoluzione e dinamica delle galassie, anche perché neanche gli astronomi professionisti sono riusciti ancora in questo intento.

Nelle pagine seguenti analizzeremo questi oggetti con semplicità e rigore scientifico, cercando di dare delle nozioni facili da apprendere, ma allo stesso tempo precise e spesso piuttosto particolari.

## 1. Proprietà e classificazione delle galassie



**1.1:** Distribuzione delle galassie nel cielo dalla survey in infrarosso 2MASS, la quale ha catalogato 1,5 milioni di galassie. In primo piano la Via Lattea, il cui disco oscura alcune regioni dietro di essa che risultano pertanto invisibili. Ogni punto rappresenta una galassia. La distribuzione su grande scala (oltre 300 milioni di anni luce) è uniforme. Possiamo vedere anche aggregati più o meno estesi: si tratta di ammassi e superammassi. Nessuna galassia nell'Universo è completamente isolata.

Nell'Universo esistono miliardi e miliardi di galassie, alcune simili alla nostra, altre molto diverse, ma tutte hanno in comune una cosa: sono degli immensi aggregati di stelle e gas.

Quasi tutta la materia visibile è confinata nelle galassie, che a loro volta sono concentrate in gruppi più o meno grandi chiamati ammassi, o addirittura superammassi (quando sono composti da migliaia di componenti). Tra due galassie appartenenti ad un ammasso mediamente denso esistono degli sterminati spazi praticamente vuoti, con densità minori di un atomo per metro cubo, contro i 10 atomi per centimetro cubo dello spazio interplanetario, 1 atomo ogni centimetro cubo degli spazi interstellari, e ben  $10^{19}$  molecole ogni centimetro cubo dell'atmosfera terrestre a livello del mare!

Nonostante molte siano raggruppate in famiglie gravitazionalmente legate, le distanze in gioco tra due galassie non interagenti direttamente sono dell'ordine di qualche milione di anni luce.

La galassia più vicina alla nostra è Andromeda, posta a circa 2,4 milioni di anni luce, seguita da M33 nel Triangolo, a 2,5 milioni di anni luce. Queste tre galassie fanno parte di un ammasso contenente circa una trentina di componenti, chiamato gruppo locale (capitoli 2-3).

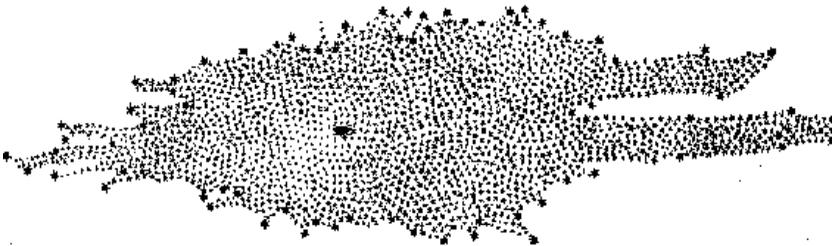
### 1.1 La vera natura di alcune nebulose

Le semplici considerazioni che abbiamo appena fatto in apertura di questo capitolo hanno richiesto decine di anni di intensi studi da parte dei migliori astronomi del ventesimo secolo. In onore all'immenso lavoro e al grande genio degli scienziati dell'epoca, vale la pena ripercorrere il percorso che ha portato alla "scoperta" delle galassie e delle loro principali proprietà.

Agli inizi del ventesimo secolo si pensava infatti che l'Universo fosse un luogo confinato alla nostra Galassia e principalmente statico, visto che i telescopi di quel tempo non erano ancora riusciti ad osservare le stelle delle galassie, fino a quel momento considerate semplici nebulose di natura ignota.

A partire dalla seconda metà dell'800, con gli strumenti allora in possesso degli astronomi, furono tracciati i primi, incerti confini di quello si pensasse essere l'Universo: la nostra galassia.

Il primo astronomo a proporre questa prima rozza mappa fu William Herschel, alla fine del diciottesimo secolo.



**Fig. 1.1:** Rappresentazione dell'Universo secondo William Herschel. Egli studiò la posizione delle stelle, assumendole tutte di uguale luminosità, e definì i confini di quello si pensava essere l'Universo, centrato sulla posizione del Sole (punto nero al centro). In realtà quella rappresentata era solamente una piccola porzione della Via Lattea, una delle miliardi di galassie che popolano l'Universo.

Herschel partì dall'assunzione che tutte le stelle visibili in cielo hanno circa la stessa luminosità (sbagliato!), quindi diverse luminosità apparenti corrispondono a diverse distanze reali.

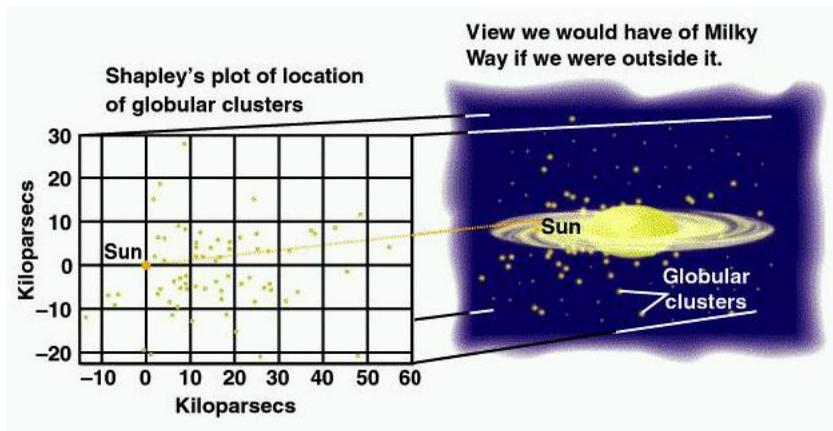
Misurando accuratamente numero e luminosità di molte stelle visibili con i telescopi del tempo, egli costruì un grafico nel quale la distribuzione delle stelle dava i confini di quello che si pensava fosse l'Universo.

Ne risultò che l'Universo allora conosciuto aveva una forma piuttosto schiacciata, con il Sole posto circa al centro.

In realtà il modello di Herschel era solo una rozza approssimazione della forma della nostra Galassia, una delle miliardi di isole di stelle che popolano l'attuale Universo conosciuto, ma sarebbero stati richiesti ancora molti anni per capirlo.

Successivamente, Shapley, studiando la distribuzione degli ammassi globulari, riuscì, attraverso la stima della distanza con il metodo delle Cefeidi da poco messo a punto da Herrietta Leavitt, a capire che il centro della Galassia si doveva trovare a circa 8 Kpc dal Sole (8 mila parsec, ovvero 26000 anni luce) e che la sua forma era circa sferica.

Il lavoro di Shapley era molto più accurato di quello di Herschel e portò ad identificare in modo piuttosto preciso la posizione del Sole all'interno della Galassia.



**Fig. 1.2:** Attraverso lo studio della distribuzione e della luminosità degli ammassi globulari, Shapley riuscì a completare la prima mappa della Galassia, che a quel tempo (primi del 900) si credeva essere tutto l'Universo.

Shapley in realtà sbagliò a misurare la distanza degli ammassi globulari perché quelle che lui individuò come Cefeidi erano in realtà RR-Lyrae.

La sostanza comunque non cambiò: l'Universo allora conosciuto, la nostra galassia, aveva un centro di gravità posto a circa 26000 anni luce dalla posizione del Sole.

L'Universo non era più centrato attorno al nostro Sistema Solare.

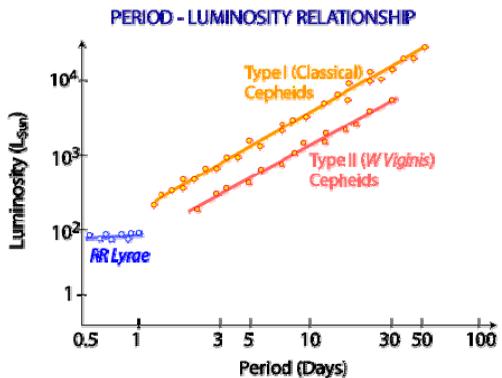
Il lavoro di Shapley aveva dato un altro colpo fondamentale e definitivo alla mai morta teoria antropocentrica, che per secoli ha messo al centro di tutto l'uomo, la Terra o il Sole.

Con tecniche di osservazione più raffinate e lo studio più approfondito della relazione periodo-luminosità per le Cefeidi, i confini dell'Universo furono raffinati e cominciarono a costruirsi anche le prime mappe attendibili della Galassia.

La scienza astronomica, almeno sotto questo punto di vista, sembrava aver trovato un punto d'arrivo molto ben saldo, se non per un piccolo, quasi marginale dettaglio: la presenza e la spiegazione

dei numerosi oggetti di aspetto diffuso e la loro collocazione nella Galassia e in un modello astrofisico-cosmologico che prevedesse la loro nascita, e che giustificasse le loro dimensioni e la loro struttura.

Al tempo di Shapley, infatti, erano stati catalogati moltissimi oggetti di aspetto diffuso, molto diversi dalle stelle o dagli ammassi stellari. Lo stesso William Herschel ne catalogò qualche migliaio oltre un secolo prima.



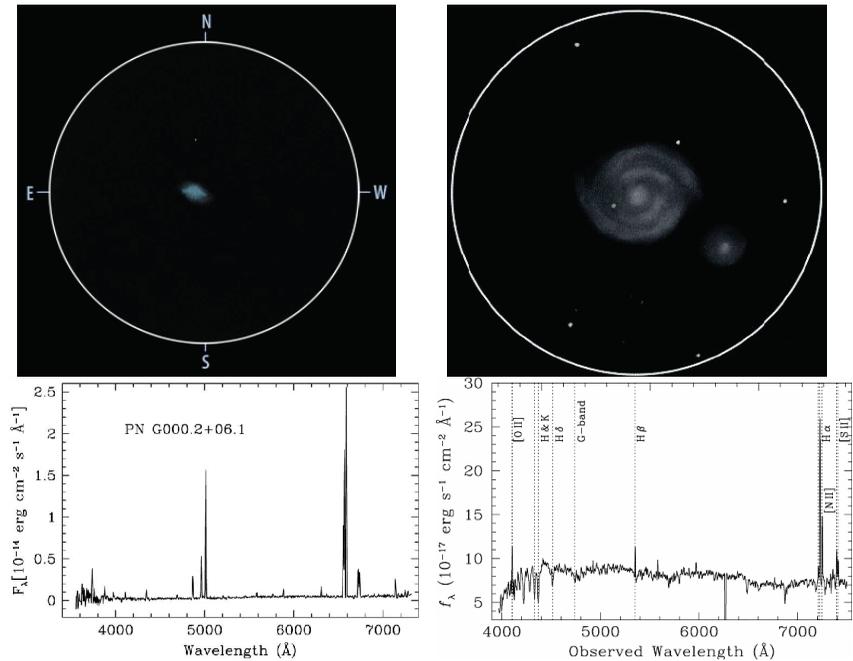
**Fig. 1.3:** Le Cefeidi sono stelle variabili il cui periodo di variazione dipende dalla luminosità assoluta. Il metodo è stato sviluppato da Herrietta Le Witt nei primi anni del 900 e permette di risalire alla distanza di queste stelle analizzandone il periodo di variazione della luminosità. Le Cefeidi sono molto brillanti, tanto che possono essere osservate anche a distanze di diversi milioni di anni luce.

La diatriba su questi oggetti, che non potevano certo essere trascurati visto l'elevato numero, si fece ben presto accesa.

Le cosiddette nebulae, infatti, erano oggetti da alcuni attribuiti alla nostra stessa galassia, quindi tutte appartenenti alla famiglia delle nebulose più famose, come quella di Orione. Per altri, alcune di esse, con forme particolari, potevano essere degli oggetti estremamente distanti, dall'aspetto nebuloso apparente dovuto alla estrema lontananza.

Le nebulae più interessanti sembravano disporsi ovunque tranne nel disco galattico e il loro spettro si mostrava molto diverso rispetto alle nebulose poste nel disco, con un'emissione continua marcata ed uno spostamento verso il rosso (redshift) a volte piuttosto accentuato.

Se questi oggetti facevano parte della Galassia, erano una classe molto particolare e diversa rispetto alle altre nebulose conosciute.



**Fig. 1.4:** Alcuni oggetti diffusi mostrano uno spettro a righe ben marcato, a sinistra, altri, invece, mostrano molte più righe, sovrapposte ad un'emissione continua ed un elevato redshift (notate come la riga H-alpha dovrebbe trovarsi a 6562,8 Angstrom). Sebbene simili al telescopio (in alto), sono fisicamente profondamente diversi. Questo era lo scenario che si presentava agli astronomi agli inizi del ventesimo secolo.

La diatriba era molto accesa, perché molto importante era l'implicazione sulle teorie allora esistenti e sulla struttura stessa dell'intero Universo.

Se alcune nebulae, in particolare quelle a forma di spirale, erano oggetti posti fuori dalla nostra Galassia, allora ciò significava distruggere tutte le teorie precedenti che consideravano la Via Lattea l'Universo stesso.

Con l'ammissione dell'esistenza di altre galassie nell'Universo, si sarebbero ampliati i suoi confini di almeno un fattore 100, se non 1000, facendo di nuovo cadere questa condizione antropocentrica che pone la Galassia al centro di tutto l'Universo.

Anche questo ultimo baluardo di antropocentrismo cadde, quando negli anni venti Edwin Hubble, astronomo americano, fornì prove inconfutabili che alcune nebulae sono in realtà degli immensi aggregati di stelle, del tutto simili alla Via Lattea, poste molto oltre i suoi confini.

Esponendo lastre fotografiche al fuoco del grande telescopio di Monte Wilson, in California, il telescopio a quel tempo più potente del mondo, egli riuscì a risolvere alcune stelle, dapprima nella grande nebulosa di Andromeda, successivamente in altre nebulose (M33, ad esempio).

Se queste nebulose contenevano almeno migliaia di stelle, sparse su un'area apparente almeno 10 volte maggiore di quella della Luna piena, era evidente che esse do-



**1.2:** La storica immagine della Nebulosa di Andromeda, scattata da Edwin Hubble, nella quale l'astronomo americano individuò una variabile Cefeide, grazie alla quale ne stimò la distanza. La nebulosa di Andromeda divenne la galassia di Andromeda, simile alla nostra Via Lattea ed esterna ad essa. L'Universo conosciuto crebbe spaventosamente in dimensioni. L'astronomia, da quel momento, subì una rivoluzione totale.

vevano essere poste estremamente lontano dal Sole e che le loro dimensioni dovevano essere simili a quelle della nostra Galassia.

Questa ipotesi si rivelò ben presto confermata da dati molto più solidi. L'identificazione di alcune Cefeidi all'interno di queste "nebulose" permise ad Hubble di stimarne la distanza, quindi anche le dimensioni reali, ottenendo dati inattaccabili dai sostenitori dell'appartenenza di questi oggetti alla Via Lattea.

La Galassia di Andromeda risultò distante 1 milione di anni luce, con un'estensione reale molto simile a quella che lo stesso Shapley, sostenitore della natura locale delle nebulae, calcolò per la Via Lattea.

L'Universo di colpo crebbe in modo spaventoso in dimensioni: la Via Lattea divenne una delle tante galassie a popolare uno spazio sterminato ed estremamente vuoto, poiché la distanza media delle galassie era dell'ordine di qualche milione di anni luce, contro le decine di migliaia della loro estensione.



**1.3:** Osservando le "nebulose spiraliformi" con telescopi più potenti è facile osservare le singole stelle che compongono questi giganteschi agglomerati e capire che si tratta di oggetti posti oltre i confini della nostra galassia. In questa immagine la galassia M51, la stessa della figura 4.6, questa volta ripresa dal telescopio spaziale Hubble, che l'ha risolta completamente in stelle e nubi gassose.