

# Alan Guth

## Teoria dell'inflazione cosmica, oppositori e sostenitori

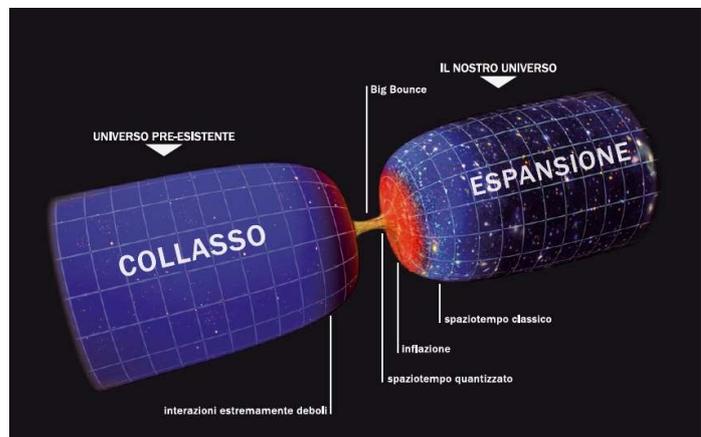
### CHI È ALAN GUTH

Alan Guth, nato il 27 febbraio del 1947, è un **fisico e cosmologo statunitense**. Lo scienziato frequentò le scuole pubbliche in New Jersey. Dopodiché ottenne un bachelor's e un master's degree nel 1969 e un dottorato nel 1972 al MIT (Massachusetts Institute of Technology). All'inizio della sua carriera Alan Guth si occupò della fisica delle particelle ed in particolar modo studiò i quark, cioè particelle elementari che compongono protoni e neutroni. Ma lo studio che lo portò ad essere conosciuto in tutto il mondo fu la formulazione della **teoria dell'inflazione cosmica**, nel 1981.



### CHE COS'È LA TEORIA DELL'INFLAZIONE COSMICA

Oggigiorno la scienza non sembra avere dubbi sul fatto che l'universo sia nato da una grande esplosione detta *Big Bang* (*Grande Scoppio*), ovvero una grande esplosione primordiale dalla quale l'universo si sarebbe formato a partire dall'*istante zero*, cioè uno stato iniziale di altissima densità e temperatura dove tutto lo spazio e tutta la materia erano concentrati in un punto, a cui sarebbe seguita una rapidissima espansione che ha proiettato l'universo su scale cosmiche chiamata **inflazione**. Questo sensazionale fenomeno fu battezzato con il nome di inflazione per analogia con l'inflazione economica, ovvero l'aumento dei prezzi. Inizialmente era un termine scherzoso che poi però divenne di uso comune.



### I PARADOSSI DELLA TEORIA DEL BIG BANG

La teoria del Big Bang ha due paradossi:

- 1) **Problema della curvatura:** ovvero il fatto che l'Universo sembra essere ottimamente descritto da una geometria con curvatura esattamente pari a 0. L'universo, nato 13,8 milioni di anni fa, non ha mai smesso di espandersi e ciò è stato verificato dagli studi di Hubble. Il cosmo è rimasto quasi perfettamente piatto, come dimostra il fatto che in esso la luce viaggia in linea retta. Però, la teoria della Relatività Generale implica il fatto che un universo piatto è piuttosto improbabile. Perciò, per apparire ancora oggi piatto, l'universo avrebbe dovuto avere caratteristiche iniziali perfettamente calibrate. Infatti, una sia pur microscopica deviazione dalle opportune condizioni iniziali avrebbe portato a un collasso o a una rarefazione quasi totale della materia in tempi dell'ordine di  $10^{-43}$  secondi.
- 2) **Problema dell'orizzonte:** l'universo ci appare isotropo, cioè identico in tutte le direzioni, tanto che se guardiamo in direzioni opposte, vediamo più o meno lo stesso numero di galassie e la stessa temperatura media. Infatti, sarebbe come tirare milioni di dadi e vedere che danno tutti lo stesso risultato. Nasce così il *problema dell'orizzonte* ovvero un'incongruenza del modello cosmologico standard del Big Bang identificata negli anni settanta. Esso nasce dall'evidenza che regioni dell'universo

che non dovrebbero essere mai entrate in contatto, a causa di una distanza tra esse superiore a quella che ha potuto percorrere la luce nel tempo stimato dall'evento iniziale del Big Bang in realtà hanno la stessa temperatura e altre proprietà fisiche. Ciò dovrebbe essere impossibile, dato che la velocità della luce è la massima alla quale può avvenire qualunque scambio di informazione (ad esempio riguardante l'energia, il calore o altri parametri fisici).

## LA SOLUZIONE: LA TEORIA DELL'INFLAZIONE

La risposta a questi problemi può essere data tramite la **teoria dell'inflazione** la quale nasce principalmente a tale scopo. Prima della formulazione di tale teoria, veniva presa in considerazione la teoria del big bang classica o modello cosmologico standard che propone un'espansione dell'universo con ritmo pressoché costante la quale però non fornisce nessuna informazione sulla natura del big bang. Nel 1980 Alan Guth affermò che l'universo avrebbe attraversato una fase di espansione estremamente rapida (tanto da aumentare di oltre 1030 volte le proprie dimensioni lineari) immediatamente dopo essere nato (per la precisione tra  $10^{-36}$  e  $10^{-32}$  secondi dopo il Big Bang) producendo un contemporaneo raffreddamento della materia primordiale. Inoltre, lo scienziato ipotizzò il fatto che le minime irregolarità della radiazione, originate da fluttuazioni quantistiche, si siano gonfiate anch'esse in modo abnorme, dando così origine all'attuale distribuzione eterogenea della materia nello spazio. Guth giunse a questa conclusione riflettendo su un'idea fondamentale del Modello Standard, chiamata rottura spontanea della simmetria, la quale descrive cosa accade quando un'unica forza si disaccoppia in due o più forze tra di loro separate e la perdita naturale di simmetria di un sistema non avviene a livello fondamentale ma rimane valida nelle equazioni che lo governano. La rottura spontanea della simmetria molto probabilmente è avvenuta almeno una volta nell'universo secondo la teoria elettrodebole dove due delle forze fondamentali, quella elettromagnetica e quella nucleare debole (responsabile del decadimento radioattivo dei nuclei atomici) un tempo erano parte di un'unica forza chiamata *interazione elettrodebole* mentre oggi ci appaiono distinte. A mano a mano che l'universo si raffreddava, ad un'età di appena un millesimo di miliardesimo di secondo ( $10^{-12}$  s), subì una *transizione di fase* che cambiò la natura stessa dello spazio simile in certo modo a quella che subisce l'acqua quando passa dallo stato liquido allo stato solido (ghiaccio), ovvero da uno stato energetico più alto passa ad uno a più bassa energia. Perciò, l'energia del vuoto si è liberata tutta d'un colpo, tanto da far dire a Guth che «l'universo ha cominciato la sua esistenza con un pasto completamente gratuito servito dal nulla». Lo spazio vuoto venne riempito da un nuovo campo, oggi conosciuto come *campo di Higgs*, dal nome dello scienziato britannico Peter Higgs.

Se l'ipotesi inflazionaria è vera, tutto l'universo osservabile si sarebbe sviluppato da una regione causalmente connessa, cioè così piccola che la luce avrebbe potuto attraversarla interamente nel brevissimo tempo intercorso fra la "nascita" dell'Universo e l'inizio dell'inflazione, e perciò avente in ogni punto le stesse caratteristiche (come temperatura e densità) e ciò spiegherebbe perché la stessa Fisica vale in tutti i punti del nostro universo.

La fondamentale osservazione di Guth, parzialmente anticipata da lavori di Linde, Starobinsky, Sato e altri, fu che **una fase di espansione accelerata poteva risolvere in maniera naturale entrambi i problemi** accennati **purché il fattore di espansione fosse stato superiore a circa 1030 volte**. Infatti, tale espansione accelerata rende stabile l'Universo euclideo (predicendo così  $\Omega$  o rigorosamente uguale a 1) e permette processi fisici a distanza molto maggiore rispetto alla cosmologia standard, quindi capaci di omogeneizzare la materia su tutto lo spazio. Al termine di questa fase accelerata il campo di materia che guida l'inflazione deve poi liberare l'energia necessaria a riscaldare la materia fino a temperature maggiori di 1023 K (fase di riscaldamento, o *reheating*). Da questo momento in avanti l'evoluzione cosmica torna a essere descritta dal Modello Standard, avviandosi così la successiva storia termica dell'Universo che ha riscontrato eccezionali conferme osservative.

## BICEP 2

**BICEP 2** (*Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization*) è un esperimento di astrofisica e cosmologia il cui scopo è la misura della polarizzazione della radiazione cosmica di fondo. In particolare, l'esperimento scientifico punta a scoprire e misurare i modi B della radiazione di fondo, che si suppone abbiano avuto origine durante l'epoca dell'inflazione cosmica



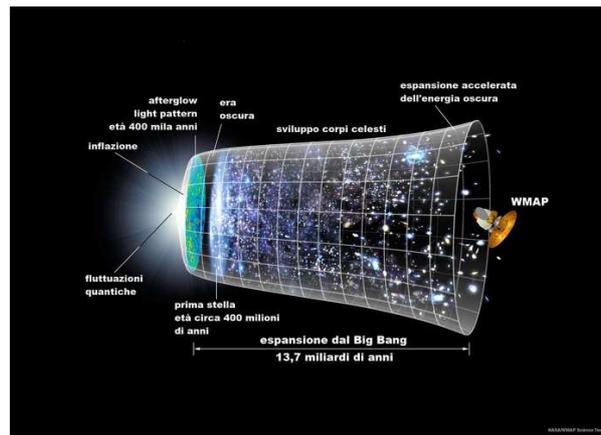
verificatasi poco dopo il Big Bang. I ricercatori sembrerebbero aver trovato l'impronta delle onde gravitazionali primordiali incisa nella cosiddetta **radiazione cosmica di fondo** (Cosmic Microwave Background, CMB). La CMB è la luce emessa dall'universo primordiale nei suoi primi istanti di vita (a circa 380.000 anni), quando, da plasma caldo, denso e opaco, iniziò a raffreddarsi permettendo la formazione dei primi atomi e liberando nello spazio i primi fotoni. Oggi quel bagliore si è spento in un debole segnale radio, che però abbiamo imparato a conoscere piuttosto bene.

La chiave per trovare qualche traccia di quello che è successo prima che si liberasse la CMB, e quindi per capire se c'è stata o no l'inflazione, è proprio nella polarizzazione di quella prima luce. Tra le altre cose la polarizzazione della luce determina le modalità con cui un'onda luminosa interagisce con la materia e con lo spazio tempo. Se di tutta la luce del cosmo andiamo a studiare proprio quella della CMB, **la sua polarizzazione ci racconterà allora le caratteristiche dell'universo negli istanti in cui quel segnale si è liberato dalla materia.**

È una misura di precisione, molto difficile, ma i ricercatori di BICEP 2 sembrano essere riusciti a rintracciare nella polarizzazione della CMB quella che sembra essere una firma inequivocabile, riconducibile alla **presenza di onde gravitazionali primordiali, conseguenza del periodo di inflazione.**

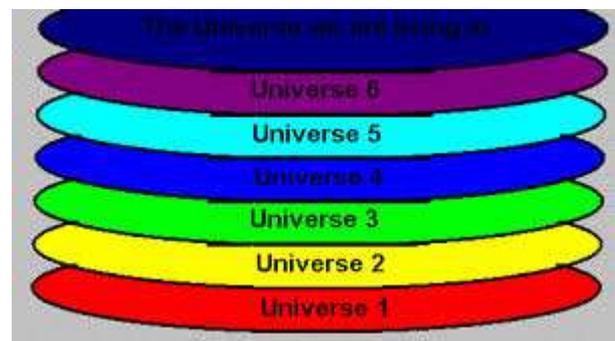
## CHE COS'È L'INFLATONE

L'**inflatone** è l'ipotetico, poiché non è ancora mai stato osservato, campo scalare primordiale introdotto nella versione cosiddetta caotica della teoria dell'inflazione cosmica per dare conto dell'espansione che interessa l'Universo. È stato ipotizzato che l'inflatone possa identificarsi con il bosone di Higgs. L'inflatone è un presunto parente del campo magnetico manifestatosi nel "brodo primordiale" quando le particelle si trovavano in una situazione di altissima energia e di caos assoluto e che avrebbe prodotto una pressione tale da vincere l'attrazione gravitazionale, agendo come forza repulsiva e quindi come "motore" dell'inflazione. Inoltre, avrebbe generato nella materia primordiale fluttuazioni quantistiche di densità le quali avrebbero dato vita alle galassie. Infine, il satellite WMAP ha fornito dati in ottimo accordo con la teoria inflazionaria.

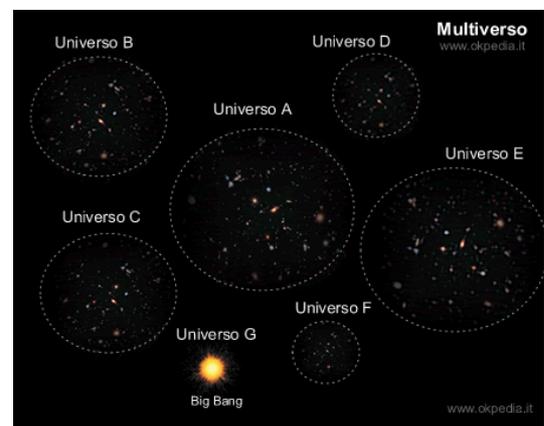


## L'INFLAZIONE ETERNA E CAOTICA

L'**inflazione eterna** è un modello di inflazione cosmologica dell'universo prevista da alcune estensioni della teoria del Big Bang e del modello standard della cosmologia. In questa teoria la fase di espansione accelerata dell'universo continua per sempre almeno in alcune regioni dell'universo. L'inflazione eterna è prevista da molti modelli differenti di inflazione cosmica. Il modello originale di Alan Guth di inflazione includeva una fase di "falso vuoto" con energia del vuoto positiva. Parti dell'universo in quella fase si espandono inflativamente e solo occasionalmente decadono ad uno stato di energia minore, non inflazionario, chiamato anche stato fondamentale. Dato che queste regioni si espandono a tassi esponenziali, l'intero volume dell'universo cresce indefinitamente fino alla riproduzione di un nuovo universo.



La teoria comprende anche la cosiddetta variante dell'**inflazione caotica** o **teoria delle bolle** (in inglese *Bubble Theory*), un modello di cosmologia frattale proposto negli anni '80 da Andrej Linde. Secondo lo scienziato, il falso vuoto dovrebbe decadere esponenzialmente, tuttavia le bolle di falso vuoto potrebbero anche espandersi esponenzialmente in modo tale che una regione dominata dal falso vuoto non possa sparire mai. In queste regioni occasionalmente potrebbero crearsi nuove bolle, e quindi nuovi universi, come semplice risultato del decadimento del falso vuoto. L'universo che noi effettivamente osserviamo sarebbe quindi solo una delle possibili bolle che si sono sviluppate, molti altri universi anche simili al nostro sarebbero quindi possibili.



Questa teoria implicherebbe l'effettiva e reale esistenza di un multiverso, ovvero l'esistenza di universi coesistenti fuori del nostro spaziotempo, spesso denominati dimensioni parallele. Nel 2014 l'inflazione caotica ha ricevuto alcune conferme sperimentali, non condivise però da molti fisici, in quanto i risultati di BICEP2 confliggerebbero con quelli raccolti successivamente da Planck Surveyor.

## GLI OPPOSITORI

I tre fisici teorici principali che hanno criticato l'inflazione cosmica sono **Anna Ijjas**, **Paul Steinhardt** (la cui paternità è particolarmente significativa, dal momento che è **considerato l'inventore dell'inflazione insieme a Alan Guth e Andrei Linde**) e **Abraham Loeb**, i quali hanno pubblicato un articolo sostenendo che

la teoria dell'inflazione non è verificabile, e quindi non è scientifica. In breve nei loro articoli tre teorici affermano che:

- Le ultime misure della **radiazione cosmica di fondo (CMB)** sollevano preoccupazioni circa la teoria inflazionaria del cosmo.
- Inflazione produce tipicamente un diverso modello di variazione di temperatura nella CMB che genererebbe anche **onde gravitazionali primordiali che non sono mai state rivelate**.
- La cosmologia inflazionistica, come noi oggi la intendiamo, **non può essere valutata con il metodo scientifico**. Il risultato atteso di inflazione può facilmente cambiare se variamo le condizioni iniziali, modificare la forma della curva di densità di energia inflazionistica, o semplicemente notare che conduce alla inflazione eterna e *multimes* (l'inflazione produce genericamente un multiverso "multimes" dei risultati, letteralmente un numero infinito di patch con una varietà infinita di possibilità, e non v'è attualmente alcun criterio per preferire una possibilità piuttosto che un'altra). Individualmente e collettivamente, queste caratteristiche rendono l'inflazione così flessibile, che nessun esperimento potrà mai confutarla.
- I dati suggeriscono che i cosmologi dovrebbero **rivalutare questo paradigma** e prendere in considerazione nuove idee su come l'universo abbia avuto inizio.

## I SOSTENITORI

Queste critiche non sono passate inosservate alla comunità scientifica che ha fatto sì che 33 fisici, fra cui **Stephen Hawking, Alan Guth, Andrei Linde, Sean Carroll, Juan Maldacena, Martin Rees, Leonard Susskind, Steven Weinberg, Rainer Weiss e Franck Wilczek**, hanno risposto a quell'articolo con quest'altro (sono evidenziati in azzurro i punti salienti):

*Non v'è alcun dubbio sul fatto che l'inflazione è diventata il paradigma dominante in cosmologia. Molti scienziati provenienti da tutto il mondo hanno lavorato sodo per anni studiando modelli di inflazione cosmica e confrontando queste previsioni con osservazioni empiriche. Secondo la banca dati fisica delle alte energie INSPIRE, oggi ci sono più di 14.000 carte nella letteratura scientifica, scritte da oltre 9.000 scienziati distinti, che utilizzano la parola "inflazione" o "inflazionistica" nei loro titoli o abstract. Sostenendo che la cosmologia inflazionistica si trova al di fuori del metodo scientifico, IS & L stanno respingendo non solo la ricerca di tutti gli autori di questa lettera ma anche quella di un contingente consistente della comunità scientifica. Inoltre, siccome il lavoro di alcune importanti collaborazioni internazionali ha chiarito, **l'inflazione non è solo verificabile, ma è stata sottoposta ad un numero significativo di prove e finora le ha superate tutte.** (../)*

*I modelli inflazionistici standard prevedono che l'universo dovrebbe avere una densità di massa critica (cioè, dovrebbe essere geometricamente piatto), e prevede anche le proprietà statistiche delle increspature deboli che noi rileviamo nella radiazione cosmica di fondo (CMB). In primo luogo, le increspature dovrebbero essere quasi "scala-invariante", nel senso che esse hanno quasi la stessa intensità a tutte le scale angolari. In secondo luogo, le increspature dovrebbero essere "adiabatiche", il che significa che le perturbazioni sono le stesse in tutti i componenti: la materia ordinaria, le radiazioni e materia oscura, tutte fluttuano insieme. In terzo luogo, essi dovrebbero essere "gaussiani", che è una dimostrazione sui modelli statistici di regioni relativamente chiare e scure. Quarto ed ultimo, i modelli fanno anche previsioni per gli schemi di polarizzazione della CMB, che possono essere suddivisi in due classi, chiamate E-mode e B-mode. Le previsioni per E-mode sono molto simili per tutti i modelli inflazionistici standard, mentre i livelli di B-mode, che sono una misura della radiazione gravitazionale nell'universo primordiale, variano in modo significativo all'interno della classe di modelli standard.*

*Il fatto notevole è che, a partire dai risultati del satellite Cobe (COBE) nel 1992, **numerosi esperimenti hanno confermato che queste previsioni (insieme a molti altri troppo tecnici per discutere qui) descrivono con precisione il nostro universo.** La densità della massa dell'universo è stata ora misurata con una precisione di circa la metà di un per cento, e concorda perfettamente con la previsione di inflazione. (Quando l'inflazione è stata proposta per la prima, la densità di massa era incerta di almeno un fattore tre, quindi questo è un successo impressionante.) Le increspature della CMB sono state misurate con cura anche da due esperimenti satellitari, il Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) e il satellite Planck, così come molti altri esperimenti **e tutti confermando infatti che le fluttuazioni primordiali sono quasi scala-invariante, accuratamente adiabatiche e gaussiane, proprio***

come predetto (in anticipo) da modelli standard di inflazione. I B-mode di polarizzazione non sono ancora stati visti, coerentemente con molti, se non tutti, i modelli standard, e le polarizzazioni E-mode si trovano d'accordo con le previsioni. Nel 2016 il team satellite Planck (una collaborazione di circa 260 autori) ha riassunto le sue conclusioni dicendo che "i risultati di Planck offrono una prova potente a favore di semplici modelli inflazionistici." Quindi, se l'inflazione non è verificabile, come IS & L vorrebbero farci credere, perché ci sono stati così tanti test su di essa e con tali notevoli successi? (../)

Mentre i successi di modelli inflazionistiche sono certi, IS & L continuano ad affermare che l'inflazione non è verificabile. (Siamo sconcertati dalla asserzione di IS & L's nonostante i successi osservativi di inflazione che dovrebbero essere scontati, mentre accusano i sostenitori dell'inflazione di abbandonare la scienza empirica!) Essi sostengono, ad esempio, che l'inflazione non sia verificabile perché le sue previsioni possono essere modificate variando la forma della curva di densità di energia inflazionaria o le condizioni iniziali. Ma la verificabilità di una teoria non richiede in nessun modo che tutte le sue predizioni siano indipendenti dalla scelta dei parametri. Se sono richieste tali indipendenze di parametro, allora dovremmo mettere anche in discussione lo status del Modello Standard, con il suo contenuto di particelle empiricamente determinate e 19 o più parametri empiricamente determinati.

Un punto importante sarebbe se i modelli inflazionistici standard avessero fallito uno dei test empirici sopra descritti, ma non lo han fatto. IS & L scrivono di come "in mancanza di una teoria viene sempre più immunizzata contro esperimenti dai tentativi di patch", insinuando che questo abbia qualcosa a che fare con l'inflazione. Ma nonostante la retorica di IS & L's, è una pratica standard nel campo della scienza empirica modificare una teoria quando nuovi dati vengono alla luce, come, ad esempio, il modello standard delle particelle è stato modificato per tenere conto dei quark e leptoni di recente scoperta. Per la cosmologia inflazionistica, nel frattempo, non v'è stato finora nessun bisogno di andare al di là della classe di modelli inflazionistici standard. (../)

Durante gli oltre 35 anni della sua esistenza, la teoria inflazionaria è progressivamente diventata il principale paradigma cosmologico che descrive le prime fasi dell'evoluzione dell'universo e la formazione della sua struttura su larga scala. Nessuno sostiene che l'inflazione sia diventata certa; le teorie scientifiche non vengono dimostrate come i teoremi matematici, ma col passare del tempo, quelle di successo diventano sempre meglio stabilite dal miglioramento delle prove sperimentali e dai progressi teorici. Questo è successo con l'inflazione. Il progresso continua, sostenuto dagli sforzi entusiastici di molti scienziati che hanno scelto di partecipare a questo vibrante ramo della cosmologia.

## LA RISPOSTA DEGLI OPPOSITORI

Ijjas, Steinhardt e Loeb hanno preparato la loro risposta alle critiche del loro articolo. In poche parole, i tre fisici stanno alla base delle loro argomentazioni, indicando come i critici stiano interpretando male il loro lavoro. Questa è una breve sintesi dell'articolo e sono evidenziati in verde i punti salienti:

Abbiamo un grande rispetto per gli scienziati che hanno firmato la contestazione al nostro articolo, ma siamo delusi dalla loro risposta, che trascurava il nostro punto chiave: le differenze tra la teoria inflazionistica una volta pensata per essere possibile e la teoria come intesa oggi. L'affermazione che l'inflazione è stata confermata si riferisce alla teoria obsoleta, cioè prima di comprendere i suoi problemi fondamentali. Crediamo fermamente che in una sana comunità scientifica sia possibile un disaccordo rispettoso e quindi rifiutare il suggerimento che, evidenziando problemi, stiamo scartando l'opera di tutti coloro che hanno sviluppato la teoria dell'inflazione e hanno permesso di misurare con precisione l'universo.

Storicamente, il pensiero sull'inflazione era basato su una serie di incomprensioni. Non è stato capito che il risultato dell'inflazione è altamente sensibile alle condizioni iniziali. E non è stato capito che l'inflazione genera generalmente l'inflazione eterna e, di conseguenza, un multiverso – una diversità infinita di risultati. Gli studi sostengono che l'inflazione predice questo o che ignorano questi problemi.

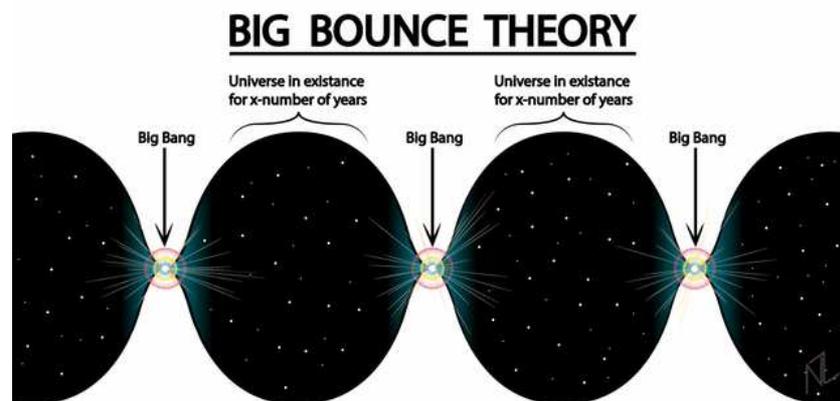
Il nostro punto è che dovremmo parlare della versione contemporanea dell'inflazione, nel bene e nel male, non di una reliquia defunta. Logicamente, se il risultato dell'inflazione è altamente sensibile alle condizioni iniziali non ancora comprese, come gli intervistati riconoscono, il risultato non può essere determinato. E se l'inflazione produce un multiverso in cui, citando una dichiarazione precedente da uno degli autori rispondenti (Guth), "tutto ciò che può succedere accadrà" – non ha alcun senso parlare di previsioni. A differenza del modello standard, anche dopo aver fissato tutti i parametri, qualsiasi modello inflazionistico dà una diversità infinita di risultati con nessuno preferito rispetto ad altri. Ciò rende l'inflazione immune da qualsiasi test osservazionale.

Siamo tre pensatori indipendenti che rappresentano diverse generazioni di scienziati. Il nostro articolo non ha lo scopo di rivisitare vecchi dibattiti, ma discutere le implicazioni delle recenti osservazioni e sottolineare i problemi

*irrisolti. Ci auguriamo che i lettori potranno tornare indietro e rivedere paragrafi conclusivi del nostro articolo. Noi siamo per il riconoscimento aperto delle carenze di concetti attuali, e per uno sforzo rinvigorito per risolvere questi problemi e un'esplorazione di mentalità aperta di idee diverse.*

## BIG BOUNCE

David Kaiser, un fisico e storico della scienza al MIT, ha dichiarato che le affermazioni fatte dai tre fisici erano state "esplicitamente sfatate diversi anni fa". È bene ricordare che questi ultimi sono sostenitori di un modello cosmologico alternativo, chiamato "**Big Bounce**" (grande rimbalzo). In questa teoria, l'universo funziona su base ciclica di espansione e contrazione. Al momento, si sta espandendo. Tuttavia, quando si esaurisce l'energia (o qualunque cosa possa fermare la sua espansione), inizierà a contrarsi, fino ad un certo punto, e poi si ritrarrà in uno stato simile a quello del Big Bang (sostituito appunto dal Big Bounce), quindi si verificherà una nuova nascita con la ripetizione del processo per l'eternità. Per Alan Guth, fisico del MIT che per primo ha proposto il concetto di inflazione, è scandalosa e senza fondamento l'insinuazione fatta dai tre fisici.



## Fonti

<http://www.fmboschetto.it/didattica/Tolkien/trefamiglie.htm>

<http://www.fmboschetto.it/tde2/gravit7.htm>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Guth](https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Guth)

<https://www.focus.it/scienza/scienze/che-cos-e-l-inflazione-in-astrofisica>

<http://www.treccani.it/enciclopedia/big-bang/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Problema\\_dell%27orizzonte](https://it.wikipedia.org/wiki/Problema_dell%27orizzonte)

<https://oggiscienza.it/2018/02/08/origine-universo-alan-guth/>

<http://www.treccani.it/enciclopedia/inflazione-cosmica/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Inflazione\\_eterna](https://it.wikipedia.org/wiki/Inflazione_eterna)

<https://www.tomshw.it/altro/hawking-e-32-scientiati-linflazione-cosmica-non-si-tocca/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Inflazione\\_\(cosmologia\)#Critiche\\_alla\\_teorìa\\_dell'Inflazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Inflazione_(cosmologia)#Critiche_alla_teorìa_dell'Inflazione)

<https://oggiscienza.it/2018/02/08/origine-universo-alan-guth/>

Alessia Salandini  
Andrea Castellanelli  
5°C

[http://www.nationalgeographic.it/scienza/spazio/2014/03/20/news/linflazione\\_luniverso\\_e\\_tutto\\_quanto\\_-2063532/](http://www.nationalgeographic.it/scienza/spazio/2014/03/20/news/linflazione_luniverso_e_tutto_quanto_-2063532/)