

# Photon Detection System e richieste MiB

Riunione con i referee di DUNE

6 settembre 2023

F. Terranova

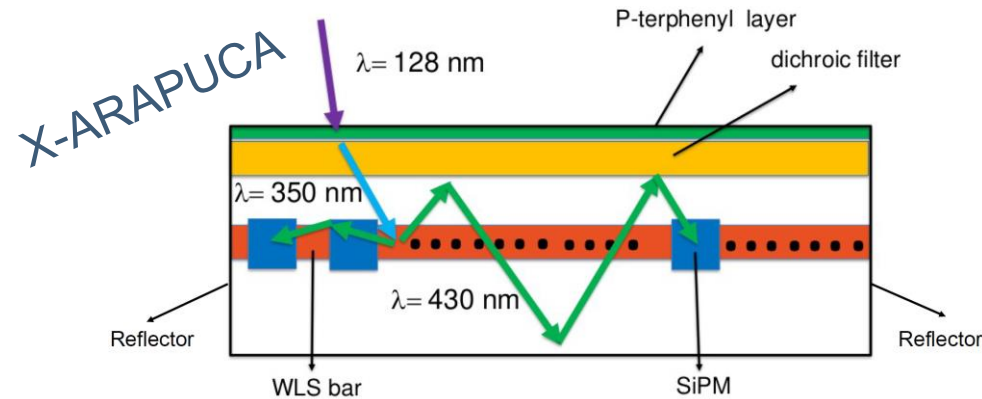
# Uno sguardo di insieme

L'INFN ha un ruolo molto significativo anche nel Far Detector e, in particolare, nella realizzazione del sistema di rivelazione della luce di scintillazione (Photon Detection System, PDS) che serve per:

- Fornire il trigger per gli eventi non di fascio (atmosferici, solari, supernova, proton decay candidates)
- Migliorare di un ordine di grandezza la localizzazione dell'evento fornendo il  $t_0$  alla TPC (1 cm se uso il tempo di estrazione dei protoni al Fermilab, 1 mm se uso il flash di luce di scintillazione)
- Migliorare – soprattutto  $<100$  MeV – la risoluzione energetica di DUNE combinando l'informazione sull'energia deposta che si trasforma in carica con quella che si trasforma in luce («combined light-charge calorimetry»)

In questo momento i primi due moduli del Far Detector sono finanziati e in costruzione (FD1-HD e' già in Production Readiness Review, FD2-VD è in Final Design Review e sarà in PRR all'inizio del 2024). Di conseguenza, **il PDS è il maggior spending driver di DUNE-INFN nel triennio 2023-25.**

# 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

# Organizzazione del PDS e ruolo INFN

Il PDS di tutti i moduli di DUNE è realizzato da un Consortium regolato da un MoU generale MIUR-DOE e due MoU specifici Fermilab-DUNE relativi a FD1-HD e FD2-VD preparati nel 2022-23 e approvati in giunta esecutiva

Il Consortium è guidato da un consortium leader (E. Segreto, Brazil) e due technical coordinators (D. Warner, USA e F. Terranova, Italy) + un deputy specifico per FD2-VD (F. Cavanna, USA) e l'attività è suddivisa in Working groups.

**La presenza INFN è molto significativa visto che l'INFN contribuisce a circa il 30% del costo di tutto il PDS**

Convenors: A. Montanari (Photosensors), C. Gotti (Cold electronics), C. Cattadori (light collection)

Management Board del Consorzio: F. Terranova, A. Montanari, L. Patrizii

Integration Engineer: P. Carniti

# FD1-HD chi fa cosa

Gruppo leader

Contributi finanziari e intellettuali

Contributi intellettuali ma non finanziari

## X-ARAPUCA

Mechanics, dichroic filter, WLS

**Brasil**

CSU (US)

Fermilab (US)

Italy (WLS)

## SiPMs

SiPMs e boards

**Italy**

Spain

Czech Rep.

NIU (USA)

## Cold amplifiers

Cold amplifiers, ganging

**Italy**

Spain

## Warm electronics

Digitizer (DAPHNE)

**Fermilab (US)**

Colombia

Peru'

NIU

INFN

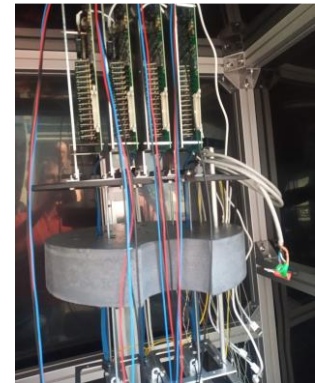
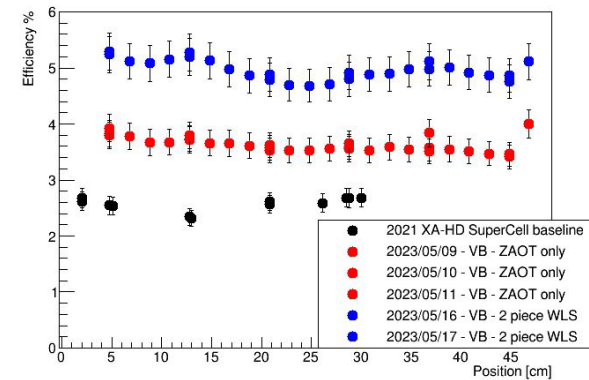
Contributi INFN: SiPM per un valore di 2.4 M + 192 kE (boards). In realtà abbiamo speso “solo” 1.5 Meuro perché gli spagnoli avevano necessità di spendere i loro soldi entro il 2023 per via dei vincoli del Recovery Fund (partita di giro: dobbiamo restituirglieli). Criticità: spares (5%) anticipati da Spagna ma fondi Repubblica ceca forse non disponibili. Trattativa in corso (potenziale extracosto massimo: 300 kE)

# Highlight del 2022-23: «Horizontal drift»

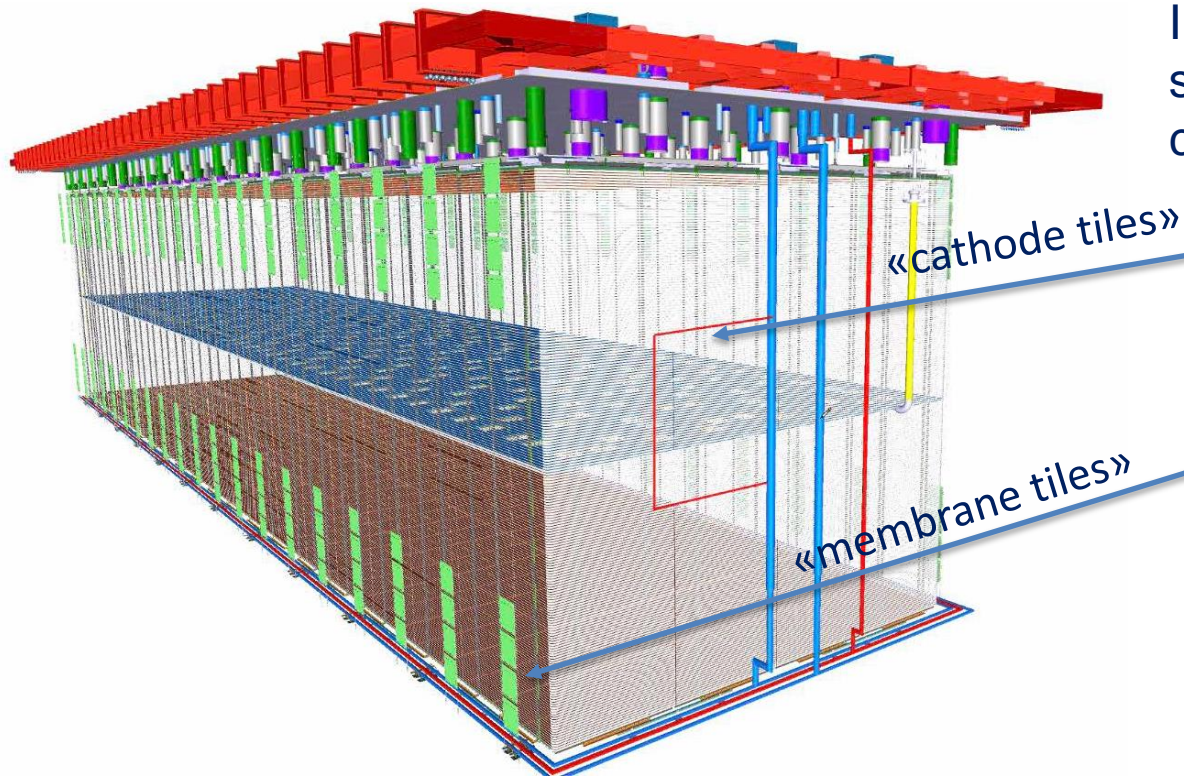
- E' cominciata la produzione di massa dei SiPM del primo modulo (300000)! Si svolgerà in 1.5 anni. 50% dei SiPM da FBK e 50% da Hamamatsu. E' un risultato che deriva da due anni di R&D per la realizzazione di sensori customizzati.
- Abbiamo completato l'installazione di ProtoDUNE-HD (ovvero il Run II di protoDUNE-SP) e siamo pronti per il run che avverrà all'inizio del 2024
- Abbiamo 2 facility CACTUS operative (Bo, Fe) e la terza ha terminato il commissioning il 4 settembre (Mib).
- Abbiamo raggiunto un'efficienza di rivelazione dei fotoni nell'X-ARAPUCA >4% nel test stand di Milano Bicocca
- Abbiamo completato il commissioning della warm electronics (scheda DAPHNE) presso i nostri laboratori e il CERN



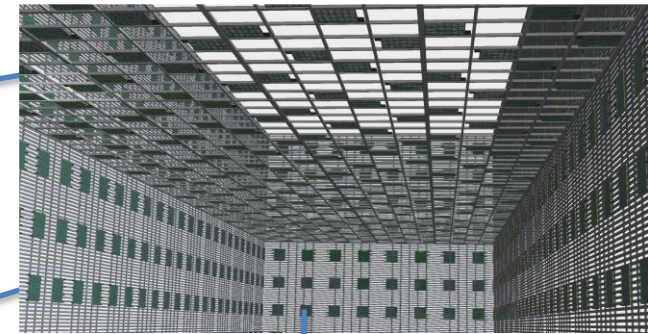
HPK G2P ZAOT only - increased light sealing + new light guide



# Il 2023 è stato l'anno del Vertical Drift: FD2-VD



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



352 membrane tiles:  $60 \times 60 \text{ cm}^2$ , due canali di elettronica che leggono 80 SiPM in configurazione di ganging «ibrido»  
320 cathode tiles:  $60 \times 60 \text{ cm}^2$ , 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»)

# FD1-VD chi fa cosa

Gruppo leader

Contributi finanziari e intellettuali

Contributi intellettuali ma non finanziari

## X-ARAPUCA

Mechanics:  
**Spain**, NIU

dichroic filter + pTp  
deposition:  
**Spain**, **Italy**, **Brazil**

WLS: **Italy**

## SiPMs

SiPMs e  
boards

**Italy**  
Spain  
Czech Rep.

## PoF and SoF

Power-over-  
Fiber: **US**, **Italy**  
Signal-over-  
Fiber: **France**,  
**Italy**

## Electronics

Cold:  
**Fermilab**, **Italy**  
Warm: **Italy**,  
Spain,  
**Fermilab**,  
**Colombia**

Contributi INFN: 2104 kE in linea con le assegnazioni INFN (1972 kE + 100 kE di risparmi su FD1-HD = 2072 kE). Criticità: costo per la realizzazione delle boards flessibili (in kapton) per i SiPMs.

**Importante:** abbiamo lavorato a budget costante rispetto alle assegnazioni INFN ma gli item sono ora più diversificati e abbiamo aggiunto anche la facility per la deposizione del pTp attualmente in costruzione a Napoli



# Highlight del 2022-23: «Vertical drift»

Nel 2023 si sono dimostrate le soluzioni tecnologiche più critiche e il progetto ha passato la Final Design Review del US-project a Giugno 2023. L'INFN ha consolidato il suo ruolo, formalizzato con gli MoU nell'aprile 2023

- E' stata completata la costruzione di ProtoDUNE-VD e l'esperimento è pronto per il run previsto nel 2024.
- Il gruppo di Napoli ha effettuato la prima misura di PDE assoluta di una tile (megacell) [v. presentazione di F. Di Capua]
- Abbiamo effettuato con successo diversi test nel criostato di prova del CERN («cold box») validando l'elettronica per le tile di membrana (DMEM, INFN)
- Stiamo procedendo con la realizzazione della facility di deposizione del pTp
- Abbiamo realizzato i primi prototipi di Signal-Over-Fiber integrato nella scheda DAPHNE (elettronica calda)



# Attività 2024: FD1-HD

Il rivelatore è in piena costruzione e, perciò, le attività sono piuttosto “balistiche”:

- Produzione dei SiPMs (completamento atteso a metà 2025)
- Test dei SiPM con 5 CACTUS facilities (di cui 3 in Italia)

Tuttavia, ProtoDUNE-HD non ha ancora cominciato la presa data a causa della crisi del prezzo dell'argon a seguito della guerra in Ucraina. A che punto siamo?

- Finalmente il costo dell'argon è diventato accettabile e il CERN ha ricevuto un'offerta informale a Luglio e sta preparando la gara
- Possiamo acquistare argon solo per un ProtoDUNE e si sta discutendo se far partire prima ProtoDUNE-HD (piano originario) o ProtoDUNE-VD (ovvero il dimostratore del modulo “meno maturo”. Al momento la baseline è partire con ProtoDUNE-VD
- Qualunque sia la decisione, il riempimento di ProtoDUNE-?? avverrà a Gennaio e ci aspettiamo:
  - Un full run con fascio e cosmici nel 2024
  - Commissioning dell'altro ProtoDUNE a seguire
- Le richieste finanziarie di missioni (dominate dal run di ProtoDUNE) sono coerenti con questo scenario e abbiamo messo s.j. il secondo protoDUNE



# Attività 2024: FD2-VD (II)

Oltre al run di ProtoDUNE-VD, i nostri obiettivi per il 2024 sono:

- Completare l'ottimizzazione dei filtri diecrici (due vendor: ZAOT-Italia, PhotonExport-Spagna)
- Completare lo studio dei cromofori per le barre WLS (vendor: Glass-to-Power, Italia)
- Completare le misure di PDE assoluta a Napoli e CIEMAT e portare a termine il commissioning della facility di deposizione del pTp.
- Realizzare la daughterboard per usare DAPHNE con il Signal-Over-Fiber e finalizzare l'elettronica fredda

Importante:

- Abbiamo rafforzato in modo significativo la nostra posizione **nell'analisi e simulazione** in FD1-HD nel 2023 (simulazione sipm+digitizer+deconvoluzione, calorimetria combinata luce-carica, light simulation) e stiamo facendo il porting in FD2-VD. Abbiamo una solida attività di fisica delle basse energie (solari) per il terzo/quarto modulo di DUNE ("progetto SoLAr) e vogliamo fare lo stesso per FD2-VD
- Abbiamo acquisito expertise sul Power-over-Fiber e diversi **grant satelliti** sui temi FD2-VD (PRIN 2022 e PRIN 2023, grant giovani 2021-22, Aidainnova, Dip eccellenza). Le tecnologie FD2-VD hanno, cioè, un interesse generale più ampio.

# Principali richieste finanziarie: FD1-HD

Le principali richieste sono, ovviamente, di costruzione apparati

Sezione	Item	Costo	Note
Mib	Produzione di massa elettronica fredda FD1-HD	180 kE	Basata su offerta informale e sulle preproduzioni ProtoDUNE
Mib	FD1-HD Trasporto lotti di produzione SiPM per test di massa	20 kE	Extracosto rispetto ai preventivi 2023 a causa della necessità di appoggiarsi a SPEDService
Mi	Produzione di massa delle signal lead board FD1-HD	132 kE	Basata su offerta informale e sulle preproduzioni ProtoDUNE

# Principali richieste finanziarie: FD2-VD

Le principali richieste sono, nuovamente, di costruzione apparati e prevedono l'avvio della mass production nel 2024, inclusi alcuni item Spagnoli che acquistiamo per restituire i soldi dei SiPM

Sezione	Item	Costo	Note
Mib	Produzione di massa SiPM FD2-VD	1319 kE	Basata su offerta informale e sulla produzione di FD1-HD 818 (INFN)+501 (spain)=1319 kE nel 2024. Il rimanente (172 kE) su bilancio 2025 per aspettare il rientro dei 100 kE di FD1-HD
Mib	Prima tranche produzione di massa filtri dicroici FD2-HD	479 kE s.j.	s.j. all'esito dell'ottimizzazione
Mib	FD2-VD preproduzione barre WLS	40 kE	Abbiamo preferito effettuare la produzione nel 2025 seppur al limite del critical path della schedule per permettere il lavoro di ottimizzazione
Na	Richieste per sviluppo sistema Test Stand qualifica XA-VD	120 kE s.j.	V. Presentazione di Napoli

	FTE
Bramati Filippo	30%
Branca Antonio	20%
Bomben Luca	20%
Brizzolari Claudia	70%
Brunetti Giulia	70%
Carniti Paolo	10%
Cattadori Carla Maria	30%
Cristaldo Morales Esteban	60%
Delgado Maritza	60%
Falcone Andrea	40%
Galizzi Federico (*)	100%
Gotti Claudio	30%
Guffanti Daniele	80%

	FTE
Marangoni Stefano (*)	20%
Meazza Luca	60%
Minotti Alessandro	30%
Pessina Gianluigi	5%
Prest Michela	20%
Terranova Francesco	40%
<b>TOTALE</b>	<b>8.55 FTE</b>

AIDAINNOVA( EU funded- sigla affine DUNE )	FTE
Cattadori Carla	10%
Pessina Gianluigi	10%
<b>TOTALE</b>	<b>0.2 FTE</b>

(\*) Dottorandi in servizio dal 1 novembre 2023

+ proposta IBIS\_NEXT Sigla gr. V (“sigla affine” DUNE per sviluppo sensori VUV) 1.7 FTE

# Richieste finanziarie Mib

Capitolo	Descrizione	kEuro	s.j.
altri_cons	liquid argon e gas argon per le facility di test X-ARAPUCA di Mib	5.00	0.00
altri_cons	Consumable funzionamento lab X-ARAPUCA e elettronica	4.00	0.00
altri_cons	FD1-HD Liquidi criogenici per il run di CACTUS a Mib	15.00	0.00
<b>apparati</b>	<b>Produzione di massa elettronica fredda FD1-HD</b>	<b>180.00</b>	0.00
<b>apparati</b>	<b>Produzione di massa SiPM FD2-VD</b>	<b>1319.00</b>	0.00
<b>apparati</b>	<b>FD2-VD preproduzione barre WLS</b>	<b>40.00</b>	0.00
<b>apparati</b>	<b>Prima tranche produzione di massa filtri dicroici FD2-HD s.j. all'esito dell'ottimizzazione</b>	<b>0.00</b>	<b>479.00</b>
consumo	Prototipazione lastre WLS-FD2	6.00	0.00
consumo	Sviluppo delle daughterboard per la lettura del signal-over-fiber di FD2-VD nella scheda DAPHNE	4.00	0.00
consumo	FD2-VD Ottimizzazione coatings Filtri Dicroici	5.00	0.00
<b>consumo</b>	<b>FD2-VD: Prima tranche della meccanica per le membrane tiles del Vertical Drift (item in carico alla Spagna coperto dall'italia per restituzione partita di giro SiPM FBK in FD1-HD)</b>	<b>80.00</b>	0.00
missioni	Meeting di collaborazione - 2 US, 1 CERN per tre persone	9.50	0.00
missioni	Meeting del Technical Coordinator (TC board, preparazione dei production center) a Fermilab, CIEMAT e NIU - 3 meeting 4 gg 1 pers	5.50	0.00
missioni	turni run ProtoDUNE 8 sett 2 persone (CERN)	16.00	0.00
missioni	Commissioning del secondo ProtoDUNE (4 settimane 2 persone, CERN)	0.00	8.00
missioni	Sviluppo e commissioning della scheda DAPHNE per FD2-VD (Parigi e CERN) 4 settimane 1 persona	4.00	0.00
missioni	Meeting presso sedi vendor FD2-VD (Giappone, Trento, Valencia)	4.00	0.00
missioni	Partecipazione a Meeting Annuale DUNE Italia (2 gg)	2.50	0.00
inventario	LED UV con Driver CAEN	1.50	0.00
inventario	Alimentatore stabilizzato Keithley per SiPM lab X-ARAPUCA	1.50	0.00
<b>trasporti</b>	<b>FD1-HD Trasporto lotti di produzione SiPM per test di massa (extracosto rispetto ai preventivi 2023)</b>	<b>20.00</b>	0.00



# Item di rilevanza INFN

- Realizzazione e test dei SiPM per ProtoDUNE-SP Run II e per la mass production (300,000 SiPMs) In corso
- Realizzazione e test dell'elettronica fredda (1500 motherboards, 6000 amplificatori) **2024-2025**
- realizzazione e test delle barre WLS assieme al Brasile (costi di produzione di massa coperti dal **Brasile**)
- Installazione e run di ProtoDUNE-SP Run II (aka ProtoDUNE-HD) **2024**
- Simulazione dell'elettronica di FD1-HD
- Simulazione e analisi della combined charge-light calorimetry
- Fisica delle basse energie (neutrini solari)

Vertical Drift (FD2-VD): **leader europei** per SiPM, filtri dicroici, WLS bars, deposizione del pTP, v. dopo