

Photon Detection System (PDS)

Riunione nazionale Nu@FNAL

7 novembre 2022

F. Terranova (UniMib e INFN)

a nome dei gruppi del PDS di Nu@FNAL

Uno sguardo d'insieme

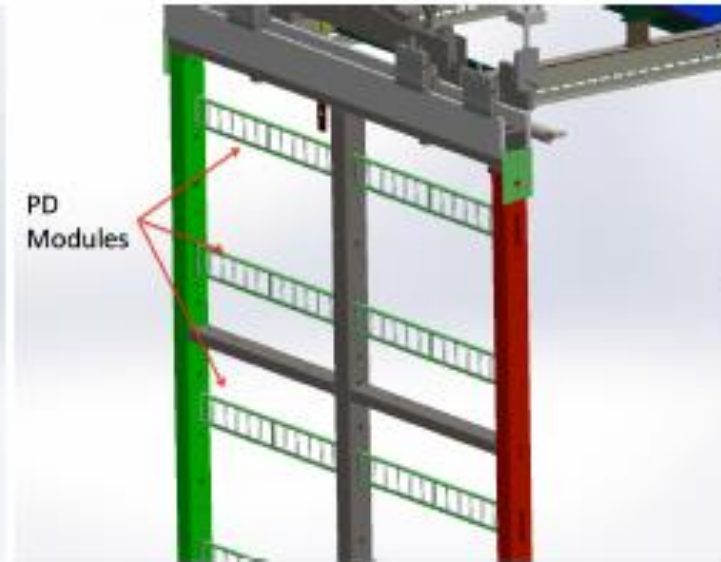
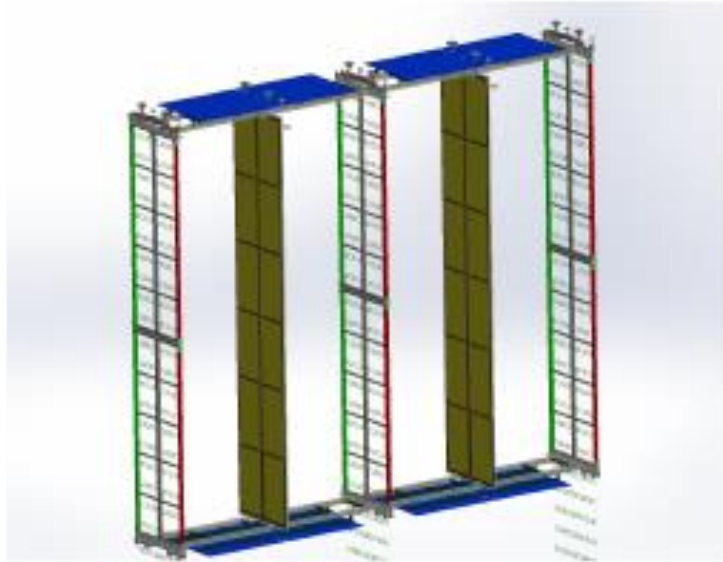
I gruppi italiani hanno ruoli di leadership e responsabilità in entrambi i moduli di DUNE:

Horizontal Drift (FD1-HD):

- Realizzazione e test dei SiPM per ProtoDUNE-SP Run II e per la mass production (300,000 SiPMs)
- Realizzazione e test dell'elettronica fredda
- **NEW:** 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 e dell'elettronica calda (NEW)
- **NEW:** Simulazione dell'elettronica di FD1-HD
- **NEW:** Simulazione e analisi della combined charge-light calorimetry
- **NEW:** fisica delle basse energie (neutrini solari)

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

Horizontal Drift (FD1-HD)



Quantity
10 modules per APA; 1500 total (1000 single-sided; 500 double-sided)
192 SiPM per module; 288,000 total
4 circuits per module; 6000 total
4 channels/module; 6000 total
45 diffusers/CPA side; 135 diffusers for 3 CPA sides

L'INFN nel PDS dell'Horizontal Drift

X-ARAPUCA

Mechanics, dichroic filter, WLS

Brasil
CSU (US)
Fermilab (US)
INFN (WLS)

SiPMs

SiPMs, side boards

Italy
Spain
Czech Rep.
NIU (USA)

Cold amplifiers

Cold amplifiers, ganging

Italy
Spain

Warm electronics

Digitizer (DAPHNE)

Fermilab (US)
Colombia
Peru'
NIU
INFN

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

Co-Technical coordinator (HD e VD): F. Terranova

Produzione dei SiPM

Selezione dei sensori completata nel 2021: 50% dei SiPM saranno prodotti da Hamamatsu e 50% da FBK. Two-vendor scheme approvato dal Consorzio

Produzione dei 4000 SiPM per ProtoDUNE Run II completata nel Marzo 2022. Sensori testati a Bologna e Ferrara (v. talk di Carmine) con grande successo. Failure rate 0.1%.

Installazione dei SiPM nei moduli di ProtoDUNE completata a Luglio 2022

Gara dei SiPM (Mib) per FD1-HD in corso (1.5 Meuro, 100,000 SiPMs). Termine previsto 28 Nov 2022. 2 lotti e due aziende partecipanti (FBK e Hamamatsu Italia) e, per capitolato di gara, i due lotti devono essere assegnati a due aziende diverse → two-vendor scheme implementato con successo anche a livello di produzione.

Prime consegne previste a Gennaio 2023 per la gara spagnola e a Settembre 2023 per quella italiana.

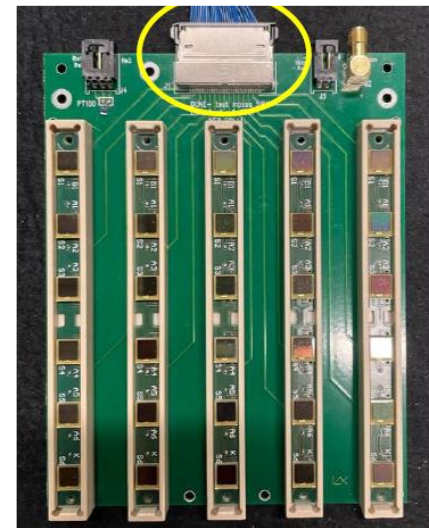
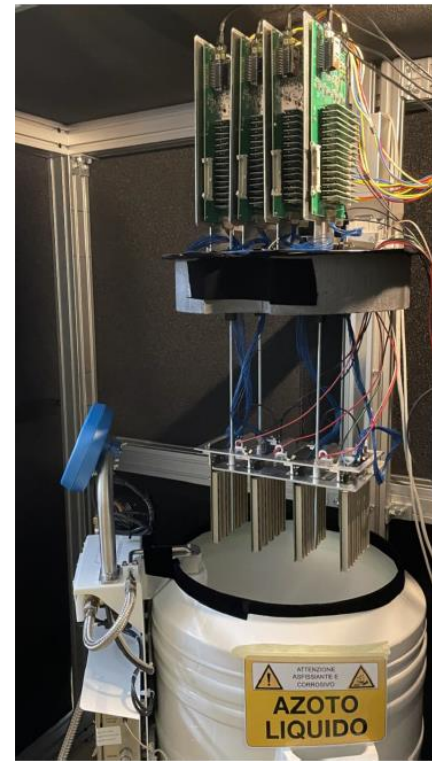
In a nutshell: sull'item di maggior peso finanziario siamo ormai a regime e dovremo seguire la produzione nel 2023-24 coordinandoci con i colleghi spagnoli.

Un importante successo:

Bologna e Ferrara (coord. A. Montanari, L. Tomassetti) hanno:

- Sviluppato il protocollo di test
- Implementato con una mass test facility dedicata («cactus»)
- Testato tutti i SiPM nelle loro boards per ProtoDUNE-SP Run II
- Prodotto l'elettronica per tutte le future mass test facilities a Bologna, Ferrara, Milano Bicocca, Granada, Praga
- Fornito assistenza ai gruppi per l'installazione di queste nuove mass test facilities
- Database in fase di commissioning (Bo, Fe, Mib)

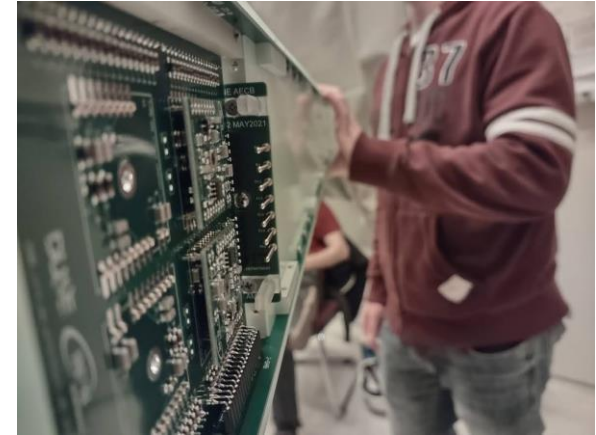
Obiettivo per il 2023: avere 5 mass test facility in produzione per poter arrivare a 100 boards (600 SiPM) al giorno – 2000 boards al mese - e dunque tener testa al rate di produzione da FBK e Hamamatsu che sarà di 1000 board al mese all'inizio del 2023 e arriverà a 2000-2500 boards al mese nella seconda metà del 2023. Proposta: nominare un coordinatore generale.



Cold electronics

Amplificatore criogenico progettato da Milano Bicocca (P. Carniti, C. Gotti, G. Pessina) e Milano Statale (S. Riboldi) e approvato dalla collaborazione nel 2021. L'INFN è il gruppo leader perché:

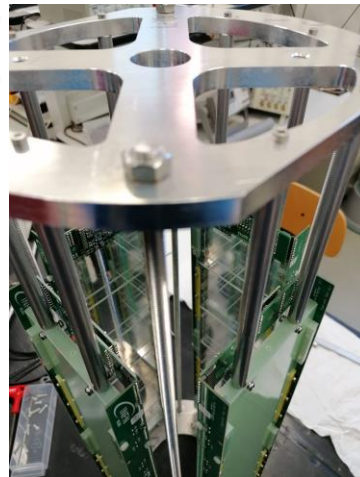
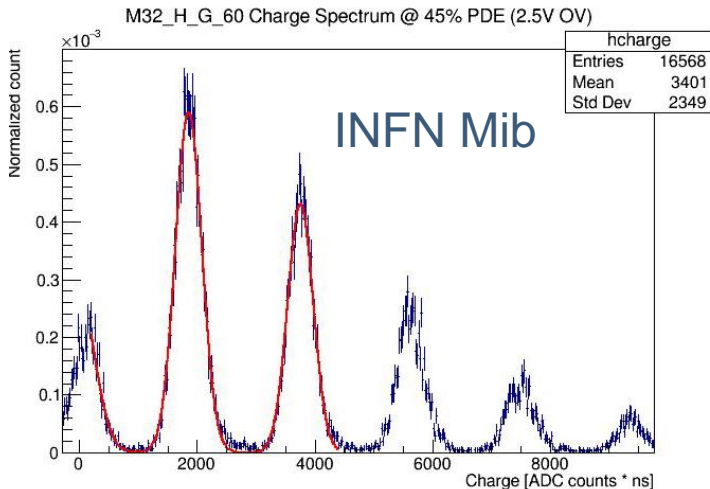
- Sviluppa e ha prodotto per ProtoDUNE-SP Run II le schede che alloggiano i SiPM (con Hamamatsu e FBK, progetto INFN Mi e Bo), le schede di routing del segnale (INFN Mi), la motherboard che alloggia l'amplificatore (INFN Mib) e l'amplificatore stesso (INFN Mib)
- Valida la risposta termica e l'aging dei componenti (INFN Mib e LNS)
- Effettua la simulazione dell'intera catena (PSPICE) e l'implementazione nella simulazione ufficiale di DUNE (LarSoft) [INFN Mib]
- Valida l'integrazione in DUNE sia per quanto concerne il grounding (INFN Mib) sia l'interfaccia con l'elettronica calda (DAPHNE board) (INFN Mib, Fermilab, Colombia)



ProtoDUNE-SP Run II («ProtoDUNE-HD»)

Anche questo è stato un successo della collaborazione italiana

- Costruiti 40 moduli (60% Hamamatsu e 40% FBK) con un design meccanico sub-ottimale ma funzionante
- Testati a Mib, CIEMAT (Madrid), CSU (Colorado) a livello di «supercell» (Mib, CIEMAT) e moduli (CSU) in azoto liquido. 2 failure riscontrate e risolte.
- Installate al CERN nel 2022. Nessuna failure riscontrate durante i cold box test. Coord. N. Gallice



Importante: run rimandato di quasi 1 anno a causa della guerra in Ucraina (crisi energetica) e il conseguente aumento del prezzo dell'argon. Proposta: run coordinator italiano nel 2023

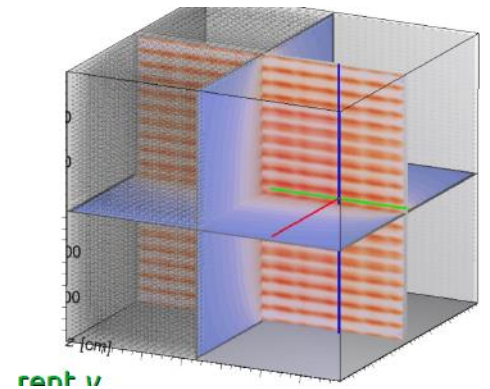
Simulazione e analisi

Dal 2022 siamo riusciti a ritagliarci un ruolo importante anche nella simulazione (gruppi leader: Brasile e US) e analisi (gruppi leader: US e UK)

- Responsabilità INFN nella simulazione del segnale in uscita da DAPHNE (Mib M. Delgado) che sarà implementata a Marzo 2023 nella prossima produzione Monte Carlo.
- Light maps per la ricostruzione della luce (Mib D. Guffanti, G. Brunetti)
- **Combinazione luce-carica** (Mib G. Brunetti, M. Torti, D. Guffanti)

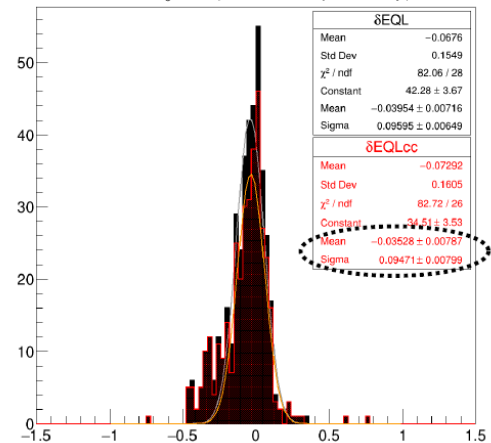
Spin-off: Module of Opportunity nell'ambito della Collaborazione **SoLAR** nata da una proposta di Synergy Grant che abbiamo (ri)sottomesso all'ERC stamattina. Gruppi coinvolti: Mib, Na, Ge (PRIN 2022) + UK, Spain, Switzerland

Obiettivo per il 2023: estendere queste attività anche agli altri gruppi INFN (attualmente concentrata solo su Mib) coinvolgendo quanti hanno interesse a lavorare nell'analisi

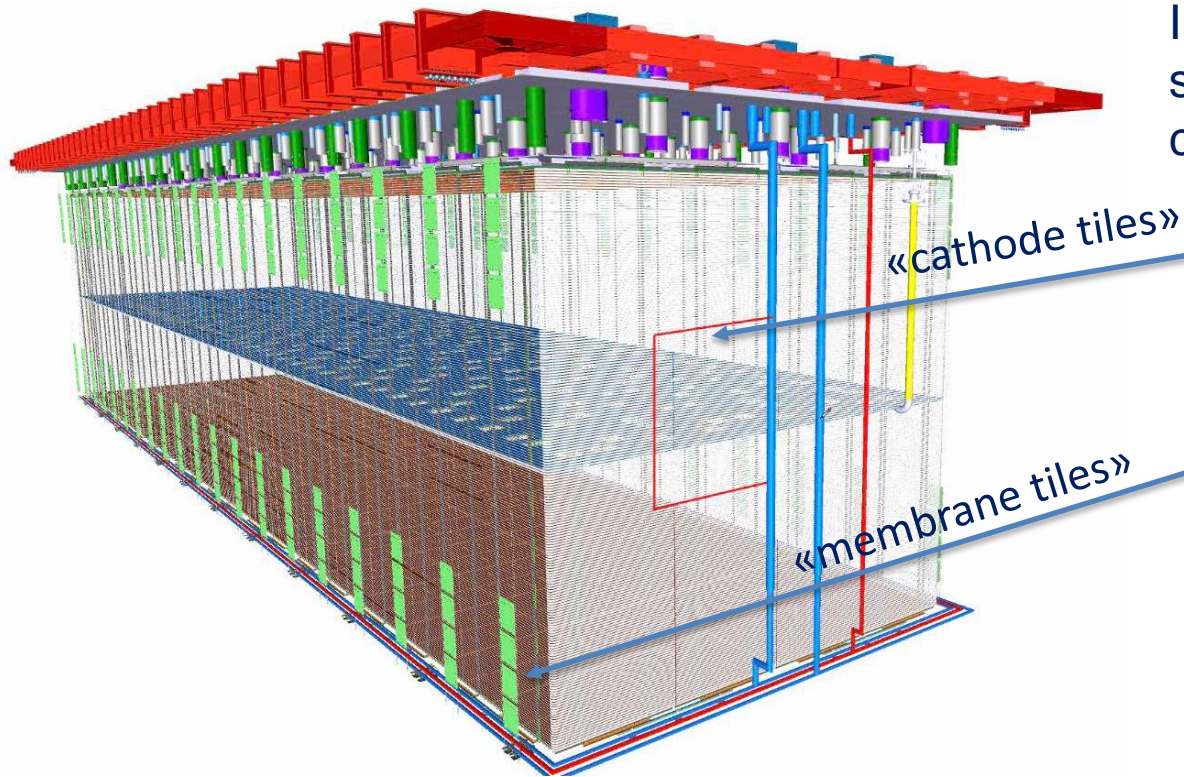


Charge+Light

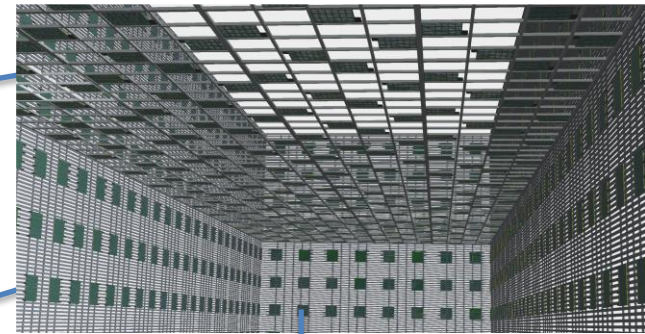
Beam ν_e - δE (EQL-TotEdep/TotEdep)



Il 2023 sarà l'anno del Vertical Drift: FD2-VD



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



768 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»)

La sua validazione in ProtoDUNE-VD

ProtoDUNE-VD è il «vecchio» rivelatore (400 ton fiduciali di argon liquido) che si trova di fianco a NP04/ProtoDUNE-SP, costruito per testare la tecnologia del Dual Phase (NP02/ProtoDUNE-DP – WA105) e che ha ispirato il design del vertical drift.

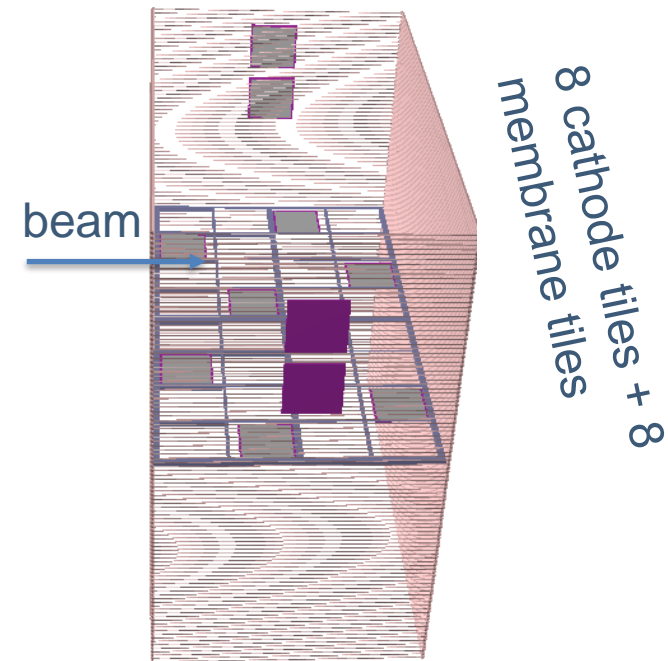
Lo stiamo modificando per testare il VD alla scala di ProtoDUNE con il design finale delle varie componenti e coinvolge molti gruppi ex-dual-phase (coord. PDS: A. Cervera, Valencia)

L'INFN contribuisce per:

Produzione dei SiPM (50%), filtri dicroici (50%), WLS bars (100%), test delle membrane tiles (Mib, Na)

e partecipa attivamente ai cold box test di validazione e all'installazione che è stata anticipata di 6 mesi per matchare la schedule «accelerata» di DUNE.

Installazione in corso: Nov-2022 - Apr 2023



L'INFN nel PDS dell'Vertical Drift

X-ARAPUCA ("tiles")

Mechanics, dichroic
filter, WLS

US (mechanics)
INFN (WLS)
INFN+Spain
(dichroic filters)

SiPMs

SiPMs, flexi
boards

INFN
Spain
Czech Rep.

Cold amplifiers e warm electronics

US
INFN
Spain
Colombia

Power and signal over fiber

US
France
INFN

Il Consorzio è lo stesso dell'HD anche se è affiancato da un deputy (F. Cavanna) dedicato specificatamente al VD e un project manager VD (R. Rivera) per la parte US-DOE perché US copre circa il 50% del costo

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

Co-Technical coordinator (HD e VD): F. Terranova

Budget e sharing dei costi

Il budget INFN è stato definito già nel 2021 dopo la review del Comitato Tecnico Scientifico (CTS) dell'INFN. Totale: 1972 k€ (SiPM-WLS-dichroic filters)

MoU e cost sharing (draft sostanzialmente finale):

- SiPM: 1571 k€ (50% coperto dall'INFN – **770 k€**)
- WLS: **279 k€** (100% INFN)
- Filtri dicroici: 1009 k€ (50% coperto da INFN - **504 k€**)
- Altro: (ProtoDUNE-VD, warm electronics, deposizione pTP): **122 k€**

Nota: nella tabella CTS lo sharing era un po' diverso (non c'erano i filtri dicroici e il pTP) ma il totale è lo stesso.

Prossimi step: firma dell'MoU (i PI italiani lo hanno già ricevuto), cost sharing da sottomettere al RRB (non critico per noi grazie al CTS), Final Design Review DOE (in vista di CD2) a Febbraio (critico!)

Extra-costo: 15% per instrumentare con membrane tiles anche le superfici laterali «piccole» perché l'impatto sulla fisica è significativo. Da negoziare con le funding agencies o recuperare con i risparmi provenienti da fondi brasiliani.

Gruppi coinvolti

Gruppo	Task	Note
Follow up produzione dei SiPM (100,000 SiPMs)	Bo, Mib	Task principalmente finanziario
Test dei SiPM (flexi boards da 20 SiPMs)	TBD	Protocollo di test non ancora definito. (*)
WLS	Mib	Vendor italiano (glass-to-power)
Filtri dicroici	Mib, Pv, Na	Follow up della produzione e test ottici
Deposizione pTP	Na	V. talk Nicola Canci
Design e produzione flexi boards	Mib	Task principalmente finanziario
Power over Fiber	Mi, Mib	DC/DC converter. V. talk Niccolò Gallice

(*) Meno impegnativo rispetto a HD perchè i gruppi che svolgeranno il grosso dei test saranno UCSB (US) e Granada (Spain)

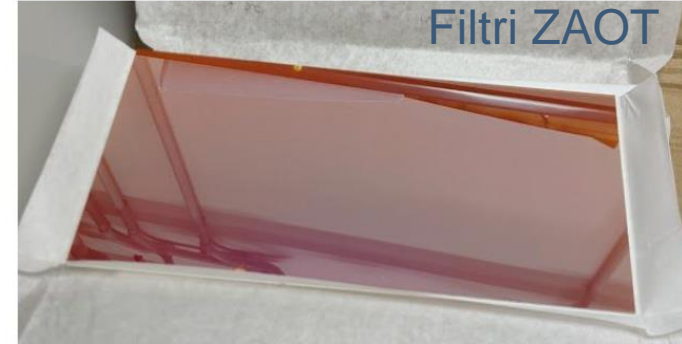
Alcuni highlights del 2022 (v. talk di Carla)

Validazione delle barre WLS di Glass-to-Power (Mib) – JINST 16 (2021) 09027

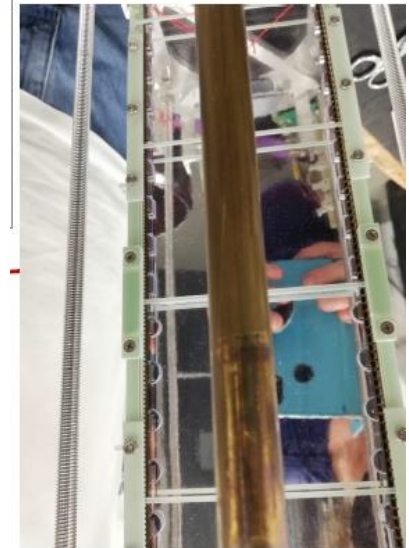
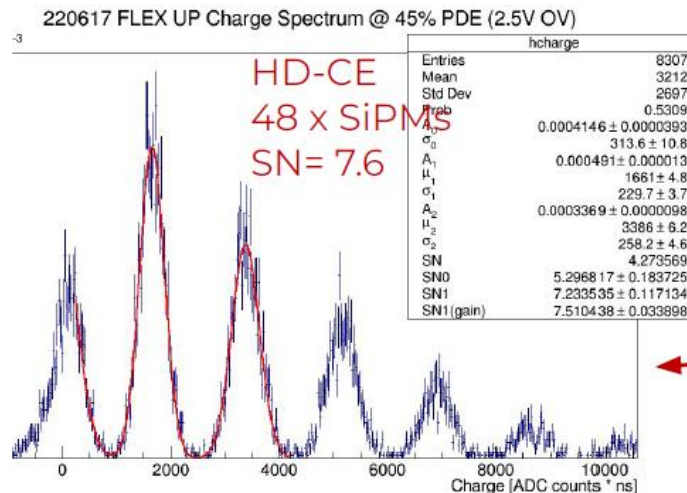
Produzione dei filtri dicroici Zao (Italia) e test a 77 K (Mib)

Test sistematico del coupling WLS e SiPM su flexi boards (Mib)

Partecipazione ai test di «Cold box» al CERN per il Vertical Drift (Mi, Mib, Na)



Year 2022: 2 x 24 HPK SiPM on MiB flex circuit in a SC



Conclusioni

- Siamo molto soddisfatti dei risultati ottenuti nel 2022, in linea con le nostre previsioni sia per l'Horizontal (FD1-HD) che per il Vertical Drift (FD2-VD)
- Abbiamo completato con successo l'installazione del PDS di ProtoDUNE-SP per il run II anche se il run è stato posposto di >6 mesi a causa (indiretta) della guerra in Ucraina.
- Abbiamo avviato la produzione di massa dei SiPM e stiamo preparandoci a ricevere e testare quanto prodotto da FBK e Hamamatsu
- Abbiamo consolidato il nostro ruolo nel Vertical Drift e definito gli impegni finanziari e di personale, compatibilmente con le risorse a nostra disposizione
- Nel 2023 saremo impegnati:
 - Nei test di massa dei SiPM dell'Horizontal Drift
 - Nel run 2 di ProtoDUNE-SP (fine 2023)
 - Nella produzione e test delle tiles di ProtoDUNE-VD
 - Nella creazione della facility di deposizione del pTP per il Vertical Drift
 - Nell'analisi e simulazione di entrambi i moduli del Far Detector