RELAZIONI DI SCALA → si basano su proprietà generali delle galassie (dimensioni, cinematica etc)

RELAZIONE DI TULLY-FISHER [di R.B. Tully e J.R. Fisher nel 1977]

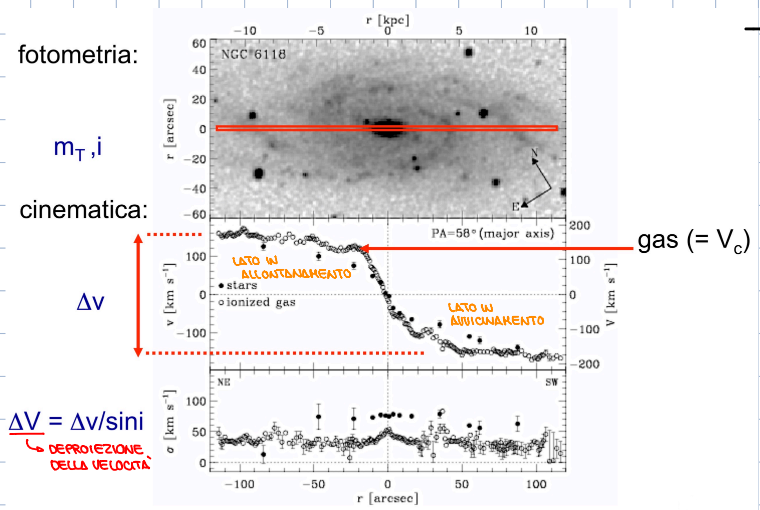
Vale per le galassie a spirale (sfrutta la cinematica del gas): le galassie a spirale più luminose hanno velocità di rotazione maggiori (= ΔV maggiore)

$L_T \propto \Delta V^4$ → dove ΔV è l'ampiezza della curva di rotazione deproiettata

[rotazione maggiore ⇒ galassia più massiccia]

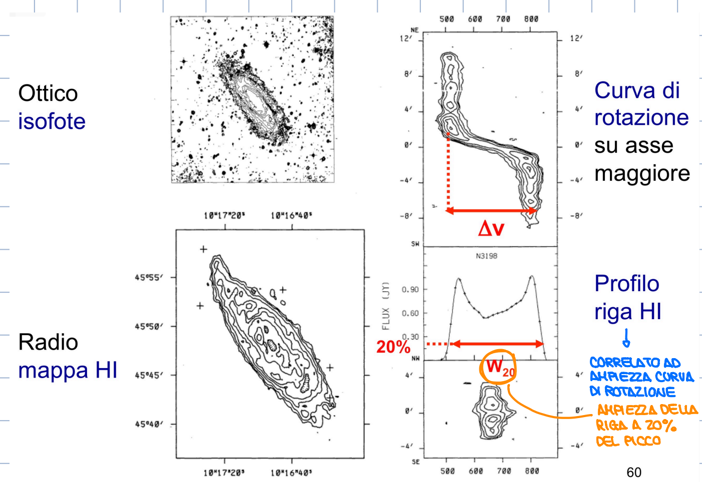
⇒ $M_T = -10\log \Delta V + cost$
$\log \Delta V = -0.1 M_T + cost$

} calibrata la relazione ottengo la distanza dal modulo di distanza $(m-M)$



→ studio la cinematica di HII in NGC 6118
dalla fotometria ottengo m_T e i
studio la cinematica del gas lungo l'asse maggiore della galassia (pallini bianchi)
Trovando Δv e la deproietto
$\Delta V = \Delta v / \sin i$

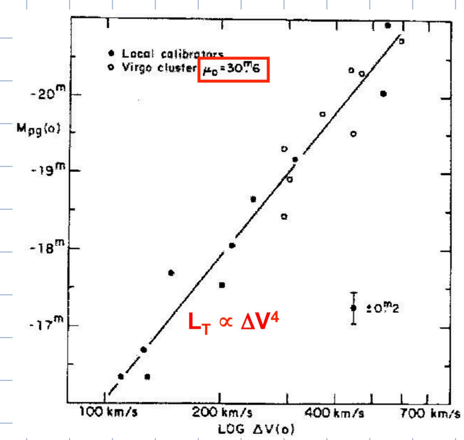
Cinematica HI in NGC 3198
Fotometria → ricavo m e i
Dalla distribuzione di HI ricavo la curva di rotazione
[dati radio = molte volte sono dati di apertura non risolti spazialmente (profili di riga)]



RELAZIONE DI TULLY-FISHER ORIGINALE →

introdotta proprio a scopo di indicatore di distanza

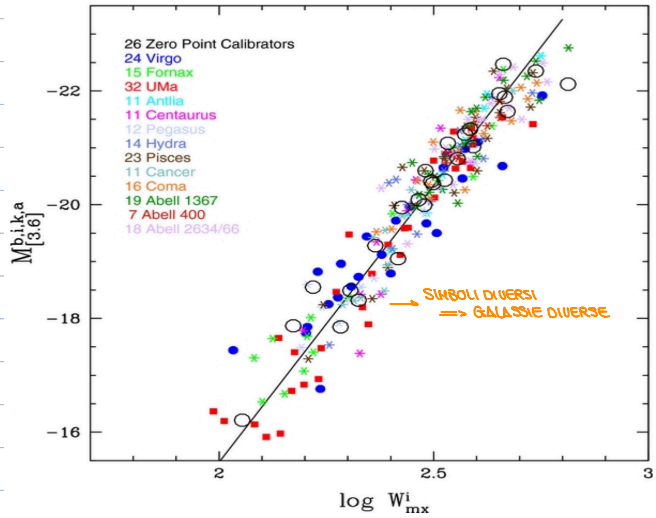
- • = calibratori locali: galassie vicine di cui si conosce la magnitudine assoluta e dunque la distanza (indicatori primari)
- ○ = oggetti dell'ammasso della Vergine dei quali si calcola il modulo di distanza



VERSIONE MODERNA TULLY-FISHER

$$M_{3.6} = -9.13(\log W^i_{max} - 2.5) - 20.34$$
$$= -9.13 \log W^i_{max} + 2.49$$

magnitudine assoluta in banda 3.6 μm



Si utilizzano galassie diverse di distanza nota da indicatori primari per trovare la calibrazione corretta

Originariamente la relazione T-F è stata trovata nel radio (HI) ma è valida anche nell'ottico (HII)

Si hanno diverse definizioni di ΔV: W_{20}, W_{50}, W_{max}, W_R, $2V_{max}$, $2V_{flat}$ e diverse relazioni a seconda della banda considerata

$$M^i_B = -7.48(\log W^i_R - 2.50) - 19.55 + \Delta_B \pm 0.14$$
$$M^i_R = -8.23(\log W^i_R - 2.50) - 20.46 + \Delta_R \pm 0.10$$
$$M^i_I = -8.27(\log W^i_R - 2.50) - 20.94 \pm 0.10$$
$$M^i_H = -9.50(\log W^i_R - 2.50) - 21.67 \pm 0.08$$

con $\Delta_B = 0.25$ e $\Delta_R = 0.06$ correzioni di colore empiriche (galassie di ammasso sistematic. più rosse di quelle di campo)

RELAZIONE DI FABER-JACKSON [di S.M. Faber e R.E. Jackson, 1976]

Vale per le galassie ellittiche (cinematica stellare)

Le galassie ellittiche più luminose hanno dispersioni di velocità maggiori

$L_T \propto \sigma^4$ ⟶ galassie più luminose = più massicce

$M_T = -10 \log \sigma + \text{cost}$

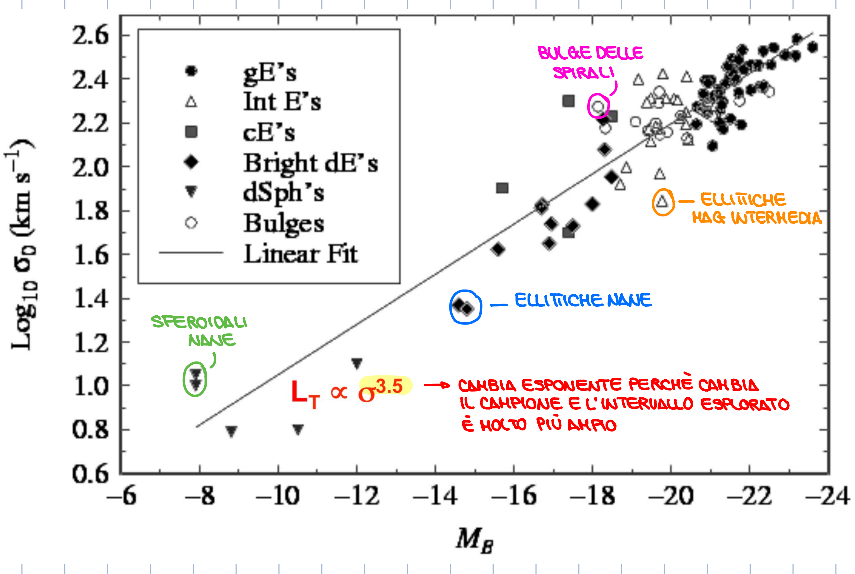
$\log \sigma = -0.1 M_T + \text{cost}$

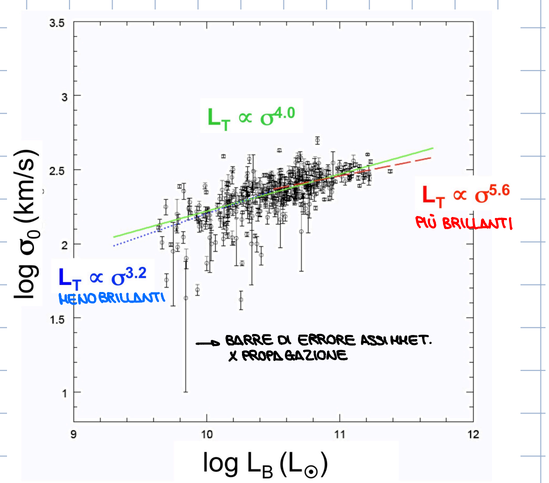
relazioni che rispondono ad esigenze diverse

σ: RIGUARDA TUTTA LA MASSA

M_T: RIGUARDA TUTTA LA COMPONENTE LUMINOSA

Relazione di Faber-Jackson (recente)





$$M_B = -8.75 \log \sigma - 1$$

POCO UTILIZZATA (GRANDE INCERTEZZA)

Versione recente basata sulla Sloan Digital Sky Survey
Esponente di σ dipende dal campione considerato (cambia la pendenza)

RELAZIONE $D_n - \sigma$ [A. Dressler et al. nel 1987]

Vale per le galassie ellittiche (sfrutto cinematica stellare) e si considera D_n come il diametro dell'isofota entro cui la brillanza superficiale media $\langle \mu_B \rangle = 20.75$

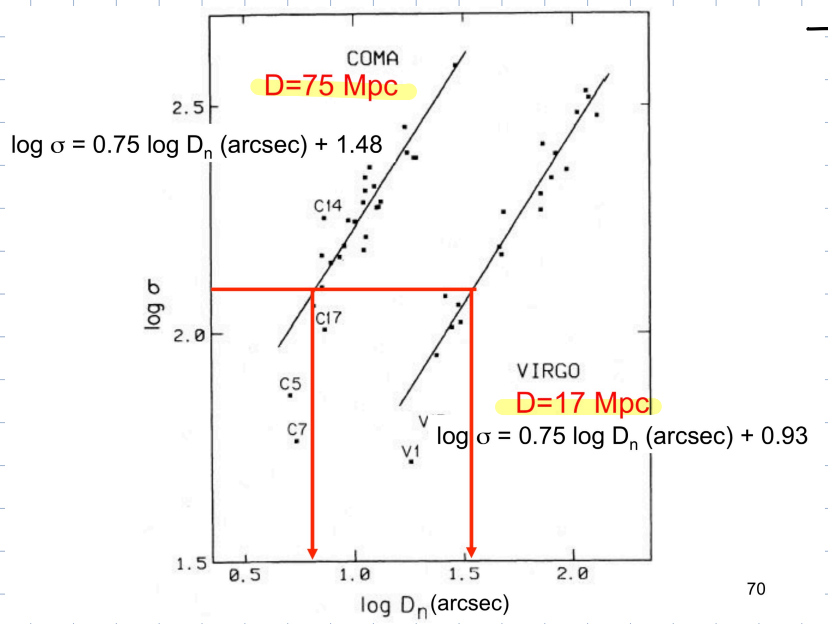
Le galassie ellittiche più estese hanno dispersioni di velocità maggiori

$$\sigma \propto D_n^{0.75}$$

$$\log \sigma = 0.75 \log D_n + \text{cost}$$

$\Rightarrow$ ellittiche più luminose sono più massicce

Calibrata la relazione ottengo la distanza confrontando D(arcsec) con D(kpc)



→ Sono riportati due set di dati diversi perché appartengono a due ammassi diversi

Cambiano sistematicamente le dimensioni: a parità di σ quelle di Coma sono più piccole

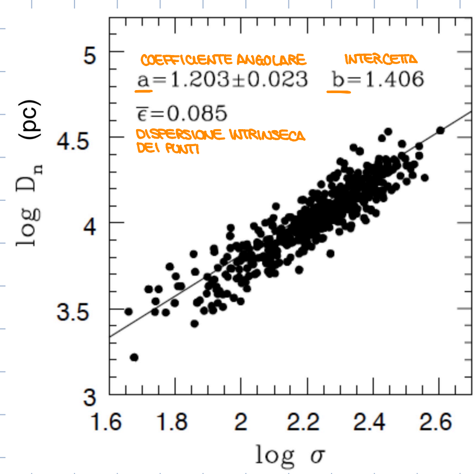
$\Rightarrow$ sono sistematicamente più lontane

Sostanzialmente uso una scala invertita

Relazione calibrata con distanze in kpc ←

$$\log D_n (pc) = 1.2 \log \sigma + 1.4$$

ho diametro in arcsec e trovo la distanza



ALTRI INDICATORI

- stelle di sequenza principale
- funzione di luminosità delle galassie
- ritardi temporali [sfruttano echi di luce]
- fluttuazioni di brillanza superficiale
- effetto Sunyaev-Zel'dovich
- lenti gravitazionali

DISTANZE IMPORTANTI

(da ricordare per avere un'idea delle dimensioni dell'Universo) →

- Centro Galattico = 8 kpc
- Grande Nube di Magellano (LMC) = 50 kpc
- Galassia di Andromeda (M31) = 750 kpc
- Ammasso della Vergine = 17 Mpc

Si può costruire la scala delle distanze per determinare la costante di Hubble

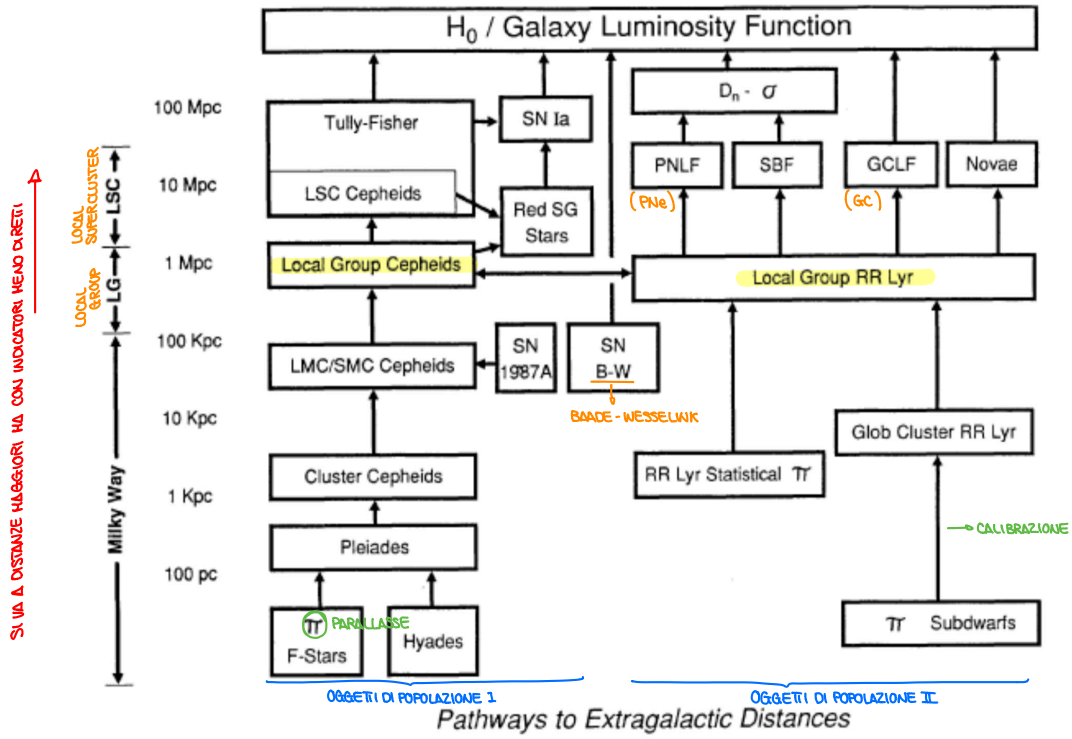


FIG. 1—In this diagram we illustrate the various modern routes which may be taken to arrive at H_0 and the genealogy and approximate distance range for each of the indicators involved. Population I indicators appear on the left-hand side and Population II on the right-hand side. The distance increases logarithmically toward the top of the diagram. The following abbreviations have been used to conserve space: LSC—Local Super Cluster; SG—Supergiant; SN—Supernovae; B-W—Baade-Wesselink; PNLF—Planetary-Nebula Luminosity Function; SBF—Surface-Brightness Fluctuations; GCLF—Globular-Cluster Luminosity Function; π—parallax.

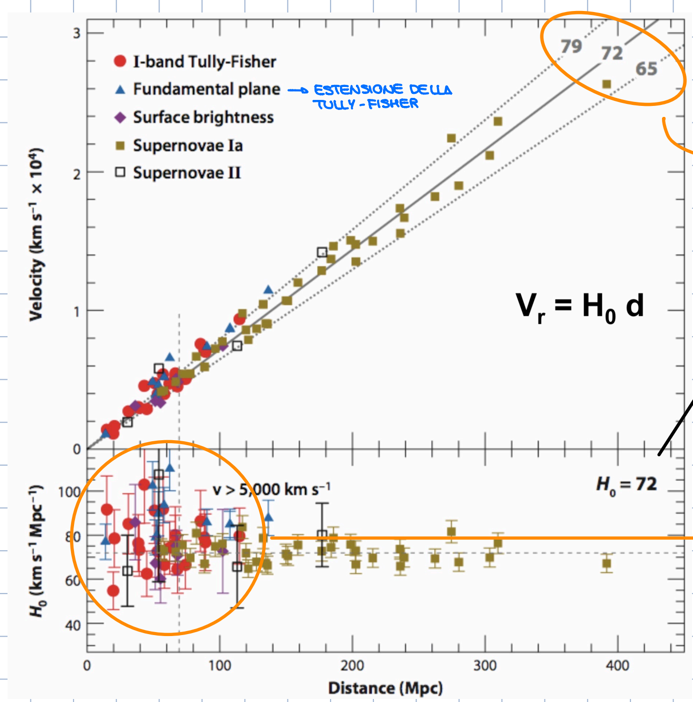
LEGGE DI HUBBLE → combinando le velocità di recessione V_r (km s^{-1}) di Slipher con le proprie distanze d (Mpc) trova

$V_r = H_0 d$ → legge di Hubble

dove → $H_0 = 50 - 100$ km s^{-1} Mpc^{-1} è la costante di Hubble

V_r si misura dallo spostamento delle righe spettrali

d si misura con gli indicatori di distanze



→ relazione di Hubble con dati moderni, le distanze sono calcolate con diversi indicatori

→ diversi valori di H_0

si possono graficare i valori mostrando la differenza con la retta per $H_0 = 72$ km s^{-1} Mpc

distanze piccole nelle quali domina il contributo delle velocità peculiari
[ha anche più indicatori di distanza quindi più misure]

COSTANTE DI HUBBLE → vale $H_0 = 75 \pm 10\ km s^{-1} Mpc^{-1}$

si può usare anche la notazione

$$H_0 = 100\, h\ km s^{-1} Mpc^{-1}$$

con $h = 0.5 - 1$ grandezza adimensionale che parametrizza l'incertezza su H_0

→ dipendenza dei parametri fisici da h (ovvero H_0)

$d \sim h^{-1}$ $\quad$ $M \sim h^{-1}$

$R \sim h^{-1}$ $\quad$ $L \sim h^{-2}$

[serve per semplificare i conti]