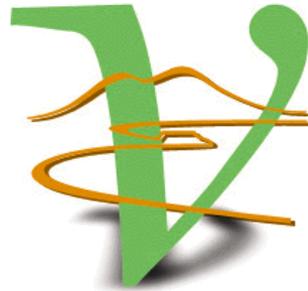


L'esperimento OPERA ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso

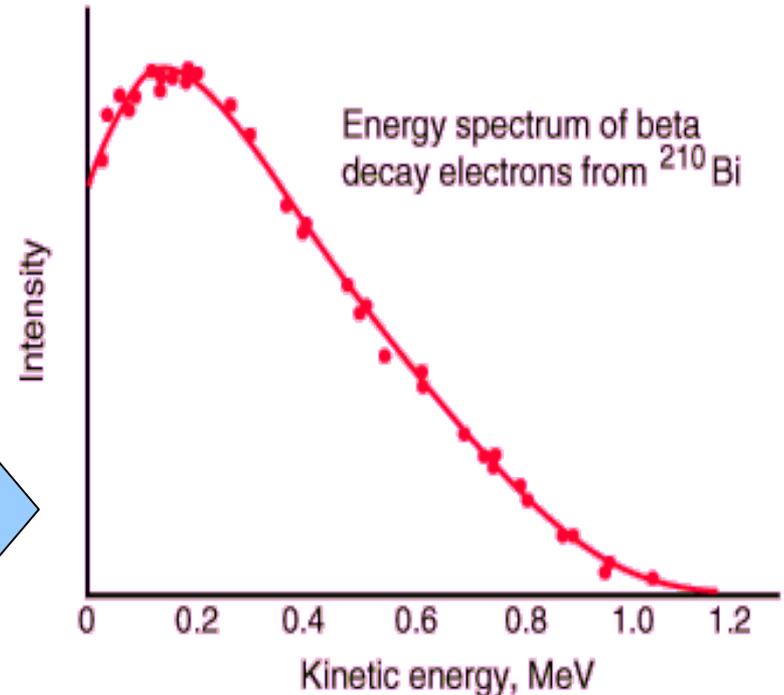


Andrea Russo
Università di Napoli
21/3/2009

Lipotesi sull'esistenza del neutrino (1929)

Nel decadimento β si ha la transizione
 $n \rightarrow p + e^-$ (uniche particelle visibili)

La conservazione della quantità
di moto e dell'energia imporrebbero
che l'elettrone venga emesso solo
ad una ben precisa energia, ma...



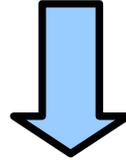
Ipotesi di Pauli: oltre al neutrino, nel decadimento β viene emessa un'altra particella, di massa e carica nulla, **il neutrino**:
non è più necessario abbandonare i principi
di conservazione di energia e quantità di moto:

Lo stato attuale delle conoscenze

Tre tipi di neutrino,
 ν_e, ν_μ, ν_τ , a seconda del loro **numero leptonico**

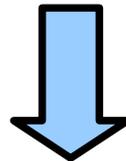
Le interazioni nucleari deboli
producono neutrini
di **stato leptonico definito**, $(\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)$

Gli stati di neutrino di
massa definita sono (ν_1, ν_2, ν_3)



Le due basi $(\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)$ e (ν_1, ν_2, ν_3)
sono differenti:

autostati di due operatori
diversi che non commutano



Gli stati $(\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)$ si ottengono
da un “**mescolamento**” degli stati
a massa definita (ν_1, ν_2, ν_3) e viceversa

Oscillazione di neutrino

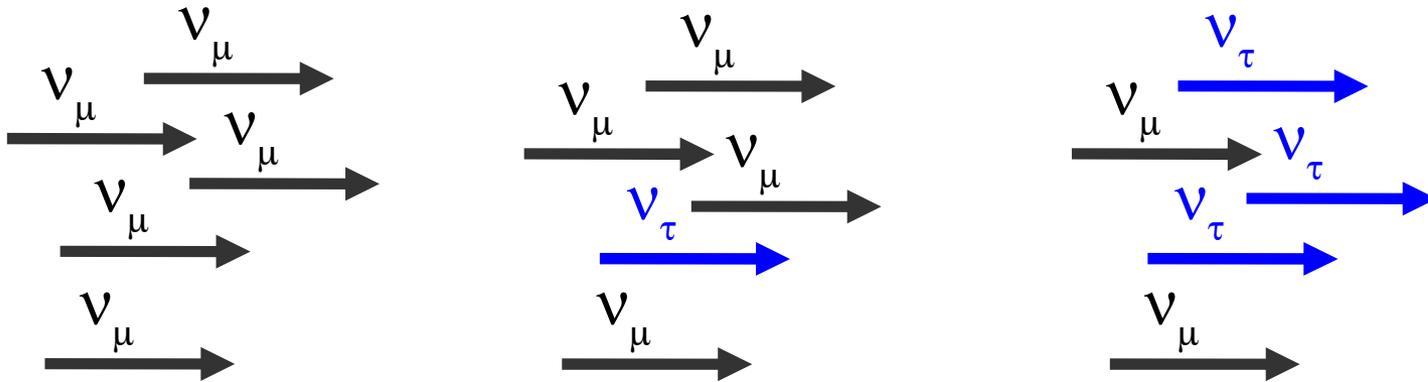
Il mescolamento degli stati permette il fenomeno dell'**oscillazione del neutrino**: se produciamo un neutrino di un tipo leptonic definito, se esso si propaga nello spazio potrà “trasformarsi” in un neutrino di **stato leptonic differente**

Probabilità di oscillazione: $P = \sin^2(2\theta) \cdot \sin(1.27 \Delta m^2 L / E)$, dove:

L = lunghezza percorsa dal neutrino

E = energia del neutrino

Δm^2 = differenza di massa fra i due tipi di neutrino



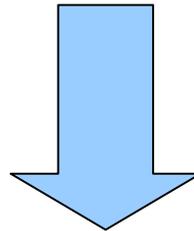
Oscillazione di neutrino

Perché è importante studiare le oscillazioni di neutrino ?
I neutrini possono oscillare **se e solo se** hanno massa non nulla

La probabilità di oscillazione

$P = \sin^2(2\theta) * \sin(1.27\Delta m^2 L/E)$, infatti,
contiene il termine Δm^2 :
se esso si annulla, anche $P=0$

Per molti decenni inseguito
alla scoperta dei neutrini, si
è ritenuto che i neutrini
non avessero massa

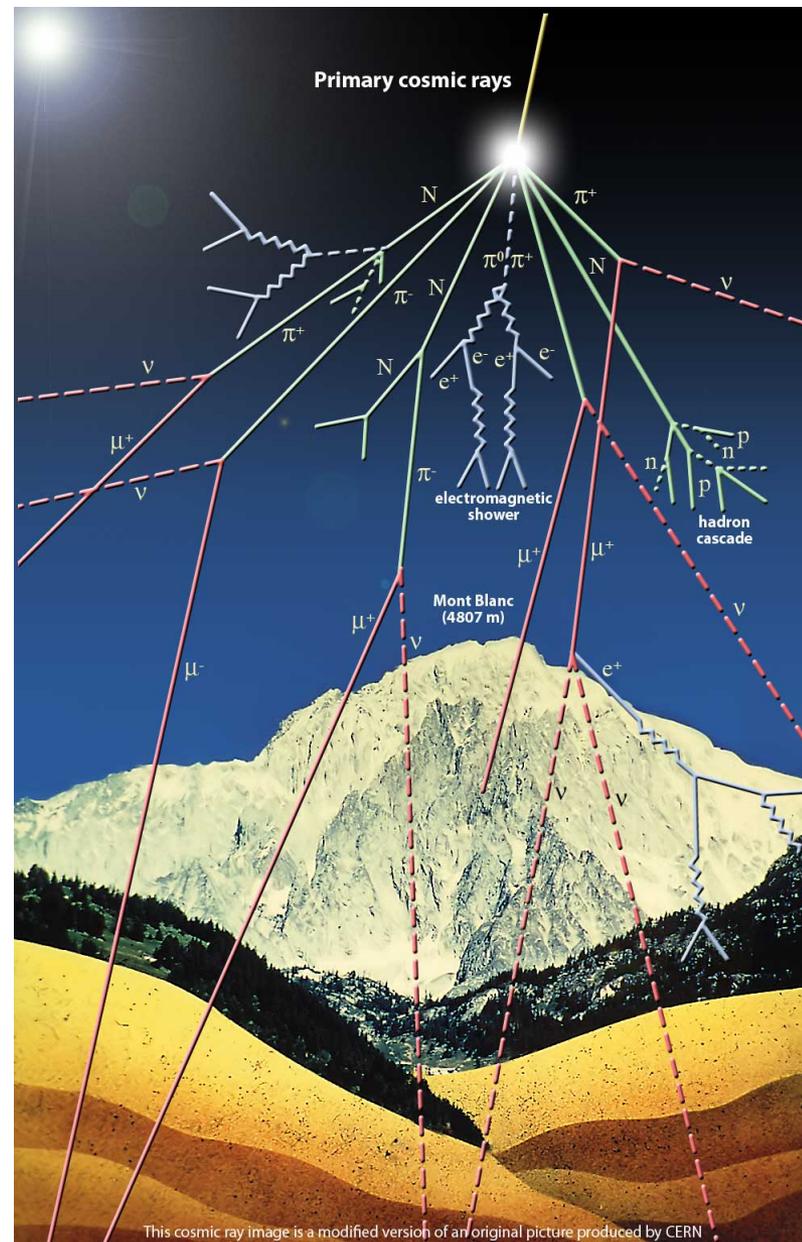
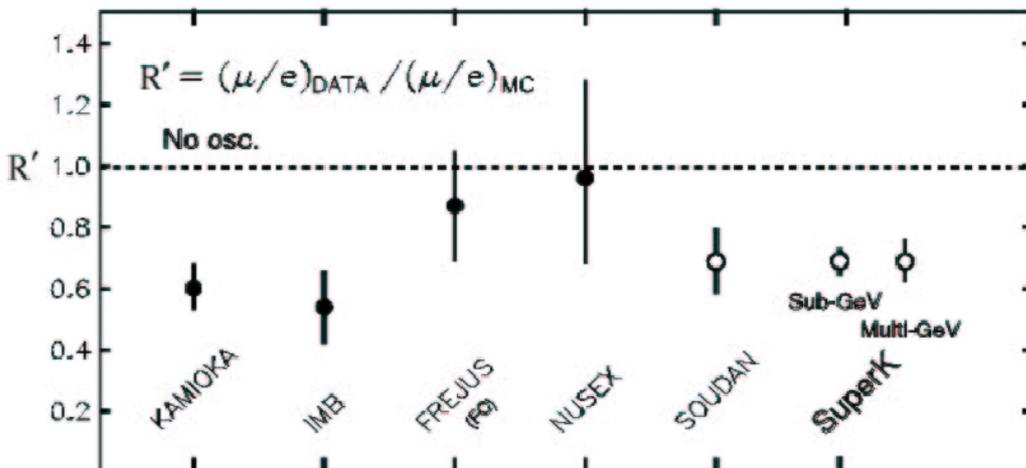


La scoperta delle oscillazioni
ha fornito la prima (e finora unica)
prova che i neutrini hanno una
massa non nulla

Il problema dei neutrini atmosferici

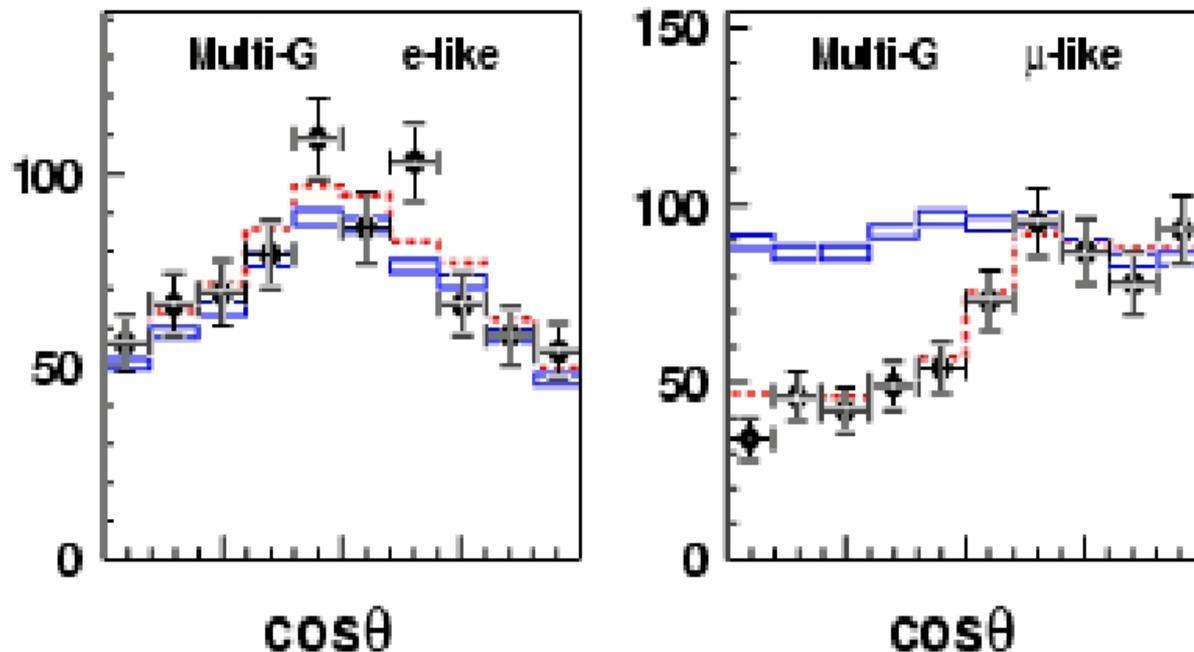
L'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera genera un flusso di neutrini che investe la terra....

... ma i dati indicano che il **flusso di neutrini atmosferici di tipo μ che misuriamo è inferiore a quanto atteso**

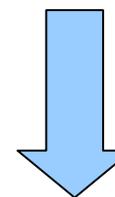


Il problema dei neutrini atmosferici

Come possiamo interpretare questo deficit nel flusso di neutrini μ che misuriamo sulla terra?



Questo deficit di ν_μ dipende dall'angolo di zenith di provenienza dei neutrini, e quindi dal rapporto L/E



I ν_μ atmosferici oscillano!

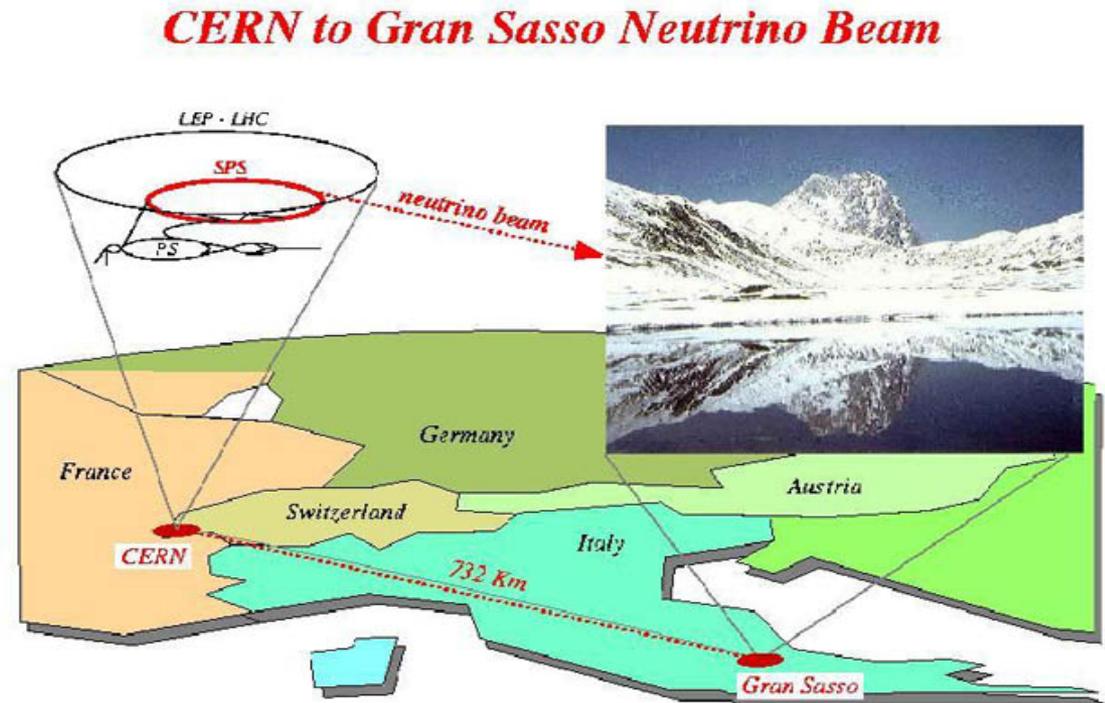
Ciò significa che una parte dei ν_μ che arrivano sulla terra dopo aver attraversato l'atmosfera si sono trasformati in ν_τ (che non possiamo vedere direttamente nei ν atmosferici, a causa della loro “bassa” energia)

OPERA ed il fascio CNGS

Come misurare direttamente l'oscillazione di ν_μ in ν_τ ?

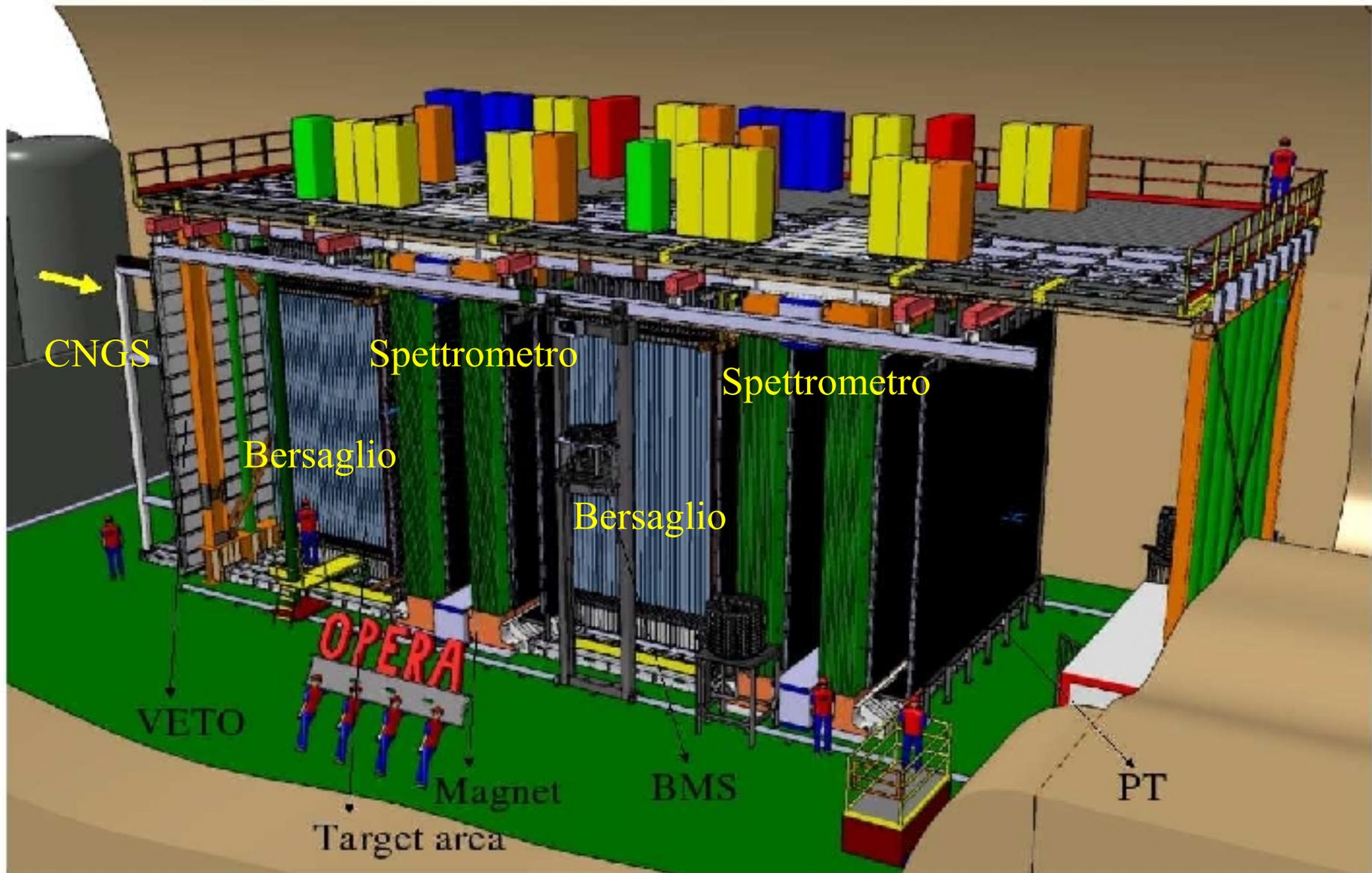
Usiamo un fascio artificiale di ν_μ di “alta” energia e lo osserviamo dopo una lunghezza tale che $(L/E)_{\text{atmosferici}} \cong (L/E)_{\text{OPERA}}$

I ν_μ del fascio CNGS (Cern to Gran Sasso) viaggiano per $L \cong 732$ km fino al rivelatore ed hanno $\langle E \rangle \cong 17$ GeV



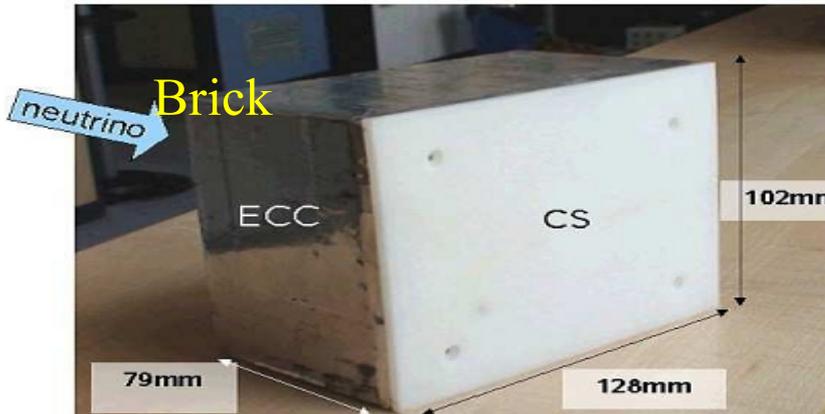
L'esperimento OPERA è costruito per essere in grado di rilevare i ν_τ , quindi proverà **direttamente** il fenomeno delle oscillazioni

OPERA



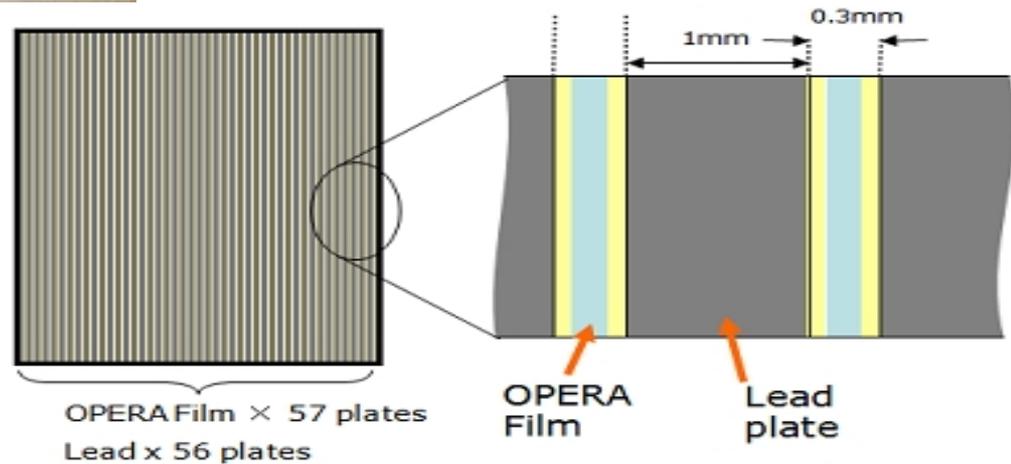
Il bersaglio di OPERA

Il bersaglio di OPERA ha una struttura **altamente modulare**: composto da ≈ 150000 **brick**



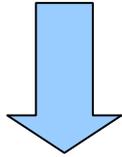
massa ≈ 8.3 Kg
Composto da **emulsioni nucleari**
e piombo

La struttura ECC
(Emulsion Cloud Chamber)



Le emulsioni nucleari

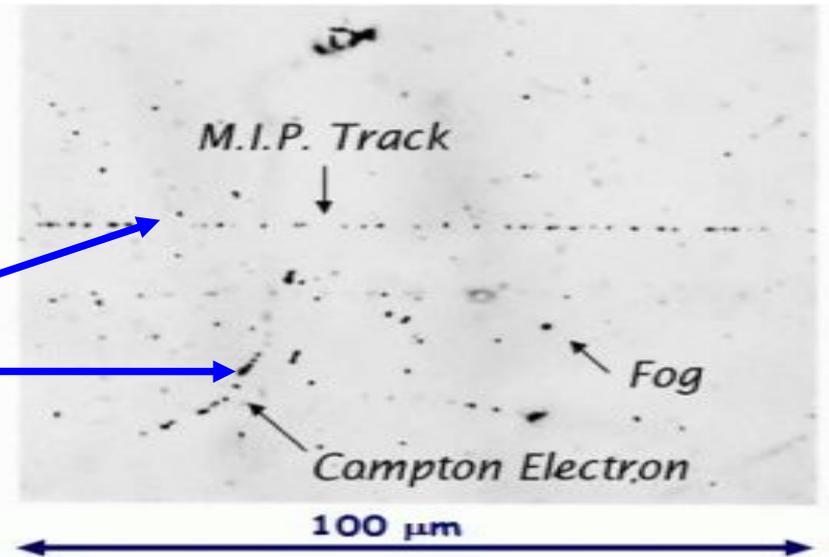
Le emulsioni nucleari “registrano”
il passaggio di particelle cariche
con **precisione $\cong 0.001\text{mm}$**



Misurano le traiettorie
delle particelle con altissima
precisione: ruolo importantissimo
nella fisica subnucleare

Esempio di traiettorie di
particelle cariche
in emulsioni nucleari

Scoperta
dell'antiprotone
con le emulsioni
(1955)



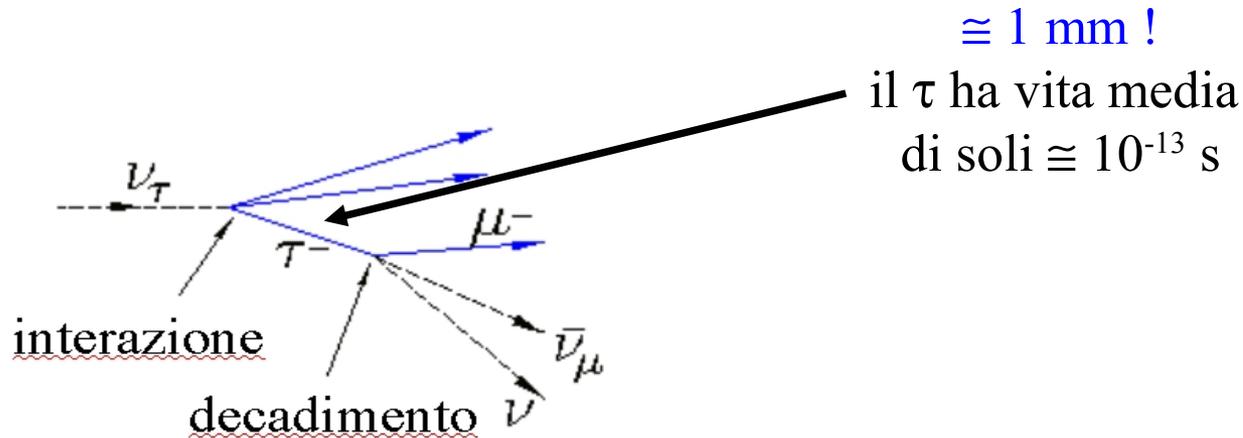
Le emulsioni nucleari

Perché le emulsioni nucleari sono particolarmente utili in OPERA?



Per le loro caratteristiche sono particolarmente adatte per misurare particelle che hanno vita **molto breve**

Lo scopo principale di OPERA è misurare i ν_τ .
Quando essi interagiscono, producono una particella τ , che decade in brevissimo tempo



L'utilizzo del piombo nelle ECC

Perché usare il piombo? Il numero di eventi raccolti è **proporzionale alla massa del rivelatore**

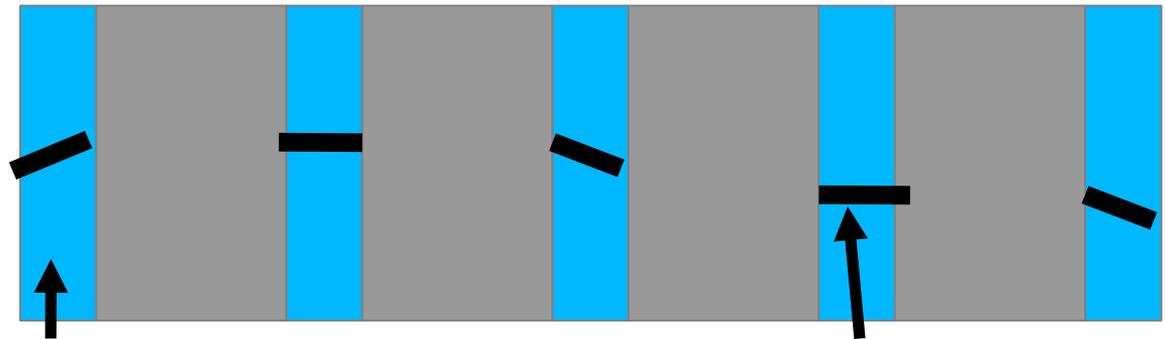


OPERA raggiunge una **massa di circa 1.3 kton**

Grazie al piombo, inoltre, è poi possibile:

- 1) misurare la **quantità di moto delle particelle cariche**
- 2) **identificare gli elettroni**

1) Fenomeno della **diffusione coulombiana multipla**

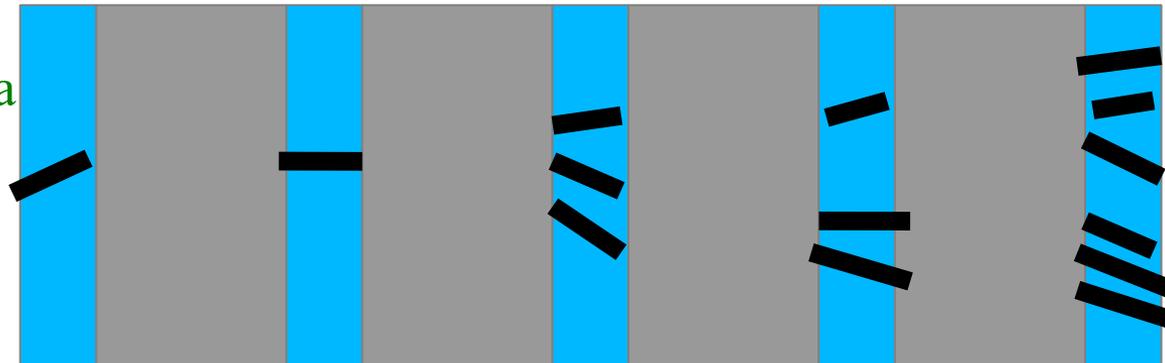


Emulsione

Piombo

Traiettoria

2) Quando un elettrone attraversa un brick, crea una **cascata di elettroni e positroni** (sciame elettromagnetico)



La ricostruzione degli eventi di OPERA

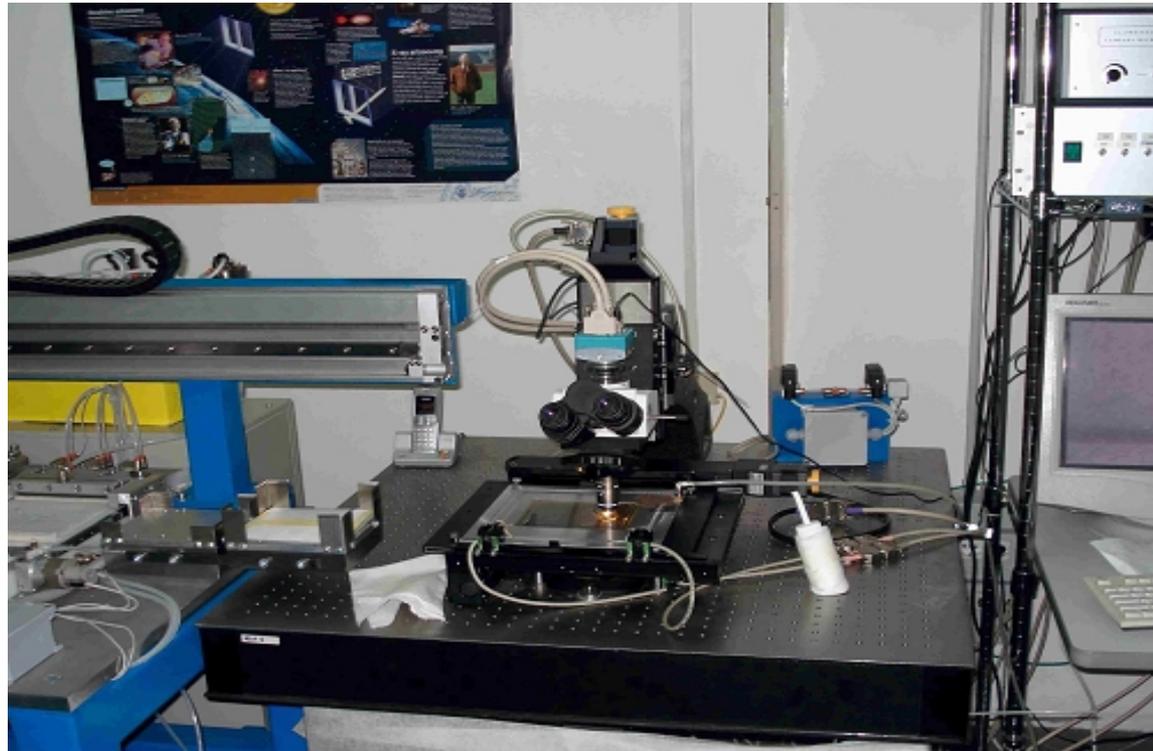
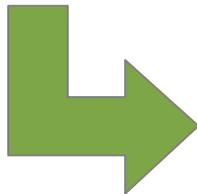
Un tempo le emulsioni nucleari venivano analizzate al microscopio da persone esperte che ricercavano eventi interessanti



Molto dispendioso in termini di tempo!

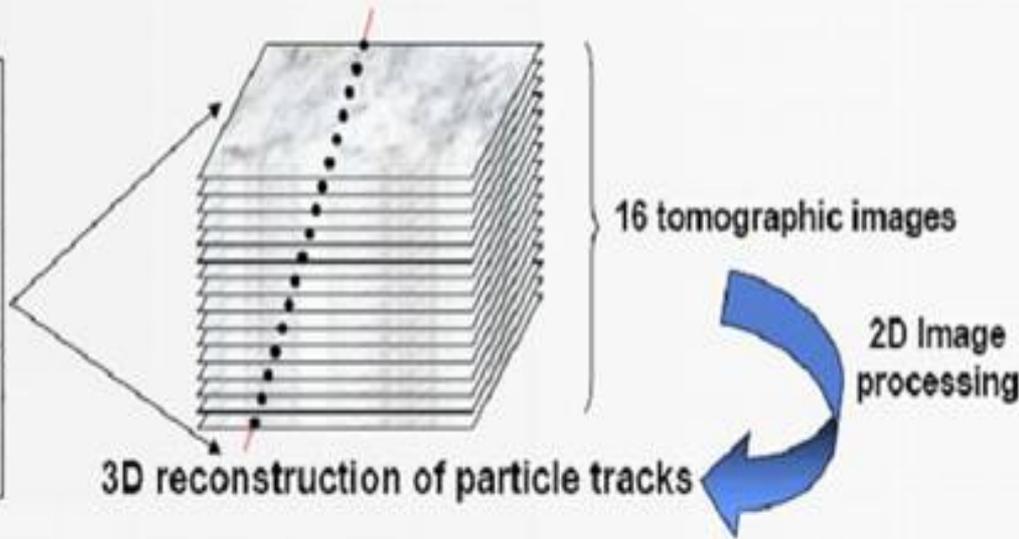
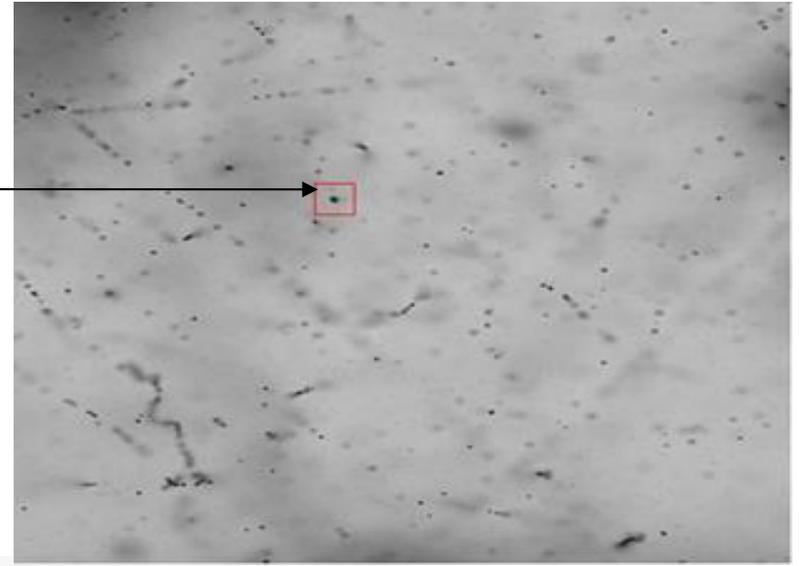
Negli ultimi tempi, lo sviluppo tecnologico ha permesso di realizzare **microscopi automatici**, dotati di software in grado di **ricostruire le traiettorie delle particelle cariche** che hanno attraversato le emulsioni

Uno dei microscopi automatici presenti nel laboratorio OPERA di Napoli



Funzionamento del microscopio automatico

Il microscopio acquisisce le immagini in emulsione, riconoscendo i grani che segnano il passaggio di una particella con carica elettrica

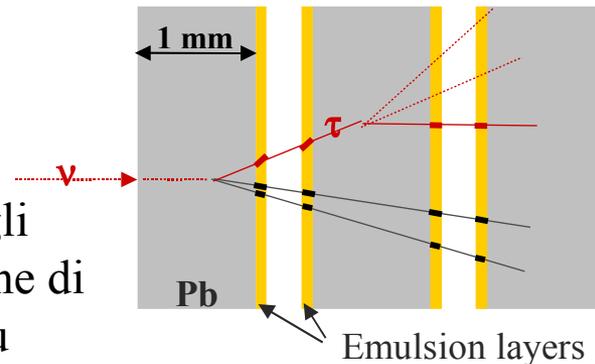
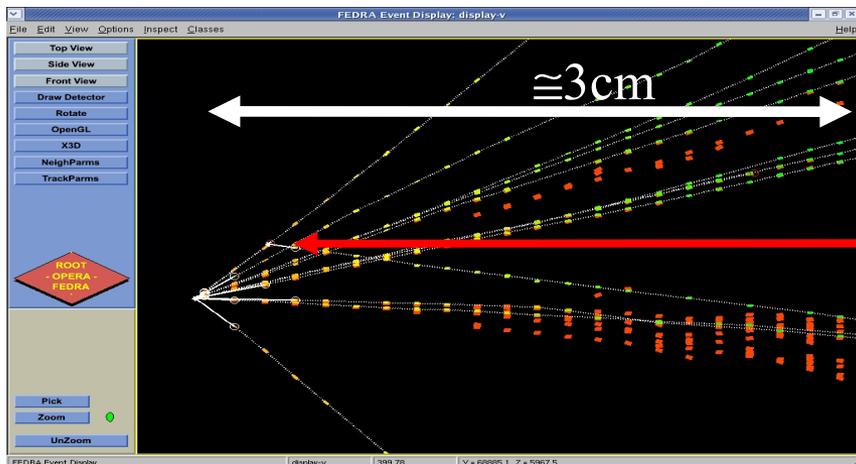


Acquisendo più immagini lungo la direzione del fascio ricostruiamo traiettorie in 3D

Esempio di un evento di neutrino

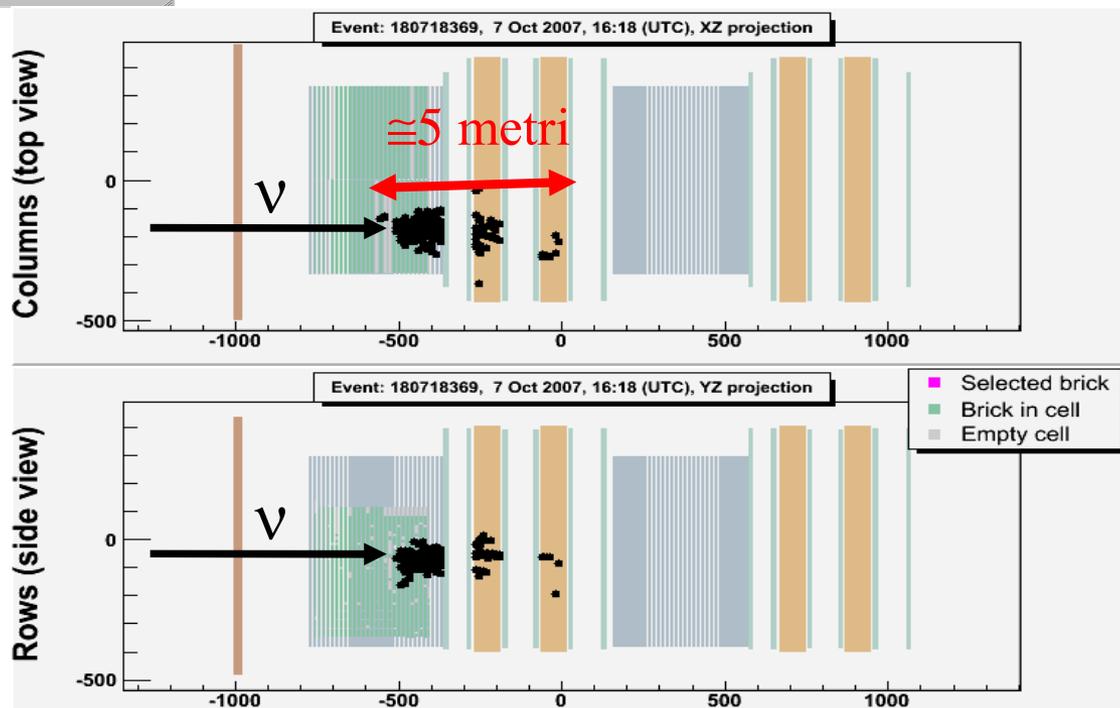
Evento di neutrino ricostruito al computer

In quest'evento c'è il decadimento di una particella instabile con vita media breve



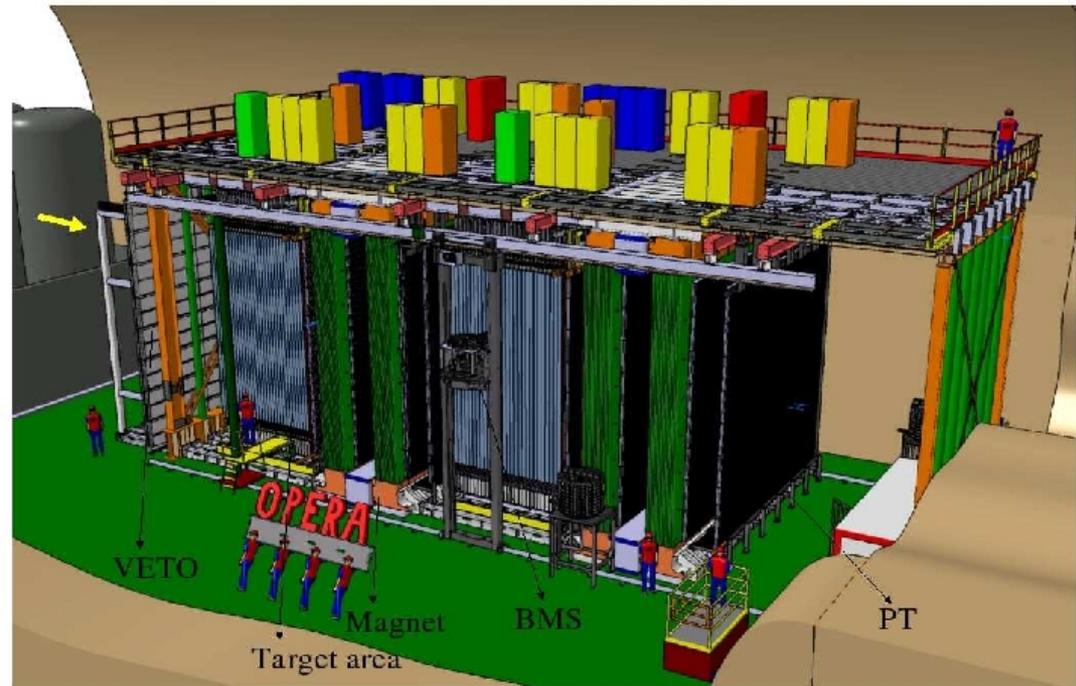
Molto simile agli eventi di interazione di un neutrino tau

Stesso evento, ma visto nell'insieme del rivelatore nelle proiezioni X e Y



Stato attuale di OPERA

- La costruzione di OPERA è terminata: il rivelatore ed il fascio sono operativi
- Il fascio di neutrini CNGS viene attivato per circa 6 mesi/anno
- Nel 2007 c'è stata una prima presa di dati
- Nel 2008 abbiamo avuto la prima presa dati con fascio intenso (circa 1700 eventi di neutrino raccolti)
- Per il 2009 prevediamo di triplicare il numero di eventi raccolti
- L'analisi dei dati del 2008 è in corso di completamento (parte di questo lavoro si svolge presso il lab. OPERA di Napoli)
- C'è grande attesa per la scoperta dell'oscillazione con i dati del 2009



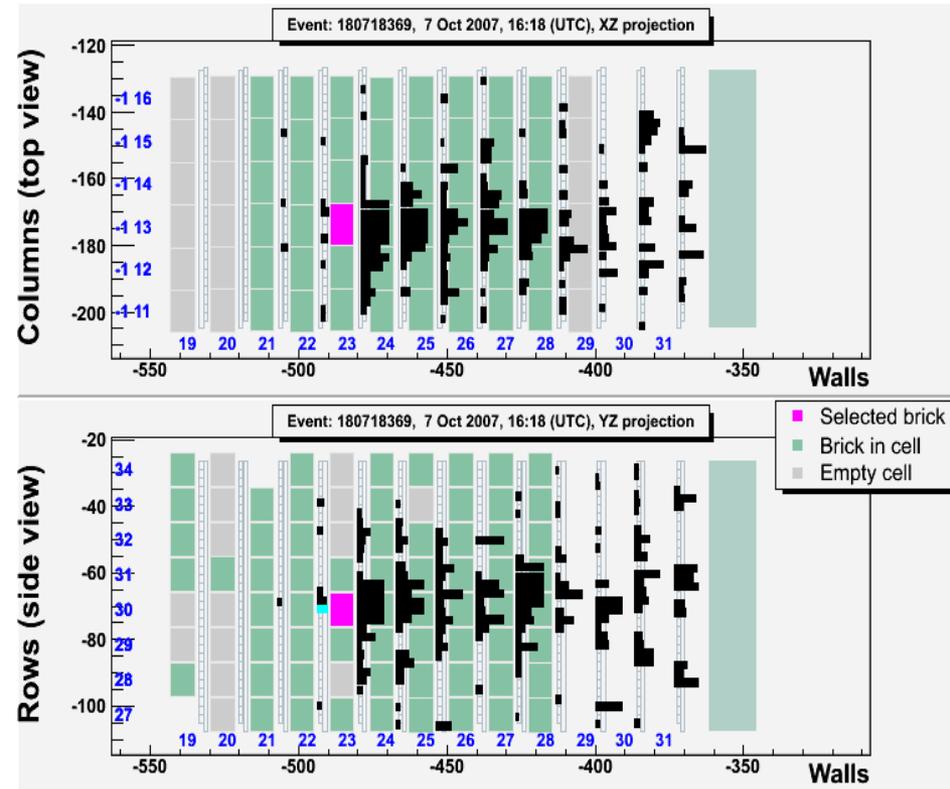
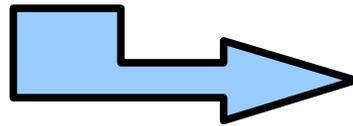
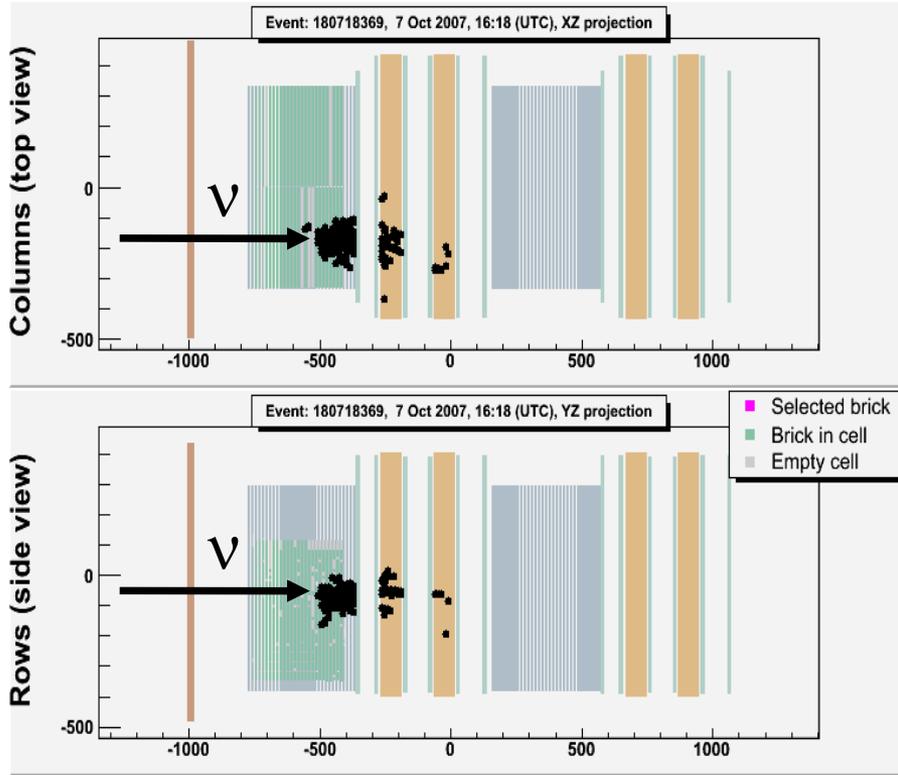
Conclusioni

- L'ipotesi sull'esistenza del neutrino risale al 1929, ad opera di Pauli
- La prova sperimentale della sua esistenza è venuta solo 27 anni dopo
- Sino agli anni '90 **mancavano prove che i neutrini avessero massa**; questa prova è stata fornita dalla scoperta delle oscillazioni di neutrino
- OPERA studia il problema dei neutrini atmosferici: **proverà in maniera diretta che i neutrini muonici possono oscillare in neutrini tau**
- La raccolta dei dati di OPERA e la loro analisi sono in corso: **risultati importanti sono attesi nel 2009**

spares

La ricostruzione degli eventi di OPERA (1/2)

Quando c'è un'interazione nel rivelatore di OPERA, la risposta dei rivelatori elettronici viene utilizzata per capire in quale brick è avvenuta

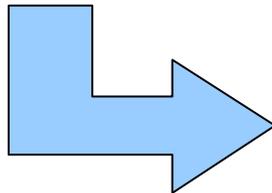
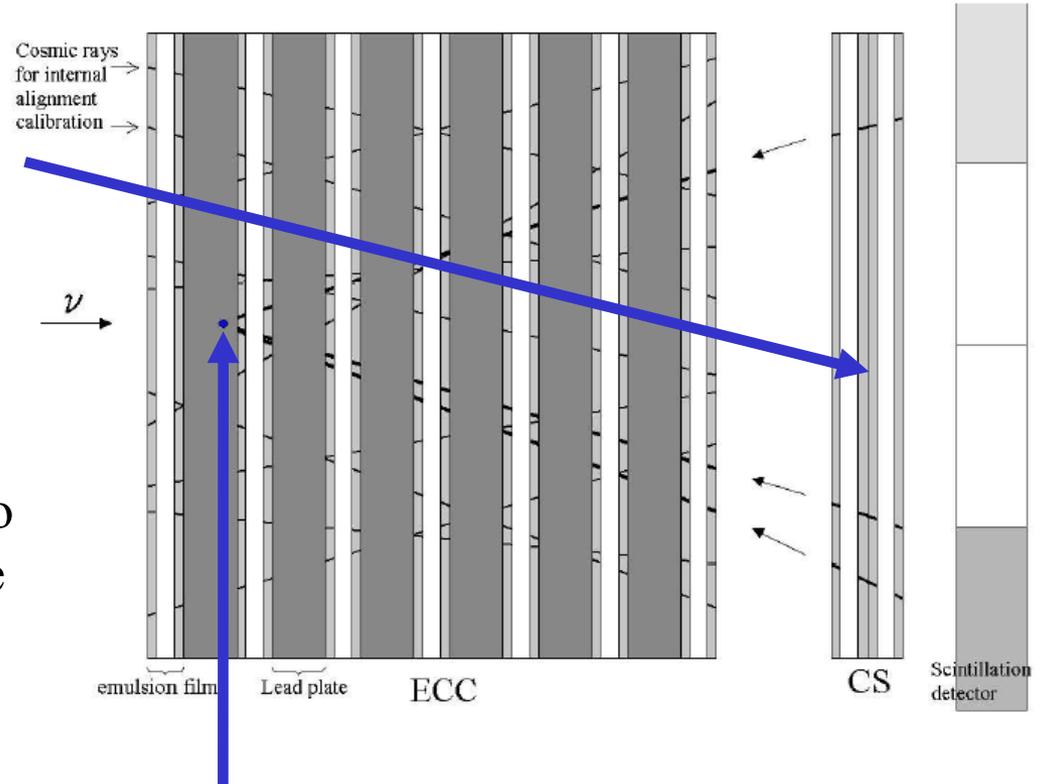


I Changeable sheets

Una delle sfide di OPERA è quella di collegare rivelatori elettronici con risoluzione $\cong 1\text{cm}$ con le emulsioni nucleari che hanno risoluzioni dell'ordine di $1\mu\text{m}$

Per questo scopo due emulsioni che hanno subito un trattamento particolare (il “refreshing”) sono poste a valle del brick

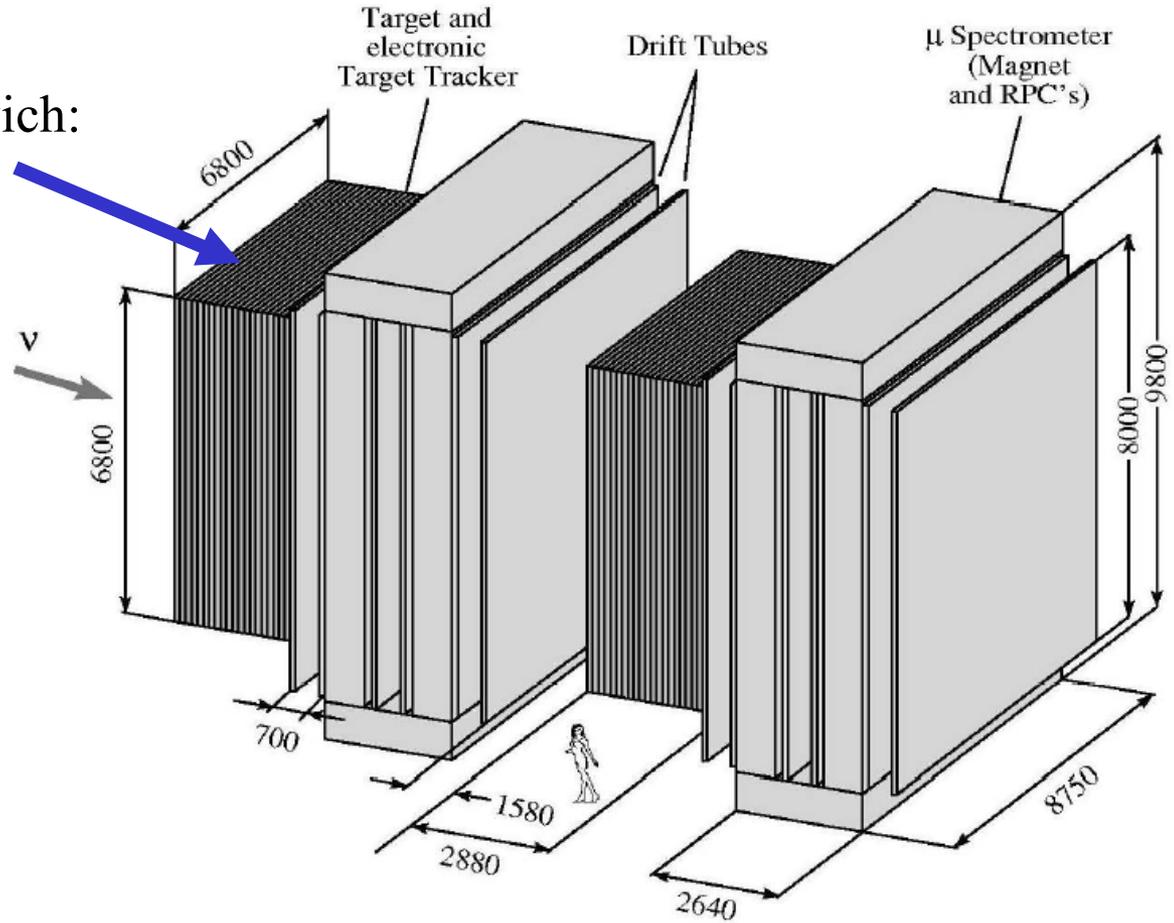
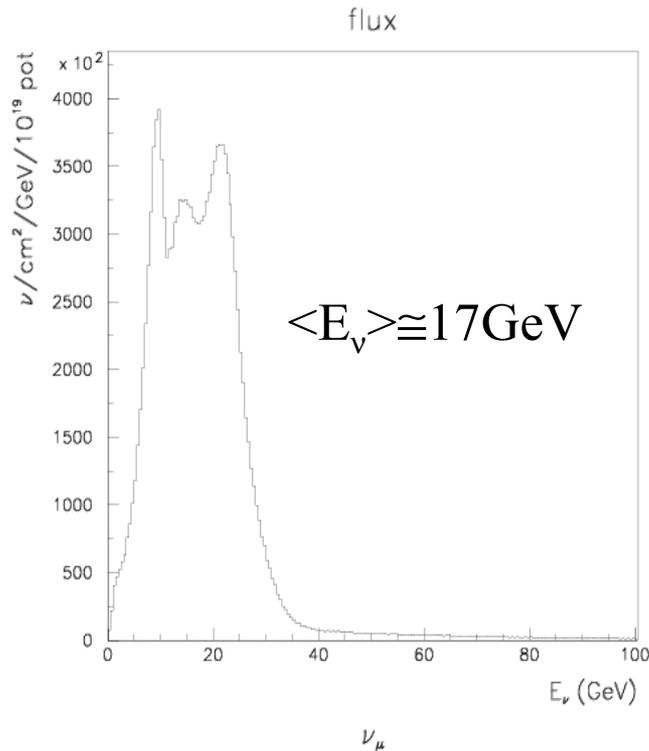
A differenza delle emulsioni presenti nel brick, i CS contengono “solo” le traiettorie delle particelle legate all'evento di neutrino



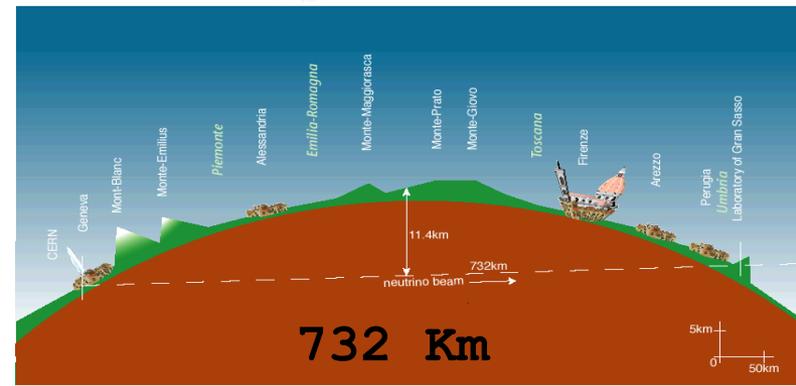
Possiamo quindi inseguirle sino a trovare il punto nel quale il neutrino ha interagito

OPERA experiment at LNGS

Hybrid detector: ECC
target (emulsion-lead) sandwich:
total mass ~ 1.8 Kton



Designed to prove directly
the appearance of ν_τ in thr almost pure ν_μ
CNGS beam (Cern Neutrinos to Gran Sasso)



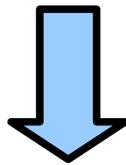
Lo stato attuale delle conoscenze

Tre tipi di neutrino,
 ν_e, ν_μ, ν_τ , a seconda del loro **numero leptonico**

Le interazioni nucleari deboli
producono neutrini
di **stato leptonico definito**, e, μ, τ ,

Invece, quando si **propagano
nello spazio**, bisogna utilizzare
gli stati a massa definita

ν_1, ν_2, ν_3



Gli stati ν_e, ν_μ, ν_τ si ottengono
da un “**mescolamento**” degli stati
a massa definita

