

# Photon Detection System (PDS)

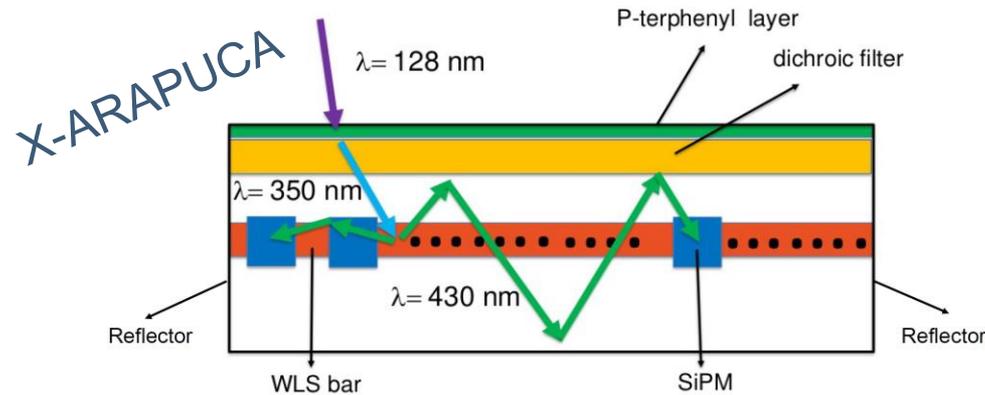
Preventivi 2025 DUNE

F. Terranova a nome dei gruppi PDS italiani

---

25/7/2024

# Il Photon Detection System di DUNE



Usiamo la stessa tecnica (X-ARAPUCA) in due diversi «flavor»



1500 moduli posizionati all'interno dei piani anodici di FD1-HD



752 tiles («megacell») posizionati sul catodo o sulle pareti del criostato di FD2-VD

# Un anno ricco di soddisfazioni!

## Horizontal Drift (FD1-HD):

- Tra il 2023 e il 2024 abbiamo completato tutte le gare per la costruzione del rivelatore: SiPM (Mib, 2023), Cold electronics (Mib, 2024), Signal routing boards (Mi, 2024)
- Abbiamo ricevuto tutti i SiPM Hamamatsu (in anticipo rispetto alle schedule) e stiamo ricevendo i SiPM FBK (un po' in ritardo rispetto alle schedule)
- Abbiamo testato circa 16000 «SiPM boards» (1/3 dei SiPMs di FD1-HD)
- Il run di ProtoDUNE-HD è in corso e il PDS sembra ben funzionante

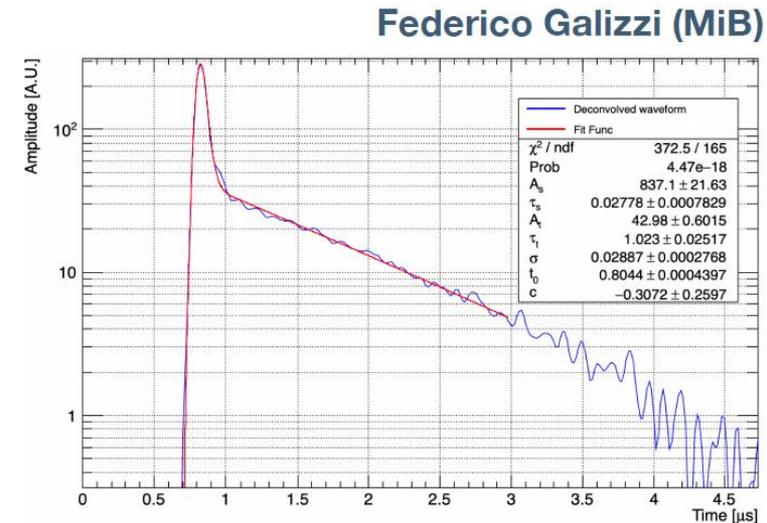
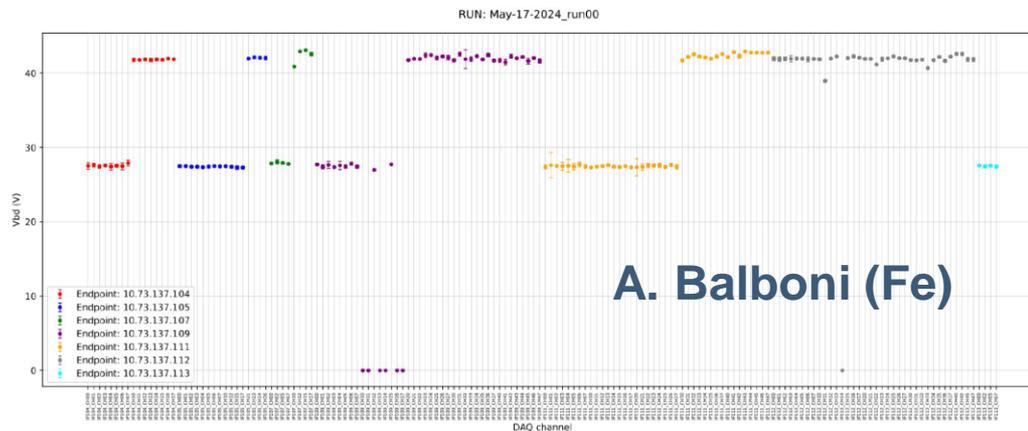
## Vertical Drift (FD2-VD):

- La gara più importante del 2024 è in corso: i SiPM nelle flexi boards (1691 kE) con inizio produzione a marzo 2025
- Stiamo terminando gli R&D e saremo pronti per la mass production nel 2025. Gli item fondamentali sono WLS, warm electronics e filtri dicroici.
- Il run di ProtoDUNE-VD è previsto alla fine del 2024 fino all'estate del 2025

# Alcuni highlights: ProtoDUNE-HD

Run di ProtoDUNE-HD: il PDS sta funzionando bene!

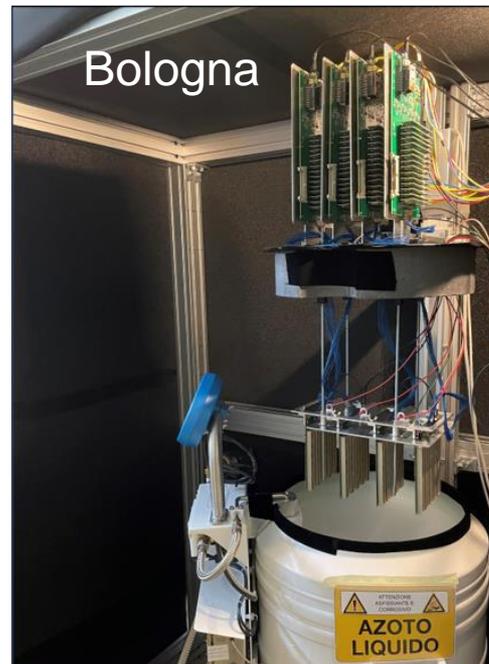
- Team onsite che include soprattutto personale spagnolo e italiano
- Nessun canale morto eccetto quelli disconnessi prima del cooling
- Noise e Signal-to-noise sembrano simili a quelli ottenuti in laboratorio ma l'analisi dettagliata è in corso



Run coordinato da A. Cervera (Valencia) e A. Minotti (Mib). Stiamo cercando di incrementare la presenza italiana onsite, possibilmente con persone che possono stare per lunghi periodi

# Alcuni highlights: CACTUS

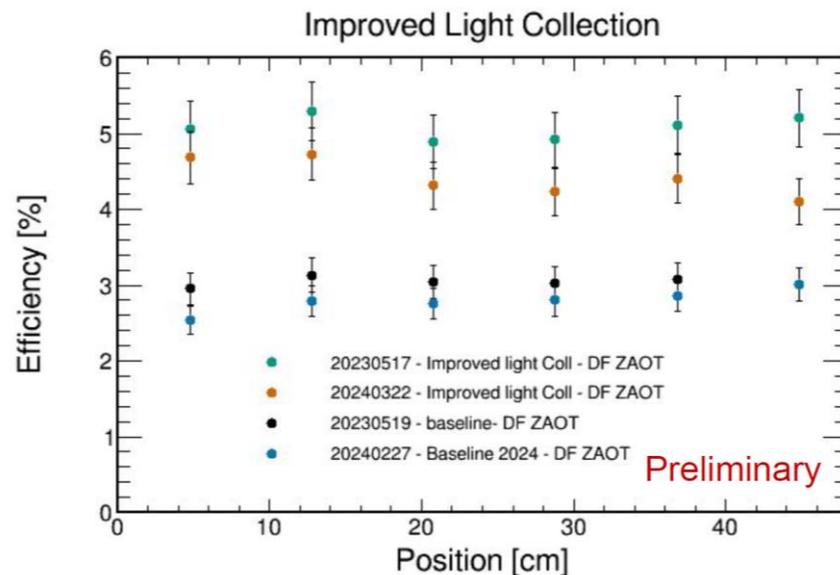
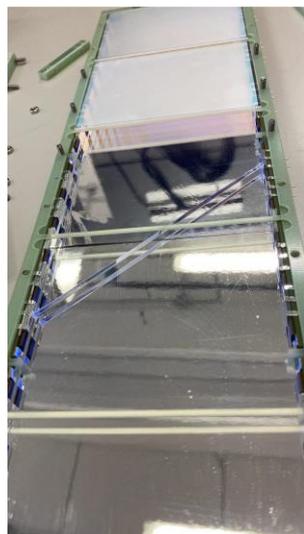
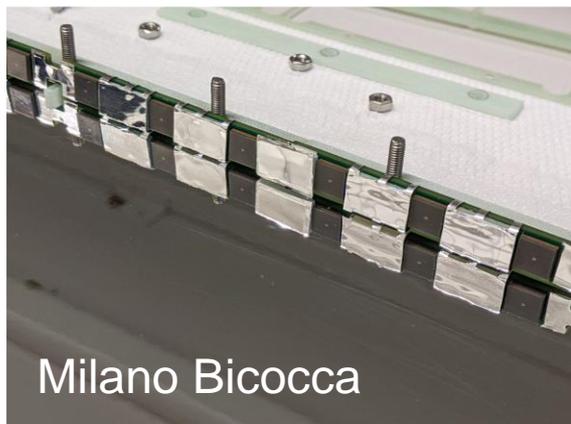
- Tutte le facilities CACTUS funzionano a pieno ritmo e senza particolari difficoltà
- Al momento lavoriamo a 1 turno/giorno con 200 boards al mese di rate ma sarà necessario passare a 2 turni al giorno quando le consegne FBK saranno a regime.
- Failure rate 0.31% per i sensori Hamamatsu



L'incremento del rate passa attraverso l'incremento del personale e abbiamo chiesto 3 operatori aggiuntivi su «fondi di giunta» (v. dopo)

# Alcuni highlights: miglioramenti PDE

Siamo riusciti a portare la PDE delle X-ARAPUCA dal 2.8% al 5% migliorando l'accoppiamento SiPM-WLS e con un taglio obliquo della barra WLS per ridurre l'optical path della luce intrappolata



Non sono modifiche a «costo zero» perché aumentano il costo di lavorazione delle barre e il tempo di installazione ma, visto l'enorme impatto, vogliamo implementarle mantenendo costante il budget complessivo (v. dopo)

# Preventivi Horizontal Drift (FD1-HD)

- Consumable per il run di CACTUS in Bo, Fe, Mib (15 kE per facility)
- Incremento del n. di operatori CACTUS di **tre** unità attraverso art.2222 per raddoppiare il rate di test delle facilities italiane [richiesta analoga fatta da Granada e Praga alle loro funding agency]
- Test di massa dell'elettronica fredda (LNS, Milano Bicocca) (7+6 kE)



**Core cost (fondi di giunta):** Piano originario prevedeva 1 operatore nel 2024 e 1 nel 2025. Non abbiamo chiesto l'operatore 2024 per via del ritardo nella consegna dei SiPM FBK. Inoltre, abbiamo «recuperato» da Praga 35 kE sui fondi che ci dovevano per i SiPM e che usiamo per ridurre la quota che dobbiamo restituire agli Spagnoli. Perciò la richiesta dei 3 operatori invece che 2 è sostanzialmente a budget costante

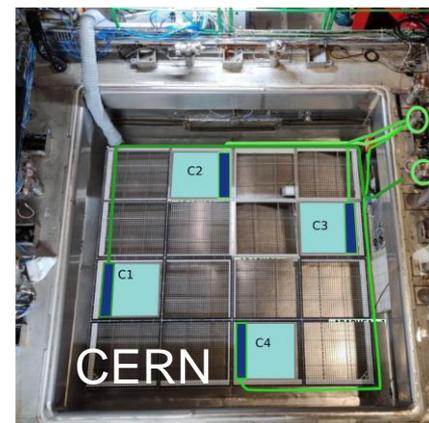
INFN Core Cost Spending Profile		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
Labor					38	114	76		228

Costo annuo: 38 kE. 6 operatori nel 2024-26 di cui 2(+1) per CACTUS e 4 per pTP

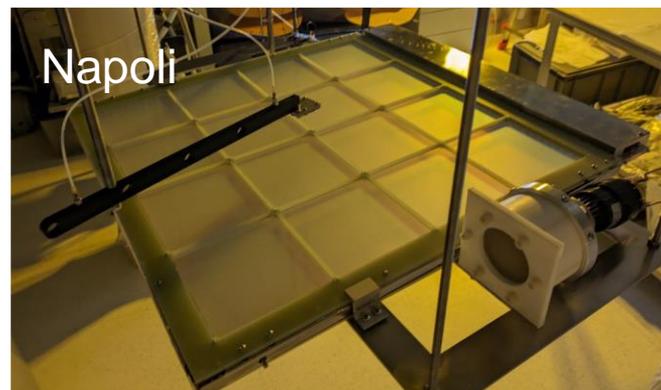
# Highlights FD2-VD

Elettronica: completato il design che accoppia DAPHNE con il Signal-over-fiber (Milano-Bicocca, Parigi).

Completata l'attività sull'elettronica fredda. Due soluzioni concorrenti (Fermilab vs Milano Bicocca) con down-selection prevista nell'autunno 2024



Test tile del Vertical Drift a Napoli nella facility «Darkside». Misure determinanti, assieme a quelle di CIEMAT, per il design finale (v. dopo)



Setting up del laboratorio di deposizione del pTP.

Dal 2024, l'INFN coordina tutta l'elettronica warm di FD2-VD («DAPHNE-VD»)

Importanti risultati ottenuti al CERN in questi mesi in preparazione del **run di ProtoDUNE-VD** che, al momento è previsto nell'autunno 2024.

# Stato della gara dei SiPM di FD2-VD

- Fornitura: n.107520 SiPM corrispondenti a 5376 flex boards + spares
- Fondi interamente disponibili a partire da Giugno 2024: 1319 kE (richieste 2024) + 172 kE (richiesta originariamente pianificata nel 2025) + 100 kE (fondi risparmiati nel 2023 per la gara dell'Horizontal Drift di cui è stata ottenuta la riassegnazione) + 100 kE (extracosto dovuto alla mancanza dei fondi della Repubblica Ceca) **TOTALE 1691 kE** [fondi già stanziati dalla commissione 1: 450 kE]
- Ulteriori semplificazioni amministrative concordate con AC
  - Non è necessario firmare i contratti entro la fine del 2024. L'importante è far partire la gara (ovvero completare l'RDA) entro il 2025. Prevediamo di emettere l'RDA a ottobre 2024, firmare i contratti a Febbraio 2025 e cominciare la produzione ad Aprile 2025
  - Non è necessario fare una manifestazione di interesse perché i vendor sono necessariamente gli stessi di FD1-HD
- Vantaggi di questa semplificazione: stiamo chiedendo sia a HPK sia a FBK di produrre **prima della gara** alcuni flexi in modo identico a quello della mass production. SiPM da vendor, flexi acquistati dai vendor attraverso un subcontractor (Cirexx), saldatura da vendor. Ovvero, il vendor prende la responsabilità di tutta la chain che porta al prodotto finale. Test in corso.

# Preventivi Vertical Drift (FD2-VD)

Richieste 2025:

- Produzione barre WLS – richiesta 360 kE su fondi giunta
- Produzione filtri dicroici – richiesta 1029 kE su fondi giunta
- Produzione warm electronics (DAPHNE-VD) 219 kE
- [Meccanica FD2-VD (item spagnolo ma coperto da INFN) 40 kE]

INFN Core Cost Spending Profile		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
FD:									
FD1	SiPM		1583						1583
	electronics				312				312
	module (mass test of supercell)							50	50
FD2	WLS bars from Glass-to-Power		33		40	320			393
	Dichroic filter				479	550			1029
	Electronics					216			216
	Meccanica				80	40			120
	Labor				38	114	76		228
	SiPMs		5		1320	174			1499

# Una potenziale opportunità

Le misure fatte a CIEMAT, Milano Bicocca, Napoli sono concordi nell'indicare che:

- Nel corso degli anni (R&D), l'efficienza delle barre WLS è cresciuta grazie all'ottimizzazione e al miglior coupling dei SIPM mentre le performance dei filtri dicroici sono rimasti sostanzialmente uguali
- Nelle tile di FD2-VD addirittura, il contributo dei filtri dicroici è trascurabile
- Il Consorzio sta valutando la possibilità di sostituire i filtri dicroici con dei semplici supporti in vetro in cui deporre il ptp, investendo i corrispondenti soldi risparmiati nel WLS e nel resto della meccanica.
- Inoltre, con i soldi risparmiati, potremmo migliorare anche la PDE dei moduli di FD1-HD migliorando la lavorazione e creando delle tile trapezoidali («taglio»).

Conseguenze:

- Risparmiamo circa 950 k€ sui filtri ma il **lavoro sulla deposizione del pTP rimane uguale**
- Spendiamo parte di questi soldi per migliorare le WLS sia di FD2-VD che FD1-VD.

# CACTUS-VD (Milano Statale)

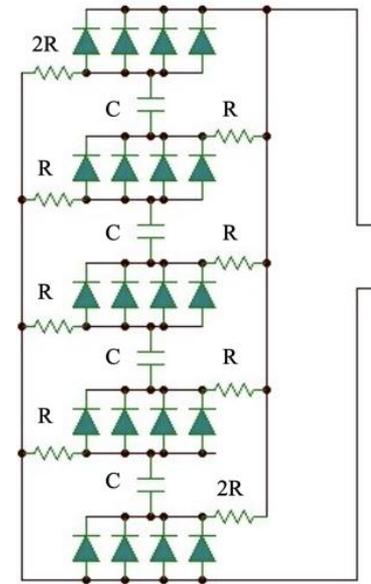
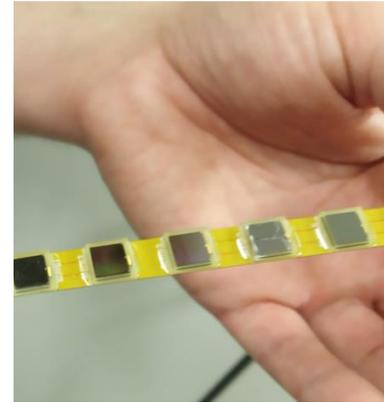
Nel 2025 deve entrare in funzione la facility di test di massa per FD2-VD. A differenza di CACTUS, CACTUS-VD testa i SiPM a gruppi di 20 SiPM effettuando

- 3 cicli termici con lo stesso profilo termico di CACTUS
- Misure delle curve I-V dei SiPM in parallelo
- Misura della risposta dei SiPM alla luce a temperatura ambiente per controllare se ci sono SiPM disconnessi

Nel 2024, Milano Statale e Bicocca hanno dimostrato che le curve I-V permettono di identificare SiPM difettosi, montando dei SiPM difettosi di FD1-HD nella stessa configurazione di ganging di FD2-VD. Ferrara ha dimostrato che l'elettronica di CACTUS puo' essere riadattata al CACTUS-VD.

Throughput: 30 flexi per raffreddamento. 1 ciclo da 30 flex al giorno. Basterebbe una singola facility operativa per circa 1 anno per effettuare tutti i test.

**Questa facility sarà installata a Milano Statale, che coordina anche lo sviluppo (resp. M. Lazzaroni) [42+5 kE]**

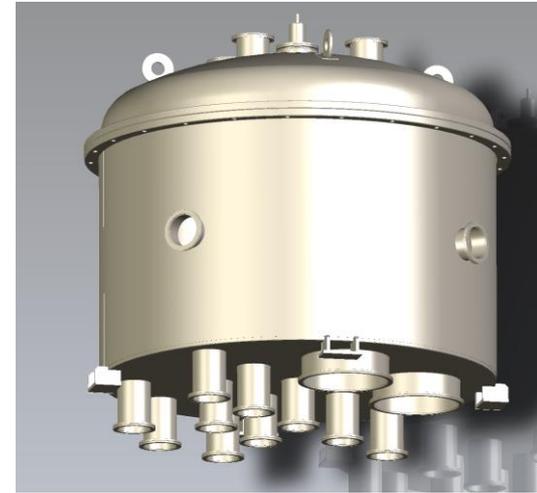


# Deposizione del pTP (Napoli)

Facility finanziata nel 2024 in corso di realizzazione:

- Main chamber: design completo e produzione in corso
- Pumping station 40 m<sup>3</sup>/h e 2300 l/s turbopump.
- Sistema motorizzato sul top per ruotare il disco contenente i filtri (24 filtri/run)
- Crogioli prodotti e testati in vuoto
- Maximum operating temperature 500°C, working temperature at 250-300 °C

Ci aspettiamo che il commissioning della facility sia completato entro la fine del 2024. La schedula attuale prevede l'inizio delle operazioni nella primavera del 2025.



# Piano di lavoro

Duration of the whole evaporation process is estimated at approximately 4-5 hours

Main steps of the process:

- Measure of mass for every 2 or 3 filters before and after the evaporation
- Filters positioning on the holder disk and Preparation of the control samples
- Insertion in the chamber
- Vacuum phase and Evaporation with PTP
- Opening of the chamber and removal of the disk
- Removal the filter and place them in the proper boxes
- Check the control samples

- **2 shift for day: 8-10 hours**
- **48 filters/day**
- **Required 346 days (about 70 weeks)**
- **2 years of operation involving INFN technicians and shifts of Italian collaboration.**

	Number of modules	Number of filters per module	Total number of filters
Membrane modules	352	16	5632
Cathode modules (double side)	320	32	10240
Spares		10%	750
Total			<b>16622</b>

# Analisi e simulazione

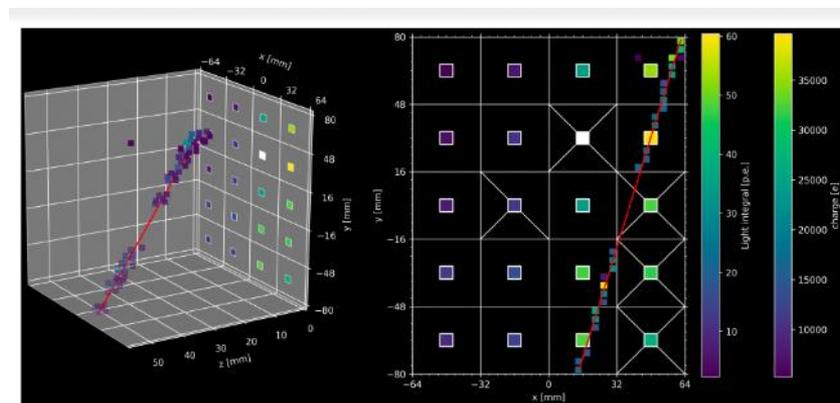
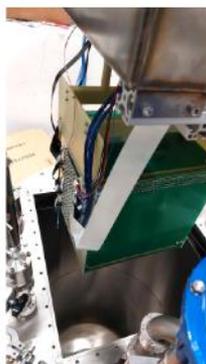
E' un ambito in cui abbiamo lavorato molto in questi anni e i risultati stanno arrivando:

- Run di ProtoDUNE: stiamo dando contributi su curve I-V, deconvoluzione, stima del S/N, setting up del framework di analisi (Waffles) e, in prospettiva, analisi dei cosmici (luce+carica). Bologna, Ferrara, Milano Bicocca, Milano Statale
- Simulazione di DUNE: responsabilità del data quality del PDS e degli eventi a bassa energia (**NEW!**), simulazione della risposta dei SiPM e del digitizer, mappe di luce
- Analisi di fisica:
  - Combinazione luce carica per gli eventi di fascio per FD1 e FD2
  - **NEW!** Fisica dei neutrini solari: identificazione dei flash di luce per la reiezione del background e per le trigger primitives

# 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. Milano Statale, Bicocca e Parma

**NEW:** PEN ad alta efficienza per incrementare il light yield delle tile di membrana per il terzo modulo. R&D comune con LEGEND e richiesto sotto tag «DRD2»

# Fondi di giunta 2024

Gli item chiesti nei preventivi 2023 erano:

- Fondi gara SiPM: **OK!**
- Preproduzione WLS: 40 kE previsti ma saranno sufficienti 30 kE
- Meccanica (item spagnolo): 80 kE previsti e confermati

Richiederemo perciò uno sblocco di 110 kE invece che 120 kE per completare tutte le gare 2024

INFN Core Cost Spending Profile		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Total
FD:									
FD1	SiPM		1583						1583
	electronics				312				312
	module (mass test of supercell)							50	50
FD2	WLS bars from Glass-to-Power		33		40	320			393
	Dichroic filter				479	550			1029
	Electronics					216			216
	Meccanica				80	40			120
	Labor				38	114	76		228
	SiPMs		5		1320	174			1499

# Conclusioni

Le attività PDS del 2024-25 seguono i piani originari senza particolari criticità di performance, schedule o finanziarie.

- Il run di ProtoDUNE-HD è in corso ed è schedulato fino a Settembre. ProtoDUNE-VD sarà riempito subito dopo e continuerà fino all'estate del 2025. I risultati da ProtoDUNE-HD per il PDS sono eccellenti!
- La mass production di FD1-HD è in corso. I SiPM Hamamatsu hanno un rate di mortalità bassissimo 0.3% e le facility CACTUS stanno tenendo il passo della produzione anche se richiedono un incremento del personale con l'arrivo dei SiPM FBK
- Il nucleo delle richieste finanziarie per il 2025 è su FD2-VD con la mass production delle barre WLS, dei filtri dicroici e di DAPHNE-VD
- Due importanti facilities saranno operative nel 2025: CACTUS-VD e la facility di Napoli per la deposizione del pTP
- L'attività INFN si è ulteriormente rafforzata nell'analisi (ProtoDUNE, low energy) e nell'R&D di Fase 2 che è prevalentemente finanziato da fondi esterni alla commissione (e.g. DRD2).