Tiratura: 61.932 Diffusione: 46.296

le Scienze

Mensile

Raffaello Cortina Editore

Data 05-2020
Pagina 54/61
Foglio 1 / 8

005345

Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.

Raffaello Cortina

le Scienze
Mensile
Raffaello Cortina Editore
Data 05-2020
Pagina 54/61
Foglio 2 / 8

COSMOLOGIA

Una crisi cosmica

Due misurazioni della velocità a cui si espande l'universo danno risultati diversi, ma non possono essere entrambe corrette. C'è qualcosa che non va, ma che cosa?

di Richard Panek

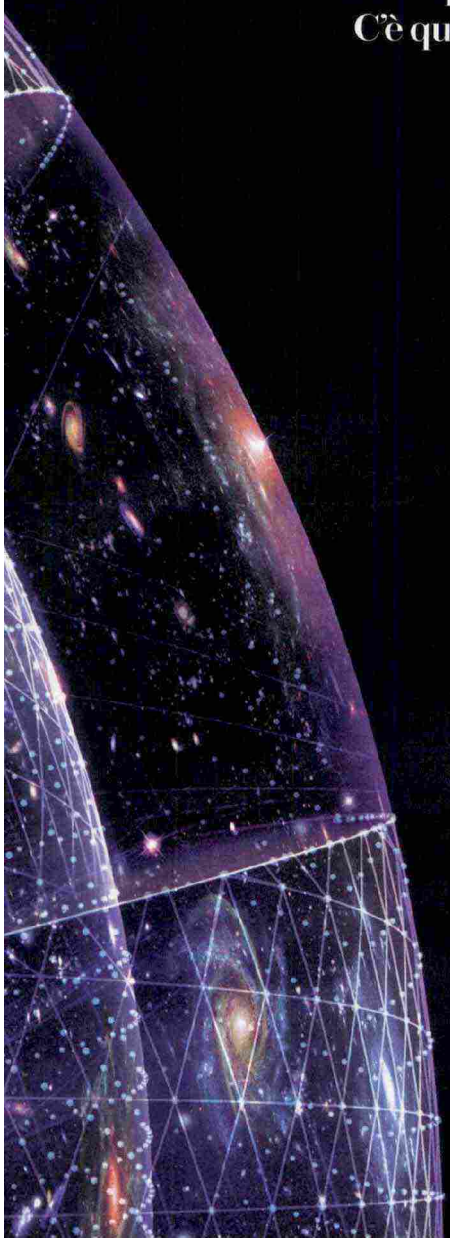


Illustrazione di Mark Ross Studios

005345

Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.

Raffaello Cortina

le Scienze
Mensile
Raffaello Cortina Editore
Data 05-2020
Pagina 54/61
Foglio 3 / 8

Richard Panek è autore di *Il 4% dell'universo* (Codice, 2012), vincitore di una Guggenheim Fellowship in Science Writing. Il suo libro più recente è *Il mistero sotto i nostri piedi* (Raffaello Cortina, 2020).

Verso la fine del Novecento, il modello cosmologico standard sembrava completo. Pieno di misteri e ricco di aree fertili per ulteriori ricerche, certo, ma nel complesso pareva solido: l'universo è formato per circa due terzi da energia oscura (qualcosa di misterioso che accelera l'espansione dell'universo), forse per un quarto da materia oscura (qualcosa di misterioso che determina l'evoluzione della struttura nell'universo) e per il 4 o 5 per cento da materia «ordinaria» (quella di cui siamo fatti noi, i pianeti, le stelle, le galassie e tutti gli altri oggetti che, fino a pochi decenni fa, credevamo costituissero l'universo nella sua interezza). Tutto tornava.

Un attimo, non corriamo troppo. Letteralmente, perché il problema è proprio nella velocità a cui si muove tutto.

Negli ultimi anni è emersa una differenza tra due modi di misurare il tasso di espansione dell'universo, un valore chiamato costante di Hubble (H_0). Le misurazioni che iniziano dall'universo odierno e procedono all'indietro verso fasi sempre più antiche hanno trovato in modo coerente un certo valore per H_0. Le misurazioni che partono dalle prime fasi dell'universo e procedono in avanti, invece, prevedono coerentemente un valore diverso, che suggerisce che l'universo si stia espandendo più velocemente di quanto pensassimo.

La differenza è matematicamente sottile ma, come succede spesso per le sottili differenze matematiche ingigantite dalla scala spazio-temporale dell'universo, significativa a livello cosmico. Conoscere il vero tasso di espansione dell'universo permette ai cosmologi di estrapolare all'indietro nel tempo per determinare l'età dell'universo, e di estrapolare in avanti per capire quando, secondo la teoria attuale, lo spazio tra le galassie sarà diventato così vasto che il cosmo sembrerà una distesa vuota oltre i nostri immediati dintorni. Un valore corretto di H_0 potrebbe anche aiutare a chiarire la natura dell'energia oscura che alimenta l'accelerazione.

Finora le misurazioni dell'universo primordiale che procedono in avanti prevedono un certo valore per H_0, mentre le misurazioni dall'universo recente all'indietro ne rivelano un altro. Questo tipo di situazione non è raro in ambito scientifico; di solito scompare a un esame più attento, e negli ultimi dieci anni i cosmologi non se ne sono crucciati proprio supponendo che sarebbe scomparsa in questo modo. Invece la differenza è peggiorata, anno dopo anno, via via che ogni serie di misurazioni diventava sempre più intrattabile. Adesso è emersa un'opinione condivisa sul problema.

Nessuno dice che l'intero modello cosmologico standard sia sbagliato. Ma c'è qualcosa che non va, forse nelle osservazioni o forse nell'interpretazione delle osservazioni, sebbene entrambe le possibilità siano improbabili. Rimane un'ultima opzione, altrettanto improbabile ma sempre meno impensabile: che qualcosa non vada nel modello cosmologico stesso.

Un programma in due numeri

Per la stragrande parte della storia umana lo «studio» delle nostre origini cosmiche era costituito solo dal mito, con le sue variazioni sul tema del «in principio». Nel 1925 l'astronomo statunitense Edwin Hubble lo portò verso l'empirismo, quando annunciò di aver risolto il mistero secolare dell'identità delle chiazze sfumate in cielo che gli astronomi chiamavano «nebulose». Le nebulose erano formazioni gassose che risiedevano nella volta stellata? In tal caso forse questa volta celeste, che si estendeva fin dove i più

IN BREVE

Gli astronomi hanno ripetutamente calcolato il tasso di espansione dell'universo – la costante di Hubble – con due tecniche diverse. Queste misurazioni hanno portato a un conflitto che è apparentemente insanabile.

Un metodo, che si basa su stelle e supernove dell'universo relativamente recente, arriva a un valore. L'altra strategia, che sfrutta il bagliore residuo del big bang, ne trova un altro.

La differenza è forse dovuta a problemi sperimentali, tuttavia nessun ricercatore sa quali possano essere. Un'altra possibilità è che il conflitto tra i valori dei due metodi derivi da fenomeni ancora non scoperti: una «nuova fisica».

005345
Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.
Raffaello Cortina

potenti telescopi potevano scrutare, era l'universo nella sua interezza. Oppure le nebulose erano «universi isola» a sé stanti? Hubble aveva scoperto che almeno una nebulosa lo era: quella che oggi chiamiamo galassia di Andromeda.

Inoltre, osservando la luce proveniente da altre nebulose, Hubble scoprì che le lunghezze d'onda si erano allungate verso l'estremità rossa dello spettro visibile, il che faceva pensare che ognuna delle sorgenti di questa luce si stesse allontanando dalla Terra. Per inciso, la velocità della luce rimane costante, quello che cambia è la distanza tra le creste successive delle onde, ed è questa lunghezza d'onda a determinare il colore.

Nel 1927 il fisico e sacerdote belga Georges Lemaître notò una regolarità: maggiore era la distanza di una galassia, maggiore era il suo spostamento verso il rosso. In altre parole, più era lontana, più velocemente si allontanava. Nel 1929 Hubble raggiunse indipendentemente la stessa conclusione: l'universo si sta espandendo.

Espandendo rispetto a che cosa? Se immaginiamo di invertire l'espansione del cosmo, troviamo un punto di partenza, una specie di luogo di nascita. Quasi subito alcuni teorici ipotizzarono una sorta di esplosione di spazio e tempo, un fenomeno che in seguito acquisì il nome (inizialmente spregiativo) di «big bang». L'idea sembrava assurda e per decenni, in assenza di prove empiriche, la maggior parte degli astronomi poté permettersi di ignorarla. Tutto cambiò nel 1965, quando su «Astrophysical Journal» furono pubblicati insieme due articoli. Uno, di quattro fisici della Princeton University, prevedeva la temperatura attuale di un universo emerso da una palla di fuoco primordiale. L'altro, di due astronomi dei Bell Labs, riportava la misurazione di questa temperatura.

Nessuno dice che l'intero modello cosmologico standard sia sbagliato. Ma c'è qualcosa che non va

L'antenna radio dei Bell Labs aveva registrato uno strato di radiazioni da tutte le direzioni del cielo, quello che poi sarebbe stato chiamato fondo cosmico a microonde (CMB). La temperatura calcolata a partire dal CMB, circa tre gradi sopra lo zero assoluto, non corrispondeva esattamente alla previsione formulata dallo studio di Princeton, ma per essere un primo tentativo ci era andato abbastanza vicino da portare consenso all'ipotesi del big bang. Nel 1970 Allan R. Sandage, a suo tempo *protégé* di Hubble, pubblicò su «Physics Today» un saggio influente che di fatto fissò il nuovo programma di ricerca per i decenni a venire: *Cosmology: A Search for Two Numbers* (Cosmologia: una ricerca di due numeri). Un numero, diceva Sandage, era il tasso di espansione dell'universo: la costante di Hubble. Il secondo era la velocità a cui questa espansione stava rallentando, il parametro di decelerazione.

Nascita di una crisi

I ricercatori fissarono prima un valore per il secondo numero. Alla fine degli anni ottanta due gruppi iniziarono a misurare la decelerazione lavorando con un presupposto comune e uno strumento comune. Il presupposto era che in un universo in espansione pieno di materia che interagisce gravitazionalmente con tutto il resto della materia, ogni cosa ne attrae ogni altra, l'espansione doveva rallentare. Lo strumento erano le supernove di tipo Ia, esplosioni stellari che secondo gli astronomi potevano servire come candele standard, cioè fonti di luce che non variano da un esemplare all'altro e la cui luminosità ne indica la distanza relativa. (Una lampadina da 60 watt appare sempre più fioca via via che ce ne allontaniamo, ma se sappiamo che è appunto una lampadina da 60 watt possiamo dedurne quanto è lontana da noi.) Se l'espansione sta rallentando, ragionarono gli astronomi, le supernove a enorme distanza dalla Terra sarebbero più vicine, e quindi più luminose, che se l'universo stesse crescendo a un ritmo costante.

Invece quello che scoprirono indipendentemente entrambi i gruppi fu che le supernove più distanti erano più fioche del previsto e quindi più lontane. Nel 1998 annunciarono la loro conclusione: l'espansione dell'universo non sta rallentando, sta accelerando. La causa di questa accelerazione fu chiamata «energia oscura», un nome da usare come «cartello segnaletico» fino a quando qualcuno non capirà di che cosa si tratta.

Presto arrivò un valore anche per il primo numero di Sandage, la costante di Hubble. Per decenni il numero era stato oggetto di discussione tra gli astronomi. Sandage stesso aveva affermato che H_0 dovesse valere circa 50 (il tasso di espansione espresso in chilometri per secondo per 3,26 milioni di anni luce), un valore che avrebbe fissato l'età dell'universo a circa 20 miliardi di anni. Altri astronomi preferivano H_0 vicino a 100, cioè un'età di circa 10 miliardi di anni. La differenza era imbarazzante: anche una scienza appena nata dovrebbe essere in grado di limitare una costante fondamentale entro un fattore due.

Nel 2001 l'Hubble Space Telescope Key Project ha completato la prima misurazione affidabile della costante di Hubble. In questo caso le candele standard erano le variabili Cefeidi, stelle che diventano più luminose o più fioche con una regolarità che corrisponde alla loro luminosità assoluta (il corrispondente dei 60 watt, per così dire). Il Key Project ha portato a un valore che è a metà strada tra i due precedenti: 72 ± 8.

La successiva ricerca puramente astronomica della costante è stata effettuata da SHOES (Supernovae, H_0, for the Equation of State of Dark Energy), un gruppo guidato da Adam G. Riess, che nel 2011 è stato tra i vincitori del premio Nobel per la fisica, per il suo ruolo nelle scoperta dell'accelerazione nel 1998. Questa volta le candele standard erano sia Cefeidi sia supernove di tipo Ia, e tra queste ultime c'erano alcune supernove tra le più lontane mai osservate. Il risultato iniziale, nel 2005, è stato di 73 ± 4, quasi identico a quello del Key Project ma con un margine di errore inferiore. Da allora SHOES ha fornito aggiornamenti regolari, tutti nello stesso intervallo e con errori sempre più piccoli. Il più recente, nel 2019, è stato di $74{,}03 \pm 1{,}42$.

Tutte queste misurazioni di H_0 fanno uso dell'approccio tradizionale dell'astronomia: si parte dal qui e ora, quello che i cosmologi chiamano il tardo universo, e si scruta sempre più lontano nello spazio, il che equivale (dato che la velocità della luce è finita) a scrutare sempre più indietro nel tempo, fino a dove si riesce a vedere. Nell'ultima ventina d'anni, tuttavia, alcuni ricercatori hanno anche iniziato a usare l'approccio opposto. Cominciano dal punto più lontano possibile e procedono verso il presente. Il punto di separazione, il confine tra quello che possiamo e quello che non possiamo vedere, tra l'universo primordiale e quello più recente, è lo stesso CMB che gli astronomi osservarono per la prima volta negli anni sessanta grazie all'antenna radio dei Bell Labs.

Il CMB è una radiazione residua risalente al periodo in cui l'universo, quando aveva appena 379.000 anni, si era raffreddato abbastanza da permettere la formazione degli atomi di idrogeno, dis-

005345

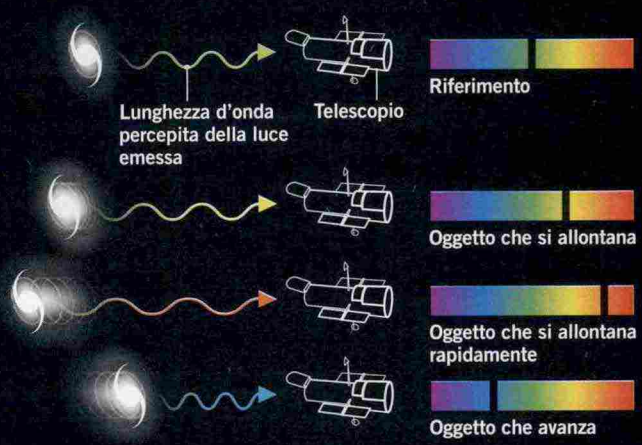
Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.

Raffaello Cortina

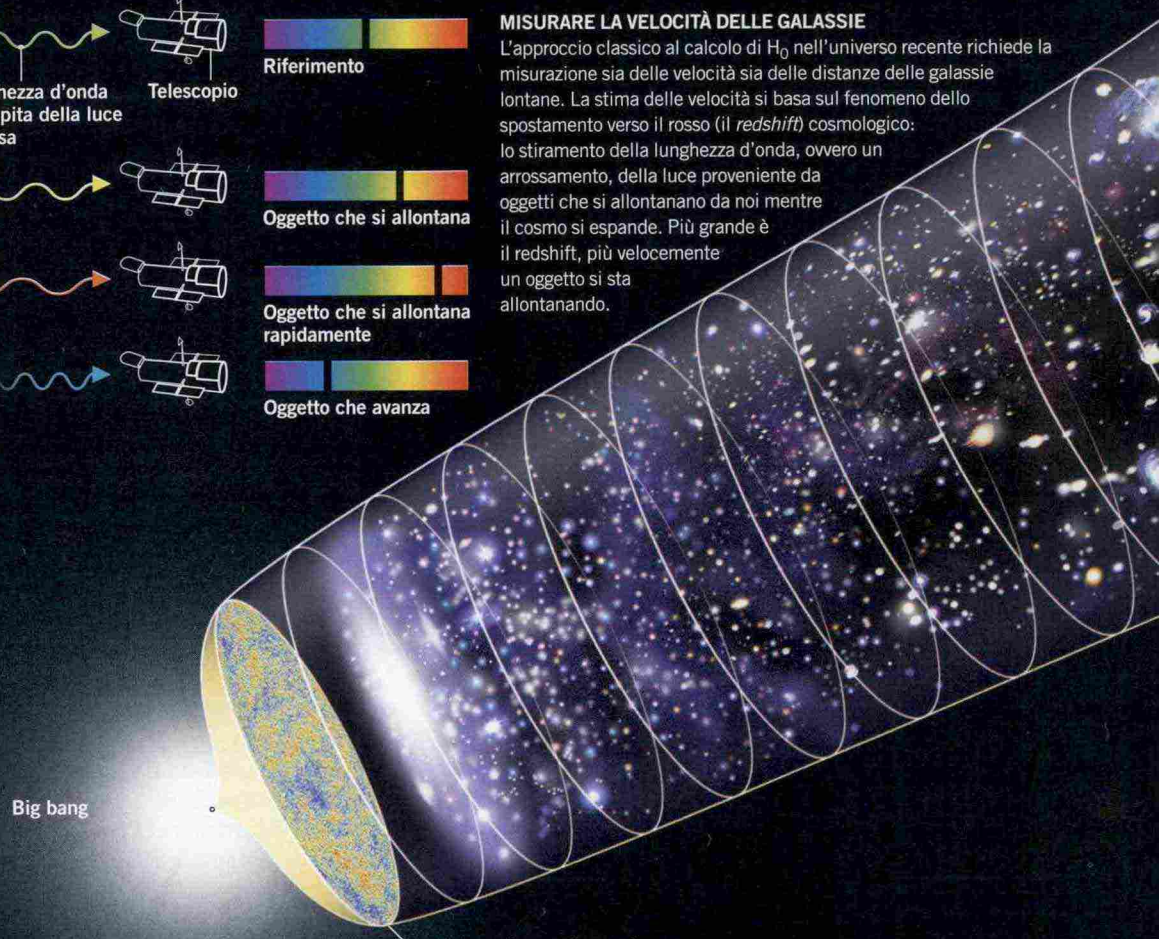
le Scienze
Mensile
Raffaello Cortina Editore
Data 05-2020
Pagina 54/61
Foglio 5 / 8

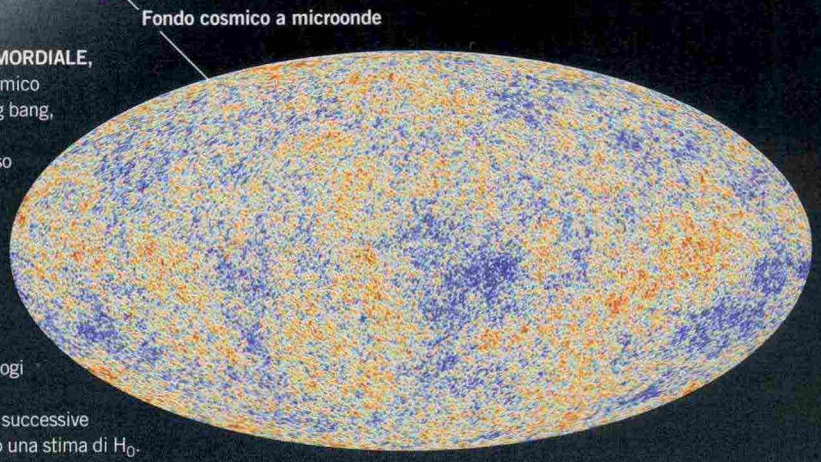
Un conflitto al centro della cosmologia

Il valore della costante di Hubble (H_0), che misura il tasso di espansione dell'universo, è un numero fondamentale e controverso per tutta la cosmologia. In contrasto con tutte le aspettative, le stime di H_0 dall'universo primordiale, cioè appena successivo al big bang, e dall'universo più recente, ovvero più vicino ai giorni nostri, non concordano. La differenza può essere il risultato di errori di valutazione in una delle due stime oppure potrebbe riflettere lacune fondamentali in quello che sappiamo attualmente dell'universo.



MISURARE LA VELOCITÀ DELLE GALASSIE
L'approccio classico al calcolo di H_0 nell'universo recente richiede la misurazione sia delle velocità sia delle distanze delle galassie lontane. La stima delle velocità si basa sul fenomeno dello spostamento verso il rosso (il *redshift*) cosmologico: lo stiramento della lunghezza d'onda, ovvero un arrossamento, della luce proveniente da oggetti che si allontanano da noi mentre il cosmo si espande. Più grande è il redshift, più velocemente un oggetto si sta allontanando.

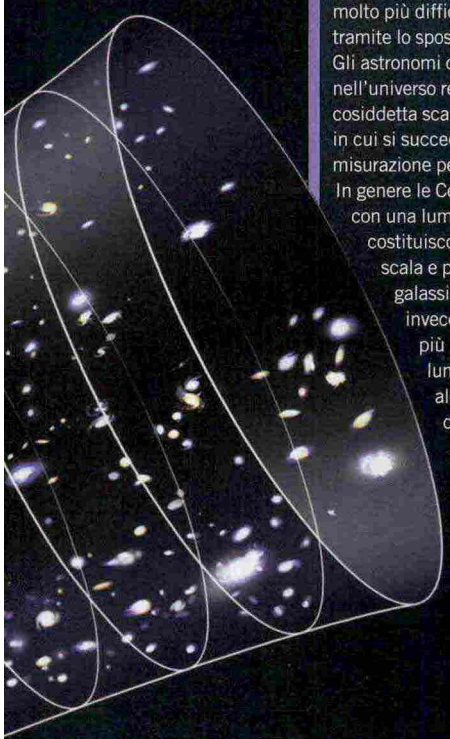




DAL PUNTO DI VISTA DELL'UNIVERSO PRIMORDIALE, H_0 si può misurare anche usando il fondo cosmico a microonde (CMB), il bagliore residuo del big bang, che occupa tutto il cielo, risalente a quando l'universo era solo una distesa di plasma denso e ribollente, con un'età di appena 379.000 anni. Le onde sonore che riverberavano attraverso questo plasma hanno creato zone con densità di materia maggiore della media e zone con densità minore, che si sono impresse sul CMB come lievi variazioni di temperatura. Studiando dimensioni e altre proprietà di queste variazioni, i cosmologi possono usarle come un «righello standard» rispetto a cui tracciare crescita ed evoluzione successive dell'universo. Questi studi, a loro volta, danno una stima di H_0.

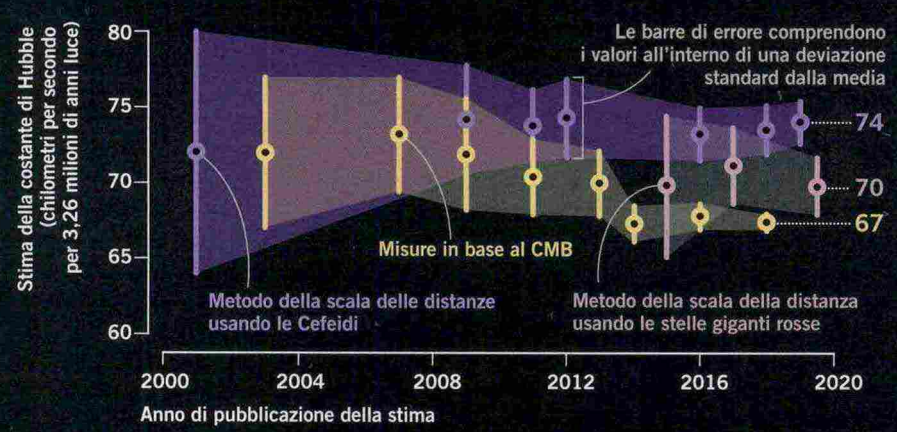
Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.
005345
Raffaello Cortina

le Scienze
Mensile
Raffaello Cortina Editore
Data 05-2020
Pagina 54/61
Foglio 6 / 8



SALIRE LA SCALA DELLE DISTANZE

Stimare le distanze delle galassie remote è molto più difficile che misurarne le velocità tramite lo spostamento verso il rosso. Gli astronomi che cercano il valore di H_0 nell'universo recente lo fanno risalendo la cosiddetta scala delle distanze cosmiche, in cui si succedono diversi metodi di misurazione per calcolare distanze immani. In genere le Cefeidi – stelle variabili con una luminosità intrinseca nota – costituiscono il primo gradino della scala e possono dare la distanza delle galassie vicine. Quelle più distanti, invece, richiedono oggetti diversi e più luminosi di cui si conosca la luminosità intrinseca: di solito alcuni tipi di esplosioni stellari dette supernove di tipo Ia. Gli astronomi calibrano queste due diverse tecniche usando galassie vicine che ospitano sia Cefeidi sia supernove di tipo Ia.



RISULTATI DIVERGENTI

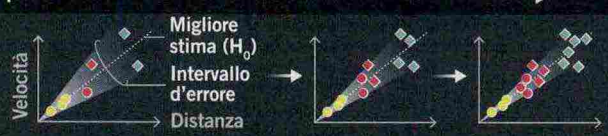
Il valore di H_0 per l'universo primordiale basato sul CMB è 67 (in chilometri per secondo per 3,26 milioni di anni luce). Il valore per l'universo recente basato sulle Cefeidi è 74. Una nuova alternativa alle Cefeidi, le stelle giganti rosse che si accendono con una luminosità intrinseca nota, ha solo complicato la tensione. Indicavano un H_0 di circa 70, un valore a metà strada tra gli altri due, senza sovrapposizioni tra gli intervalli di errore.

VERSO UN'UNIONE PIÙ PERFETTA... O UNA NUOVA FISICA

Astronomi e cosmologi sono al lavoro per aumentare la precisione delle rispettive stime di H_0, riducendo progressivamente incertezze e possibili errori nella speranza che i loro risultati possano prima o poi sovrapporsi. Telescopi sempre più potenti scrutano più in profondità il cosmo, misurando Cefeidi sempre più lontane, mentre il satellite Planck mappa il CMB migliorando notevolmente le misurazioni rispetto al suo predecessore, la sonda WMAP. Se però la differenza non scomparirà, potrebbero essere necessarie profonde revisioni dei nostri modelli cosmologici.

Maggiore precisione nel tempo dei calcoli della costante di Hubble

Metodo della scala delle distanze: dovuta soprattutto all'aumento del numero di misurazioni differenziali



Metodo CMB: dovuta soprattutto all'aumento della precisione delle misurazioni

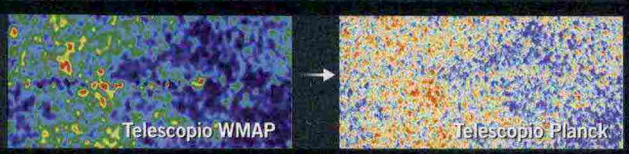


Illustrazione di George Retseck (*cono di espansione*) e Jen Christiansen (*schermi*)

005345

Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.
Raffaello Cortina

sipando la fitta nebbia di protoni ed elettroni liberi e liberando spazio a sufficienza affinché i fotoni potessero viaggiare per il cosmo. Sebbene la prima immagine del CMB ottenuta dai Bell Labs fosse una distesa uniforme, i teorici ritenevano che, a una risoluzione più elevata, la radiazione di fondo avrebbe rivelato variazioni di temperatura che rappresentavano i semi di densità che si sarebbero evoluti nella struttura dell'universo come la conosciamo: galassie, ammassi di galassie e superammassi di galassie.

Nel 1992 il Cosmic Background Explorer della NASA, la prima sonda spaziale che ha studiato il fondo cosmico a microonde, ha trovato queste variazioni distintive; nel 2003 una sonda spaziale successiva, la Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) della NASA, in collaborazione la Princeton University, ha fornito una risoluzione molto più elevata che ha permesso ai fisici di identificare la dimensione delle onde sonore primitive prodotte dalla materia primordiale. Come ci si può aspettare da onde sonore che hanno viaggiato quasi alla velocità della luce per 379.000 anni, i punti densi nel CMB condividono un raggio comune di circa 379.000 anni luce. E poiché quei punti sono cresciuti portando all'universo che studiamo oggi, i cosmologi possono usare questa dimensione iniziale come «righello standard» con cui misurare la crescita e l'espansione della struttura su larga scala fino ai giorni nostri. Queste misurazioni, a loro volta, rivelano il tasso dell'espansione: la costante di Hubble.

La prima misurazione di H_0 effettuata grazie a WMAP, nel 2003, è stata di 72 ± 5. Perfetto. Il numero corrispondeva esattamente al risultato del Key Project, con l'ulteriore vantaggio di un intervallo d'errore più ristretto. Ulteriori risultati di WMAP sono stati leggermente inferiori: 73 nel 2007, 72 nel 2009, 70 nel 2011. Nessun problema, però: l'errore per le misurazioni SH0ES e WMAP continuava a sovrapporsi nell'intervallo 72-73. Giunti al 2013, tuttavia, i due margini si sfioravano appena. In quel momento il risultato più recente di SH0ES dava una costante di Hubble di 74 ± 2, mentre il risultato finale di WMAP mostrava un valore di 70 ± 2. Ma non c'era ancora da preoccuparsi: i due metodi potevano concordare su 72. Sicuramente i risultati di uno dei approcci avrebbero cominciato a tendere verso quelli dell'altro via via che metodi e tecnologia miglioravano, magari già appena fossero stati disponibili i primi dati dell'osservatorio spaziale Planck, il successore di WMAP realizzato dall'Agenzia spaziale europea.

I dati sono arrivati nel 2014: 67,4 ± 1,4. L'errore non si sovrapponeva più, non ci andava nemmeno vicino. I successivi dati di Planck si sono dimostrati impietosi come quelli di SH0ES. Il valore di Planck per la costante di Hubble è rimasto 67, mentre il margine di errore scendeva a 1 e poi, nel 2018, a una frazione di 1.

«Tensione» è il termine che si usa per una situazione del genere, come nel titolo di un convegno al Kavli Institute for Theoretical Physics (KITP) a Santa Barbara, in California, l'estate scorsa: *Tensions between the Early and the Late Universe* (Tensioni tra l'universo primordiale e quello recente). Il primo oratore è stato Riess, e alla fine del suo intervento si è rivolto a un altro Nobel tra i presenti, David Gross, fisico delle particelle ed ex direttore del KITP, chiedendogli che cosa ne pensasse: abbiamo una «tensione» o abbiamo un «problema»?

Gross ha sottolineato che queste distinzioni sono «arbitrarie», per poi concludere: «Penso che lo possiamo chiamare problema». Venti minuti dopo, alla chiusura delle domande dal pubblico, ha cambiato valutazione. In fisica delle particelle, ha detto, «non lo chiameremmo né tensione né problema, ma piuttosto crisi».

«D'accordo,» ha detto Riess, concludendo la discussione. «Allora sappiate che ci troviamo in una crisi».

Tre possibilità

A differenza di una tensione, che richiede un allentamento, o di un problema, che richiede una soluzione, una crisi richiede qualcosa di più: un ripensamento globale. Ma di che cosa? Chi studia la costante di Hubble vede tre possibilità.

Una è che qualcosa non vada nel modo in cui studiamo l'universo recente. Una «scala delle distanze» cosmiche che si estende sempre più lontano nell'universo è solo robusta quanto i gradini che la formano: le candele standard. Come in ogni osservazione scientifica, gli errori sistematici fanno parte dell'impostazione.

Questa possibilità ha scosso il convegno al KITP. All'incontro, un gruppo diretto da Wendy L. Freedman, astrofisica ora all'Università di Chicago, che era stata ricercatrice principale del Key Project, ha presentato un risultato in controtendenza. Usando un tipo ancora diverso di candela standard – le stelle chiamate giganti rosse che, sul punto di estinguersi, sperimentano un «flash di elio» che ne indica in modo affidabile la luminosità – Freedman e colleghi avevano raggiunto un valore che, come diceva il loro articolo, «si colloca a metà dell'intervallo definito dall'attuale tensione di Hubble»: 69,8 ± 0,8, un risultato che non offre una sovrapposizione rassicurante con i margini di errore di SH0ES o di Planck. Il tempismo con cui è stata presentata la ricerca è sembrato una provocazione ad alcuni dei presenti che si occupavano dell'universo recente. I ricercatori di SH0ES, in particolare, hanno avuto poca opportunità di digerire i dati (cosa che hanno cercato di fare la sera stessa della presentazione a cena), tanto meno di decidere come rispondere.

Se la fonte della tensione non è nelle osservazioni dell'universo, i cosmologi non hanno molta altra scelta se non seguire l'opzione di una nuova fisica

Appena tre settimane dopo, però, hanno reso pubblico un articolo di risposta. Il metodo usato dal gruppo di Freedman «è una candela standard promettente per misurare distanze extragalattiche», esordiscono gli autori diplomaticamente, prima di sviscerare gli errori sistematici che a loro avviso gravano sui risultati del gruppo. L'interpretazione preferita da Riess e colleghi dei dati delle giganti rosse riportava la costante di Hubble a un valore ben all'interno dei confini precedenti: 72,4 ± 1,9.

Freedman dissente con veemenza da questa interpretazione: «È sbagliata», afferma. «Hanno frainteso il metodo, e sì che gliel'abbiamo spiegato in diversi incontri».

All'inizio di ottobre del 2019, in occasione di un altro incontro sulla «tensione», la diatriba ha preso una svolta personale quando Barry Madore, collaboratore e marito di Freedman, ha mostrato in un presentazione la testa di Riess in una ghigliottina. L'immagine faceva parte di una metafora scientifica centrata sul ceppo del boia e in seguito Madore ha detto che mostrare la testa di Riess era uno scherzo. Ma Riess era tra il pubblico, e basti dire che nella successiva pausa caffè si è svolta, su richiesta di molti partecipanti, una discussione sui codici di condotta professionali.

Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.
005345
Raffaello Cortina

Questi battibecchi fanno ritenere ai fisici delle particelle che il problema sia negli astronomi e negli errori dovuti al metodo della scala delle distanze. Ma anche le osservazioni del CMB e il righello cosmico devono avere il loro potenziale di errori sistematici, no? In linea di principio sì. Ma pochi o nessuno degli astronomi pensano che Planck abbia qualche problema, e i fisici ritengono che abbia raggiunto la soglia di precisione per le osservazioni spaziali del CMB. In altre parole, le misurazioni di Planck del CMB sono probabilmente le migliori che riusciremo mai a ottenere. «I dati sono spettacolari», afferma Nicholas Suntzeff, astronomo della Texas A&M University che ha collaborato con Freedman e con Riess, sebbene non sulla costante di Hubble. «Inoltre le osservazioni indipendenti» del CMB, con il South Pole Telescope e l'Atacama Large Millimeter Array, «mostrano che non ci sono errori».

Se la fonte della tensione di Hubble non è nelle osservazioni dell'universo recente e nemmeno in quelle dell'universo primordiale, allora i cosmologi hanno poca scelta, se non seguire la terza opzione: una «nuova fisica».

Una correzione necessaria

Ormai da quasi un secolo gli scienziati parlano di nuova fisica, cioè di forze o fenomeni che ricadrebbero al di fuori dalla nostra attuale conoscenza dell'universo. Nel 1915 Albert Einstein introdusse la teoria generale della relatività; dieci anni dopo, l'avvento della meccanica quantistica ne compromise la completezza. L'universo del grandissimo (quello che opera secondo le regole della relatività generale) si è rivelato matematicamente incompatibile con l'universo del piccolissimo (quello che opera secondo le regole della meccanica quantistica).

Forse non sarà completo, tuttavia il modello cosmologico standard rimane un esempio da manuale di come funziona la scienza al suo meglio

Per un po' i fisici hanno potuto ignorare il problema, perché nella pratica i due ambiti non si incontravano, ma poi è arrivata la scoperta del CMB, che ha convalidato l'idea che l'universo del grandissimo sia effettivamente emerso dall'universo del piccolissimo, che galassie e ammassi su larga scala che studiamo con l'aiuto della relatività generale siano cresciuti da fluttuazioni quantistiche. La tensione di Hubble nasce direttamente dal tentativo di abbinare questi due tipi di fisica. Le fluttuazioni quantistiche del CMB prevedono che l'universo maturerà con un certo valore della costante di Hubble, mentre le osservazioni effettuate oggi in base alla relatività generale mostrano un altro valore.

Riess paragona la differenza alla crescita di una persona. «Se avete un bambino, ne potete misurare la statura in modo molto preciso quando ha due anni», dice. «E potete poi usare quello che sappiamo su come crescono gli esseri umani, un grafico della crescita, per prevedere a quale statura arriverà». Se tutto va bene, previsione e misurazione finale coincidono. «In questo caso non succede». D'altronde, aggiunge, «non abbiamo un grafico della crescita che dica come crescano di solito gli universi».

E così i cosmologi hanno considerato l'idea rivoluzionaria – ma non del tutto sgradevole – che il modello cosmologico standard non sia completo come pensavano.

Un possibile fattore che influisce sulla nostra comprensione della crescita dell'universo è un'incertezza sul conteggio delle particelle dell'universo. Oggi la maggior parte degli scienziati ha l'età per ricordarsi di un altro divario tra osservazioni e teoria: il «problema dei neutrini solari», una disputa durata decenni sui neutrini elettronici provenienti dal Sole. I teorici ne prevedevano una certa quantità; i rivelatori ne indicavano un'altra. I fisici sospettavano errori sistematici nelle osservazioni; gli astronomi mettevano in dubbio la completezza della teoria. Come per la tensione sulla costante di Hubble, nessuna delle due parti ha ceduto fino alla fine del millennio, quando si è scoperto che i neutrini, inaspettatamente, avevano massa, e i teorici hanno adeguato il modello standard della fisica delle particelle. Adesso un aggiustamento simile, per esempio una nuova varietà di neutrino nell'universo primordiale, potrebbe alterare la distribuzione di massa ed energia quanto basta per giustificare le differenze nelle misurazioni.

Un'altra possibile spiegazione è che l'influenza dell'energia oscura cambi nel corso del tempo: un'alternativa ragionevole, considerando che i cosmologi non sanno come funzioni questa energia, e nemmeno che cosa sia.

«Da qualche parte è necessaria una piccola correzione per far concordare i numeri», afferma Suntzeff. «Questa è fisica nuova, ed entusiasma i cosmologi: una crepa nel muro del modello standard, qualcosa di nuovo su cui lavorare».

Tutti sanno che cosa dovranno fare prossimamente. Gli interessati attenderanno i dati di Gaia, un osservatorio dell'Agenzia spaziale europea che promette, nei prossimi due anni, una precisione senza precedenti nella misurazione delle distanze per oltre un miliardo di stelle della nostra galassia. Se queste misurazioni non corrisponderanno ai valori usati dagli astronomi come primo gradino nella scala delle distanze, forse il problema era veramente in errori sistematici. I teorici continueranno a sfornare interpretazioni alternative dell'universo. Finora, però, non ne hanno trovata nessuna che resista alla verifica della loro comunità ed è qui che, a meno di una sorpresa, dovrà risiedere per ora la tensione, il problema, la crisi: in un universo quasi non scientifico che ospita una costante di Hubble prevista di 67 che smentisce l'osservazione di 74.

Il modello cosmologico standard resta uno dei grandi trionfi scientifici moderni. In mezzo secolo la cosmologia è maturata passando dalle ipotesi alla (quasi) certezza. Forse non è completo come credevano i cosmologi ancora un anno fa, ma rimane un esempio da manuale del modo in cui funziona la scienza al suo meglio: suscita domande, fornisce risposte, suggerisce misteri. ■

PER APPROFONDIRE

Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters. Planck Collaboration, preprint pubblicato il 17 luglio 2018. Disponibile all'indirizzo: **https://arxiv.org/abs/1807.06209.**

Large Magellanic Cloud Cepheid Standards Provide a 1% Foundation for the Determination of the Hubble Constant and Stronger Evidence for Physics Beyond LambdaCDM. Riess A.G. e altri, preprint pubblicato il 18 marzo 2019. Disponibile all'indirizzo: **https://arxiv.org/abs/1903.07603.**

The Carnegie-Chicago Hubble Program. VIII. An Independent Determination of the Hubble Constant Based on the Tip of the Red Giant Branch. Freedman W.L. e altri, in «Astrophysical Journal», Vol. 882, n. 1, articolo n. 34, settembre 2019.

L'enigma dell'energia oscura. Riess A.G. e Livio M., in «Le Scienze» n. 573, maggio 2016.

Ritaglio stampa ad uso esclusivo del destinatario, non riproducibile.
005345
Raffaello Cortina