

La gravità di Einstein e la Curvatura dello spazio-tempo

Ricordate che si può immaginare la trama spazio-tempo rappresentata da una superficie elastica, sulla quale sia posto un oggetto massiccio, che so, una palla di piombo che, con il suo peso, provoca una depressione entro la quale tendono ad orbitare gli oggetti vicini più piccoli, per esempio delle palline di plastica.

Quindi l'attrazione tra gli oggetti non è prodotta da forze invisibili e misteriose che agiscono a distanza e istantaneamente, come pensava Newton e tutti noi prima di Einstein, ma è semplicemente la conseguenza di una particolare configurazione che lo spazio assume a causa della presenza in esso di oggetti massicci (cioè corpi che hanno una massa).

PROPULSIONE A DEFORMAZIONE SPAZIOTEMPORALE



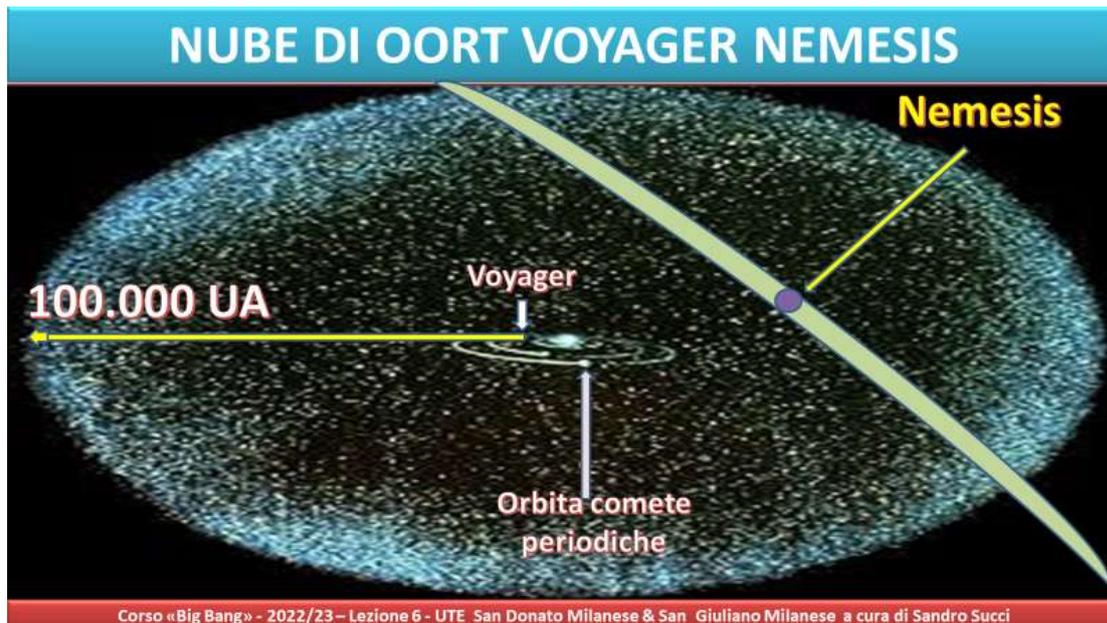
Tutti conoscerete Star Trek e l'astronave Enterprise.

Ebbene come avete visto l'astronave di Star Trek potrebbe divenire realtà.

Miguel Alcubierre, un fisico messicano, ha proposto una ipotesi matematica che porterebbe ad un motore a curvatura con cui un veicolo spaziale potrebbe raggiungere velocità di viaggio maggiori della velocità della luce.

L'astronave viaggerebbe alla massima velocità possibile imposta dalla fisica, ben sotto i limiti della velocità della luce. D'altro canto, questa astronave "sparando" un certo quantitativo di gravità, comprimerebbe davanti a sé lo spaziotempo e lo espanderebbe sul retro; quindi, non sarebbe il veicolo spaziale a muoversi oltre il limite della velocità della luce ma sarebbe lo spazio-tempo stesso a muoversi intorno alla navicella.

La nostra astronave allora sarebbe immersa in una bolla che viaggerebbe sul tessuto spaziotemporale come un surfista cavalca l'onda. Il surfista non si muove, è l'onda che lo fa viaggiare. Parliamo sempre di ipotesi, ma alla Nasa ci stanno lavorando.



Se viaggiasse alla velocità della luce, in poco più di un anno avremmo raggiunto la nube di Oort, il vero confine del nostro sistema solare.

La nube di Oort è una nube sferica di comete posta tra 20 000 e 100.000 Unità Astronomiche (1 UA = distanza Terra Sole = 150 milioni di Km) da 0,5 a 1,5 Anni Luce dal Sole. Se solo riuscissimo ad arrivare ad una velocità dieci volte quella della luce, in poco più di un mese

Questa nube è di difficile osservazione perché molto lontana e buia, ma si ritiene che sia il luogo da cui provengano le comete di lungo periodo come la Hale-Bopp

Alcuni sospettano addirittura che da quelle parti orbiti intorno al sole una stella nana, Nemesis. L'ipotesi che la nostra stella possa avere una compagna che le ruota attorno non sarebbe una novità nel cosmo, conosciamo molti sistemi binari in cui una stella ruota intorno a un'altra, la stessa Sirio, la stella più luminosa del cielo è un sistema binario formato da Sirio A una gigantesca stella bianca, e Sirio B, una stella nana che gli gira intorno.

L'ipotesi di Nemesis, dicevo, è nata per spiegare una certa regolarità nelle estinzioni di massa di specie animali e vegetali avvenute nel corso delle ere geologiche, probabilmente causate dalla caduta di grosse meteoriti o comete. Queste comete e meteoriti, che si trovano appunto nella nube di Oort fin da quando è nato il sistema solare, verrebbero perturbate e lanciate verso il centro del sistema solare dal passaggio ravvicinato di questa ipotetica stella. Il periodo orbitale di questa fantomatica compagna del Sole sarebbe appunto di 26 milioni di anni. Durante la sua fase di massimo avvicinamento al Sole si spingerebbe sino a 25 mila Unità Astronomiche, ben dentro, dunque, la nube di Oort da cui potrebbero partire le comete. Un'ipotesi suggestiva, ma che al momento non è sostenuta da alcuna prova perché ancora nessuno ha potuto osservare Nemesis.

Altri hanno suggerito che l'ipotetica estinzione periodica potrebbe essere causata dall'oscillazione del Sistema Solare attraverso il piano della Via Lattea. Anche queste eventuali oscillazioni potrebbero condurre a disturbi gravitazionali nella nube di Oort con le stesse conseguenze proposte dalla possibile orbita di Nemesis.

Torniamo vicini alla Terra per un momento.

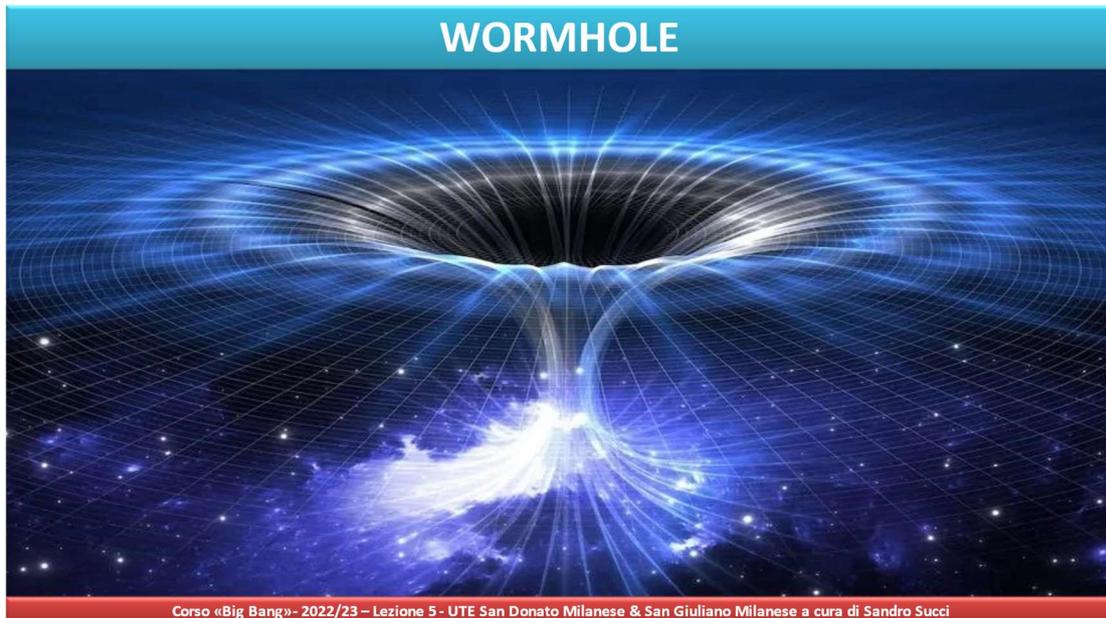
La sonda spaziale più veloce che abbiamo mai prodotto, Voyager 1, lanciato nel 1977, al momento si trova ad una distanza di 158 UA, per noi è spazio profondo ma in realtà è ancora ben lontana dalla nube di OORT.

Abbiamo ancora molta strada da fare per raggiungere un livello di viaggio interstellare da Star Trek.

Ma visto che l'uomo è riuscito a realizzare molti dei sogni fantascientifici del passato, è molto probabile che cose di questo genere verranno prodotte in futuro in modo che l'intero universo

possa essere infestato da quel virus distruttore che è l'Homo Sapiens.

Continuando a fantasticare sulle scoperte matematiche



Cos'è un wormhole? Un varco Spazio-Temporale. Un altro sogno per i fisici e per tutti gli appassionati di scienza: una scorciatoia tra un punto e un altro dell'universo, che permetterebbe di viaggiare ovunque nello spazio. Quella che vedete è l'immagine con cui viene rappresentato un wormhole.

L'analogia usata per spiegare il concetto espresso dal termine *wormhole* è questa: si immagini che l'universo sia una mela e che un verme viaggi sulla sua superficie. La distanza tra due punti opposti della mela è pari a metà della sua circonferenza, sempre che il verme si muova sulla superficie della mela, ma se invece il verme scavasse un foro attraverso la mela stessa, la distanza che dovrebbe percorrere per raggiungere quel determinato punto sarebbe inferiore. Il foro attraverso la mela rappresenta per il verme, il cunicolo spazio-temporale.

Si può attraversare un *cunicolo dello spazio-tempo* - un **wormhole** - per andare da una parte all'altra dell'Universo in un tempo brevissimo o anche di meno? La fantascienza dice di sì, e la scienza... pure!

Il primo scienziato a ipotizzare l'esistenza dei wormhole fu il matematico, e astrofisico tedesco Karl Schwarzschild, che sulla base del suo lavoro sulle equazioni relativistiche di Einstein ipotizzò, nel 1916, la possibile esistenza di oggetti straordinariamente compressi definendone persino le proprietà. Schwarzschild li chiamava **mostri siderali** frutto della matematica, che potevano perciò anche non esistere nella realtà, capaci di fare da connessione tra punti diversi dello spazio-tempo.

VIAGGIO ATTRAVERSO UN WORMHOLE



Corso «Big Bang» - 2022/23 - Lezione 5 - UTE San Donato Milanese & San Giuliano Milanese a cura di Sandro Succi

Il viaggio nell'iperspazio (o attraverso di esso) è spesso usato nelle storie di fantascienza. Il più noto esempio è la saga di *Guerre stellari*.

In particolare, l'iperspazio, sarebbe una specie di foglio di universo nel quale le normali leggi della fisica non sembrano valere più. Nell'universo della fantascienza le astronavi con propulsione a curvatura dello spazio piegano quel foglio di

universo e attraversano il wormhole più vicino per viaggiare da A a B. Addirittura, si potrebbe piegare lo spaziotempo come un foglio di carta con i lembi sovrapposti. In questo caso il passaggio da A a B sarebbe immediato

Ora dopo aver fantasticato su questi stupefacenti voli spaziali, andiamo ad incontrare gli alieni

Considerando i numeri dell'Universo sembra impossibile che non ci siano altre civiltà evolute. Solo nella nostra galassia (una delle migliaia di miliardi di galassie) ci sono 200 miliardi di stelle, ciascuna, probabilmente, con dei pianeti che orbitano nella fascia abitabile

Allora dove sono? Si nascondono in qualche galassia lontana?

Sono già venuti a trovarci e, delusi, sono andati via?

Sull'esistenza degli alieni – in particolare di forme di vita extraterrestri intelligenti – letteratura, cinema e scienza hanno detto praticamente tutto e il contrario di tutto. E al netto delle speculazioni più o meno immaginarie, suggestive o fondate, l'unica certezza è che, al momento, questi benedetti alieni ancora non si sono fatti vedere: se esistono davvero forme di vita intelligenti oltre la nostra, non siamo stati in grado di rilevarle né di stabilire alcun contatto con loro.

Fermi tutti

Quando si parla di ricerca degli alieni, è da Enrico Fermi che si deve partire. E in particolare dal paradosso che porta il suo nome. Eccone la storia, così come la ricorda Edward Teller, un collega statunitense dello scienziato italiano:

“Stavo passeggiando con Fermi e altri, stavamo andando a pranzo. Camminando, chiacchieravamo scherzosamente di un argomento che ricordo essere vagamente collegato ai viaggi spaziali. Ricordo che fu proprio Fermi a sollevare esplicitamente la questione, chiedendomi cosa ne pensassi e quanto ritenessi probabile che entro i dieci anni successivi avremmo osservato un oggetto materiale muoversi più veloce della luce. Risposi '10⁻⁶', e Fermi disse che era una probabilità troppo bassa. Secondo lui era superiore al dieci per cento. Qualche minuto dopo, mentre stavamo pranzando e parlando di tutt'altro, Fermi se ne uscì con la domanda 'Ma allora dove sono tutti?', che provocò una risata generale perché, nonostante la frase fosse totalmente avulsa dal contesto, tutti capimmo che stava parlando della vita extraterrestre”.

Con 10 miliardi di (presunti) pianeti abitabili soltanto nella Via Lattea e miliardi di galassie nell'Universo, è mai possibile che la vita si sia sviluppata solo su questo insulso puntino roccioso che è la Terra? allora, tornando a Fermi, se non siamo soli, come la matematica ci porterebbe a pensare, dove sono tutti quanti?

Questione di matematica



C'è poco da fare. Se vogliamo davvero parlare di scienza, e non di fantascienza, bisogna farsi coraggio e cominciare dalla matematica. E in particolare dall'equazione di Drake, una formula di tipo probabilistico formulata nel 1961 dall'astronomo statunitense Frank Drake e usata per stimare il numero di civiltà extraterrestri esistenti e in grado di comunicare nella nostra galassia (N).

Eccola qui:
$$N = R * f_p * n_e * f_l * f_i * f_c * L$$

Come si vede, l'equazione contiene sette fattori:

1. R= il tasso di formazione di nuove stelle che vuol dire che più stelle nascono più probabile è la comparsa di pianeti
2. F_p = la frazione di stelle che possiedono pianeti, dal 5% al 90%;
3. N_e = il numero di pianeti che si trovano nella cosiddetta zona abitabile, cioè alla distanza *giusta* dalla propria stella, quella che consentirebbe la presenza di acqua liquida sulla loro superficie; circa il 20%. Nel sistema solare solo due pianeti, la Terra e Marte

4. f_l = la frazione di questi pianeti su cui effettivamente si è sviluppata la vita;
5. f_i = la frazione di pianeti che ospitano vita intelligente;
6. f_c = la frazione di pianeti in cui la vita intelligente è abbastanza evoluta da riuscire a comunicare con altri;
7. L = la durata temporale di esistenza di queste civiltà.

Poiché su molti fattori brancoliamo ancora nel buio, il valore di N (cioè, il numero di civiltà extraterrestri esistenti e in grado di comunicare nella nostra galassia) è compreso in una forbice ancora molto allargata, che va da uno a diecimila solo nella Via Lattea. Certo è che se il numero fosse davvero dell'ordine delle decine di migliaia, la questione posta da Fermi suonerebbe ancora più paradossale: dove diavolo sono tutti quanti?

Una mia personale considerazione, che magari potrebbe essere considerata pessimistica, è che se per arrivare ad una civiltà evoluta come la nostra ci sono voluti 13,8 miliardi di anni di evoluzione, quante probabilità ci sono che questo sia avvenuto altrove? Abbiamo visto che a seconda dei fattori che inseriamo nella equazione di Drake i risultati possono variare da diecimila a uno

Per dare un senso alla mia pessimistica previsione e per dare un senso al tempo immaginate un «giorno della creazione», su un orologio di 24 ore:

«A mezzanotte si comincia con il Big bang. Le prime forme di vita sulla terra appaiono verso le 18, cioè dopo 8.5 miliardi di anni; gli organismi costituiti da cellule complesse intorno alle 20.30. Dobbiamo aspettare fino a circa un secondo prima della mezzanotte perché arrivi l'Homo Sapiens. Poi la coscienza umana

impiega un pochino a svilupparsi: l'apparizione di strumenti, di incisioni grezze e dei primi dipinti nelle caverne segnala il grande balzo in avanti solo 50mila anni fa, ovvero circa 300 millisecondi prima dello scoccare della mezzanotte. Meno di un battito di ciglia. Figuriamoci cosa può significare la nostra vita di 80-100 anni, in termini di tempo. Una cosa insignificante e irrilevante. Ma al contempo, forse, unica.

Noi siamo un miracolo della natura. Natura che il filosofo Spinoza ha descritto ***Deus sive Natura*** (letteralmente "Dio ossia la Natura") che, nell'ambito della riflessione metafisica, cosmologica, teologica, sta a significare Dio, inteso come la sostanza increata, eterna, infinita, unica da cui tutti gli enti e gli elementi dipendono per la loro esistenza.

La Natura, intesa come l'insieme di tutto ciò che esiste. La sostanza di cui parla Spinoza non può dunque essere che Dio. Ma la divinità spinoziana non deve essere pensata come l'entità ebraico-cristiana, Spinoza era convinto che la concezione di un Dio antropomorfo, bravo e buono, derivasse dalla superstizione e dall'immaginazione.

Comunque stiano le cose su questo dovremmo riflettere, visto che viviamo così poco, dovremmo vivere al meglio ogni momento della nostra vita. La vita, l'immenso dono che ci è stato elargito, gratis.

Beh, dopo questo intervallo di fantascienza e metafisica torniamo alla Scienza, quella con la esse maiuscola

LA RELATIVITÀ

Quando si parla di Relatività tutti pensiamo ad Einstein, - Tutto è relativo-. Quante volte abbiamo sentito questa frase. Per la precisione Einstein disse: "niente è assoluto, tutto è relativo". Ma c'era già stato qualcuno che ne aveva parlato.



GALILEO E IL PRINCIPIO DI RELATIVITÀ

La formulazione galileiana originale del concetto di Relatività è:

"Non è possibile determinare se il sistema di riferimento in cui ci troviamo sia in stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

Cosa voleva dire?

Galileo sosteneva che noi non riusciamo a renderci conto dei moti; per esempio, dei movimenti della Terra. Per noi ogni evento che avvenga su una Terra in movimento o su una Terra ferma, sarebbe la stessa cosa.



Infatti, noi non abbiamo la sensazione che in realtà in questo preciso istante la Terra sta girando come una trottola, sul proprio asse in senso antiorario, ad una velocità di rotazione pari a circa 1.700 km all'ora.



e che intanto viaggia intorno al Sole a una distanza media di 149 milioni di km, l'orbita vale oltre 936 milioni di km

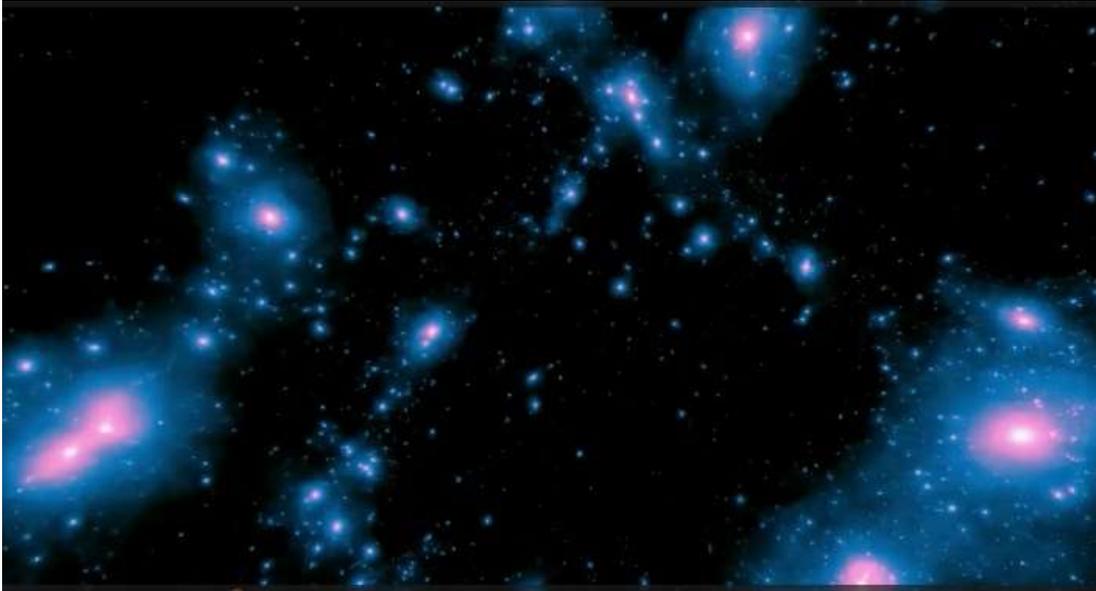
che percorriamo in circa 365 giorni, questo corrisponde ad una velocità orbitale media di circa 107.000 km/h, pari a quasi 30 km/s.



E il sole? Il Sole, con tutti i suoi pianeti che gli ruotano attorno sta anche lui viaggiando verso la stella Vega nella costellazione della Lira, ruotando intorno al centro della Via Lattea ad una velocità media di circa 220 chilometri al secondo.



Per non parlare del moto dell'intera Via Lattea intorno al centro gravitazionale dell'ammasso di galassie locale della Vergine.



Eppure, in questo momento, pur viaggiando a tali velocità non ne percepiamo alcun effetto. Abbiamo la sensazione di essere fermi. Dovremmo sentire un bel vento sulla faccia. Eppure, non lo sentiamo. Perché, siamo, noi, la terra, l'atmosfera, un sistema inerziale, un tutt'uno. Ecco perché se facciamo un salto ricadiamo nello stesso punto da cui lo abbiamo iniziato. Se non facessimo parte di un sistema inerziale, visto che la terra ruota su sé stessa a 1.700 km/h, cioè circa 460 metri/sec. dovremmo ricadere molto più in là, se il mio salto durasse un secondo dovrei cadere a 460 metri dal punto in cui mi sono lanciato.

Se non fossimo tutto un sistema inerziale, tuffandomi dal trampolino di una piscina cadrei sull'asfalto della strada vicina...

Il significato immediato della Relatività Galileiana è:

Non è possibile determinare se il sistema di riferimento in cui ci troviamo è in quiete, (cioè sta fermo), o in moto rettilineo uniforme (cioè viaggia sempre nella stessa direzione a velocità costante).

È il primo esempio storico esplicito del principio di Relatività.

La Relatività Galileiana è rimasta poi in ottimo accordo con i dati osservativi, sino alla fine dell'Ottocento, e continua a essere quella usata con successo anche oggi per trattare i fenomeni che si svolgono con velocità molto inferiori a quella della luce.