

Le Teorie Cosmologiche Classiche

Dopo molti anni di tutto sommato quieto vivere, pare davvero che nel mondo delle cosmologia sia iniziata un'epoca di rivoluzioni. Le recenti osservazioni delle supernovae ad alto redshift (vedi prossimo notiziario) e le analisi dettagliate del pallone-sonda Boomerang sulle fluttuazioni del fondo cosmico di microonde hanno portato ad uno scenario inaspettato: pare che contrariamente ad ogni aspettativa il nostro Universo sia piatto ma in costante accelerazione. Questa scoperta è stata del tutto inaspettata perché un'accelerazione costante può essere prodotta soltanto da una forza repulsiva opposta all'attrazione della gravità, il che porta ad introdurre una componente tutta nuova per l'energia del Cosmo: *l'energia della Costante Cosmologica*.

Per procedere con ordine è necessario ripercorrere brevemente le teorie cosmologiche di più vecchia data, che soltanto le ultime osservazioni stanno scalzando.

Già nella **teoria della Gravitazione di Newton**, pubblicata nel 1687, erano contenuti tutti gli elementi che descrivevano un Universo non statico ma destinato al collasso; tuttavia i pregiudizi filosofici legati all'infinità del Cosmo avevano rallentato la discussione e l'avevano posticipata fino ai primi del '900. Nel '16, infatti, **Albert Einstein** pubblica la sua *Relatività Generale*, teoria elegante che descrive la gravità in termini di curvatura dello spazio: da questo momento in poi si fa strada l'idea che la materia possa influire significativamente sulla struttura dello spazio-tempo che costituisce il nostro universo, arrivando addirittura a determinarne la geometria complessiva. Ma non soltanto la materia ha la capacità di modificare la curvatura dello spazio: questa è più in generale una proprietà dell'energia, in qualsiasi forma si trovi (quindi anche energia radiativa, ovvero della luce, o energia legata a particelle dotate di massa minuscola come i famosi neutrini).

Verso il '22, il giovane fisico russo, **Alexander Friedmann** utilizza i calcoli di Einstein ed arriva a descrivere modelli di universo in evoluzione, nei quali il parametro discriminante è il *parametro di densità* Ω_0 (definito come il rapporto tra la densità al momento presente e la densità critica che arresterebbe l'espansione): gli universi nei quali $\Omega_0=1$ si dicono "piatti" e sono destinati ad espandersi per sempre anche se a velocità sempre decrescente, e in questi la geometria dello spazio-tempo è perfettamente descrivibile in termini di geometria elementare. Gli universi nei quali $\Omega_0 \leq 1$ si dicono "aperti" e sono destinati ad espandersi per sempre con velocità costante, e la geometria di questi è analoga a quella che, mutatis mutandis, si avrebbe su di una figura geometrica simile ad una sella di cavallo (somma degli angoli interni del triangolo inferiore a 180° , rette parallele in un punto che divergono, ecc...). Gli universi nei quali $\Omega_0 > 1$ infine si dicono "chiusi" e sono destinati a ricollassare in un tempo finito, dopo aver raggiunto una dimensione massima (e la loro geometria è anche in questo caso complessa, con analogia bidimensionale nella superficie di una sfera, sulla quale la somma degli angoli interni del triangolo è superiore a 180° e le rette parallele in un punto convergono).¹

Fondamentale è che, riconosciuta l'esigenza di avere modelli non-statici di universo, per ciascuno dei tre possibili modelli si ha che *l'età dell'Universo deve essere finita nel passato*, e deve quindi essere esistita una configurazione di minima dimensione (attualmente non-descrivibile dalle teorie fisiche conosciute) chiamata *Big-Bang*, a partire dalla quale è contata l'età dell'Universo (oggi stimata intorno ai 15 miliardi di anni).

Purtroppo per Friedmann i suoi modelli erano troppo in anticipo sui tempi e le prime evidenze osservative del moto di espansione dell'Universo arrivarono solo nel '29, per merito dell'americano **Edwin Hubble**; fino a quel momento, infatti, il modello cosmologico più in voga era rimasto quello di Einstein, che introducendo una "forza repulsiva" ad hoc, detta *Costante Cosmologica* Λ , prediceva un Universo statico e di età infinita. Tale forza repulsiva (cui doveva corrispondere una forma di energia del tutto sconosciuta) aveva origine esclusivamente "filosofica": per il pensiero dell'epoca un Universo eterno pareva la cosa più sensata.

¹.Fatto importante: qualsiasi sia il valore di Ω , in un dato momento del tempo, esso tenderà sempre a discostarsi dal valore 1, in un senso o nell'altro, per effetto dell'espansione o del collasso dell'Universo. Esso resterà sempre uguale a 1 soltanto nel caso in cui sia esattamente uguale a 1 dall'inizio dei tempi; in ogni caso si ha che la geometria dell'Universo non cambia nel tempo: la curvatura non può mai passare da positiva a negativa e viceversa.

Pare incredibile ma questa soluzione, che Einstein per primo definì a posteriori il suo più grave errore e che Hubble confutò nel '29, è esattamente ciò che la cosmologia moderna spolvera dal cassetto per spiegare l'espansione accelerata (anche se con le dovute migliorie).

Il modello di Universo che si ottiene dalle equazioni di Friedmann, dalla Relatività Generale e da una serie di ipotesi realistiche sullo stato della materia (ma senza alcun ricorso alla Costante Cosmologica), è chiamato *Modello Standard*. I suoi capisaldi sono:

1) deve essere esistito un momento nel passato nel quale la temperatura era superiore ai 10^{32} gradi, la densità si aggirava sui 10^{93} gr/cm³ e il raggio dell'Universo era di appena 10^{-33} cm. ² L'Universo emerge da questa fase (detta *era di Planck*) già in espansione e non è possibile (forse non lo sarà mai) sapere che cosa abbia generato l'espansione iniziale.

2) da quel momento in poi l'Universo si è espanso con velocità dipendente dalla densità di energia contenuta e dal tipo di energia: fino a quando la densità di energia era dominata dall'energia radiante ovvero dai fotoni l'espansione era leggermente più lenta di quando la densità dominante divenne quella della materia (com'è oggi).

3) l'espansione ha progressivamente raffreddato l'Universo nel suo complesso, portandolo alla temperatura (quasi) uniforme misurata attualmente in 2.73°K .

4) nelle fasi immediatamente successive al Big Bang particolari fenomeni legati alla fisica sub-atomica produssero via via tutte le particelle che conosciamo, formando per ultimi gli atomi di idrogeno ed elio (uno dei maggiori successi della teoria è proprio la previsione accurata di queste abbondanze). Gli elementi più complessi dell'elio furono quasi completamente sintetizzati dalle stelle, a partire da qualche miliardo di anni dopo il Big Bang.

Il modello standard non era del tutto completa, contenendo alcuni problemi legati alle osservazioni su grande scala del cosmo. La maggior parte delle lacune, tuttavia, venne colmata negli anni ottanta grazie ai contributi dei vari **Guth, Linde, Steinhardt** ecc..., che produssero il modello dell'*"Universo Inflazionario"*. Si tratta di un modello abbastanza complesso, che coinvolge la teoria dei campi ovvero lo studio delle interazioni fondamentali e del mondo subatomico, comunque per dirla il soldoni questa teoria prevede un piccolo intervallo di tempo (di 10^{-34} secondi) durante il quale l'Universo avrebbe subito un'espansione veramente incredibile, di un fattore almeno 10^{25} in raggio. Tale espansione avrebbe reso "quasi" (o completamente, non è chiaro) piatto l'Universo, avrebbe diluito le possibili disomogeneità generate nelle prime fasi, avrebbe permesso che zone ora apparentemente scollegate venissero a contatto e raggiungessero l'equilibrio termico.

Questo tipo di forza espansiva, anche se con intensità molto più ridotta, è esattamente ciò che servirebbe per spiegare l'espansione accelerata dell'Universo osservata attualmente. Soltanto fenomeni legati al mondo microscopico (tecnicamente chiamati "transizione di fase") possono fornire al tessuto dello spazio-tempo questa energia repulsiva, perché come già visto sia la radiazione sia la materia esercitano un'azione attrattiva. Sembrerebbe allora che lo spazio perfettamente vuoto non fosse dotato di energia zero ma avesse piuttosto uno stato di energia ben definito, tale da generare alla lunga un'espansione accelerata. Resta da spiegare come tutto questo sia possibile, e la sfida è del tutto aperta.

Vedremo nel prossimo notiziario come sia possibile affermare con tanta certezza, dallo studio delle supernovae lontane, che l'Universo stia accelerando, e perché sia necessario introdurre la già citata componente di energia legata alla *Costante Cosmologica Λ* .

F.V.

² Bisogna sottolineare che tutto lo spazio ed il tempo erano contenuti in questa configurazione, e che è sbagliato immaginarsela come un punto infinitamente piccolo da qualche parte nello spazio: non c'era nulla al di fuori di questa configurazione perché l'Universo è tutto ciò che esiste! Purtroppo i nostri sensi sono del tutto incapaci di raffigurarsi uno spazio con più di tre dimensioni, come è in effetti il nostro Universo.