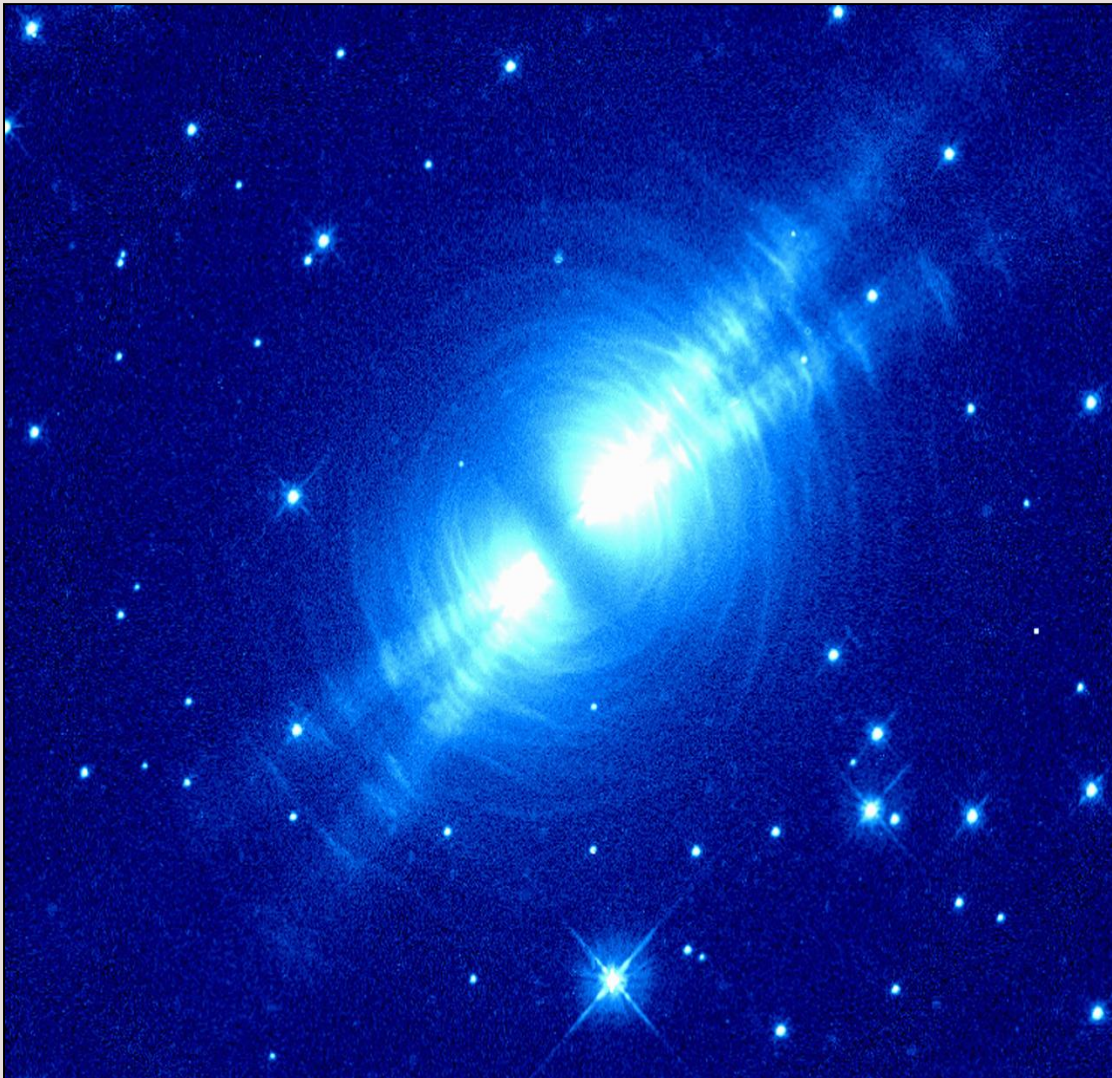




STORIA
DELLA
MISURA
DELLA
VELOCITA'
DELLA
LUCE

Perché?

La luce, ed in particolare la sua velocità, ha rappresentato un argomento di ricerca scientifica determinante per lo sviluppo della moderna visione dell'universo, tanto da rivoluzionare radicalmente la nostra comprensione della Natura fisica.

Come?

Scansione cronologica dei contenuti, con buon livello di approfondimento in rapporto alle conoscenze e alle competenze che ci si aspetta da un pubblico composto di studenti liceali.

A chi si rivolge?

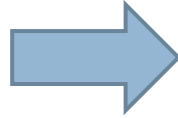
Questo percorso storico sulla velocità della luce è pensato e strutturato per una classe di liceo del V anno

Indice

1. La storia della misura della velocità della luce	La velocità della luce prima di Galileo
	Galileo insinua il dubbio
	Rømer e le eclissi di Io
	Bradley e l'aberrazione stellare
	Fizeau e la sua ruota dentata
	Maxwell e le sue equazioni
	Il metodo introdotto da Foucault
	L'esperimento di Michelson
	L'interferometro di Michelson e Morley
2. Le implicazioni di c	Gli esperimenti successivi
	E' finita!!!
	La ri-definizione del «metro»
3. Bibliografia	La velocità della luce è un invariante fisico

LA LUCE PRIMA DI GALILEO

$$c = \infty$$



PROPAGAZIONE
ISTANTANEA

Erone di Alessandria:

"quando apriamo gli occhi e guardiamo il cielo, non è necessario alcun intervallo di tempo perché i raggi visuali lo raggiungano, così come vediamo immediatamente le stelle, che, come è noto, sono a distanza infinita dalla Terra".

GALILEO INSINUA IL DUBBIO

1632: anno di pubblicazione de *Dialoghi sopra i due massimi sistemi del mondo*



Così scrive Galileo a proposito del ritardo con cui si ode lo sparo di un cannone rispetto al lampo dell'esplosione:

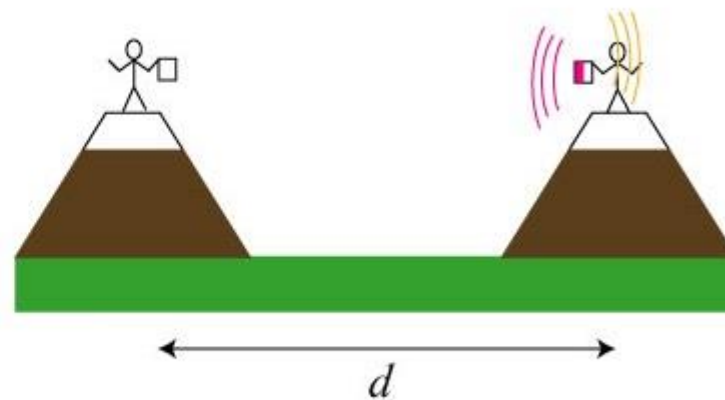
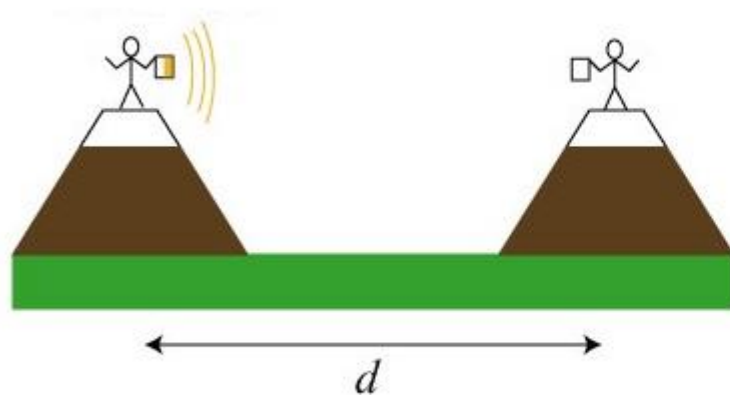
*"...da codesta notissima esperienza non si raccoglie altro se non che il suono si conduce al nostro udito in tempo men breve di quello che si conduce il lume; ma **non mi assicura se la venuta del lume sia per ciò istantanea** ...".*

L'ESPERIMENTO CON LE LANTERNE

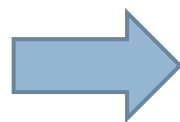
1638: Galileo pubblica a Leida (in Olanda) il trattato intitolato *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai moti locali*



Propone che la questione sulla velocità della luce potrebbe essere risolta mediante un **esperimento** che faccia uso di lanterne, telescopi e otturatori



1667: L'Accademia del Cimento di Firenze, partendo dai suggerimenti di Galileo, eseguì il primo vero esperimento per misurare la velocità della luce



$$c = \frac{2d}{t}$$

Facciamo due conti, col senno di poi...

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \quad e \quad d = 1000 \text{ m}$$

$$c = \frac{2d}{t} \quad \Rightarrow \quad t = \frac{2d}{c} = \frac{2 \times 1000 \text{ m}}{299\,792\,458 \text{ m/s}} = 6.7 \times 10^{-6} \text{ s}$$

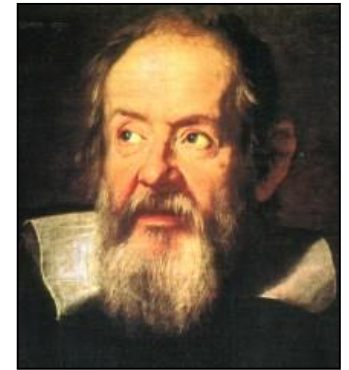
$$\Rightarrow \quad t = 0.0000067 \text{ s} \quad \ll \quad \begin{array}{l} \text{tempo medio di reazione} \\ \text{umana} \cong 0.2 \text{ s} \end{array}$$



Filippo III di Spagna (1578 - 1621) offrì un premio per un metodo per la determinazione della longitudine di una nave in mare aperto

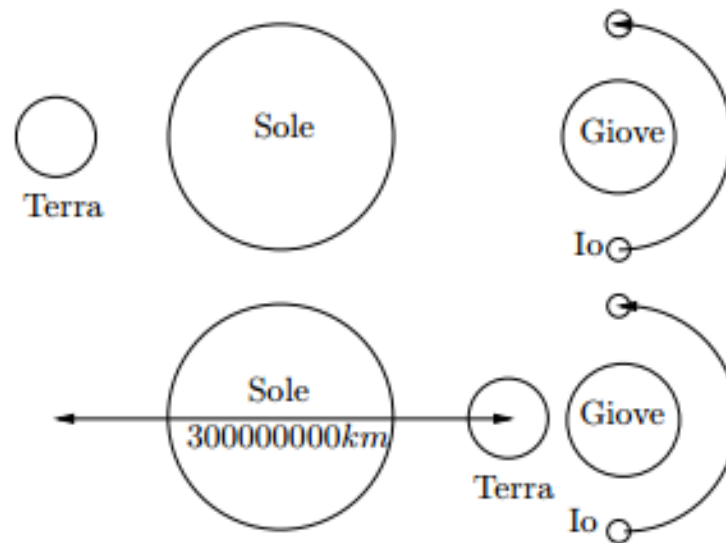


Galileo propose un metodo per stabilire l'ora e, di conseguenza, la longitudine, basandosi sui tempi delle eclissi delle lune di Giove

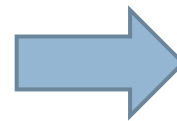


Dopo aver studiato il problema a Copenaghen, Rømer si recò all'osservatorio di Uraninborg, sull'isola di Hven, vicino a Copenaghen, nel 1671. Dopo diversi mesi, Jean Picard e Rømer osservarono circa 140 eclissi della luna di Giove, Io, mentre a Parigi, Giovanni Cassini, osservava le stesse eclissi. Confrontando i tempi delle eclissi, fu calcolata la differenza di longitudine tra Parigi e Uraninborg.

1676 RØMERE LE ECLISSI DI IO

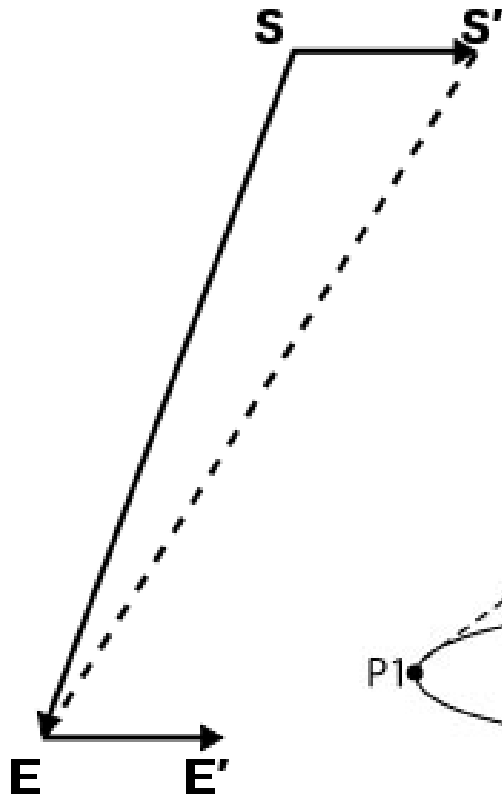


Ritardo = 22 minuti
Diam. Orb. Terr. $\cong 2000000000\text{ Km}$
(allora misurato)



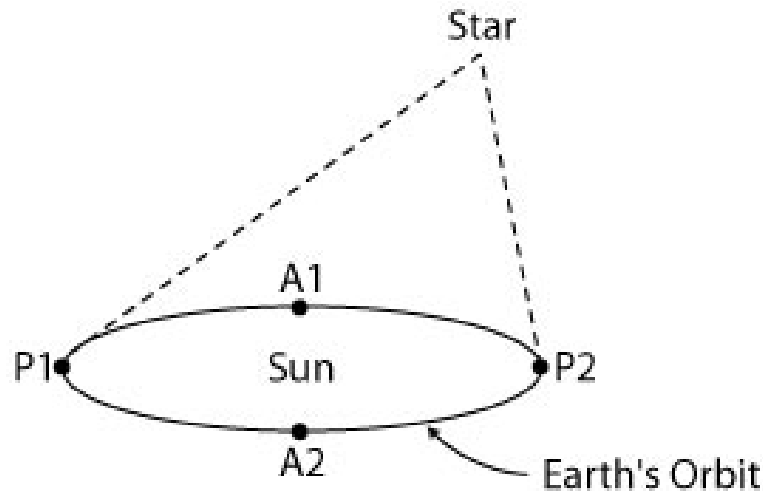
$$c \cong 200\,000\text{ Km/s}$$

1728 BRADLEY E L'ABERRAZIONE STELLARE



spostamento apparente delle stelle sulla volta celeste, dovuta al moto di rivoluzione della Terra e al fatto che la velocità della luce è finita

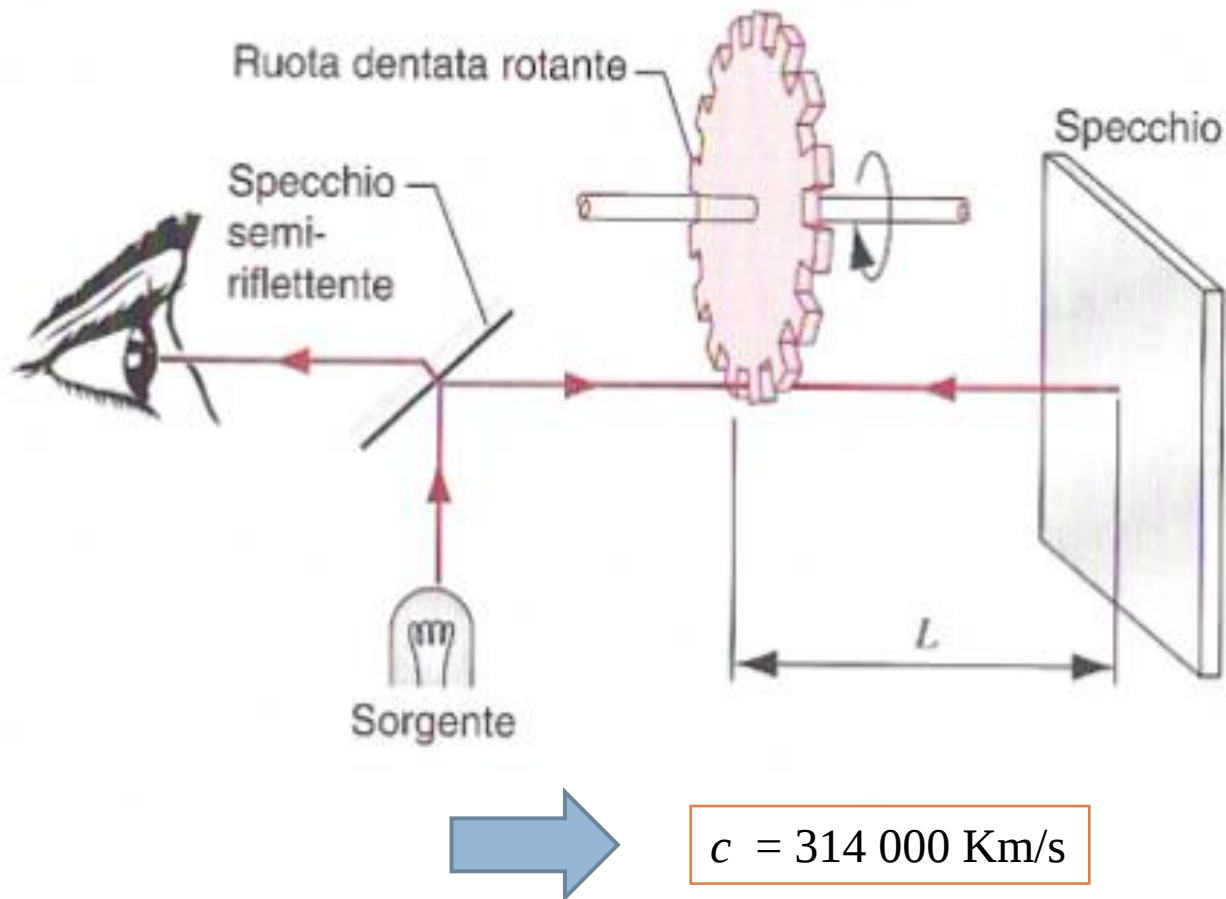
$$c = \frac{v}{\tan \alpha}$$



dove v è la velocità di rivoluzione della Terra, pari a $\cong 30 \text{ Km/s}$ e α è l'angolo di aberrazione, ovvero l'angolo compreso tra il punto in cui apparentemente si trova una stella, l'osservatore e la vera posizione della stella

$$c = 301\,000 \text{ km/s}$$

1849 FIZEAU E LA SUA RUOTA DENTATA



$$c = \frac{2L \cdot v}{d}$$

c = velocità della luce

L = distanza tra ruota e specchio (= **8,633 Km**)

v = velocità tangenziale della ruota

d = distanza tra due denti della ruota

1865 MAXWELL E LE SUE EQUAZIONI

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 4\pi k \rho$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

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

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

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

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{\vec{J}}{\epsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

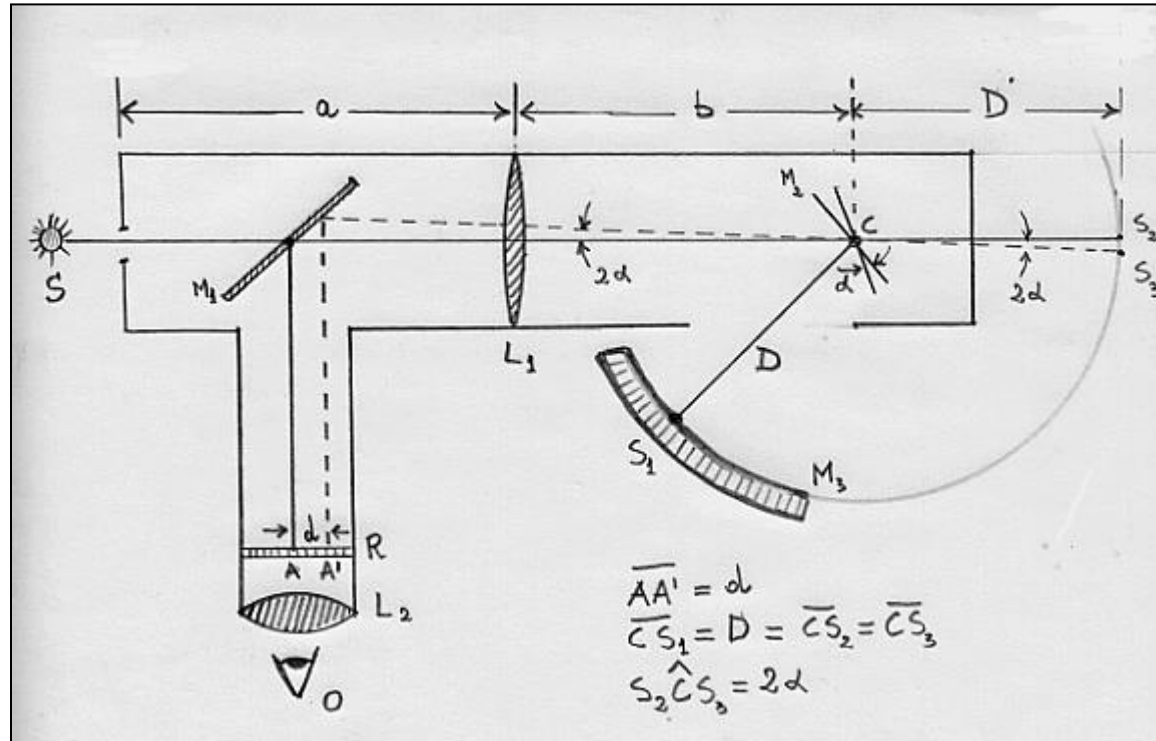
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Le equazioni di Maxwell predicono la formazione di onde elettromagnetiche che viaggiano nel vuoto ad una velocità costante definita dalla seguente relazione:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

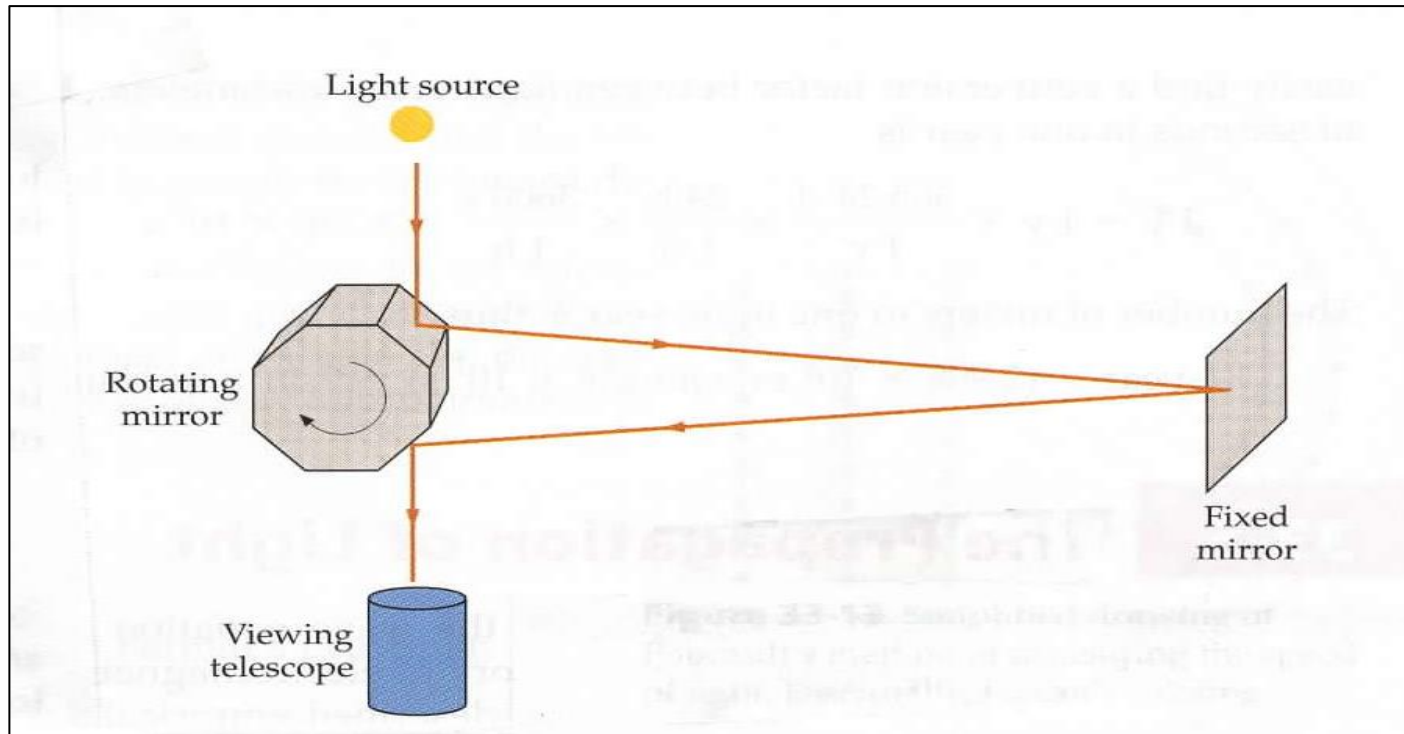
e la luce è proprio un'oscillazione elettromagnetica.

1875 IL METODO INTRODOTTO DA FAUCOULT



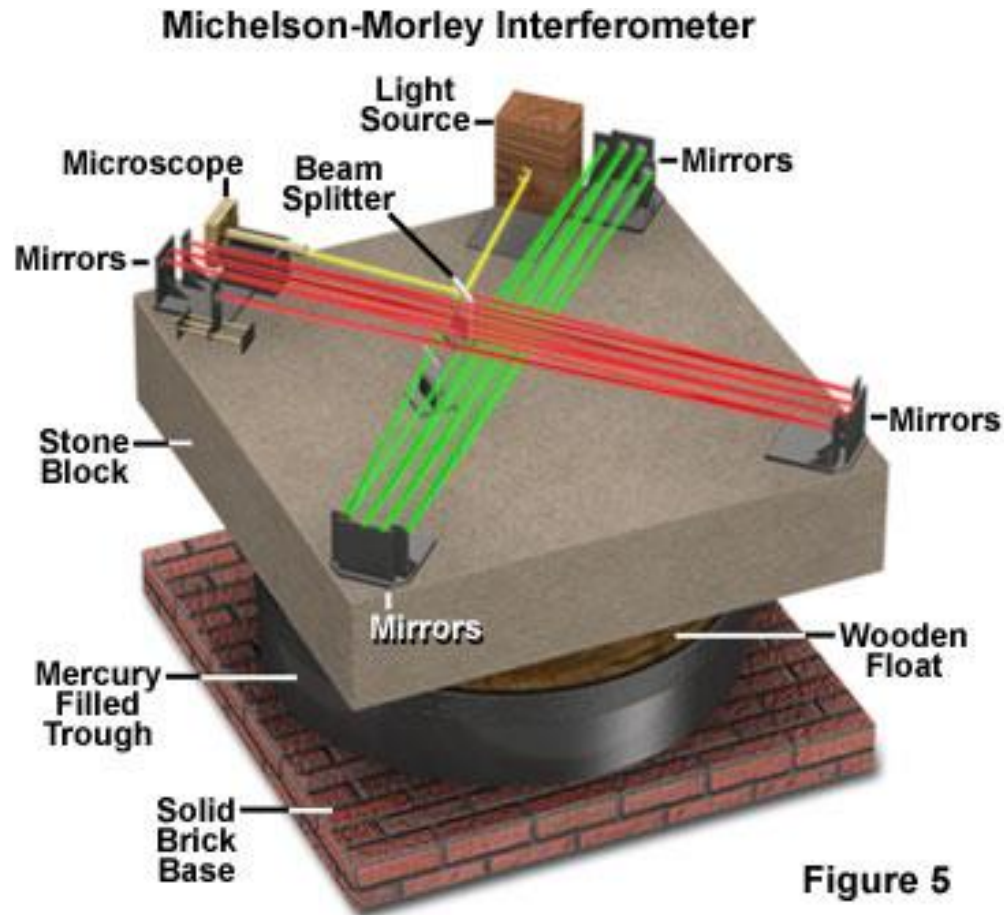
Prima volta che si poté eseguire la misurazione della velocità della luce dentro un laboratorio.

1878 L'ESPERIMENTO DI MICHELSON CON LO SPECCHIO ROTANTE



$$c = 299\,792 \text{ km/s}$$

1887 L'INTERFEROMETRO DI MICHELSON-MORLEY



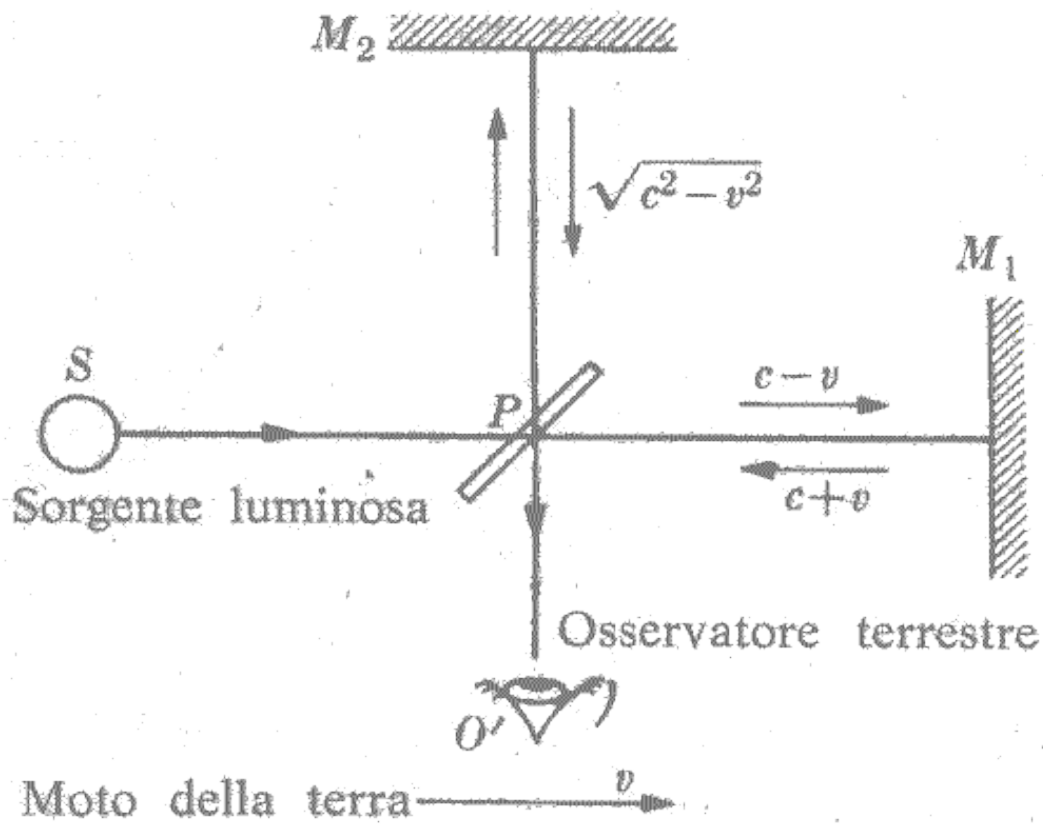
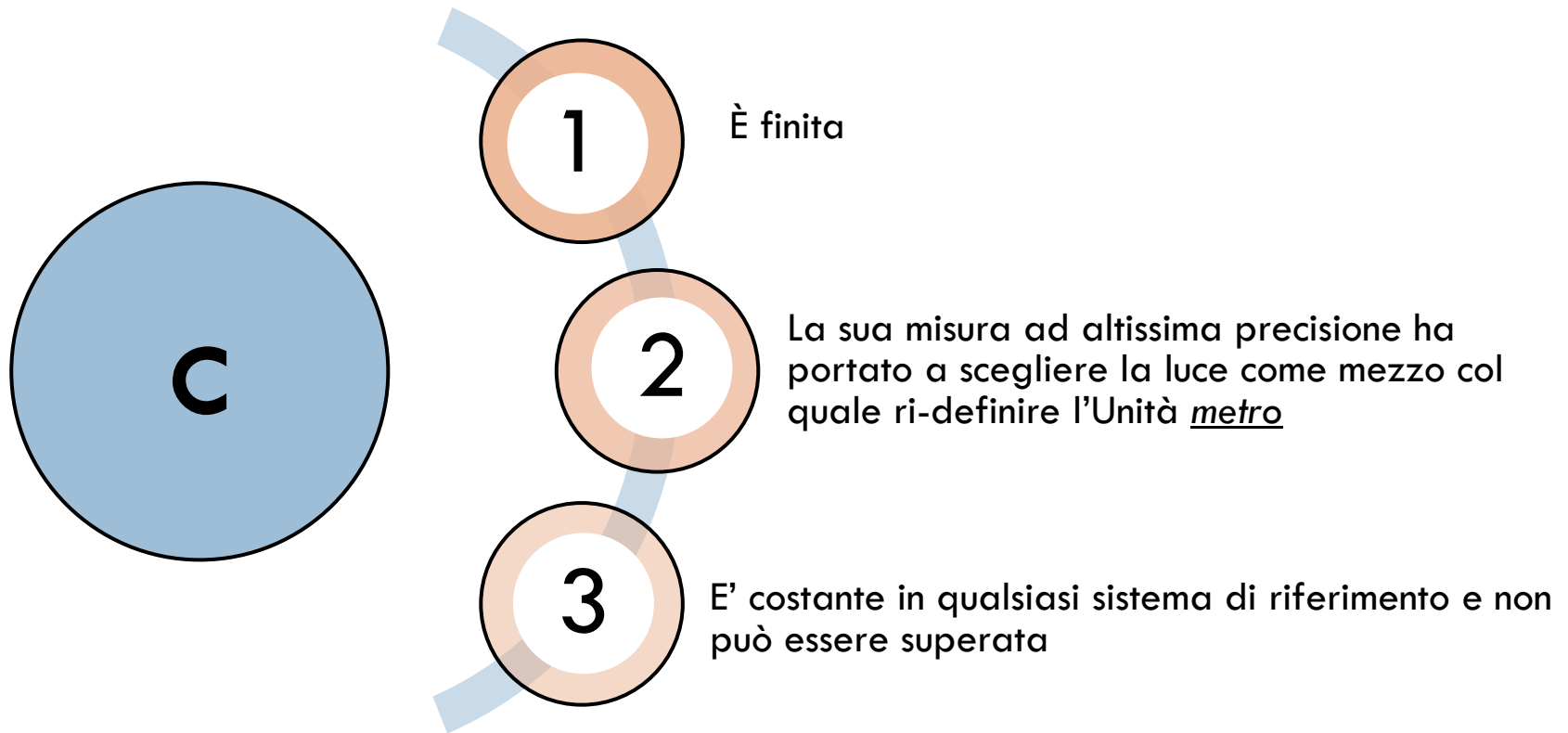


TABELLA RIASSUNTIVA DELLE MISURAZIONI DELLA VELOCITÀ DELLA LUCE

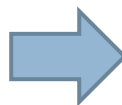
Data	Autore	Metodo e strumentazione sperimentali	Velocità (10^8 m/s)	Incertezza (m/s)
1600	Galileo	Lanterns and shutters	"Fast"	?
1676	Roemer	Moons of Jupiter	2,14	?
1729	Bradley	Aberration of Light	3,08	?
1849	Fizeau	Cog Wheel	3,14	?
1879	Michelson	Rotating mirror	2,9991	75000,0
	Michelson	Rotating mirror	2,99798	22000,0
1950	Essen	Microwave cavity	2,997925	1000,0
1958	Froome	Interferometer	2,997925	100,0
1972	Evenson et al.	Laser Method	2,997924574	1,1
1974	Blaney et. al	Laser Method	2,99792459	0,6
1976	Woods et al.	Laser Method	2,997924588	0,2
1983			2,99792458	0,0

LE IMPLICAZIONI DI C

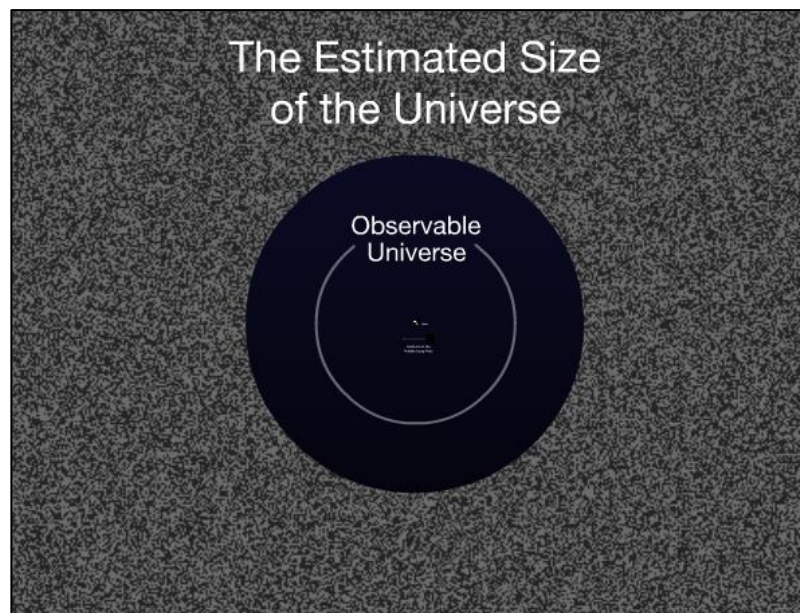


1. E' FINITA!!!

c finita e età finita dell'universo



UNIVERSO OSSERVABILE



In cosmologia, quella particolare branca dell'astrofisica che studia l'universo nella sua globalità, fare geografia significa anche fare storia: lo spazio delle tre dimensioni e il tempo sono resi inscindibili dalla finitezza della velocità della luce. Dobbiamo necessariamente fare i conti con una nuova entità, lo spazio-tempo quadridimensionale. Possiamo conoscere il cosmo solo in differita.

2. RI-DEFINIZIONE DEL «METRO»

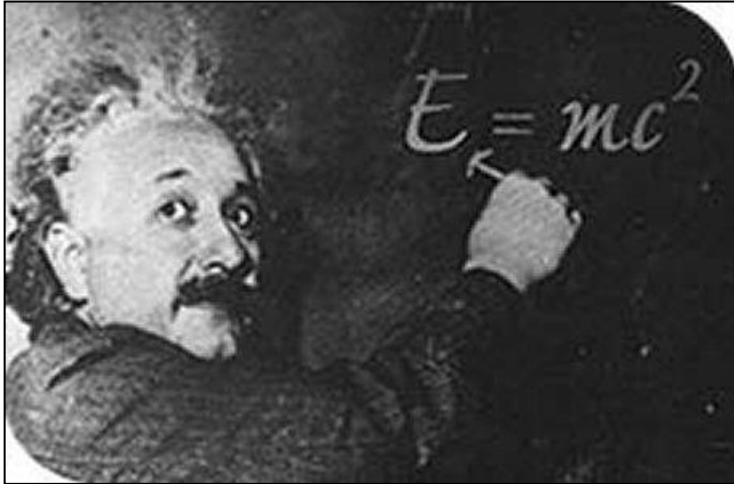
1791, stabilita dall'Accademia delle scienze francese come $1/10\,000\,000$ della distanza tra polo nord ed equatore, lungo la superficie terrestre, calcolata sul meridiano di Parigi.

L'incertezza nella misurazione della distanza portò il Bureau international des poids et mesures (BIPM) a ridefinire nel 1889 il metro come la distanza tra due linee incise su una barra campione di [platino](#)-iridio conservata a Sèvres presso Parigi.

Nel 1960, con la disponibilità dei laser, l'undicesima Conferenza generale di pesi e misure cambiò la definizione del metro in: la lunghezza pari a $1\,650\,763,73$ lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione fra i livelli $2p^{10}$ e $5d^5$ dell'atomo di kripton-86.

Nel 1983 la XVII Conferenza generale di pesi e misure definì il metro come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in $1/299\,792\,458$ di secondo (ovvero, la velocità della luce nel vuoto venne definita essere $299\,792\,458$ metri al secondo). Poiché si ritiene che la velocità della luce nel vuoto sia la stessa ovunque, questa definizione è più universale della definizione basata sulla misurazione della circonferenza della Terra o della lunghezza di una specifica barra di metallo e il metro campione può essere riprodotto fedelmente in ogni laboratorio appositamente attrezzato. L'altro vantaggio è che può essere misurato con precisione superiore rispetto alla circonferenza terrestre o alla distanza tra due punti.

3. LA VELOCITÀ DELLA LUCE È UN INVARIANTE FISICO



RELATIVITA' RISTRETTA

Postulato n.1: le leggi meccaniche, elettromagnetiche e ottiche sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Postulato n.2: la luce si propaga nel vuoto a velocità costante c indipendente dallo stato di moto della sorgente o dell'osservatore.

REINTERPRETAZIONE
DEL CONCETTO DI
SIMULTANEITA'



DILATAZIONE DEI
TEMPI E
CONTRAZIONE DELLE
LUNGHEZZE



EQUIVALENZA MASSA-
ENERGIA

$$E = mc^2$$

BIBLIOGRAFIA

- Halliday, D., R. Resnick, and J. Walker. *Fundamentals of Physics*, New York: John Wiley & Sons, 1993
- Michelson, A. *Experimental Determination of the Velocity of Light*, Minneapolis: Lund Press, 1964
- Dispense del Corso di *Storia della Fisica* del Professore Dal Piaz del Dipartimento di Fisica dell'Università di Ferrara
- L. Lovitch, S. Rosati, *Fisica Generale*, Casa Editrice Ambrosiana, 1996
- J. S. Walker, *Fisica*, Vol. III, Zanichelli
- B. W. Carroll, D. A. Ostlie, *An Introduction to modern Astrophysics*, Pearson International Edition