

## NORFOLOGIA DELLE GALASSIE → primo passo verso la comprensione fisica delle galassie

↳ correlate con molte proprietà globali delle galassie  
riproduire la varietà delle forme osservate è uno degli obiettivi principali di tutte le teorie di formazione ed evoluzione delle galassie

### CLASSIFICAZIONE DI HUBBLE (1926, esposizione finale a cura di Sandage 1994)

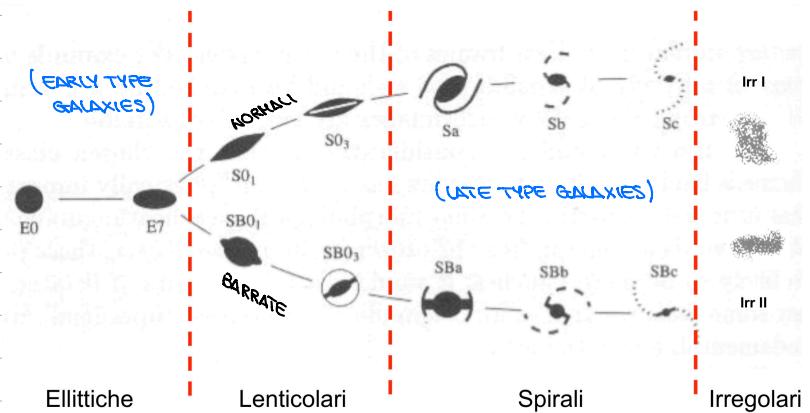
è la classificazione più utilizzata e fornisce la terminologia di base fatta sulla base della loro forma apparente (= come appaiono sulla volta celeste)

Hubble distingue quattro famiglie:

- galassie **ellittiche** (E)
- galassie **lenticolari normali** (S $\phi$ ) e **barrate** (SB $\phi$ )
- galassie a **spirale normale** (S) e **barrate** (SB)
- galassie **irregolari** (Irr)

e le colloca in un diagramma chiamato "a diaframma" (= tuning fork diagram)

"early" e "late" non si riferiscono ad una sequenza temporale o di evoluzione



#### ① GALASSIE ELLITTICHE

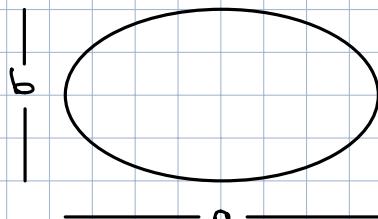
- forma apparente **ellittica**
- struttura diffusa con poco evidenza di gocce e polveri
- sottotipi definiti sulla base dello **schiaffamento apparente** (ellitticità)

→ rapporto assiale  $b/a$

$$\text{ellitticità} \quad e = 1 - b/a$$

classificazione → En con  $n = 1 \dots 7$

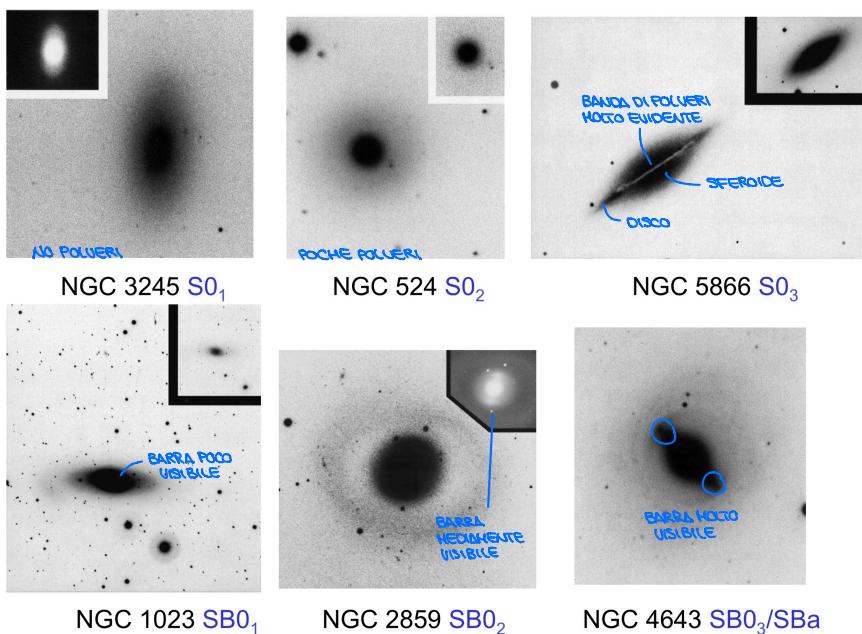
$$n = 10e = 10(1 - b/a)$$



Galassie di tipo E8 ed E9 non si vedono in cielo per motivi legati alla dinamica del moto delle stelle

#### ② GALASSIE LENTICOLARI

- sono formate da due componenti: lo sperone centrale (**BULGE**) e **disco** senza evidenza di bracci di spirale
- si notano due sottoclassi: **normali** (S $\phi$ ) e **barrate** (SB $\phi$ )
- i sottotipi S $\phi_1$ , S $\phi_2$ , S $\phi_3$  sono definiti dalla prominenza delle **polveri nel disco**
- i sottotipi SB $\phi_1$ , SB $\phi_2$ , SB $\phi_3$  sono definiti dalla prominenza della **barra**



→ si può individuare anche la componente diversa

### ③ GALASSIE A SPIRALE

- caratterizzate da bulge e disco con evidenza di bracci di spirale
- suddivise in normali (S) e barrate (SB)
- i sottotipi Sa, Sb, Sc sono definiti da tre criteri:
  - prominenza del bulge rispetto al disco (Tondo → poco)
  - avvolgimento / apertura dei bracci a spirale (Tondo → poco)
  - risoluzione del disco in stelle, nudi, regioni HII



→ Tipo Sa

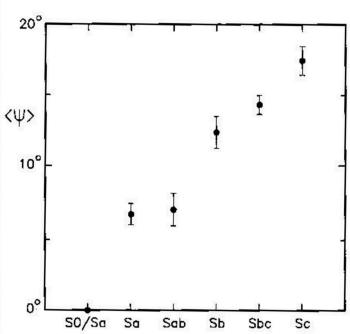
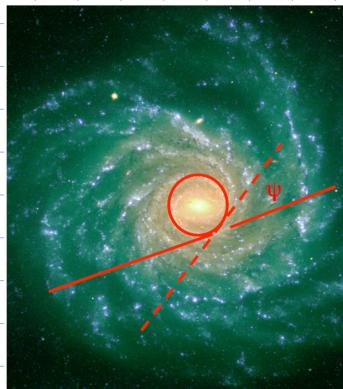
- bulge prominente
- bracci molto avvolti
- bracci poco risolti



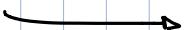
→ Tipo Sc

- bulge poco prominente
- bracci poco avvolti
- bracci meno risolti

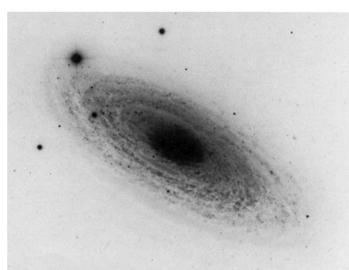
→ vi è una correlazione tra  
apertura dei bracci e tipo  
morphologico basato sull'angolo  
formato dalla direzione del braccio  
e dalla tangente al disco nel  
punto di attacco  
[ $\psi$  = angolo di attacco, pitch angle]



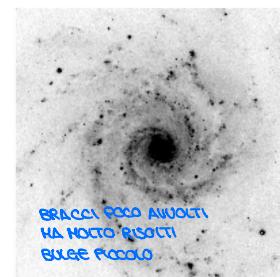
### SPIRALI NORMALI



NGC 1302 Sa



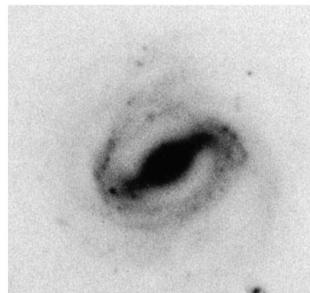
NGC 2841 Sb



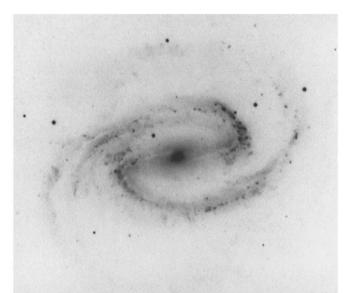
NGC 628 Sc

### SPIRALI BARRATE

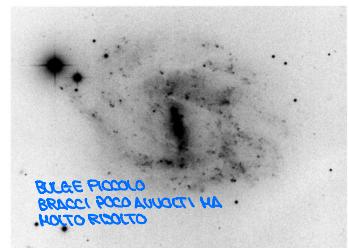
→ i bracci partono dalla barra o da un anello contenente la barra



NGC 175 SBa



NGC 1300 SBb



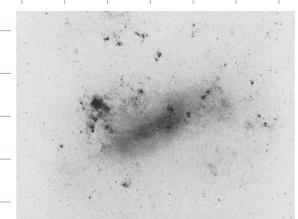
NGC 7741 SBc

15

## ④ GALASSIE IRREGOLARI

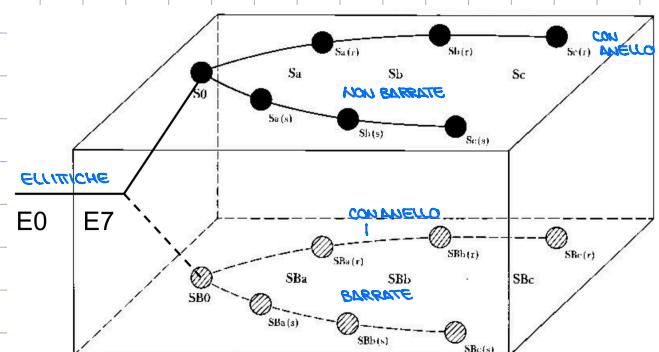
- poco o nessuna simmetria
- due sottoclassi
  - Irr I: fortemente risotte in stelle (es: LMC)
  - Irr II: caotiche e disturbate (es: M82)
- successivamente vengono suddivise in
  - Im: irregolari di tipo magellanico
  - IbIm: irregolari barrati di tipo magellanico

rispettivamente poste lungo la sequenza delle S e delle SB



LMC Irr I

Una prima revisione della classificazione di Hubble venne operata da Sandage nel 1961 il quale introdusse due ulteriori sottotipi per segnalare la presenza di un anello (r) da cui si dipartono i bracci di spirale a lo sua assenza (s).



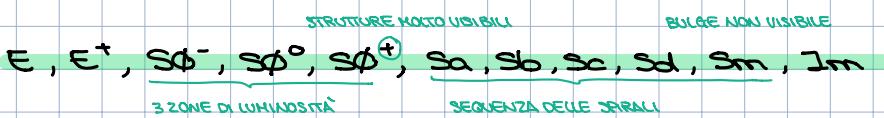
Punti critici della classificazione di Hubble:

- la classificazione è definita su galassie prototipo di tipo gigante o supergigante che sono isolate e si trovano in piccoli ammassi.
- le S0 sono in media meno luminose sia delle E che delle Sa: non tutte le S0 hanno proprietà intermedie tra le ellittiche e le spirali
- le spirali barrate di tipo avanzato sono meno brillanti delle non barrate dello stesso classe
- mancano criteri oggettivi per distinguere le spirali di tipo molto avanzato e le galassie irregolari.

## CLASSIFICAZIONE DI DE VAUCOULEURS (1959)

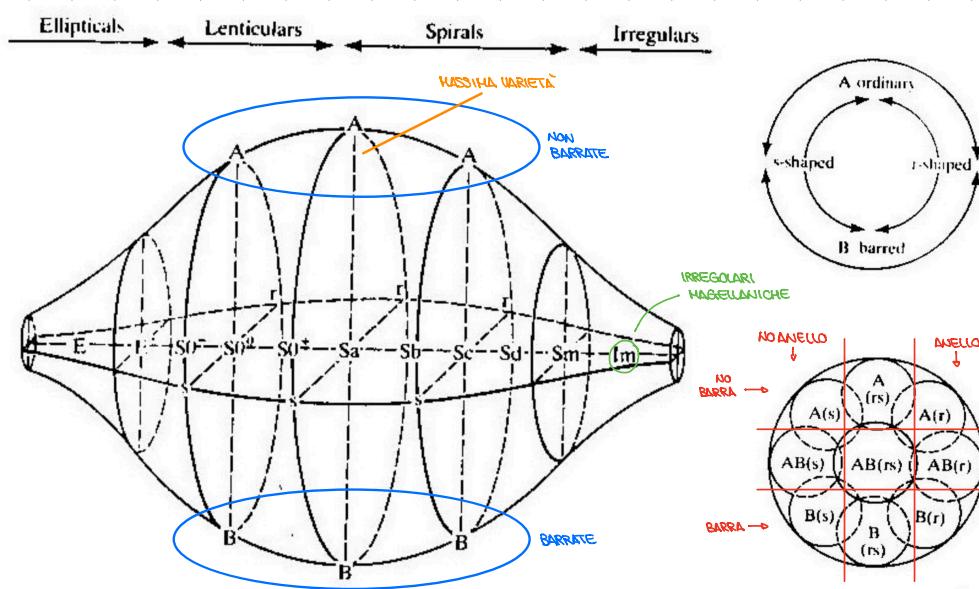
Estende e perfeziona la classificazione di Hubble. Descritta nel Catalog of Bright Galaxies (RC1) nel quale vengono catalogate le galassie di magnitudine apparente maggiore di 12, viene poi applicata a circa 23000 galassie nel RC3 e illustrata nel The de Vaucouleurs Atlas of Galaxies.

- posizione lungo la sequenza morfologica principale (abbordano il diagramma a fusso)

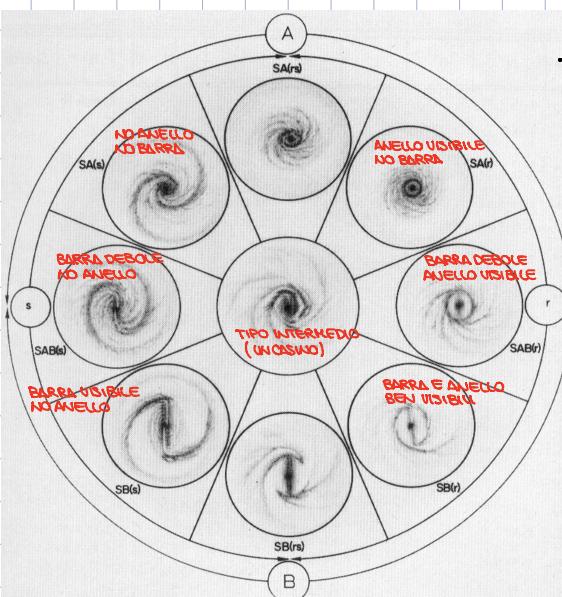


- presenza o meno della barra
- SA = senza barra , SAB = barra debole , SB = barra
- introduce tre varietà
  - (s) = i bracci si dipartono da un anello
  - (a) = presenza dei soli bracci a spirale
  - (rs) = varietà intermedia

→ collocare le galassie nel cosiddetto diagramma a fusso



→ DIAGRAMMA A FUSO : nella sezione centrale si ha la maggiore varietà di tipologie morfologiche. La tipologia AB(rs) è la più intermedia e difficile da classificare.



→ esempio di sezione del diagramma a fusso

La posizione di una galassia lungo l'asse principale della classificazione può essere espresso tramite il numero T (Hubble Stage).

Hubble	E	$E^+$	$E-S0$	$S0$	$S0/a$	$Sa$	$Sa-b$	$Sb$	$Sb-c$	$Sc$	$Scd$	$Sd$	$Sdm$	$Sm$	$Im$	
de Vau.	E	$E^+$	$S0^-$	$S0^0$	$S0^+$	$S0/a$	$Sa$	$Sab$	$Sb$	$Sbc$	$Sc$	$Scd$	$Sd$	$Sdm$	$Sm$	$Im$
T	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

→ sintetizzare la posizione sulla sequenza morfologica

## [CODICI MORFOLOGICI VEDI SLIDE]

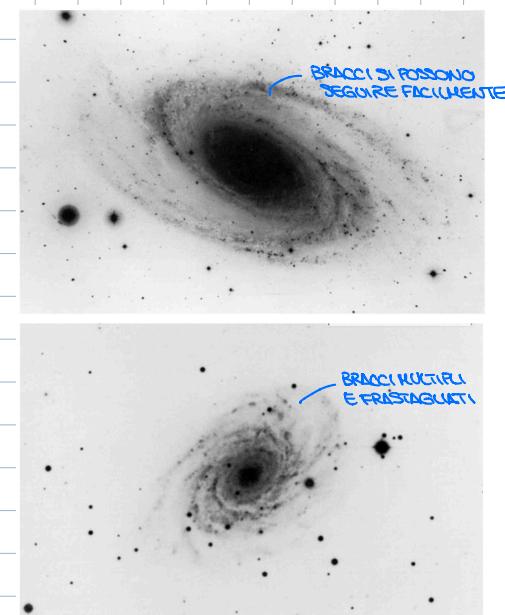
Punti critici classificazione di de Vaucouleurs:

- i colori di SA e SB della stessa classe sono molto simili quindi le differenze tra SA e SB non riguardano le popolazioni stellari
- la diaettomia tra (r) ed (s) è un aspetto secondario della morfologia ma de Vaucouleurs ci puntò molto
- la classificazione delle spirali avanzate non distingue chiaramente tra effetti di luminosità e popolazione. Le spirali Sc - Sd - Sm diventano al tempo stesso più blu e più deboli

## MORFOLOGIA E LUMINOSITÀ

- Il grado di sviluppo della struttura a spirale (GRAND DESIGN vs MULTIPLE ARMS: bracci multipli difficilmente percorribili) dipende dalla luminosità delle galassie
- I sottotipi Sa, Sab, Sb, Sbc, Sc sono ben definiti solo per galassie molto luminose
- La frazione di galassie irregolari cresce al diminuire della luminosità
- La frazione di spirali borrose è minore tra le galassie giganti e maggiore tra le rare

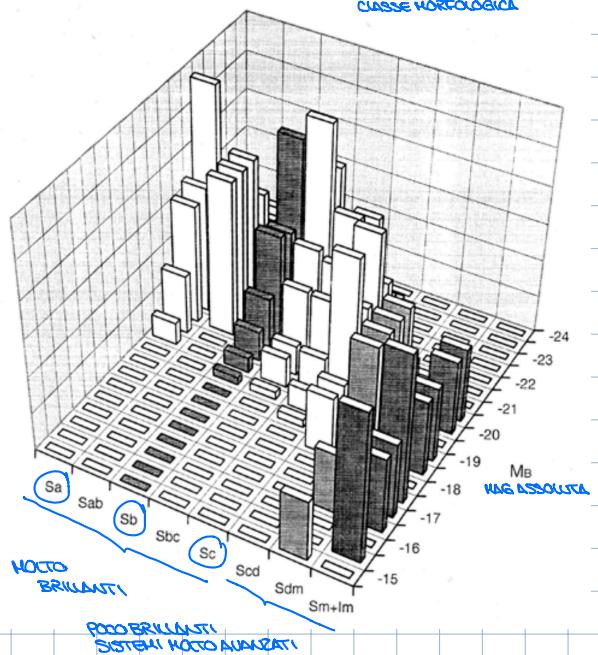
### → CORRELAZIONE TRA MORFOLOGIA E LUMINOSITÀ



NGC 3031 Sb  
Grand design spiral

NGC 3223 Sb  
Multiple-armed spiral

ISTOGRAMMA GALASSIE BRILLANTI ( $m_B < 12.1$ ) IN RAPPORTO ALLA CLASSE MORFOLOGICA

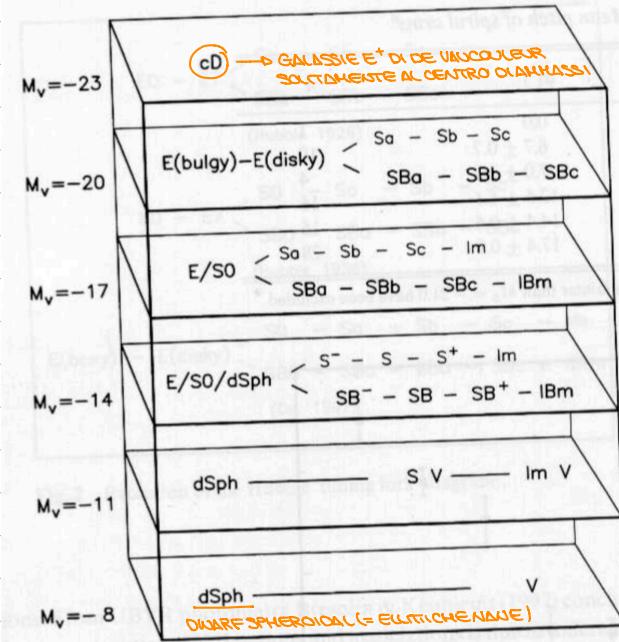


## CLASSIFICAZIONE DI VAN DER BERGH (classificazione VDB)

→ adatta le classi di luminosità

- I = supergiganti ( $M_{\text{eff}} = -20.2$  (magnetografia in banda blu))  
 $H_0 = 100 \text{ km/s/Mpc}$  (costante di Hubble nel colore di de Vaucouleurs))
- II = giganti brillanti ( $-19.4$ )
- III = giganti ( $-18.2$ )
- IV = subgiganti ( $-17.3$ )
- V = rare ( $-15$ )

## Morfologia e luminosità in banda visuale



Von der Bergt suddivide ulteriormente le galassie a disco in base a:

- rapporto disco - bulge (luminosità)

nelle sottoclasse a, b, c

a  $\rightarrow$  D/B = 1-3

b  $\rightarrow$  D/B = 3-10

c  $\rightarrow$  D/B > 10

- presenza della barra

S  $\rightarrow$  no barra

S(B)  $\rightarrow$  barra debole

S(B)  $\rightarrow$  barra

- numero dei bracci

\*  $\rightarrow$  irregolari (multiple arms)

n  $\rightarrow$  omogenei (grand design)

t  $\rightarrow$  eccentrici/moredi

le irregolari (ir) vengono poste dopo le spirali ricche di gas

**Punti critici** classificazione di Von der Bergt:

- i sottotipi a, b e c sono ben definiti solo per galassie giganti e supergiganti, mentre per le galassie meno luminose si possono includere solo primi tipi (early) e tipi avanzati (late)
- la distinzione tra galassie a spirale di tipo avanzato e irregolari magellaniche dovrebbe essere fatta sulla base della presenza o meno di un nucleo
- per avere un'analisi quantitativa richiede un'analisi parametrica delle immagini

## TIPI MORFOLOGICI:

Von der Bergt usa due parametri

1) assenza / presenza del disco:

- ellittiche (E)

- galassie a disco (SO, A, S)

2) abbondanza di gas nel disco:

- SO = no gas

- A = poco gas

- S = molto gas

$\Rightarrow$  le classi lungo un diagramma a

matrice



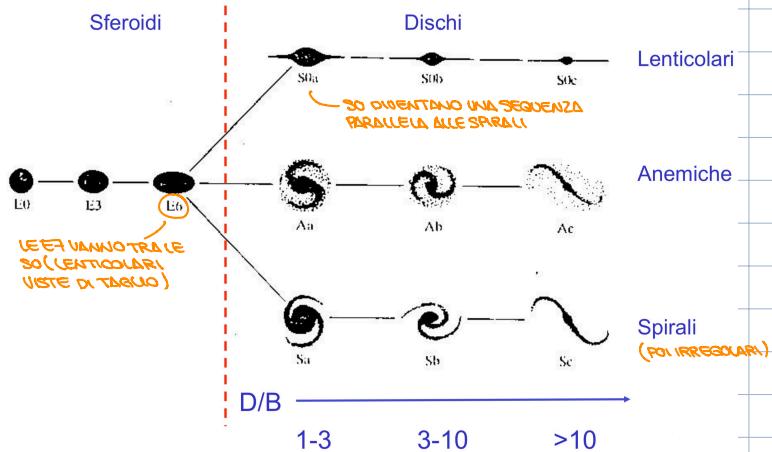
Sferoidi

Dischi

Lenticolari

Anemiche

Spirali  
(PIÙ IRREGOLARI)



$\Rightarrow$  si posso ad una

classificazione

quantitativa

## CLASSIFICAZIONE DI MORGAN (o di Yerkes)

USI I 3 parametri:

- concentrazione di luce centrale che corrisponde allo spettro integrato  
(- tipo spettrale dominante)

$a$  (= poco concentrato),  $a_f, f, fg, g, g_k, k$  (= molto concentrato)

SPETTRI SIMILI A STELLE DI CLASSE K

- forma:

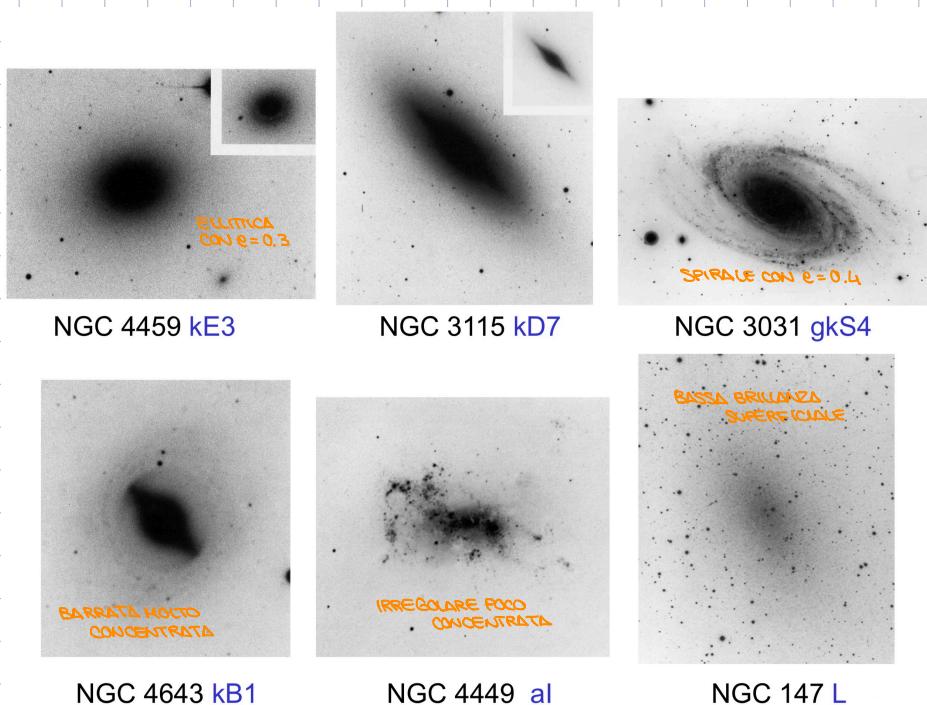
$E$  = ellittica,  $S$  = spirale,  $B$  = spirale barrata,  $I$  = irregolare

$E_B$  =  $E$  con polvere,  $R$  = simmetria di rotazione ma senza evidenza

$a$ : struttura a spirale o ellittica,  $D$  = con nucleo esterno immerso in un alone esterno,  $L$  = bassa brillanza supergiante,  $N$  = nucleo brillante

- rapporto asse maggiore (ellitticità  $\times 10$ ) esteso a tutte le tipologie

$1$  (circolare),  $2, 3, 4, 5, 6, 7$



Ha il vantaggio di dipendere da un unico parametro correlato alle popolazioni stellari facilmente misurabile anche ad alta redshift

La distinzione tra  $E$  e  $D$  non è sempre chiara

## CLASSIFICAZIONI MORFOLOGICHE:

Table 4.1 General galaxy classification schemes

System	Principal criteria	Symbols	Examples
Hubble-Sandage <sup>1</sup>	barrishness; openness of arms/disk-bulge ratio; degree of resolution of arms into stars	$E, S0, S, SB, Irr$ $a, b, c$	M87=E1 M31=Sb M101=Sc LMC=Irr I
De Vaucouleurs <sup>2</sup>	barrishness; openness of arms/disk-bulge ratio; rings or s shapes	$E, S0, S, SA, SB, I$ $a, b, c, d, m$ $(r), (s)$	M87=E1P M31=SA(s)b M101=SAB(rs)cd LMC=SB(s)c
Yerkes <sup>3</sup> (MORGAN)	central condensation of light; barrishness/smoothness <small>BARRETE DIFFUSE</small>	$k, g, f, a$ $E, R, D, S, B, I$	M87=kE1 M31=kS5 M101=fS1 LMC=afl2
DDO <sup>4</sup> (VAN DER BERGH)	young-star richness of disk; (ANEHICHE) barrishness; central condensation of light; - DISK-BULGE RATIO quality and length of arms	$E, S0, A, S, Ir$ $B$ $a, b, c$ $I, II,.., V$	M87=E1 M31=Sb J-II M101=Sc I LMC=lr III-IV

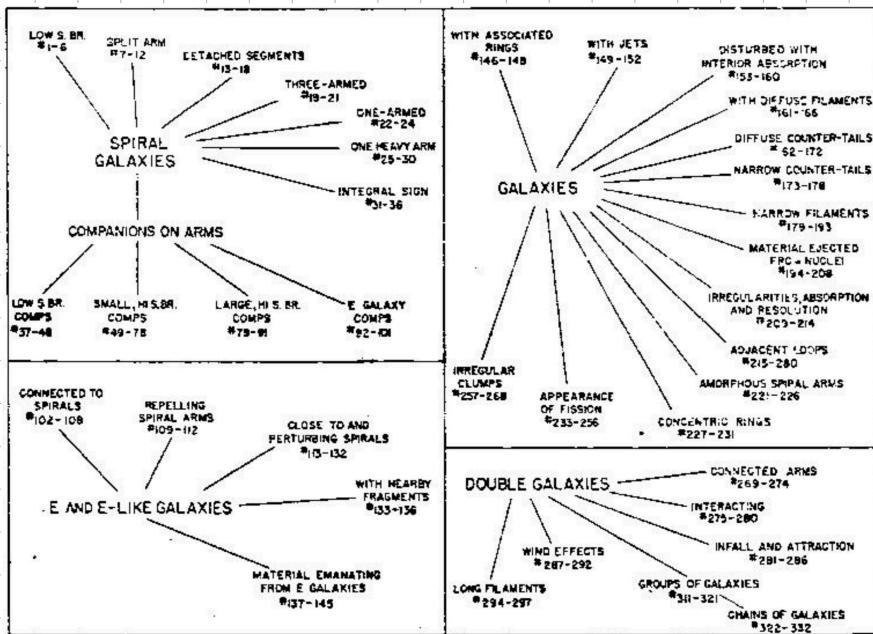
NOTES: <sup>1</sup> Sandage (1961–1995), <sup>2</sup> de Vaucouleurs (1959b), <sup>3</sup> Morgan (1958–1970), <sup>4</sup> van den Bergh (1960–1976)

Vi sono delle galassie non classificabili → il 2% non rientra nei tipi E, S0, S, I<sub>rr</sub>  
 ↳ si tratta soprattutto di sistemi disturbati e/o interagenti

→ **CLASSIFICAZIONE MORFOLOGICA DI VORONTZOV - VELYAMINOV** (galassie peculiari)  
 applicata a circa 29000 galassie, è una classificazione puramente descrittiva

### CLASSIFICAZIONE GALASSIE PECULIARI E INTERAGENTI DI ARP

introdotta da Harlow Shapley, riguarda le galassie con morfologie disturbate e peculiari che non rientrano nello schema di Hubble / Sandage / de Vaucouleurs ed è applicata a 338 oggetti (galassie, coppie, gruppi)



### PUNTI CRITICI:

- molte delle galassie sono peculiari per interazioni con altre galassie (tipo uno sequenza temporale)
- alcuni oggetti sono galassie rare di tipo anomalo ma non sono peculiari (scambiate per tali solo perché appaiono più costituite di quelle più luminose)

La Via Lattea è una galassia a spirale barrata SBbc, nel Gruppo Locale ci sono molte galassie irregolari e rare

### LIMITI DELLE CLASSIFICAZIONI MORFOLOGICHE

- si basano sull'analisi soggettivo delle immagini (fotostrutture in banda B, immagini CCD in NIR)
- sono limitate da effetti di risoluzione, profondità e banda passante delle immagini analizzate
- dipendono dai criteri di classificazione adottati,