

IL CIELO COME LABORATORIO 2024

Rapporto massa-luminosità negli ammassi di galassie



Brazzolotto Filippo, Grasselli Elena, Penzo Edoardo,
Spolaore Tommaso, Torricelli Gabriele, Zeneli Kledi

I.I.S. Majorana-Corner di Mirano



INTRODUZIONE

Cosa sono gli ammassi di galassie?

- **Macrostrutture** dell'Universo formate da decine o centinaia di galassie legate da un **campo gravitazionale** comune. Al centro vi è un'**ellittica** gigante.
- Essi possiedono valori di **luminosità** di circa 10^{11} - 10^{12} luminosità solari e **massa** di 10^{13} - 10^{14} masse solari; i rapporti tipici tra questi valori corrispondono a **200-300 volte** il rapporto $M(\text{Sole})/L(\text{Sole})$.



PROCEDIMENTO

Come determinare il rapporto M/L ?

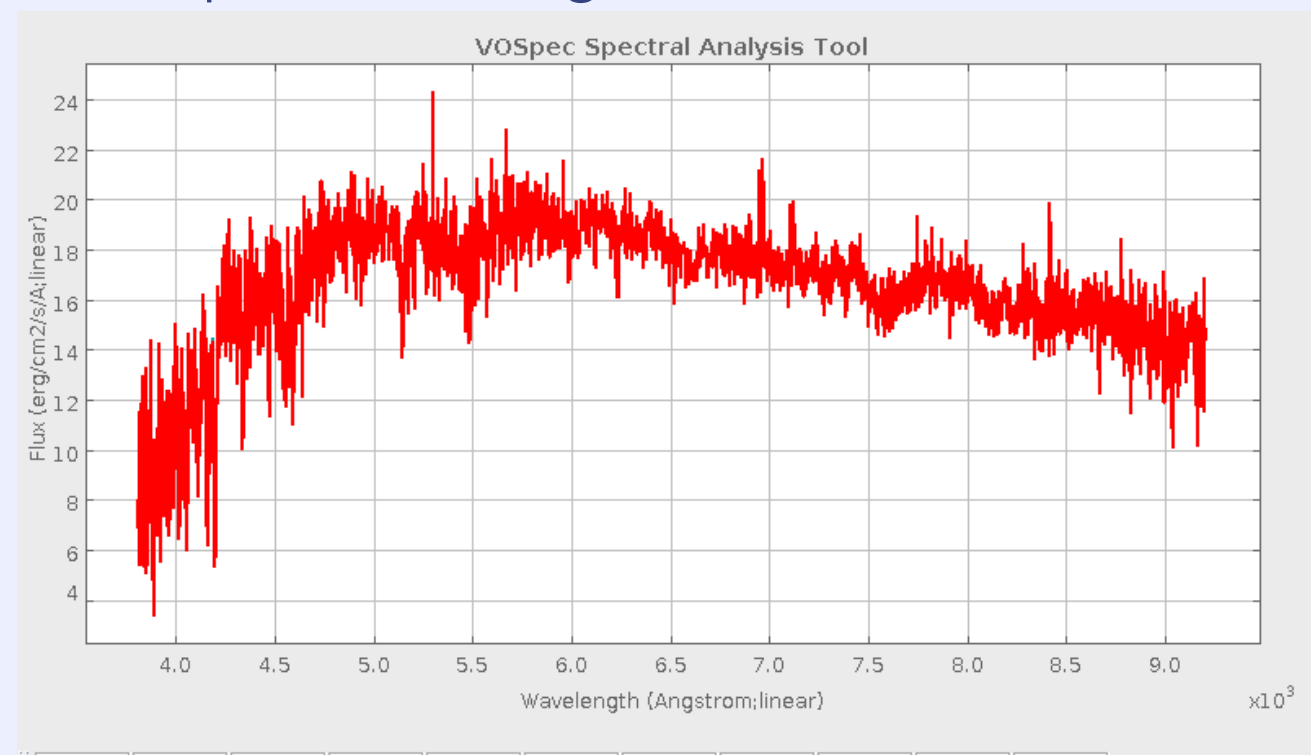
L'ammasso esaminato è **Abell 1795** (considerando 60 galassie):

- si determina la **velocità media** dell'ammasso analizzando gli **spettri** delle galassie forniti dal SDSS;
- si calcolano le **posizioni reciproche** delle galassie;
- tramite velocità e posizione ricavate, si ottiene la **massa** dell'ammasso;
- mediante **flusso** e **magnitudini** si calcola la **luminosità** dell'ammasso.

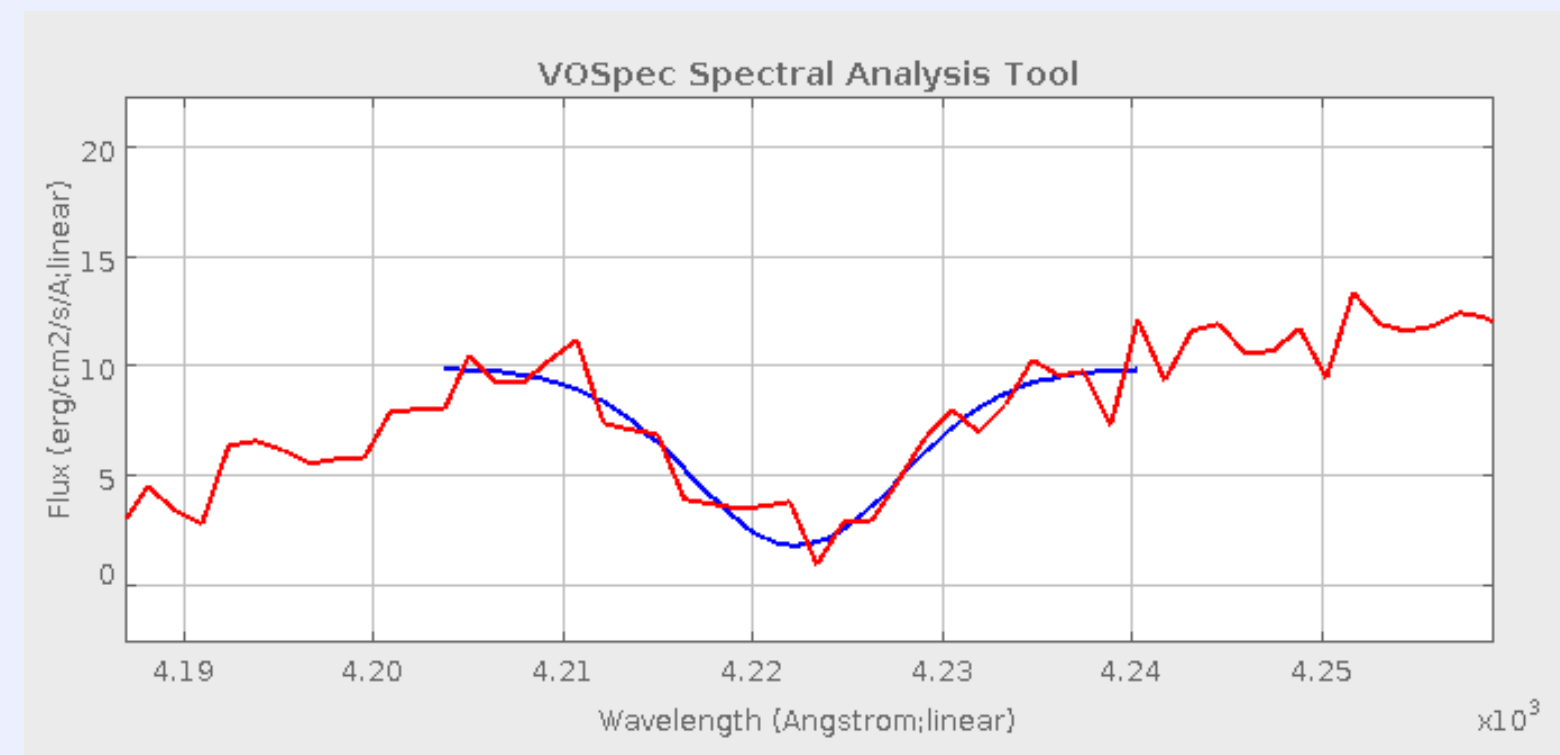
ANALISI DEGLI SPETTRI

- Dopo aver caricato gli spettri nel software **VOSpec**, si riconoscono per ognuno almeno 3 **righe** di assorbimento;
- Per ogni riga si utilizza l'**interpolazione Gaussiana** per determinarne il **vertice**, la cui ascissa corrisponde alla **lunghezza d'onda** cercata.

Spettro della galassia **2114-53848-94**



Interpolazione **Gaussiana**



ANALISI DEGLI SPETTRI

- Si confrontano le λ misurate con le λ dello spettro modello, calcolando il **redshift** con la formula

$$z = \frac{\lambda}{\lambda_0} - 1$$

- Si prosegue calcolando:

- la **velocità** di ogni galassia $v = c \times z$

- la **velocità media** dell'ammasso $\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^N v_i}{N}$

- la **distanza** dell'ammasso $d = \frac{\bar{v}}{H_0}$

- la **scala** dell'immagine $s = \frac{d \times 1000}{206265}$

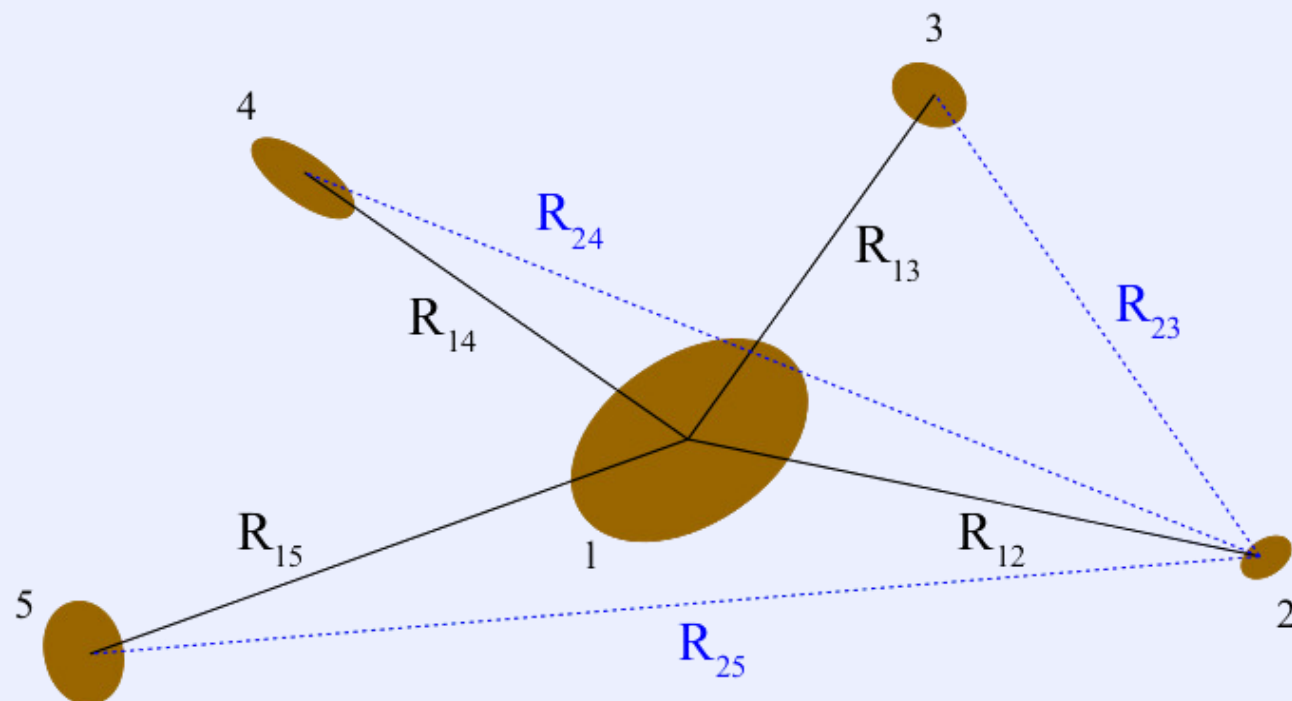


CALCOLO DELLE DISTANZE RECIPROCHE

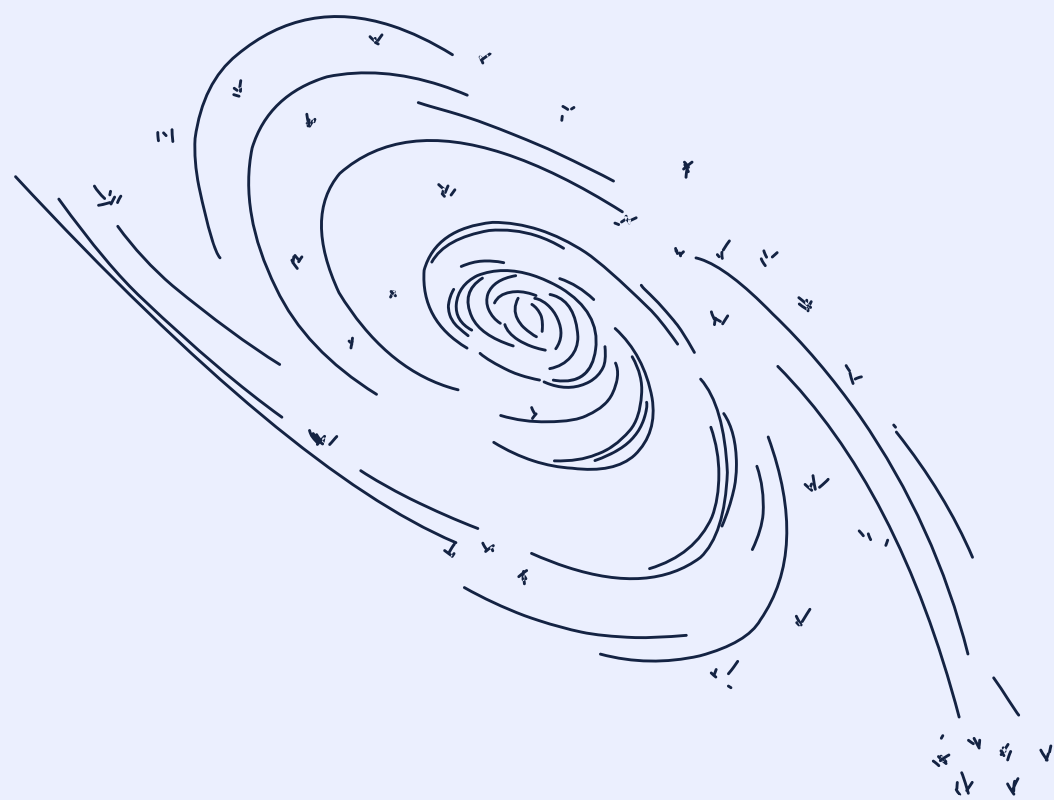
- Utilizzando il software **TOPCAT** si determinano le **distanze reciproche** tra le galassie grazie alla formula

$$R_{ij} = \sqrt{[(\alpha_j - \alpha_i) \cos \delta_i]^2 + (\delta_j - \delta_i)^2}$$

dove α e δ sono rispettivamente l'**ascensione retta** e la **declinazione** in gradi di ogni galassia.



CONVERSIONE DELLE DISTANZE IN KM



- Si calcolano i **reciproci** delle distanze e si sommano;
- Si converte il risultato ottenuto da gradi a **kpc**

$$d_{kpc} = \frac{d_{gradi}}{3600 \cdot s}$$

- Si trasformano i kpc in **km** utilizzando la seguente relazione

$$d_{km} = d_{kpc} \cdot 3,09 \cdot 10^{16}$$

DETERMINAZIONE DELLA MASSA DELL'AMMASSO

- Conoscendo la velocità media dell'ammasso, le velocità delle singole galassie e la loro posizione reciproca si calcola la **massa**:

$$M_v = \frac{3\pi}{2G} N \frac{(v_1 - \bar{v})^2 + \dots + (v_N - \bar{v})^2}{\frac{1}{R_{1,2}} + \dots + \frac{1}{R_{1,N}} + \frac{1}{R_{2,3}} + \dots + \frac{1}{R_{2,N}} + \dots}$$

dove N è il numero di galassie (60) e G è pari a

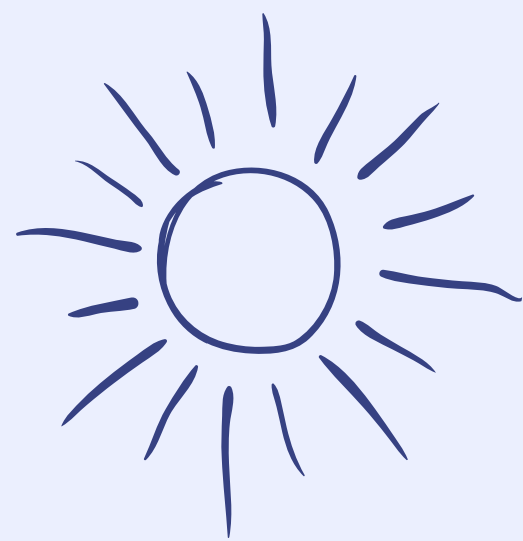
$$G = 6.67 \cdot 10^{-20} \frac{km^3}{kg \cdot s^2}$$

DETERMINAZIONE DELLA MASSA DELL'AMMASSO

Si calcola l'equivalente in **masse solari**:

$$M_{vsun} = \frac{M_v}{M_{sun}}$$

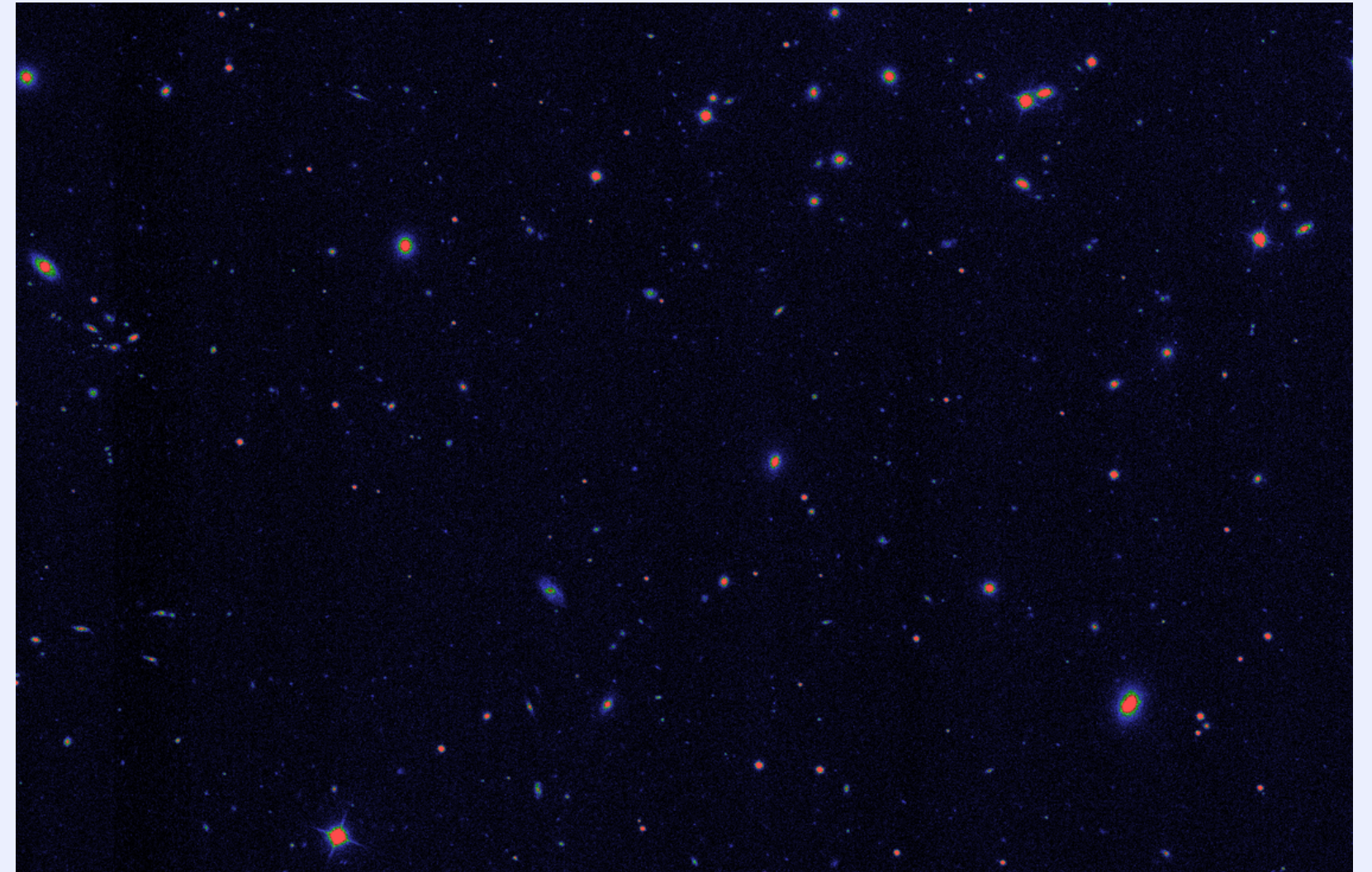
dove $M_{sun} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$



CALCOLO DELLA LUMINOSITÀ

Tramite l'uso dei software **SExtractor** e **TOPCAT** si ricava la **magnitudine** a partire dal flusso:

$$m = m_0 - 2.5 \times \log_{10} \left(\frac{\text{FLUX_BEST}}{T_{\text{exp}}} \right) - k \times X$$



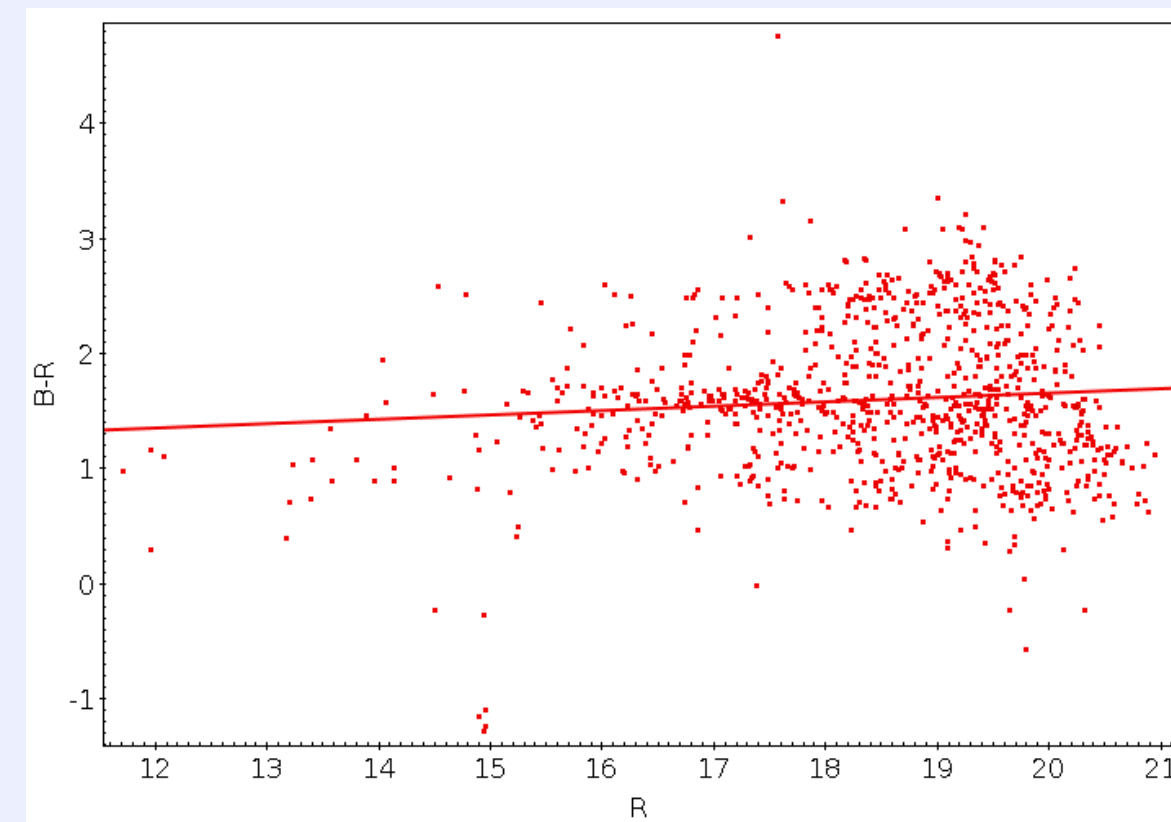
CALCOLO DELLA LUMINOSITÀ

In seguito, si convertono le magnitudini apparenti in **B, V, R**.

$$B = g + 0.3130 \times (g - r) + 0.2271$$

$$V = g - 0.5784 \times (g - r) - 0.0038$$

Tali filtri, inoltre, si utilizzano per il grafico che evidenzia la **Red Sequence** dell'ammasso.



CALCOLO DELLA LUMINOSITÀ

Infine, dai filtri B, V ed R si calcola la **magnitudine assoluta**, grazie alla quale è possibile ottenere la **luminosità** complessiva.

$$M_B = B + 5 - 5 \times \log_{10} d$$

$$M_{\text{sun}}(B) = 5.48$$

$$\frac{L}{L_{\text{sun}}} = 10^{-0.4 \times (M - M_{\text{sun}})}$$

RISULTATI OTTENUTI

- Velocità media dell'ammasso = **18760 km/s**
- Distanza media = **257 Mpc**
- Scala immagine = **1.25 kpc/arcsec**
- Massa totale = **1.5×10^{45} kg = 7.7×10^{14} M(Sole)**
- Luminosità = **2.4×10^{12} L(Sole)**

In conclusione, si calcola il rapporto M/L:

$$\mathbf{M/L = 325 \text{ M(Sole)}/L(\text{Sole})}$$



GRAZIE

IL CIELO COME LABORATORIO 2024

Fogli di calcolo utilizzati:

- Dati VOSpec e rapporto massa-luminosità
- Tabella delle funzioni di posizione reciproca delle galassie TOPCAT
- Ascensione retta e declinazione delle galassie