



## L'INFINITA CURIOSITÀ

Breve viaggio nella fisica  
contemporanea

DEDALO EDIZIONI, Vincenzo Barone - Piero  
Bianucci

### La scala cosmica

Possiamo immaginare l'Universo come una scala che procede dall'estremamente piccolo all'immensamente grande (e viceversa). A ogni gradino della scala le dimensioni spaziali

aumentano (se si sale) o diminuiscono (se si scende) di un fattore 10: un oggetto posto su un certo gradino è dieci volte più grande o più distante di un oggetto posto sul gradino immediatamente inferiore, e dieci volte meno di un oggetto sul gradino superiore. Al fondo c'è la lunghezza minima che riusciamo a concepire in linea teorica, la lunghezza di Planck, 10<sup>-35</sup> metri; in cima c'è l'orizzonte cosmologico, dell'ordine di 10<sup>26</sup> metri. L'uomo, con le sue dimensioni dell'ordine del metro e il suo piccolo mondo che si estende dalla minima lunghezza visibile a occhio nudo (10<sup>-4</sup> metri) ai circa 10 000 chilometri del diametro terrestre (10<sup>7</sup> metri) – dodici gradini – si colloca nella parte mediana della scala.

Se, a partire dal gradino in cui è collocata la Terra, facciamo sei passi verso l'alto arriviamo al Sistema Solare (10<sup>13</sup> metri), e dopo altri otto passi possiamo ammirare la spirale della nostra galassia, la Via Lattea (10<sup>21</sup> metri). Le galassie tendono a organizzarsi in gruppi e ammassi legati gravitazionalmente. La Via Lattea, Andromeda e le Nubi di Magellano (galassie visibili a occhio nudo) fanno parte del cosiddetto Gruppo Locale. Alcuni ammassi comprendono migliaia di galassie e possono, a loro volta, organizzarsi in superammassi, di dimensioni dell'ordine di 10<sup>24</sup> metri. Continuando a salire, lo spazio comincia ad apparirci uniforme e abbastanza vuoto, con le galassie disseminate qua e là come granelli di polvere. Arriviamo infine all'estrema periferia dell'Universo, l'orizzonte cosmologico (10<sup>26</sup> metri).

Quando esploriamo le profondità dell'Universo con un telescopio – cioè con uno strumento che raccoglie la luce o qualche altra forma di radiazione proveniente da sorgenti lontane – oltre a viaggiare idealmente nello spazio, viaggiamo anche nel tempo, perché la luce ha una velocità finita (300 000 chilometri al secondo) e quindi l'immagine al telescopio di un oggetto lo rappresenta com'era un po' di tempo fa, quando emise la luce che riceviamo oggi. Per esempio, guardando la galassia del Triangolo (una bellissima galassia a spirale visibile con un binocolo), distante 3 milioni di anni-luce, la vediamo com'era 3 milioni di anni fa. Quanto più ci addentriamo nelle profondità del cosmo con le nostre osservazioni, tanto più indietro andiamo nel tempo. L'orizzonte cosmologico rappresenta un limite invalicabile proprio perché non possiamo ricevere segnali di alcun genere da un tempo anteriore all'inizio dell'Universo. Ma è anche una frontiera mobile, perché per andare più in là basta aspettare un po' di tempo. Raggiunto l'immensamente grande, non ci resta che tornare indietro. Scendendo lungo la scala cosmica, dopo una ventina di gradini, ritroviamo il mondo che ci è più familiare, la nostra città (10<sup>4</sup> metri), il nostro quartiere (10<sup>3</sup> metri), il nostro isolato (10<sup>2</sup> metri), la nostra casa (10<sup>1</sup> metri), il nostro corpo (10<sup>0</sup> metri). Siamo pronti a esplorare il mondo microscopico, quello delle potenze negative di 10 (in metri). Al gradino corrispondente a 10<sup>-5</sup> metri

appaiono ai nostri occhi le cellule. Ancora tre gradini (10–8 metri) e la doppia elica del DNA si presenta in tutta la sua bellezza. Siamo ai confini del nanomondo, il mondo delle strutture molecolari, il cui ordine di grandezza è il nanometro (10–9 metri). Le molecole e persino gli atomi – più piccoli (10–10 metri) – sono oggi direttamente osservabili, grazie agli strumenti di cui abbiamo già parlato.

Dopo aver varcato la soglia degli atomi, vaghiamo a lungo in uno spazio essenzialmente vuoto: bisogna infatti scendere di ben quattro gradini, fino a 10–14 metri, per trovare i nuclei più grossi (che, come dimensioni, stanno agli atomi come un granello di sale sta alla cupola di San Pietro). I costituenti dei nuclei, i protoni e i neutroni, hanno un raggio di 10–15 metri, una lunghezza chiamata “fermi”, in onore di Enrico Fermi, pioniere della fisica nucleare e subnucleare.

Per penetrare nell'estremamente piccolo si usano, come abbiamo detto, gli acceleratori di particelle. Attualmente, i protoni che circolano nell'LHC permettono di sondare lo spazio giù fino a 10–19 metri e di osservare i mattoni fondamentali della materia, i quark, che ci appaiono come oggetti puntiformi.

Cosa c'è al di sotto di questo gradino? Possiamo solo congetturarlo. Alcuni pensano che entri in gioco una nuova simmetria della natura, la supersimmetria, che si manifesterebbe attraverso particelle piuttosto pesanti. Ci si aspetta, comunque, che una dozzina di gradini al di sotto di quello a cui siamo attualmente arrivati, attorno a 10–31 metri, si osservino i segni della “grande unificazione” delle tre forze del microcosmo, la forza elettromagnetica, la forza forte e la forza debole; non è possibile, tuttavia, scendere così in basso, almeno con le tecnologie attuali (avremmo bisogno di aumentare l'energia degli odierni acceleratori di 12 ordini di grandezza, cioè di 1000 miliardi, e al momento non si vede proprio come farlo). La scala cosmica delle lunghezze potrebbe non avere un fondo, se lo spazio fosse infinitamente divisibile. Ma c'è un gradino che ha un significato speciale, e che potrebbe essere l'ultimo. Corrisponde alla cosiddetta lunghezza di Planck, una lunghezza straordinariamente piccola (10–35 metri) che si ottiene combinando tre costanti fondamentali della natura: la velocità della luce nel vuoto  $c$ , la costante di Planck della meccanica quantistica  $h$  e la costante della gravitazione di Newton  $G$ . La lunghezza di Planck è la distanza alla quale la forza di gravità – che nel mondo ordinario è debolissima – diventa intensa quanto le altre forze della natura. Per avere un'idea della piccolezza di questa distanza, si pensi che, se dilatassimo lo spazio in modo tale da far diventare gli atomi grandi quanto una galassia, la lunghezza di Planck corrisponderebbe più o meno al diametro di una capocchia di spillo.

La comprensione dell'Universo alla lunghezza di Planck richiede una teoria quantistica della gravità, che ancora non possediamo. Questa lunghezza rappresenta una frontiera di cui conosciamo l'esistenza, ma che non siamo in grado di descrivere. È anche possibile che non si tratti solo di un confine teorico, ma di un limite reale. Se i costituenti elementari del mondo fossero minuscole corde vibranti di 10–35 metri, come ipotizza la teoria delle stringhe, o se, come ci si aspetta in alcune teorie di gravità quantistica, lo spazio fosse discontinuo e suddiviso in cellette di 10–35 metri di lato, allora la lunghezza di Planck rappresenterebbe una barriera fisica, una distanza al di sotto della quale non avrebbe senso pensare lo spazio. Dall'estrema periferia dell'Universo (10<sup>26</sup> metri) alla lunghezza di Planck (10–35 metri) la scala cosmica si estende per 62 potenze di 10. Guardando la scala nella sua interezza, si scopre un fatto curioso: la cellula – l'unità di base della vita – si trova a metà strada tra l'immensamente grande e l'estremamente piccolo.

Come spiegò Erwin Schrödinger, uno dei fondatori della meccanica quantistica, in un famoso saggio intitolato *Che cos'è la vita?*, del 1944, la cellula deve collocarsi proprio da quelle parti, a cavallo tra il mondo macroscopico (governato dalla meccanica statistica e dalla termodinamica) e il mondo microscopico (governato dalla meccanica quantistica). Deve essere infatti sufficientemente piccola da obbedire alle leggi quantistiche, che garantiscono la stabilità delle sue molecole, e sufficientemente grande da contenere molti costituenti, in modo tale che le fluttuazioni statistiche (inversamente proporzionali alla radice quadrata del numero dei costituenti) non influenzino i processi biologici.

Come le scale impossibili di Roger Penrose e di Maurits Escher, la scala cosmica in un certo senso si chiude su se stessa: il primo e l'ultimo gradino sono contigui, per quello straordinario intreccio di spazio, tempo e quanti che la fisica contemporanea ci ha di-svelato. Spingersi fino alla periferia del cosmo significa ricevere segnali dalle sue origini, e nei primissimi istanti di vita dell'Universo tutto era contenuto in un volumetto infinitesimo, dove probabilmente un'unica forza – di cui non abbiamo ancora cognizione – governava una densità di eventi inimmaginabile. *Hic sunt dracones*, avrebbero scritto qui gli antichi geografi.