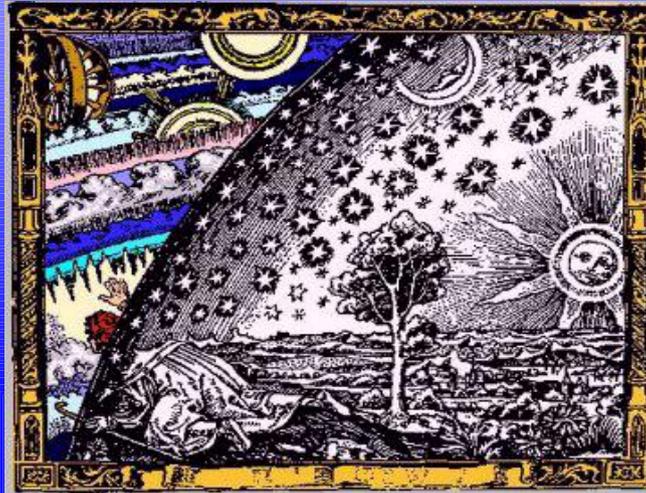


**L'Universo è finito, infinito, limitato, illimitato?**

**Matteo Bonato**

**Scuola SISRI-BO  
Bologna, 13 Aprile 2013**

# C'è differenza tra infinito e illimitato?



- ▶ **Infinito:** dal latino *finitus*, cioè finito (avente una fine, una conclusione) con l'aggiunta del prefisso negativo *in-*, e qualifica tutto ciò che è senza fine, che non può avere una conclusione.
- ▶ **Illimitato:** dal latino tardo *illimitatus*, che designa ciò che non ha limiti o limitazioni.
- ▶ **Limitato:** dal latino *limitatus* (participio perfetto passivo del verbo *limitare*), cioè delimitato, avente dei limiti, dei confini.

Sebbene i termini *finito* e *limitato*, così come *infinito* e *illimitato*, vengano frequentemente utilizzati come sinonimi, questo uso improprio potrebbe creare confusione, specialmente in cosmologia.

Ad esempio, un modello di Universo il cui spazio venga descritto da una geometria sferica è al tempo stesso **finito** ma **illimitato**. Lo spazio di questo tipo di Universo viene infatti rappresentato dalla superficie di una sfera, che è finita, poiché ha un'area finita e quantificabile, ma illimitata, dato che non ha limiti geometrici.

# La disputa tra i filosofi antichi

Il problema del limite del nostro Universo, che sussiste ancora oggi nella cosmologia contemporanea, è un tema da sempre dibattuto, fin dagli albori della filosofia nell'antica Grecia.

► V sec. a. C., i filosofi atomisti, in particolare Anassagora (nei suoi scritti “Sulla natura”) e Democrito (“Testimonianze e frammenti”), avevano sostenuto l'ipotesi di un Universo infinito e immutabile.



Archita da Taranto

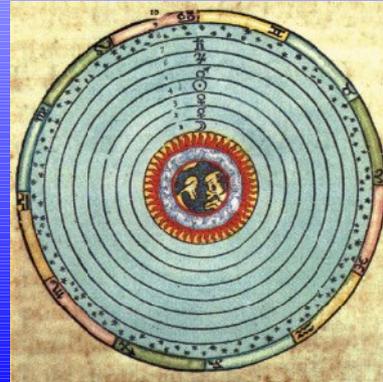


Aristotele

► Ma il primo pensatore che abbia tentato di dare una dimostrazione della validità di questa teoria è Archita da Taranto (428 – 360 a.C.). In un passo di Eudemo, nel suo commento alla “Fisica” di Aristotele, Archita sostiene che esso sia infinito, perché giunto al limite del cielo delle stelle fisse, si potrebbe allungare la mano o una bacchetta ancora oltre, poiché deve esistere qualcosa al di fuori, e continuando a spingere la bacchetta non si troverebbe mai un limite.

► Di parere contrario era invece Aristotele, convinto che l'Universo, chiuso dal cielo delle stelle fisse, non possa essere infinito. Infatti, secondo Aristotele, nell'Universo esistono un alto assoluto, verso cui tendono i corpi leggeri, un basso assoluto, verso cui tendono quelli pesanti, e un centro, occupato dalla Terra immobile. Per questo non avrebbe senso postulare l'esistenza di un universo infinito, in cui non sarebbero possibili le distinzioni tra l'alto e il basso e tra il centro e la periferia. Per Aristotele, al di fuori del cielo delle stelle fisse non ci sarebbe nulla, neanche lo spazio.

# Dopo la frantumazione delle sfere celesti, il dibattito continua



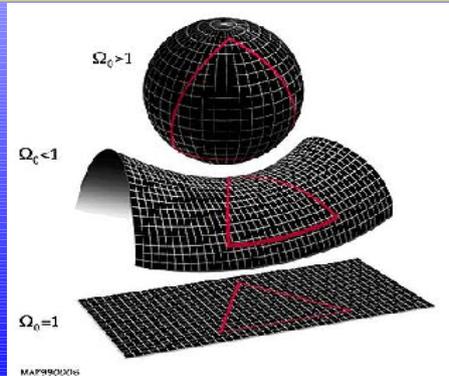
La visione aristotelica di Universo finito e geocentrico prevalse per molti secoli, ma iniziò a scricchiolare a partire dal 1543, anno in cui l'astronomo polacco Niccolò Copernico, con il suo "De Revolutionibus orbium coelestium", ripropose il modello eliocentrico di Aristarco di Samo (310–230 a.C.), con il Sole al centro del sistema di orbite dei pianeti componenti il Sistema Solare. Con l'affermazione di questo modello si raggiunse la consapevolezza che la sfera delle stelle fisse sia un'illusione e che le stelle si trovino al centro di altri Sistemi Solari distribuiti forse in uno spazio infinito.



Isaac Newton

Nella seconda metà del 1600, Isaac Newton sosteneva che l'Universo doveva essere infinito perché, a suo avviso, solo un numero infinito di stelle distribuite uniformemente avrebbe fatto sì che l'Universo globalmente potesse rimanere in uno stato di equilibrio gravitazionale. In caso contrario le stelle, attratte dalla reciproca forza di gravità, avrebbero finito per unirsi le une con le altre fino a formare un unico grande agglomerato.

# Geometrie non euclidee: di cosa si tratta?



Nei primi decenni del XIX secolo, si iniziarono a costruire geometrie che fanno a meno del V postulato della geometria di Euclide.

Secondo la geometria euclidea, due rette parallele mantengono su un piano sempre la stessa distanza tra di loro e la somma degli angoli interni di un triangolo è uguale all'angolo piatto. Consideriamo ora geodetiche, cioè curve che descrivono la traiettoria più breve fra punti di un particolare spazio, tracciate su superfici a geometrie non euclidee. Nello spazio a geometria iperbolica, la somma degli angoli interni di un triangolo è minore di  $180^\circ$  e due geodetiche aventi una perpendicolare in comune divergono, cioè le rette che non si incontrano mai non sono equidistanti, hanno una distanza minima e continuano a separarsi. Nella geometria ellittica, la somma degli angoli interni di un triangolo è sempre maggiore di  $180^\circ$  e due geodetiche aventi una perpendicolare in comune convergono e quindi non esistono parallele.

A piccole scale, nel nostro Universo locale, lo spazio viene rappresentato estremamente bene dalla geometria euclidea, ma questo non significa che essa sia la migliore anche a grandi scale o nella globalità del cosmo.

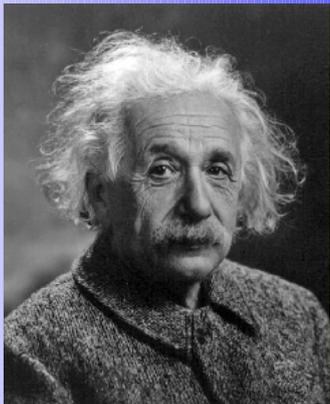
La geometria descrive la curvatura dello spazio-tempo dell'Universo. La curvatura dell'Universo è determinata dalla distribuzione di massa, energia e pressione, e dalla misura della curvatura dipende la storia evolutiva dell'Universo.

# Universo finito ma illimitato



Bernhard Riemann

A circa metà del XIX sec., Bernhard Riemann, dopo aver inventato la geometria sferica, una geometria non euclidea che descrive uno spazio rappresentato da superfici sferiche anziché piatte, suggeriva un modello di Universo finito ma illimitato, il cui spazio è descritto appunto dalla superficie di una sfera, che è finita, poiché ha un'area finita e quantificabile, e illimitata, poiché non ha limiti geometrici. In questa visione, nessuna galassia gode di una posizione privilegiata di centro dell'universo, così come nessuna ne è alla periferia. Infatti, su una superficie sferica non esiste nessun centro e lo stesso varrebbe per l'Universo.



Albert Einstein

A sostegno di questo modello, nel 1917 Albert Einstein, assumendo il Principio Cosmologico (assunto in base al quale l'Universo è omogeneo e isotropo su di una scala opportunamente grande) nelle equazioni di campo della sua Relatività Generale, arrivò allo stesso risultato di Riemann. Einstein, attribuendo allo spazio-tempo, la struttura quadridimensionale dell'Universo, una curvatura (determinata dalla distribuzione nello spazio di massa, energia e pressione), riuscì a descrivere rigorosamente un Universo allo stesso tempo finito e illimitato. Finito, in quanto avente un volume ben preciso, ed illimitato, perché in esso si potrebbe viaggiare in qualsiasi direzione senza trovare limiti, fino a tornare al punto di partenza e poi proseguire indefinitamente.

# Universo finito ma illimitato

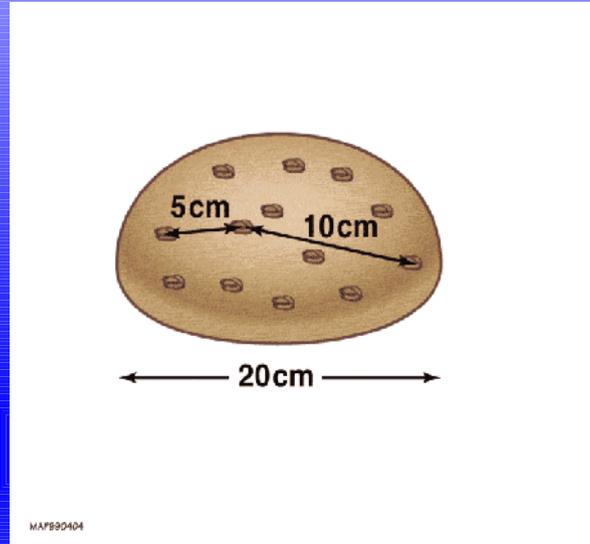


Edwin Powell Hubble

Agli inizi del XX sec., era poi particolarmente dibattuta la questione se la Via Lattea comprendesse tutto l'Universo o se ne fosse soltanto una componente. Questa controversia venne risolta nel 1924 dall'astronomo Edwin Powell Hubble. Egli osservò, alla periferia della galassia di Andromeda (nota allora come Grande Nebulosa di Andromeda), alcune cefeidi, che permisero di dimostrare come quella che veniva considerata una nebulosa fosse in realtà un'altra galassia come la nostra Via Lattea, distante oltre un milione di anni luce. Grazie a queste osservazioni, si era capito che l'Universo non poteva coincidere con la nostra galassia.

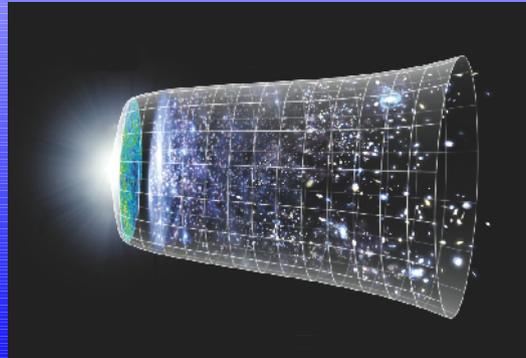
Cinque anni dopo, Hubble osservò inoltre che la velocità di allontanamento reciproco tra le galassie è direttamente proporzionale alla loro distanza da noi, tanto maggiore è la distanza tra due galassie e tanto più alta è la loro velocità di allontanamento reciproco, cioè le galassie più distanti da noi si allontanano più velocemente rispetto a quelle più vicine, in altre parole l'Universo si sta espandendo. Studi successivi hanno poi mostrato che l'espansione è isotropa e omogenea, cioè sembra non avere un punto privilegiato come centro dell'espansione.

# Universo in espansione



Queste osservazioni hanno suggerito che l'Universo sia in espansione, o meglio, che il suo spazio-tempo sia in fase di espansione: non sono le galassie che si stanno allontanando, ma è lo spazio stesso che si sta espandendo. Questa situazione può essere facilmente raffigurata con l'immagine del pane con l'uva, che sta lievitando. Il pane (cioè lo spazio-tempo) si espande nel suo complesso, ma l'uva (cioè gli oggetti gravitazionalmente legati) non si espandono, ma si limitano ad allontanarsi l'uno dall'altro. In altre parole, i chicchi d'uva si allontanano tra di loro non perché si stanno muovendo di moto proprio, ma perché si sta gonfiando la struttura nella quale sono immersi.

# Universo in espansione



Per espansione dell'Universo si intende l'espansione metrica dello spazio-tempo dell'Universo, cioè l'aumento medio della distanza tra due oggetti cosmici al variare del tempo, dovuto all'espansione dello spazio-tempo. L'espansione metrica è un elemento distintivo della teoria del Big Bang ed è una caratteristica di molte soluzioni delle equazioni di campo di Einstein della Relatività Generale.

Nell'epoca attuale, questa espansione si verifica solo su scale relativamente ampie, ovvero a partire all'incirca dalla scala dei superammassi galattici in su. Su scale minori, gli agglomerati, legati gravitazionalmente, si allontanano gli uni dagli altri ma non si espandono singolarmente. L'espansione metrica dell'Universo sarebbe dovuta in parte all'effetto conseguente all'iniziale inflazione (espansione esponenziale, estremamente rapida ed accelerante, subita dall'Universo negli istanti iniziali di vita) e in parte ad una forza repulsiva dovuta ad una forma non ancora conosciuta di energia, detta energia oscura, che viene spesso descritta tramite una costante cosmologica.

# Universo osservabile



Quanto sia grande l'Universo, se sia finito o infinitamente grande, sono interrogativi ancora senza una risposta definitiva.

Sappiamo, però, quanto lontano possiamo spingere lo sguardo. È infatti possibile stimare le dimensioni dell'Universo osservabile, cioè la regione di spazio, una sfera centrata sull'osservatore, che contiene tutto ciò che egli può osservare. Questo è un limite fisico imposto dal fatto che la luce, o qualsiasi altra radiazione, emessa dagli oggetti celesti, impiega una quantità finita di tempo per raggiungere l'osservatore. Con la teoria del Big Bang, la nascita dell'Universo viene posta a circa 13,8 miliardi di anni fa; questa teoria vincola quindi anche le dimensioni dell'Universo osservabile. Se l'Universo non fosse in continua espansione, ci sarebbe un'esatta corrispondenza tra il raggio dell'Universo osservabile e la sua età, cioè l'orizzonte si troverebbe a 13,8 miliardi di anni luce da noi; a causa dell'espansione cosmica, la distanza effettiva di questo orizzonte è più grande, perché nel tempo trascorso affinché la luce possa arrivare fino all'osservatore, questa distanza è continuata ad aumentare. Considerando anche questo contributo, la porzione di Universo che possiamo osservare corrisponde approssimativamente ad una sfera dal diametro di 93 miliardi di anni luce.