

Esperimenti agli acceleratori per la fisica delle oscillazioni

Sono al centro di qualsiasi dibattito sul futuro della fisica delle oscillazioni. Perché hanno un ruolo così speciale?

Siamo nelle condizioni di tracciare una roadmap europea in questo settore?

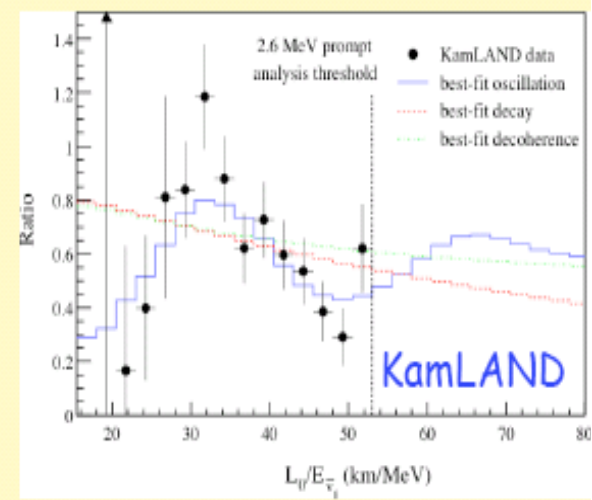
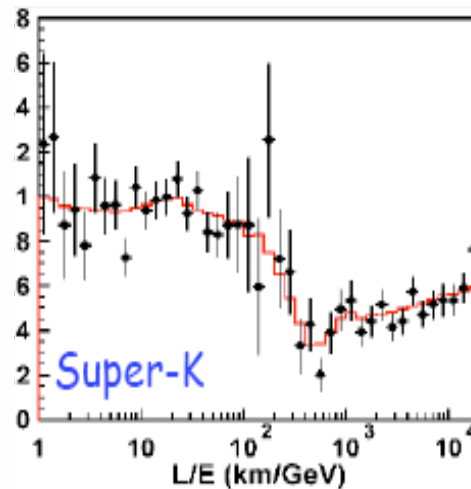
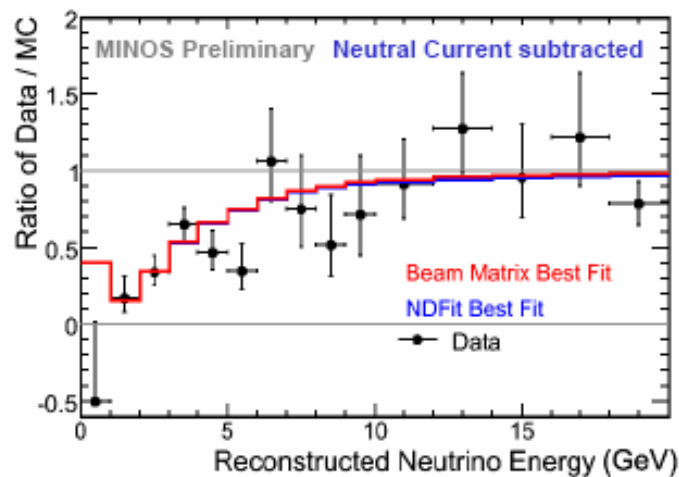
Sommario:

- Long-baselines
- CNGS
- La questione di θ_{13}
- Una roadmap europea

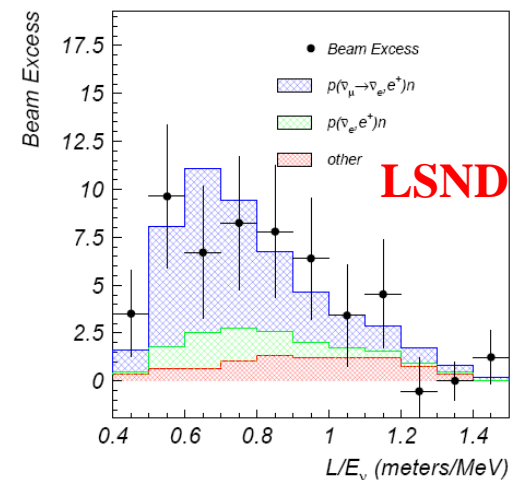
F. Terranova - INFN LNF

Un paradosso legato all'appearance

Sulla carta, l'appearance di nuovi flavor è il modo più ovvio per studiare le oscillazioni. Al momento il ruolo che ha avuto questa metodologia è assolutamente marginale



L'unica evidenza positiva in appearance non fitta con l'interpretazione standard delle oscillazioni di neutrino



Perchè?

Alla scala dei solari tutte le sorgenti disponibili sono al di sotto della soglia cinematica per la produzione di muoni

Alla scala degli atmosferici le oscillazioni dominanti sono:

$$P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}) \approx \cos^4 \vartheta_{13} \sin^2 2\vartheta_{23} \sin^2 [1.27 \Delta m^2_{23} L(\text{km})/E(\text{GeV})]$$

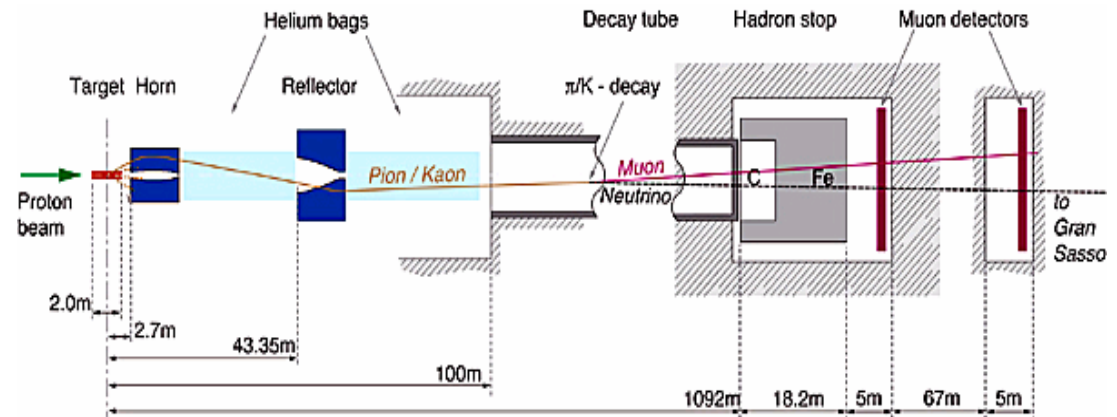
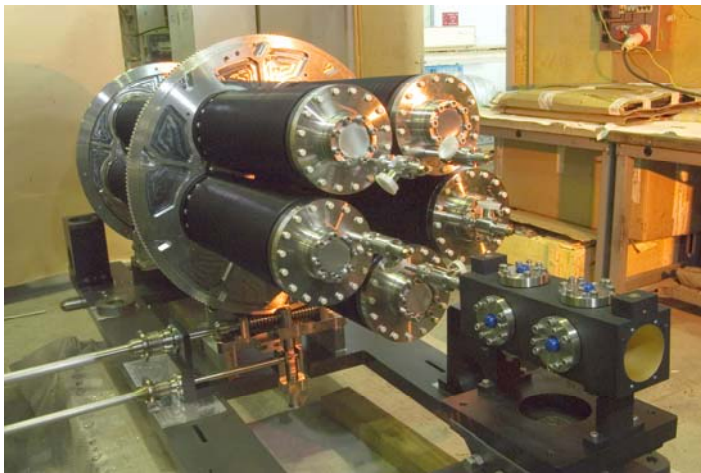
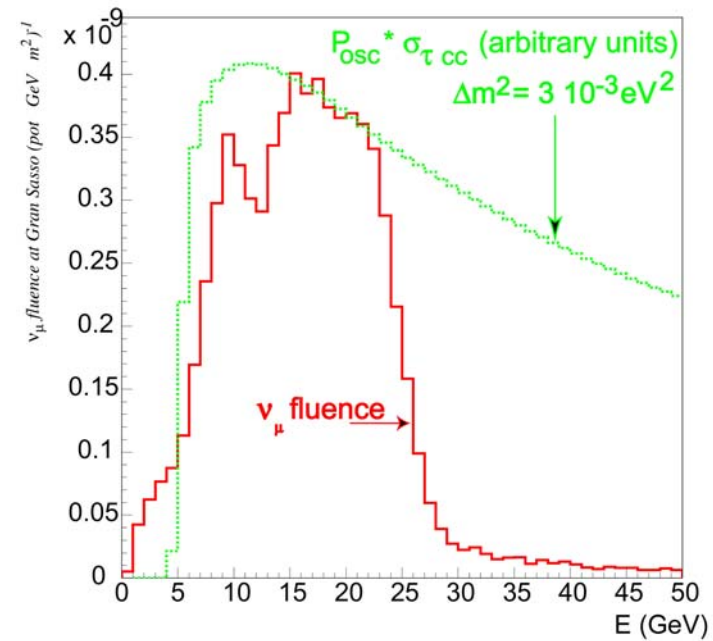
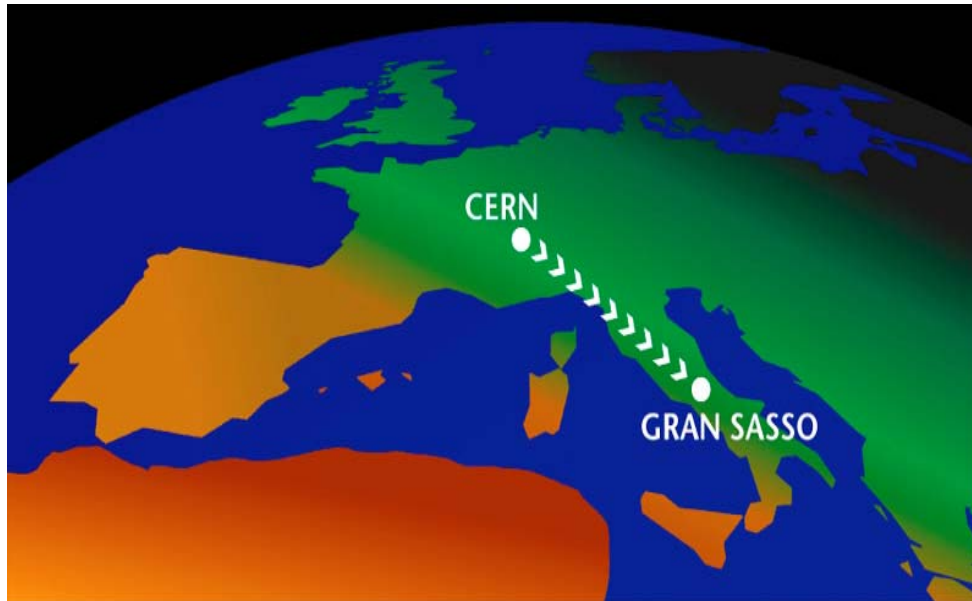
Bisogna identificare il τ

E' il caso di fisica del CNGS

Alla scala degli atmosferici le oscillazioni subdominanti $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\epsilon}$ sono ricchissime di informazioni ma sono soppresse dall'angolo di mixing tra la prima e la terza famiglia. Ci vogliono sorgenti straordinariamente intense per vedere l'effetto e estrarre i parametri

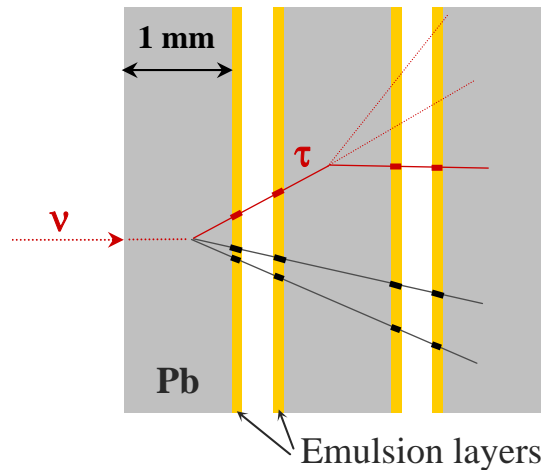
E' il futuro (prevedibile) della fisica delle oscillazioni

Cern Neutrinos to Gran Sasso (CNGS)



Commissioning July 2007 and... August 18th - 30th, first Low Intensity CNGS RUN

The OPERA experimental design



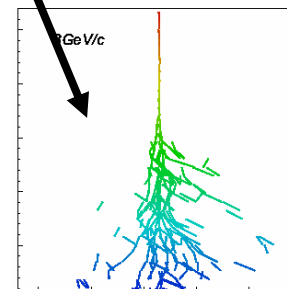
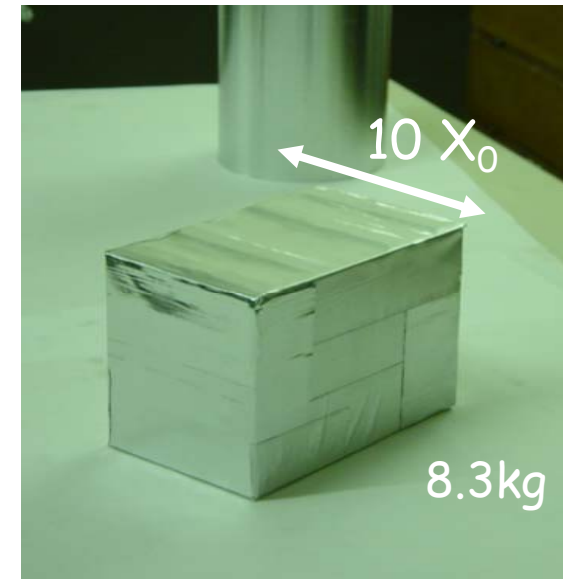
- Target based on the Emulsion Cloud Chamber (ECC) concept
- 56 1mm Pb sheets and 57 (300 μm thick) emulsion films
- At the same time capable of large mass (1.8 kton) and high spatial resolution ($<1\mu\text{m}$) in a modular structure

ECC topological and kinematical measurements

- Neutrino interaction vertex and decay topology reconstruction
- Measurement of hadron momenta by Multiple scattering
- dE/dx for π/μ separation at the end of their range
- Electron identification and energy measurement
- Visual inspection at microscope replaced by kinematical measurements in emulsion

ECC technique successfully used by DONUT for the ν_τ direct observation

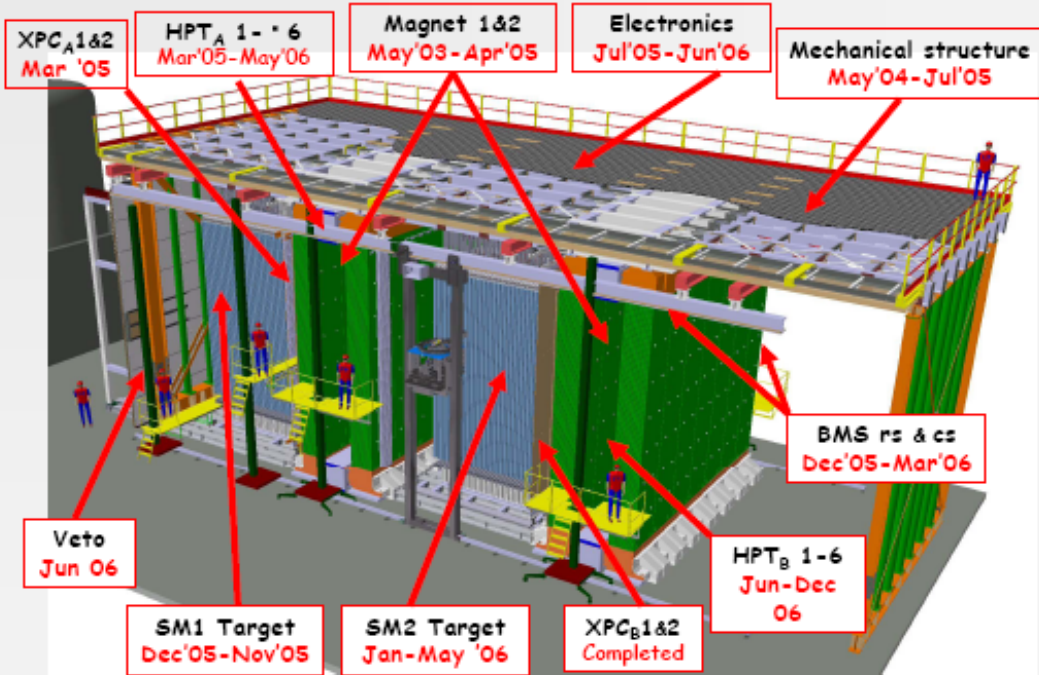
The basic unit : the « brick »



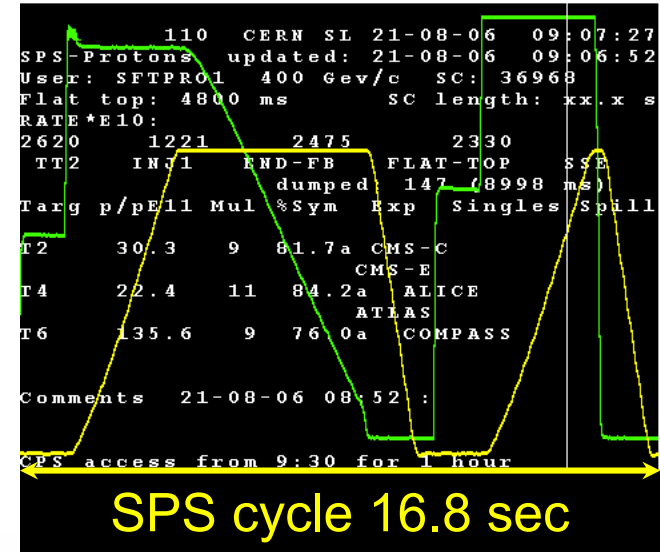
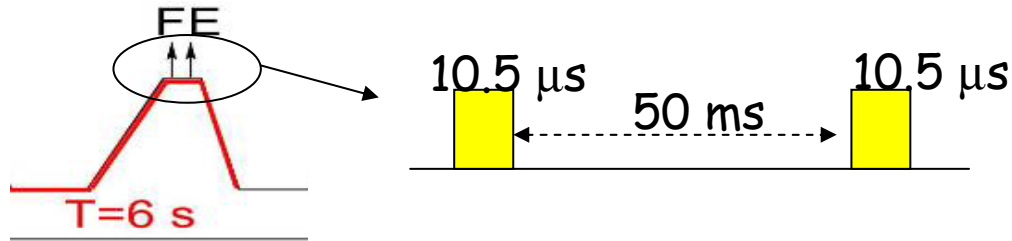
$10.2 \times 12.7 \times 7.5 \text{ cm}^3$

8 GeV

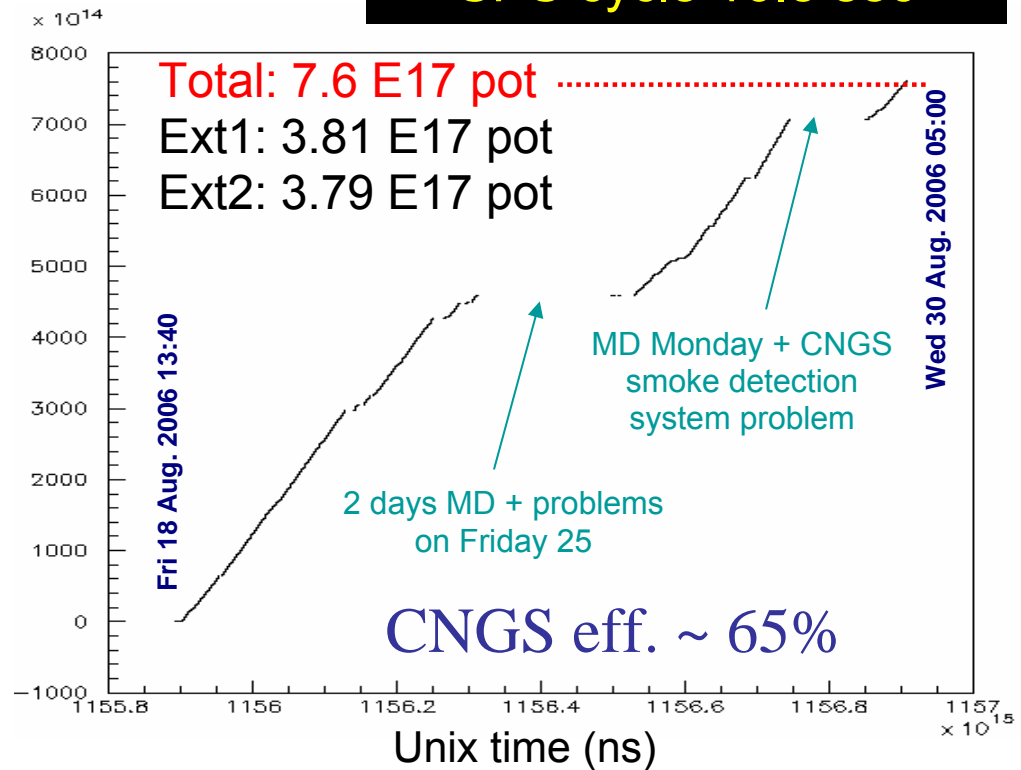
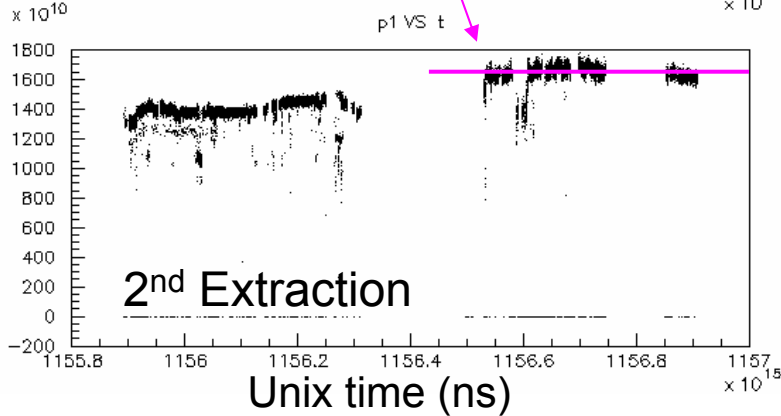
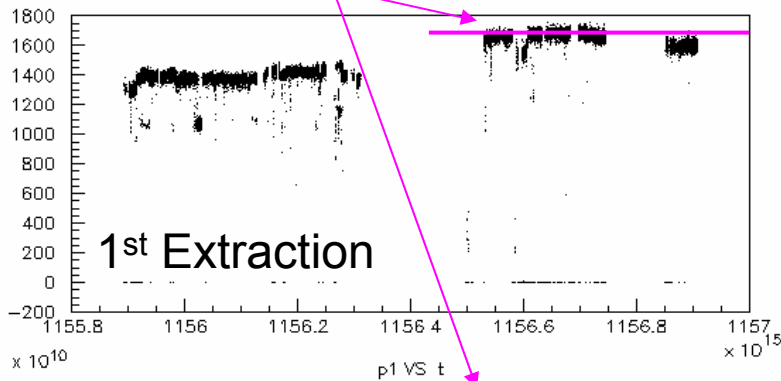
Detector construction status



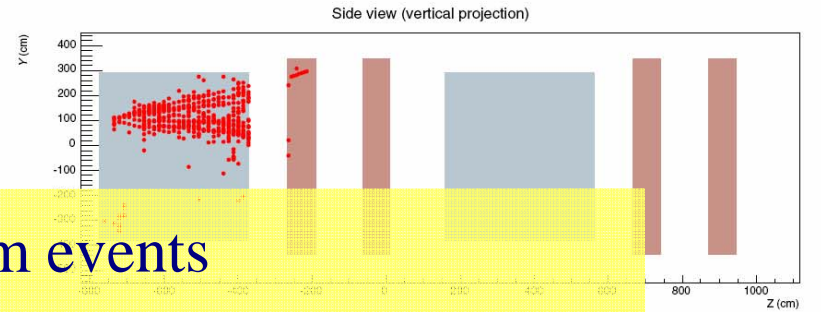
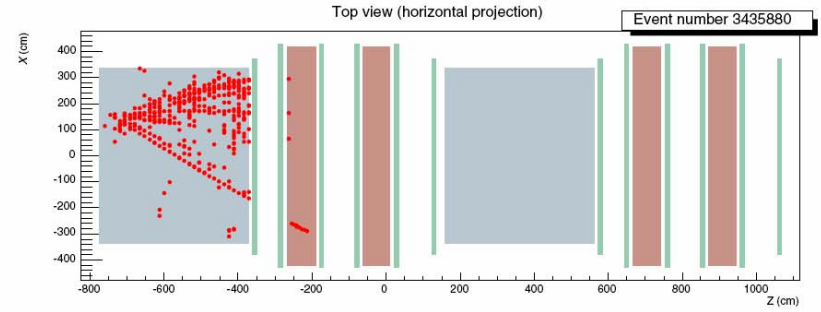
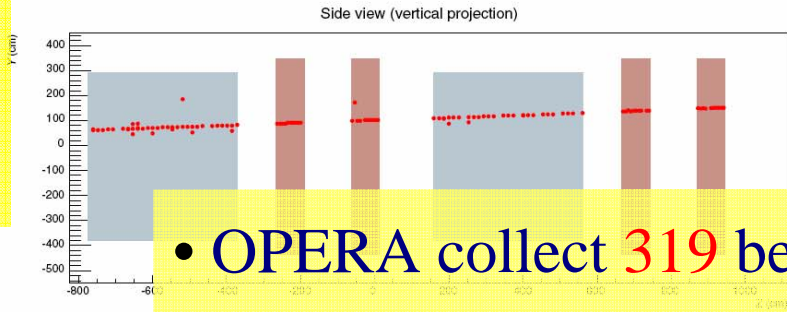
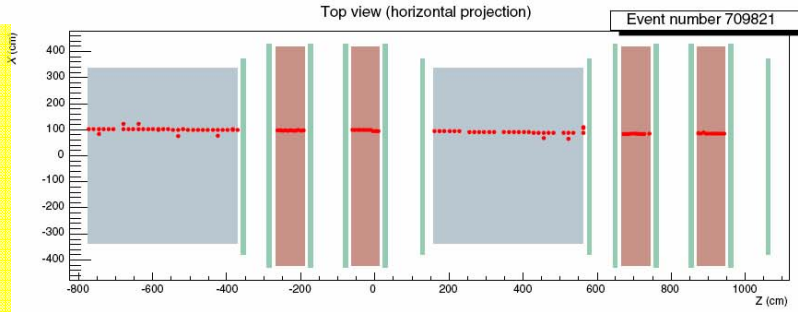
1st CNGS run: august '06



1.7×10^{13} pot/extraction (70% nom.)



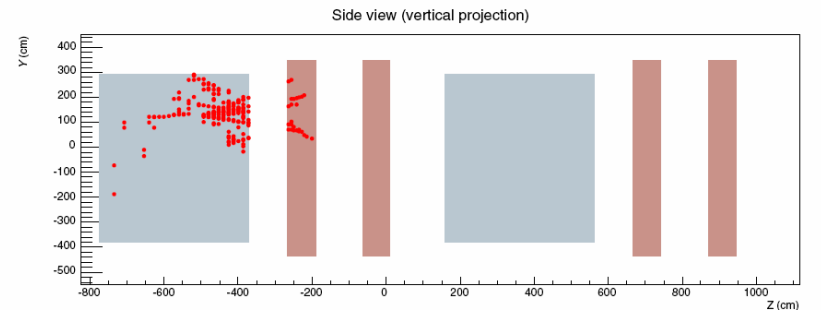
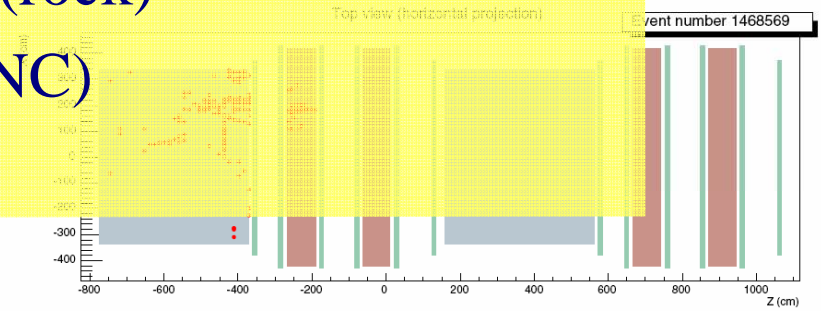
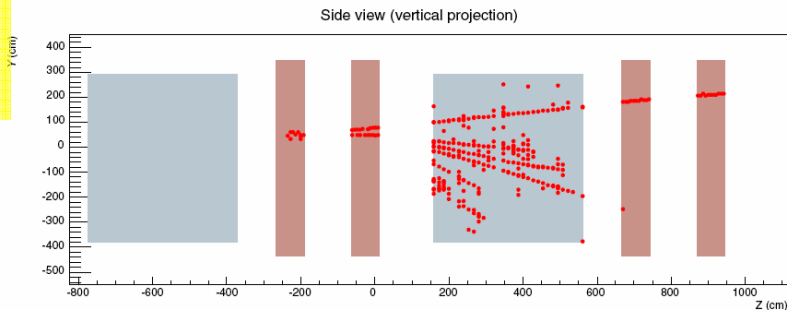
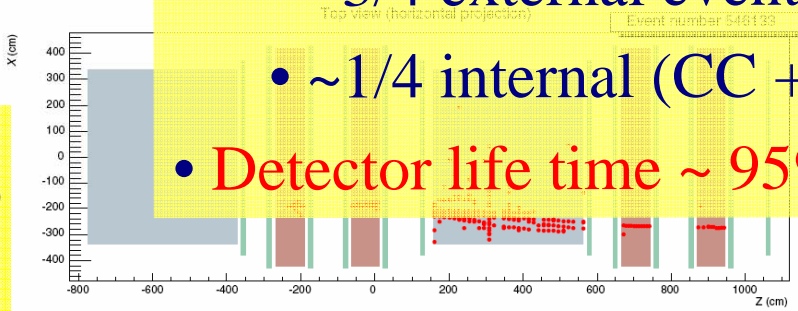
vCC in rock (rock muon)



vCC in Target Tracker

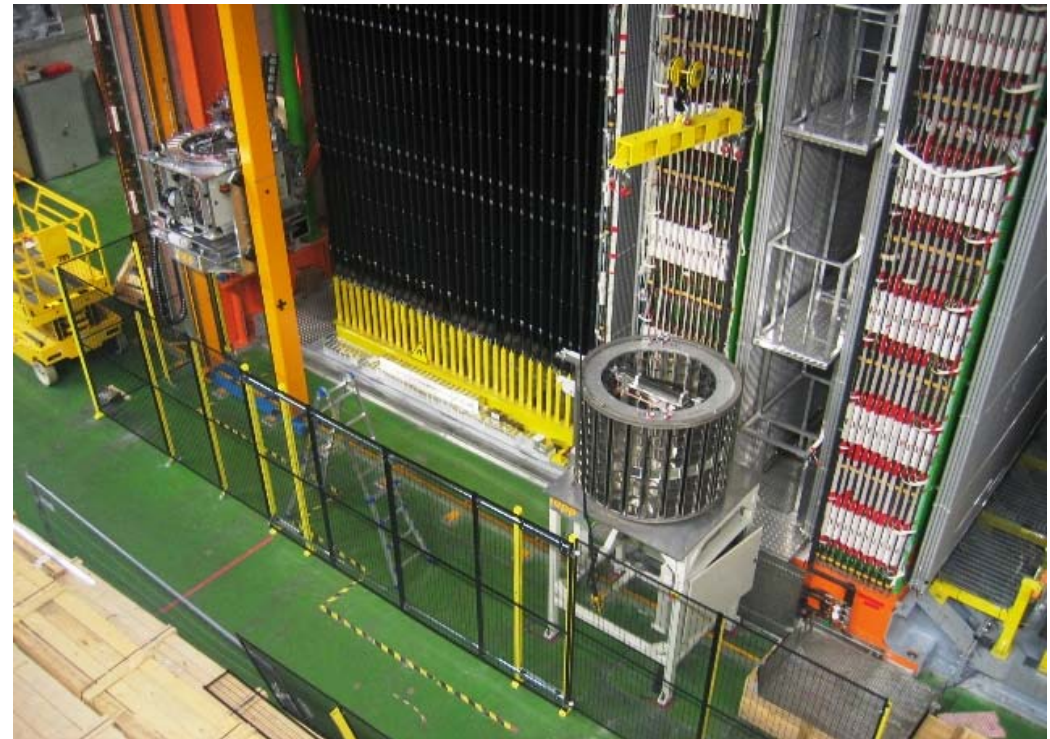
- OPERA collect 319 beam events
- ~3/4 external events (rock)
- ~1/4 internal (CC + NC)
- Detector life time ~ 95%

vCC in Magnet



vNC in Target Tracker

Ne1 2007:



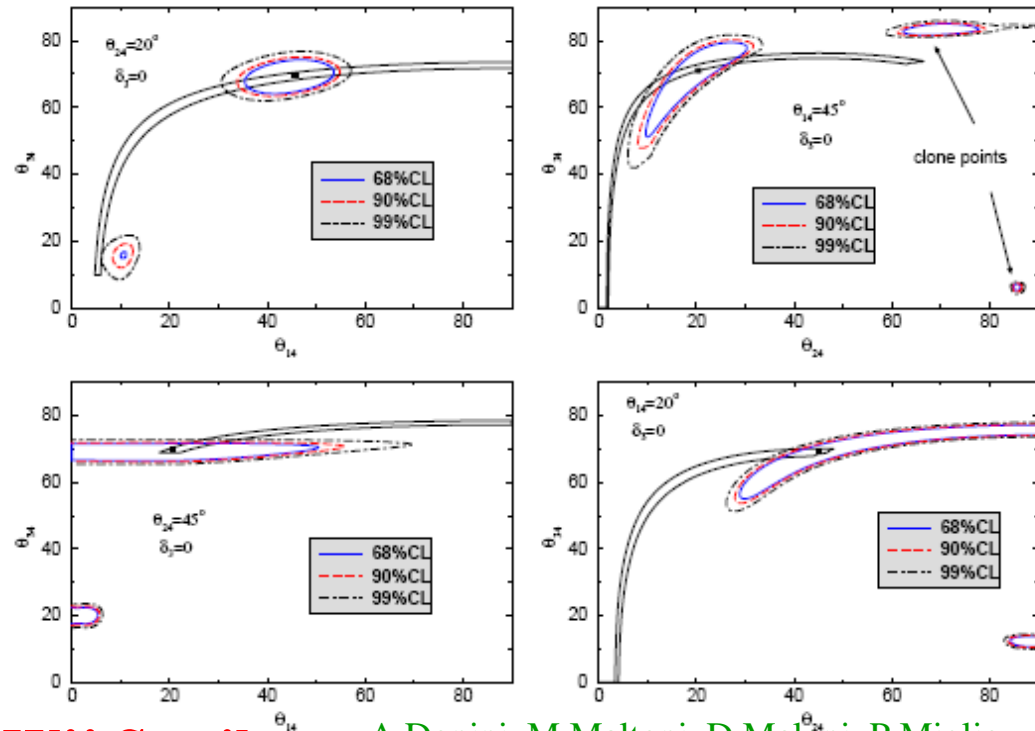
ν_τ appearance

| τ decay channels | Signal | | Background |
|------------------------|--|--|------------|
| | $\Delta m^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ | $\Delta m^2 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ | |
| $\tau \rightarrow \mu$ | 3.6 | 5.6 | 0.23 |
| $\tau \rightarrow e$ | 4.3 | 6.7 | 0.23 |
| $\tau \rightarrow h$ | 3.8 | 5.9 | 0.32 |
| $\tau \rightarrow 3h$ | 1.1 | 1.7 | 0.22 |
| ALL | 12.8 | 19.9 | 1.0 |

ν_e appearance

| | $\sin^2 2\theta_{13}$ | θ_{13} |
|--------------|-----------------------|------------------------|
| CHOOZ | <0.14 | 11⁰ |
| OPERA | <0.06 | 7.1⁰ |

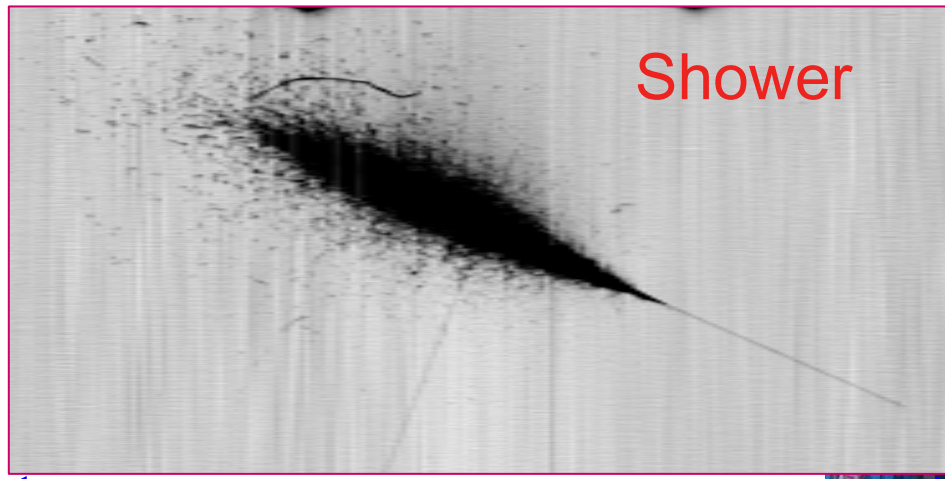
M.Komatsu, P.Migliozzi, F.Terranova
 J.Phys. G29 (2003) 443.



NEW!! Sterile ν

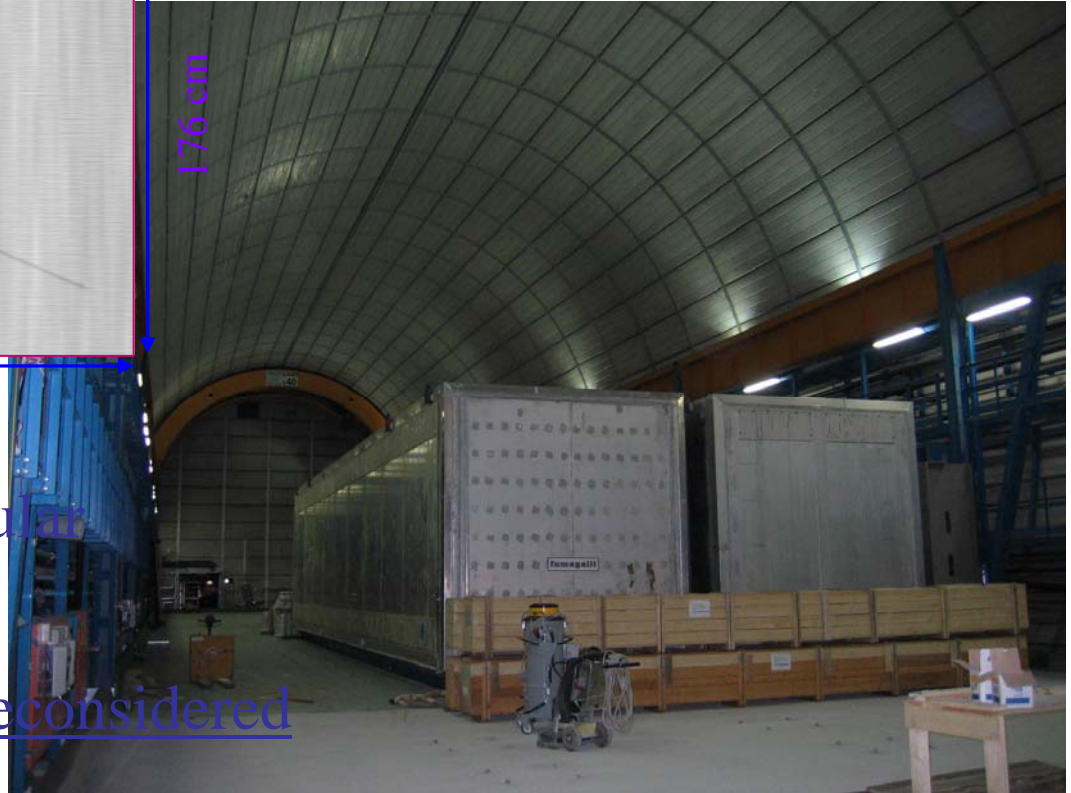
A.Donini, M.Maltoni, D.Meloni, P.Migliozzi, F.Terranova, arXiv:0704.0388

ICARUS T600 in Hall B at LNGS



434 cm

176 cm



Originally foreseen 3kt in modular structure

This option has been recently reconsidered

Even if T600 has a limited sensitivity (small mass) the operation of T600 at CNGS is a major step in the development of the Lar technology

Il futuro sarà nuovamente legato all'appearance: lo scenario piu' conservativo nel 2010

LSND e' sbagliato e MiniBOONE lo falsifica

Le oscillazioni alla scala degli atmosferici sono prevalentemente $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$

La scala dei solari e' "solo" 30 volte piu' piccola di quella degli atmosferici (LMA-I) KamLAND/SNO

Settore 1-3 osservabile come contaminazione dell'oscillazione $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ con oscillazioni $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ alle scale degli atmosferici

Generazione futura: misura di precisione della matrice di mixing leptonica

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ν atmosferici

$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ con esperimenti terrestri e acceleratori

ν solari

Il dilemma di ϑ_{13}

In teoria possiamo determinare con exp terrestri TUTTA la matrice di mixing leptonica e distinguere tra gerarchia diretta e inversa.

Tutto dipende dal valore di ϑ_{13}

- Se $\vartheta_{13} \approx 10^\circ$ (vicino ai limiti attuali) non e' necessaria la costruzione di nuovi rivelatori [progetti con costi ≈ 150 M\$]
- Se $\vartheta_{13} > \approx 3^\circ$ e' necessaria la costruzione di nuovi rivelatori (e.g. 1 Mton water cherenkov) e fasci tradizionali ma piu' intensi (Superbeams) [progetti dell'ordine di 0.5-1 G\$]
- Se $\vartheta_{13} > \approx 1^\circ$ e' necessaria la costruzione di nuovi rivelatori (e.g. 1 Mton water cherenkov) e di fasci di nuova concezione (beta beams e neutrino factories) [progetti dell'ordine di 1-2 G\$]
- Se $\vartheta_{13} < \approx 1^\circ$ la fase di CP non e' accessibile con esperimenti terrestri

La questione della determinazione di ϑ_{13} ha dominato il dibattito sulla roadmap dei neutrini negli ultimi tre anni

E' davvero un dilemma?

Non per i giapponesi perché hanno grossi investimenti pregressi che possono sfruttare: SuperKamiokande e il complesso J-PARC (1 G\$!!! per fisica della materia, biologia, fisica nucleare...). E' comunque un grosso investimento...



T2K è l'unico long-baseline approvato e finanziato finalizzato alla scoperta delle subdominanti $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$

No se si evita di utilizzare i long-baseline: c'è ancora margine di miglioramento ($\sin^2 2\vartheta_{13} \approx 0.01$) con gli esperimenti ai reattori che richiedono investimenti O(20 M\$) **V. talk di Alessandra**

Esperimenti di terza generazione ai reattori (post-CHOOZ) raccolgono un enorme consenso come esperimenti “preparatori” ai long-baseline di nuova concezione

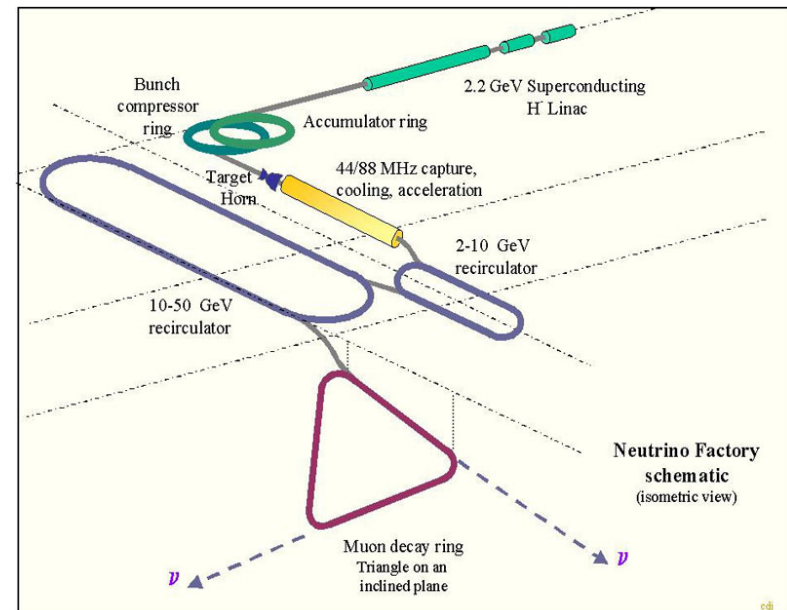


Alternative più controverse:

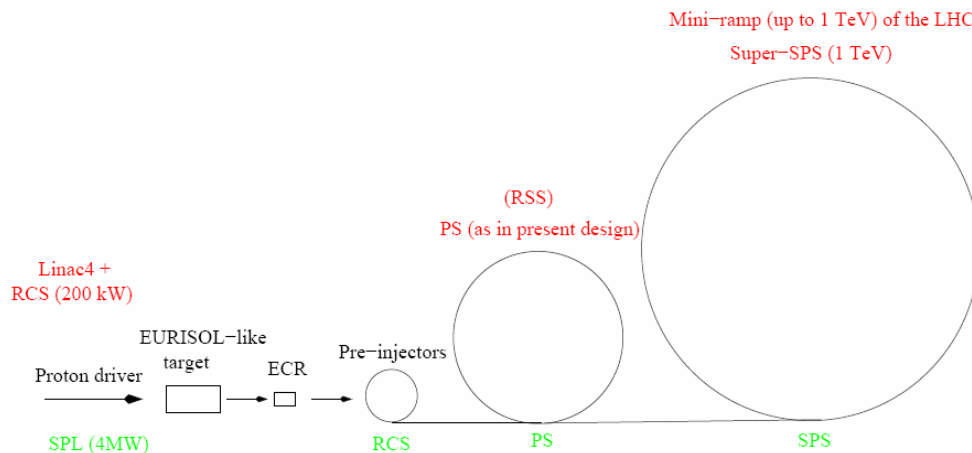
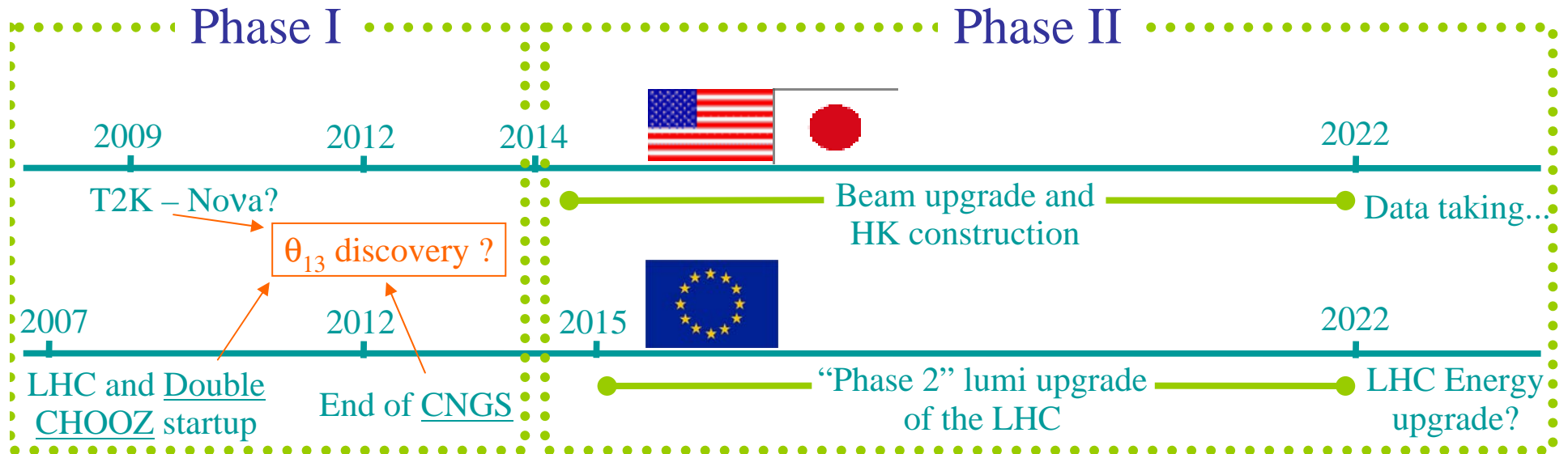
Nova (US): utilizzo massimale di NUMI con un nuovo rivelatore (investimento di circa 200 M\$). Physics case molto simile a T2K – sensibilità alla gerarchia di massa marginale con NuMI: interessante con un nuovo driver da 2 MW (anche per CPV). Se si include il nuovo driver, diventa un esperimento di “Fase II”... qualcuno comincia a dire “Perche’ non aspettiamo per vedere quanto è grande ϑ_{13} ”?

Approccio “conservativo”: Lasciare la Fase I ai giapponesi e ai reattori (EU: Double-Chooz) e puntare su una facility di fase II in caso di risultato positivo (UK) o addirittura prima (Frejus).

Lascia spazio a tecnologie profondamente innovative come le Neutrino Factories o i Beta Beams



Una variante (my favorite) basata sugli upgrade di macchina per l'LHC + BetaBeam + far detector al Gran Sasso



+ the decay ring

A.Donini et al., EPJ C48 (2006) 787

A.Donini, et al. hep-ph/0703209

Una facility di fase due con rivelatore di ferro magnetizzato (!) ai LNGS che lavora in appearance di ν_μ (NON ν_e !)

Il dibattito nell'INFN e il “tavolo del neutrino”

L'approccio “conservativo” è pericoloso perché non si fanno investimenti per recuperare il gap con i giapponesi, si ferma il settore per molti anni e si rischia che loro facciano tutto anche dopo il 2015 (stessa considerazioni fatte per Nova)

Piccole partecipazioni a esperimenti esterni durante il running del CNGS (2007-2012) non hanno grosso valore strategico per l'INFN

Andrebbero valorizzate le peculiarità dell'INFN in questo settore: Laboratori Sotterranei, leadership nella tecnologia dell'Argon Liquido

Possibilità a cavallo tra la fase I e la fase II? LAr con CNGS potenziato? Estensione dei LNGS a shallow depth? (C.Rubbia) Etc.

Considerazioni molto ragionevoli dal punto di vista della strategia scientifica. Tuttavia, fino ad ora, nessuno è riuscito a produrre una proposta dettagliata che soddisfi simultaneamente tutti questi requirements.

Conclusioni

- * La fisica delle oscillazioni agli acceleratori ha cominciato da poco a dare contributi sostanziali alla fisica del neutrino (K2K, MINOS)
- * Il più importante progetto europeo nel settore è il CNGS: in questo contesto l'INFN ha un ruolo di leadership per molti anni e la priorità è quella di estrarre il massimo da questa facility
- Gli esperimenti long-baseline agli acceleratori sono lo strumento ideale per la determinazione della matrice di mixing leptonica se l'angolo ϑ_{13} è sufficientemente grande
- Per questo motivo la roadmap della fisica delle oscillazioni con gli acceleratori è estremamente controversa: esiste un enorme potenziale di scoperta e interesse a esplorare approcci non-convenzionali