

# Cosmologia Semplice: La Cosmologia Moderna

Stefano Spagocci

GACB



# Cosmologia Classica

- Agli inizi degli anni '70, la cosmologia classica aveva ottenuto diversi successi teorici e sperimentali.
- Friedmann e Lemaitre avevano sviluppato modelli relativistici di Universo in espansione, secondo i quali il destino dell'Universo dipende dalla sua densità.
- Per densità inferiori a quella critica (circa 10 atomi di idrogeno al  $m^3$ ), l'Universo si espanderà per sempre. Per densità superiori, tornerà a contrarsi.



# Cosmologia Classica

- Hubble aveva scoperto che le galassie si allontanano da noi (e da ogni altra galassia) con velocità proporzionale alla distanza da noi (e da ogni altra galassia).
- Se ne deduceva che l'Universo avesse avuto origine dal Big Bang, in un tempo compreso tra 10 e 20 miliardi di anni fa (presumibilmente 15).
- Non si sapeva se l'Universo fosse aperto o chiuso, ma si sospettava fortemente che fosse aperto.



# Cosmologia Quantistica

- La più ovvia domanda che la teoria del Big Bang pone è quale sia stata la causa del Big Bang stesso (si intende causa fisica, altra cosa è chiedersi chi abbia ispirato le leggi fisiche).
- Sorprendentemente, lo statunitense Tryon (1973) dimostrò che l'Universo può legittimamente scaturire dal nulla, secondo le leggi della meccanica quantistica!



# Cosmologia Quantistica

- In particolare, il principio di indeterminazione di Heisenberg stabilisce che una particella (o grumo di materia/energia) può apparire dal nulla, purchè esista per un tempo brevissimo (inversamente proporzionale alla sua massa/energia).
- Se poi la massa/energia del grumo fosse pari a zero, il grumo potrebbe esistere per un tempo infinito, quindi divenire reale!



# Cosmologia Quantistica

- Un mini-Universo sferico può avere energia complessiva nulla, quindi può essere creato dal nulla in maniera perfettamente legittima!
- Vedremo che l'Universo è oggi piatto ma l'inflazione, innescatasi dopo il Big Bang, può rendere l'Universo piatto in una infinitesima frazione di secondo!



# Problemi col Big Bang

- L'Universo, in media, ha la stessa densità in ogni punto e direzione.
- Perciò il gas primordiale doveva essere altrettanto omogeneo, ma le particelle elementari che lo componevano non avevano il tempo di collidere e uniformare la densità, perchè l'espansione cosmica era troppo rapida.



# Problemi col Big Bang

- L'Universo deve essere piatto (densità pari a quella critica). Infatti, se la sua densità al Big Bang fosse stata anche di pochissimo diversa da quella critica, oggi sarebbe defunto per diluizione o per contrazione (Big Crunch).
- La teoria del Big Bang caldo prevede la formazione di oggetti come i monopoli magnetici (una sorta di “calamite” subatomiche a un solo polo), mai osservati sperimentalmente.



# Teoria dell'Inflazione

- Questi problemi furono risolti dalla teoria dell'inflazione, sviluppata dal 1980 dallo statunitense Guth (indipendentemente e in forma diversa, dal russo Linde).
- Secondo la teoria dell'inflazione, l'Universo (nei suoi primi istanti) passò da uno stato di vuoto quantistico a una certa energia a uno stato di vuoto quantistico a energia minore (a causa di fluttuazioni quantistiche).



# Teoria dell'Inflazione

- Il salto di energia si tradusse nell'energia di espansione dell'Universo e nella formazione di materia, con una dilatazione esponenziale delle sue dimensioni.
- L'Universo, inizialmente, si espandeva a velocità tanto lenta da permettere l'uniformizzazione del gas primordiale. L'inflazione lo portò poi ad avere dimensioni compatibili con quelle attuali.



# Teoria dell'Inflazione

- Una piccola area di un palloncino, quando il palloncino è gonfiato, diventa praticamente piatta. Analogamente, l'inflazione rese l'Universo piatto.
- La grande espansione dell'Universo, dovuta all'inflazione, diluì drasticamente la densità di oggetti come i monopoli magnetici, al punto da renderne estremamente improbabile l'osservazione.



# Energia Oscura

- Attorno alla fine del '900, la costruzione di diagrammi di Hubble più precisi (da parte dello statunitense Perlmutter e molti altri), portò alla determinazione della velocità di espansione dell'Universo, a vari tempi dopo il Big Bang.
- Si scoprì che l'Universo non solo è piatto e si diluirà indefinitamente, ma sta addirittura accelerando la propria espansione!



# Energia Oscura

- Per spiegare l'accelerazione, è stata riesumata la costante cosmologica di Einstein (una sorta di gravità repulsiva). In realtà, non si sa da dove provenga tale energia oscura (deriverebbe dalla presenza di campi quantistici, ma i conti non tornano per nulla).
- L'Universo consiste di: 5% materia ordinaria, 27% materia oscura, 68% energia oscura!
- Età dell'Universo: 13.8 miliardi di anni!



# La Radiazione di Fondo

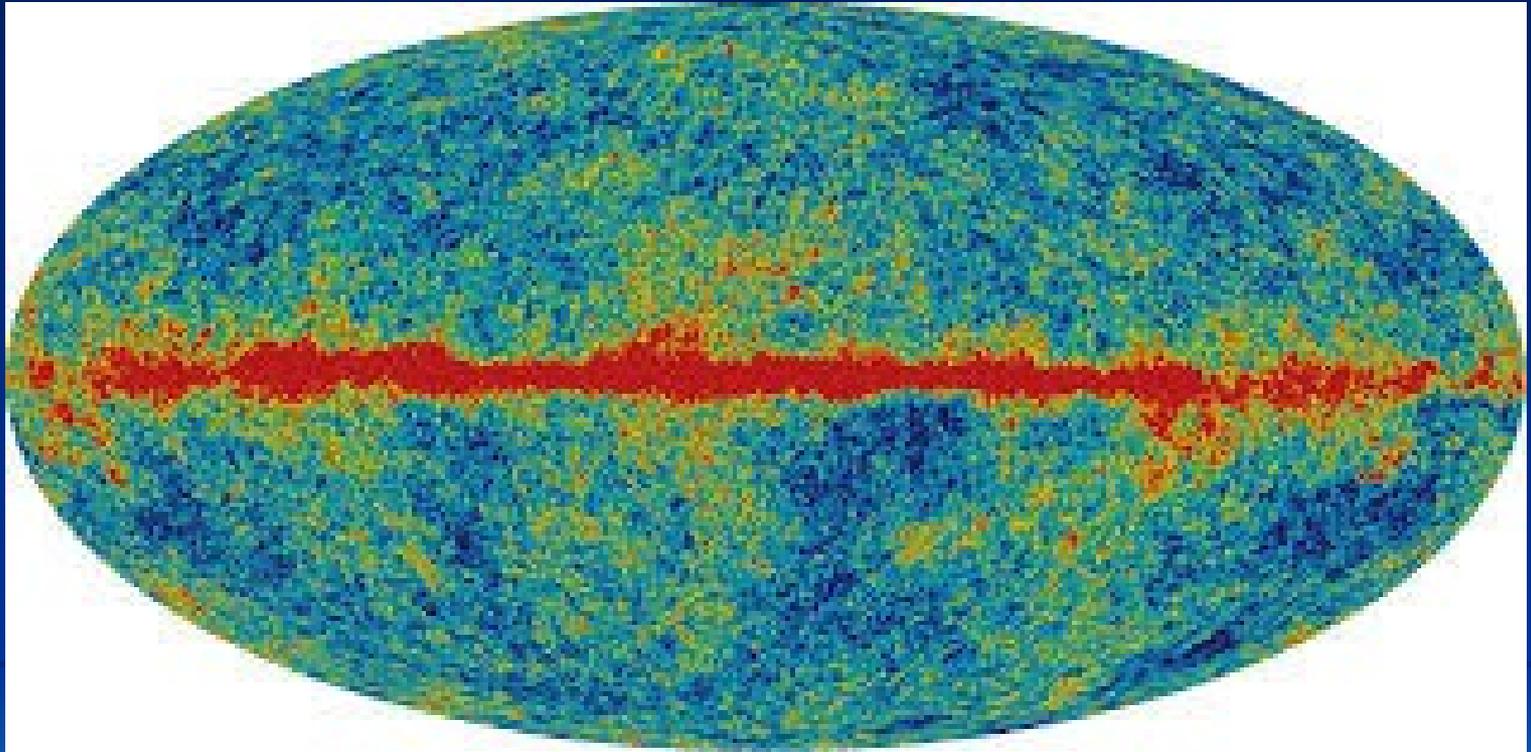
- Dai primi anni '90, è iniziato lo studio di dettaglio della radiazione di fondo a 3K (satelliti COBE, WMAP, Planck, esperimenti da pallone come MAXIMA e BOOMERANG).
- Si è trovato che la radiazione di fondo è uniforme entro una parte su centomila!
- Quelle piccole fluttuazioni di densità sono state i semi per la formazione di galassie, stelle e pianeti!



# La Radiazione di Fondo

- Le fluttuazioni sono esattamente quelle previste dalla teoria dell'inflazione, che così ha ricevuto conferma.
- Dalla dimensione media delle macchie calde e fredde della radiazione cosmica di fondo, si è determinato che l'Universo è effettivamente piatto.

# La Radiazione di Fondo



# Il Multiverso

- Molti modelli prevedono che l'inflazione generi universi figli, che a loro volta generano universi nipoti e così via all'infinito.
- Potrebbero quindi esistere infiniti universi, forse con diverse leggi fisiche o quantomeno diverse costanti fisiche!

# Conclusioni

- La cosmologia, da scienza con poche previsioni da verificare e senza grandi prospettive di sviluppo, negli ultimi due decenni si è trasformata in scienza in impetuoso sviluppo e di precisione.
- Ciò non ci deve però far dimenticare che molti problemi sono ancora da risolvere, come è normale nella scienza.