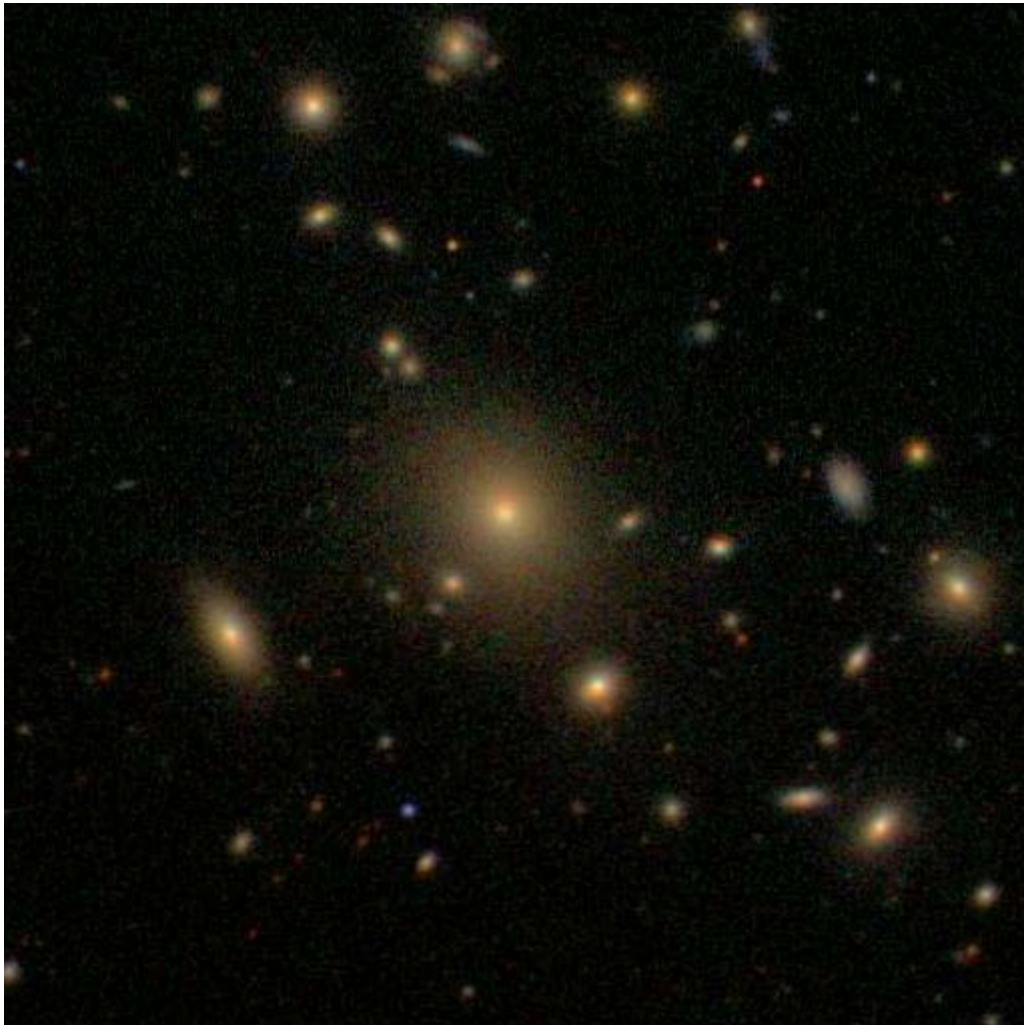


**DETERMINAZIONE DEL RAPPORTO  
MASSA GRAVITAZIONALE - LUMINOSITA'  
DI ABELL 279**



Lorenzo Gasparoni  
Anna Palmieri  
Marco Rado  
Francesco Scarpa

(Liceo Scientifico “G.B. Benedetti” - Venezia)

*Stage presso l'Osservatorio Astronomico di Asiago, 15/18 – 02 – 2006*

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introduzione</b>                                                                 | 2  |
| Finalità della nostra esperienza                                                    | 2  |
| Caratteristiche degli ammassi di galassie                                           | 3  |
| Abell 279                                                                           | 3  |
| Metodi per il calcolo della massa                                                   | 4  |
| Lensing                                                                             | 5  |
| Temperatura del gas interno                                                         | 5  |
| Teorema del viriale                                                                 | 5  |
| Frames                                                                              | 5  |
| <b>Determinazione della massa gravitazionale</b>                                    | 6  |
| Spettrometria                                                                       | 6  |
| Analisi degli spettri di 12 galassie dell'ammasso                                   | 6  |
| Calcolo del redshift                                                                | 7  |
| Primi risultati                                                                     | 8  |
| Calcolo redshift medio e confronto con la letteratura                               | 8  |
| Calcolo velocità media                                                              | 9  |
| Distanza (legge di Hubble)                                                          | 9  |
| Deviazione standard                                                                 | 9  |
| Teorema del viriale                                                                 | 9  |
| Enunciazione del teorema                                                            | 9  |
| Determinazione del raggio viriale e calcolo delle distanze angolari tra le galassie | 10 |
| Determinazione della massa viriale                                                  | 10 |
| <b>Determinazione della luminosità</b>                                              | 10 |
| <b>Determinazione del rapporto massa-luminosità</b>                                 | 11 |
| <b>Confronto del nostro valore con quello degli altri ammassi</b>                   | 11 |
| <b>Considerazioni finali</b>                                                        | 12 |
| Ipotesi sulla massa mancante                                                        | 12 |
| <b>Ringraziamenti</b>                                                               | 12 |
| <b>Bibliografia</b>                                                                 | 12 |

## Introduzione

### *Finalità della nostra esperienza*

L'obiettivo del nostro lavoro è stato la determinazione del rapporto tra la massa gravitazionale e la luminosità dell'ammasso di galassie Abell 279.

A causa del cattivo tempo, durante il nostro stage non abbiamo potuto effettuare un'osservazione diretta del cluster ma ci siamo basati su dati pubblici dell'archivio Sloan Digital Sky Survey.

Partendo dall'analisi degli spettri di alcune galassie della parte centrale dell'ammasso, siamo giunti alla determinazione della velocità media di recessione e della distanza dalla

Terra. Da questi dati, applicando la formula del teorema del viriale, abbiamo calcolato la massa gravitazionale del cluster.

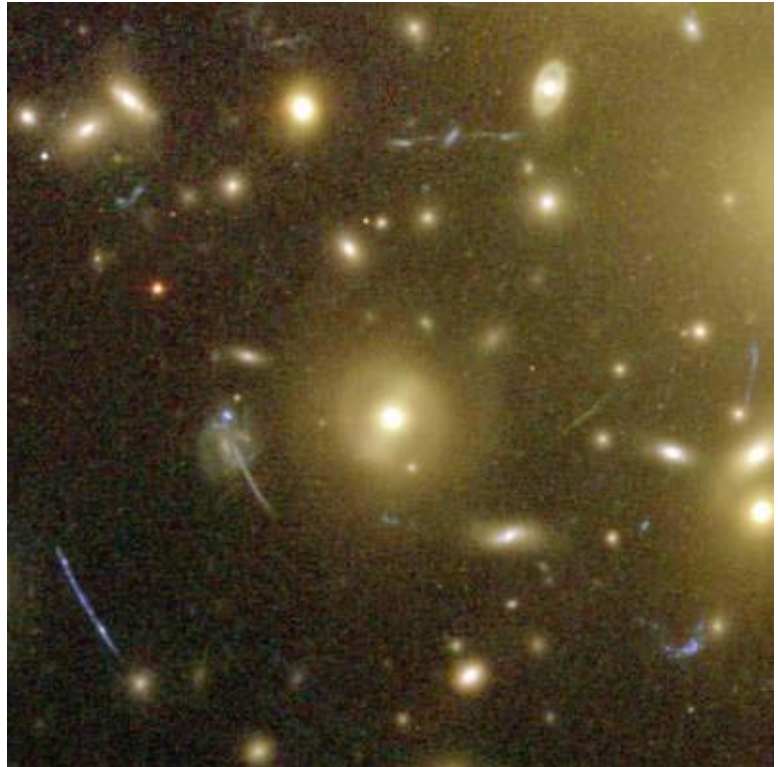
### ***Caratteristiche degli ammassi di galassie***

Gli ammassi galattici –o Galaxy Clusters- sono sistemi costituiti da galassie che risentono di una reciproca attrazione gravitazionale. Sono classificabili per ricchezza, forma e distanza dalla Terra.

La ricchezza di un ammasso è legata alla densità di galassie che si trovano a meno di 1,5 Mpc dal presunto centro del cluster: essa può variare tra valori da 0 (30-40 galassie) a 5 (oltre 300).

La forma può essere regolare (o sferica), irregolare o discoidale.

Infine esistono 5 classi che suddividono i cluster secondo la loro distanza dalla Terra.



Tutte le galassie dell'ammasso partecipano ad un moto di traslazione. Per la diversa attrazione gravitazionale tra le singole galassie, le velocità di traslazione risultano diverse e ne consegue un moto caotico collettivo.

### ***Abell 279***

Abell 279 è un cluster di galassie con le seguenti caratteristiche:

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| Ascensione retta                        | 01h 53m 8s |
| Declinazione                            | +00° 49'   |
| Ricchezza                               | 1          |
| Dclass (classificazione della distanza) | 5          |
| Z (redshift)                            | 0,0797     |



*Immagine dell'ammasso di galassie Abell 279*

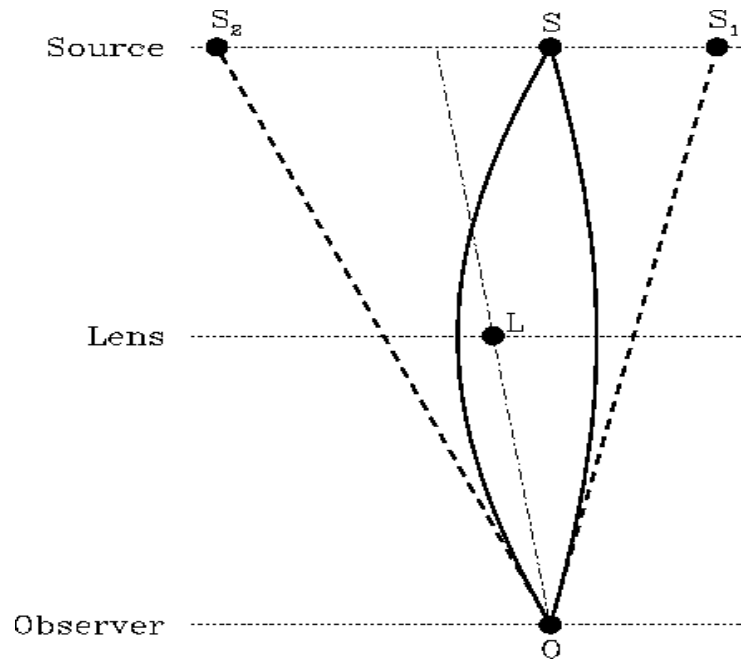
Si può notare che l'ammasso è molto distante dalla Terra ed è costituito da un numero non elevatissimo di galassie.

### ***Metodi per il calcolo della massa***

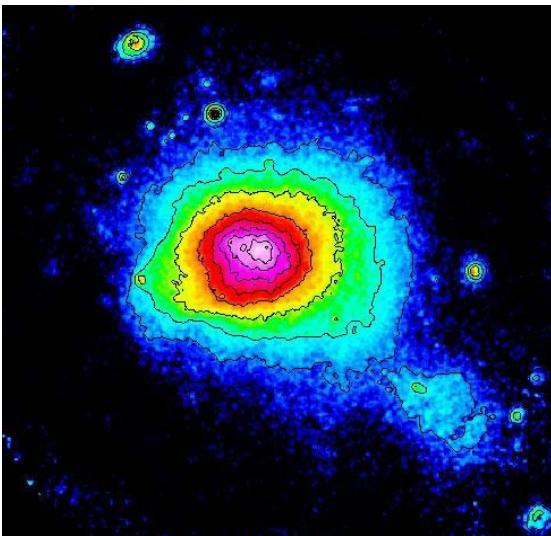
Per calcolare la massa di un cluster esistono vari metodi. Quelli più utilizzati sono:

## Lensing

Questo metodo sfrutta una peculiarità degli oggetti con grande massa, che se frapposti tra l'osservatore e una sorgente luminosa, causano un fenomeno di deflessione della luce. In base alla teoria della Relatività Generale di Einstein, l'angolo di deflessione del flusso di fotoni è proporzionale alla massa dell'oggetto interposto, detto lente gravitazionale.



## Temperatura del gas interno



I primi telescopi a raggi x scoprirono che gli ammassi di galassie hanno un'intensa emissione in x. Tale radiazione non è concentrata sulle singole galassie ma distribuita dappertutto all'interno degli ammassi. Essa è emessa da gas caldi che riempiono gli ammassi di galassie. Ha temperature da  $10^7$  a  $10^8$  K. L'immagine mostra l'emissione in x dell'ammasso Coma.

L'emissione in x è molto importante per determinare la distribuzione della massa e la dinamica degli ammassi di galassie.

## Teorema del viriale

Questo è il metodo più semplice a partire dall'analisi di spettri ottici ed è quello su cui abbiamo basato i nostri calcoli.

Dal teorema, che enunceremo in seguito, si ricava che la massa dell'ammasso è proporzionale alle dimensioni dell'ammasso stesso.

## Frames

- Iraf

È il programma che abbiamo utilizzato per analizzare gli spettri delle galassie ricavati dall'archivio SDSS. Esso traduceva lo spettro in un grafico lunghezza d'onda-intensità di emissione.

- Ds9

Programma che visualizza le immagini in formato FITS: ci ha permesso di calcolare le distanze angolari tra le varie galassie.

- Excel

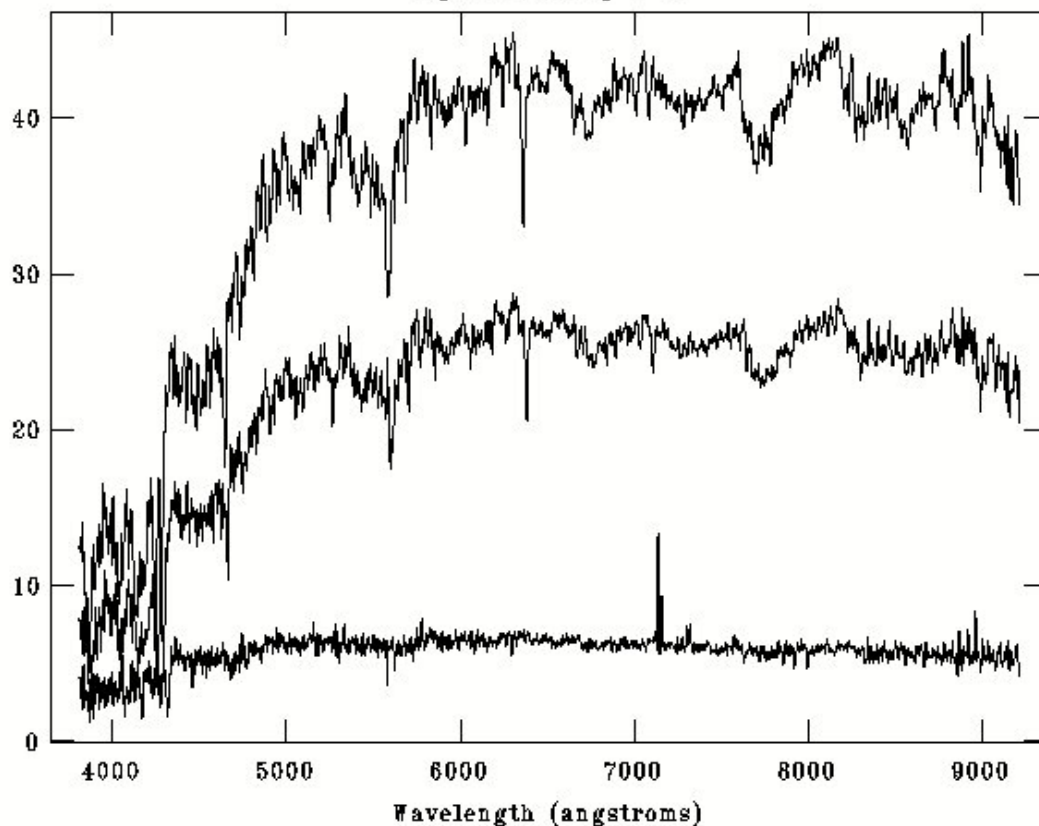
Foglio di lavoro utilizzato per raccolta di dati e calcoli.

## Determinazione della massa gravitazionale

### Spettrometria

#### Analisi degli spettri di 12 galassie dell'ammasso

NOAO/IRAF V2.12.2-EXPORT skylab@control-6.astro.unipd.it Fri 18:07:37 17-Feb  
Separation step = 0.



*Spettri sovrapposti di tre delle galassie da noi analizzate (quantità di fotoni emessi in funzione della lunghezza d'onda): si possono notare alcune evidenti righe di emissione o assorbimento degli elementi più facilmente riconoscibili.*

Abbiamo lavorato sugli spettri forniti dall'archivio della Sloan Digital Sky Survey scegliendo alcune galassie che si trovassero in prossimità del centro del cluster. Abbiamo cercato all'interno degli spettri le righe di emissione o di assorbimento più facilmente riconoscibili. Ci siamo basati soprattutto sulle righe della serie di Balmer ( $H\alpha$  e  $H\beta$ ), sulle righe del Sodio (Na), e su quelle del Magnesio (Mg). Si sono presentate alcune difficoltà dovute all'imprecisione nella stima dei valori delle lunghezze d'onda relative al picco di emissione o assorbimento. Nei casi in cui le righe di emissione e di assorbimento interferivano tra di loro abbiamo determinato il picco con il metodo della distribuzione gaussiana.

## Calcolo del redshift

Dopo aver riconosciuto alcune particolari righe negli spettri delle galassie, abbiamo confrontato le lunghezze d'onda relative con quelle dello stesso elemento in un corpo nero a riposo. Calcolando la differenza di lunghezza d'onda abbiamo trovato il valore del Redshift ( $z$ ) per ogni singola galassia, ovvero lo spostamento delle righe spettrali verso il rosso, dovuto per effetto doppler, al moto di recessione delle galassie.

$$z = \Delta\lambda / \lambda_0$$

Dal redshift abbiamo poi determinato la velocità di recessione delle singole galassie. ( $z=v/c$ ) Abbiamo notato che la galassia 2 aveva un redshift doppio rispetto alle altre: da ciò abbiamo dedotto che essa non poteva far parte del nostro cluster. Probabilmente c'è stato un errore di valutazione poiché essa entrava nel campo visivo di Abell 279. Abbiamo quindi scartato dalle statistiche tutti i dati relativi alla galassia 2.

*Valori di  $\lambda$  delle righe di emissione dei principali elementi rilevabili:.*

| <b>H<math>\alpha</math></b> | <b>Na</b> | <b>Mg</b> | <b>H<math>\beta</math></b> | <b>CaH</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------|----------------------------|------------|
| 6562,817                    | 5891,6    | 5175,36   | 4861,33                    | 3969,60    |

*Valori di  $\lambda$  delle righe di emissione trovate negli spettri delle galassie appartenenti all'ammasso studiato:*

| <b>GALASSIE</b>    | <b>H<math>\alpha</math></b> | <b>Na</b> | <b>Mg</b> | <b>H<math>\beta</math></b> | <b>CaH</b> |
|--------------------|-----------------------------|-----------|-----------|----------------------------|------------|
| <b>Abell 279_1</b> | 7076,87                     | 6352,81   |           |                            |            |
| <b>Abell 279_3</b> | 7107,47                     | 6381,5    | 5599,31   | 5263,65                    |            |
| <b>Abell 279_4</b> | 7083,36                     | 6360,72   |           | 5248,2                     |            |
| <b>Abell 279_5</b> | 7136,98                     |           | 5579,13   | 5286,2                     | 4316,25    |
| <b>Abell 279_6</b> | 7108,1                      | 6381,43   | 5599,36   | 5265,51                    |            |
| <b>Abell 279_7</b> |                             | 6358,44   | 5582,63   | 5248,573                   |            |
| <b>Abell 279_8</b> | 7075,31                     | 6353,12   |           |                            |            |

|                      |         |         |         |         |  |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|--|
| <b>Abell 279_9</b>   | 7085,68 | 6363,08 | 5582,69 | 5247,08 |  |
| <b>Abell 279_10*</b> | 7068,95 | 6346,79 |         |         |  |
| <b>Abell 279_11*</b> | 7069,95 | 6347,2  |         |         |  |
| <b>Abell 279_12*</b> | 7094,7  | 6369,06 |         | 5253,3  |  |

\*Inizialmente avevamo analizzato solo nove galassie, di cui una era stata in seguito scartata poiché non faceva parte del cluster. Considerando che un ammasso di galassie comprende generalmente da circa 30 a più di 300 galassie, e che per fare un'analisi completa si necessita dei dati di almeno trenta galassie, è evidente che a causa della scarsità dei dati a nostra disposizione, anche un solo valore di redshift lievemente diverso dagli altri, condizionava notevolmente la media finale.

Allo scopo di perfezionare i nostri valori, abbiamo deciso di aggiungere i dati relativi ad altre tre galassie dell'ammasso. Abbiamo analizzato i loro spettri e calcolato i redshift, che abbiamo quindi aggiunto alla media: il redshift medio dell'ammasso è risultato essere 0,08037, valore molto più preciso e simile a quello della letteratura.

*Valori del redshift delle galassie studiate:*

| <b>GALASSIE</b>     | <b>Z H<math>\alpha</math></b> | <b>Z Na</b> | <b>Z H<math>\beta</math></b> | <b>Z CaH</b> | <b>Z calcolato</b> | <b>Velocità</b> |
|---------------------|-------------------------------|-------------|------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|
| <b>Abell 279_1</b>  | 0,07833                       | 0,07828     |                              |              | 0,07831            | 23475,4         |
| <b>Abell 279_3</b>  | 0,08299                       | 0,08315     | 0,08276                      |              | 0,08297            | 24873,0         |
| <b>Abell 279_4</b>  | 0,07932                       | 0,07963     | 0,07958                      |              | 0,07951            | 23835,8         |
| <b>Abell 279_5</b>  | 0,08749                       |             | 0,08740                      | 0,08733      | 0,08740            | 26203,0         |
| <b>Abell 279_6</b>  | 0,08309                       | 0,08314     | 0,08314                      |              | 0,08312            | 24919,6         |
| <b>Abell 279_7</b>  |                               | 0,07924     | 0,07966                      |              | 0,07945            | 23817,9         |
| <b>Abell 279_8</b>  | 0,07809                       | 0,07834     |                              |              | 0,07821            | 23447,6         |
| <b>Abell 279_9</b>  | 0,07967                       | 0,08003     | 0,07935                      |              | 0,07968            | 23888,2         |
| <b>Abell 279_10</b> | 0,07712                       | 0,07726     |                              |              | 0,07719            | 23141,3         |
| <b>Abell 279_11</b> | 0,07727                       | 0,07733     |                              |              | 0,07730            | 23174,6         |
| <b>Abell 279_12</b> | 0,08104                       | 0,08104     | 0,08063                      |              | 0,08091            | 24254,8         |

## ***Primi risultati***

### **Calcolo redshift medio e confronto con la letteratura**

Facendo la media di tutti i valori ottenuti abbiamo determinato il redshift medio dell'ammasso:  $z = 0,08108$ . Confrontandolo con quello della letteratura ( $z = 0,079700$ ) abbiamo notato una minima discordanza probabilmente dovuta ad errori di approssimazione e a complicazioni nell'analisi delle righe di emissione dello spettro della galassia 5 che presentava delle anomalie. Comunque il valore ottenuto non si discosta di molto da quello della letteratura, tenendo conto anche del limitato numero di galassie studiate.

## Calcolo velocità media

Facendo la media dei valori delle velocità ottenute abbiamo trovato la velocità media di recessione del nostro ammasso che risulta 24307,6 Km/s.

## Distanza (legge di Hubble)

Dal valore della velocità di recessione abbiamo calcolato la distanza dell'ammasso dalla Terra utilizzando la legge di Hubble:

$$v = Hd$$

Abbiamo preso come valore di H una stima recente pari a 72 Km/s /Mpc.  
Il valore ottenuto è di 337,6 Mpc.

## Deviazione standard

La deviazione standard, o scarto quadratico medio ( $\sigma$ ), è un indice di dispersione che rappresenta la distanza media dei dati dalla loro media.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Applicando la formula dello scarto quadratico medio rispetto alle velocità delle singole galassie, abbiamo ottenuto il valore 891,4 Km/s.

Tale valore ci dà una stima della velocità media interna del cluster, che dipende dalla massa gravitazionale secondo la legge del Viriale, ed è quindi necessario per il fine della nostra ricerca.

## Teorema del viriale

### Enunciazione del teorema

Dato un sistema di masse le cui interazioni reciproche siano di tipo gravitazionale e tali che i loro moti avvengano in una porzione limitata di spazio allora ponendo:

$$GMm/R_h^2 = mv^2/R_h$$

$$M = R_h v^2/G$$

Dove

$R_h$  = raggio viriale

$v$  = velocità del cluster calcolata per via statistica

Dalla precedente relazione si può ricavare anche che:

$$2\overline{K} + \overline{U} = 0,$$

con  $K$  che corrisponde all'energia cinetica del sistema e  $U$  che corrisponde all'energia potenziale gravitazionale.

### **Determinazione del raggio viriale e calcolo delle distanze angolari tra le galassie**

$$R_h = \frac{\pi V}{H_0} \sin \left\{ \frac{1}{2} \left[ \frac{N_{\text{mem}}(N_{\text{mem}} - 1)}{2} \left( \sum_i \sum_{j>i} \theta_{ij}^{-1} \right)^{-1} \right] \right\}$$

dove:

$V$  = velocità dell'ammasso

$N_{\text{mem}}$  = numero di membri dell'ammasso

$\theta$  = distanza angolare

Applicando la formula ai nostri dati abbiamo ricavato un raggio viriale pari a 0,3107 Mpc (ovvero  $9,60 \cdot 10^{18}$  Km).

### **Determinazione della massa viriale**

$$M_v = 6\sigma_v^2 R_h / G$$

dove  $\sigma_v$  = dispersione di velocità

Il valore da noi calcolato per la massa gravitazionale dell'ammasso è di  $2,74 \cdot 10^{44}$  Kg (ovvero  $1,37 \cdot 10^{14}$  Masse Solari).

### **Determinazione della luminosità**

Il gruppo di lavoro formato da Marco Gambarotto e Giovanni Pelliccioli (Liceo Classico Foscarini Venezia) e Paolo Liberati (Collegio Navale Morosini di Venezia) ha calcolato la luminosità del cluster.

Il valore da loro ottenuto è stato di  $L = 2,75 \cdot 10^{11} \cdot L_\odot$ .

## Determinazione del rapporto massa-luminosità

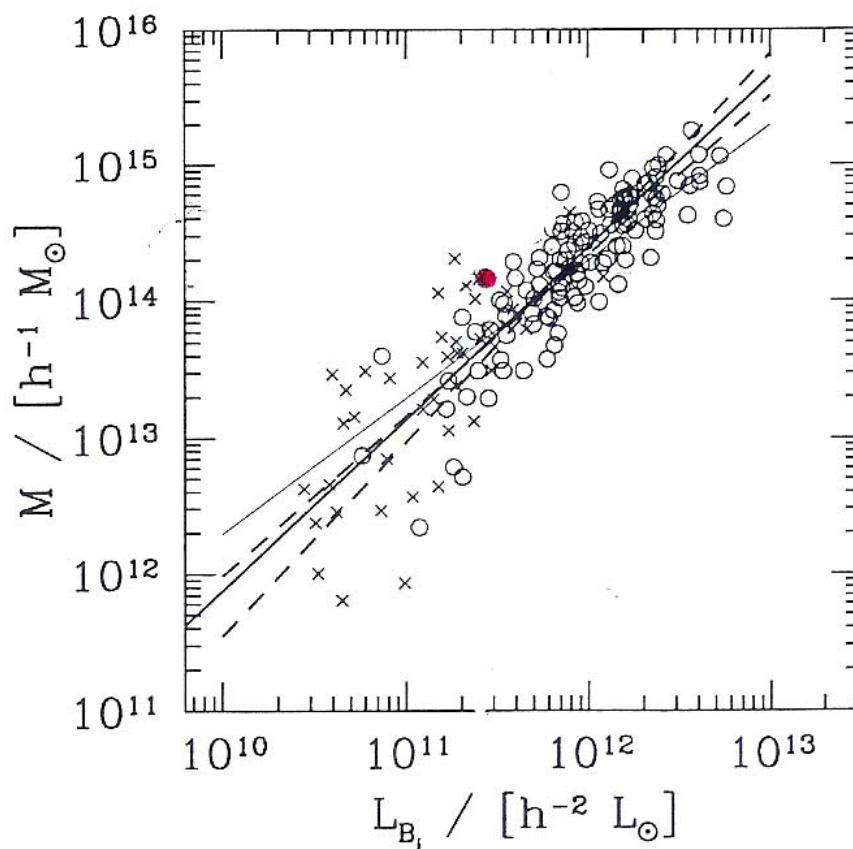
Dai valori da noi calcolati si ottiene  $M/L=498 M_{\odot}/L_{\odot}$ . Questo dato ci fa supporre che esista della materia non visibile che influisce però sulla forza gravitazionale: l'esistenza di questa massa, denominata dagli astronomi materia oscura, si può solo ipotizzare.

## Confronto del nostro valore con quello degli altri ammassi

Sembra esistere una relazione tra la massa e la luminosità totale dell'ammasso. In particolare abbiamo utilizzato la legge proposta da Girardi M., Manzato P., Mezzetti M., Giuricin G e Limboz F., 2002:

$$\frac{M}{M_{\odot}} = 10^c \left( \frac{L_{B_j}}{L_{B_j, \odot}} \right)^d .$$

Proponiamo qui sotto il grafico da loro riportato nell'articolo *Observational mass-to-light ratio of galaxy systems from poor groups to rich clusters*, da "The Astrophysical journal", 20-04-2002.



*Rapporto tra massa e luminosità negli ammassi di galassie. Con il punto rosso è segnata la posizione del nostro cluster.*

Analizzando i valori di rapporti massa-luminosità già noti (vedi grafico sopra), abbiamo constatato che il nostro dato era molto vicino ad essi.

## Considerazioni finali

### *Ipotesi sulla massa mancante*

Esistono diverse teorie sulla natura della *materia oscura*:

- potrebbe essere composta da miriadi di stelle poco luminose e di piccola massa, che non si possono riconoscere con mezzi ottici.
- potrebbe essere costituita da buchi neri la cui forza gravitazionale è talmente alta che non permette alle radiazioni luminose di fuggire e non sono quindi visibili.
- Altra ipotesi è che essa sia composta principalmente da neutrini, particelle fondamentali prive di carica e dotate di massa tanto piccola da non poter essere misurata con i metodi attuali. I neutrini sono difficili da rilevare ma vengono prodotti in grande abbondanza nei processi termonucleari. L'Universo dovrebbe quindi contenere un numero elevatissimo di queste particelle: forse 300 per  $\text{cm}^3$ . Se così fosse, il loro contributo complessivo alla massa della materia oscura potrebbe essere determinante.

Si tratta comunque di ipotesi... Il problema della massa mancante è tuttora aperto.

## Ringraziamenti

Al termine di questo progetto, ci teniamo a ringraziare i docenti del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova che hanno curato lo stage: Dr. Stefano Ciroi e Dr. Francesco Di Mille.

Inoltre ringraziamo di cuore il nostro prof. Claudio Forieri che ha avuto la pazienza di seguirci durante tutto lo svolgimento del progetto!

## Bibliografia

Sloan Digital Sky Survey

R. Bacon, G. Monnet e F. Simien, *Mass-to-light ratio of elliptical galaxies*, da "Astronomy and Astrophysics", 1985

M. Ramella, M.J. Geller e J.P. Huchra, *Groups of galaxies in the center for astrophysics redshift survey*, da "The Astrophysical journal", 01-09-1989

M. Girardi, S. Borgani, G. Giuricin, F. Mardirossian e M. Mezzetti, *Optical luminosities and mass-to-light ratios of nearby galaxy clusters*, da "The Astrophysical Journal", 10-02-2000

M. Girardi, P. Manzato, M. Mezzetti, G. Giuricin e F. Limboz, *Observational mass-to-light ratio of galaxy systems from poor groups to rich clusters*, da “The Astrophysical journal”, 20-04-2002

I. Neviani e C. Pignocchino Feyles, *Geografia generale*, Torino, 2004

Simbad astronomical database

VizieR astronomical catalogue

[www.damtp.cam.ac.uk](http://www.damtp.cam.ac.uk)

(Cambridge University, Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics)

[www.astr.ua.edu](http://www.astr.ua.edu)

(University of Alabama, Department of Physics and Astronomy)