

FOTOMETRIA SUPERFICIALE DELLE GALASSIE

BRILLIANZA SUPERFICIALE → flusso integrato (in una particolare banda) osservato nell'unità di angolo solido

(surface brightness SB)

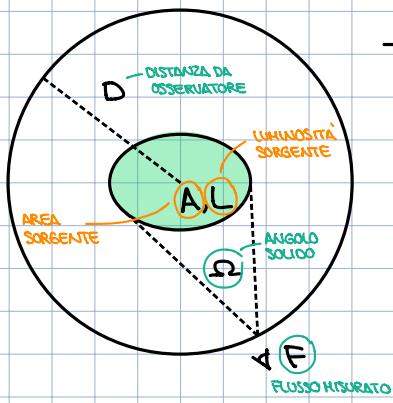
$SB = \frac{\text{FLUSSO INTEGRATO}}{\text{UNITÀ ANGOLO SOLIDO}}$

$I = \text{brillanza superficiale in unità lineari}$
 $(\text{erg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sterad}^{-1}, \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sterad}^{-1})$
 (lo pc^{-2})

$\mu = SB \text{ in unità di mag. arcsec}^{-2}$

legame tra I e μ → $I = \frac{F}{\Omega}$ → $\mu = -2.5 \log I + \text{cost}$ → $\mu_B = 25$ significa
 $SB = 25 \text{ mag. arcsec}^{-2}$
 in banda B

la SB non dipende dalla distanza (nell'universo locale)

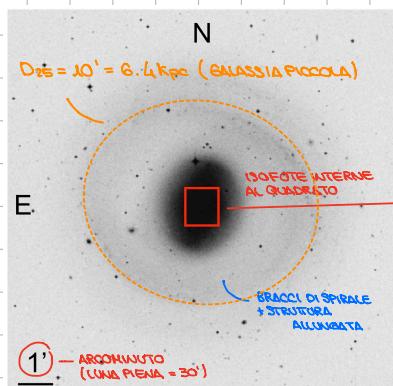


$$I = \frac{F}{\Omega} = \frac{L / 4\pi D^2}{A / \Omega^2} = \frac{L}{4\pi A}$$

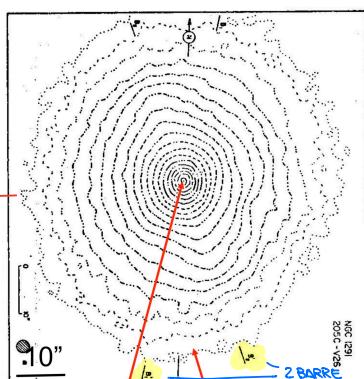
non dipende dalla distanza
 quindi si può usare lo stesso
 tempo di posa per ogni distanza

⇒ questa relazione vale nell'ipotesi in cui
 la luminosità non dipende dalla sua distanza
 e quindi per galassie a basso redshift

ISOFOTE → lungo dei punti di ugual brillanza superficiale
 dal momento che le galassie non hanno dei contorni netti
 solitamente se ne definisce l'estensione attraverso il diametro
isopote ⇒ asse maggiore di uno isopote di SB prefissata
 (astologo RC3 diametri D_{25} delle isopote
 con $\mu_B = 25 \text{ mag. arcsec}^{-2}$, viene usato anche
 un diametro maggiore dell'isopote entro cui
 $\langle \mu_B \rangle = 20.75 \text{ mag. arcsec}^{-2}$)

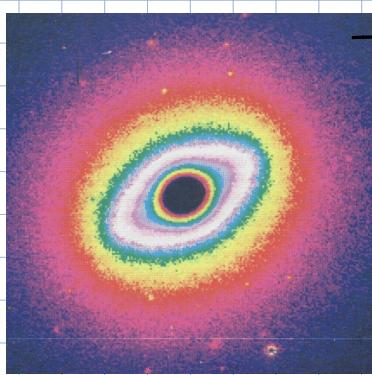


NGC 1291 ha due barre



De Vaucouleurs (R) SB(s)0/a

STRUTTURA AD ANELLO ESTERNA



→ SB residua
 (= la galassia si estende oltre i limiti del campo.)

FOTOGRAFIA IN FAUL COLORI

→ ad ogni pixel un colore arbitrario in base a SB

LUMINOSITÀ E MAGNITUDINE TOTALE

Indichiamo con $I(r, \theta)$ la brillanza superficiale in $r(r, \theta)$ e definiamo la luminosità totale della galassia

$$L_T = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} I(r, \theta) r dr d\theta$$

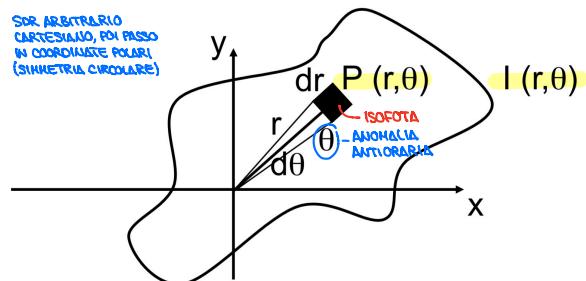
che per isotrope direzioni diventa $L_T = 2\pi \int_0^{\infty} I(r) r dr$

la magnitudine totale (o assorbita) è

$$m_T = -2.5 \log(L_T + const)$$

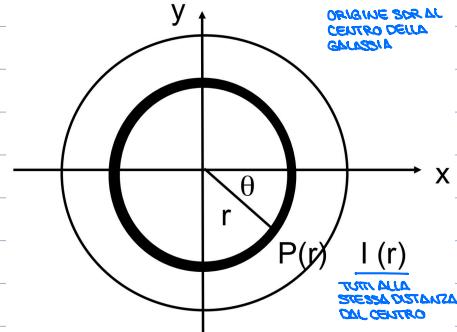
$$= -2.5 \log \left(\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} I(\theta, r) r dr d\theta \right) + c$$

ISOFOTE DI FORMA GENERICA



$$\begin{aligned} dA &= r dr d\theta & r dr &= ALTEZZA \\ dL &= I dA = I r dr d\theta & dr &= BASE \\ L &= \int \int I dA = \int \int I r dr d\theta & \text{LUMINOSITÀ TOTALE DELLA GALASSIA} \end{aligned}$$

ISOFOTE CIRCOLARI



$$\begin{aligned} dA &= 2\pi r dr \\ dL &= I dA = I 2\pi r dr \\ L &= 2\pi \int I r dr \end{aligned}$$

Possiamo trattare qualsiasi isofoto come un'isofoto circolare usando il raggio equivalente (utile per confrontare isofote diverse)

→ RAGGIO EQUIVALENTE di un'isofoto di area A

$$r^* = \sqrt{A/\pi} \rightarrow \text{costruisco cerchio con lo stesso area e ne calcolo il raggio}$$

↪ ISOFOTA ELLITICA ($A = \pi r_{ob}^2$) $r^* = \sqrt{ab}$

La luminosità integrata $L(r^*)$ entro r^* è $L(r^*) = 2\pi \int_0^{r^*} I(r'^*) r'^* dr'^*$

Luminosità integrata relativa $k(r^*)$ entro r^* è $k(r^*) = L(r^*) / L_T$

Il RAGGIO EFFICACE corrisponde a $k(r_{eff}) = 1/2$

(effective radius)

$$\rightarrow \text{in isofoto circolarizzata } L(r^*) = \frac{1}{2} L_T$$

→ raggio che racchiude la metà della luce della galassia

PROFILO RADIALE DI BRILLANZA SUPERFICIALE

estraiibile lungo qualsiasi direzione tracciando l'andamento della brillanza superficiale in funzione della distanza dal centro

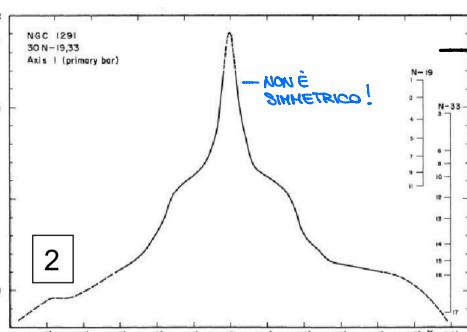
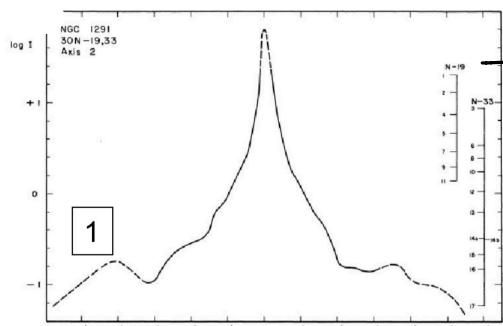
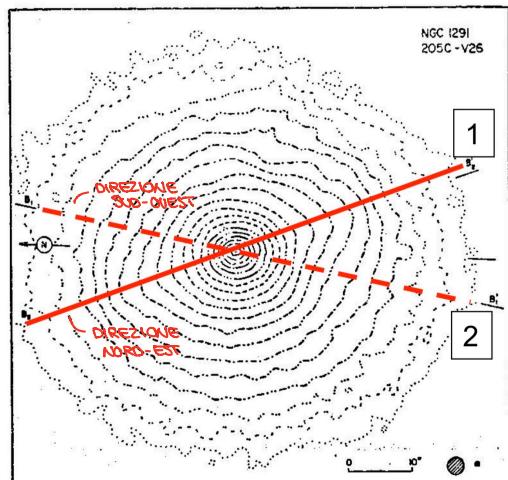
In genere si considera il profilo radiale ottenuto mediando i valori misurati sui due lati alla stessa distanza dal centro

$$I(1x1) = 0.5 [I(+x) + I(-x)] \rightarrow \text{PROFILO SIMMETRIZZATO}$$

Il profilo espresso in funzione del raggio equivalente $I = I(r^*)$

permette di tracciare l'andamento globale della SB della galassia

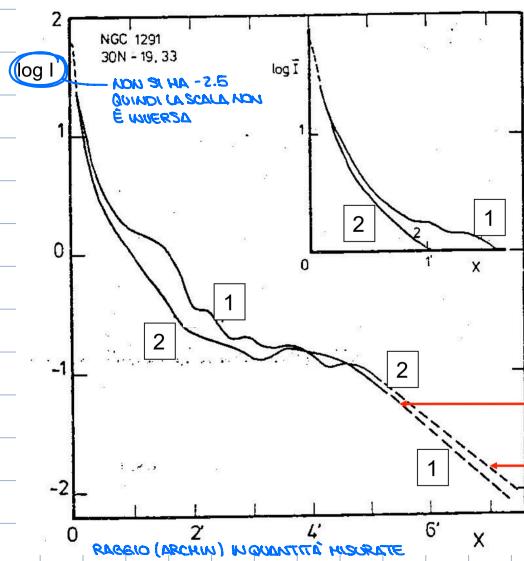
NGC 1291 → GALASSIA CON BARRA DOPPIA
I PROFILI RADIALI VARIANO A SECONDA DELLA DIREZIONE CONSIDERATA.



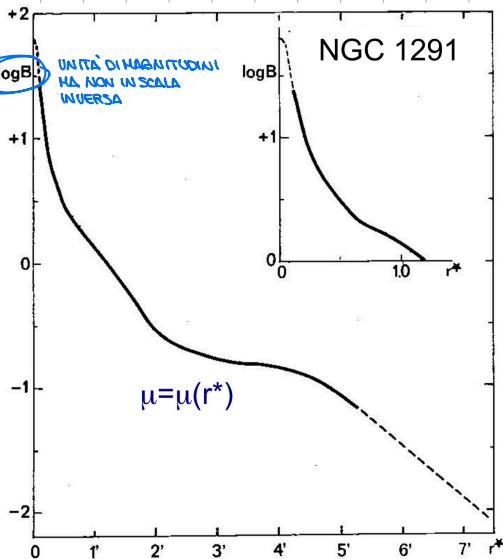
N

E

PROFILO SIMMETRIZZATO

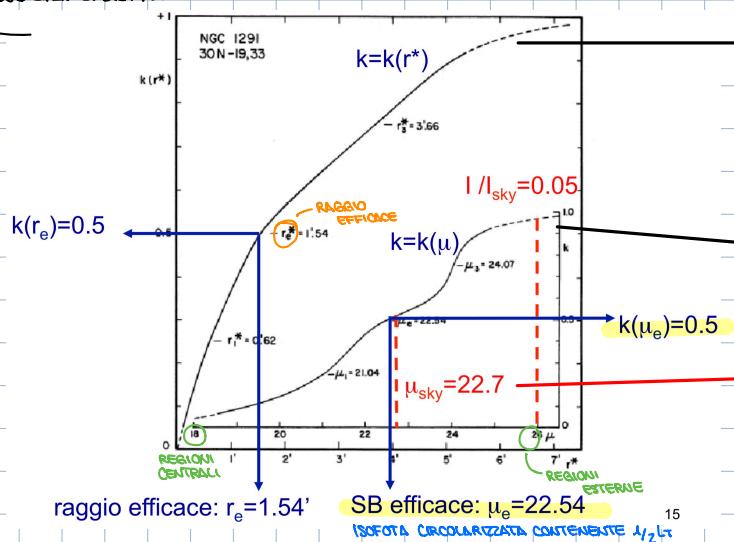


PROFILO IN FUNZIONE DI r^*



→ descrive lo
galassia in
monodo
globale,
circolare.
però
dettaglio
della galassia

Sono due grafici distinti



luminosità integrata relativa in
funzione del raggio equivalente
 $B(r^*) = L(r^*) / L_T \quad [0 < B < 1]$
→ 0 al centro e 1 alla periferia

→ stesso curvo in funzione della
brillanza superficiale

valore di rperimento per la
brillanza superficiale del cielo

BRILLANZA SUPERFICIALE DEL CIELO

Days From New Moon	Sky Brightness (NELLE BANDE OTTICHE)					
	<i>U</i>	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>Z</i>
0	22.0	22.7 (LUNA NUOVA)	21.8	20.9	19.9	18.8
3	21.5	22.4	21.7	20.8	19.9	18.8
7	19.9	21.6	21.4	20.6	19.7	18.6
10	18.5	20.7	20.7	20.3	19.5	18.3
14	17.0	19.5 (LUNA Piena)	20.0	19.9	19.2	18.1

Di fatto il cielo è una sorgente di luce estesa. La luminosità è essenzialmente dovuta alla presenza della Luna.

Fuori dall'atmosfera, la luce scende di qualche magnitudine.

LUMINOSITÀ INTEGRATA RIDOTTA E NORMALIZZATA

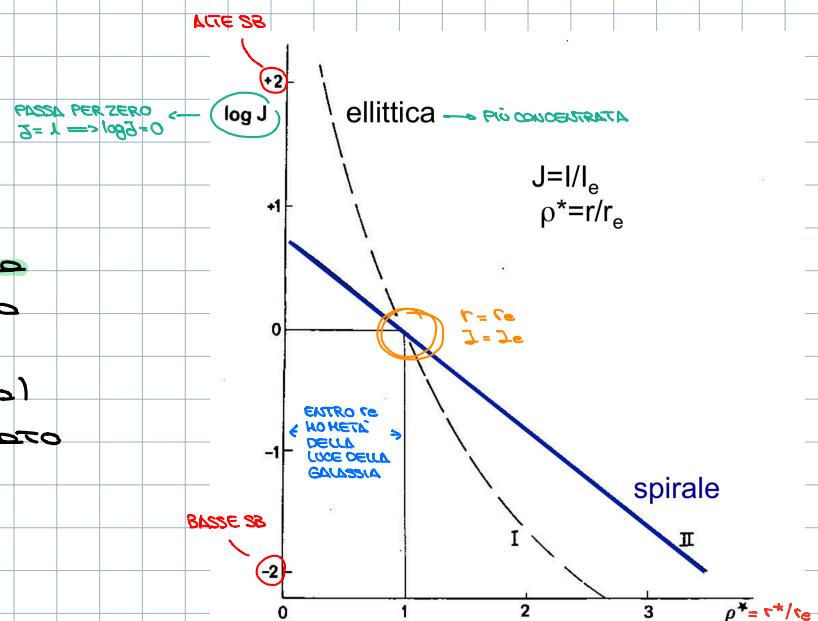
La luminosità integrata ridotta è una brillanza superficiale misurata.

TUTTI I PUNTI PASSANO PER $\rho^* = 1$ ($r = r_e$) $J = J(\rho^*)$ dove $J = J / J_e$ e $\rho^* = r^* / r_e$ — RAGGIO EFFICACE PER NORMALIZZARE

→ permette di confrontare galassie diverse indipendentemente dalla loro estensione (r^*)

Nostro lo distribuzione della luce e lo suo concentrazione rispetto al centro della galassia.

Si vede che nella galassia ellittica la luce è più concentrato mentre la spirale è più diffusa (entra r_e a $\frac{1}{2}$ metà della luce della galassia) → ellittico ha contorno più marcato rispetto ad uno spirale.



IN REALTÀ DIFFERENZA DI MAGNITUONI → RAPPORTO DI LUMINOSITÀ

La luminosità integrata normalizzata è

$$\Delta m(\rho^*) = m(\rho^*) - m_e = -2.5 \log \frac{J(\rho^*)}{J_e}$$

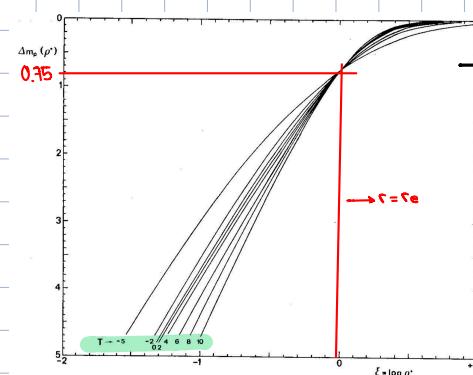
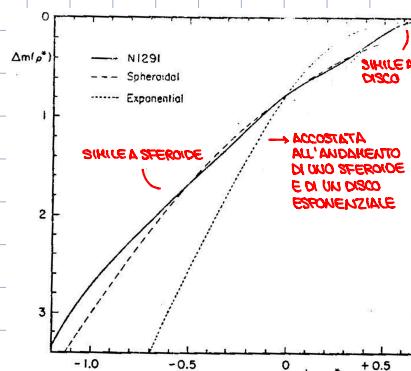
È UNA CURVA TENDENTE A ZERO (SERIE POSITIVO)

MAGNITUDINE ASSOCIATA A ρ^*

MAGNITUDINE TOTALE

$$\rightarrow r = r_e \quad L = 0.5 L_e$$

$$-2.5 \log 0.5 = 0.75$$

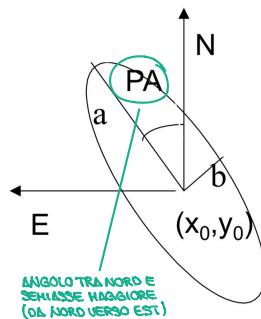
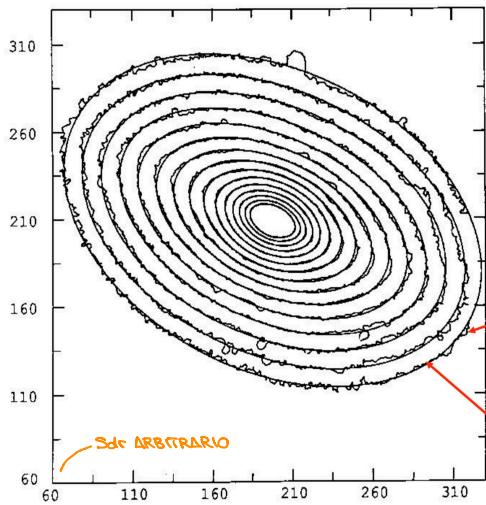


→ curve di luminosità integrata normalizzata per tipo morfologico → posso usare per morfologia quantitativa

FORMA DELLE ISOFOTE

→ le sezioni di galassie ellittiche hanno in genere forma ellittica in prima approssimazione

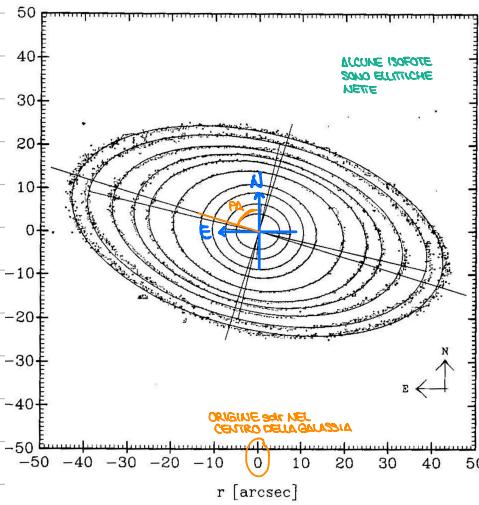
Ogni isofofa può essere interpolata con un'ellisse per definire dei parametri



6 parametri liberi:

- livello della SB: μ
- coordinate del centro: x_0, y_0
- lunghezza dei semiassi: a, b
- angolo di posizione del semiasse maggiore: PA

ISOFOTE DI NGC 2784 [SA(s) 0°]



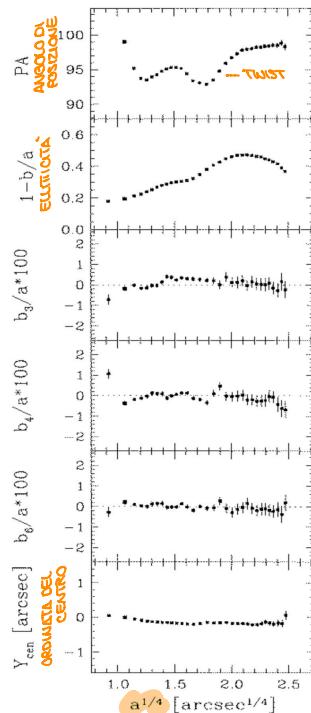
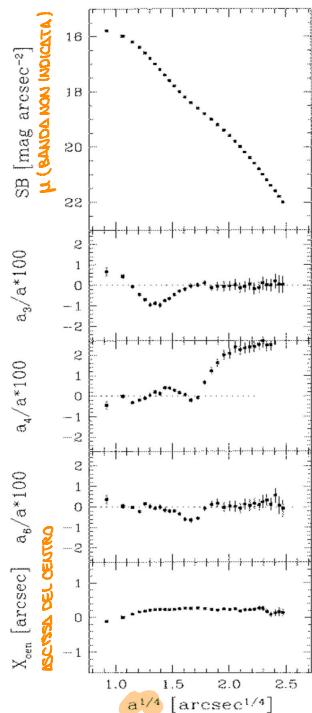
→ prova del "Twist" delle isofofe:
l'angolo di posizione varia in base all'isofofa considerata

⇒ prova dello TRAVERSAMENTO delle galassie ellittiche

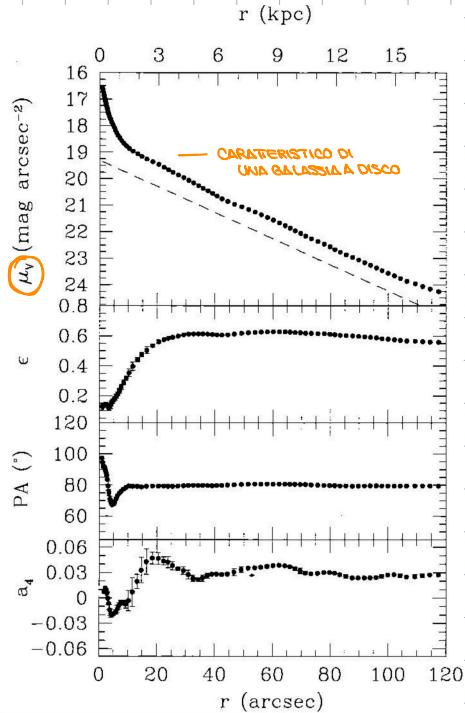
ANALISI ISOFOTALE = analisi delle ellissi che meglio interpolano le isofofe

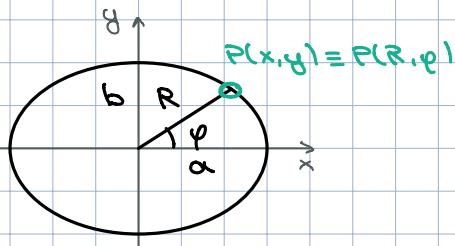
VARIAZIONE PARAMETRI ISOFOFE:

NGC 4860 [E5]



NGC 4036 (barrial.)





ellisse in coordinate cartesiane

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

eccentricità

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

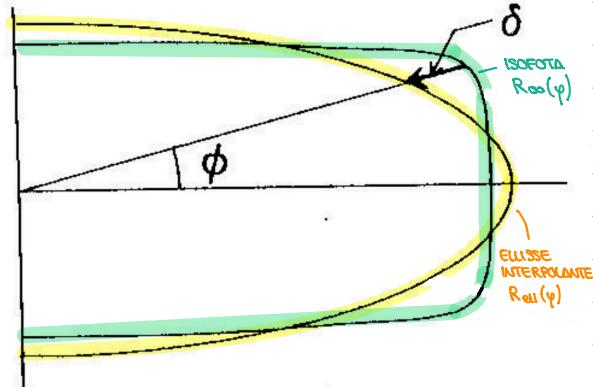
ellisse in coordinate polari

$$R_{ell}(\phi) = a \sqrt{\frac{(1-e^2)}{1-e^2 \cos^2 \phi}}$$

DEVIAZIONI DALLA FORMA ELLITICA

valuto quanto si discosta l'ellisse dall'isofota

la differenza tra $R_{iso}(\phi)$ e $R_{ell}(\phi)$ [δ] dipende da φ e lo posso esprimere come serie di Fourier (con seni e coseni)



$$\delta(\phi) = R_{iso}(\phi) - R_{ell}(\phi) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\phi) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\phi)$$

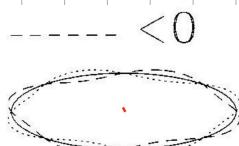
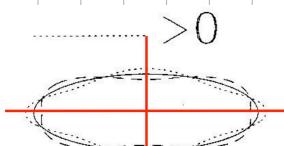
DIFERENZA TRA RAGGIO ISOFORA E RAGGIO ELLISSE (ISTEMATICA)

→ coefficienti serie di Fourier
An e Bn descrivono le deviazioni
dalla forma ellittica delle
isofote ⇒ APPROCCIO QUANTITATIVO
ALLA MORFOLOGIA

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \delta(\phi) \cos(n\phi) d\phi$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \delta(\phi) \sin(n\phi) d\phi$$

Come varano i coefficienti?



$a_4 =$ boxy/disky
ASSOCIAZIONE A $\cos(4\phi)$

$b_4 =$ dev. simm. centro



$a_3 =$ dev. simm. asse X

$b_3 =$ dev. simm. asse Y

>0

<0



$a_2 = e \rightarrow$ VARIAZIONE ELLITICITÀ

$b_2 = PA \rightarrow$ VARIAZIONE ANGOLO DI POSIZIONE



$a_1 = x_0 -$ VARIAZIONE COORDINATE DEL CENTRO

$b_1 = y_0$

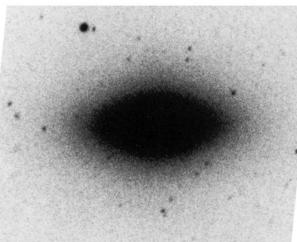
Il parametro più importante è a_4
che definisce una deviazione
simmetrica rispetto al centro e rispetto
agli assi

$a_4 > 0 \rightarrow$ quadrato = BOXY

$a_4 < 0 \rightarrow$ ottagono = DISKY

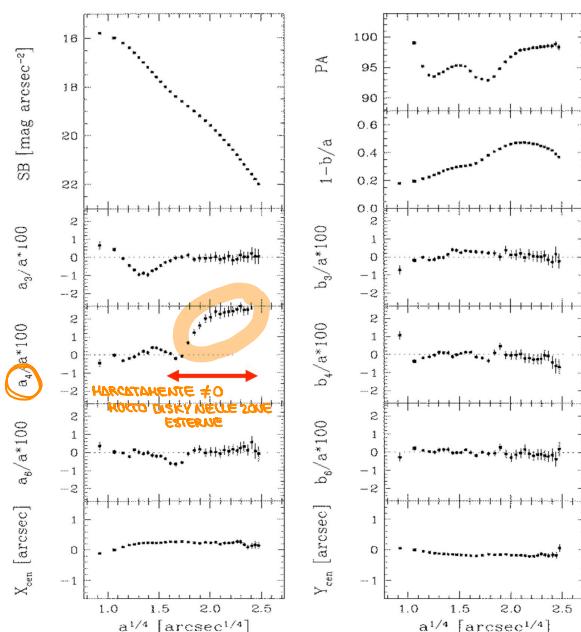
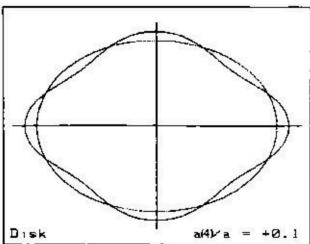
con una buona interpolazione e
scarto SDF possono essere
controllati

L'introduzione delle galassie boxy e disky riporta la classificazione di Hubble



NGC 4660 - E:

disky $a_4 > 0$



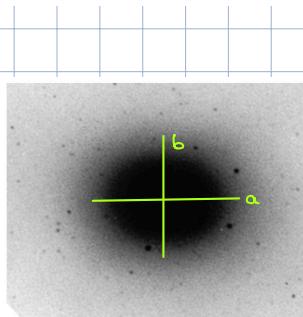
NGC 4660 disky

peculiarità da Hubble
a causa della presenza
delle punte

→ infatti è

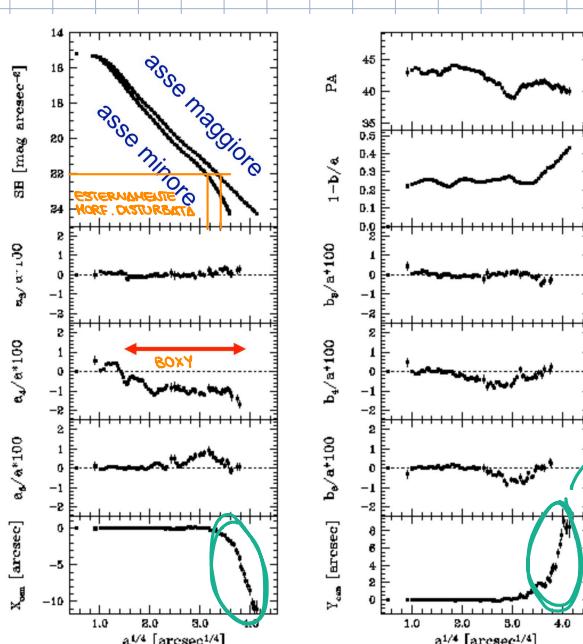
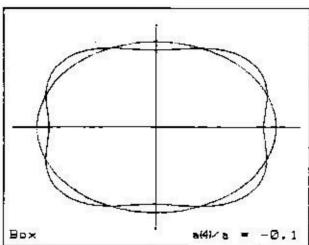
ellittico disky

Gli altri parametri sono
nulli quasi sempre
⇒ buona interpolazione



NGC 4365 - E3

boxy $a_4 < 0$

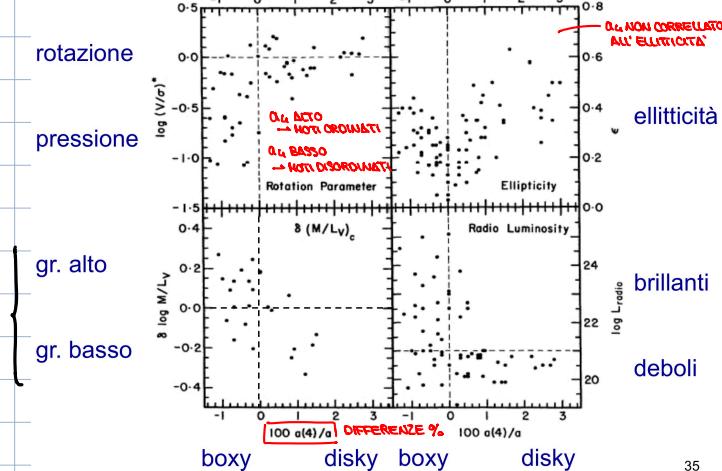


→ proprio di luce simile
alla precedente, non
impone sull'essere
disky o boxy

nelle isogote estreme
verso ormai il centro
⇒ probabilmente
perturbazione marziale

La natura boxy / disky delle isogote può
essere collegata anche ad altri
parametri

rapporto massa-luminosità
se alto si fa molto
materia non luminosa
⇒ buco nero



CLASSIFICAZIONE DI KORNEDY E BENDER

introdotta nel 1996, estende la classificazione di Hubble introducendo le galassie **boxy-disky** nella sequenza delle ellittiche
rivelata nel 2012, colloca le galassie **sferoidali** nella **sequenza delle S0** messo parallelamente a quella delle spirali.

