

## La finitezza della velocità della luce ci induce a fare i conti con una nuova entità: lo spazio-tempo quadridimensionale

Paolo Calcidese e Andrea Bernagozzi

La velocità della luce nel vuoto è una costante fondamentale della natura e secondo la teoria della relatività rappresenta il limite massimo cui può viaggiare qualsiasi segnale, onda o particella, che trasporti un'informazione. Il suo valore, indicato con la lettera  $c$ , è pari a esattamente 299.792,458 km/s, cioè oltre un miliardo di km/h! Per quanto elevata, la velocità della luce però non è *infinita*.

La finitezza della velocità della luce ha un ruolo decisivo in astronomia. Prendiamo per esempio un fulmine: lo vediamo praticamente nello stesso momento in cui cade, perché è così vicino che il lampo della sua luce ci arriva in una frazione infinitesima di secondo (benché la luce viaggi nell'aria con una velocità lievemente inferiore che nel vuoto). Gli oggetti celesti sono invece talmente lontani che la luce impiega un tempo significativo a raggiungerci. La luce emessa dal Sole attraversa lo spazio fino alla Terra in 8 minuti circa; quella della stella più vicina, Proxima Centauri, in circa 4 anni; quella delle stelle nel centro della nostra galassia, la Via Lattea, in circa 30.000 anni, e quella delle più lontane tra le galassie note in miliardi di anni...

Non a caso gli astronomi usano come unità di misura delle distanze l'anno-luce, definito come lo spazio percorso nel vuoto dalla luce in un anno di tempo e corrispondente a 9.460.730.472.580,8 km. La già citata Proxima Centauri si trova perciò a circa 4 anni-luce da noi, quasi 40.000 miliardi di km: ed è la stella più vicina!

L'enorme distanza che ci separa dagli astri ha due conseguenze fondamentali per la definizione dei limiti della conoscenza umana.

La prima è che probabilmente non possederemo mai una tecnologia che ci permetterà di andare sulle stelle. Dovremo accontentarci di studiarle da lontano, grazie alla luce che inviano nello spazio, l'unica fonte di informazione a nostra disposizione per conoscere il cosmo.

La seconda deriva dal fatto che la luce per attraversare immense distanze con velocità finita ha viaggiato per anni, secoli, millenni e più: quindi porta informazioni non su come un corpo celeste è adesso, nel momento in cui giunge ai nostri strumenti, ma su come era quando ha prodotto quella luce. Più lontano è l'astro, più tempo ha viaggiato la sua luce, più remoto è l'istante della sua emissione. Non si può parlare di distanze nello spazio senza considerare che corrispondono a epoche trascorse: guardare un astro lontano implica inevitabilmente osservarne il passato.

In cosmologia, quella particolare branca dell'astrofisica che studia l'universo nella sua globalità, fare geografia significa anche fare storia: lo spazio delle tre dimensioni e il tempo sono resi inscindibili dalla finitezza della velocità della luce. Dobbiamo necessariamente fare i conti con una nuova entità, lo spazio-tempo quadridimensionale.

Possiamo conoscere il cosmo solo in differita. Ammiriamo le stelle della nostra galassia com'erano dieci, cento, mille, diecimila anni fa; le galassie vicine com'erano milioni di anni fa; quelle lontane com'erano miliardi di anni fa e così via.

Ma se più lontano spingiamo il nostro sguardo, più antica è l'epoca che vediamo, allora a un certo punto vedremo l'universo com'era nel momento in cui stava... nascendo! È proprio quello che gli astrofisici fanno studiando la cosiddetta radiazione cosmica di fondo, un segnale elettromagnetico che permea tutto il cosmo e che sarebbe stato prodotto in seguito a fenomeni avvenuti all'inizio della storia dell'universo.

Secondo la teoria del big bang, sviluppata a partire dagli anni Trenta del XX secolo con i contributi successivi di tanti studiosi, 13 miliardi 700 milioni di anni fa sarebbe avvenuto un evento di immensa energia che avrebbe generato lo spazio-tempo stesso. L'evento è chiamato *singolarità iniziale* perché è talmente peculiare che non possiamo applicargli le categorie di pensiero comuni nell'indagine scientifica.

Non ha senso chiedere “cosa c’era prima del big bang?”, perché il tempo come lo conosciamo è nato con il big bang. Al passare delle ere cosmiche, dall’energia del big bang si sarebbero formati prima le particelle elementari, poi gli atomi, infine le stelle che formano le galassie, tra cui la Via Lattea con la Terra e il Sole.

Neppure ha senso chiedere “dov’è accaduto il big bang?”, perché lo spazio come lo percepiamo è nato con esso. Nonostante il nome, il big bang non è paragonabile all’esplosione di un petardo posto nel centro di una stanza; questa, infatti, esisteva già prima dell’esplosione. Inoltre non esiste un centro spaziale dell’universo come lo intendiamo noi. Ogni punto dello spazio-tempo viene dal big bang: quindi ogni punto dello spazio-tempo è, per certi versi, “dove” è avvenuto il big bang.

D’altronde, se teniamo a mente che guardare lontano significa osservare il passato, risulta ancora più evidente quanto sia infondato pensare che ci sia un punto d’origine del cosmo. Infatti costituirebbe il passato più remoto immaginabile. Quindi per cercarlo dovremmo guardare lontano, ma in che direzione? La risposta è sorprendente: in *qualsiasi* direzione puntiamo i nostri strumenti, vediamo il passato dell’universo; in altre parole, la nostra origine ci circonda!

Sono concetti al limite della nostra intuizione fisica e che, va detto, possono essere compresi in maniera appropriata solo con una rigorosa trattazione matematica dello spazio-tempo quadridimensionale: un’entità fisica che per noi, esseri tridimensionali, è molto difficile da trattare, ma alla quale apparteniamo e in cui compiamo tutta la nostra esistenza.