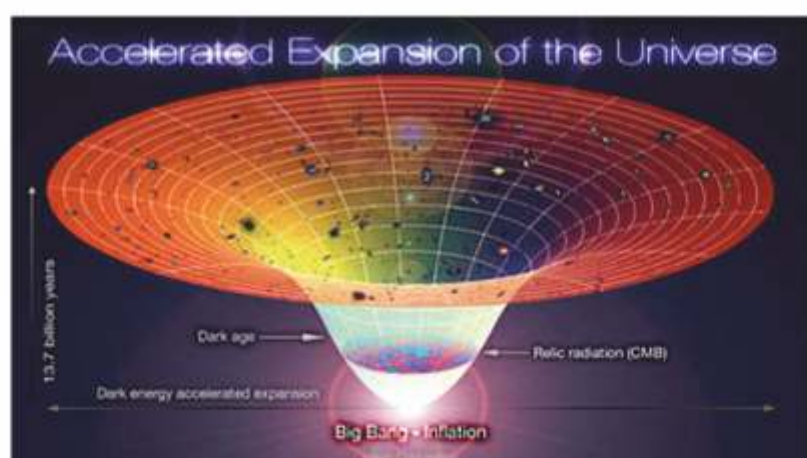


INFLAZIONE COSMICA

a cura di Roberto Perenna



La nascita dell'Universo inflazionario

L'inflazione è una teoria cosmologica proposta da Alexei Starobinski e Alan Guth all'inizio degli anni '80 per risolvere alcuni problemi del modello del Big Bang, e prevede una fase di espansione accelerata dell'Universo nei primi istanti della sua vita.

Il modello accettato dalla comunità scientifica e che è in grado di riprodurre le osservazioni del nostro universo è detto **Modello cosmologico Standard** o **Modello Lambda-CDM**. Questa teoria

prevede che l'Universo sia stato generato a partire da un punto con densità e temperature infinite che, dopo il Big Bang, ha iniziato ad espandersi creando lo spazio-tempo.

Il modello cosmologico standard presenta alcuni problemi fondamentali: l'origine dell'energia oscura, da quali particelle è composta la materia oscura e la scelta delle condizioni iniziali e dei parametri della teoria.

Varie osservazioni astronomiche giustificano l'ipotesi che un periodo di inflazione cosmica abbia avuto luogo nei primi istanti dell'Universo, ma non è chiaro quale modello inflazionario ne sia stato responsabile e se l'inflazione sia veramente l'unico meccanismo possibile per spiegare le osservazioni. L'inflazione cosmica è una fase di espansione quasi esponenziale dell'Universo, proposta per fissare le condizioni iniziali per la successiva cosmologia standard atte a risolvere i seguenti quattro problemi, o paradossi:

1) L'Universo appare spazialmente piatto, assimilabile a un piano (a curvatura zero), invece che una sfera (con curvatura positiva) oppure una sella (a curvatura negativa): gli esperimenti Boomerang, Maxima ed il satellite WMAP, hanno misurato la curvatura dell'universo e trovato che lo spazio è in buona precisione piatto. Non c'è alcuna ragione nella cosmologia standard perché ci troviamo in questo caso particolare, anzi, se si partisse da uno spazio curvo, esso diventerebbe sempre più curvo. L'inflazione fa derivare la zero curvatura dalla grandissima espansione subita dall'Universo, che ha "appiattito" lo spazio quasi dalla nascita.

2) L'Universo è incredibilmente omogeneo su larga scala, anche tra regioni agli antipodi: ad esempio la radiazione di fondo ha la stessa temperatura in una parte per diecimila in qualsiasi direzione la si misuri. Nella cosmologia standard ciò non è spiegato, ma nella teoria inflazionaria possiamo ricondurre tutto l'Universo osservato ad un'unica microscopica regione che era inizialmente omogenea.

3) La struttura su piccola scala, come il sistema solare, la nostra galassia, i cluster di galassie, etc. sembra avere origine da piccole fluttuazioni su questo sfondo omogeneo, che sono state amplificate negli ultimi dieci miliardi di anni dall'attrazione gravitazionale. Senza la presenza di tali fluttuazioni iniziali, l'Universo sarebbe rimasto del tutto omogeneo e non vedremmo tutti gli oggetti astronomici che invece ci appaiono. Nella teoria inflazionaria si riconducono le iniziali piccole disomogeneità a fluttuazioni quantistiche su scala infinitesima, che durante la fase inflazionaria sono state "stirate" fino ad avere la lunghezza d'onda corrispondente oggi alle scale galattiche e intergalattiche.

4) Un'altra osservazione a favore dell'inflazione è di carattere negativo: l'assenza di alcuni tipi di particelle esotiche che vengono predette in modelli delle particelle elementari ad alte energie oltre il Modello Standard, come i monopoli magnetici, o altri difetti topologici, oppure i gravitini. Se, come assunto in cosmologia standard, l'Universo ha avuto inizio in uno stato di densità e temperatura infinite, tale materia esotica dovrebbe essere stata prodotta e ancora presente. Possiamo spiegare perché non osserviamo tali relitti del Big Bang grazie all'espansione inflazionaria, che ha aumentato il volume dell'Universo e quindi diluito fortemente qualsiasi materia preesistente.

L'inflazione è quindi una fase di espansione accelerata dell'Universo che porta ad aumentare la sua dimensione di miliardi di volte in pochi miliardesimi di secondo. Si stima che l'inflazione sia avvenuta circa 10^{-35} s dopo il Big Bang e abbia aumentato il volume dell'Universo di un fattore compreso tra 10^{25} e 10^{30} . Non esiste un unico modello per spiegare l'inflazione ma quasi tutti concordano nell'ipotizzare che questa fase sia "guidata" da un campo scalare ignoto, detto **Inflatone**, simile al bosone di Higgs.

Tutti i modelli concordano sul fatto che l'inflazione avrebbe prodotto una certa quantità di **onde gravitazionali primordiali**, conseguenza della violenta vibrazione dello spazio-tempo durante il rapido processo inflazionario. Queste onde primordiali difficilmente possono essere rilevate direttamente, tuttavia avrebbero lasciato una sorta di "impronta digitale" nella polarizzazione della radiazione cosmica di fondo, che è infatti lievemente polarizzata. Rilevare queste impronte caratteristiche, note come **"modi B"**, costituisce l'obiettivo di alcuni esperimenti che vanno a caccia in modo indiretto delle increspature primordiali dello spazio-tempo (e quindi di una prova decisiva dell'inflazione).

L'esperimento BICEP opera da circa 15 anni in Antartide proprio con questo scopo principale: attraverso tre generazioni di strumenti, ai quali si è aggiunto dal 2011 anche il sistema di cinque telescopi Keck Array, l'esperimento ha accumulato nel corso del tempo una grande quantità di dati. L'analisi delle osservazioni acquisite fino al 2018, combinate con i dati raccolti dagli esperimenti spaziali Planck e WMAP non mostrano evidenze osservative dei "modi B", e dunque delle onde gravitazionali primordiali, tuttavia potranno costituire un nuovo punto di riferimento per discriminare i tanti modelli di inflazione esistenti.

I ricercatori hanno stimato in particolare un nuovo limite superiore per l'ampiezza del contributo dei modi B, associati alla produzione di onde gravitazionali, tale da poter escludere molte classi di modelli inflazionari che prevedono un contributo dei modi B superiore a tale valore limite. Inoltre le osservazioni a diverse frequenze hanno permesso di determinare più distintamente il contributo della polvere interstellare e di altre fonti di 'rumore' che possono impedire di distinguere in modo chiaro i modi B della radiazione di fondo.

Future osservazioni, come quelle attese dal Simons Observatory in Cile, o quelle ancora più in là da venire dell'esperimento CMB-S4 o del satellite JAXA-LiteBIRD, permetteranno di raggiungere la sensibilità e l'accuratezza necessarie a studiare e discriminare fra i modelli di inflazione cosmica.