

# La ricerca in fisica oggi : campi, metodi, strumenti e applicazioni

**La Fisica a fine ottocento**

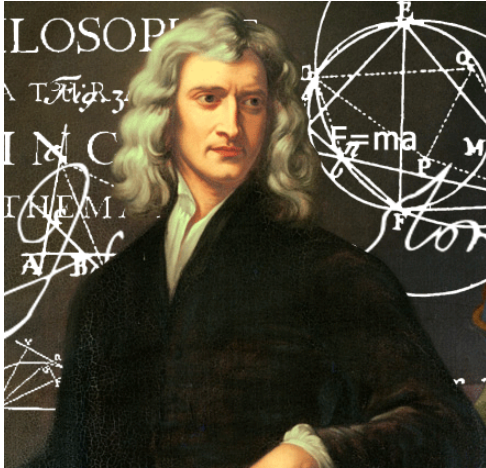
**La rivoluzione della Fisica nel primo novecento**

**La ricerca in Fisica oggi**

**Le ricadute tecnologiche**

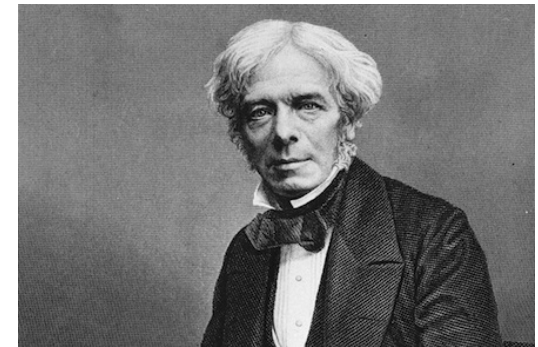
Prof. Settimio Mobilio  
Dipartimento di Scienze  
Università Roma Tre

# La Fisica a fine ottocento



## Tre grandi impianti:

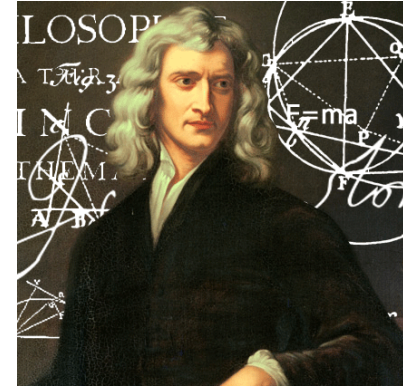
- Meccanica classica
- Elettromagnetismo
- Termodinamica



## Meccanica newtoniana



$$\vec{F} = m\vec{a}$$



$$\vec{F} = m\vec{a}$$

F è la risultante delle forze “reali”

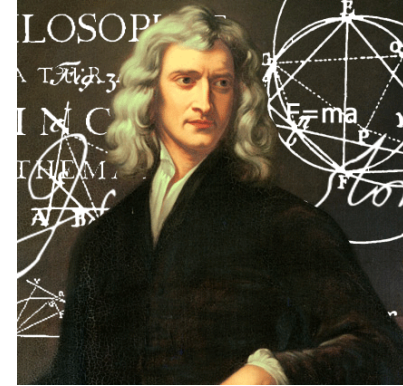
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Principio di azione e reazione

## Meccanica newtoniana



$$\vec{F} = m\vec{a}$$



È una legge universale che vale in tutti i sistemi di riferimento sia inerziali sia non inerziali

**Nei sistemi inerziali le forze originano solo da interazioni tra corpi**

Nei sistemi non inerziali le forze originano anche dal moto accelerato

**Consente di prevedere il moto degli oggetti note le forze agenti su di essi → progettazione**

James Clerk Maxwell  
1831 - 1879



## Campo elettromagnetico Equazioni di Maxwell

$$\nabla \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

*"A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field"*  
Royal Society of London (1864)



$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \Leftrightarrow \Phi_c(\vec{E}) = \frac{Q_i}{\epsilon_0}$$

**Teorema di Gauss**

**Induzione elettromagnetica**

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \Leftrightarrow f_i = -\frac{d\Phi(\vec{B})}{dt}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \Leftrightarrow \Phi_c(\vec{B}) = 0$$

**Non esistono sorgenti isolate del campo B  
Le linee di forza sono linee chiuse**

**Il campo B è non conservativo  
E' generato dalla corrente di  
conduzione e dalla corrente di  
spostamento**

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 i_c + \mu_0 i_s$$



Equazione delle onde elettromagnetiche

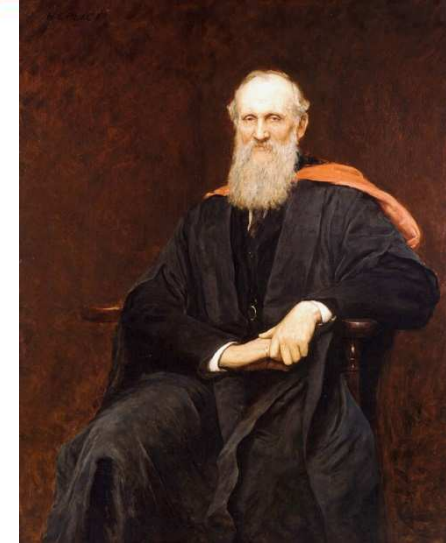
$$\frac{d^2 E}{dx^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{d^2 E}{dt^2}$$

**Velocità di propagazione eguale a**

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



**La luce è un'onda  
elettromagnetica**



**I Principio della Termodinamica**  
**Conservazione dell'energia in tutte le sue forme**

**II Principio della Termodinamica**  
**In un sistema isolato i fenomeni naturali avvengono**  
**in una direzione che non è possibile invertire**



## **La Relatività - A. Einstein**

**1905 Ristretta (Annus Mirabilis)**

**1916 Generale**

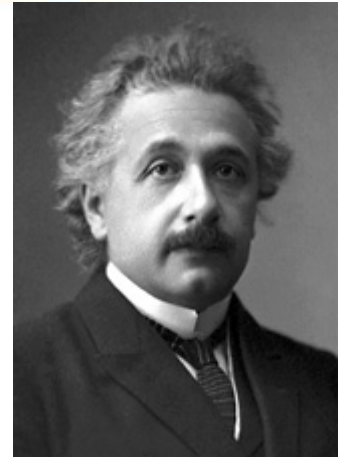
## **La Meccanica Quantistica**

**1900 – 1913 Planck, Einstein, Bohr**

**1923 – 1930 De Broglie, Heisenberg, Schrodinger, Dirac**

**1948 Feynmann**

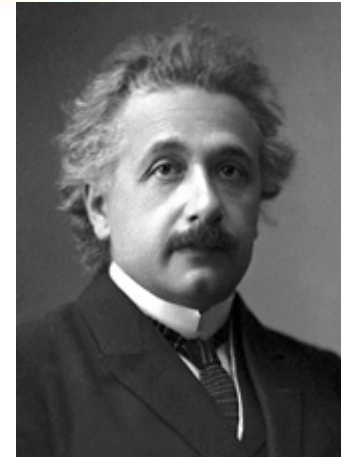
## Cosa abbiamo imparato da Einstein



- Teoria del moto browniano  
*“Sulla teoria cinetico-molecolare del movimento di particelle sospese in liquidi a riposo dovuto al calore (1905)”*
- **Effetto fotoelettrico e concetto di quanto di luce (1905)**
- Teoria della Relatività Ristretta (1905)
- Teoria della Relatività Generale (1915-1916)
- Basi teoriche del funzionamento dei laser (1917)  
*“Zur Quantentheorie der Strahlung” (1917)*

## Cosa abbiamo imparato da Einstein

The Nobel Prize in Physics 1921 was awarded to A. Einstein *"for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect"*.



### ■ Contributo metodologico

La metodologia che è alla base della relatività ristretta è alla base di quello che fu chiamato l' "operazionismo" (o critica operativa) da Percy Williams Bridgman (1882-1961) nella "La logica della Fisica Moderna" (1927) "nella fisica devono entrare in gioco solo quelle grandezze che si possono definire in base al **metodo con il quale possono essere osservate o misurate sperimentalmente**"

**Questo su tutti i concetti anche di tempo e di spazio.**

## Operazionismo

Particolare dottrina metodologica, i cui principi fondamentali hanno avuto la prima esplicita formulazione nell'opera del fisico americano Percy William Bridgman: *The logic of modern physics*, New York 1927.

Si tratta di un punto di vista più o meno implicito in tutta la prassi scientifica moderna, da Galileo in poi, come pure nelle tesi di filosofi empiristi, positivisti e pragmatisti della stessa epoca, ma tale che una diffusa consapevolezza al riguardo risulta acquisita da meno di un secolo. L'idea-base dell'o., chiaramente esemplificata, secondo Bridgman, dalla relatività einsteiniana e dalle nuove definizioni ("operative") ivi suggerite delle nozioni di lunghezza, durata, simultaneità, nonché da analoghi aspetti della meccanica quantistica e della termodinamica, è che **"i concetti scientifici sono sinonimi dei corrispondenti insiemi di operazioni"**

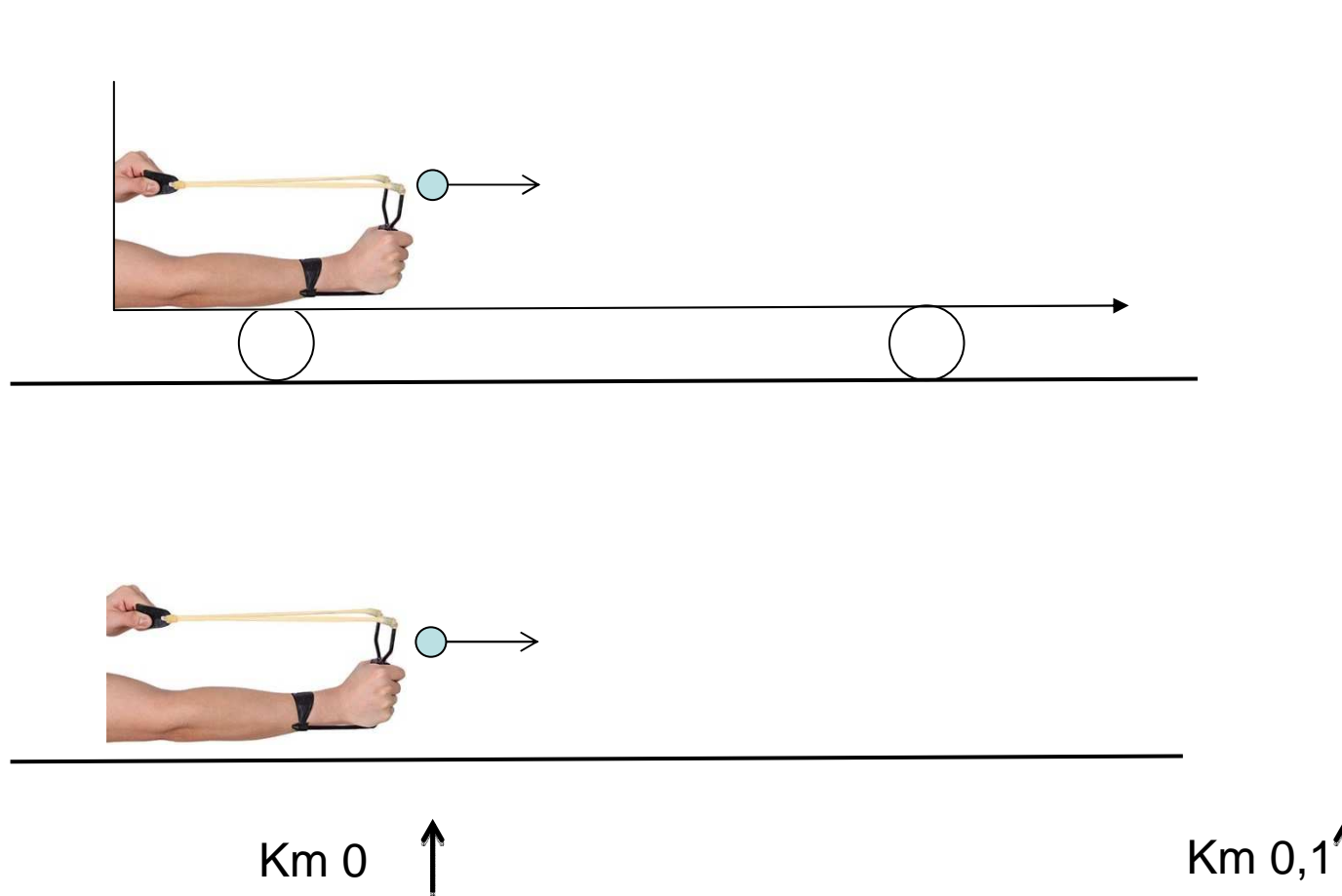
## Assioma 1

**Le leggi della Natura hanno la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento inerziali**

## Assioma 2

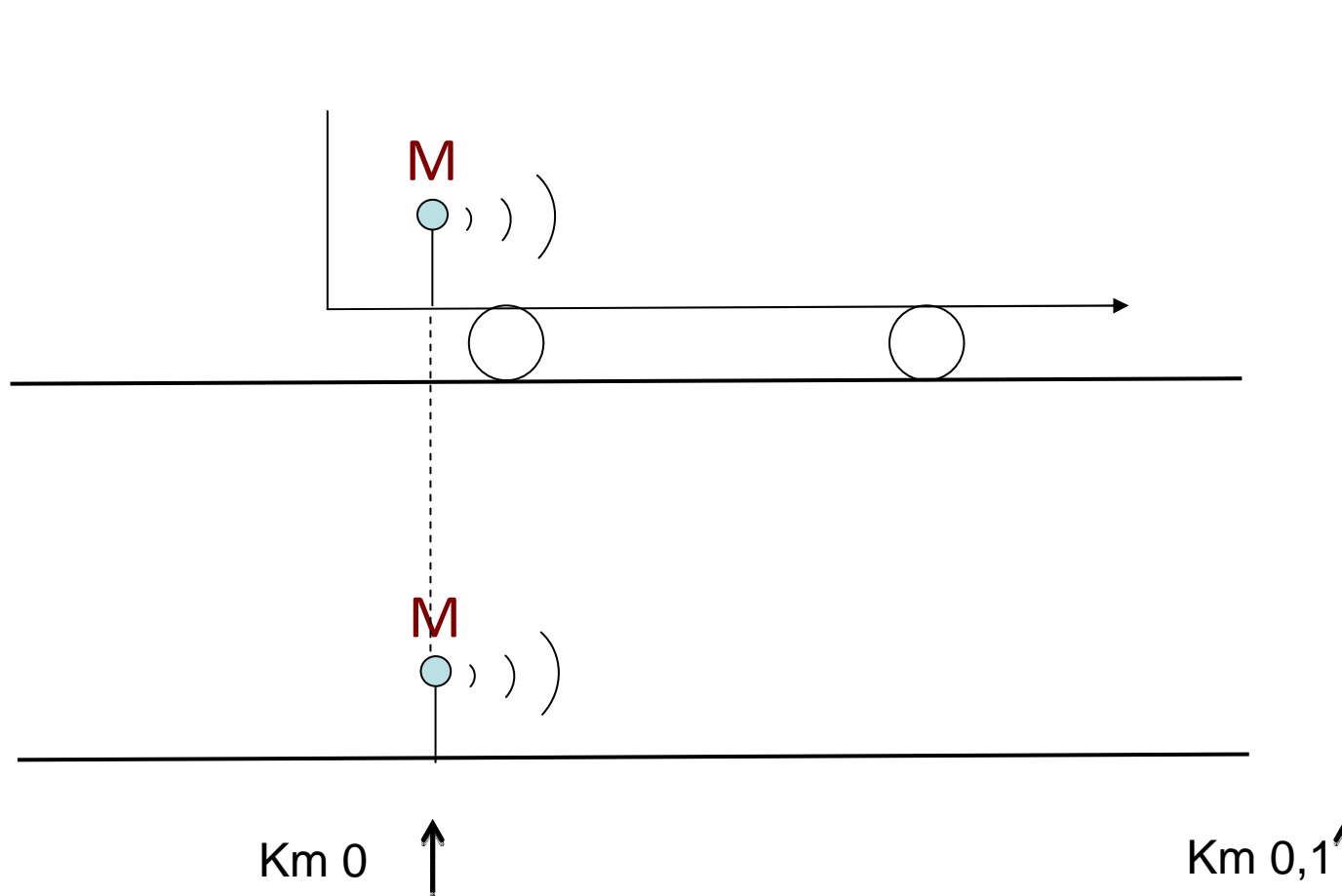
**La velocità della luce è la stessa in tutti i sistemi di riferimento**

# Relatività Ristretta: il tempo e la simultaneità



**Quale dei due  
sassi colpisce  
prima il muro?**

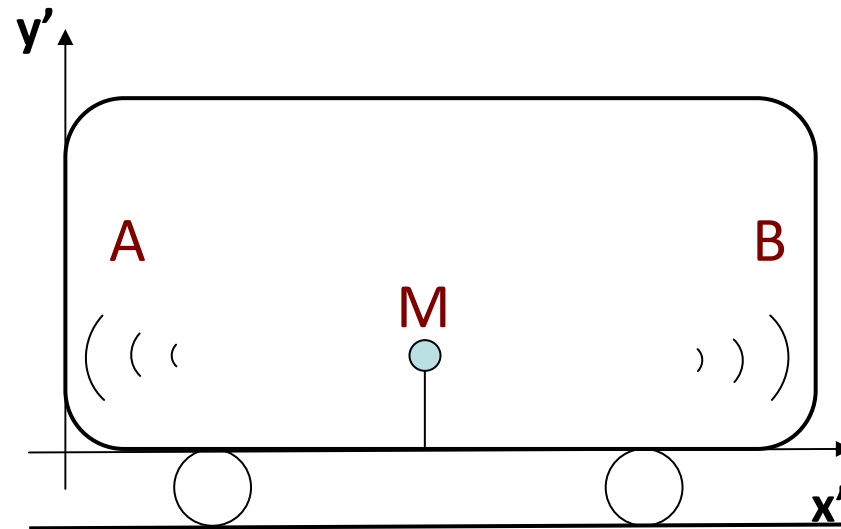
# Relatività Ristretta: il tempo e la simultaneità



**Quale dei due  
fasci arriva prima  
sullo schermo ?**

## La simultaneità di due eventi è relativa

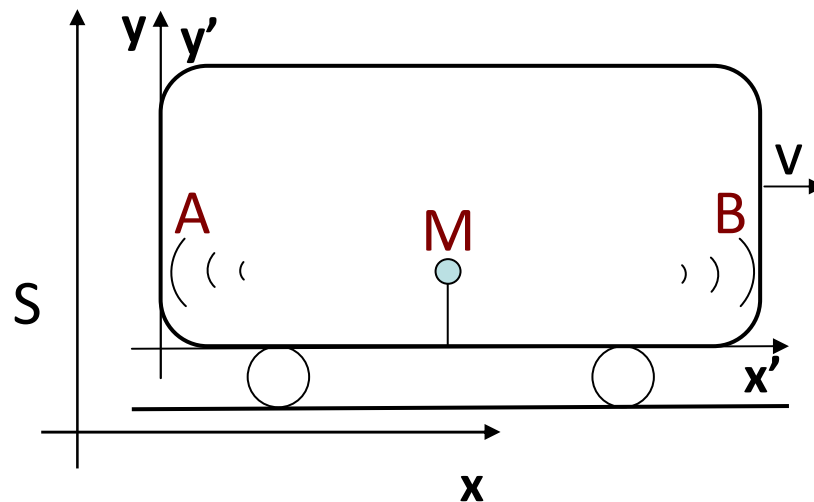
I due fasci raggiungono contemporaneamente le pareti  
A e B all'istante  $t'_A = t'_B$



$$t'_A = t'_B = \frac{L'}{2c}$$



# Relatività Ristretta: il tempo e la simultaneità



$$x_{\text{luce}} = \frac{L}{2} - ct$$

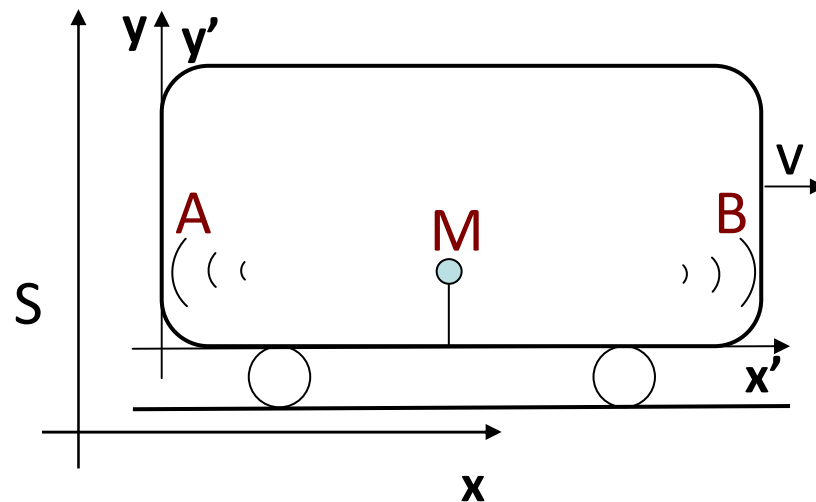
$$x_{\text{parete A}} = vt$$

$$x_{\text{luce}} = x_{\text{parete A}}$$



$$t_A = \frac{L/2}{c+v}$$

# Relatività Ristretta: il tempo e la simultaneità



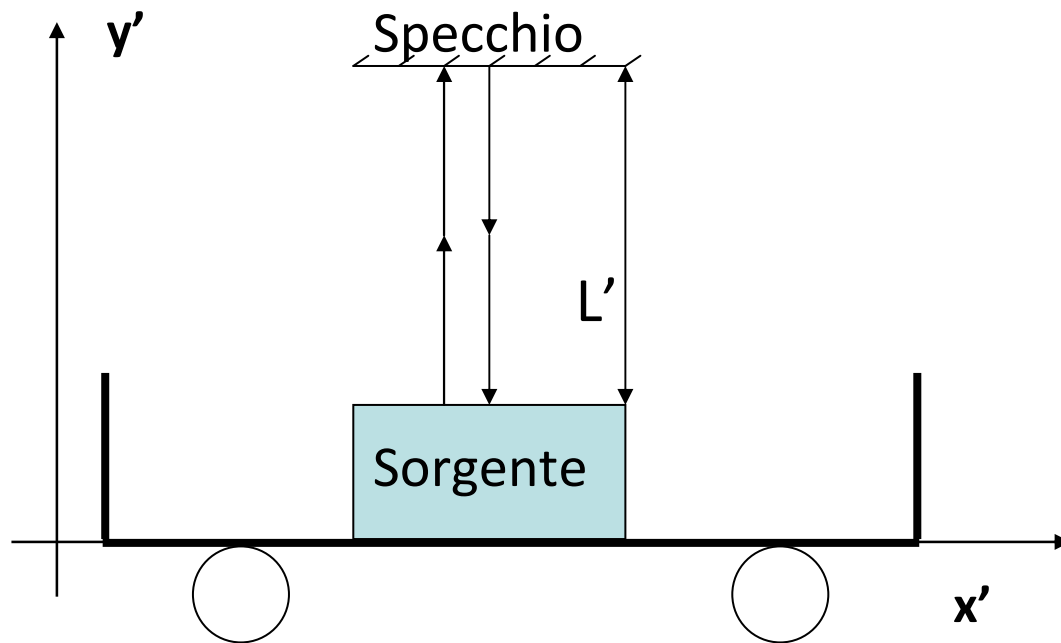
Per l'osservatore  $S$  il fascio arriva  
in  $A$  all'istante  $t_A$

$$t_A = \frac{L/2}{c+v}$$

Analogamente si dimostra che  
per l'osservatore  $S$  il fascio  
arriva in  $B$  all'istante  $t_B$

$$t_B = \frac{L/2}{c-v}$$

## Orologio a luce

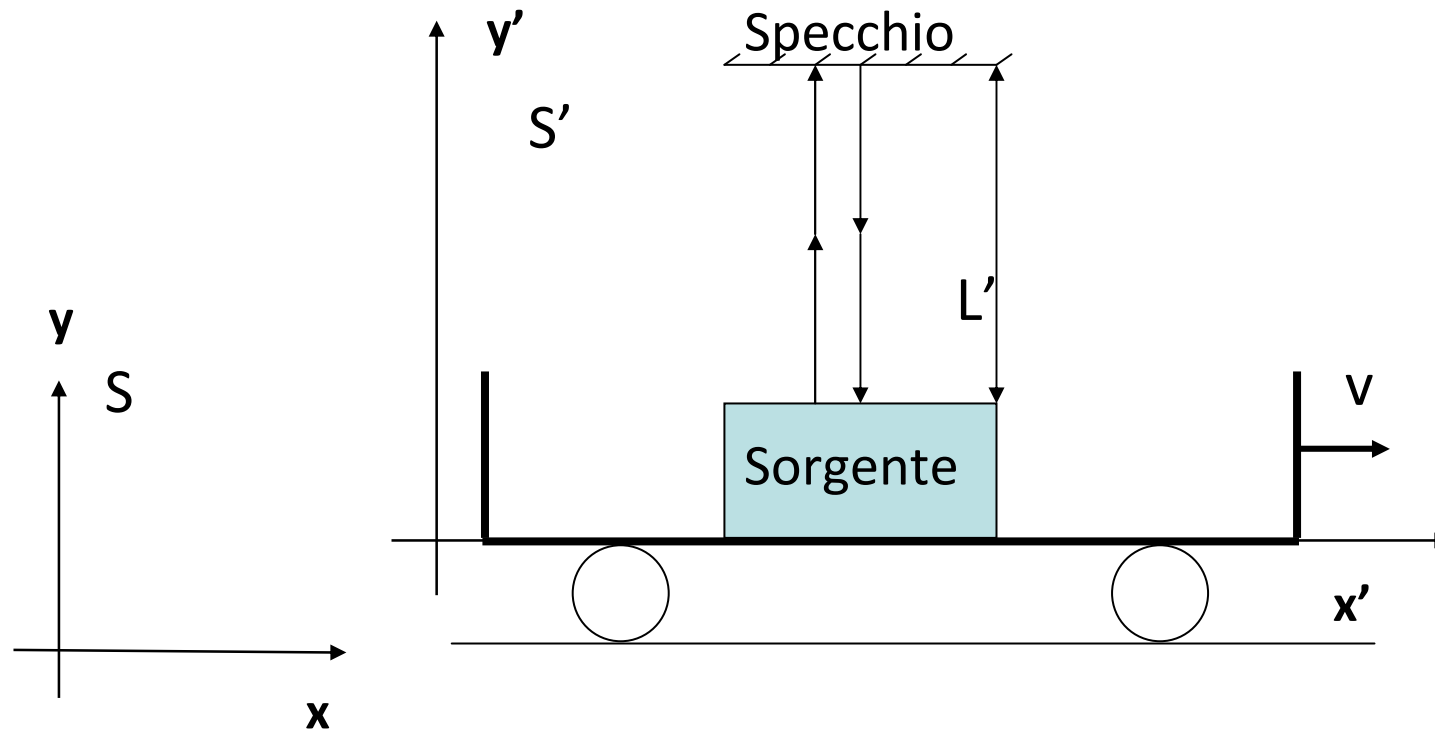


Nel sistema  $S'$  del carrello il tempo che la luce impiega a tornare sulla sorgente è lo stesso sia se il carrello è fermo sia se è in moto

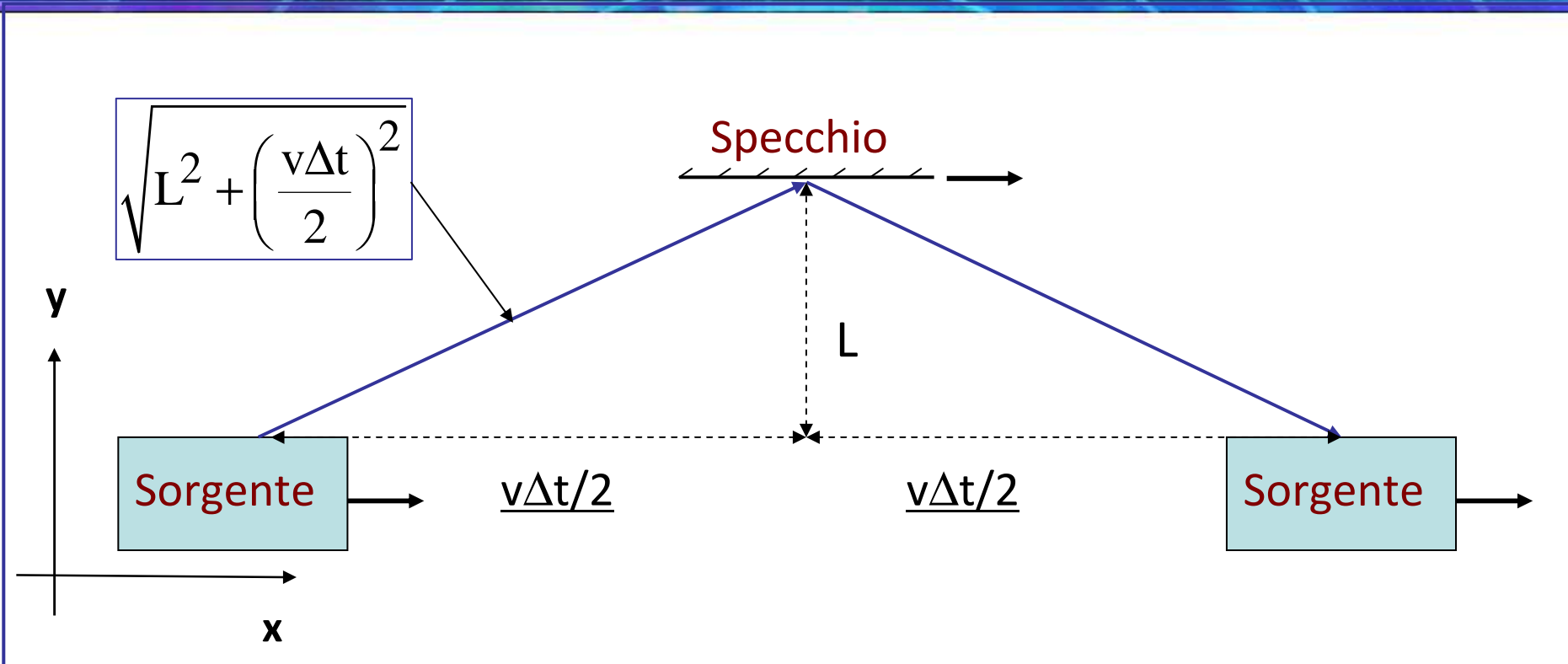
$$\Delta t' = \frac{2L'}{c}$$

(intervallo di tempo proprio)

Se il carrello è in moto quale è l'intervallo  $\Delta t$  che misura l'osservatore S fermo in stazione?

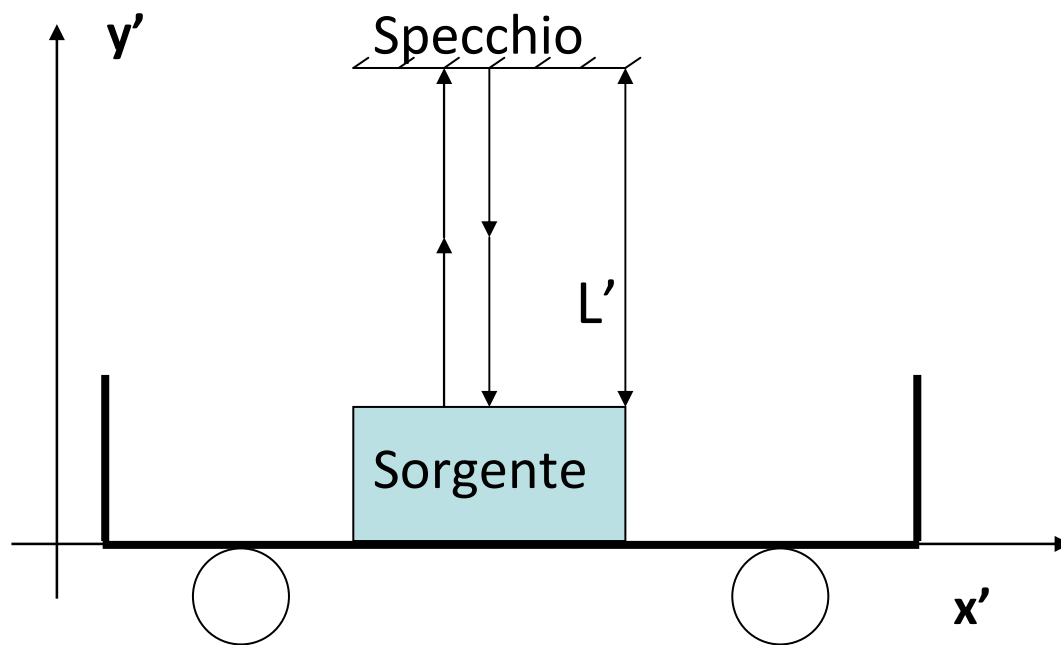


# Relatività Ristretta: La dilatazione del tempo



$$\Delta t = \frac{2\sqrt{L^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2}}{c} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma\Delta t'$$

## Orologio a luce

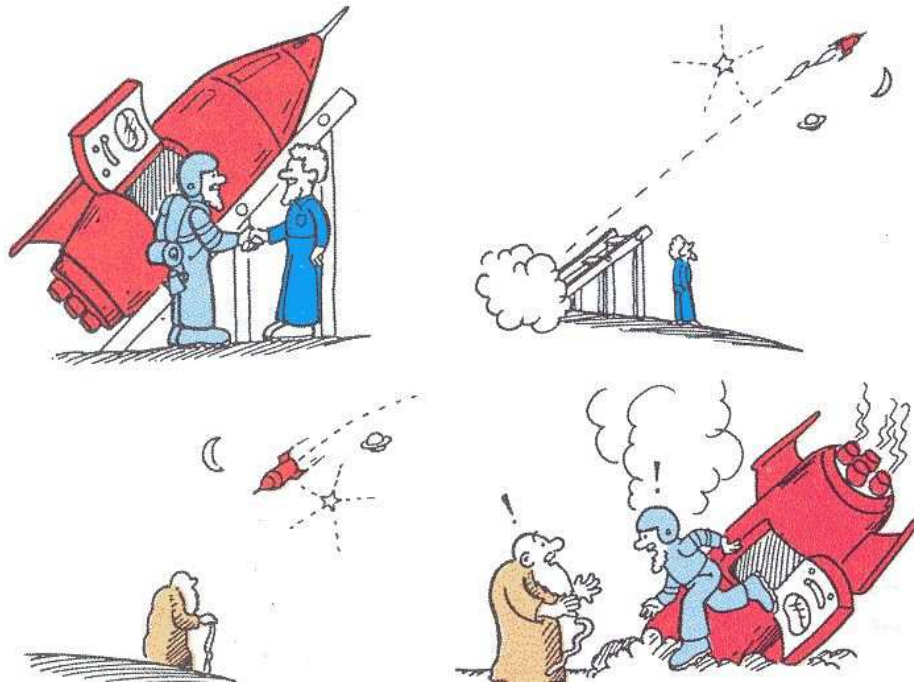


Nel sistema  $S'$  del carrello il tempo che la luce impiega a tornare sulla sorgente è lo stesso sia se il carrello è fermo sia se è in moto

$$\Delta t' = \frac{2L'}{c}$$

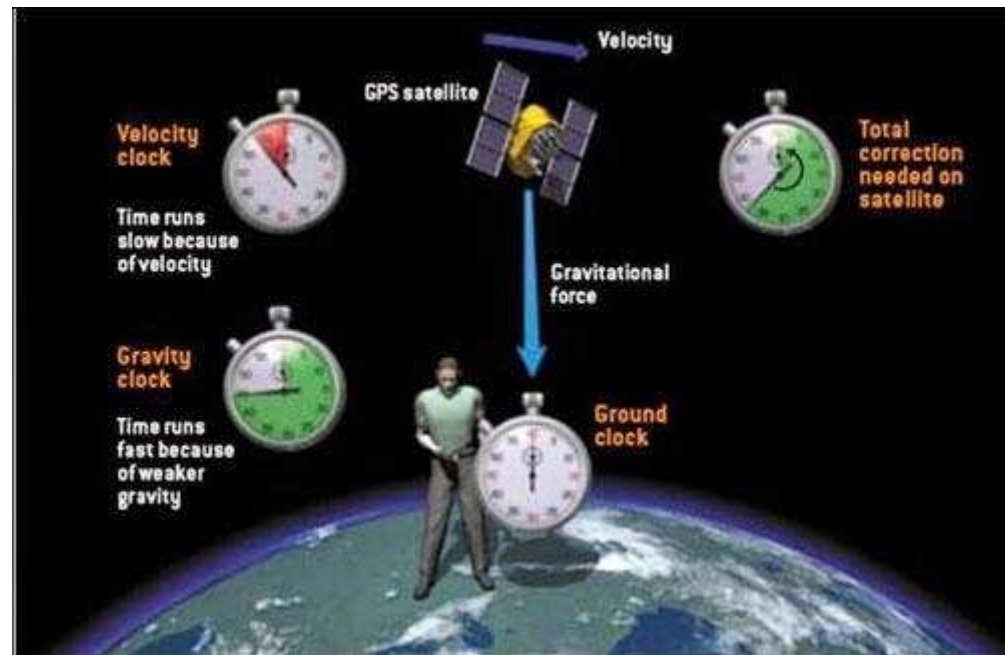
(intervallo di tempo proprio)

# Relatività Ristretta: I paradossi della relatività Il paradosso dei gemelli



Paul Langevin nel 1911 formulò il paradosso dei gemelli nella forma:  
 “un gemello Bob parte per un viaggio con  $\gamma = 100$  e viaggia per un anno. Al suo ritorno scopre che sulla terra sono trascorsi 200 anni”  
 Trova quindi il suo gemello, Tom, un po' ...invecchiato!!

# Relatività Ristretta: La dilatazione del tempo





# Relatività Ristretta: Contrazione delle lunghezze



Gli oggetti in moto subiscono una contrazione nella direzione longitudinale al moto:

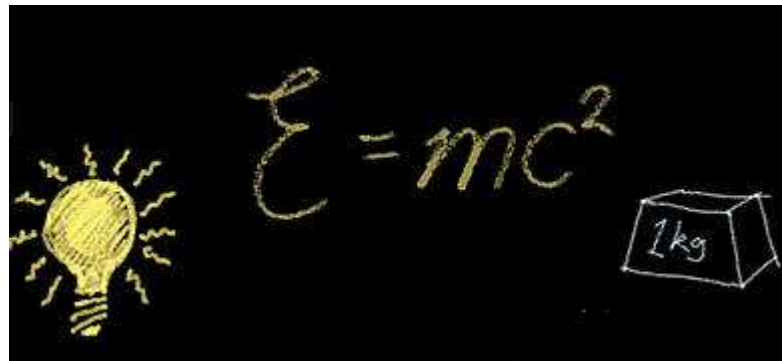
**contrazione di Lorentz**

Metodo facile per dimagrire?

## Equivalenza di massa ed energia

Qualsiasi forma di energia è equivalente a una massa attraverso la relazione:

$$E = mc^2$$



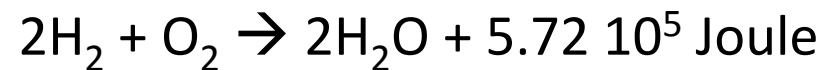
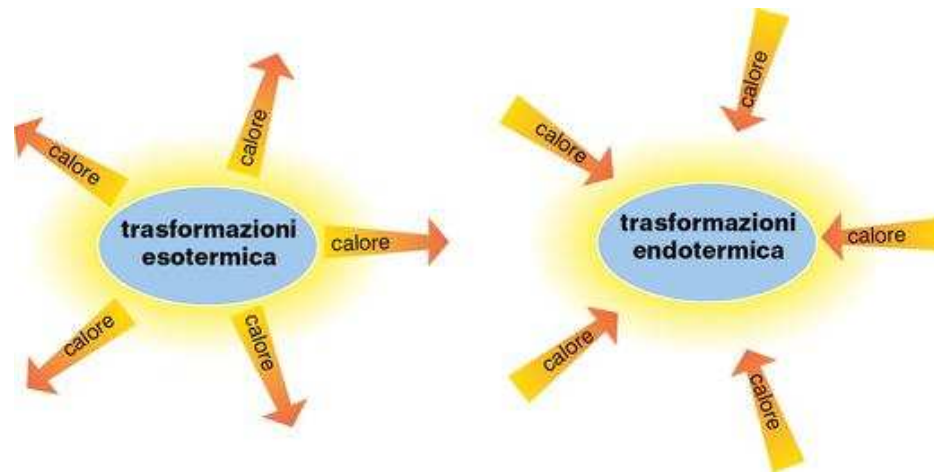
## Proiettile che perde energia in un urto anelastico



$$\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{1}{2}m\beta^2 \rightarrow \frac{\Delta m}{m} = \frac{1}{2}\beta^2$$

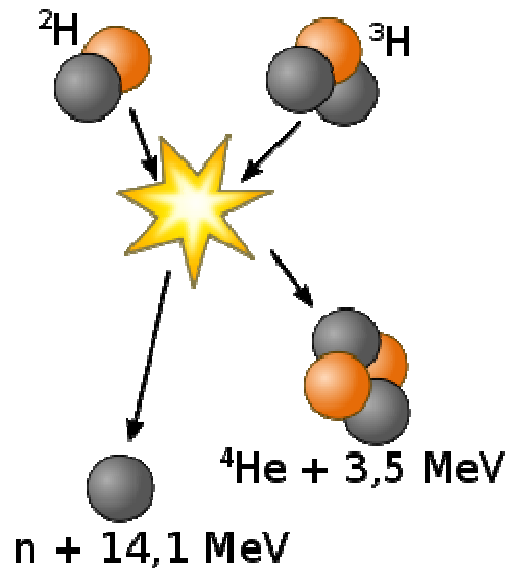
$$v = 80 \text{ Km/h} \rightarrow \frac{\Delta m}{m} = \frac{1}{2}\beta^2 = 2.7 \cdot 10^{-15}$$

## Reazioni chimiche:



$$\Delta m = \frac{\Delta H}{c^2} = 6.35 \cdot 10^{-12} \text{ Kg} \rightarrow \frac{\Delta m}{m} \cong 2 \cdot 10^{-10}$$

## Reazioni nucleari - fusione:



$$m_D = 2.014102 \text{ au}$$

$$m_T = 3.016049 \text{ au}$$

$$m_{\text{He}} = 4.002602 \text{ au}$$

$$m_n = 1.008665 \text{ au}$$

$$\Delta m = 0.018916 \text{ au} \rightarrow \frac{\Delta m}{m} \simeq 10^{-3}$$

$$\Delta m = \frac{0.018884 \text{ au}}{1.66 \cdot 10^{-27}} = 3.140 \cdot 10^{-29} \text{ Kg} \rightarrow$$

$$\Delta E = 17.6 \text{ MeV} \Rightarrow \simeq 1.7 \cdot 10^{12} \text{ J/mole} !$$

## La Relatività A. Einstein

1905 Ristretta (Annus Mirabilis)

1916 Generale

## La Meccanica Quantistica

1900 – 1913 Planck, Einstein, Bohr

1923 – 1930 De Broglie, Heisenberg, Schrodinger, Dirac

1948 Feynman

## La Meccanica Quantistica

**1900 – 1913 Planck, Einstein, Bohr**

Tentativi di spiegare il comportamento della materia a livello atomico e sub-atomico:

vengono introdotti una serie di espedienti/ipotesi ad hoc per spiegare alcuni comportamenti (spettro di corpo nero, effetto fotoelettrico, righe di emissione e assorbimento degli atomi)

**Dualismo onda particella per la luce  
(effetto fotoelettrico e effetto Compton)**

## La Meccanica Quantistica

**1923 – 1930 De Broglie, Heisenberg, Schrodinger, Dirac**

**Dualismo onda particella per le particelle  
(diffrazione degli elettroni)**

**Sviluppo del formalismo e sua interpretazione**

**Metodo di calcolo potentissimo per la determinazione delle proprietà della materia a livello atomico e sub-atomico**

**Capace di fare previsioni sul comportamento della materia**

**Ha consentito la comprensione di un numero enorme di fenomeni naturali**



## La Meccanica Quantistica

### L'essenza della interpretazione

Una proprietà misurabili di un sistema fisico assume valori discreti definiti

Il sistema può stare:

- in uno stato in cui la proprietà ha uno dei valori possibili (stato "puro")
- in uno stato in cui la proprietà non ha un valore predefinito, ma solo una certa probabilità di avere uno dei valori possibili (principio di sovrapposizione)

La misura determina il "collasso" dello stato in cui la proprietà assume uno dei valori possibili con una probabilità che è quella dello stato in cui stava prima della misura



**I sette colori dell'arcobaleno  
7 possibili stati "puri": rosso, arancione,  
giallo, verde, azzurro, turchese e violetto**

**Se misuro il colore di uno stato puro ottengo il colore corrispondente**

**Esempio di stato di sovrapposizione:**

**stato con il 33% di rosso, 33% di verde e 33% di violetto**

**Se faccio una misura il sistema diventa rosso, verde o violetto  
con una probabilità del 33% per ognuno dei colori**



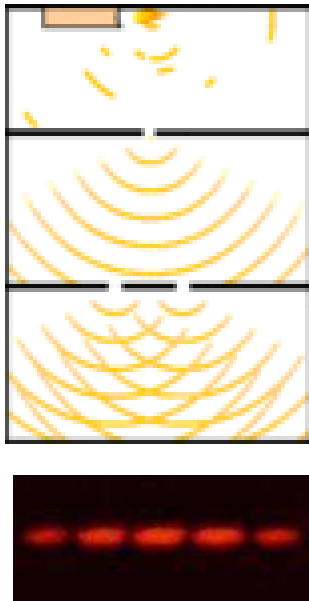
**La scuola di Copenhagen (Bohr):  
uno stato di sovrapposizione descrive la  
realtà di uno stato fisico che prima della  
misura non ha un colore ben definito, è la  
misura che lo “colora”**

**Einstein:**

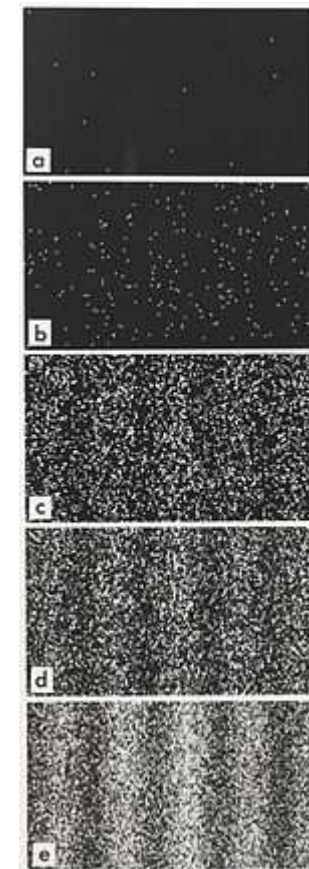
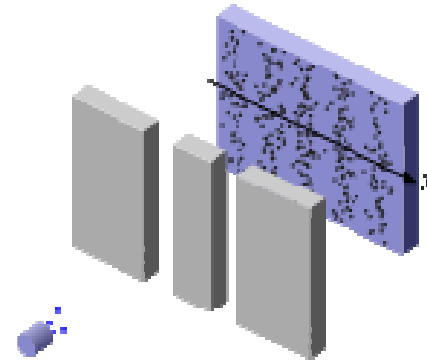
**Uno stato di sovrapposizione descrive solo la nostra incapacità a realizzare uno stato: nel crearlo il 33% delle volte lo coloriamo in rosso, il 33% in verde e il 33% in violetto.**

**Nella misura noi verifichiamo solo come l'abbiamo realizzato**

## Luce



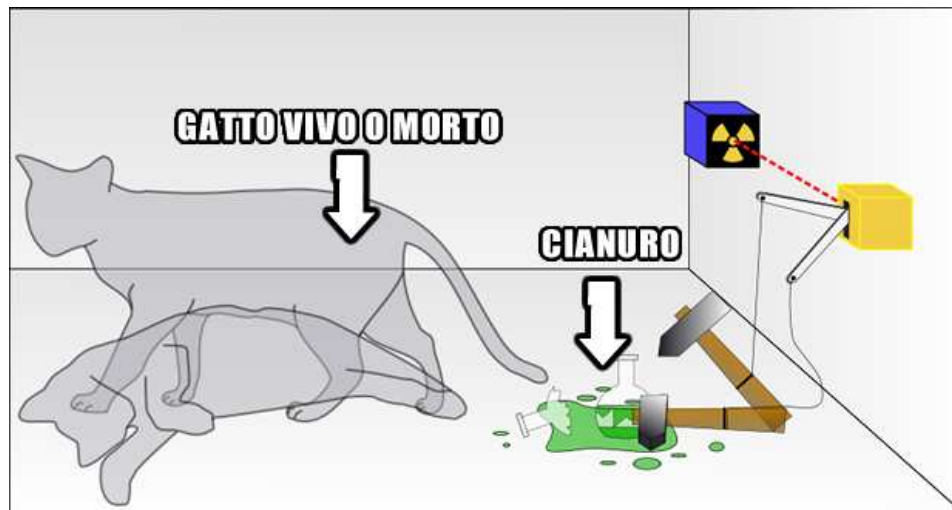
## Elettroni



**Non è possibile determinare da quale fenditura passa l'elettrone senza distruggere la figura d'interferenza**

## Il gatto di Schrodinger

Questo famoso esperimento mentale inquadra perfettamente il problema dell'indeterminazione e della dipendenza di un sistema dall'osservatore.



Nella scatola c'è una minuscola quantità di materiale radioattivo, che potrebbe o meno emettere nel giro di un'ora una particella alfa. Se lo facesse, un contatore Geiger all'interno della scatola lo rileverebbe. Il contatore attiverrebbe un martello che rompe una fiala di cianuro, uccidendo il gatto all'interno della scatola.

## Il gatto di Schrodinger

**Il problema è che non sappiamo se il materiale radioattivo è decaduto emettendo la particella alfa finché non apriremo la scatola per scoprire se il gatto è ancora vivo.**

**E poiché la teoria dei quanti sostiene che, finché non viene effettuata l'osservazione, l'atomo incriminato si trova in uno stato di indeterminazione, è proprio la nostra osservazione a produrre – retroattivamente – l'eventuale decadimento.**

**Il che implica che, finché non apriremo la scatola, al suo interno il gatto è vivo e morto contemporaneamente.!!!**

# I campi della Fisica

Scale in m:

$10^{-10}$  m

atom

$10^{-14}$  m

nucleus

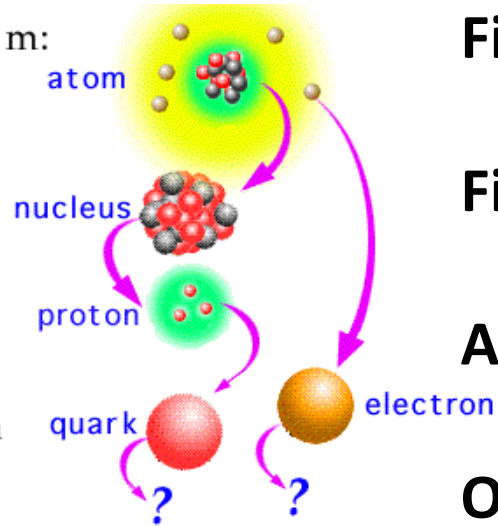
$10^{-15}$  m

proton

$\leq 10^{-18}$  m

quark

electron

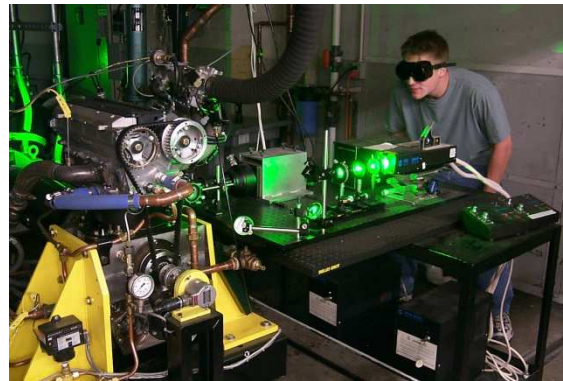
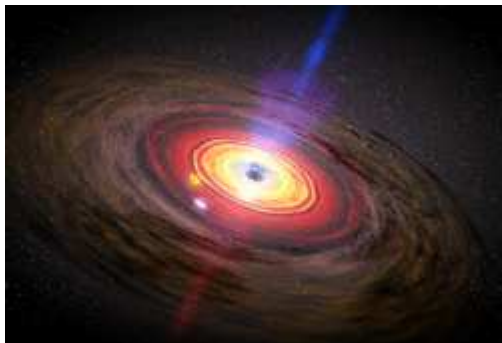
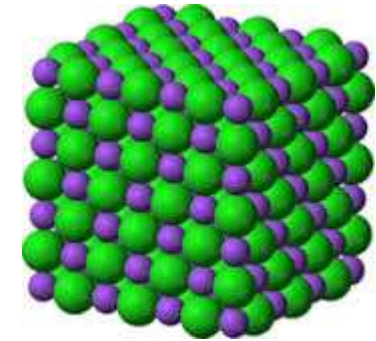


**Fisica delle Particelle Elementari**

**Fisica della Materia Condensata**

**Astrofisica e Cosmologia**

**Ottica Quantistica e Laser**



## Fisica delle Particelle Elementari

**Fisica del nucleo**

**Radioattività**

**Componenti elementari della materia**

**Applicazioni del nucleare**      $\Delta E = \Delta mc^2$

**Tecnologie avanzate di rivelazione e di elettronica**

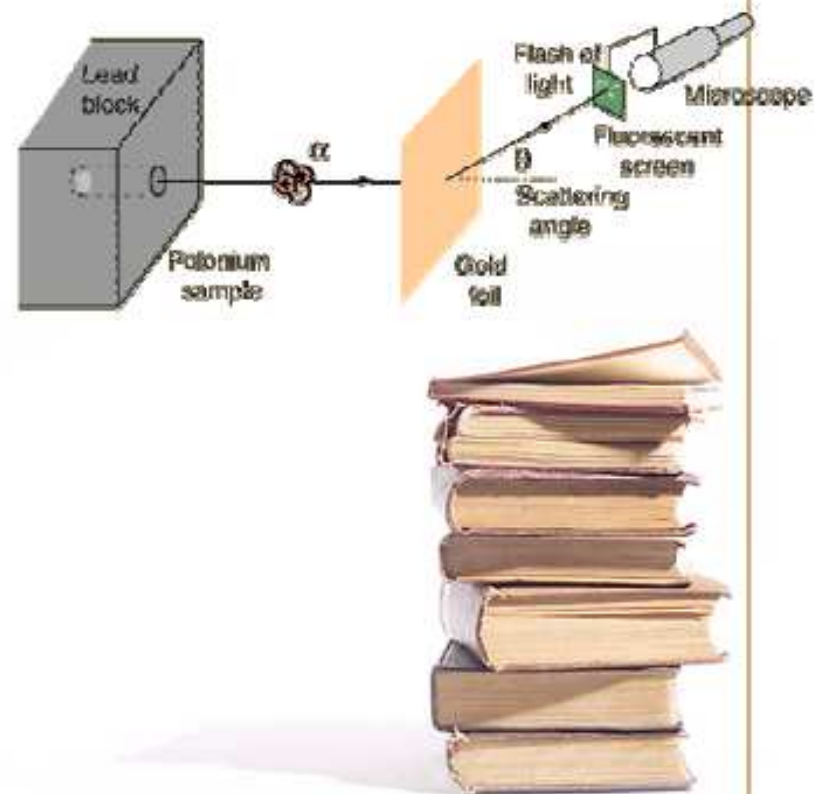
**Acceleratori di particelle**

**Informatica avanzata**





L'Esperimento di Rutherford per indagare sulla struttura dell'atomo nel 1913 può rappresentare bene il prototipo degli esperimenti di fisica nucleare



## Acceleratori di particelle

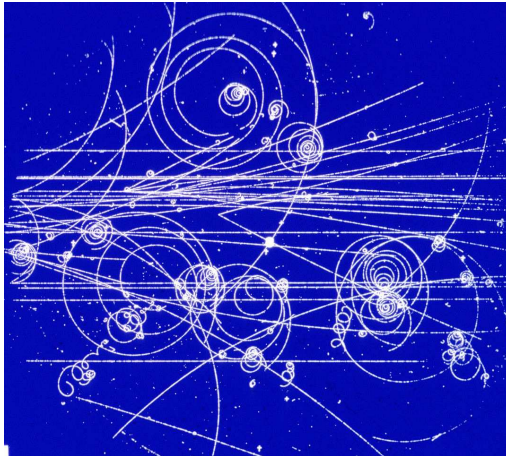


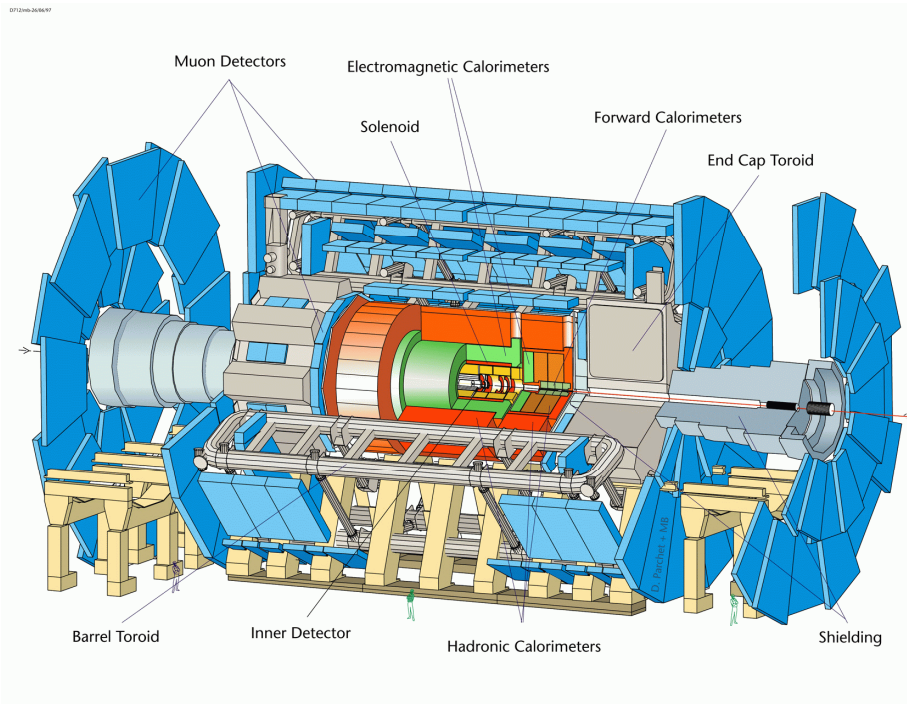
**Macchine di struttura circolare o lineare nelle quali elettroni, protoni o ioni vengono accelerati fino a raggiungere velocità ed energie molto elevate**

## Acceleratori di particelle

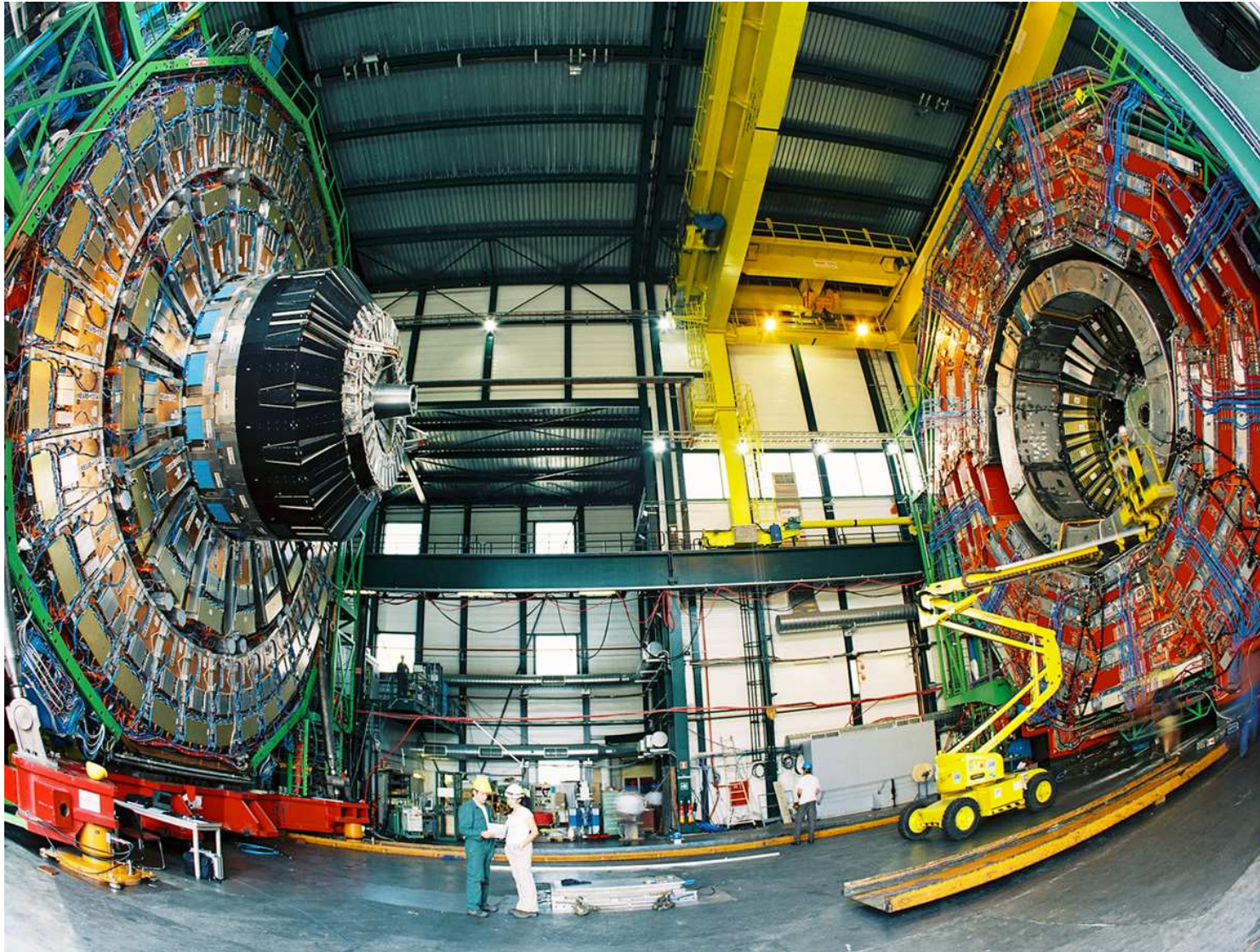


## Rivelatori di particelle



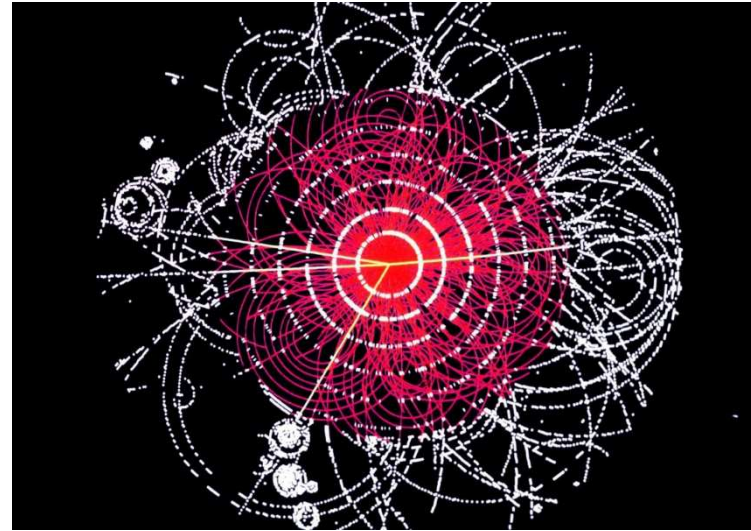


## ATLAS rivelatore di particelle CERN



# CERN

## European Organization for Nuclear Research



### I numeri del CERN

**Fondazione:** 29 settembre 1954

**Progetti scientifici in corso:** oltre 120

Popolazione: oltre 8000 persone

- staff del CERN: 3000 persone
- 5000 collaboratori esterni (ingegneri, esperti di informatica e fisici - circa la metà degli studiosi di particelle del mondo)
- Studenti: 420 ospiti dell'organizzazione

**Paesi fondatori (1954):** Belgio; Danimarca; Francia; Germania; Grecia; Italia; Jugoslavia (uscita dal CERN nel 1961); Norvegia; Regno Unito;

Paesi Bassi; Svezia; Svizzera.

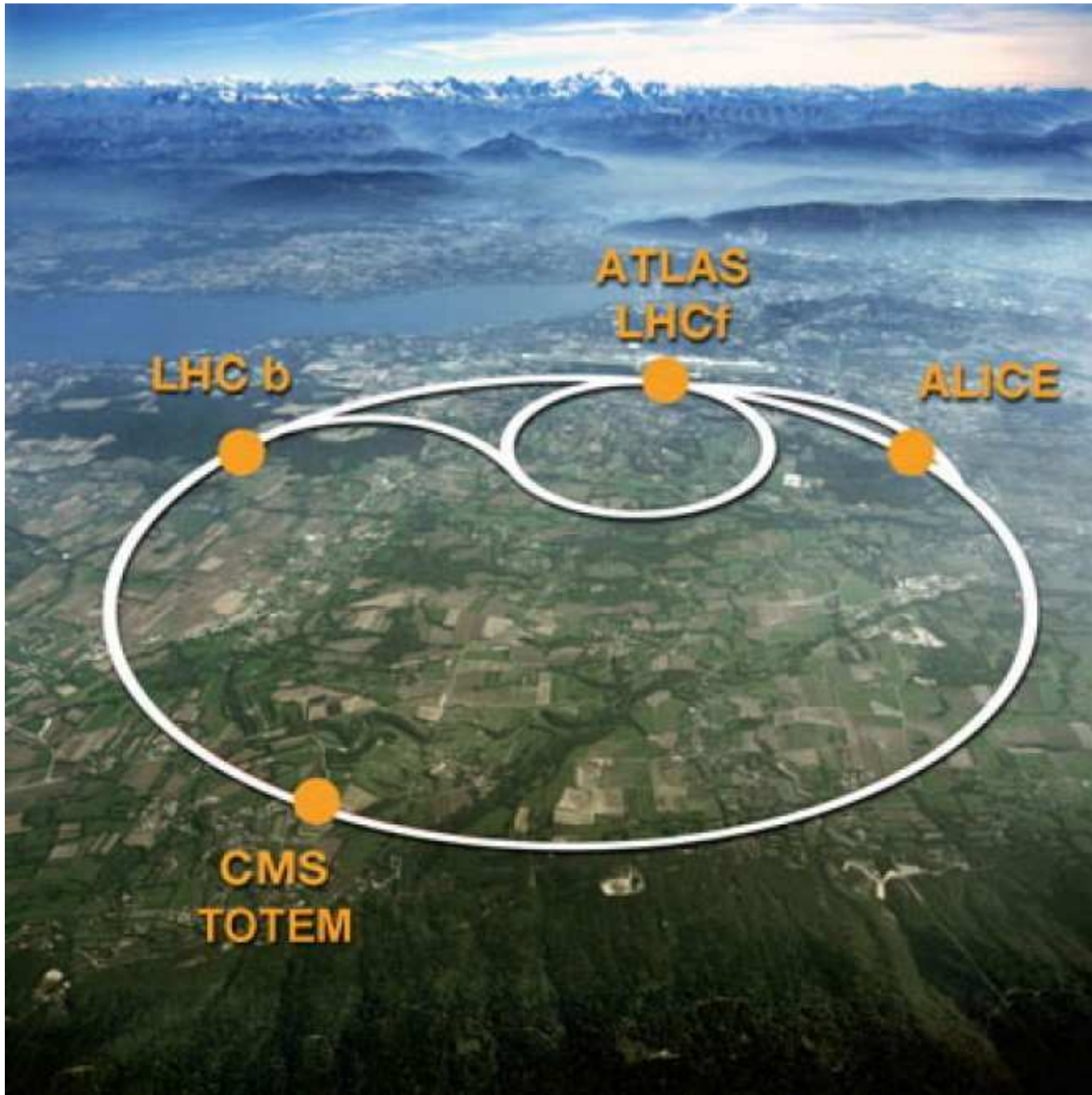
**Paesi membri (2008):** Oltre ai fondatori: Austria; Portogallo; Finlandia; Polonia; Ungheria; Repubblica Ceca; Repubblica slovacca; Bulgaria

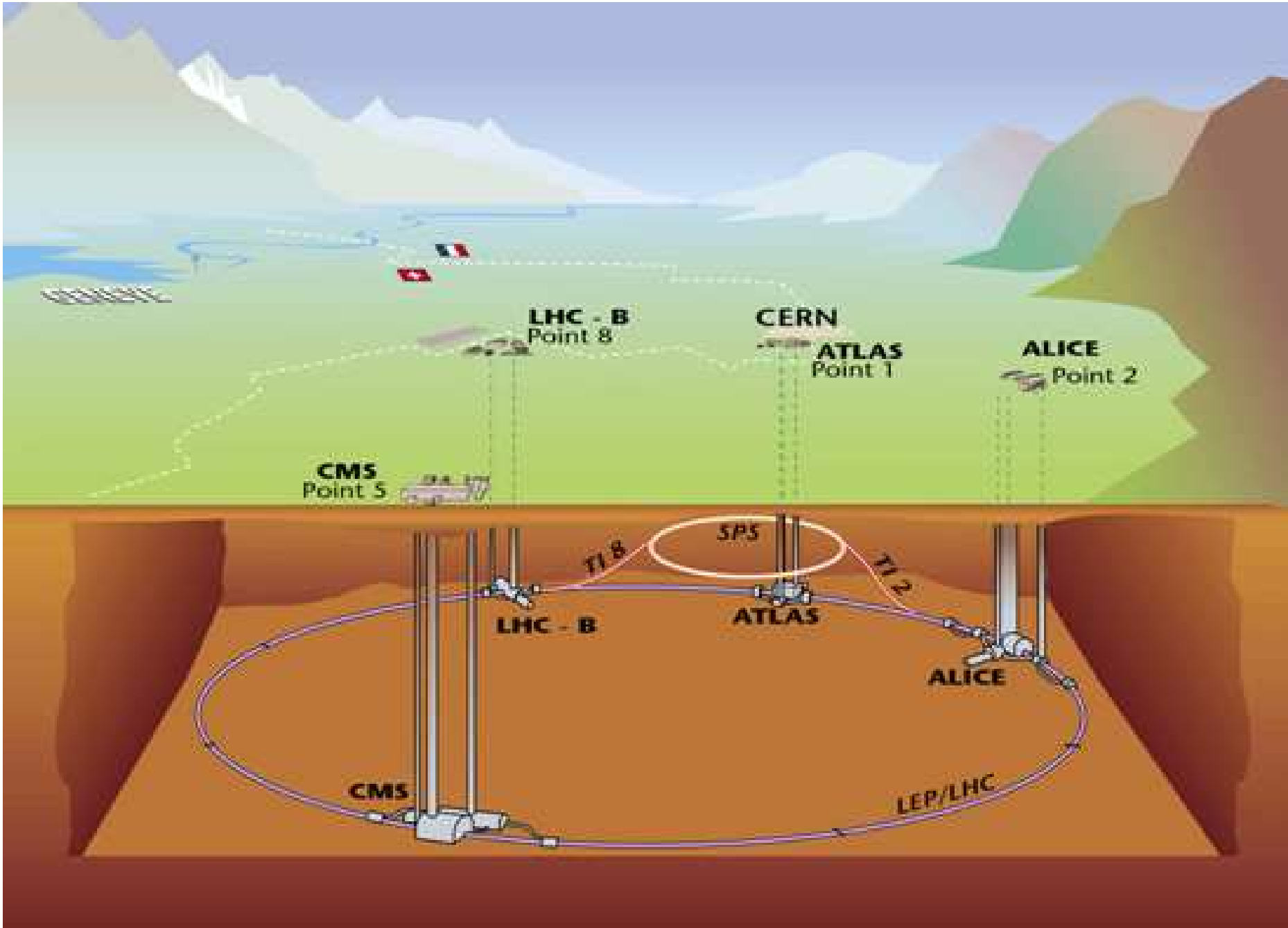
Oggi, fisici provenienti da **40 diversi paesi del mondo** sono presenti al CERN.

# Geneve&LHC









## **È la macchina più grande del mondo**

Non esiste al mondo una struttura che sia grande **27 km**;

E' leggerissima pesa **solo 38.000 tonnellate** meno di 50 treni Eurostar.

12.500 tonnellate l'esperimento CMS, 7.000 tonnellate l'esperimento ATLAS. In CMS c'è più ferro che nella Tour Eiffel.

## **È il posto più freddo dello spazio interstellare ma anche il punto più caldo della galassia.**

Gran parte di questa macchina è tenuta ad una temperatura di oltre **271 gradi sotto lo zero**. Mentre nei punti dove avvengono le collisioni si raggiunge una temperatura **100.000 volte superiore** a quella del cuore del Sole.

LHC è formato da **2000 magneti** superconduttivi mantenuti ad una temperatura di  $-271^{\circ}\text{C}$ .

Per costruire i magneti di LHC sono stati necessari **750.000 km di filo superconduttore**, una lunghezza sufficiente per avvolgere il filo 6 volte intorno alla terra. **Migliaia di miliardi di filamenti di niobio-titanio** sono stati usati per creare ogni filo: essi sono spessi circa 7 millesimi di millimetro, cioè **10 volte più sottili di un capello umano**. Allineando tutti i filamenti uno dopo l'altro si coprirebbe una distanza pari a più di 10 volte quella tra la terra e il sole.

Una volta raggiunta la massima energia, i protoni in LHC viaggiano a una **velocità pari a 0,999999991 la velocità della luce**, cioè vicinissimi alla velocità massima raggiungibile nell'Universo.

Una volta raggiunta la massima energia, ogni protone effettua **ogni secondo, ben 11.000 giri completi** dell'anello di 27 chilometri.

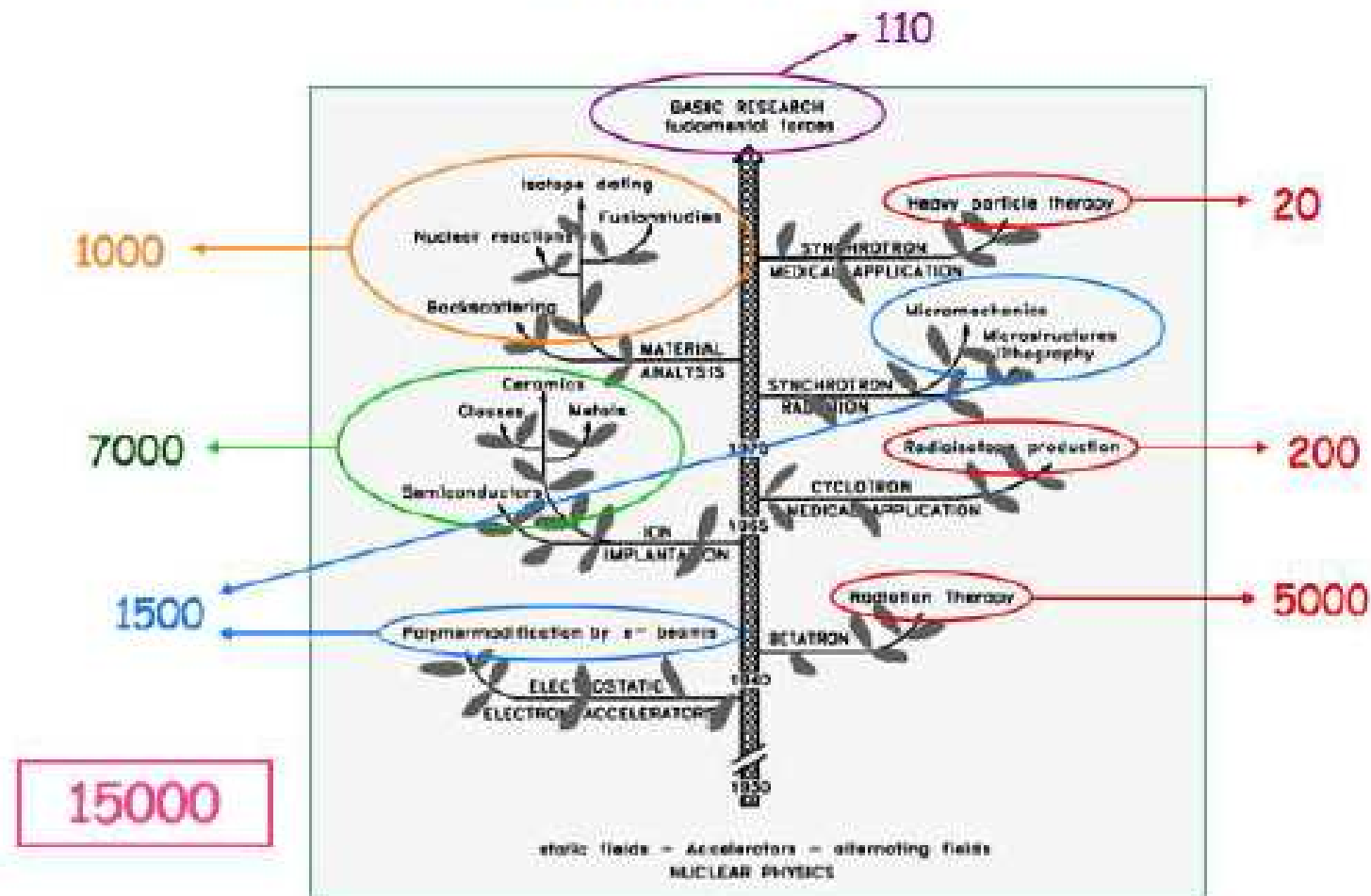
**I fasci di protoni si incrociano 40 milioni di volte al secondo.**

Numero di collisioni a regime: fino a **25 collisioni tra protoni ogni 25 nanosecondi** (miliardesimi di secondo), cioè circa 1 miliardo di collisioni al secondo.

**È la più grande fabbrica di informazione del mondo**

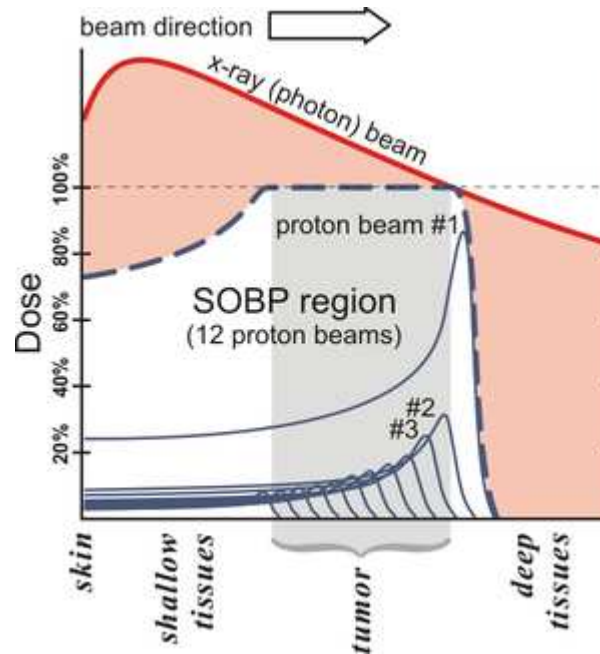
Ogni anno i dati prodotti dagli esperimenti di LHC producono l'equivalente di **centomila DVD**.

## L'impatto degli acceleratori oggi



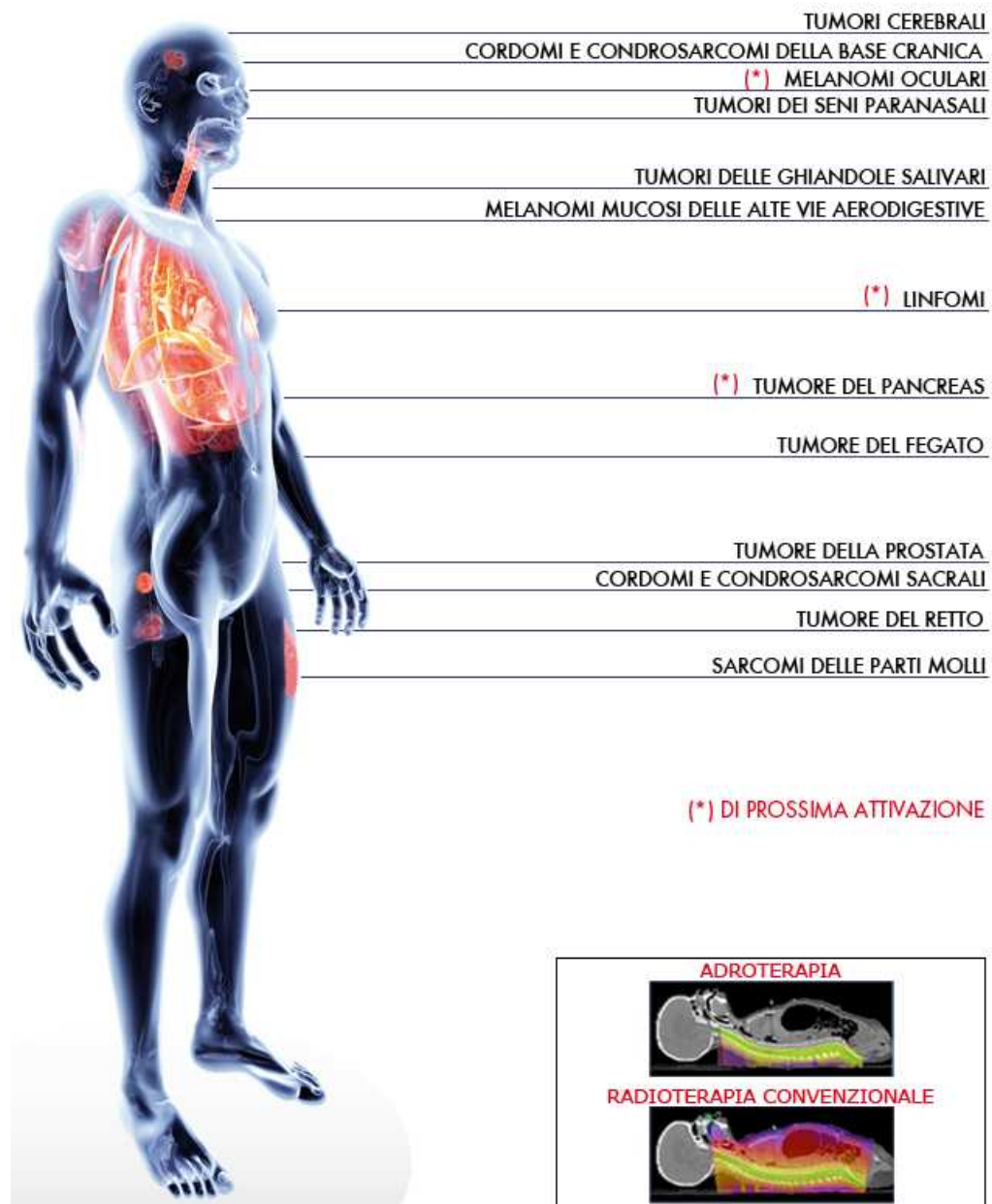
- scopi industriali (60%) (impiantazione di ioni, sterilizzazione);
- medici (35%) (produzione di isotopi radioattivi, terapia adronica, etc.);
- studio della struttura dei materiali (ad esempio sfruttando la radiazione di sincrotrone) o per scopi di ricerca (5%) in fisica delle particelle.

# Protonterapia



i protoni, danneggiano il DNA delle cellule, uccidendole o bloccando la loro riproduzione. Le cellule tumorali sono particolarmente vulnerabili agli attacchi contro il DNA per via della loro alta frequenza di divisione e le loro ridotte capacità di riparare danni al DNA.

# Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica



# Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica

## Virtual tour

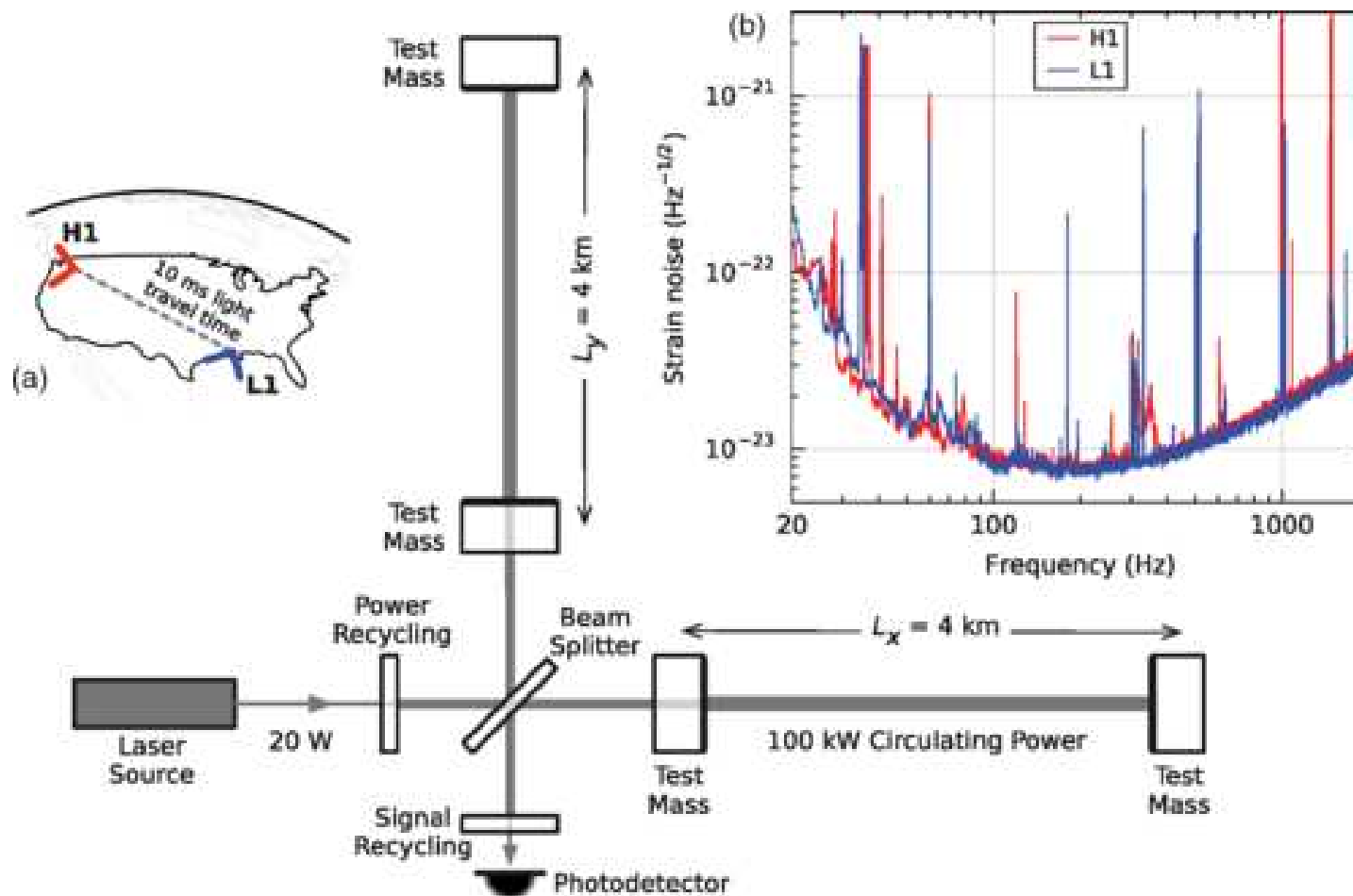
<http://fondazionecnao.it/it/cosa-facciamo/virtual-tour>



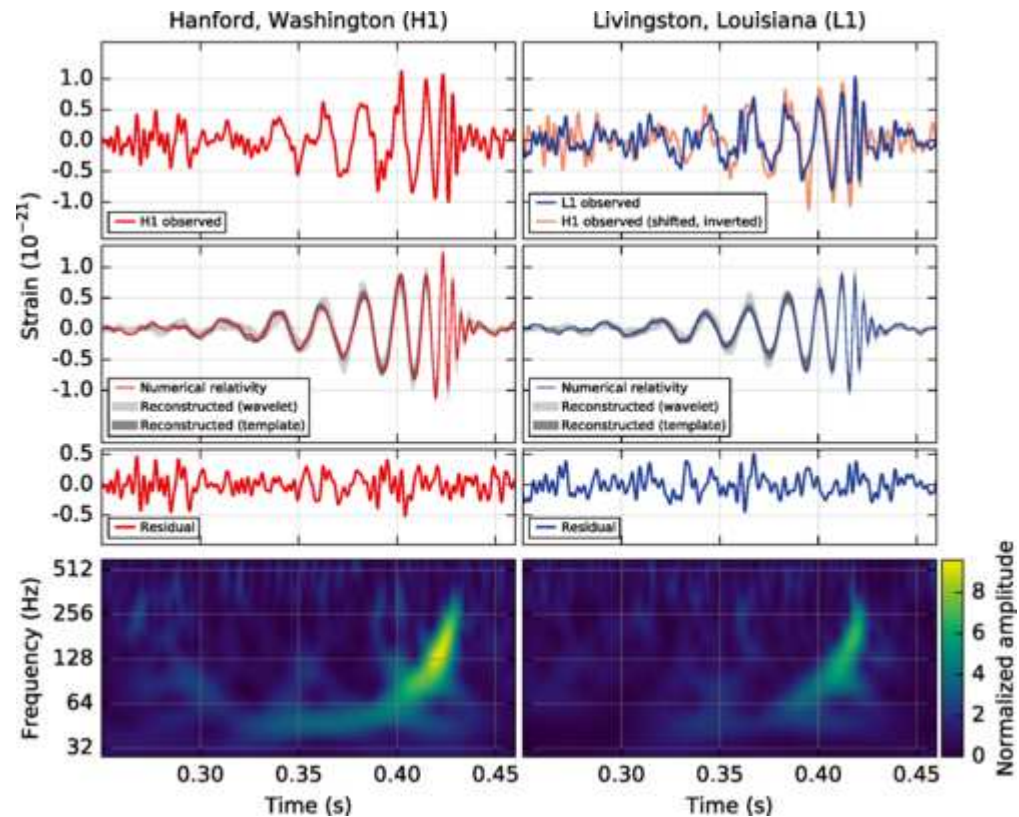
# Interferometro VIRGO per la rivelazione di onde gravitazionali Sito in Cascina (Pisa)



100 years after Einstein predicted the existence of gravitational waves, the European Gravitational Observatory (EGO) and the VIRGO Collaboration invite the scientific community at the EGO site in Cascina, Pisa (Italy) for an update on efforts to detect them.



Simplified diagram of an Advanced LIGO detector (not to scale). A gravitational wave propagating orthogonally to the detector plane and linearly polarized parallel to the 4-km optical cavities will have the effect of lengthening one 4-km arm and shortening the other during one half-cycle of the wave; these length changes are reversed during the other half-cycle. The output photodetector records these differential cavity length variations.



The gravitational-wave event GW150914 observed by the LIGO Hanford (H1, left column panels) and Livingston (L1, right column panels) detectors. Times are shown relative to September 14, 2015 at 09:50:45 UTC

# World Wide Web

The WorldWideWeb (W3) is a wide-area [hypermedia](#) information retrieval initiative aiming to give universal access to a large universe of documents.

Everything there is online about W3 is linked directly or indirectly to this document, including an [executive summary](#) of the project, [Mailing lists](#) , [Policy](#) , November's [W3 news](#) , [Frequently Asked Questions](#) .

## [What's out there?](#)

Pointers to the world's online information, [subjects](#) , [W3 servers](#), etc.

## [Help](#)

on the browser you are using

## [Software Products](#)

A list of W3 project components and their current state. (e.g. [Line Mode](#) ,X11 [Viola](#) , [NeXTStep](#) , [Servers](#) , [Tools](#) , [Mail robot](#) , [Library](#) )

## [Technical](#)

Details of protocols, formats, program internals etc

## [Bibliography](#)

Paper documentation on W3 and references.

## [People](#)

A list of some people involved in the project.

## [History](#)

A summary of the history of the project.

## [How can I help ?](#)

If you would like to support the web..

## [Getting code](#)

Getting the code by [anonymous FTP](#) , etc.

**La data di nascita del World Wide Web viene comunemente indicata nel 6 agosto 1991, giorno in cui l'informatico inglese Tim Berners-Lee pubblicò il primo sito web dando così vita al fenomeno "WWW" (detto anche "della tripla W").**



L'idea del World Wide Web era nata due anni prima, nel 1989.

Il ricercatore inglese fu colpito da come alcuni colleghi italiani usavano trasmettere informazioni tramite linea telefonica da un piano all'altro dell'istituto visualizzando informazioni tramite video.

Il 12 marzo [1989](#) Tim Berners-Lee presentò infatti al proprio supervisore il [documento](#) *Information Management: a Proposal*, una cui copia è esposta presso il CERN, che fu valutato «vago ma interessante». Alla sua base vi era il progetto dello stesso Berners-Lee e di un suo collega, [Robert Cailliau](#), di elaborare un software per la condivisione di [documentazione scientifica](#) in [formato elettronico](#) indipendentemente dalla [piattaforma informatica](#) utilizzata, con il fine di migliorare la [comunicazione](#), e quindi la [cooperazione](#), tra i ricercatori dell'istituto.

A lato della creazione del software, iniziò anche la definizione di standard e protocolli per scambiare documenti su [reti di calcolatori](#): il linguaggio [HTML](#) e il [protocollo di rete HTTP](#).

**Fisica delle Particelle Elementari**

**Fisica della Materia Condensata**

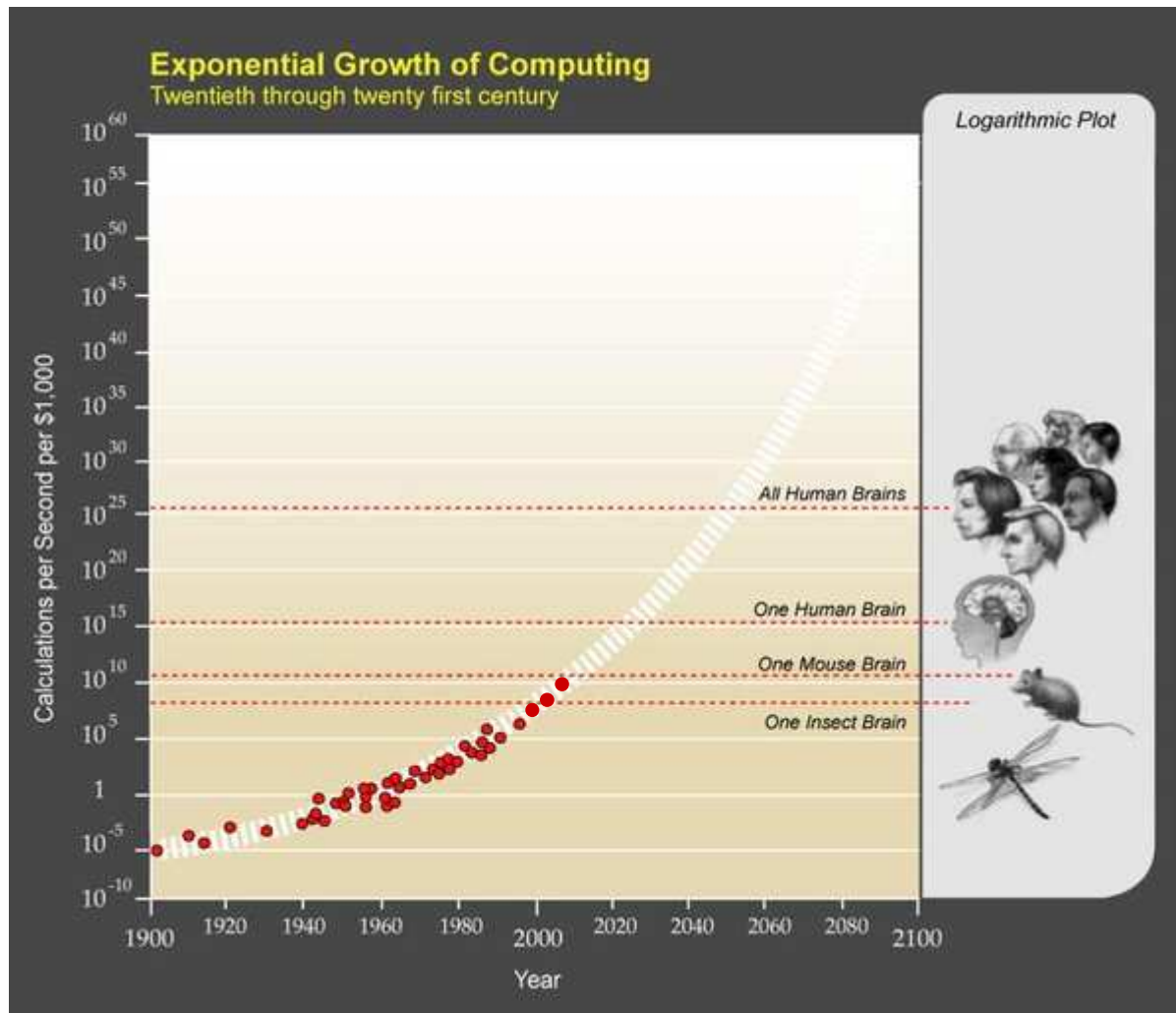
**Astrofisica e Cosmologia**

**Ottica Quantistica e Laser**

- Scoperta del transistor → elettronica ( miniaturizzazione)  
computer
- Superconduttività
- Laser
  
- Controllo atomico sulla crescita dei materiali (materiali  
«artificiali», nanotecnologie)



- Scoperta del transistor → elettronica ( miniaturizzazione) computer



# Superconduttività

- **1898 James Dewar** (Inghilterra) ottiene la liquefazione dell'idrogeno (20 K); l'elio rimane l'unico gas non ancora osservato in forma liquida.
- **1908 Onnes (Olanda)** ottiene la liquefazione dell'elio (4.2 K).
- **1911 Onnes** scopre la superconduttività del mercurio, si rende conto dell'importanza scientifica e commerciale della scoperta, ed avvia una vasta sperimentazione. Il tentativo di realizzare un avvolgimento superconduttivo si rivela però un fallimento: in presenza di correnti o campi magnetici elevati il metallo torna allo stato normale.
- **1933 Meissner e Ochsenfeld (Germania)** scoprono che il superconduttore non è solo un conduttore perfetto, ma presenta anche la proprietà di impedire ai campi magnetici di penetrarlo sviluppando sulla propria superficie correnti di schermo
- **1935 I fratelli London** sviluppano due equazioni che descrivono macroscopicamente lo stato di resistenza nulla e l'effetto Meissner.
- **1950 Ginzburg e Landau** propongono una teoria fenomenologica della superconduttività
- **1957 Bardeen, Cooper e Schriffer** sviluppano la teoria microscopica della superconduttività basata sulla meccanica quantistica nota come BCS Theory. Questa teoria costituisce tuttora la spiegazione più esauriente della superconduttività dei materiali metallici.



# Superconduttività

- **1961 Kunzler (Bell Labs)** individua un gruppo di composti e leghe superconduttive capaci di portare correnti elevatissime ( $10^6 \text{A/cm}^2$ ) in campi molto intensi (30 T) risvegliando l'interesse per le applicazioni di potenza (superconduttori di tipo II).
- **1962 Josephson** analizza ciò che accade tra due superconduttori separati da un sottile strato isolante (giunzione Josephson) ponendo le basi per le future applicazioni elettroniche della superconduttività.
- **1970** Vengono realizzati i primi magneti superconduttori affidabili.
- **1972 Bardeen, Cooper e Schrieff** vincono il Premio Nobel.
- **1986 Muller e Bednorz** ottengono la transizione allo stato superconduttivo ad oltre 30 K nel composto Ba - La - Cu - O: questo esperimento apre la strada ad una nuova classe di superconduttori che transiscono a temperature superiori a 90 K e che possono essere raffreddati con azoto liquido. Sono detti superconduttori ad alta temperatura critica (HTS).
- **1987 Muller e Bednorz** vincono il Premio Nobel.
- **1988 Parkin** scopre la superconduttività a 125 K nel composto  $\text{Ti}_2\text{Ca}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ .
- **1993 Scoperta della superconduttività a 135 K** nel composto  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$  (che aumenta a 164K se il materiale è sottoposto ad una pressione di 31Gpa).

# Superconduttività

Un uso tipico dei superconduttori è per costruire bobine di [magneti](#): l'uso di cavi superconduttori ne riduce di molto le dimensioni, il peso e il consumo di energia a parità di intensità di campo magnetico.

Una tipica applicazione di questo tipo riguarda la realizzazione dei grandi toroidi dei sistemi clinici di [risonanza magnetica nucleare](#).

I superconduttori sono stati usati in condizioni sperimentali anche su grande scala in grandi macchine come gli acceleratori del [CERN](#), sono utilizzati in cavi conduttori del [LEP](#) o dell'[LHC](#) dove sono in gioco enormi flussi di corrente ed enormi campi magnetici.

Potenzialmente gli sviluppi possibili sono enormi in campi come [accumulazione](#) e trasmissione di energia, motorizzazione elettrica e realizzazione di grandi campi magnetici.

Un esperimento ben noto è stato quello effettuato con la [macchina MRI](#): il mantenimento di un flusso di elettroni in una spirale sperimentale in superconduzione. L'esperimento ha dimostrato che dopo diversi anni il flusso nella spirale non ha subito una diminuzione o un rallentamento dimostrabile.

# Superconduttività

Con particolari configurazioni di giunzioni a materiale superconduttore si possono inoltre creare nuovi dispositivi, basati sulle [giunzioni Josephson](#), formate da due superconduttori separati da un isolante. L'estrema sensibilità, la precisione e la velocità di transizione per la presenza di campi elettro-magnetici è utilizzata in questi dispositivi per dare misure estremamente precise di tali campi, o per ottenere commutazioni localizzate alla superconduzione (o dalla superconduzione a quella normale) estremamente sensibili e veloci; data la natura nanometrica (e quantistica) del dispositivo i tempi di commutazione sono estremamente brevi, dell'ordine dei picosecondi.

Ad esempio, le giunzioni sono utilizzate nella realizzazione di dispositivi per la misura del campo magnetico ([SQUID](#)) capaci di misurare valori infinitesimi di campo magnetico ed usati, anche in ambito medico, per alcuni tipi di analisi.

Queste giunzioni sono sfruttate anche in [rivelatori di particelle](#) per rivelare piccolissimi cambiamenti di temperatura causati dall'interazione con la particella da rivelare. Quando una particella attraversa il rivelatore, gli cede energia che causa un aumento di temperatura. Misurando la variazione di resistenza del rivelatore, che viene mantenuto in prossimità della temperatura critica, si può rilevare quando una particella attraversa il sensore.

## Levitazione magnetica



Un **treno a levitazione magnetica** o **MagLev** è un treno che viaggia senza toccare le rotaie grazie alla levitazione magnetica.

La repulsione e l'attrazione magnetica vengono utilizzate anche come mezzo di locomozione. Dato che il convoglio non tocca le rotaie, l'unica forza che si oppone al suo moto è l'attrito dell'aria. Il MagLev è quindi in grado di viaggiare a velocità elevatissime (oltre i 600 km/h) con un consumo di energia limitato e un livello di rumore accettabile. Sebbene la velocità del MagLev gli consenta di fare concorrenza all'aereo anche nei lunghi percorsi, i costi per la realizzazione delle infrastrutture ne hanno limitato finora l'utilizzo a brevi tratte molto frequentate. A Shanghai un MagLev collega la città con l'aeroporto. La linea è lunga 30 Km e viene percorsa dal treno in 7 minuti e 20 secondi con una velocità massima di 501,5 km/h e una velocità media di 250 km/h.

## Superconduttività



**JR-Maglev** è un sistema di trasporto maglev sviluppato nel Railway Technical Research Institute in Giappone. IL JR-Maglev MLX01 ha detenuto il record di velocità. Il treno non convenzionale giapponese, testato sulla Yamanashi Maglev Test Line nella prefettura di Yamanashi, aveva raggiunto la velocità record di 581 km/h. Tale record è stato superato e dal 21 luglio 2015 è detenuto da un altro treno giapponese, lo Shinkansen Serie L0, che ha raggiunto i 603 km/h

Il treno si solleva di circa 10 millimetri da terra per l'azione di magneti posti sulla "rotaia guida" e di altri magneti superconduttori posti lungo tutto il treno, in una speciale lega di niobio e titanio raffreddata a  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$  da elio liquido

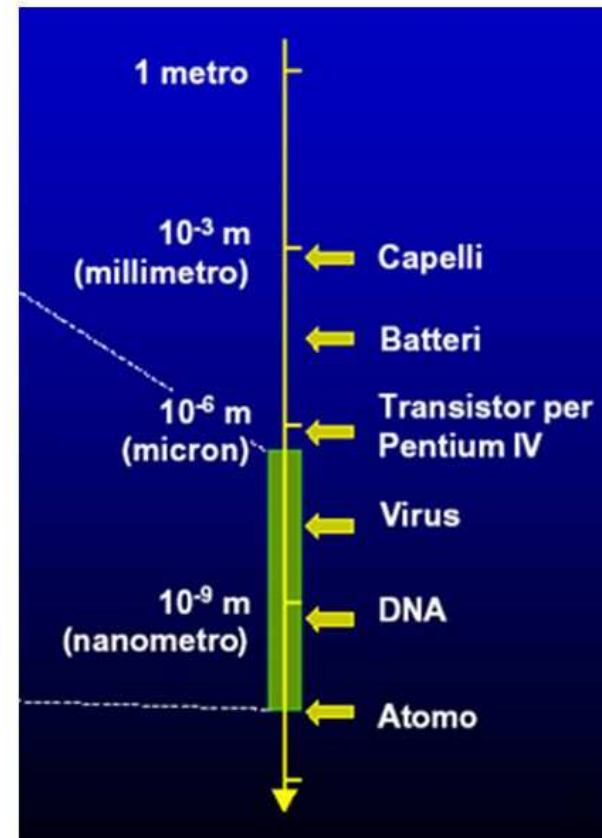
# Nanotecnologie

## LE NANOTECNOLOGIE

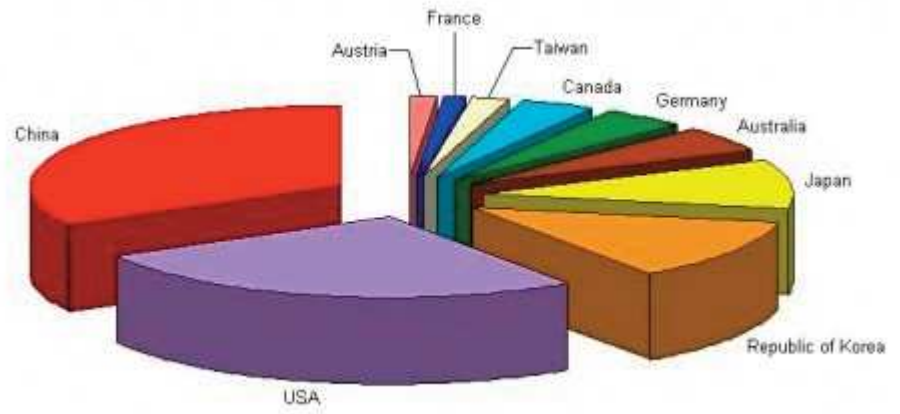
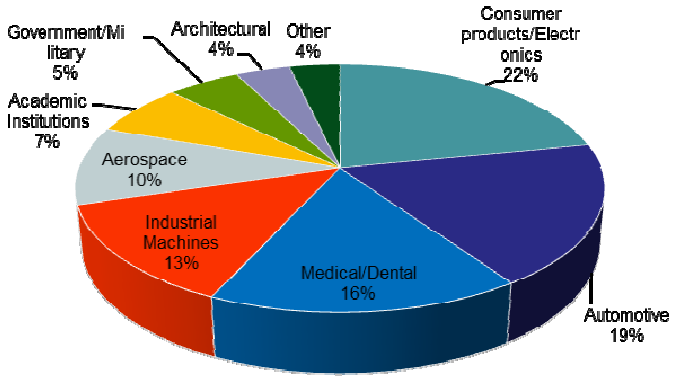
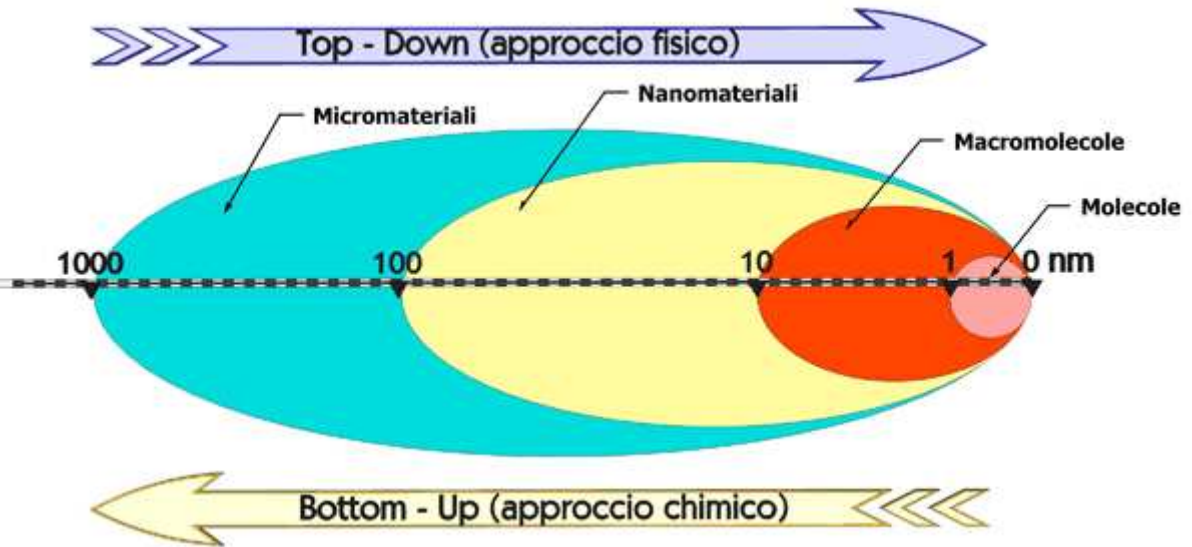
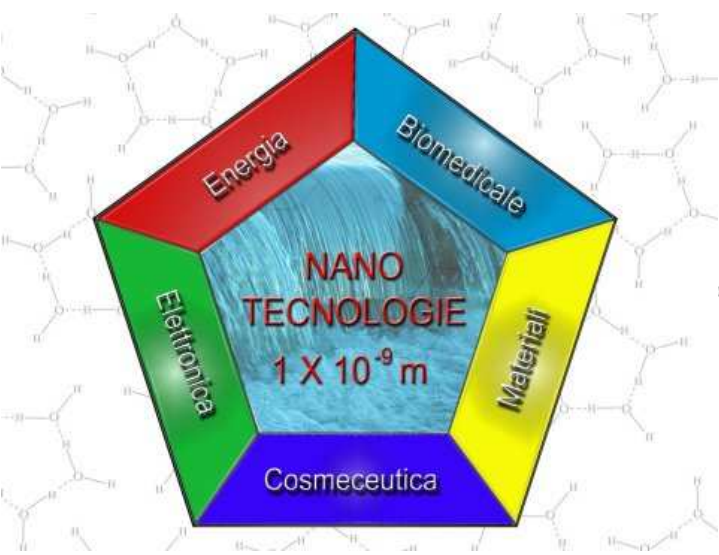
**LE NANOTECNOLOGIE**  
sono l'insieme di metodi e  
tecniche per la manipolazione  
della materia su scala atomica  
e molecolare

### SCOPO:

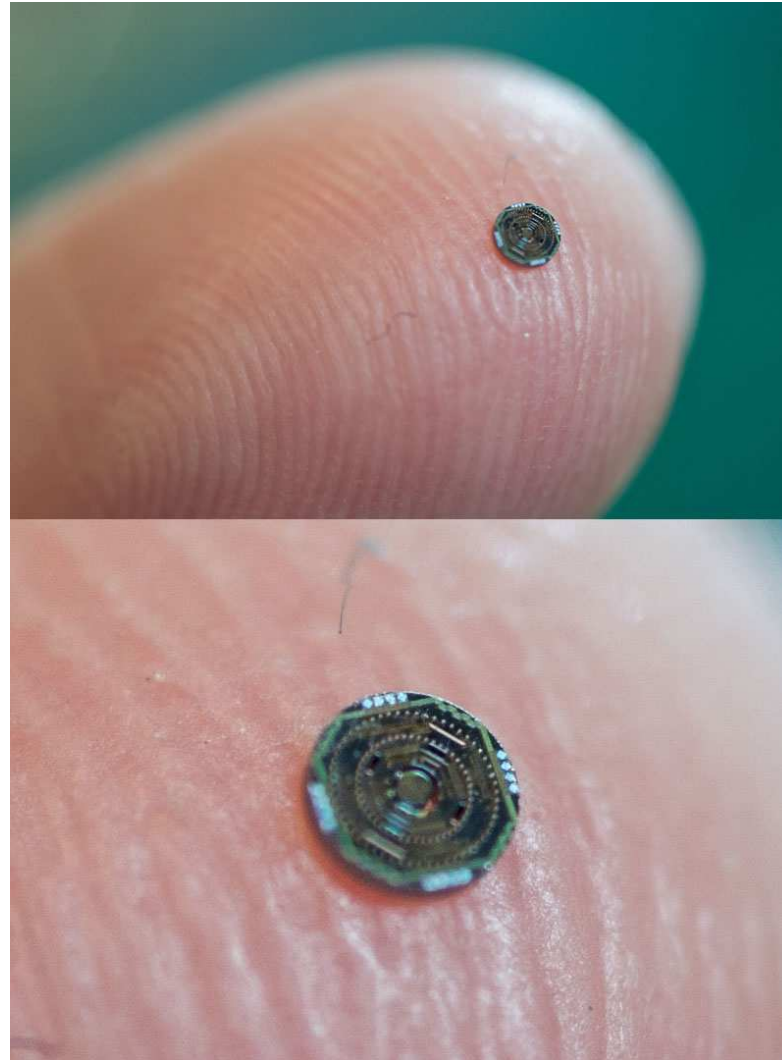
Costruire materiali e prodotti  
con speciali caratteristiche  
chimico-fisiche



# Nanotecnologie



# Miniaturizzazione

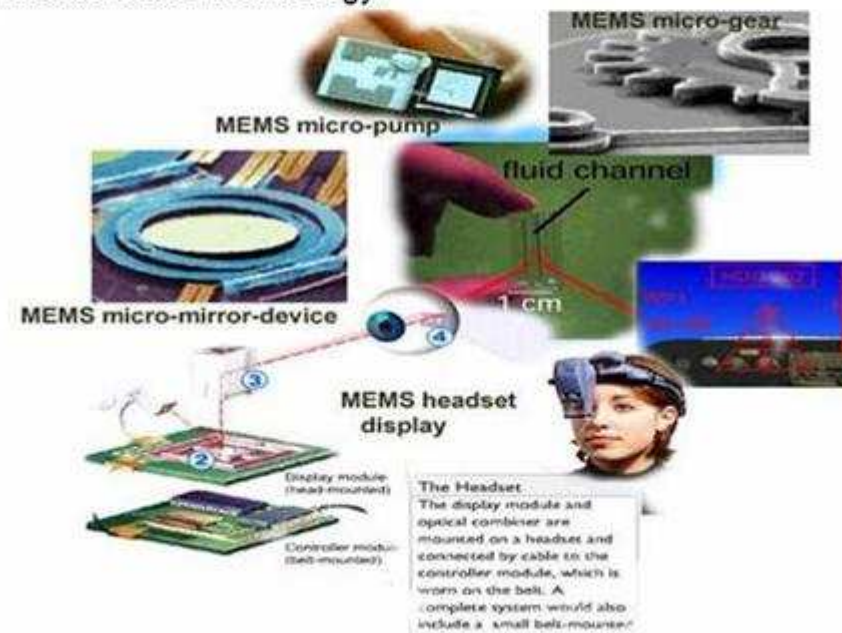




# Miniaturizzazione

## What are MEMS?

Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) is the integration of mechanical elements, sensors, actuators, and electronics on a common silicon substrate through microfabrication technology.



# Miniaturizzazione

Imagine a machine so small that it is imperceptible to the human eye. Imagine working machines no bigger than a grain of pollen. Imagine thousands of these machines batch fabricated on a single piece of silicon, for just a few pennies each. Imagine a world where gravity and inertia are no longer important, but atomic forces and surface science dominate. Imagine a silicon chip with thousands of microscopic mirrors working in unison, enabling the all optical network and removing the bottlenecks from the global telecommunications infrastructure. You are now entering the microdomain, a world occupied by an explosive technology known as MEMS. A world of challenge and opportunity, where traditional engineering concepts are turned upside down, and the realm of the "possible" is totally redefined.



# Miniaturizzazione

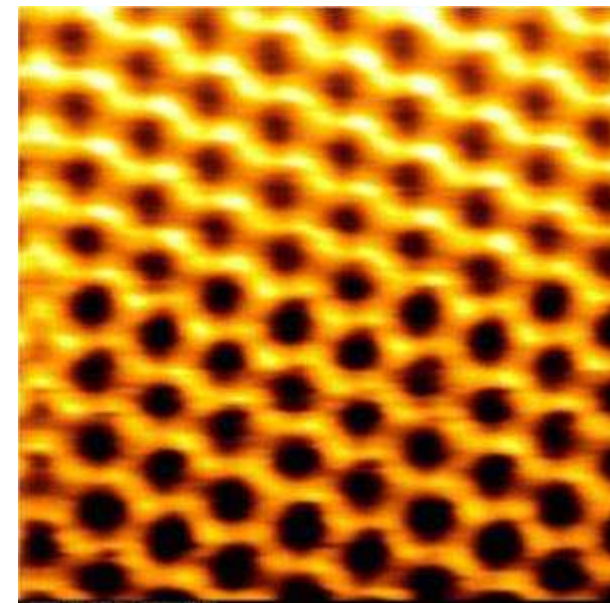
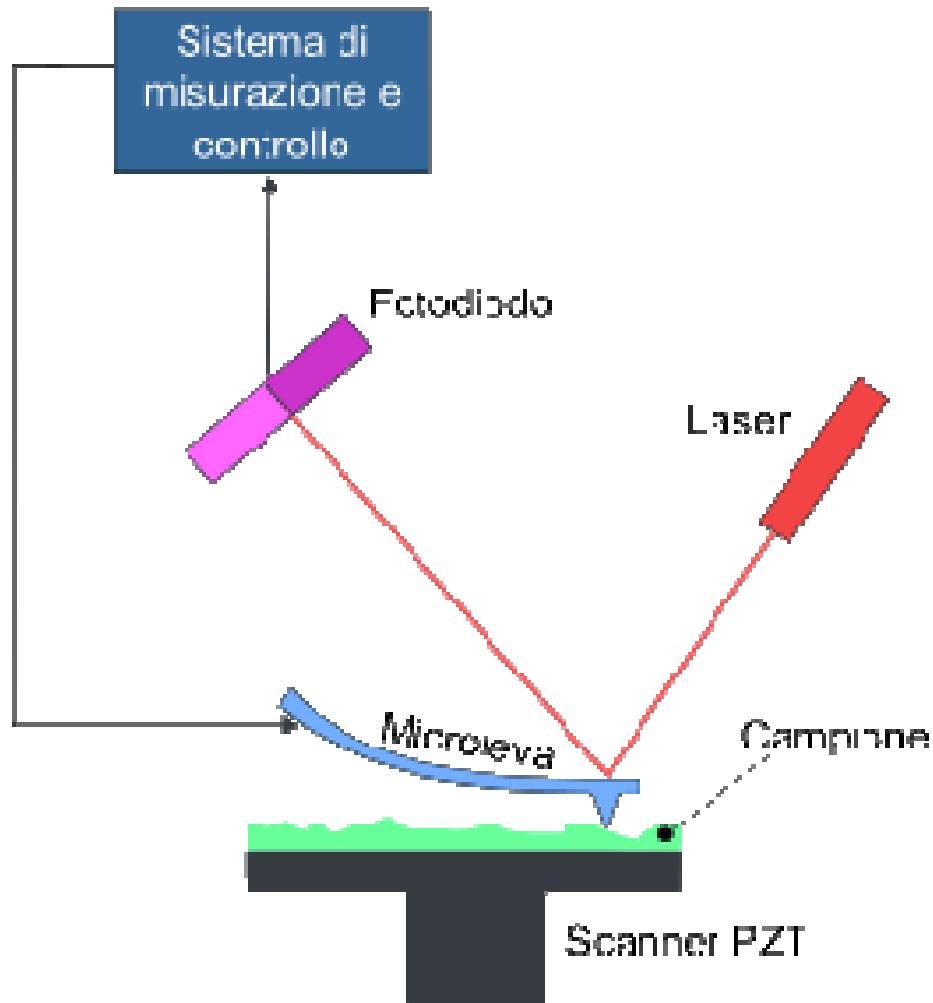
**MEMS are quietly changing the way you live, in ways that you might never imagine. The device that senses your car has been in an accident, and fires the airbag is a MEMS device. Most new cars have over a dozen MEMS devices, making your car safer, more energy efficient, and more environmentally friendly. MEMS are finding their way into a variety of medical devices, and everyday consumer products.**



# Controllo atomico sulla crescita dei materiali

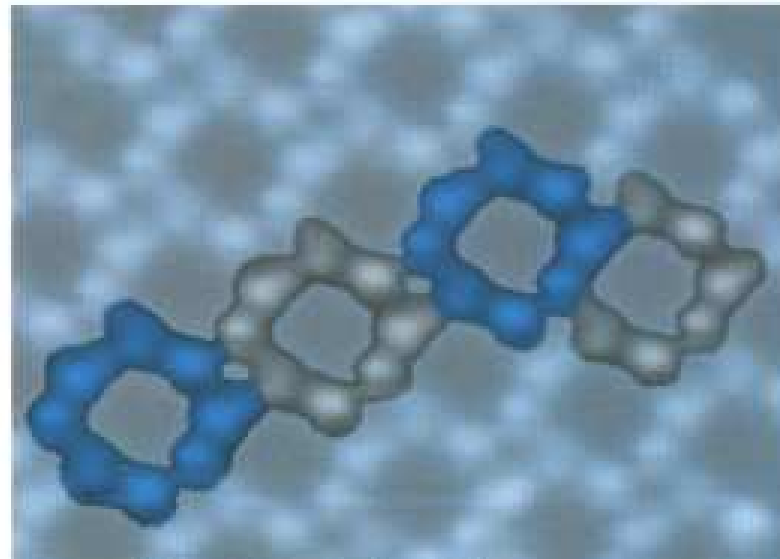
(Microscopio a forza atomica)

Gerd Binnig, Calvin Quate e Christoph Gerber 1986

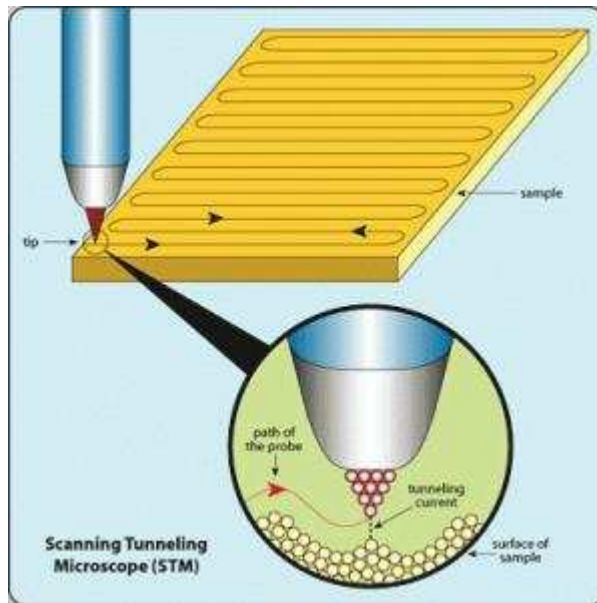


Anelli esagonali del carbonio

# Controllo atomico sulla crescita dei materiali (Microscopio a effetto tunnel)



# Controllo atomico sulla crescita dei materiali (Microscopio a effetto tunnel)



La sonda viene avvicinata agli atomi della superficie a una distanza pari a circa 1 nanometro. La nube elettronica dell'atomo all'estremità della sonda e quella dell'atomo della superficie si sovrappongono. Applicando una piccola differenza di potenziale all'estremità dell'STM, tra le due nubi elettroniche scorre corrente per effetto tunnel quantistico. La corrente dipende dalla distanza tra la sonda e il campione. Un programma mantiene costante la corrente; in questo modo la sonda si alza e si abbassa, seguendo i contorni delle nubi elettroniche, permettendo il rilevamento topografico della superficie.

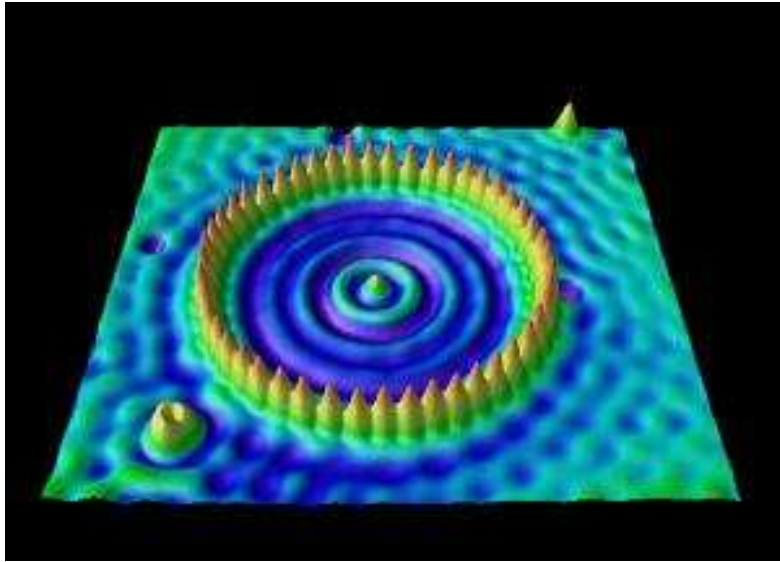
# Controllo atomico sulla crescita dei materiali (Microscopio a effetto tunnel)



Nel 1989 Donald Eigler, un ricercatore dell'Almaden Research Center dell'IBM a San Jose, in California, dimostrò che un microscopio STM di bassa temperatura permette di spostare singoli atomi. Il fisico californiano utilizzò 35 atomi di Xenon con i quali realizzò la scritta IBM.

La manipolazione atomica è possibile in quanto l'interazione tra l'atomo situato all'estremità della sonda e quello sulla superficie diventa più intensa man mano che la punta si avvicina alla superficie. Questa interazione induce tra i due atomi un legame chimico temporaneo più forte di quello tra l'atomo sulla superficie e i suoi vicini. La punta dell'STM si attacca quindi all'atomo, permettendo di spostarlo nella posizione desiderata

# Controllo atomico sulla crescita dei materiali

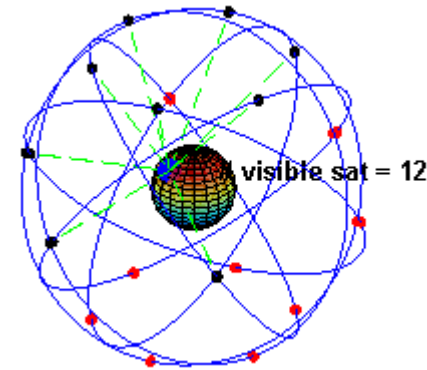
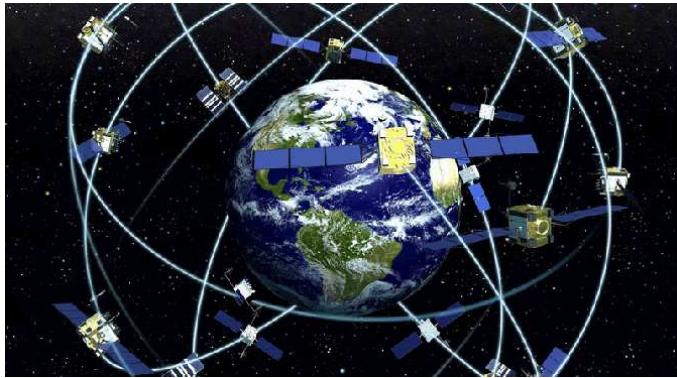


**Nel 1993 Eigler insieme a Mike Crommie e Chris Lutz, due ricercatori IBM, realizzò un anello formato da 48 atomi di ferro sopra una superficie di rame. Le increspature all'interno dell'anello sono dovute al comportamento ondulatorio degli elettroni nel sistema.**

**Nel 2012 un gruppo di ricerca dell'Università australiana New South Wales, coordinato dalla professoressa Michelle Simmons, ha realizzato il transistor più piccolo della storia. E' formato da un unico atomo di fosforo installato su una superficie di silicio. I ricercatori attraverso il microscopio STM hanno individuato un gruppo di sei atomi di silicio e hanno sostituito un atomo di fosforo al posto di uno di questi. La scoperta rivoluzionaria apre le porte ai cosiddetti qubits, bit quantistici in grado di assumere molti più valori rispetto al tradizionale bit del sistema binario. Per la prima volta il gruppo di ricerca è riuscito a controllare un singolo atomo con un livello di accuratezza altissimo.**



## L'impatto della Relatività oggi

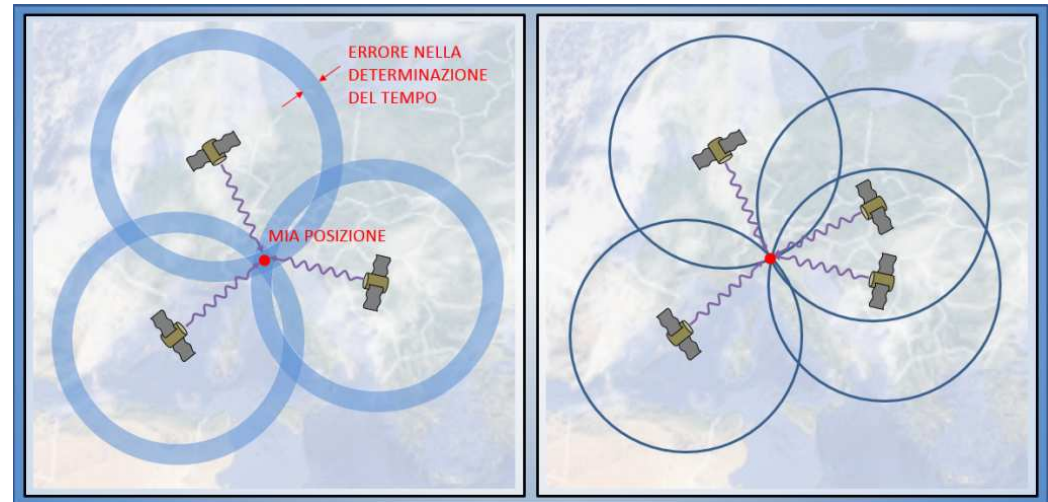


Il **Global Positioning System** (GPS) è formato da 24 satelliti in orbita circolare intorno alla terra con periodo di 12 ore, distribuiti in sei piani orbitali equispaziati in angolo; Ciascun satellite ha a bordo un orologio atomico che emette segnali con un codice che da il tempo e la posizione del satellite. Analizzando i segnali un ricevitore sulla terra mediante un microprocessore può determinare la posizione (latitudine, longitudine e altezza) del ricevitore.

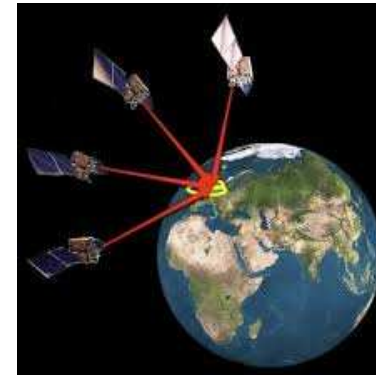
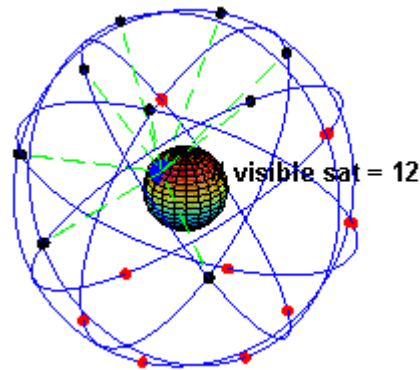
**Attuale precisione per uso civile intorno ai tre metri**

Il raggio delle singole sfere viene determinato misurando il tempo che un segnale inviato da un satellite impiega a raggiungere il ricevitore

$$D = c \Delta t$$



## L'impatto della Relatività oggi



Gli orologi atomici a bordo dei satelliti sono:

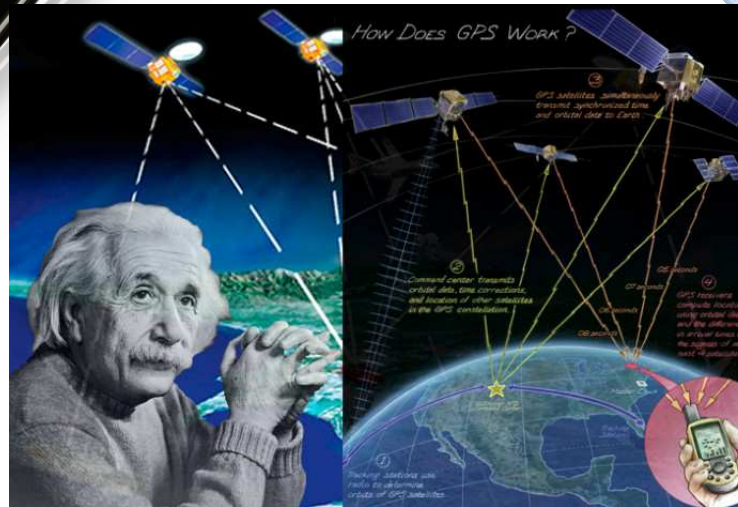
In un campo gravitazionale che è diverso sulla terra e sul satellite  $\rightarrow \Delta t_2 = 45.7 \mu\text{s/d}$  (più veloce sul satellite)

in moto con velocità di circa  $14 \times 10^3 \text{ Km/hr}$  rispetto alla terra  $\rightarrow \Delta t_1 = -7.1 \mu\text{s/d}$  (più lento sul satellite)

Effetto globale  $\rightarrow \Delta t \approx +38.6 \mu\text{s/d}$  (corrisponde a circa 10 Km/d !!!)

Gli orologi vengono corretti in modo da compensare gli effetti relativistici

## L'impatto della Relatività oggi



Einstein è sempre con te