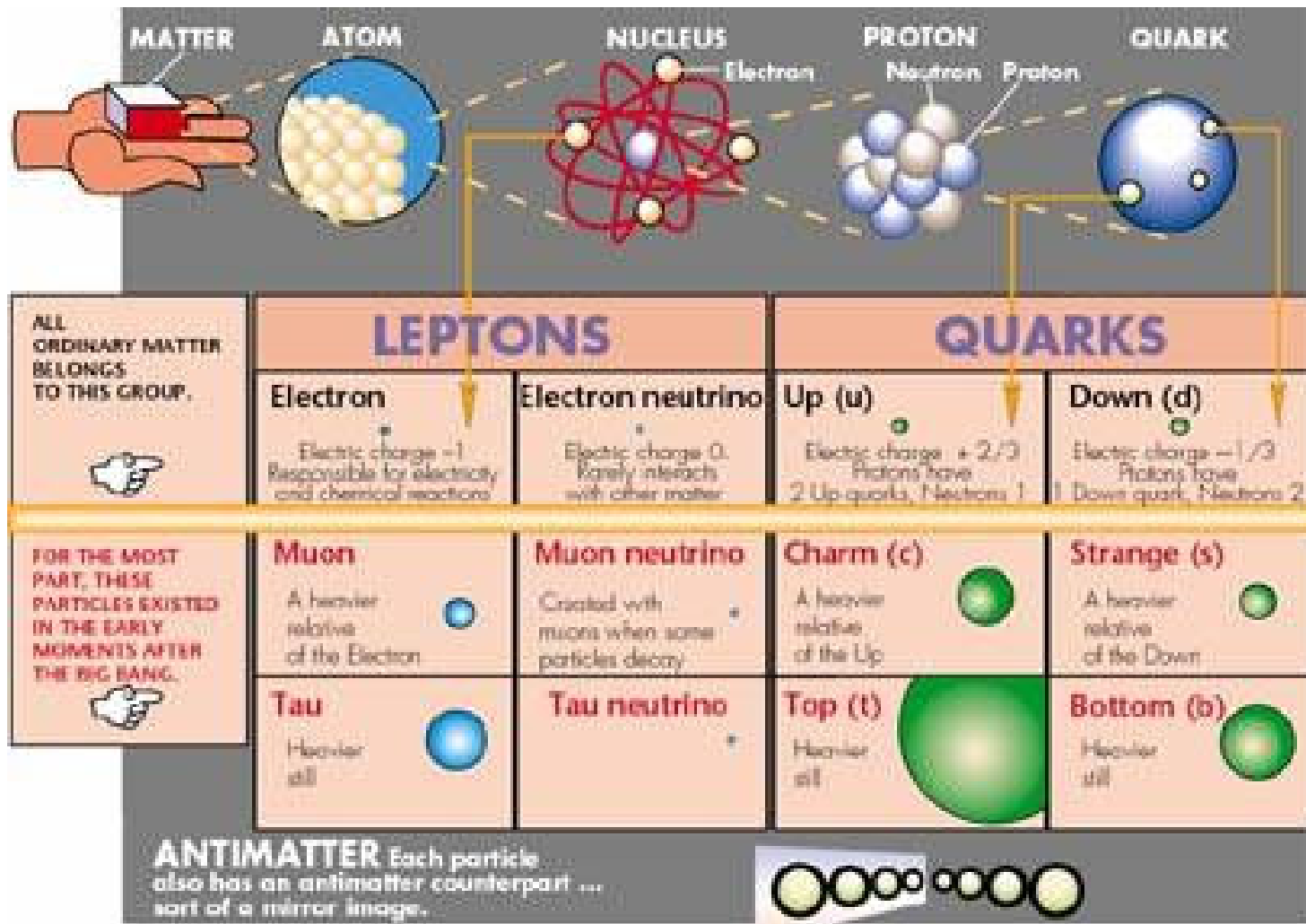




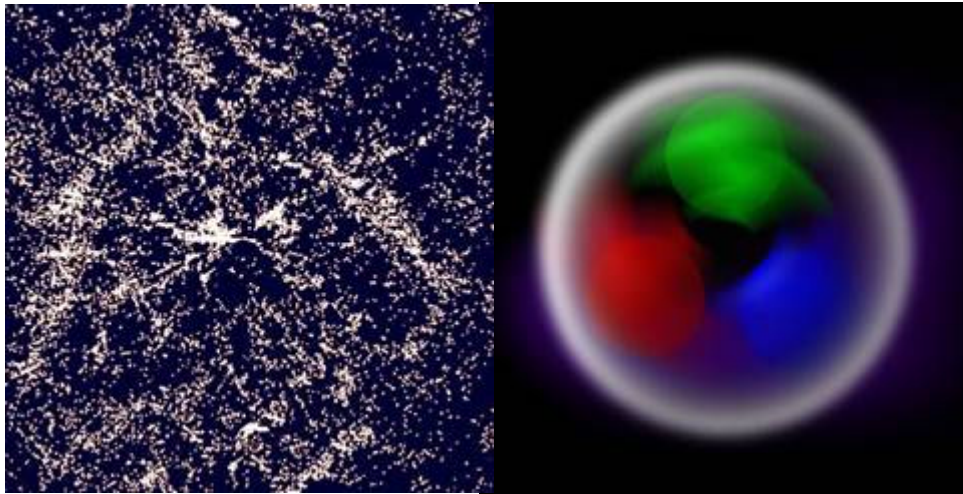
L'esperimento OPERA al Gran Sasso

Salvatore Buontempo
Istituto Nazionale Fisica Nucleare - Sezione Napoli

Fisica delle Particelle: cosa studiamo?



CERN : Centro Europeo di Ricerca Nucleare, ovvero di Fisica delle Particelle



10^{26} m
ammassi di galassie

10^{-15} m
quarks

9 Premi Nobel
hanno lavorato al CERN

Al CERN studiamo le interazioni di quark e leptoni per capire come si sono formate le varie particelle nell'Universo primordiale.

<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/P10/italian/welcome.html>

INFN: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



20 Sezioni

4 Laboratori Nazionali

9 Sedi Collegate

Fisica delle Particelle

Astrofisica

Fisica Nucleare

Fisica Teorica

Nuove Tecnologie

Trasferimento Tecnologico

Computing

GRID

Il laboratorio sotterraneo del Gran Sasso



18 000 m²



INFN LNGS, 900 m sul livello del mare (Abruzzo, Italy)



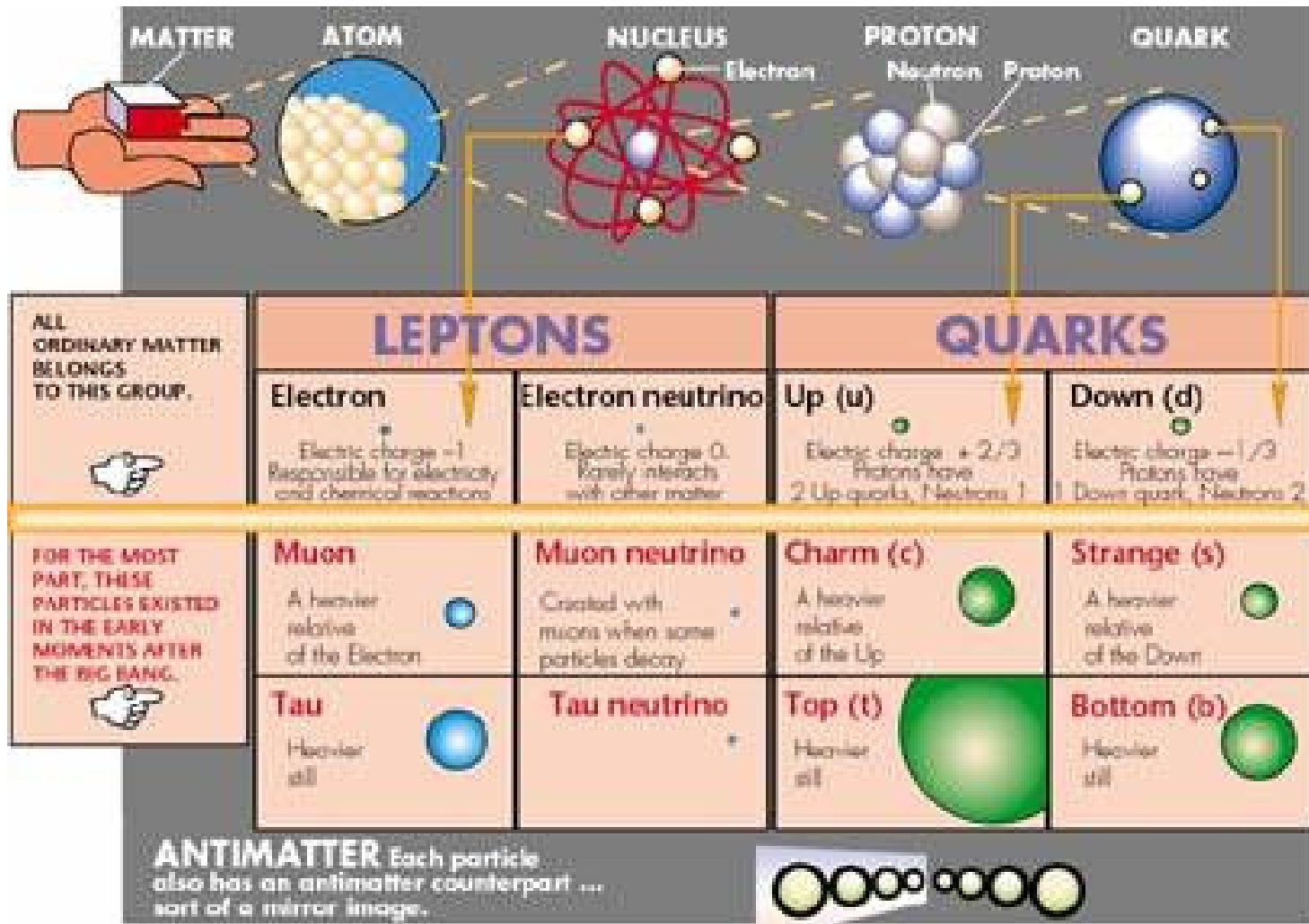
15 km dall'epicentro

Terremoto del 6 Aprile : accelerazione 0.6 g a l'Aquila, 0.02 g at LNGS

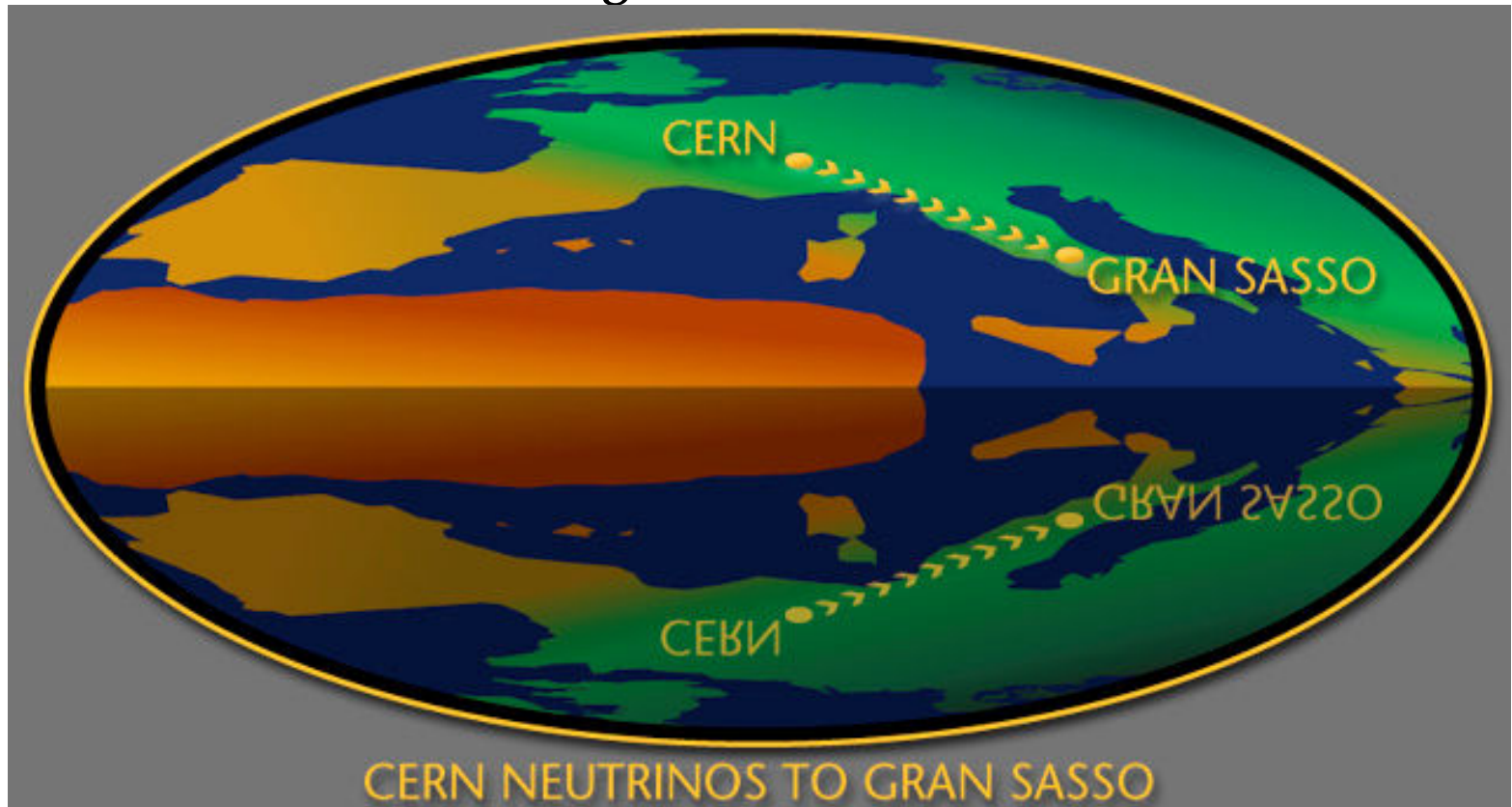
Nessun danno alle strutture/apparati scientifici – 90% del personale LNGS e' senza casa Psicologicamente difficile tornare alla normalita'

Tutte le attivita' che richiedevano presenza umana si sono fermate per soli 30 giorni. 5 maggio LNGS riaperto.

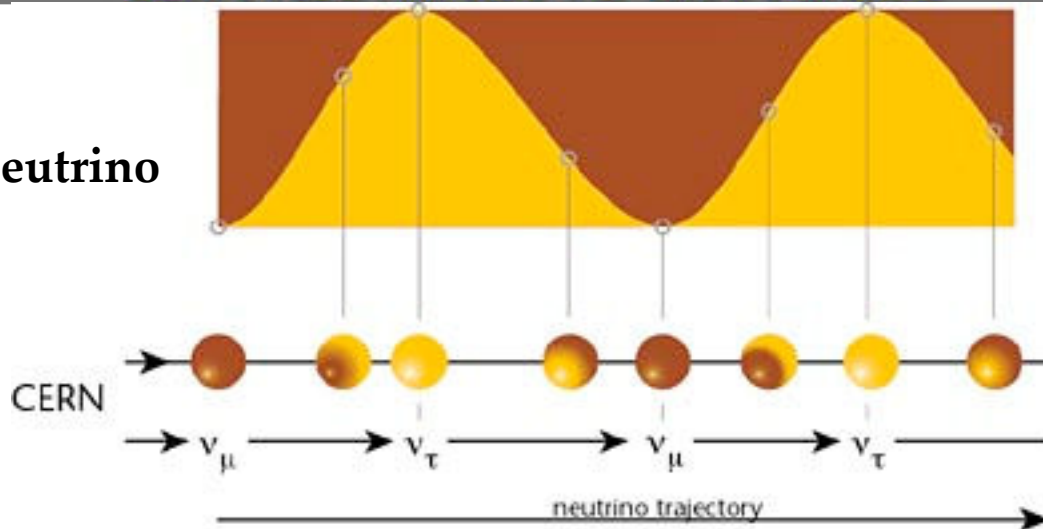
..e se questa tabella fosse di nuovo un'approssimazione ??



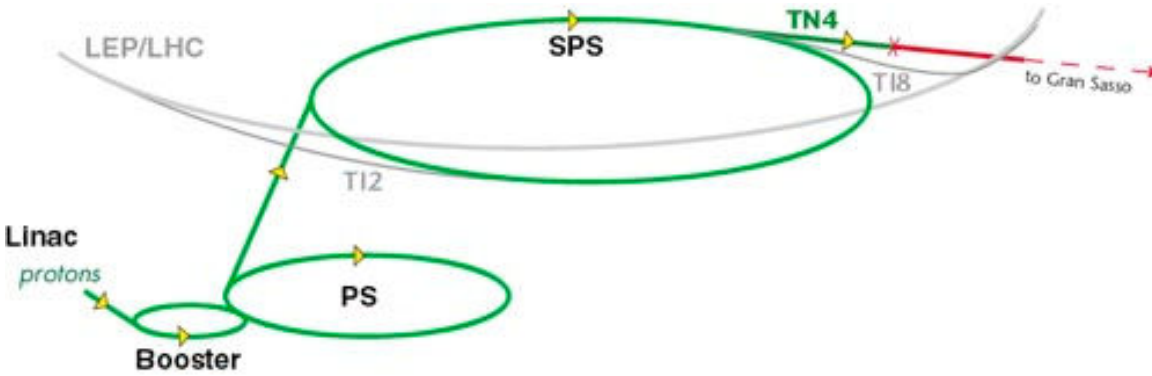
Programma CNGS



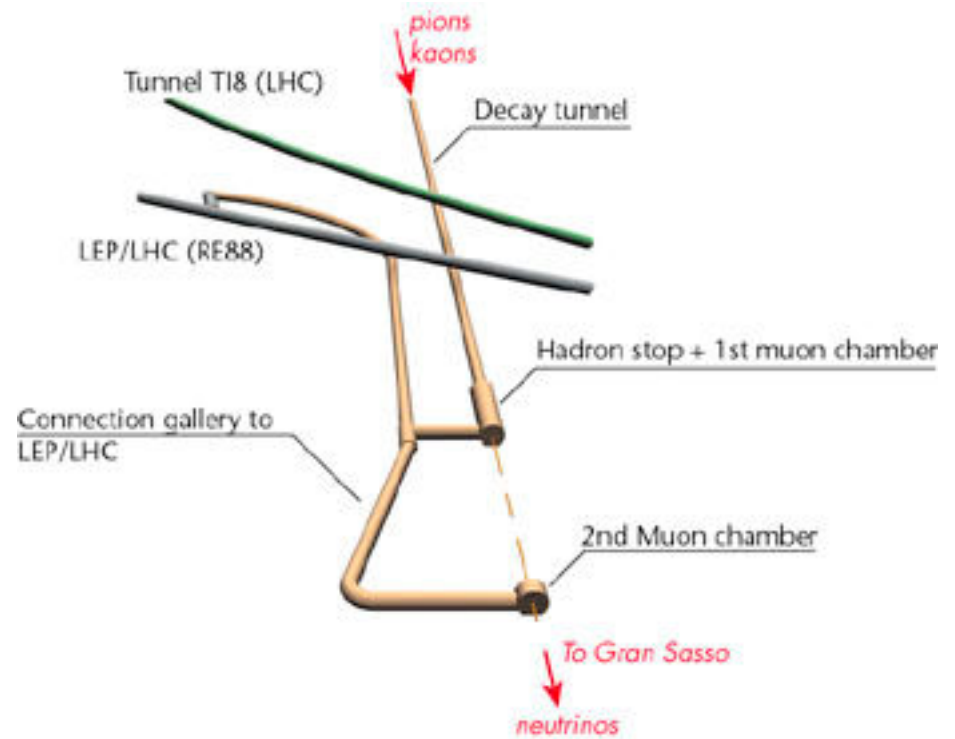
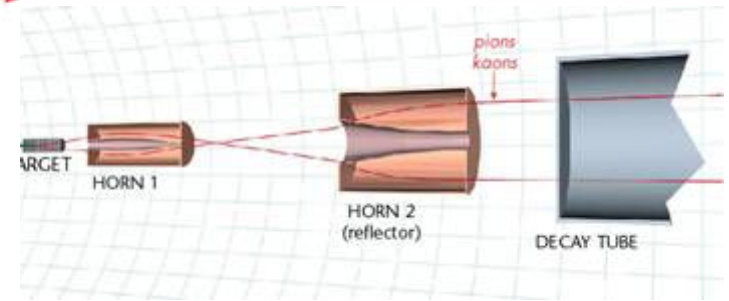
Oscillazioni di Neutrino



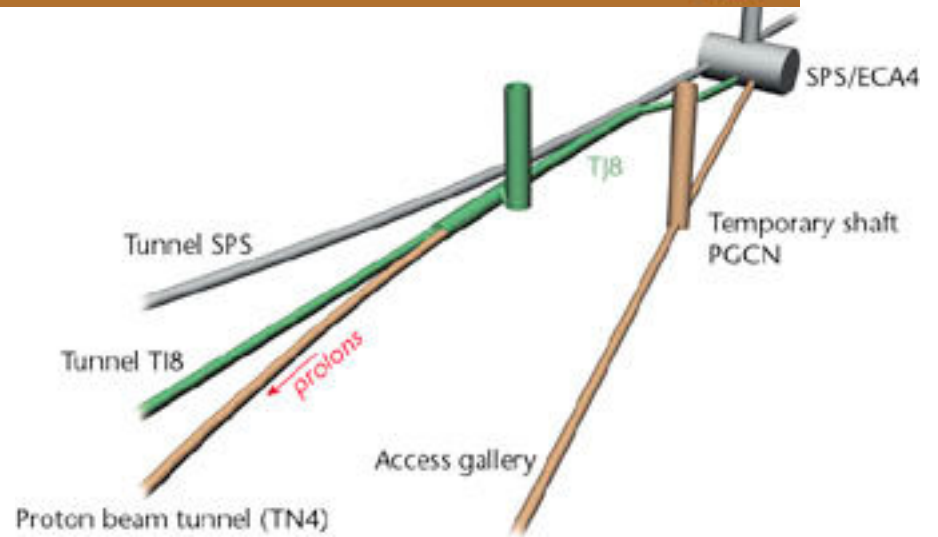
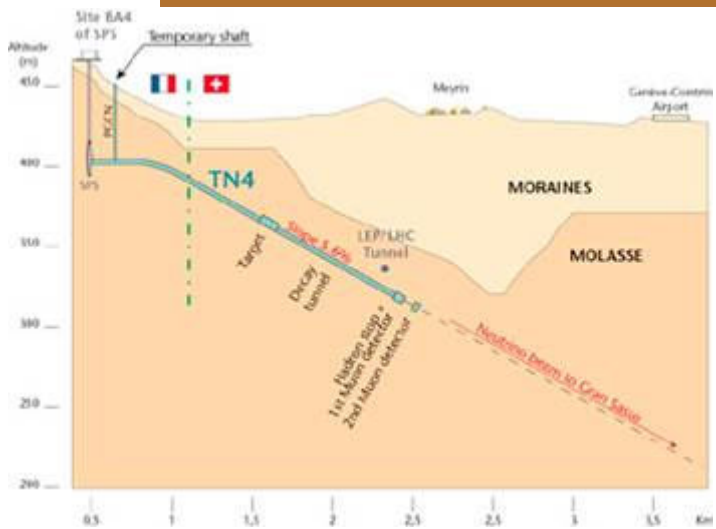
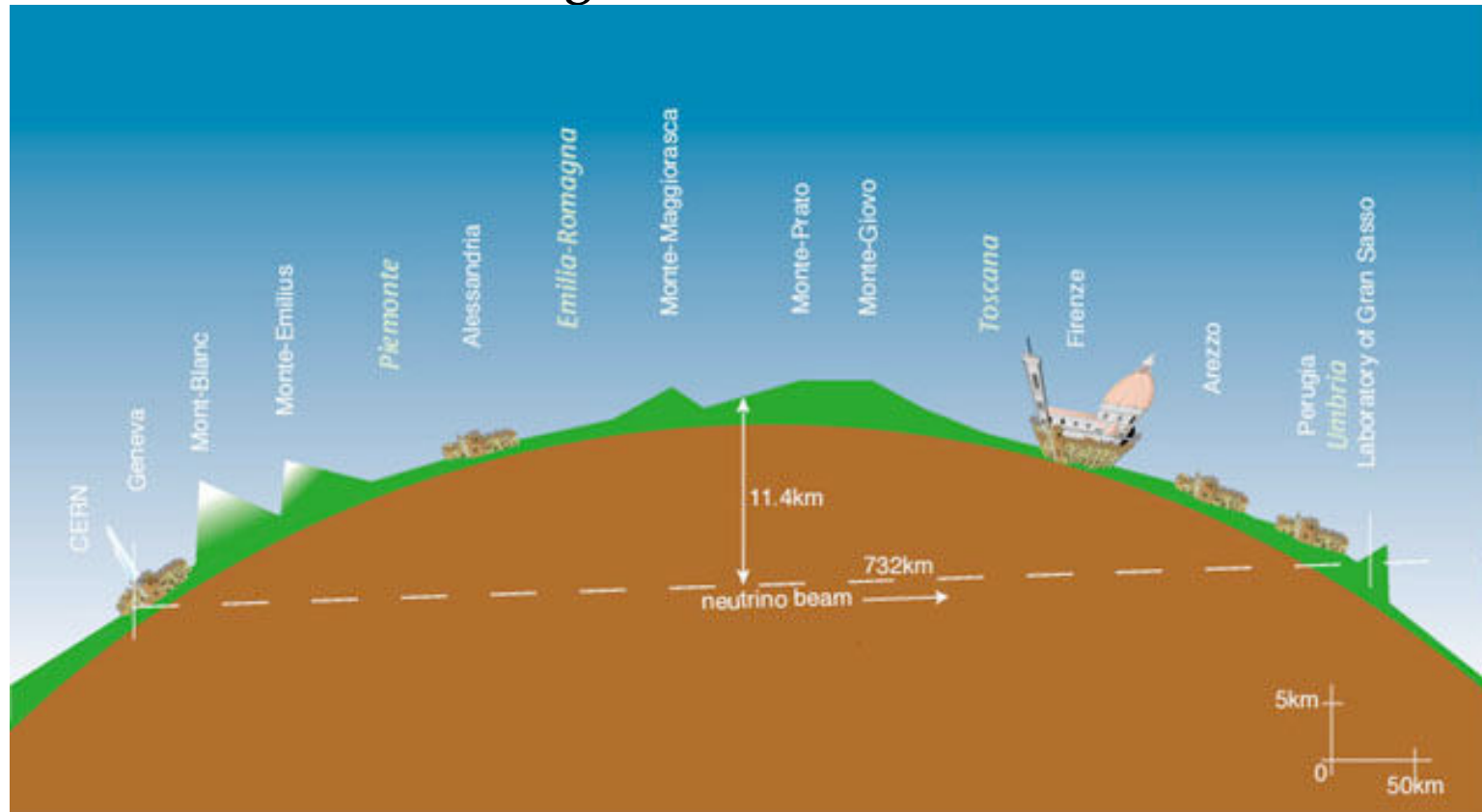
Programma CNGS



- PS : Proton Synchrotron
- SPS : Super Proton Synchrotron
- LHC : Large Hadron Collider



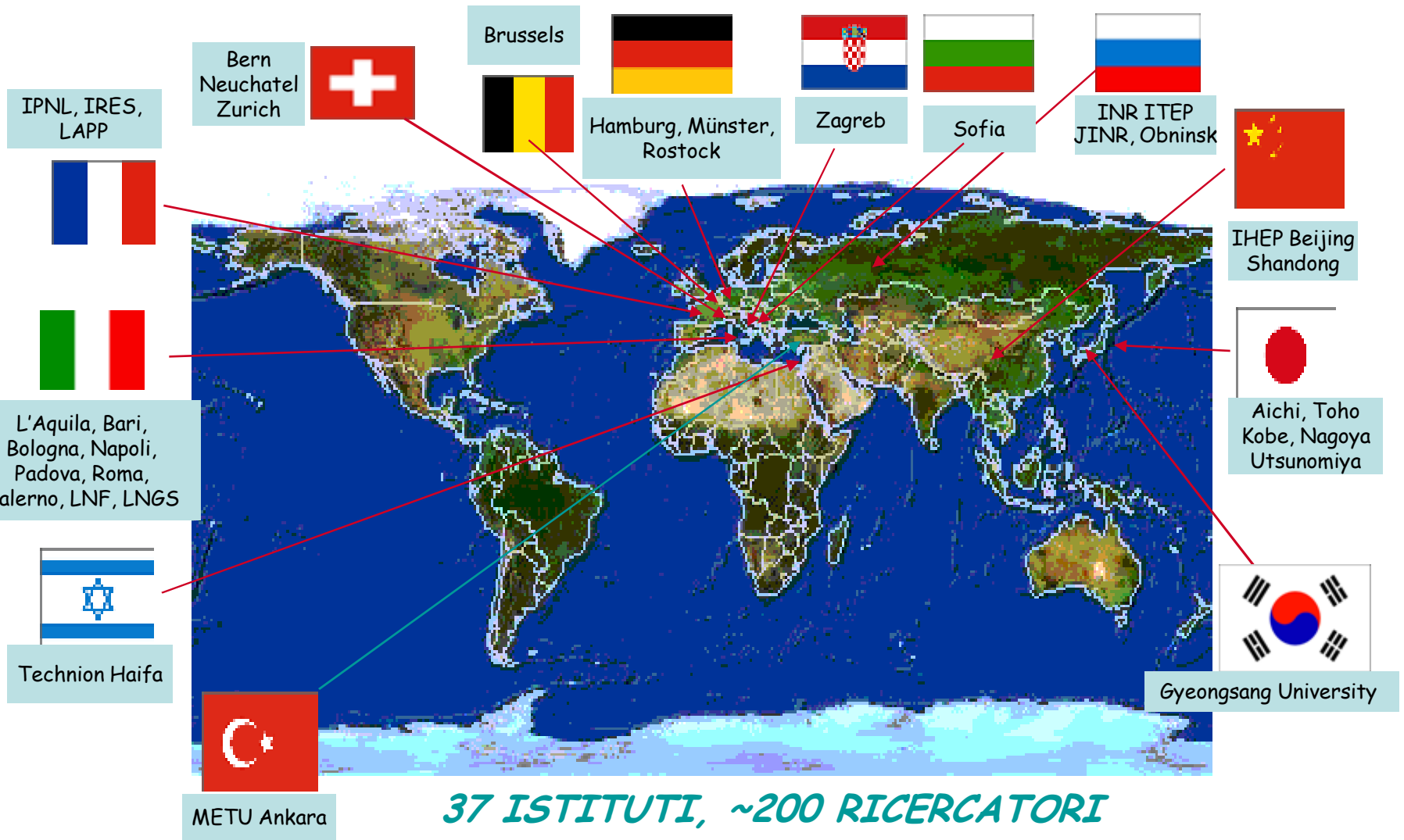
Programma CNGS





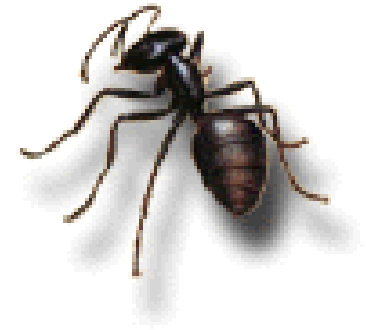
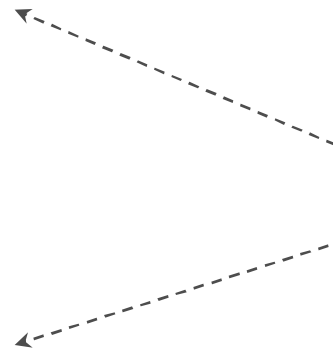
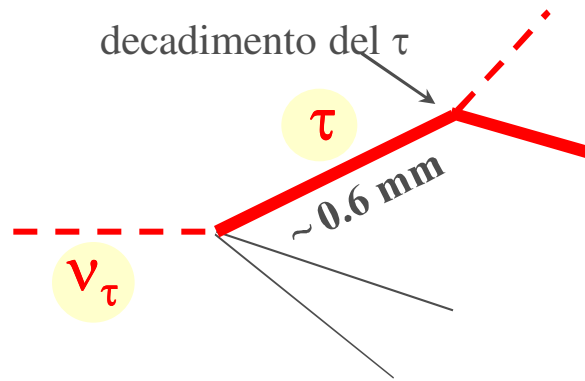
Il Progetto e la Collaborazione

OPERA: Una Collaborazione Internazionale





Identificare il leptone τ , “vedere” la topologia del suo decadimento



Obiettivo

Oscillazioni di ν → Bersaglio
massivo

E

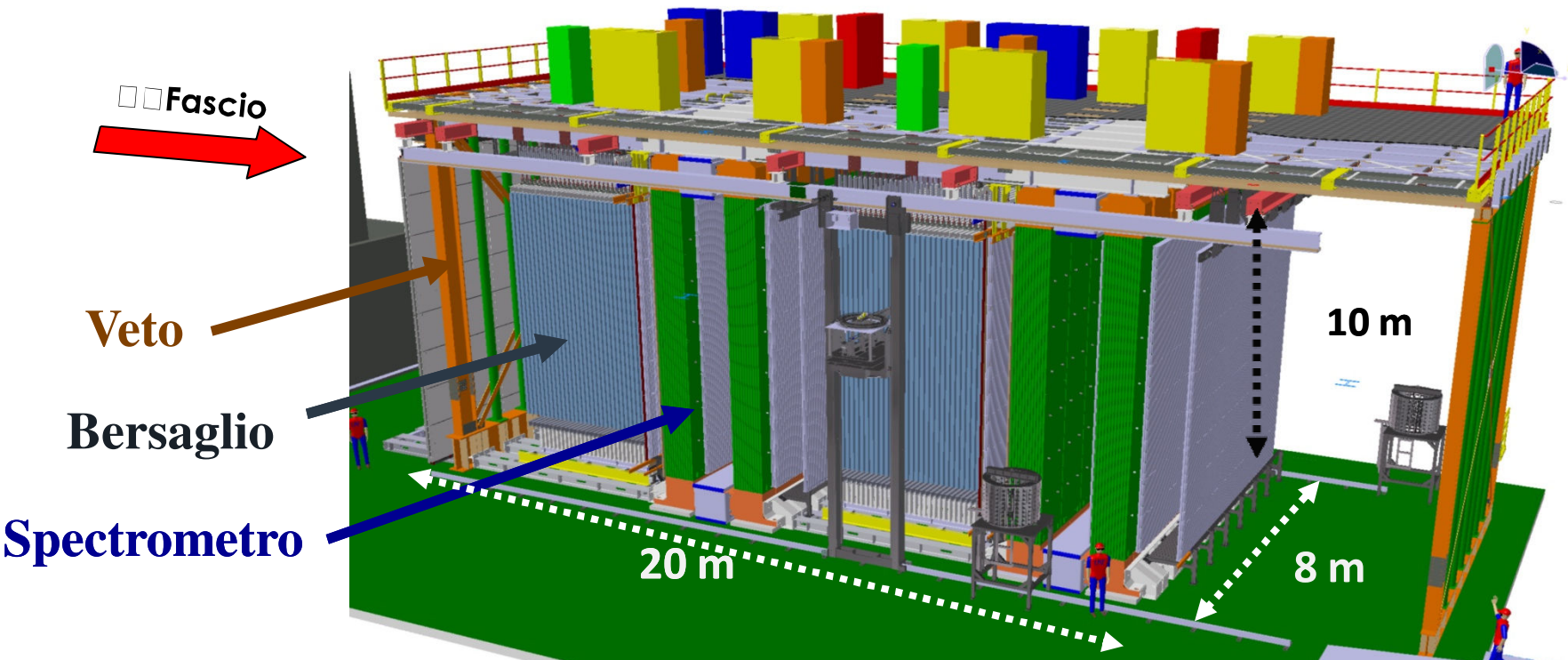
Topologia di decadimento →
risoluzione spaziale del micron

sandwich di piombo e emulsioni nucleari
“*Emulsion Cloud Chamber*”, detta “*ECC*”

Rivelatore Ibrido

- *Bersaglio* formato da muri di **mattoni** di piombo (*Bersaglio massivo*) ed emulsioni nucleari (*Tracciatore con precisione del micron*) per fermare il massimo numero di neutrini provenienti dal CERN
- Dietro ogni muro c'è un piano di **scintillatore plastico** per indicare in tempo reale quale mattone è stato colpito dal neutrino
- Dietro il bersaglio c'è uno *Spettrometro* (realizzato da **magnete** in ferro equipaggiato con **RPC** e piani di **tubi a streamer** esterni) per studiare il segno e momento delle particelle prodotte

Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus



2 SuperModuli ognuno con

- **Bersaglio**

- 75000 mattoni posizionati in 27 muri (massa del bersaglio ~ 1250 tonnellate)
- Target Tracker (barre di scintillatore plastico posizionate in Orizzontale/Verticale)

- **Spectrometro**: 1 magnete del peso di 1 kton [$B \sim 1.5 \text{ T}$] equipaggiato con tubi a drift e RPC

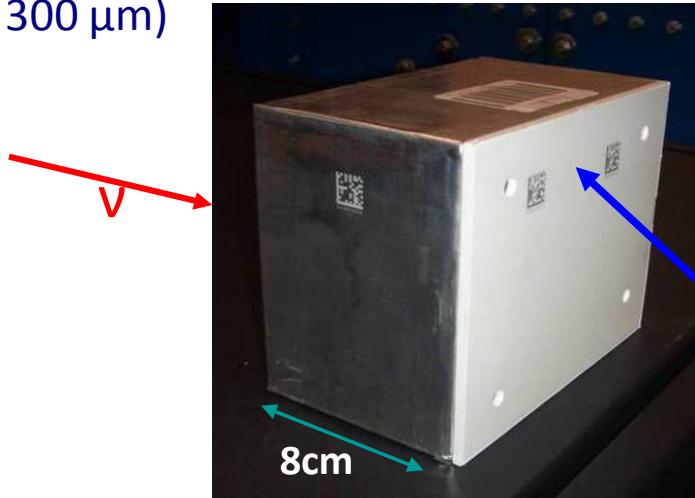
+ Sistema di Veto per individuare le interazioni esterne al bersaglio

Il mattone di OPERA

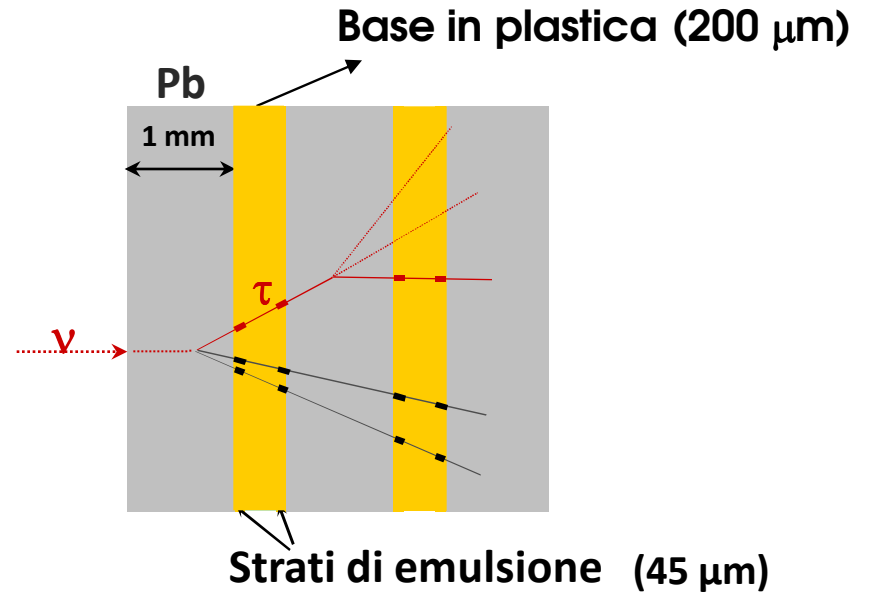
ECC (Emulsion Cloud chamber)

56 fogli di Pb (ognuno di spessore 1 mm)

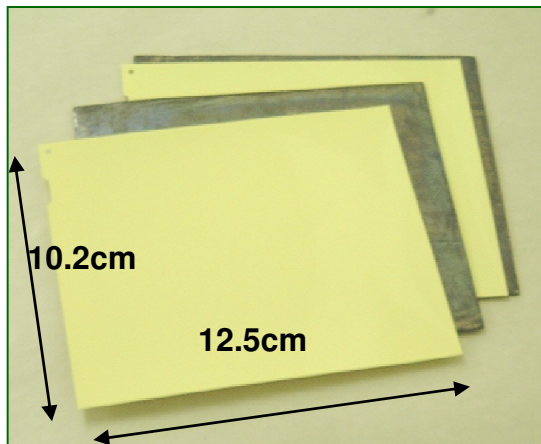
57 Film di Emulsioni (ognuno di spessore 300 μm)



8.3 kg $10 X_0$



Doppio foglio di emulsione esterno



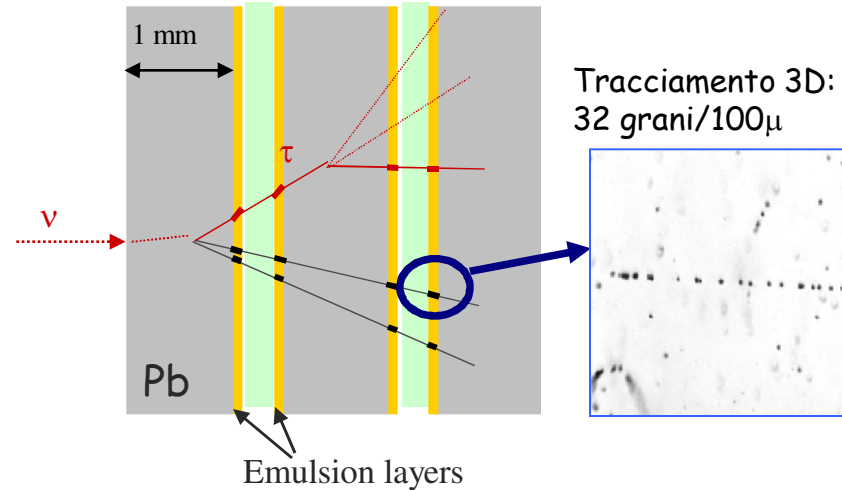
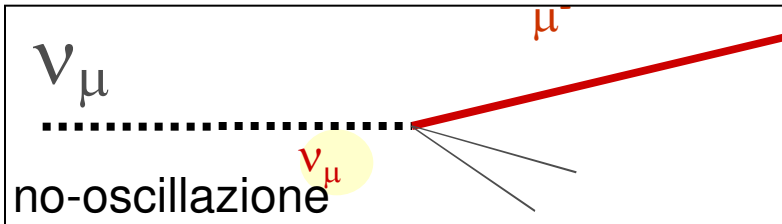
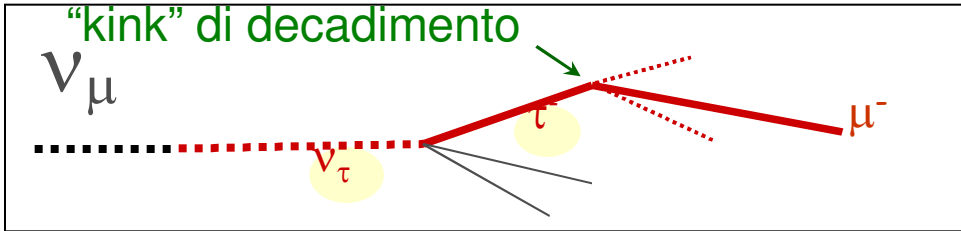
2 Fogli di emulsione posizionati dietro ogni mattone per confermare le tracce nel brick indicato dalle predizioni dei rivelatori elettronici

OPERA : rivelazione diretta del tau

interazione CC
interaction
 $\nu_\mu \Rightarrow \nu_\tau + N \rightarrow \tau^- + X$
Oscillazione

$\tau^- \rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu \\ h^- \nu_\tau n(\pi^0) \\ e^- \nu_\tau \bar{\nu}_e \\ \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau n(\pi^0) \end{array} \right.$ B. R. ~ 17%
B. R. ~ 49%
B. R. ~ 18%
B. R. ~ 15%

[$c\tau \sim 87 \mu\text{m}$]

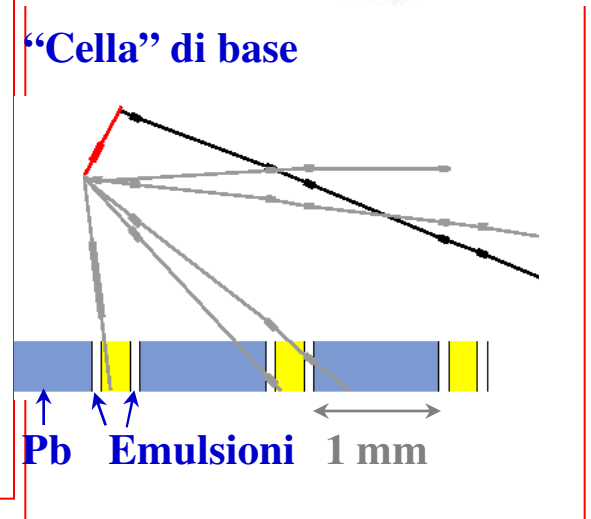
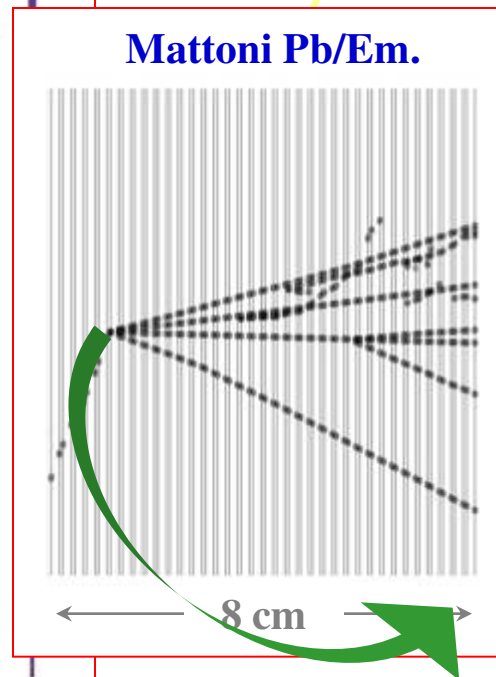
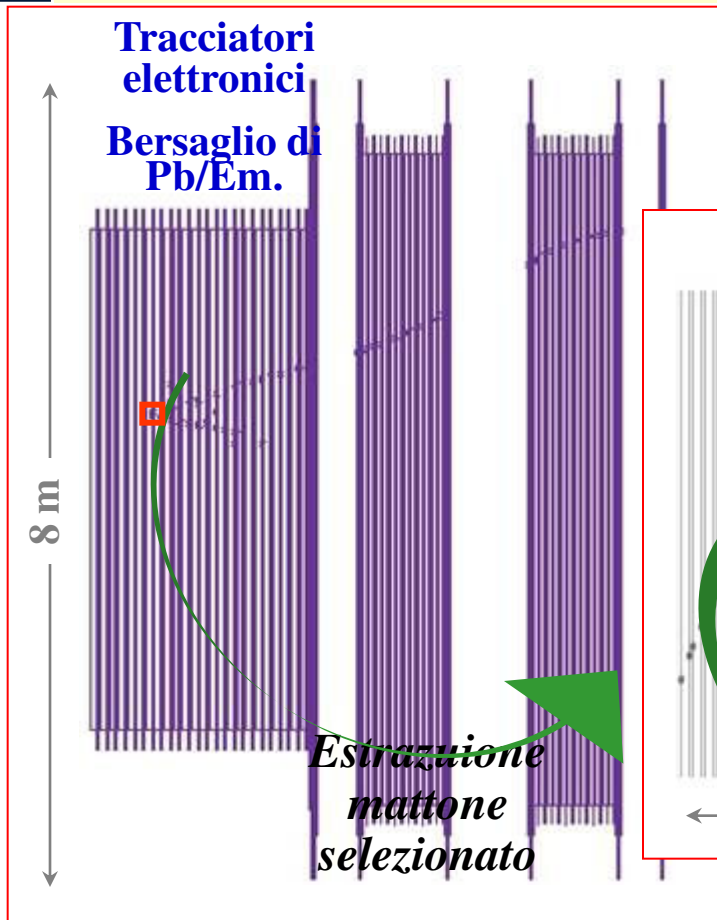
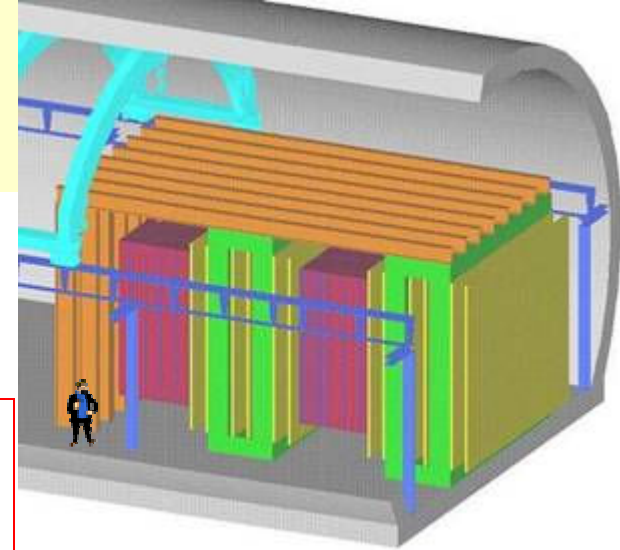


Tecnica utilizzato con successo nell'esperimento DONUT a Fermilab, con la registrazione di un'interazione di ν_τ (2000)

Precisione micrometrica + bersaglio massivo utilizzando il concetto **ECC** (Emulsion Cloud Chamber):
Sottili fogli di metallo intervallati da fogli di emulsioni nucleari



OPERA, un rivelatore ibrido



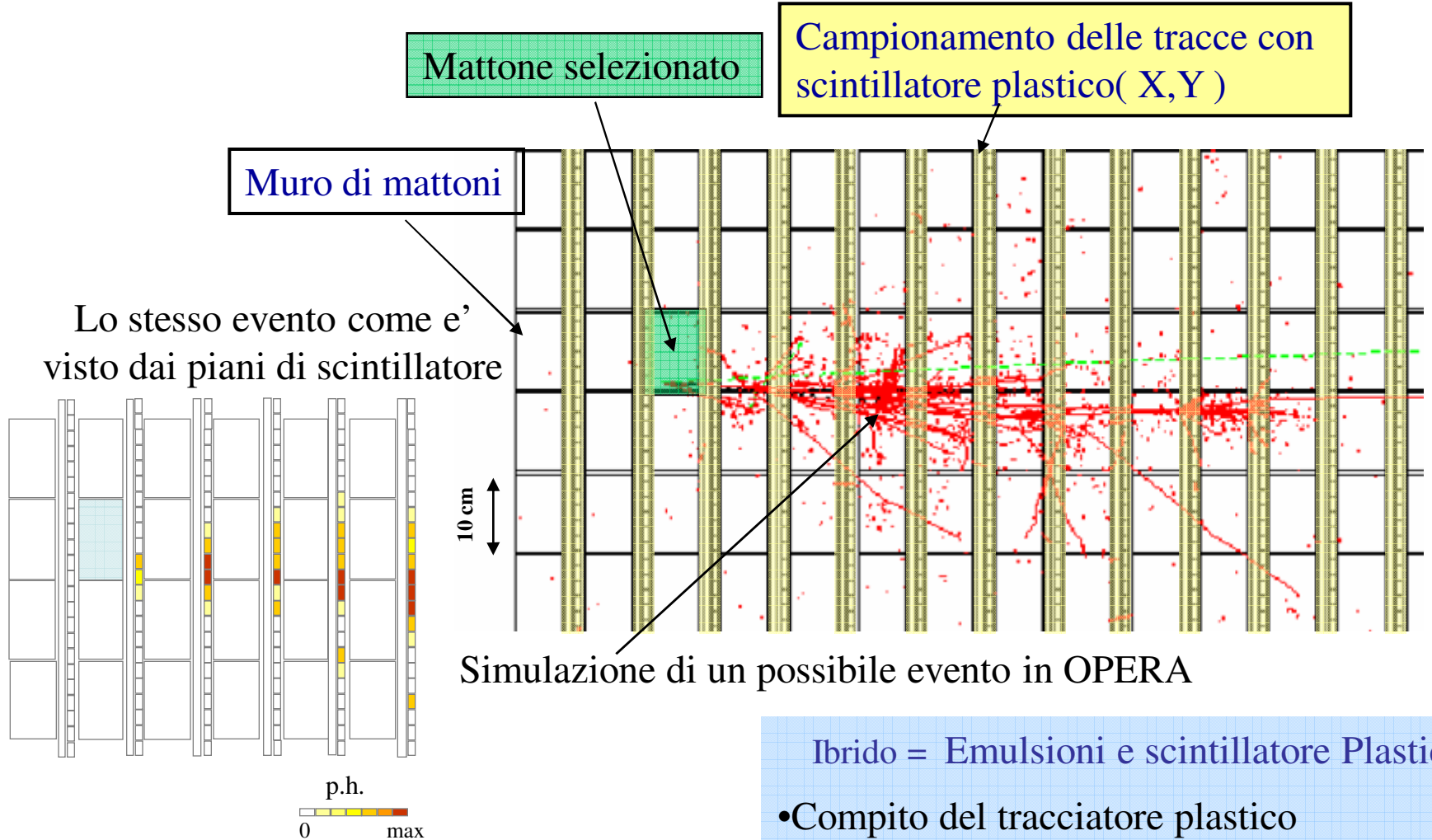
Rivelatori elettronici

- Ricerca del mattone con interazione del ν
- identificazione del μ , misura di carica e momento

Analisi delle emulsioni

- ricostruzione del vertice
- Angolo di decadimento
- identificazione del e/γ , cinematica

Come viene selezionato il mattone ?



I brick selezionati sono estratti giornalmente da un robot dedicato

Ibrido = Emulsioni e scintillatore Plastico

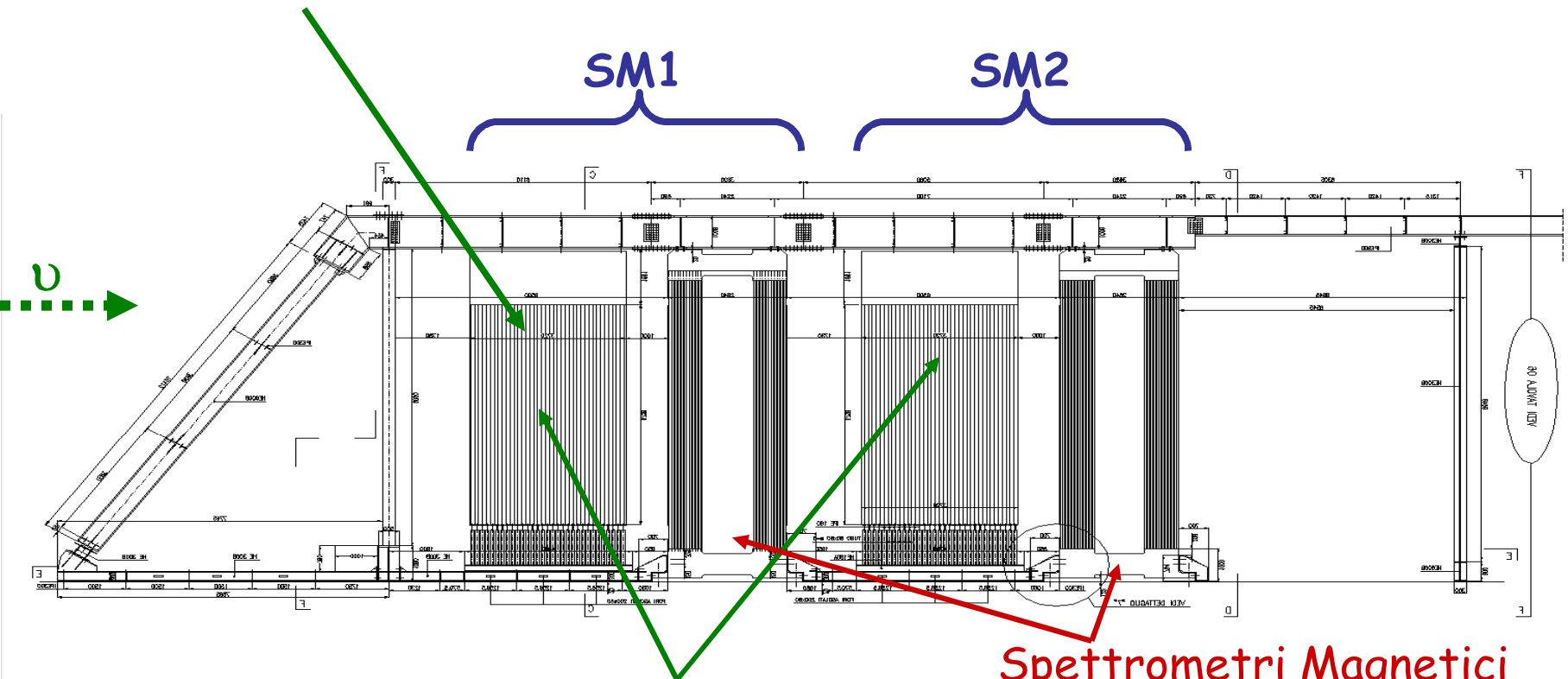
- Compito del tracciatore plastico **selezionare i mattoni**
- Elevata capacita' di scansione emulsioni + basso segnale di rumore **permettono un tracciamento pulito**



La costruzione

Date dell'Esperimento OPERA

53 piani di bersaglio / supermodulo (in totale: 150036 Mattoni, 1250 tons)



- Proposta: **Luglio 2000**, **Bersagli**
- Installazione riv. elettronici al LNGS: **Settembre 2003 - Giugno 2007**
- Produzione e riempimento mattoni: **Marzo 2007 - Giugno 2008**
- Primi eventi di neutrino in rivelatori elettronici : **18 Agosto, 2006**
- Primi eventi di neutrino in mattoni : **2007 (36 eventi in 10 gg di fascio)**
- Primo anno di presa dati: **2008 (1600 eventi in mattoni)**
- Secondo anno di presa dati: **2009 (ad oggi 2000 eventi, 4000 attesi)**

Struttura di appoggio per piani verticali di ferro del magnete



Parte inferiore bobina

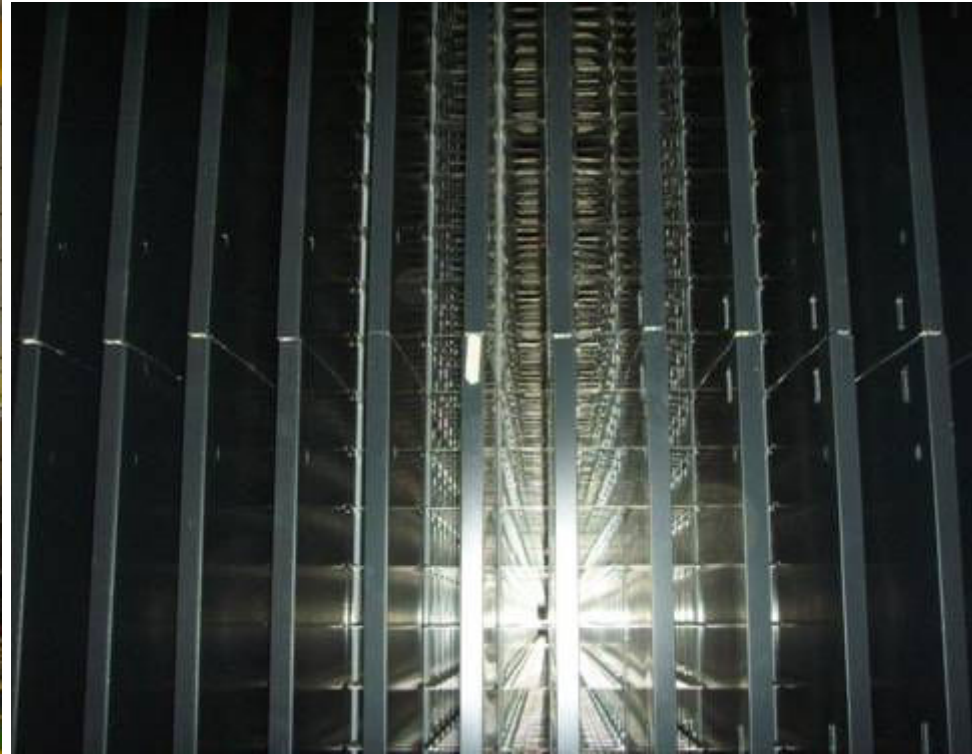
Struttura Antisismica

Base magnete 2

Assemblaggio del Magnete in sala C, Settembre 2003



OPERA a Giugno 2006



I rivelatori elettronici in numeri & figure

5900 m² scintillatore plastico - 3050 m² RPC (Resistive Plate Chambers)
8064 7m di tubi a drift - ~2000 tons di Fe

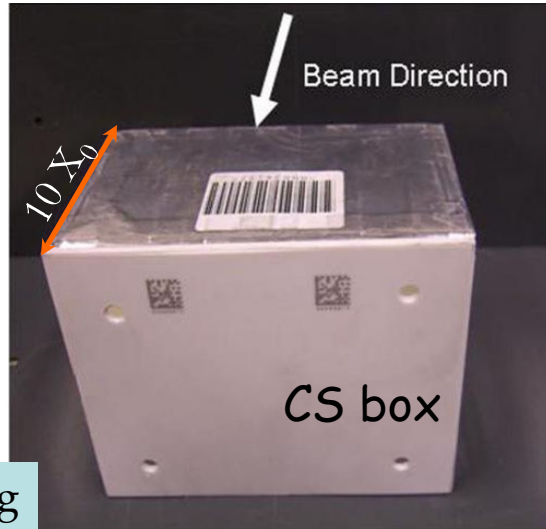
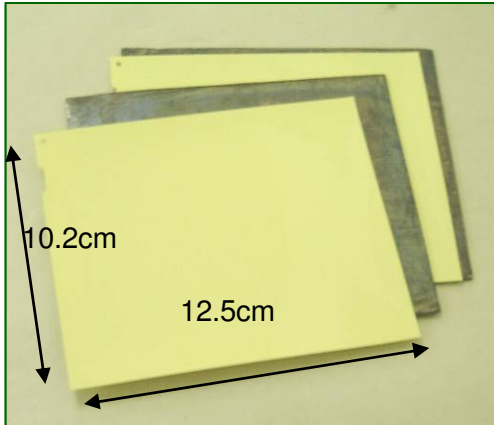


Il "mattoncino" per vedere il Tau

OPERA ECC:

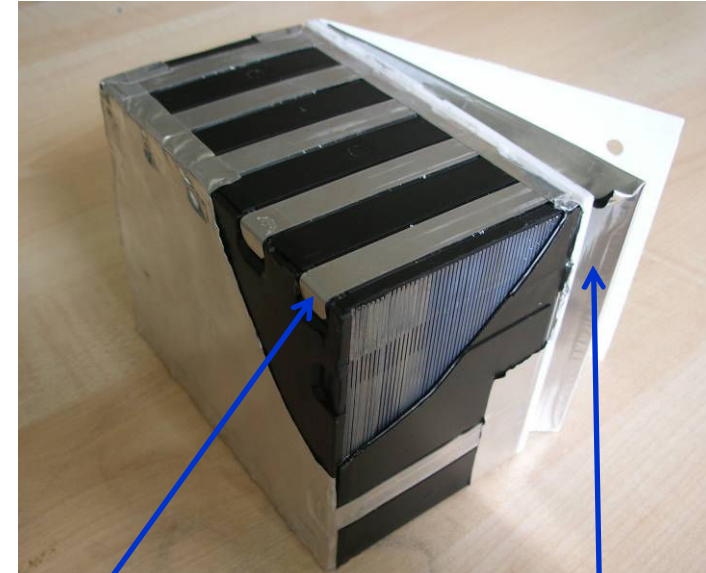
Fogli di piombi di spessore 1mm intervallati da fogli di emulsioni nucleari industriali (2 strati di emulsione di 44 μm su una base plastica di 205 μm)

Precisione di ricostruzione della traccia di : $\Delta x \approx 1 \mu\text{m}$ $\Delta \theta \approx 1 \text{ mrad}$



8,3 Kg

Al fine di garantire una precisione micrometrica in una massa di 1250 tonnellate, il bersaglio e' segmentato in unita' modulari dette **MATTONI**



Spider structure

Changeable Sheet Doublet (CSd) in its envelope

Un "Mattoncino":

- 57 film di emulsioni
- 56 fogli di Pb
- una scatola esterna contenente 2 fogli di emulsioni sostituibili detta **Changeable Sheets**

150 000 mattoni

~1.25 Ktons

Il "Mattoncino" permette di avere:

- ricostruzione del vertice di interazione del neutrino
- ricerca delle topologie di decadimento
- misura di momento con MCS
- Identificazione degli elettroni e misura della loro energia

Produzione mattoni



**BAM: un'industria
sotterranea con robotica
in camera oscura e pulita**



- 12 10^6 emulsioni & fogli di Pb
- 150 000 da produrre
- ritmo : 700/giorno

**14 mesi in totale
Per riempire il rivelatore**



Inserimento Estrazione e sviluppo mattoni

Sistema di inserimento/estrazione mattoni

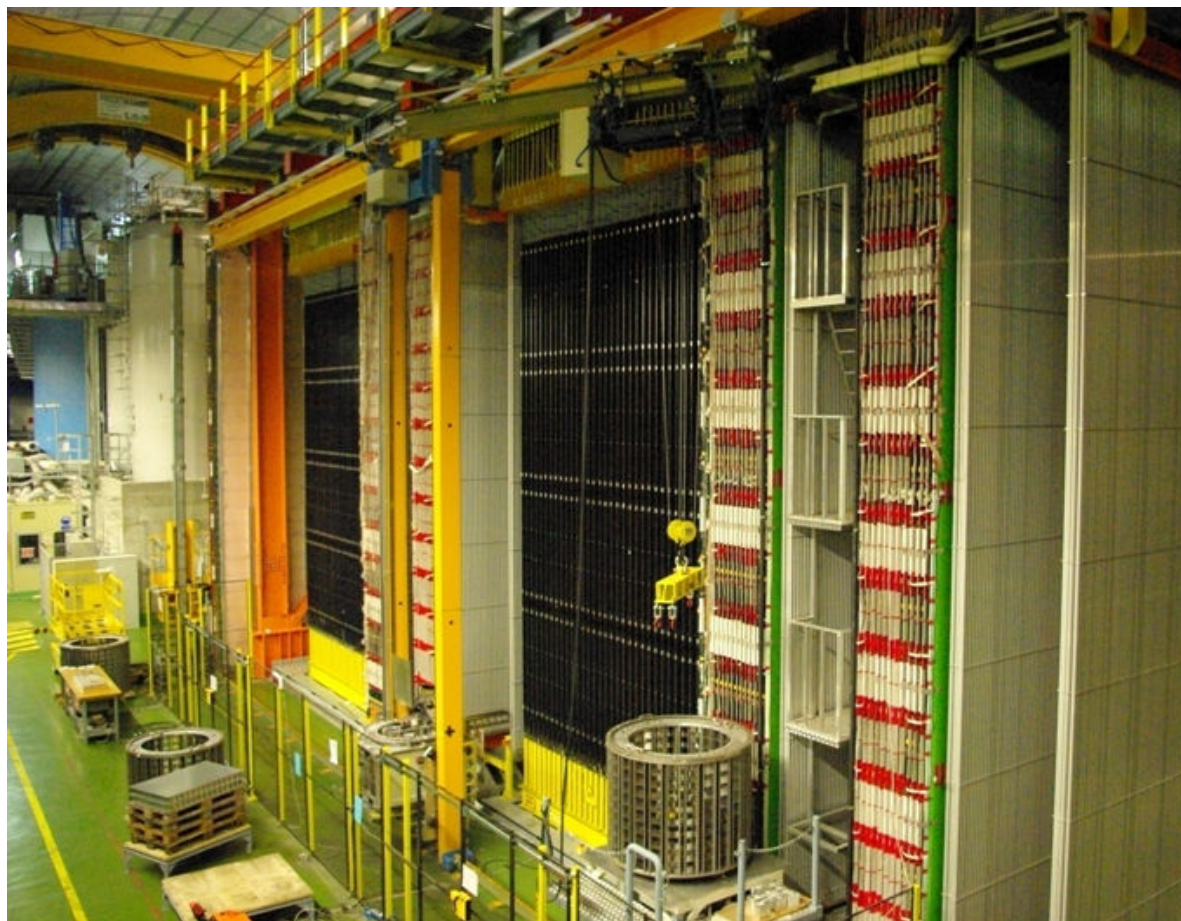


Veicolo con Ventosa



Laboratorio di sviluppo emulsioni





Brick Assembly Machine

5 stazioni di impilaggio (robots);
~700 bricks/day

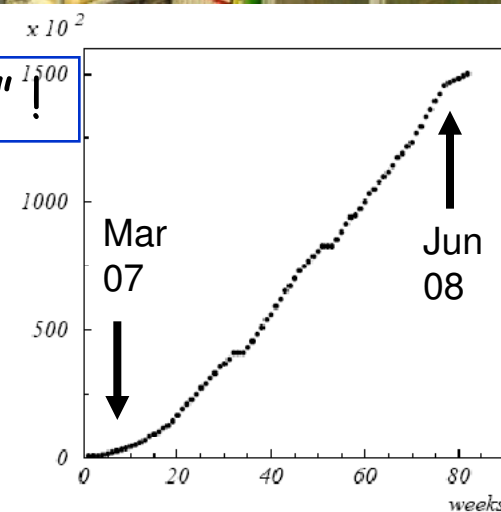


Brick Manipulator System

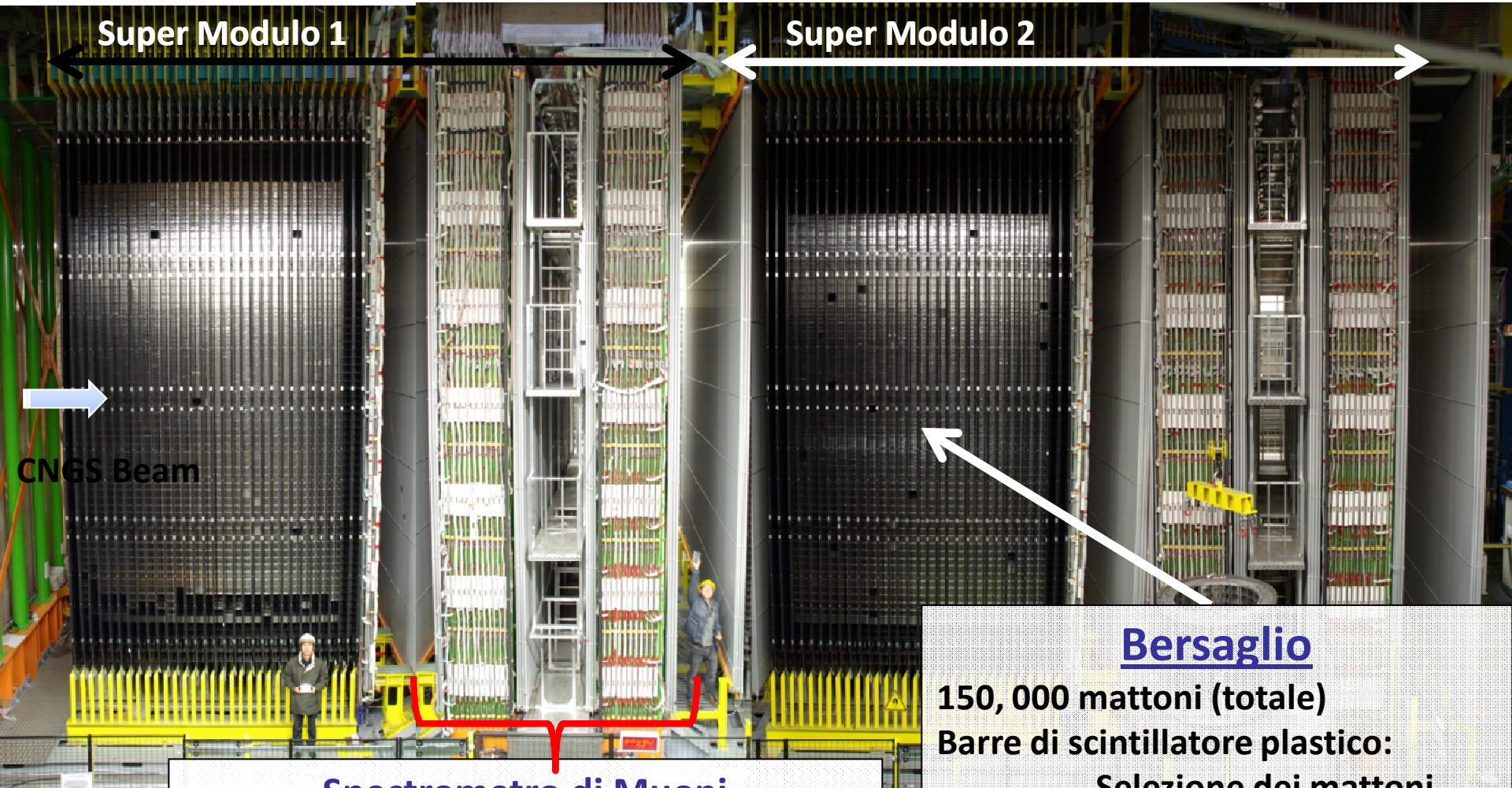
Un robot per ogni lato del rivelatore

Un'impresa molto "pesante"!

150036 mattoni prodotti e inseriti nel rivelatore



OPERA in Sala C a Giugno '08



Super Modulo 1

Super Modulo 2

CNGS Beam

Bersaglio

150, 000 mattoni (totale)

Barre di scintillatore plastico:

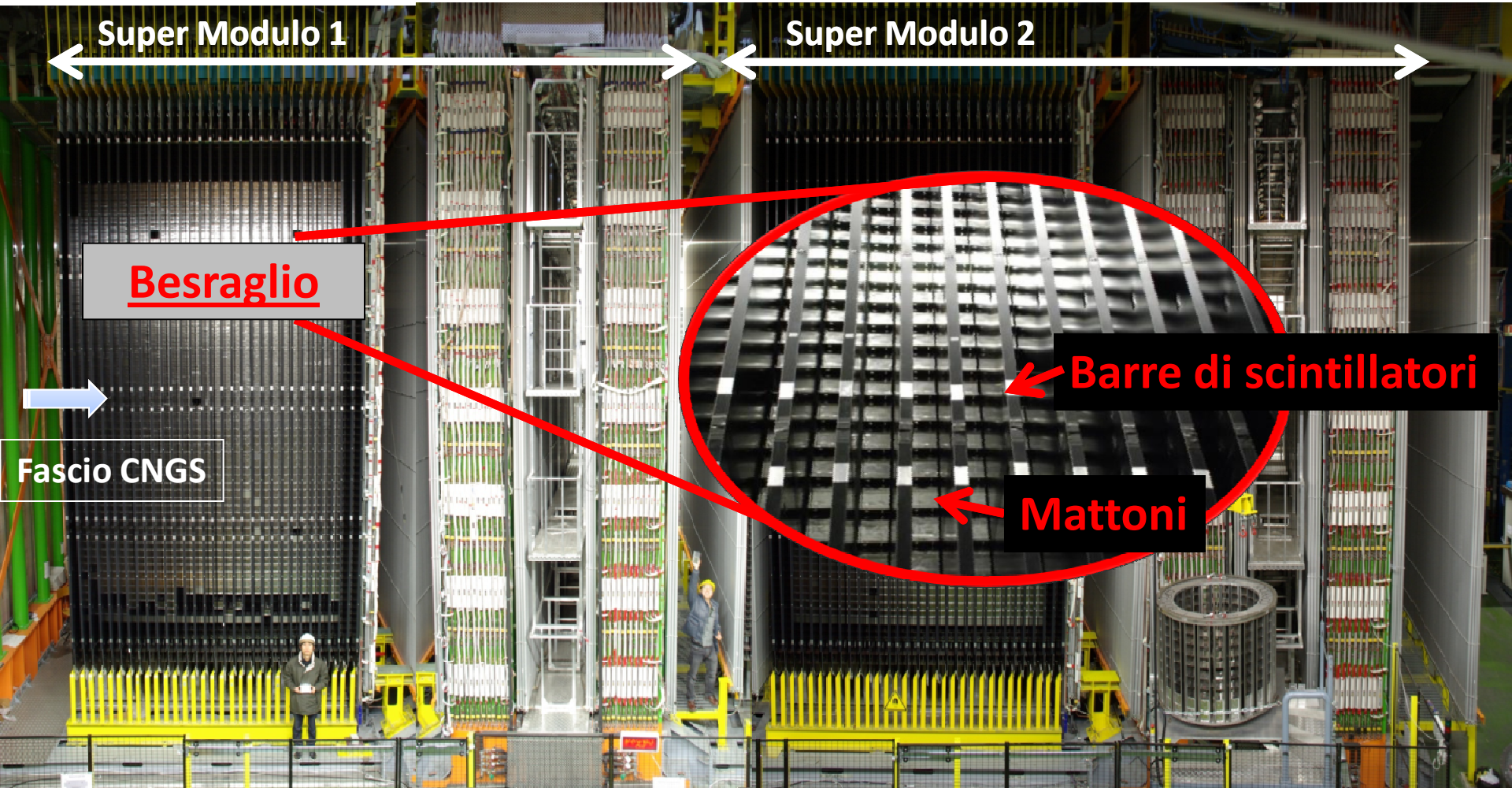
Selezione dei mattoni

Misure calorimetriche

Spectrometro di Muoni

Per identificazione del momento e della carica delle particelle penetranti

OPERA in Sala C a Giugno '08



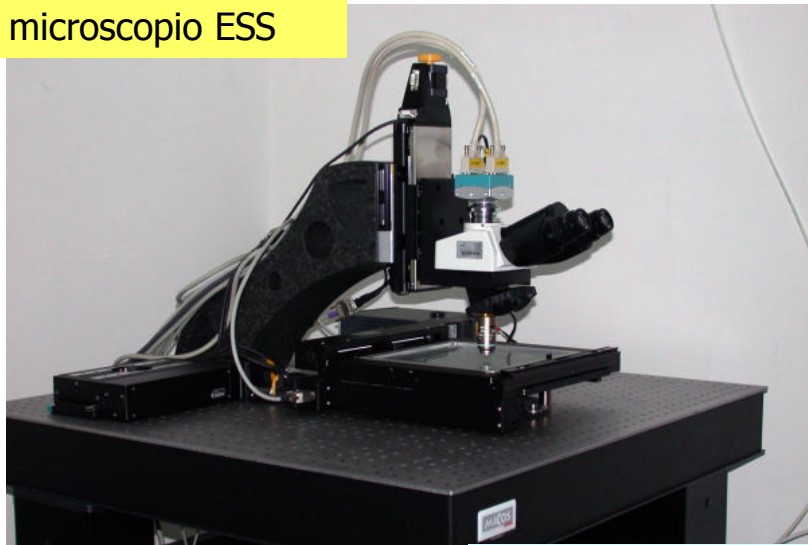
Scansione automatica delle emulsioni nucleari

La scansione di CS e mattoni e' condivisa tra vari laboratori in :

Europa

Scansione mattoni : 8 labs in Italia, 1 lab. in Svizzera
Centro di Scansione di CS: LNGS

microscopio ESS



CMOS camera

Velocita' di scansione 20 cm²/h

Hardware interamente commerciale
Algoritmi software sviluppati in casa

Giappone

Scansione mattoni : 2 labs
Centro di scansione CS: Nagoya

Microscopio S-UTS



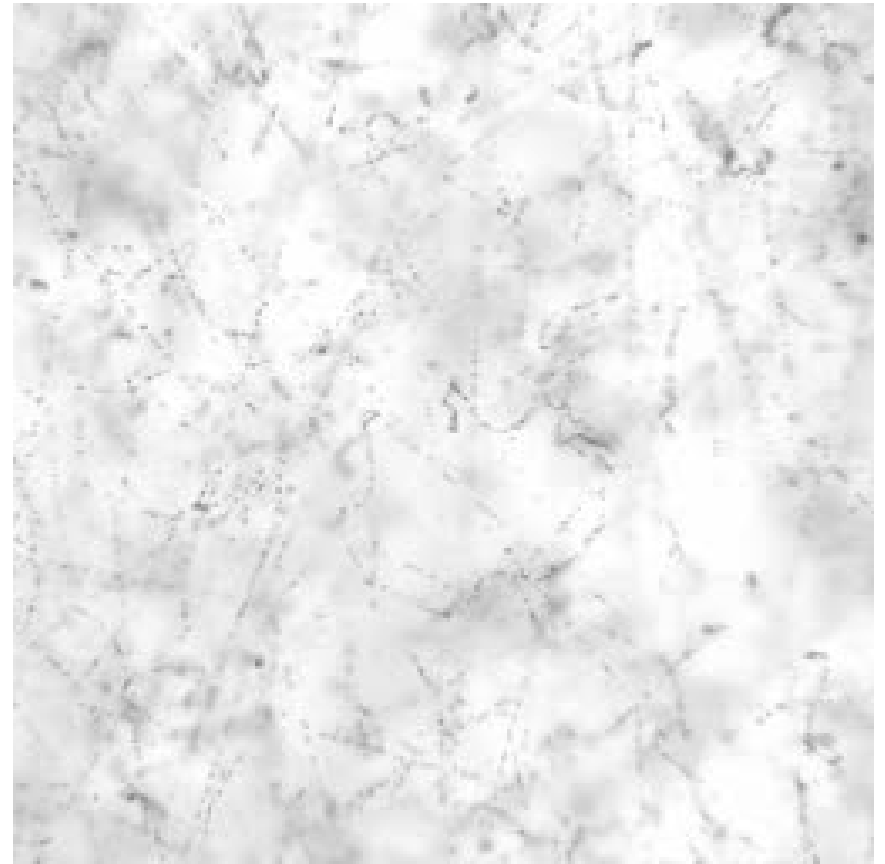
Telecamera CCD ad alta velocita' (3 kHz)

Obiettivi con controllo piezoelettrico delle lenti

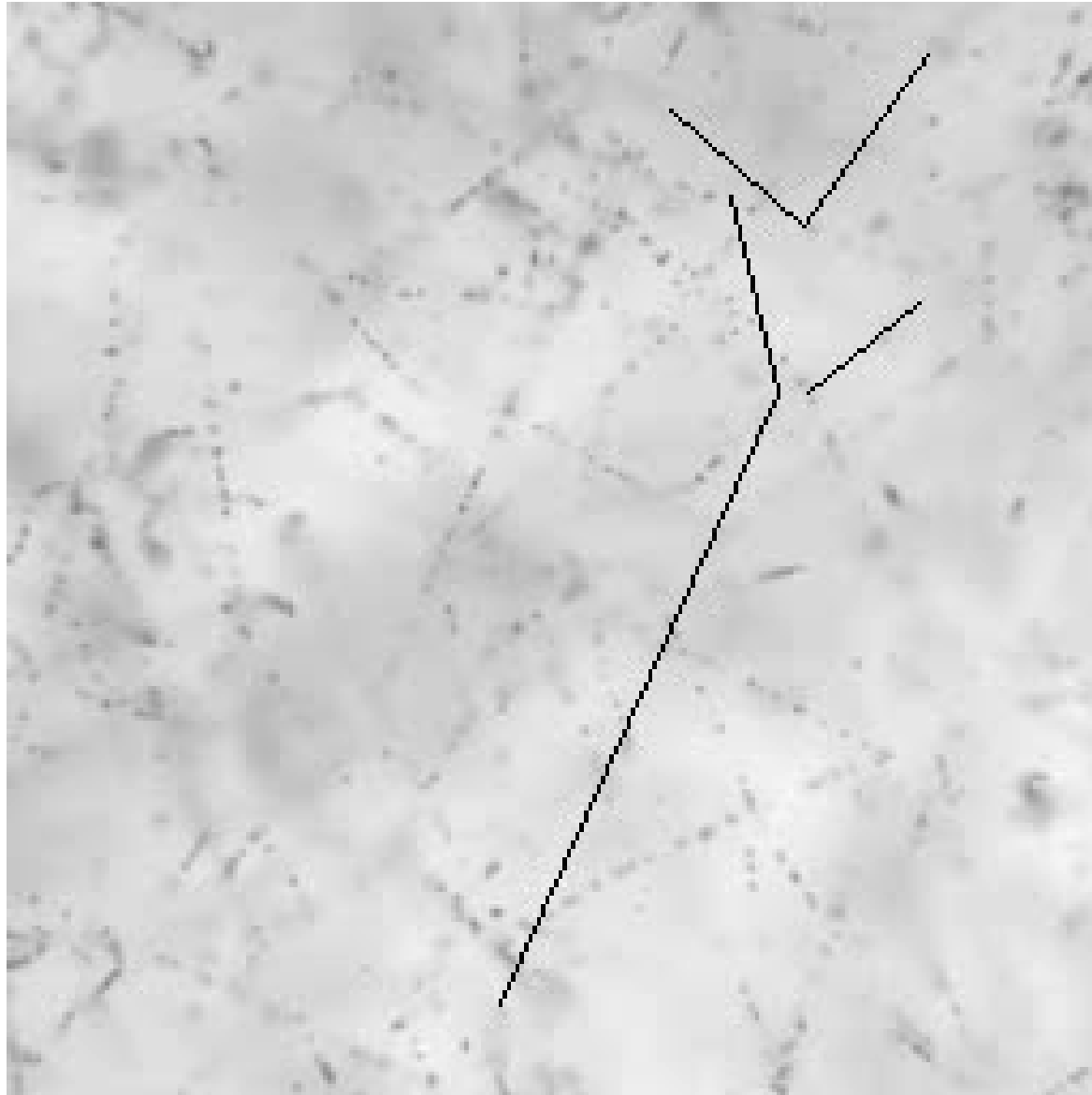
Velocita' di scansione fino a 75 cm²/h

Algoritmi implementati in parte hardware e utilizzo di meccanica custom

Esempi di scansione automatica delle emulsioni nucleari

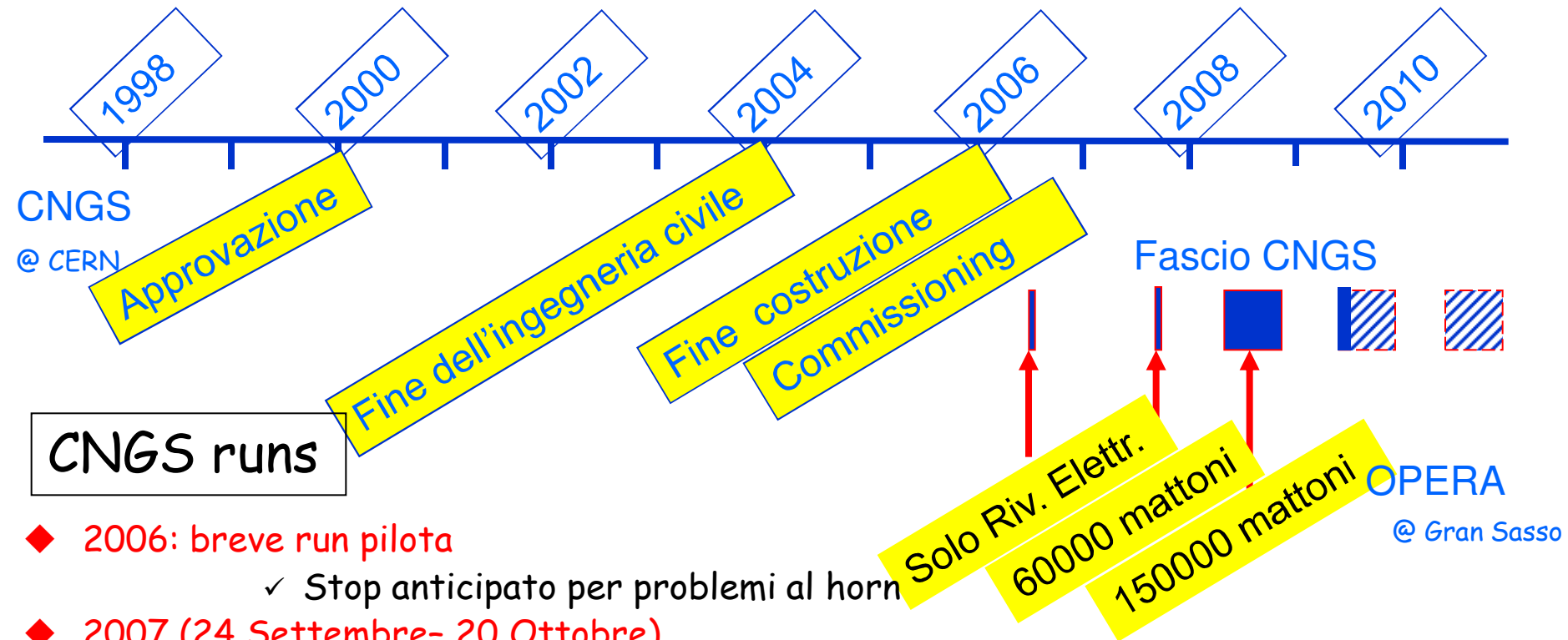


Esempi di scansione automatica delle emulsioni nucleari





I primi risultati

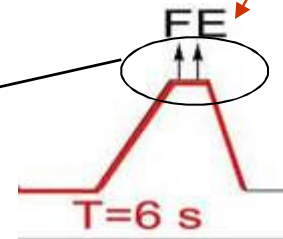
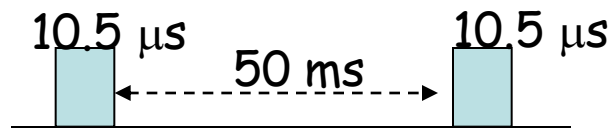
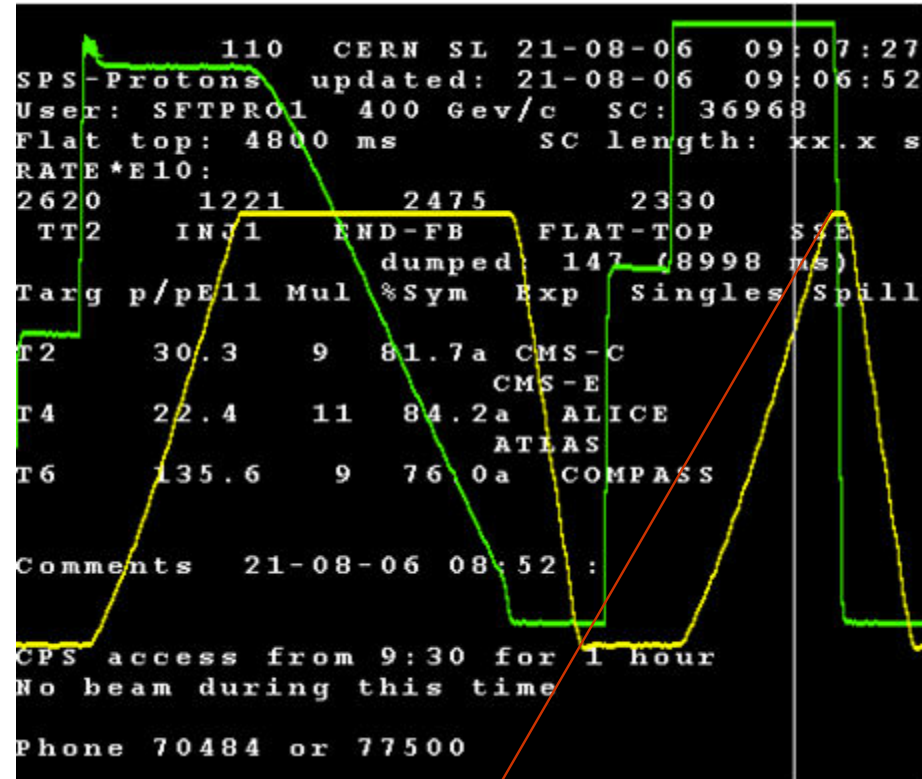
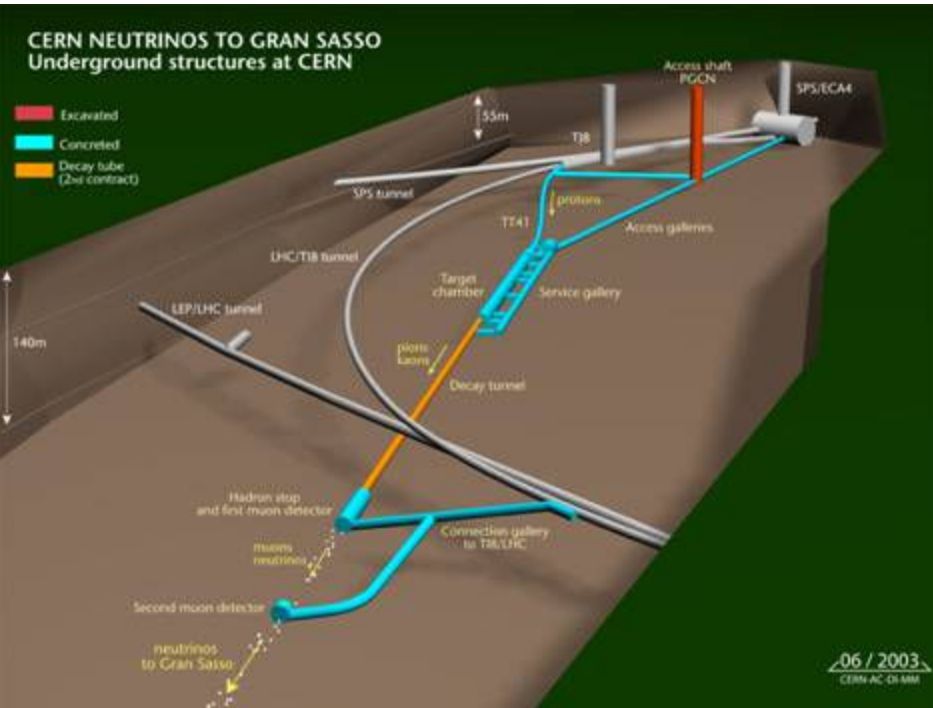


CNGS runs

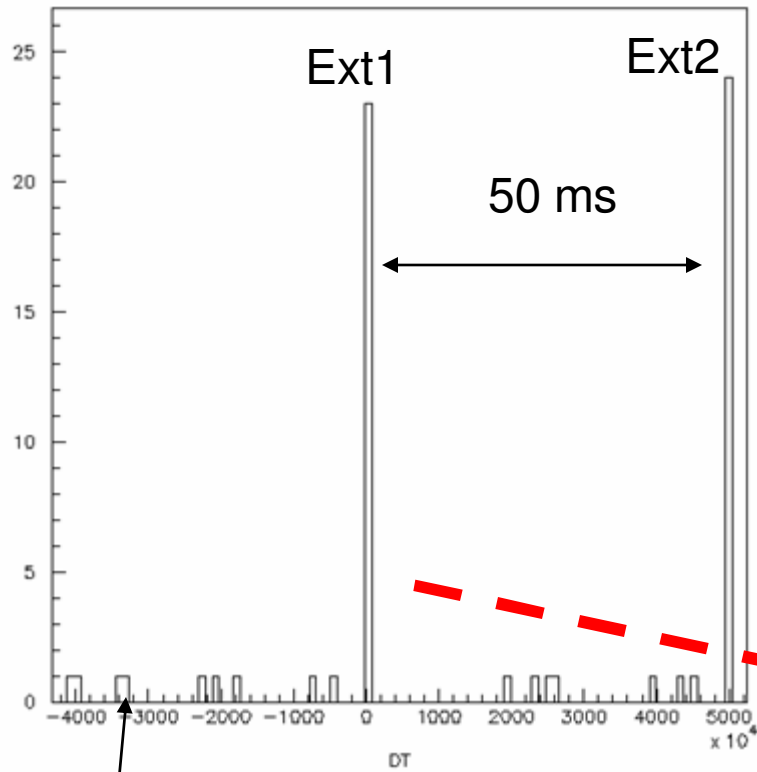
- ◆ 2006: **breve run pilota**
 - ✓ Stop anticipato per problemi al horn
- ◆ 2007 (24 Settembre- 20 Ottobre)
 - ✓ 0.08×10^{19} pot. Solo ~3.6 giorni nominali. Stop dovuto a problemi di schermo radiazioni al sito CNGS
 - ✓ 38 eventi nei mattoni
- ◆ 2008 (18 Giugno - 3 Novembre)
 - ✓ 1.782×10^{19} pot
 - ✓ ~1700 eventi nei mattoni
 - ✓ 0.7τ eventi (attesi)
- ◆ 2009 (1 Giugno - in atto)
 - ✓ Ottima partenza, estrapolazione attuale 3.2×10^{19} pot.
 - ✓ Richiesta nominale: 4.5×10^{19} pot

2008 primo vero anno di run lungo, anche se con bassa efficienza iniziale del fascio CNGS

Agosto 2006 : Primi neutrini del CNGS registrati in rivelatori elettronici!

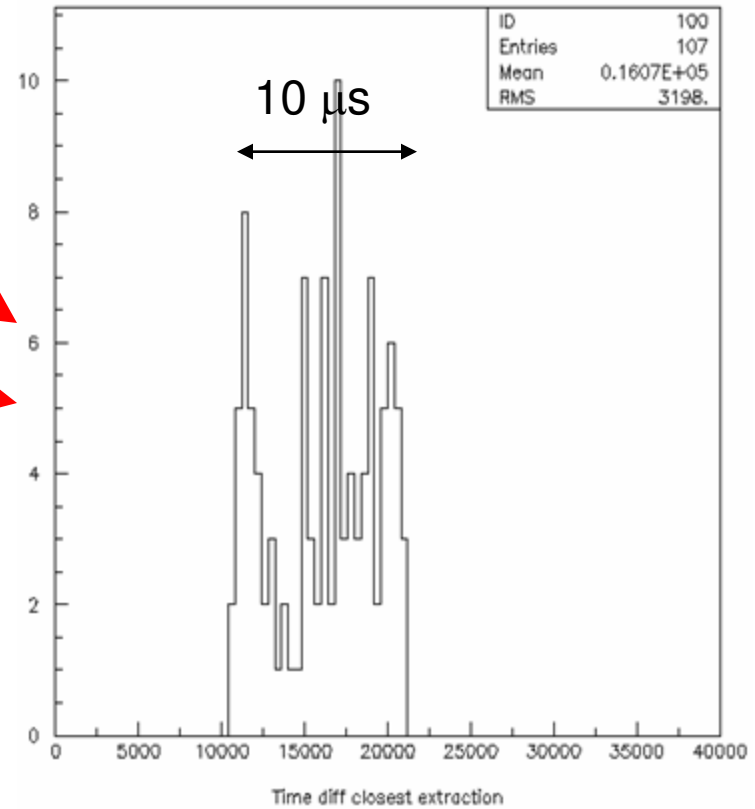


Eventi selezionati utilizzando informazioni tremite temporizzazione GPS



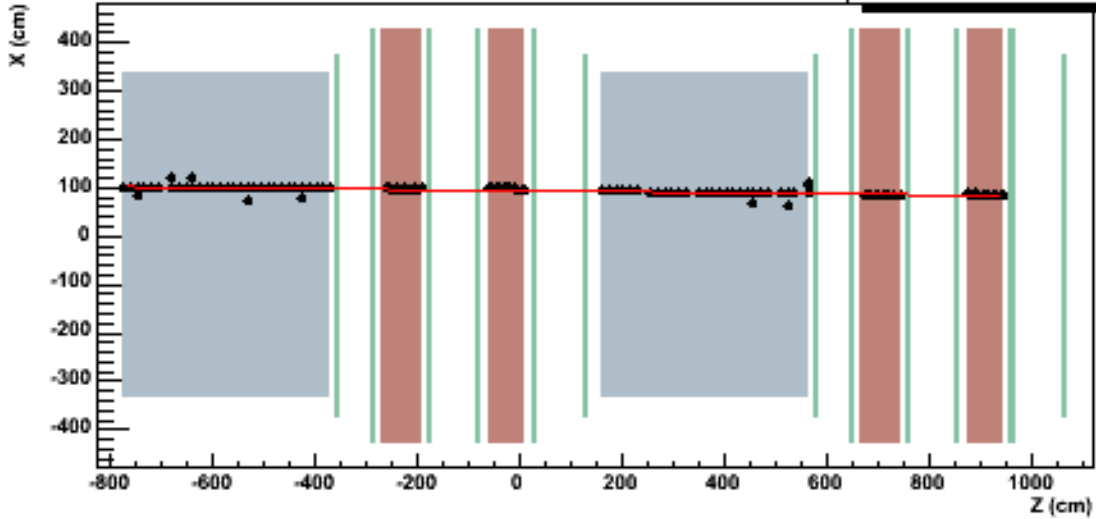
Eventi prodotti da raggi cosmici
(fuori tempo rispetto al fascio)

Zoom su singolo picco di estrazione

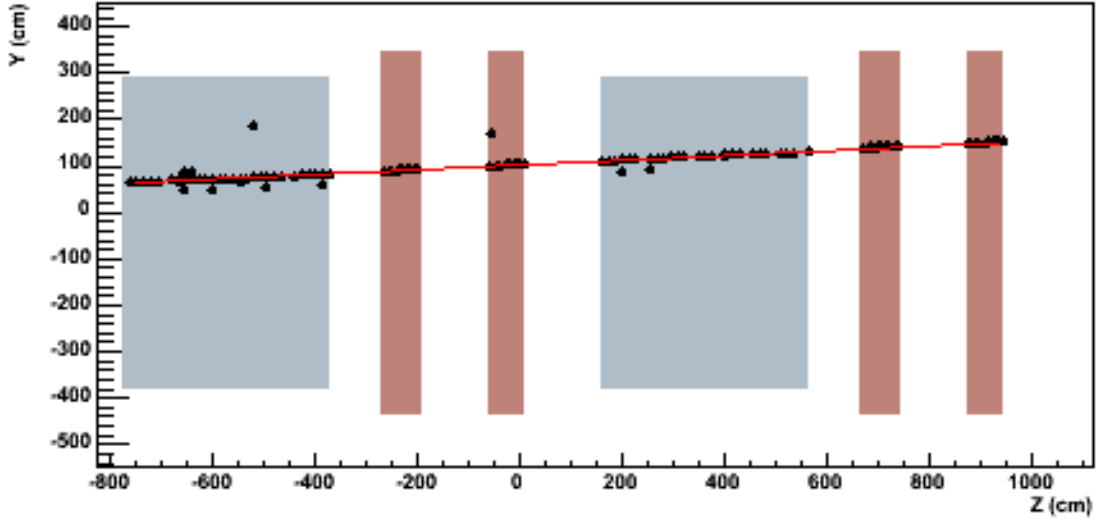


Event Number 709821

horizontal projection

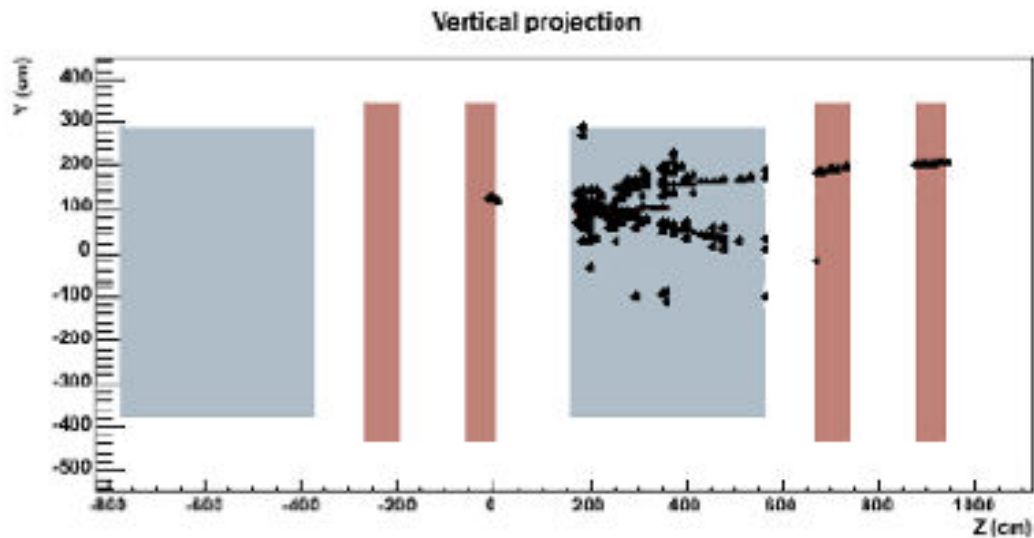
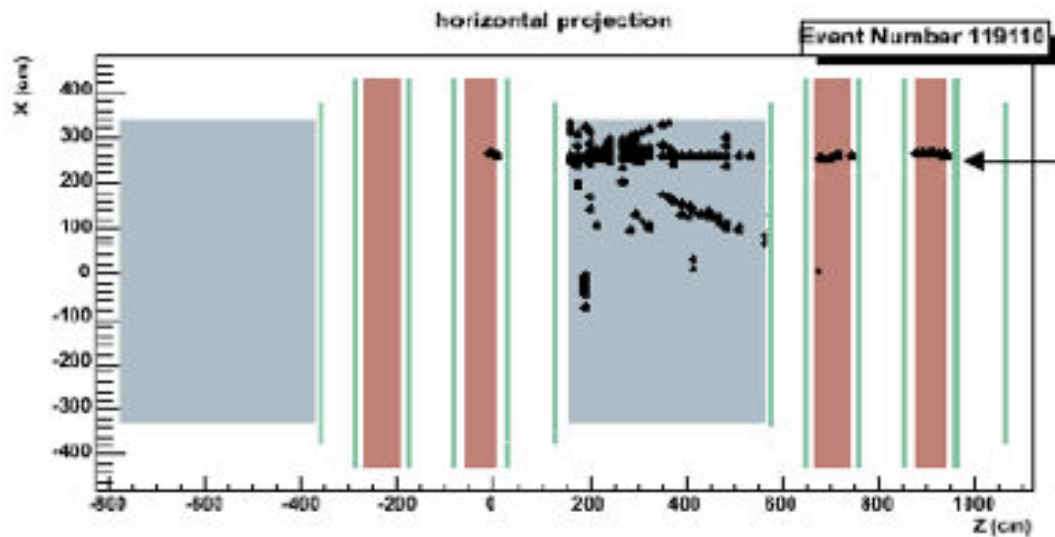


Vertical projection



Agosto
2006:
Il primo
evento
correlato
col CNGS

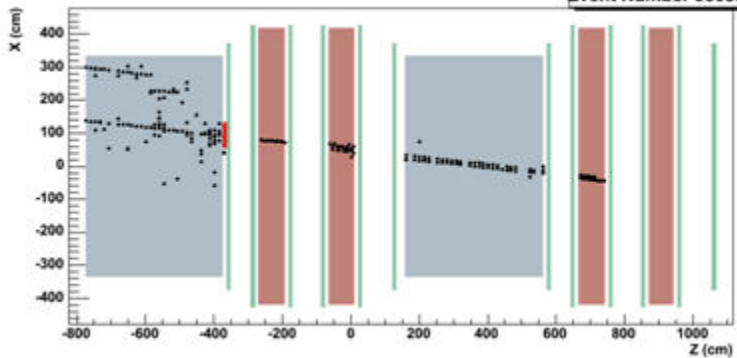
Evento provocato da
interazioni in materiale
antistante OPERA (roccia,
rivelatore Borexino)



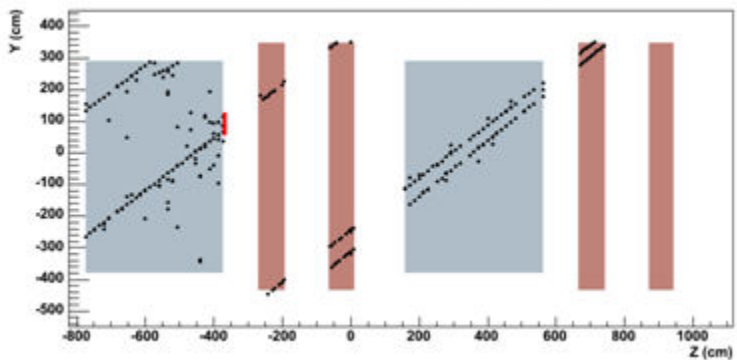
Agosto 2006:
Il primo evento
nel magnete

TOP VIEW (horizontal projection)

Event Number 93038



SIDE VIEW (Vertical projection)

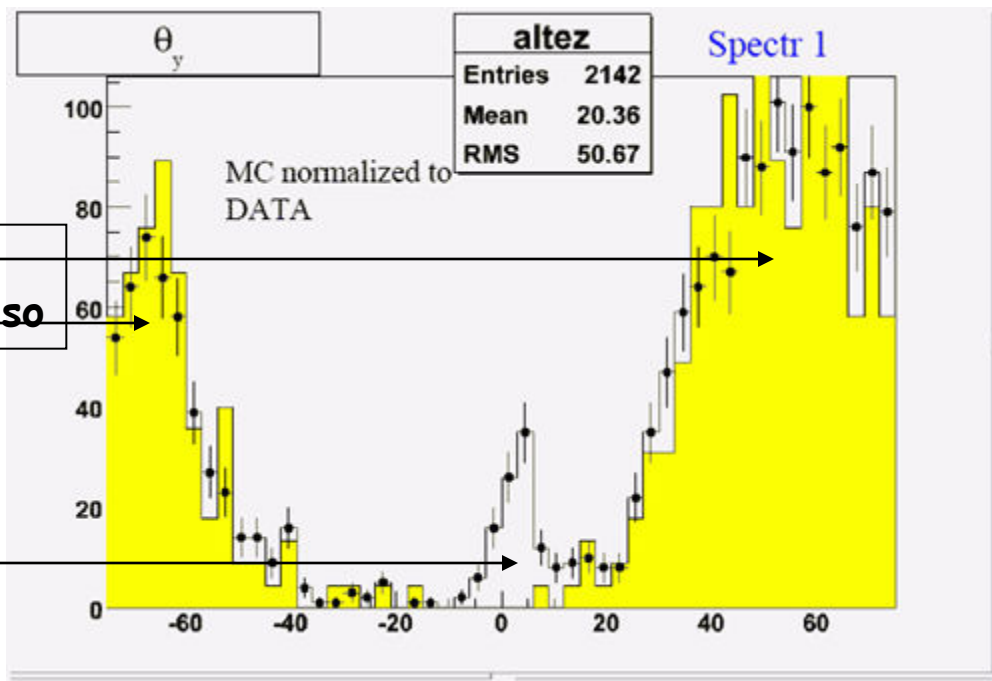


Sciami di muoni da raggi cosmici

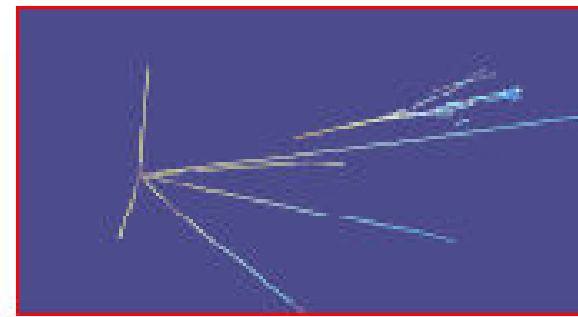
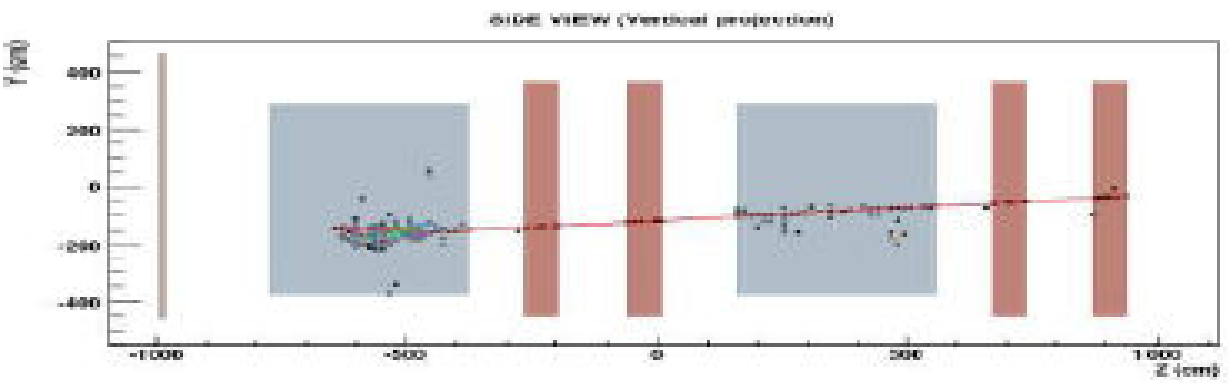
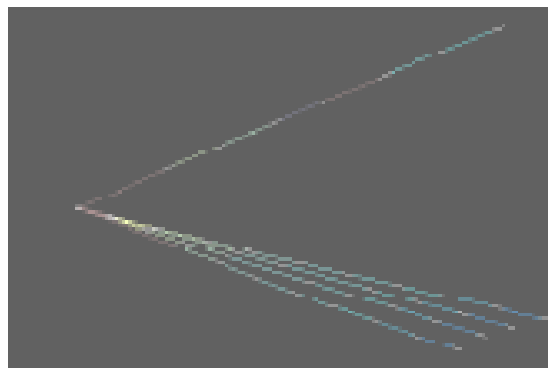
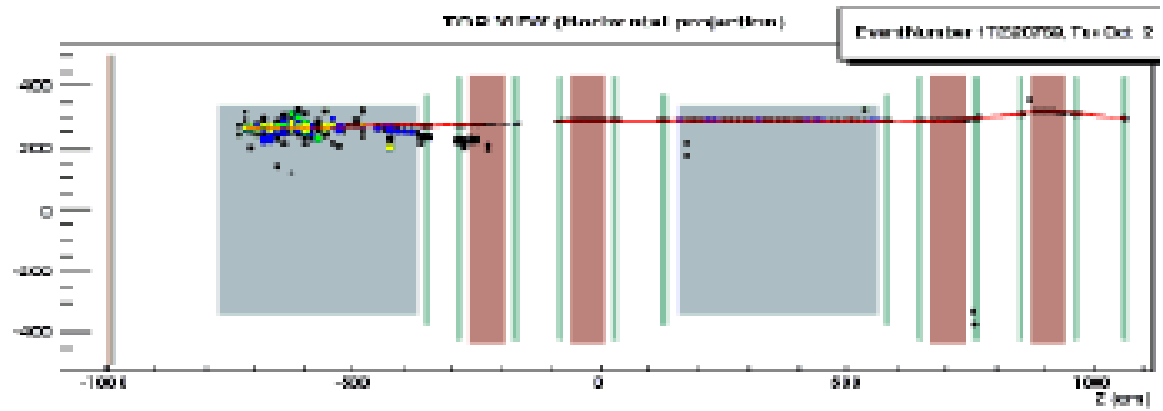
Gli eventi dati dai raggi cosmici sono selezionabili anche basandosi solo sulla topologia

Eventi da raggi cosmici: maggiormente dall'alto verso il basso

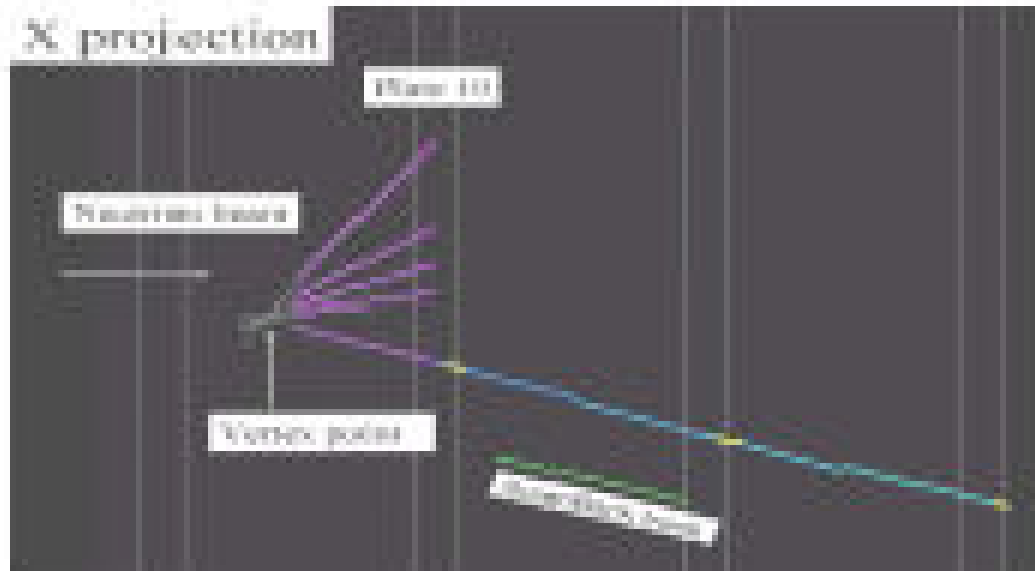
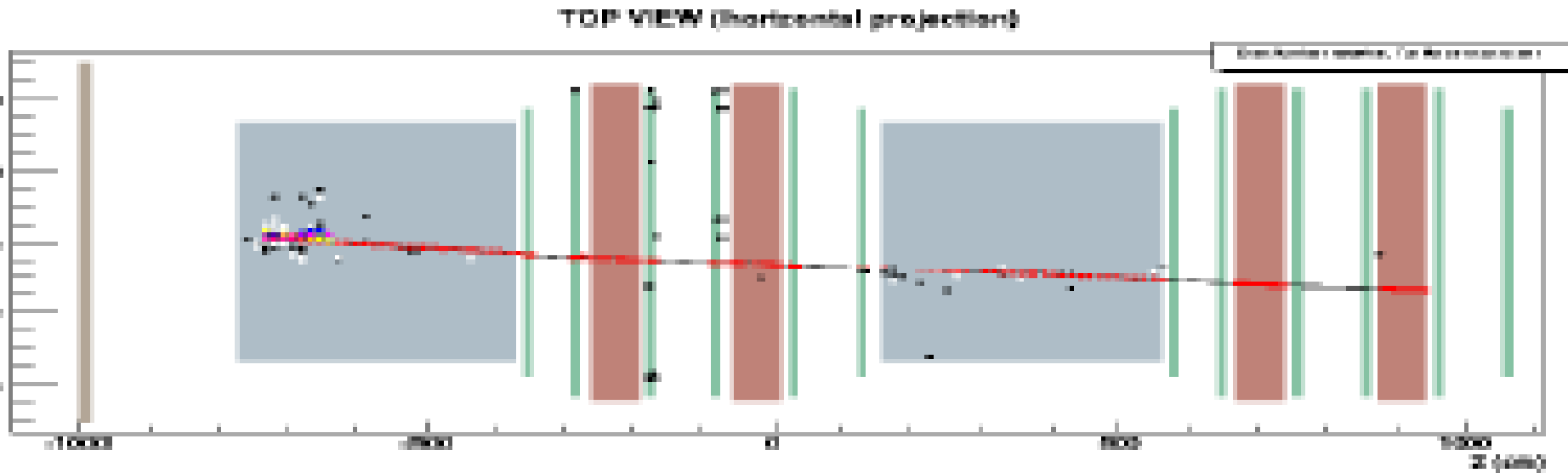
Eventi da fascio: ~tracce orizzontali



Ott 2007: Ricostruzione evento in un mattone

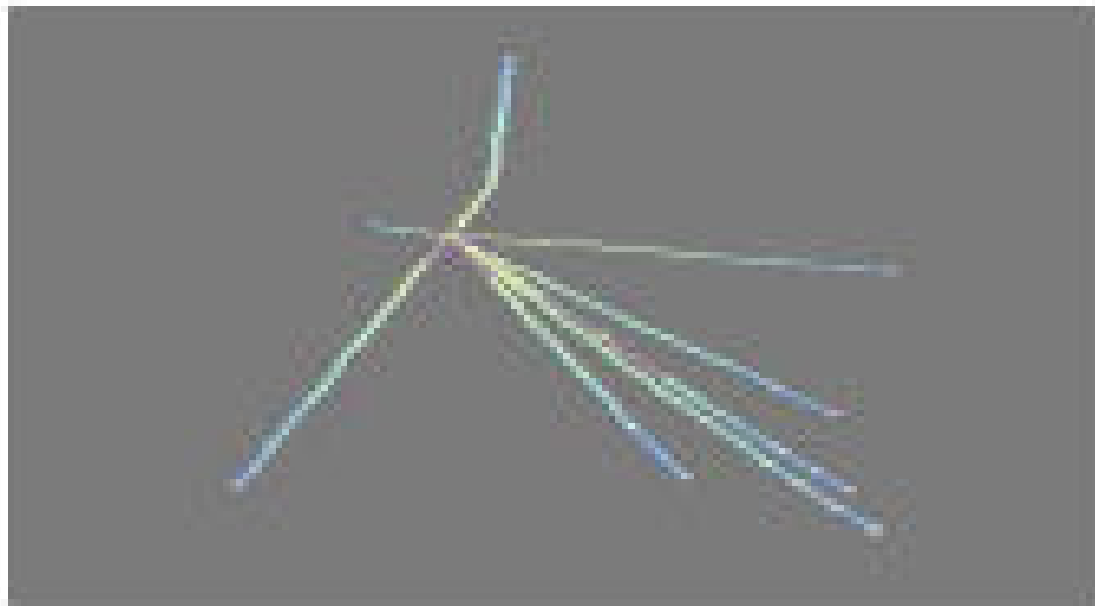
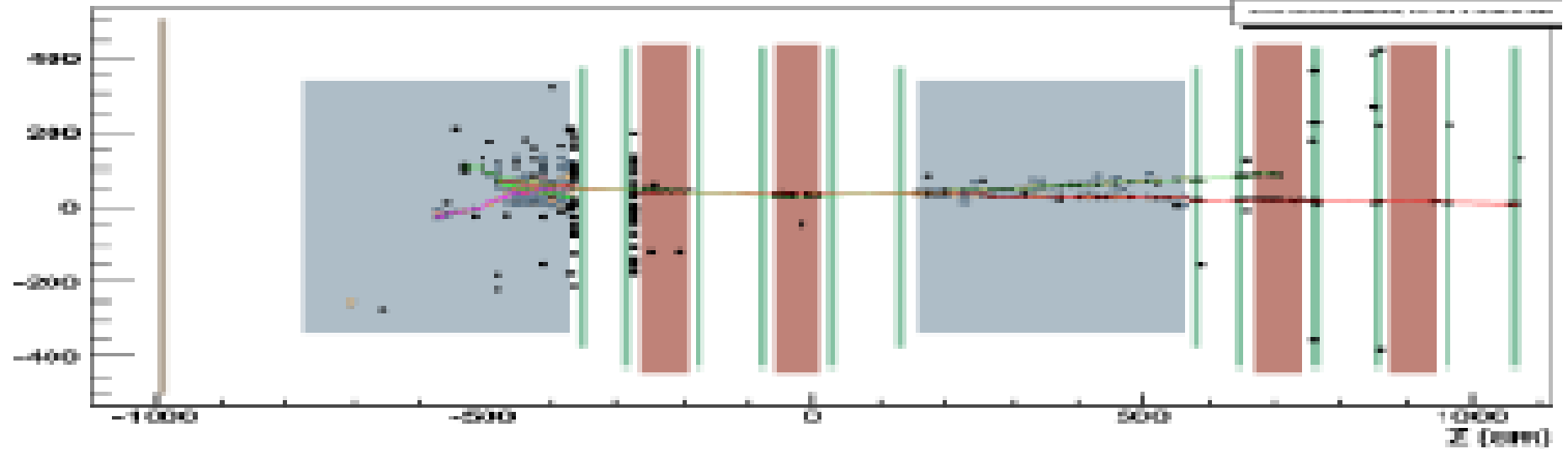


Ott 2007: Ricostruzione evento in un mattone

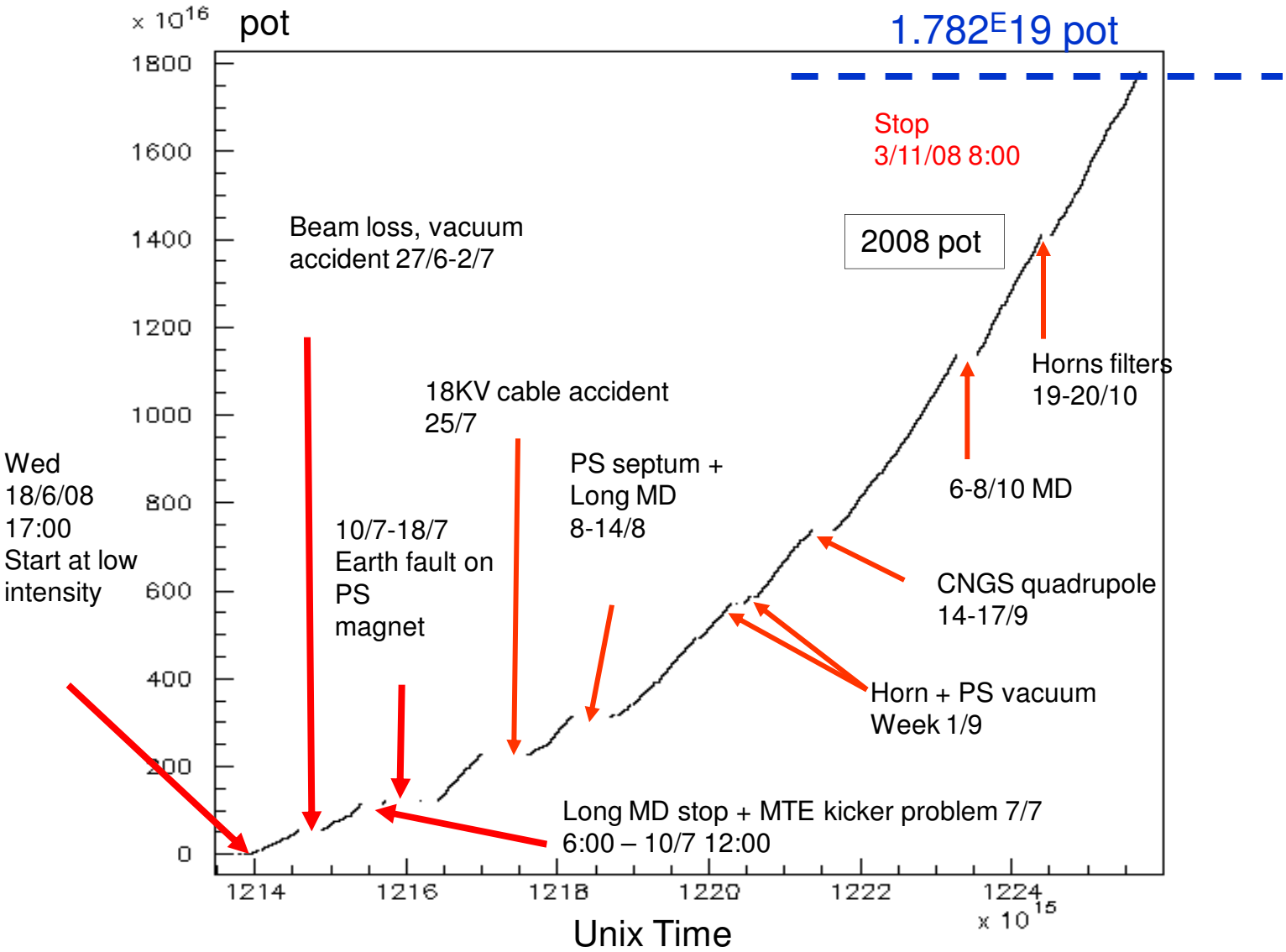


Ott 2007: Ricostruzione evento in un mattone

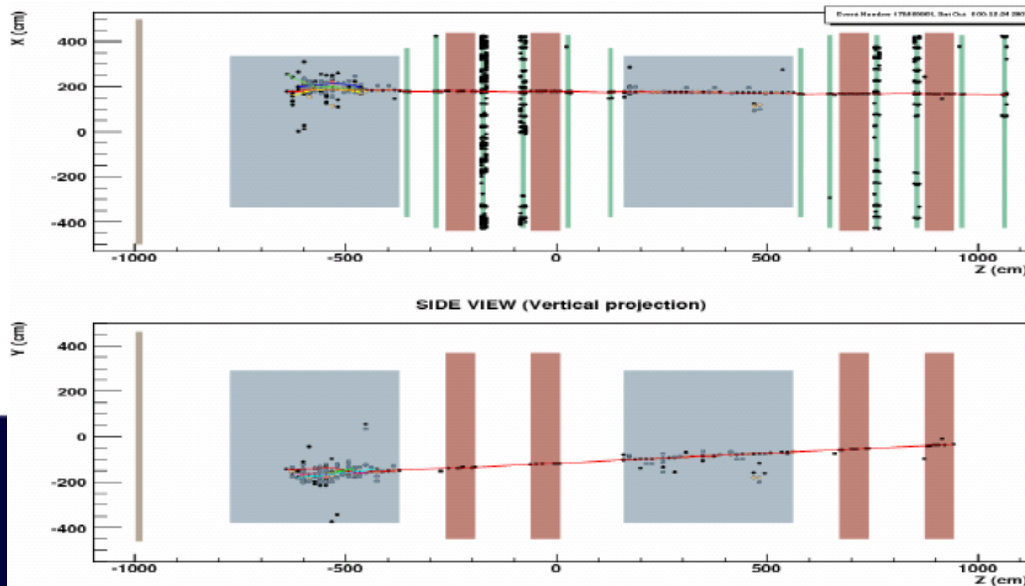
TOP VIEW (Horizontal projection)



CNGS run 2008



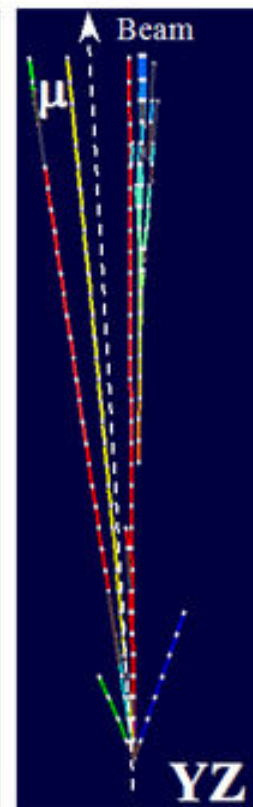
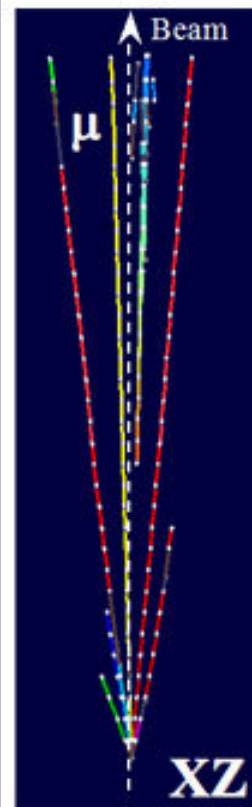
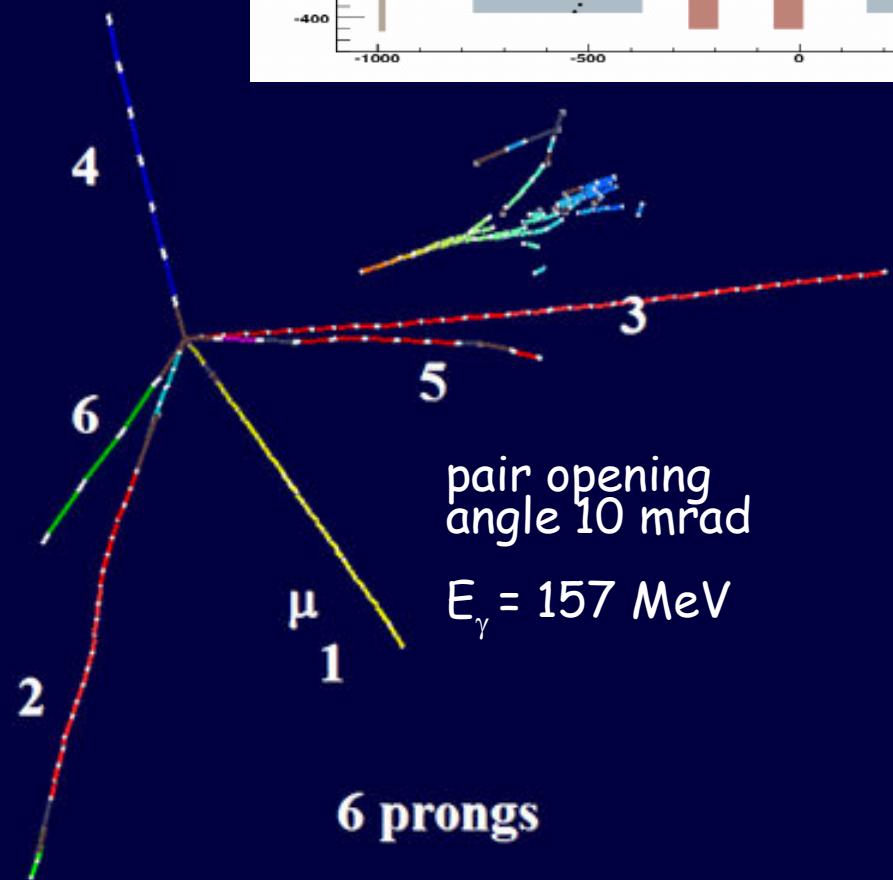
RUN 2008:
Un evento di ν_μ CC



XY

ECC level

low p track



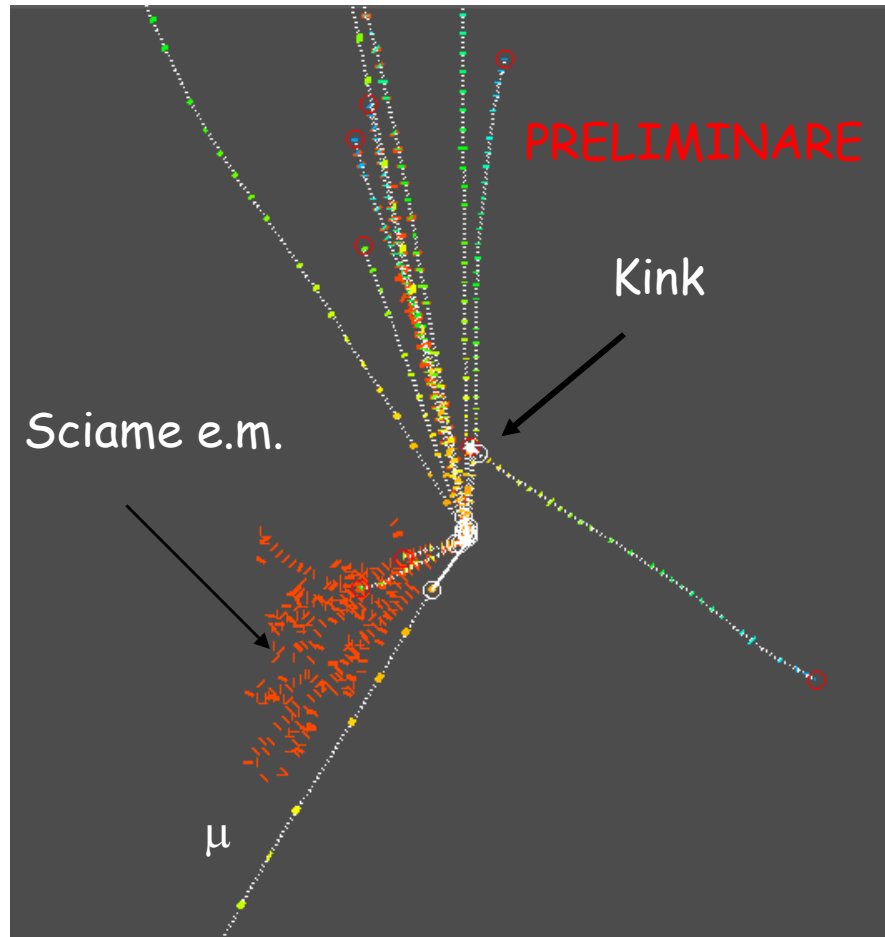
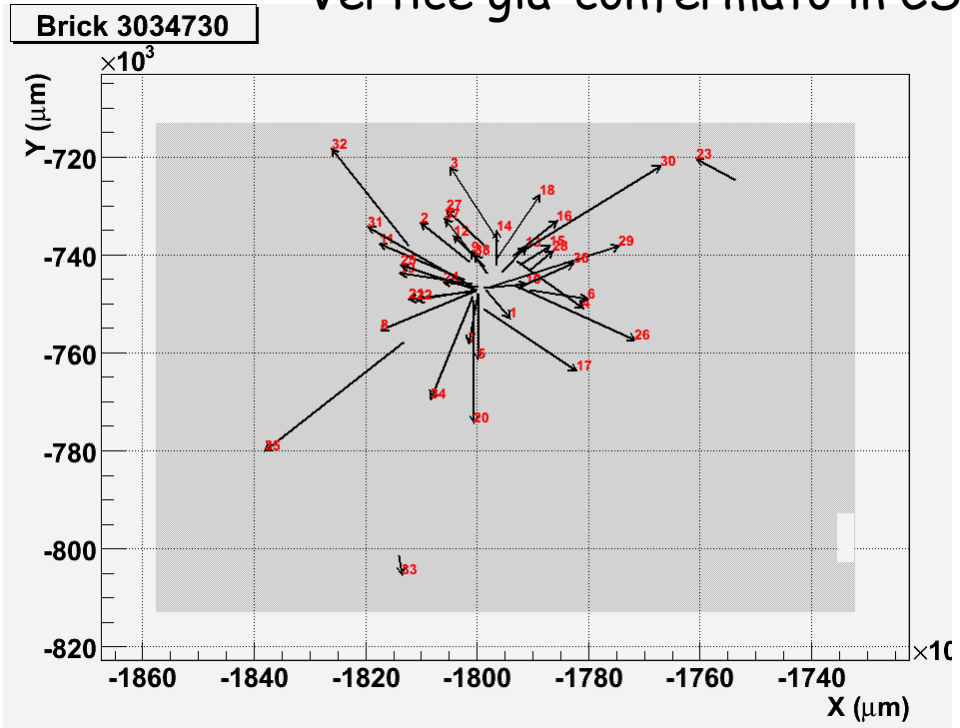
Studi di decadimenti

Svariati eventi di charm (con kink) sono stati individuati. Il loro studio e in atto.

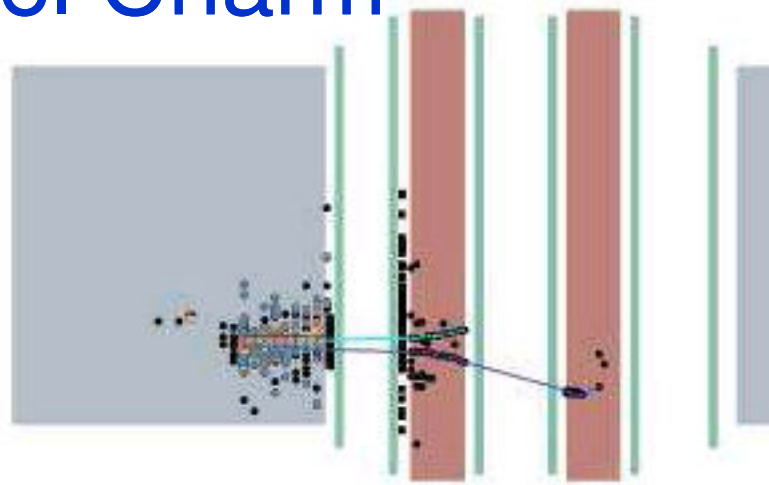
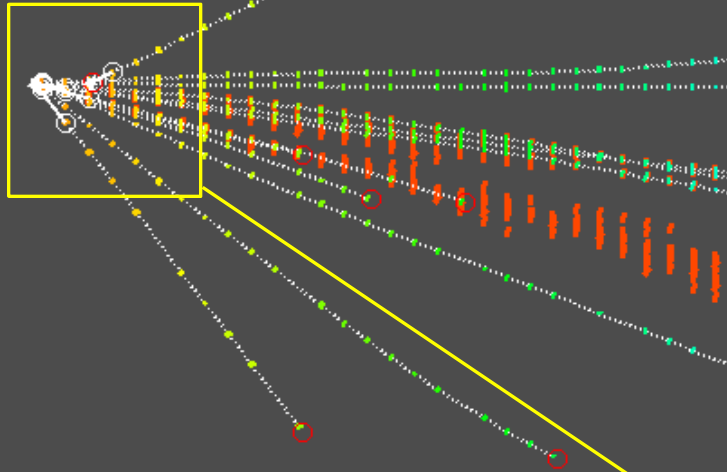
Un evento charm



Vertice gia' confermato in CS

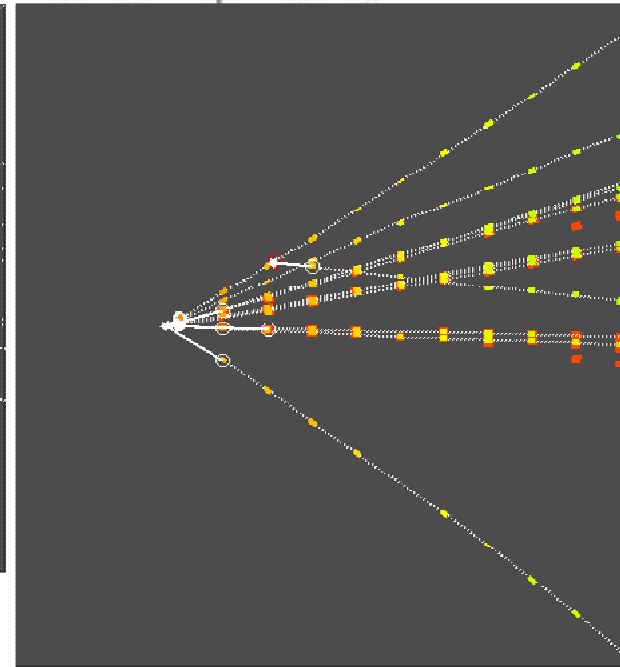
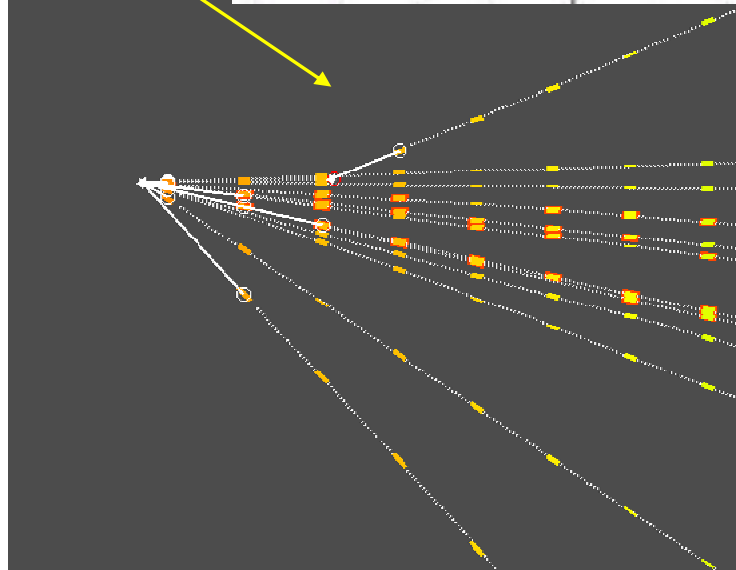


Il kink di decadimento del Charm



Vertice secondario
(decadimento a 1 prong)

Angolo di kink = 0.204 rad
Lunghezza di decadimento = $3247 \mu\text{m}$
 $p \text{ (figlia)} = 3.9^{+1.7}_{-0.9} \text{ GeV}$
 $p_t = 796 \text{ MeV}$
 $p_t^{\text{MIN}} = 606 \text{ MeV (90\% CL)}$
(probabilità $\sim 4 \cdot 10^{-4}$ per una reinterazione di adrone)



Inizio del run 2009 con il terremoto a L'Aquila

Un forte terremoto ($M_I=6.2$) ha colpito L'Aquila lo scorso 6 Aprile. L'epicentro è stato a 15 km di distanza dal LNGS.

306 morti, 1600 feriti a L'Aquila e paesi circostanti. Molte case distrutte, 15000 edifici danneggiati.

Essendo l'epicentro profondo solo 8.8 km, l'area colpita è limitata. Gli effetti del terremoto sono stati ulteriormente attenuati nella caverna sotterranea.

Solo lievi danni nel lab esterno LNGS. OPERA è stata trovata praticamente intatta. Misure effettuate da geometri hanno mostrato assenza di perdita di allineamento.

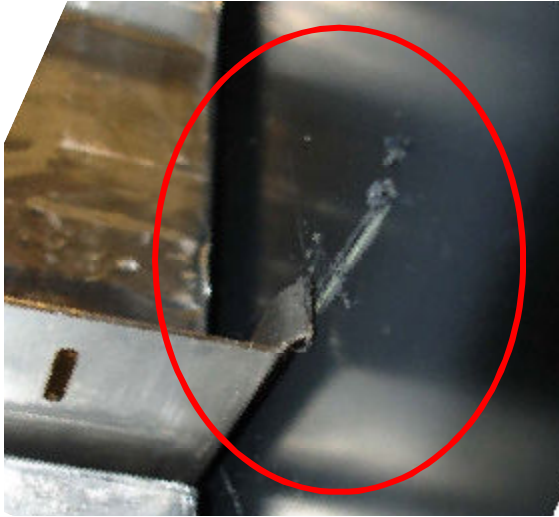
Principali difficoltà sono state per il personale LNGS. Molto difficile la ripresa delle attività dal 5 maggio (data di riapertura LNGS).

Enorme sforzo fatto dalla collaborazione OPERA per poter iniziare la presa dati 2009 con sole 2 settimane di ritardo!

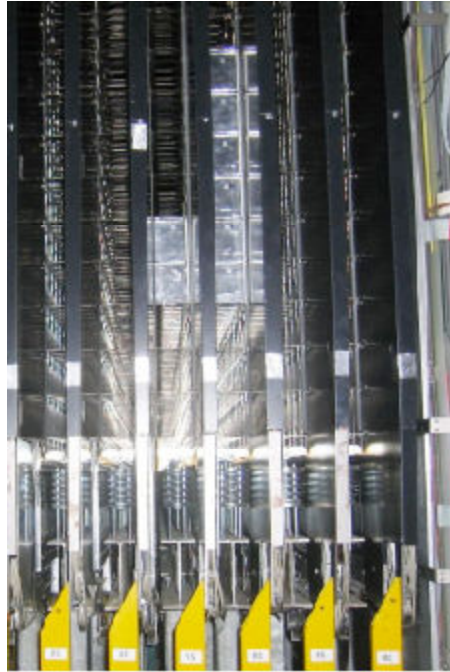
Picchi di accelerazioni:
Lab sotterraneo. 0.03 g
Lab esterno. 0.15 g
L'Aquila fino a 0.64 g



Vibrazioni su un rivelatore di 1250 ton...



I muri contenenti i mattoni e pretensionati con molle, si sono mossi con vibrazioni di ampiezza di circa 1cm



Residui di polvere metallica si sono trovati in prossimità della bobina dei magneti, provocando lievi correnti verso massa (ora curate)



Vibrazioni individuate "on-line" mediante perdite di luce degli scintillatori causate dalle deformazioni indotte nelle coperture (la presa dati NON ha smesso di funzionare !)

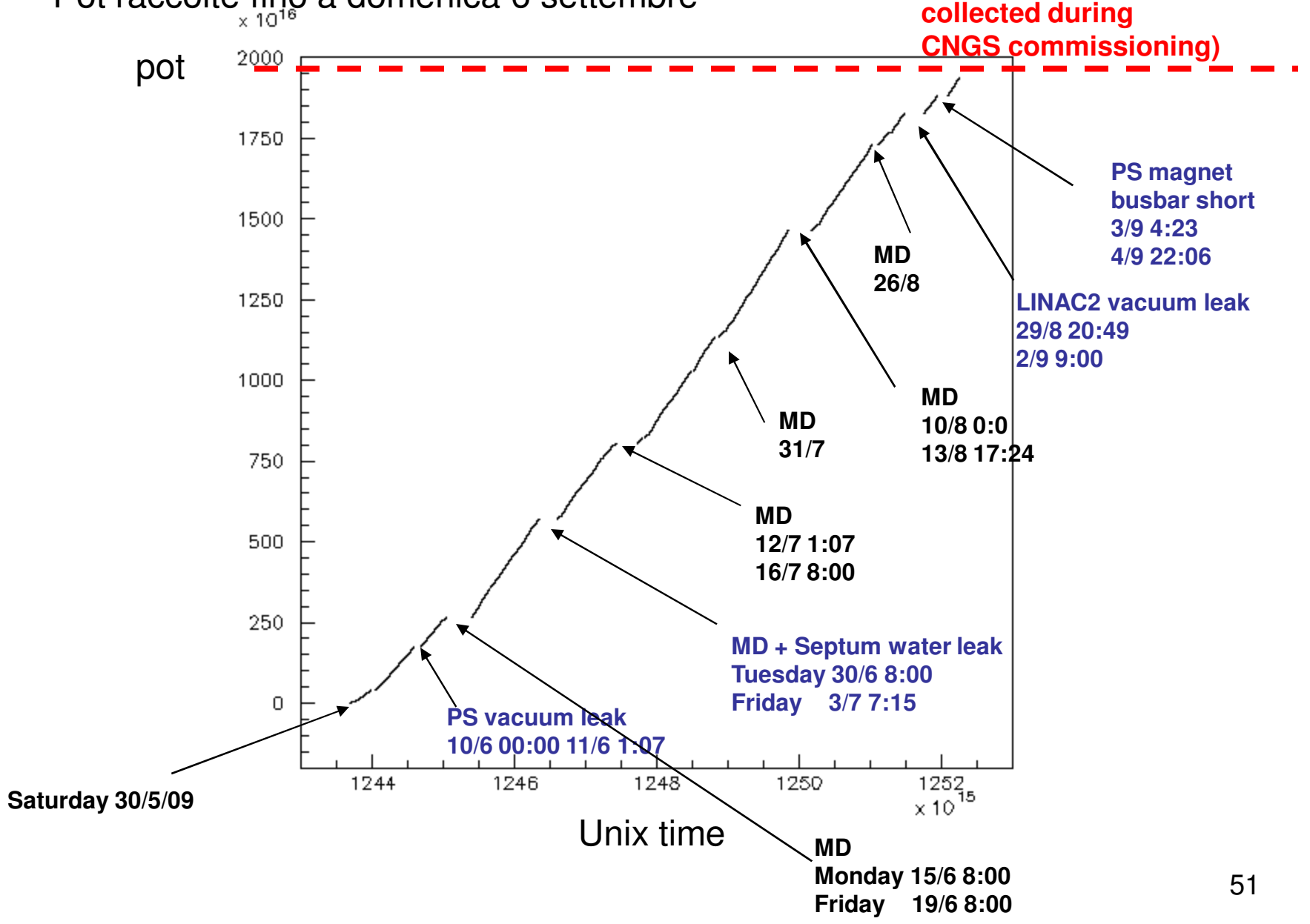
Nessun altro effetto si e' riscontrato sul rivelatore grazie alla struttura antisismica realizzata in OPERA

CNGS run 2009

Pot raccolte fino a domenica 6 settembre

1.93E19 pot

(0.173E18 pot collected during CNGS commissioning)



Conclusioni - 1

- Il rivelatore OPERA e il fascio CNGS hanno dimostrato di funzionare molto bene già dalle primissime fasi della loro attività'

Run 2006: test con rivelatori elettronici,

- I rivelatori elettronici di OPERA hanno funzionato con prestazioni nominali con meno di 24h di messa a punto !
- Più di 300 eventi di fascio sono stati registrati in 2 settimane ad Agosto 2006
- Gli eventi mostrarono subito le prestazioni nominali del rivelatore come da progetto nel 1998

Conclusioni - 2

Run 2007: primi eventi in bersaglio attivo

- Il numero di eventi atteso vs numero di neutrini inviati e' stato rispettato nella presa dati di ottobre 2007
- Tutti gli eventi sono stati correttamente localizzati nei mattoni indicati dai rivelatori elettronici
- Tutti i vertici degli eventi sono stati ricostruiti nei mattoni con l'individuazione anche di un evento di topologia simile a quella del tau (evento di charm)
- OPERA ha gia' raggiunto un'importante risultato dal punto di vista ingegneristico: bersaglio di 1250 ton con precisioni di tracciamento del micron, capace di vedere kink simili a quelli dei tau

Conclusioni - 3

Run 2008: 1700 eventi in bersaglio attivo

- Anche in questo caso il numero di eventi atteso vs numero di neutrini inviati e' stato rispettato nella presa dati
- 1000 eventi sono stati correttamente localizzati nei mattoni indicati dai rivelatori elettronici, gli altri sono in fase di analisi, ritardata dal sisma in l'Aquila

Prossima puntata : La presa dati del 2009 con i primi eventi di neutrino tau (2 attesi) e la conferma delle oscillazioni di neutrino !!!