

# LE GALASSIE

## LA LEZIONE

### Introduzione

Le galassie sono sistemi formati da un gran numero di stelle e, in generale, da nubi di gas e di polveri, trattenuti dalla forza di gravità. Nell'Universo, infatti, le stelle tendono a raggrupparsi in sistemi più o meno estesi, a partire da quelli più semplici costituiti da due (sistemi binari) o tre astri (sistemi tripli). Le galassie, a loro volta, sono raggruppate in sistemi di varie dimensioni: sistemi multipli, gruppi, ammassi, superammassi.

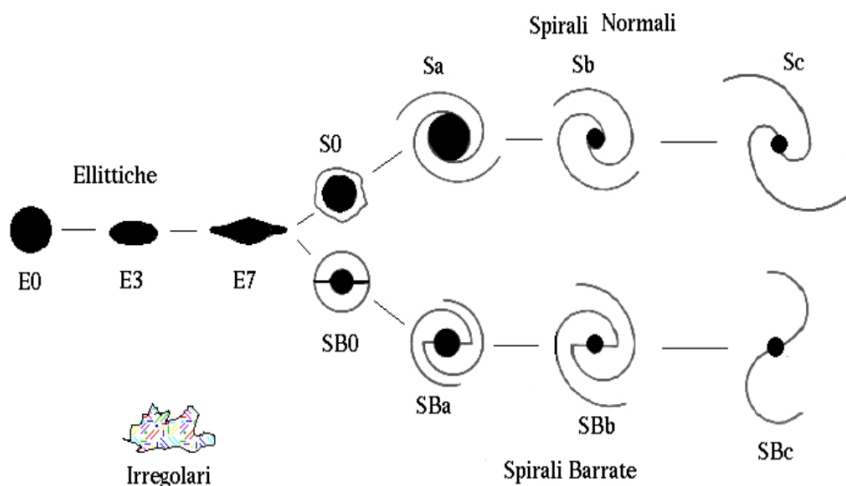
In base alle loro caratteristiche morfologiche, le galassie sono classificate, secondo uno schema originariamente proposto da [Edwin P. Hubble](#), in cinque tipi principali (suddivisi a loro volta in varie sottoclassi): galassie ellittiche, lenticolari, spirali normali, spirali barrate e irregolari.

Le stelle che si osservano a occhio nudo appartengono alla nostra galassia, la [Via Lattea](#). Tra le galassie riconoscibili a vista, le due Nubi di Magellano e la galassia di Andromeda appaiono come banchi di nebbia luminosi.

La luminosità delle centinaia di miliardi di galassie esistenti è dovuta alla moltitudine di stelle presenti in esse, comunque indistinguibili a causa dell'enorme distanza. Le loro dimensioni possono essere molto diverse e dipende anche dal numero di stelle che contengono, molto distanti tra loro all'interno di una stessa galassia (nella Via Lattea le stelle si trovano mediamente alla distanza di 1 parsec l'una dall'altra).

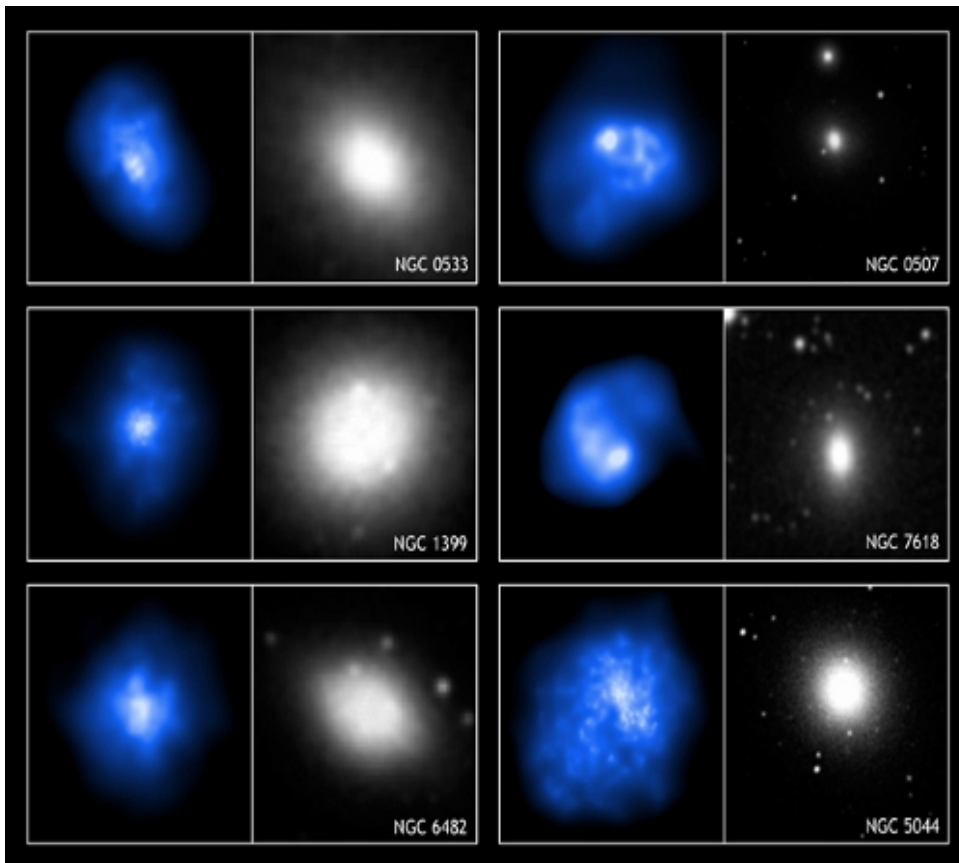
### Classificazione

La classificazione delle galassie si basa sostanzialmente sulle caratteristiche della loro forma. Si distinguono tre tipi di galassie (fig. 1): *ellittiche*, *a spirale* (o *spirali*) e *irregolari*.



*fig.1* Rappresentazione schematica dei diversi tipi e sottotipi di galassie. Le galassie spirali e spirali barrate sono designate rispettivamente con le lettere S e SB seguite da una lettera (a, b, c) a seconda dell'importanza dei bracci: piuttosto stretti, più prominenti e ancora più importanti rispetto al nucleo. Le galassie ellittiche sono indicate con la lettera E seguita da un numero da 0 a 7, che indica il minore o maggiore grado di schiacciamento (le E0 sono le più sferoidali, le E7 le più schiacciate)

Le *galassie ellittiche* (fig. 2) hanno forma sferica o ovoidale e in esse le stelle – generalmente in fase di vita avanzata e all'incirca della stessa età – sono distribuite in modo regolare e omogeneo; non sono invece presenti polveri e gas.



*fig.2 Gruppo di galassie ellittiche riprese dal telescopio spaziale Chandra. Sulla sinistra sono mostrate ai raggi X a fianco le corrispondenti emissioni di gas caldo; sulla destra, nel campo ottico, sono mostrate le corrispondenti emissioni stellari*

Tali galassie appaiono principalmente di colore rosso e la brillantezza superficiale diminuisce rapidamente dal centro ai bordi: alla loro luminosità contribuiscono soprattutto stelle giganti rosse, anche se la maggior parte della massa galattica è costituita da stelle di sequenza principale di piccola massa; quelle più luminose hanno anche un maggiore contenuto di elementi pesanti. La massa di tale tipo di galassie può variare in un intervallo molto ampio, da pochi milioni a decine di migliaia di masse solari.

Le *galassie a spirale* (fig. 3) sono le più diffuse, presentano bracci a spirale e la loro luminosità è massima al centro. Al loro interno è presente una grande quantità di polvere interstellare e stelle di giovane età, localizzate soprattutto nei bracci, mentre quelle più vecchie si trovano generalmente nella zona centrale. La loro massa varia in uno spettro meno ampio rispetto a quello delle galassie ellittiche e presentano colori molto diversi, dal rosso al blu.



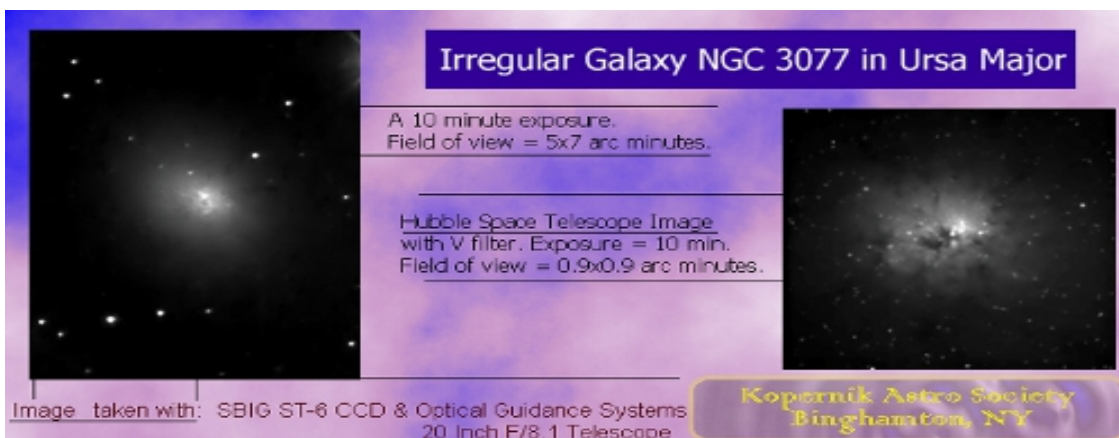
*fig.3 Sei galassie a spirale riprese in infrarosso dal VLT (Very Large Telescope)*

A causa della varietà di forme, tali galassie sono ulteriormente suddivise in sottoclassi.

Le *galassie a spirale normali*, come la Via Lattea, sono costituite da un nucleo leggermente oblato, simile alle galassie ellittiche, e da un disco, articolato in due (o più) braccia a spirale che escono tangenzialmente dal nucleo, da punti all'incirca diametralmente opposti.

Le *galassie spirali barrate* sono caratterizzate da una barra centrale, da cui si staccano le braccia di forma quasi circolare. La transizione fra le galassie ellittiche e le spirali è occupata dalle galassie lenticolari, che non possiedono braccia, ma solo un disco equatoriale che circonda il nucleo ellittico.

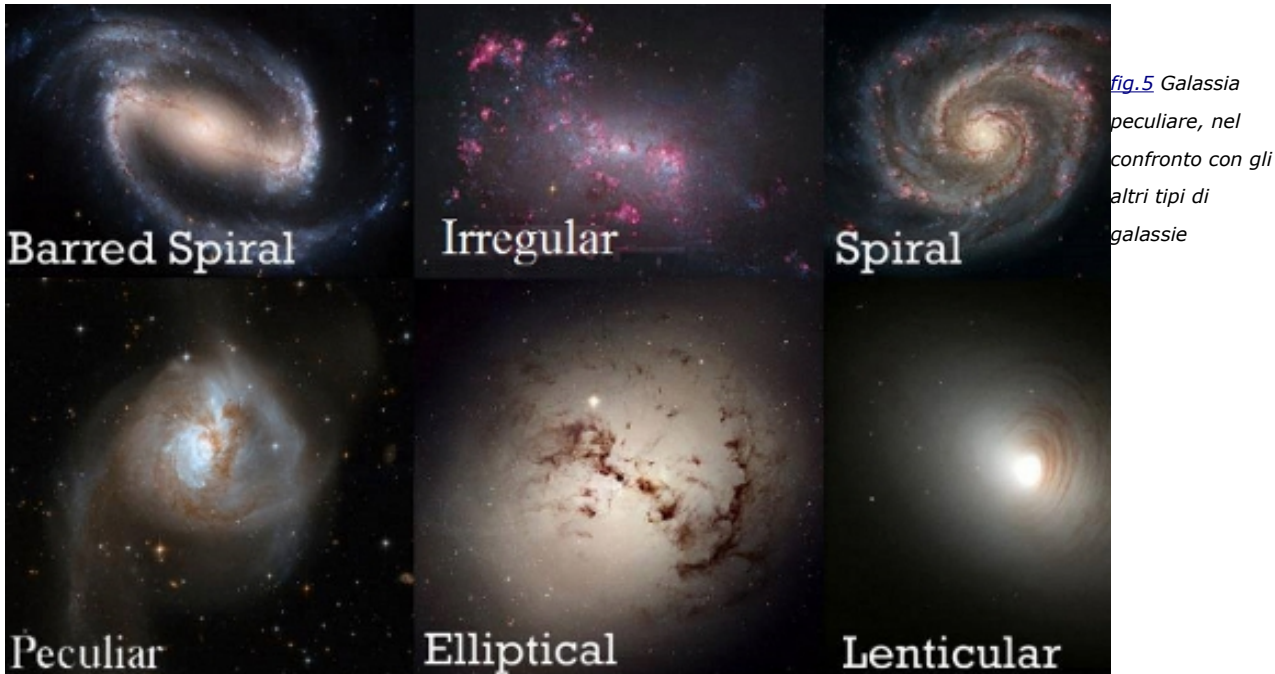
Le *galassie irregolari* (fig. 4) non posseggono una forma geometricamente definita e sono poco frequenti: non hanno nucleo apparente e non sono simmetriche. In alcune di esse, come le Nubi di Magellano, la forma è di una nebulosa allungata. Contengono generalmente stelle molto giovani e polveri e gas in grandi quantità.



*fig.4 La galassia irregolare NGC 3077 ripresa dalla Terra (a sinistra) e dal telescopio spaziale Hubble (a destra)*

Le galassie a *spirale* e quelle *irregolari* sono formate sia da stelle cosiddette di popolazione II (ossia povere di metalli) sia di popolazione I (più ricche di metalli).

Le galassie che non rientrano negli schemi della classificazione qui fatta – perché caratterizzate da forme singolari, a volte bizzarre, o perché presentano fenomeni di natura molto violenta – sono dette *peculiari* (fig. 5).



[fig.5](#) Galassia peculiare, nel confronto con gli altri tipi di galassie

### **Distanze e dimensioni**

Le galassie hanno diametri di parecchie decine di migliaia di anni luce, mentre la separazione fra una galassia e l'altra è dell'ordine di milioni di anni luce.

Le galassie fanno parte di gruppi di poche decine di membri, come il Gruppo locale a cui appartiene la Via Lattea, e di *ammassi* che contengono fino a qualche migliaio di membri e si estendono per molti milioni di anni luce.

Gli ammassi a loro volta si raggruppano in *superammassi* ed è difficile stabilire i confini fra un superammasso e un altro.

Le dimensioni delle galassie si calcolano dalle corrispondenti dimensioni angolari, determinate dall'angolo che gli estremi delle galassie sottendono sul piano dell'orizzonte. Per convertire le dimensioni angolari in quelle lineari bisogna poi conoscere la distanza delle galassie, una misura che è soggetta a molte incertezze e che per le galassie più vicine (fino a circa 4 Mpc) si basa sull'osservazione delle stelle variabili di tipo Cefeide che sono contenute in esse e di cui è nota la relazione tra la magnitudine assoluta e il cambiamento periodico della luminosità: la differenza tra la magnitudine apparente osservata e quella assoluta caratteristica della stella fornisce la distanza. Per le galassie più lontane di 4 Mpc la difficoltà di osservare tali stelle variabili rende inutilizzabile tale metodo di valutazione delle distanze. Fino a  $10 \div 20$  Mpc si utilizzano allora come indicatori di distanze le stelle più brillanti delle galassie, prendendo a riferimento il loro splendore rispetto a quello delle analoghe stelle delle galassie di cui si conosce la distanza.

Altri metodi di determinazione delle distanze extragalattiche si basano sulla misura della luminosità di nebulose brillanti.

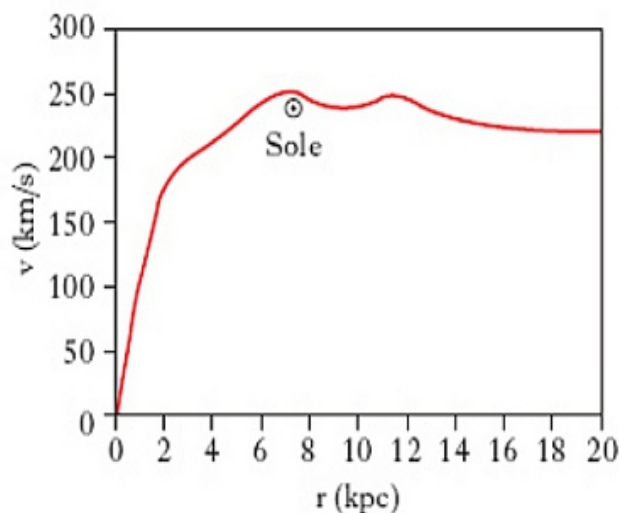
La luminosità delle galassie è legata alla loro struttura: nelle galassie ellittiche, la

*brillanza superficiale* ( $I$ ) diminuisce con la *distanza dal centro* ( $r$ ), seguendo la legge empirica di de Vaucouleurs:  $\log I \propto r^{-1/4}$ : più ci si allontana dal centro, minore è la luminosità superficiale. Si definisce raggio effettivo ( $r_e$ ) della galassia il raggio di un cerchio che include metà del flusso luminoso complessivo proveniente dalla galassia. Valori tipici di  $r_e$ , per le galassie ellittiche, sono  $1 \div 10$  kiloparsec (kpc). Esistono, tuttavia, galassie ellittiche nane, che hanno raggi effettivi notevolmente più piccoli e galassie ellittiche giganti, che raggiungono raggi effettivi di circa 100 kpc e posseggono aloni estesi, la cui brillantezza diminuisce con la distanza più lentamente del normale.

Le dimensioni delle galassie spirali (normali o barrate) presentano una variabilità minore di quelle delle galassie ellittiche: il nucleo di tali galassie ha un raggio tipico di  $1 \div 5$  kpc, mentre il disco ha un raggio dell'ordine di 20 kpc e uno spessore di 1 kpc. Il nucleo e il disco sono circondati da un grande alone sferico. Nel nucleo, la brillantezza diminuisce con la distanza, seguendo la stessa legge di de Vaucouleurs valida per le galassie ellittiche.

## Rotazione

Le galassie, siano esse ellittiche, lenticolari o spirali, ruotano su sé stesse. Ciò è rivelato dall'effetto Doppler: infatti, la rotazione provoca uno spostamento delle righe spettrali verso le lunghezze d'onda più corte sul lembo della galassia che si avvicina all'osservatore e uno spostamento verso le lunghezze d'onda più lunghe sul lembo opposto che si allontana dall'osservatore. Dall'entità dello spostamento Doppler delle righe si risale alla velocità di rotazione. In genere, si cerca di ricavare una *curva di rotazione*, cioè di ottenere la velocità di rotazione al variare della distanza dal centro. Ciò è più facile per le galassie a spirale che per le ellittiche. La fig. 6 mostra la tipica curva di rotazione di una galassia a spirale.



*fig.6* Curva di rotazione di galassia a spirale

Nella zona centrale, la rotazione è quasi rigida, come indicato dall'aumento della velocità con la distanza ( $v$  proporzionale a  $r$ ). Il periodo di rotazione è dell'ordine di 100 milioni di anni. La massima velocità di rotazione (dell'ordine di  $200 \div 300$  km/s) si raggiunge, di solito, a distanze comprese fra 3 e 9 kpc dal centro. A distanze maggiori, la velocità di rotazione diminuisce lievemente e poi, di solito, tende a stabilizzarsi su valori quasi costanti.

## Massa

Esistono vari metodi per stimare le masse delle galassie. Uno dei più usati, per le galassie ellittiche, è basato sull'uso del [teorema del viriale](#), che stabilisce che  $2T+U=0$ , dove T è l'energia cinetica e U l'energia potenziale gravitazionale del sistema.

L'energia cinetica viene espressa come  $T=(1/2)M(\Delta v)^2$ , dove M è la massa della galassia e  $\Delta v$  la dispersione delle velocità delle stelle intorno al loro valore medio ( $\Delta v$  si determina dall'allargamento Doppler delle righe, dovuto appunto al moto casuale delle stelle, alcune delle quali si avvicinano e altre si allontanano dall'osservatore).

L'energia potenziale è dell'ordine di  $U=-GM^2/r_e$  (con G costante di gravitazione universale e  $r_e$  raggio effettivo della galassia). Dalle relazioni precedenti segue che:

$$M=(\Delta v)^2 r_e / G,$$

relazione che fornisce la massa M.

Per le galassie a spirale si possono utilizzare le curve di rotazione. Se si assume che la maggior parte della massa della galassia sia contenuta entro una sfera di raggio R, dalla terza legge di Keplero si ha che  $v(R)^2=GM/R$ , dove  $v(R)$  è la velocità di rotazione alla distanza R dal centro, da cui si ricava M. Vi è tuttavia una difficoltà. Se effettivamente quasi tutta la massa della galassie fosse contenuta entro la sfera di raggio R, la velocità di rotazione, oltre tale distanza, dovrebbe diminuire come  $R^{-1/2}$  (la terza legge di Keplero infatti, implica che, per M costante,  $v^2$  sia inversamente proporzionale a R). Ciò, però, in genere non si verifica (fig. 7), perché, come abbiamo visto, la velocità di rotazione delle galassie a spirale tende, a grandi distanze, a un valore costante.

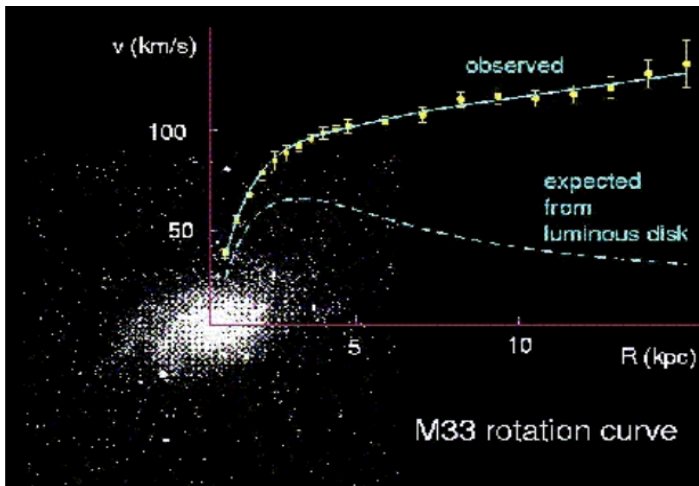


fig.7 Curva di rotazione della galassia M33. Si nota come la velocità delle stelle in funzione della distanza dal centro non diminuisce come ci si aspetterebbe (curva tratteggiata), ma segue l'andamento della curva sperimentale riportata in alto, che presuppone la presenza di materia non visibile (materia oscura)

Questo andamento significa che la massa aumenta proporzionalmente alla distanza: dal momento che la materia visibile nelle regioni esterne delle galassie è assai poca, bisogna pensare che vi sia della materia oscura che sfugge all'osservazione diretta.

Con i metodi precedenti si trova che la massa delle galassie varia da circa  $10^9$  a circa  $10^{11}$  masse solari, passando dalle galassie irregolari (le meno massicce) alle spirali, alle lenticolari e alle ellittiche. Tuttavia, specie le galassie ellittiche presentano un'ampia variabilità: le galassie nane hanno masse di appena  $10^8$  masse solari, mentre quelle giganti possono raggiungere le  $10^{12} \div 10^{13}$  masse solari. D'altra parte, anche le galassie spirali, includendo nella stima la materia oscura, possono superare le  $10^{12}$  masse solari.

Un parametro di grande interesse (anche per la determinazione della densità media della materia nell'Universo) è il rapporto massa-luminosità (M/L) delle galassie.

Misurando sia M sia L in unità solari si trovano valori che oscillano, a seconda del tipo di galassie e del metodo usato per calcolarne la massa, fra circa 10 e oltre 100. Il rapporto M/L, inoltre, tende ad aumentare al crescere della massa (cioè, la luminosità delle galassie non cresce proporzionalmente alla loro massa, ma più lentamente). Valori di M/L nettamente maggiori di 1 indicano, dunque, che una gran parte della massa delle galassie è in uno stato non direttamente osservabile. Scoprire la natura di questa materia oscura o, come anche si dice, risolvere il problema della massa mancante nelle galassie costituisce oggi una delle questioni chiave dell'astronomia extragalattica.

### Galassie attive

Alcune galassie emettono radiazioni in quantità anomale rispetto alle altre, e per tale motivo sono chiamate *galassie attive*. Il centro di attività in tali casi è quasi sempre il nucleo della galassia, che può presentarsi così luminoso da offuscare le altre regioni della galassia. L'emissione energetica potrebbe essere causata dalla presenza, al centro delle galassie, di buchi neri formati dal collasso gravitazionale che segue la morte di stelle di grande massa. Lo studio e la classificazione delle galassie attive ha portato all'introduzione di oggetti celesti particolari, le cui caratteristiche dipendono dalla loro distanza dalla Terra e dalla prospettiva dalla quale vengono osservati.

I *quasar* (oggetti quasi stellari) sono gli oggetti più potenti dell'Universo, i più lontani osservabili al telescopio: si tratta di nuclei di galassie remote situate ai limiti estremi dell'Universo osservabile così brillanti da sembrare stelle ordinarie.

I *blazar* si pensa siano invece galassie attive con getti di gas puntati direttamente verso la Terra, la cui luminosità varia giornalmente.

Le *radiogalassie*, infine, sono i più grandi oggetti dell'Universo, che emettono getti di gas che si estendono per migliaia di anni luce (fig. 8) e dei quali non è possibile osservarne i nuclei.

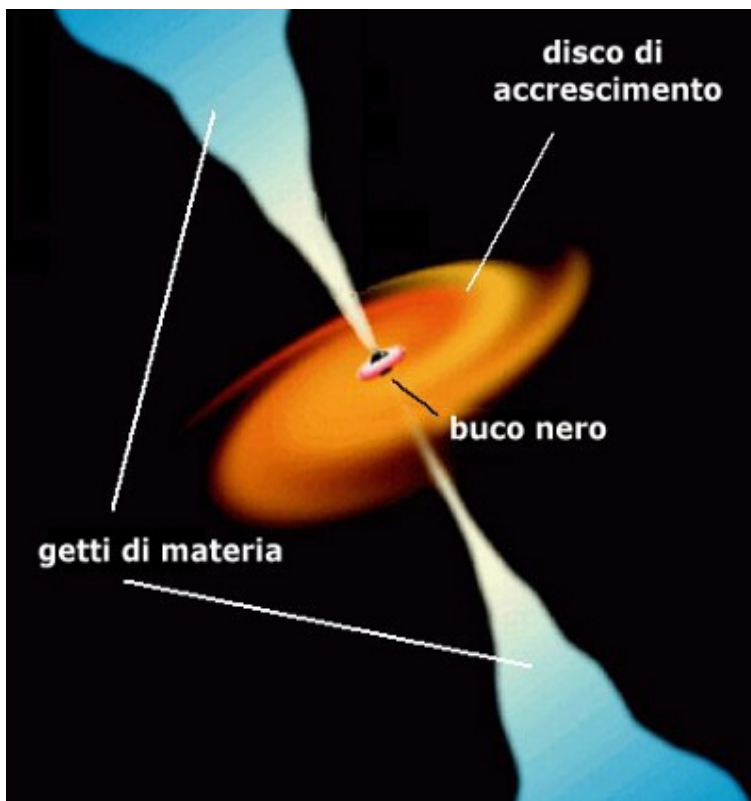


fig.8 Ipotetica semplificata struttura di una radiogalassia

Si ipotizza che le galassie attive siano un'eredità diretta della nascita dell'Universo. Dopo il Big Bang, infatti, tali galassie potrebbero avere trattenuto livelli altamente energetici di radiazioni e i quasar costituirebbero il nucleo di tali tipi di galassie.

## **Origine ed evoluzione**

Vi sono due teorie diverse riguardo all'origine delle galassie e degli ammassi di galassie.

Secondo il primo punto di vista, il collasso gravitazionale della materia primordiale avrebbe dato origine alle galassie e queste, in un'epoca successiva, sempre a causa dell'attrazione gravitazionale, si sarebbero raggruppate formando gli ammassi. Tuttavia, questo modello incontra difficoltà nello spiegare le aggregazioni delle galassie sulle scale più grandi, essenzialmente perché tale processo avrebbe richiesto un tempo più lungo dell'età dell'Universo.

Secondo l'altro punto di vista, oggi più accreditato, si sarebbero invece formate per prime le strutture di maggiori dimensioni e, solo in un secondo tempo, queste si sarebbero frammentate, dando origine alle galassie. Per spiegare la formazione delle galassie entrambe le teorie ipotizzano delle disomogeneità nella distribuzione della materia successiva all'esplosione iniziale che avrebbe dato origine all'Universo. Per quanto riguarda, più specificamente, l'origine dei vari tipi di galassie, si ritiene che ogni galassia evolva rimanendo sempre dello stesso tipo: questo sarebbe fissato dalle condizioni esistenti al momento della sua formazione. I due parametri, che giocherebbero il ruolo principale nel controllare l'evoluzione di una galassie, sarebbero la *massa* e il *momento angolare* della nube di gas, dalla quale essa trae origine. Passando dalle galassie ellittiche alle spirali, diminuirebbe la massa mentre aumenterebbe il momento angolare iniziale. In nubi di grande massa e momento angolare relativamente piccolo, la formazione delle stelle e il conseguente esaurimento del gas diffuso procedono più rapidamente del collasso gravitazionale globale: il sistema, allora, evolve verso una galassie ellittica, che sarà tanto meno schiacciata quanto più rapido è stato l'esaurimento del gas. In nubi di massa minore e velocità rotazionali più elevate, il collasso globale, in direzione polare, procede, invece, più rapidamente del processo di formazione delle singole stelle, sicché la galassie assume la forma di un disco appiattito (galassie a spirale): solo nella zona centrale, dove la formazione di stelle è più rapida, si sviluppa un nucleo simile alle galassie ellittiche. Le galassie lenticolari sarebbero strutture di massa e momento angolare intermedi, in cui il gas si è esaurito proprio nel momento in cui il disco cominciava a formarsi.

Negli ultimi cinquant'anni la conoscenza della collocazione delle galassie nel Cosmo ha subito una profonda rivoluzione. Si è passati, infatti, da una rappresentazione nella quale tutte le galassie apparivano appiattite sulla sfera celeste (una superficie convenzionale a grandissima distanza dalla Terra) a una vera e propria mappa tridimensionale con la quale si rappresenta precisamente la posizione nello spazio di milioni di galassie. Questo progresso è stato possibile grazie allo sviluppo di apparati di misura innovativi (in grado di misurare velocemente la distribuzione della luce alle diverse lunghezze d'onda per un grande numero di galassie anche molto lontane), ma anche grazie alla comprensione del fenomeno dell'espansione dell'Universo.