

FISICAST

per
SxT

Sulle tracce del Big Bang

di

Paolo De Bernardis



Sulle tracce del Big Bang

Paolo De Bernardis

Abstract:

Nel mese di marzo l'esperimento BICEP ha annunciato di aver rivelato, per la prima volta, le deboli tracce lasciate dalle onde gravitazionali sull'Universo primordiale. Una scoperta che conferma le teorie sul Big Bang, sull'inflazione cosmica e della Relativita' Generale. Ma in cosa consiste la scoperta? E cosa sono le onde gravitazionali e l'inflazione cosmica?

INIZIO

Nel mese di marzo l'esperimento BICEP ha annunciato di aver rivelato, per la prima volta, le deboli tracce lasciate dalle onde gravitazionali sull'Universo primordiale. Una scoperta che conferma le teorie sul Big Bang, sull'inflazione cosmica e della Relativita' Generale. Ma in cosa consiste la scoperta? E cosa sono le onde gravitazionali e l'inflazione cosmica?

Il Prof. Paolo De Bernardis è gradito ospite di Fisicast per questa puntata speciale.

Q: Ciao Paolo.

A: Ciao Chiara. Penso d'indovinare il motivo per cui sei venuta....

Q: Ah sì?

A: Scommetto che hai letto sui giornali la notizia relativa alla scoperta di onde gravitazionali dal Big Bang. Ho indovinato?

Q: Eh sì. Ho letto che un esperimento, mi pare si chiami BICEP, avrebbe rivelato l'esistenza di onde gravitazionali. Volevo saperne di più e i miei amici di Fisicast mi hanno detto che tu sei il massimo esperto...

A: Diciamo che ne so abbastanza...

Q: Bene, allora se non ti dispiace, per prima cosa dovresti spiegarmi cosa sono queste onde gravitazionali.

A: Le onde gravitazionali sono, per così dire, "increspature" della curvatura dello spazio.

Q: Aspetta, aspetta...già stai andando sul difficile. Che vuol dire increspature della curvatura dello spazio?

A: Einstein ha scoperto che lo spazio (e, per inciso, il tempo) non sono né assoluti né uguali dappertutto nell'Universo. Attorno a oggetti molto pesanti, per esempio, come le stelle, lo spazio si "distorce" ed è questa distorsione dello spazio che provoca la comparsa della forza di gravità.

Q: In effetti, ora che ci penso, nella puntata di Fisicast sulla Relatività Generale, abbiamo parlato proprio di questa cosa. Ricordo che vicino a un corpo celeste la geometria è diversa da quella che ho studiato a scuola e che la lunghezza di uno stesso oggetto può risultare diversa a seconda della distanza dal corpo celeste.

A: Perfetto! Quindi capisci bene che se una stella molto pesante sta ferma in un punto dello spazio, attorno a quel punto lo spazio è deformato, come l'acqua di uno stagno sulla quale galleggia un'anatra.

Q: Capisco è una parola grossa, ma diciamo che posso figurarmelo...

A: Bene. Se l'anatra si muove nuotando che succede sulla superficie dello stagno?

Q: Si forma una scia di onde dietro l'anatra.

A: Esatto. L'acqua va su e giù nei punti da cui è passata l'anatra e questo movimento si propaga ai punti vicini dell'acqua dello stagno provocando delle onde. Lo stesso succede, come abbiamo detto, con la gravità: un oggetto di grande massa modifica la geometria dello spazio attorno a sé, ma se si muove (come nel caso di due stelle binarie che ruotano l'una attorno all'altra o come nel caso della Terra che ruota attorno al Sole), questa perturbazione delle proprietà dello spazio si propaga lontano, proprio come l'onda sullo stagno. È questa un'onda gravitazionale.

Q: Fammi capire meglio: sullo stagno l'onda si produce perché quando l'anatra si sposta, l'acqua, che prima era compressa sotto il suo corpo, torna al livello precedente e così facendo trasmette il moto ai punti adiacenti che iniziano a salire e scendere. Ma se non c'è qualcosa che viene pigiato o spinto in qualche modo cos'è che si propaga?

A: È la stessa struttura geometrica dello spazio che, in effetti, viene in qualche modo modificata localmente, dove si trova la massa. Se una stella si sposta, diciamo, verso sinistra, i punti dello spazio alla sua destra tornano ad avere una struttura geometrica piatta perché non c'è più niente che lo "comprime". Il fatto che lo spazio torna a essere piatto in un punto produce una modifica delle proprietà geometriche vicino a questo punto e questa modifica delle proprietà si propaga col passare del tempo sempre più lontano. È così che si genera l'onda gravitazionale.

Q: Quindi le proprietà geometriche dello spazio possono cambiare anche in punti molto lontani da una stella?

A: Proprio così. Tu potresti benissimo non vedere l'anatra perché magari nascosta dietro un isolotto, ma potresti accorgerti della sua presenza guardando le onde sullo stagno.

Q: Ma cosa vedrei esattamente nel caso di onde gravitazionali?

A: Così come l'onda di compressione dello stagno provoca un leggero cambiamento del livello dell'acqua, un'onda gravitazionale provoca un leggero cambiamento della geometria dello spazio per cui in un punto in cui sta passando un'onda gravitazionale lo spazio si contrae in una direzione e si espande nell'altra.

Q: Vuoi dire che se mettesti un righello in prossimità del passaggio di un'onda gravitazionale lo vedrei allungarsi o accorciarsi a seconda della direzione in cui l'ho allineato?

A: In un certo senso sì, ma non potresti accorgertene perché tutti i righelli che potresti usare per misurare la lunghezza di quello a cui sei interessata si allungherebbero e accorcerebbero nello stesso modo. Una peculiarità delle onde gravitazionali consiste nel fatto che le compressioni e gli allungamenti avvengono in due direzioni perpendicolari: se mettesti una squadra, invece di un righello, uno dei suoi lati si allungherebbe, mentre lungo l'altro si accorcerebbe. E questo fenomeno accadrebbe periodicamente e alternativamente su un lato e poi sull'altro. Non te ne accorgeresti misurando i lati della squadra con un righello, perché il righello subirebbe le stesse variazioni, ma potresti usare tecniche che impiegano la luce per osservare questo fenomeno. Direi però che non mi pare il caso di entrare in questo genere di dettagli, per ora...

Q: Va bene. Ti credo. Quindi BICEP ha messo qualcosa di simile a una squadra in un punto che è stato investito da un'onda gravitazionale?

A: No, no. Questo è quello che si fa in alcuni esperimenti (uno sta in Italia, vicino Pisa; si chiama Virgo) per cercare di rivelare in maniera diretta le onde gravitazionali. BICEP invece ha misurato l'effetto prodotto da onde gravitazionali molto antiche sulla radiazione cosmica di fondo.

Q: Antiche? Radiazione cosmica di fondo? Non capisco...

A: Secondo la teoria del Big Bang, che conoscerai...

Q: Diciamo di sì. Quanto meno ne ho sentito parlare. Si tratta di quella teoria secondo cui l'Universo sarebbe nato da un'enorme esplosione qualche miliardo di anni fa e da allora si sta espandendo...

A: Proprio quella. Dicevo, secondo questa teoria, quando l'Universo era molto giovane, miliardesimi di miliardesimi di miliardesimi di miliardesimi di secondo dopo la sua nascita, questa espansione avrebbe subito un'improvvisa accelerazione. L'Universo si sarebbe gonfiato molto più rapidamente di quanto sta facendo adesso. Durante questa fase di espansione rapida, che i cosmologi chiamano "inflazione".

Q: Come quella di cui si parla a proposito dei prezzi?

A: In un certo senso sì: inflazione vuol dire gonfiamento. Nel caso dei prezzi il termine inflazione si riferisce al fatto che i prezzi aumentano, si gonfiano. Nel caso della cosmologia inflazione fa riferimento al fatto che l'Universo, che appena nato comincia a gonfiarsi lentamente come un panettone che lievita, inizia improvvisamente ad aumentare il suo volume di tantissimo e in pochissimo tempo. In una frazione di secondo il volume aumenta di un fattore che si scrive come 1 seguito da una sessantina di zeri! In questa rapida espansione l'Universo si trascina dietro tutte le piccole "imperfezioni" presenti al suo interno, attorno alle quali si sono poi formati gli oggetti che osserviamo oggi come le galassie, gli ammassi di galassie, etc.. Questi oggetti hanno una massa e

il loro rapido movimento determina il diffondersi di una serie di onde gravitazionali, analogo a quelle che verrebbero generate da uno stormo di anatre ferme su uno stagno per riposarsi che improvvisamente fuggono in tutte le direzioni se per esempio cade qualcosa nello stagno al centro dello stormo.

Q: Ok, fammi ricapitolare. Hai detto che appena nato l'Universo si è gonfiato a dismisura e che questa espansione ha provocato la comparsa di onde gravitazionali che quindi devono aver modificato lo spazio stesso dell'Universo in espansione.

A: Esattamente. E l'effetto del passaggio di queste onde si vede osservando il fondo cosmico di microonde.

Q: Il fondo che? E che c'entra il forno a microonde?

A: Si tratta di onde elettromagnetiche, che noi siamo in grado di rivelare, che permeano tutto l'Universo. Sono, per la precisione, microonde, cioè onde del tutto simili a quelle prodotte nel forno che hai a casa. È come se l'Universo fosse un gigantesco forno a microonde.

Noi pensiamo che queste onde si siano prodotte molto tempo fa, quando l'Universo aveva circa 380.000 anni. Prima l'Universo era opaco: la luce, che è un'onda elettromagnetica anche lei, non riusciva a propagarsi nello spazio, perché ogni volta che ci provava trovava un ostacolo: erano le particelle di materia che erano così dense da non lasciar passare la luce.

Ma quando l'Universo si è espanso abbastanza la densità di queste particelle si è ridotta e la probabilità di andare a sbattere contro una di queste è diventata abbastanza piccola da permettere alla luce di propagarsi.

Q: Affascinante...

A: Una volta liberata da questa specie di gabbia questa luce si è propagata fino a noi, che oggi la vediamo come una luminosità abbastanza regolare di microonde sullo sfondo del cielo. È un po' quello che succede con la luce del Sole. La luce prodotta all'interno del Sole, nelle sue regioni più interne, non riesce ad arrivare fino a noi perché è assorbita dalla materia di cui è fatto il Sole. Per questo non puoi vederne l'interno. Nelle interazioni all'interno del sole la luce viene continuamente assorbita e riemessa. Alla superficie arriva luce molto meno energetica, e dopo molto tempo. Ma quando finalmente ci arriva, non c'è più materia a trattenerla e quindi è libera di propagarsi fino a noi permettendoci di vedere la superficie del Sole.

Q: Da quel che ricordo ci vuole un po' perché possa giungere fino a noi...

A: Sì, ci vogliono quasi 8 minuti perché la luce che esce dalla superficie del Sole possa raggiungerci, dopo aver percorso 150 milioni di km. Per questo quando vediamo il Sole in realtà lo vediamo com'era 8 minuti fa. Allo stesso modo, quando guardiamo il fondo cosmico di microonde vediamo la superficie dell'Universo com'era quasi 14 miliardi di anni fa. Tanto ci vuole per viaggiare fino a noi.

Q: Quindi facendo una fotografia del cielo usando non la luce, ma le microonde, puoi sapere che forma aveva l'Universo 14 miliardi di anni fa?

A: Proprio così. E questa foto, fatta da BICEP, presenta alcune peculiarità. Ci mostra la presenza di irregolarità sulla superficie che presumiamo siano quelle da cui si sono successivamente formate le galassie che vediamo oggi. Queste irregolarità erano note già da tempo: i primi a farne un'immagine siamo stati noi nel 2003 con l'esperimento Boomerang. Le onde gravitazionali generate dall'inflazione hanno certamente modificato la forma della superficie, in un modo molto particolare.

Q: Beh, sì. Questo riesco a immaginarmelo. Se cambia la geometria dello spazio, la forma di questa superficie deve apparire distorta.

A: In effetti questo è quello che succede. BICEP è il primo esperimento che è riuscito a vedere questo effetto. Quello che cambia in presenza di onde gravitazionali è che la luce proveniente da quella lontana superficie acquista una particolare polarizzazione.

Q: Ricominci a parlare difficile.

A: Non è così complicato come può sembrare. La luce che proviene dal Sole è un'onda che "oscilla" lungo tutte le direzioni. Non ha un particolare stato di polarizzazione, perché tutte le direzioni sono permesse. Ora vedi quell'auto parcheggiata lì in fondo?

Q: Sì

A: Osserva i finestrini e dimmi cosa vedi.

Q: A parte l'interno dell'abitacolo riesco a vedere gli alberi riflessi sul finestrino.

A: Bene. La luce che ha "urtato" il finestrino ed è stata riflessa è polarizzata. Al contrario, quella che proviene dall'interno dell'abitacolo e che ci permette di vederne l'interno, non lo è. Vedo che hai i tuoi occhiali da sole con te. Indossali e guarda nuovamente il finestrino dell'auto.

Q: Il riflesso è sparito!

A: Infatti. Perché le lenti di molti occhiali da sole di buona qualità, sono dei polaroid, cioè dispositivi che permettono di far passare solo la luce polarizzata in una certa direzione. Quella, per intenderci, la cui onda oscilla nella direzione scelta. La luce polarizzata lungo altre direzioni non passa. Per questo non vedi più il riflesso: la luce, prima di giungere sul finestrino, era formata da onde polarizzate in tutte le direzioni, ma una volta interagito con il finestrino viene riflessa in modo da essere formata da onde polarizzate parallelamente alla superficie del finestrino. Ha assunto un particolare stato di polarizzazione.

Q: Ora mi dirai che lo stesso succede alle microonde: colpendo le particelle di materia vengono polarizzate in una direzione.

A: Sì, esatto. Ma la situazione è un po' più complicata. La materia nell'universo primordiale non è come quella di un finestrino, che ha una forma ben precisa. Sono tante particelle libere. Inoltre, ricevono luce da tutte le direzioni circostanti in ugual misura.

Q: E quindi, non essendoci direzioni privilegiate, la luce che queste particelle riflettono non è polarizzata!

A: Esatto, in una situazione perfettamente omogenea sarebbe proprio così. Però la materia nell' universo primordiale è distribuita in modo non del tutto uniforme. e quindi la luce che poi viene diffusa verso di noi non proviene esattamente con la stessa intensità da tutte le direzioni. Questo genera un debole grado di polarizzazione.

Q: Ah ecco! Vediamo se ho capito. Se non ci fossero disomogeneità le microonde presenti nell'Universo oscillerebbero in tutte le direzioni con la stessa probabilità interagendo con le particelle di materia. Quindi guardando il cielo dovresti vedere arrivare un flusso di microonde polarizzate, diciamo, verticalmente, identico a quello delle microonde polarizzate orizzontalmente. Le irregolarità nella distribuzione della materia fanno sì che queste microonde siano in realtà leggermente polarizzate in una direzione...

A: Brava, ma se passa un'onda gravitazionale a modificare le lunghezze in una direzione, si modificano le lunghezze d'onda della luce che viaggia in quella stessa direzione. Poiché il grado di polarizzazione dipende dalla lunghezza d'onda...

Q: ...l'intensità delle microonde polarizzate nella direzione dell'allungamento appare diversa da quella delle microonde polarizzate nella direzione perpendicolare, che hanno una lunghezza d'onda leggermente diversa.

A: Hai capito tutto! La cosa importante è proprio il fatto che la polarizzazione generata dalle disomogeneità nella distribuzione di materia è un po' diversa da quella provocata dalle onde gravitazionali e perciò siamo in grado di distinguere i due effetti e di dire che una parte della polarizzazione osservata è dovuta alla presenza di onde gravitazionali.

Q: E quindi questa variazione d'intensità dimostra che devono essersi generate onde gravitazionali quando l'Universo era molto giovane.

A: E soprattutto dimostra che deve essere avvenuto il processo che ha prodotto le onde gravitazionali primordiali, cioè l'inflazione cosmica. Questo è il risultato davvero importante di BICEP. In fondo, di prove indirette dell'esistenza di onde gravitazionali ce n'erano già, mentre questa è una conferma davvero importante del fenomeno dell'inflazione cosmica.

Va sottolineato che il grado di polarizzazione dovuto alle onde gravitazionali primordiali è piccolissimo, per cui non era mai stato misurato, nonostante anni di tentativi. BICEP è riuscito a farlo, grazie alle nuove tecnologie utilizzate.

Ma è anche necessario confermarlo con altri esperimenti, perché il risultato è davvero importante e le misure sono delicate: secondo la teoria, l'inflazione cosmica sarebbe avvenuta davvero un attimo dopo il big bang, in condizioni fisiche che non potremo mai riprodurre in laboratorio.

Abbiamo quindi una opportunità unica di studiare non solo l'inizio dell'universo, ma anche la fisica in condizioni davvero estreme.

Q: Come al solito, i giornali hanno un po' distorto la notizia, eh?

A: Beh, in fondo c'è da capirli. Spiegare come stanno realmente le cose, come hai visto, non è impossibile, ma neanche facilissimo. E i giornali hanno il compito di far arrivare le notizie a un pubblico molto vasto, che spesso non ha la pazienza e la curiosità che hai tu. Per capire bene il contenuto di queste notizie c'è ...fiscast

Q: Va beh. Grazie! La chiacchierata è stata molto utile. Adesso ho le idee più chiare.

A: Grazie a te per la pazienza con la quale hai ascoltato!

Q: Scherzi? È sempre un piacere sentirvi parlare di queste cose.

FINE