



S.Pellegrino 4 Settembre 2018

# Viaggi Interstellari: tra Scienza e Fantascienza

Remo Garattini

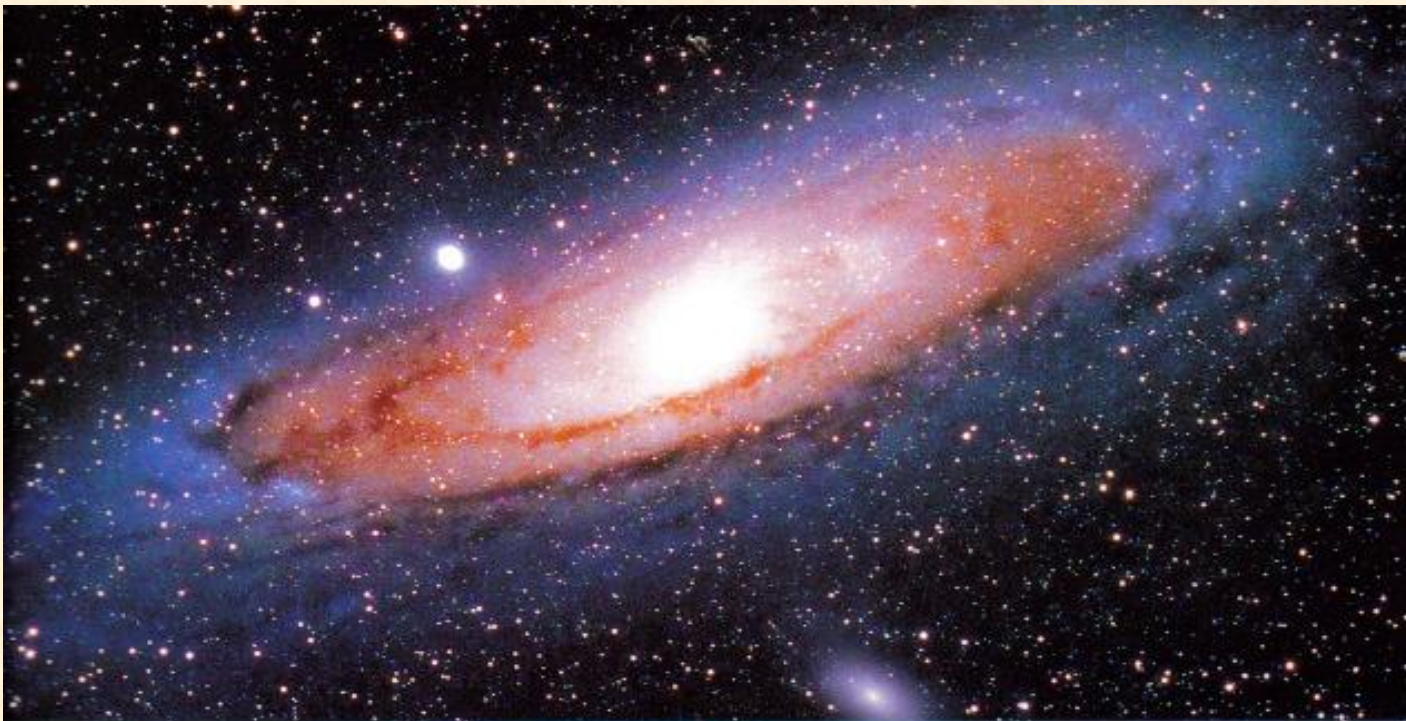
Università di Bergamo

I.N.F.N. - Sezione di Milano

# **Cosa ci dice la Fantascienza**

# Cosa ci dice la Scienza

La nostra galassia (via Lattea) ha un diametro di ca.  $\sim 160,000$ ly, spessore di ca.  $\sim 2000$ ly. Le stelle più vicine sono a ca. 4-5ly di distanza. Il sistema solare è situato a ca.  $\sim 26,000$ ly dal centro. Come è possibile attraversare queste enormi distanze in tempi confrontabili con la durata della vita umana?



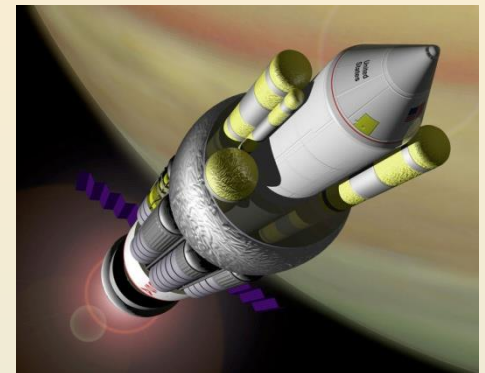
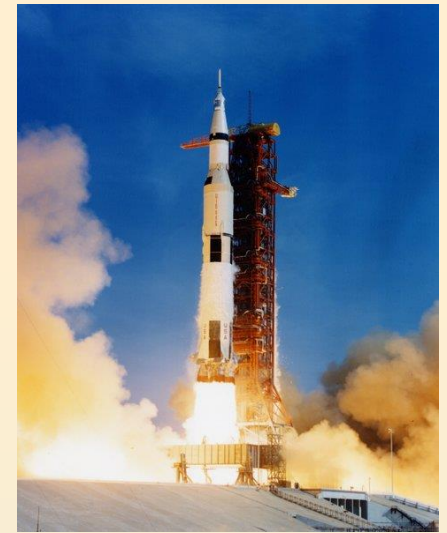
# Metodi di Propulsione Alternativa

- Missione apollo:  $\sim 11\text{km/s}$ ,  $\sim 0.004\%c$
- Sonda pioneer:  $\sim 11\text{km/s}$ ,  $\sim 0.004\%c$
- Sonda voyager:  $\sim 17\text{km/s}$ ,  $\sim 0.005\%c$
- Razzo a reazione chimica: (miscela H/O),  $\sim 0.05\%c$

## Il futuro

- Vela solar:  $\sim 0.01\%c$
- Spinta nucleare: orion,  $\sim 3\%c$
- Nuclear electric ion rocket:  $\sim 10\%c$
- Vela a microonde:  $\sim 10\%c$
- Vela laser:  $\sim 20\%c$
- Idrogeno metallico:  $\sim 20\%c$
- Materia-antimateria:  $\sim 20\%c$

**$C \sim 300,000\text{km/s}$**



# Metodi di Propulsione Alternativa

## Il Futuro

Vela solar:  $\sim 0.01\%c$

Spinta nucleare: orion,  $\sim 3\%c$

Nuclear electric ion rocket:  $\sim 10\%c$

Vela a microonde:  $\sim 10\%c$

Vela laser:  $\sim 20\%c$

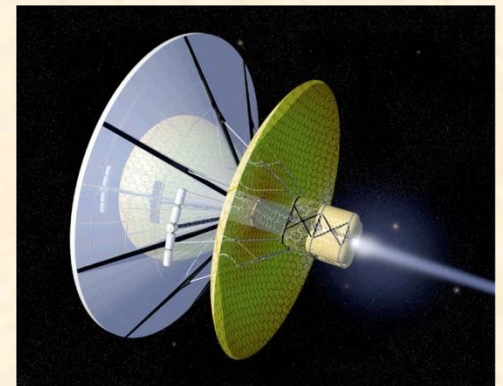
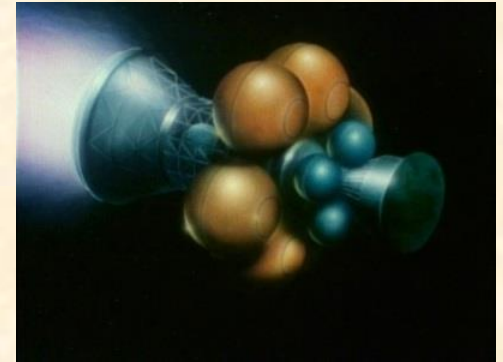
Idrogeno metallico:  $\sim 20\%c$

Materia-antimateria:  $\sim 20\%c$

- Fusione Nucleare: (Daedalus)  $\sim 30\%c$
- Reattore Interstellar ramjet:  $\sim 50\%c$
- Materia Negativa:  $\sim 70\%c$
- Fusione/materia-antimateria:  $\sim 99\%c$
- Razzo Fotonico:  $\sim 99\%c$

**Velocità della luce** La velocità nel vuoto, solitamente indicata con "c" è uguale a circa 300,000 km/s.

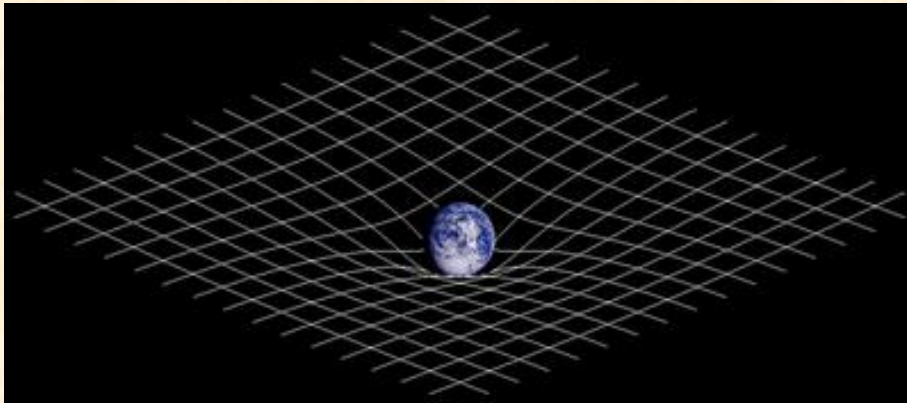
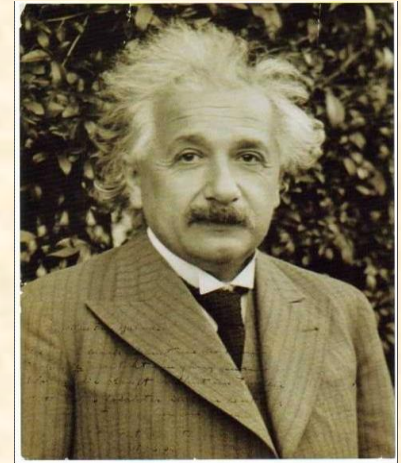
Nessun corpo dotato di massa può superare tale velocità



# **Due Vincoli Fondamentali**

# Teoria di Einstein della gravità: Relatività Generale (1915)

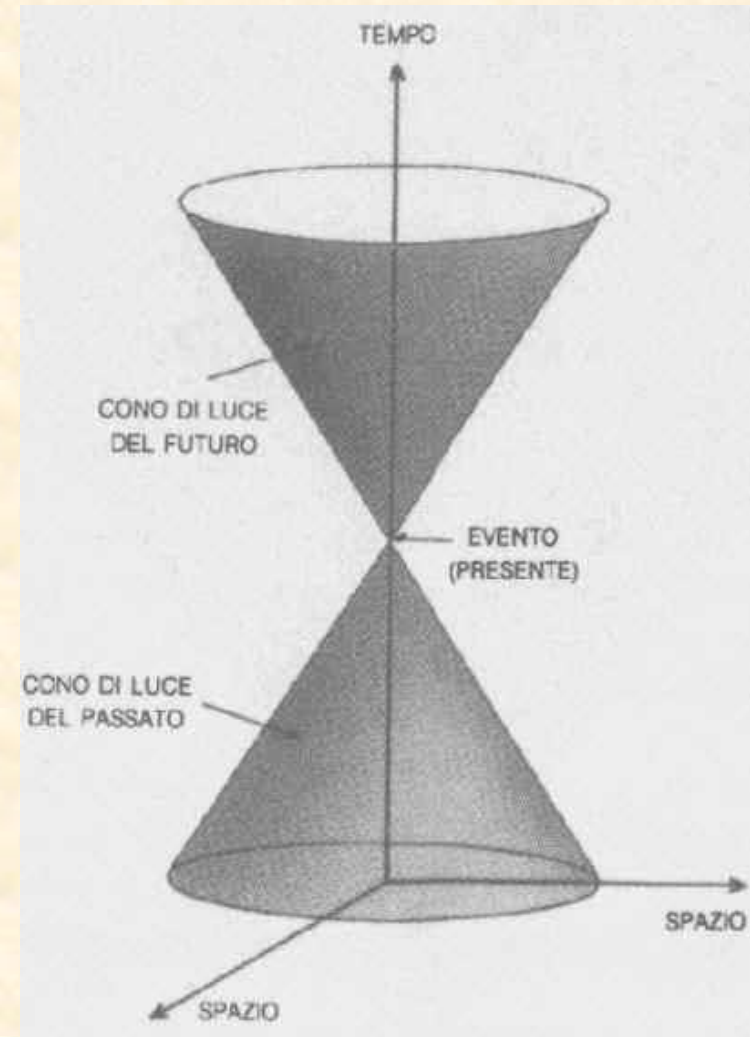
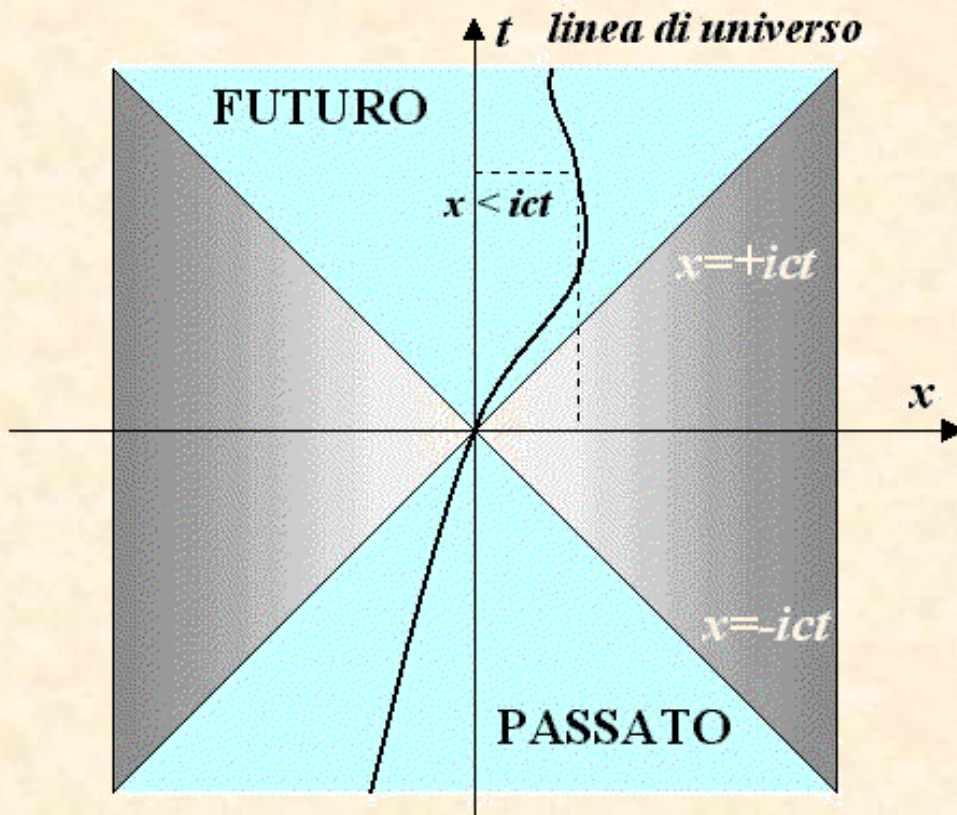
La Relatività Generale è una teoria della gravitazione. Descrive come *“lo spazio dice alla materia come muoversi, e la materia dice allo spazio come curvarsi”*. Incorpora la teoria speciale della relatività e postula che: (1) le leggi della fisica siano le stesse in tutti i sistemi di riferimento, (2) la velocità della luce sia la stessa in tutti i sistemi di riferimento inerziali, indipendentemente dalla sorgente. Include inoltre (3), l'equivalenza tra forza di gravità e accelerazione.



**REVOLUTION IN SCIENCE  
– NEW THEORY OF THE  
UNIVERSE – NEWTONIAN  
IDEAS OVERTHROWN**

**London Times, 7 November 7th 1919.**

# La velocità della luce come barriera



**Velocità della luce** La velocità nel vuoto, solitamente indicata con "c" è uguale a circa 300,000 km/s. Nessun corpo dotato di massa può superare tale velocità.



# Il Teorema della Massa Positiva

Tra gli anni '60 e '70 molti fisici ritennero “*sacro*” il risultato che nessun osservatore poteva essere in grado di misurare densità di energia negativa. Questa asserzione porta il nome di *condizione d'energia debole*, modificata con l'ausilio di ulteriori condizioni in *condizione d'energia dominante* e *condizione d'energia forte*.

Queste condizioni sono fondamentali per la dimostrazione del  
*Teorema della Massa Positiva*

In sostanza, I corpi composti da materia soddisfacente la condizione di energia dominante non possono “*Antigravitare*”, ovvero non ci può essere repulsione gravitazionale.

**La barriera della velocità della luce e il teorema della Massa Positiva sono vincoli molto forti → devono essere aggirati!!!!**

**Come possiamo aggirare  
questi vincoli?!?**

Usando I Tunnel Spazio-Temporali  
(Wormholes)

Ma...cosa sono i Wormholes?!?

# Un po' di Storia della Fisica dei Wormholes

Nel 1916, L. Flamm riconobbe che la soluzione di Schwarzschild delle equazioni di campo di Einstein poteva rappresentare un wormhole.

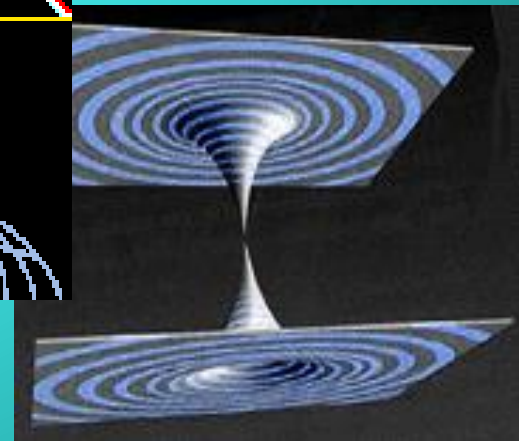
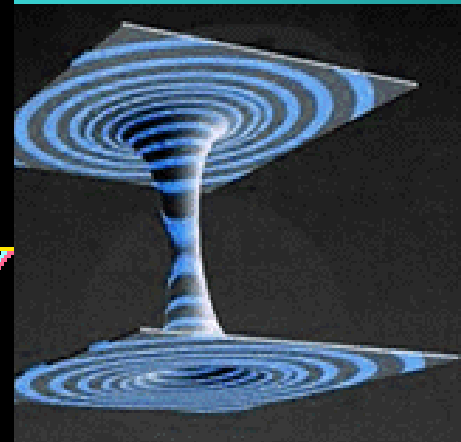
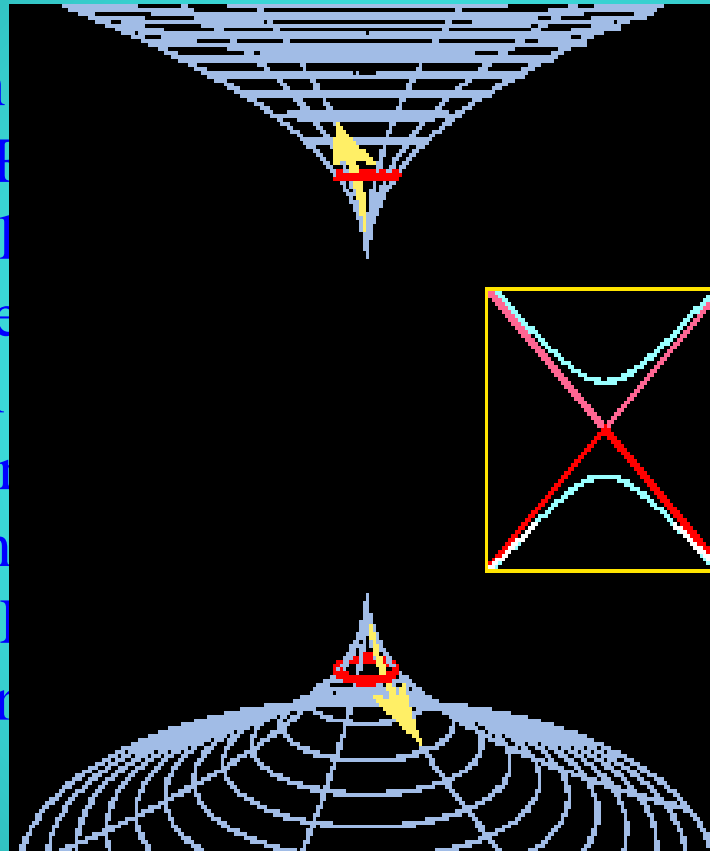
Nel 1935, A. Einstein e N. Rosen pubblicarono un articolo nella rivista *Physical Review* **48**, 73 (1935) mostrando che, implicitamente nel formalismo della relatività generale esisteva una struttura di spazio curvo che poteva unire due regioni distanti dello spazio-tempo attraverso un tunnel. Lo scopo dell'articolo non era quello di promuovere viaggi a velocità più alta della luce o viaggi attraverso l'universo, ma di tentare di spiegare la struttura delle particelle fondamentali come gli elettroni.

Il loro modello fu successivamente ritenuto non valido quando si capì che tale struttura doveva avere un'energia pari all'energia dell'universo racchiusa in una struttura tipo “*elettrone*”. Questo tunnel divenne noto, successivamente come ponte di Einstein-Rosen.

# Un po' di Storia della Fisica dei Wormholes

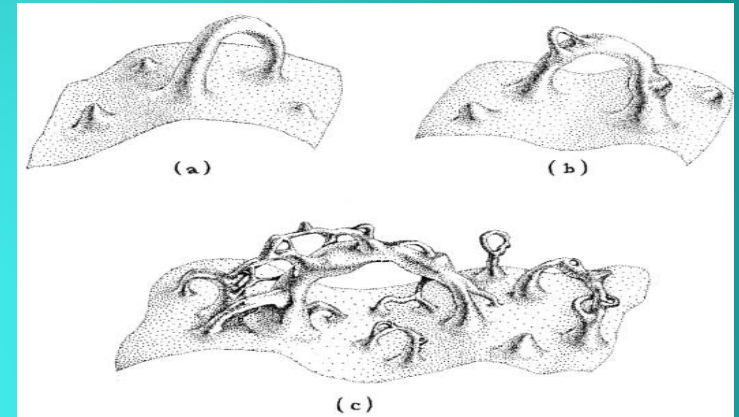
Nel 1962 John Wheeler stesso col suo collega Charles Misner dimostrò che, se il wormhole era dinamicamente instabile, si chiudrebbe rapidamente da im-

... ponte di Einstein-Rosen  
... Wheeler stesso col  
... era dinamicamente  
... dimostrò che, se il  
... aperto, si sarebbe r  
... rapidamente da im  
... qualsiasi segnale. I  
... Einsteiniana era pr

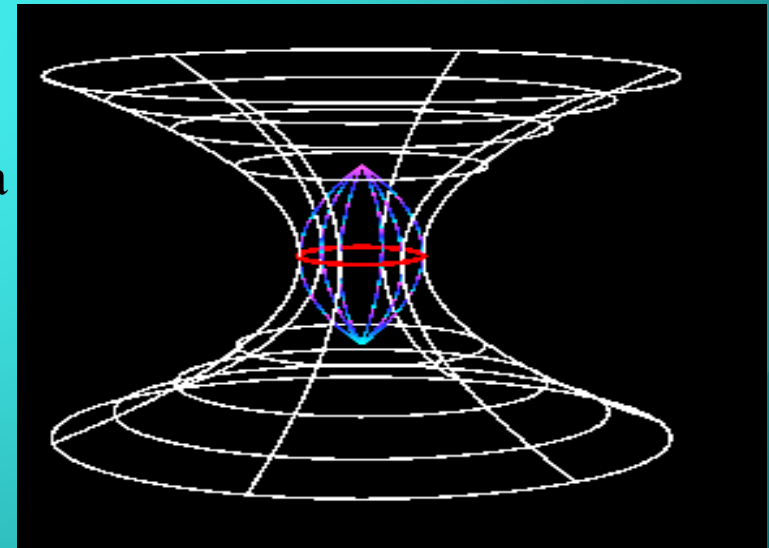


# Un po' di Storia della fisica dei tunnel spazio-temporali (traversable wormholes) **Wormholes**

Nel 1988 Kip Thorne e un suo studente Mike Morris dimostrarono che un wormhole poteva essere estratto dalla “*schiuma spazio-temporale*” e stabilizzato da una regione dello spazio contenente massa “*negativa*”.



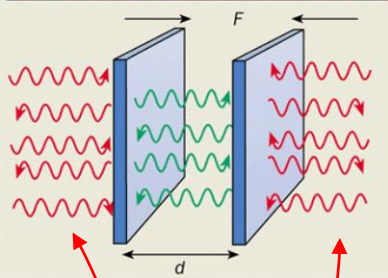
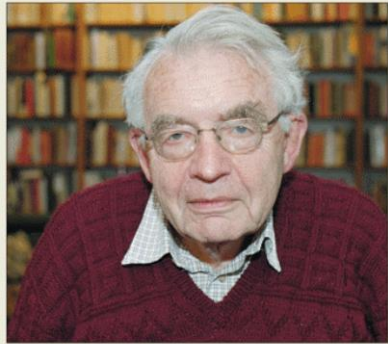
Morris e Thorne suggerirono che una “*civiltà avanzata*” capace di manipolare quantità di massa-energia su scala planetaria potevano usare un effetto fisico, noto come “*effetto Casimir*” per produrre tale regione di energia negativa e, con l’aiuto della fisica quantistica creare wormholes stabili.



# Casimir Effect

Hendrik Casimir (1909-2000)

•H.B.G. Casimir and D. Polder,  
•Phys. Rev., 73, 360, 1948



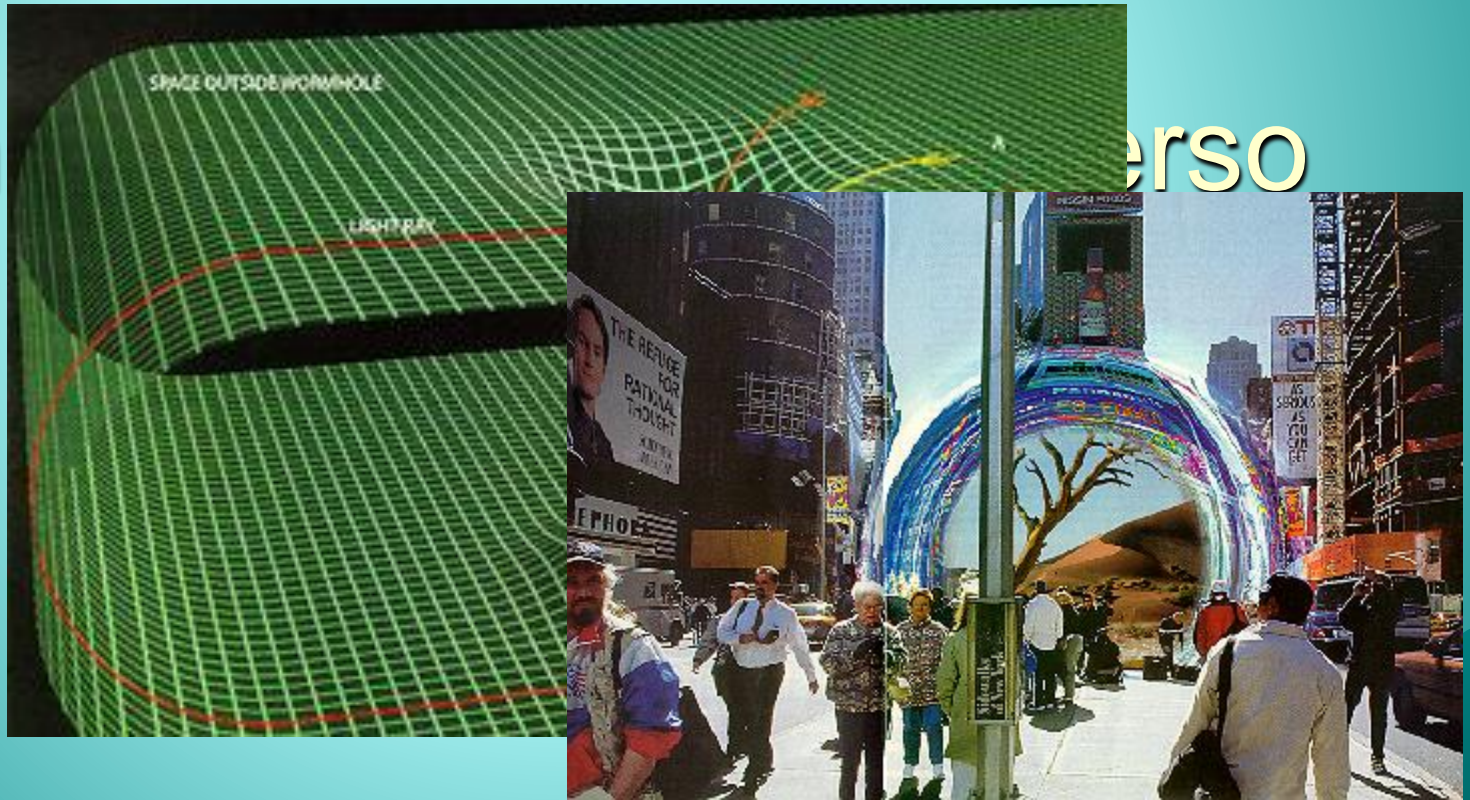
**Effetto Casimir** → Predetto teoricamente e confermato sperimentalmente nei laboratori Philips (1958). Viene generato dall'energia di punto zero (ZPE) dell'elettrodinamica quantistica (Q.E.D.) . Un condensatore a facce piane parallele nel vuoto, sviluppa una forza di attrazione molto debole che varia inversamente alla quarta potenza della distanza di separazione tra le piastre. Questo tipo di energia ha natura puramente quantistica.

Solo lunghezze  
d'onda minori di  $d$

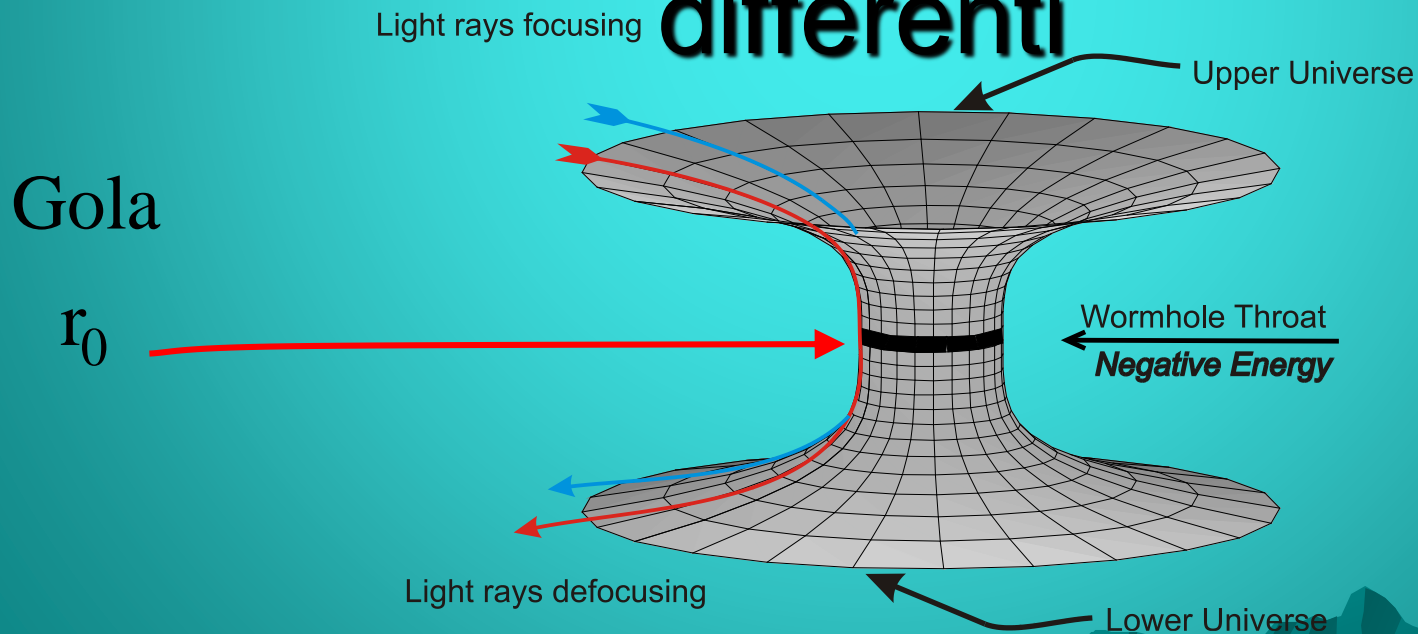
Ogni lunghezza d'onda  
è possibile

Tun

erso



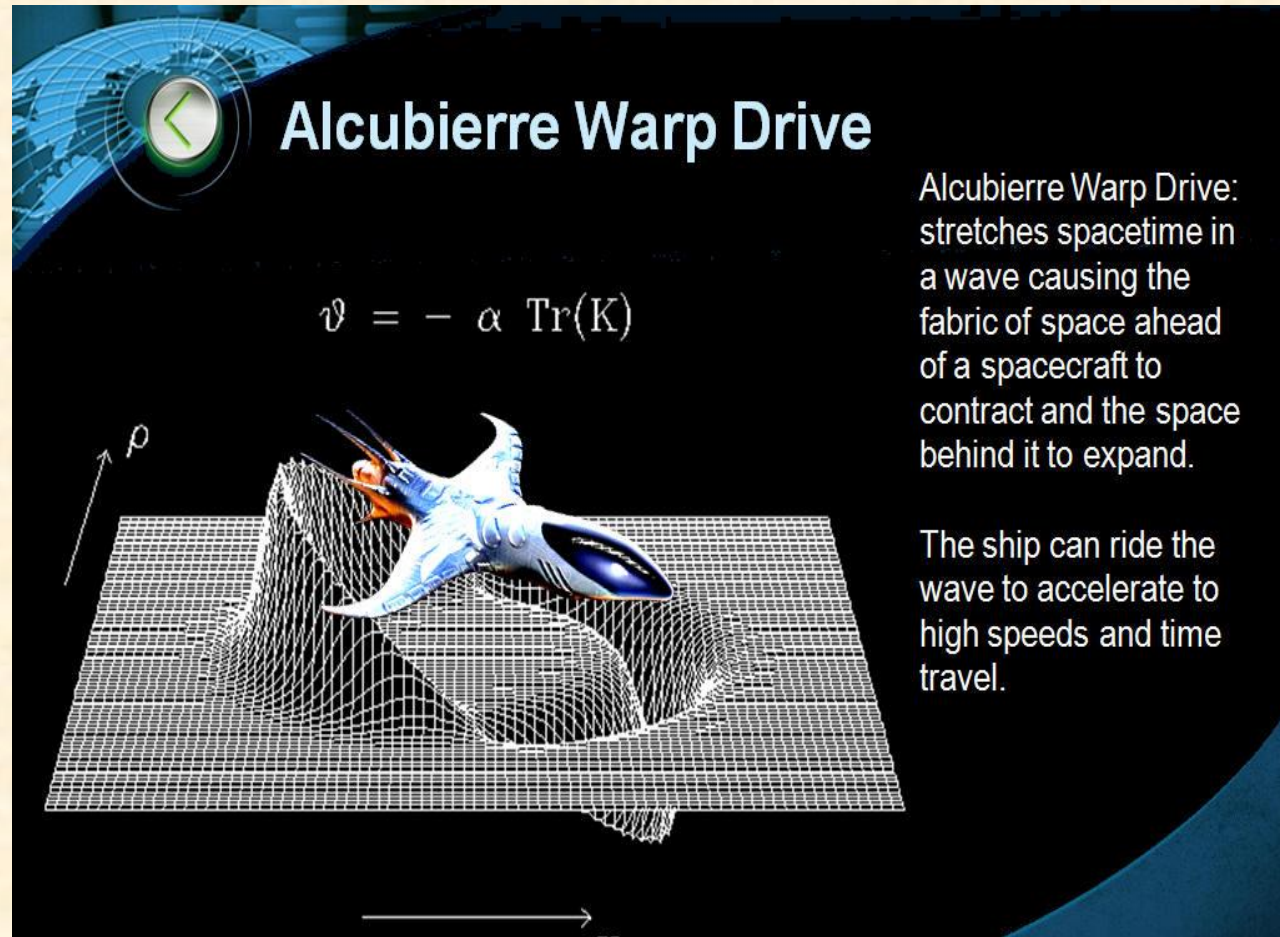
# Tunnel che unisce due universi differenti





# Esempio di Warp Drive


[“The warp drive: hyper-fast travel within general relativity,” Class. Quant. Grav. 11, L73-L77 (1994) [arXiv:gr-qc/0009013].] Alcubierre ha dimostrato che è teoricamente possibile raggiungere iper-velocità, rispettando la relatività generale, Una bolla di curvatura viene guidata da una contrazione frontale dello spazio-tempo e da una sua dilatazione dietro la bolla stessa.



# Interesse internazionale....

NASA - Warp Drive, When?

Pagina 1 di 2



National Aeronautics and Space Administration

Text Only Site  
Site Help & Preferences

FIND IT @ NASA  
GO


ABOUT NASA | LATEST NEWS | MULTIMEDIA | MISSIONS | MY NASA | WORK FOR NASA

+ NASA Home  
+ GRC Home

**Glenn Research Center**

GLENN RESEARCH CENTER  
ABOUT GRC  
GLENN NEWS  
MULTIMEDIA  
RESEARCH  
GLENN EVENTS  
PUBLICITY  
BUSINESS WITH GLENN  
PROJECTS  
THREAT FACTORS

SEARCH GRC - GO



NASA Glenn's Marc Mills (pictured above), who has taken a break from Project Management for NASA's Breakthrough Propulsion Physics (BPP) Project to return to conducting research, offers this assessment of the prospects for achieving the propulsion breakthroughs that would enable such far-future visions of interstellar travel.

This web site focuses on the propulsion related issues, explaining the challenges of interstellar travel, existing propulsion ideas, and the possibilities emerging from scientific literature that may one day provide the desired breakthroughs. To simplify the presentation for the general public, analogies to familiar science fiction are used. This site is intended for public audiences, whereas researchers might want to check out the Breakthrough Propulsion Physics Project web site.

Print This Email This

**Warp Drive, When?**

Have you ever wondered . . .  
When can we build something like the futuristic spacecraft shown above?

**Have you ever wondered when we will be able to travel to distant stars as easily as in science fiction stories?**  
NASA Glenn's Marc Mills (pictured above), who has taken a break from Project Management for NASA's Breakthrough Propulsion Physics (BPP) Project to return to conducting research, offers this assessment of the prospects for achieving the propulsion breakthroughs that would enable such far-future visions of interstellar travel.

**This web site focuses on the propulsion related issues, explaining the challenges of interstellar travel, existing propulsion ideas, and the possibilities emerging from scientific literature that may one day provide the desired breakthroughs. To simplify the presentation for the general public, analogies to familiar science fiction are used. This site is intended for public audiences, whereas researchers might want to check out the Breakthrough Propulsion Physics Project web site.**

**Contents**

**Why is Interstellar travel so tough?**  
Before we begin to look for the answers, we need to define the problem. Let's start by looking at just how big the challenge is and the radical breakthroughs that will be required.

**From Inspirations to Inventions**  
Some ideas for interstellar travel have been proposed. Let's examine them and the status of some of the technologies.

**Ideas based on what we know**  
A brief description of some ideas that have been suggested over the years for interstellar travel. Ideas based on the sciences that DO exist today.

**Ideas based on what we'd like to achieve**  
A brief description of some ideas that have been suggested more recently which will require major breakthroughs.

**Some Emerging Possibilities**  
Some more advanced concepts based on emerging physics.

**Links to Related NASA Activities**  
A variety of links to official NASA activities with implications for interstellar space travel.

**So, can we do it?**

**Resources**

**Frequently Asked Questions**  
Answers to a few of questions that you are likely to have.  
"Science fiction or fact?" - An MSNBC Survey  
So what do you think about interstellar travel?

**Lewis News Article**  
A general discussion of the issues and concepts as printed in Glenn's (formerly Lewis) internal newsletter.

**Detailed Narrative**  
The requirements for and an explanation of the emerging physics associated with interstellar travel.

**Annotated Bibliography**  
A list of relevant books, articles, etc. with Marc's notes and comments.



In October 1995, Telarc International sampled sounds at 14 locations across NASA Glenn that served as the raw material to create "Symphonic Star Trek" -- a collection of the series' most memorable music and sound effects.

Hear some of the sounds!

# Interesse internazionale....

- **MG11 (2006) Berlino Sessione speciale:** GT5 Wormholes, Energy Conditions and Time Machines.
- B.I.S. Warp Drive Symposium London 2007.
- **The UK Space Conference 2009 - Interstellar Session.**
- Time Machine Factory Torino, 2012.
- **Interstellar Wormholes: Physics and Practical Realisation 2014 London.**
- **MG14 (2015) Roma Sessione speciale:** AT3 Wormholes, Energy Conditions and Time Machines.
- Time Machine Factory Torino, 2015.
- **Foundations of Interstellar Studies Workshop at City Tech, CUNY June 13-15, 2017, New York, NY USA.**
- **MG15 (2018) Roma Sessione speciale:** AT3 Wormholes, Energy Conditions and Time Machines.
- **e altre ancora.....**

# Interesse internazionale....



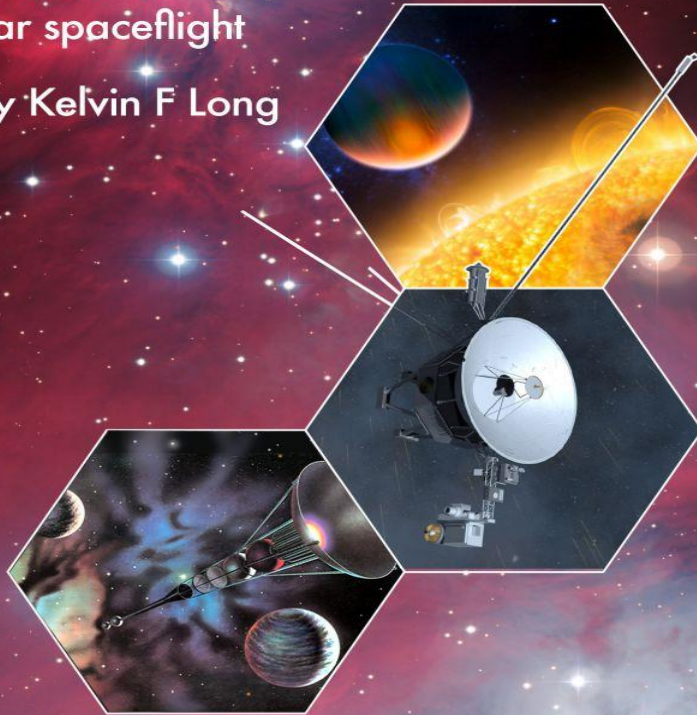
Image: Yuri Milner presenting the Breakthrough Starshot concept in New York in April 2016.

# Interesse internazionale....

## Beyond the Boundary

Exploring the  
science and culture of  
interstellar spaceflight

Edited by Kelvin F Long



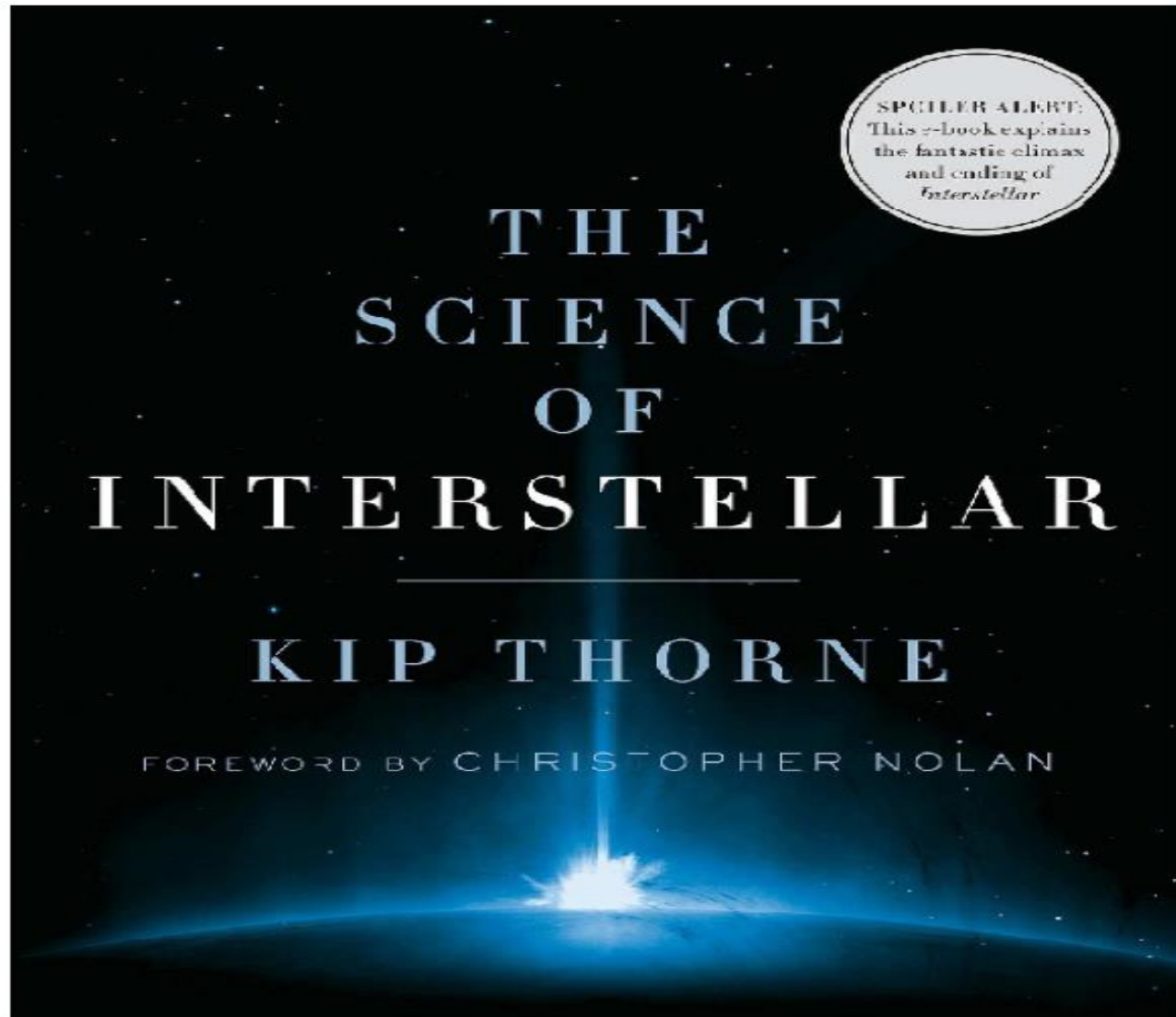
<https://i4is.org/>

# Interesse internazionale....



<https://i4is.org/>

# Interesse internazionale....



# Opzioni per il Futuro

- **Opzione (1):** Abbandonare i viaggi a curvatura: rimarranno sempre pura fantasia.

***PURA FANTASIA***



- **Opzione (2):** si accetta la realtà, ovvero i viaggi a curvatura sono impossibili da realizzare per una civiltà non molto avanzata (come quella attuale!!), ma possibili in un lontano futuro.

***FUTURO LONTANO***



- **Opzione (3):** Reformulare tutta la teoria  
Migliore descrizione della Fisica (cioè la gravità)



# Conclusioni

- ➔ L'uso dei tunnel spazio-temporali permetterebbe di percorrere grandi distanze (interstellari) senza violare la barriera della velocità della luce.
- ➔ L'uso dell'energia di Casimir permetterebbe di avere energia negativa senza violare il teorema della Massa Positiva.
- ➔ I due vincoli di partenza sono stati aggirati.

**GRAZIE  
PER  
L'ATTENZIONE**

# Prospettive

