

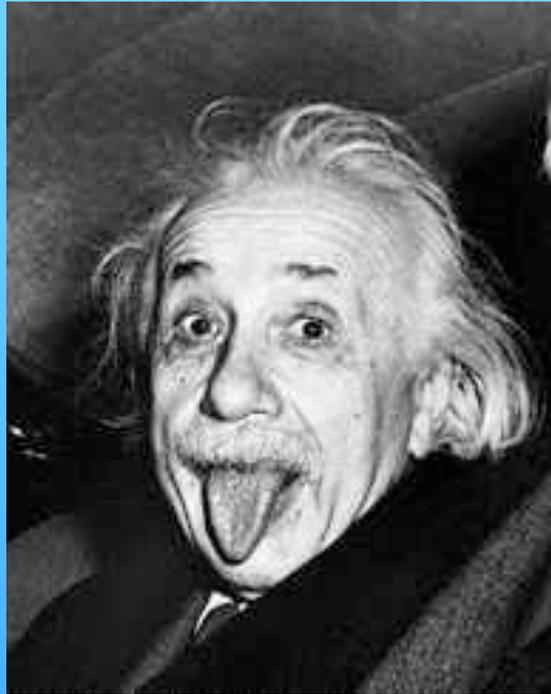
RELATIVITA' RISTRETTA



by Andrea Grieco



L'ANNUS MIRABILIS

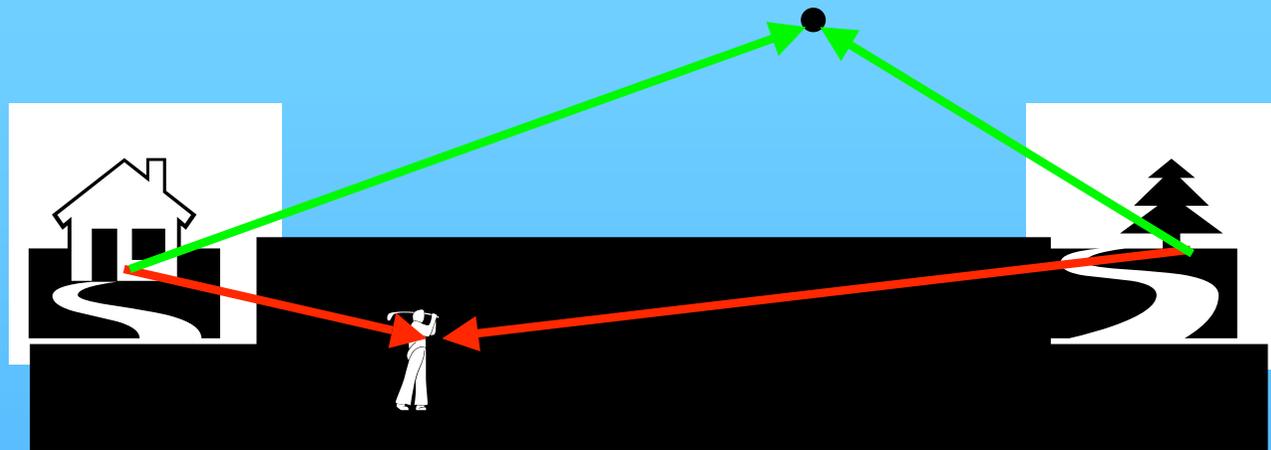


NEL 1905 EINSTEIN PUBBLICA
5 ARTICOLI SUGLI
"ANNALEN DER PHYSIK"

1. QUANTI DI LUCE
2. DIMENSIONI MOLECOLARI
3. MOTO BROWNIANO
4. RELATIVITA' RISTRETTA
5. EQUIVALENZA MASSA-ENERGIA



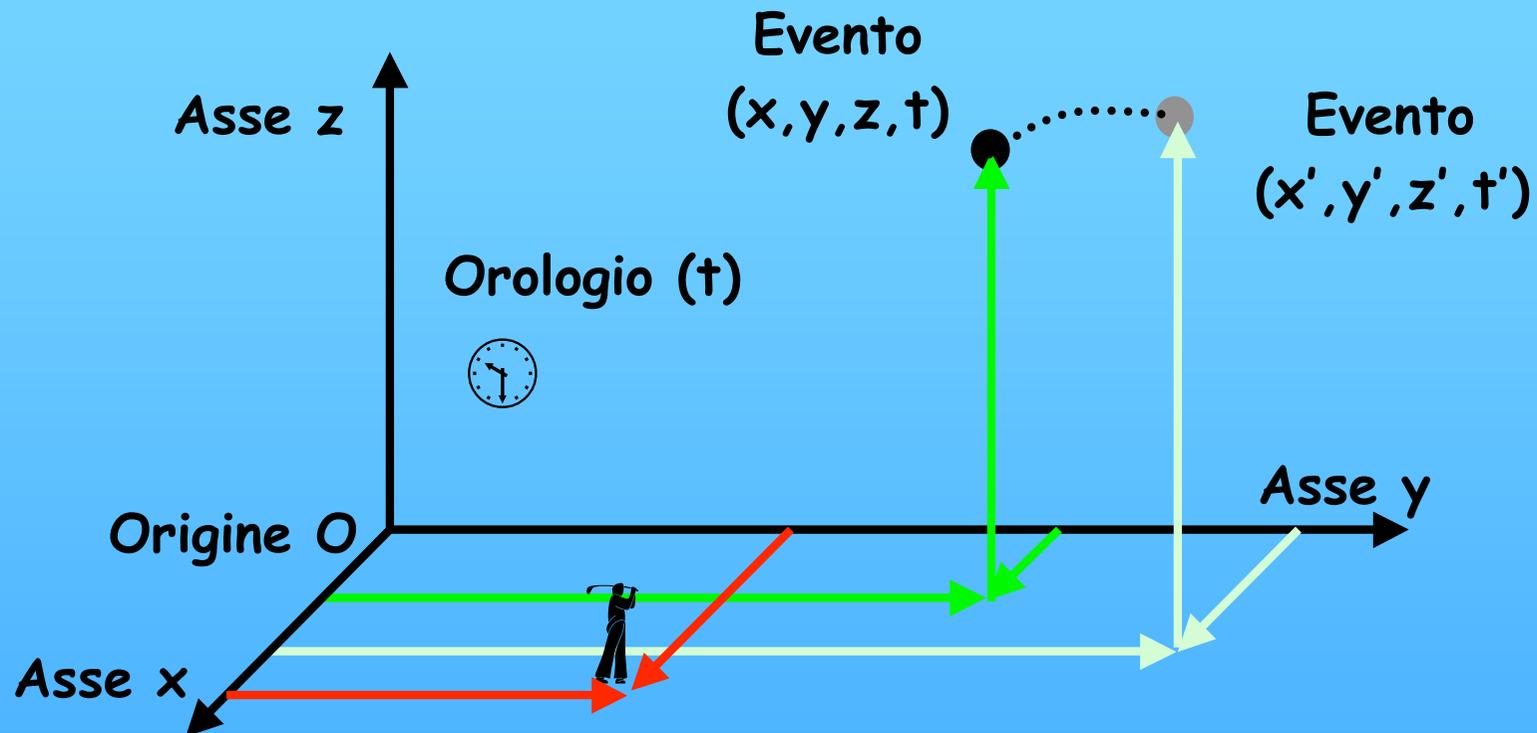
I SISTEMI DI RIFERIMENTO



PER INDIVIDUARE LA **POSIZIONE** DI UN CORPO NELLO **SPAZIO** ABBIAMO BISOGNO DI **QUALCOSA** RISPETTO CUI RIFERIRE LA POSIZIONE STESSA. NEL CASO PIÙ SEMPLICE, QUESTO QUALCOSA È COSTITUITO DA ALTRI CORPI CHE SUPPONIAMO FISSI.



I SISTEMI DI RIFERIMENTO

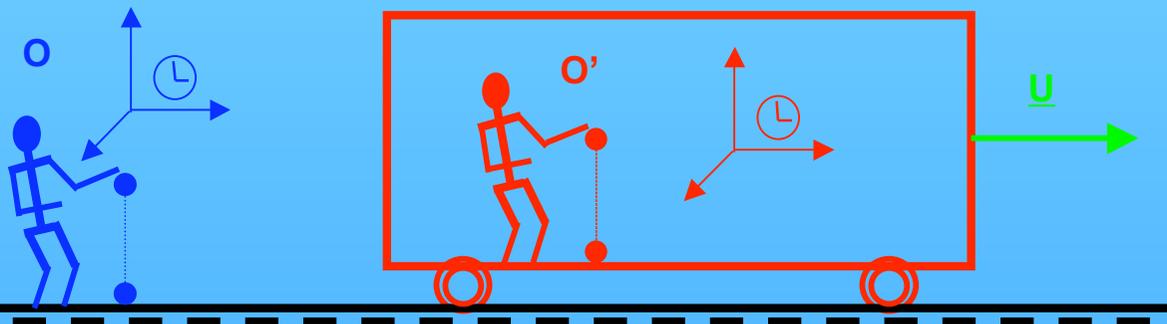


**SISTEMA DI RIFERIMENTO: TERNA DI ASSI
CARTESIANI ORTOGONALI+OROLOGIO**



LA RELATIVITA' DI GALILEO

PRINCIPIO DI RELATIVITÀ GALILEIANO: LE LEGGI DELLA MECCANICA DEVONO AVERE LA STESSA FORMA (COVARIANTI) IN QUALUNQUE SISTEMA DI RIFERIMENTO INERZIALE.



Trasformazioni di Galileo

Da O ad O'

$$x' = x - U_x t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

"...fate muovere la nave con quanta si voglia velocità, che pur che il moto sia uniforme e non fluttuante qua e in là, voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti quei nominati effetti, né di alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina oppure sta ferma."

G. Galilei "Dialogo sopra i due massimi sistemi", 1632

Legge di addizione delle velocità

$$V = V' + U$$



MECCANICA

I. Newton "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" 1687

MECCANICA NEWTONIANA



1° $\underline{v} = \text{cost.}$ lontano da altri corpi

2° $\underline{F} = m\underline{a}$

3° $\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21}$

SPAZIO ASSOLUTO

Sistema solidale con le stelle fisse

TEMPO ASSOLUTO

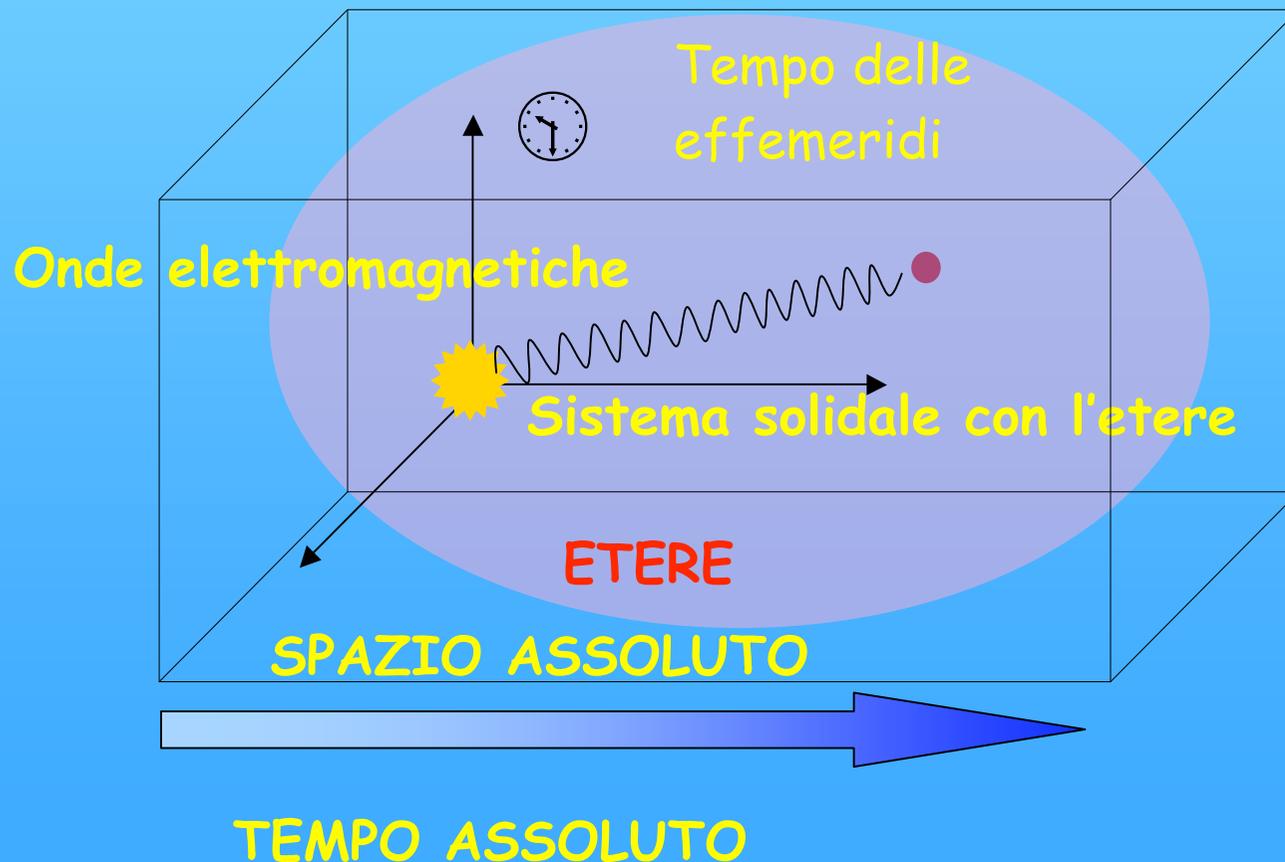
Tempo delle effemeridi



ELETTROMAGNETISMO

J.C. Maxwell "Treatise on Electricity and Magnetism" 1873

ONDE ELETTROMAGNETICHE \Rightarrow ETERE LUMINIFERO



EQUAZIONI DI MAXWELL

$$\nabla \cdot \vec{D} = 4\pi\rho$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

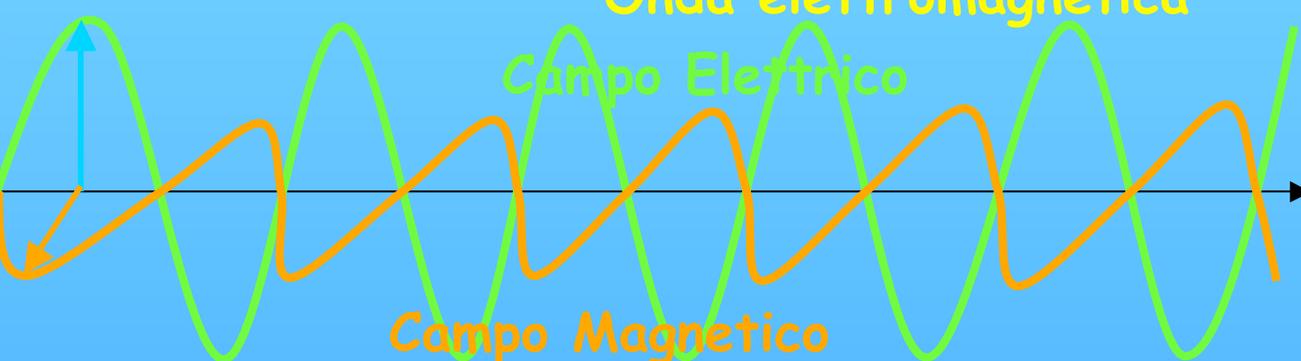
$$\nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c} \left(4\pi \vec{j} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$



LE ONDE ELETTROMAGNETICHE

ONDE ELETTROMAGNETICHE $c = 2,998 \times 10^8$ m/s nel vuoto

Electroni in oscillazione



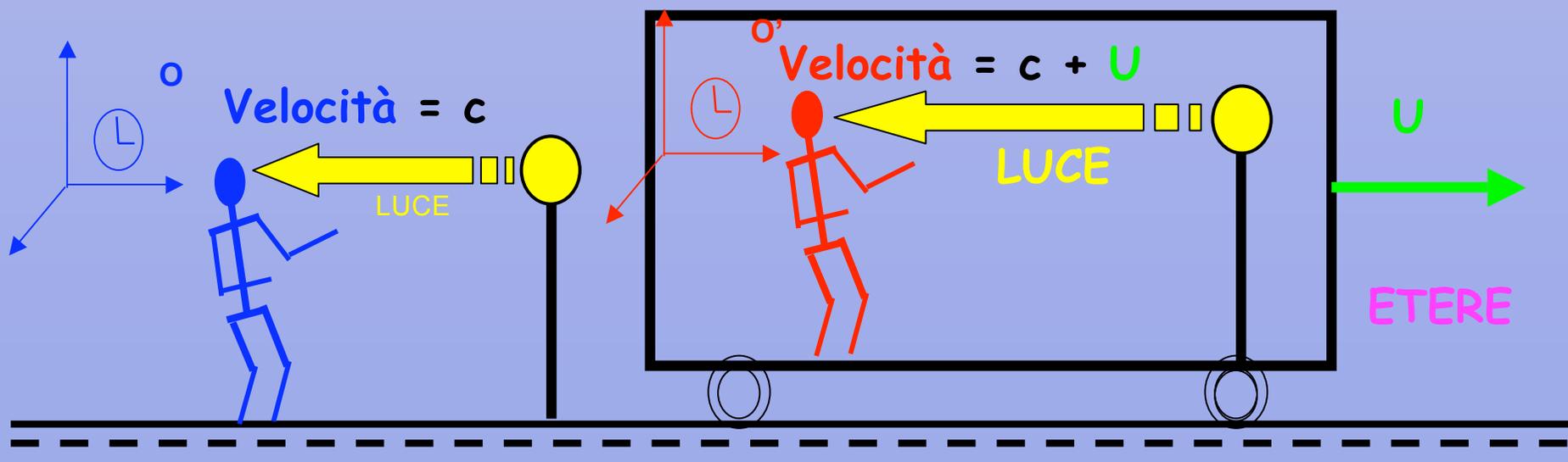
Onda elettromagnetica

Campo Elettrico

Campo Magnetico

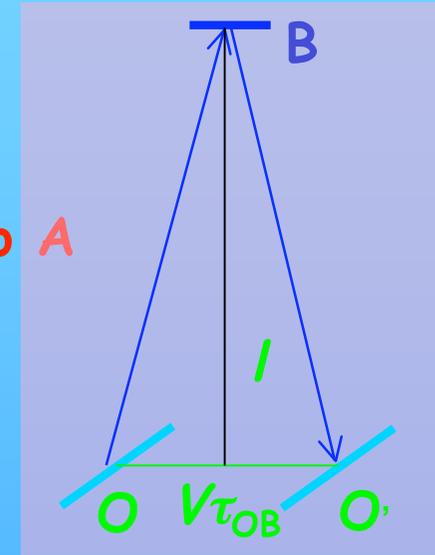
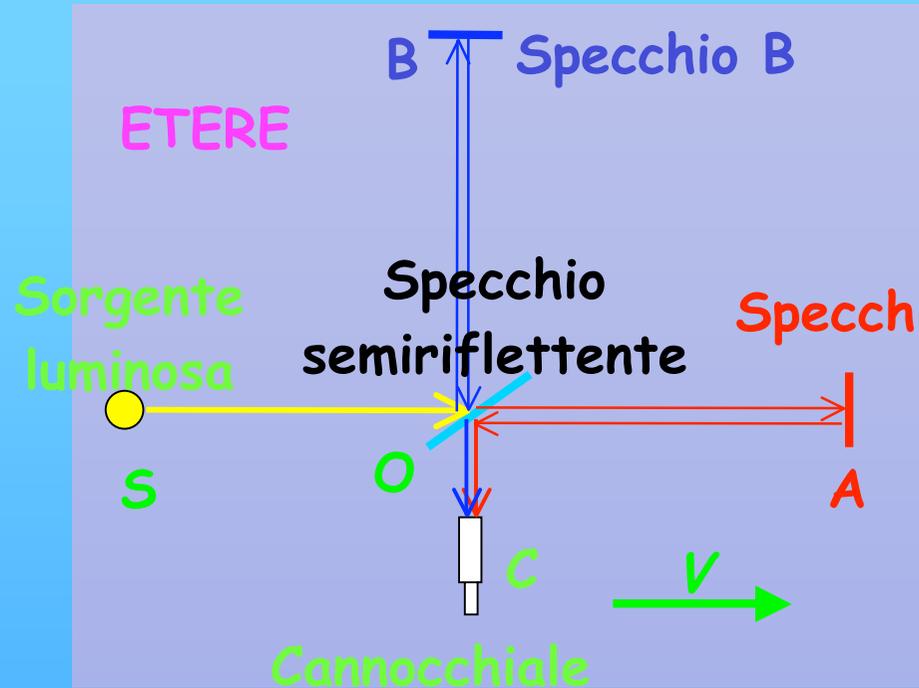
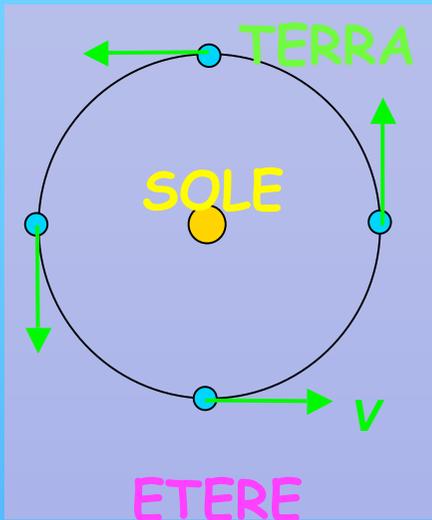
Hertz

1886-88





L'ESPERIMENTO DI MICHELSON-MORLEY



Interferometro di Michelson (1881-87)

$$\tau_{OA} = \frac{l}{c-V} + \frac{l}{c+V} = \frac{2l}{c} \frac{1}{1-\beta^2} \quad \beta = \frac{V}{c}$$

$$\tau_{OA} = \frac{2l}{c} \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

TEORIA $\tau_{OA} \neq \tau_{OB}$

ESPERIMENTI $\tau_{OA} = \tau_{OB}$

NIENTE VENTO D'ETERE!?!?!?



LA SITUAZIONE ALL'INIZIO DEL '900

ESPERIMENTI

- NON SI OSSERVA IL VENTO D'ETERE
- LA VELOCITA' DELLA LUCE RISULTA COSTANTE PER QUALUNQUE OSSERVATORE

MECCANICA CLASSICA

ELETTRODINAMICA

MECCANICA

- EQUAZIONI DI NEWTON
- INVARIANTI PER TRASFORMAZIONI DI GALILEO

ELETTROMAGNETISMO

- EQUAZIONI DI MAXWELL
- NON SONO INVARIANTI PER TRASFORMAZIONI DI GALILEO

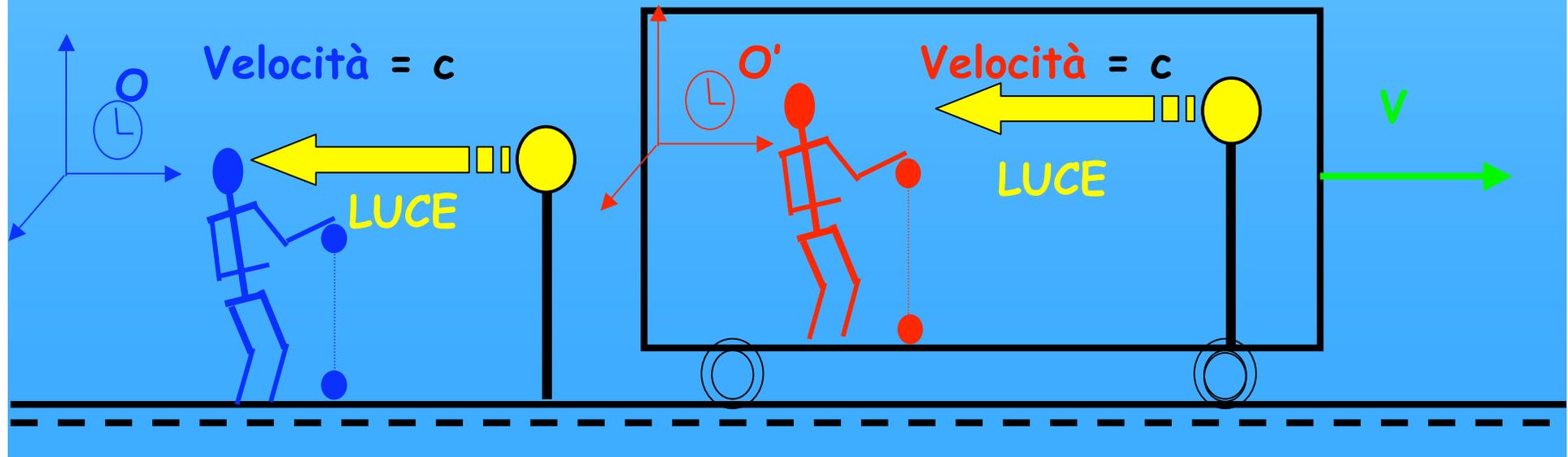


I FONDAMENTI DELLA RELATIVITA' RISTRETTA

A. Einstein "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" Ann. Der Physik 1905

PRINCIPIO DI RELATIVITA' RISTRETTA: LE LEGGI DELLA FISICA DEVONO ESSERE LE STESSA (COVARIANTI) IN QUALUNQUE SISTEMA INERZIALE

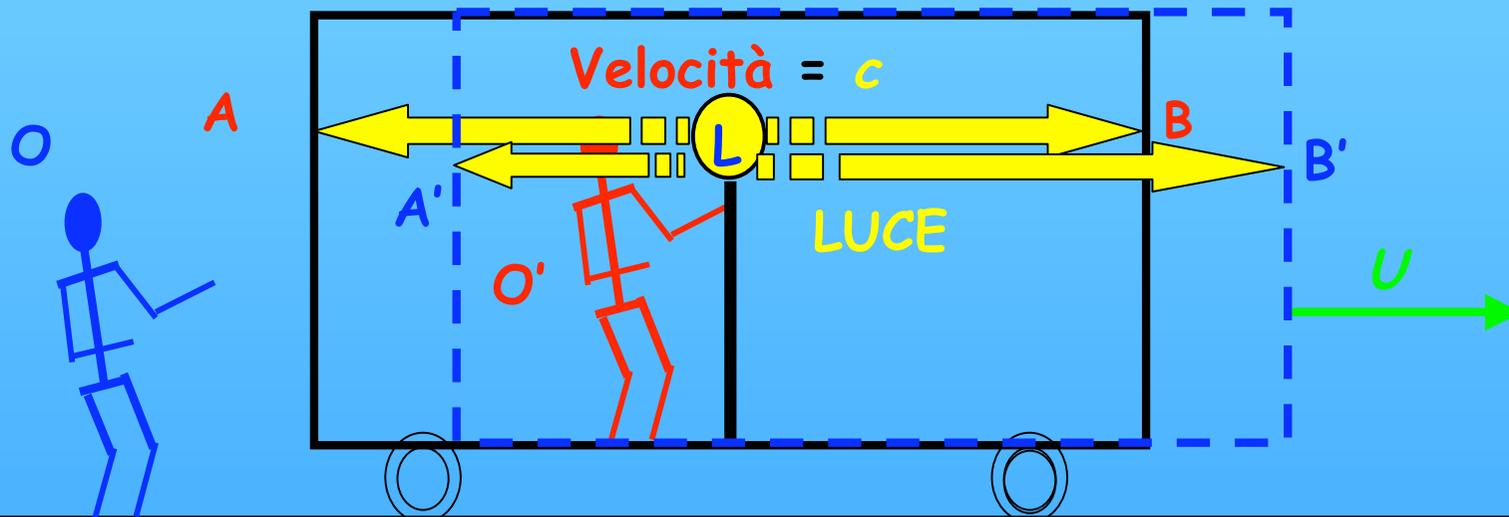
PRINCIPIO DI COSTANZA DELLA VELOCITA' DELLA LUCE: LA VELOCITA' DELLA LUCE NEL VUOTO E' LA STESSA PER TUTTI I SISTEMI INERZIALI, INDIPENDENTEMENTE DALLO STATO DI MOTO DELLA SORGENTE E DELL'OSSERVATORE





SIMULTANEITA' ADDIO

SE ACCETTIAMO IL PRINCIPIO DI RELATIVITA' E QUELLO DI COSTANZA DELLA VELOCITA' DELLA LUCE DOBBIAMO RIVEDERE IL CONCETTO DI SIMULTANEITA'



$LA=LB$ LA LUCE RAGGIUNGE LE PARETI SIMULTANEAMENTE

$LA' \neq LB'$ LA LUCE RAGGIUNGE PRIMA A' POI B'
IL CONCETTO DI SIMULTANEITA' E' RELATIVO!!!



IL TEMPO SI DILATA

SE IL CONCETTO DI SIMULTANEITA' E' RELATIVO DOBBIAMO RIVEDERE ANCHE IL CONCETTO DI TEMPO ASSOLUTO



$$\tau' = \tau_0 / (1 - U^2/c^2)$$

DILATAZIONE DEL TEMPO

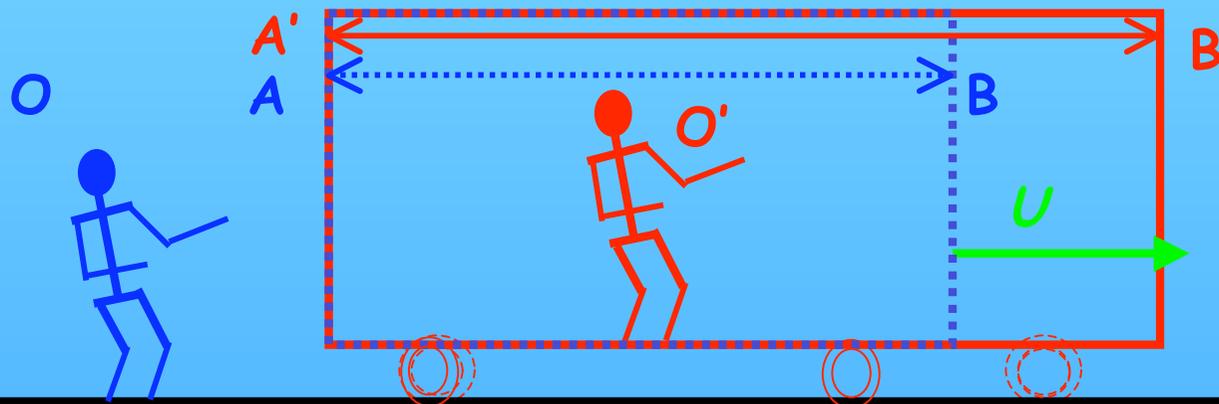
- L'OROLOGIO DI O BATTE τ_0 PER O
- L'OROLOGIO DI O' BATTE τ_0 PER O'
- L'OROLOGIO DI O' BATTE $\tau' > \tau_0$ PER O

$$\tau' = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}$$



LO SPAZIO SI CONTRAE

SE IL CONCETTO DI SIMULTANEITA' E' RELATIVO DOBBIAMO RIVEDERE ANCHE IL CONCETTO DI LUNGHEZZA



- IL VAGONE PER O E' LUNGO
 $L = AB < A'B' = L_0$ QUANTO VALE PER O'
- LE LUNGHEZZE SI CONTRAGGONO
NELLA DIREZIONE DEL MOTO

CONTRAZIONE DELLE
LUNGHEZZE

$$L' = L_0 \sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}$$



QUALCHE CALCOLO



CACCIA $V=3.600 \text{ Km/h} = 1.000 \text{ m/s} = 3,3 \times 10^{-6} c$

$$\tau = 1,000000000000056 \tau_0$$

$$L = 0,99999999999994 L_0$$



TERRA $V=108.000 \text{ Km/h} = 30 \text{ Km/s} = 1,0 \times 10^{-4} c$

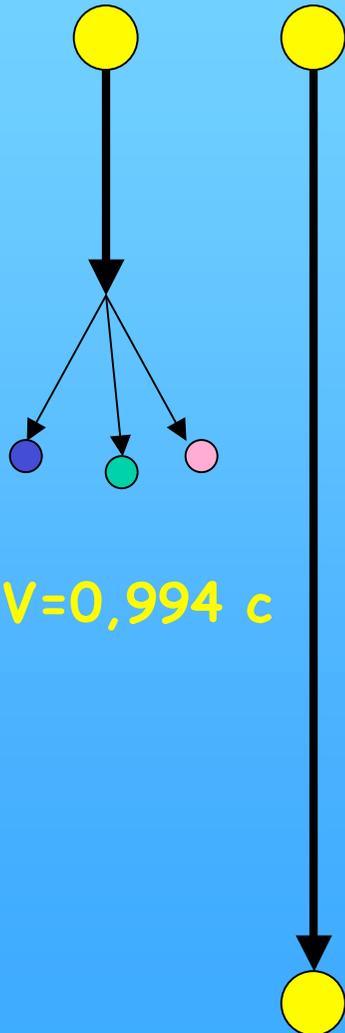
$$\tau = 1,0000000005 \tau_0$$

$$L = 0,9999999995 L_0 \quad \Delta L = 6 \text{ cm}$$

**PER VELOCITA' BASSE RISPETTO ALLA VELOCITA'
DELLA LUCE GLI EFFETTI RELATIVISTICI SONO
MOLTO PICCOLI**



LO STRANO CASO DEI MESONI MU



I MESONI MU SONO PARTICELLE CHE SI FORMANO NELL'ALTA ATMOSFERA IN SEGUITO AL BOMBARDAMENTO DEI RAGGI COSMICI. DECADONO SPONTANEAMENTE IN ELETTRONI E NEUTRINI CON UN TEMPO DI VITA MEDIO DI $2,2 \mu\text{s}$

$$S = 0,994c \times 2,2 \mu\text{s} = 650 \text{ m}$$

COME ARRIVANO AL LIVELLO DEL MARE?

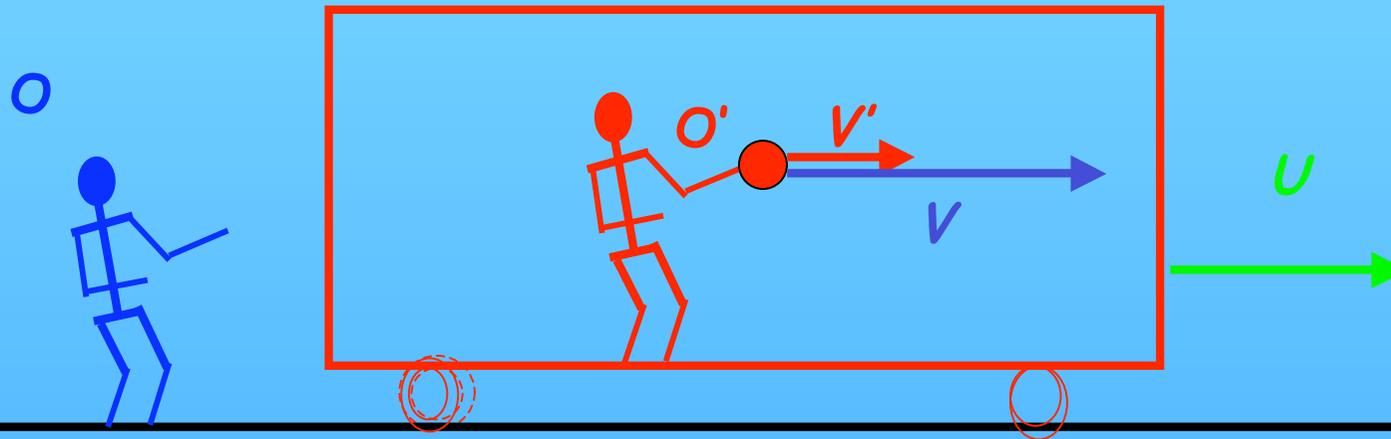
$$\tau = 9 \times 2,2 \mu\text{s} = 19,8 \mu\text{s}$$

$$S = 0,994c \times 19,8 \mu\text{s} = 5,9 \text{ Km}$$



UNO + UNO = UNO

COME SI ADDIZIONANO LE VELOCITA'?



GALILEO $V = V' + U$

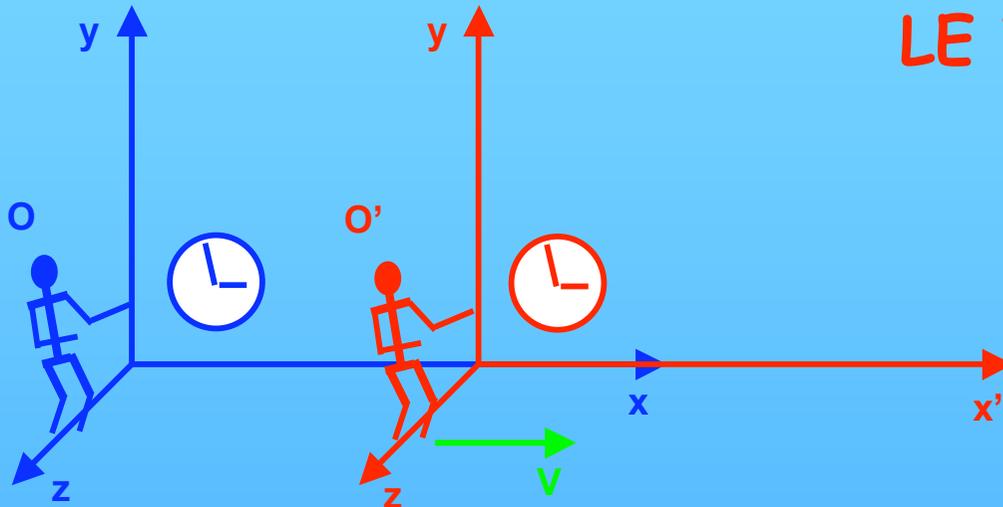
EINSTEIN $V = (V' + U)/(1 + V'U/c^2)$

PER $V' = c$ E $U = c$ SI OTTIENE $V = (c + c)/(1 + c^2/c^2) = 2c/2 = c$

LA VELOCITA' DELLA LUCE E' UN LIMITE INVALIDICABILE



LE TRASFORMAZIONI DI LORENTZ



LE TRASFORMAZIONI DI LORENTZ

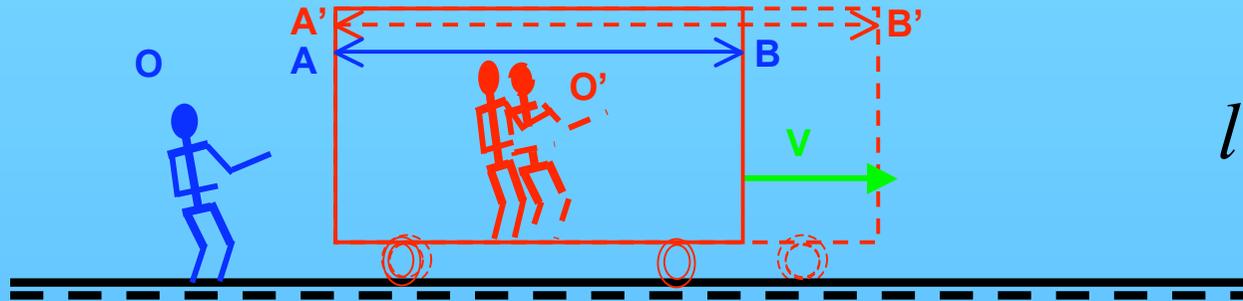
LEGGE DI ADDIZIONE DELLE VELOCITA'

$$v = \frac{v' + V}{1 + \frac{v'V}{c^2}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \end{array} \right.$$

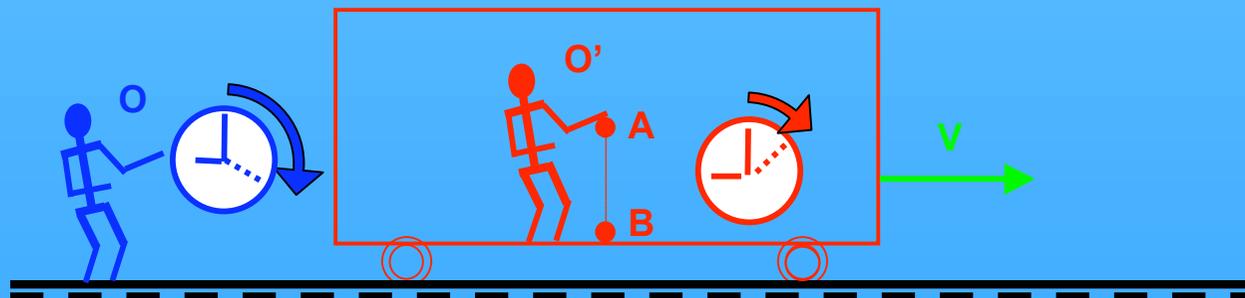


FENOMENI NOTEVOLI



$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

CONTRAZIONE DELLE LUNGHEZZE

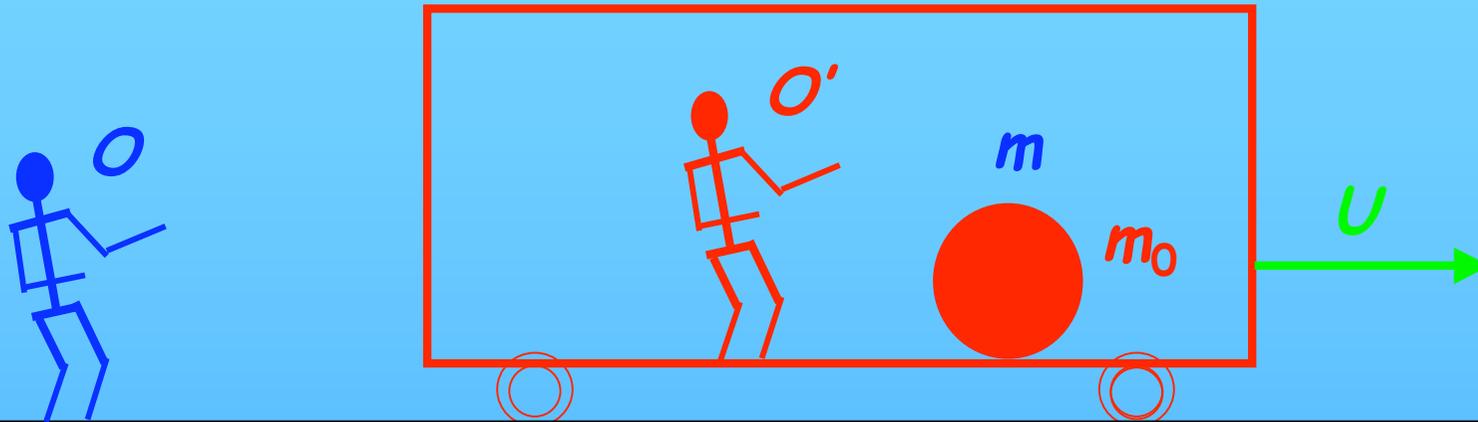


$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

DILATAZIONE DEI TEMPI



LA MASSA CAMBIA



AUMENTO DELLA MASSA INERZIALE

LA MASSA m RISULTA
MAGGIORE DELLA MASSA
A RIPOSO m_0

AUMENTO DELLA
MASSA

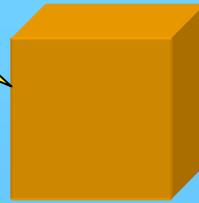
$$m = m_0 / (1 - U^2/c^2)$$



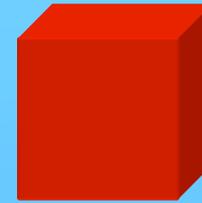
EUGUALEEMMECIQUADRO



m



ENERGIA



$m > m$

$$E = mc^2$$

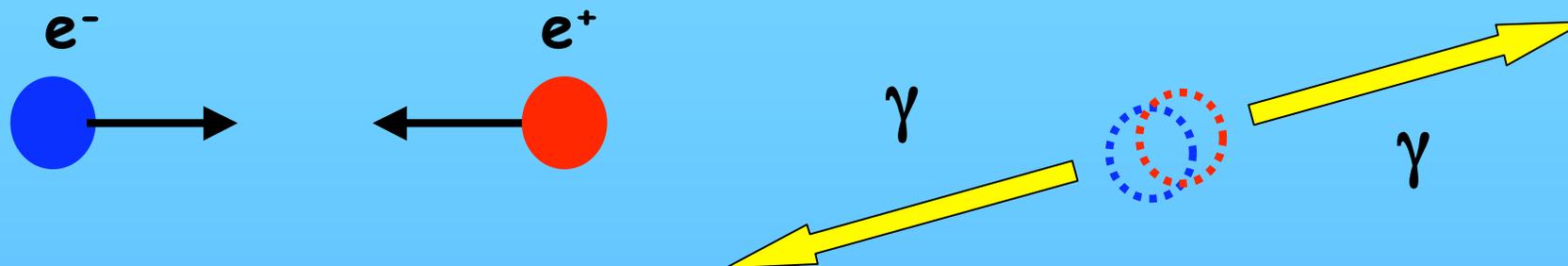
EQUIVALENZA MASSA-ENERGIA

SCALDIAMO 1 Kg DI H₂O DA 0 °C A 100 °C

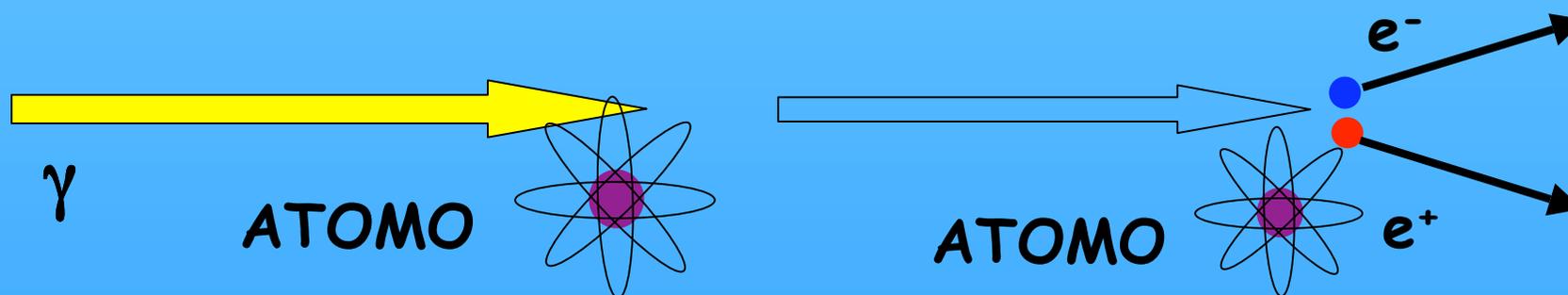
100.000 cal = 100 Kcal = 4,6 pg (MILL. MILIARD. DI g)



ANNICHILAZIONE E CREAZIONE



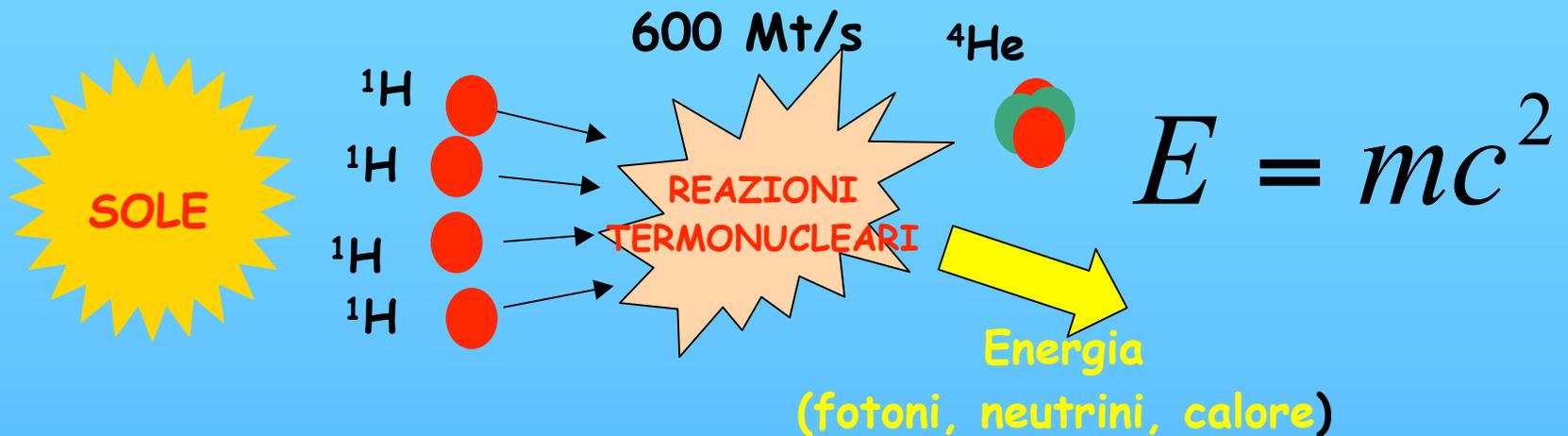
TRASFORMAZIONE MASSA \rightarrow ENERGIA



TRASFORMAZIONE ENERGIA \rightarrow MASSA



LA MASSA SI TRASFORMA IN ENERGIA



QUALCHE CALCOLO

Massa H $m_{\text{H}} = 1,672 \times 10^{-27} \text{ Kg} = 1,007276 \text{ uma}$

Massa He $m_{\text{He}} = 6,642 \times 10^{-27} \text{ Kg} = 4,001505 \text{ uma}$

$\Delta m = 4m_{\text{H}} - m_{\text{He}} = 0,68\% \quad 4m_{\text{H}} = 0,027599 \text{ uma} = 4,12 \times 10^{-12} \text{ J}$

Per 1 g di H si sviluppano $6,12 \times 10^{11}$ Joule

FABBISOGNO MEDIO DI UNA FAMIGLIA PER 15 ANNI



A.C.A. - GRUPPO TEORICO

***GRAZIE PER
L'ATTENZIONE!!!
DOMANDE?***



QUALCHE TITOLO

M. BORN "LA SINTESI EINSTEINIANA"

C. DURRELL "LA RELATIVITA' CON LE QUATTRO OPERAZIONI"

A. EINSTEIN "RELATIVITA' ESPOSIZIONE DIVULGATIVA"

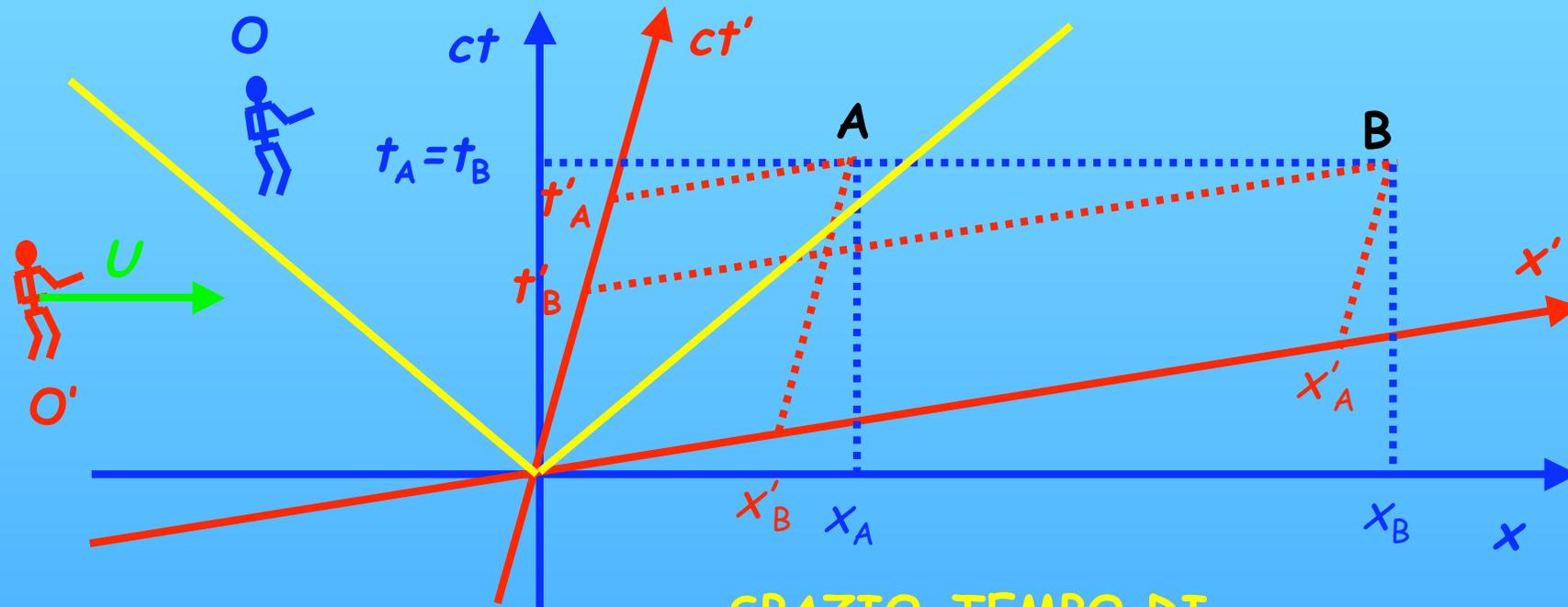
A. EINSTEIN "IL SIGNIFICATO DELLA RELATIVITA'"

A. EINSTEIN L. INFELD "L'EVOLUZIONE DELLA FISICA"

H. FRITZSCH "UNA FORMULA CAMBIA IL MONDO"



LO SPAZIO-TEMPO DI MINKOWSKI



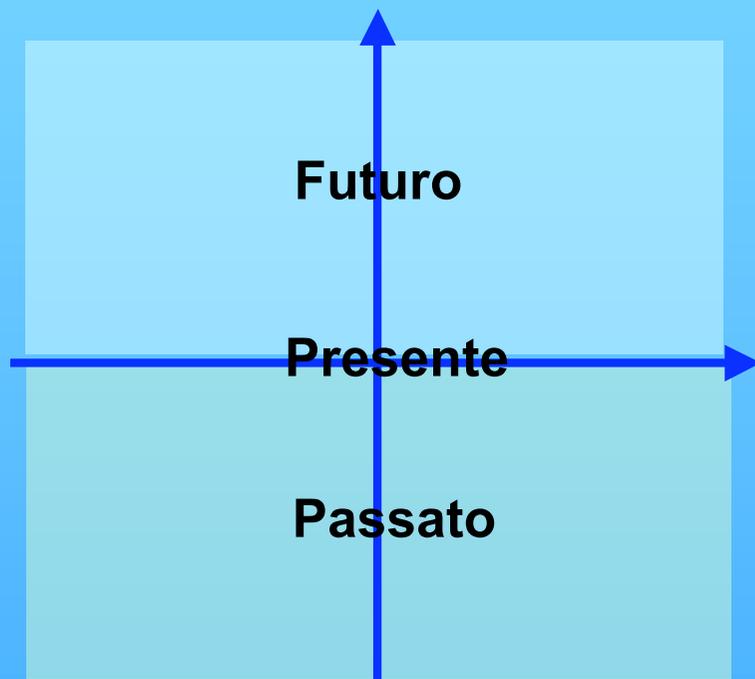
SPAZIO-TEMPO DI
MINKOWSKI

INTERVALLO

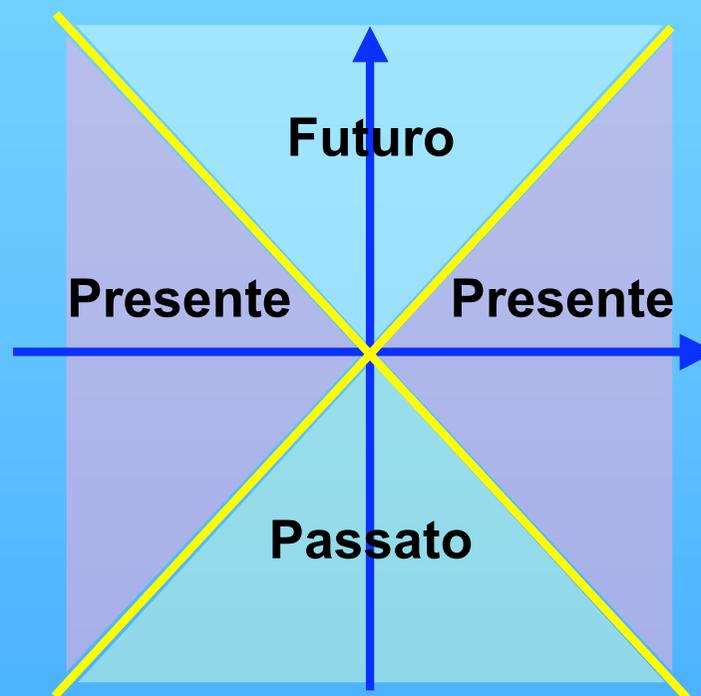
$$s^2 = (ct)^2 - x^2 - y^2 - z^2 = (ct')^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2$$



PASSATO, PRESENTE E FUTURO



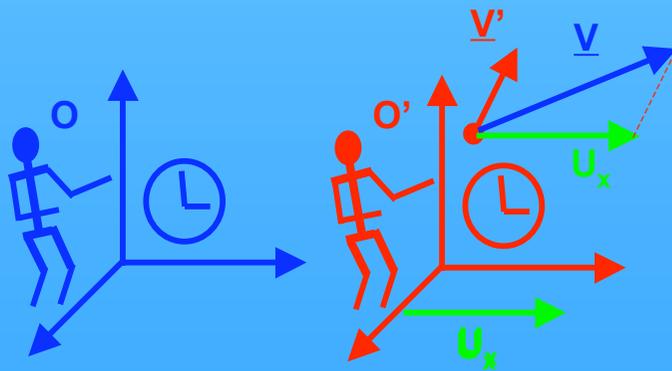
SPAZIO E TEMPO DI
NEWTON



SPAZIO-TEMPO DI
MINKOWSKI



RELATIVITA' RISTRETTA



$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$