

DUNE

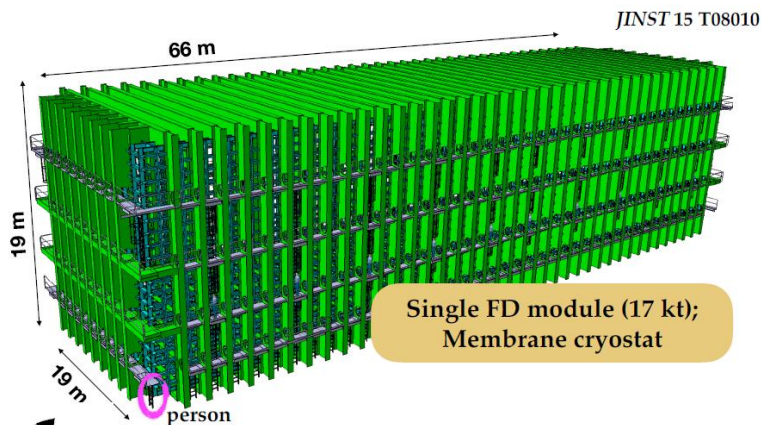
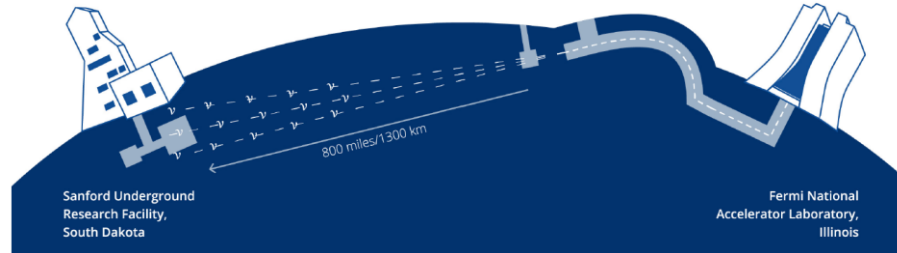
Consiglio di Sezione

10 luglio 2025

E. Bertolini, F. Bramati, A. Branca, C. Brizzolari, G. Brunetti, P. Carniti, C. Cattadori, E. Cristaldo Morales M. Delgado, A. Falcone, F. Galizzi, C. Gotti, D. Guffanti, L. Meazza, A. Minotti, M. Perego, G. Pessina, G. Piemonti, M. Prest, H. Souza, F. Terranova (RL, RN da Luglio 2025), M. Torti, D. Trotta, E. Vallazza

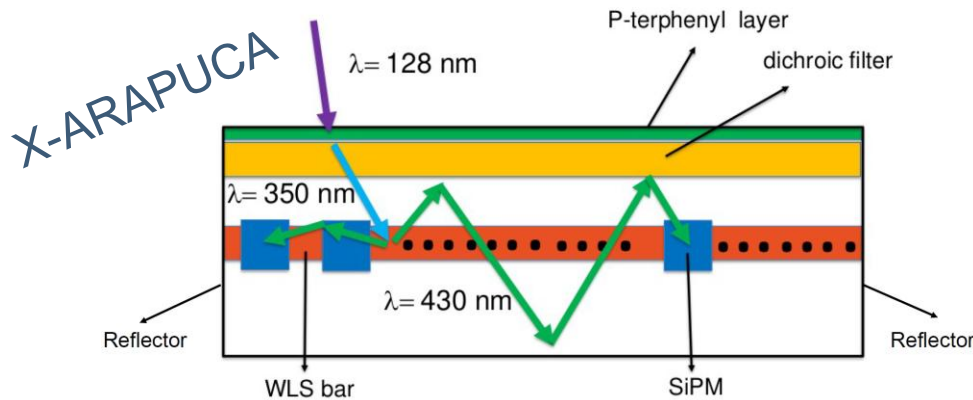
DUNE, la “Long Baseline Neutrino Facility” (LBNF) e SURF

DUNE utilizza due nuove facilities pensate per sostenere il programma di fisica delle particelle americano per i prossimi decenni: un fascio broad band da $1.2 \rightarrow 2.4$ MW power e il laboratorio SURF in South Dakota. E', perciò, il progetto flagship del Fermilab e della fisica underground USA. Gli scavi sono stati completati nel 2024 e l'esperimento è nel pieno della costruzione: 2 LArTPC dette rispettivamente “Horizontal Drift” (FD1-HD) e “Vertical Drift” (FD2-VD)



Milano Bicocca

Milano Bicocca coordina la costruzione del **Photon Detection System** per tutti i moduli del Far Detector di DUNE e, in particolare,

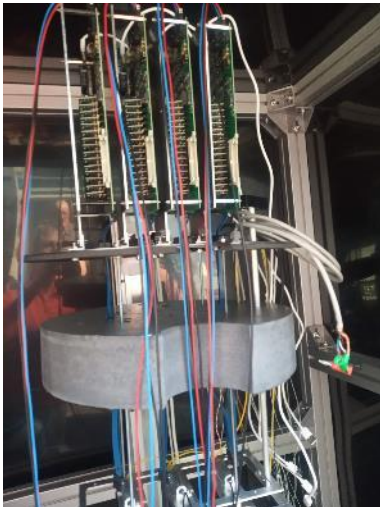


- Coordina la produzione e il test dei SiPM criogenici (Resp. F. Terranova)
- Coordina la produzione e il test dell'elettronica criogenica di FD1-HD (Resp. C. Gotti)
- Coordina la produzione e i test delle barre WLS e dei filtri dicroici per il II Modulo di DUNE – FD2-VD (Resp. C. Cattadori)
- Coordina lo sviluppo della warm electronics (parte analogica) (Resp. P. Carniti)
- Team di analisi e simulazione per la calorimetria combinata luce-carica, simulazione PDS, neutrini solari (Resp. G. Brunetti)
- Contribuisce alla costruzione e run di ProtoDUNE-HD e VD al CERN
- Sviluppa la tecnologia per la terza e quarta TPC – «Phase II» (SoLAR, CADMO)

Highlight del 2024-25: CACTUS

Tutti i SiPM prodotti da Hamamatsu sono stati testati (50% del totale, failure rate 0.3%) e stiamo testando i SiPM FBK (failure rate 0.5%)

Milano Bicocca ospita una di queste facilities e coordina l'intero sforzo (Bologna, Ferrara, Granada, Praga, Mib), inclusa la gestione del database di collaborazione (M. Delgado, A. Minotti)



Coord. C. Brizzolari, M. Delgado

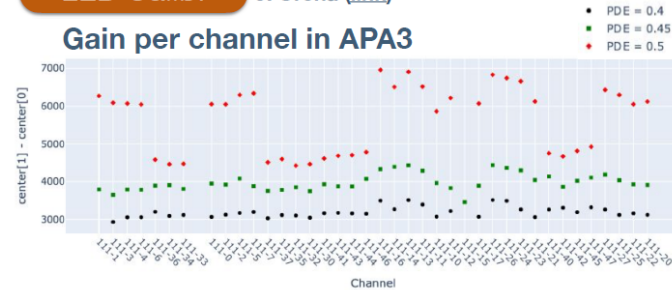
Un grazie speciale al servizio elettronica e a **M. Perego** per il supporto, e al gruppo di astroparticelle (M. Gervasi) per l'ospitalità in U2 (e prima ancora a C. Riccardi per l'ospitalità in U9)

Highlight del 2024-25: (II) il run di ProtoDUNE-HD

Gain, S/N, dyn. ran

LED Calib. J. Ureña (link)

Gain per channel in APA3

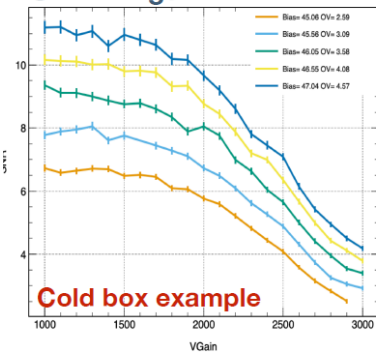


Redout optimization (Vgain scans)

F. Galizzi, E. Cristaldo
(link for cold box)

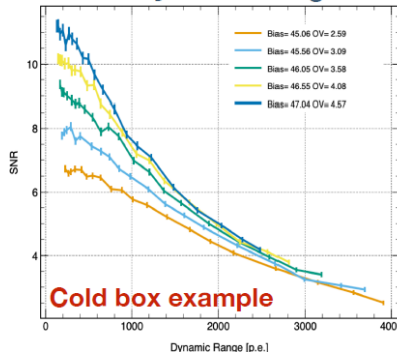
Hundreds of runs taken in NP04 (October) → Ongoing analysis

S/N vs Vgain



Cold box example

S/N vs dynamic range



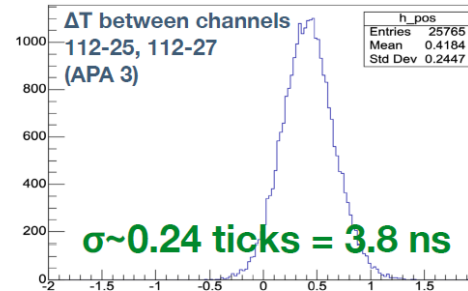
Cold box example

Time resolution

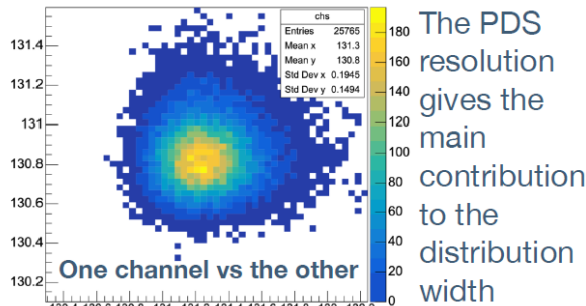
F. Galizzi (link)

2.7 ns ($3.8/\sqrt{2}$) for a single channel

Should improve with clustering
several channels after alignment



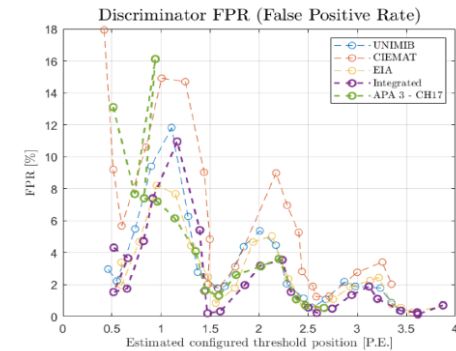
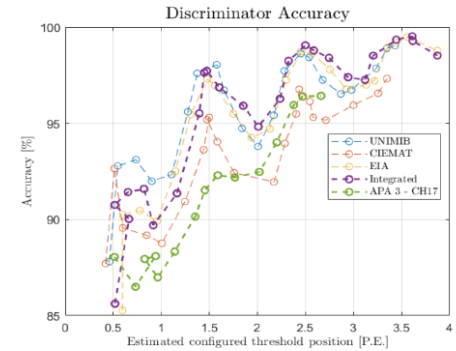
$\sigma \sim 0.24$ ticks = 3.8 ns



The PDS
resolution
gives the
main
contribution
to the
distribution
width

Trigger efficiency

E. Cristaldo.
F. Galizzi
(link)



Expect better results after
undershoot removal

Il run di ProtoDUNE-HD, terminato al Novembre 2024 è stato un notevole successo, con grossi contributi della sezione (deputy PDS run coord: A. Minotti, PDS experts: E. Cristaldo, M. Delgado, F. Galizzi, H. Souza)

Una decisione importante: niente filtri dicroici in FD2-VD!

Le misure effettuate presso CIEMAT, Milano Bicocca e Napoli sono coerenti nell'indicare che:

- Negli anni (R&D), l'efficienza delle barre WLS è aumentata grazie all'ottimizzazione e al miglior accoppiamento con i SiPM, mentre la performance dei filtri dicroici è rimasta sostanzialmente invariata.
- Nelle tile di FD2-VD, il contributo dei filtri dicroici è addirittura trascurabile. Il Consorzio ha completato le misure e suggerisce di sostituire i filtri dicroici con semplici supporti in vetro su cui depositare il pTP, investendo i fondi risparmiati nelle WLS e nel resto della meccanica.
- Inoltre, con i fondi risparmiati, potremmo anche migliorare la PDE dei moduli FD1-HD ottimizzando le lavorazioni meccaniche e realizzando tile trapezoidali («cut»).
- In queste settimane si stanno svolgendo misure a CIEMAT (anche con personale Bicocca) per capire se è possibile rimuovere i filtri anche in FD1-HD

Milano Bicocca (resp. C. Cattadori) ha avuto un ruolo molto significativo nell'enhancement delle performance del sistema e nelle misure che hanno portato a questa importante decisione.

Nel 2025 è cominciata la costruzione di FD2-VD



Mib:

- Coord. tecnico di tutta l'elettronica del PDS (F. Terranova)
- Realizzazione delle barre WLS e dei filtri dicroici (coord. C. Cattadori)
- Realizzazione della warm electronics e di 1/2 della cold electronics di membrana (C. Gotti)
- Signal-over-fiber in collaborazione con APC Parigi (E. Cristaldo, H. Souza)

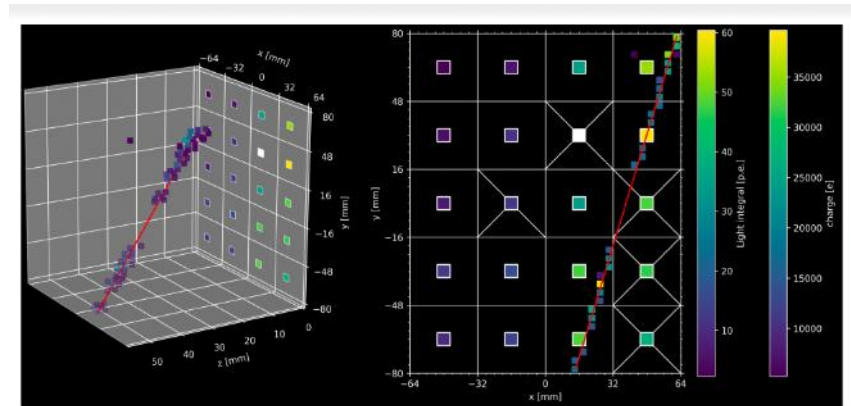
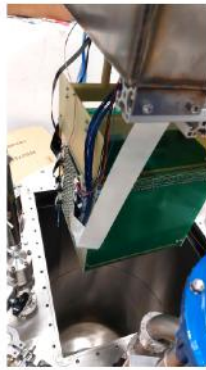
Stato delle gare di costruzione gestite da INFN Mib:

- (FD1-HD) Cold electronics – gara terminata, avvio della produzione di massa a Settembre. Mass test facility ai LNS progettata congiuntamente da Mib e LNS
- (FD2-VD) Gara SiPM in corso. Assegnato il Lotto 2 mentre il Lotto 1 non è stato assegnato per un disguido informatico e verrà ribandito al piu' presto. Produzione di massa prevista a partire da Ottobre 2025 con termine ad Aprile 2026. Mass test facility ai INFN Mi (Statale) con contributi Mib
- (FD2-VD) Gara WLS in corso. Prevediamo la mass production in autunno con test QA/QC coordinato da Mib (un ringraziamento particolare a R. Gaigher!)
- (FD2-VD) Gara della warm electronics nel 2026

DUNE Phase II

Gli altri due moduli di DUNE sono ancora in fase di R&D e solo parzialmente finanziati («Phase II») Milano Bicocca è fortemente coinvolta in questo R&D

Progetto **SoLAr** e **CADMO**: portare la sensibilità di DUNE alla scala del MeV per l'osservazione dei neutrini solari e la ricerca di Boosted Dark Matter. Principali finanziatori **Dip. di eccellenza Unimib**, STFC (UK), Swiss NSF



Power over Fiber tunabile per permettere la modifica dei parametri di run delle tile di catodo anche durante la presa dati. R&D svolto nell'ambito di gruppo V – progetto CryoPoF (PI M. Torti) in collaborazione con Milano Statale e Parma (PRIN 2022 PI F. Terranova – sostituisce C. Galbiati dal 2024)

Sviluppo di sensori back-illuminated per alta efficienza quantica nel VUV (IBIS_NEXT, Resp. Loc. A. Falcone e Dipartimento di Eccellenza/CADMO)

Principali richieste finanziarie e di servizi

Item	Costo (k€)	Note
produzione warm electronics per FD2-VD	216	core cost
Monitoring system (item spagnolo)	180	core cost
cold electronics FD2-VD	20	core cost
Trasporti	15	
Liquidi criogenici per il run di CACTUS	15	
Contributo a WLS FD1-HD	150 s.j.	core cost
Missioni	61	

Servizio di elettronica: supporto a Cactus 6 m.u. (M. Perego)

Servizio di meccanica: 1.5 m.u. (QA/QC WLS, box filtri con ptp)

Mib è stato il principale centro di spesa di DUNE nel 2023-2025 per la costruzione del PDS. Dal 2026 questo profilo scende fino ad azzerarsi nel 2027 per lasciare spazio alla costruzione del Near Detector di DUNE. Un ringraziamento particolare alle persone che hanno seguito queste gare impegnative e, in primo luogo a **M. Perrone, G. Pessina, L. Brusegan, C. Gotti ed E. Ferri**

Anagrafica Milano Bicocca

	FTE
Bertolini Eleonora	80%
Bramati Filippo	30%
Branca Antonio	60%
Brizzolari Claudia	60%
Brunetti Giulia	60%
Carniti Paolo	10%
Cattadori Carla	40%
Cristaldo Morales	70%
Delgado Maritza	70%
Falcone Andrea	60%
Galizzi Federico	100%
Gotti Claudio	40%
Guffanti Daniele	70%
Meazza Luca	60%
Minotti Alessandro	30%
Pessina Gianluigi	20%
Piemonti Gloria (dal 1 nov)	100%
Prest Michela	30%
Souza Henrique	100%
Terranova Francesco	40%
Torti Marta	80%
Trotta Davide	20%
Vallazza Erik Silvio	10%
TOTALE: 23 persone	12.35 FTE

A questi si aggiungono 1.2 FTE su IBIS_NEXT (gruppo V)

1 FTE borsa dottorato finanziata da FBK che assegneremo il 1 settembre



ENUBET_NP06

G. Brunetti (RL) F. Terranova (RN)

F. Bramati, A. Branca, C. Brizzolari, G. Brunetti, M. Capitani, M. Delgado, D. Guffanti, L. Meazza, M. Prest, G. Saibene, A. Scanu, F. Terranova

Storia del Progetto:

- Idea originaria A. Longhin, L. Ludovici, F. Terranova, EPJ C75 (2015) 155
- ENUBET: ERC Consolidator Grant. Jun 2016 - Dic 2022. PI: A. Longhin.
- Dall' April 2019, ENUBET è un **esperimento CERN (Neutrino Platform) NP06/ENUBET (2019-2026)** – Comm.2: ENUBET_2
- Grazie al successo di questo R&D siamo dal 2023 in Physics Beyond Collider (SBN@PBC) con lo scopo di preparare un proposal per un fascio di neutrini monitorati al CERN puntante verso i ProtoDUNE – Comm.1: ENUBET NP06
- Dal 2025, visto l'esito positivo dell'ottimizzazione fatta dal CERN (compatibilità con SHIP), ENUBET e NuTAG hanno dato origine a una nuova collaborazione – **nuSCOPE** – al fine di presentare il Proposal di Esperimento
- Extended submission alla **European Strategy**: v. [arXiv:2503.21589](https://arxiv.org/abs/2503.21589)

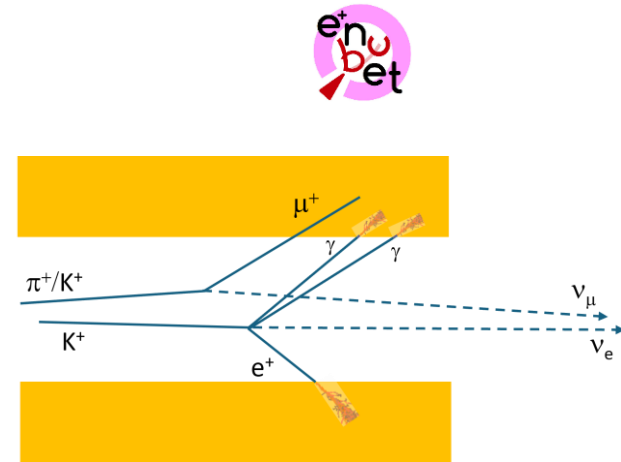
Neutrino monitoring and tagging

“Monitored neutrino beams are beams where diagnostic can directly measure the flux of neutrinos because the experimenters monitor the production of the lepton associated with the neutrino at the single-particle level. “

(Wikipedia)

Monitoring: effective removal of systematic uncertainties associated with neutrino flux modelling

Pioneered in the [1980s](#), proposed with modern technologies in [2015](#), R&D from the CERN [NP06/ENUBET](#) Collaboration

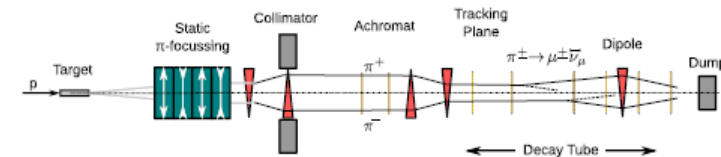


“If the time resolution of the particle detector in the tunnel and the neutrino detector outside the tunnel is very good (below 1 ns), the experimenters can associate unambiguously the neutrino observed in the detector with the charged lepton recorded in the tunnel.”

(Wikipedia)

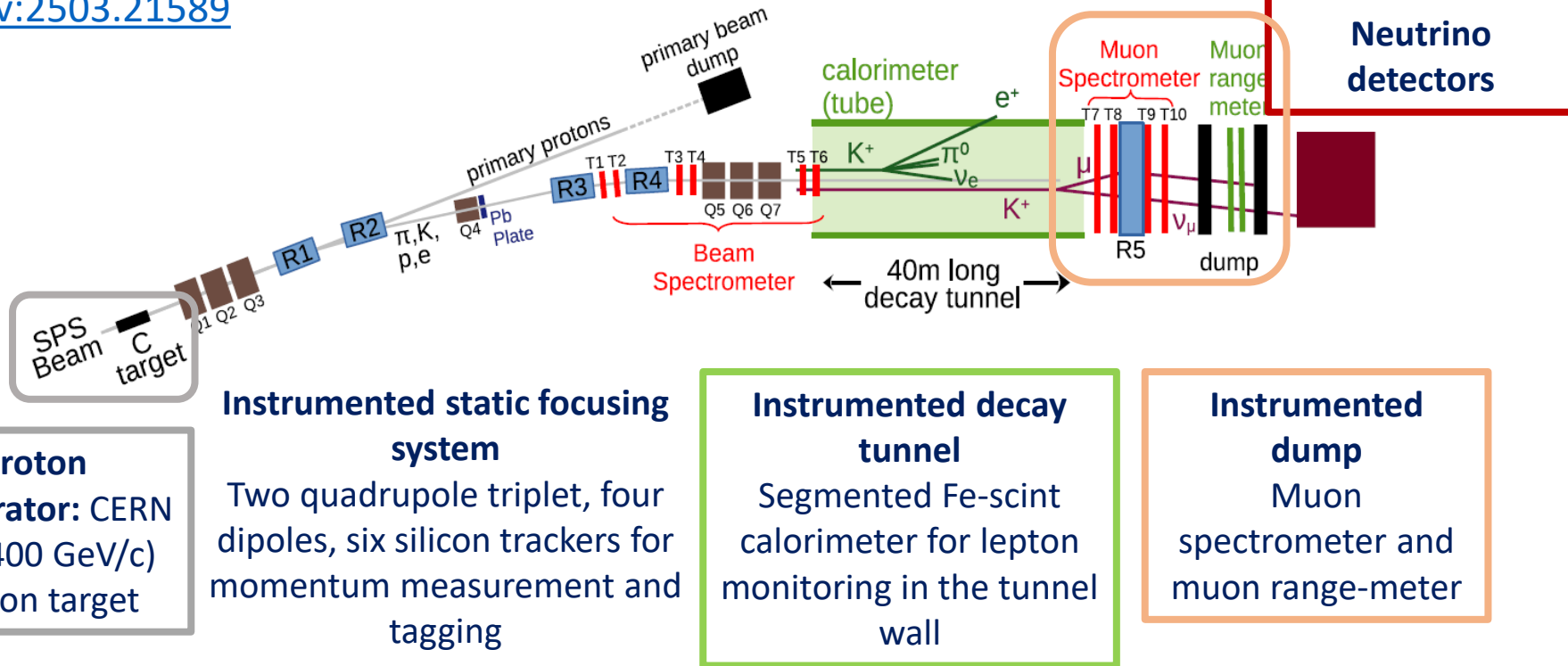
Tagging: Event-by-event knowledge of incoming neutrino energy

Proposed in the [1970s](#), developed in USSR in the [1980s](#), proposed with modern techniques in [2022](#), R&D from the [NP06](#) and [NuTAG](#) Collaborations



The nuSCOPE implementation

[arXiv:2503.21589](https://arxiv.org/abs/2503.21589)

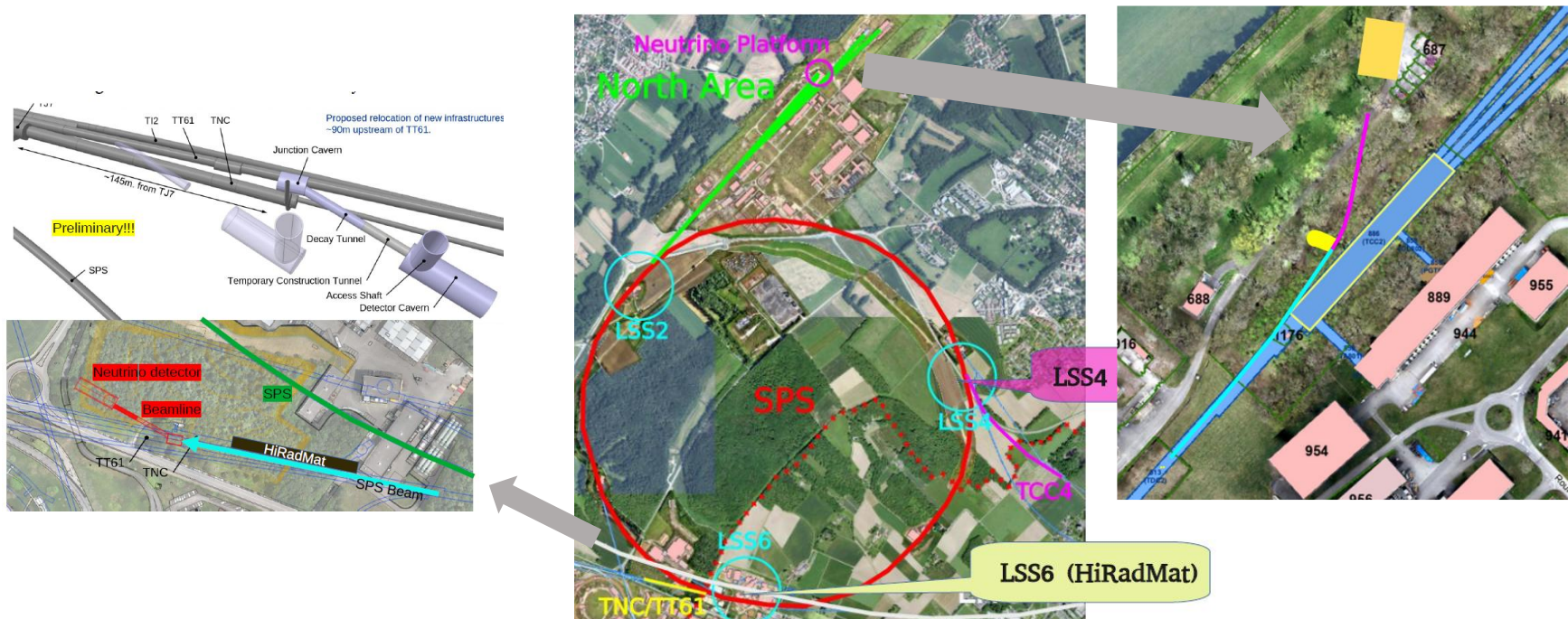


The CERN implementation exploits

- An instrumented decay tunnel and muon range-meter to monitor the number of $K \rightarrow \pi^0 e \nu_e$, $\pi \rightarrow \mu \nu_\mu$, and $K \rightarrow \mu \nu_\mu$ decays, and to directly measure the ν_e and ν_μ fluxes from pions and kaons (**monitoring**).
- A static focusing system and muon spectrometer to tag pions/kaons and the muons from $\pi \rightarrow \mu \nu_\mu$ and $K \rightarrow \mu \nu_\mu$ decays. These are time-associated with the ν_μ observed in the detector, allowing reconstruction of the neutrino energy from the two-body kinematics of the parent K and π (**tagging**).

Implementazione al CERN

L'implementazione della facility nel complesso del CERN è attualmente in fase di studio nell'ambito di Physics Beyond Collider (PBC) del CERN. Le aree più promettenti sono una nuova sala sperimentale (ECN4) nel campus di Prévessin e un'estensione dei tunnel esistenti vicino alla Long Straight Section 6 (LSS6) dell'SPS, vicino a HighRadMat nel campus di Meyrin. Parte dei lavori che interessano l'iniettore del LHC dovranno essere effettuati durante un Long Shutdown.



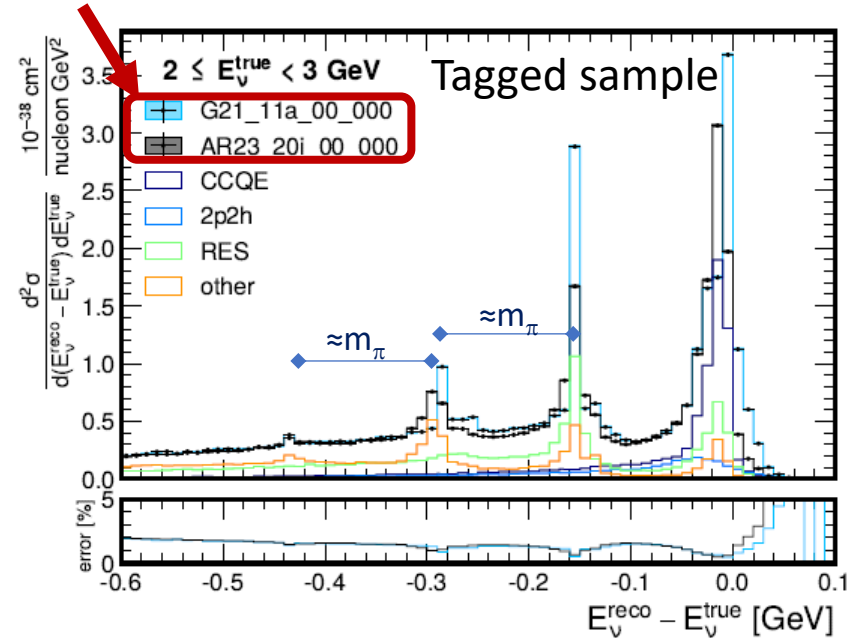
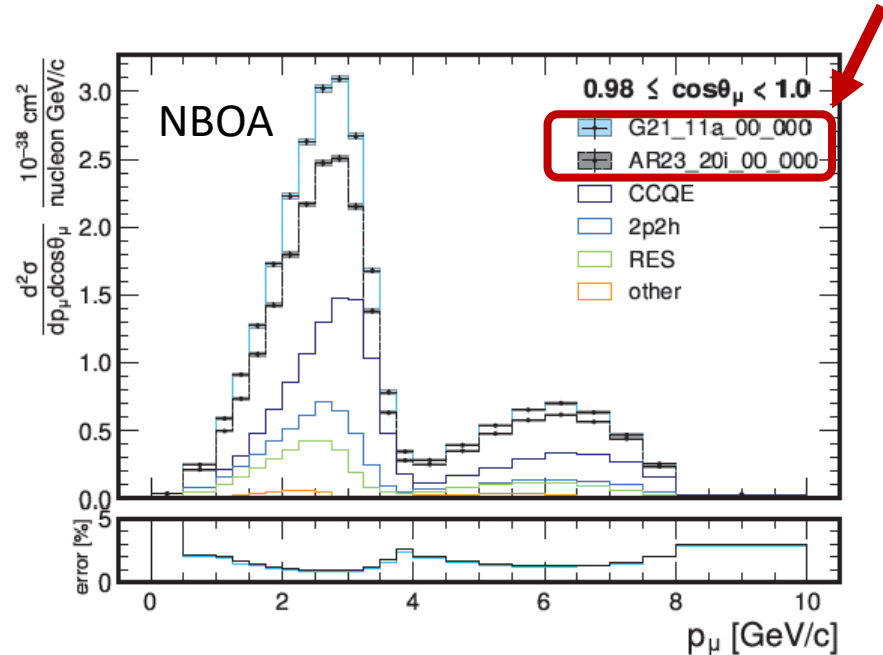
Entrambe le implementazioni sono compatibili con il programma fixed target del CERN, incluso SHIP, che è il main proton user

Un esempio di performance di fisica: la misura diretta della missing energy nelle interazioni di neutrino

Monitoring senza tagging:
misure di sezioni d'urto con
normalizzazione incerta a $<1\%$

Tagged sample (70% delle ν_μ CC
da pion decay): energia «vera»
del neutrino nota a $<1\%$

I due modelli di reference e benchmark per DUNE e HyperKamiokande



Attività nel 2026



- Completare l'R&D della parte di “monitoring” realizzando un prototipo di hadron dump instrumentato per monitorare i muoni forward da decadimento di pioni. Abbiamo in programma un testbeam a Ottobre 2025 e un secondo testbeam con un maggior numero di canali nel 2026
- Completare lo studio del caso di fisica per le sezioni d'urto con una simulazione completa del rivelatore
- In collaborazione con il CERN, studiare la non-local slow extraction per validare l'implementazione nella ex-west area

Nel prossimo biennio, le attività saranno prevalentemente di analisi e simulazione. Puntiamo a estendere la collaborazione per arrivare a un Proposal di esperimento da sottomettere all'SPSC nel 2028

L'R&D per il tagging usa la tecnologia IGNITE (INFN) o PicoPix (CERN) sviluppata da LHCb per l'upgrade del VELO e siamo in contatto con questi gruppi per arrivare alla validazione dell'ASIC nel 2027

Anagrafica e richieste finanziarie



Item	Costo (k€)
rivelatori per hadron dump	16
missioni per testbeam	9
missioni per implementazione CERN	16
metabolismo consumo (1.5 kE/FTE)	7.5

Personale	FTE
Bramati Filippo	70%
Branca Antonio	40%
Brizzolari Claudia	40%
Brunetti Giulia	40%
Delgado Maritza	30%
Guffanti Daniele	30%
Meazza Luca	40%
Prest Michela	20%
Saibene Giosuè	80%
Scanu Anna	100%
Terranova Francesco	50%
TOTALE	540%
TOTALE FTE	5.4

ICARUS experiment goals

❑ The SBN program should clarify the question of sterile neutrinos exploiting the BNB beam and comparing the ν_e and ν_μ interactions observed at different distances from target by ICARUS and SBND Lar-TPCs

❑ ICARUS at FNAL presents remarkable similarities to NEUTRINO-4 which should allow to settle the NEUTRINO-4 sterile- ν claims in the initial ICARUS-only run

❑ Study of ν_e , ν_μ events from off-axis NUMI beam, to measure ν -Ar interaction cross sections

❑ Search for BSM scalar decays in $\mu^+\mu^-$ with NuMI ; Dark sector models investigations

❑ Pubblicazioni:

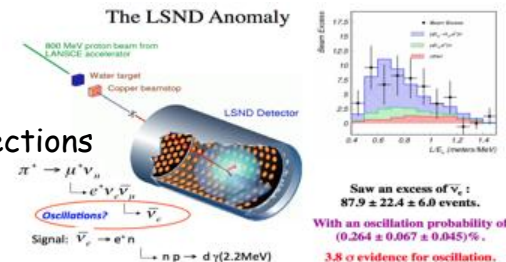
- **F.A Alraham et al.**, "Operation of the trigger system for the ICARUS detector at Fermilab", arxiv: 2506.20137 [hep-ex], in pubblicazione su JINST

- **H. Carranza et al.**, "Search for inelastic boosted dark matter with the ICARUS detector at the Gran Sasso Underground National Laboratory", *Phys.Rev.D* 111 (2025) 9, 092003

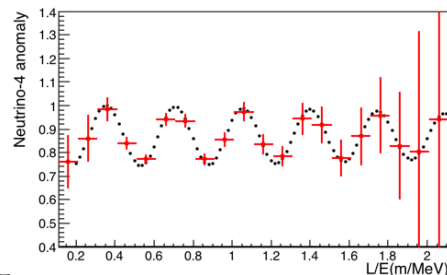
- **F.A. Alraham et al.**, "Search for a Hidden Sector Scalar from Kaon Decay in the Dimuon Final State at ICARUS", *Phys.Rev.Lett.* 134 (2025) 15, 151801

- **A. Abratenko et al.**, "Angular dependent measurement of electron-ion recombination in liquid argon for ionization calorimetry in the ICARUS liquid argon time projection chamber", *JINST* 20 (2025) 01, P01033

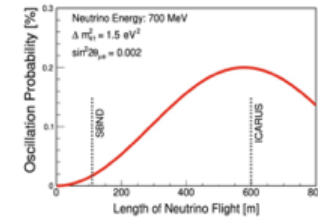
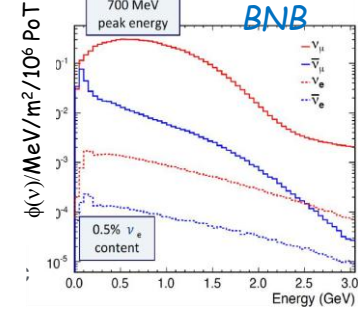
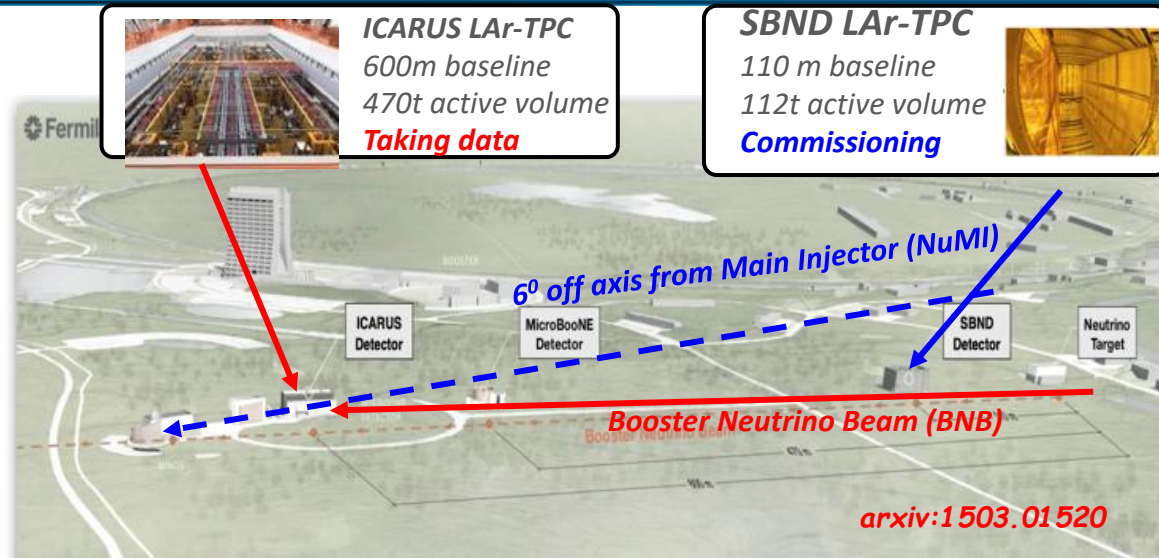
- **A. Abratenko et al.**, Calibration and simulation of ionization signal and electronics noise in the ICARUS liquid argon time projection chamber, *JINST* 20 (2025) 01, P01032



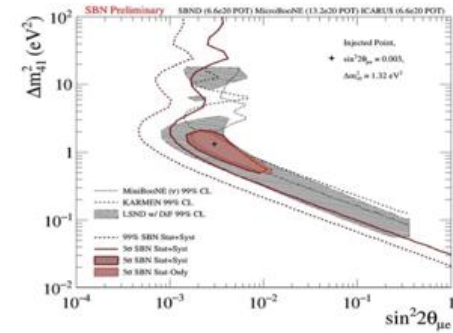
- Prediction for Neutrino-4 best fit (black) at BNB
- Expected measured ν_μ oscillation pattern with statistical errors (red)



Short Baseline Neutrino (SBN) at FNAL BNB and NuMI beams: a definitive answer to sterile neutrinos

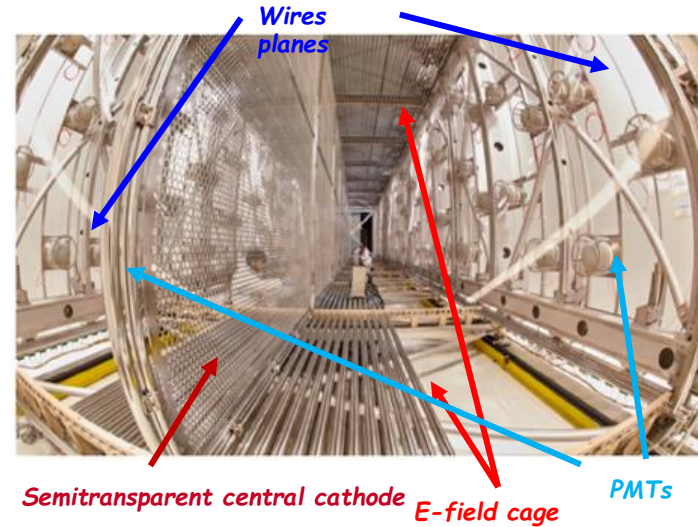


- ICARUS and SBND Liquid Argon TPCs (LAr-TPC) are installed at 600 and 110 m from the Booster target, searching for sterile- ν oscillations both in appearance and disappearance channels
- In addition: high-statistics ν -Ar cross-section measurements and event identification/reconstruction studies in view of DUNE
 - $\sim 10^6$ events/y in SBND < 1 GeV from Booster
 - $\sim 10^5$ events/y in ICARUS > 1 GeV from off-axis NuMI beam.



ICARUS T600 installed shallow-depth at FNAL

- ICARUS-T600 LAr-TPC: 760 t of ultrapure LAr
 - 2 modules, 2 TPCs per module with central cathode (1.5 m drift, $E_d = 0.5$ kV/cm);
 - 3 readout wire planes per TPC, in total 54000 wires at $0, \pm 60^\circ$, 3 mm pitch;
 - 360 8" PMTs, TPB coated detecting scintillation light by particles in LAr;
 - LAr /GAr purified by copper filters and molecular sieves for water absorption;



- LAr-TPCs are enclosed in $\sim 4\pi$ Cosmic Ray Tagger system (CRT), a 2 layers of scintillation bars (~ 1000 m²) tagging ~ 95 % of incoming cosmics, and ~ 3 m concrete overburden on Top CRT



Attività prevista per il 2026/richieste 2026 ICARUS

- ☐ Calibrazione per guadagno/timing dei PMTs
- ☐ Turni di controllo esperimento (6 shifters) e manutenzione sistema laser a FNAL
- ☐ Partecipazione agli sviluppi del sistema di rivelazione della luce di scintillazione basato su PMT
- ☐ Partecipazione analisi dati esperimento, simulazione beamline BNB

RICHIESTE 2026		kEuro	Note
missioni		27 KE	
consumo e altroconsumo		3 KE	Magic box (1x40 ch) refurbishment
manutenzione		3 KE	laser head maintenance
Spese servizi		2 KE	contribution to mechanics workshop/spare mechanics items
trasporti		2 KE	transport CERN/FNAL of items connected to laser calibration system
apparati		2 KE	Power meter per laser calibration

Richieste servizi	mesi/uomo	Note (attività particolari, motivazione ...)
Officina	1	Richiesta cumulativa con FAMU