

Misteri e Stranezze del Neutrino

Dalla nascita ai giorni nostri



Pasquale Migliozzi

Istituto Nazionale Fisica Nucleare

Sezione di Napoli

Sommario

- Perché studiare il neutrino?
- Breve storia del neutrino: dalla nascita ai giorni nostri
- Il neutrino ha un ruolo fondamentale nella ricerca: Astrofisica, Cosmologia, Fisica delle Particelle Elementari
- Il camaleontico neutrino
- I neutrini come Superman: più veloci della luce?
- La ricerca di base e la vita quotidiana

La materia ordinaria

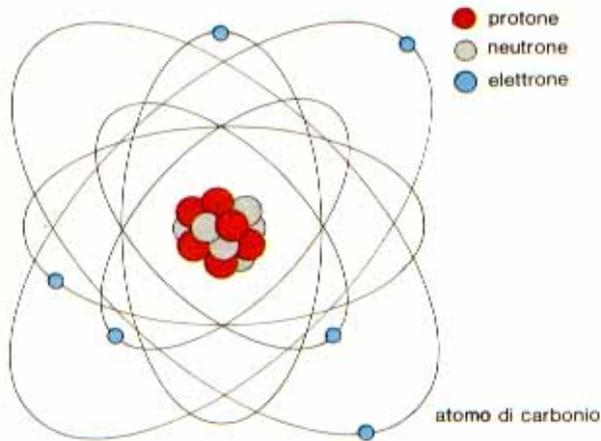
Noi essere umani e tutti gli oggetti della vita quotidiana sono composti da 3 piccolissime particelle

Elettroni

Protoni

Neutroni

che sono organizzate in atomi.



1 A METALLI 2 GAS NOBILI VIB A

2 B C N O F 10 Ne

3 B 4 C 5 N 6 O 7 F 8 Ne

4 K Ca Sc Ti V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn Ga Ge As Se Br Kr

5 Rb Sr Y Zr Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te I Xe

6 Cs Ba La Hf Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Po At Rn

7 87 Fr 88 Ra 89 Ac 104 Unq 105 Unp 106 Unh 107 Uns 108 Une 109 Uun 110 Uuu

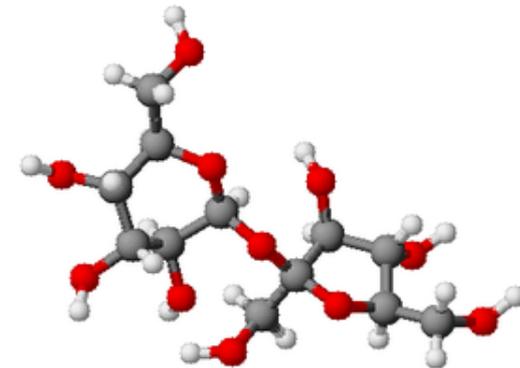
58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 Pm 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Lu

90 Th 91 Pa 92 U 93 Np 94 Pu 95 Am 96 Cm 97 Bk 98 Cf 99 Es 100 Fm 101 Md 102 No 103 Lr

47 Ag
simbolo
nome dell'elemento
massa atomica

metalli
metalli di transizione
non metalli

* I valori tra parentesi indicano il numero di massa dell'isotopo più stabile.



Atomo Carbonio

Tavola periodica

Saccarosio



Tutta la materia visibile è fatta da

Protoni

Neutroni

Elettroni

01/02/16

Pasquale Migliozzi

© Anglo-Australian Observatory

4

Domanda

Tutto l'Universo è fatto solo da

Elettroni

Protoni

Neutroni ?

NO!!!

Elettroni

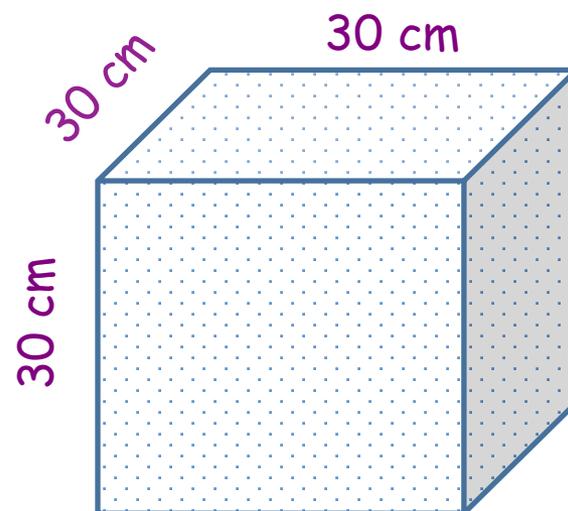
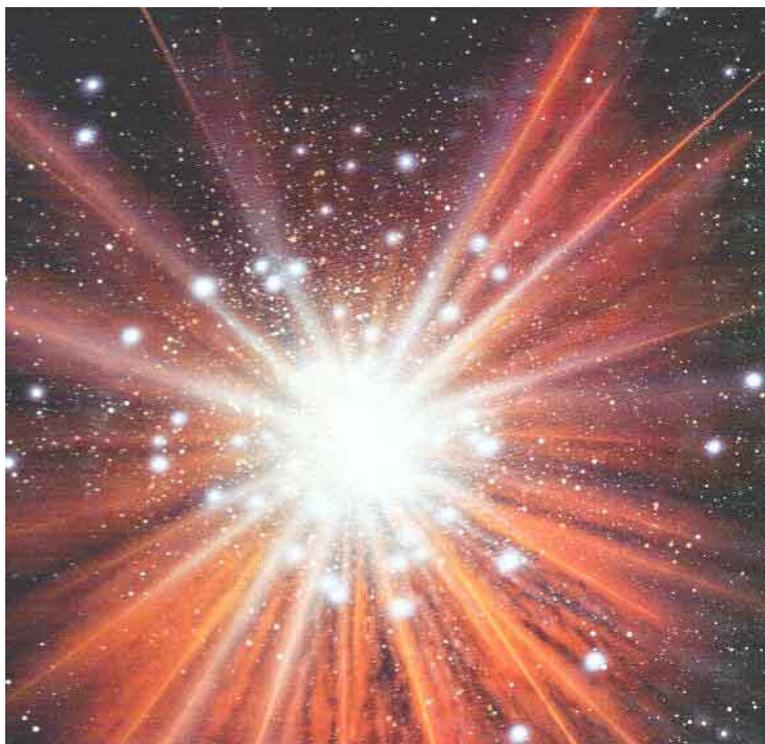
Protoni

Neutroni

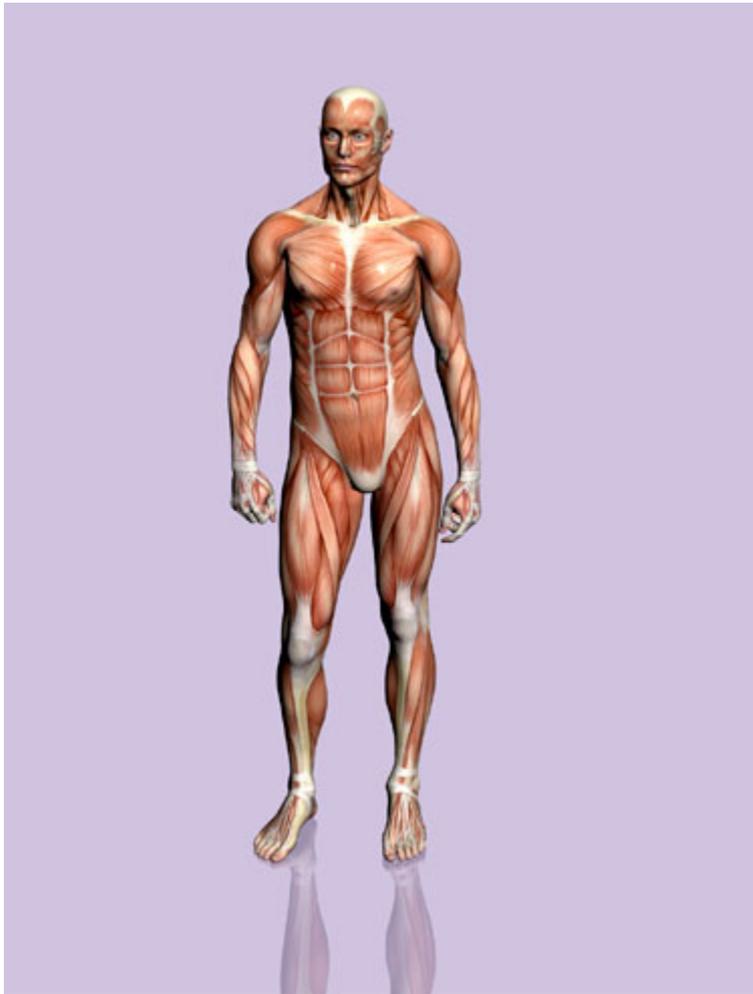
sono molto rari!

Per ognuno di loro nell'Universo ci sono circa 1000,000,000
(un miliardo) di neutrini...

**Per comprendere l'Universo
bisogna studiare i neutrini**



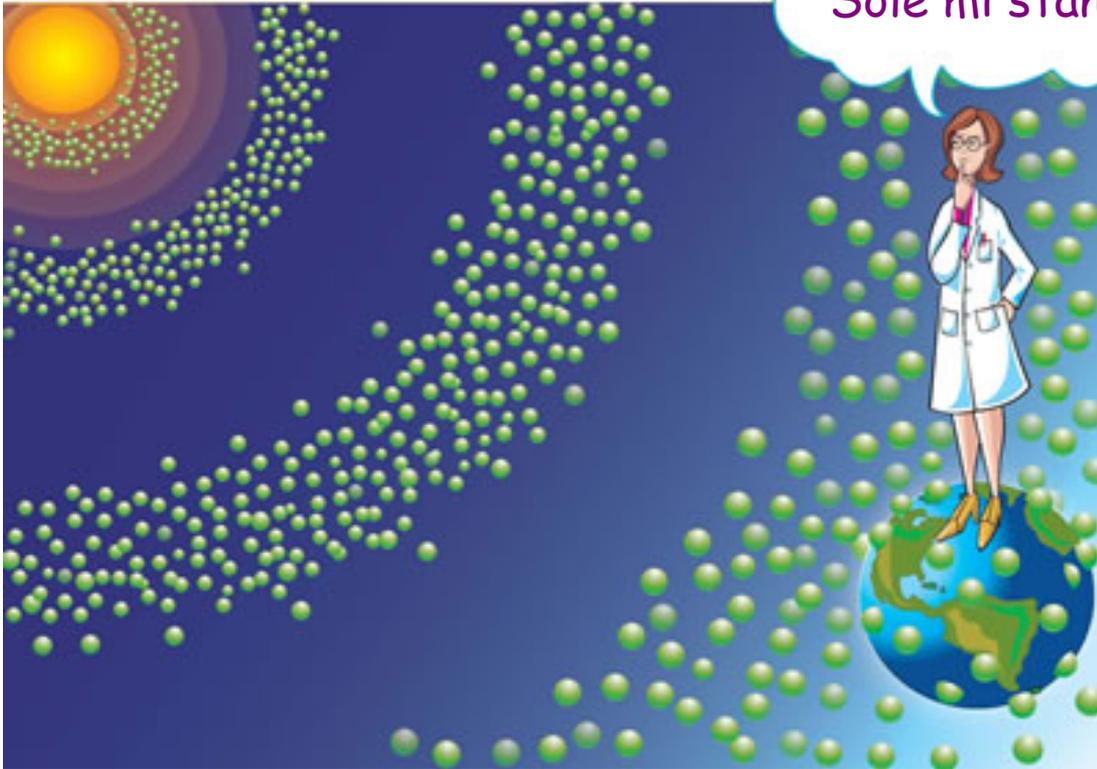
**In circa 0.03 m^3 di spazio ci sono
circa 10 milioni di neutrini
prodotti dal Big Bang!!!**



All'interno di ciascun corpo umano ci sono circa 30,000,000 (trenta milioni) di neutrini prodotti dal Big Bang!

e non è finita qui....

Quanti neutrini provenienti dal Sole mi stanno attraversando?

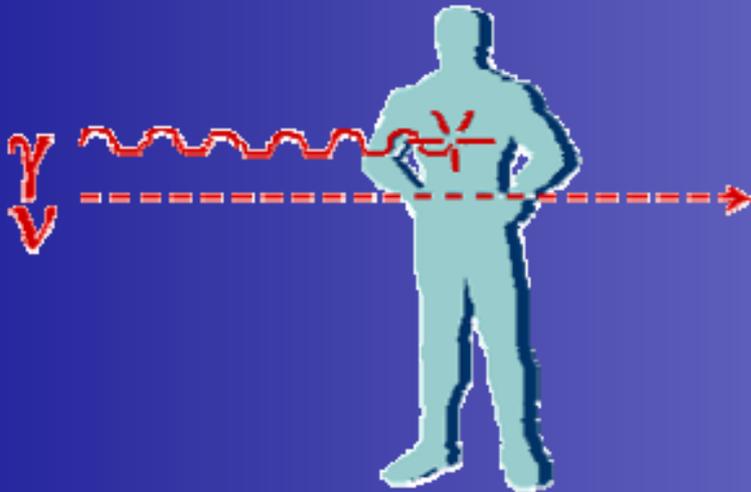


100,000,000,000,000 al secondo!

Ci dobbiamo preoccupare? **NO!**

Per fermare un neutrino sono
necessari circa 4 anni-luce
equivalenti a 4×10^{13} km
(40,000,000,000,000 km) di ferro!!!

Una curiosità



ATTENZIONE: il corpo umano contiene circa 20g di ^{40}K , per cui emettiamo circa 340 milioni di ν al giorno!

A questo punto vi chiederete

- Se ci sono tantissimi neutrini in giro, ma ne' li vediamo ne' li sentiamo (sono praticamente dei fantasmi)
- Se, quindi, interagiscono così debolmente che sono difficili da «vedere» e da studiare
- Che ruolo hanno nella nostra vita quotidiana?

FONDAMENTALE!

Se non ci fossero i neutrini

- Il Sole non brillerebbe
 - ⇒ Niente calore per riscaldare la Terra e permettere la vita sia vegetale che animale;
 - ⇒ Nessun elemento più pesante dell'idrogeno, e.g. ossigeno. Quindi niente acqua...
- Le SuperNovae non esploderebbero
 - ⇒ Gli elementi chimici pesanti non potrebbero essere prodotti

**LA VITA NON ESISTEREBBE COME
NOI LA CONOSCIAMO!**

Breve storia del neutrino: dalla nascita ai giorni nostri

Bizzarrie e misteri di una particella che sin dalla sua nascita non ha smesso mai di stupire

Tutto iniziò per caso...

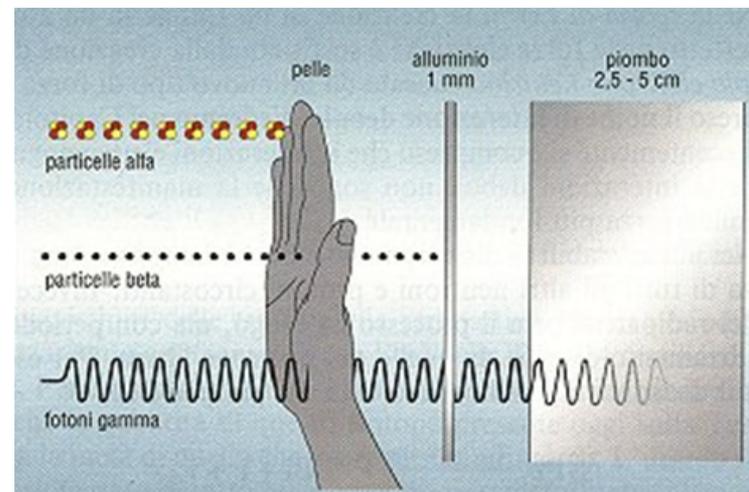
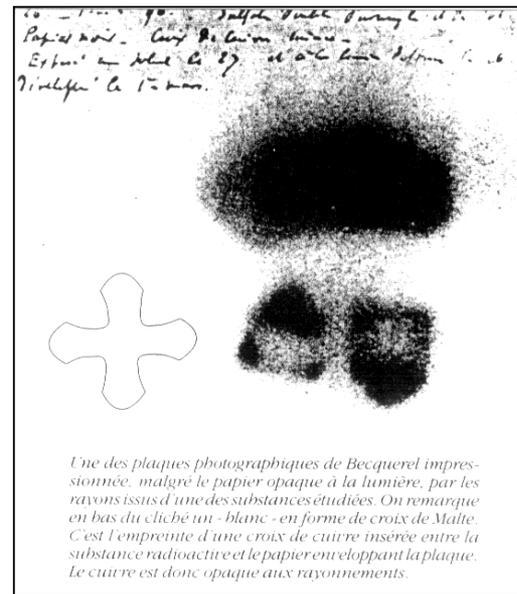


Nel 1896, Becquerel scoprì accidentalmente la radioattività, mentre investigava la fosforescenza dei sali di uranio.

Incoraggiato dal suo amico Henri Poincaré, cercò di determinare se il fenomeno avesse la stessa natura dei raggi X.

Becquerel concluse che il materiale emetteva dei raggi senza bisogno di un'eccitazione da parte della luce.

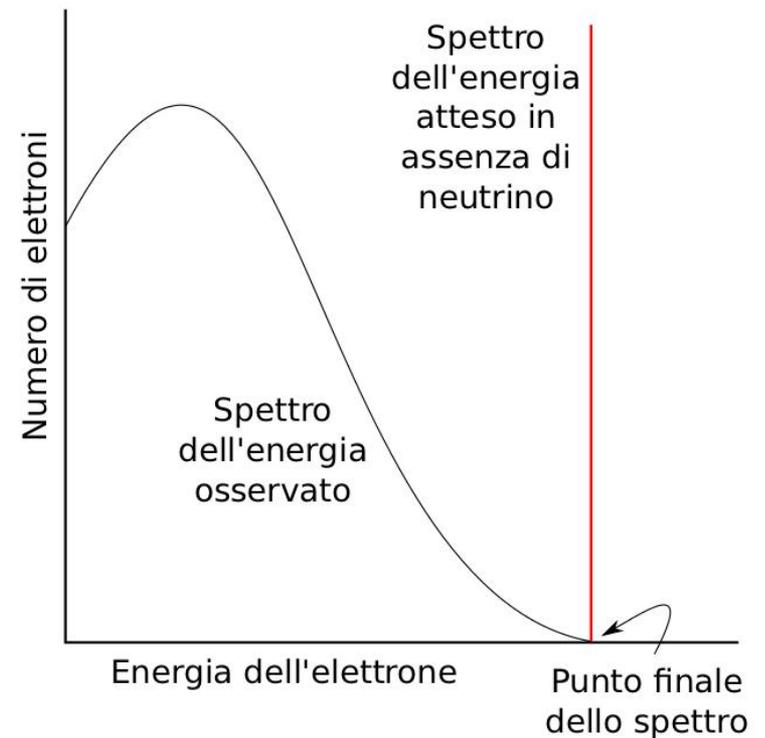
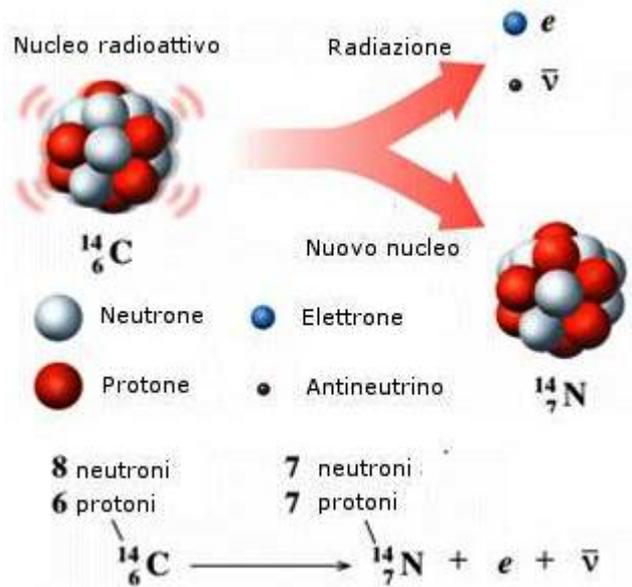
Scanned at the American Institute



C'era però un problema!

A quel tempo si pensava che gli elettroni venissero emessi da soli nel decadimento $\beta \Rightarrow$ elettrone mono-energetico

Ma molti esperimenti avevano confermato che lo spettro degli elettroni emessi nel decadimento β era continuo





Un rimedio disperato! (1930)



✓ Niels Bohr Non conservation of the energy

“... at the present stage of atomic theory, however, we may say that we have no argument, either empirical or theoretical, for upholding the energy principle in the case of β decay, are even led to complications in trying to do so. Of course, a radical departure from this principle would imply strange consequences...”

4th December 1930

Dear Radioactive Ladies and Gentlemen,

As the bearer of these lines, to whom I graciously ask you to listen, will explain to you in more detail, how because of the “wrong” statistics of the N and ${}^6\text{Li}$ nuclei and the continuous beta spectrum, I have hit upon a desperate remedy to save the “exchange theorem” of statistics and the law of conservation of energy. Namely, the possibility that there could exist in the nuclei electrically neutral particles, that I wish to call neutrons, which have spin and obey the exclusion principle and which further differ from light quanta in that they do not travel with the velocity of light. The mass of the neutrons should be of the same order of magnitude as the electron mass (and in any event not larger than 0.01 proton masses). The continuous beta spectrum would then become understandable by the assumption that in beta decay a neutron is emitted in addition to the electron such that the sum of the energies of the neutron and the electron is constant...

From now on, every solution to the issue must be discussed. Thus, dear radioactive people, look and judge. Unfortunately I will not be able to appear in Tübingen personally, because I am indispensable here due to a ball which will take place in Zürich during the night from December 6 to 7....

Your humble servant,

W. Pauli 01/02/16

Nascita del neutrino (1934)

Versuch einer Theorie der β -Strahlen. I¹⁾.

Von E. Fermi in Rom.

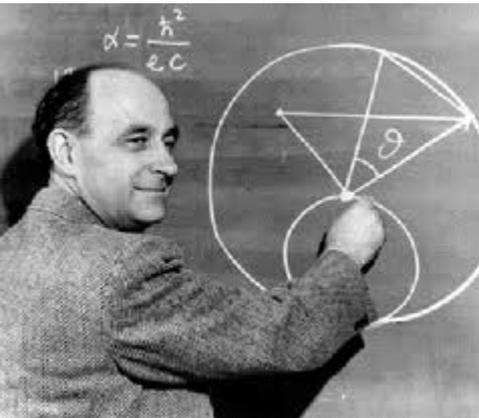
Mit 3 Abbildungen. (Eingegangen am 16. Januar 1934.)

Eine quantitative Theorie des β -Zerfalls wird vorgeschlagen, in welcher man die Existenz des Neutrinos annimmt, und die Emission der Elektronen und Neutrinos aus einem Kern beim β -Zerfall mit einer ähnlichen Methode behandelt, wie die Emission eines Lichtquants aus einem angeregten Atome in der Strahlungstheorie. Formeln für die Lebensdauer und für die Form des emittierten kontinuierlichen β -Strahlenspektrums werden abgeleitet und mit der Erfahrung verglichen.

1. Grundannahmen der Theorie.

Bei dem Versuch, eine Theorie der Kernelektronen sowie der β -Emission aufzubauen, begegnet man bekanntlich zwei Schwierigkeiten. Die erste ist durch das kontinuierliche β -Strahlenspektrum bedingt. Falls der Erhaltungssatz der Energie gültig bleiben soll, muß man annehmen, daß ein Bruchteil der beim β -Zerfall frei werdenden Energie unseren bisherigen Beobachtungsmöglichkeiten entgeht. Nach dem Vorschlag von W. Pauli kann man z. B. annehmen, daß beim β -Zerfall nicht nur ein Elektron, sondern auch ein neues Teilchen, das sogenannte „Neutrino“ (Masse von der Größenordnung oder kleiner als die Elektronenmasse; keine elektrische Ladung) emittiert wird. In der vorliegenden Theorie werden wir die Hypothese des Neutrinos zugrunde legen.

Enrico Fermi, Zeitschrift für Physik, volume 88 (1934), page 161 ...



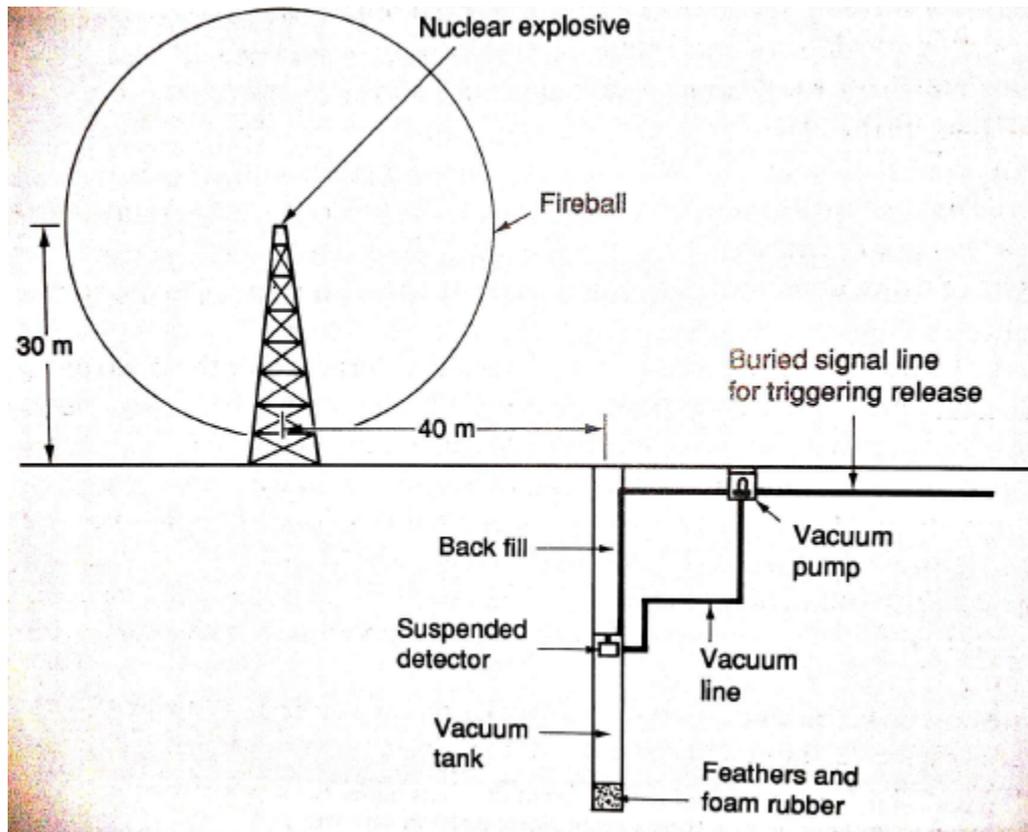
Enrico Fermi

Interessante notare che quando inviò il lavoro alla rivista gli fu rifiutata la pubblicazione....

Come produrre tanti neutrini?

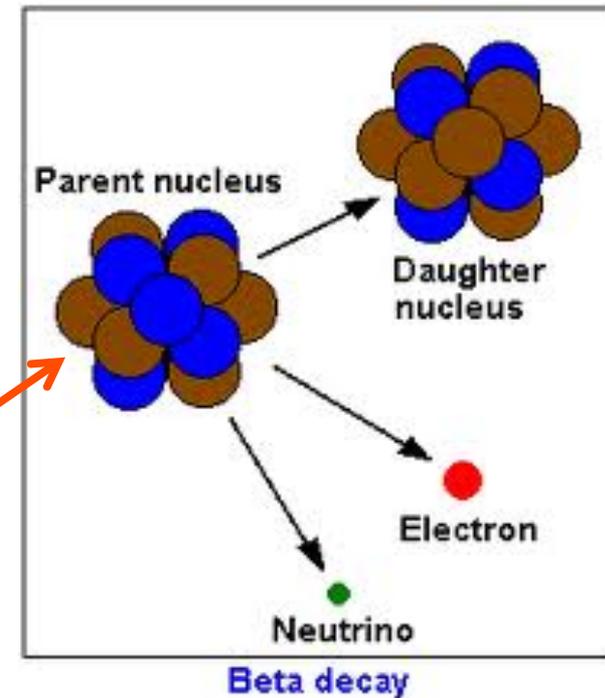
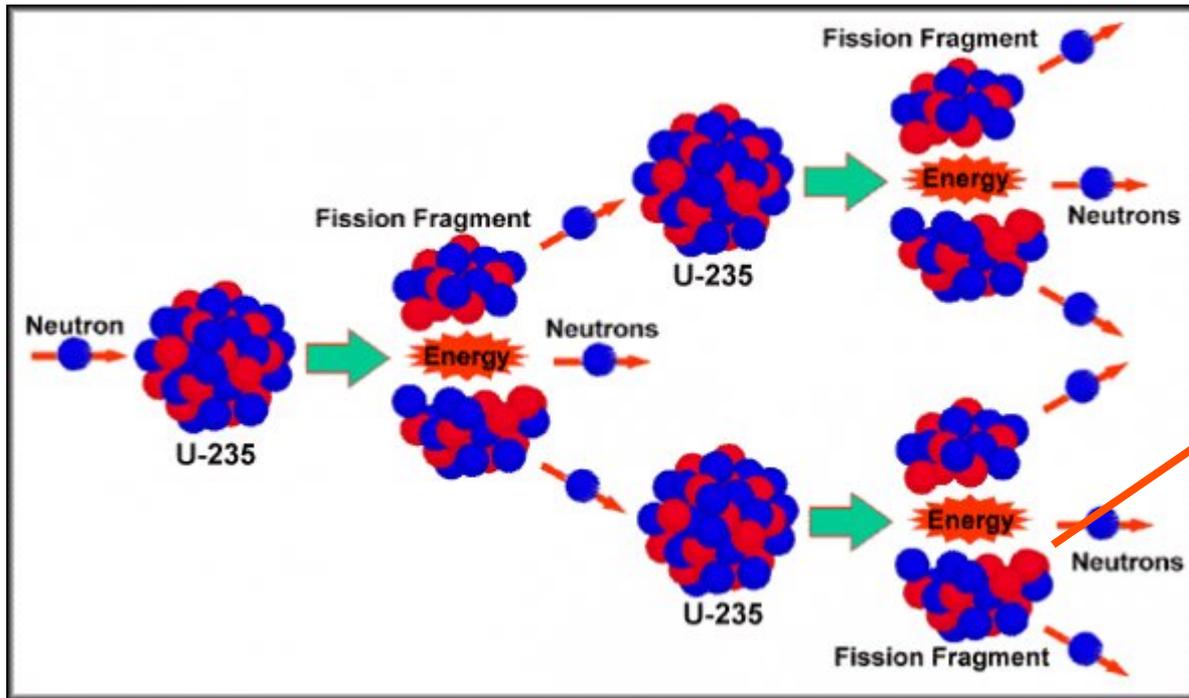
La prima idea era abbastanza pericolosa...

L'idea originaria di Reines e Cowan per esporre un rivelatore ad un intenso flusso di neutrini era quella di collocarlo in prossimità in un'esplosione di una bomba atomica!



Come produrre tanti neutrini?

L'invenzione dei reattori nucleari: il processo di fissione

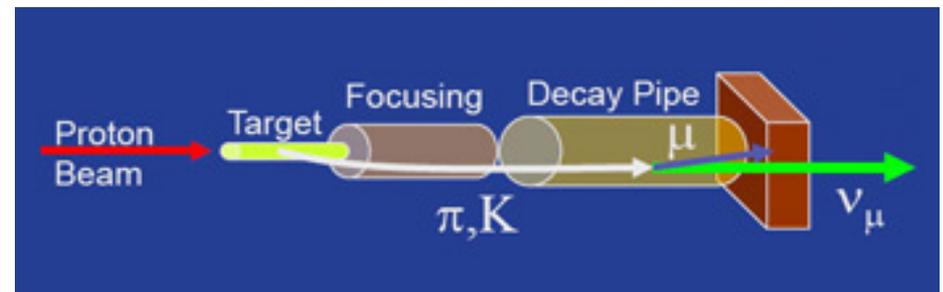
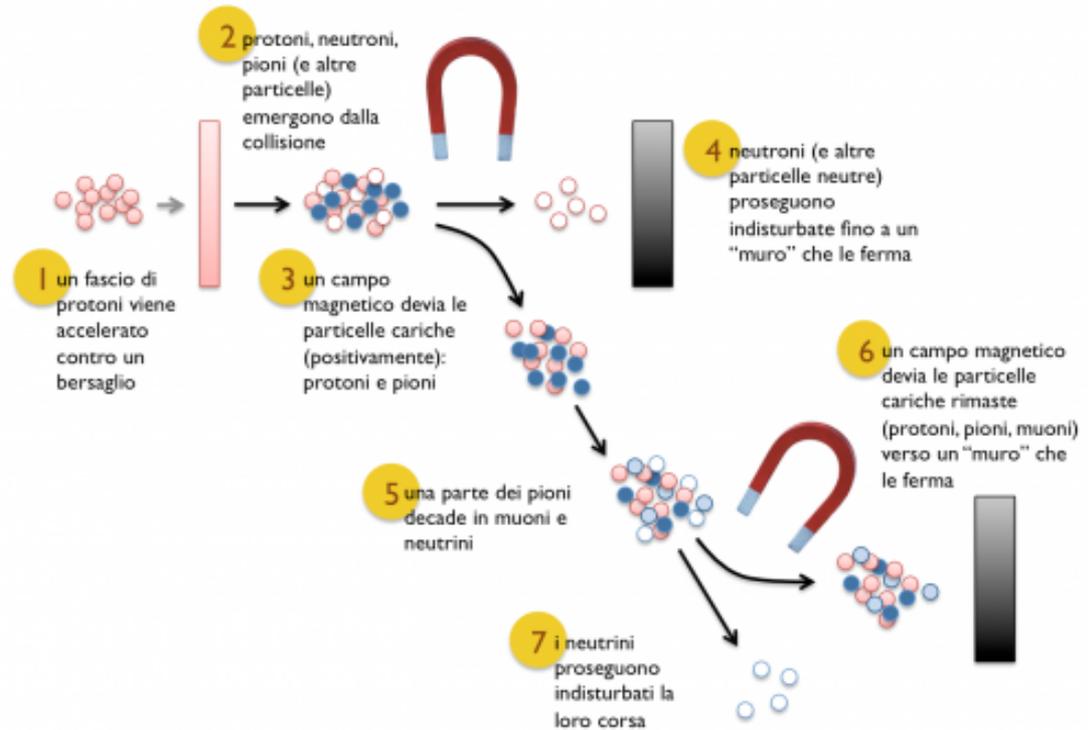
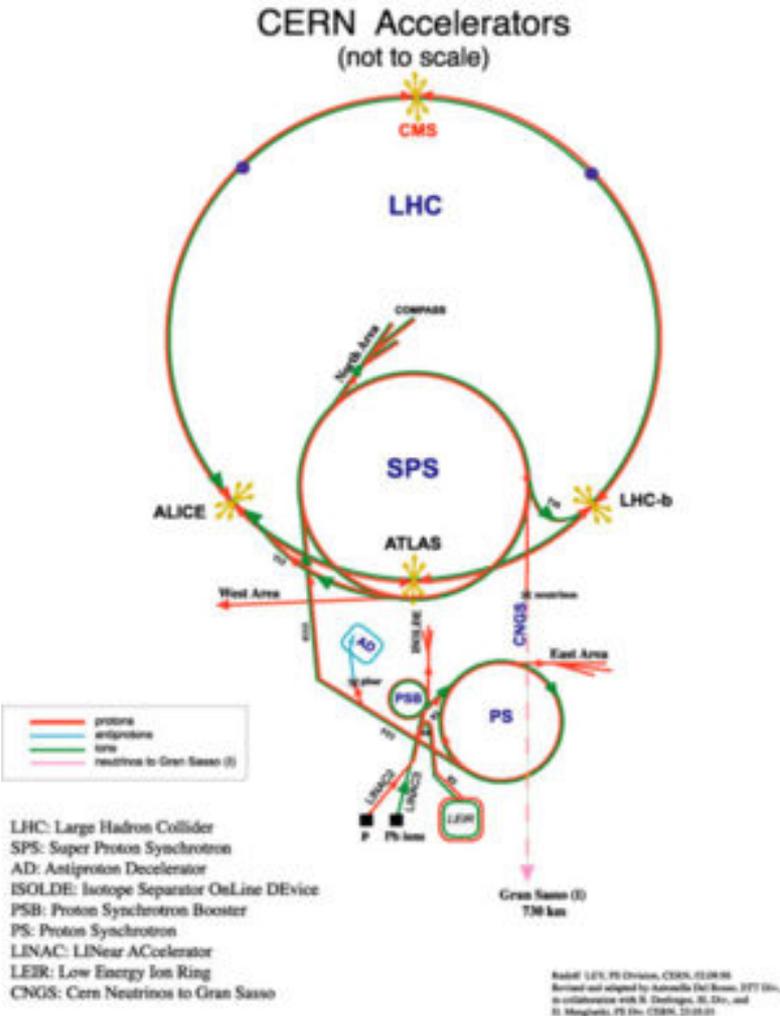


Per un reattore tipico vengono prodotti

10^{20} neutrini al secondo!

Come produrre tanti neutrini?

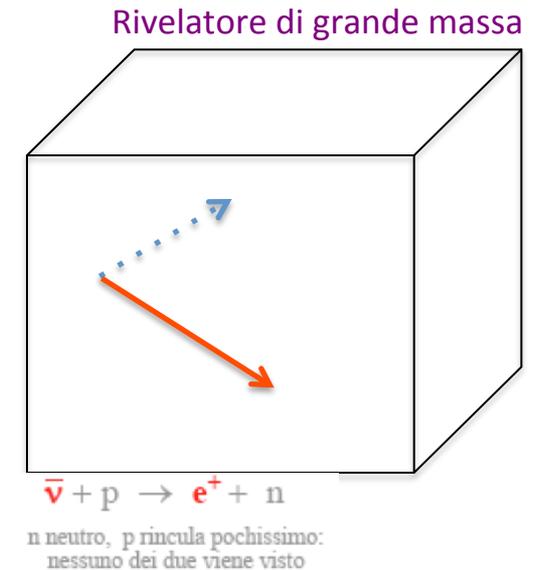
Gli acceleratori di particelle



Registrazione all'anagrafe (1956)

o in altri termini l'osservazione diretta del neutrino

Metodo proposto da B. Pontecorvo nel 1946

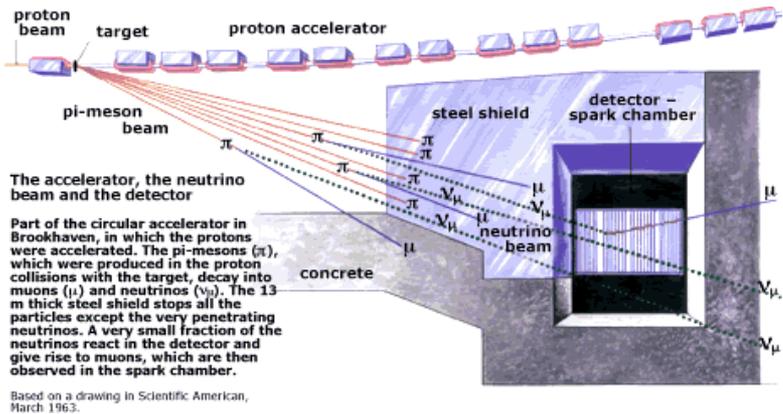


La firma del neutrino:

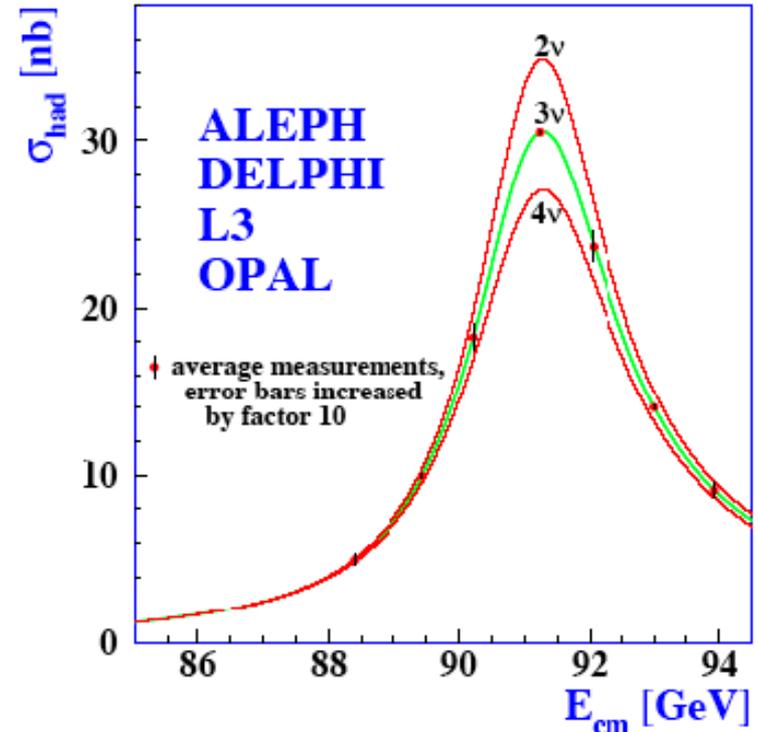
nulla di visibile entra, esce un positrone

Quanti tipi di neutrino?

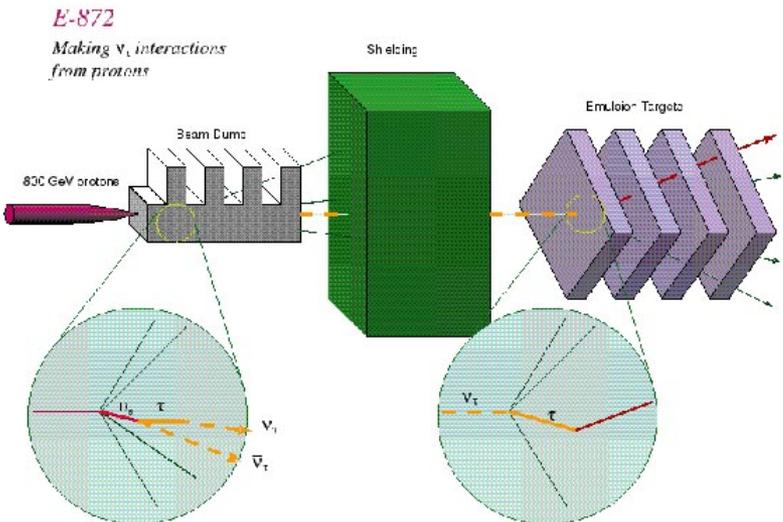
Nel 1962 fu scoperto il secondo tipo di neutrino: $\nu_\mu \neq \nu_e$



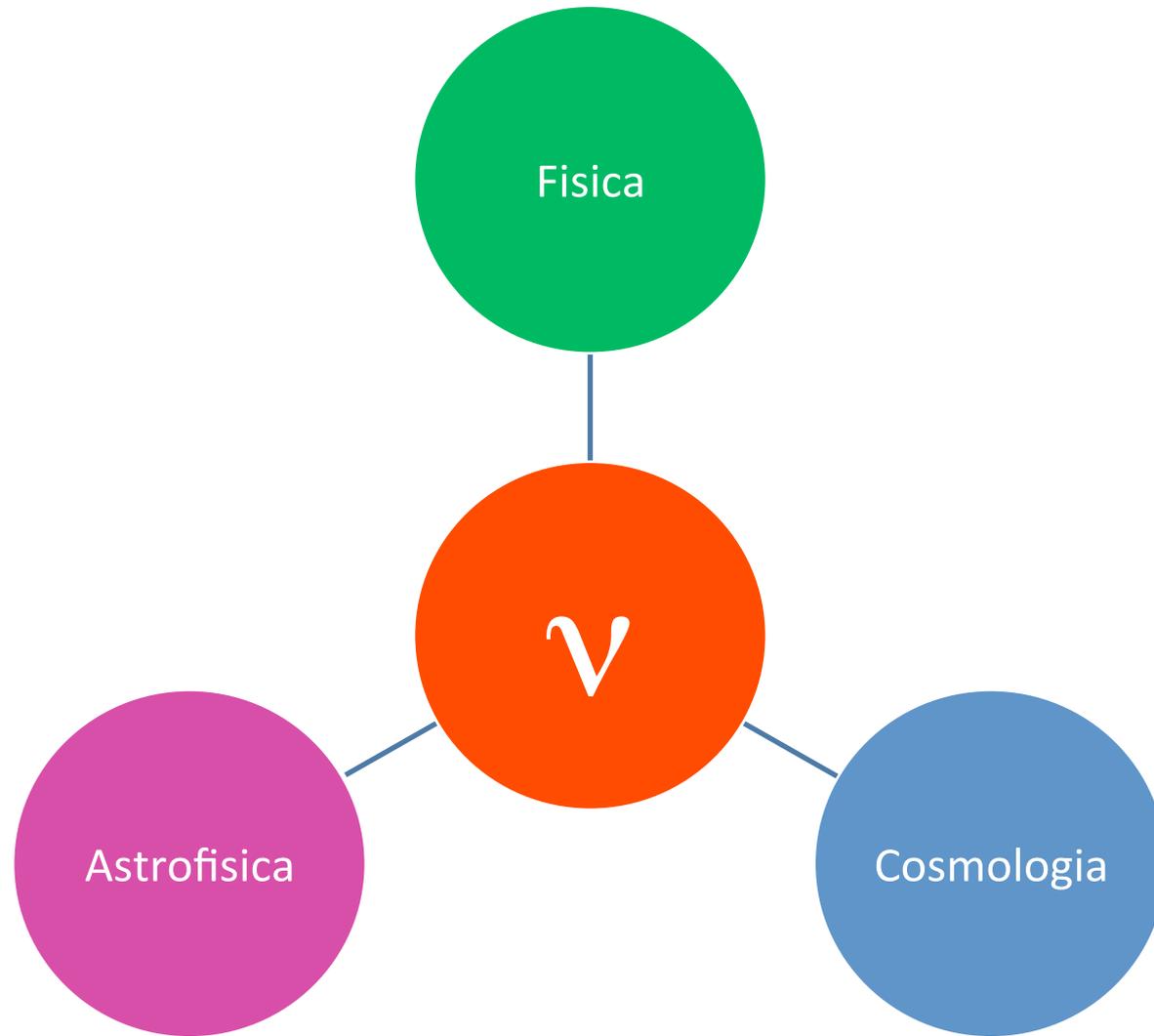
Nel corso degli anni '90 gli esperimenti al LEP del CERN hanno misurato in modo indipendente che i tipi di neutrino sono TRE!



Nel 2001 fu scoperto il terzo tipo di neutrino: $\nu_\tau \neq \nu_\mu \neq \nu_e$



I neutrino hanno un ruolo fondamentale nella ricerca



Astrofisica: I neutrini come “messaggeri di conoscenza”

Fisica del Sole e delle stelle
Collassi stellari e Supernove
Informazioni da galassie lontane

Cosmologia: I neutrini come “ingredienti essenziali”

Neutrini “reliquie” del Big Bang
(permeano l’universo come le micro-onde della Radiazione Cosmica di Fondo)
Materia Oscura ed evoluzione dell’Universo

Fisica delle particelle elementari:

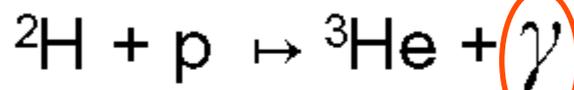
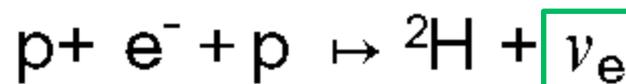
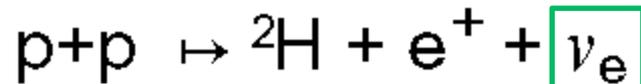
I neutrini come “apripista”

$m_\nu > 0$: il primo indizio sulla fisica nella “terra incognita”
oltre il cosiddetto Modello Standard



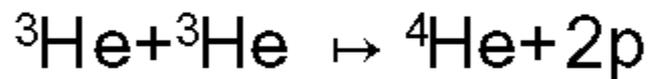
Astrofisica

Il Sole e le stelle sono reattori a fusione nucleare

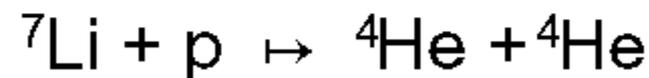
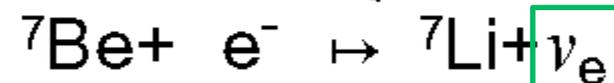
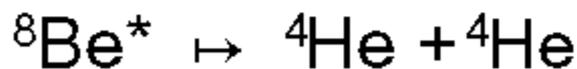
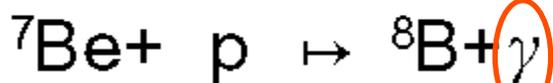


85 %

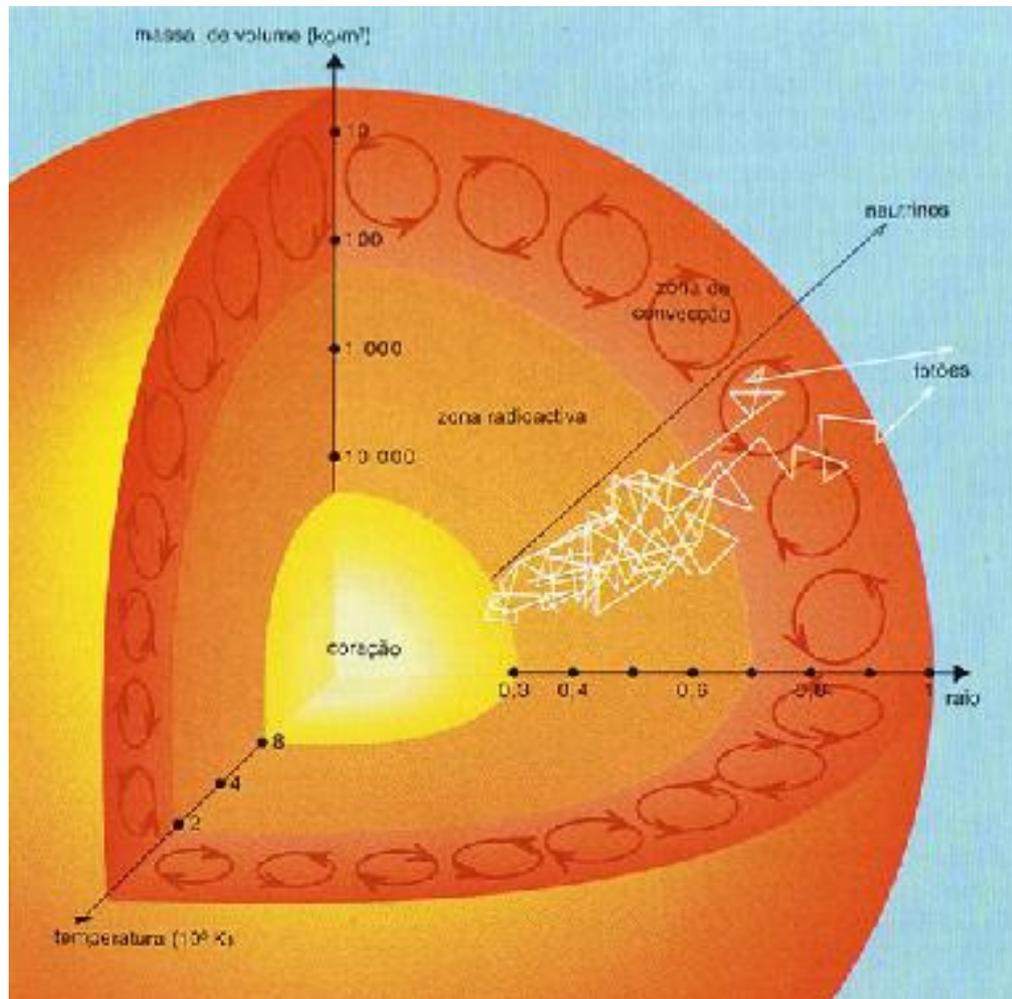
15 %



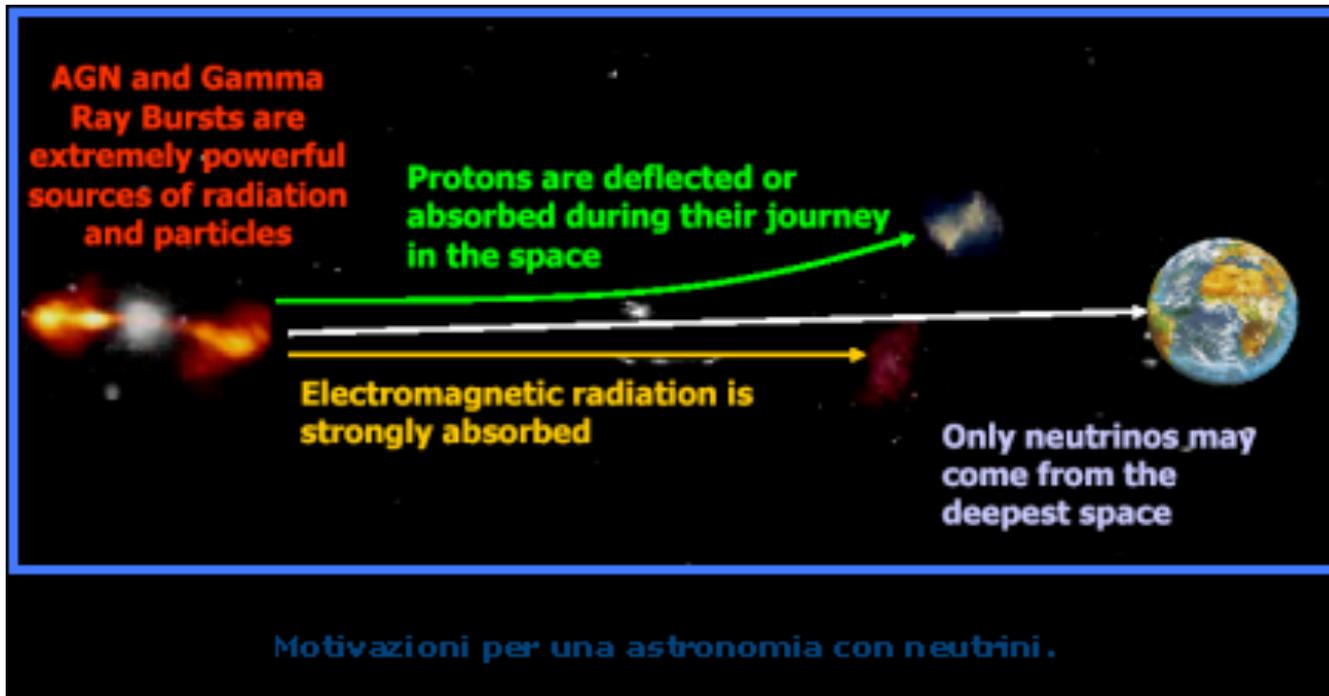
0.02 %



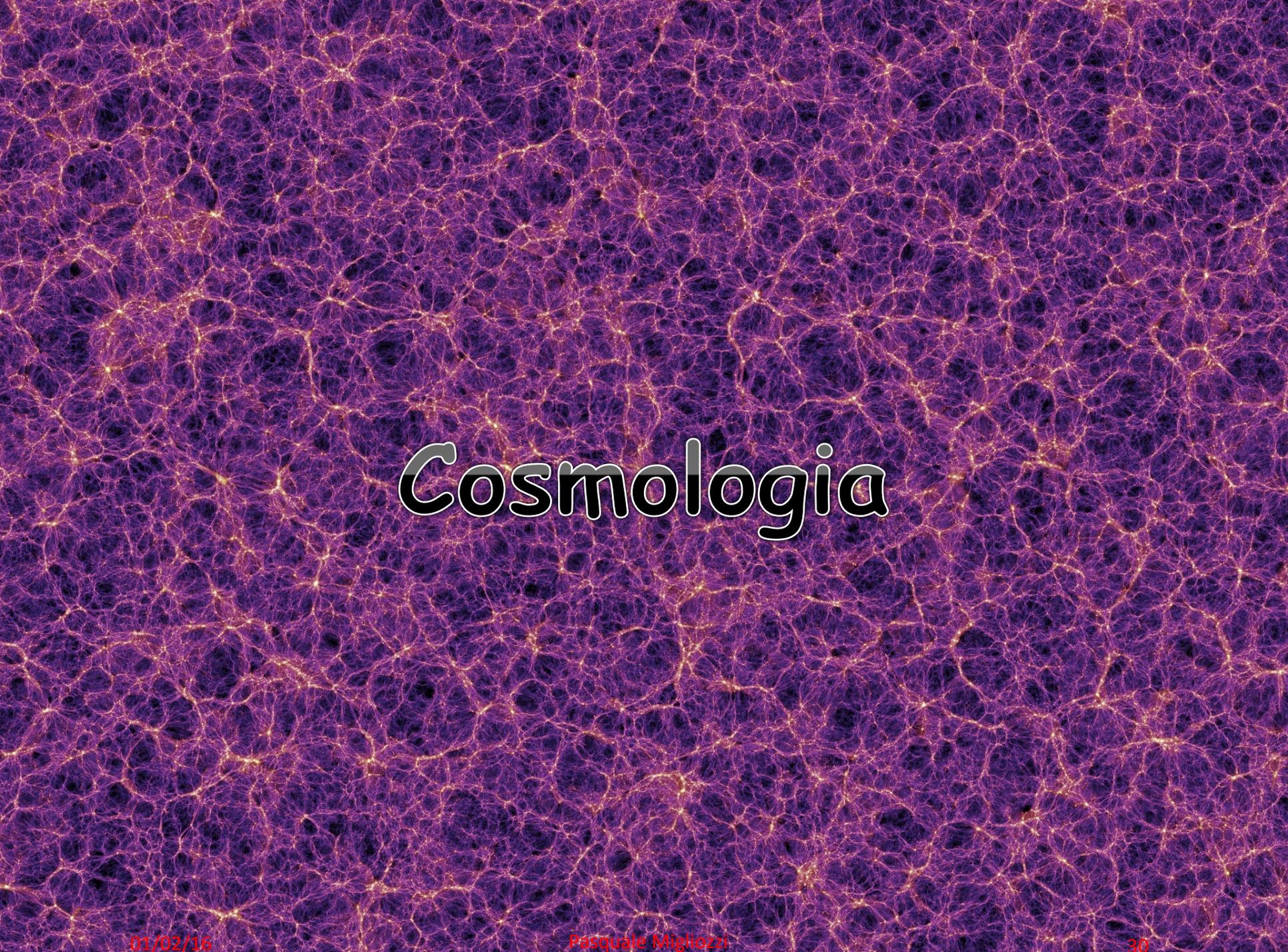
L'importanza di poter osservare i neutrini prodotti nel Sole



Perché sono importanti i neutrini di altissima energia?



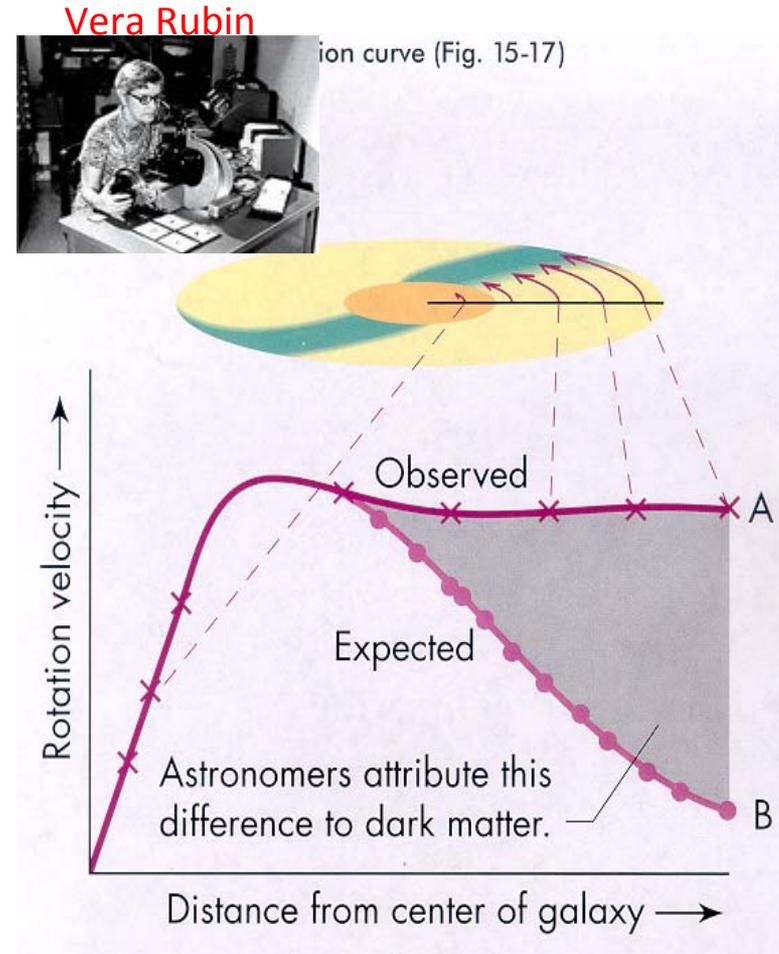
- La luce impiega circa 1,28 [secondi](#) per percorrere la distanza che separa la [Terra](#) dalla [Luna](#).
- La luce impiega circa 8,33 minuti (8 min 20 s) per viaggiare dal [Sole](#) alla [Terra](#) (quindi noi siamo a circa 8,33 minuti luce dal Sole).
- [Plutone](#) è a circa 5,4 ore luce da noi (NB Un'ora luce corrisponde a circa 1,08 miliardi di chilometri (circa la distanza tra il [Sole](#) e [Saturno](#)))
- La stella più vicina (oltre al Sole), [Proxima Centauri](#), dista 4,22 anni luce dalla Terra.
- La più vicina galassia di grandi dimensioni, la [galassia di Andromeda](#), si trova ad una distanza di circa 2 milioni di anni luce.
- Il [quasar](#) più vicino a noi ([3C 273](#)) si trova a circa 3 miliardi di anni luce.
- Poiché si calcola che il [Big Bang](#) sia avvenuto circa 13,7 miliardi di anni fa, l'[Universo](#) osservabile ha un raggio di circa 13,7 miliardi di anni luce.
- Un anno luce corrisponde precisamente a 9.460.730.472.580,8 km.

A visualization of the cosmic web, showing a dense network of purple and yellow filaments and nodes against a dark background. The filaments form a complex, interconnected web-like structure, with brighter yellow nodes at the intersections and along the filaments.

Cosmologia

Evidenza della Materia Oscura

- Tutti i corpi dotati di massa risentono della forza di gravità dovuta ai corpi circostanti.
- Osservazioni astronomiche hanno dimostrato che la velocità delle stelle nelle galassie lontane è maggiore di quanto dovrebbe.
- La risposta è nella “*massa*” e nella “*gravità*”.

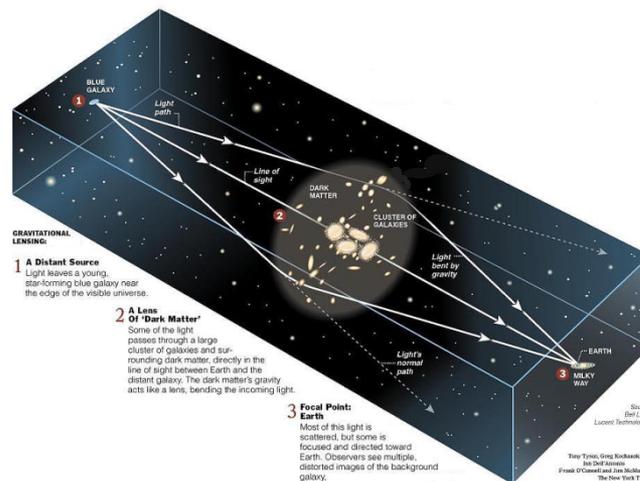


A grandi R ci si attende $v_R = \frac{1}{\sqrt{R}}$ invece si trova

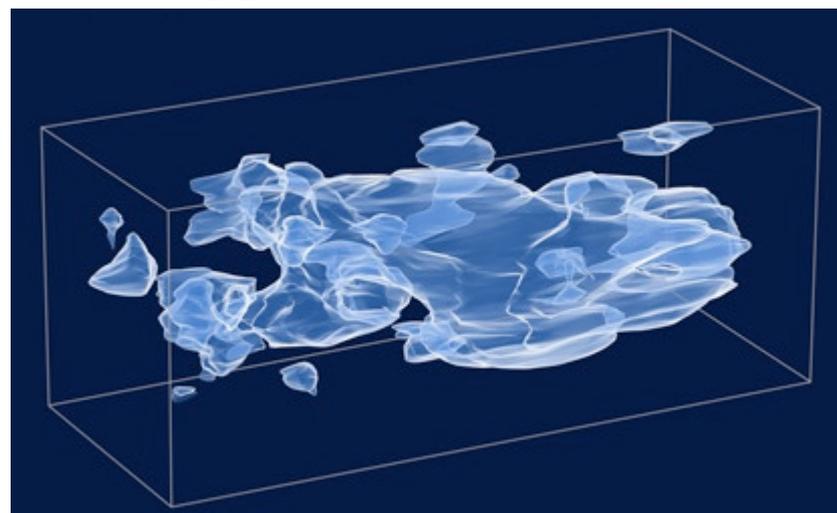
$$v_R = \text{cost}$$

Evidenza della materia oscura

- Più recentemente la materia oscura è stata smascherata attraverso lo spettacolare fenomeno delle lenti gravitazionali.
- Dato che i fotoni, le particelle che compongono la luce, portano un'energia, risentono dell'attrazione gravitazionale dovuta alle altre forme di energia.
- Così, nelle vicinanze di concentrazioni di materia la luce non viaggia in linea retta ma curva, come in una lente.
- Anche qui la risposta è nella *"massa"* e nella *"gravità"*.



Mappa 3D della distribuzione della Materia Oscura ottenuta mediante lensing gravitazionale



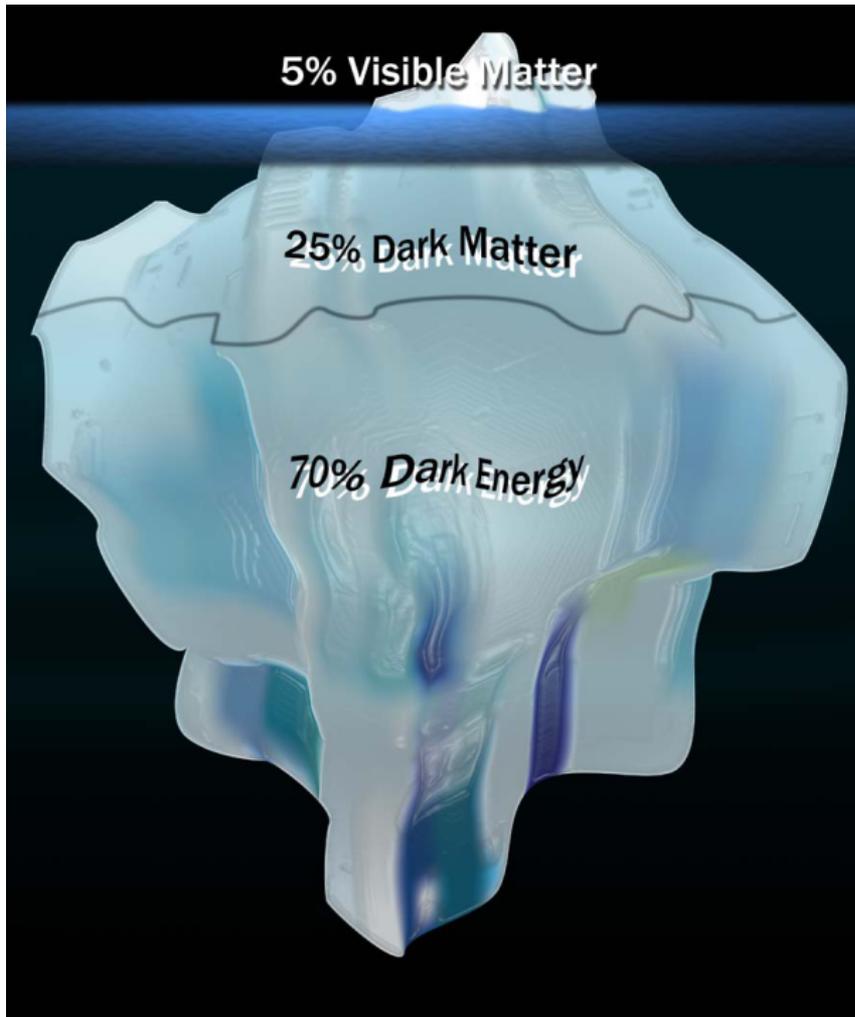
Il fenomeno dell'Olandese Volante



Il fenomeno, che può essere osservato a terra o in mare, nelle regioni polari o nei deserti, distorce enormemente l'oggetto (o gli oggetti) tanto da renderli insoliti e irriconoscibili. Può riguardare qualsiasi tipo di oggetti "distanti", come isole, coste o barche. Il soggetto è mostrato in rapida evoluzione, in posizioni diverse a quelle originarie, in una visione che può passare senza soluzione di continuità dalla compressione all'allungamento.

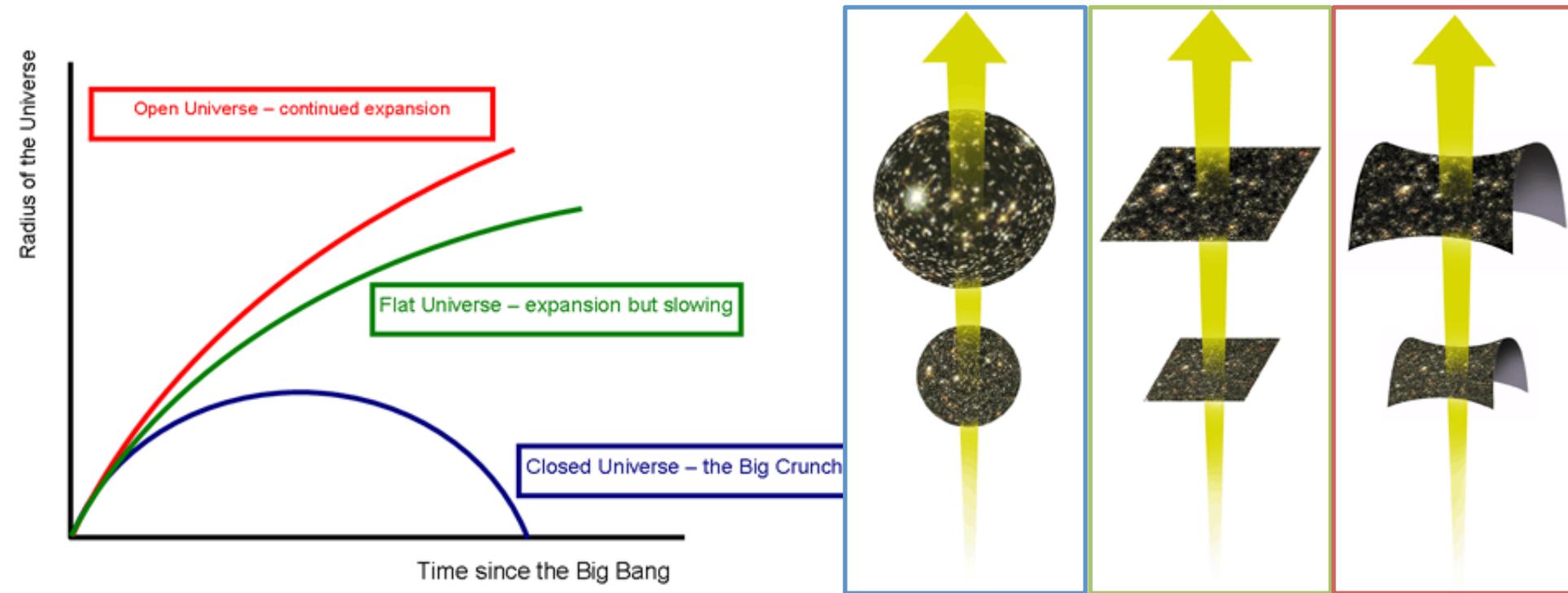
Questo fenomeno ottico si verifica quando i raggi di luce sono fortemente incurvati dal passaggio attraverso strati d'aria a temperature diverse

Quanta materia oscura?



I neutrini, in quanto dotati di massa e «invisibili» potrebbero contribuire alla materia oscura dell'Universo

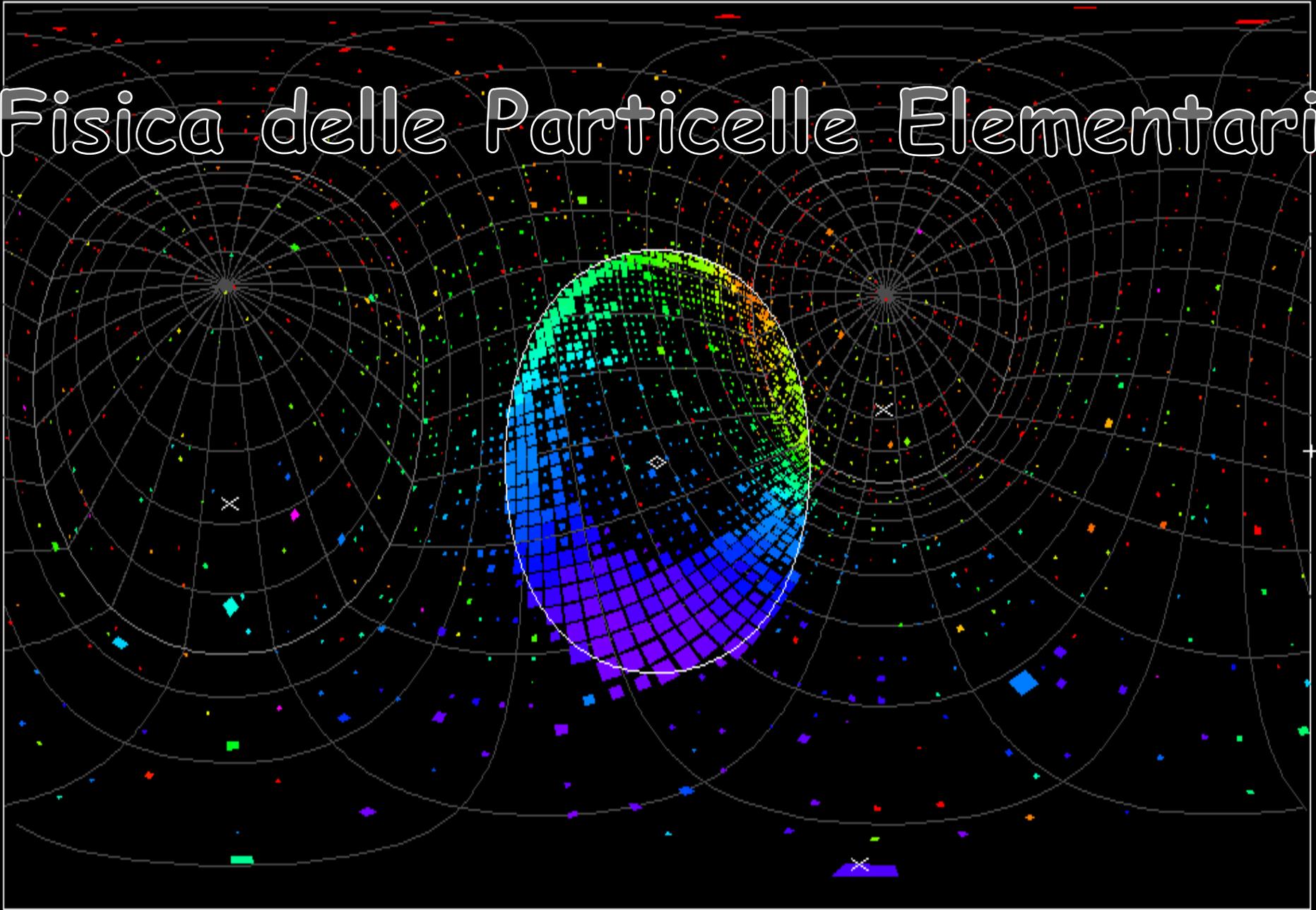
Universo aperto o chiuso?



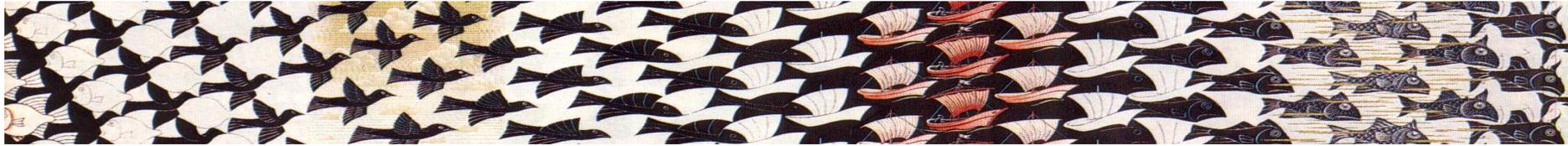
La Materia Oscura contribuisce alla densità di materia \mathbf{d} e quindi alla forza attrattiva totale, che determina il futuro dell'universo secondo $\mathbf{d} \leftrightarrow \mathbf{d}_{\text{critica}}$

Vi è recente evidenza anche di una "Energia Oscura", predetta da Einstein: introduce una azione repulsiva

Fisica delle Particelle Elementari



Le oscillazioni di neutrino



M.C. Escher, Metamorphose III (1967-68), part of a "long baseline" xylograph (19 cm x 680 cm)

Un mistero che per 30 anni è stato la croce e la delizia dei Fisici

Un neutrino con conflitto d'identità

CONFLITTO DI IDENTITÀ

Un neutrino ha questa sorprendente capacità di mutare perché ha una doppia identità. Può avere tre sapori e tre masse possibili, ma un dato sapore non implica una data massa, e viceversa.

SAPORE: determina il modo in cui la particella interagisce con la materia

MASSA: determina come la particella si propaga nello spazio



Neutrino elettronico



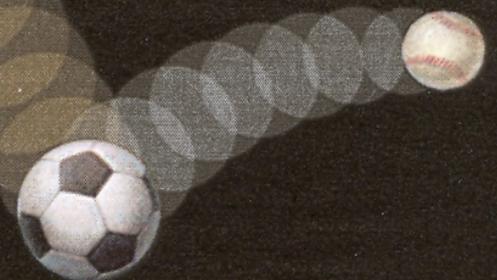
Neutrino muonico



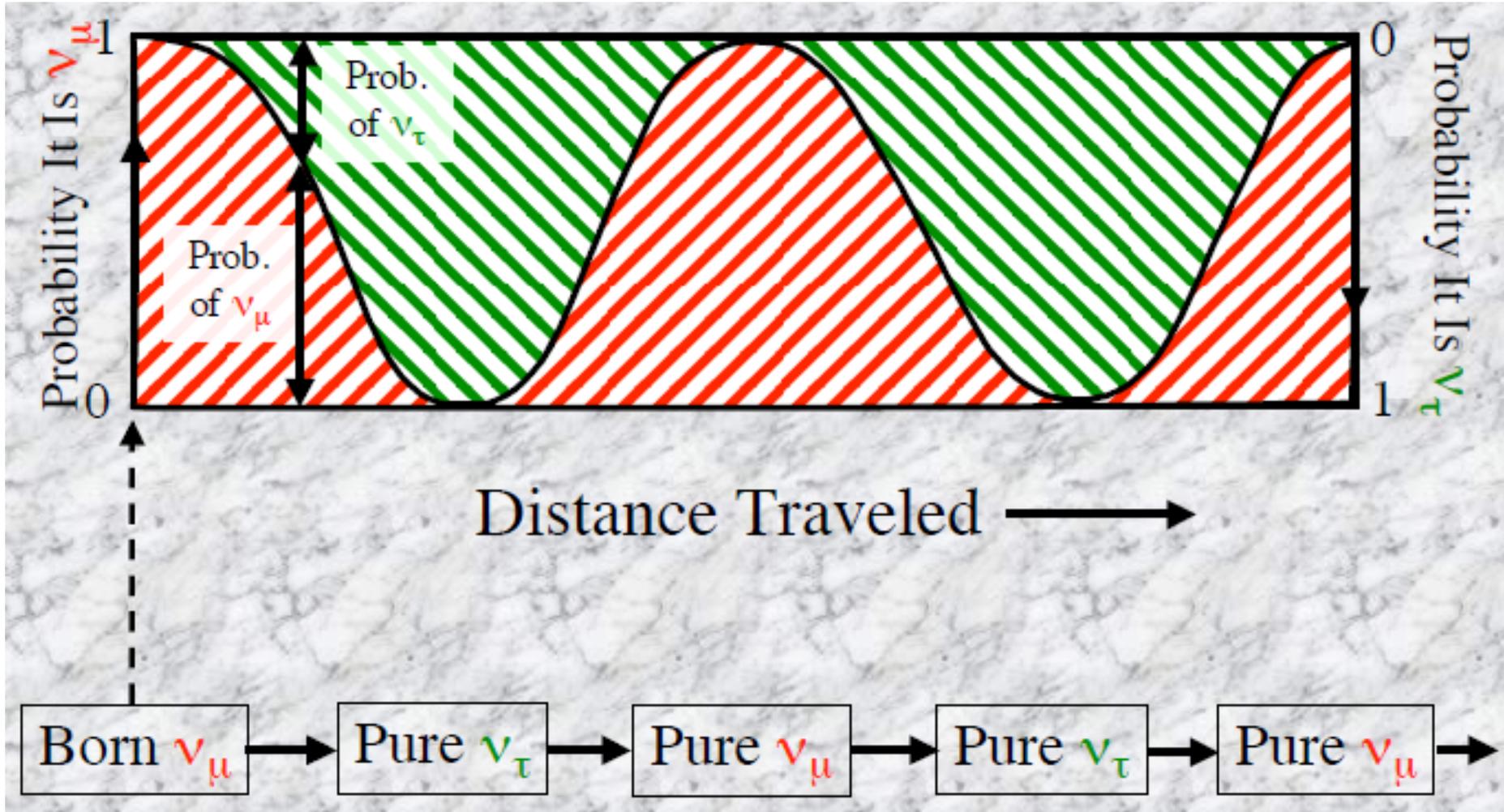
Neutrino tau



Un oggetto ordinario, invece, ha proprietà fisse. Una palla può essere un pallone da basket da 624 grammi, o un pallone da calcio da 425, o una palla da baseball da 142. Se le palle fossero come i neutrini, il peso e il tipo di palla non corrisponderebbero necessariamente (per la disperazione dell'arbitro) e la palla potrebbe cambiare tipologia mentre è volo.



Perché si chiamano oscillazioni?



La genesi delle oscillazioni di neutrino



Il concetto di oscillazione di neutrino fu introdotto nel 1957 da B. Pontecorvo

E' interessante notare come questa idea nacque nel tentativo di interpretare i dati di un esperimento sbagliato...

Se si è onesti ed intelligenti si impara anche dagli errori!

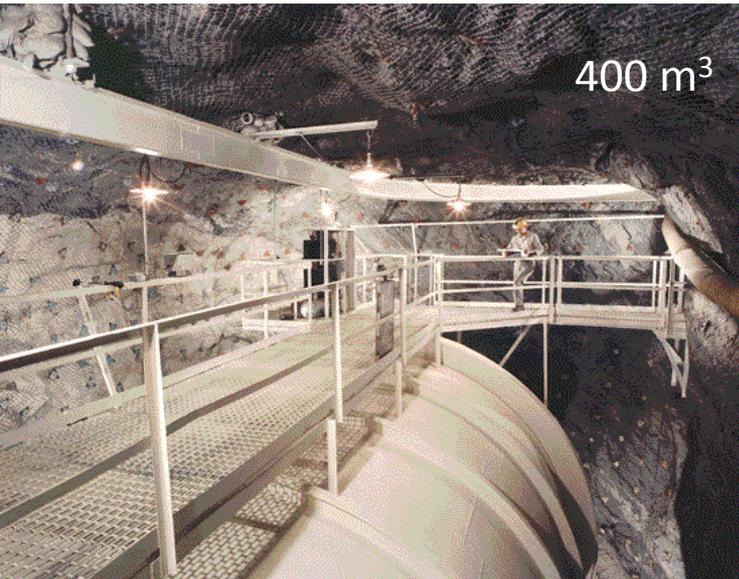
Tutto cominciò con un problema (tanto per cambiare...)

R. Davis, J. Bahcall



Sul finire degli anni '60 R. Davis realizzò un esperimento per «contare» i neutrini provenienti dal Sole. J. Bahcall, invece, calcolò quanti neutrini ci si aspettava di «contare».

Inutile dire che furono considerati un po' matti!



400 m³

C₂Cl₄ (cleaning fluid)



10¹⁶ pass per day (high E ν 's)

1 reaction expected

Count Ar atoms every few months

Only one every three days detected !

E' in quegli anni che nacque il cosiddetto problema dei neutrini solari.

Tuttavia il sentire comune era

- Davis (esperimento col Cl) ha sbagliato
- Bahcall (Il Modello Solare) ha sbagliato
- Hanno sbagliato entrambi!!!

Attesi

8.2 SNU \pm 1.8

01/02/16

Osservati

2.56 SNU \pm 0.23

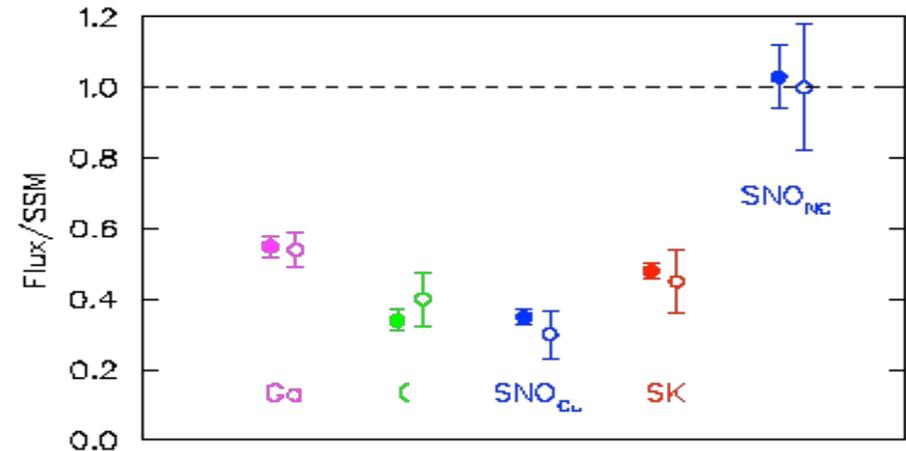
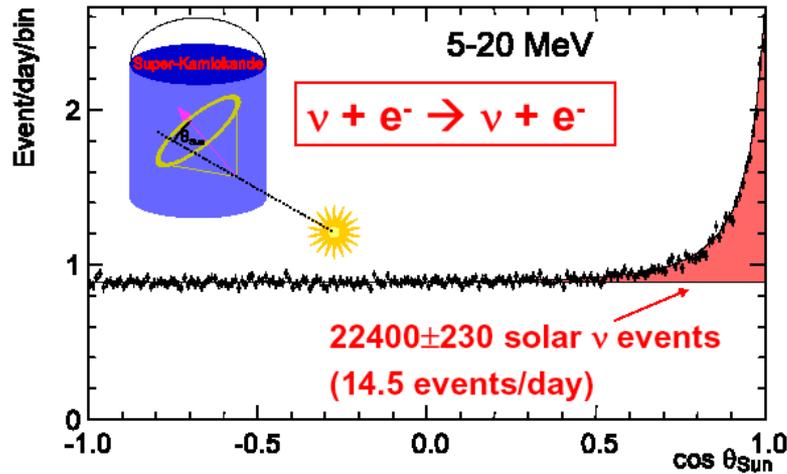
SNU, definita come il numero di neutrini catturati in un secondo da un rivelatore di 10³⁶ atomi

Pasquale Migliozzi

Dopo circa 40 anni di esperimenti

Super-Kamiokande-I solar neutrino data

May 31, 1996 – July 13, 2001 (1496 days)

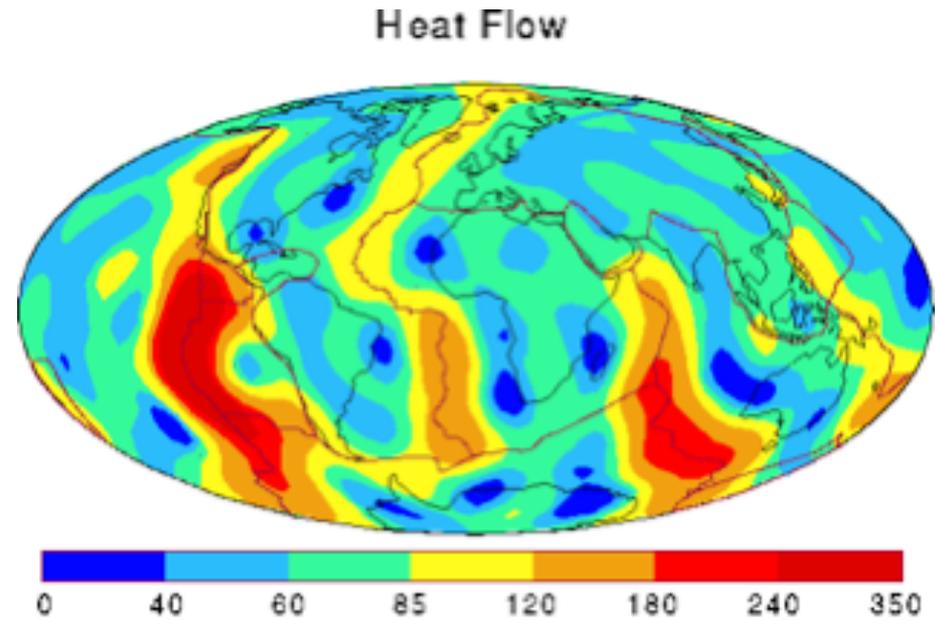
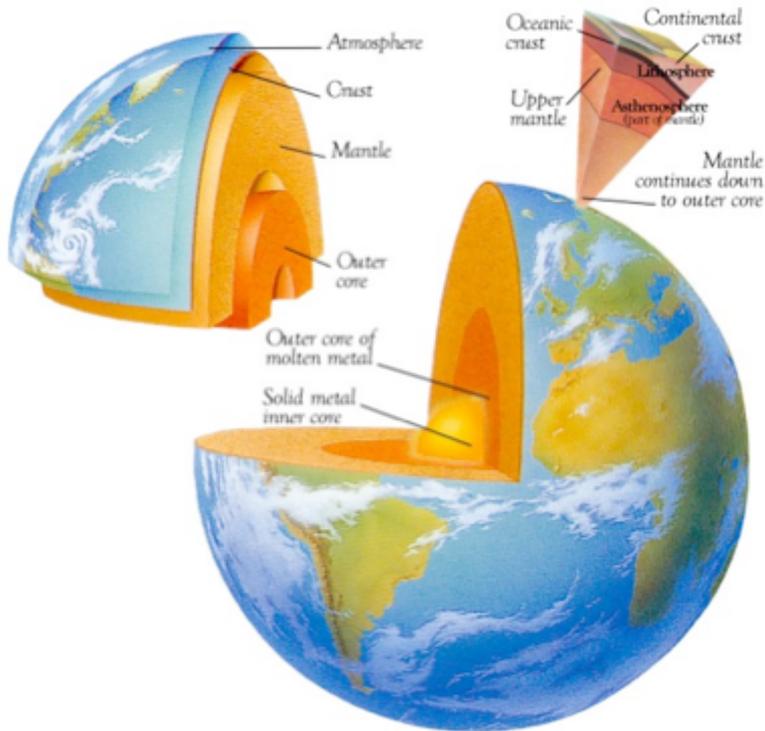


Ne' Davis ne' Bahcall avevano commesso errori!!!!!!

Conclusione: non solo il Sole funziona come da modelli teorici (non solo Davis aveva ragione, ma anche Bahcall), ma i neutrini mancanti erano invisibili agli altri esperimenti in quanto trasformati in ν_μ and/or ν_τ !

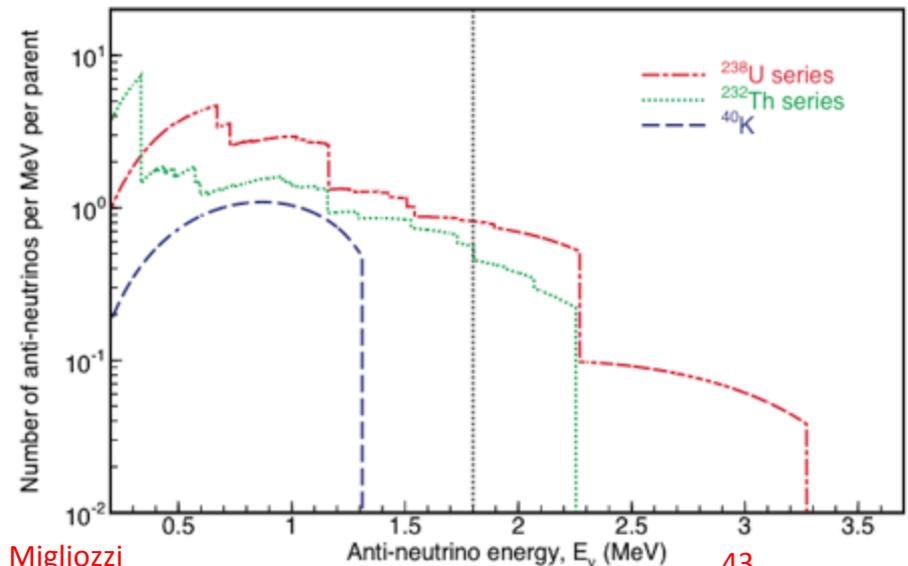
Le oscillazioni di neutrino sono il fenomeno che spiega l'apparente deficit!

Studiando l'interno del Sole...

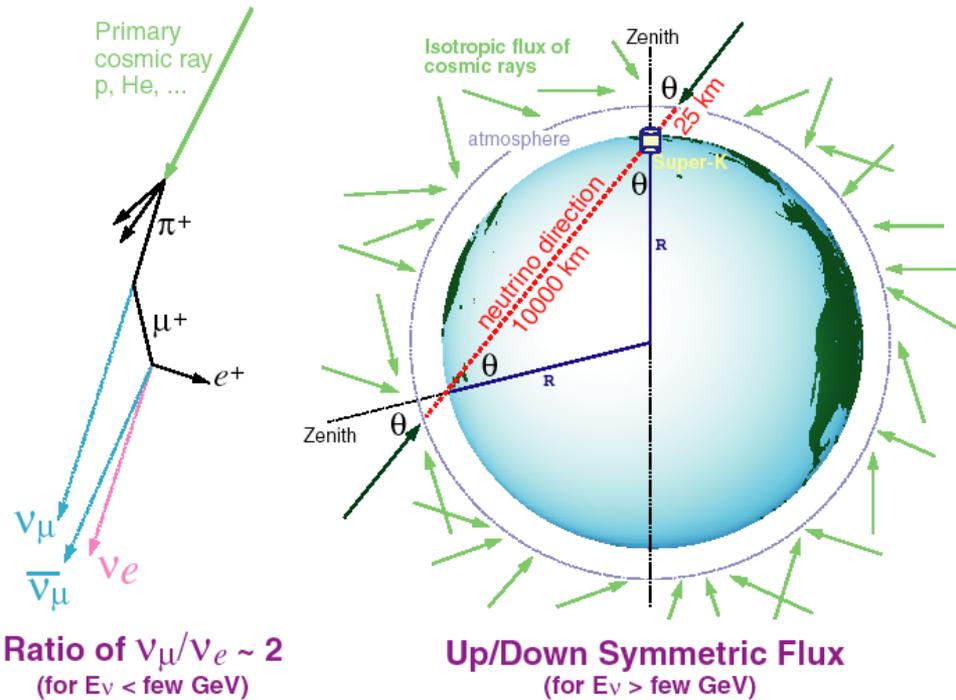


... abbiamo scoperto come funziona l'interno della Terra. Come?

Scoprendo i geo-neutrini



Ancora un altro mistero questa volta con i neutrini atmosferici



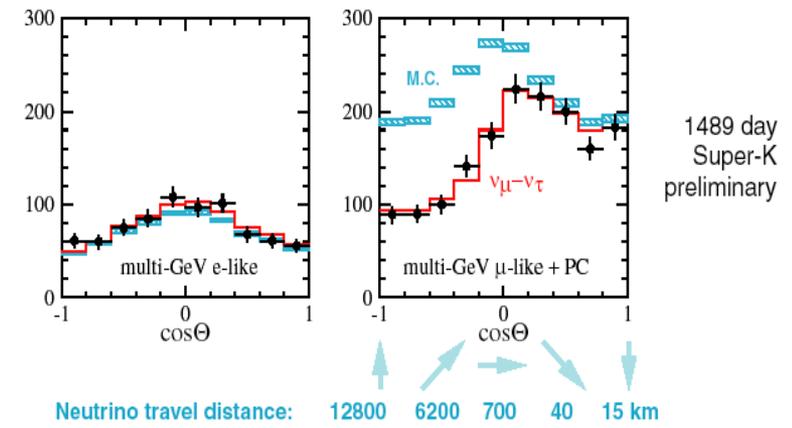
sub-GeV:
$$\frac{(N_\mu/N_e)_{\text{DATA}}}{(N_\mu/N_e)_{\text{M.C.}}} = 0.688 \pm 0.016 \pm 0.050$$

stat. sys.

multi-GeV:
$$\left(\frac{N_{\text{UP}} - N_{\text{DOWN}}}{N_{\text{UP}} + N_{\text{DOWN}}} \right)_{\mu\text{-like}} = 0.303 \pm 0.030 \pm 0.004$$

stat. sys.

> 10 σ deviation!



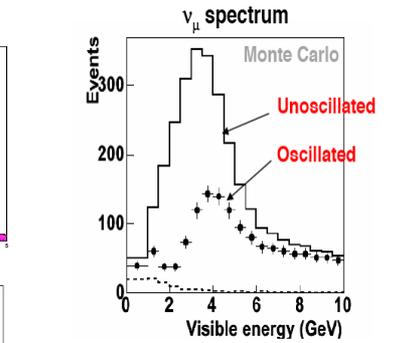
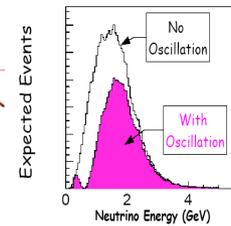
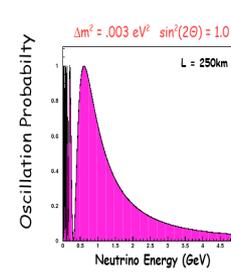
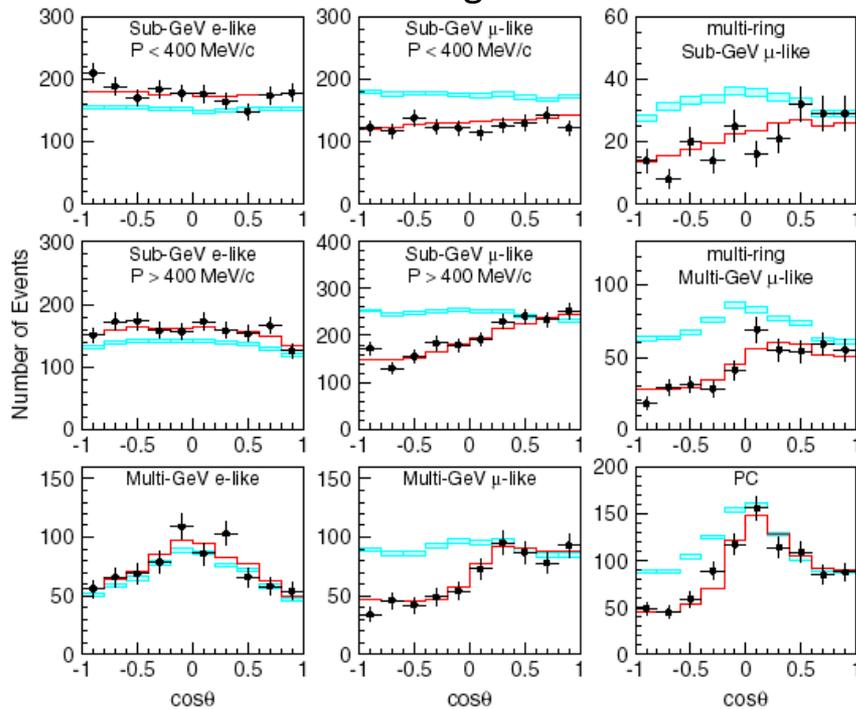
Alcuni fatti:

- Il numero assoluto di eventi osservati è più piccolo di quello atteso;
- I muoni che vanno all'insù sono meno di quelli vanno all'ingiù;
- Il numero di eventi con elettrone osservati è consistente con le attese.

Anche questo mistero risolto invocando le oscillazioni di neutrino

L'effetto dipende non solo dalla distanza
viaggiata dal neutrino, ma anche dalla sua
energia

K2K/Minos: hanno confermato questi
risultati con fasci di neutrini artificiali



$E_{K2K} \sim 1 \text{ GeV} \Rightarrow L \sim 250 \text{ Km}$
 $E_{Numi} \sim 3 \text{ GeV} \Rightarrow L \sim 750 \text{ Km}$

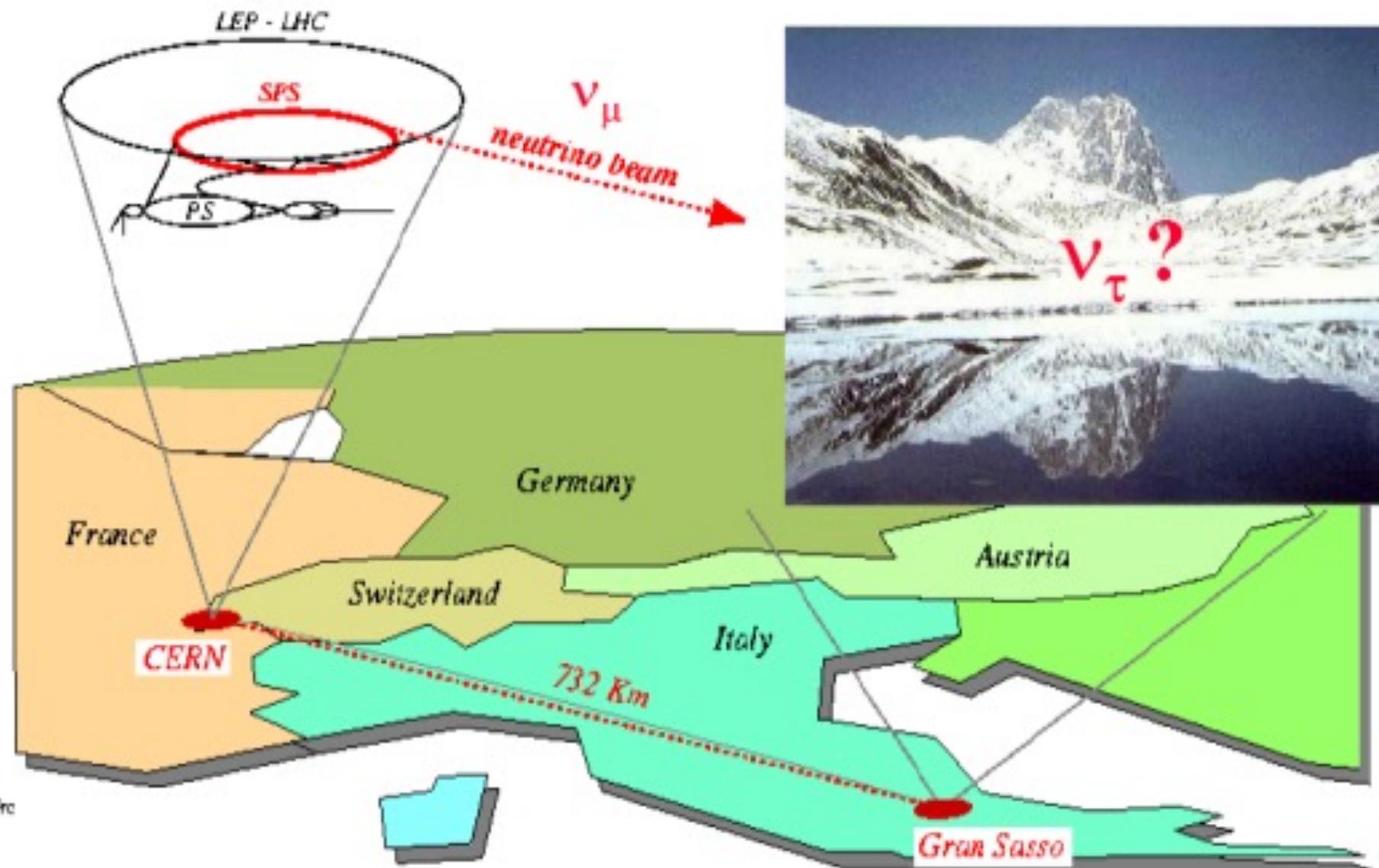
Riflettiamo per un attimo!

Tutti gli esperimenti di cui abbiamo parlato fino ad ora hanno misurato sempre «meno» di quello che ci si attendeva

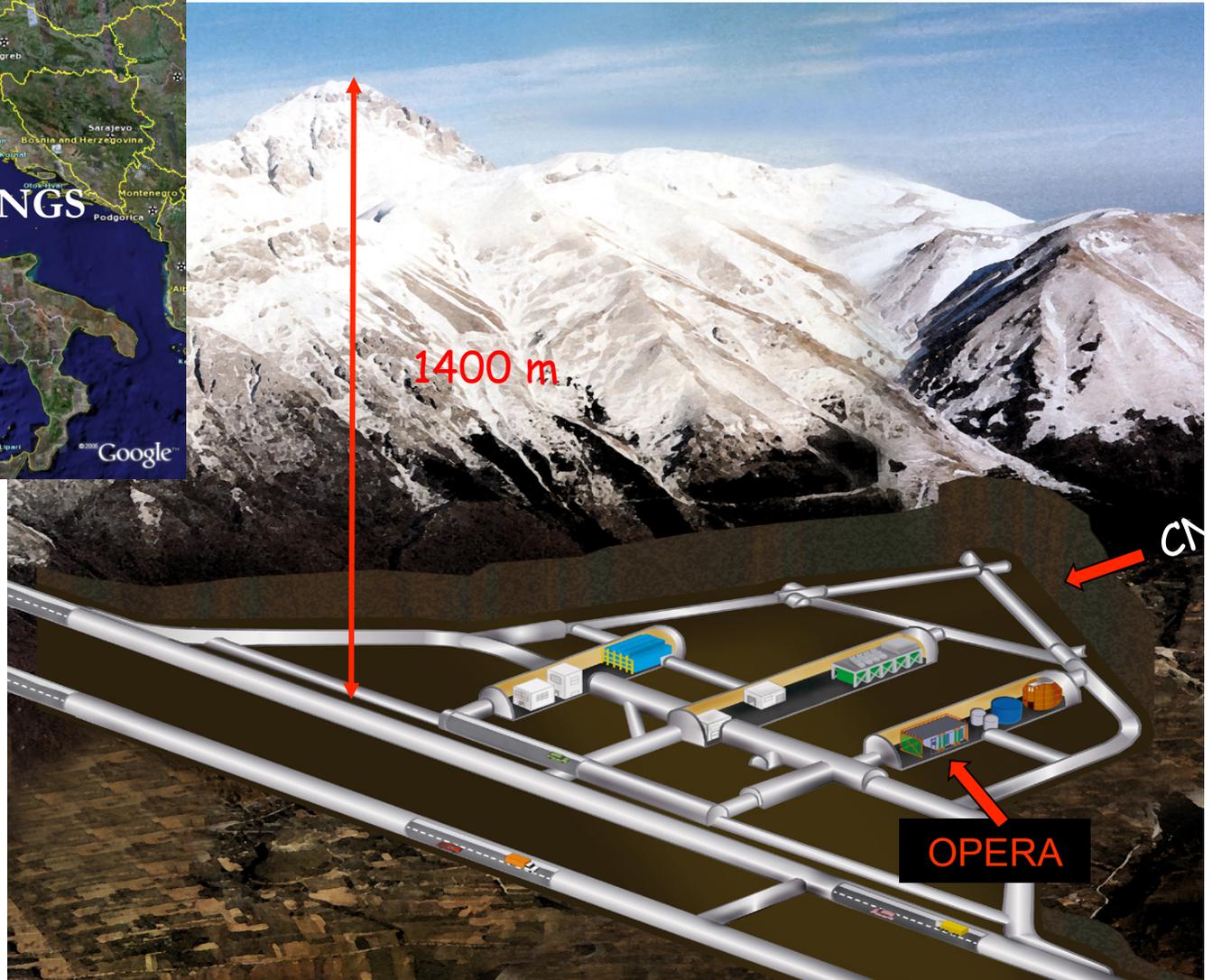
Domanda: E' possibile «vedere» in che cosa si sono trasformati i neutrini scomparsi?

SI!

L'esperimento OPERA cerca l'apparizione del τ in un fascio di neutrini muonici



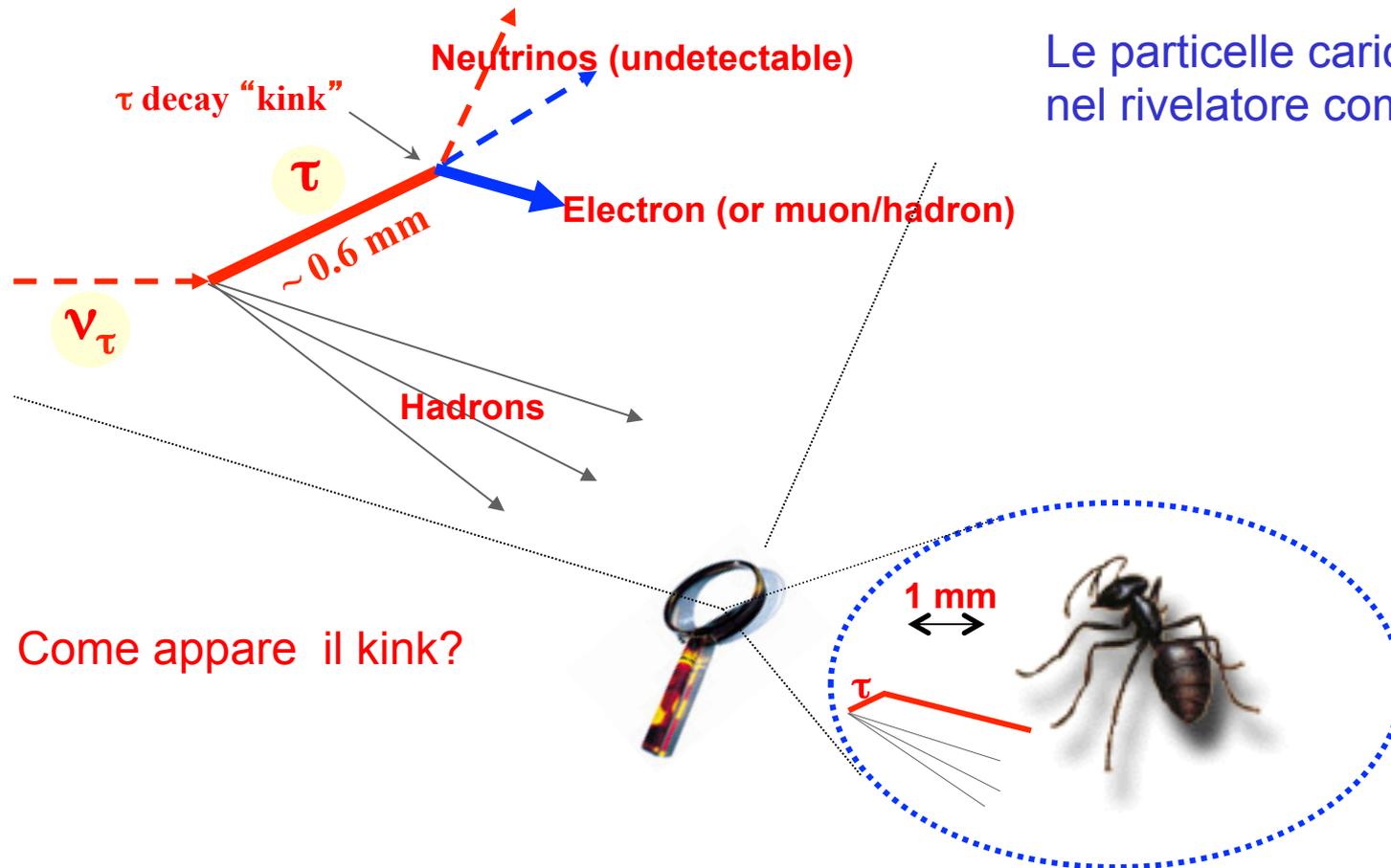
Il laboratorio sotterraneo del Gran Sasso



Come rivelare i τ ?

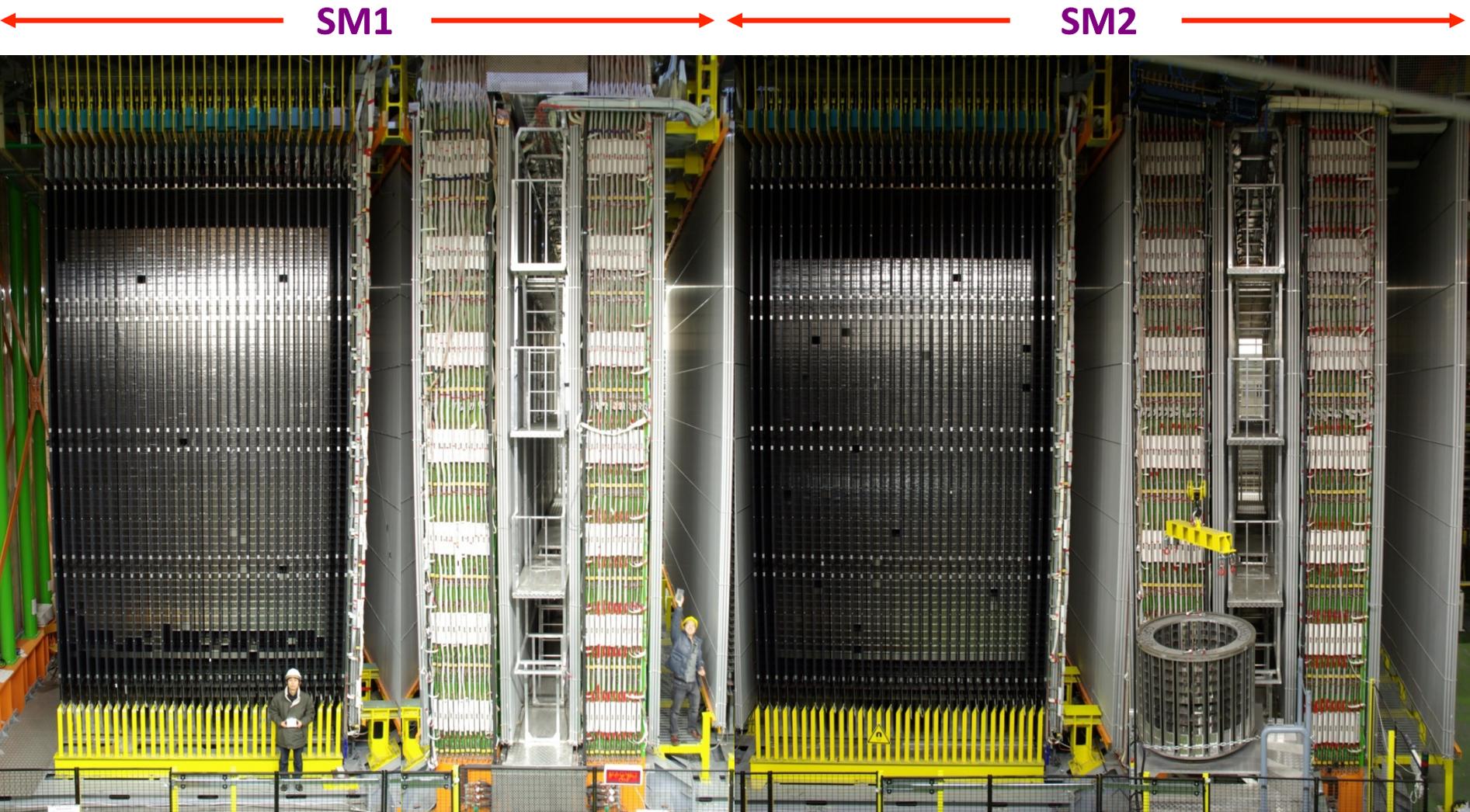
Il τ non è una particella stabile, per cui dopo circa 1 mm decade:

Le particelle cariche sono visibili nel rivelatore come tracce.



➔ C'è bisogno di un rivelatore con elevata precisione!

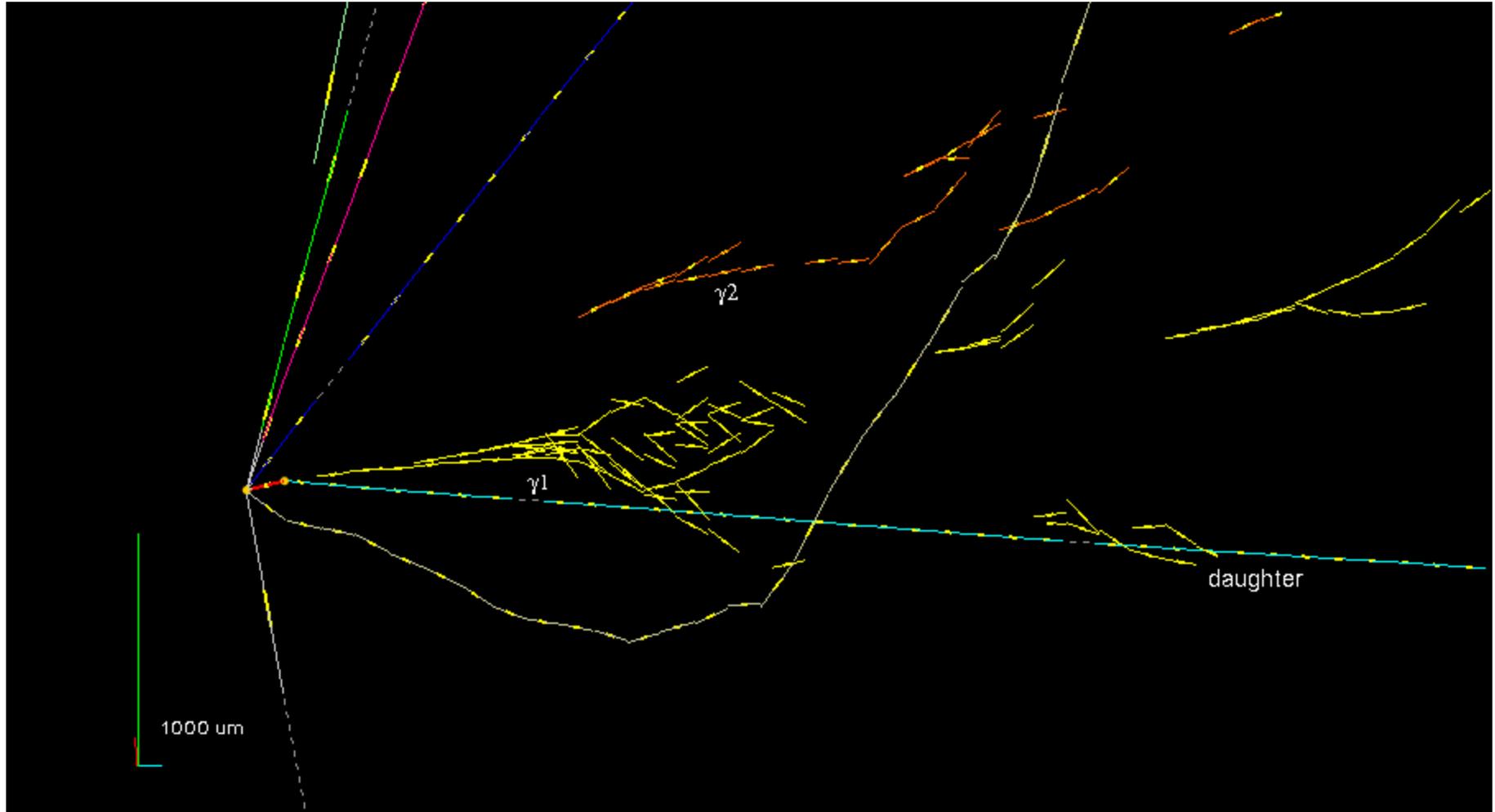
L'implementazione del principio



2000 t di piombo e lastre fotografiche

Praticamente l'esperimento è una gigantesca macchina fotografica!

Osservazione di un candidato τ





E adesso veniamo all'ultima sorpresa
che il neutrino ci ha riservato

Il neutrino è più veloce della luce?





Il metodo scientifico o sperimentale

Con Galileo Galilei (1564-1642) è stato introdotto il **metodo sperimentale**: esso si basa su una prima **osservazione**, seguita da un **esperimento**, sviluppato in maniera controllata, in modo tale che si possa riprodurre il fenomeno che si vuole studiare.

Il metodo scientifico o sperimentale si articola in due fasi:

fase induttiva (cioè dallo studio di dati sperimentali si giunge alla formulazione di una regola universale)

fase deduttiva

La fase induttiva si divide inoltre in:

osservazioni e misure (in questa fase si utilizza la strumentazione opportuna e si raccolgono i dati)

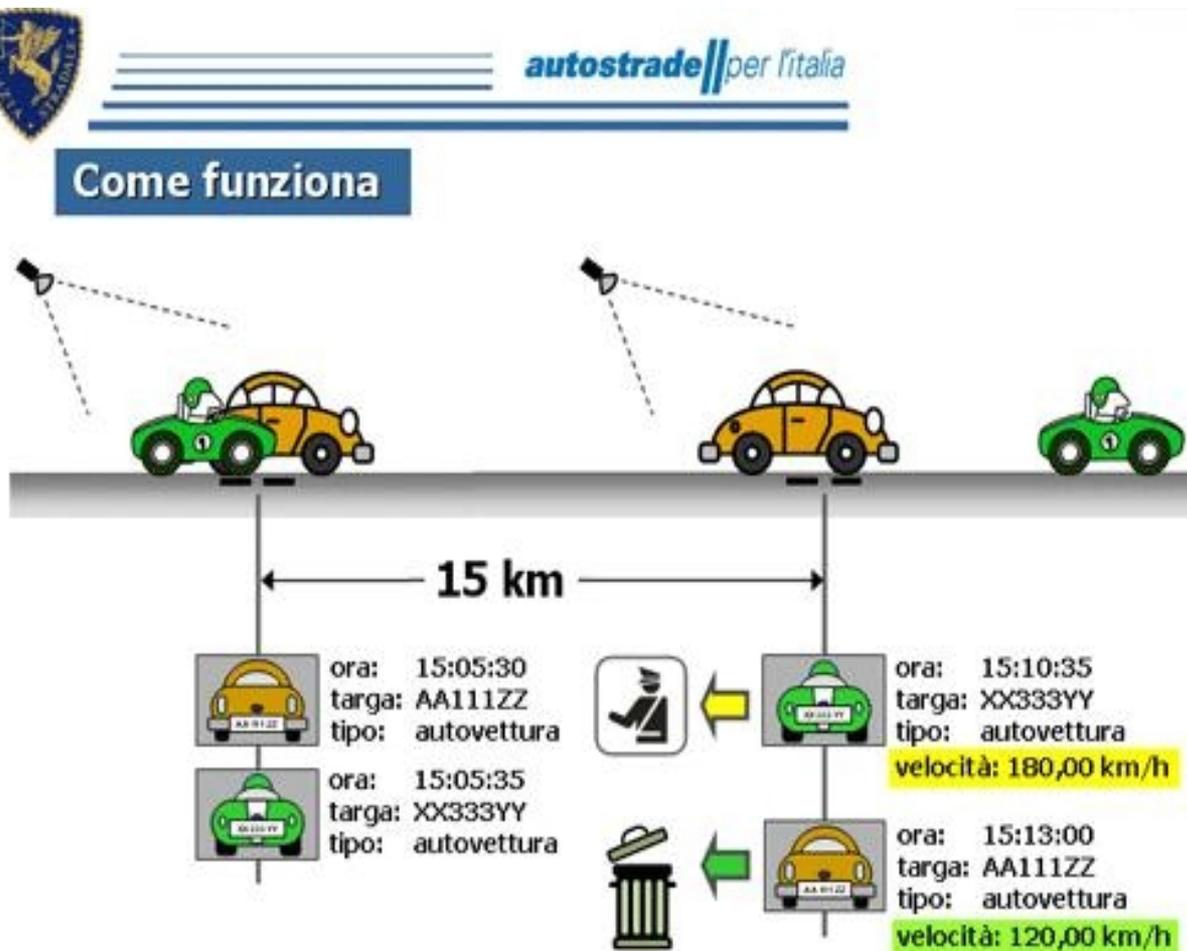
formulazione di un'ipotesi, si tenta cioè di spiegare il fenomeno, mediante la "lettura" dei dati sperimentali.

La fase deduttiva si distingue in:

verifica dell'ipotesi (si sottopongono i dati ad una verifica rigorosa, si fanno delle controprove, ecc.)

formulazione di una teoria, nel caso in cui l'ipotesi venga confermata.

Come si misura una velocità?



Distanza

15 km

15 km

Tempo percorrenza

5 minuti

7 minuti 30 secondi

Velocità misurata

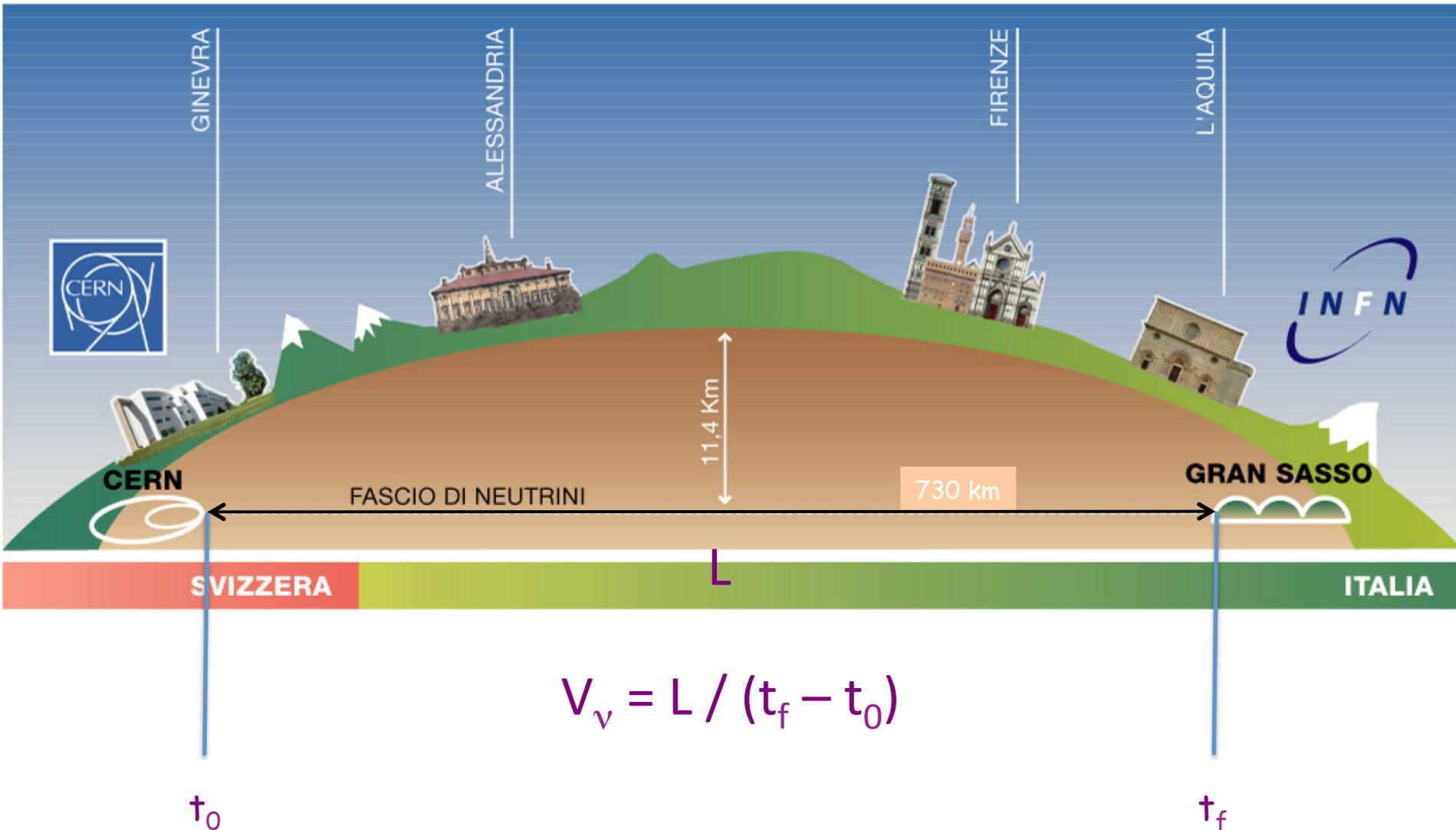
$15\text{km}/5' = 180\text{ km/h}$

$15\text{km}/7'30'' = 120\text{ km/h}$

La macchina verde prende la multa!



Come si misura la velocità dei neutrini?



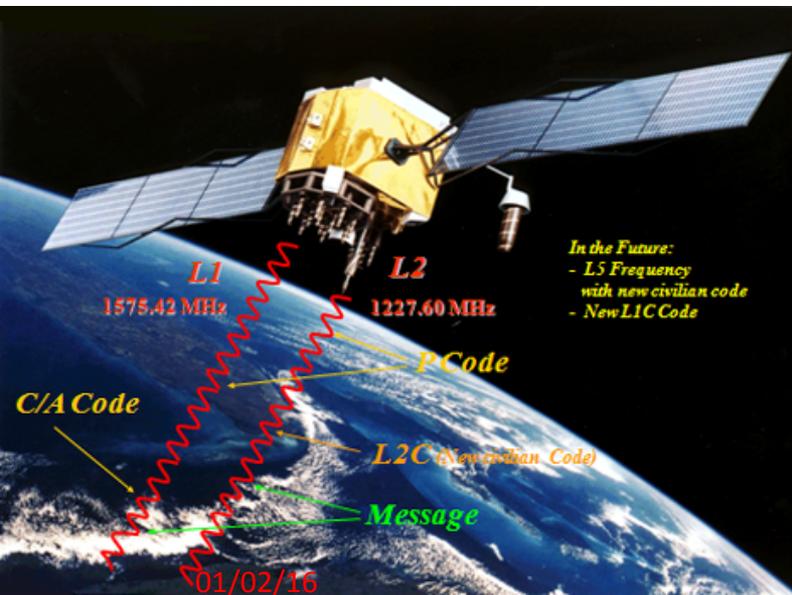
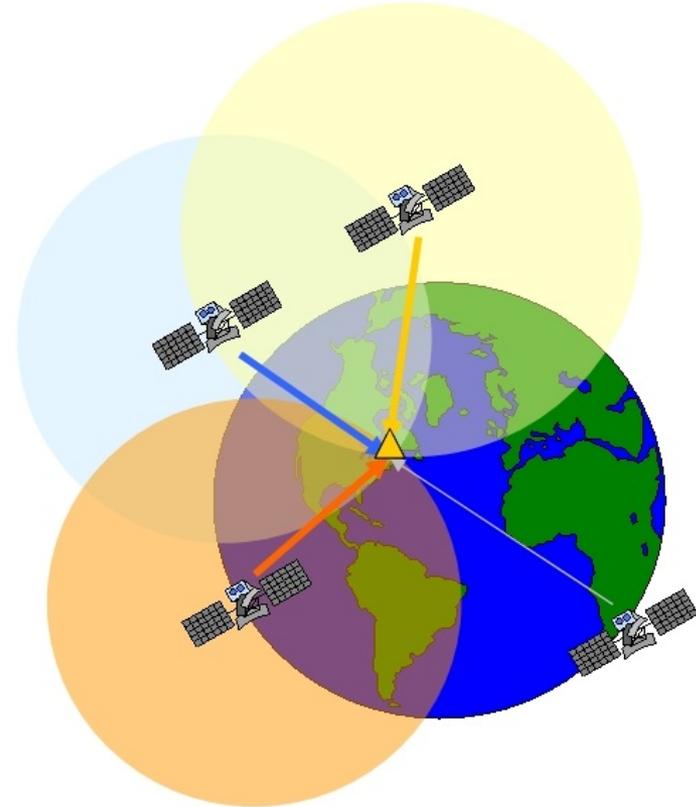
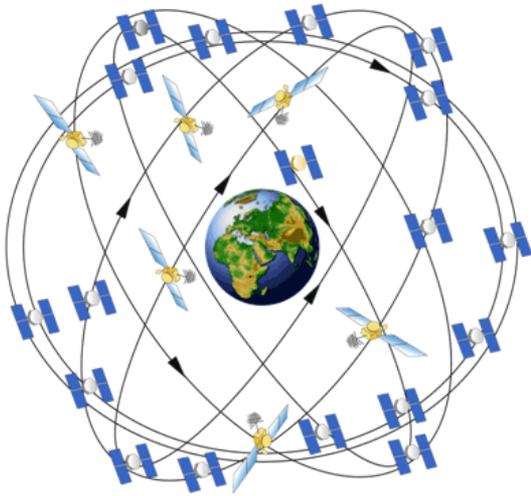
Obiettivo dell'esperimento:

- Misurare una distanza di 730,000 m con la precisione di 1 m
- Misurare il tempo di volo dei neutrini dal CERN al Gran Sasso con la precisione di 10 ns

Andiamo a vedere come sia stato possibile raggiungere questi obiettivi

Funzionamento del GPS

Il sistema GPS è costituito da 24 satelliti orbitanti a circa 20200 km di altezza



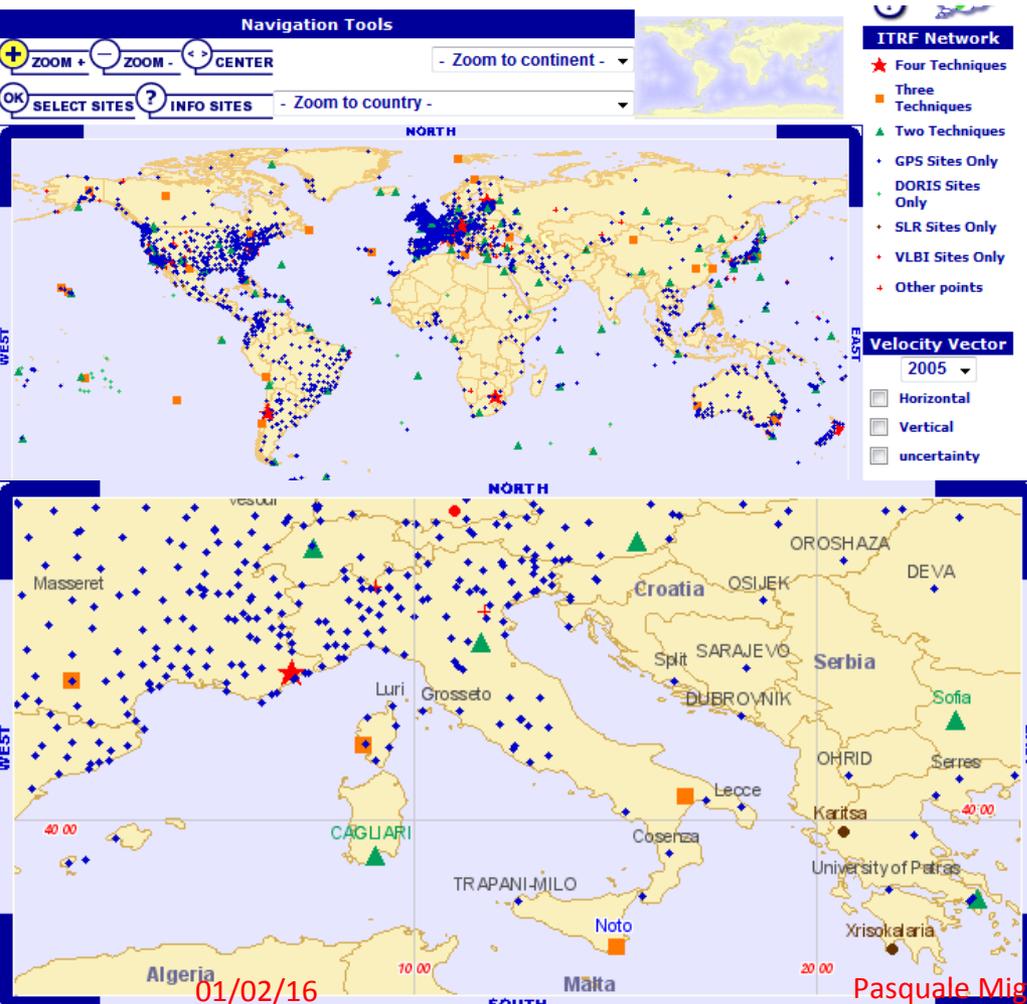
In the Future:
- L5 Frequency
with new civilian code
- New L1C Code

3 satelliti servono per determinare la posizione tramite triangolazione, il quarto per determinare il tempo.

In altre parole, con tre satelliti, il ricevitore deduce la sua posizione relativa rispetto a questi satelliti, ma non sa dove sono!

Accuratezza della misura

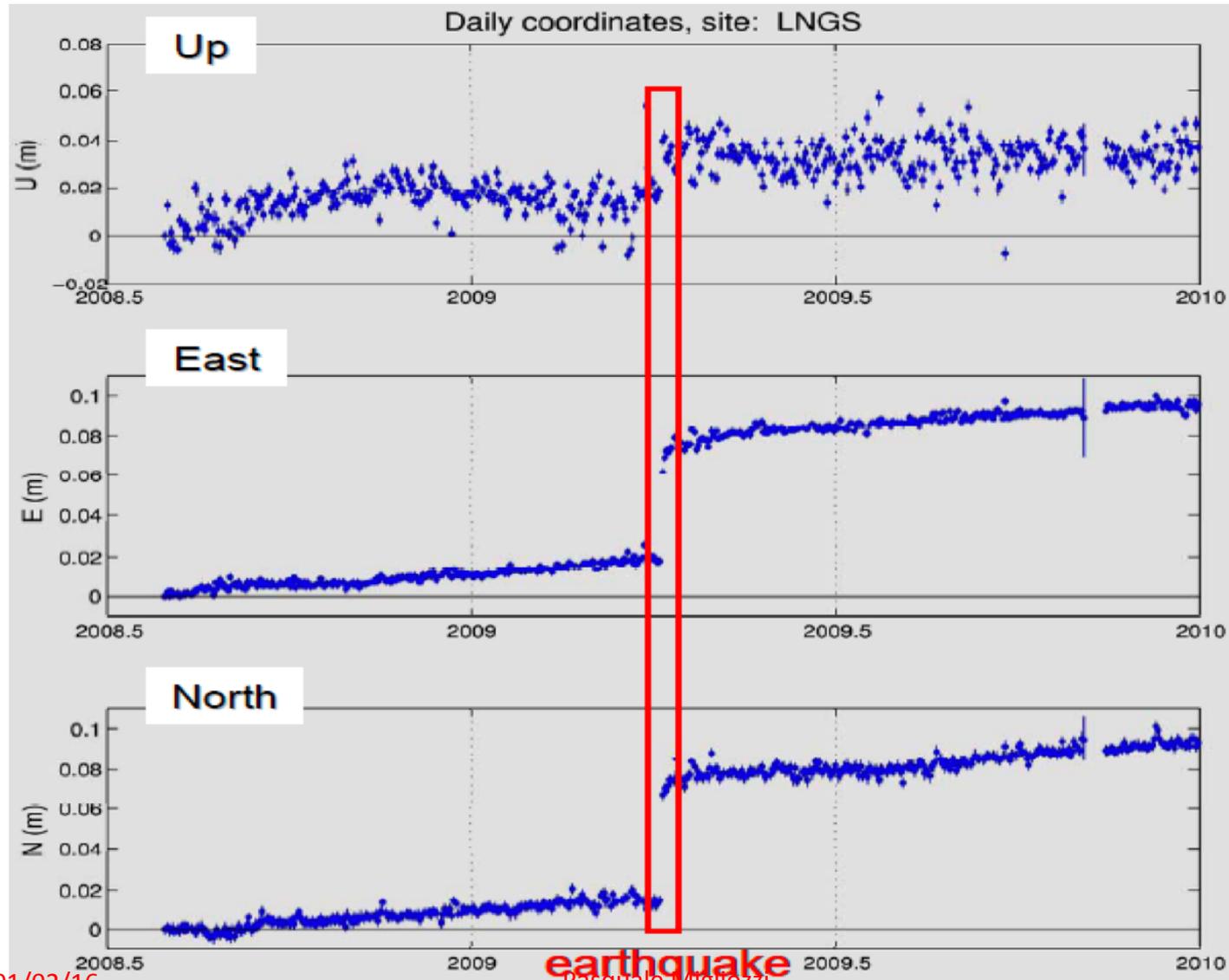
Grazie al timing estremamente preciso il ricevitore può calcolare la distanza che lo separa dai satelliti e, con algoritmi di triangolazione, stabilire quindi la posizione esatta ovunque sulla Terra, con margine di errore inferiore al metro.



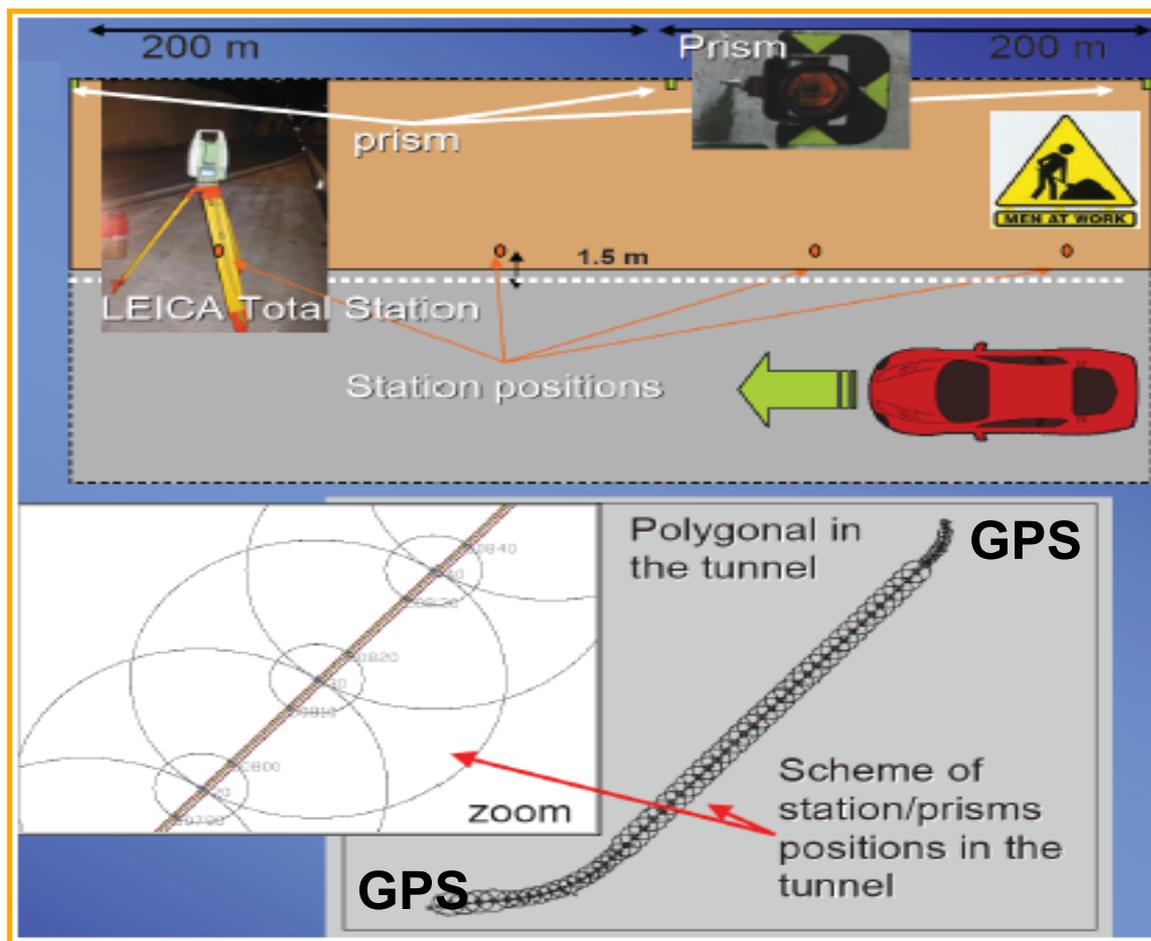
Oltre al sistema GPS, vi sono altre tecniche che permettono di monitorare la posizione di un punto sulla superficie terrestre con l'accuratezza di 1 mm

Stiamo parlando dell'ITRF
International
Terrestrial
Reference
Frame

Una triste riprova dell'accuratezza dei sistemi di monitoraggio della posizione



Purtroppo l'esperimento è sotto la montagna... ☹️



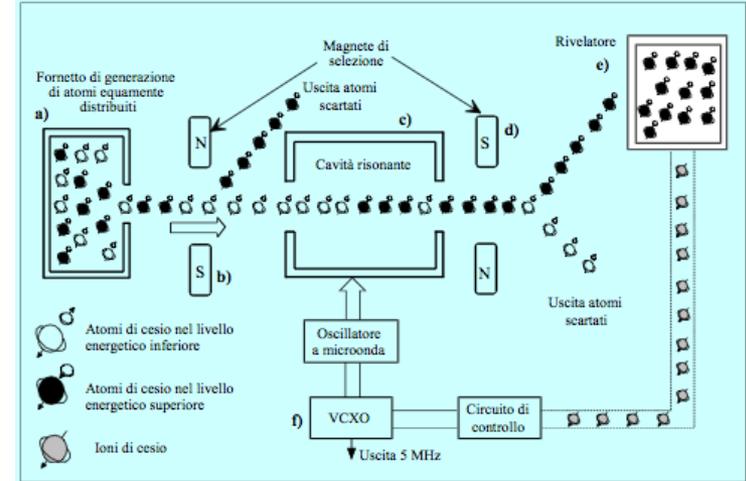
**Distanza dal CERN al Gran Sasso
(730085.0 ± 0.2) m**

Veniamo ora alla sincronizzazione degli orologi

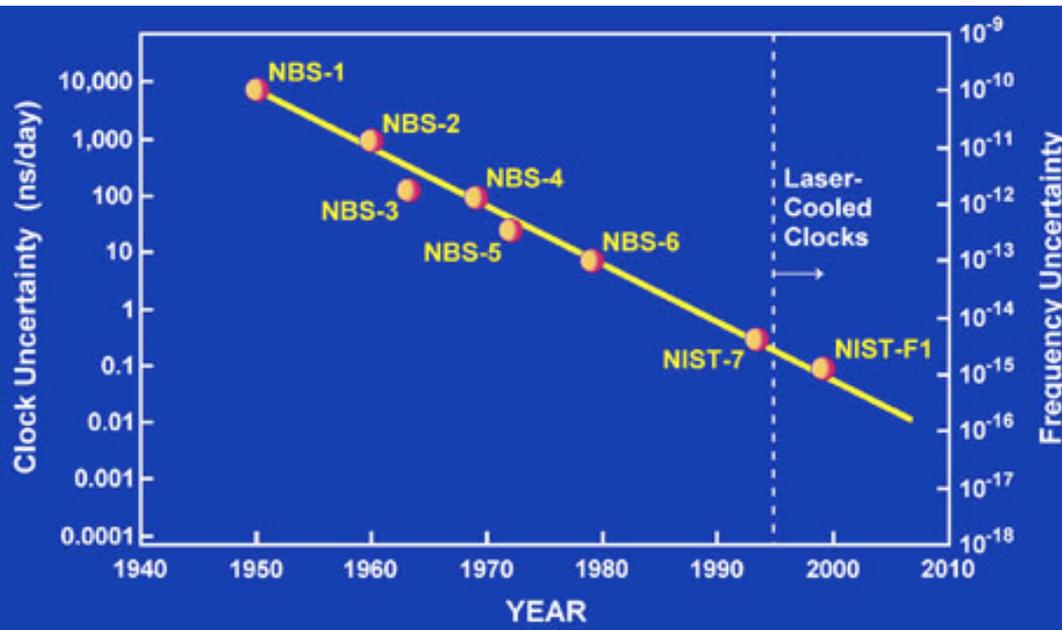
Fondamentale per la misura del
tempo di volo

Orologio atomico

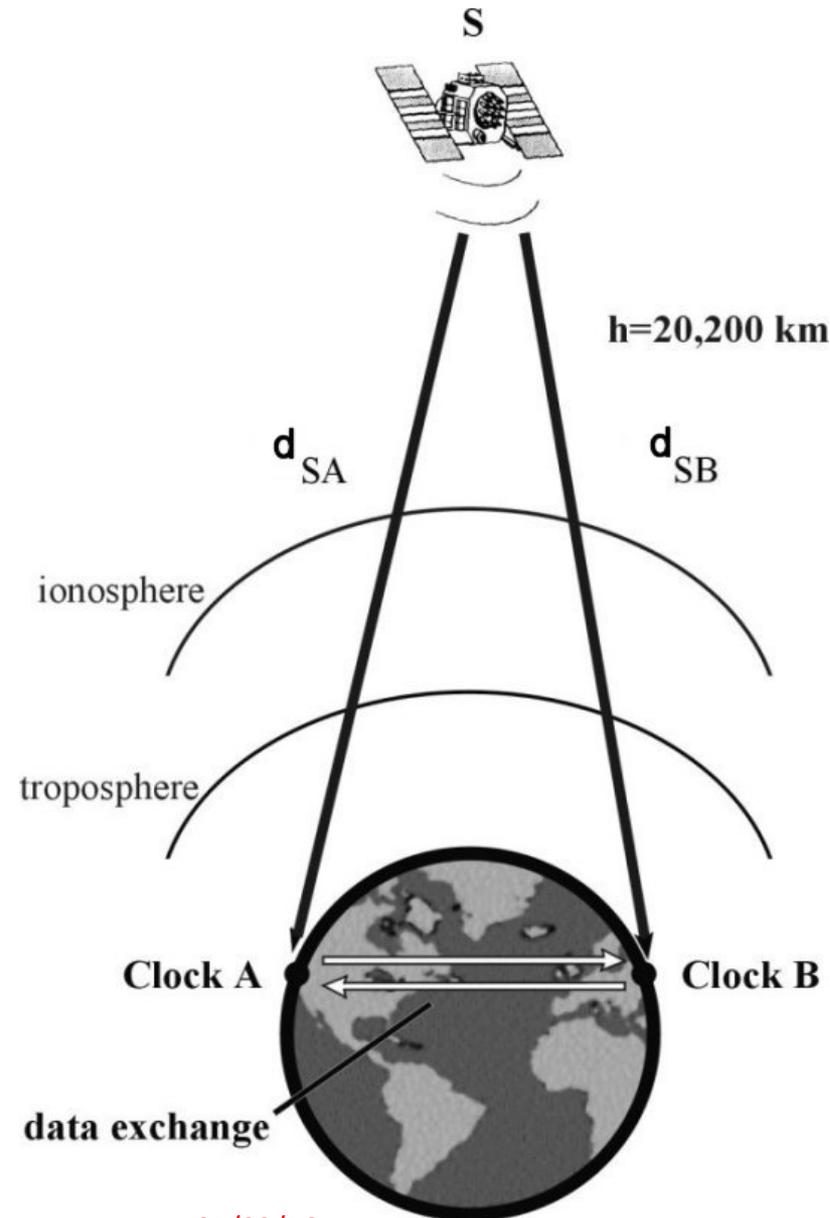
Nello schema, il fornello **a)** riscaldato a circa 90°C, emette il fascio di atomi di cesio uniformemente distribuiti nei sedici livelli energetici. Il selettore magnetico **b)** attua la prima selezione garantendo l'immissione nella cavità risonante **c)**, grazie all'interazione con il segnale a microonda, avviene la transizione al livello superiore ($F = 4, mF = 0$), che in uscita viene indirizzata sul rivelatore dal selettore magnetico **d)**. La rivelazione del livello energetico superiore è affidata ad un filo incandescente **e)**, in grado di produrre un segnale elettrico proporzionale alla quantità di atomi incidenti. Un circuito di controllo provvederà, in funzione del segnale rivelato, a generare un segnale di errore necessario per controllare l'oscillatore al quarzo **f)** (VCXO), che a sua volta costituisce la sorgente dell'oscillatore a microonda.



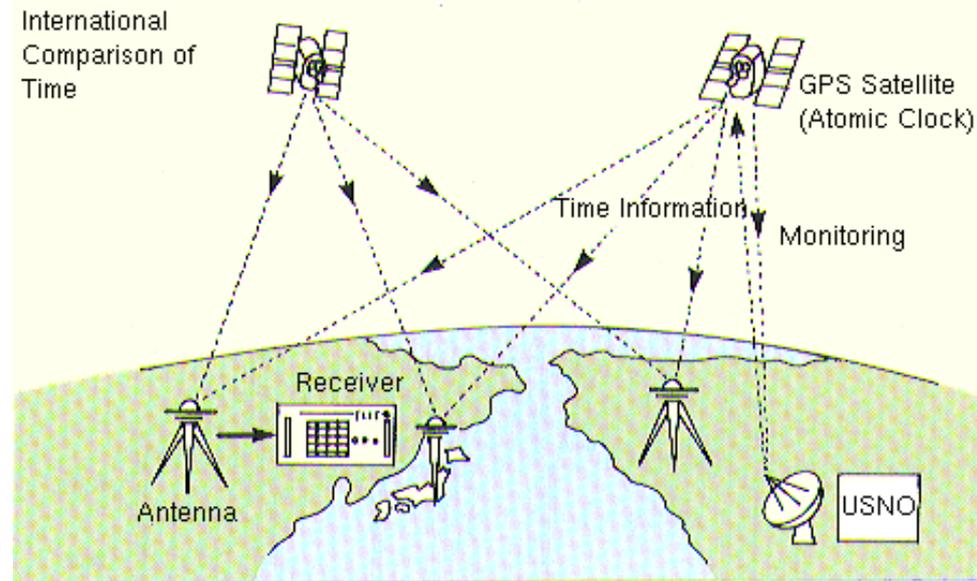
Il secondo è definito come la durata di 9,192,631,770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini, da ($F=4, MF=0$) a ($F=3, MF=0$), dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133.



Sincronizzazione con il metodo common view



Metodo comunemente utilizzato per sincronizzare gli orologi posti in due posti qualunque sulla Terra e per «trasferire» il tempo da un punto all'altro. E' lo standard raccomandato dal BIPM



L'accuratezza del metodo è di circa 1 ns
NB 1ns = la miliardesima parte del secondo

LA PICCOLA LEZIONE DEL NEUTRINO 'LENTO'

di Carlo Rovelli

Fisico Teorico, Università di Marsiglia

A questo punto viene spontanea una domanda

Molto interessante quanto raccontato, ma che impatto ha sulla vita quotidiana?

Prima di rispondere lasciatemi dire una cosa

La Cultura (quella con la C e che comprende tutte le Discipline) è importante a prescindere dalla quotidianità. E' l'unica cosa che ci rende veramente liberi e che ci permette di affrontare e risolvere i problemi della Vita

Nel caso particolare delle ricerche di base di cui vi ho parlato l'impatto sulla quotidianità è straordinario.

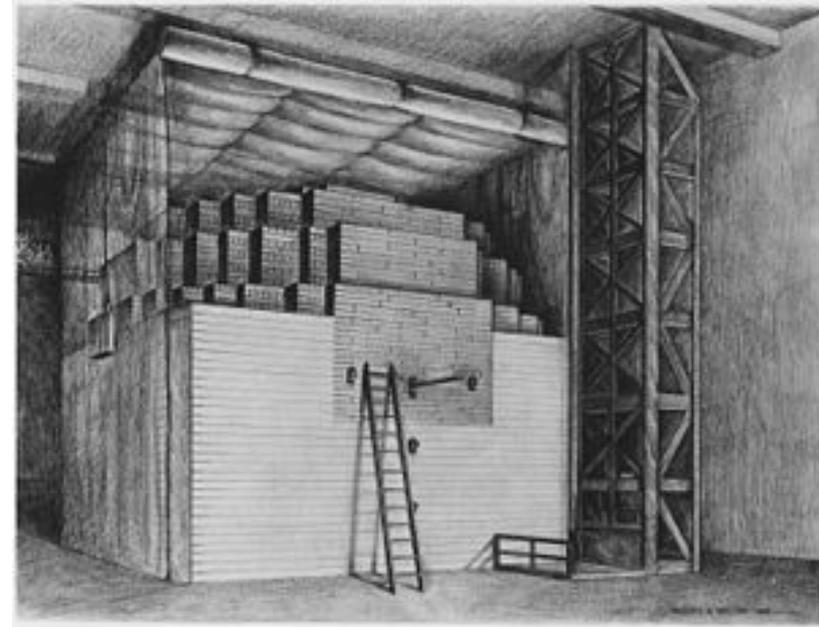
Qui di seguito vi illustrerò alcuni esempi e rimarrete sbalorditi

L'invenzione del reattore nucleare

La saga iniziata casualmente con Becquerel, continuata da Curie e conclusasi con l'ipotesi di Pauli e la teoria di Fermi ha avuto due principali conseguenze

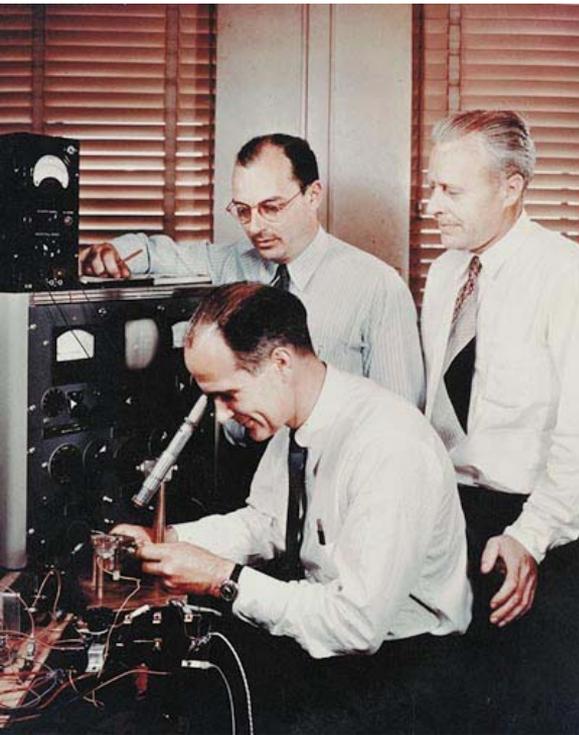
1. apertura di nuovi orizzonti per la fisica di base
2. realizzazione del primo reattore nucleare

Conosciamo tutti il contributo fondamentale fornito dall'energia dei reattori per il boom economico del dopo guerra

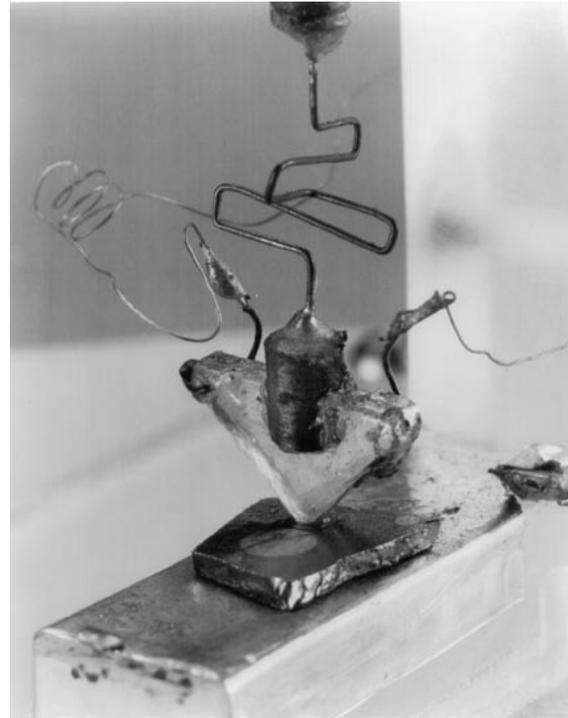


L'invenzione del transistor

L'età dell'elettronica dei semiconduttori iniziò nel 1948 con l'invenzione del transistor. Tuttavia, questa era ebbe origine con il lavoro svolto in precedenza, tra il 1920 e il 1945. Durante questo periodo, lo studio delle proprietà elettromagnetiche di semiconduttori e metalli era stato per la maggior parte competenza dei fisici; notevoli contributi sono dovuti a Block, Davydov, Lark-Horowitz, Mott, Schottky, Slater, Sommerfeld, Van Vleck, Wigner, Wilson e altri nelle università di tutto il mondo.



Brattain, Shockley e Bardeen



Il primo transistor, presentato presso i Bell Labs nella storica data del 23 dicembre 1947.



Alcuni dei molteplici modelli di transistor

Nascita del World Wide Web

Nel 1976 si laureò in fisica all'Università di Oxford, dove, in seguito, costruì il suo primo computer. Nel 1980 trascorse sei mesi, da giugno a dicembre, al CERN come consulente nel campo dell'ingegneria del software. Nel 1984 ritornò al CERN con una borsa di studio per lavorare sui sistemi distribuiti real-time per l'acquisizione di dati scientifici e sistemi di controllo.

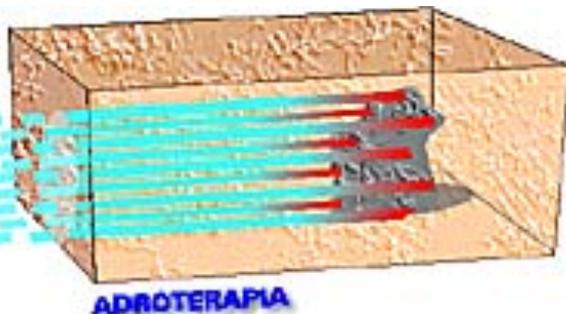
Tim Berners-Lee



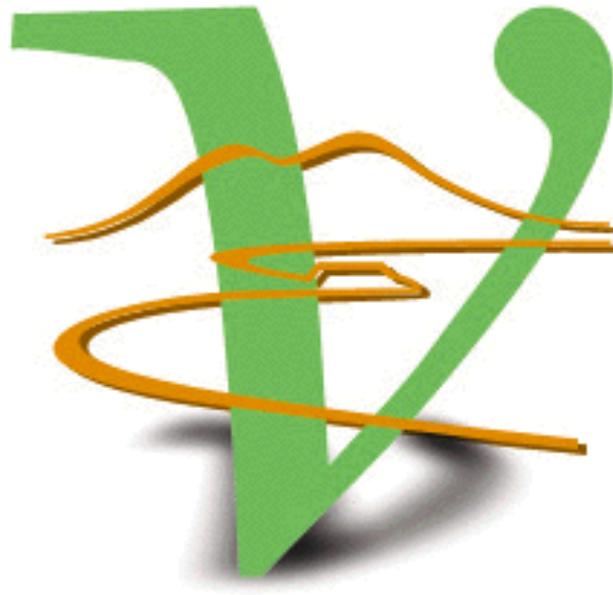
Nel 1991 presso il CERN di Ginevra il ricercatore Tim Berners-Lee definì il protocollo HTTP (HyperText Transfer Protocol), un sistema che permette una lettura ipertestuale, non-sequenziale dei documenti, saltando da un punto all'altro mediante l'utilizzo di rimandi (link o, più propriamente, hyperlink). Il primo browser con caratteristiche simili a quelle attuali, il Mosaic, venne realizzato nel 1993. Esso rivoluzionò profondamente il modo di effettuare le ricerche e di comunicare in rete. Nacque così il World Wide Web.

Adroterapia oncologica

 massimo rilascio di energia



La tecnologia degli acceleratori sviluppata per allargare sempre più gli orizzonti della ricerca di base ha permesso lo sviluppo di tecniche per la cura dei tumori meno invasive e più efficaci



Io amo il neutrino in quanto mi ricorda quotidianamente che anche il più piccolo di noi può cambiare l'Universo!