

L'universo tascabile



La nascita e la vita delle galassie



Marina Trevisan
Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Brasile

Nel modello proposto da Olin Eggen, Donald Lynden-Bell e Allan Sandage nel 1962, le galassie si formarono dal collasso di una



nube di gas gigante circa 10 miliardi di anni fa. Le frecce nella figura indicano la direzione del movimento del gas. Oggi sappiamo che il processo di formazione delle galassie è anche molto più complesso di quanto suggerito da questo modello.

Materia barionica (4%)



Nel 1933, Fritz Zwicky misurò le velocità delle galassie in un massiccio ammasso, e l'alta dispersione nelle velocità lo portò a dedurre che la massa dell'ammasso è dominata da invisibile materia oscura. Nel 1998, due

gruppi di ricercatori hanno scoperto che l'Universo si sta espandendo ad un ritmo accelerato. Poiché non conosciamo la natura dell'energia che causa questa accelerazione, l'abbiamo chiamata energia oscura. 2

Un universo di galassie

Nel 1924, Edwin Hubble dimostrò che le nebulose a spirale osservate erano, in effetti, altre galassie simili alla nostra Via Lattea*. Passarono circa 30 anni prima che apparissero i primi modelli per spiegare la formazione di questi oggetti. Pertanto, le nostre conoscenze su questo argomento sono molto recenti. L'attuale teoria per la formazione e l'evoluzione delle galassie è costruita nel quadro cosmologico della materia oscura fredda Lambda. In questo contesto, l'Universo contiene tre componenti principali: circa il 26% è materia oscura fredda, il 70% è energia oscura, e solo il 4% è materia normale che conosciamo (indicata come materia barionica). La proporzione tra questi componenti determina come si formano e si evolvono le strutture nell'Universo. Tuttavia, fino ad ora, non sappiamo quali siano queste componenti oscure.



Collasso e formazione degli aloni



Il gas a rotazione lenta si raffredda e forma le stelle

Il gas in rapida rotazione si raffredda e forma le stelle



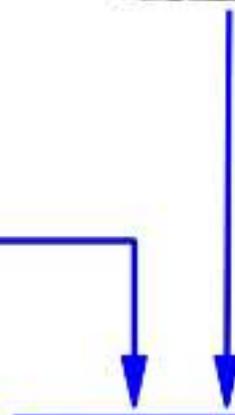
Incontro con altre galassie



Galassia ellittica



galassia a spirale (Spiral galaxy)



*modo più comune e violento per distruggere i dischi delle galassie e trasformarli in sferoidi.

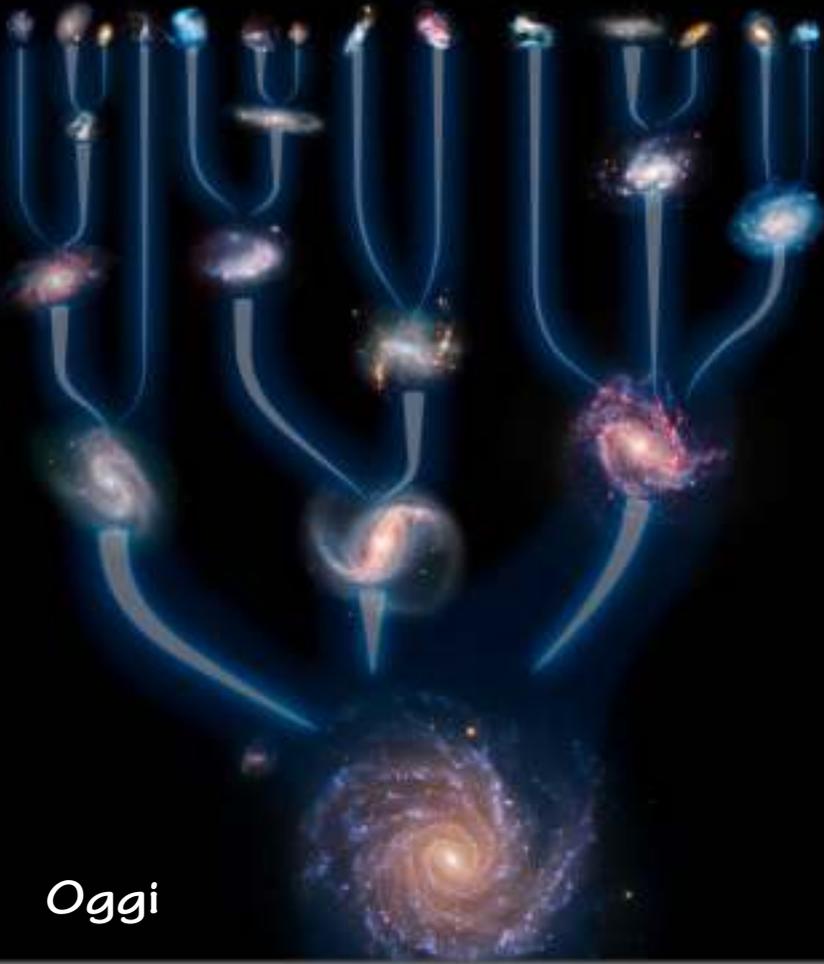
Da piccole fluttuazioni di densità

Qualsiasi teoria sulla formazione ed evoluzione delle galassie ha il difficile compito di spiegare cosa, quando e come si verificano diversi processi fisici per formare i diversi tipi di galassie che osserviamo oggi. Sappiamo che la sequenza di Hubble* non è una sequenza evolutiva. Il diagramma nella pagina accanto illustra i percorsi che possono portare alla formazione di galassie ellittiche e a spirale. Tutto inizia con piccole **fluttuazioni di densità** nell'Universo molto, molto giovane. Mentre l'Universo si espande**, l'ampiezza di queste fluttuazioni diventa sempre più grande. Alla fine, la **gravità vince** e l'alone di materia oscura collassa. Il gas caldo è attratto da questi aloni e si raffredda, formando le stelle. Se il risultato sarà una galassia ellittica o a spirale dipenderà da quanta rotazione e gas ha l'alone e se si verificano o meno fusioni con altre galassie. 5

Vedi TUIMP 3

Vedi TUIMP 12

in passato



Oggi

Crediti: ESO/L. Calçada

Nel modello gerarchico di formazione delle galassie, le galassie più piccole si formano per prime e si fondono per formare galassie sempre più grandi. L'albero delle fusioni mostrato in figura illustra questo processo. I modelli indicano che più grande è la galassia, maggiore è la frazione di stelle acquisite attraverso fusioni con sistemi più piccoli. 6

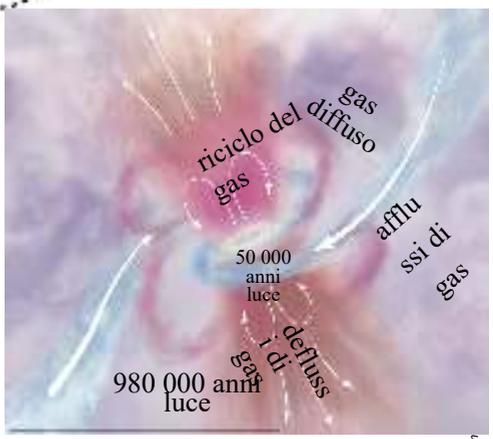
L'universo gerarchico

Nel modello cosmologico che descrive il nostro Universo, le fluttuazioni di densità iniziali hanno ampiezze maggiori su scale più piccole. Ciò significa che gli aloni di materia oscura più piccoli si formano prima e si fondono, formando aloni sempre più grandi. La storia della formazione di un alone di materia oscura può essere descritta da un **albero di fusione**. Poiché le galassie più piccole si trovano in aloni di materia oscura più piccoli, la formazione delle galassie avviene in **modo gerarchico**. Tuttavia, le osservazioni mostrano che le galassie più piccole hanno formato le loro stelle più tardi rispetto alle galassie massicce. Questo effetto di **ridimensionamento** si verifica perché le galassie massicce hanno raggiunto prima una massa totale critica, che ha impedito un'ulteriore formazione stellare. D'altra parte, le galassie piccole possono formare stelle per un periodo più lungo, portando a storie di formazione stellare estese e a popolazioni stellari più giovani. 7



A sinistra: il ciclo della formazione del gas e delle stelle in una galassia. Finché la galassia ha gas freddo, si possono formare stelle.

A destra: Le galassie possono acquisire gas dai loro dintorni, come la figura illustra. Tuttavia, i meccanismi di feedback possono riscaldare il gas



intorno alla galassia, impedendo l'afflusso di gas, o addirittura espellere il suo gas interno. Sotto: questi meccanismi in azione: esplosioni di supernova che causano flussi di gas in uscita (a sinistra); e l'energia rilasciata dall'AGN* che espelle e riscalda il gas



intorno alla galassia (a destra).



* Vedi TUIMP 6

Trasformare il gas in stelle

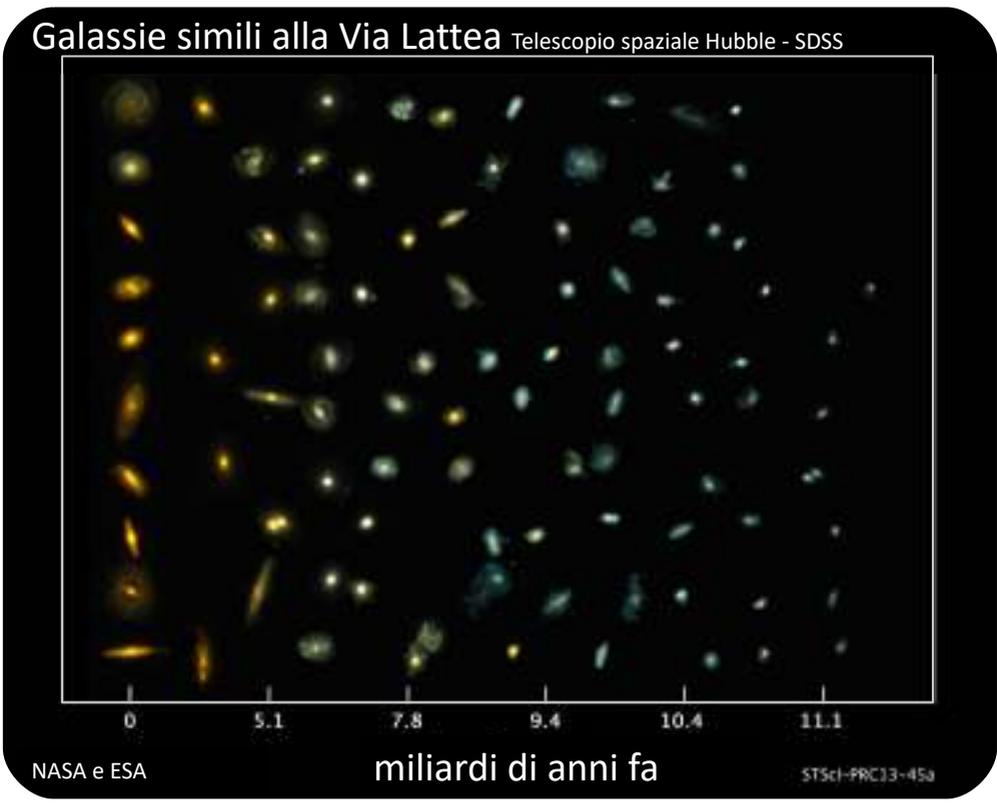
Finché la galassia ha gas e il gas è in grado di raffreddarsi, le stelle possono formarsi. Tuttavia, le esplosioni di supernova rilasciano energia che può riscaldare ed espellere gas da una galassia. Se la galassia è piccola, la gravità è troppo debole per impedire al gas di fuoriuscire, e questo processo di **feedback di supernova** sopprimerà la formazione di stelle. Nelle galassie più grandi, il **feedback dei nuclei galattici attivi* (AGN)** ha un impatto maggiore sul suo ciclo di formazione stellare. In un AGN, il buco nero supermassiccio centrale della galassia, da milioni a miliardi di volte più massiccio del Sole, inghiotte la materia e rilascia un'enorme quantità di energia che riscalda il gas circostante. Gli studi dimostrano che le proprietà delle galassie dipendono dalla massa del loro buco nero centrale, indicando che il feedback di questi mostri gioca un ruolo fondamentale nell'evoluzione delle galassie.

A destra: La luce ha una velocità. Finita. Così, più la galassia è lontana più tempo la luce che emette impiega a raggiungerci



- cioè la vediamo nel passato.

Figura sotto: osservazioni di galassie molto lontane che mostrano com'erano molto tempo fa.



10

Osservare il passato

La luce viaggia a una velocità di 300.000 chilometri al secondo, che è alta, ma un valore finito. La conseguenza è che le osservazioni profonde del cielo **ci aprono una finestra sul passato**. Con i telescopi spaziali, possiamo osservare galassie così lontane che la luce da esse emessa ha viaggiato nello spazio per circa 13 miliardi di anni prima di raggiungerci. Noi, quindi, vediamo queste galassie com'erano 13 miliardi di anni fa! In passato, erano più irregolari, avevano più gas e formavano stelle a un ritmo molto più elevato delle galassie di oggi. Il telescopio spaziale Hubble ha portato alla luce immagini incredibilmente nitide delle galassie, permettendoci di scoprire molti aspetti dell'evoluzione delle prime galassie. Il prossimo **telescopio spaziale James Webb** sarà in grado di ottenere immagini così fini delle galassie a distanze molto maggiori, permettendoci di osservare le prime galassie!

Galassie in simulazioni



Galassie osservate (Sloan Digital Sky Survey)

Confronto tra osservazioni reali e immagini di galassie create da simulazioni eseguite sui supercomputer del progetto Illustris-TNG.

Figura sopra: diversi tipi morfologici.

Figura sotto: evoluzione di una galassia simulata confrontata con galassie osservate di età simile.

Evoluzione di una galassia simulata

Galassie osservate (telescopio spaziale Hubble)

12

11

10

8

oggi

miliardi di anni fa

12

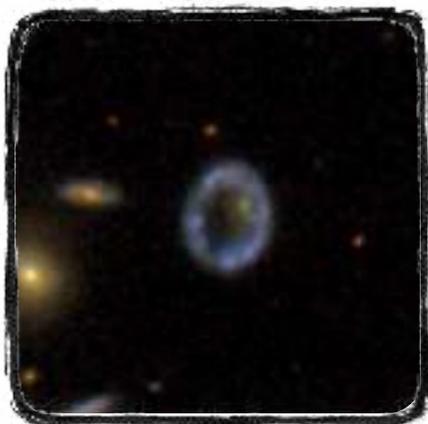
Creare galassie

Negli ultimi decenni, le **simulazioni cosmologiche** eseguite su supercomputer ci hanno aiutato a capire come si sono formate ed evolute le galassie. Le immagini nell'altra pagina mostrano i risultati di una delle più grandi simulazioni mai realizzate fino ad oggi. Queste simulazioni descrivono più di 13 miliardi di anni di evoluzione cosmica di un volume contenente decine di migliaia di galassie. Includono gas, stelle, materia oscura, energia oscura e diversi processi fisici come l'evoluzione stellare, l'arricchimento chimico e i meccanismi di feedback. Nonostante l'immensa complessità, possiamo vedere che le simulazioni riproducono incredibilmente bene le proprietà delle galassie reali! Queste simulazioni sono così complesse che, se fosse possibile eseguirle su un computer ordinario, impiegherebbero da centinaia a migliaia di anni per essere completate!



Quiz

Puoi identificare quali di queste immagini sono state create da simulazioni e quali sono osservazioni reali?



Risposte sul retro



Simulazione



Osservazione

Risposte

Le immagini simulate
immagini provengono
da progetto Illustris;
le osservazioni
provengono dallo
Sloan Digital Sky
Survey. È difficile
distinguere l'una dall'altra,
vero?



Simulazione



Simulazione



Osservazione

L'universo tascabile n. 23

Questo libretto è stato scritto nel 2021 da Marina Trevisan della Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Brasile) e rivisto da Allan Schnorr Müller (UFRGS, Brasile) e da Gary Mamon (Institut d'Astrophysique de Paris, Francia).

Immagine di copertina: galassia a spirale oggi, 4 miliardi e 111 miliardi di anni fa.
Credito: NASA, ESA.



Per saperne di più su questa serie e sugli argomenti presentati in questo opuscolo, visitate <http://www.tuimp.org>

Trad: Marcello Fulchignoni
TUIMP Creative Commons

