

## I recenti risultati di WMAP (29/03/2006)

Dopo quattro anni di accumulo ed elaborazione dei dati, gli astrofisici che lavorano col satellite Wilkinson Microwave anisotropy Probe (MAP) hanno finalmente resi pubblici i nuovi risultati, che in genere sono almeno 2-3 volte più precisi di quelli già comunicati nel 2002, e in un caso particolare circa 100 volte più precisi.

Quando si è di fronte a risultati così eccezionali, possono succedere due cose: 1) ci si rende conto che quel che sembrava di capire prima è sbagliato e ha bisogno di una revisione drastica, oppure 2) quel che sembrava di capire prima è confermato oltre ogni attesa, per cui si passa da ipotesi a fatti concreti. Per WMAP si è verificato il secondo caso. Vediamo un certo numero di risultati che, però, non è possibile spiegare tutti in dettaglio in una sola serata (alcuni vanno memorizzati per riparlare).

In primo luogo, l'età dell'universo è stata misurata con una precisione che è passata dal 2% allo 0,5%: sono 13,7 miliardi di anni  $\pm$  60 milioni di anni (prima era  $\pm$  200 milioni).

Le percentuali di materia normale, oscura, ed energia oscura sono, con grande precisione:

- Materia barionica o normale = 4%

- Materia oscura (attrattiva) = 22%

- Energia oscura (repulsiva) = 74%

Un terzo risultato, che avrà grandi conseguenze sulla cosmologia ma anche sul Modello Standard, è il **tipo di energia oscura**. C'erano infatti almeno due ipotesi. Una era la **contro-curvatura** (l'aspetto repulsivo di un certo tipo di energia, già compreso nella Relatività Generale), costante nel tempo e nello spazio. L'altro modello era la **quintessenza**: un campo d'energia ancora da scoprire, che può variare nel tempo e nello spazio. WMAP ha mostrato che, almeno dal big bang a oggi, e almeno all'interno dell'Universo Causale, l'energia oscura si può descrivere come **contro-curvatura**. Questo rafforza molto l'idea di un campo di Higgs che, da quando si è "svuotato" provocando l'inflazione, è rimasto costante sempre e dovunque. Infatti, un campo di questo genere, ha sull'espansione dell'universo l'effetto di una contro-curvatura, esattamente come l'attrazione gravitazionale provoca una curvatura. Quando Einstein introdusse la **costante cosmologica** aveva ragione, e quando disse che la costante cosmologica era stato il più grande errore scientifico della sua vita, commise il più grande errore scientifico della sua vita. È perdonabile, perché gli mancavano troppe informazioni sperimentali per poterlo sapere.

Ma il risultato scientificamente più rivoluzionario è stato il seguente: **WMAP ha rivelato le tracce lasciate dall'inflazione, e queste possono anche dirci "quale tipo" d'inflazione si è verificata**. Di questo dobbiamo parlare più a lungo, ma prima vorrei ricordare quanto segue.

Prima di queste misure, le **"prove scientifiche"** del big bang erano:

1) Si "vedeva" in senso stretto l'universo a 380.000 anni di età (parete di fuoco), per cui si poteva affermare che **l'universo ha certamente attraversato "almeno" la fase che ci si sarebbe attesi se fosse uscito dal big bang 380.000 anni prima**.

2) La nucleosintesi primordiale (abbondanze di  $^4\text{He}$  e altri elementi nelle stelle più antiche) è una traccia sicura, per cui si poteva affermare che **l'universo ha certamente attraversato "almeno" la fase che ci si sarebbe attesi se fosse uscito dal big bang 3 minuti prima**.

Avendo osservato con buona sicurezza le tracce dell'inflazione, come stiamo per discutere (anche se il satellite Planck, che sarà lanciato nel 2007, dovrà fornire risultati molto più precisi in proposito), si può oggi affermare che **l'universo ha certamente attraversato "almeno" la fase che ci si sarebbe attesi se fosse uscito dal big bang da appena  $10^{-34}$  secondi**. Scusate se è poco.

Ora, spieghiamo il discorso sull'inflazione ricordando che l'UC è non solo **"piatto"** ( $\dot{U}=1$ ), ma anche estremamente **"omogeneo"** (su grande scala, ovviamente). L'inflazione spiega queste due caratteristiche, poiché qualsiasi curvatura, se **"gonfiata" circa  $10^{50}$  volte**, porterebbe a una situazione **"quasi piatta"**, e qualsiasi **deviazione iniziale dall'omogeneità** finirebbe per essere dispersa in un volume così immenso che, **"localmente"**, tutto sarebbe più o meno omogeneo. Ma non si può escludere a priori che già il big bang sia già stato **"piatto"** e **"omogeneo"** per conto suo, anche se la **"sintonia"** di un big bang capace di dare origine all'UC che vediamo sarebbe stata inverosimile. D'altra parte, del big bang in sé non sappiamo nulla, e quindi non possiamo considerare **"dimostrata"** l'inflazione solo perché non riusciamo

a credere che il big bang sia stato sintonizzato con tanta precisione (stiamo parlando di **40 cifre decimali** o ancor più). Ma esiste un modo sperimentale per discriminare tra i due casi.

Se non ci fosse stata l'inflazione, le piccole deviazioni residue dall'omogeneità che si misurano ancor oggi (sia come "**macchie calde**" sulla parete di fuoco, che come **ammassi di galassie** dove la materia è più addensata) sarebbero state del tutto **casuali**, e quindi avrebbero avuto tutte le stesse caratteristiche, indipendentemente da quanto sono più o meno grandi. Se invece ci fosse stata l'inflazione, le deviazioni residue sarebbero state "**la coda delle deviazioni quantistiche**", e la loro distribuzione avrebbe seguito le leggi della MQ. Come dice Brian Greene: «**Le galassie non sono altro che MQ scritta in grande nello spazio**». Per chiarire meglio, dirò che le fluttuazioni quantistiche di densità avrebbero avuto una certa dimensione **media**, e sia quelle più piccole che quelle più grandi sarebbero state **sempre meno probabili**. Ma siccome l'inflazione avrebbe gonfiato le fluttuazioni "**medie**" **bel oltre le dimensioni dell'UC**, noi oggi potremmo **vedere solo la "codina"** delle fluttuazioni quantistiche più piccole. Per un effetto che è banale da intuire, ma non banale da dimostrare, lungo questa codina, le fluttuazioni un po' **più grandi** sarebbero state anche **un po' più intense** di quelle più piccole. Misurando le macchie calde e fredde sulla parete di fuoco, dovremmo quindi trovare che quelle un po' **più grandi** sono anche un po' **più calde** mentre, in assenza, tutte le macchie calde avrebbero la stessa temperatura.

Già nel 2002 WMAP aveva misurato temperature più alte nelle macchie più grandi, ma poteva esserci un effetto secondario ancora non ben misurato, suscettibile di "**mascherare**" gli effetti dell'inflazione. Il problema era il seguente: centinaia di milioni di anni dopo il big bang nacquero le **primissime stelle**, e la teoria permette di calcolare che dovevano essere di dimensioni enormi, centinaia di volte il Sole se non migliaia. Queste stelle, con la loro radiazione ultravioletta e X, avrebbero di nuovo **ionizzato** la materia nell'universo. Si sarebbe dunque prodotta una "**nebbia di fuoco**" che, però, non sarebbe stata in grado di rendere l'universo **opaco** perché ormai la densità della materia era troppo bassa. In ogni caso, però, questa "**nebbia di fuoco**" avrebbe causato un po' di "**nebulosità**" e "**confuso**" la luce che viene a noi dalla **vera parete di fuoco** a 370.000 anni e che, prima di raggiungerci, avrebbe attraversato questo "**strato nebuloso**". Questa piccola "**confusione**" avrebbe potuto farci credere che le macchie calde della parete di fuoco fossero sistematicamente diverse tra loro mentre, al contrario, la luce partita dalle macchie calde poteva benissimo essere alla stessa temperatura per tutte.

Gli astrofisici di WMAP hanno quindi migliorato di circa 100 volte le misure di **polarizzazione** della luce ricevuta dal satellite, poiché l'eventuale presenza di questo "**strato nebuloso**" avrebbe causato polarizzazione, mentre la luce uscente dalla parete di fuoco sarebbe stata non polarizzata. Effettivamente, hanno trovato la polarizzazione e, sapendo quanto questa influisce sulle misure, hanno dedotto quale fosse la luce proveniente dalla parete di fuoco **prima** di attraversare lo strato nebuloso. Eseguita la correzione, il risultato è stato che le macchie calde sulla parete di fuoco hanno esattamente la distribuzione di temperatura prevista dall'inflazione. Portando al limite osservativo l'analisi delle macchie calde, inoltre, è stato possibile dire che, **con una buona probabilità ma non con certezza**, i modelli di "big bang + inflazione" previsti finora da chi si occupa di superstringhe non sono confermati, mentre sembra valere il modello più semplice proposto da Alan Guth e Andrei Linde attorno al 1980. Guth è stato visto sorridere da un orecchio all'altro perché adesso, poveretto, gli tocca il premio Nobel.

Le misure di polarizzazione sono servite anche a calcolare esattamente la data in cui si sono accese le **prime stelle**: circa **370 milioni di anni dopo il big bang**, in linea con le previsioni teoriche. Le misure meno precise del 2002 avevano portato a una data di soli 200 milioni di anni, e questo aveva suscitato un vespaio di polemiche, poiché i teorici avevano dimostrato che le condizioni dell'universo, a quell'epoca, non avrebbero ancora potuto consentire la formazione di stelle, e occorreva un'età doppia. Che, infatti, è stata trovata. Finora, ci sono state **solo conferme e precisazioni**.

Il satellite Planck, indagando sui dettagli dell'inflazione, sorpasserà ogni acceleratore di particelle e forse dirà qualcosa perfino sulle superstringhe.