

Photon Detection System (PDS)

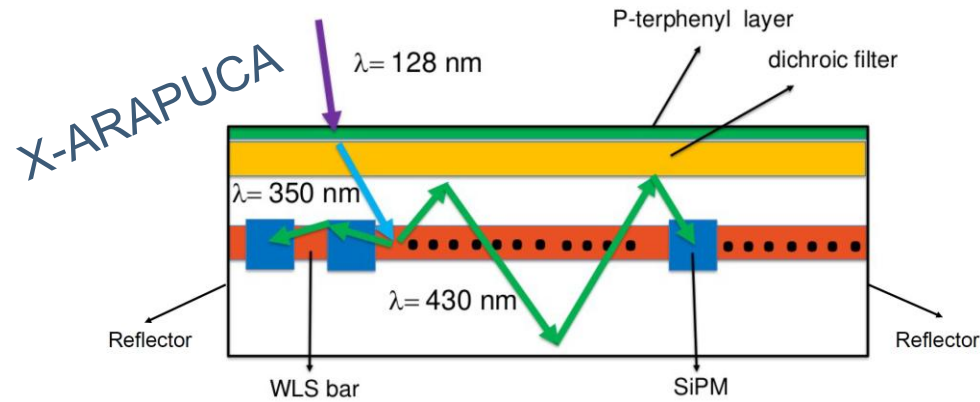
Preventivi 2026 DUNE

F. Terranova a nome dei gruppi PDS italiani

Nota: principali novità già presentate alla riunione della Comm.1 di Maggio v. [qui](#)

24/7/2025

Il Photon Detection System di DUNE



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



SiPM
Elettronica
criogenica

[completato
nel 2024]

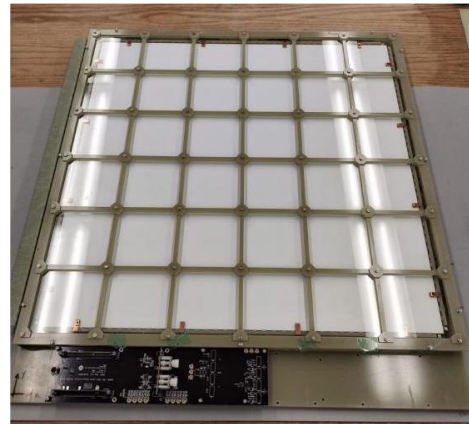


1500 moduli posizionati all'interno
dei piani anodici di **FD1-HD**



SiPM
Elettronica criogenica
e room T
WLS
Filtri dicroici

[core spesa: 2025-26]



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

FD1-HD: core cost

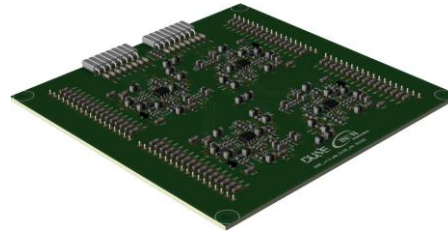
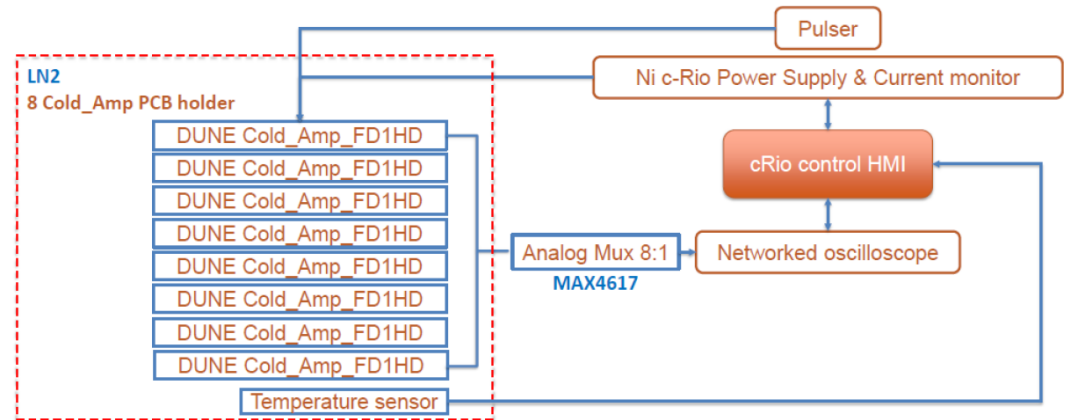
Tutte le spese di core-cost sono state completate o sono in fase di completamento con un'unica eccezione: le signal lead boards

- FD1-HD: abbiamo avuto un **serio** extra-costo per le Signal-Lead-Boards perché le ditte non riescono ad automatizzare l'inserimento dei connettori mill-max femmina e perciò il costo non sta scalando con le quantità. Abbiamo acquistato boards a sufficienza per la schedule 2025 (38% del totale) e acquisteremo il resto nel 2026. **Extracosto: 227 kE richiesti da INFN-Mi nel 2026.** Ovviamente questo «extracosto» non impatta sul bilancio complessivo di DUNE PDS visto i grandi risparmi economici avuti dopo l'eliminazione dei filtri dicroici in FD2-VD



- La gara **dell'elettronica fredda** e' stata completata. A luglio, INFN-LNS ha sostanzialmente completato il commissioning della facility di test. Di conseguenza, partiremo con la mass production a Settembre e completeremo sia la produzione che il test nei sei mesi successivi. A questa attività contribuisce, a partire da Settembre, **anche il nuovo gruppo DUNE di INFN-Catania (sotto sigla ICARUS, RL C. Petta) che include anche il gruppo di Palermo di G. Marsella**

Sistema di test dell'elettronica fredda FD1-HD ai LNS



Schede da testare: 1500 + spare. Cooling cycle di 8 schede/ciclo e 2 ore/ciclo. 50 giorni lavorativi per testare l'intera produzione.

Il run di ProtoDUNE-HD del 2024

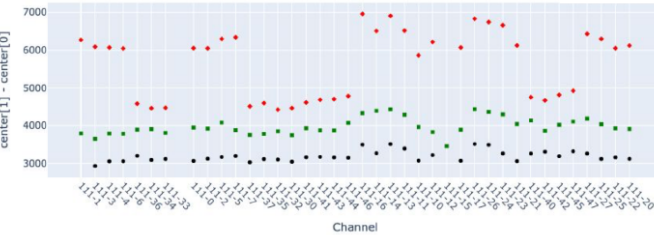
Gain, S/N, dyn. ran

LED Calib.

J. Ureña (link)

Gain per channel in APA3

• PDE = 0.4
• PDE = 0.45
• PDE = 0.5

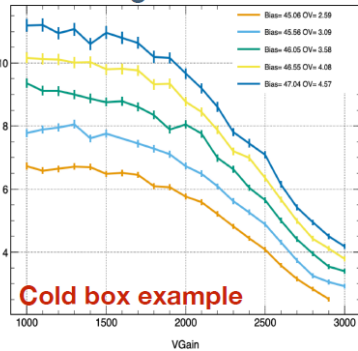


Redout optimization (Vgain scans)

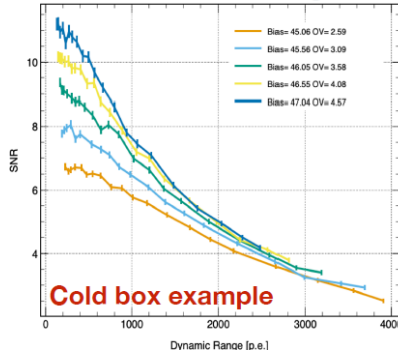
F. Galizzi, E. Cristaldo
(link for cold box)

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

S/N vs Vgain



S/N vs dynamic range

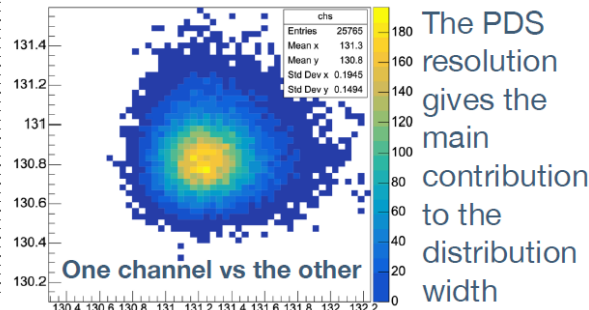
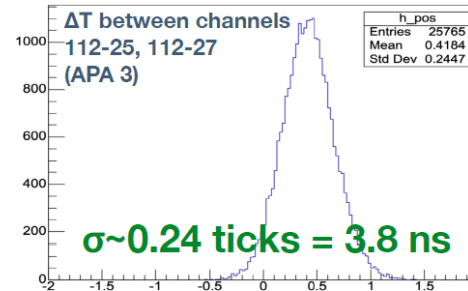


Time resolution

F. Galizzi (link)

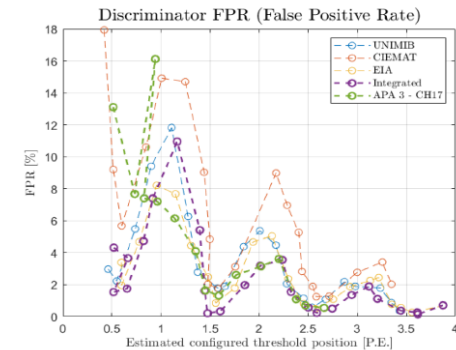
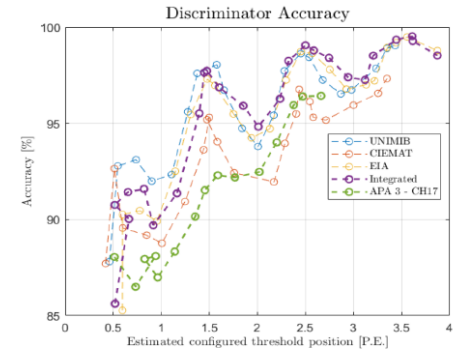
2.7 ns ($3.8/\sqrt{2}$) for a single channel

Should improve with clustering several channels after alignment



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 dell'INFN (Bologna, Ferrara, Lecce, Milano, Milano Bicocca) sia nella presa dati sia nell'analisi

FD1-HD: CACTUS

Le facilities CACTUS hanno funzionato molto bene e abbiamo completato i test di tutti i SiPM Hamamatsu. Failure rate Hamamatsu: 0.3%.

I SiPM FBK hanno avuto molti mesi di ritardo a causa di alcuni problemi meccanici oramai risolti e **FBK produce SiPM con un rate di circa 1400 boards al mese** con un failure rate che finora è attorno allo 0.7%

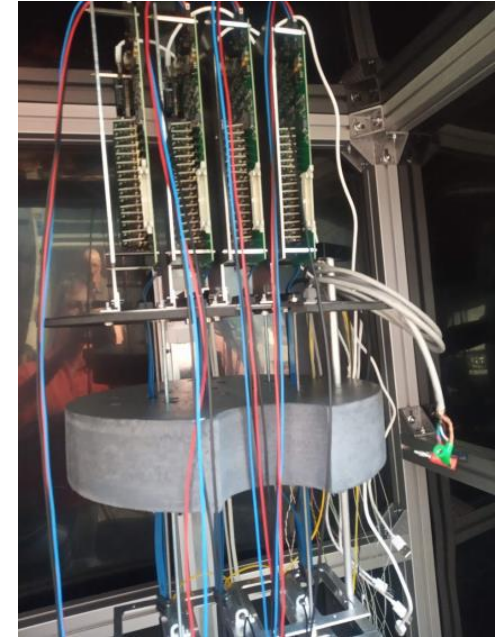
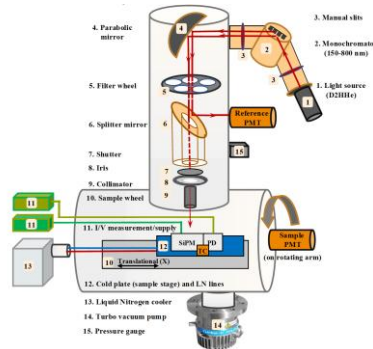
Questo ci ha permesso di ritardare il passaggio ai due turni che però ora è diventato essenziale se vogliamo completare i test prima dell'estate 2026.

La giunta sta valutando la possibilità di aprire contratti con varie modalità con i fondi già assegnati nel 2025

Inoltre:

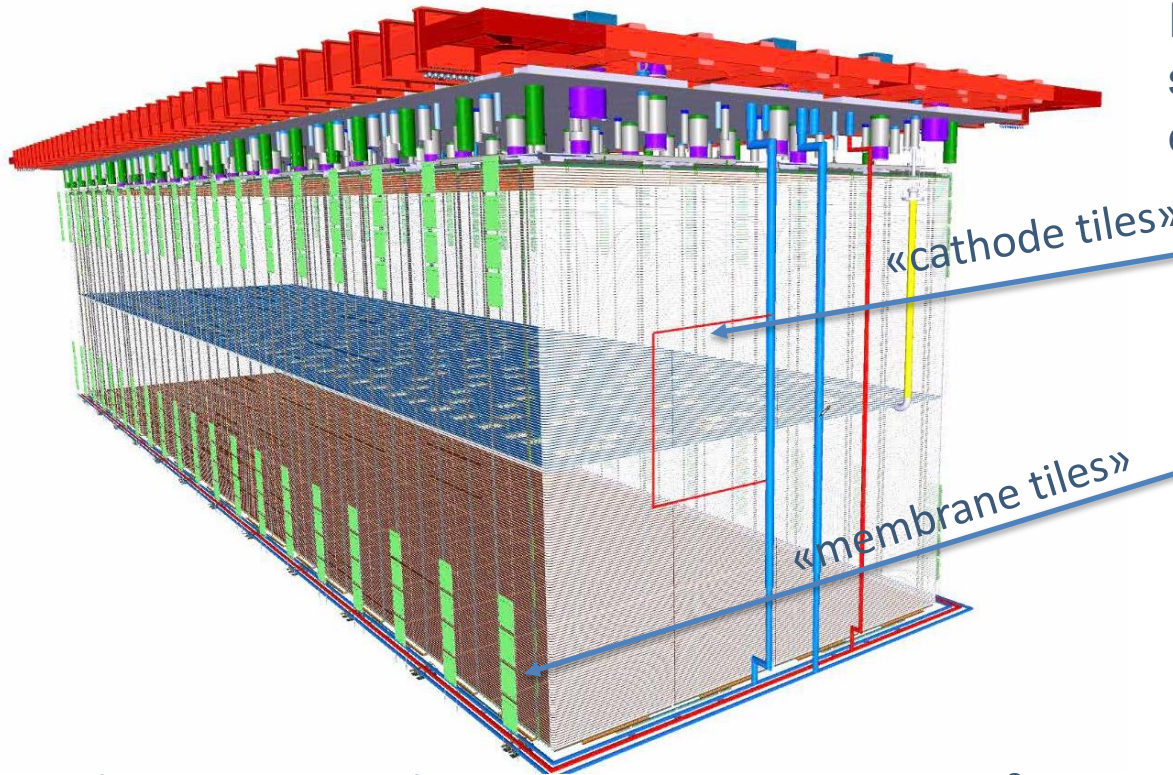
PREPARED FOR SUBMISSION TO JINST

Cryogenic characterization of FBK NUV-HD-Cryo 3T SiPM sensors for the DUNE photon detection system

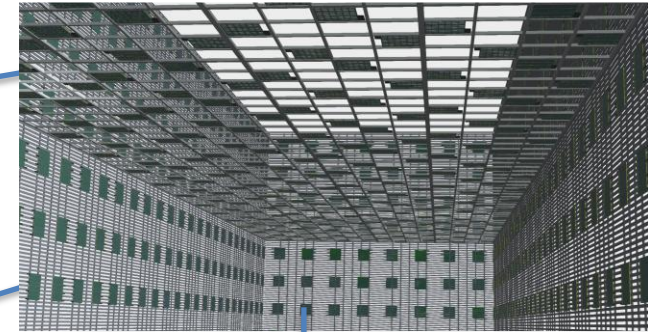


Caratterizzazione completa in collaborazione con FBK
Misure a TRIUMP in collaborazione con fisici di DarkSide

Il 2025-26 è focalizzato sul Vertical Drift: FD2-VD



Il «modulo» del FD1-HD è sostituito dalla «tile» (due canali, 160 SiPMs)



352 («single sided») membrane tiles: 60x60 cm², due canali di elettronica che leggono 80 SiPM in configurazione di ganging «ibrido»

320 («double sides») cathode tiles: 60x60 cm², installate nel catodo (300 kV!!) e dunque alimentate da laser che convertono la luce in tensione per evitare cavi vicino all'HV («Power over Fiber»).

FD2-VD: Stato generale

SiPM: gara in corso. Abbiamo assegnato il lotto 2 (metà dei SiPM delle tiles di membrana) a FBK, come previsto e gli atti sono in firma in giunta. Abbiamo avuto un problema con i documenti consegnati da Hamamatsu per un disguido nel sito delle gare pubbliche. Dovremo perciò rimandare l'invito ad Hamamatsu per il lotto 1 e questo causerà un paio di mesi di ritardo. Ci aspettiamo le prime consegne dopo l'estate.

WLS: La gara è pronta e stiamo mandando gli inviti. Ci aspettiamo di completare il processo entro fine luglio

ProtoDUNE-VD: il run è in corso ed è ripreso come da piani iniziali dopo la lunga interruzione causata dall'incidente al bld 183. E' molto probabile che il run verrà esteso alla prima metà del 2026 per permettere la presa dati con il fascio e l'intera elettronica top (CRT) embedded nel DAQ. **Abbiamo perciò chiesto fondi di missione per turni per il periodo Gennaio-Maggio 2026**

Filtri dicroici: sono stati eliminati e sostituiti da substrati di vetro su cui depositeremo il pTP. Questo ha permesso un grosso risparmio (1029-> 110 kE) che abbiamo usato per le WLS e l'extracosto delle signal lead boards. V. dopo

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

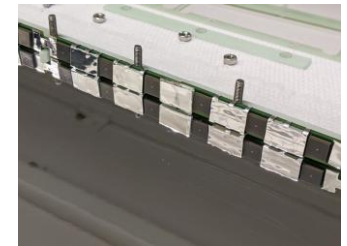
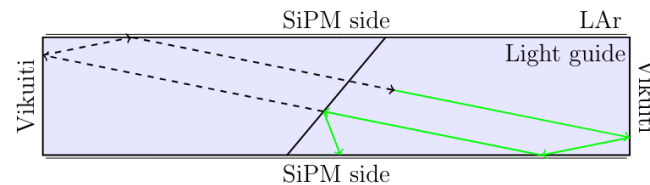
Le misure effettuate presso CIEMAT, Milano Bicocca e Napoli sono coerenti nell'indicare che:

- 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

L'INFN ha avuto un ruolo molto significativo nell'enhancement delle performance del sistema (Mib) e nelle misure che hanno portato a questa importante decisione (Mib, Na).

Cosa succede nell'Horizontal Drift?

- Anche FD1-HD trae vantaggio dal miglioramento delle WLS ma è limitato dal coupling tra i SiPM e le WLS perché non implementa il sistema basato sulle flexi boards
- In compenso, si può ottenere un miglioramento significativo dell'efficienza riducendo il cammino ottico della luce con un **taglio a 40°** e inserendo dei **blocchetti riflettivi** tra i SiPM
- In questo momento, si stanno svolgendo misure a CIEMAT (Madrid) con personale CIEMAT e INFN-MiB per prendere una decisione finale entro la fine del 2025.
- Nelle richieste finanziarie abbiamo perciò una voce s.j. all'outcome di questi test e alla ripartizione dei costi col Brasile. **Se venissero tolti i filtri dicroici, la voce andrebbe a zero perché le migliorie sarebbero pagati dal Brasile con i soldi risparmiati**



Facility di deposizione del pTP a Napoli

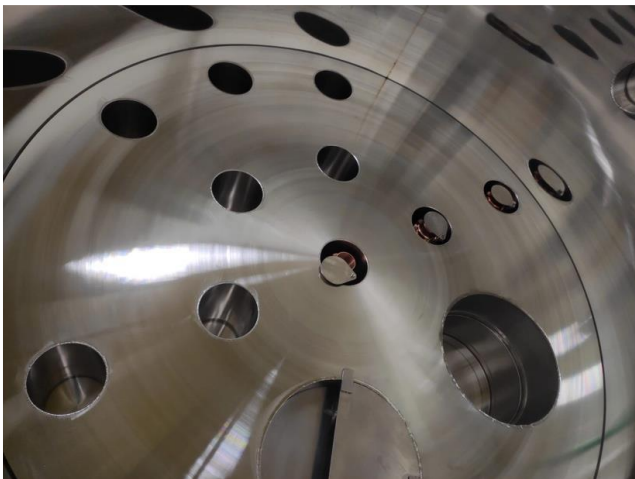
E' l'item più labor intensive di DUNE e la giunta ha deciso, pochi giorni fa, di finanziare i due operatori attraverso contratti con ditte esterne. Ci aspettiamo la delibera domani, 25 Luglio.



Principali richieste finanziarie (Napoli):

- pTP (12 kE)
- Quality check dei substrati (10 + 3.5 kE)
- Trasporti (11 kE)
- Sistema dello Xenon-doping (completamento delle parti già finanziate – 12 kE)

Vista la decisione della Giunta, la richiesta degli operatori (102.5 kE) su preventivi 2026 è solida e riguarda il rinnovo contratti a ottobre 2026 per coprire il 2027.



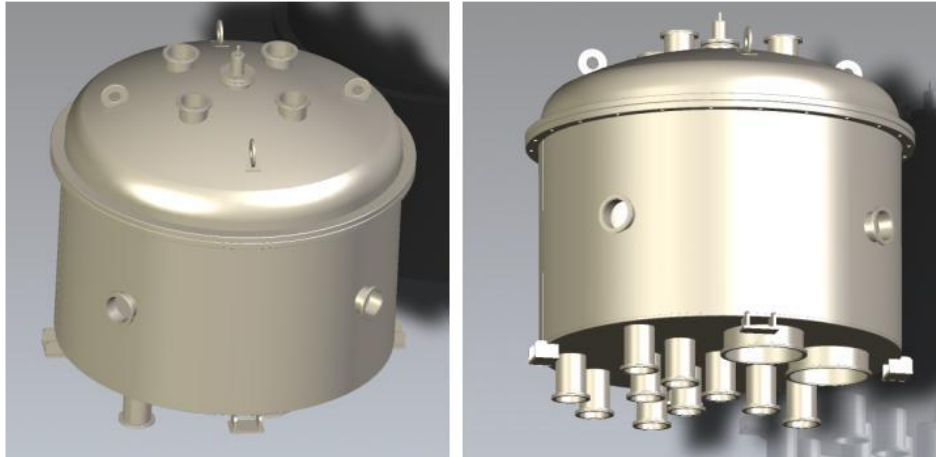
Il rate di produzione di Napoli è significativo (24 substrati/ciclo, 2 cicli al giorno) ma è al limite del critical path di DUNE dopo la decisione di anticipare la costruzione di FD2-VD. V. dopo

Facility di deposizione del pTP a Pavia

Nel 2024, il Consorzio ha deciso di finanziare una nuova facility di deposizione a Pavia senza impattare sui fondi INFN (core-costs dalla Repubblica Ceca). Questa facility coprirà fino al 20% della produzione complessiva, togliendo Napoli dal Critical Path di DUNE.

Stato:

- Design della facility completato nel 2024
- Prima tranche di ordini completati a Novembre 2024
- Seconda tranche di ordini in corso (Luglio 2025)
- Consegna dell'intera facility a Novembre 2025

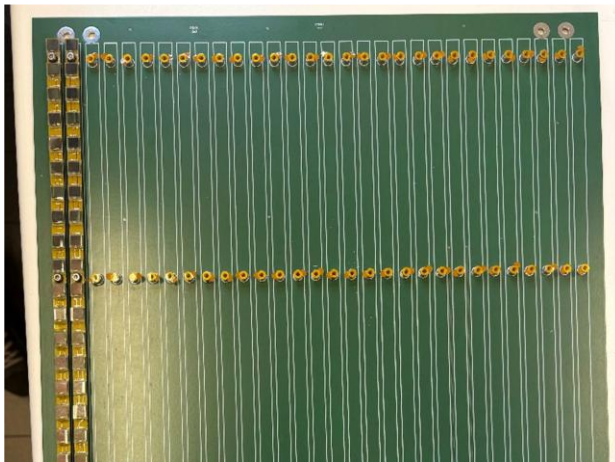


Richieste finanziarie 2026:
Consumabili (10 k€)
Inventariabile per il quality check dei depositi (7 k€)

CACTUS-VD

E' la facility di test per i SiPM di FD2-VD

- Design della facility completato nel 2024
- Procurement quasi completato (in attesa del movimentatore)
- Commissioning in corso presso INFN Mi
- Inizio dei test previsto alla fine del 2025 con personale INFN Mi, Mib e Catania/Palermo



Da testare 5376 flexi + spares
30 flexi per ciclo – 660 flexi/mese in 1 shift.
Durata dei test limitata dal production rate
dei SiPM (10-12 mesi)

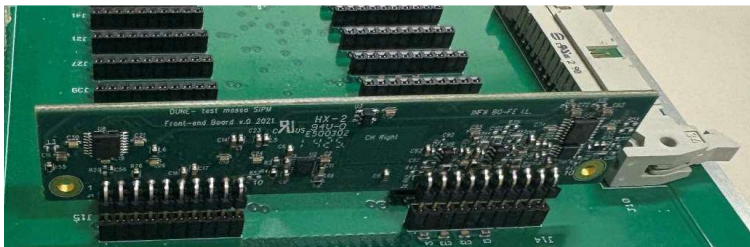
Richieste finanziarie 2026:

Spare (5+5 sj kE)

Azoto (15 kE)

Inventariabile per il quality check dei
depositi (7 kE)

Trasporti flexi (12 kE) e signal routing
boards (15 kE)



Cold electronics per FD2-VD

Esistono 3 tipologie di schede a freddo

- Una scheda a freddo «tradizionale» basata sul design FD1-HD ma adattata a FD2 che usa una diversa configurazione di «ganging» e legge fino a 80 SiPM (versus 48 di FD1-HD). Questo design è stato ottimizzato per i SiPM FBK e verrà usato per leggere le «tile di membrana» che montano FBK (metà delle tile di membrana)
- I sensori HPK verranno usati sia per le «tile di catodo» sia per quelle di membrana (rimanente 50%). Fermilab ha ottimizzato l'elettronica per questi sensori
- INFN pertanto coprirà l'elettronica ottimizzata per FBK (80 kE) mentre il Fermilab tutto il resto
- Il design è completo ed è stato validato nel 2024-25
- Siamo pronti per l'ordine, che verrà emesso dopo la Production Readiness Review dell'elettronica di FD2-VD a fine 2025 (80 kE)



Nuclear Instruments and Methods in
Physics Research Section A:
Accelerators, Spectrometers, Detectors
and Associated Equipment
Volume 1045, 1 January 2023, 167602



A $0.22 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, 4.5 mW/channel
cryogenic amplifier for large arrays of
SiPMs in liquid Argon

Warm electronics per FD2-VD

E' basata sulla scheda DAPHNE che effettua le seguenti funzioni:

- Amplificazione di secondo stadio e digitalizzazione (AFE)
- Online filtering e trigger (firmware)
- Interfaccia con il DAQ (firmware + software)



Piano originario dell'MoU (fino al 2024): US DAPHNE per FD1-HD, Italia+Spagna DAPHNE FD2-VD

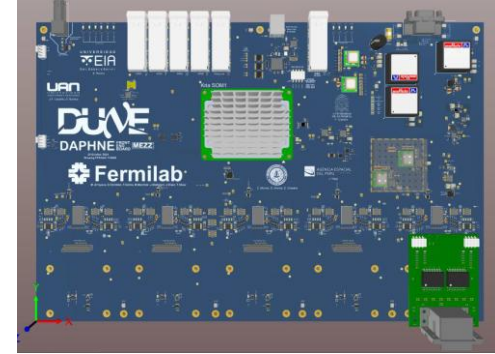
Nel 2024 abbiamo «unificato» buona parte del design delle schede e abbiamo concordato **uno sharing più razionale**, ovvero:

- US ha in carico la motherboard DAPHNE che contiene tutta la parte digitale e gli ADC (AFE)
- Italia e Spagna hanno in carico la parte a valle dell'AFE (analogica), ovvero tre mezzanini che ricevono il segnale dai moduli FD1-HD (770 mezzanini) e dalle «tile di membrana» di FD2-VD
- La Francia, che ha sviluppato il sistema optoelettronico di lettura del segnale nelle tile di catodo, ha in carico il corrispondente mezzanino («tile di catodo»)

Stato di DAPHNE

Sviluppo coordinato da D. Christian (Fermilab), P. Carniti (INFN Mib), e I. Lopez de Rego (CIEMAT).

- Motherboard: versione finale pronta («DAPHNE v3») in corso di validazione al Fermilab, CERN e Milano Bicocca
- Trigger firmware completato nel 2024 e validato in ProtoDUNE-HD e VD (v. dopo) [Main developer: E. Cristaldo INFN Mib]
- Communication and memory management firmware quasi completato
- High level trigger (software + firmware) in corso [Main developers: Spagna]
- Mezzanini in corso di validazione



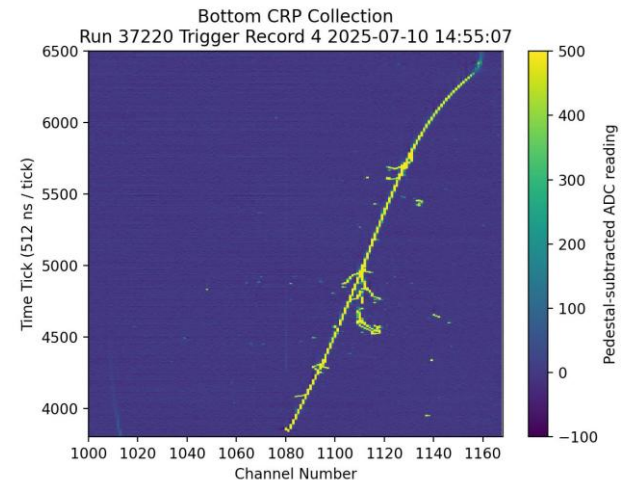
Ci aspettiamo di completare la validazione entro l'inizio del 2026

Il costo della mass production è di 108 kE (Italia) e 108 kE (Spagna). L'INFN paga tutto perché fa parte dei soldi che dobbiamo restituire alla Spagna per l'anticipo dei SiPM FD1-HD. **Richiesta su fondi di giunta di 216 kE nel 2026**

ProtoDUNE-VD

Il run è ripreso dopo la lunga interruzione seguita all'incidente al bld.182 (non correlato a ProtoDUNE ma che ha «bloccato» tutte le attività della Neutrino Platform

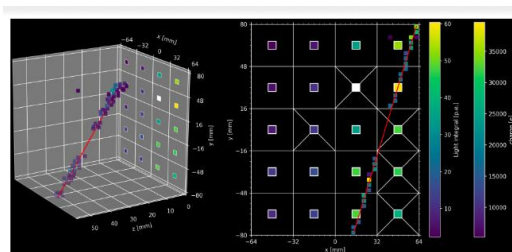
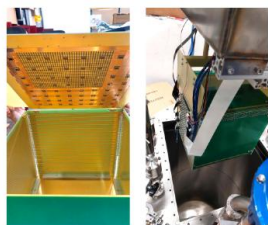
- Commissioning del PDS in corso. Stiamo acquisendo in configurazione di self-trigger e full-stream
- La scorsa settimana abbiamo acquisito il primo run di fascio (beam commissioning mode) e il PDS ha mostrato buone performance
- Il resto della TPC è in fase di commissioning e l'HV e' stata testata con successo a 154 kV durante il primo run di fascio (10 Luglio). Il prossimo run di fascio è previsto la prossima settimana



DUNE Phase II

Gli altri due moduli di DUNE sono ancora in fase di R&D e solo parzialmente finanziati («Phase II»). Milano Bicocca e Statale sono coinvolti in questo R&D con fondi non-INFN. E' un attività che crescerà nel tempo coinvolgendo anche nuovi gruppo (Bologna, Catania, Ferrara etc.) ma che al momento non richiede finanziamenti significativi (**richieste solo su INFN-Mi per 14.5 kE**)

- 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 da Milano e Parma + Grant Giovani Gr.V e PRIN 2020.
- Sviluppo di sensori back-illuminated per alta efficienza quantica nel VUV (IBIS_NEXT, Gruppo V e Dip. di Eccellenza Unimib)

Summary dei F2-VD Core costs

Richieste 2025:

- Produzione barre WLS – **richiesta 593 kE** (di cui 543 kE già disponibili su bilancio MiB e 50 messi dalla Commissione ad Aprile) **[OK]**
- ~~Produzione filtri dicroici~~ → Vetri e scatole – richiesta **110 kE [in delibera 25/7]**

Richieste 2026:

- Produzione warm electronics (DAPHNE-VD) **216 kE**
- Signal lead boards seconda tranche **227 kE**
- FD2-VD «FBK» cold electronics (20 kE) Monitoring system (item spagnolo – restituzione) 180 kE Contributo ai WLS di FD1-HD (150 kE s.j.) – Totale **350 kE**

Totale 2025: 703 kE

Totale 2026: 793 kE

Totale 2025+2026 = 1496 kE

Come anticipato a Settembre 2024, l'operazione filtri dicroici porta a un risparmio di circa 100 kE (in realtà 69 kE) e un profilo di spesa biennale piuttosto che annuale