

### 1. Il limite di velocità

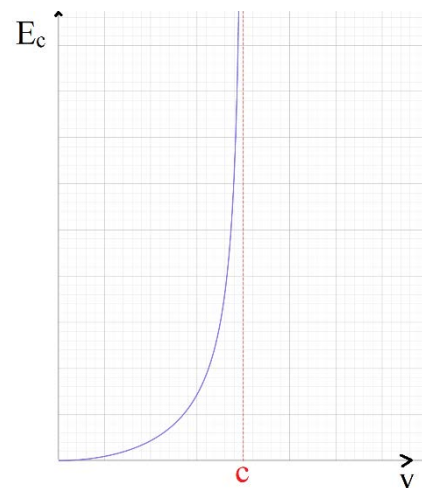
Nel 1905 Albert Einstein pubblica un articolo scientifico intitolato *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento) nel quale espone per la prima volta la teoria della relatività ristretta, una teoria destinata a trasformare il mondo della fisica e di conseguenza anche il mondo della fantascienza. In particolare una delle più importanti conseguenze dell'articolo dell'allora sconosciuto impiegato dell'ufficio brevetti di Berna è una nuova formula per il calcolo dell'energia cinetica ( $E_c$ ):

$$E_c = mc^2 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Da questa formula consegue che se la velocità del corpo ( $v$ ) tende alla velocità della luce nel vuoto ( $c$ ) la sua energia cinetica tenderà a più infinito:

$$\lim_{v \rightarrow c^-} E_c = \lim_{v \rightarrow c^-} \left[ mc^2 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \right] = +\infty$$

Risulta infatti evidente che  $v=c$  è un asintoto verticale



Ora, siccome per accelerare un corpo fermo avente massa diversa da zero fino ad una determinata velocità ho bisogno di fornirgli energia almeno pari alla energia cinetica che acquisterebbe una volta arrivato a quella determinata velocità, risulta chiaro come una delle conseguenze della relatività einsteiniana sia l'impossibilità di accelerare un corpo dotato di massa fino alla velocità della luce nel vuoto. Studiando l'andamento del grafico si può poi notare che con l'aumentare della velocità aumenta anche l'energia necessaria per accelerare il corpo. Questo fatto è dovuto alla famosa equazione  $E=mc^2$  che fa sì che parte dell'energia che do al corpo per accelerare si trasformi in massa che quindi va ad aumentare l'inerzia del corpo stesso.

Si potrebbe quindi pensare di far partire il corpo che vogliamo accelerare oltre la velocità della luce da un altro corpo già in movimento, così come quando volendo aumentare la velocità di un missile lo

si fa partire da un aereo da caccia in movimento. Anche in questo caso però la relatività ci mette i bastoni tra le ruote; nello stesso articolo citato all'inizio di questa trattazione viene spiegato infatti come calcolare la velocità finale di un corpo sommando semplicemente la sua velocità iniziale e quella del corpo da cui parte, ovvero usando la legge galileiana della composizione delle velocità, sia sbagliato e che la legge ideata da Galileo non sia altro che una approssimazione (che può comunque andare bene quando si ha a che fare con velocità relativamente basse, ma che dà risultati inesatti qualora si considerino velocità prossime a quella della luce) di una legge ben più complessa:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

Da questa equazione si può facilmente notare come componendo velocità minori di  $c$  si ottenga sempre un risultato minore della velocità della luce nel vuoto.

Assodato dunque che avremo sempre nei nostri viaggi spaziali come limite di velocità  $c$  ovvero 299'792'458 m/s, proviamo a vedere quanto ci metterebbe una piccola navicella pensante come lo Space Shuttle ( $m= 13500$  kg), accelerata usando l'energia prodotta da una centrale nucleare in un anno ( $E_c= 4,9 \times 10^{16}$  J), a raggiungere la stella più vicina al nostro sistema solare, Proxima Centauri ( $\Delta S= 4,243$  anni luce=  $4,014 \cdot 10^{16}$  m):

$$v = \sqrt{c^2 - \frac{c^2}{\left(\frac{E_c}{mc^2} + 1\right)^2}} = \sqrt{299792458^2 - \frac{299792458^2}{\left(\frac{4,9 \times 10^{16}}{13500 \cdot 299792458^2} + 1\right)^2}} = 2694219,65 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v} = \frac{4,014 \cdot 10^{16}}{2694219,65} = 1,489856 \cdot 10^{10} \text{ s} \approx 472 \text{ anni e } 156 \text{ giorni}$$

Se anche in una condizione ideale come questa un viaggio verso il sistema stellare a noi più vicino dura per noi sulla terra (approfondiremo in seguito come varia lo scorrere del tempo per l'equipaggio sulla nave) quasi mezzo secolo immaginare di viaggiare di giorno in giorno per i sistemi più disparati galassia, come abbiamo visto fare dagli astronauti della fantascienza, sembra impossibile; ma la fantasia degli scrittori e degli scienziati non si è di certo arresa di fronte a un "semplice" limite di velocità.

## 2. Se il capitano Kirk non va alla montagna

Dopo poco più di dieci anni dalla pubblicazione dell'articolo da cui abbiamo preso le mosse nel paragrafo precedente Einstein scrive un secondo articolo, intitolato *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie* (I fondamenti della teoria della relatività generale), in cui sposta la sua attenzione

verso i corpi che si muovono di moto accelerato, rimasti esclusi dal suo primo studio sulla relatività. Uno dei risultati più importanti a cui giunge questa teoria è la geometrizzazione dello spazio. Il fisico tedesco capisce infatti che il tessuto dello spazio-tempo in cui siamo immersi non è piatto come la superficie di un tavolo da biliardo ma che si può più verosimilmente immaginare come la superficie di un materasso poiché come essa è in grado di piegarsi e deformarsi in presenza di masse. Con questa brillante intuizione riesce quindi a spiegare coerentemente l'interazione gravitazionale tra i corpi; infatti come un oggetto molto pesante, ad esempio una palla da bowling, curva la superficie del materasso facendo rotolare verso di sé altre piccole biglie che avevo posto in altri punti del materasso, allo stesso modo un corpo di grande massa come il sole curva la superficie dello spazio-tempo a tal punto da attirare a sé altri corpi più piccoli come i pianeti del sistema solare.

Nel 1957 lo scrittore statunitense John Wood Campbell Jr, partendo proprio dagli ultimi studi di Einstein, introduce nel suo romanzo fantascientifico "*Isole dello spazio*" un possibile modo per viaggiare più veloci della luce: il motore a curvatura. Letto il paragrafo precedente l'idea di viaggiare a velocità superiori di  $c$  dovrebbe sembrarci semplicemente assurda ma in realtà ciò che farebbe il motore introdotto da Campbell non sarebbe propriamente accelerare l'astronave ma piuttosto accorciare la distanza che il veicolo spaziale deve percorrere; in questo modo l'astronave non violerebbe il limite di velocità imposto da Einstein ma muovendosi in uno spazio ristretto, anche senza superare la velocità della luce, potrebbe muoversi tra due punti in un intervallo di tempo tale per cui se lo spazio non fosse distorto il veicolo supererebbe la velocità  $c$ . Effettivamente il limite non viene superato ma il risultato è il medesimo. Il motore a curvatura sarebbe quindi in grado di contrarre lo spazio davanti all'astronave e di dilatarlo dietro di essa rendendo il viaggio come quello di una formica su una molla che viene espansa dietro di lei e compressa davanti a sé. In questo modo la formica percorrerebbe solo un tratto lungo quando la molla è compressa ma alla fine si ritroverebbe ad essere passata dall'inizio alla fine della molla a riposo.



Il motore a curvatura deve certamente la sua popolarità alla serie televisiva *Star Trek*, ideata nel 1966 da Gene Roddenberry, che ha scelto di utilizzare questo sistema di propulsione come espediente

narrativo per i viaggi dei vari ufficiali della Flotta Stellare in giro per la galassia. Nel futuro immaginato da Roddenberry l'umanità sarebbe entrata in possesso della tecnologia del motore a curvatura nel 2063 e grazie a questa tecnologia l'uomo sarebbe stato in grado di viaggiare per la galassia entrando in contatto con le civiltà aliene più disparate. Ora proviamo a calcolare quanto ci metterebbe l'equipaggio del capitano Kirk a bordo della astronave Enterprise a raggiungere dalla terra Alpha Centauri viaggiando ad una velocità di curvatura 9, equivalente a circa 1500 volte la velocità della luce nel vuoto:

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v} = \frac{4,014 \cdot 10^{16}}{1500 \cdot 299792458} = 8,93 \cdot 10^4 s \approx 1 \text{ giorno}$$

Parafrasando quindi un famoso detto popolare potremmo quindi dire che se il capitano Kirk non va alla montagna (o meglio ancora a Vulcano, il paese natio del suo fedele comandante Spock) allora deforma lo spazio fino a che non se la ritrova davanti.

Nel 1994 il fisico e appassionato di Star Trek messicano Miguel Alcubierre ha pubblicato un articolo scientifico intitolato *The Warp Drive: Hyper-fast travel within general relativity* (Il motore a curvatura: viaggi iperveloci nell'ambito della relatività generale) in cui dimostra come la teoria fantascientifica del motore a curvatura sia realmente compatibile con le equazioni della gravità einsteiniana. L'articolo di Alcubierre ci mostra però anche uno dei principali limiti applicativi di questa tecnologia: il motore funzionerebbe solo a patto di utilizzare dell'energia esotica a densità negativa e sebbene alcune teorie attribuiscono questa caratteristica alla energia oscura (l'energia responsabile dell'accelerazione dell'espansione dell'universo) nessuno scienziato è ancora riuscito ad entrarvi in contatto ed è ancora da verificare la possibilità che saremo in grado di utilizzare questa energia, di cui ancora sappiamo ben poco, per i nostri scopi. I problemi poi riguardo l'applicazione pratica non finiscono qui poiché comunque si dovrebbe creare una navicella in grado di resistere all'immense forze gravitazionali che il motore andrebbe a creare ed inoltre si calcola che il dispendio energetico sarebbe altissimo, difatti in Star Trek viene utilizzata come fonte energetica la reazione di annichilimento tra materia e antimateria, in cui la materia viene completamente trasformata in energia, ma questa è una tecnologia per noi ancora inapplicabile, sia per le difficoltà nella produzione e nel trasporto della antimateria, sia per l'impossibilità di controllare adeguatamente la reazione (problema che nel telefilm viene risolto con l'introduzione di un immaginario minerale, il dilithio, in grado di svolgere il compito di moderatore).

Nonostante i problemi elencati la possibilità teorica della realizzazione di questo motore lascia ben sperare molti scienziati, basti pensare anche la stessa NASA negli ultimi anni abbia deciso di finanziare alcune ricerche riguardo l'applicazione di questa tecnologia di origine fantascientifica.

### 3. Astenersi dilatatempo

Sebbene l'opera di Roddenberry abbia indubbiamente il merito di aver portato sugli schermi di milioni di persone alcuni aspetti della relatività bisogna però riconoscere che gli sceneggiatori di Star Trek hanno omesso, salvo in qualche rara occasione, la nuova concezione del tempo introdotta dalla teoria di Einstein. Il genio tedesco infatti soppianta al tempo newtoniano inteso come entità assoluta, indipendente dal mondo degli oggetti e dei fenomeni, un tempo non più universale ma al contrario che scorre in maniera diversa a seconda di dove ci si trovi e di quanto ci si stia muovendo veloci. Nello specifico la relatività ristretta dimostra come un corpo in movimento sperimenta una variazione di tempo ( $\Delta t_0$ ) minore rispetto a quella misurata da un corpo fermo ( $\Delta t$ ). Si dice dunque che il tempo per il corpo fermo si è dilatato e questa dilatazione temporale si può misurare mediante la seguente formula:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Possiamo quindi provare a calcolare quanto durerebbe il viaggio che abbiamo ipotizzato nel primo paragrafo per gli astronauti a bordo:

$$\Delta t_0 = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1,489856 \cdot 10^{10} \cdot \sqrt{1 - \frac{2694219,65^2}{299792458^2}} = 1,489796 \cdot 10^{10} s$$

$\approx 472 \text{ anni e } 150 \text{ giorni}$

Come è facile intuire la dilatazione temporale è trascurabile a basse velocità ma avvicinandosi alla velocità della luce aumenta l'effetto a dismisura.

La relatività generale invece dimostra come un corpo posto più vicino ad una grande massa (e quindi a un più grande campo gravitazionale) sperimenta una variazione di tempo ( $\Delta t_0$ ) minore rispetto a quella ( $\Delta t$ ) misurata da un corpo più lontano. Come abbiamo visto in precedenza infatti le masse deformano lo spazio-tempo e, sebbene in Star Trek sia tenuta in considerazione solo la dilatazione dello spazio, questo fenomeno ha anche come sua conseguenza la dilatazione del tempo, calcolabile mediante la seguente formula:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{1 - \frac{GM}{c^2 R}}$$

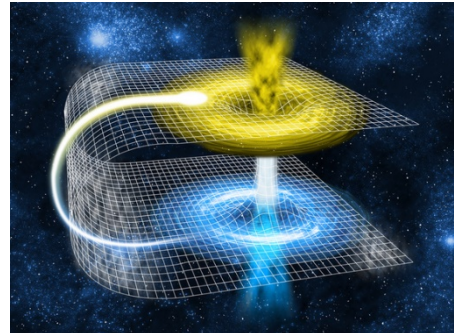
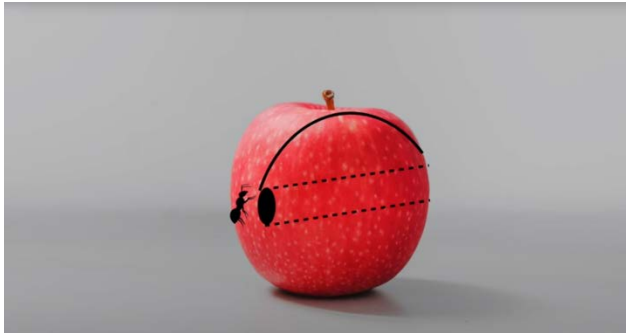
dove M è la massa che genera il campo gravitazionale, R è la distanza da essa e G è la costante di gravitazione universale.

Mentre i personaggi di Star Trek si astengono dall'entrare in contatto con tutti questi effetti "dilatatempo" altre opere fantascientifiche fanno della questione temporale un vero e proprio leitmotiv. È il caso del film premio Oscar *Interstellar* nel quale il protagonista, l'astronauta Joseph Cooper, a causa degli effetti relativistici di un viaggio spaziale verso il buco nero Gargantua si ritroverà ad essere più giovane della figlia Murphy rimasta sulla terra. Ciò che accade a Cooper è molto simile a quanto accade nell'esperimento mentale del paradosso dei gemelli che consiste nell'immaginare che un gemello parta su di una astronave che viaggia a velocità prossime a quella della luce mentre l'altro gemello rimanga sulla terra. Una volta tornato sulla Terra per l'effetto della dilatazione temporale il gemello astronauta dovrebbe risultare più giovane del fratello eppure se si assume invece il punto di vista di quest'ultimo si può considerare che fosse il fratello assieme alla Terra a muoversi rispetto alla astronave e dunque la situazione finale dovrebbe essere opposta. La soluzione al paradosso è tuttavia molto semplice e sta nel fatto che a ben guardare il moto dei due fratelli non è identico in quanto l'astronauta, per compiere il suo viaggio, ha necessariamente dovuto accelerare e decelerare, cosa che sicuramente il fratello non ha fatto ed ecco che qui si rompe la simmetria che sembrava rendere paradossale il nostro esperimento. Talvolta, erroneamente, viene ritenuto paradossale il fatto che un gemello diventi più vecchio dell'altro ma questo non è assolutamente un paradosso poiché, anche se non ne abbiamo mai avuto esperienza diretta dato che fino ad ora nessun uomo ha raggiunto velocità prossime a quelle della luce, il fenomeno è dimostrato benissimo dalla teoria della relatività.

#### **4. Una galassia in fondo al tunnel**

Il film *Interstellar* è sicuramente uno dei film fantascientifici più scientificamente accurati; non a caso è stato produttore esecutivo e consulente scientifico del film il premio Nobel per la fisica Kip Thorne. In questo film del 2014 viene scelto come mezzo per far viaggiare velocemente gli astronauti verso un'altra galassia un ponte di Einstein-Rosen. Nel 1935 Einstein assieme al collega Nathan Rosen pubblica un articolo intitolato *The Particle Problem in the General Theory of Relativity* (Il problema delle particelle nella teoria della relatività generale) in cui trovano una soluzione delle equazioni della relatività che renderebbe possibile l'esistenza di tunnel spazio-temporali a cui viene dato appunto il nome di ponti di Einstein-Rosen. Negli anni '60 poi un altro studioso, John Wheeler, per definire questi tunnel conia il nuovo termine wormhole (letteralmente buco del verme) prendendo spunto da una analogia molto utile a capire come essi funzionano. Si può infatti immaginare lo spazio come la buccia di una mela e la nostra astronave come una piccola formica che si muove su questa buccia. Se l'insetto per caso trovasse sulla mela il buco di un verme potrebbe quindi infilarci e spostarsi da un punto all'altro della buccia viaggiando più velocemente del normale. Allo stesso modo un wormhole

non sarebbe altro che un tunnel da un punto all'altro dello spazio che gli astronauti potrebbero utilizzare come scorciatoia per muoversi in poco tempo tra galassie lontanissime.



Lo stesso Wheeler però si accorse che i wormhole studiati fino ad allora non erano abbastanza stabili da poter essere attraversati ma negli anni '80 lo stesso Thorne, per aiutare l'amico Carl Sagan nella stesura di un romanzo fantascientifico, tornò a studiare questi tunnel spazio-temporali e scoprì che c'è un modo per renderli stabili ma esso necessita di utilizzare ancora una volta l'energia oscura e quindi si ricadrebbe ancora nei problemi presentati parlando del motore a curvatura, senza contare il fatto che comunque le estreme forze gravitazionali che si creerebbero all'interno del cunicolo spazio-temporale metterebbero a dura prova la sopravvivenza della navetta e del suo equipaggio.

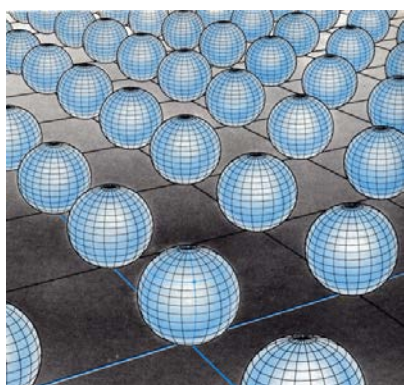
Ad ogni modo la speranza degli scienziati è quella di trovare degli wormhole formati naturalmente, o magari costruiti da civiltà aliene avanzate come avviene appunto in *Interstellar*, e per questo stanno cercando di capire se qualcuno dei buchi neri che ci circonda non sia in realtà un ponte di Einstein-Rosen dato che le due entità fisiche sono quasi indistinguibili se non in situazioni particolari come il passaggio ravvicinato di una stella che potrebbe quindi interagire con la materia al di là del condotto.

## 5. Il grande salto

Altre saghe fantascientifiche come quella cinematografica *Star Wars* o quella letteraria *Ciclo della Fondazione* di Isaac Asimov hanno cercato una soluzione al limite imposto da Einstein al di fuori della teoria della relatività, nell'iperspazio. Mentre la teoria dello scienziato tedesco considera un universo formato da quattro dimensioni, tre dello spazio e una del tempo, il fisico tedesco Theodor Kaluza e lo svedese Oskar Klein hanno immaginato invece uno spazio a cinque dimensioni. Secondo i due scienziati infatti esisterebbe una quarta dimensione spaziale di cui però non abbiamo esperienza perché invece di essere "srotolata" come le altre essa sarebbe "arrotolata" lungo un cilindro di dimensioni infinitesimali, totalmente oltre ogni nostro possibile strumento di interazione. Questa teoria, sebbene sia con gli strumenti attuali sostanzialmente indimostrabile, ha però il merito di riuscire a geometrizzare (ovvero di ridurre a un fenomeno di deformazione geometrica) non solo la gravità come aveva fatto Einstein ma anche la radiazione elettromagnetica. Sulla scia dei risultati di



questa teoria altri fisici hanno cercato quindi di geometrizzare anche gli altri termini della fisica. Una delle teorie più di successo è quella della supergravità la quale prevede l'esistenza di ben undici dimensioni. Le sette dimensioni oltre a quelle "srotolate" dello spazio e del tempo sarebbero racchiuse in una sfera a sette dimensioni, un eptasfera, sempre però di grandezza infinitesima e quindi non rilevabile. L'idea fantasiosa di alcuni scrittori è stata quella di immaginare di poter lasciare il mondo a quattro dimensioni di Einstein con i suoi limiti e di saltare all'interno dell'iperspazio ovvero il mondo delle altre dimensioni dove si immagina che la geodetica (il cammino più breve) tra due punti possa essere di gran lunga minore che nello spazio ordinario o che oppure il limite della velocità della luce non valga più. Certamente questo è il metodo di viaggio più lontano dall'avere una vera e propria applicazione pratica ma certamente bisogna riconoscergli il merito di aver aiutato l'uomo a immaginare come possa funzionare il mondo oltre le quattro dimensioni ordinarie.

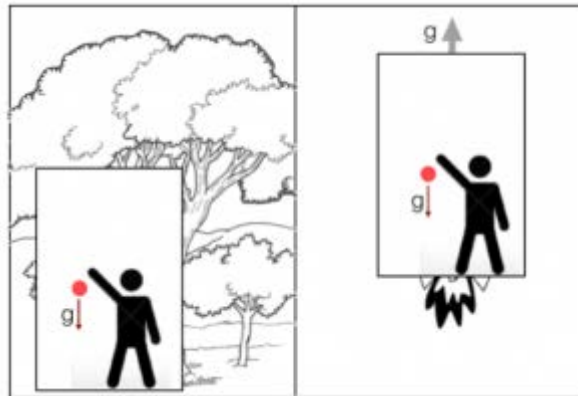


## 6. Tale padre tale pronipote

Altri scrittori invece si sono arresi di fronte al limite di velocità, ma non per questo hanno rinunciato al sogno di far arrivare l'uomo in un altro sistema stellare. Essi hanno accettato il fatto che un viaggio del genere duri ben oltre la speranza di vita di un singolo umano e hanno quindi deciso di immaginare navi in grado di ospitare intere generazioni di essere umani in un viaggio che può durare secoli o addirittura anche millenni. Una nave del genere deve necessariamente essere autosufficiente e la soluzione più semplice per raggiungere questo scopo sarebbe creare un vero e proprio ecosistema all'interno della nave che, proprio come accade qui sulla terra, sia in grado di riciclare la stessa quantità di materia all'infinito. Le condizioni presenti su una astronave in mezzo allo spazio però sono inadatte alla costruzione di un ambiente del genere soprattutto a causa della assenza di gravità. Per risolvere questi problemi si potrebbe però utilizzare un cilindro di O'Neil. Questo habitat fantascientifico si basa ancora una volta su una teoria di Einstein. Mentre stava studiando le forze apparenti che appaiono nei sistemi non inerziali il padre della relatività scoprì un importante principio che sarà poi nominato il Principio di Equivalenza: "un sistema accelerato è perfettamente equivalente ad un



sistema immerso in un campo gravitazionale.” Questo principio viene solitamente spiegato con un semplice esperimento mentale. Immaginiamo un razzo con a bordo un astronauta che non ha modo di guardare fuori dal suo abitacolo; se il razzo fosse nello spazio e che stesse viaggiando di moto rettilineo uniformemente accelerato con una accelerazione di  $9,8 \text{ m/s}^2$  l’astronauta semplicemente percepirebbe questa accelerazione, se il razzo fosse invece ancora sulla terra ci sarebbe l’accelerazione gravitazionale ad agire sull’astronauta che quindi ancora percepirebbe una accelerazione di  $9,8 \text{ m/s}^2$  (il valore della accelerazione gravitazionale terrestre).

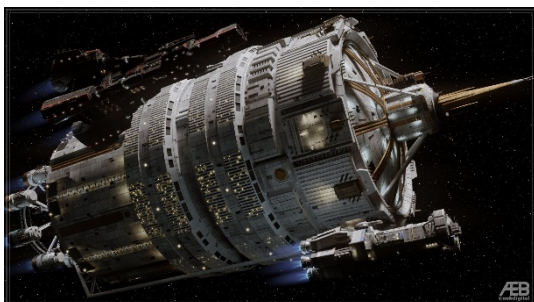


Non vi è dunque alcun modo per l’astronauta chiuso all’interno del razzo di capire in quale dei due casi si trovi, il sistema accelerato è perfettamente identico a quello immerso nel campo gravitazionale.

L’idea del fisico e scrittore fantascientifico Gerard Kitchen O’Neill fu quella di prendere un a struttura cilindrica molto grande, con un diametro anche di qualche kilometro, e di farla ruotare al suo asse in modo tale da creare una accelerazione centrifuga di valore comparabile alla accelerazione gravitazionale terrestre. Basterebbe per esempio un cilindro di diametro di 1,5 km ( $r = 0,75 \cdot 10^3 \text{ m}$ ) che ruota a una velocità angolare ( $\omega$ ) di solo 0,115 rad/s per ottenere una accelerazione ( $a_c$ ) sulle pareti interne del cilindro approssimabile a quella della terra:

$$a_c = \omega^2 r = (0,115)^2 \cdot 0,75 \cdot 10^3 = 9,9 \text{ m/s}^2 \approx g$$

Sulle pareti interne del cilindro si potrebbero quindi replicare le condizioni di vita presenti sulla terra, per esempio si potrebbe usufruire, con l’ausilio di luci artificiali e specchi che riflettano la luce delle stelle più vicine, di un sistema agricolo simile a quello presente sulla terra in modo tale da rendere la nave spaziale autosufficiente dal punto di vista alimentare.



Dei sistemi di rigenerazione delle acque e dell'aria permetterebbero quindi al veicolo di garantire la sopravvivenza all'interno di essa di numerose generazioni di uomini. Un esempio di nave di questo tipo è la Nauvoo della serie fantascientifica nata nel 2015 *The Expanse*.

Il limite applicativo di questa tecnologia non è questa volta di natura scientifica ma bensì di natura etica. Sarebbe giusto far trascorre a un uomo tutta la vita all'interno di una astronave in mezzo allo spazio affinché un suo pronipote possa realizzare il sogno dei suoi antenati? Sarebbe giusto costringere due persone ad avere un figlio per il solo scopo di far continuare la missione? È più importante il sogno di una popolazione o la libertà di costruirsi il proprio destino di un individuo?

## **7. Viaggiare con la fantasia**

Attualmente tutte queste tecnologie, così come il sogno di riuscire a raggiungere un'altra stella, sembrano irrealizzabili ma non dobbiamo smettere di riflettere, ingegnarci e immaginare. Nel 1865 l'uomo non era ancora nemmeno in grado di volare eppure lo scrittore Jules Verne immaginava nel famoso romanzo *Dalla Terra alla Luna* che gli uomini sarebbero riusciti a sparare un enorme proiettile con all'interno un equipaggio umano sulla Luna. Sicuramente all'epoca questa idea sarà sembrata irrealistica, irrealizzabile, una semplice fantasia di uno scrittore un po' folle eppure appena 104 anni dopo la pubblicazione del libro un altro grande "proiettile", il razzo Saturn V, riesce a portare per la prima volta degli uomini sulla superficie del nostro satellite.

Infine volevo concludere questo breve trattato riportando le parole di Konstantin Èduardovič Ciolkovskij, l'ingegnere russo ritenuto il padre del volo spaziale umano: "All'inizio c'è necessariamente un'idea, una fantasia, una fiaba, e poi vengono i calcoli scientifici; alla fine l'esecuzione corona il pensiero. Il mio lavoro ha a che fare con la fase centrale della creatività. Più di chiunque altro, sono consapevole del baratro che separa un'idea dalla sua realizzazione, perché per tutta la mia vita ho fatto non solo molti calcoli, ma ho anche lavorato con le mie mani. Ma ci dev'essere un'idea; l'esecuzione dev'essere preceduta da un'idea, i calcoli precisi dalla fantasia".

### [Bibliografia:](#)

A. EINSTEIN, Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento; J. Cutnell e K. Johnson, I problemi della fisica 3; A. Einstein, I fondamenti della teoria della relatività generale; M. Alcubierre, The Warp Drive: Hyper-fast travel within general relativity; C. Rovelli, L'ordine del tempo; A. Einstein e N. Rosen, The Particle Problem in the General Theory of Relativity; P. Caraveo, Conquistati dalla Luna.

Sitografia:

[www.youtube.com/user/KepleroTV](http://www.youtube.com/user/KepleroTV), [www.youtube.com/user/link4universe](http://www.youtube.com/user/link4universe) [www.fmboschetto.it](http://www.fmboschetto.it),  
[www.wired.it](http://www.wired.it), [www.sf-encyclopedia.com](http://www.sf-encyclopedia.com).