



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**Il dietro le quinte di un processo di  
ricostruzione disciplinare: riflessioni sulla  
proposta di Taylor e Wheeler a confronto con  
quella di Resnick**

*Olivia Levrini*

Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Università di Bologna

AIF Pavia, 19 novembre 2014

## Gli incontri precedenti

22-10-2014

Prof. Olivia Levrini

**Insegnamento della relatività ristretta a scuola: indicazioni ministeriali, libri di testo e risultati di ricerca in didattica della fisica a confronto**

ore 15-17 Dipartimento di Fisica, Università di Pavia

29-10-2014

Prof. Anna De Ambrosis

**Approccio geometrico alla relatività speciale: la proposta di Taylor e Wheeler**

ore 15-17 Dipartimento di Fisica, Università di Pavia

5-11-2014

Prof. Anna De Ambrosis

**Spazio-tempo e dinamica relativistica**

ore 15-17 Dipartimento di Fisica, Università di Pavia

## Approccio di Resnick (1968)

## Approccio di Taylor & Wheeler (1965)

Approccio di tipo “storico” e di stampo empirista (l’esperimento come argomento principe per dare credibilità alla teoria)

Approccio di tipo “a-storico” e di stampo razionalista (la coerenza logica come argomento principe per dare credibilità alla teoria)

Riferimento principale: l’approccio di Einstein (1905)

Riferimento principale: l’approccio di Minkowski (1908)

Linguaggio algebrico  
(basato sulle trasformazioni di Lorentz)

Linguaggio geometrico  
(basato sulla geometria spaziotemporale di Minkowski)

Enfasi sugli aspetti di continuità tra la dinamica relativistica e quella classica (SdR inerziali; massa-energia-quantità di moto)

Enfasi sugli aspetti di rottura della dinamica relativistica rispetto a quella classica e enfasi sulla continuità tra relatività ristretta e relatività generale. (SdR inerziali; massa-energia-quantità di moto)

## DAL MASTER IDIFO (direttore: M. Michelini)

Modulo di relatività (2006-2007) (De Ambrosis, Levrini)

A	Concetti fondanti per un percorso di base di relatività	<ul style="list-style-type: none"><li>• ripercorrere e approfondire le conoscenze di base di relatività in prospettiva d'insegnamento;</li><li>• riconoscere le peculiarità della proposta di Taylor &amp; Wheeler.</li></ul>
	Ricostruire la relatività in prospettiva didattica: la proposta di Taylor e Wheeler	
B	Le interpretazioni di Einstein e Minkowski a confronto e le attuali proposte didattiche (materiali originali)	<ul style="list-style-type: none"><li>• analizzare e discutere le “radici storiche” delle principali proposte didattiche;</li><li>• riflettere sulle implicazioni epistemologiche di alcune scelte didattiche;</li><li>• analizzare articoli di ricerca sulle difficoltà degli studenti nello studio della relatività</li></ul>
C	Laboratorio di didattica sulla proposta di relatività	<ul style="list-style-type: none"><li>• approfondire temi emersi come rilevanti ai fini di una progettazione di percorsi.</li></ul>

## I fase: L' INGRESSO NEL GIOCO (analisi dei primi 2 capitoli)

Da un atteggiamento “impaziente” volto a confrontare sistematicamente e *puntualmente* la proposta con le proprie esperienze personali (come insegnanti e come studenti) alla disponibilità di un impegno a medio e lungo termine.

Fattori:

- riconoscimento della proposta come autorevole (problemi disciplinari specifici e riconoscimento che tali problemi non ammettono soluzioni locali ma che potevano richiedere un vero e proprio cambiamento di prospettiva);
- alcune dinamiche di discussione favorite dalla comunicazione via web.

1. la presenza all' interno del gruppo di diverse voci e di disequilibri in grado di innescare un processo di evoluzione della riflessione, alimentato da meccanismi di auto-regolazione nati nel gruppo senza la necessità di interventi di forzatura dall' esterno [almeno tre ruoli: lo sguardo "libero ed esterno" (libero da esperienze personali di studi approfonditi sul tema o di esperienze consolidate di insegnamento); ruolo promotore e/o sostenitore di posizioni non abituali; ruolo di diffidenza, che ancorava la riflessione a situazioni di classe].
2. scelte di gestione/orientamento della discussione finalizzate a dare ritmo alle dinamiche o fornire indicazioni che permettessero di distinguere problemi risolvibili nell' immediato da problemi a medio e lungo termine (ruolo significativo delle griglie di lettura del testo e i fili di discussione da noi proposti per i forum come sintesi dei problemi più significativi emersi dai documenti di analisi del testo prodotti dai corsisti).

## II fase: IL GIOCO

(completamento dell' analisi del testo di Taylor e Wheeler)

La ricerca di parametri di misura globali e complessivi della proposta (la ricerca di criteri di coerenza globale).

*"Ritengo che il contributo più importante che questo volume mi abbia dato sia una visione della relatività ristretta in chiave prettamente geometrica, visione che mi ha permesso di "intuire" i fili successivi di sviluppo nella relatività generale. Penso che questo sia importante perché mi ha stimolato nel proseguire lo studio verso la relatività generale appunto, ambito senza il quale le relatività ristretta risulta sicuramente banalizzata." (M3)*

"La proposta appare in qualche modo unilaterale. [...] Avverto tuttavia una qualche *forma di diffidenza (forse solo istintiva) rispetto alla questione*. Come se fossimo di fronte ad una sorta di forzatura nella ricerca di una eccessiva intelligibilità nelle relazioni tra le diverse grandezze fisiche." (M1)

"Devo mettere a fuoco meglio *quali sono le ipotesi su cui si basa l'approccio di T-W: ho come la sensazione che vi siano ipotesi non proprio esplicitate o che mi sono persa io lungo la strada....* In generale mi piacerebbe consolidare la comprensione dell'impianto generale e metterlo *a confronto* con gli altri in circolazione..." (A3)

### III fase: Il dietro le quinte

Rendere confrontabile la proposta analizzata con le altre più note

Analizzare le diverse proposte come espressione di:

- diverse interpretazioni della relatività;
- diverse scelte sul valore culturale/didattico della relatività.

Utilizzo di materiali originali costruiti per:

- esplorare i presupposti impliciti delle proposte, mediante l'analisi delle radici storiche delle diverse interpretazioni della relatività di cui le diverse proposte didattiche sono espressione;
- evidenziare le implicazioni didattiche delle diverse scelte.

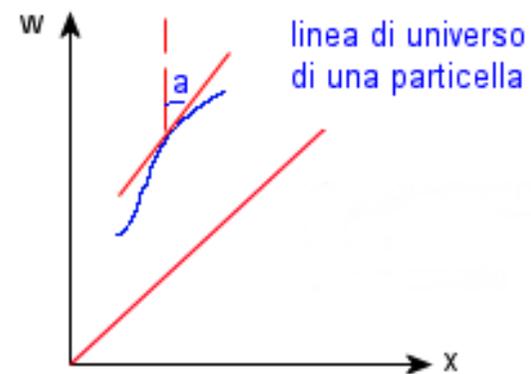
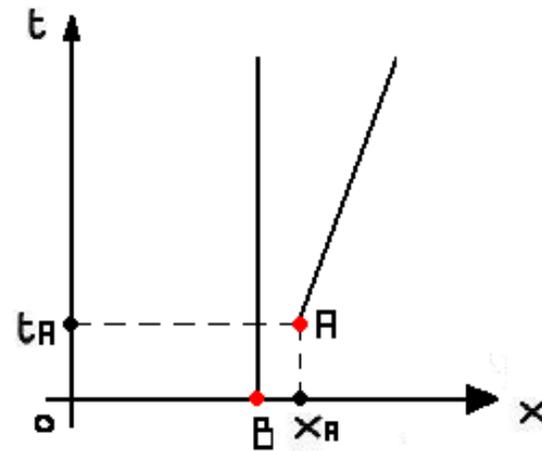
*“Mi ha colpito molto una certa “armonia” nelle discussioni a carattere epistemologico che di solito invece innescano rigidità nelle prese di posizione.” (M1)*

*“Sull'armonia penso che il mezzo abbia un certo peso, nel senso che prima di scrivere si riflette, si rilegge, si lima, mentre in un discussione in presenza 'verba volant'” (F3)*

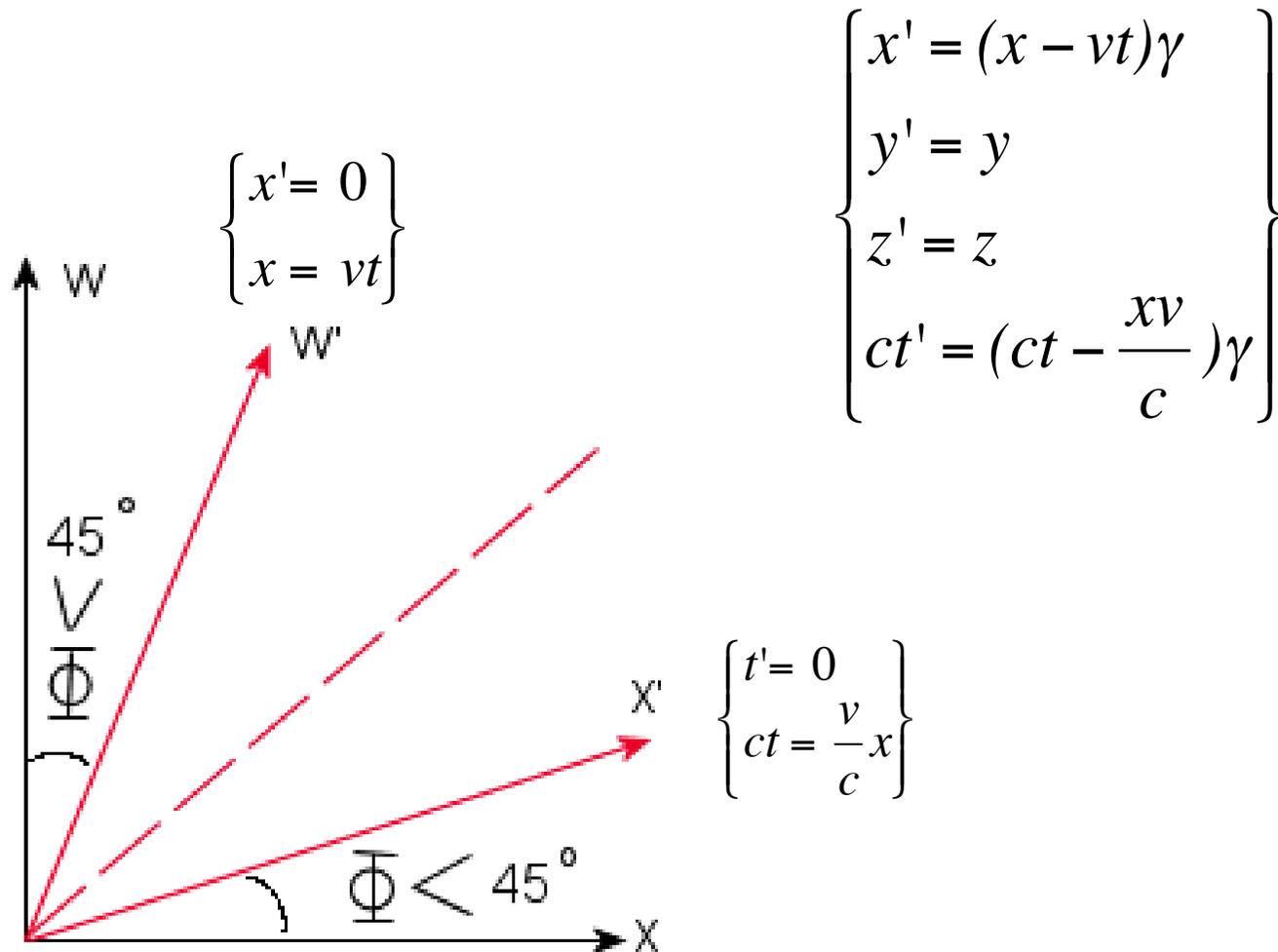
*“Spesso il confronto con gli altri è servito a chiarire la propria posizione, o a stimolare una riflessione personale su un nuovo tema. Il tono pacato forse è dipeso anche dalla complessità delle questioni, rispetto alle quali è difficile sostenere di avere una idea conclusiva.” (P)*

# **Il dietro le quinte della proposta geometrica: Dai diagrammi alla visione di Minkowski**

## I diagrammi di Minkowski



## La costruzione degli assi con le trasformazioni di Lorentz

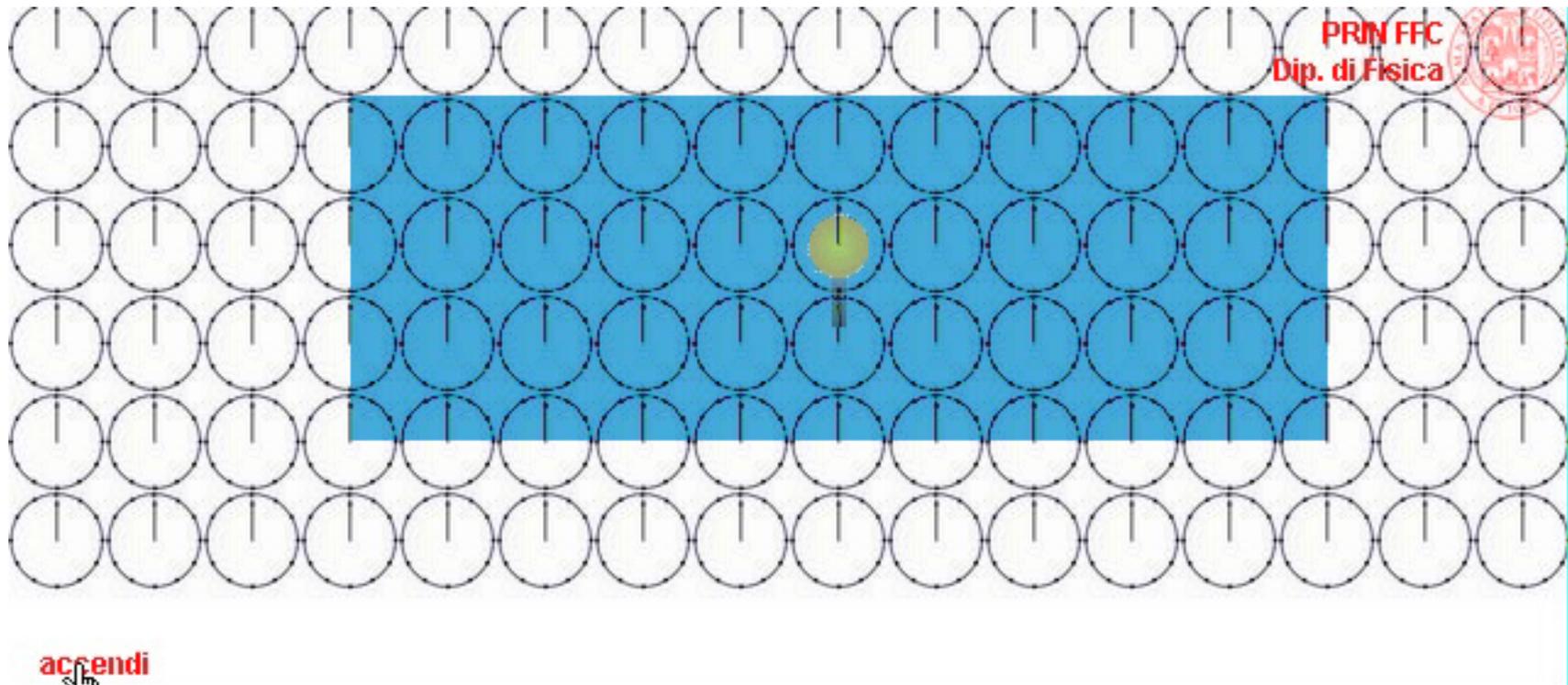


## La costruzione degli assi senza Lorentz

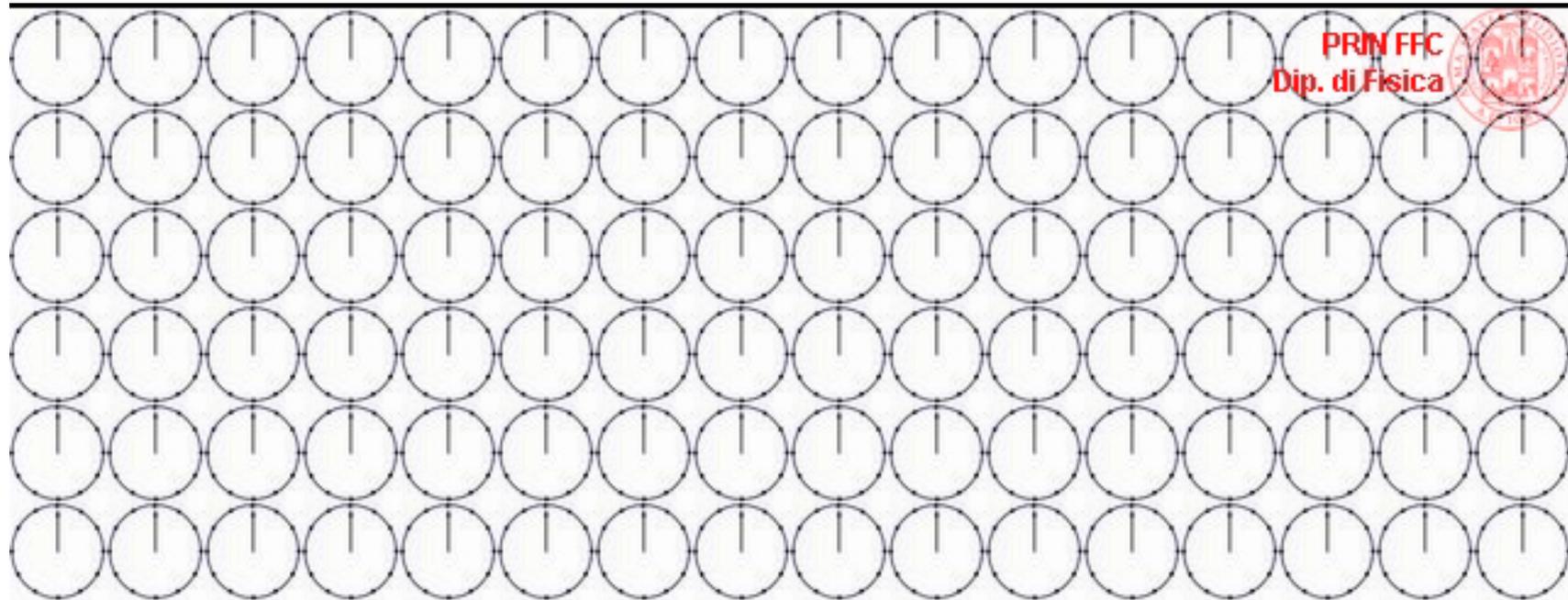
L' esperimento mentale del treno di Einstein (relatività della simultaneità)

Il concetto di quadrintervallo e la sua invarianza (esperimento mentale dell' orologio a luce)

# L'esperimento mentale sulla relatività della simultaneità



(animazioni di M. Recchi, Prin FFC, Dip. Fisica, Bologna)



via

(animazioni di M. Recchi, Prin FFC, Dip. Fisica, Bologna)

# La rappresentazione geometrica del treno di Einstein

Sul treno

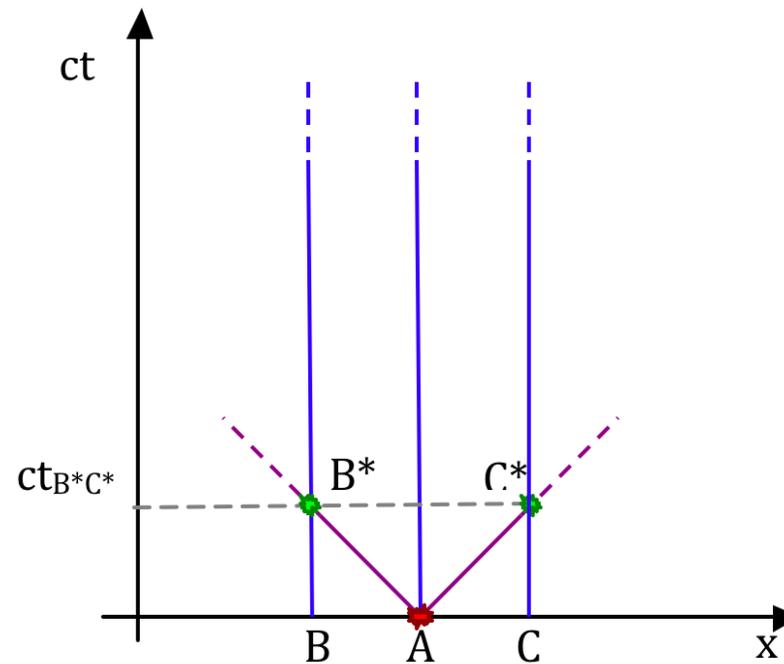


Fig.3

Dalla stazione

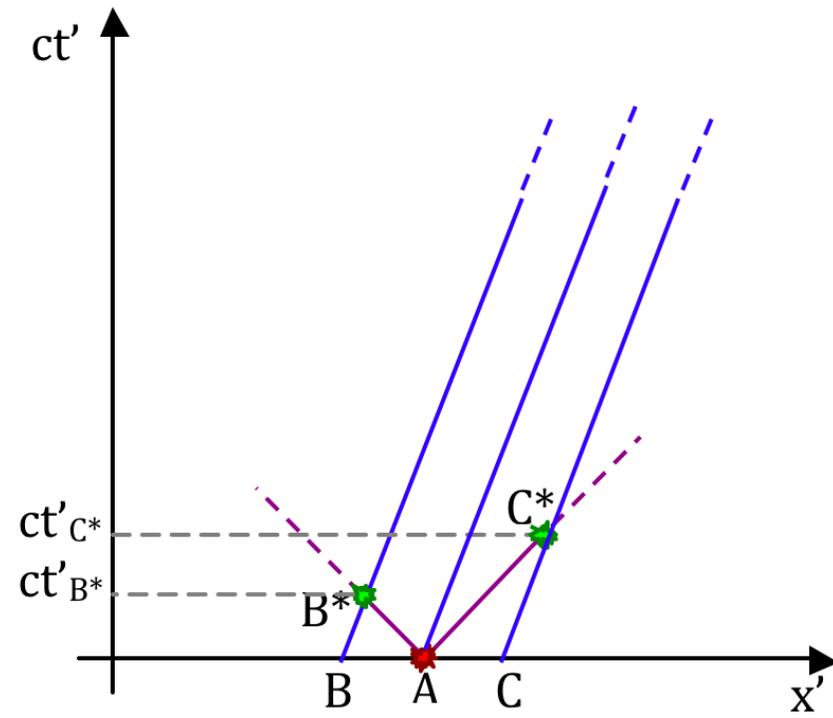
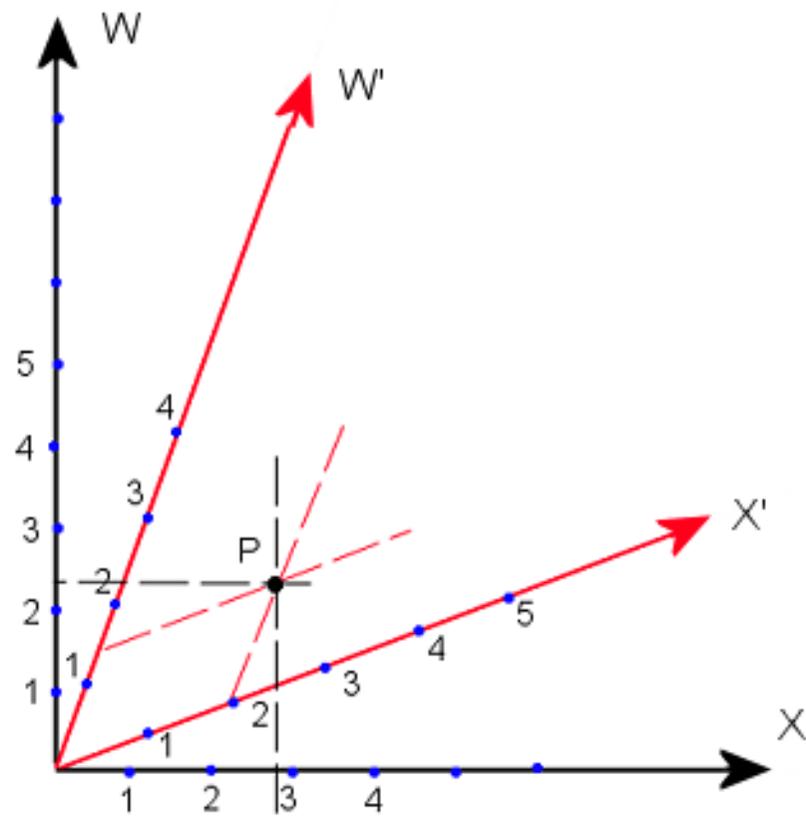
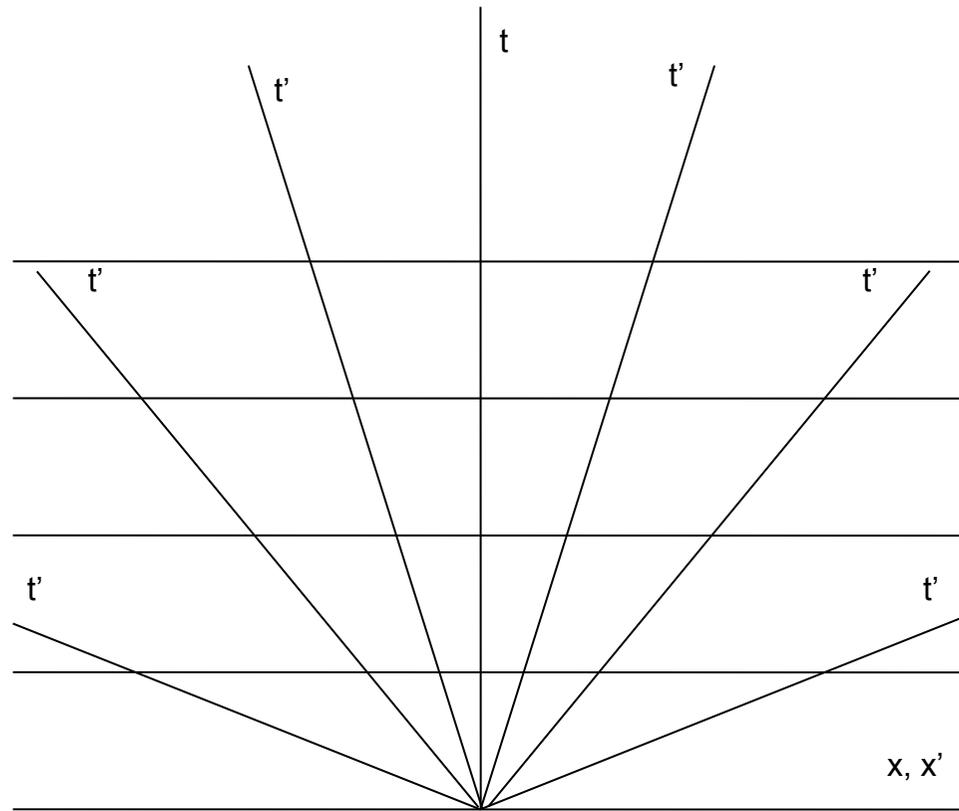


Fig.4

## La localizzazione di un evento nei due SdR

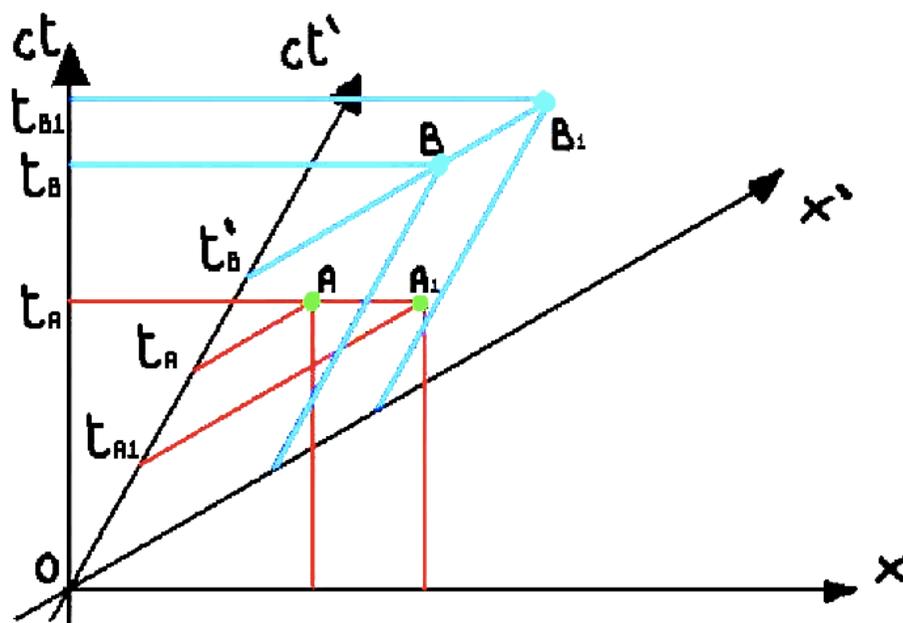


***E lo spaziotempo classico???***

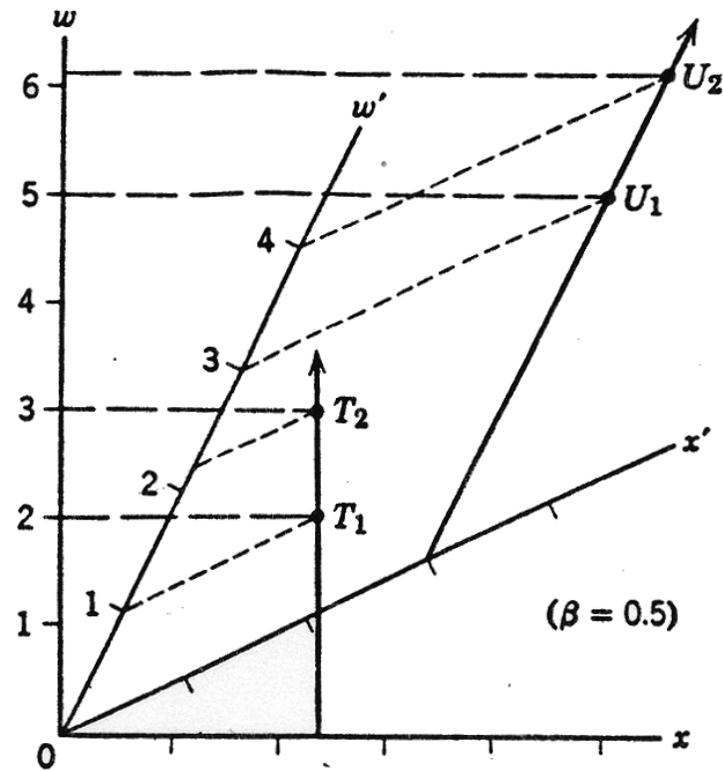


## Gli effetti relativistici

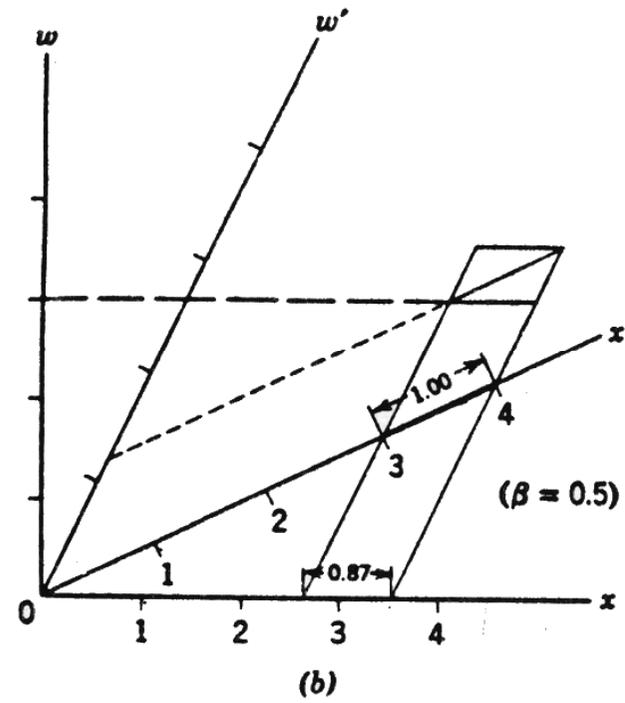
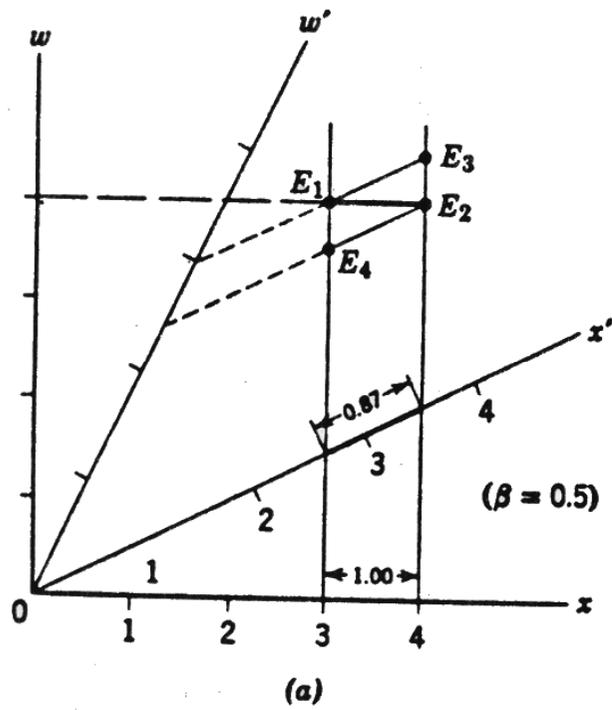
### Relatività della simultaneità



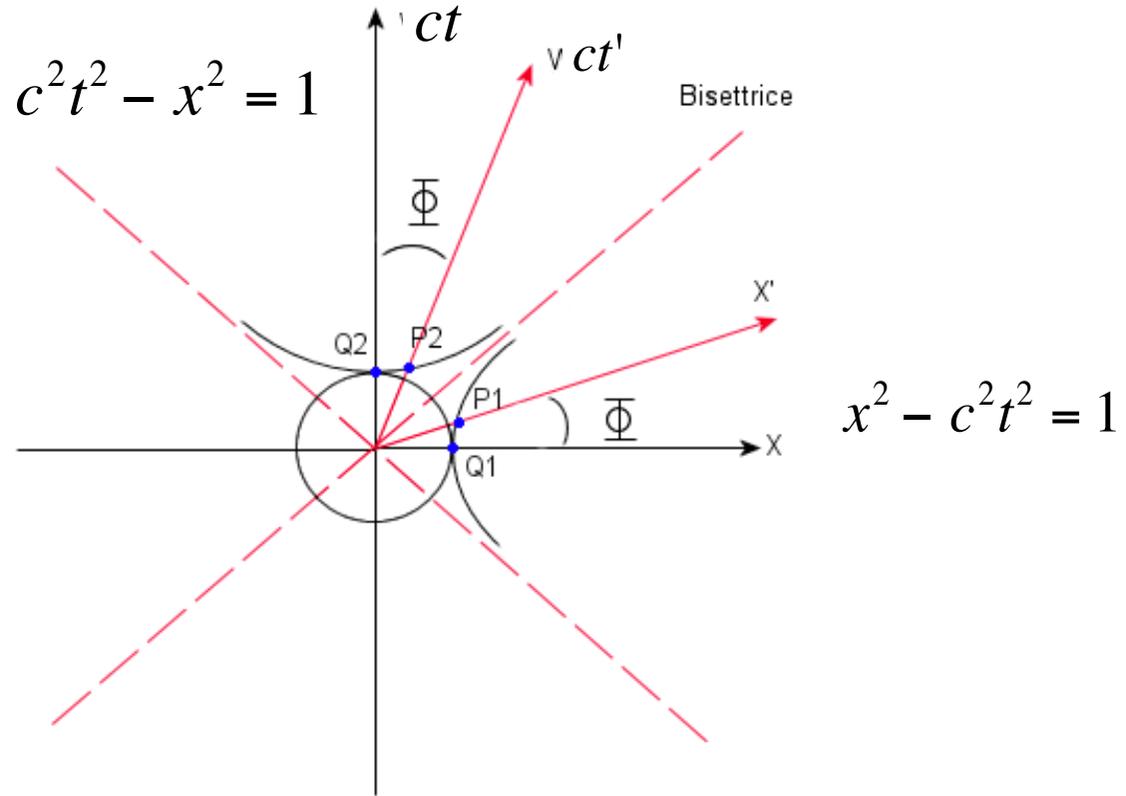
# Dilatazione del tempo



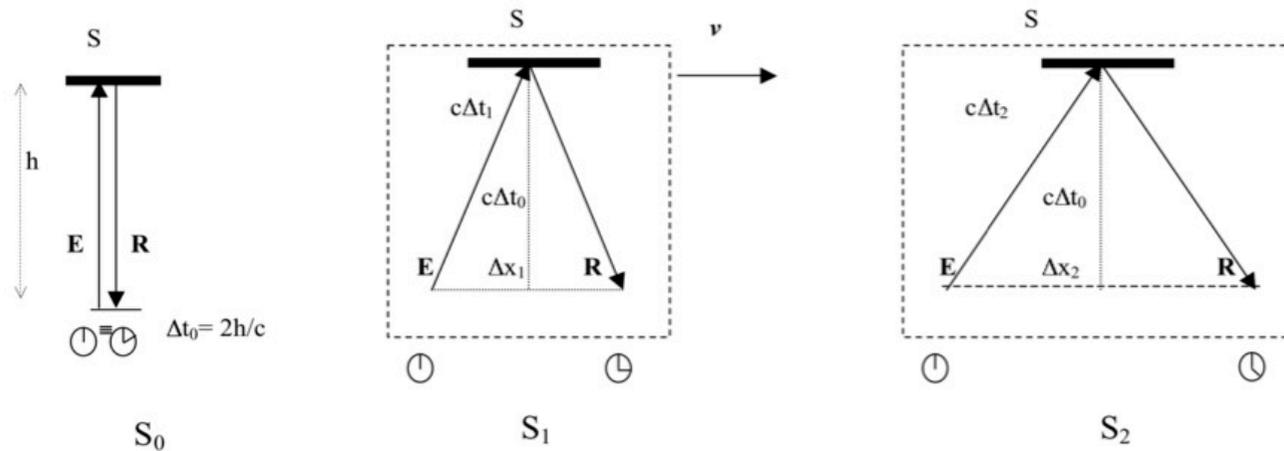
# Contração das lunghezze



# Parentesi: l'iperbole di calibrazione



## Il quadrintervallo e la sua invarianza



$$\Delta t_0 = \sqrt{\Delta t_1^2 - \Delta x_1^2 / c^2} = \sqrt{\Delta t_2^2 - \Delta x_2^2 / c^2}$$

la “distanza spazio-temporale” (il “quadrintervallo”) INVARIANTE tra due eventi **E** e **R**:

$$S_{ER}^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 \qquad S_{ER}^2 = c^2 \Delta t^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

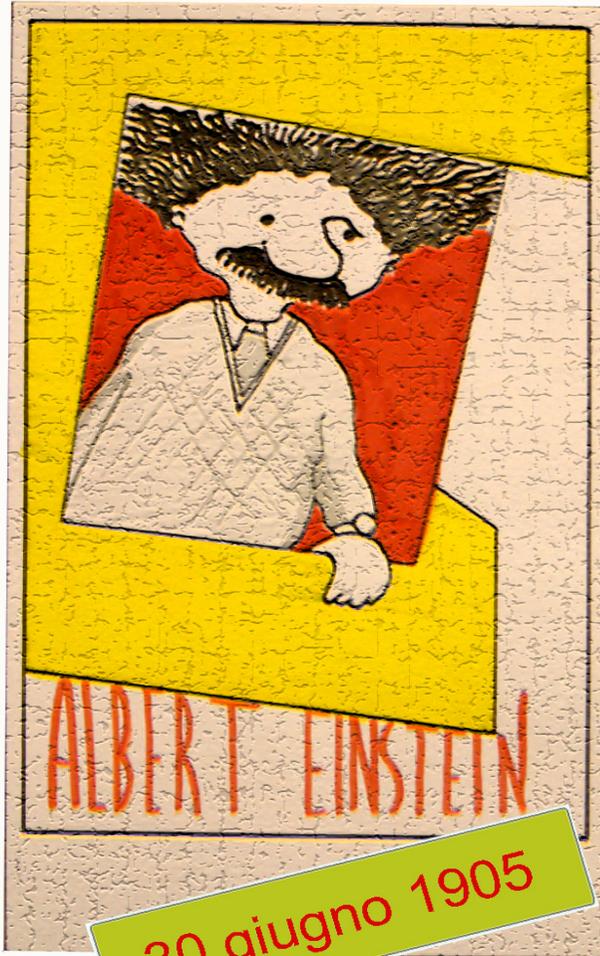
## La visione di Minkowski in “Spazio e tempo” (Colonia, 1908)



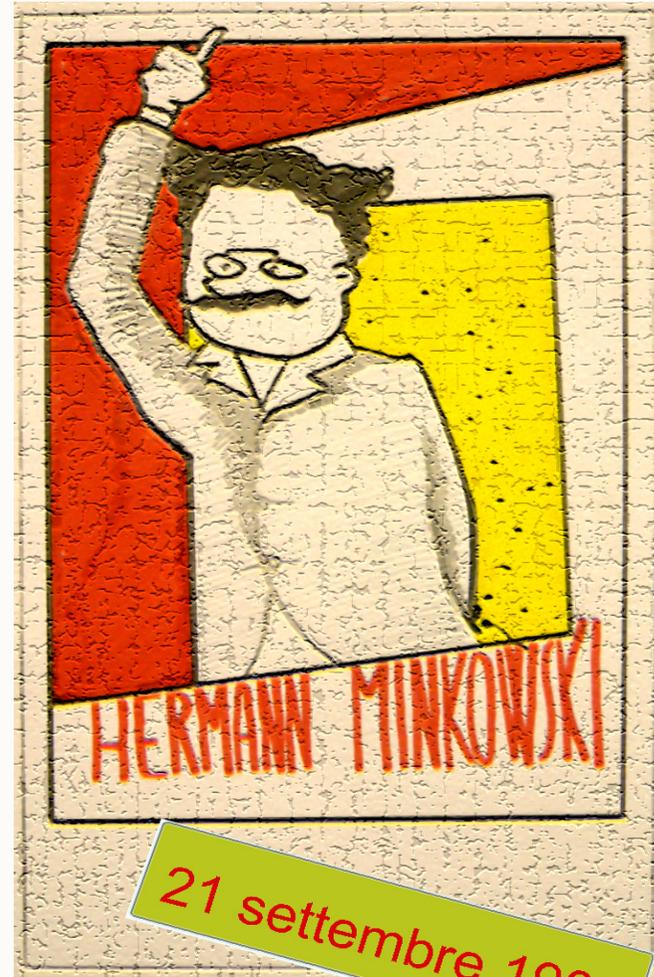
(Aleksotas, 22 giugno 1864 – Gottinga, 12 gennaio 1909)

## Da “Spazio e tempo” (Colonia, 1908)

*“[...] D’ora innanzi, lo spazio in se stesso, e il tempo in se stesso, sono condannati a svanire come pure ombre, e solo **una sorta di unione tra i due conserverà una realtà indipendente**”*

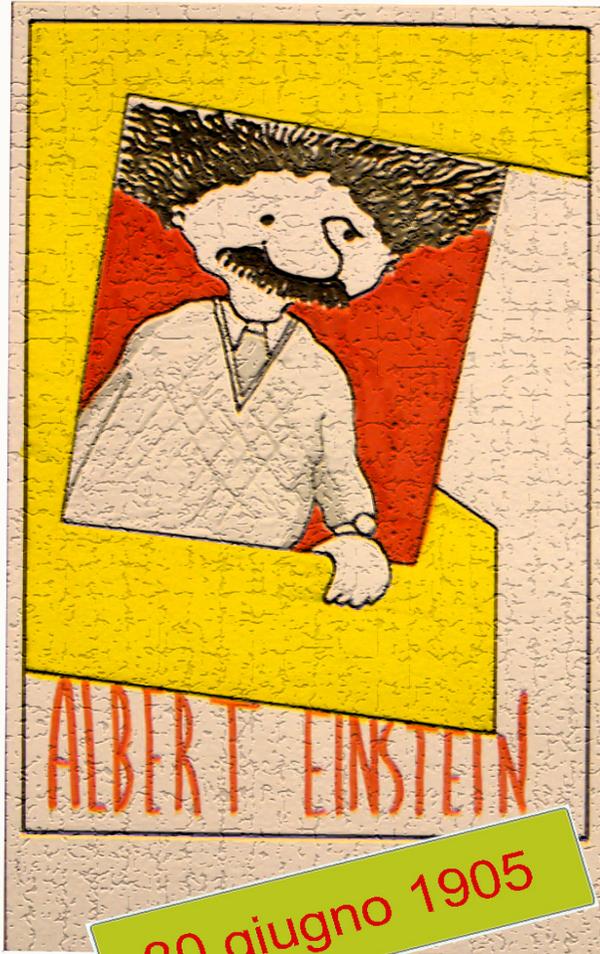


30 giugno 1905



21 settembre 1908

(Disegni di Simone Guicciardi)



“Son convinto che i filosofi abbiano avuto un’ influenza dannosa sul progresso del pensiero scientifico, trasportando certi concetti fondamentali dal dominio dell’ empirismo, dove essi erano sottoposti al nostro controllo, alle altezze intangibili dell’ a-priori. Ciò è particolarmente vero per i nostri concetti di tempo e di spazio, che i fisici sono stati obbligati dai fatti **a far discendere dall’ Olimpo dell’ a-priori per adattarli e renderli servibili.**”

(Einstein, 1922, “Il significato della relatività”)

“[...] D’ ora innanzi, lo spazio in se stesso, e il tempo in se stesso, sono condannati a svanire **come pure ombre**, e solo **una sorta di unione tra i due conserverà una realtà indipendente**”

(Spazio e tempo, 1908)



## La prospettiva geometrica

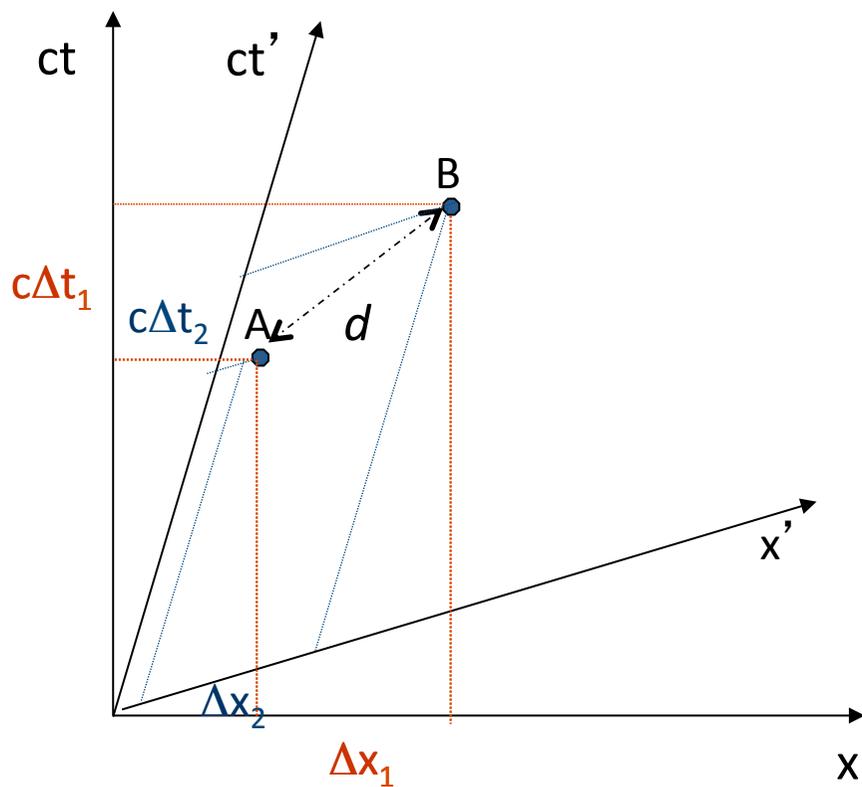
Il cuore della teoria:

L' unificazione geometrica di spazio e tempo imposta  
dall' esistenza in natura di una  
velocità limite e invariante

**L' invarianza dell' intervallo spaziotemporale**

$$\Delta s^2 = c^2 (\Delta t)^2 - (\Delta x)^2$$

*Spazio e tempo come “proiezioni” di un’entità spazio-temporale*



$$d^2 = c^2\Delta t_1^2 - \Delta x_1^2 = c^2\Delta t_2^2 - \Delta x_2^2$$

## L'interpretazione “ontologica” dell'invarianza del quadrintervallo di Minkowski

L'indicazione dell'esistenza di uno spaziotempo quadridimensionale reale:  
il “**mondo assoluto**”

*“[...] il termine **postulato di relatività**, se ci si riferisce alla richiesta di invarianza rispetto al gruppo  $G_c$ , mi sembra forzato. Poiché il postulato viene ad assumere il significato che soltanto il mondo quadridimensionale è dato dai fenomeni, mentre la proiezione nello spazio e nel tempo possono ancora essere prese solo con un certo grado di libertà, preferisco chiamarlo il **postulato del mondo assoluto** (o, brevemente, **postulato del mondo**).”*

La relatività ristretta come il trionfo dell'assoluto:  
la teoria ha fatto emergere un nuovo ente assoluto

**lo spaziotempo**

La critica all' enfasi posta da Einstein  
agli **effetti relativistici:**  
**Il “residuo newtoniano” di guardare a spazio e tempo  
come a due enti separati**

*“Siamo costretti ad ammettere che solo in quattro dimensioni le relazioni fisiche rivelano la loro essenza in piena semplicità e che in uno spazio tridimensionale esse lasciano solo una complicata proiezione.”*

La **scelta epistemologica** di guardare alle grandezze invarianti come oggettive e, dunque, reali



La geometrizzazione della fisica come supporto all' **assunto neo-platonico: la natura è matematica**

*“Ciò basterà a placare e convincere anche coloro per i quali l'abbandono delle vecchie visioni è incomprensibile e fonte di sofferenze, e arriveranno ad accettare l'idea che esista **un'armonia pre-stabilita tra la matematica pura e la fisica**”*

## Il dibattito tra sostanzialismo e relazionismo



Spazio e tempo intesi  
come oggetti fisici  
dotati di sostanzialità

*(contenitori)*

**‘SPAZIO E TEMPO  
SOSTANZIALI’**

*Epicuro, Lucrezio  
Newton  
Minkowski  
Wheeler*

Spazio e tempo intesi come  
costruzione della mente umana  
per “capire” il mondo naturale

*(insieme di relazioni formali)*

**‘SPAZIO E TEMPO  
RELAZIONALI’**

*Aristotele  
Cartesio, Leibniz, Mach  
Einstein-Poincaré  
Weinberg, Sciama*

«Nessun altro problema scientifico ci affascina più di quello della natura dello spazio e del tempo. È normale che sia così, perché questi due concetti formano il palcoscenico su cui si dipana la trama del cosmo. L'intera nostra esistenza, tutto ciò che facciamo, pensiamo e proviamo, si verifica in una determinata regione dello spazio in un determinato intervallo di tempo; eppure la scienza non è ancora riuscita a svelare che cosa siano con esattezza spazio e tempo: **sono due entità fisiche reali o semplicemente utili semplificazioni concettuali?**».

(B. Greene, La trama del cosmo, 2004)

## LO SPAZIO E IL TEMPO ASSOLUTI DI NEWTON

I. Newton, **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica** (1686)

Struttura del libro:

- Definizioni
- Assiomi o Leggi del movimento
- I libro: Il moto dei corpi
- II libro: Il moto dei corpi
- III libro: Il sistema del mondo
- Scolio Generale (inserito nella seconda edizione 1713)

I brani che seguono sono tratti da:

Principi Matematici della Filosofia Naturale, Utet, Torino 1965.

## da **Definizioni**

Fin qui è stato indicato in quale senso siano da intendersi, nel seguito, parole non comunemente note. **Non definisco, invece, tempo, spazio, luogo e moto, in quanto notissimi a tutti.** Va notato, tuttavia, come comunemente non si concepiscano queste quantità **che in relazione a cose sensibili.** Di qui nascono i vari pregiudizi, per eliminare i quali conviene **distinguere le medesime quantità in assolute e relative, vere e apparenti, matematiche e volgari.**

**I Il tempo assoluto, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente, e con altro nome è chiamato durata;** quello relativo, apparente e volgare, è una misura (esatta o inesatta) sensibile ed esterna della durata per mezzo del moto, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l' ora, il giorno, l' anno.

**Il Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile;** lo spazio relativo è una misura o dimensione mobile dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso al posto dello spazio immobile.

[...]

IV **Il moto assoluto è la traslazione di un corpo da un luogo assoluto in un luogo assoluto**, il relativo da un luogo relativo in un luogo relativo. Così in una nave spinta dalle vele .....[...] Ma la **quiete vera** è la permanenza del corpo nella medesima parte di quello spazio immobile nella quale la stessa nave si muove.

[...]

Tutte le cose sono collocate nel tempo quanto all'ordine della successione, nello spazio quanto all'ordine della posizione. È nella loro essenza essere luoghi: ma è assurdo che i luoghi primari siano mossi. Questi sono dunque i luoghi assoluti, e i moti assoluti sono le sole traslazioni da questi luoghi. Vero è che, in quanto **quelle parti dello spazio non possono essere viste e distinte fra loro mediante i nostri sensi, usiamo in loro vece le loro misure sensibili**. Definiamo, infatti, tutti i luoghi dalle distanze e dalle posizioni delle cose rispetto a qualche corpo, **che assumiamo come immobile**; ed in seguito, con riferimento ai luoghi predetti valutiamo tutti i moti, in quanto consideriamo i corpi come trasferiti da quei medesimi luoghi in altri. **Così, invece dei luoghi e dei moti assoluti usiamo i relativi; né ciò riesce scomodo nelle cose umane: ma nella filosofia occorre astrarre dai sensi**. Potrebbe anche darsi che non vi sia alcun corpo in quiete al quale possano venire riferiti sia i luoghi che i moti.

da **Libro III, Le proposizioni**

### **Ipotesi I**

Il centro del sistema del mondo è in quiete

Questo è accordato da tutti, sebbene alcuni discutano sul fatto se nel centro del sistema siano in quiete la Terra o il Sole. Vediamo che cosa segue di qui.

### **Proposizione XI Teorema XI**

Il comune centro di gravità della Terra e del Sole e di tutti i pianeti è in quiete.

Infatti il centro (per il corol. 4 delle leggi) o è in quiete o si muove uniformemente in linea retta. Ma se quel centro si muove sempre, anche il centro del mondo si muoverà: contro l'ipotesi.

da **Scolio Generale (inserito nella seconda edizione)**

[...] Questa elegantissima compagine del Sole, e dei pianeti e delle comete non poté nascere senza **il disegno e la potenza di un ente intelligente e potente**. [...] Egli regge tutte le cose non come anima del mondo, ma come signore dell'universo. E a causa del suo dominio suole essere chiamato Signore-Dio, pantocratore. [...] È **eterno e infinito, onnipotente e onnisciente, ossia, dura dall'eternità in eterno e dall'infinito è presente nell'infinito** [...] Dura sempre ed è presente ovunque, ed esistendo sempre ed ovunque, fonda la durata e lo spazio. [...] **Lo conosciamo solo attraverso i suoi attributi, per la sapientissima e ottima struttura delle cose e per le cause finali, e l'ammiriamo a causa della perfezione;** ma lo veneriamo, invero, e lo adoriamo a causa del dominio. [...]

da *Ottica o trattato sulle riflessioni, rifrazioni, inflessioni e sui colori della luce - Libro III*)

Spazio e tempo assoluti sono segno, come tutta l'armonia del cosmo, del disegno di un Dio eterno e infinito, costruttore e geometra

*"[...] compito principale della filosofia naturale è di argomentare muovendo dai fenomeni senza immaginare ipotesi, e dedurre le cause dagli effetti, finché arriviamo alla vera Causa Prima, che certamente non è meccanica"*

## Lo spazio di relazioni di Leibniz “lo spazio come ordine di coesistenza”

*“Ecco come gli uomini giungono a formarsi il concetto dello spazio. Essi considerano che più cose esistono insieme, e trovano fra esse un ordine di coesistenza, secondo cui il rapporto delle une e delle altre è più o meno semplice. È la loro posizione o distanza. Quando avviene che una di quelle coesistenze muti il suo rapporto con una pluralità di altre coesistenze, che restano fra loro immutate, e quando un nuovo venuto acquista lo stesso rapporto che il primo aveva con gli altri, si dice che quello è venuto al posto di questo; un tale cangiamento viene chiamato movimento ed è attribuito a quello in cui risiede la causa immediata del cangiamento. [...] E supponendo o fingendo che tra tali coesistenze vi sia un numero sufficiente di quelle che non hanno subito alcun mutamento, si dirà che le coesistenze che hanno con queste coesistenze fisse un rapporto uguale a quello che le altre avevano rispetto alle stesse, hanno occupato lo stesso posto delle precedenti. Ciò che comprende tutti questi posti viene chiamato spazio.” (dalle “Lettere fra Leibniz e Clarke”, 1717)*

## **“Il principio di ragion sufficiente”**

“Mi è attribuito questo importante principio, secondo il quale nulla accade senza che ci sia una ragione sufficiente affinché ciò accada in questo modo e non altrimenti... Io dico allora che se lo spazio fosse assoluto, accadrebbe qualcosa per cui sarebbe impossibile trovare una ragione sufficiente. E ciò è contrario al nostro assioma. Questo è il modo in cui io lo dimostro: se facciamo l'ipotesi che lo spazio esiste in sé stesso, oltre ad essere un ordinamento dei corpi, è impossibile che ci sia una qualche ragione per cui Dio, preservando le stesse posizioni tra i corpi stessi, avrebbe dovuto sistemare i corpi in questo modo e non altrimenti, ad esempio scambiando l'est con l'ovest” (Leibniz, in Sklar, 1974)



***lo spazio assoluto non esiste***

## **“L’ argomento dell’ identità degli indiscernibili”**

“Lo spazio è qualcosa di assolutamente uniforme; e, senza oggetti collocati in esso, un punto dello spazio non differisce in alcunché da qualunque altro punto dello spazio. Da questo segue (supponendo che lo spazio sia qualcosa in sé stesso oltre all’ ordinamento dei corpi) che è impossibile che ci sia una ragione per cui Dio, preservando il medesimo ordine tra i corpi, avrebbe dovuto collocarli nello spazio in un particolare modo e non in un altro; ad esempio, scambiando l’ Est con l’ Ovest, avrebbe potuto collocare ogni cosa nel posto contrario. Tuttavia, se lo spazio non è altro che la possibilità di collocarli, allora i due stati, quello attuale e l’ altro che supponiamo contrario, non differirebbero in alcun modo. La loro differenza risiede pertanto solo nella nostra chimerica supposizione che lo spazio sia qualcosa di reale. In verità di due stati sono la stessa cosa, essendo indiscernibili; e di conseguenza non c’ è ragione di preferire l’ uno all’ altro” (Leibniz, in Alexander, 1956).



***stati indiscernibili sono identici***

***(sono due modelli identici dello stesso sistema)***

## Le critiche di Mach allo spazio contenitore

### Criterio verificazionista e “il principio di economia”

*“[lo spazio assoluto è un] puro ente ideale, non conoscibile sperimentalmente.*

*[...]*

*[è] una mostruosità concettuale [ma di quelle] arbitrarie fantasticherie [...] non ne fece alcun uso effettivo.*

*Se si resta sul terreno dei fatti, non si conosce altro che spazi e luoghi relativi. Relativi sono i moti dell'universo sia nel sistema tolemaico sia in quello copernicano, quando si astragga dal presunto misterioso mezzo che pervade lo spazio. Queste due teorie sono ugualmente corrette, solo che la seconda è più semplice e più pratica dell'altra. [...]*”

(Mach, 1883)

## La prospettiva sostanzialista

*“[...] gli elementi di base o primitivi delle nostre teorie sono di due tipi: spazio-tempo e sua struttura geometrica; e campi materiali – distribuzioni di materia, carica, ecc. – che rappresentano i processi fisici e gli eventi che avvengono nello spazio-tempo. Le nostre teorie cercano di spiegare e prevedere le proprietà dei processi e degli eventi materiali mettendoli in relazione alla struttura geometrica entro cui sono ‘contenuti’. In questa trattazione noi prenderemo esplicitamente gli enti geometrici come primitivi e definiamo gli enti osservativi in termini di quelli.”*

(Friedman, 1983)

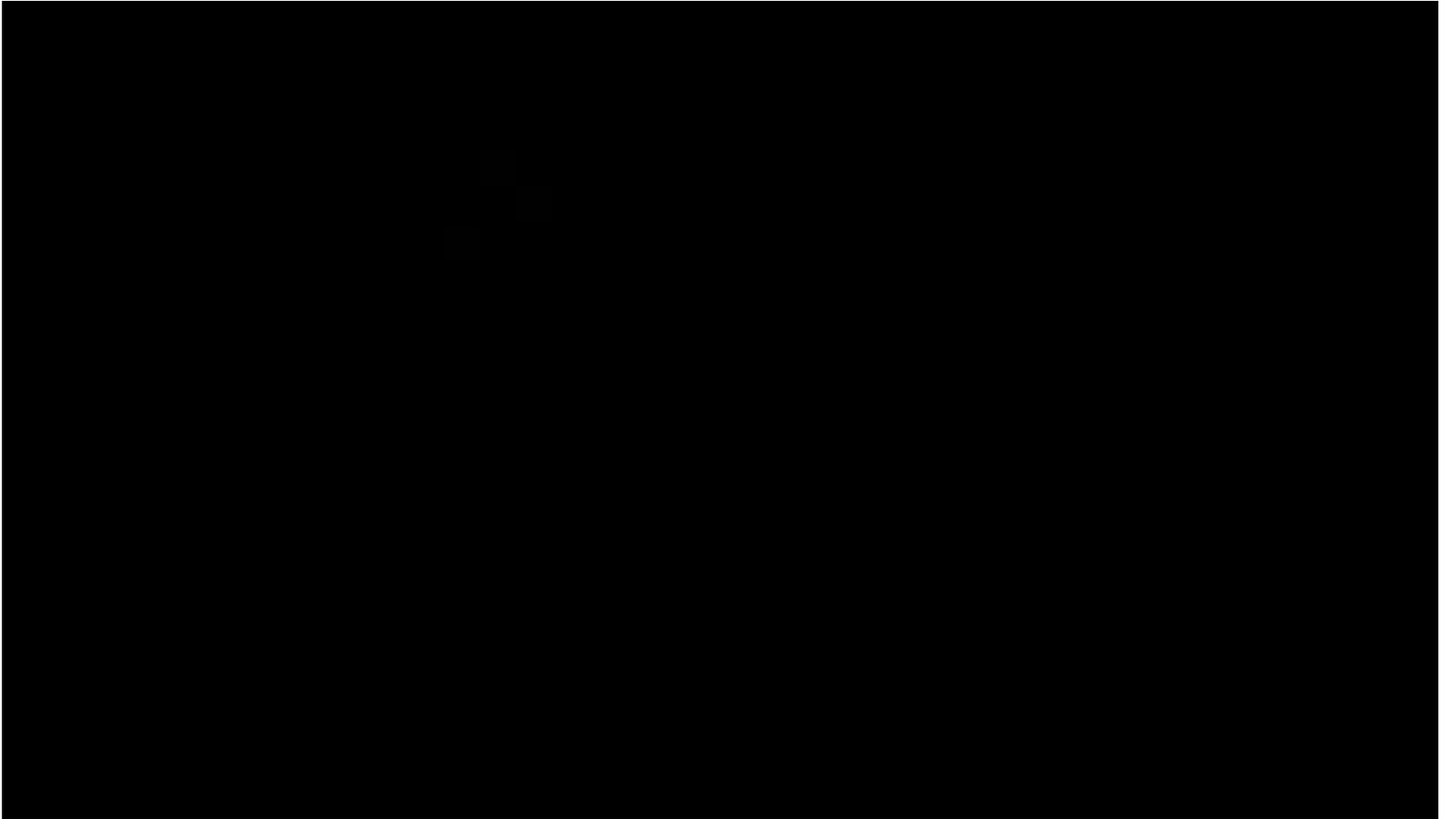
## La prospettiva relazionista

*“Quando la gente parla di cambiamenti politici, spesso intende parlare di un riallineamento delle relazioni fra l’individuo e la società. Si tratta di un eufemismo, perché la società è un concetto astratto che si riferisce solo a quegli esseri umani che vivono in un dato tempo e in un dato luogo. [...] Ciò che viene riallineato quando la società si evolve non sono altro che le miriadi di relazioni fra i singoli esseri umani. Parliamo di società perché [...] abbiamo difficoltà a contemplare direttamente la fantastica complessità delle relazioni umane che tengono insieme il mondo che ci siamo costruiti.*

*È per un meccanismo simile che entrarono in uso i concetti astratti di spazio e tempo, quando gli esseri umani cominciarono a percepire l’immensità e la complessità dell’universo. [...]*

*Nei prossimi capitoli spero di riuscire a convincere il lettore che anche lo spazio e il tempo, come la società, sono in ultima analisi concetti vuoti: hanno un senso solo nella misura in cui essi stanno per la complessità delle relazioni fra le cose che accadono nel mondo.”*

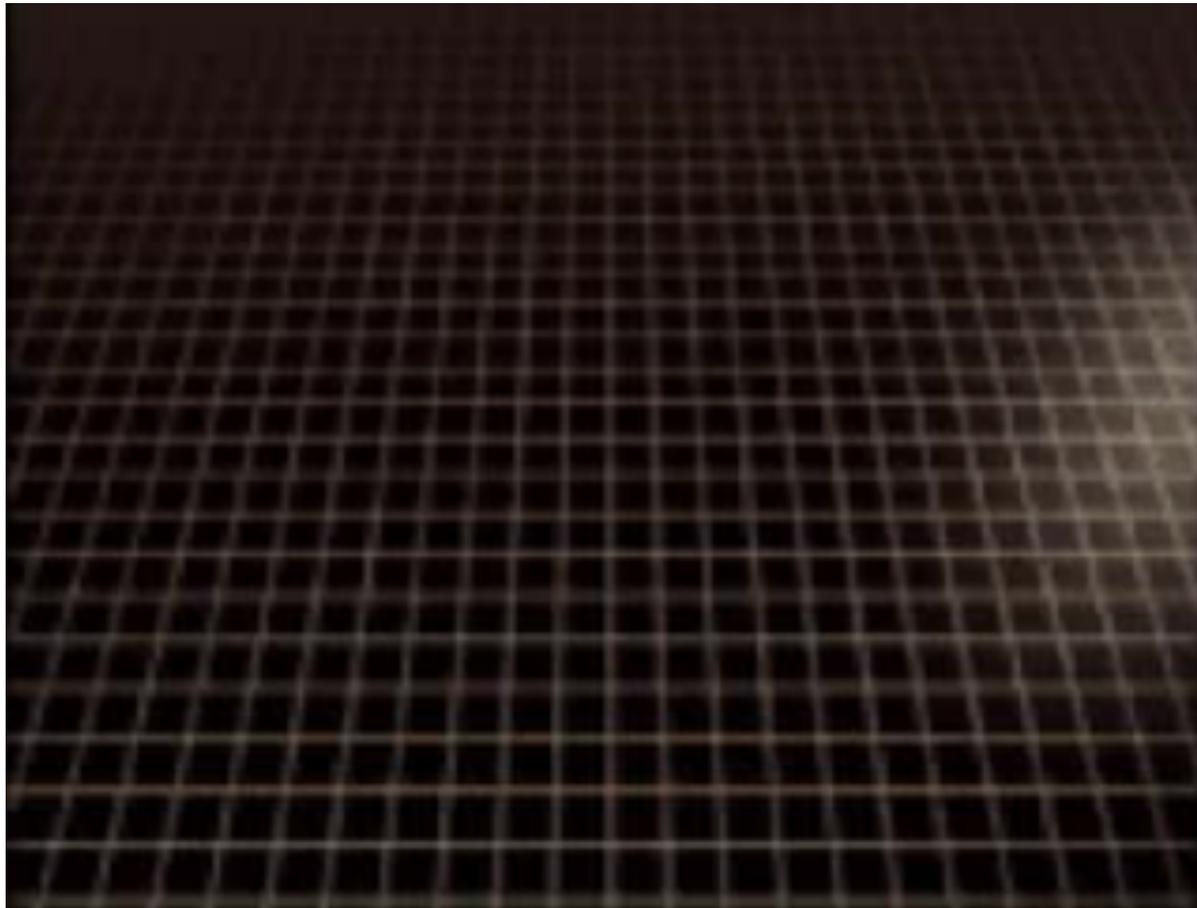
(Smolin, 1997)



# THE FABRIC OF THE COSMOS

## Il nuovo “contenitore” spazio-temporale che interagisce con la materia

*“La materia dice allo spazio come curvarsi, lo spazio dice alla materia come muoversi” (Wheeler)*



## Dalle interpretazioni alle proposte didattiche

*Tradizioni  
didattiche*

“operazionista”

“geometrica”



*Radici storiche*

Einstein, 1905  
“Sull’ elettrodinamica  
dei corpi in  
movimento”

Minkowski, 1908  
“Spazio e tempo”

*Concezioni di  
spazio (e tempo)  
presupposte*

“spazio e tempo come  
relazioni tra eventi o  
oggetti”

“spazio-tempo  
come contenitore”

## Implicazioni per l' insegnamento

### *La molteplicità degli approcci per “comprendere”*

*“L'uso di una molteplicità di approcci può rappresentare uno strumento potente per affrontare concezioni sbagliate, preconcetti e stereotipi degli studenti. Finché un concetto o un problema verrà affrontato da un'unica prospettiva o da un solo punto di vista, quasi certamente gli studenti se ne faranno un'idea quanto mai rigida e limitata. Al contrario, adottare nei confronti di un fenomeno tutta una gamma di atteggiamenti diversi vorrà dire incoraggiare lo studente a conoscere quel fenomeno da diversi punti di vista, a mettere a punto una molteplicità di rappresentazioni e a cercare di metterle in rapporto tra loro”*

(Gardner H. (1991), *Educare al comprendere*, Feltrinelli, Milano.)

## Dalla pre-sperimentazione 2000-2001 (!!)

*“il dibattito tra sostanzialismo-relazionismo ci ha dato lo spunto per discutere di fisica anche al di fuori dell’orario di lezione” (Ada)*

*“[Il confronto] apre la mente, in modo che una persona non abbia una visione restrittiva e limitata di ciò che la circonda. Inoltre, avere a disposizione diverse interpretazioni aiuta ciascuno di noi a formarsene una propria senza accettarne passivamente una” (Roberta)*

Grazie per l'attenzione!