

## **PONTE DI EINSTEIN-ROSEN** autori vari

Un **ponte di Einstein-Rosen** o **cunicolo spazio-temporale**, detto anche **wormhole** (in italiano letteralmente "buco di verme", ma tradotto in genere col termine **galleria di tarlo** o **cunicolo di tarlo**), è una ipotetica caratteristica topologica dello spaziotempo che è essenzialmente una "scorciatoia" da un punto dell'universo a un altro, che permetterebbe di viaggiare tra di essi più velocemente di quanto impiegherebbe la luce a percorrere la distanza attraverso lo spazio normale.

Il *wormhole* viene spesso detto **tunnel gravitazionale**, mettendo in rilievo la *dimensione gravitazionale* strettamente interconnessa alle altre due *dimensioni*: spazio e tempo. Questa singolarità gravitazionale, e/o dello spazio-tempo che dir si voglia, possiede almeno due estremità, connesse ad un'unica "gola" (tunnel o cunicolo), potendo la materia viaggiare da un estremo all'altro passandovi attraverso.

## **Cenni storici**

Il primo scienziato a teorizzare l'esistenza dei *wormhole* fu Ludwig Flamm nel 1916. In questo senso l'ipotesi del tunnel gravitazionale è un'attualizzazione della teoria ottocentesca di una quarta dimensione spaziale la quale supponeva - ad esempio per un dato corpo toroidale, nel quale si trovino le tre dimensioni spaziali comunemente percettibili - una quarta dimensione spaziale che abbreviasse le distanze, e così i tempi del viaggio. Questa nozione iniziale fu plasmata in modo più scientifico nel

1921  
dal matematico  
Hermann Weyl  
in relazione alle sue analisi della  
massa  
in termini di  
energia  
di un  
campo elettromagnetico

.  
[1]

Attualmente la teoria delle stringhe ammette l'esistenza di oltre 3 dimensioni spaziali (vedere iperspazio), ma le altre dimensioni spaziali sarebbero contratte o compattate in base a scale subatomiche (secondo la teoria di Kaluza-Klein) per cui sembra molto difficile (si direbbe "impossibile") sfruttare tali dimensioni spaziali "extra" per fare viaggi nello spazio e nel tempo.

### **Origine del nome**

Il termine inglese *wormhole* fu coniato dal fisico teorico americano John Archibald Wheeler nel 1957. Comunque, l'idea dei wormhole fu già teorizzata nel 1921 dal matematico tedesco Hermann Weyl nella sua analisi della massa in termini di energia del campo elettromagnetico

« Questa analisi costringe a considerare situazioni... dove c'è un flusso netto di li

(John Wheeler in *Annali di Fisica* )

L'analogia usata per spiegare il concetto espresso dal termine *wormhole* è questa: si immagina 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 se il verme resta sulla superficie della mela, ma se invece esso si scava un foro direttamente attraverso la mela la distanza che deve percorrere per raggiungere quel determinato punto diventa inferiore. Il foro attraverso la mela rappresenta il cunicolo spazio-temporale.

### Tipi di cunicoli spazio-temporali

- I **cunicoli spazio-temporali intra-universo** connettono una posizione con un'altra dello stesso universo in un tempo differente. Un tunnel gravitazionale dovrebbe poter connettere punti distanti nell'universo a causa delle deformazioni spaziotemporali, permettendo così di viaggiare fra loro in minor tempo rispetto ad un viaggio attraverso lo spazio normale.

- I **cunicoli spazio-temporali inter-universo** collegano un universo ad un altro differente e sono definiti *wormhole di Schwarzschild*. Questo ci permette di congetturare la possibilità se tali tunnel spazio-temporali possano essere usati per viaggiare da un universo ad un altro parallelo. Un'altra applicazione del *wormhole* potrebbe essere il viaggio nel tempo. In questo caso sarebbe una scorciatoia per spostarsi da un punto spaziotemporale a un altro differente. Nella teoria delle stringhe un wormhole viene visualizzato come la connessione tra due *D-brane*, dove le bocche sono associate alle brane e connesse tramite un tubo di flusso. Si pensa che i wormhole siano una parte della schiuma quantica o spaziotemporale.

Altra classificazione:

- I *wormhole* euclidei, studiati nella fisica delle particelle.
- I *wormhole* di Lorentz, sono principalmente studiati nella relatività generale e nella gravità

semiclassica.

- I *wormhole* attraversabili sono dei tipi speciali di *wormhole* di Lorentz che permetterebbero a un essere umano di viaggiare da un estremo all'altro del buco (tunnel).

Per il momento esistono teoricamente differenti tipi di *wormhole* che sono principalmente soluzioni matematiche al problema:

- Il supposto *wormhole* di Schwarzschild prodotto da buco nero di Schwarzschild viene considerato insormontabile;

- Il supposto *wormhole* formato da un buco nero di Reissner-Nordstrøm o Kerr-Newman, risulterebbe sormontabile, ma in una sola direzione, potendo contenere un *wormhole* di Schwarzschild;

- Il *wormhole* di Lorentz possiede massa negativa e si ipotizza come sormontabile in entrambe le direzioni (passato/futuro).

## **Cunicoli spazio-temporali di Schwarzschild**

I cunicoli spazio-temporali lorentziani noti come **cunicoli spazio-temporali di Schwarzschild**

o

### **ponte di Einstein-Rosen**

sono ponti fra aree di spazio che possono essere modellati come

soluzioni di vuoto

nelle

equazioni di campo di Einstein

combinando modelli di un

buco nero

e un

buco bianco

. Questa soluzione fu scoperta da

Albert Einstein

e il suo collega

Nathan Rosen

, che per primo pubblicò il risultato nel 1935. Ad ogni modo, nel 1962

John A. Wheeler

e  
Robert W. Fuller  
pubblicarono un saggio mostrando che questo tipo di  
*wormhole*  
è instabile, e che sarà  
*schacciato*  
fuori istantaneamente non appena si forma, impedendo anche alla luce di attraversarlo.

Precedentemente i problemi di stabilità dei *wormhole* di Schwarzschild erano apparenti; fu  
proposto che i quasar fossero buchi  
bianchi formanti la fine di questi tipi di  
*wormhole*  
.

Mentre i *wormhole* di Schwarzschild non sono attraversabili, la loro esistenza ispirò Kip Thorne  
a immaginare  
*wormhole*  
attraversabili creati tenendo la 'gola' di un  
*wormhole*  
di Schwarzschild aperta con  
materia esotica  
(materia che ha massa/energia negativa).

## **Attraversabilità**

I *wormhole* lorentziani attraversabili permetterebbero di viaggiare da una parte all'altra dello  
stesso universo molto rapidamente oppure viaggiare da un universo ad un altro. La possibilità di  
*wormhole* attraversabili nella relatività generale fu per prima dimostrata da Kip

Thorne  
insieme a un suo studente laureato  
Mike Morris  
in un documento del 1988; per questa ragione il tipo di  
*wormhole*  
attraversabile che essi proposero, tenuto aperto per mezzo di un guscio sferico di  
materia esotica  
, viene riferito come un  
***wormhole***  
**di Morris-Thorne**

. Più tardi, altri tipi di

*wormhole*

attraversabili furono scoperti come soluzioni accettabili riguardo alle equazioni della relatività generale, includendo una varietà analizzata in un documento del 1989 di

Matt Visser

, in cui un sentiero attraverso il

*wormhole*

può essere praticato senza attraversare una regione di materia esotica. Comunque nella versione originaria della

teoria di Gauss-Bonnet

la materia esotica non serve al

*wormhole*

per esistere - poiché possono farlo senza di essa. Un tipo tenuto aperto da massa negativa stringa cosmica

fu proposto da Visser in collaborazione con

Cramer

*ed altri.*

, asserendo che tali

*wormhole*

potrebbero essere stati creati naturalmente nell'universo primordiale.

I *wormhole* connettono due punti nello spaziotempo, ovvero permetterebbero in linea di principio di

viaggiare nel tempo come pure

nello spazio. In un saggio del 1988, Morris, Thorne e Yurtsever cercarono esplicitamente di

capire come convertire un

*wormhole*

attraversante lo spazio in uno attraversante il tempo.

## **Base teorica**

### **Definizione**

La nozione base di un cunicolo spaziotemporale *intra-universo* (che collega almeno due o più punti dello stesso universo) è che esso sia una regione

compatta

dello

spaziotempo

il cui confine è topologicamente insignificante ma il cui interno non è

semplicemente connesso

. Formalizzando questa idea conduce a definizioni come la seguente, presa dai *wormhole lorentziani* di Matt Visser.

« Se uno spaziotempo di Minkowski contiene una regione compatta

Descrivere i cunicoli *inter-universo* (che collegano almeno due o più universi paralleli) è più difficile. Per esempio, si può immaginare un universo neonato connesso al suo 'genitore' per mezzo di uno stretto "cordone ombelicale". Si può considerare il cordone ombelicale come la strozzatura del cunicolo, ma lo spaziotempo è semplicemente connesso.

## Plausibilità

Si sa che i *wormhole* di Lorentz sono possibili nell'ambito della relatività generale, ma la possibilità fisica di queste soluzioni è incerta. Inoltre, non si sa se la teoria della gravità quantistica

, ottenuta condensando la relatività generale nella meccanica quantistica, permetterebbe l'esistenza di questi fenomeni. La maggioranza delle soluzioni conosciute della relatività generale, che permettono l'esistenza di *wormhole*

attraversati, richiedono l'esistenza di materia strana

, una sostanza teorica che ha densità negativa di energia. Tuttavia, non è stato matematicamente provato che questo sia un requisito assoluto per questo tipo di *wormhole*

attraversati, né è stato stabilito che la materia esotica non possa esistere.

Inoltre non si sa (2010) empiricamente se esistano *wormhole*. Una soluzione alle equazioni della

relatività generale

(come quella che fece L. Flamm) che possa rendere possibile l'esistenza di un *wormhole*

senza il requisito di una  
materia esotica  
— sostanza teorica che possiederebbe una densità di  
energia negativa  
— non è stata tuttora verificata. Molti fisici, compreso  
Stephen Hawking  
(cfr. la sua  
congettura di protezione cronologica  
) , sono dell'opinione che a causa dei  
paradossi  
che sarebbero implicati da un  
viaggio nel tempo  
attraverso un tunnel gravitazionale, esista qualcosa di fondamentale nelle leggi della fisica che  
impedisce tali fenomeni (vedere  
censura cosmica  
).

Nel marzo del 2005, Amos Ori visualizzò un *wormhole* che permetterebbe di viaggiare nel  
tempo, senza precisare la materia esotica e soddisfacendo tutte le condizioni energetiche. La  
stabilità di questa soluzione è incerta, per cui non risulta chiaro se si richieda una precisione  
infinita affinché si formi e si permetta il viaggio nel tempo, e se anche in questo caso gli effetti  
quantistici proteggano la sequenza cronologica del tempo.

## **Buchi temporali**

Interpretazione artistica di un *wormhole* come dovrebbe essere visto da un osservatore che stia  
attraversando l'orizzonte degli eventi di uno *Schwarzschild*  
*hild wormhole*  
, il quale è simile ad un  
buco nero di Schwarzschild  
ma con la particolarità di avere in sostituzione alla regione dove si dovrebbe trovare la  
singolarità gravitazionale



(nel caso del buco) un cammino instabile verso un buco bianco esistente in un altro universo

(vedi anche

Multiverso

). Questa nuova regione è, comunque, irraggiungibile nel caso di un *wormhole*

Schwarzschild, in quanto il ponte tra il buco nero e quello bianco collascerà sempre prima che l'osservatore abbia il tempo di attraversarlo. Si veda

White Holes and Wormholes

per una discussione più tecnica ed una animazione di cosa un osservatore dovrebbe vedere cadendo in un ponte di Einstein-Rosen di tipo Schwarzschild.

Un ponte di Einstein-Rosen potrebbe potenzialmente permettere il viaggio nel tempo. Questo potrebbe essere conseguito accelerando un'estremità del *wormhole*

relativamente all'altra, e riportandola successivamente indietro; la dilatazione temporale relativistica

risulterebbe in un minor tempo passato per la bocca del *wormhole*

che è stata accelerata, in confronto a quella rimasta ferma, il che significa che tutto ciò che è passato dalla bocca stazionaria, uscirebbe da quella accelerata in un tempo precedente a quello del suo ingresso. Il percorso attraverso un tale

*wormhole*

viene detto

curva chiusa di tipo tempo

, e un

*wormhole*

con questa caratteristica viene talvolta detto

*timehole*

o

buco temporale

.

Per esempio, si considerino due orologi per entrambe le bocche che mostrano la stessa data: 2000. Dopo aver effettuato un viaggio a velocità relativistiche, la bocca accelerata è riportata nella stessa regione di quella stazionaria, con l'orologio della bocca accelerata che legge 2005, mentre l'orologio di quella stazionaria legge 2010. Un viaggiatore entrato dalla bocca accelerata in questo momento uscirebbe dalla stazionaria quando anche il suo orologio legge 2005, nella stessa regione, ma ora con cinque anni nel passato. Una tale configurazione di *wormhole* permetterebbe ad una

linea di mondo

di particella di formare un cerchio chiuso nello spaziotempo, noto come curva del tempo chiusa

.

Si ritiene comunque che non sia possibile convertire un *wormhole* in una macchina del tempo in questa maniera; alcuni modelli matematici indicano che un circuito retroattivo di particelle virtuali

, circolerebbe all'interno del

*timehole*

con intensità crescente, distruggendolo prima che qualsiasi informazione possa passarvi attraverso. Ciò è stato chiamato in causa dal suggerimento che la radiazione si disperderebbe dopo aver viaggiato attraverso il

*wormhole*

, prevenendo così un accumulo infinito. Il dibattito su questo soggetto è descritto da

Kip S. Thorne

nel libro

*Black Holes and Time Warps*

, e richiederebbe probabilmente la risoluzione di una teoria della gravità quantistica

.

Non si sa se un ponte di Einstein-Rosen possa esistere. Una soluzione alle equazioni della relatività generale

che potrebbe rendere possibili i ponti di Einstein-Rosen senza materia esotica

, una sostanza teorica che ha una densità di energia negativa, non è stata ancora scoperta.

Comunque, né le soluzioni alle equazioni della relatività generale che accomodano i

*wormhole*

, né l'esistenza della

materia esotica

, sono state rigettate. Molti fisici, compreso

Stephen Hawking

(vedi la

congettura di protezione cronologica di Hawking

), ritengono che, a causa dei problemi che un

*wormhole*

creerebbe in teoria, compreso permettere il

viaggio nel tempo

, ci sia qualcosa di fondamentale nelle leggi della fisica che lo proibisca. Ad ogni modo, questa rimane una speculazione, e la nozione che la natura censurerebbe gli oggetti sconvenienti è già stata smentita nel caso del

principio di censura cosmica

## **Viaggio più veloce della luce**

La relatività speciale si applica solo localmente. I *wormhole* permettono viaggi *superluminali* (più veloce della luce) garantendo che la velocità della luce non sia ecceduta localmente in ogni tempo. Mentre viaggiando attraverso un *wormhole*, vengono utilizzate velocità *subluminali* (più lente della luce). Se due punti sono connessi tramite un *wormhole*, il tempo impiegato per attraversarli sarebbe minore del tempo impiegato da un raggio di luce attraversante lo spazio esterno al *wormhole*. Comunque, un raggio di luce viaggiando attraverso il *wormhole* sconvolgerebbe sempre il viaggiatore. Per analogia, il fatto di correre intorno al lato opposto di una montagna alla massima velocità renderebbe il cammino più lungo che passeggiando attraverso un tunnel che l'attraversasse. Si può camminare lentamente giungendo a destinazione prima, poiché la distanza è più breve.

## **Viaggio nel tempo e paradossi**

Dunque, secondo la teoria della relatività generale di Einstein, più un oggetto si sposta velocemente, più vedrà il tempo scorrere lentamente. Se l'entrata di un *wormhole* (buco nero) resta immobile e la sua uscita (fontana bianca) si muove al 99.99% della velocità della luce, dopo 48 ore dall'entrata, saranno trascorsi soltanto 28 minuti all'uscita. Così, se si arriva a costruire un *wormhole* e a controllare la velocità della sua uscita, noi potremmo viaggiare nel tempo e scegliere il momento dell'uscita nel passato.

W

Se il viaggio nel tempo è possibile, perché i nostri discendenti, che dovrebbero certamente controllare questa tecnologia non ci rendono visita? Semplicemente perché il nostro buco temporale non esiste ancora. Le entrate e le uscite nel tempo non potranno farsi se non quando un futuro inventore fabbricherà la "macchina per viaggiare nel tempo".

Adesso restano due grandi problemi da risolvere che proibiscono logicamente i viaggi nel tempo:

#### Paradosso del nonno

Immaginiamo che il nostro inventore viaggi nel passato. Se incontrasse il suo giovane nonno e se, ammettiamo che in un modo o nell'altro, egli è indotto ad ucciderlo, avrà così ucciso il suo antenato, il quale di conseguenza non avrà mai figli e il nostro inventore non avrà mai visto la luce del giorno e dunque non sarebbe mai potuto nascere; e se l'inventore non è mai nato, non può giammai uccidere suo nonno.

#### Paradosso dello scrittore

Invece di uccidere, il nostro inventore, immaginiamo che suo nipote gli doni un libro scritto da uno scrittore del futuro per farlo diventare celebre. Egli diventerà quindi conosciuto semplicemente ricopiando il libro. Esso non sarà mai stato scritto, ma semplicemente ricopiato.

Questi atti avranno come conseguenza quella di modificare il futuro diretto del nostro viaggiatore.

A causa di questi due paradossi, accettando l'esistenza di viaggi nel tempo, si arriva a negare tutte le coerenze logiche. Per trovare una soluzione, diversi scienziati ammettono l'ipotesi di mondi paralleli.

In effetti, se il nipote del nostro inventore parte, non è per andare nel passato, ma in un mondo

parallelo. Se egli uccide l'uomo che crede essere suo nonno, la sua azione non avrà alcuna influenza sulla sua esistenza, visto che questo inventore non ha alcun rapporto con gli antenati. Così è per il libro. Se il nostro viaggiatore lo dona alla persona che egli pensa sia suo nonno, egli sarà stato ricopiato in questo mondo, e scritto nel nostro.