

ND-GAR: un'innovativa TPC a gas ad alta pressione per DUNE

Federico Battisti* per la DUNE Collaboration

* Università di Bologna – Alma Mater Studiorum, INFN Bologna

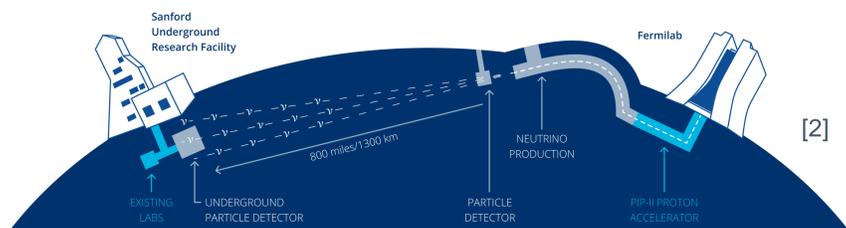
* federico.battisti4@unibo.it, federico.battisti@bo.infn.it



Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE)

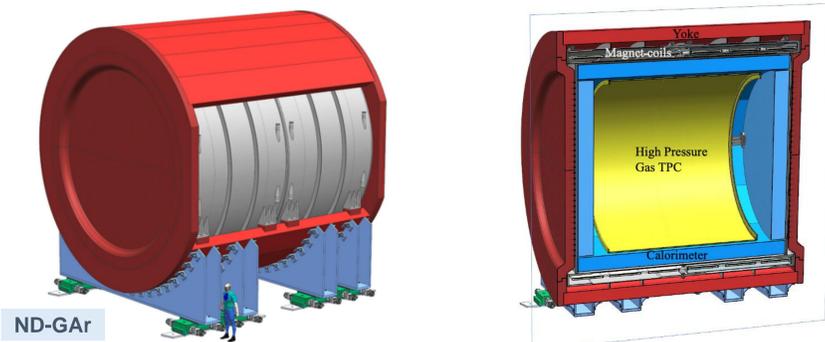
Esperimento di nuova generazione sull'oscillazione di neutrini da acceleratore [1]:

- **Componenti principali:** fascio di neutrini a banda larga con picco a ~2,4 GeV generato presso il Fermilab; near detector (ND) a ~500 m dalla sorgente; far detector (FD) a ~1300 km, situato in South Dakota.
- **Obiettivi principali:** misure ad alta precisione delle oscillazioni di sapore dei neutrini, inclusa la violazione di carica-parità (CP) e l'ordinamento di massa.
- **Strategia sperimentale:** confronto tra gli spettri di neutrini previsti e osservati presso il FD. Le incertezze sistematiche relative al flusso di neutrini, alle sezioni d'urto di interazione e alla risposta del rivelatore sono vincolate dal ND.



ND-GAR

[3]



Componenti principali:

- High-pressure gas time-projection chamber (**HPgTPC**).
- Electro-magnetic calorimeter (**ECAL**).
- Superconducting pressurized yoke (**SPY**) magnet (B=0.5 T).

ND-Gar sarà uno di tre moduli di ND in Phase II. Gli altri rivelatori sono:

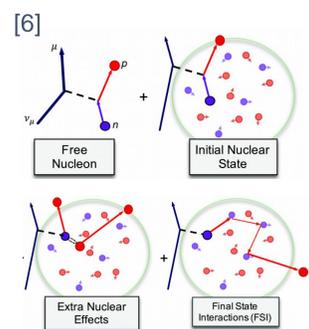
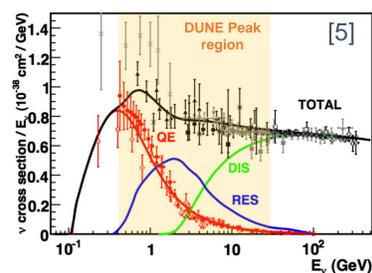
- Rivelatore modulare ad argon liquido (**ND-LAR**) mobile fuori asse, accoppiato a ND-GAR (o TMS in Phase I).
- Monitor di flusso: System for On Axis Neutrino Detection (**SAND**).

Incertezze sistematiche: sezioni d'urto e effetti nucleari

$$R(\vec{x}) = \Phi(E_\nu) \times \sigma(E_\nu) \times \epsilon(E_\nu, E_{rec}) \times P(\nu_A \rightarrow \nu_B)$$

Event rate Neutrino flux Cross section Detector Response Oscillation probability

I modelli di sezioni d'urto sono una delle principali fonti di incertezze sistematiche. Queste incertezze non si annullano tra ND e FD, a causa delle differenze nella distribuzione di E_ν e nel design e accettazione dei rivelatori.



Il bersaglio principale in DUNE sarà l'argon, il quale è influenzato da diversi **effetti nucleari**:

- **Moto di Fermi:** i nucleoni si muovono in modo isotropo, influenzando la cinematica delle interazioni.
- **Correlazioni tra nucleoni.**
- **Interazioni nello stato finale:** gli adroni si propagano attraverso il nucleo, modificando la topologia dell'evento.

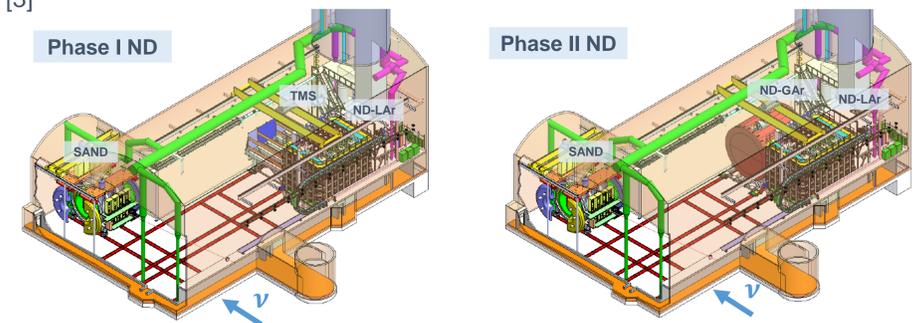
Lo studio delle sezioni d'urto e degli effetti nucleari al ND sarà fondamentale nel controllo delle sistematiche.

Riassunto e conclusioni

DUNE è destinato migliorare significativamente la nostra comprensione delle oscillazioni di sapore dei neutrini. In **Phase II**, **ND-GAR** svolgerà un ruolo cruciale nella riduzione delle **incertezze sistematiche**, in particolare quelle relative alle sezioni d'urto neutrino-argon e agli effetti nucleari. L' **HPgTPC di ND-GAR** offrirà un' eccellente risoluzione spaziale e accesso a regioni cinematiche a bassa energia, oltre a un' accettazione completa, complementando il rivelatore a argon liquido ND-LAR. Il design innovativo di ND-GAR sarà determinante per il successo del **programma scientifico di DUNE**, inclusa la misura della **violazione di CP** e molto altro.

DUNE: Phase I e Phase II

[3]

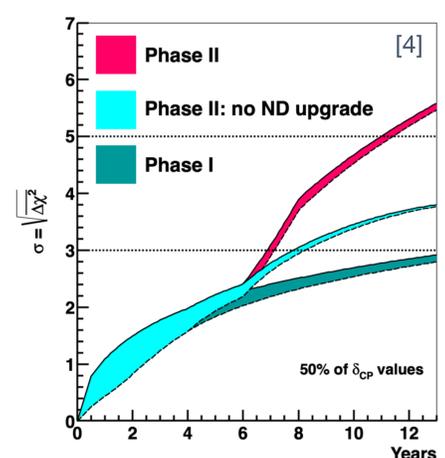


Parametro	Phase I	Phase II	Impatto
Massa del FD	2 moduli FD (20 kt fiduciale)	4 moduli FD (40 kt fiduciale)	Statistica FD
Potenza del fascio	1.2 MW	Fino a 2.3 MW	Statistica FD
Configurazione del ND	ND-LAR + Temporary Muon Spectrometer (TMS), SAND	ND-LAR, ND-GAR, SAND	Sistematiche

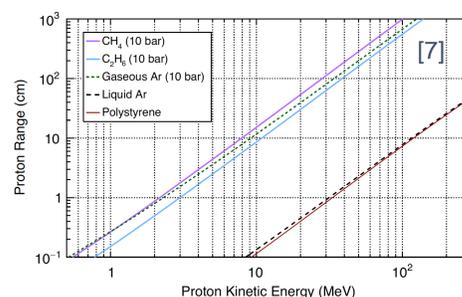
L'impatto delle migliorie al ND

In Phase II, ND-GAR sostituisce TMS:

- Agisce come **spettrometro di muoni** per ND-LAR.
- Fornisce **misure precise delle interazioni neutrino-argon con accettazione completa**, selezione della carica e identificazione delle particelle.
- Rende possibili **misure ad alta significatività della violazione di CP** e dei parametri di oscillazione oltre un'esposizione di 200 kt-MW-anni, dove le incertezze sui modelli di interazione dominano.



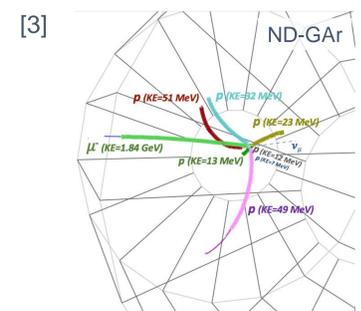
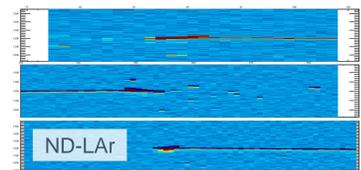
I vantaggi unici di ND-GAR



Le soglie di tracciamento dipendono dalle proprietà del materiale e dalla risoluzione del rivelatore. L'**HPgTPC di ND-GAR** offre una densità e massa inferiori, con una risoluzione spaziale simile a quella del LAR, consentendo l'accesso a regioni cinematiche non disponibili per un rivelatore LAR. Questo sarà fondamentale per lo **studio delle sezioni d'urto e degli effetti nucleari**.

Confronto diretto dello **stesso evento ν_μ CC con sette protoni a bassa energia** (energie cinetiche comprese tra 7 e 51 MeV) simulato in una LArTPC (in alto) e in una GARTPC (in basso):

- Il display dell'evento LArTPC mostra i tick temporali rispetto al numero di canale per le tre viste proiettive dell'evento.
- L'algoritmo di ricostruzione della GARTPC identifica tutte e otto le tracce dell'evento (sette tracce di protoni e una traccia di muone).
- Tutte le tracce dei protoni percorrono 2,4 cm o meno nel LArTPC.



Citazioni

[1] B. Abi et al. (DUNE Collaboration), arXiv:2002.03005 [hep-ex]
 [2] DUNE Collaboration. DUNE-graphic-Fermilab-19-0078-02. Fermilab, <https://lbnf-dune.fnal.gov/how-it-works/introduction/>
 [3] A. Abed Abud et al. (DUNE), JINST 19 (2024) P12005, arXiv:2408.12725, DOI:10.1088/1748-0221/19/12/P12005
 [4] A. Abed Abud et al. (DUNE), JINST 19 (2024) P12005, arXiv:2408.12725, DOI:10.1088/1748-0221/19/12/P12005

[5] J. L. Hewett et al., Fundamental Physics at the Intensity Frontier, arXiv:1205.2671, DOI:10.2172/1042577 (2012).
 [6] C. Wilkinson, Neutrino Cross Sections Summary, presented at NNN17, CERN, 2017. <https://indico.cern.ch/event/657167/>
 [7] P. Hamacher-Baumann, X. Lu, and J. Martin-Albo, Phys. Rev. D 102 (2020) 033005, arXiv:2005.05252, DOI:10.1103/PhysRevD.102.033005