

# Progetto DUNE

Sandro Palestini - 17/10/2024

# Neutrinos in the European Strategy for Particle Physics reports

From the 2013 Update

- High-priority large-scale scientific activities:

Besides HIGGS/SM at LHC, post-LHC accelerator projects, interest in an ILC proposal in Japan.

Rapid progress in neutrino oscillation physics, with significant European involvement, has established a strong scientific case for a long-baseline neutrino programme exploring CP violation and the mass hierarchy in the neutrino sector.

**CERN should develop a neutrino programme to pave the way for a substantial European role in future long-baseline experiments. Europe should explore the possibility of major participation in leading long-baseline neutrino projects in the US and Japan.**

From the 2020 Update:

- Major developments from the 2013 Strategy:

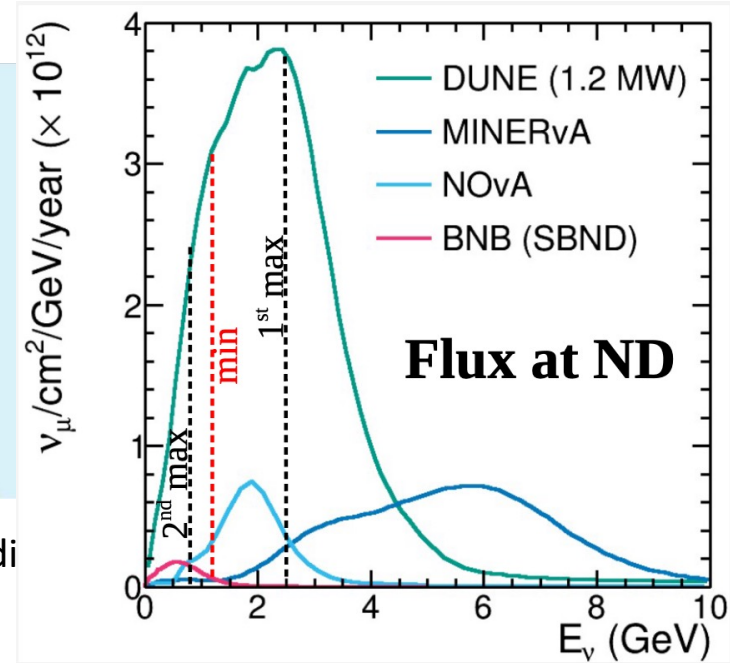
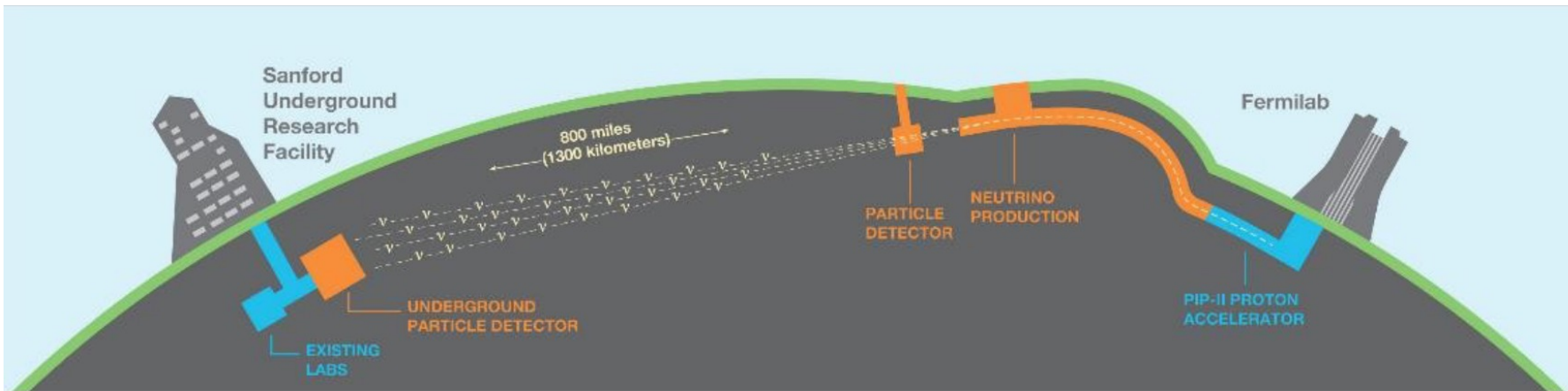
- A. *Exploit the LHC program to the full potential of LHC and HL-LHC.*

- B. The existence of non-zero neutrino masses is a compelling sign of new physics. The worldwide neutrino physics programme explores the full scope of the rich neutrino sector and commands strong support in Europe. Within that programme, the Neutrino Platform was established by CERN in response to the recommendation in the 2013 Strategy and has successfully acted as a hub for European neutrino research at accelerator-based projects outside Europe. **Europe, and CERN through the Neutrino Platform, should continue to support long baseline experiments in Japan and the United States. In particular, they should continue to collaborate with the United States and other international partners towards the successful implementation of the Long-Baseline Neutrino Facility (LBNF) and the Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE).**

# Neutrinos (DUNE) in P5 report Dec. 2023

As the highest priority independent of the budget scenarios, complete construction projects and support operations of ongoing experiments and research to enable maximum science:

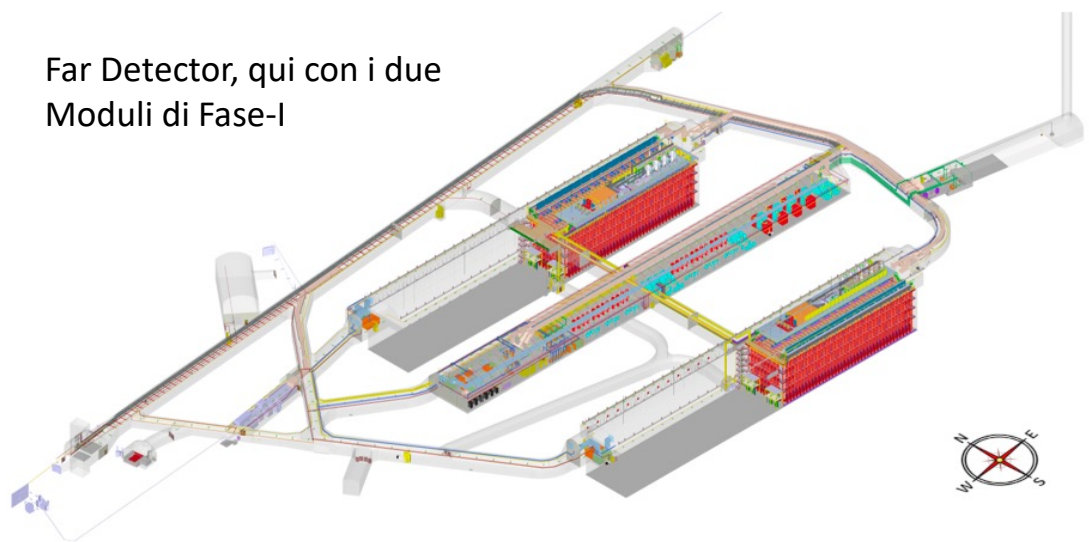
- *HL-LHC program*
- The first phase of DUNE and PIP-II to open an era of precision neutrino measurements that include the determination of the mass ordering among neutrinos. Knowledge of this fundamental property is a crucial input to cosmology and nuclear science
- *The Vera C. Rubin Observatory (optical/near IR)*
- *Plus continued support for several ongoing experiments at the medium scale*



**DUNE:** Far Detector posto a 1300 km, lo spettro copre fino al secondo massimo di oscillazione, di intensità molto elevata (potenza fino a 2.4 MW).

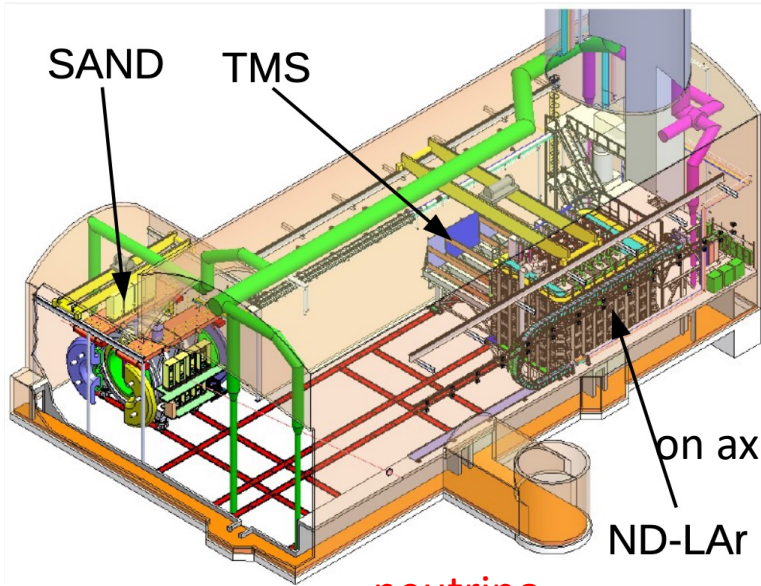
**FD:** Time Projection Chamber in argon liquido, 2 + 2 volumi di 17 kton, con lettura anche di luce di scintillazione (trigger – timing – misura calorimetrica). **ND** con vari elementi e differenti tecnologie.

Far Detector, qui con i due Moduli di Fase-I



Caverna inaugurata in Agosto 2024

## Fase-I



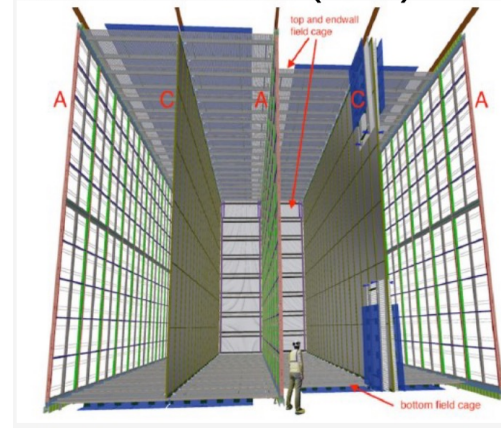
neutrino  
beam axis

Il **ND** permette di predire lo spettro ricostruito dal FD se non ci fossero oscillazioni.

Permette di migliorare la conoscenza del background, e della dipendenza dall'energia della sezione d'urto dei neutrini, e di misurare intensità e stabilità del fascio.

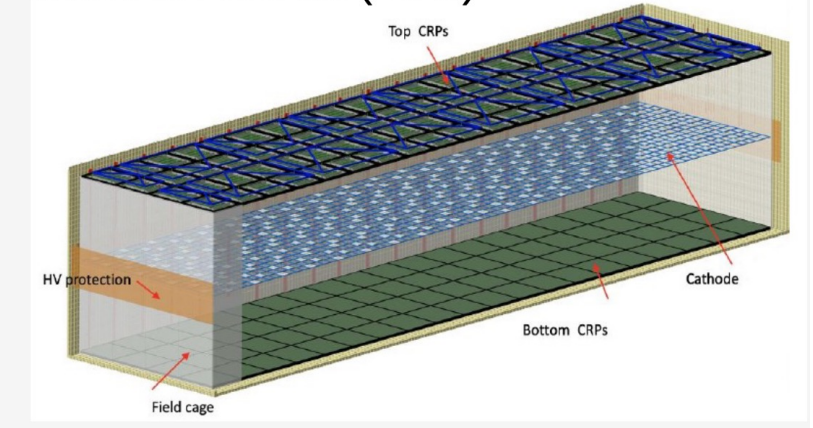
## DUNE FD1 e FD2

JINST 15 T08010 (2020)



FD1: 4 volumi di drift (orizzontale):  $3.6 \times 12$  (H) x 60 (P)  $m^3$ , 17 kton. Catodi a -180 kV. Anodi: tre piani di fili (z-u-v). Rivelatori di luce di scintillazione (ARAPUCA) inseriti negli anodi.

arXiv:2312.03130 (2023)

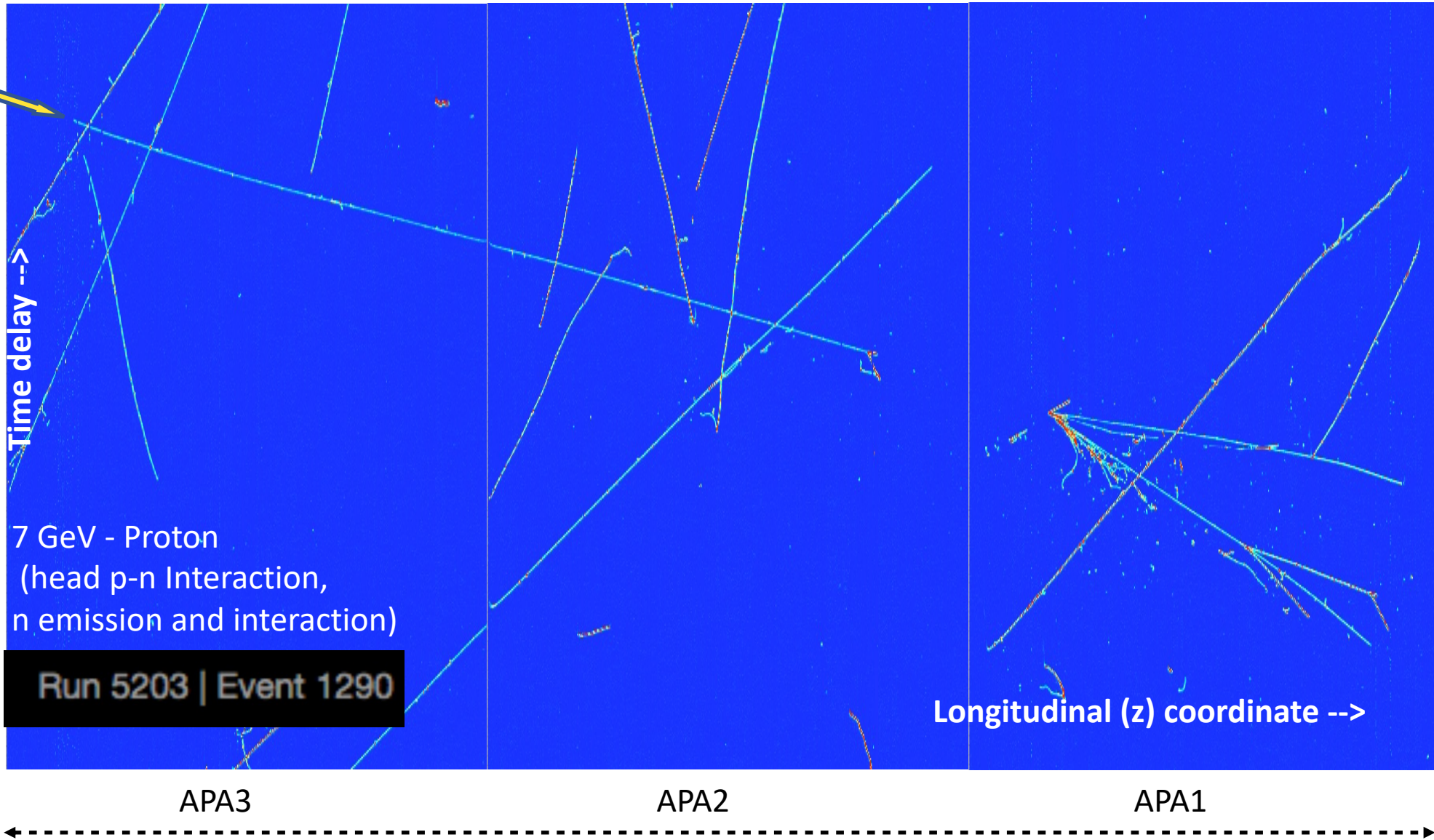


FD1 e FD2 sono stati sviluppati con due prototipi da 700 ton realizzati al CERN (ProtoDUNE). Prese dati nel 2018-2021 e ora nel 2024.

FD1 e FD2 sono stati sviluppati con due prototipi da 700 ton realizzati al CERN (ProtoDUNE). Prese dati nel 2018-2021 e ora nel 2024-2025.

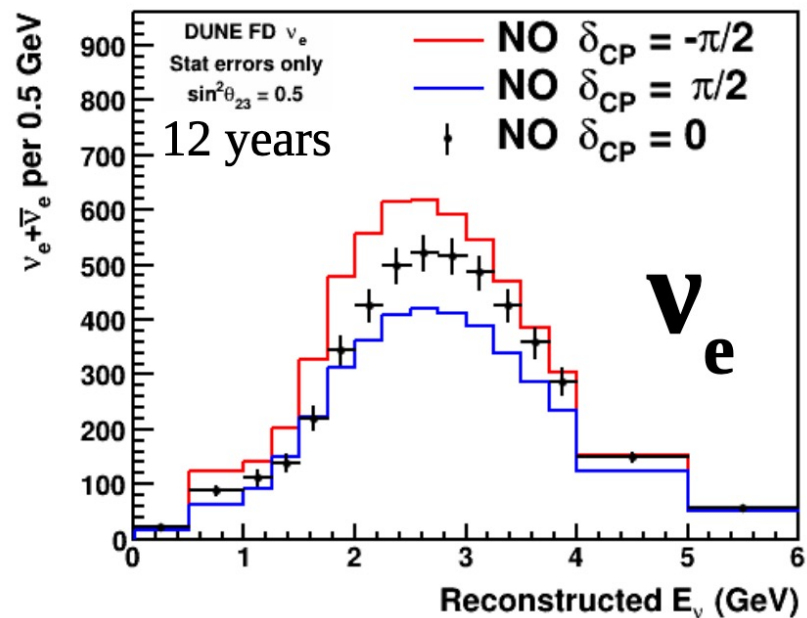


# Tracce in ProtoDUNE

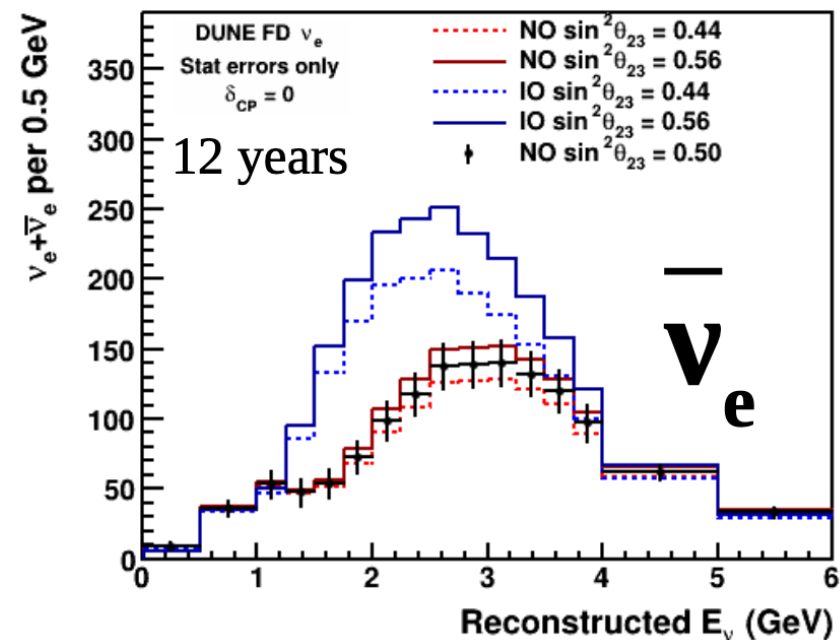
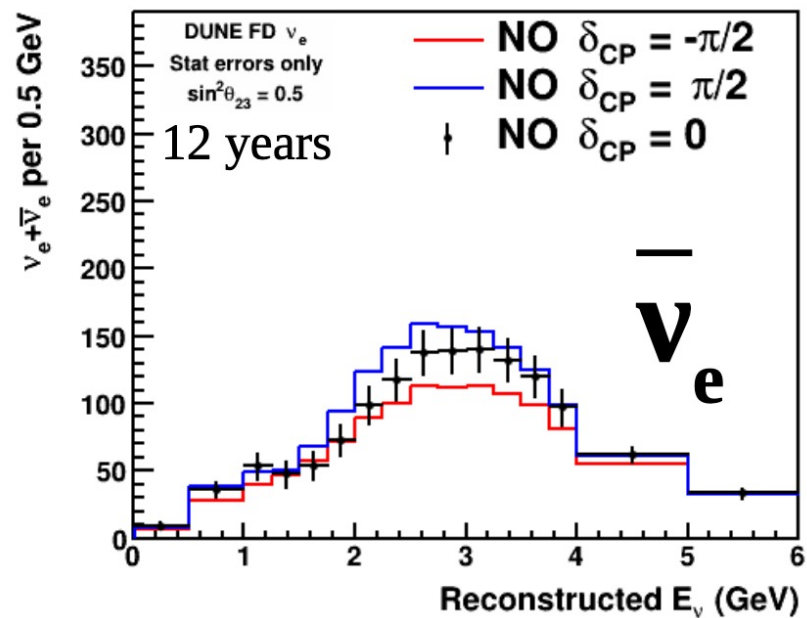
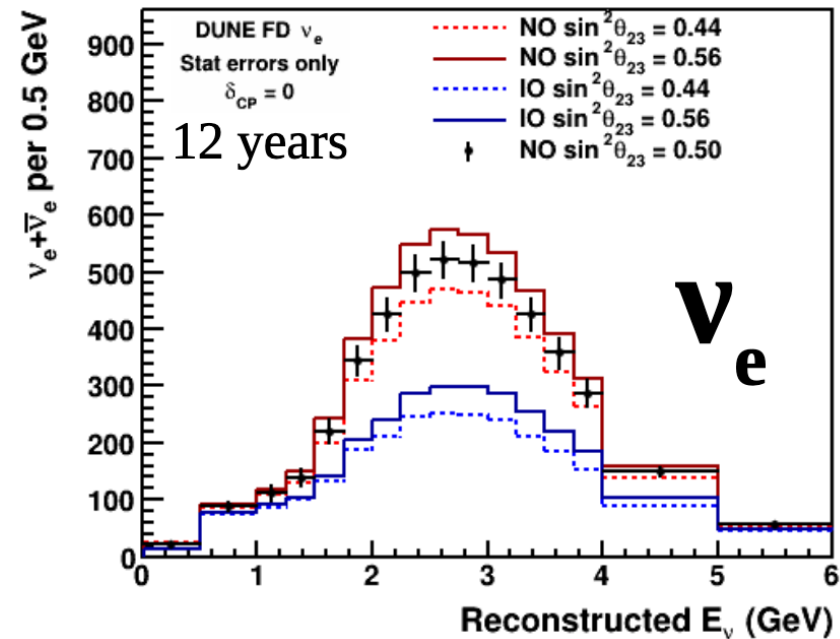


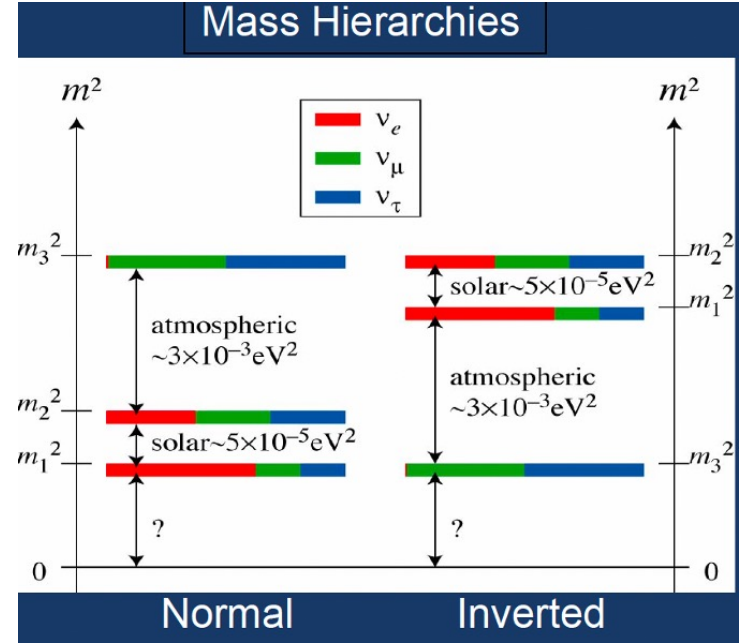
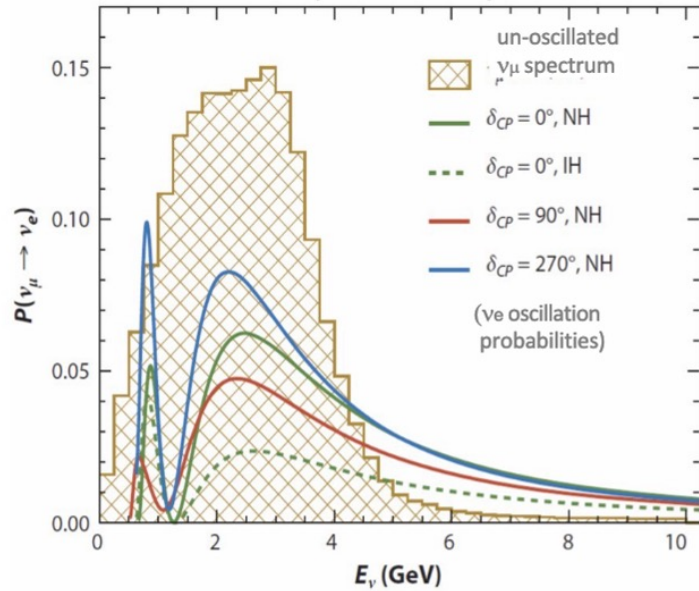
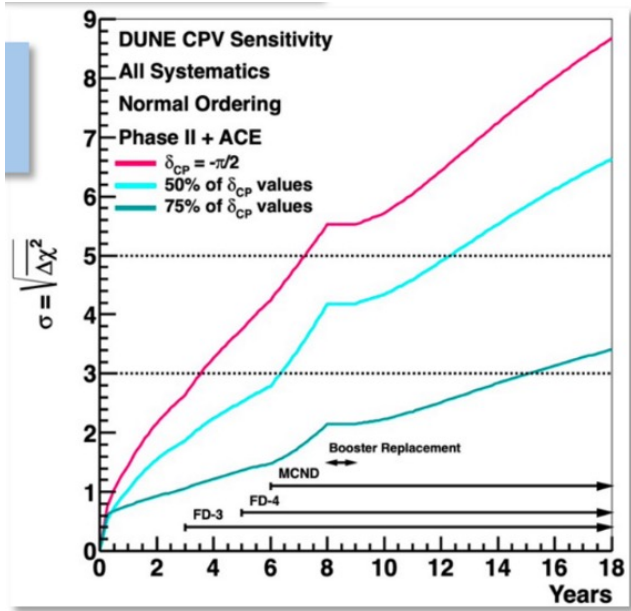
Un evento in ProtoDUNE HD. L'immagine 2D mostra un evento osservato nel piano di fili orientati verticalmente: numero del filo sull'asse orizzontale e tempo di drift sull'asse verticale.

L'immagine mostra l'interazione di un protone, con un vertice secondario prodotto da un neutrone, sovrapposti a tracce di raggi cosmici, tipicamente asincroni, raccolti durante 2.2 ms di tempo di drift (3.6 metri).



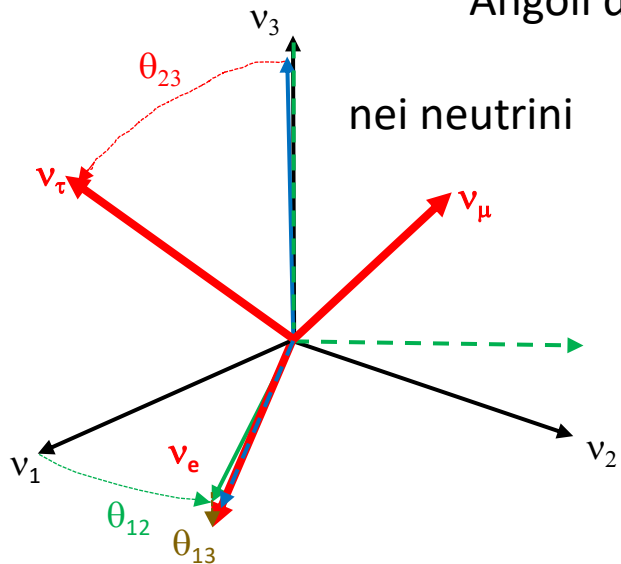
Sensibilità a violazione di CP  
e al Mass Ordering, in DUNE



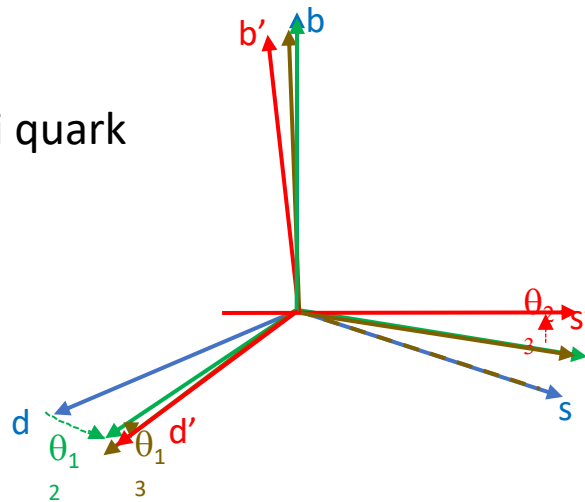


Il Mass Ordering è osservabile tramite effetti legati al passaggio di elettroni nella materia (scattering elastico in avanti) che cambiano le oscillazioni.

Angoli di Eulero nella matrice di mixing



e nei quark



Gli effetti di CPV sono proporzionali all'invariante di Jarlskog:

$$J = c_{12} c_{13}^2 c_{23} s_{12} s_{13} s_{23} \sin \delta$$



# COMPLEMENTARITY OF DUNE AND HYPER-K:

- Accelerator neutrinos

- Different beam spectra (off axis vs WBB) lead to different systematics and physics sensitivities. Different baseline lead to no matter/full matter oscillation results.

- Neutrino astronomy (solar, supernova)

- Hyper-K: high statistics  $\bar{\nu}_e$ , direction of  $\nu_e$
- DUNE: energy of  $\nu_e$

DUNE misura anche

- $\nu_e + {}^{40}\text{Ar} \rightarrow e^- + {}^{40}\text{K}^*$  ( $E_\nu > 1.5 \text{ MeV}$ )
- $\bar{\nu}_e + {}^{40}\text{Ar} \rightarrow e^+ + {}^{40}\text{Cl}^*$  ( $E_\nu > 7.5 \text{ MeV}$ )

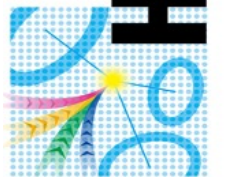
- Atmospheric neutrino oscillogram

- Hyper-K: high statistics to test Earth's matter resonance to determine mass hierarchy
- DUNE: fully reconstruct  $\nu$  final states to get direction and energy

- Proton decays

- Hyper-K: w/ high mass, w/ free protons, to reach  $10^{35}$  yrs for gauge mediated  $p \rightarrow e^+ + \pi^0$
- DUNE: low BG in SUSY  $p \rightarrow \nu + K^+$

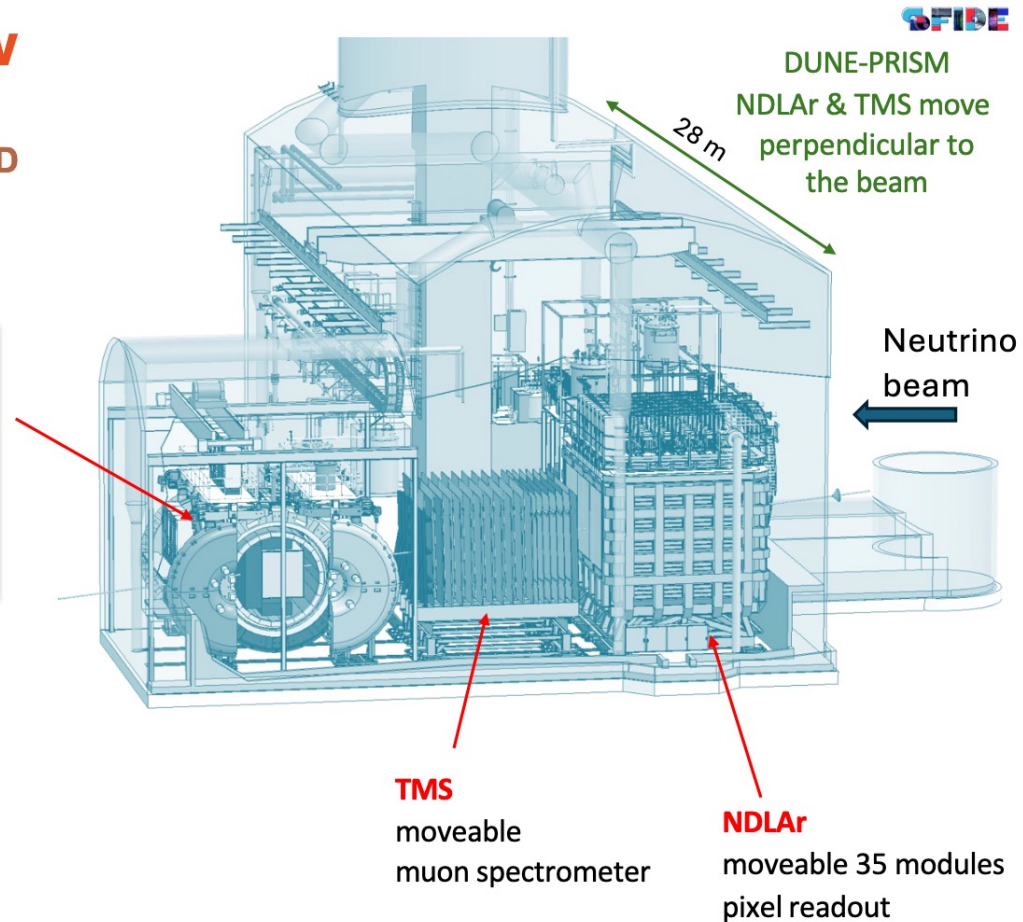
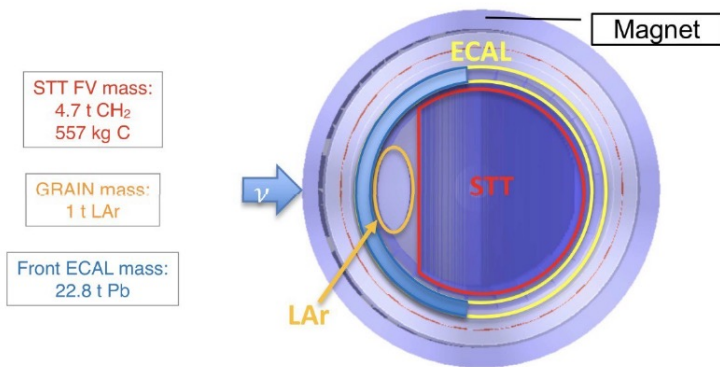
Need success of both experiments to get concrete results.



## ND System and SAND overview

ND measurements shall be of sufficient precision to ensure that when extrapolated to FD to **predict the FD event spectra**, the associated systematic error must not dominate the measurement precision.

**SAND:** on-axis magnetized neutrino detector, multipurpose detector with a high-performant ECAL, light-targeted tracker, a thin LAR “lens”, all of them in a magnetic field, mostly recovered by **KLOE** (LNF), in-kind contribution to DUNE from INFN, with new TRACKER and the thin LAr “lens”



L'impegno degli istituti italiani è principalmente in:

- Far Detector: sistema di rivelazione luce di scintillazione
- Near Detector: responsabilità dominanti in SAND
- Impegno corrente di Torino: readout (ASIC) del rivelatore GRAIN in SAND: volume di Argon liquido letto per luce di scintillazione, camere a SiPM.
- Collaborazione in attività per FD2.

# Possibilità di studio e sviluppo nel contesto EU Strategy

- Per Fase-I, la costruzione sta iniziando in alcune aree, e il disegno è quasi completo in altre.
- Restano però aree da sviluppare
  - e.g., in FD,
    - triggering per SNB,
    - sparsificazione e selezione in tempo reale,
    - approcci più ambiziosi ed efficaci nella classificazione degli eventi in deep learning per studi di oscillazioni.
  - In ND, e.g., la scelta del tracker in SAND.
- Per Fase-II, la situazione è completamente diversa
  - C'è un ambizioso disegno di completamento per ND, con parti ancora da studiare in dettaglio. Include una high-pressure-gasArgon TPC.
  - Per il FD, se FD3 dovrebbe somigliare a FD2 con una estensione/upgrade della rivelazione di luce, per FD4 sono considerate evoluzioni importanti:
    - pixel read-out,
    - lettura carica con emissioni di luce e camere SiPM,
    - Rivelatori per scintillazione e luce Cherenkov,

questo insieme alla estensione del programma in direzioni diverse dalle oscillazioni di neutrini (e.g., neutrini solari di qualche MeV, SN extra-galattiche, ricerca di processi rari come double  $\beta$ -decay ...)