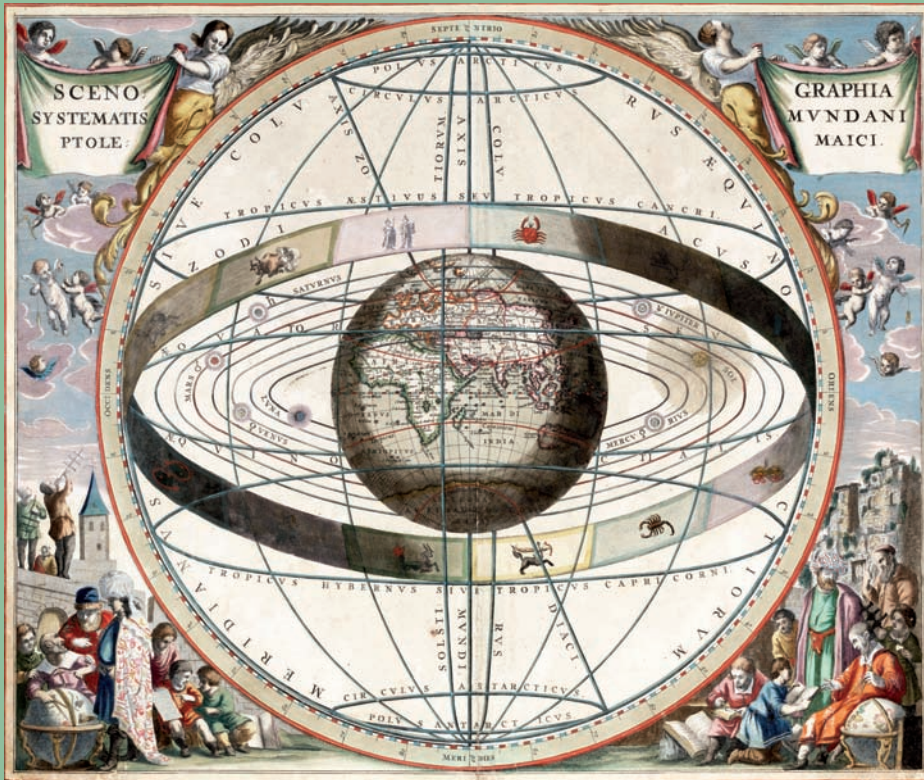


... che muove il Sole e l'altre stelle

Costante cosmologica, energia oscura ed espansione dell'universo

di Luca Amendola



a.
Il sistema geocentrico (o tolemaico) perfezionato nel *De Caelo* da Aristotele, che ne diede un inquadramento concettuale quasi universalmente accettato per circa due millenni dai dotti, per i quali il cosmo era un'entità statica, eterna e immobile nella sua struttura.

Nelle prime pagine del *De Caelo*, Aristotele, come chissà quante altre persone prima di lui, si pone una domanda del tutto naturale: perché il cielo e gli astri non ci cadono addosso? Ma essendo egli Aristotele e non un nottambulo distratto, si chiede anche subito dopo: perché gli astri non si allontanano da noi?

L'idea che l'universo potesse essere un sistema in evoluzione si affacciava così per la prima volta nella galleria delle grandi idee. Ma come diceva Bohr, il

contrario di una grande idea è un'altra grande idea. Per i due millenni successivi, filosofi, teologi e i primi scienziati moderni si trovarono quasi tutti concordi nell'affermare che il cosmo era in realtà un'entità statica, eterna, immobile nella sua struttura.

Einstein stesso, nei suoi primi lavori dedicati alla cosmologia, non riuscì a fare meglio di Aristotele, quasi ripetendone le stesse parole: il cielo è immutabile, quindi l'universo è statico. Ma essendo egli Einstein, e non un vacuo sofista, capì rapidamente che per mantenere statico l'universo occorreva escogitare il modo di resistere alla forza universale della gravità. Poiché la gravità è sempre attrattiva e agisce su ogni particella, partendo da una distribuzione statica la materia è destinata a collassare su se stessa. La soluzione immaginata da Einstein nel 1917, la famosa *costante cosmologica*, iniziò così la sua luminosa e poliedrica carriera. Pochi anni dopo, alcuni astronomi, Edwin Hubble in testa, scoprirono che l'universo si espande o, più correttamente, che tutte le galassie possiedono un moto che le allontana sempre di più l'una dall'altra. La cosmologia moderna, basata finalmente su dati e non su elucubrazioni, aveva ufficialmente inizio.

Per spiegare un'espansione non accelerata, come quella che le osservazioni sembravano allora richiedere, la costante cosmologica non era però necessaria e l'idea di Einstein rimase dormiente per qualche decennio. Dormiente ma non dimenticata, perché, anche se non richiesta, la costante cosmologica è come un genio della

lampada: una volta uscita, non vuole più rientrare. Secondo la fisica quantistica dei campi la costante cosmologica è una proprietà intrinseca del vuoto e non c'è nessuna ragione evidente per ritenere che sia nulla. Tutt'altro: conti che si possono fare sul tradizionale tovagliolo del bar mostrano che questa "energia del vuoto" dovrebbe avere un valore gigantesco, tale da far immediatamente "esplodere" o collassare l'intero universo. Conti, ammettiamolo, piuttosto azzardati, ma indicativi del fatto che c'è qualcosa di profondo nella costante cosmologica che ci sfugge completamente.

Il più spettacolare *come-back* nella storia della fisica irrompe inatteso nel 1998. Due gruppi di astronomi e fisici, guidati da Saul Perlmutter, Brian Schmidt e Adam Riess, pubblicano i risultati di una ricerca durata quasi un decennio. Proprio come Hubble cinquant'anni prima, i due gruppi avevano misurato velocità e distanza di oggetti lontanissimi, non galassie stavolta, ma supernovae dette *di tipo Ia*, osservabili fino a distanze mille volte superiori a quelle di Hubble. Queste supernovae esplodono quando raggiungono una soglia fissa, detta *massa di Chandrasekhar*. La loro luminosità massima è quindi relativamente costante, indipendentemente dai dettagli dell'esplosione. Misurando il flusso luminoso che giunge ai nostri telescopi,

possiamo stimare in maniera diretta la distanza delle sorgenti, perché il flusso percepito decresce con l'inverso del quadrato della distanza, con opportune correzioni dovute all'espansione cosmica. La conclusione dei due gruppi di ricerca fu sconvolgente: i dati mostravano chiaramente un universo in accelerazione, inspiegabile senza una costante cosmologica o qualcosa che gli somigliasse molto. Una nuova inflazione cosmica (vd. in *Asimmetrie* n. 15 p. 37, ndr) dunque, non più persa nel lontanissimo passato, ma fiorente proprio sotto i nostri occhi.

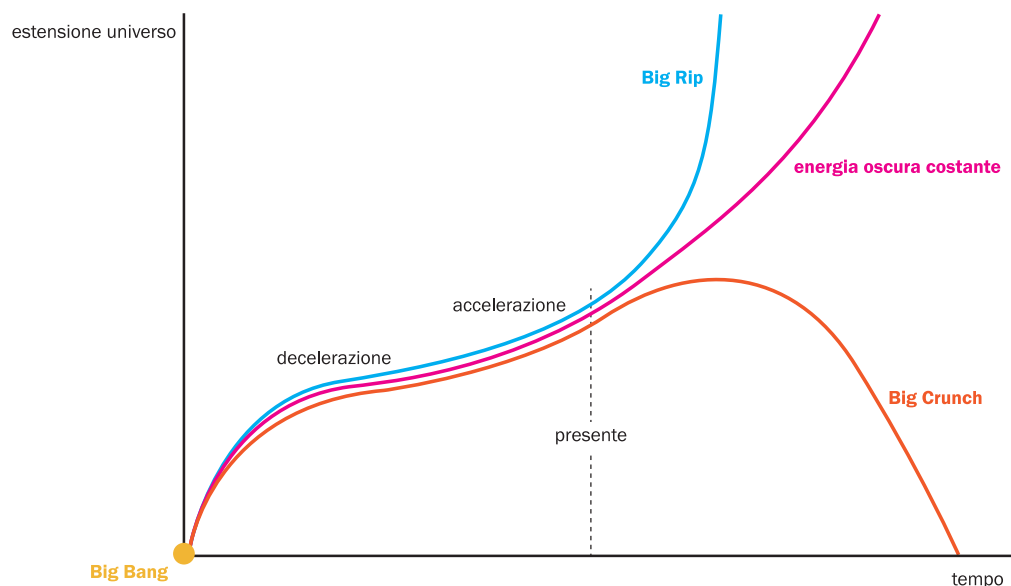
In quell'avverbio, "chiaramente", è stata in realtà immeritabilmente compressa un'infinità di diabolici dettagli. Prima di poter giungere alla costante cosmologica (e al Nobel assegnato a Perlmutter, Schmidt e Riess nel 2011) fu necessario un enorme lavoro di controllo dei risultati e di tutte le possibili spiegazioni alternative.

La costante cosmologica, indicata universalmente con il simbolo Λ , ha molte misteriose proprietà. La più importante è che si tratta di una forma di energia che non si diluisce con l'espansione, ma che resta, appunto, costante. Questa è una conseguenza di un'altra inusuale caratteristica, la sua forte pressione negativa. In relatività generale, la pressione esercita una forza di gravità proprio come la massa.

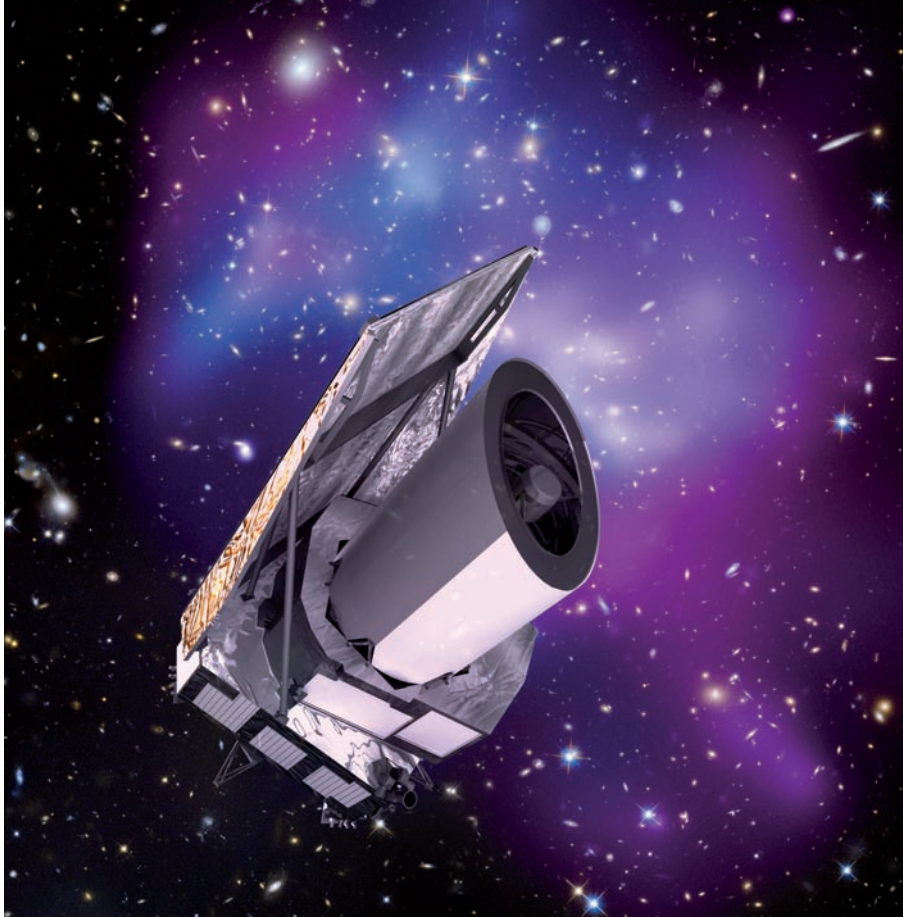
Essendo negativa, la forza che ne risulta accelera l'espansione, invece di rallentarla come fanno la materia ordinaria e la materia oscura. Una sorta di antigravità, quindi, anche se non molto pratica per gli scrittori di fantascienza, perché, essendo assolutamente omogenea, non può essere modellata a piacimento per farne antipianeti, antistelle e motori antigravitazionali.

Una conseguenza immediata del suo valore indipendente dal tempo è che la costante cosmologica continuerà ad accelerare l'espansione per sempre, anche quando la densità di materia e la radiazione saranno scese a livelli impercettibili. Oggi si stima che la costante Λ sia responsabile del 73% dell'energia dell'universo e che questa percentuale è destinata ad aumentare nei prossimi miliardi di anni a causa dell'espansione dell'universo.

I risultati delle supernovae vennero presto confermati da molte altre osservazioni, da quelle della radiazione cosmica di fondo alle perturbazioni nella distribuzione delle galassie. Ma per quanto sempre più precisi, i dati non permettono ancora di stabilire una volta per tutte se la costante Λ sia l'unica spiegazione possibile. Nel varco aperto da questa incertezza, e forti dei problemi fondamentali che la fisica quantistica associa all'energia del vuoto, i cosmologi hanno prodotto molte altre interessanti ipotesi.



b.
L'evoluzione delle distanze cosmiche dal momento del Big Bang iniziale. Dopo la fase iniziale inflazionaria (qui non illustrata), e quella rallentata, lo spazio inizia a espandersi in modo accelerato sotto l'azione dell'energia oscura. Tra le ipotesi sull'andamento futuro, sono qui illustrate il collasso finale (Big Crunch) e il Big Rip, una espansione talmente veloce da distruggere tutte le strutture fisiche, dalle stelle agli atomi.



Come l'inflazione cosmica primordiale può essere stata indotta da una "particella", o meglio un campo, chiamato *inflatone*, così l'accelerazione recente potrebbe essere dovuta, invece che alla costante cosmologica, al lavoro nascosto di un campo/particella chiamato *energia oscura* o *quintessenza* (riecco Aristotele!) o semplicemente *campo scalare*. Come tutti i campi, esso si estende e si propaga in tutto lo spazio e ha una sua dinamica. Come tutte le particelle, l'energia oscura possiede anche una massa, anche se talmente minuscola da non essere direttamente misurabile con alcun acceleratore: la sua lunghezza d'onda associata la rende infatti una

particella veramente impalpabile, distribuita su distanze pari all'intero universo.

L'energia oscura o quintessenza assomiglia alla costante cosmologica, ma non è esattamente costante e quindi la sua densità varia lentamente nel tempo e può perfino fluttuare e addensarsi leggermente nello spazio.

C'è infine un'altra suggestiva possibilità: che l'accelerazione dell'espansione dell'universo sia dovuta in realtà a una nuova *forza oscura*, in grado di esercitare la sua azione direttamente sulla materia, proprio come la gravità, il campo elettromagnetico o le due forze nucleari fondamentali. Questa "quinta forza"

sarebbe quasi indistinguibile dalla gravità stessa, tanto da essere anche denominata *gravità modificata*. Le conseguenze di una gravità modificata potrebbero essere innumerevoli: l'intera epopea dell'universo dovrebbe essere riscritta tenendo conto di un nuovo potente fattore, ben al di là della semplice costante cosmologica.

Tutte queste ipotesi sono al centro degli sforzi osservativi e teorici della cosmologia. Una delle imprese più ambiziose è il satellite Euclid dell'Esa, con ampia partecipazione italiana, il cui lancio è previsto per il 2020. Euclid sarà un telescopio dedicato alla cosmologia capace di catalogare in cinque anni gli spettri (e quindi la distanza attraverso il *redshift*) di cinquanta milioni di galassie e le immagini di altre due miliardi, creando un'accurata mappa cosmica tridimensionale in un volume pari a un cubo il cui lato misura miliardi di anni luce. La distribuzione delle galassie sarà confrontata con quella predetta dalle varie teorie dell'energia oscura e combinata con tutti i dati che via via si renderanno disponibili. Il risultato sarà una misura altamente precisa di tutti i principali parametri cosmologici, inclusa la densità di materia ed energia oscura, la massa dei neutrini, lo spettro delle fluttuazioni inflazionarie primordiali, il tasso di espansione a varie distanze. La speranza è che nelle pieghe della mappa di Euclid possiamo finalmente leggere l'identità della costante cosmologica o energia oscura o gravità modificata. La certezza è che Euclid e gli altri esperimenti simili ci forniranno una visione estesa e allo stesso tempo profonda del nostro universo e ci aiuteranno a capire finalmente perché mai il cielo non ci cada sulla testa.

c.
Immagine artistica del satellite Euclid.

Biografia

Luca Amendola è stato ricercatore astronomico all'Istituto Nazionale di Astrofisica (Inaf, Osservatorio di Roma) fino al 2009 ed è attualmente professore di fisica teorica presso l'Università di Heidelberg (Germania). Ha passato periodi di ricerca al Fermilab di Chicago, in Francia, Germania, Giappone. È autore di un libro divulgativo (*Il Cielo Infinito*, Sperling).

Link sul web

<http://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy/>

http://hubblesite.org/hubble_discoveries/dark_energy/de-what_is_dark_energy.php

<http://sci.esa.int/euclid/42267-science/>

<http://www.focus.it/cultura/che-cosa-sono-la-materia-e-l-energia-oscura>