

# Cosmologia Semplice: La Cosmologia Classica

Stefano Spagocci

GACB



# Introduzione

- Come attestano l'archeoastronomia e la storia dell'astronomia, fin dalla preistoria l'uomo si è posto in rapporto col Cosmo e si è posto domande sulle sue leggi e la sua origine. Le risposte erano però religiose e filosofiche, almeno fino ai primi decenni del secolo scorso.
- A partire del Rinascimento, però, gli studi di meccanica e cosmografia (anticipati, in maniera meno sistematica, da autori greci come Aristarco) pongono le basi della cosmologia moderna.



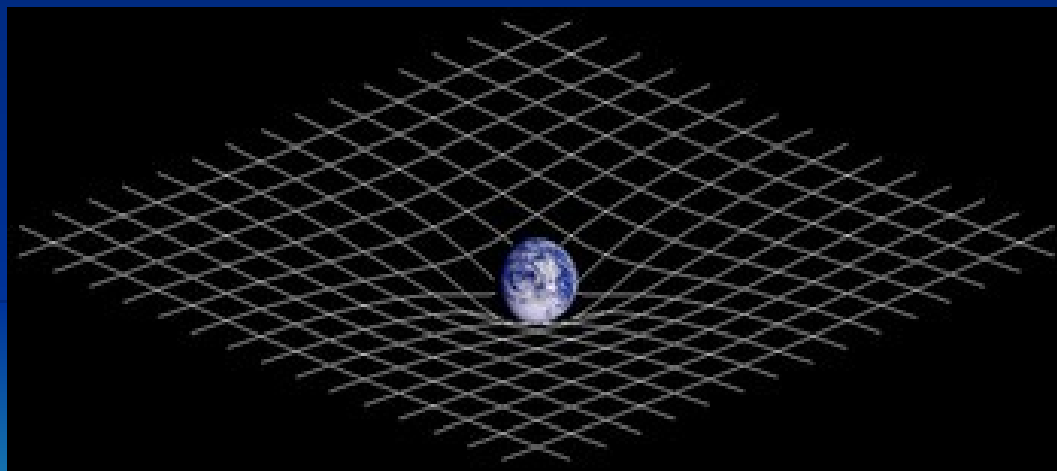
# Prima di Hubble

- XVI secolo: Copernico (utilizzando gli studi sperimentali di Brahe, poi interpretati da Keplero) propone il modello eliocentrico. Il Sole, e non la Terra, è al centro dell'Universo.
- XVII secolo: Newton (anticipato, in maniera meno sistematica, da Galileo) crea la meccanica moderna e la teoria della gravitazione universale. E' così possibile giustificare matematicamente il moto dei pianeti.
- XVIII secolo: il filosofo Kant prevede l'esistenza di universi isola (le attuali galassie) ed Herschel delinea per primo la struttura della Via Lattea.



# La Relatività Generale

- Pubblicata da Einstein nel 1915, prevede che lo spazio-tempo sia paragonabile a un telo elastico.
- Ad esempio, il Sole “forma una depressione nel telo e un pianeta orbita attorno al Sole, in quanto cade nella buca formata dal Sole”.



# Primi Modelli Cosmologici

- Einstein, usando la sua relatività generale, propone il primo modello cosmologico moderno (1917). Tuttavia, riesce a concepire solo un Universo statico.
- Per giustificare questo pregiudizio, introduce la famosa costante cosmologica, una sorta di antigravità che compensa la gravità e permette quindi all'Universo di rimanere statico.
- Il russo Friedmann (1922) e il sacerdote belga Lemaitre (1927), elaborano un modello relativistico di Universo in espansione.



# Il Modello di Friedmann/Lemaitre

- Il modello di Friedmann/Lemaitre fa uso delle complicate equazioni della relatività generale: tuttavia, le equazioni derivanti sono le stesse che deriverebbero dalla gravitazione newtoniana.
- Possiamo dunque usare la teoria della gravitazione newtoniana e paragonare l'Universo a un sasso lanciato in aria. Se la velocità del sasso fosse superiore alla velocità di fuga, il sasso sfuggirebbe nello spazio. Se la velocità fosse inferiore a quella di fuga, ricadrebbe a terra.

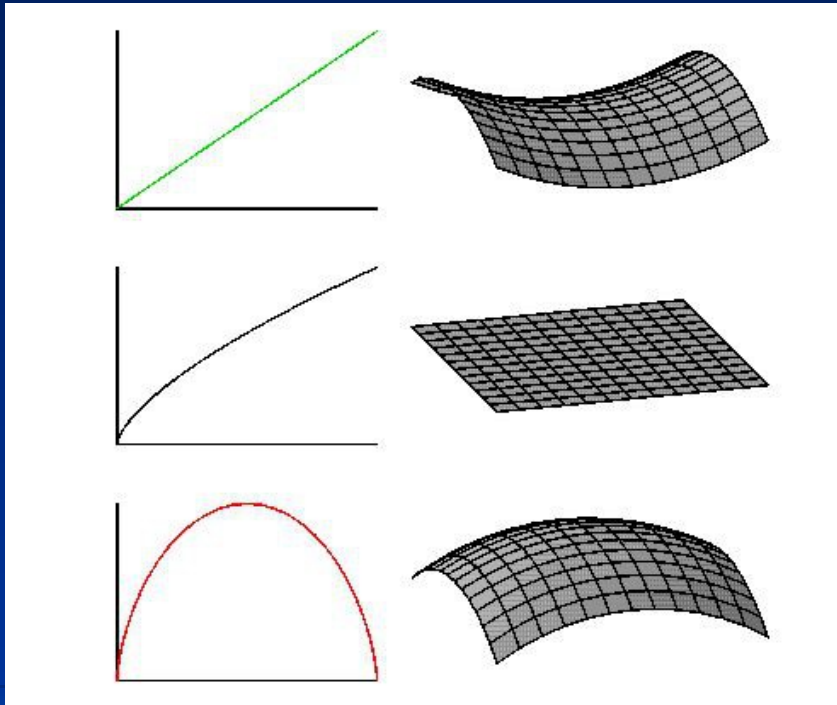


# Il Modello di Friedmann/Lemaitre

- Analogamente, se la densità dell'Universo è inferiore o pari alla cosiddetta densità critica (circa 10 atomi di idrogeno per metro cubo), allora esso, se originato da una “esplosione” (il Big Bang), si espanderà all'infinito.
- Se la densità dell'Universo è superiore a quella critica esso, a un certo punto, invertirà l'espansione e comincerà a contrarsi, finendo “schiacciato” nel Big Crunch.



# Il Modello di Friedmann/Lemaitre



- Con la densità media variano non solo il destino dell'Universo ma anche la sua curvatura.
- Densità minore della critica: Universo aperto e paragonabile a una sella.
- Densità pari alla critica: Universo aperto e piatto.
- Densità maggiore della critica: Universo chiuso e paragonabile a una sfera.



# Distanze Galattiche

- Nel 1912, la statunitense Leavitt scoprì che le stelle variabili cefeidi hanno un periodo di variazione luminosa che è legato da una semplice relazione matematica all'energia che tali stelle emettono in un secondo (legata alla luminosità assoluta).
- Se di una cefeide si determina il periodo, è quindi possibile calcolarne la luminosità assoluta. Ma una stella di data luminosità assoluta può avere luminosità apparente diversa, a seconda della sua distanza dalla Terra.



# Distanze Galattiche

- Se, quindi, osserviamo una cefeide in una galassia, possiamo determinarne il periodo (quindi la luminosità assoluta) e la luminosità apparente.
- Noto quanta energia la cefeide emette in un secondo (luminosità assoluta) e quanto appare luminosa (luminosità apparente), con un facile calcolo si può determinare la distanza della cefeide e, dunque, della galassia.



# Distanze Galattiche

- D'altra parte, è ben noto l'effetto Doppler: un'onda, emessa da un corpo che si allontana, è stirata, emessa da un corpo che si avvicina, è compressa.
- Ciò vale per le onde sonore (esempio dell'ambulanza che si avvicina e poi si allontana) ma anche per le onde elettromagnetiche (dunque anche per la luce).
- Una galassia esibisce una serie di righe spettrali a date lunghezze d'onda (indicative degli elementi che la compongono): se la galassia si allontana, le righe spettrali saranno spostate verso il rosso, rispetto alle righe spettrali degli stessi elementi (viste a terra).



# Distanze Galattiche

- Lo statunitense Hubble, nel 1924, determinò così la distanza della Nebulosa di Andromeda e scoprì che non poteva appartenere alla Via Lattea.
- Si confermò così che la Via Lattea è solo una delle centinaia di miliardi di galassie nel Cosmo, confermando le geniali intuizioni di Kant.

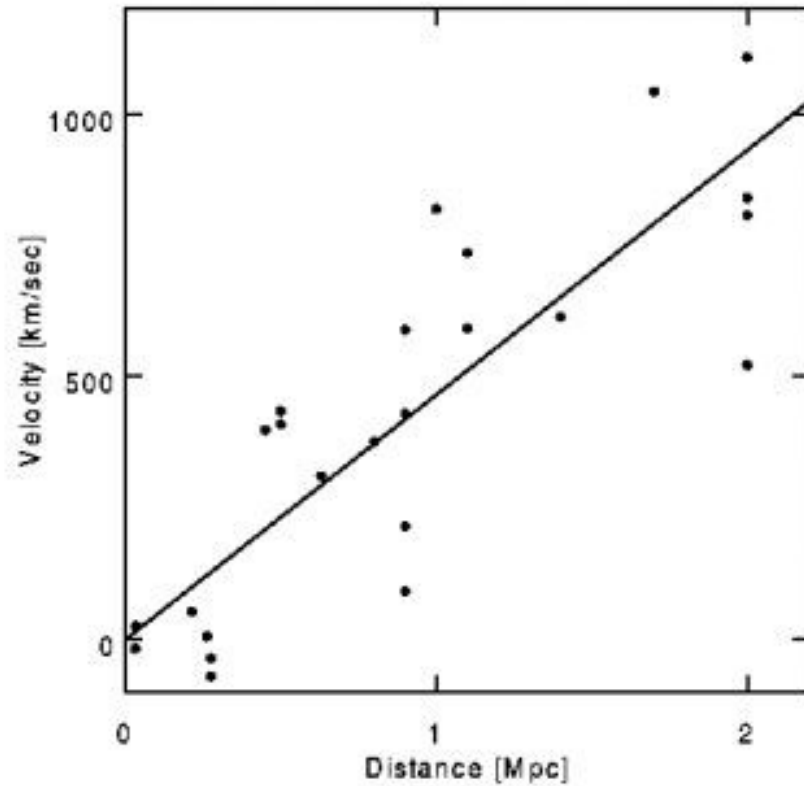


# La Legge di Hubble

- Le scoperte della Leavitt, e l'effetto Doppler, consentirono ad Hubble (1929) di determinare la distanza e velocità di diverse galassie, nelle quali erano visibili cefeidi.
- Hubble scoprì la legge che oggi porta il suo nome: le galassie si allontanano con una velocità proporzionale alla loro distanza.
- Ma se tutte le galassie si allontanano, è logico pensare che, in un dato momento, la materia che le forma fosse concentrata in uno spazio molto ristretto (teoricamente, un punto).



# La Legge di Hubble



# La Legge di Hubble

- Possiamo quindi supporre che l'Universo abbia avuto origine da una “esplosione”, il Big Bang, in conseguenza della quale tutte le galassie si allontanano tra di loro (e quindi dalla Terra), secondo la legge di Hubble.
- In realtà, non si tratta di un'esplosione in uno spazio preesistente, quanto di una dilatazione dello spazio stesso, prevista dal modello di Friedmann/Lemaitre.
- Dal grafico di Hubble si può ricavare, “proiettando il film all'indietro”, l'epoca del Big Bang.
- Con i dati disponibili fino agli anni '90, si poteva solo affermare che l'età dell'Universo fosse compresa tra 10 e 20 miliardi di anni (e non si sapeva se fosse aperto o chiuso).



# Lo Stato Stazionario

- Il Big Bang ebbe, per molti anni, un rivale nella teoria dello stato stazionario, dell'inglese Hoyle, secondo cui l'Universo si espande ma il vuoto creato dall'espansione è colmato dalla creazione di nuova materia, a spese dell'energia gravitazionale.
- La teoria dello stato stazionario non giustifica però la radiazione di fondo a 3 K (di cui parleremo) e fu quindi abbandonata dopo la scoperta della radiazione di fondo.





# Il Big Bang Caldo

- Grazie agli statunitensi Alpher, Bethe e Gamow, dal 1948 si sviluppò la teoria del Big Bang caldo.
- Tale teoria (i cui calcoli sono sorprendentemente semplici) determina quali particelle elementari, poi nuclei, fossero presenti a vari tempi dopo il Big Bang.
- Dobbiamo immaginare l'Universo primordiale come una “nube” di particelle elementari, poi di idrogeno ed elio che, per gravità, si strutturò in ammassi di galassie.
- Uno dei maggiori successi del Big Bang caldo è la previsione dell'abbondanza degli elementi nell'Universo (circa 75% idrogeno, 24% elio, 1% del resto).



# Cronistoria del Big Bang

- Fino a  $10^{-43}$  s, tutte le forze sono unificate e forse regna la teoria delle stringhe.
- Dai  $10^{-43}$  s ai  $10^{-35}$  s, le forze nucleari forti ed elettromagnetiche rimangono unificate.
- Dai  $10^{-35}$  s ai  $10^{-10}$  s, le forze nucleari deboli ed elettromagnetiche rimangono unificate.
- Dopo 3 min, possono esistere i nuclei atomici.
- Dopo 360000 anni, possono esistere gli atomi, la radiazione si disaccoppia dalla materia e ha origine la radiazione a 3 K.



# La Radiazione a 3 K

- Gli statunitensi Penzias e Wilson, nel 1964, scoprirono per caso che l'Universo è permeato di radiazione a microonde che corrisponde all'emissione che avrebbe un corpo alla temperatura di circa 3 gradi Kelvin (pari a circa -270 gradi Celsius).
- Tale radiazione è un residuo dell'epoca in cui, circa 360000 anni dopo il Big Bang, protoni, neutroni ed elettroni si riunirono in atomi e i fotoni furono liberi di diffondersi.



# La Radiazione a 3 K

- A causa dell'espansione dell'Universo, la radiazione di fondo si “stirò”, aumentando la lunghezza d'onda di un fattore di circa 1000 e oggi appartiene alle microonde.
- Sintonizzandoci su un canale non occupato della radio, circa l'1% del rumore di fondo è dovuto alla radiazione a 3 K.
- La scoperta della radiazione a 3 K fu il trionfo della teoria del Big Bang.



# Conclusioni

- La cosmologia classica, impiegando le equazioni della relatività generale, è riuscita a fornirci un quadro attendibile della nascita ed evoluzione dell'Universo.
- Tuttavia, molti dettagli rimanevano da definire e, soprattutto, non vi era alcun meccanismo che giustificasse il Big Bang.
- Da queste domande e problemi nacquero i successivi sviluppi della cosmologia moderna (cosmologia quantistica, studio della radiazione cosmica di fondo).

