

IL NEUTRINO

Paolo Strolin

*con la collaborazione di Catello
Ingenito e Laura Strolin*



Neutrino v

- Preistoria
- Storia
- A che serve ?
- Enigmi {
 - Fisica
 - Astrofisica
 - Cosmologia

Bibliografia

- A. Ereditato, V. Palladino e P.S.- *L'enigma del neutrino* - Sapere (Febbraio. 96)
- L.M.Krauss - *La Materia Oscura* - Le Scienze (Febbraio 87)
- J. Bahcall - *Neutrini dal sole* - Le Scienze (Ottobre 69)
- J. Bahcall - *Il Problema dei neutrini solari* - Le Scienze (Luglio 90)

Preistoria

(*Paeolitico*)

In assenza di scrittura, il racconto viene dalle immagini



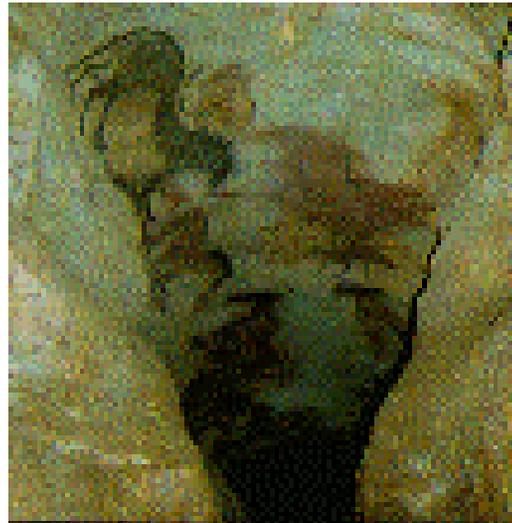
Rouffignac (Francia)

Grotta dei cento mammoth
(Era geologica Pleistocene)

Lascaux (Francia)

~ 15000 AC

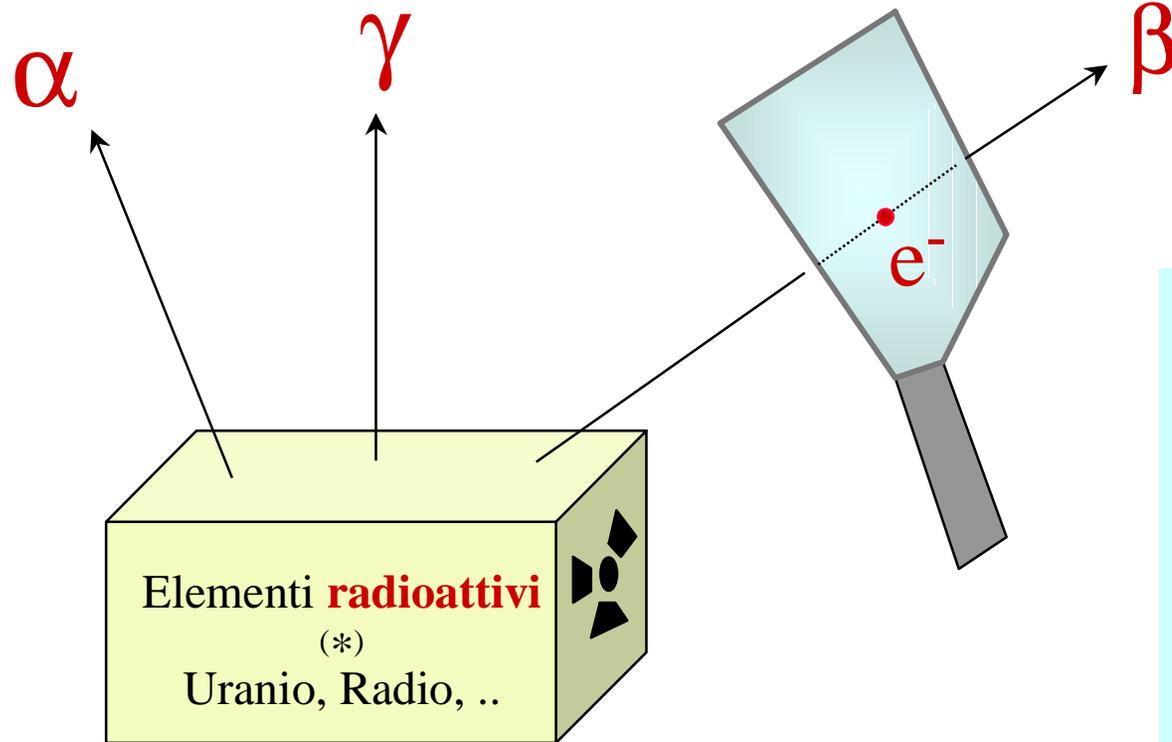
Uomo e "uro" →
(bue selvaggio, specie estinta)





BECQUEREL 1896

SCOPERTA DELLA RADIOATTIVITA'
NATURALE



... poi si scoprì che i
“raggi β ” sono
elettroni e infine che
assieme a

e^-

viene emesso un
neutrino

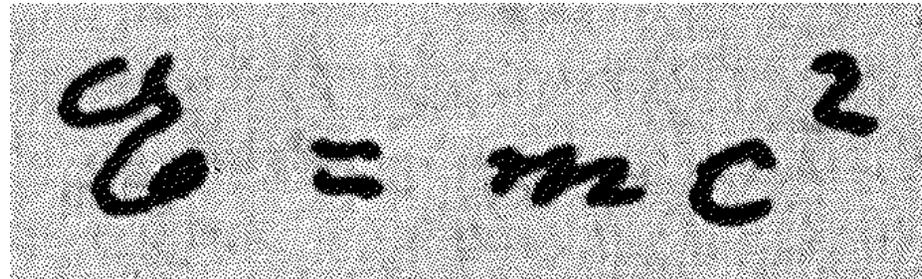
ν

(*) Copyright Marie Curie

Apparentemente

~~Nulla si crea
nulla si distrugge~~

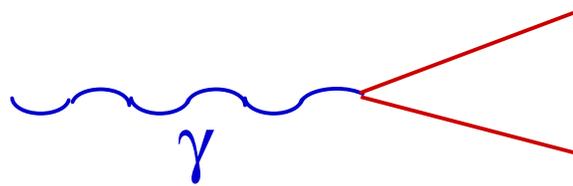
Ma nel 1905 (Einstein)

A photograph of a handwritten equation, E = mc^2, written in black ink on a textured, light-colored surface. The 'E' is on the left, followed by an equals sign, then 'm', 'c', and a superscript '2'.

energia \rightleftharpoons materia

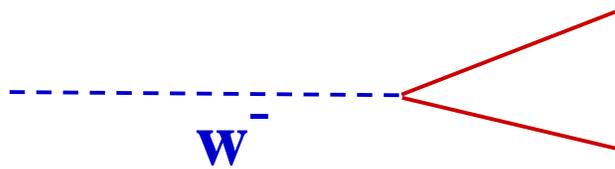
Più precisamente:

Energia \rightleftharpoons **materia + anti-materia** *



e^- elettrone

e^+ positon (anti-elettrone)



e^- elettrone

$\bar{\nu}$ anti-neutrino



Includendo nel bilancio energia , materia e anti-materia ,
di nuovo

“nulla si crea e nulla si distrugge”

* Antimatière : Equation de Dirac 1928 , découverte du positon e^+ par Anderson 1932

E così

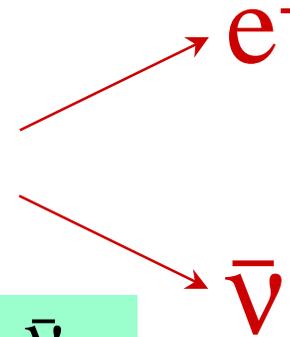
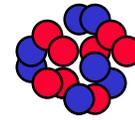
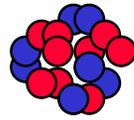


Neutrino ν



anti-neutrino $\bar{\nu}$

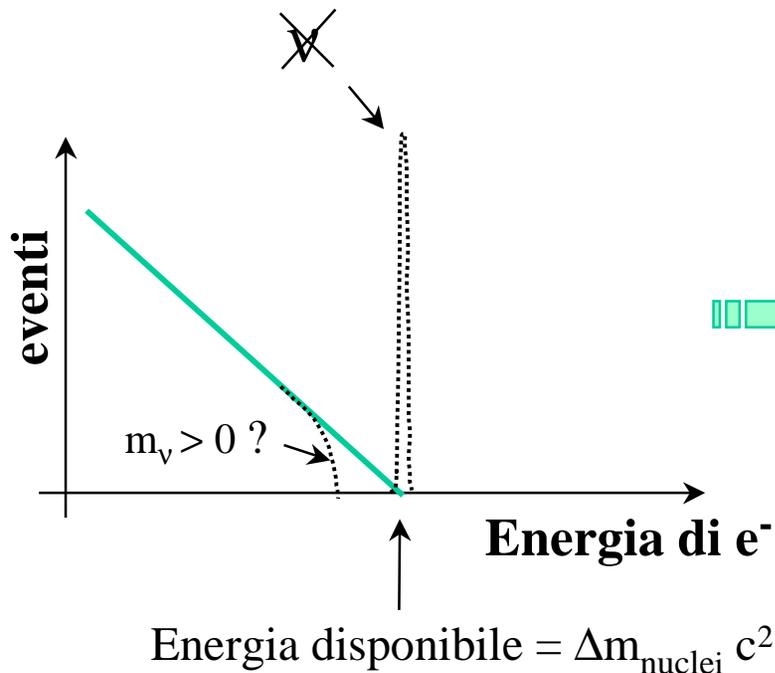
Decadimento β nucleare



(F.Perrin 1933)



(Modello a Quarks, 1964)



IPOTESI DI PAULI (1930)

- $E_e < E_{\text{disponibile}}$
 \rightarrow una particella neutra e quindi invisibile "ruba" energia $\rightarrow \nu$
- $E_e \leq E_{\text{disponibile}} \rightarrow m_\nu \sim 0$

“TENTATIVO DI UNA TEORIA DEI RAGGI β ”

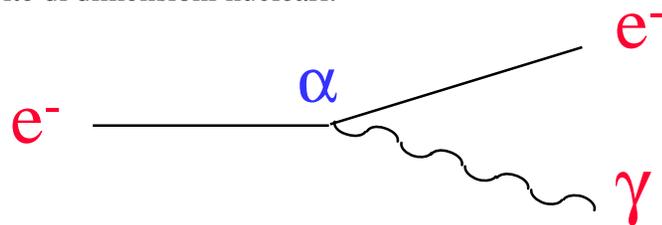
Enrico Fermi (1934)

Sunto - Si propone una teoria quantitativa dell'emissione dei raggi β in cui si ammette l'esistenza del <neutrino> e si tratta l'emissione degli elettroni e dei neutrini da un nucleo all'atto della disintegrazione β con un procedimento simile a quello seguito nella teoria dell'irradiazione per descrivere l'emissione di un quanto di luce da un atomo eccitato. Vengono dedotte delle formule per la vita media e per la forma dello spettro continuo dei raggi β , e le si confrontano con i dati sperimentali.

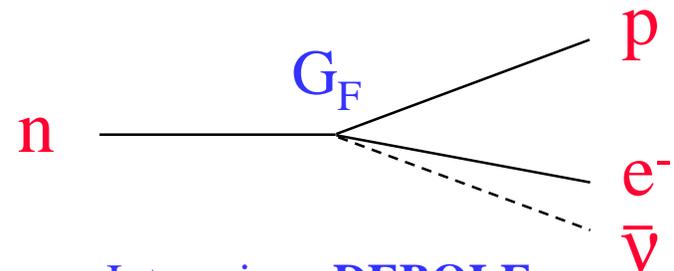
Ipotesi Fondamentale della teoria

§1 Nel tentativo di costruire una teoria degli elettroni nucleari e dell'emissione dei raggi β , si incontrano, come è noto due difficoltà principali. La prima dipende dal fatto che i raggi β primari vengono emessi dai nuclei con una distribuzione continua di velocità. Se non si vuole abbandonare il principio della conservazione dell'energia, si deve ammettere perciò che una frazione dell'energia che si libera nel processo di disintegrazione β sfugga alle nostre attuali possibilità di osservazione. Secondo la proposta di Pauli si può, ad esempio, ammettere l'esistenza di una nuova particella, il così detto <neutrino> avente carica elettrica nulla e massa dell'ordine di grandezza di quella dell'elettrone o minore. Si ammette poi che in ogni processo β vengano emessi simultaneamente un elettrone, che si osserva come raggio β , e un neutrino che sfugge all'osservazione portando seco una parte dell'energia. Nella presente teoria ci baseremo sopra l'ipotesi del neutrino.

Una seconda difficoltà per la teoria degli elettroni nucleari, dipende dal fatto che le attuali teorie relativistiche delle particelle leggere (elettroni o neutrini) non danno una soddisfacente spiegazione della possibilità che tali particelle vengano legate in orbite di dimensioni nucleari.



Interazione **ELETTRO-MAGNETICA**



Interazione **DEBOLE**
 $G_F \ll \alpha$ (sono legate a probabilità)

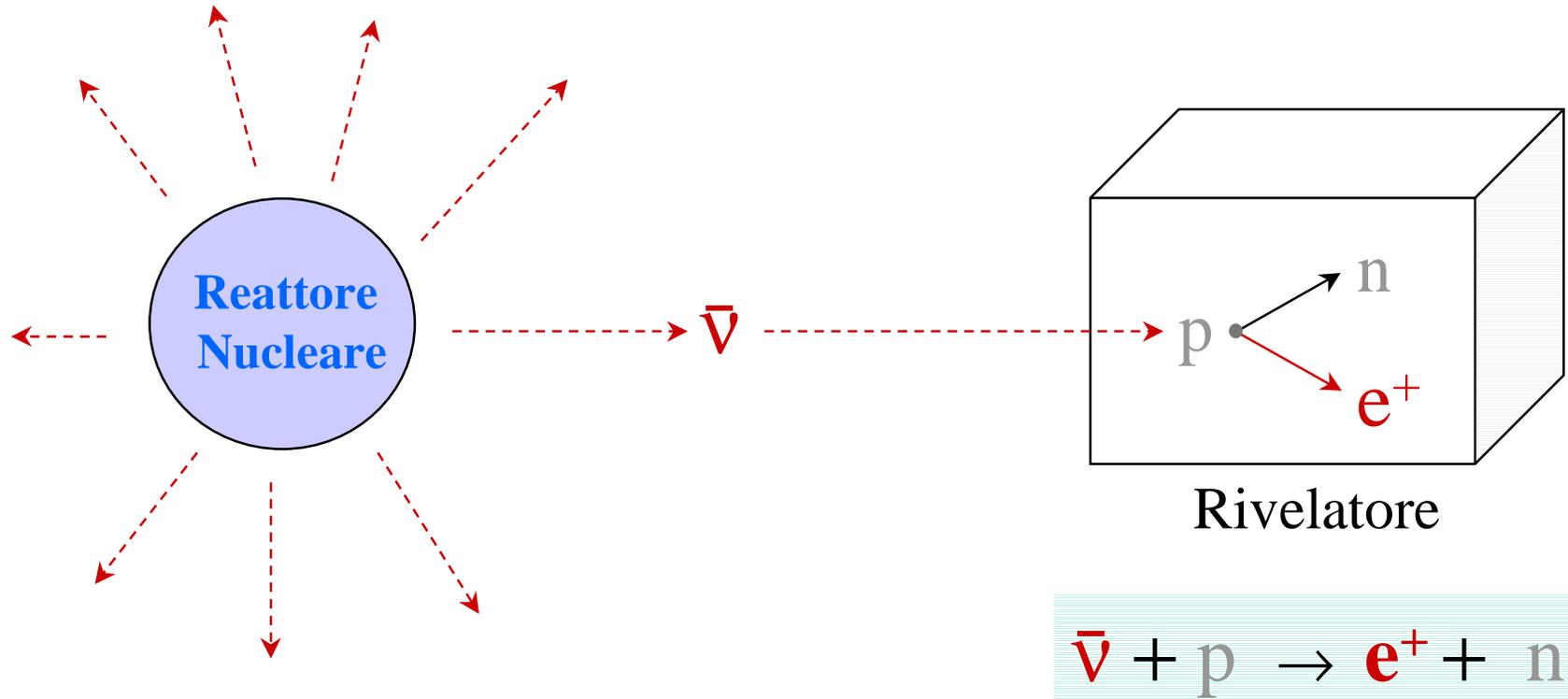
**E come con la
scrittura
finisce la
preistoria ...**

Iscrizione fenicia su lamina d'oro
Pyrgi (Lazio)



“Scoperta” del $\bar{\nu}$

(Reines e Cowan 1956)



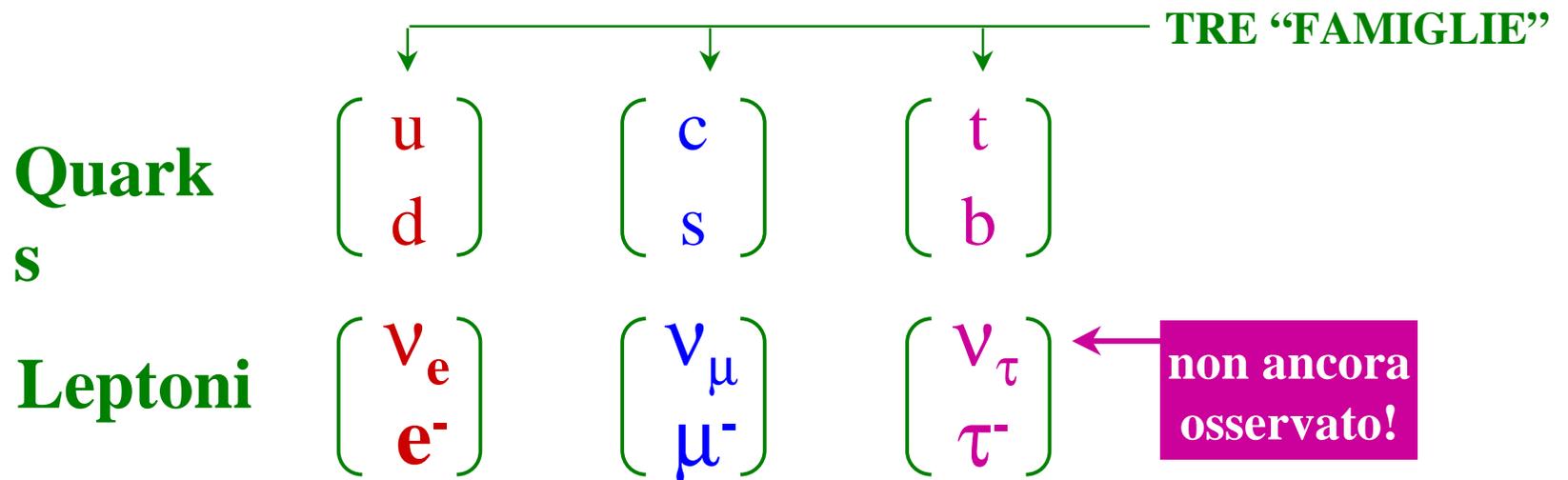
(n neutro , p fermo quindi pure invisibile)

Osservazione di $\bar{\nu}$ che interagiscono (debolmente !) con la materia nel “rivelatore” :

la “scrittura” dei neutrini !

Dopo tante affascinanti ricerche ..

Olimpo delle attuali (*)
PARTICELLE ELEMENTARI



n.b. - ora differenziamo ν_e, ν_μ, ν_τ

ν : un membro SPECIALE ED IMPORTANTISSIMO

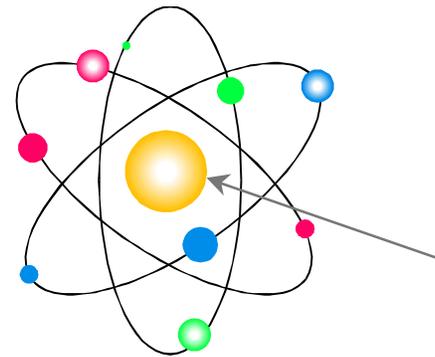
(*) Saranno un domani ancora considerate elementari, o si scoprirà una loro struttura più profonda ?

Per particelle elementari

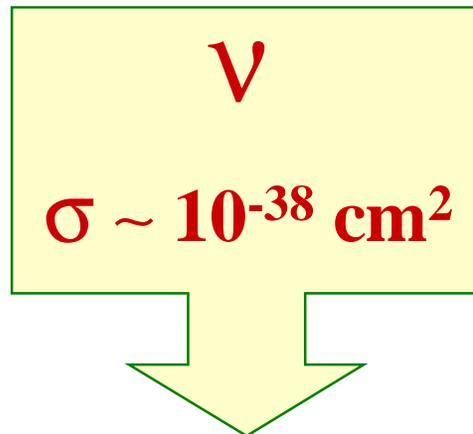
“sezione d’urto” σ

invece che di “dimensioni” (πr^2 per una pallottola)

diametro atomo $\sim 10^{-8}$ cm



diametro
nucleo
 $\sim 10^{-13}$ cm



v : probabilità piccolissima di interagire con la materia

“Interazione Debole”

Le Interazioni Fondamentali

Recente
Unificazione
Elettro-debole

	Mediatori	Intensità relativa
Forte (nucleare)	gluoni	1
Elettro-magnetica	γ	10^{-2}
Debole	W^{\pm}, Z^0	10^{-6}
Gravitazionale	?	10^{-40}

... agiscono
SU

Quarks	Forte (+ e.m. + debole)
e^{-}, μ^{-}, τ^{-}	e.m. (+ debole)
Neutrini	<u>debole</u>



Interazioni puramente deboli dei neutrini

- ➔ “Tavola periodica” delle particelle elementari : “famiglie”
- ➔ Prima conferma sperimentale dell’Unificazione Elettrodebole (1973)
..... ➔ W^{\pm} e Z^0 (CERN 1983)

**A che
servono i
neutrini ?**

**.... a
generare
frutti, a
“scaldarci” !**

*Se non
esistessero, la
Terra non
sarebbe scaldata
dal sole*



Michelangelo Merisi, detto il Caravaggio (1573-1610)
Cestino di frutta (1590?), Pinacoteca Ambrosiana (Milano)

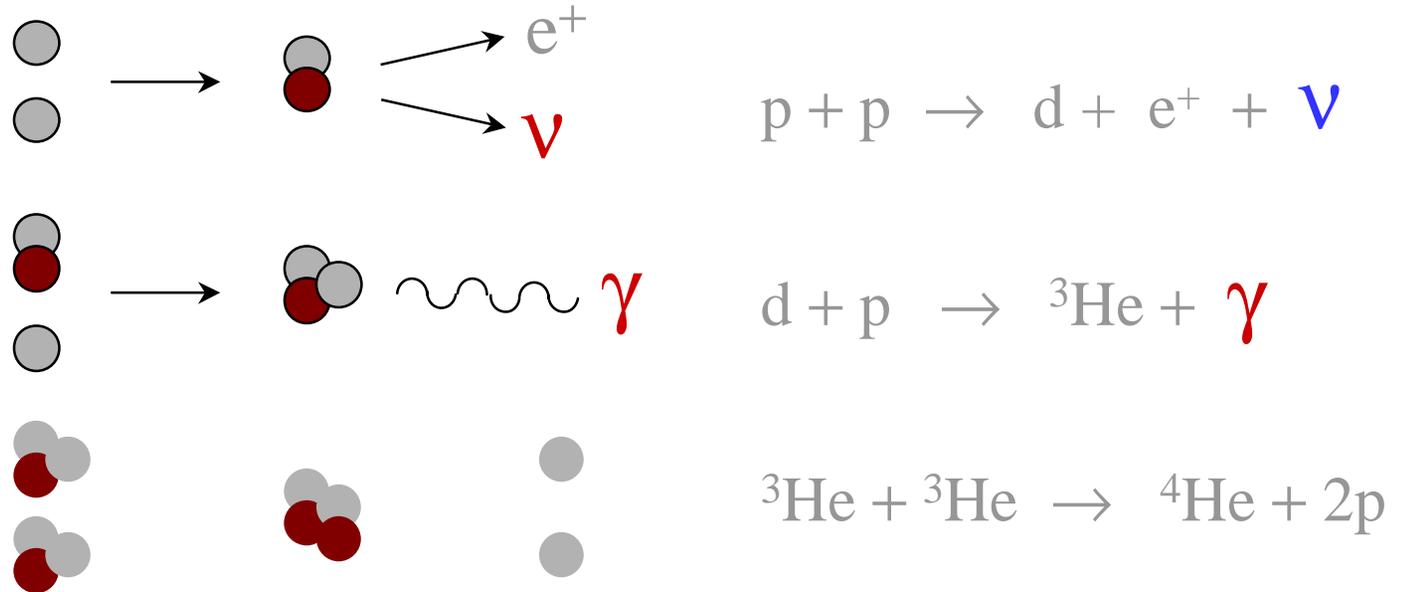
L'enorme energia generata nelle stelle (e quindi anche nel sole)
non può provenire da reazioni chimiche

(Eddington , 1920 !)

Proviene da reazioni di **FUSIONE NUCLEARE** che implicano

“Ciclo p-p”

- protone
- neutrone



In definitiva



Luce e calore !



I v accompagnano necessariamente i γ , la radiazione e.m. che ci illumina e scalda!

Eguale
abbondanti
ma invisibili

Sulla Terra
 $\sim 10^{11} \text{ v} / \text{cm}^2 \text{ sec} !$

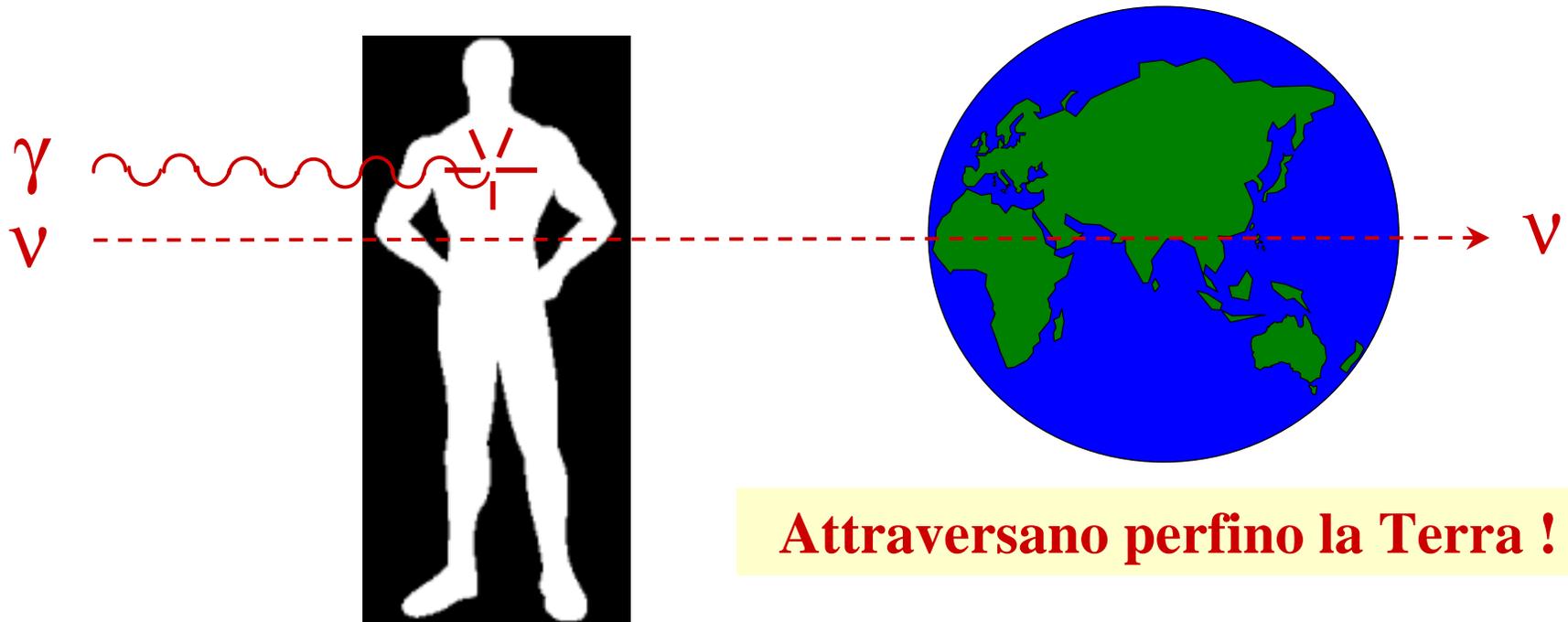
Perché

la radiazione e.m. (i.r., luce, u.v.) ci scalda , e i ν no ?

Risposta

La radiazione e.m. interagisce con il nostro corpo e vi deposita la sua energia (calore)

**I neutrini ci attraversano senza interagire:
non depositano energia !**



Attraversano perfino la Terra !

E ora
veniamo agli
enigmi

Juan Miró (1893-1988)

Il bel volatile decifra l'incognito a
una coppia di innamorati

Museum of Modern Art (New York)



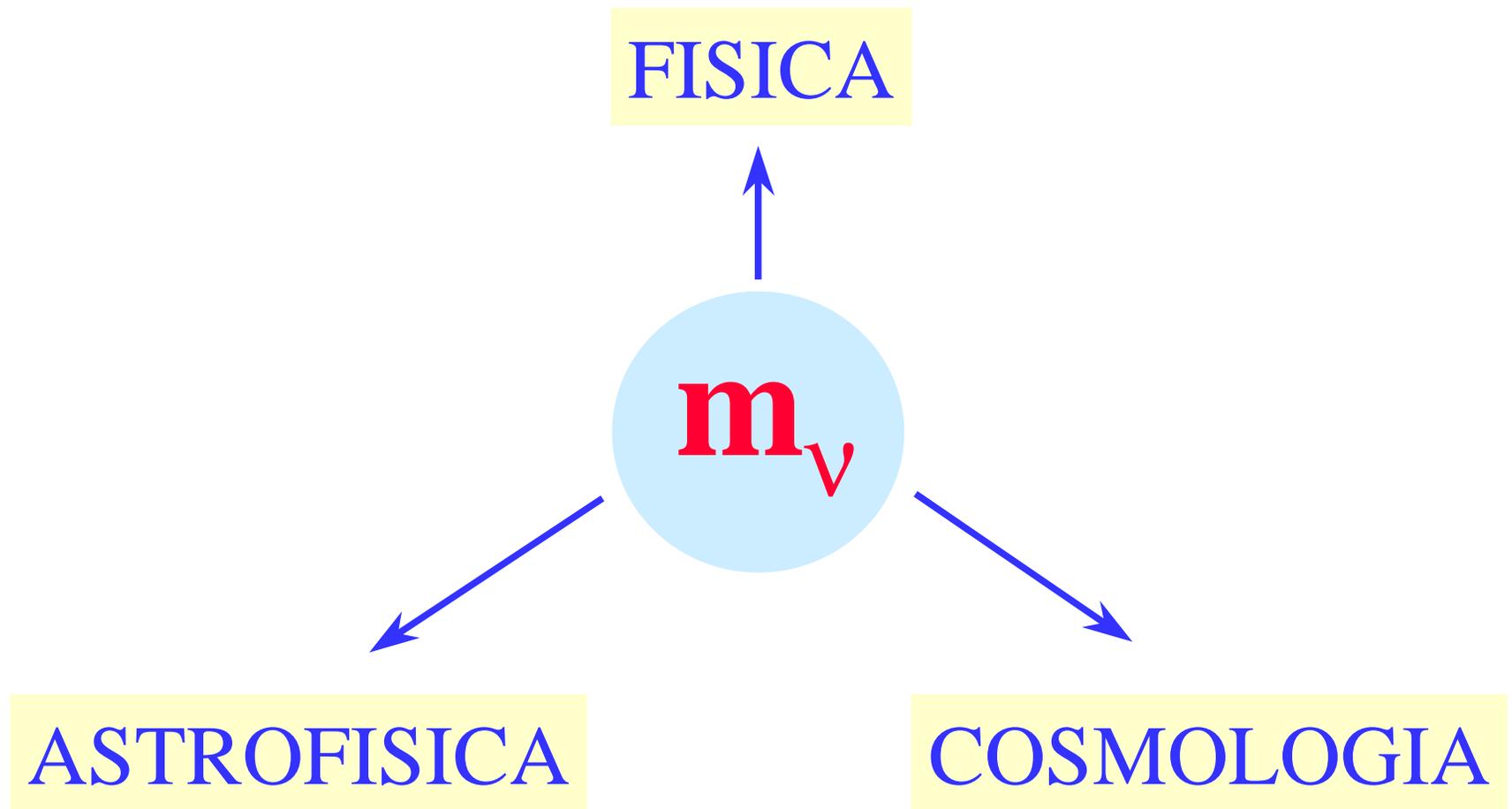
Bassissima probabilità di interazione dei ν
negli apparati sperimentali (“rivelatori”)

Esperimenti difficili

Aspetti tuttora misteriosi del ν

carica elettrica	0
momento angolare di “spin”	1 / 2
interazioni	debole
massa	?
altre proprietà	?
$\nu \neq \bar{\nu}$ (Majorana)	?

L'enigma m_ν e le sue implicazioni



$$m_\nu > 0 ?$$

FISICA

- Le odierne teorie pongono $m_\nu = 0$
(praticamente non manifesta nelle loro interazioni)
- Nessuna ragione fondamentale per $m_\nu = 0$
- $m_\nu > 0$ → nuove frontiere per la Fisica

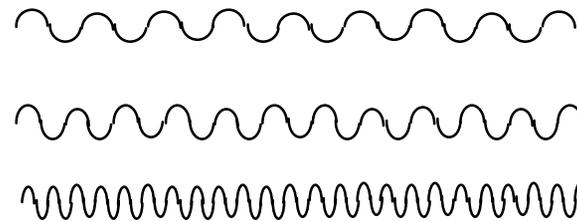
ASTROFISICA

- Vista l'abbondanza di ν , la “Materia Oscura” dell'universo è almeno in parte attribuibile a $m_\nu > 0$?

COSMOLOGIA

- Continuerà l'espansione dell'universo iniziata con il “Bing Bang” ?
- La Materia Oscura esiste in misura sufficiente a frenarla ?

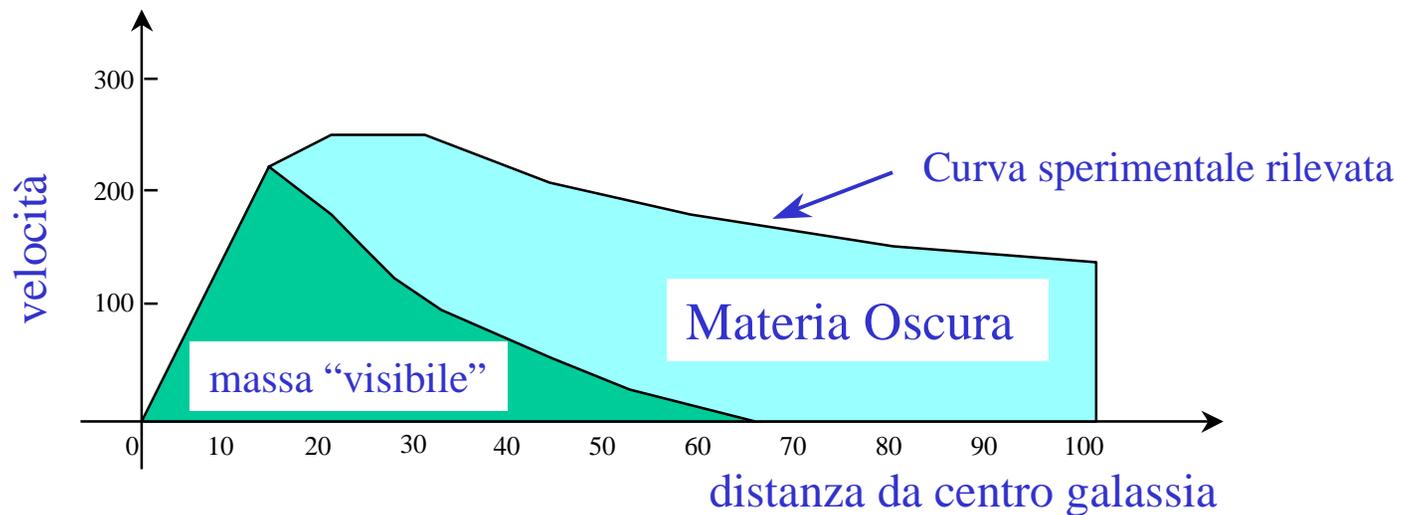
La Materia Oscura



→
→
→
→
→
→
Radiazione e.m.
(luce, raggi X, ..)
verso la Terra



misura della velocità mediante “Effetto Doppler”



La massa visibile è solo ~ 10% della massa totale !

Materia nota dell'Universo

Materia “visibile”

(emette radiazioni e.m. : i.r. , luce, u.v. , microonde, raggi X)

Fotoni “reliquie” del Big-Bang

($\sim 400/\text{cm}^3$ a $2,7 \text{ }^\circ\text{K}$ - Arno e Penzias 1965)

Neutrini “reliquie” del Big-Bang

(pure $\sim 400/\text{cm}^3$, massa sconosciuta)

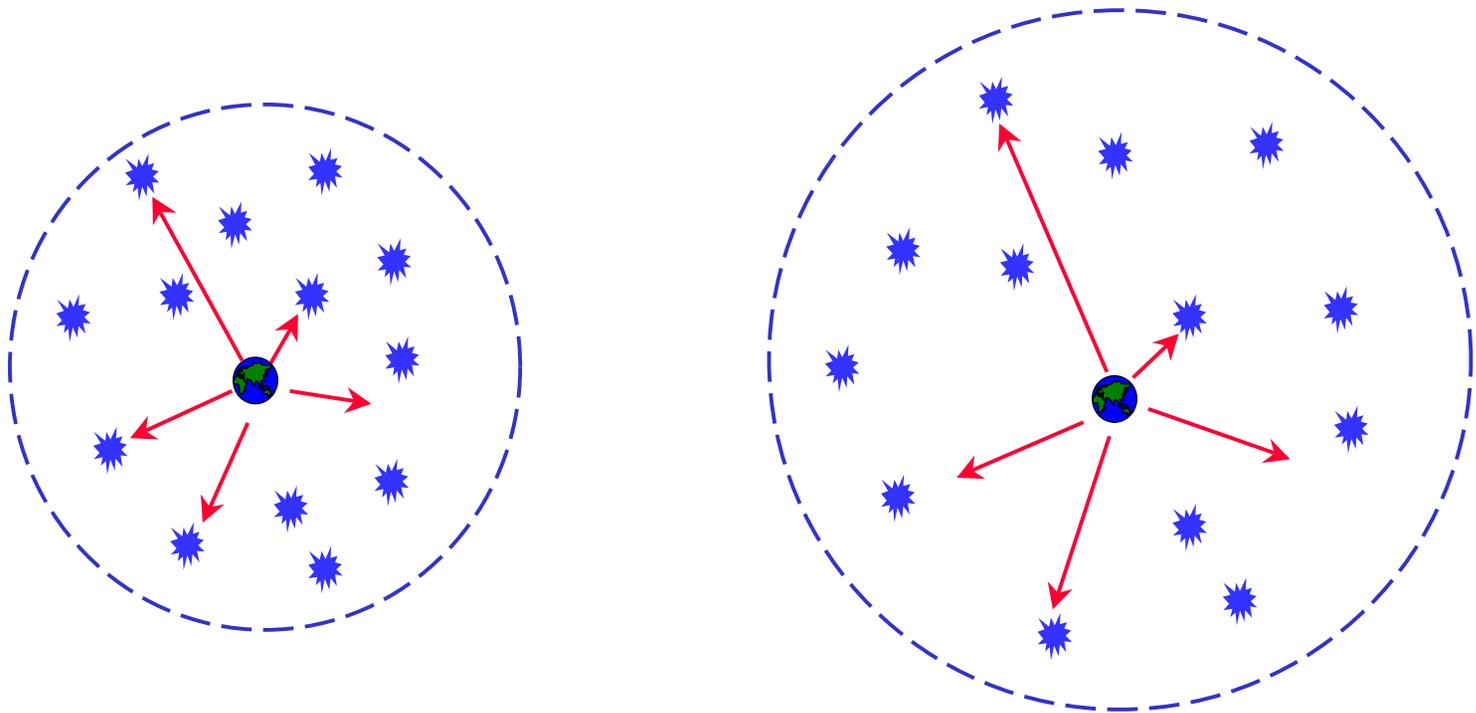
E la materia oscura ?

- viene in parte da $m_\nu > 0$?
- particelle elementari ora ignote ?
- corpi macroscopici ?
- ?

**L'ipotesi $m_\nu > 0$
non richiede nuove
“invenzioni”**

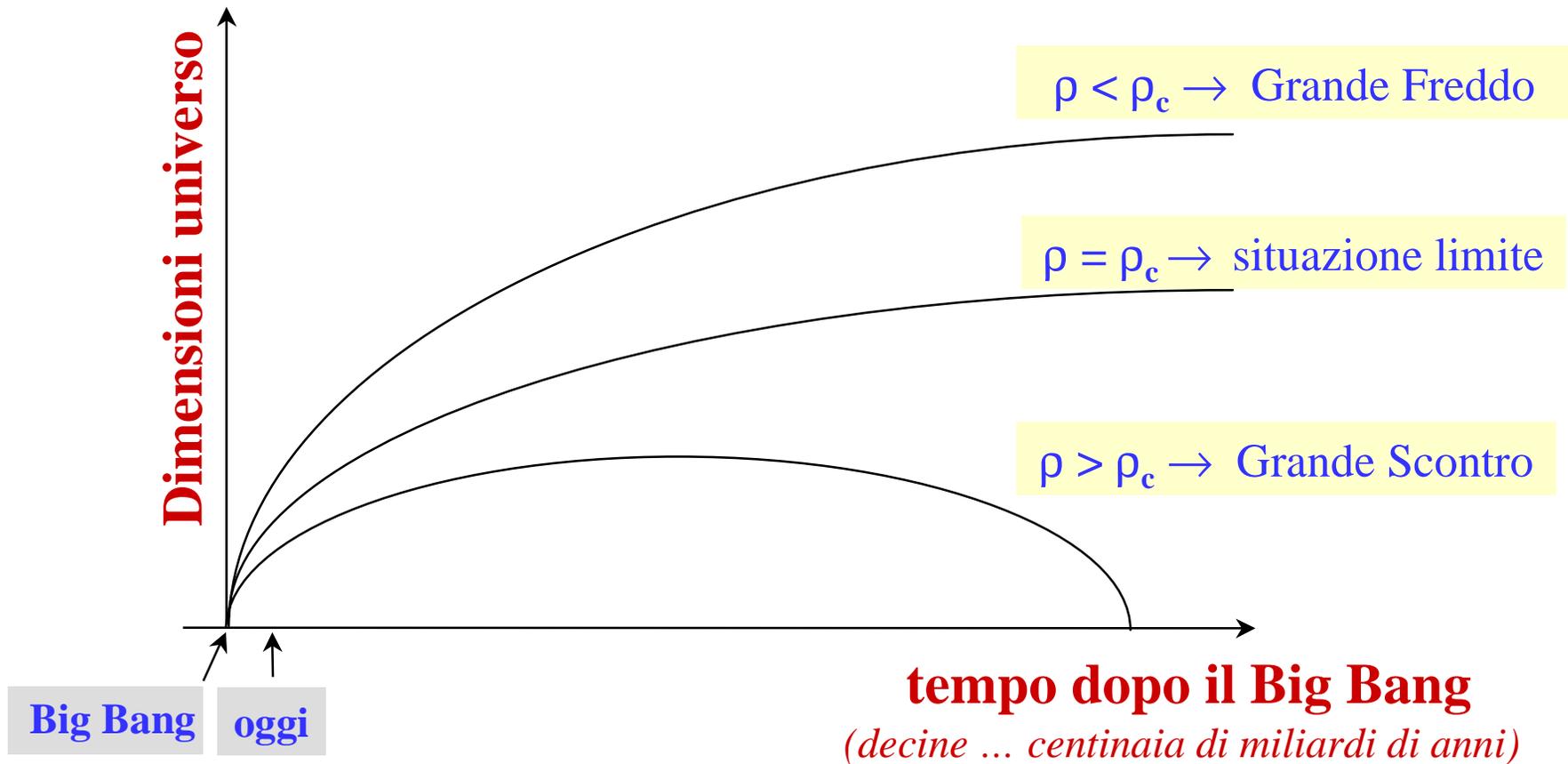
L'universo in espansione : Big Bang ?

Legge di Hubble, 1929 :
le stelle si allontanano tra loro con una velocità
crescente all'aumentare della loro distanza



Sembra che si allontanino “da noi” : in realtà tutto l’universo è in espansione

“Grande Scontro” o “Grande Freddo” ?



La materia oscura influisce sulla densità : $\rho \leftrightarrow \rho_c$?

Einstein : Relatività Generale 1916, Relatività Generale e Cosmologia 1917; Friedmann 1922

Alla ricerca di m_ν

Il metodo più sensibile ricerca un effetto indotto da $m_\nu > 0$:

“oscillazioni di neutrino”



non conservano la propria identità

Per esempio : alla produzione ν_μ
sul rivelatore (distante) ν_τ !

Metodi per osservarle

scomparsa ν_μ

flusso predetto - flusso osservato

apparizione ν_τ

in assenza di fondo anche 1 evento basta
→ sensibilità e chiarezza

Difficoltà sperimentali

- ν_τ mai osservato
- osservare oscillazioni → m_ν

doppio interesse !!

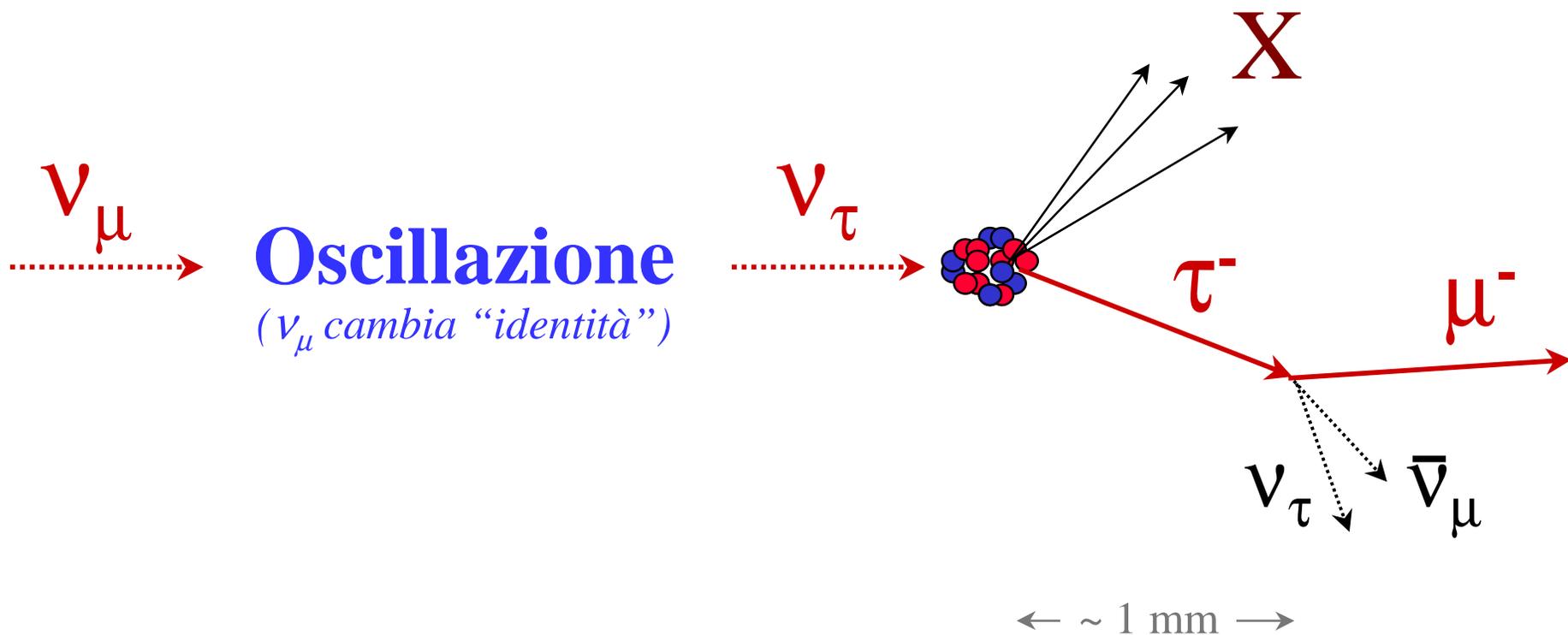


CHORUS

Cern Hybrid Oscillation Research apparatus

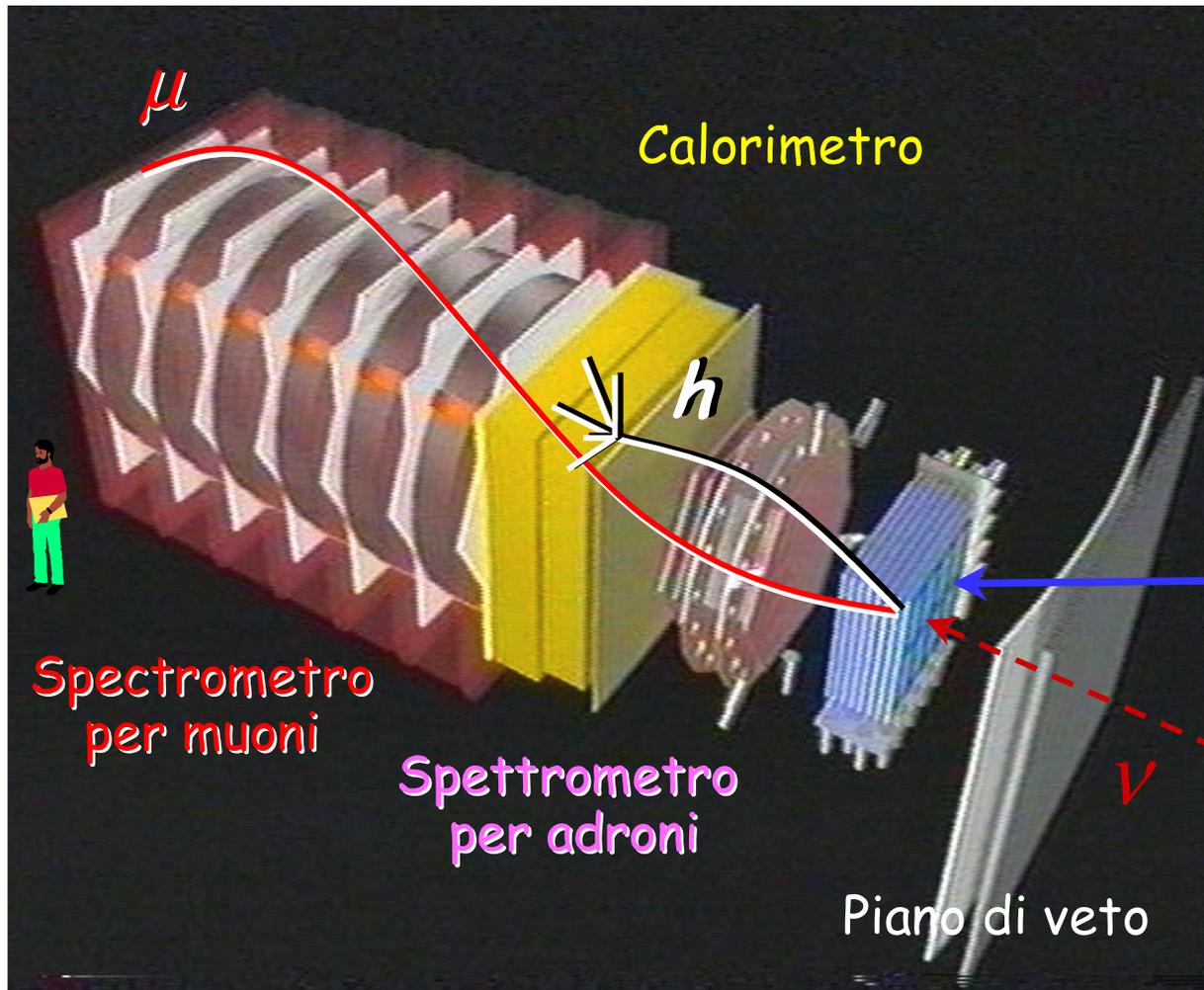
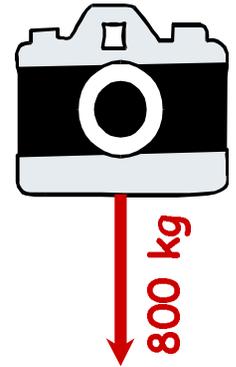
Ricerca di oscillazioni $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$

- Apparizione di ν_{τ} in un fascio di ν_{μ}
- Rivelazione del τ prodotto nelle interazioni di ν_{τ}



CHORUS

Una "macchina fotografica" per micro-immagini di interazioni di neutrini prodotti da acceleratori !



Rivelatori "elettronici"

- localizzare tracce nelle emulsioni
- identificare le particelle
- misurarne l'energia

Fibre ottiche scintillanti e altre tecniche



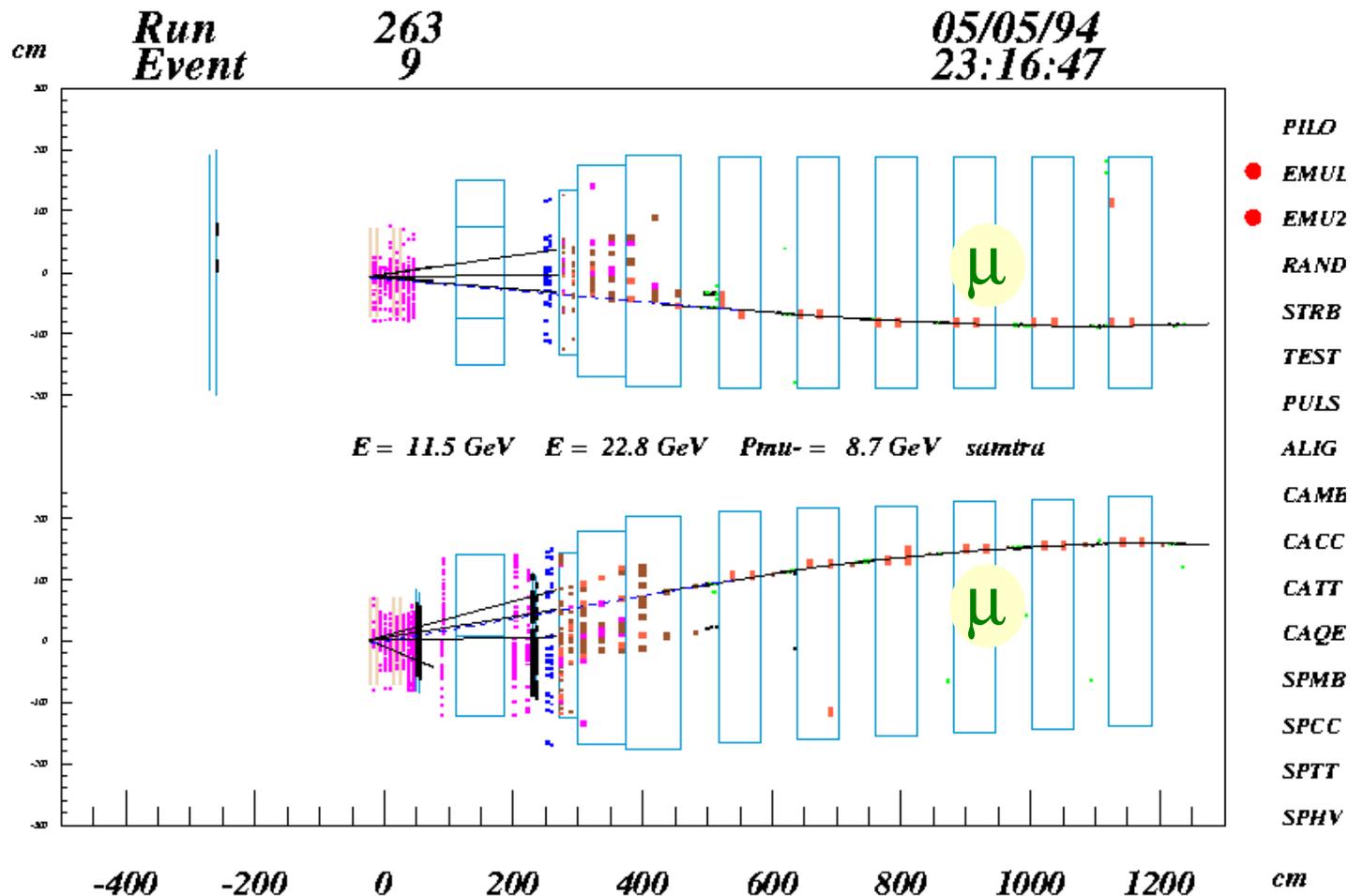
Evento ricostruito dai rivelatori elettronici

- Evento con μ nello stato finale
- Segnali nei vari rivelatori e ricostruzione delle tracce
- Misura di variabili cinematiche, come l'energia

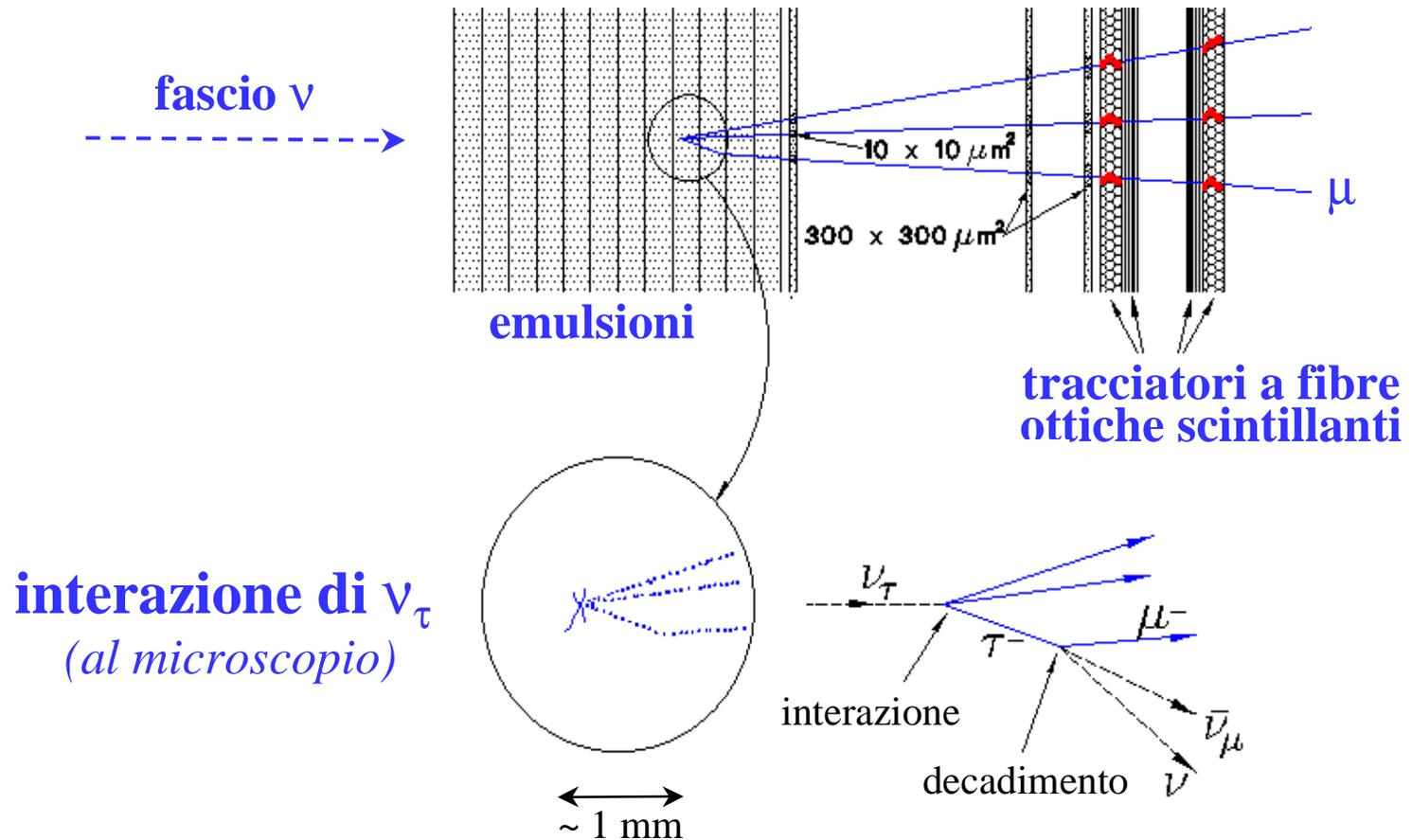
CHORUS

Vista dall'alto

Vista dal lato



Il “cuore” di CHORUS



I tracciatori a fibre scintillanti predicono la regione di emulsioni da analizzare
(con microscopi automatici controllati da computer)

Microscopio per analisi automatica di immagini in tre dimensioni

*Interamente controllato da computer
Applicazioni anche in altri campi: es. biofisica*

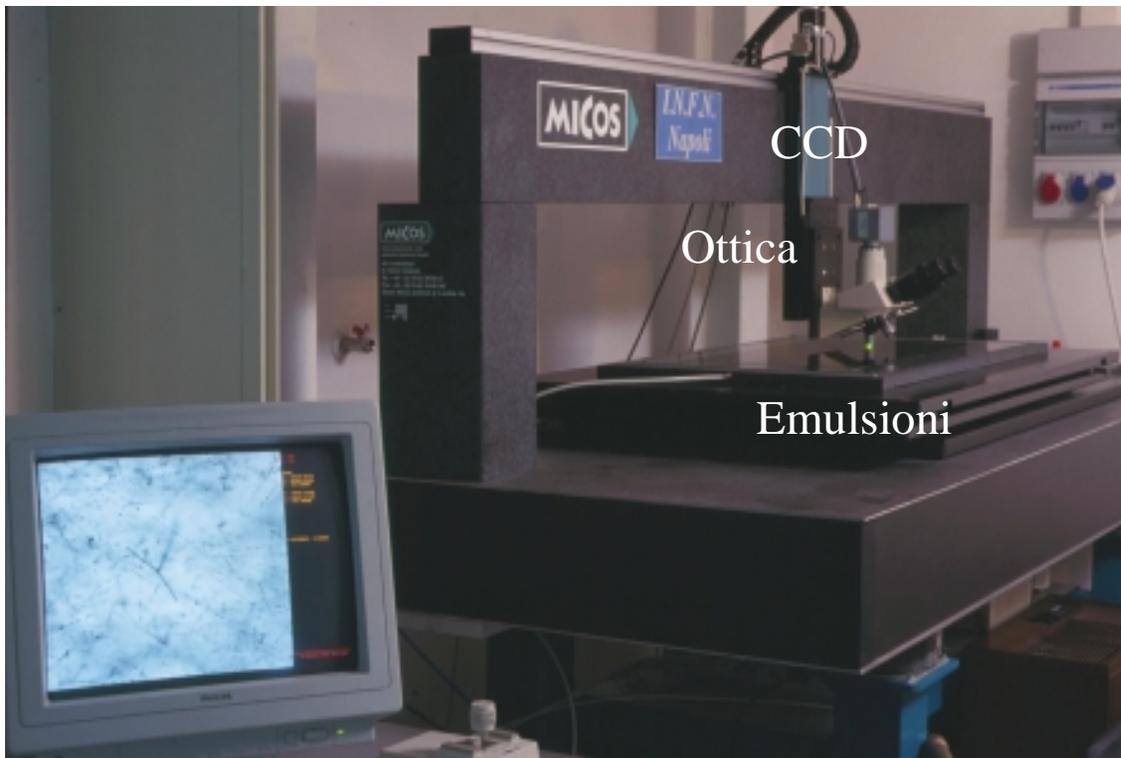
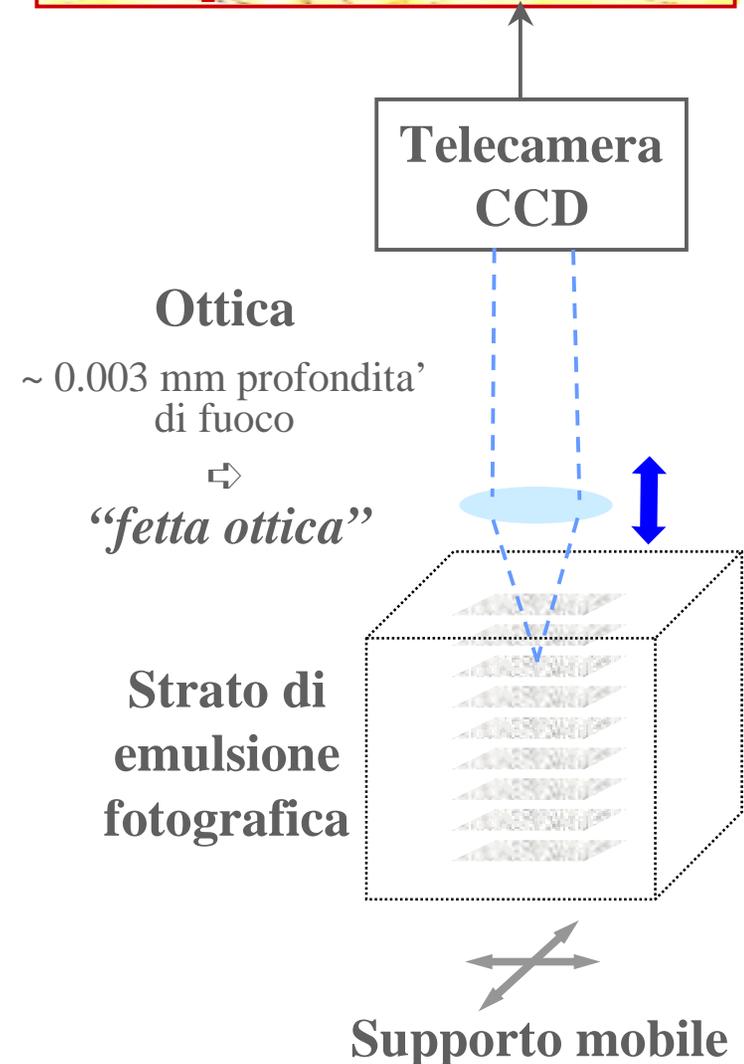
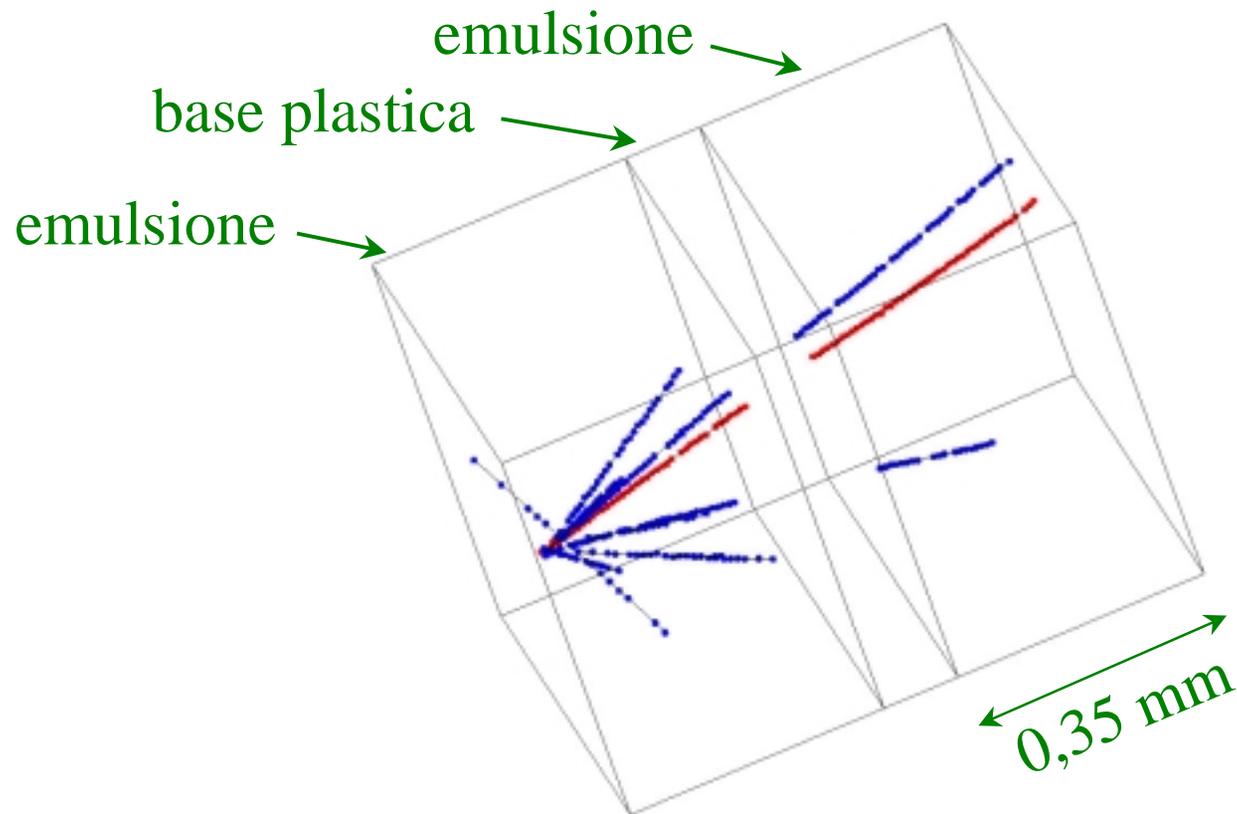


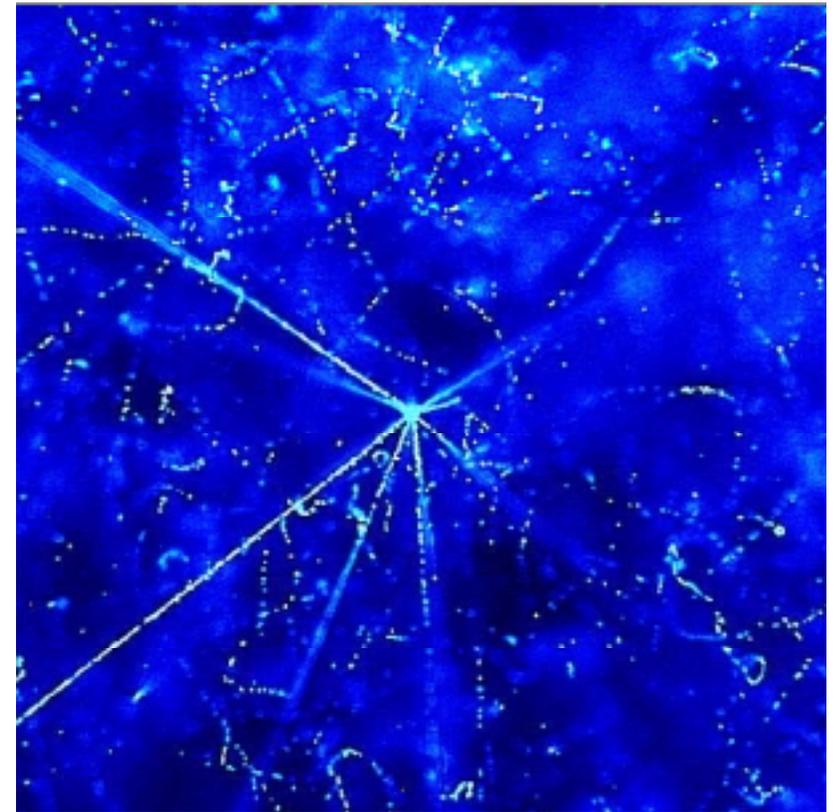
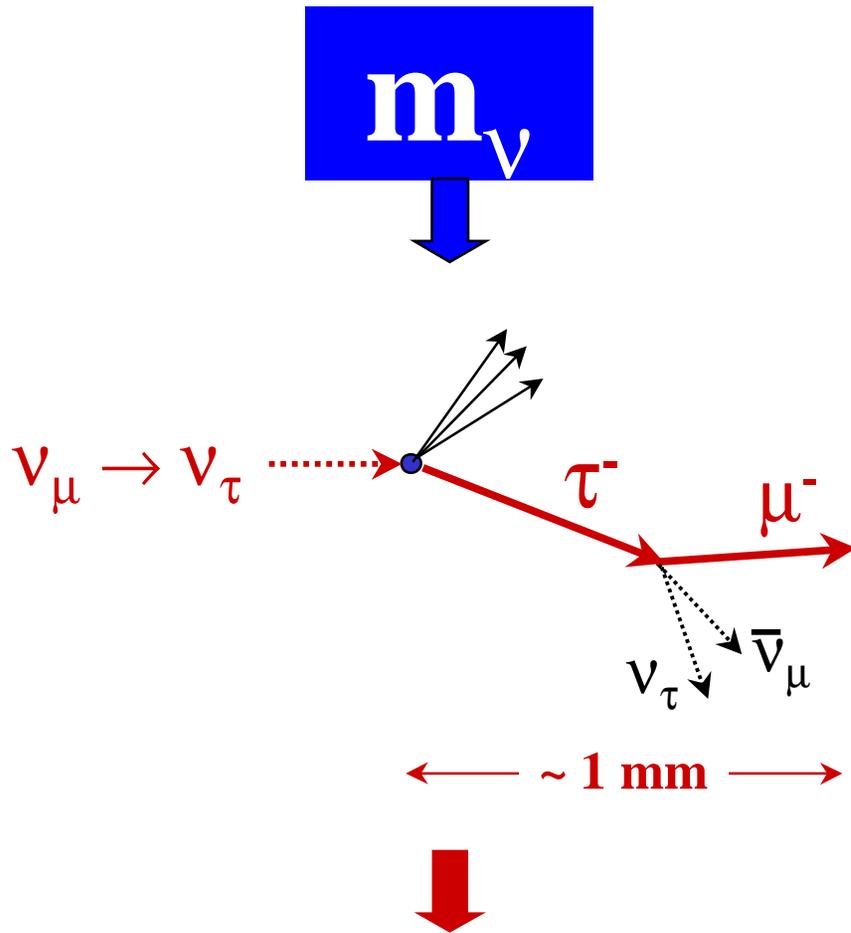
Immagine "tomografica" digitizzata in tre dimensioni
Terza dimensione: spessore emulsioni



Evento in emulsioni ricreato dal calcolatore in tre dimensioni



L'elaborazione al computer visualizza le tracce delle particelle nei due strati di emulsioni sui due lati della base di plastica

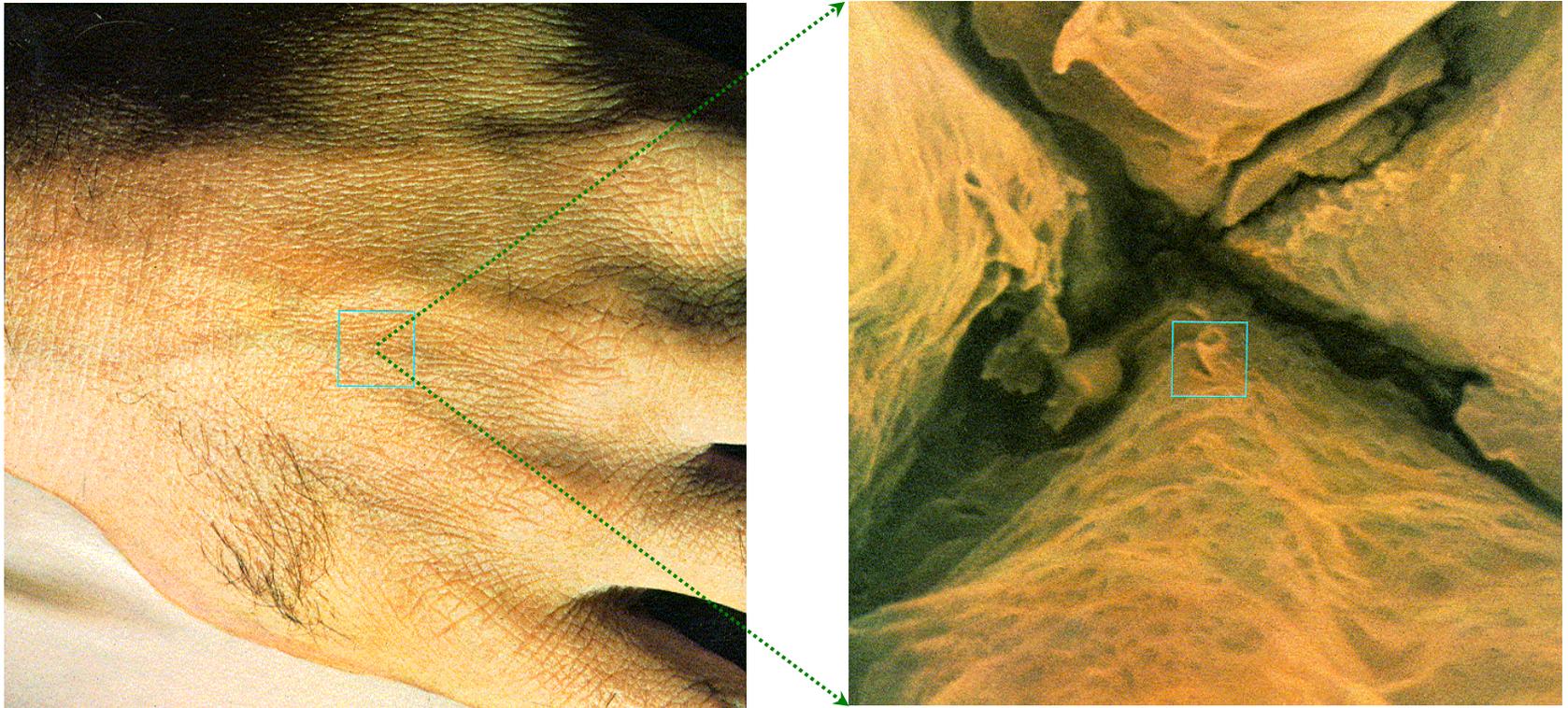


**Traccia “spezzata” dal
decadimento del τ**

**L’ago da cercare nel pagliaio di
mezzo milione di interazioni di ν_μ**

**Interazione di ν_μ nelle
emulsioni fotografiche**
(una “fetta” tomografica)

Per rendersi conto di che vuol dire 0,1 mm



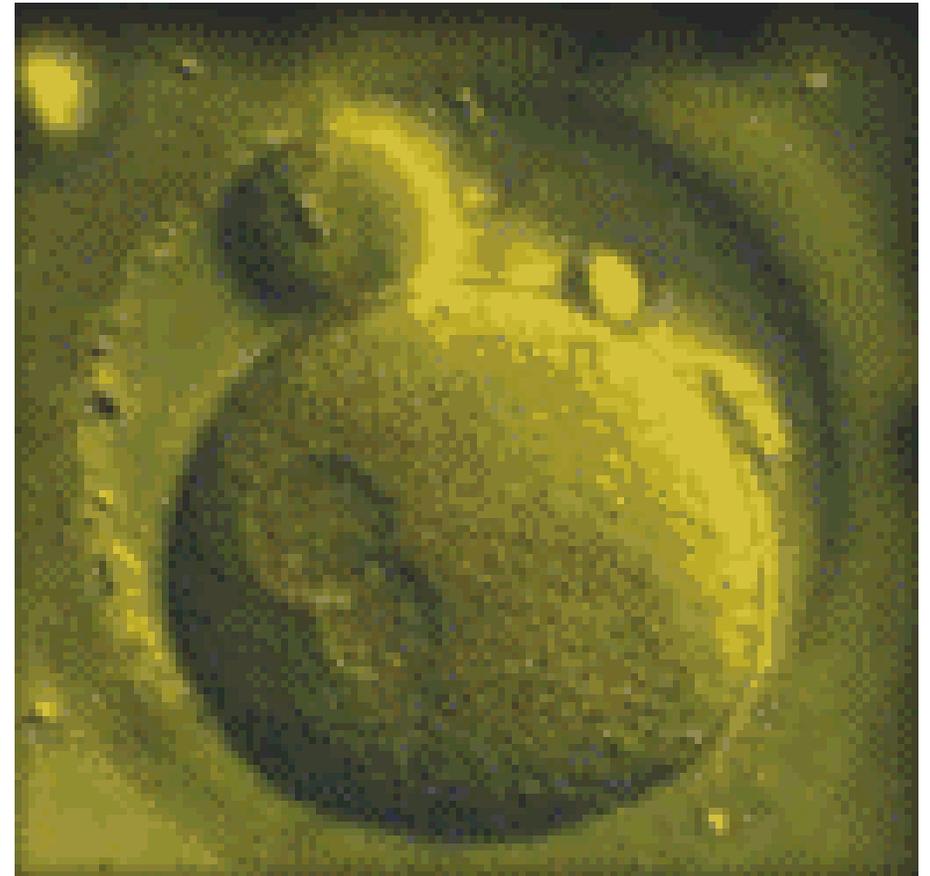
← 10 cm →

← 0,1 mm = 100 micron →

Da Morrison, Morrison, Eames e Eames, *Potenze di dieci*, Zanichelli (1986)

o se volete ... quanto siamo stati anche noi

**embrione umano ,
il “giorno dopo”**

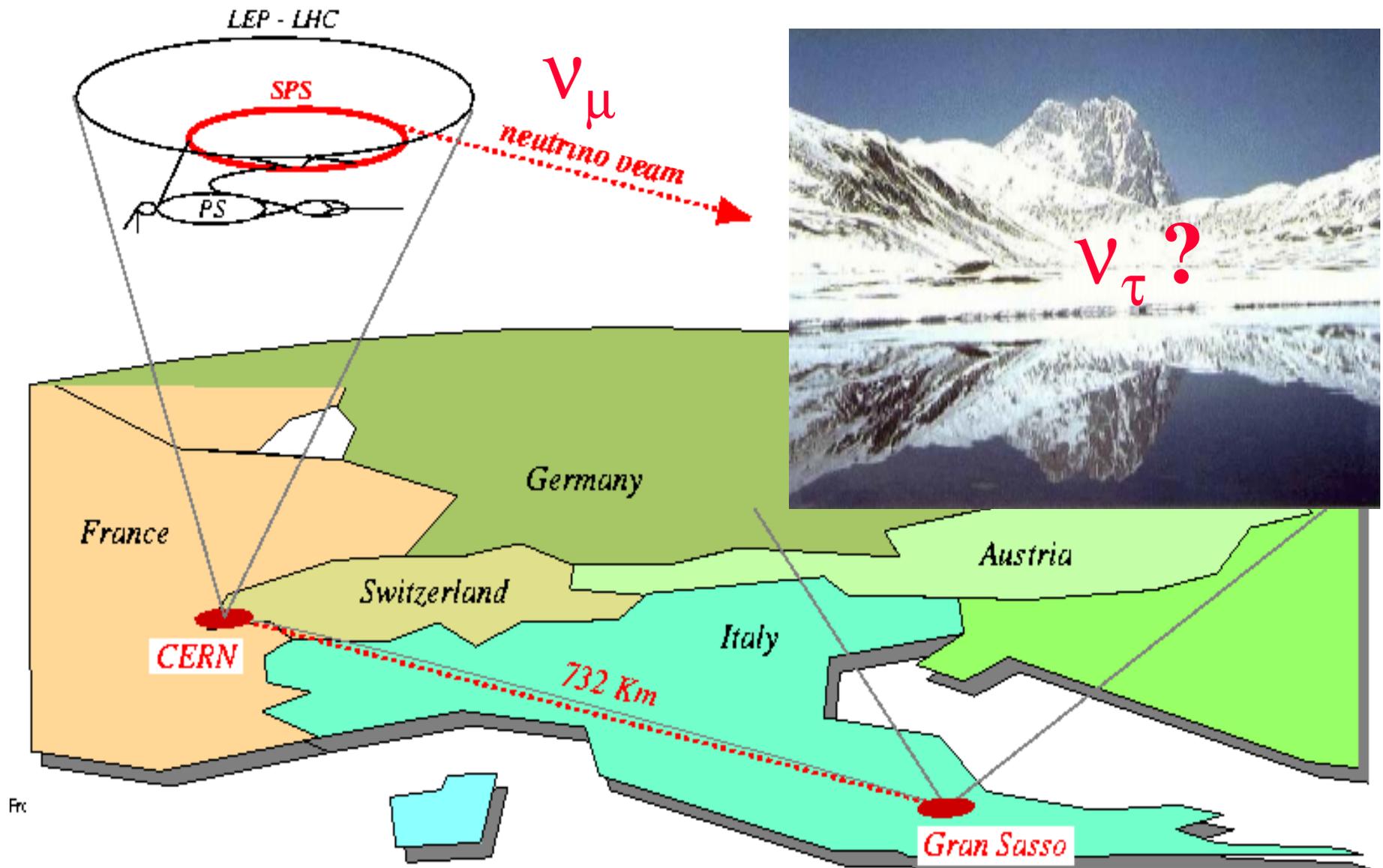


← 0,1÷0,15 mm →

From *The visible embryo*,
<http://www.visembryo.com/baby/index.html>

Tra qualche anno ... ν dal CERN al Gran Sasso (INFN) ?

(la probabilità di oscillazione aumenta con la distanza)



... *per concludere*

- Un bellissimo campo di ricerca
- Esperimenti difficili e delicati
- Dimensioni “umane”
- Per imparare
- Esperienze stimolanti



→ SFIDA PER FISICI SPERIMENTALI

→ IMPEGNO SUL PIANO INTELLETTUALE

→ SIMBIOSI RICERCA-DIDATTICA

→ LAUREA - DOTTORATO

→ LABORATORI LOCALI E INTERNAZIONALI

In definitiva :
...nella vita
dobbiamo tutti
pedalare ...

