

CINEMATICA DI GAS NELLE GALASSIE [dispense prof. Rizzella]

GAS IONIZZATO (idrogeno ionizzato HII)

HII si trova in rubi (ne $\approx 10^3 \text{ cm}^{-3}$, Te $\approx 10^4 \text{ K}$) attorno a stelle molto calde di classe O, B (regioni ionizzate chiamate sferze di Stromgren, r $\approx 10 \text{ pc}$) o diffuso (ne $\approx 1 \text{ cm}^{-3} = 1 \text{ atomo su cm}^3$)

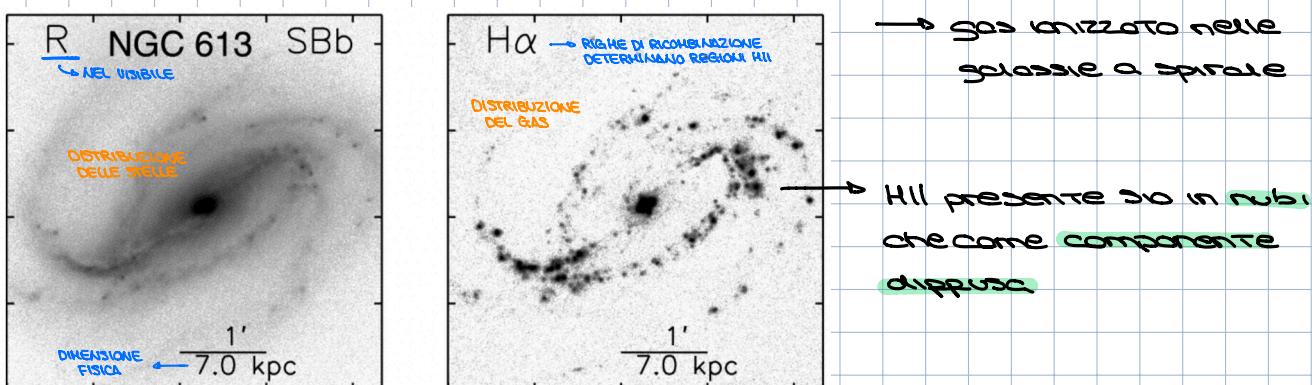
Si ritrovano storie a dati otta aerei ovvero a righe di ricombinazione (H α , H β ...) e righe proibite (es: [OII], [OIII], [NII], [SII])

HII traccia la formazione stellare perché è associato a stelle molto giovani

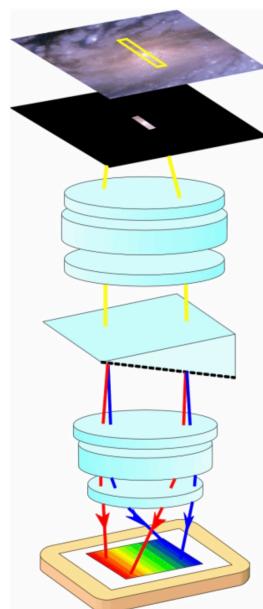
Masse: M_{HII} $\approx 10^7 M_\odot$, M_{HII} $\approx 0.05 M_{\odot \text{BH}}$ → INTERSTELLAR MEDIUM

Dimensioni: R < R₂₅ (raggio di de Vaucouleurs), h $\approx 1 \text{ kpc}$

Per analizzarle si utilizzano misure di spettroscopio a fenditura lunga o a campo integrale



STRUTTURA DI UNO SPETTROSCOPIO



piano focale

apertura

collimatore

elemento
dispersore

camera

rivelatore
(CCD)

la fenditura è posto sul piano focale orientato perpendicolarmente alla direzione lungo cui verso disperso la luce. Agisce come una maschera

(primo, reticolo di diffrazione, grism)
“allunga la luce” deviando i光子 secondo angoli diversi in relazione alla loro lunghezza d’onda
[= genera lo spettro]

⇒ lo striscio di luce diviso

un’immagine che viene focalizzata e registrata dal CCD

[NEBULOSA TRIFIDA]

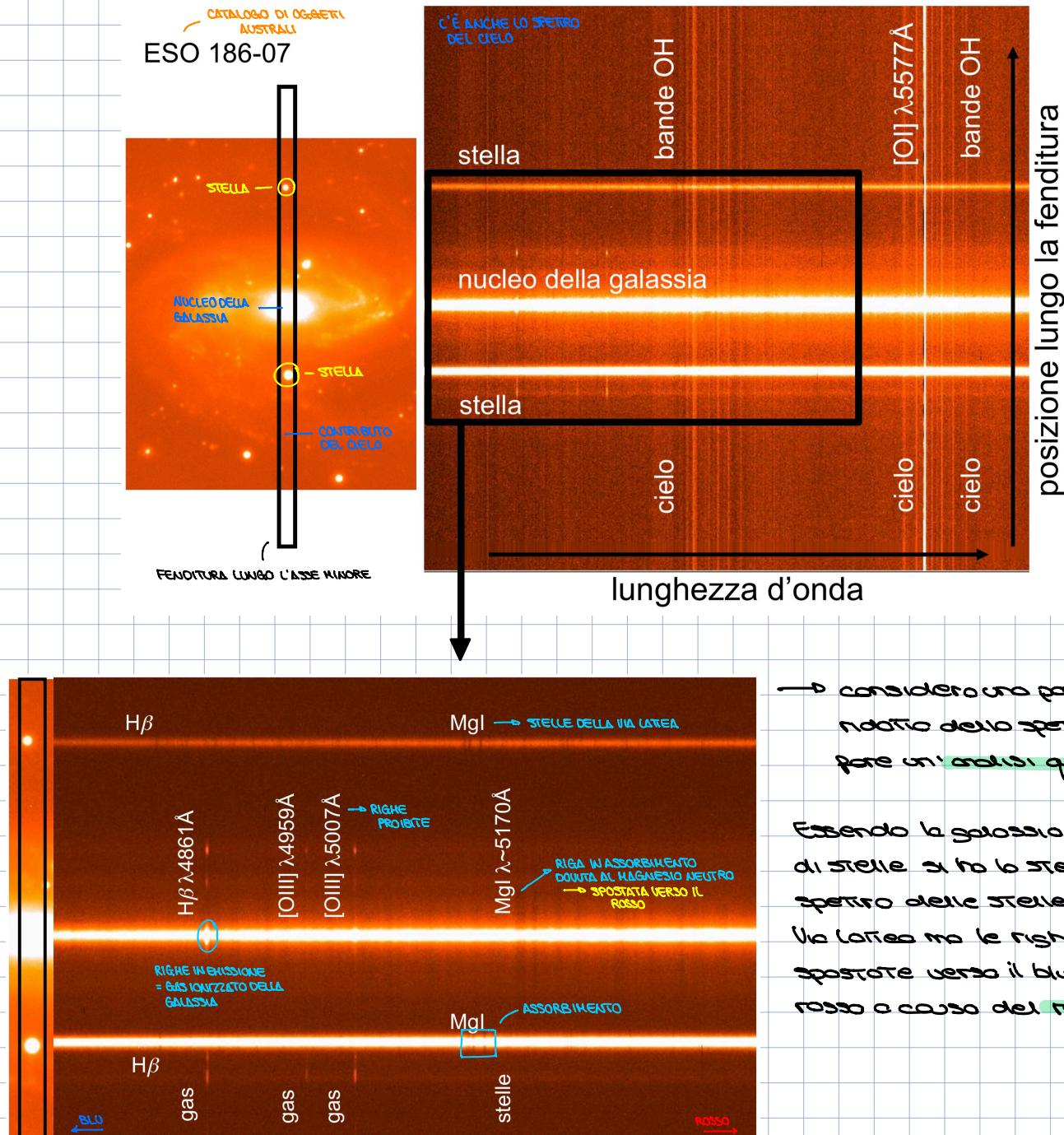
→ informazione spaziale (= posizione lungo la fenditura) e lunghezza d’onda non si mescolano

SPETRI A FENDITURA LUNGA → informazioni spettroscopiche e cinematiche

lungo un’asse della galassia (generalmente asse maggiore)

SPEZI A CAMPO INTEGRALE → spettro di tutto lo galassia, il campo viene suddiviso in una matrice rettangolare o quadrata di punti e si utilizzano piste ottiche oppure una matrice di lenze (molti spettri monodimensionali) o ancora degli image slices (serie di spettri bidimensionali)
 ==> **oggi** = immenso campo di vista

CINERATICA DEL GAS IONIZZATO : H β E [OIII]



→ considero una porzione ridotta dello spettro per fare un'analisi quantitativa

Essendo lo galassia fatto di stelle si ha lo stesso spettro delle stelle della Via Lattea ma le righe sono spostate verso il blu o il rosso a causa del redshift

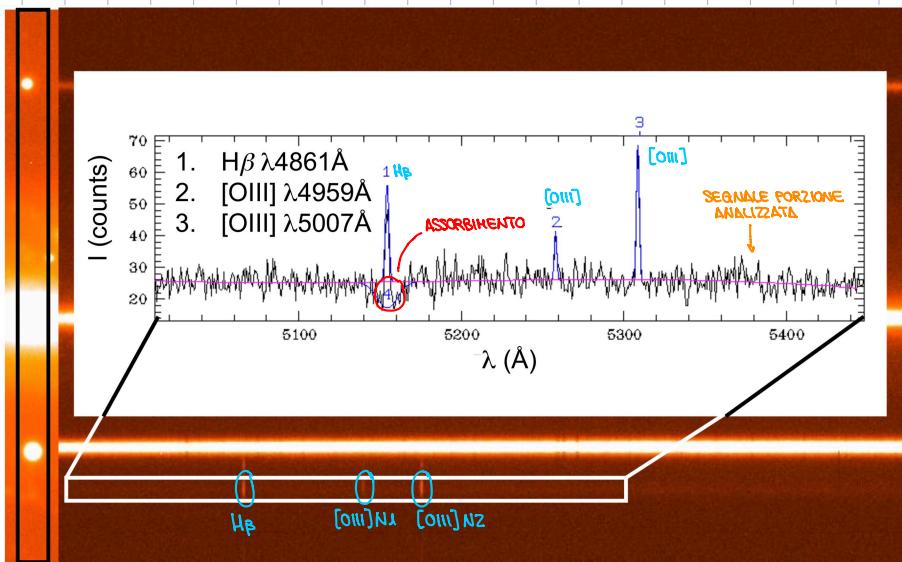
RIGHE IN EMISSIONE = davanti al gas ionizzato dello galassia

RIGHE IN ASSORBIMENTO = davanti alle stelle nel campo di vista

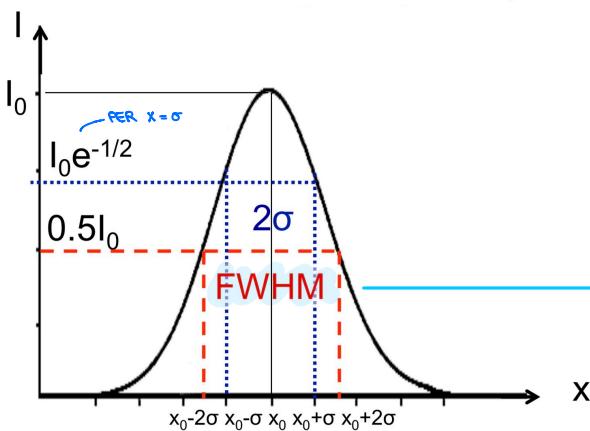
→ alcune righe si hanno solamente in A, altre solo in E
 la rigo dell'H α ($\lambda = 6562.80 \text{ \AA}$) si può avere sia A che E
 le righe proibite [OIII] N1 ($\lambda = 4958.92 \text{ \AA}$)
 e [OIII] N2 ($\lambda = 5006.84 \text{ \AA}$) si hanno sempre come doppietto

→ descrizione quantitativa dello spettro

Sistema dei picchi in corrispondenza delle righe di emissione ma tali picchi sono spostati verso il rosso (λ maggiore) rispetto alla lunghezza d'onda di laboratorio
⇒ galassia in movimento
REDSHIFT



le righe sono approssimabili con una FUNZIONE GAUSSIANA



cambio la normalizzazione

$$I(x) = I_0 e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$$

PER $x=x_0$ PICCO DI INTENSITÀ

area della gaussiana $A = \sqrt{2\pi} \sigma I_0$

URGHEZZA DELLA GAUSSIANA

$$\sigma = \text{FWHM} / \sqrt{8 \ln 2} = \text{FWHM} / 2.355$$

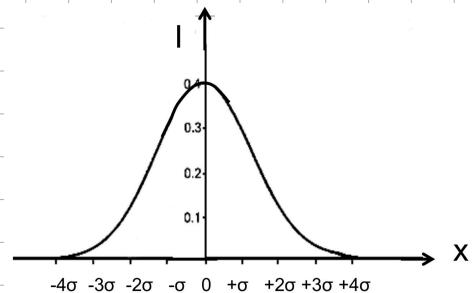
Full Width at Half Maximum

Andamento classico della gaussiana

$$I(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

area $A = 1$

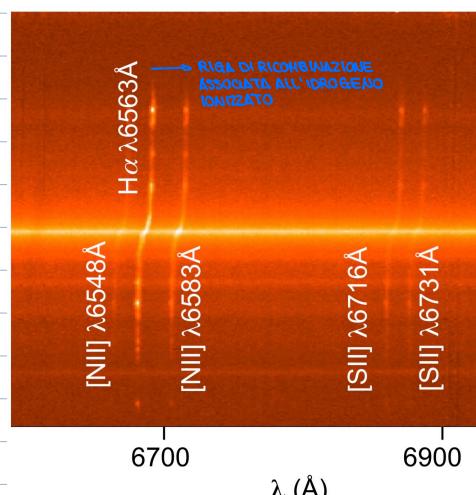
$\sigma = \text{FWHM} / 2.355$



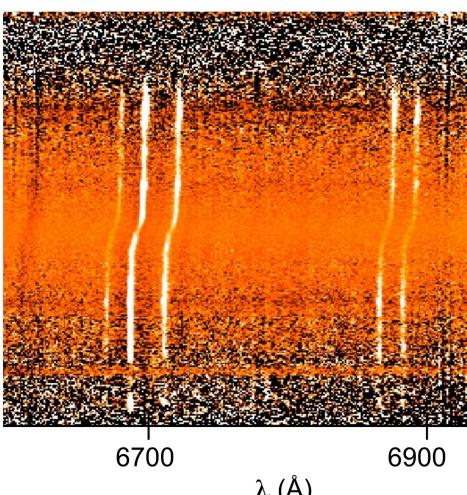
CINEMATICA DEL GAS IONIZZATO : H α , [NII] E [SII]

(spettro di NGC 1620 lungo l'asse maggiore)

spettro senza cielo

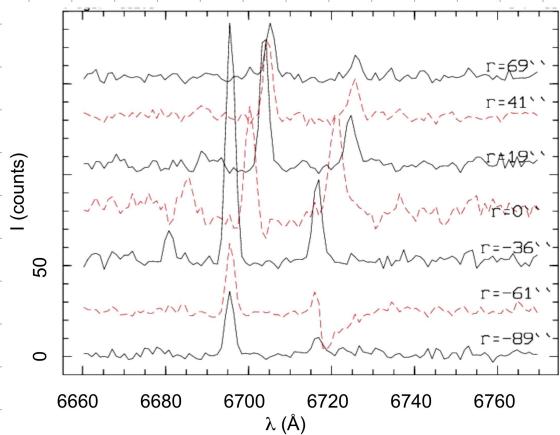


spettro senza continuo



Lo spettro ad S è un indicatore della rotazione della galassia (REDSHIFT + BLUESHIFT)

Profili H α e [NII] a diverse distanze dal centro (2 diverse per rossi positivi e negativi a causa della rotazione della galassia)



REDSHIFT E CURVA DI VELOCITÀ

Il redshift descrive la variazione osservata della lunghezza d'onda rispetto alla lunghezza d'onda di laboratorio

$$z = \frac{\lambda_{\text{oss}} - \lambda_{\text{lbd}}}{\lambda_{\text{lbd}}} = \frac{\lambda_{\text{oss}}}{\lambda_{\text{lbd}}} - 1$$

allontanamento $\lambda_{\text{oss}} > \lambda_{\text{lbd}}$ (rosso)

avvicinamento $\lambda_{\text{oss}} < \lambda_{\text{lbd}}$ (blu)

Applicando la formula dell' effetto Doppler è possibile calcolare la velocità radiale del gas che emette la riga (lungo la linea di vista)

$$\frac{\delta}{c} = z$$

con $c = 299792 \cdot 458 \text{ km s}^{-1}$

(per $\delta \ll c$, formula non relativistica)

[notte volte nei cataloghi come in RC3 non compare il valore della velocità ma quello di cz]

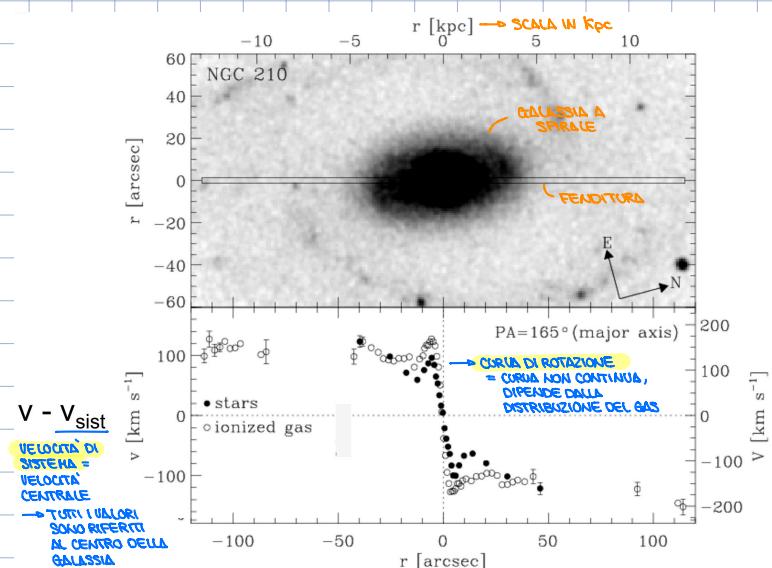
Misurando λ_{oss} ad ogni rosso si ottiene la velocità radiale δ del gas in funzione della distanza dal centro della galassia

$$\delta = \delta(r)$$

che è la CURVA DI VELOCITÀ della galassia

Esempio di curva di velocità della galassia a spirale NGC 210

- = STELLE
- = GAS IONIZZATO



VELOCITÀ DI SISTEMA

La velocità di sistema lungo la linea di vista è definita come

$$v_{\text{sist}} = v(0) \rightarrow \text{velocità al centro della galassia}$$

ed è data da:

$$v_{\text{sist}} = v_{\text{cosm}} + v_{\text{pec,gal}} + v_{\text{pec,hw}} + v_0 + v_{\oplus,\text{rw}} + v_{\oplus,\text{rot}}$$

dove:

- v_{cosm} = velocità della galassia dovuta all'espansione dell'universo
- $v_{\text{pec,gal}}$ = velocità peculiare della galassia rispetto al fondo cosmico ($|v_{\text{pec,gal}}| < 1000 \text{ km s}^{-1}$)
- $v_{\text{pec,hw}}$ = velocità peculiare della Via Lattea ($|v_{\text{pec,hw}}| < 380 \text{ km s}^{-1}$)
- v_0 = velocità del Sole rispetto al centro della Via Lattea ($|v_0| < 220 \text{ km s}^{-1}$)
- $v_{\oplus,\text{rw}}$ = velocità di rivoluzione della Terra ($|v_{\oplus,\text{rw}}| < 33 \text{ km s}^{-1}$)
- $v_{\oplus,\text{rot}}$ = velocità di rotazione della Terra ($|v_{\oplus,\text{rot}}| < 0.5 \text{ km s}^{-1}$)

DISPERSIONE DI VELOCITÀ

La FWHM (full width at half maximum) delle righe corretto per lo FWHM strumentale fornisce la dispersione di velocità del gas

$$\sigma = \frac{c}{\lambda_{\text{lab}}} \sqrt{\frac{(\text{FWHM}_{\text{oss}})^2 - (\text{FWHM}_{\text{str}})^2}{2 \cdot 3.55}}$$

FATTORE DI CONVERSIONE $\text{Å} \cdot \text{km s}^{-1}$

DEVIAZIONE STANDARD INTRINSECA

Misurando FWHM_{oss} ad ogni raggio si ottiene la dispersione di velocità radiale σ del gas in funzione della distanza dal centro della galassia.

$$\sigma = \sigma(r)$$

che è il PROFILLO RADIALE DI DISPERSIONE DI VELOCITÀ della galassia

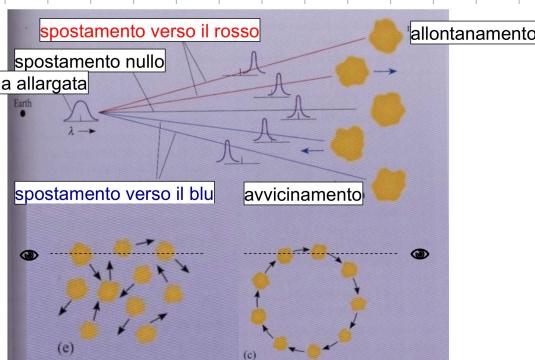
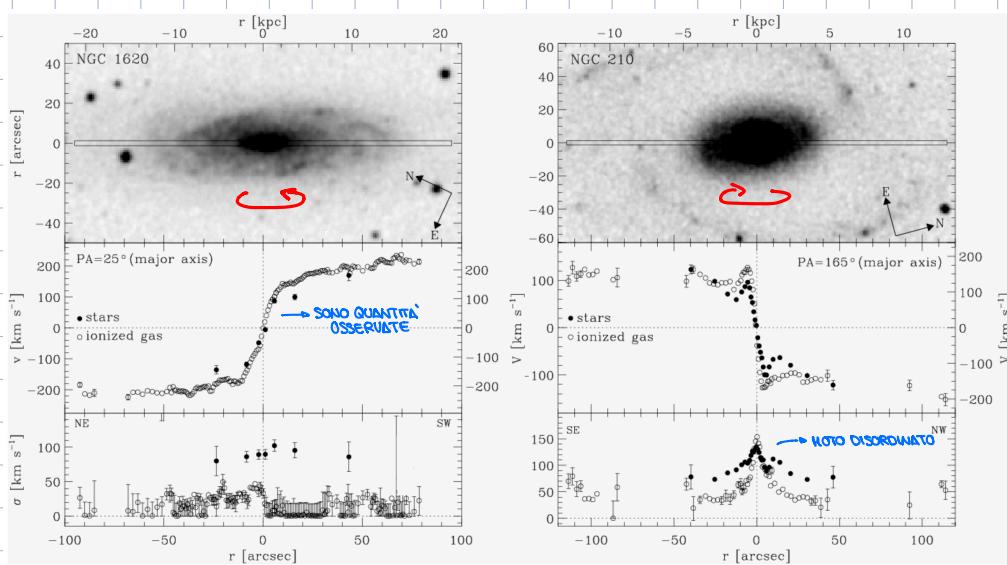
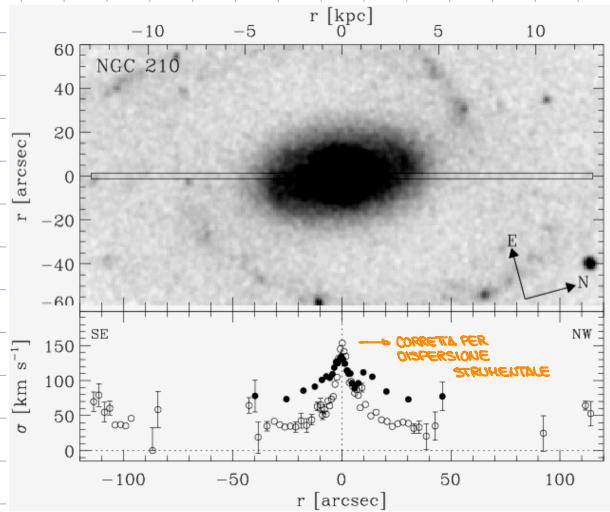


Fig e) moto ordinato, riga emissione stretta, σ piccolo

Fig c) moto discordato, riga emissione larga, σ grande

Esempio di profilo di dispersione delle velocità della galassia a spirale NGC 210

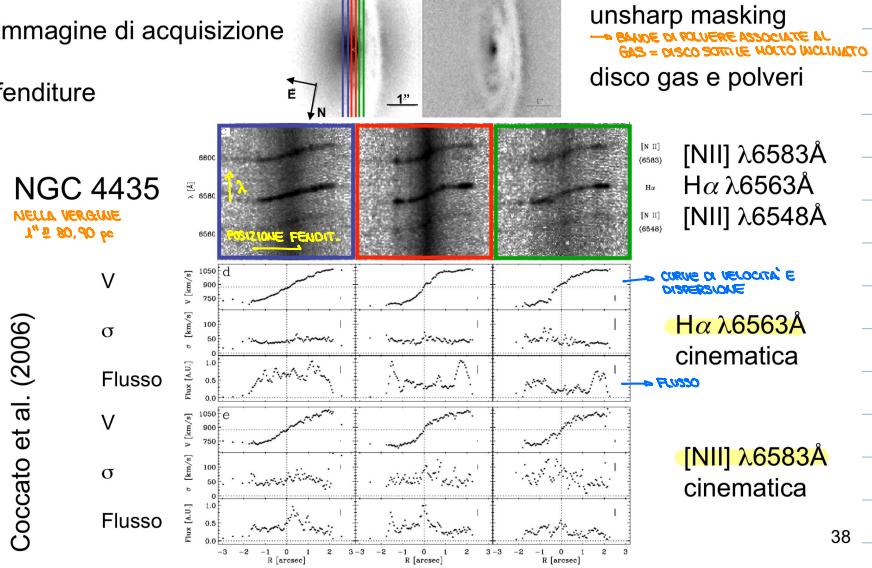


→ curve di velocità e profili di dispersione
 ● = stelle
 ○ = gas ionizzato

CINEMATICA DEL GAS IONIZZATO NEI NUCLEI

→ posso analisi cinematiche nelle

regioni centrali delle galassie
 (spenditure parallele all'asse maggiore)



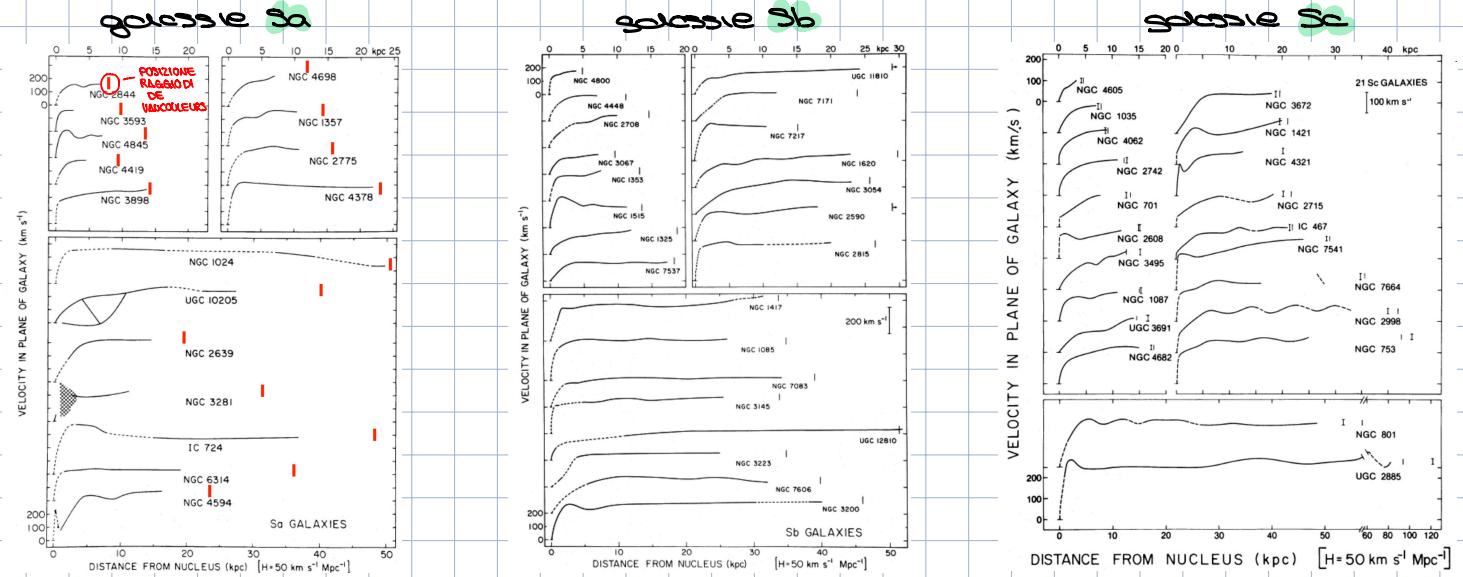
Estrazione dei spettri e

intervallo con sezione
 per chiudere delle righe
 per avere un'idea della
 dispersione del gas

→ H-alpha e [NII] sono distribuiti
 in modo molto diverso
 nelle regioni nucleari

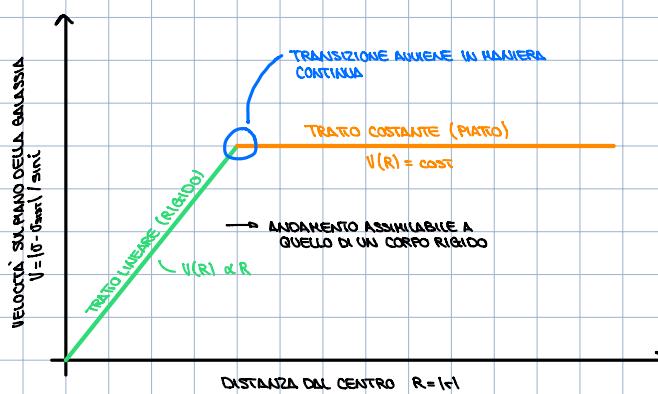
→ posso determinare lo massa del buco nero centrale

CURVE DI ROTAZIONE DELLE GALASSIE A SPIRALE



Curve di velocità somministrate, sono meno estese del raggio di de Vaucouleurs ($R \leq R_{25}$) e hanno ampiezza $V_{\max} \approx 100 / 200 \text{ km s}^{-1}$

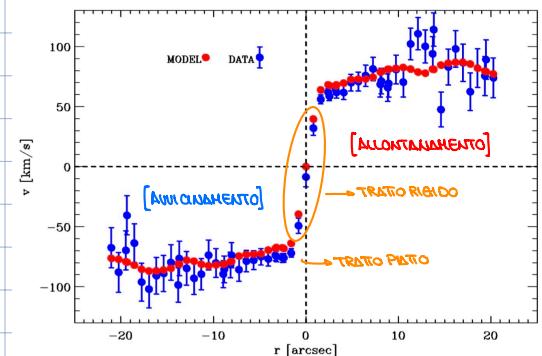
STRUTTURA GENERALE → primo tratto cresce con andamento quasi lineare con il raggio [TRATTO RIGIDO $V \propto R$] mentre seconda porzione ha velocità quasi costante [TRATTO PIATTO $V = \text{cost}$]



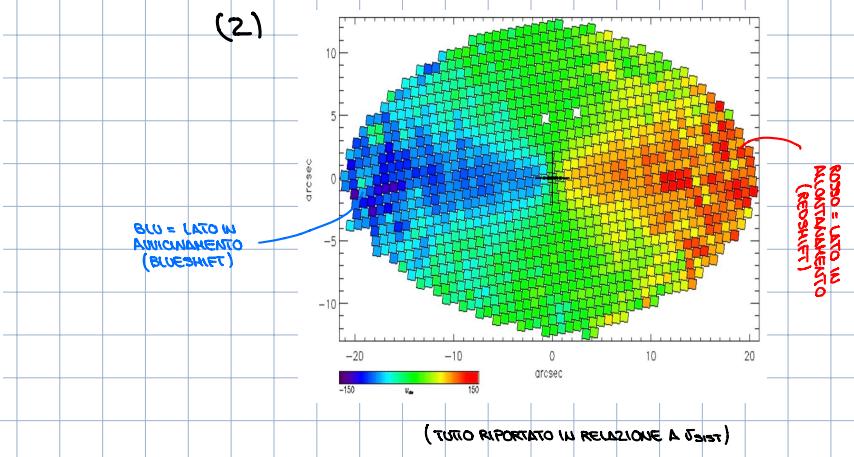
→ STRUTTURA GENERALE DELL'ORDIMENTO DELLA VELOCITÀ IN UNA GALASSIA A SPIRALE

CAMPO DI VELOCITÀ → lo posso costituire posizionando le pendule in posizioni diverse (1) oppure utilizzando lo spettroscopio a campo integrale (2)

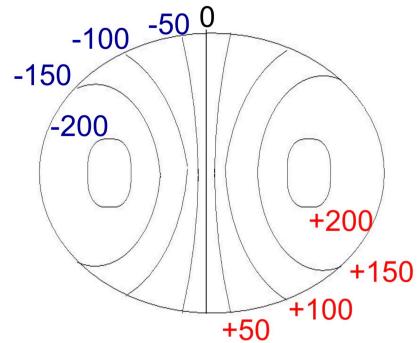
(1)



(2)



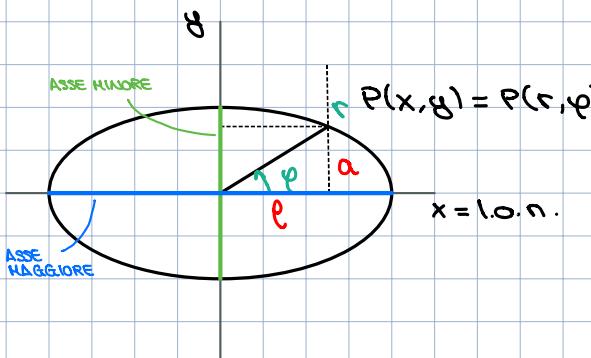
Come per le isoperte posso trovare
le curve di ugual velocità
(curve di isovelocità)



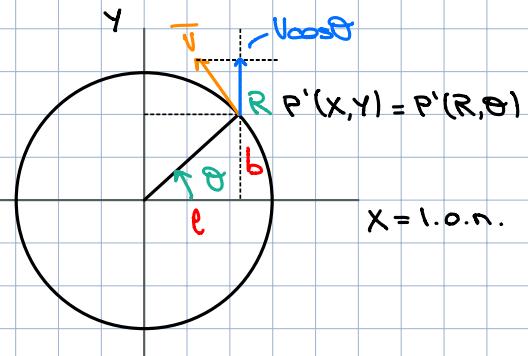
Il disco di gas ionizzato si muove
- in un disco infinitamente sottile
- su orbite circolari

DEPROIEZIONE DELLA VELOCITÀ OSSERVATA

Disco col un'inclinazione i (piano del cielo)



Disco di gas (piano della galassia)



θ e φ sono quantità osservabili, i = arccos i (disco sottile)

Voglio passare dalle quantità osservate θ e φ a quelle intrinseche R e θ

$$a = l \tan \varphi \quad a = b \cos i$$

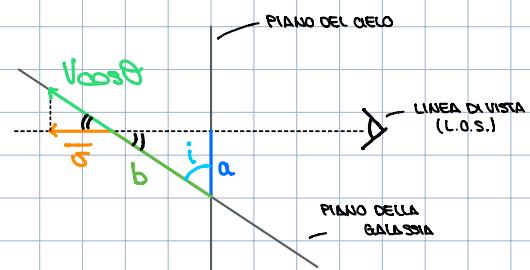
$$b = l \tan \theta \quad [\text{da } i = \arccos i]$$

$$\Rightarrow \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} = \cos i \Rightarrow \theta = \arctan \left(\frac{\tan \varphi}{\cos i} \right)$$

$$R \cos \theta = l \Rightarrow R \cos \theta = r \cos \varphi$$

$$r \cos \varphi = l$$

$$\Rightarrow R = \frac{r \cos \varphi}{\cos \theta}$$



Velocità osservata lungo la linea di vista (rispetto al redshift)

$$\rightarrow v = V \cos \theta \sin i$$

$$\Rightarrow V = \frac{v}{\cos \theta \sin i}$$

Vediamo cosa succede lungo due direzioni privilegiate

1) ASSE MAGGIORE ($\varphi = 0$) $\Rightarrow \theta = 0 \quad R = r$ (ci stiamo muovendo lungo la linea dei nodi)

$$\rightarrow V = \frac{v}{\sin i}$$

2) ASSE MINORE ($\varphi = \frac{\pi}{2}$) $\Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}$

La relazione per il rapporto vu di rispetto

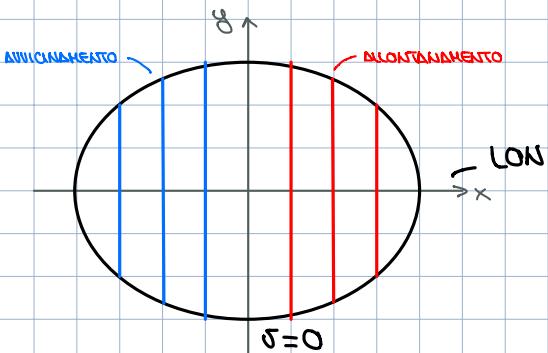
$\Rightarrow \delta = 0$ quindi non si può ridurre a V

$$\begin{aligned} R &= \frac{r \cos \varphi}{\sin \varphi} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi} \cdot \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \\ &= r \frac{\tan \theta}{\tan \theta} = \frac{r}{\cos \theta} \end{aligned}$$

$\left[\frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = 1 \right]$

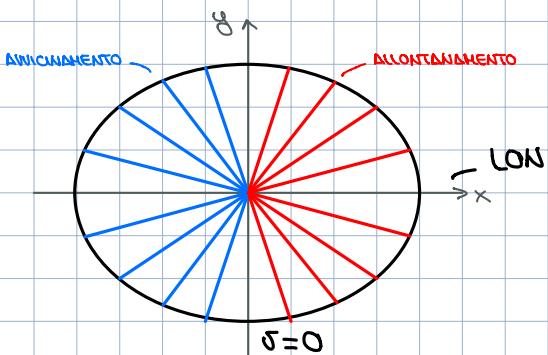
CURVE DI ISOVELOCITÀ:

1) TRATTO RIGIDO ($V = kR$) $\Rightarrow v(r, \varphi) = V(R) \cos \varphi \sin i = kR \cos \varphi \sin i = k \cos \varphi \sin i$



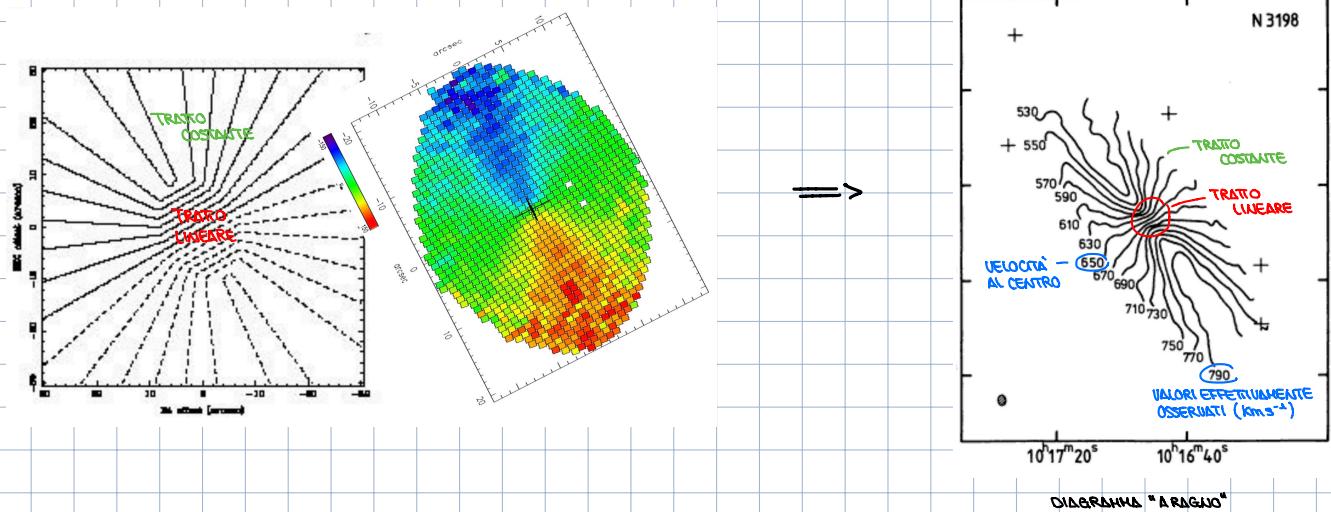
$v(r, \varphi)$ dipende solo da r e le curve di isovelocità sono rette parallele a y

2) TRATTO PIATTO ($V(R) = V_0 = \text{costante}$) $\Rightarrow v(r, \varphi) = V(R) \cos \varphi \sin i = V_0 \cos \varphi \sin i = V_0 \frac{\sin i}{\pm \sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} = \frac{V_0 \sin i \cos i}{\cos^2 i} = \pm V_0 \cos^2 i \tan^2 \varphi$



$v(r, \varphi)$ dipende solo da φ e le curve di isovelocità sono rette che passano per il centro

Combinando le curve di isovelocità nei due casi si ottiene il cosiddetto DIAGRAMMA A RAGNO



GAS ATOMICO (idrogeno neutro HI)

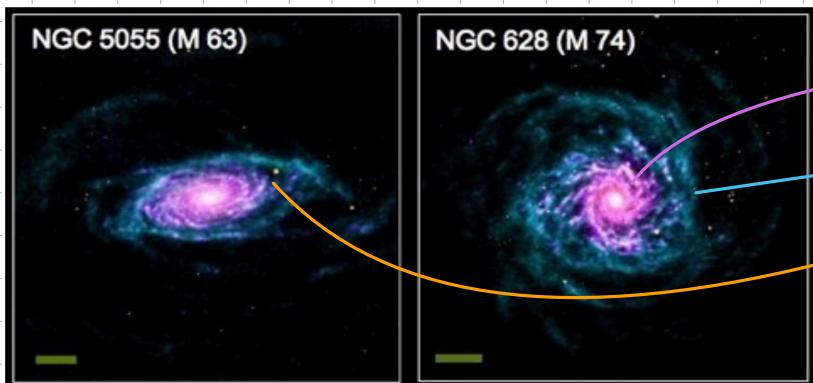
HI ($n_{\text{HI}} \approx 10 \text{ cm}^{-3}$; $T \approx 10^2 \text{ K}$) si trova in nubi diffuse ($r \approx 10 \text{ pc}$, $M \approx 10^3 \text{ M}_\odot$) e giganti ($r \approx 10^3 \text{ kpc}$, $M \approx 10^9 \text{ M}_\odot$, quasi uno piccolo galassia)

Per analizzarlo si usano dati radio: Transizione Iesprine dell'HI (lunghezza 21 cm, 1420 MHz)

La sua massa totale è $M_{\text{HI}} \approx 10^{9-10} \text{ M}_\odot$, $M_{\text{HI}} \approx 0.4 \text{ M}_\odot \text{ pc}^3$, $M_{\text{HI}} \approx 0.1 \text{ M}_\odot \text{ pc}^2$
e le dimensioni del disco HI sono $R \approx 1-5 R_{25}$, $h \approx 200 \text{ pc}$ (più sottile ed esteso rispetto HII)

Si può misurare in due modi:

- misure "single dish": flusso integrato (massa), profilo di riga (velocità di sistema, velocità di rotazione)
- misure "aperture synthesis": mappe di distribuzione e temperatura, campi di velocità e dispersione di velocità)



(IMMAGINI IN FAILO COLORI)

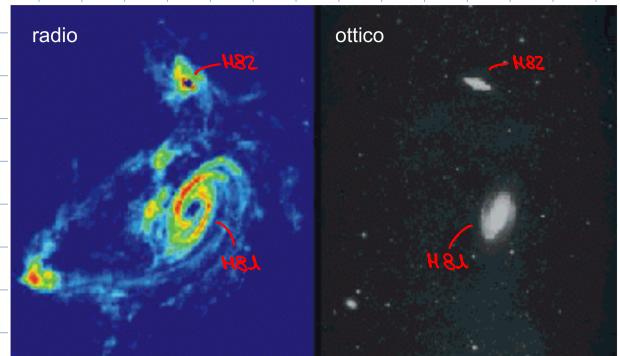
regioni di formazione stellare
(GALEX+Spitzer)

idrogeno neutro (Very Large
Array)

stelle di popolazione vecchia
(Spitzer Space Telescope)

Immagini in banda radio e banda ottica
di H81 (galassia di Bode) e H82
(galassia gigante)

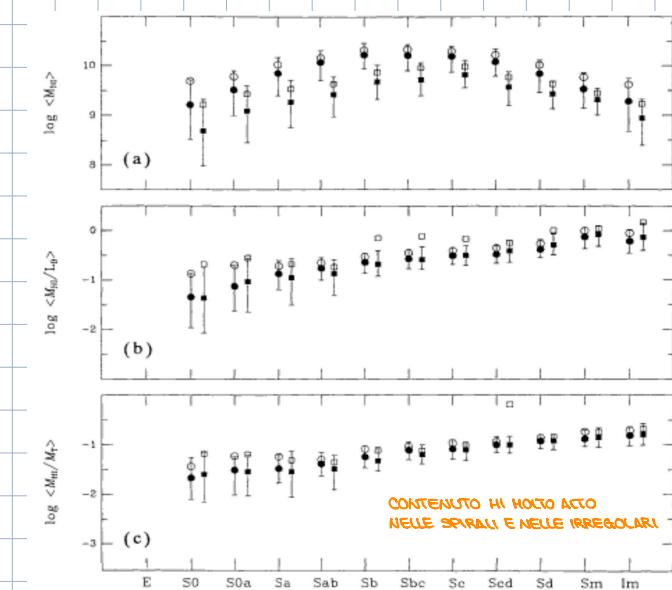
Dalle osservazioni radio sembra un unico
sistema legato gravitazionalmente



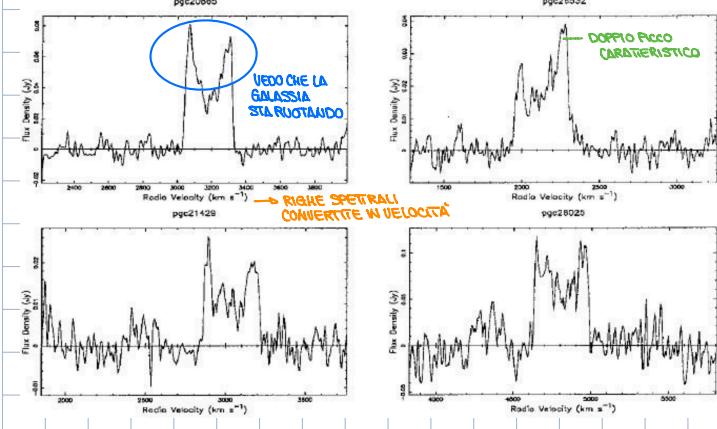
Rispettivamente:

- contenuto HI
- rapporto M_{HI} / L
- rapporto $M_{\text{HI}} / M_{\text{tot}}$

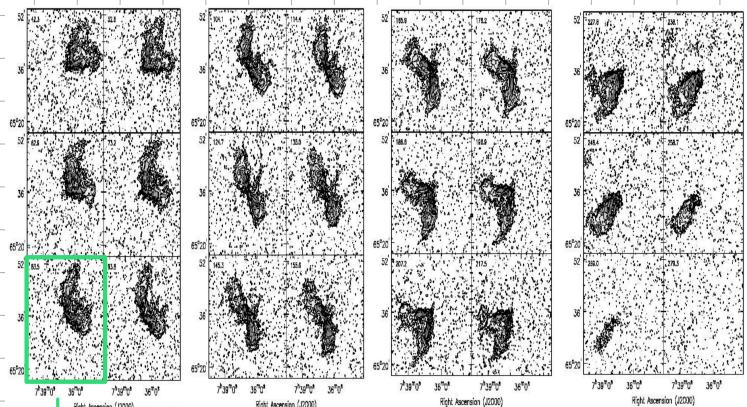
In relazione al tipo morfologico dello
galassia



Spettroscopia di apertura nel radio



Osservazioni sintesi di apertura

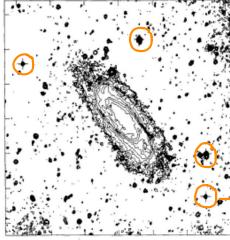


ogni quadrato mostra la quantità di gas in movimento ad una data velocità

(in orizzontale ha densità di flusso)

NGC 3198

ottico
→ isofote



curva di rotazione sull'asse maggiore

STELLE BRILLANTI COME RIFERIMENTO

ANALISI CINEMATICA

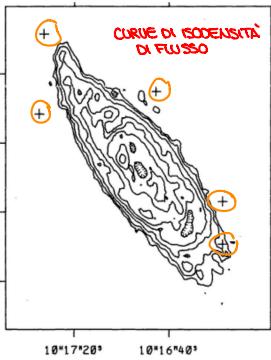
COMPLETA



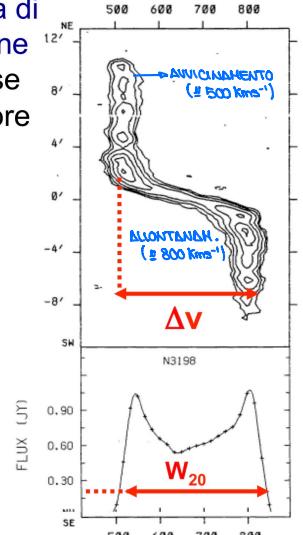
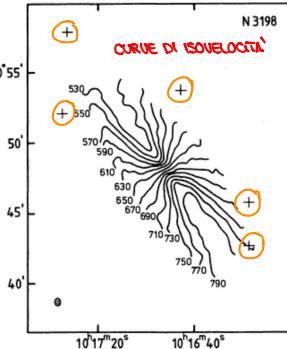
(immagine ottica originale NGC3198)

radio

→ mappa HI



→ campo velocità



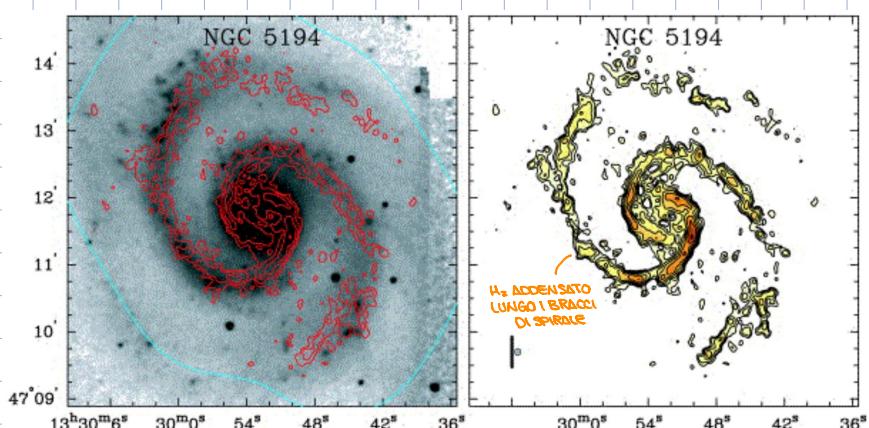
GAS MOLECOLARE (H₂ E CO)

disposto in nubi ($n_{H_2} \approx 10^2 \text{ cm}^{-3}$, $T \approx 10 \text{ K}$) giganti ($r \approx 10^2 \text{ pc}$, $M \approx 10^4 M_\odot$). I dati sono nel millimetrico: transizioni roto-vibrazionali CO (risete 1.3, 2.6 mm) da cui ricava H₂ che non presenta righe attraverso la conversione $N_{H_2} = 1.2 (10^4) N_{CO}$

La massa totale H₂ è $\approx 0.4 M_{HI}$, $H_2 \approx 0.1, 1 M_{HI}$ e le dimensioni del disco sono $R \approx R_{25}$, $h \approx 100 \text{ pc}$ ($H_2 + H_I \approx 80\%$ del mezzo interstellare)

Anche in questo caso si utilizzano misure "single dish" o "aperture synthesis".

[GRAFICI DI DISTRIBUZIONE VEDI SLIDE]



→ disco molto sottile

GAS CORONALE [MOLTO CALDO]

Distribuito in un alone di plasma
($n_e \approx 10^{-3} \text{ cm}^{-3}$, $T_e \approx 10^6 \text{ K}$).

I dati sono nell'X: bremsstrahlung
(1-10 keV) o righe di assorbimento
ad alta ionizzazione (CIV, SiIV, OVI).

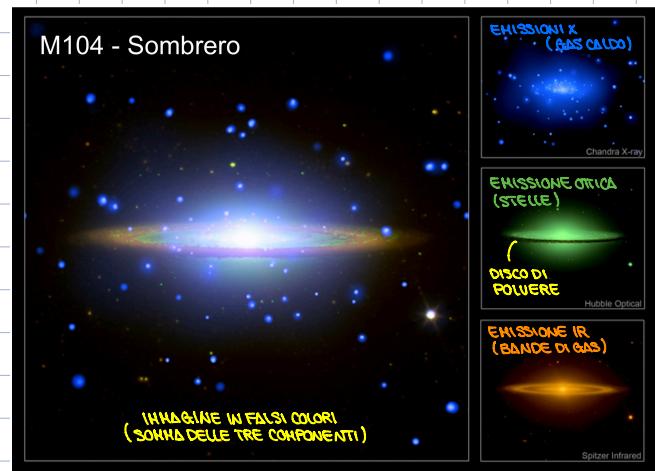
Mecanismo dinamico di trasferimento

di energia (supernovae, venti stellari,
collisioni tra nubi).

Massa Totale Gascoronale $\approx 10^{-3} \text{ M}_{\odot}$.

Indagato con spettroscopia X
(temperatura, densità, metallicità)

→ utilizzabile come tracciatore della massa Totale



Polvere Interstellare

Composto di particelle di graphite, silicati e
ghiaccio di diverse dimensioni ($1 \text{ nm} - 1 \mu\text{m}$)
e temperature ($10 - 100 \text{ K}$) diffuse
nell'Ish ($n \approx 1 \text{ m}^{-3} - 10^2 \text{ m}^{-3}$)

Assorbe radiazione UV e visibile e emette
continuo e righe in NIR ($1-5 \mu\text{m}$), MIR ($5-25 \mu\text{m}$),
FIR ($25 - 300 \mu\text{m}$) e sub-mm ($300 - 1000 \mu\text{m}$).

La sua massa Totale $M_{\text{pol}} \approx 0.01 \text{ M}_{\odot}$
ed è composto al 50% da elementi pesanti
(posi furto) evoluzione stellare)

