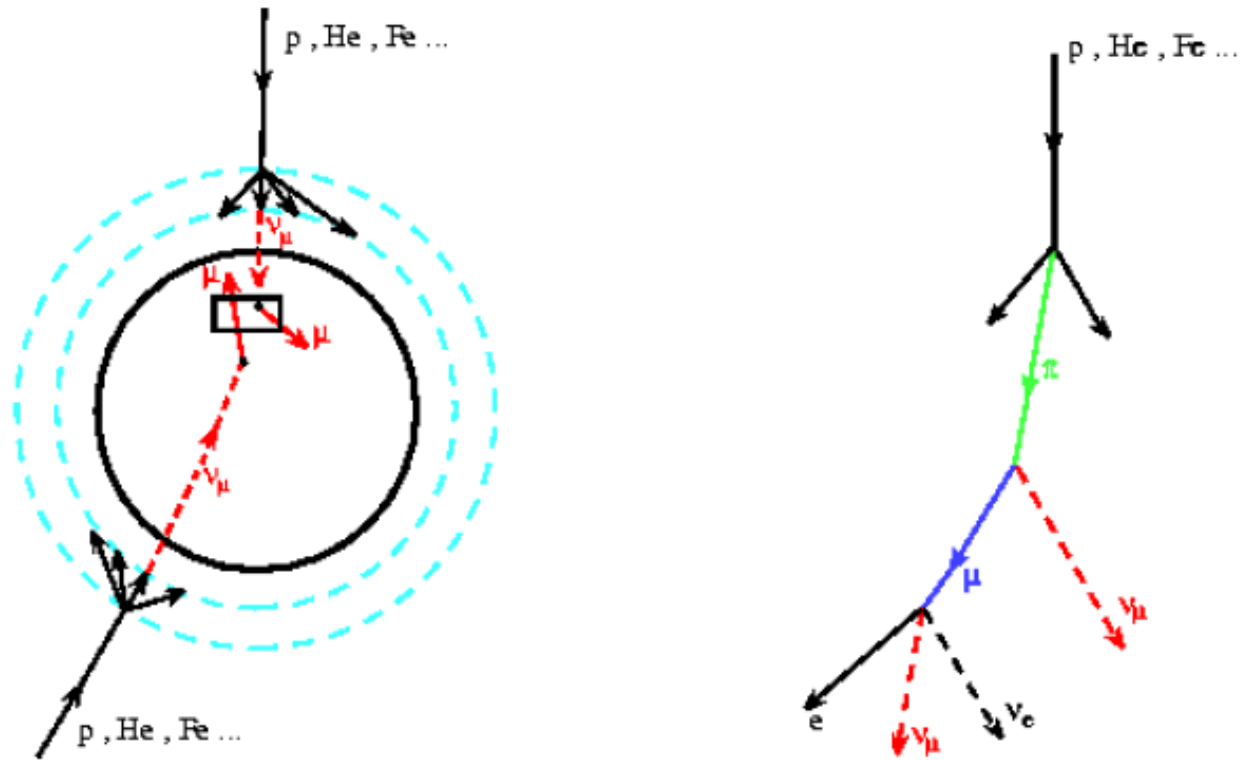


**ASTRO-SIESTA, 20-05-2010**

**Oscillazioni dei neutrini:  
esperimenti di **scomparsa** e di **comparsa****

**Miriam Giorgini  
INAF/IASF Milano**

# I neutrini "atmosferici"



$E_\nu : \sim 0.1 \text{ GeV} \rightarrow \sim 1000 \text{ GeV}$

$L : \sim 20 \text{ km} \rightarrow \sim 13000 \text{ km}$

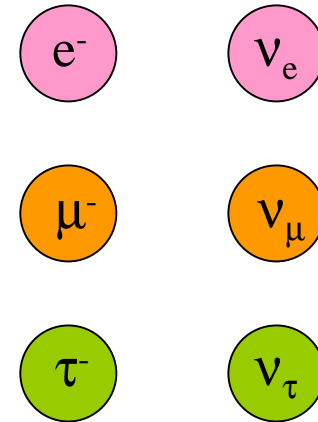
$L/E_\nu : \sim 1 \text{ km/GeV} \rightarrow \sim 10^5 \text{ km/GeV}$

# OSCILLAZIONI DEI NEUTRINI

Stati di sapore debole :  $\nu_e$  ,  $\nu_\mu$  ,  $\nu_\tau$

Autostati di massa :  $\nu_1$  ,  $\nu_2$  ,  $\nu_3$

$$\text{Mixing : } \nu_l = \sum_{m=1}^3 U_{lm} \nu_m \quad l=e,\mu,\tau$$



## OSCILLAZIONE A 2 SAPORI

$$\nu_\mu = \nu_2 \cos\theta + \nu_3 \sin\theta$$

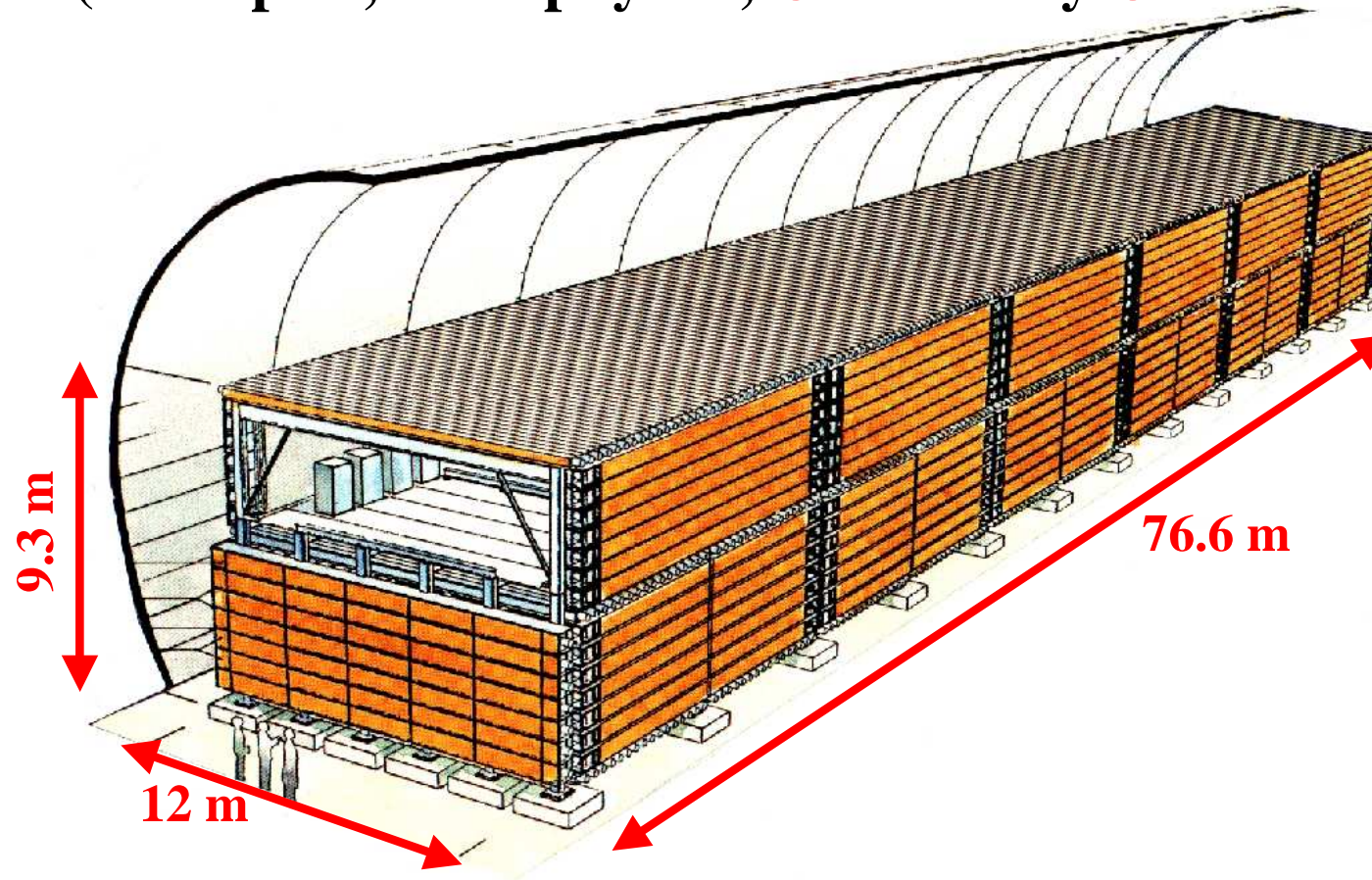
$$\nu_\tau = -\nu_2 \sin\theta + \nu_3 \cos\theta$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2 2\theta \sin^2(1.27 \Delta m^2 L/E_\nu)$$

$$\Delta m^2 = m_{\nu_3}^2 - m_{\nu_2}^2 \quad , \quad \theta = \text{angolo di mixing}$$

# L'esperimento **MACRO**

(**M**onopole, **A**strophysics, **C**osmic **R**ay **O**bservatory)



● Copertura media di roccia :  $3700 \text{ hg/cm}^2$   
⇒ Riduzione del flusso di  $\mu$  dall'alto :  $\sim 10^6$

● Accettanza totale :  $S\Omega \sim 10000 \text{ m}^2 \text{ sr}$

Tubi a streamer limitato

(ris. ang.  $< 1^\circ$ )

Contatori a scintillazione

(ris. temp.  $\sim 500 \text{ ps}$ )

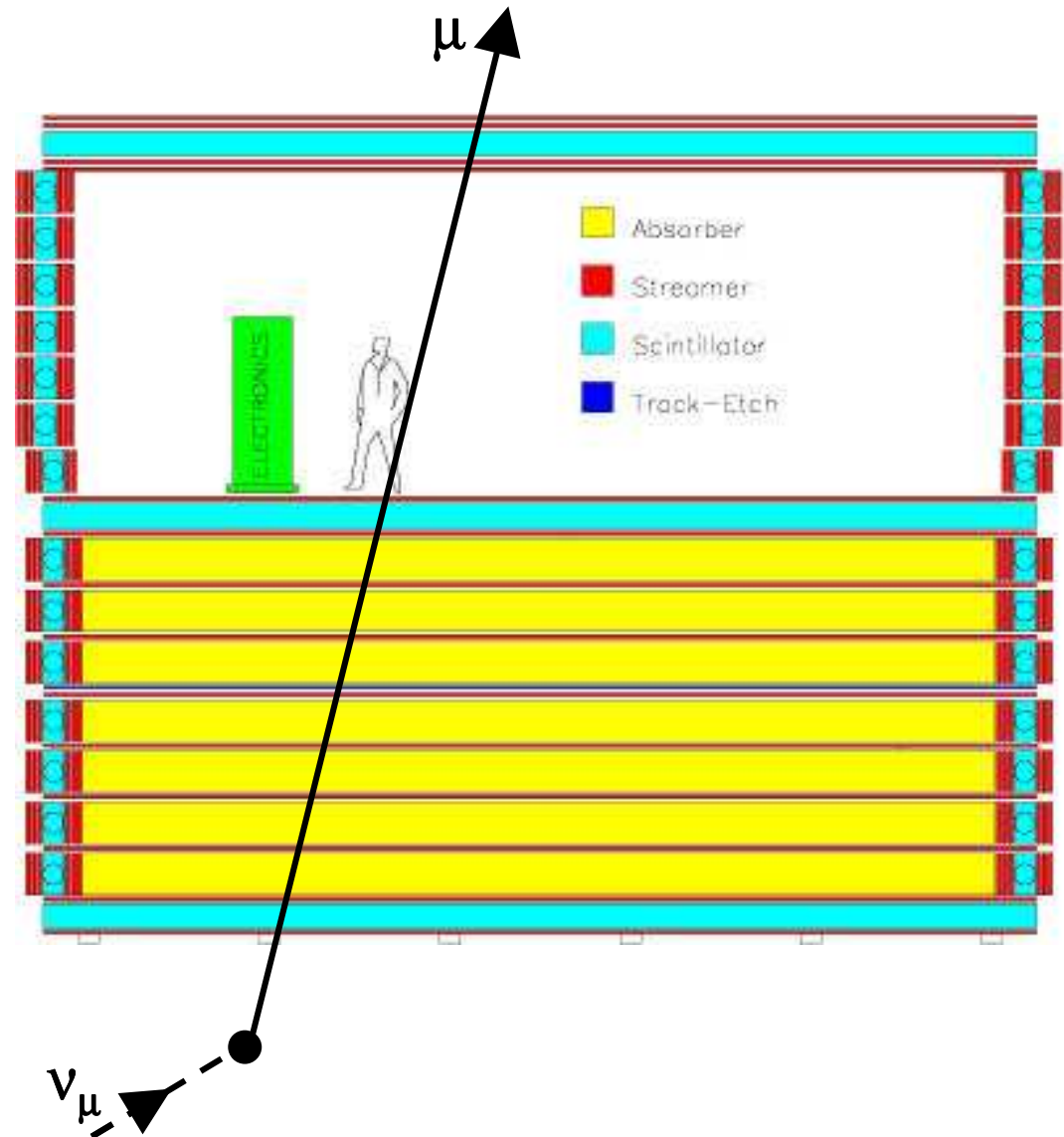
Rivelatori nucleari a tracce

# I neutrini dal basso

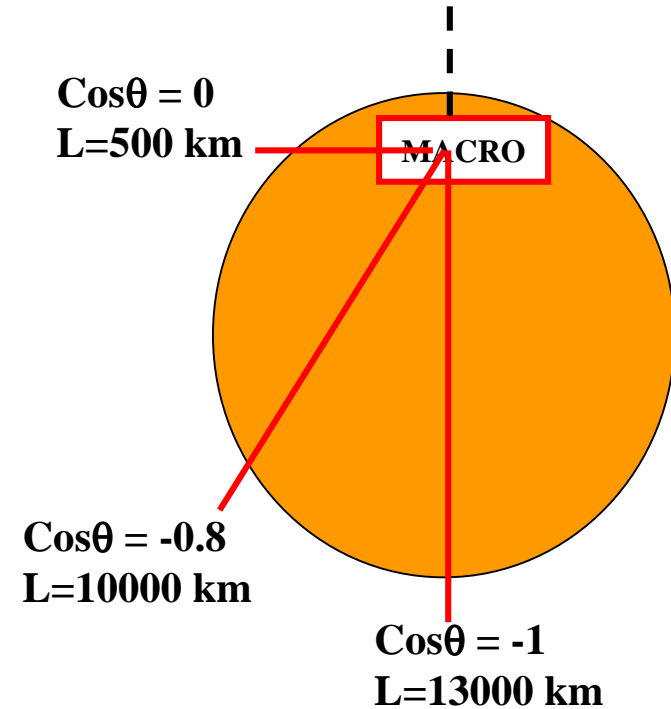
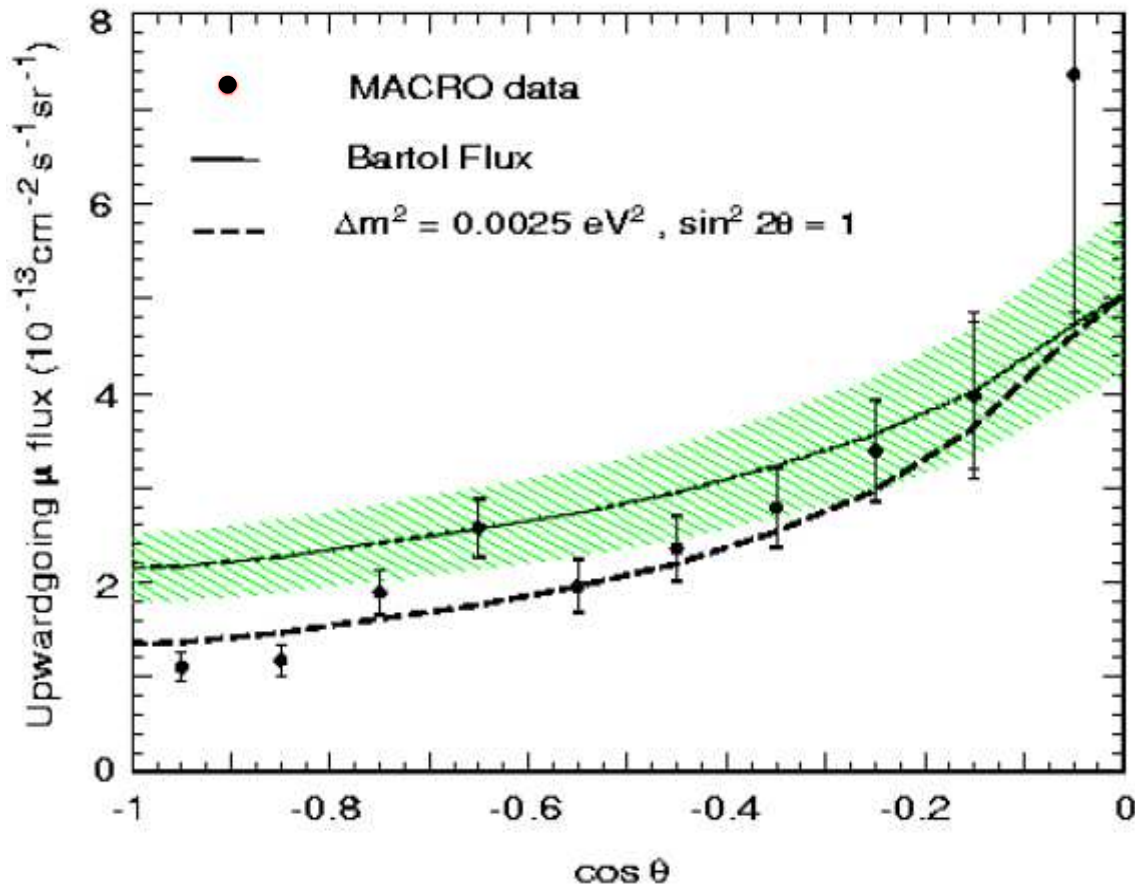
$$\langle E_\nu \rangle \sim 50 \text{ GeV}$$
$$E_\mu \geq 1 \text{ GeV}$$

## Criteri di selezione :

- Tempo di volo degli scintillatori
- accordo in posizione tubi – scintillatori

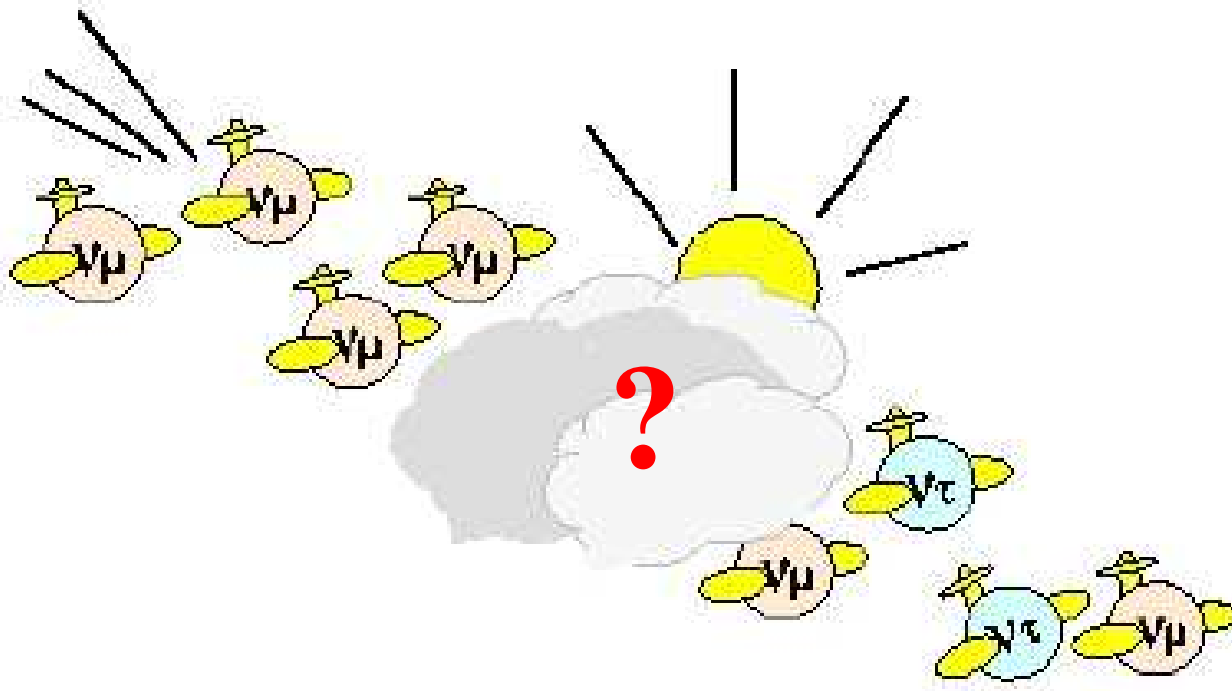


# Un risultato molto importante



- Numero di eventi misurati **inferiore alle previsioni** (curva intera)
- **Deficit di eventi** piu' evidente nella direzione verticale
- Dati in accordo con curva tratteggiata

# Dove sono finiti i $\nu_\mu$ mancanti ?



Ipotesi piu' probabile :

**i  $\nu_\mu$  mancanti hanno "oscillato"**

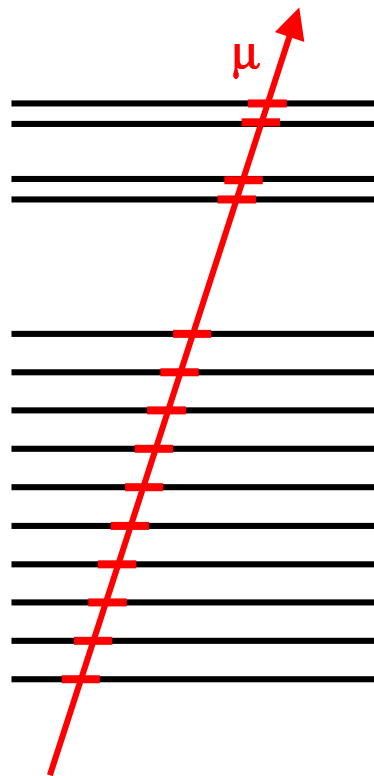
cioe' durante il loro percorso si sono trasformati in altri tipi di neutrini,

... in  $\nu_\tau$  ?

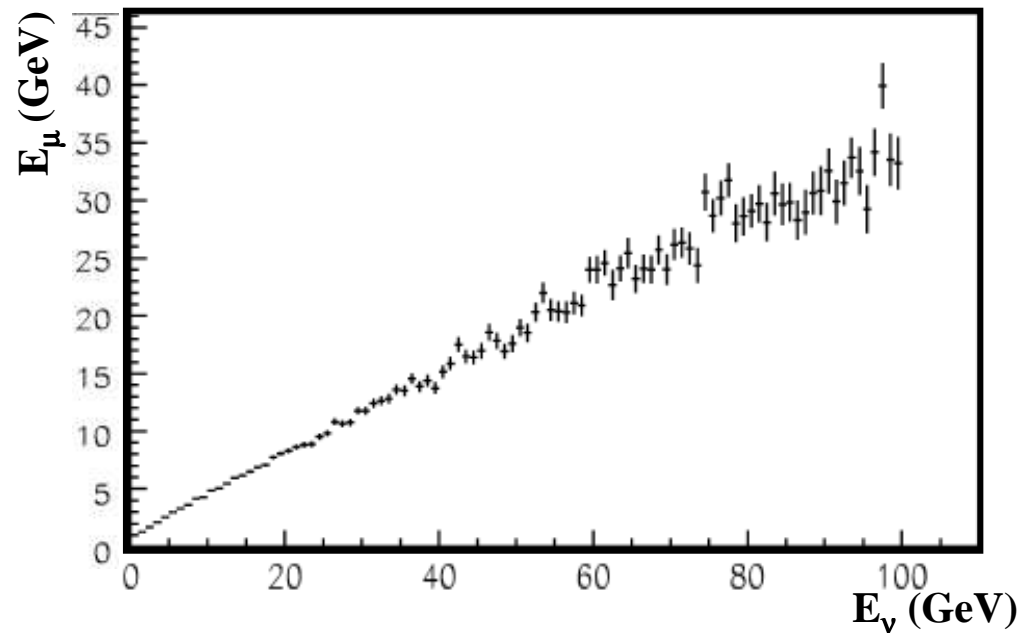
$$P_{\nu_{\mu}\nu_{\mu}} = 1 - \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \left[ 1.27 \frac{\Delta m^2 \cdot L}{E_{\nu}} \right]$$

Dalla forma della distribuzione zenitale dei muoni

Dalla misura dell'energia dei muoni utilizzando la loro diffusione Coulombiana multipla  
 [Phys. Lett. B566 (2003) 35]

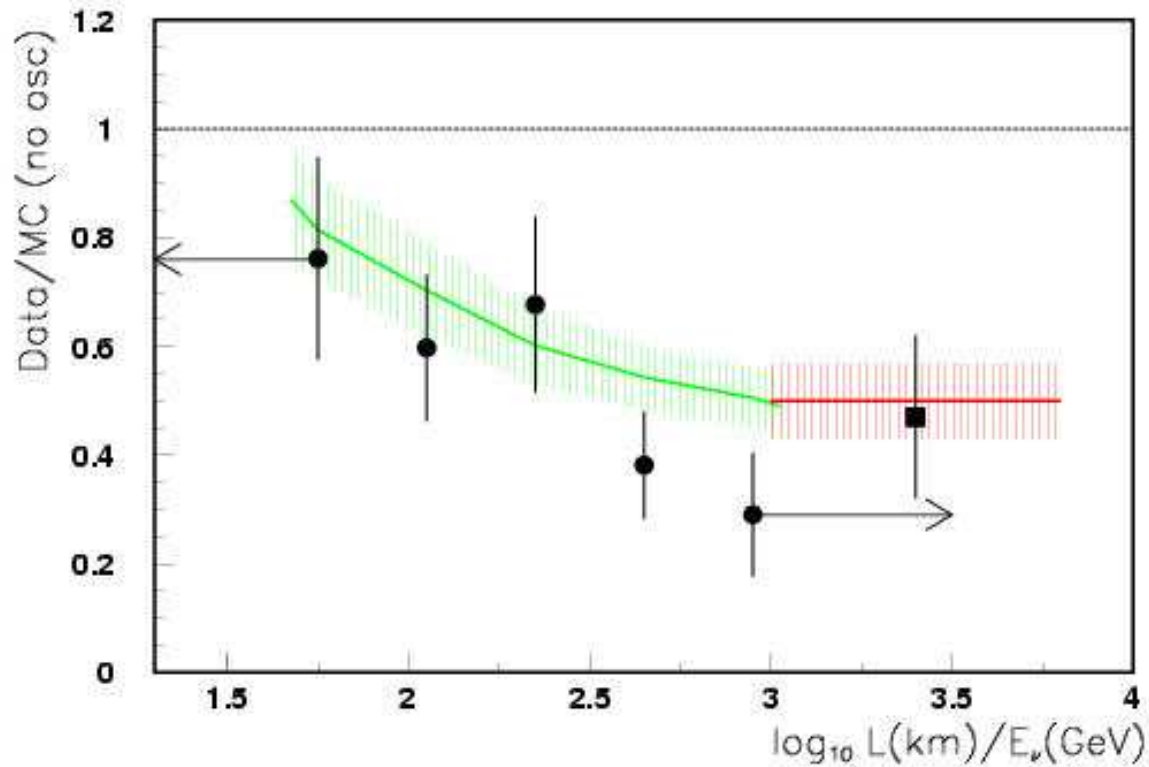


$$\sigma_{MCS} \simeq \frac{X}{\sqrt{3}} \frac{13.6 \text{ MeV}}{p_{\mu}\beta c} \sqrt{\frac{X}{X^0}} (1 + 0.0038 \ln(X/X^0))$$





# Distribuzione in $L/E_\nu$



● Upthr.  $\mu$  data( ~300 events)

■ IU  $\mu$  data

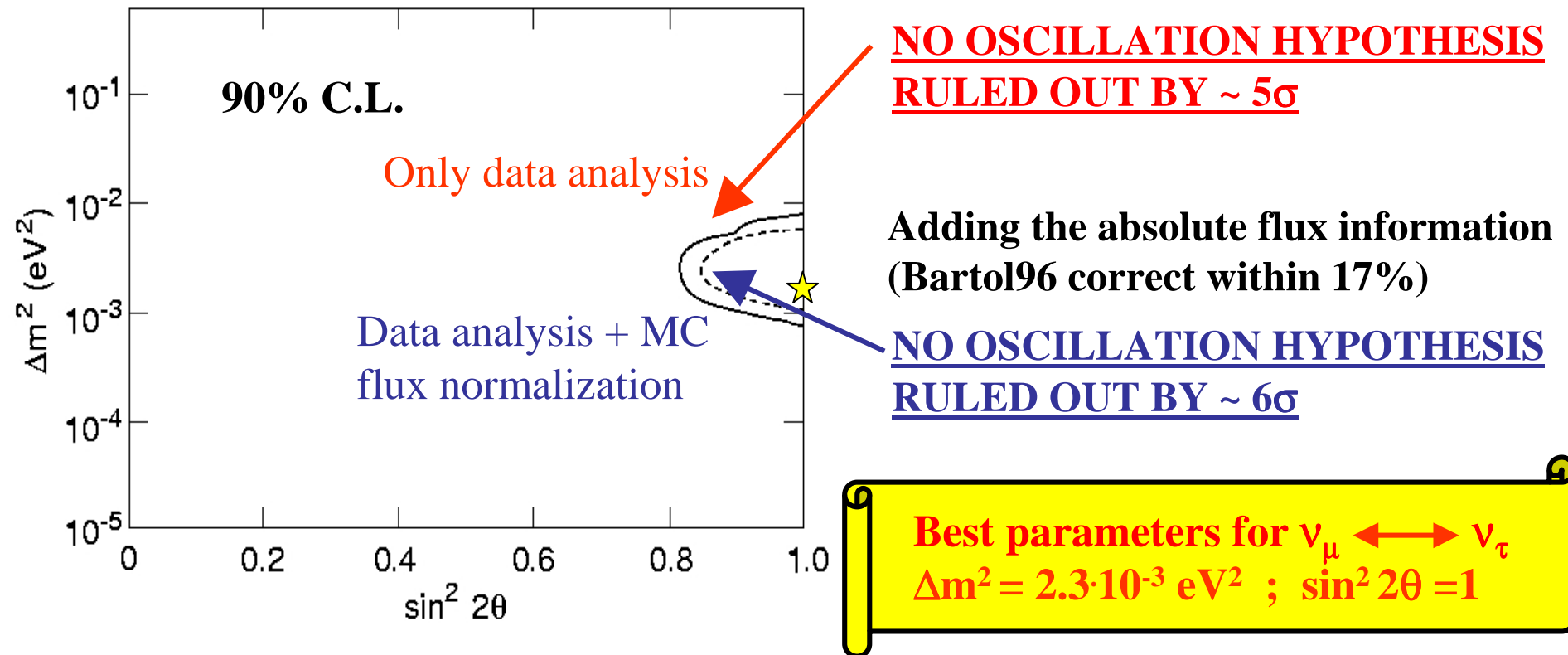
— MC predictions for  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$  oscillations  
with the best MACRO parameters

||||| 12% point-to-point syst. error

# I parametri di oscillazione

Oscillazione dei neutrini : fenomeno descritto da 2 parametri fondamentali

L'analisi individua gli intervalli di validita' di tali parametri



(Eur. Phys. J. C36 (2004) 323)

**MACRO = esperimento di scomparsa**

**osserva meno  $\nu_\mu$  di quelli iniziali**

**Una frazione dei neutrini iniziali scompare**

**Come confermare definitivamente le oscillazioni ?**

**Servono esperimenti di comparsa!**

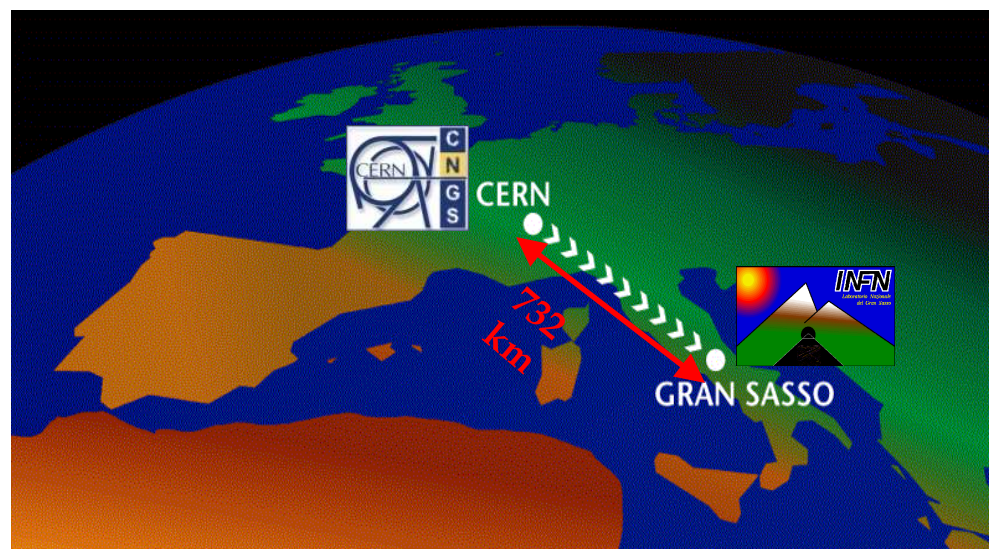
**I neutrini del nuovo tipo ( $\nu_\tau$ ) appaiono nel rivelatore**

**Tali esperimenti devono indagare la stessa regione dei parametri di oscillazione individuata dallo studio dei neutrini atmosferici**

# L'esperimento OPERA

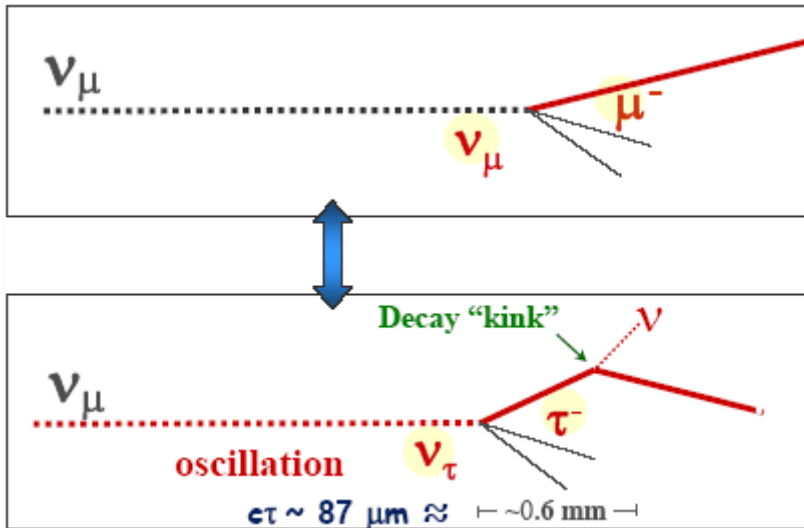
## Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus

OPERA e' un esperimento long-baseline (732 km) finalizzato alla rivelazione diretta di  $\nu_\tau$  in un fascio puro di  $\nu_\mu$  [JINST4 (2009) P04018]



Il fascio e' ottimizzato per massimizzare il numero di interazioni CC dei  $\nu_\tau$  : tiene conto della sezione d'urto  $\nu_\tau$  CC e della soglia di produzione del  $\tau$

L	732 km
$\langle E_\nu \rangle$	17 GeV
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_\mu$	0.87%
$\bar{\nu}_\mu / \nu_\mu$	4.0%
$\nu_\tau$ prompt	negligible



**Scopo di OPERA :**  
distinguere interazioni di  $\nu_\tau$  da quelle di  $\nu_\mu$

**$\tau$  decay modes**

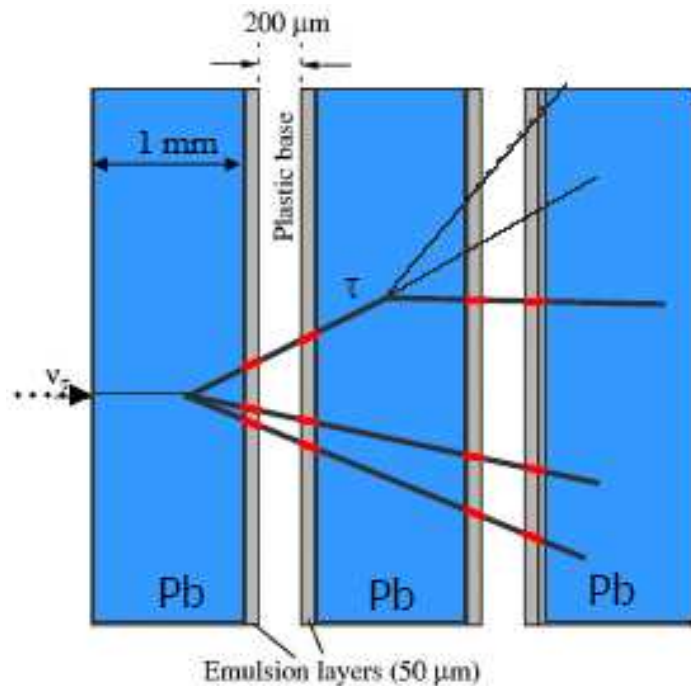
$\mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu$	B. R. $\sim 17\%$
$h^- \nu_\tau n(\pi^0)$	B. R. $\sim 50\%$
$e^- \nu_\tau \bar{\nu}_e$	B. R. $\sim 18\%$
$\pi^+ \pi^- \pi^0 \nu_\tau n(\pi^0)$	B. R. $\sim 14\%$

**Richieste conflittuali:**

- Grande massa della targhetta
- Elevatissima risoluzione spaziale ( $\sim \mu\text{m}$ ) e angolare ( $\sim 2 \text{ mrad}$ ) per selezionare il segnale e rigettare il fondo

**Soluzione : ECC (Emulsion Cloud Chamber)**

[Nucl. Instr. Meth. A568 (2006) 578]



**ECC : sequenza di lastre Piombo-emulsione**

**Piombo : targhetta**

**Emulsione nucleare : rivelatore per tracciamento**

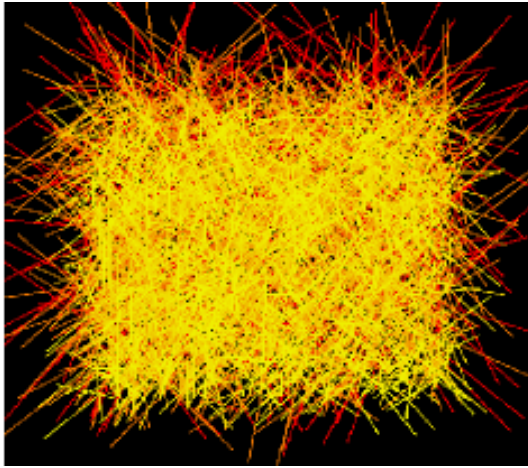
**Unita' base di OPERA : "brick"**

**56 lastre di Pb e 57 lastre di emulsione ( $10X_0$ )**

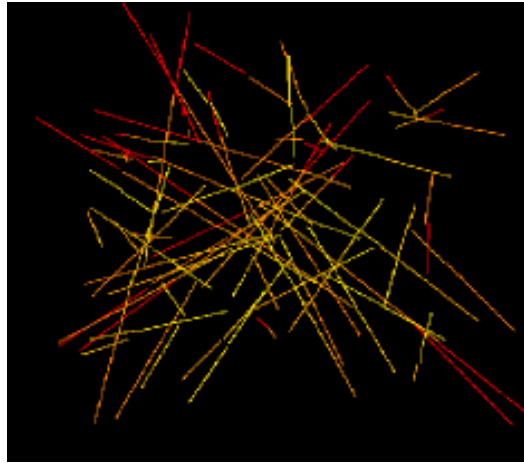
**OPERA contiene ~150000 bricks**

**Massa totale targhetta : 1.25 kton**

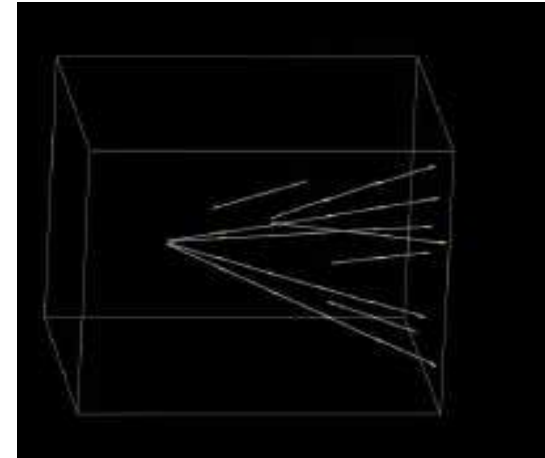
# Ricostruzione degli eventi



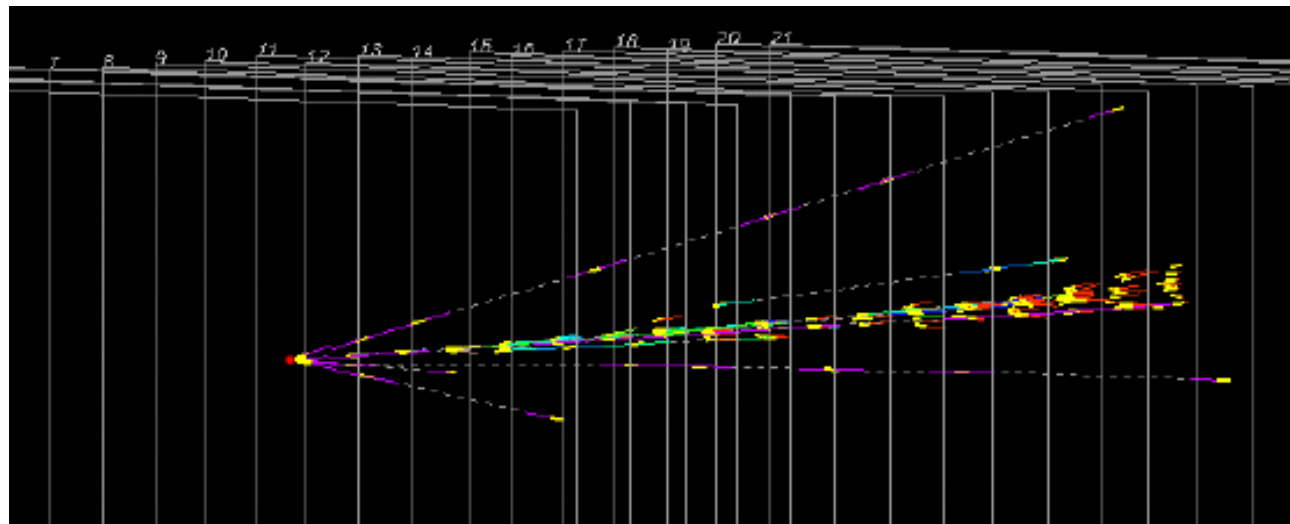
**(1) Misura con  
microscopi automatici  
di una singola lastra:  
20 cm<sup>2</sup>/h**



**(2) Ricostruzione di  
tracce tramite segmenti  
presenti in più lastre  
consecutive**



**(3) Ricostruzione del  
vertice di interazione**



# OPERA: tau physics search potential

---

Full mixing, 5 years run,  $4.5 \times 10^{19}$  pot/year and  $M_D = 1.3$  Kton

Efficiency before  $\tau$  identification:  $\varepsilon_{\text{trigger}} \times \varepsilon_{\text{brick}} \times \varepsilon_{\text{geom}} \times \varepsilon_{\text{vertex location}} =$   
 $99\% \times (\geq 70\%) \times 94\% \times 90\%$

$\tau$ decay channel	B.R. (%)	Signal $\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	Background
$\tau \rightarrow \mu$	17.7	2.9	0.17
$\tau \rightarrow e$	17.8	3.5	0.17
$\tau \rightarrow h$	49.5	3.1	0.24
$\tau \rightarrow 3h$	15.0	0.9	0.17
All	BR*eff =10.6%	10.4	0.75