

La fine della cosmologia?

PIANETA SOLITARIO. L'accelerazione dell'espansione cosmica farà sì che in un lontano futuro la galassia che ospita la Terra sarà circondata da un vuoto totale.

L'espansione accelerata dell'universo cancella le tracce delle sue origini

di Lawrence M. Krauss e Robert J. Scherrer

Se cent'anni fa «Le Scienze» avesse pubblicato un articolo sulla storia e la struttura a grande scala dell'universo, oggi lo troveremmo quasi del tutto sbagliato. Nel 1908 gli scienziati pensavano che la nostra galassia costituisse l'intero universo: la consideravano un «universo isola», un ammasso isolato di stelle circondato dal vuoto infinito. Oggi sappiamo che la Via Lattea è soltanto una di oltre 400 miliardi di galassie nell'universo osservabile.

Nel 1908, poi, quasi tutta la comunità scientifica era convinta che il cosmo fosse statico ed eterno. Non si immaginava minimamente che avesse avuto origine da un «big bang», né si intuiva che la sintesi degli elementi fosse iniziata nei primissimi istanti del big bang e che continuasse a verificarsi nel nucleo delle stelle. L'espansione dello spazio e la sua possibile curvatura in risposta alla materia erano concetti totalmente estranei alla scienza di quel tempo. E la scoperta che il cosmo è pervaso da una radiazione che fornisce un'immagine spettrale del raffreddamento dell'universo poco dopo la sua nascita doveva attendere lo sviluppo di tecnologie moderne, progettate non per esplorare l'eternità, ma per consentire a ciascuno di noi di telefonare.

Tra le aree di indagine intellettuale, forse la cosmologia è quella che è cambiata più radicalmente nel corso dell'ultimo secolo, e questo cambiamento ha rivoluzionato la nostra visione del mondo. Ma siamo sicuri che la scienza del futuro continuerà a rispecchiare una conoscenza empirica più approfondita rispetto a quella delle epoche precedenti? Il nostro lavoro recente suggerisce che alla scala del tempo cosmico la risposta è ne-

IN SINTESI

- Una decina d'anni fa si è scoperto che l'espansione dell'universo sta accelerando. Gli scienziati stanno ancora analizzando le implicazioni di questa scoperta rivoluzionaria.
- L'espansione sempre più rapida finirà per allontanare le galassie con una velocità apparente superiore a quella della luce, facendole sparire per sempre alla nostra vista. Questo processo eliminerà i punti di riferimento che consentono di misurare l'espansione e diluirà nel nulla molte caratteristiche che hanno avuto origine con il big bang. In poche parole, cancellerà tutti gli indizi dell'esplosione primordiale.
- I nostri lontanissimi discendenti vedranno l'universo come un aggregato di stelle immerso in un vuoto immutabile e senza fine.
- Quante informazioni sulla storia dell'universo sono già perdute per sempre?

gativa. Forse la nostra è l'unica epoca della storia dell'universo in cui per la scienza è possibile raggiungere una conoscenza accurata della vera natura del cosmo.

Nell'intraprendere questo nostro lavoro siamo stati motivati da una straordinaria scoperta che risale a quasi dieci anni fa. Due gruppi di astronomi, che studiavano l'espansione dell'universo nel corso degli ultimi cinque miliardi di anni, hanno scoperto che l'espansione sembra accelerare. All'origine di questa «antigravità» cosmica ci sarebbe una nuova forma di «energia oscura» associata allo spazio vuoto.

Alcuni teorici, tra i quali uno di noi (Krauss), avevano previsto questo risultato basandosi su misurazioni indirette, ma in fisica quello che conta è l'osservazione diretta. L'espansione accelerata dell'universo implica che lo spazio vuoto contiene quasi tre volte più energia rispetto a quella contenuta in tutte le strutture osservabili: galassie, ammassi e superammassi di galassie. Per ironia della sorte, fu Albert Einstein il primo a postulare l'esistenza di una simile forma di energia, che chiamò costante cosmologica, per mantenere l'universo statico (si veda *L'antigravità cosmologica*, di Lawrence M. Krauss, in «Le Scienze» n. 367, marzo 1999).

L'energia oscura avrà un impatto enorme sul futuro dell'universo. Il cosmologo Glenn Starkman, della Case Western Reserve University, e Lawrence Krauss hanno indagato sul destino della vita in un universo che prevede una costante cosmologica, scoprendo che un universo di questo tipo diventerà assai inospitale. La costante cosmologica produce un «orizzonte degli eventi» fisso, una superficie immaginaria che impedisce alla materia e alla radiazione provenienti da regioni situate al di là di essa di raggiungerci. L'universo finisce per assomigliare a un buco nero rovesciato, con la materia e la radiazione intrappolate all'esterno dell'orizzonte anziché all'interno. Questa situazione implica che l'universo osservabile contenga soltanto una quantità finita di informazione e che la sua elaborazione (e la vita) non può continuare per sempre (si veda *Qual è il destino della vita nell'universo?*, di Lawrence M. Krauss e Glenn D. Starkman, in «Le Scienze» n. 378, febbraio 2000).

Molto prima che il limite dell'informazione diventi un problema, tutta la materia in espansione nell'universo avrà oltrepassato l'orizzonte degli eventi. Questo processo è stato studiato da Abraham Loeb e Kentaro Nagamine, quando erano entrambi alla Harvard University. I due hanno

scoperto che il cosiddetto Gruppo Locale di galassie (la Via Lattea, Andromeda e una moltitudine di galassie nane in orbita intorno a esse) collasserà in un unico, colossale superammasso di stelle. Tutte le altre galassie spariranno per sempre al di là dell'orizzonte degli eventi. Questo processo richiederà circa 100 miliardi di anni: un tempo tremendamente lungo, ma pur sempre estremamente breve in confronto all'eternità.

Pilastrini che crollano

Immaginiamo che, nel futuro remoto, in questo superammasso vivranno astronomi di una civiltà avanzata: a quali conclusioni sulla storia dell'universo giungeranno? Per riflettere su questo interrogativo, consideriamo i pilastrini su cui poggia la nostra attuale conoscenza del big bang.

Il primo è la teoria generale della relatività. Per tre secoli la teoria della gravitazione universale di Newton è stata l'unica base di quasi tutta l'astronomia. La teoria di Newton è perfetta per prevedere i moti di oggetti a scale che vanno da quella terrestre a quella galattica, ma non può trattare aggregati di materia infinitamente grandi. La relatività generale ha permesso di superare questo limite. Poco dopo la pubbli-

Fra 100 miliardi di anni la fondamentale scoperta dell'espansione dell'universo compiuta da Hubble non sarà più riproducibile

cazione della teoria di Einstein, nel 1916, il fisico olandese Willem de Sitter risolse le equazioni della relatività generale per un universo semplificato che conteneva la costante cosmologica prevista da Einstein. Il lavoro di de Sitter sembrava riprodurre la visione del cosmo generalmente accettata a quell'epoca: una galassia-isola immersa in uno spazio statico e in gran parte vuoto.

I cosmologi non tardarono a rendersi conto che l'interpretazione statica era sbagliata: di fatto, l'universo di de Sitter è in continua espansione. E il fisico belga Georges Lemaître dimostrò che secondo le equazioni di Einstein l'esistenza di un universo infinito, omogeneo e statico è impossibile: l'universo deve espandersi o contrarsi. Da questi punti fermi nacque la teoria del big bang, come in seguito fu chiamata.

Il pilastrino successivo risale agli anni venti, quando fu scoperta l'espansione cosmica. Il merito di aver fornito le prime prove osservative del fenomeno spetta all'astronomo statunitense Vesto Slipher, che misurò le velocità delle galassie vicine a partire dagli spettri stellari. Le onde luminose emesse da una stella che si avvicina alla Terra vengono compresse: la loro lunghezza d'onda si accorcia e la luce diventa più blu. Se invece l'oggetto si allontana la sua radiazione è «stirata», la lunghezza d'onda si allunga e la luce diventa più rossa (il cosiddetto *redshift*).

Misurando lo spostamento verso il rosso o verso il blu della radiazione proveniente da galassie lontane, Slipher riuscì a determinare se erano in avvicinamento o in allontanamento e a quale velocità. (A quell'epoca gli astronomi non erano neppure certi che le macchie indistinte di luce che oggi chiamiamo «galassie» fossero davvero sistemi indipendenti di stelle, e non semplici nubi di gas all'interno della nostra galassia.) Slipher scoprì che quasi tutte le galassie si stavano allontanando da noi, come se la Terra fosse al centro di una tumultuosa espansione.

Di solito però la scoperta dell'espansione cosmica non è attribuita a Slipher, ma a Edwin Hubble, altro astronomo statunitense, che determinò non solo la velocità ma anche la distanza delle galassie vicine. Queste misurazioni lo condussero a due conclusioni che giustificano la sua fama. Innanzitutto, dimostrò che le galassie erano tanto distanti tra loro che senza dubbio si trattava di aggregati indipendenti di stelle, proprio come la Via Lattea. Poi scoprì una relazione semplice, di proporzionalità diretta, tra distanza e velocità: una galassia che si trova a una distanza doppia rispetto a un'altra si allontana a una velocità due volte più grande. E questa relazione di proporzionalità si osserva

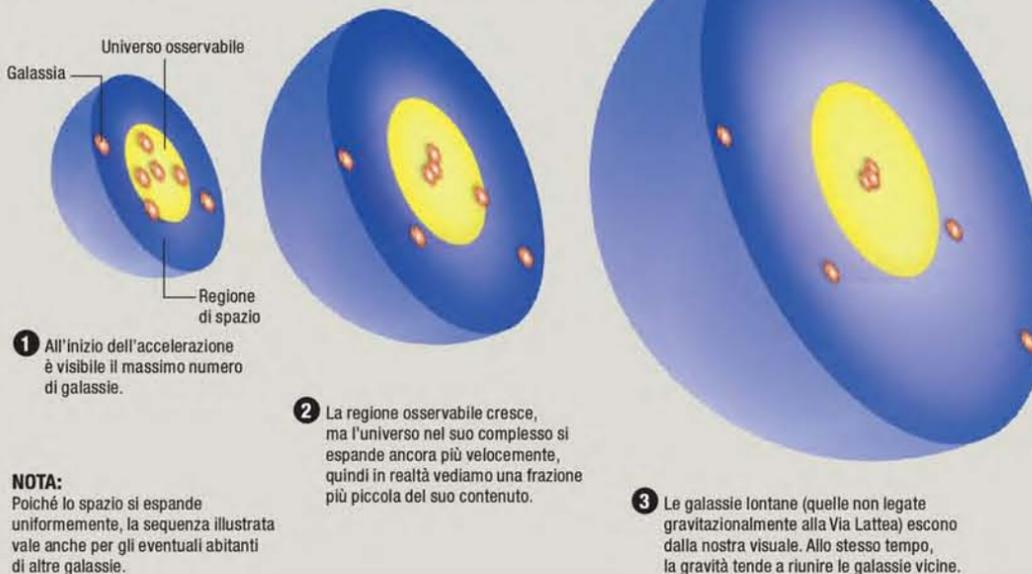
GLI AUTORI



LAWRENCE M. KRAUSS (a destra) e **ROBERT J. SCHERRER** (a sinistra) hanno iniziato a collaborare due anni fa, quando Krauss ha trascorso un anno sabbatico alla Vanderbilt University. Krauss è cosmologo alla Case Western Reserve University e direttore del Center for Education and Research in Cosmology and Astrophysics. È autore di sette libri e si impegna attivamente per promuovere la divulgazione scientifica. Scherrer è cosmologo, preside del Dipartimento di fisica e astronomia sempre alla Vanderbilt University e autore di romanzi di fantascienza. Entrambi apprezzano la possibilità di dedicarsi alla cosmologia, finché l'accelerazione permetterà di farlo...

L'universo si espande, la visuale si accorcia

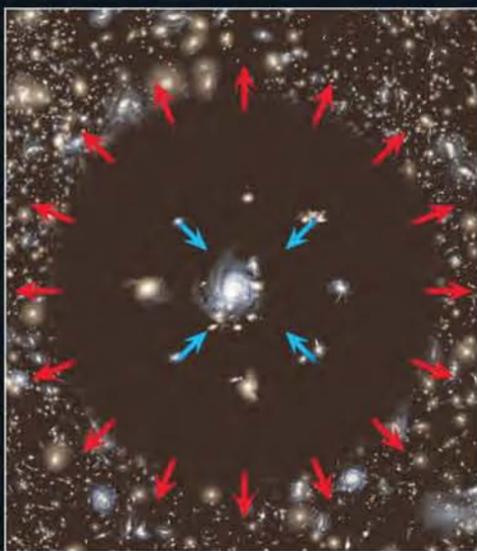
È possibile che l'universo sia infinito, ma consideriamo ciò che accade alla regione di spazio intorno a noi (*sfera in viola*), di cui vediamo solo una parte (*sfera interna in giallo*). Via via che lo spazio si espande, le galassie (*macchie arancioni*) si disperdono sempre più. Dato che la radiazione luminosa ha tempo per propagarsi, noi osservatori terrestri (come i nostri predecessori e discendenti) vediamo un volume di spazio in continua espansione. Sei miliardi di anni fa, l'espansione cominciò ad accelerare, allontanando le galassie con velocità apparente superiore a quella della luce.



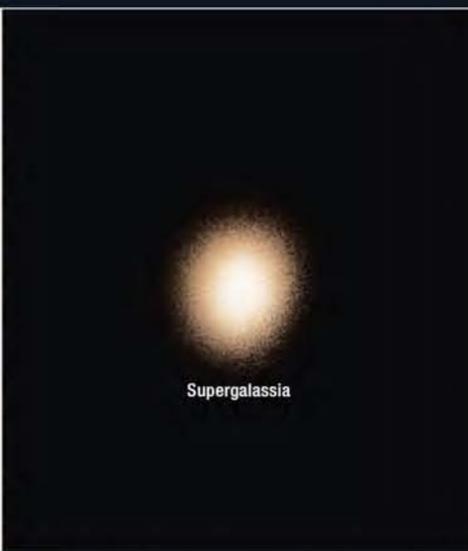
Steve Green, Vanderbilt University (Krauss e Scherrer), Slim Films (illustrazioni)

L'apocalisse della conoscenza

L'accelerazione dell'espansione cosmica sta cominciando a minare i tre fondamentali pilastri osservativi della teoria del big bang: il moto di allontanamento reciproco delle galassie, la radiazione cosmica di fondo a microonde e l'abbondanza relativa degli elementi chimici leggeri, come idrogeno ed elio.



OGGI TUTTI E TRE I PILASTRI SONO BEN RICONOSCIBILI. Le galassie distanti si allontanano (frecce in rosso), mentre quelle prossime si avvicinano (frecce in blu). La radiazione di fondo pervade lo spazio, e il gas cosmico conserva in gran parte la composizione chimica prodotta nelle prime fasi del big bang.



FRA ALCUNI MILIARDI DI ANNI le galassie vicine si saranno fuse tra loro e quelle lontane saranno scomparse alla vista. La radiazione cosmica di fondo si sarà diluita fino a non essere più rilevabile. Innumerevoli generazioni di stelle avranno contaminato la miscela chimica originaria.

AMNESIA UNIVERSALE

L'accelerazione dell'espansione cosmica osservata ai giorni nostri non è l'unico meccanismo con cui l'universo distrugge le testimonianze del proprio passato.

INFLAZIONE COSMICA

Probabilmente una fase di espansione accelerata si è verificata anche ai primordi della storia dell'universo, e ha cancellato quasi tutte le tracce dell'universo preesistente, compresi gli eventi accaduti nell'istante del big bang.

BUCHI NERI

Questi pozzi cosmici fanno sparire non solo la materia, ma anche le informazioni a lei associate. È possibile che queste informazioni vadano perdute per sempre.

MISURAZIONI QUANTISTICHE

Ogni volta che misuriamo un sistema quantistico lo costringiamo in un particolare stato cancellando le prove delle numerose possibili configurazioni che l'oggetto stesso potrebbe avere.

proprio se l'universo è in espansione. In seguito, le misurazioni di Hubble sono state perfezionate, e di recente l'osservazione di supernove lontane ha portato a individuare l'energia oscura.

Il terzo pilastro è la debole luminosità della radiazione cosmica di fondo a microonde, scoperta per caso nel 1965 da Arno Penzias e Robert Wilson, due fisici dei Bell Laboratories, mentre cercavano di individuare fonti di interferenza radio. Si capì subito che questa radiazione è un residuo delle fasi iniziali dell'espansione cosmica, e indica che l'universo primordiale era caldo e denso, e che col passare del tempo è diventato più freddo e rarefatto.

L'ultimo pilastro osservativo della teoria del big bang si basa sul fatto che l'universo primordiale era ideale per i processi di fusione nucleare. Quando la temperatura era compresa tra 1 e 10 miliardi di gradi, i nuclei leggeri generavano nuclei più pesanti grazie alla nucleosintesi del big bang. Questo processo si è verificato solo per pochi minuti, poi l'universo in espansione è diventato troppo freddo e la fusione ha interessato solo gli elementi più leggeri. La maggior parte dell'elio presente nel cosmo è stata prodotta in quel momento, così come il deuterio, un isotopo pesante dell'idrogeno. Le misurazioni dell'abbondanza di elio e deuterio so-

no in accordo con le previsioni della nucleosintesi del big bang, e forniscono quindi ulteriori prove a favore della teoria, oltre che una stima precisa dell'abbondanza di protoni e neutroni nell'universo.

Cieli scuri

Che cosa vedranno gli astronomi che scruteranno il cielo tra 100 miliardi di anni? A occhio nudo, più o meno quello che vediamo noi oggi: le stelle della nostra galassia. Le più grandi e luminose avranno esaurito il loro combustibile nucleare, ma tantissime stelle più piccole illumineranno ancora il cielo notturno. La grande differenza si avrà nel momento in cui quegli astronomi costruiranno telescopi in grado di osservare galassie esterne alla nostra. Semplicemente, non le vedranno. Quelle più vicine si saranno fuse con la Via Lattea formando un'unica, colossale galassia, e quasi tutte le altre saranno scomparse da tempo, perché si troveranno oltre l'orizzonte degli eventi.

La scomparsa delle galassie lontane non è repentina, ma graduale. Il loro redshift diventa infinitamente grande via via che si avvicinano all'orizzonte. Krauss e Starkman hanno calcolato che fra 100 miliardi di anni il redshift sarà superiore a 5000 per tutte le galassie, e fra 10.000 miliardi di anni arriverà a 10^{53} : a quel punto anche i raggi

cosmici di energia più elevata avranno subito un redshift tale per cui la loro lunghezza d'onda sarà maggiore della grandezza dell'orizzonte. Questi oggetti saranno diventati invisibili per i terrestri.

Una delle conseguenze sarà che la scoperta dell'espansione dell'universo compiuta da Hubble diventerà irripetibile. Tutta la materia in allontanamento sarà sottratta all'osservazione varcando l'orizzonte degli eventi, mentre quella rimanente si sarà raccolta in un aggregato di stelle tenute insieme dalla forza gravitazionale. Per quegli astronomi del futuro l'universo osservabile somiglierà molto all'«universo isola» del 1908: un solo, enorme gruppo di stelle, statico ed eterno, circondato dallo spazio vuoto.

Inoltre la nostra esperienza dimostra che se i dati sono disponibili non è immediato risalire al modello cosmologico corretto. Per esempio tra gli anni quaranta e la metà degli anni sessanta, quando la cosmologia osservativa era basata solo sulla scoperta dell'espansione cosmica compiuta da Hubble, alcuni astrofisici avevano riproposto l'idea di un universo eterno: uno stato stazionario in cui si crea materia con il procedere dell'espansione, in modo che l'universo nel suo complesso non cambi nel tempo. Questa ipotesi si è rivelata un vicolo cieco, ma dimostra che in assenza di dati osservativi adeguati si possono elaborare idee sbagliate.

Gli astronomi del futuro avranno a disposizione altri indizi per scoprire prove del big bang? La radiazione di fondo permetterà di indagare la dinamica dell'universo? Purtroppo no. Con il procedere dell'espansione cosmica, la lunghezza d'onda della radiazione di fondo si stira, e la radiazione stessa diventa più debole. Quando l'universo avrà 100 miliardi di anni, la lunghezza d'onda di picco della radiazione di fondo sarà dell'ordine dei metri e si troverà quindi nella banda delle onde radio anziché in quella delle microonde. L'intensità sarà diluita di un fattore pari a 1000 miliardi, e potrebbero essere impossibili da osservare.

In un futuro ancora più lontano, la radiazione di fondo diventerà davvero impossibile da osservare. Nella nostra galassia lo spazio interstellare è pervaso da un gas ionizzato di elettroni. Le onde radio a bassa frequenza non riescono a propagarsi al suo interno, ma sono assorbite o riflesse. È un fenomeno simile a quello che durante la notte permette di captare stazioni radio AM a grande distanza dall'origine del segnale: le onde radio sono riflesse dalla ionosfera e ritornano verso terra. Il mezzo interstellare si può considerare come un'enorme ionosfera estesa a tutta la galassia. Le onde radio di frequenza inferiore a circa 1 chilohertz (corrispondente a una lunghezza d'onda superiore a 300 chi-

Don Dixon

Lisa Aplebacher

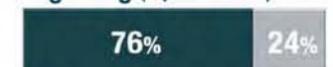
Se questo articolo si conserverà, potrebbe essere l'unico mezzo con cui le future civiltà verranno a conoscenza del big bang. Resta da vedere se qualcuno lo riterrà credibile

LA SCOMPARSA DEGLI INDIZI CHIMICI

L'universo è costituito quasi interamente da idrogeno ed elio sintetizzati nei primi tre minuti del big bang. Una parte dell'idrogeno è stata convertita in elio all'interno delle stelle, ma finora si tratta di una frazione molto piccola. L'abbondanza relativa di questi elementi è stata un indizio osservativo essenziale per dedurre il big bang. In futuro, con il procedere della trasformazione dell'idrogeno in elio nelle stelle, il rapporto tra questi elementi perderà il suo valore di prova sperimentale.

- Idrogeno
- Elio
- Elementi più pesanti dell'elio

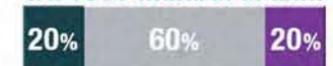
Big bang (+ pochi minuti)



Oggi



Tra 1000 miliardi di anni



lometri) non penetrano nella nostra galassia. All'interno della Via Lattea è e sarà impossibile fare osservazioni radioastronomiche a frequenze inferiori a 1 chilohertz. Quando l'età dell'universo sarà 25 volte più grande di quella attuale, la frequenza della radiazione di fondo scenderà al di sotto di questo valore, e gli abitanti della nostra galassia non saranno più in grado di osservarla. Ma già prima di quel momento le lievi anisotropie di questa radiazione, che hanno fornito tante informazioni utili ai cosmologi di oggi, saranno troppo deboli per essere studiate.

L'oblio del fuoco

Sarà allora l'abbondanza degli elementi chimici a guidare i cosmologi del futuro alla conoscenza del big bang? Ancora una volta è probabile che la risposta sia negativa. La nostra capacità di studiare la nucleosintesi del big bang dipende dal fatto che l'abbondanza di deuterio e di elio non è variata molto dalla loro sintesi, 14 miliardi di anni fa. L'elio primordiale, per esempio, costituisce circa il 24 per cento della materia totale. Anche se le stelle sintetizzano elio nelle reazioni di fusione, finora ne hanno alterato l'abbondanza solo di qualche punto percentuale. Fred Adams e Gregory Laughlin, astronomi dell'Università del Michigan ad Ann Arbor, hanno previsto che l'abbondanza potrebbe arrivare al 60 per cento dopo diverse generazioni stellari. E un osservatore del futuro remoto troverebbe l'elio primordiale sommerso dall'elio delle successive generazioni stellari.

Oggi come oggi la prova più lampante della nucleosintesi del big bang è fornita dal deuterio. Le nostre migliori misurazioni dell'abbondanza di deuterio primordiale derivano dall'osservazione di nubi di idrogeno illuminate da quasar, sorgenti estremamente lontane che si ipotizza siano alimentate da buchi neri. Nel lontano futuro, però, sia le nubi di idrogeno sia i quasar avranno attraversato l'orizzonte degli eventi, scomparendo per sempre dalla nostra vista. Solo il deuterio nell'interno della galassia potrebbe rimanere osservabile, ma questo isotopo sarà via via meno abbondante, perché è distrutto all'interno delle stelle. Anche se gli astronomi del futuro rileveranno deuterio, potrebbero non attribuirne l'origine al big bang. Le reazioni nucleari che coinvolgono raggi cosmici di alta energia, e che oggi sono studiate come possibile fonte di almeno una parte del deuterio osservato, potrebbero apparire un'ipotesi più plausibile.

L'abbondanza di elementi leggeri che osserveranno gli astronomi non fornirà una prova diretta di un'immane esplosione primordiale, ma renderà la cosmologia del futuro diversa dalla cosmolo-

Svanire nell'oscurità

Il cielo notturno visto dalla Terra (se il nostro pianeta continuerà a esistere) cambierà radicalmente a causa della fusione della Via Lattea con le galassie

vicine e della scomparsa di quelle lontane oltre l'orizzonte degli eventi.



OGGI
LA FASCIA DIFFUSA E LUMINOSA che attraversa il cielo è il disco della Via Lattea. Alcune galassie vicine, come quella di Andromeda e le Nubi di Magellano, sono visibili a occhio nudo. Al telescopio se ne possono osservare miliardi.

TRA 5 MILIARDI DI ANNI
LA GALASSIA DI ANDROMEDA si è avvicinata fino a occupare la maggior parte del cielo. Il Sole si espande, diventando una gigante rossa, e poi si spegne. La Terra è ormai una landa desolata.

TRA 100 MILIARDI DI ANNI
AL POSTO DELLA VIA LATTEA c'è una supergalassia sferica, e la Terra potrebbe vagare in solitudine nelle sue regioni più periferiche. Le altre galassie sono scomparse alla vista.

TRA 100.000 MILIARDI DI ANNI
È LA FINE DELLA LUCE: l'ultima stella si spegne. Con l'eccezione della debole luminescenza dei buchi neri e delle luci artificiali di eventuali civiltà future, l'universo diventa oscuro. In seguito, la galassia collassa in un buco nero.

PIETRE MILIARI COSMICHE

10-30 SECONDI

Periodo inflazionario

100 SECONDI

Sintesi di deuterio ed elio

400.000 ANNI

Origine della radiazione di fondo a microonde

8 MILIARDI DI ANNI

L'espansione inizia ad accelerare

13,7 MILIARDI DI ANNI

Oggi

20 MILIARDI DI ANNI

Collisione della Via Lattea con la galassia di Andromeda

100 MILIARDI DI ANNI

Tutte le galassie esterne sono invisibili

1000 MILIARDI DI ANNI

Gli isotopi primordiali sono perduti o estremamente diluiti

100.000 MILIARDI DI ANNI

Si spegne l'ultima stella

gia di un secolo fa almeno per un aspetto. La conoscenza della fisica nucleare consentirà agli scienziati di concludere correttamente che le stelle bruciano combustibile nucleare. Se dedurranno (sbagliando) che tutto l'elio osservabile è stato prodotto dalle generazioni stellari precedenti, potranno un limite superiore all'età dell'universo. Questi scienziati arriveranno alla conclusione, corretta, che il loro universo galattico non è eterno, ma ha un'età finita. Ma l'origine della materia resterà un mistero.

E che dire del concetto con cui abbiamo aperto questo articolo, ovvero che la teoria della relatività di Einstein prevede un universo in espansione e quindi un big bang? Gli abitanti del futuro remoto potrebbero ricavare la teoria della relatività generale da misurazioni ad alta precisione della gravità nei loro sistemi solari. La capacità di prendere spunto da questa teoria per ipotizzare un big bang, però, dipende dall'osservazione della struttura a grande scala dell'universo. La teoria di Einstein prevede che solo un universo omogeneo può espandersi, e il cosmo che osserveranno i posteri sarà tutt'altro che omogeneo. Anzi, poiché sarà costituito da un agglomerato di stelle circondato da un vuoto sconfinato, assomiglierà a un univer-

so-isola di de Sitter. Per quegli studiosi, l'universo osservabile sarà destinato a collassare in un buco nero: esattamente la sorte che attende la nostra galassia nel lontano futuro.

Soli nel nulla

Ma allora si potrà scoprire l'espansione dell'universo? Un effetto rivelatore rimarrà entro l'orizzonte osservativo, almeno in base all'attuale comprensione della relatività generale. Esattamente come accade per l'orizzonte degli eventi di un buco nero, anche il nostro orizzonte degli eventi cosmologico emette radiazione. Ma la temperatura associata a questa emissione è 10^{-30} gradi kelvin: impossibile da misurare. E anche se gli astronomi la individuassero, probabilmente la attribuirebbero a un'altra e più intensa sorgente locale di rumore.

Gli osservatori del futuro potrebbero inviare sonde all'esterno della supergalassia con la funzione di punti di riferimento per rilevare una possibile espansione cosmica. Sembra improbabile che qualcuno concepisca un'idea del genere, e comunque una sonda avrebbe bisogno di miliardi di anni per raggiungere una posizione in cui l'espansione influisce in maniera sensibile sulla sua velocità; inol-

tre per comunicare da una simile distanza il veicolo dovrebbe emettere un'energia confrontabile con quella di una stella. E se la nostra esperienza insegna qualcosa, sarà improbabile trovare finanziamenti per una missione tanto azzardata.

Quegli astronomi probabilmente ipotizzeranno che l'universo è destinato alla distruzione finale in un *big crunch* localizzato, anziché a espandersi in eterno come prevede il modello con la costante cosmologica. Il loro universo limitato finirà non con un sospiro, ma con un'esplosione.

La nostra conclusione è quindi assai strana. La finestra temporale in cui osservatori intelligenti deducono la vera natura dell'universo in espansione potrebbe essere molto breve. Alcune civiltà del futuro conserveranno archivi storici con documenti molto antichi tra i quali, forse, questo articolo, ammesso che riesca a sopravvivere a miliardi di anni di guerre, supernove, buchi neri e un'infinità di altri pericoli. Resta da vedere se sarà ritenuto credibile. E le civiltà che non disporranno di simili archivi forse ignoreranno per sempre il big bang.

Perché l'universo di oggi è tanto speciale? Molti ricercatori hanno provato a sostenere che l'esistenza della vita comporta un effetto di selezione

in grado di spiegare le coincidenze del presente (si veda *Il principio antropico*, di George Gale, in «Le Scienze» n. 162, febbraio 1982). Noi ricaviamo una lezione diversa dalle nostre ricerche.

È molto probabile che questa non sia la prima volta in cui un'espansione accelerata causa una perdita di informazioni sull'universo. Se ai primordi del cosmo vi fu un periodo inflazionario, la rapida espansione che caratterizzò quella fase spinse quasi tutti i dettagli sulla materia e sull'energia preesistenti fuori dell'universo attualmente osservabile. In effetti, uno dei motivi che hanno portato ai modelli inflazionari è stata la necessità di sgombrare l'universo da scomodi oggetti cosmologici, come i monopoli magnetici, che nel lontano passato potevano esistere in abbondanza.

Il punto cruciale è che siamo fortunati a vivere in un periodo nel quale i pilastri del big bang sono ancora osservabili, ma possiamo sospettare che altri aspetti fondamentali siano ormai irrecuperabili. Che cosa abbiamo perso? Questa considerazione dovrebbe ispirarci umiltà, anziché soddisfazione. Forse un giorno scopriremo che la nostra conoscenza attuale dell'universo, che ci appare precisa e completa, in realtà ha gravi lacune. ■

↳ Letture

Life, the Universe and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe. Krauss L.M. e Starkman G., in «Astrophysical Journal», Vol. 531, n. 22, pp. 22-30, marzo 2000.

The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. Adams F.C. e Laughlin G., Free Press, 2000.

Il mondo in un atomo. Krauss L.M., Longanesi, Milano, 2003.

The Return of a Static Universe and the End of Cosmology. Krauss L.M. e Scherrer R.J., in «Journal of General Relativity and Gravitation», Vol. 39, n. 10, pp. 1545-1550, ottobre 2007. <http://arxiv.org/abs/0704.0221>.