

DUNE

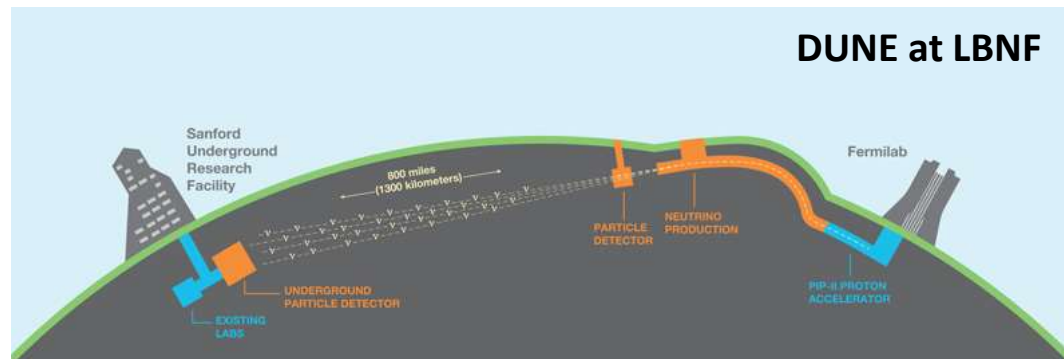
Presentazione per CdS del 08-07-2024

Massimo Lazzaroni

DUNE - situazione nazionale

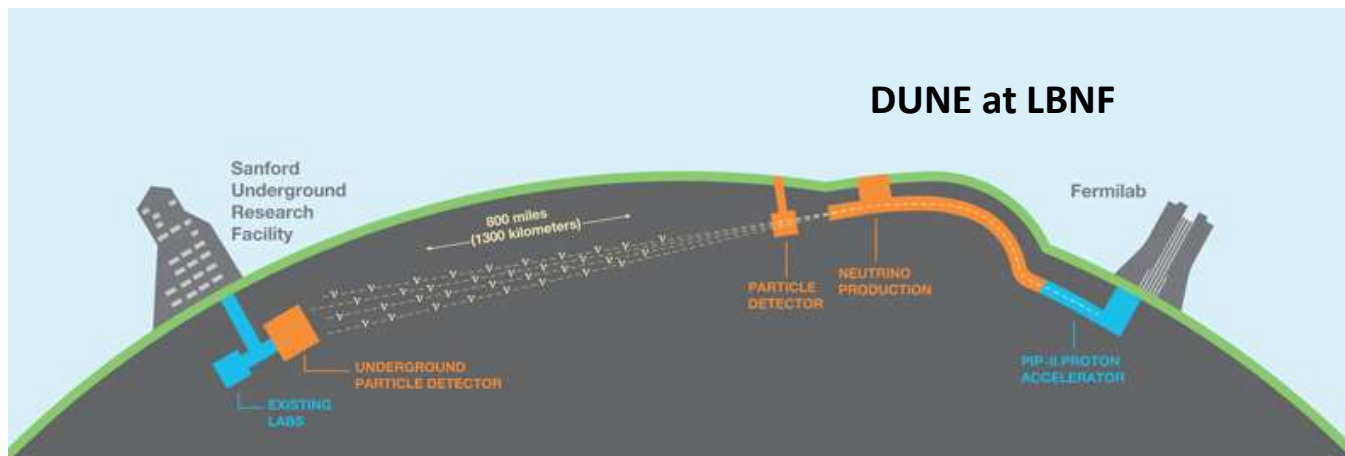
https://web.infn.it/nu_at_fnal/

- Progetto di ricerca nato in seno alla CSN2 e poi confluito nella CSN 1 dal 01/01/2024.
- Inizialmente nato come progetto Nu@FNAL dell' INFN, che si proponeva di contribuire all'intero programma del neutrino negli USA, partecipando sia al programma di [Short Baseline](#), in fase di avanzata realizzazione, sia alla progettazione, costruzione e presa dati/analisi di [DUNE](#).
- Il responsabile nazionale è Sergio Bertolucci. Al progetto partecipano, (oltre a INFN-Milano) le sedi INFN di Bologna, Ferrara, Lecce, Milano Bicocca, Catania, LNF, LNS, Napoli, Padova.



DUNE - collaborazione internazionale

- Il [Deep Underground Neutrino Experiment](#) (DUNE) è una collaborazione internazionale per lo sviluppo di un rivelatore finalizzato allo studio dei neutrini e alla ricerca del decadimento del protone.
- DUNE sarà composta da due rivelatori (Near e Far). Il rivelatore Near osserverà le interazioni di neutrino vicino alla sorgente del fascio al Fermilab mentre il rivelatore Far sarà installato al Sanford Underground Research Laboratory (SURF) in South Dakota.



Work in progress

- Prep work for DUNE at Fermilab nears completion (09/04/2024)

<https://news.fnal.gov/2024/04/prep-work-for-dune-at-fermilab-nears-completion/>

- ProtoDUNE's argon filling underway (12/04/2024)

<https://home.cern/news/news/experiments/protodunes-argon-filling-underway>

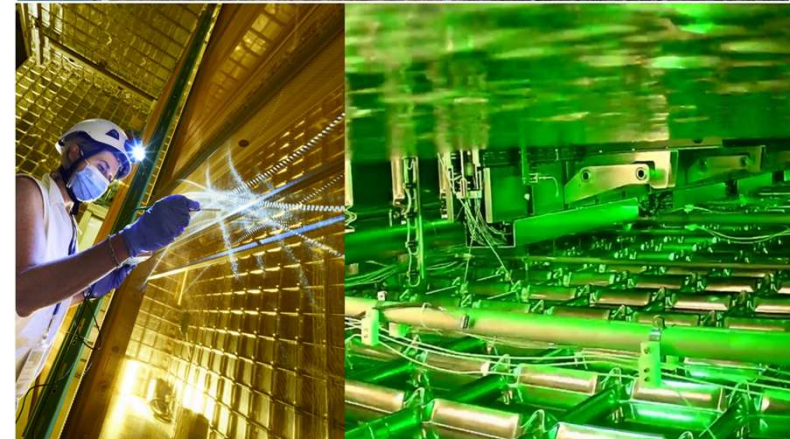
<https://youtu.be/FweOvhKsqaM> (Video - short time-lapse video of protoDUNE being filled with liquid argon)



Construction deep underground



LBNF provides the **enormous caverns** and **cryogenics infrastructure** for the **DUNE detector** deep underground at Sanford Lab. This includes the excavation of 800,000 tons of rock. It will also build structures at Fermilab to send neutrinos through stone and earth to South Dakota — no tunnel needed.



Attività

2024:

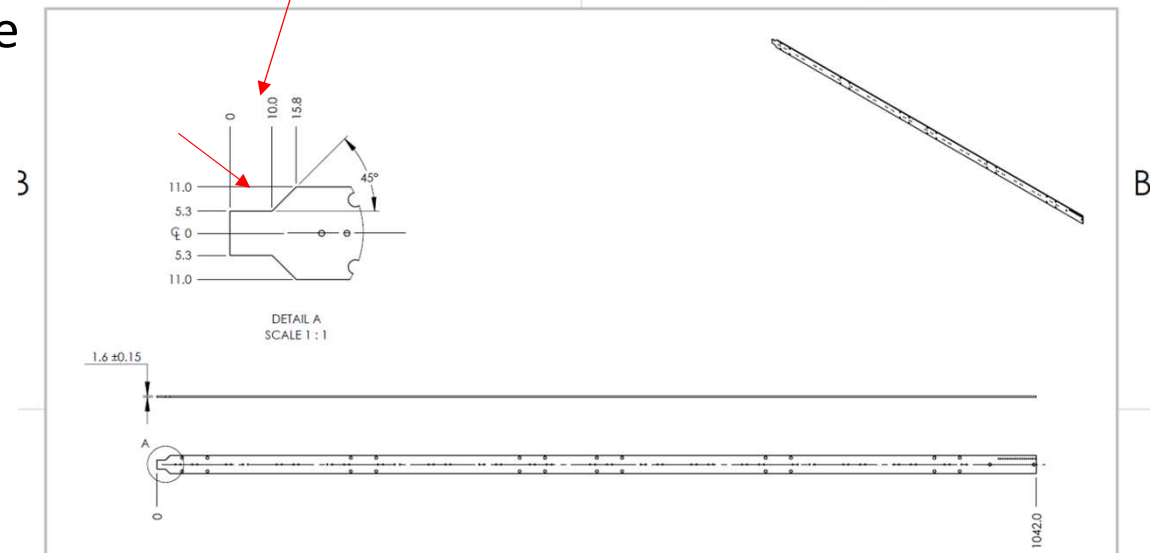
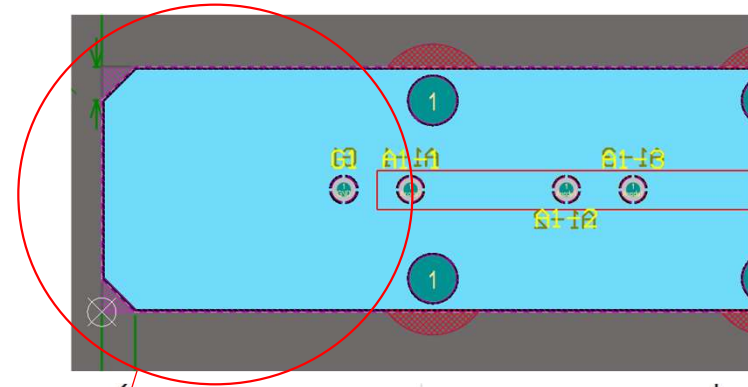
- Produzione di massa Signal Routing Board di FD1-HD (→ 2025)
- Prosecuzione DC-DC converter PoF e Link ottico
- Primi test su componenti a temperature criogenica (Facility)
- Iniziamo a ragionare su CACTUS VD (vedi attività 2025)

2025

- DC-Dc converter (PoF)
- Test su componenti a temperature criogenica (Facility)
- Facility CACTUS VD (main)
- Inizio attività di Fisica (pres dati, analisi,...)

Signal Routing Board per FD-HD (1 di 2)

- Necessarie modifiche.
- Primo tentativo con soluzione artigianale. Siamo rimasti in attesa del via libera (dopo check)
- Prima della produzione di massa si ritiene utile fare un ulteriore giro di prototipazione (per evitare sorprese!).
- Produzione di massa nel 2024 (forse sforiamo nel 2025 perché green light a ottobre 2024).
- Board con shape 1042 x 22 mm



Signal Routing Board per FD1-HD (2 di 2)

Dopo consolidamento delle modifiche (i riscontri attesi della slide precedente) è stata fatto l'ordine di un lotto «di prova»:

- 4 left
- 4 right

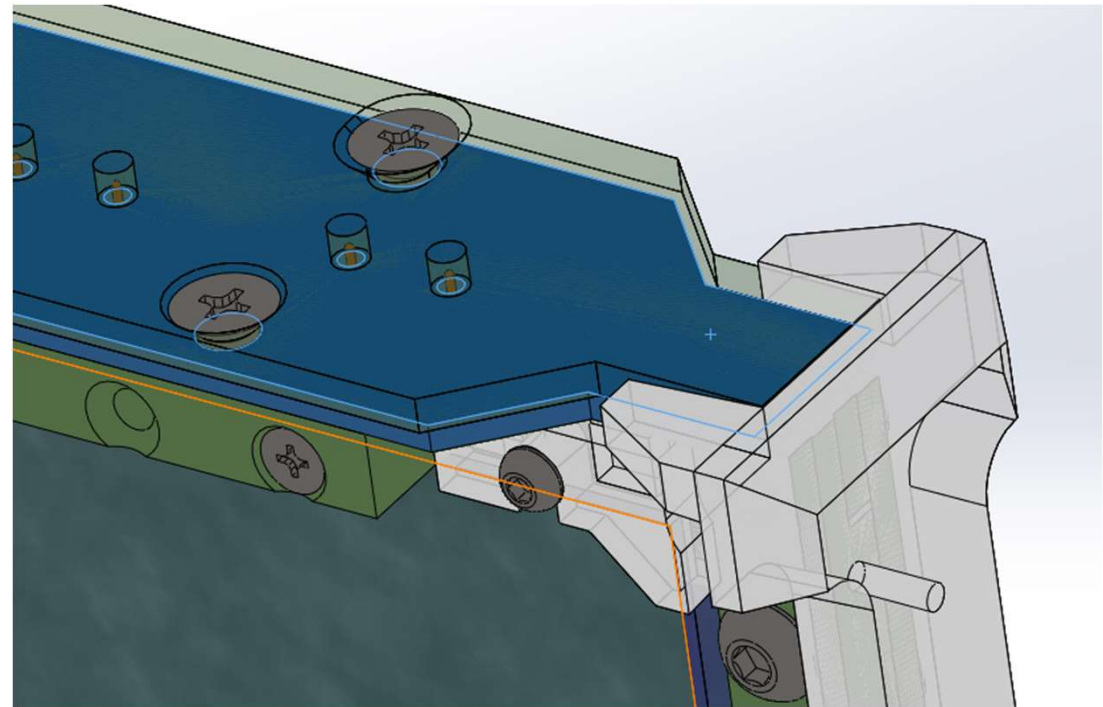
Una volta consegnate saranno inviate a David Warner per verificare la nuova shape.

Ottobre/novembre 2024 (green light da David Warner per produzione di massa) → **potrebbe essere un problema per noi fare ordini a fine anno!**

3000 left + 3000 right + spares

Problemi con i preventivi che salgono con il tempo con una certa disinvoltura!!!

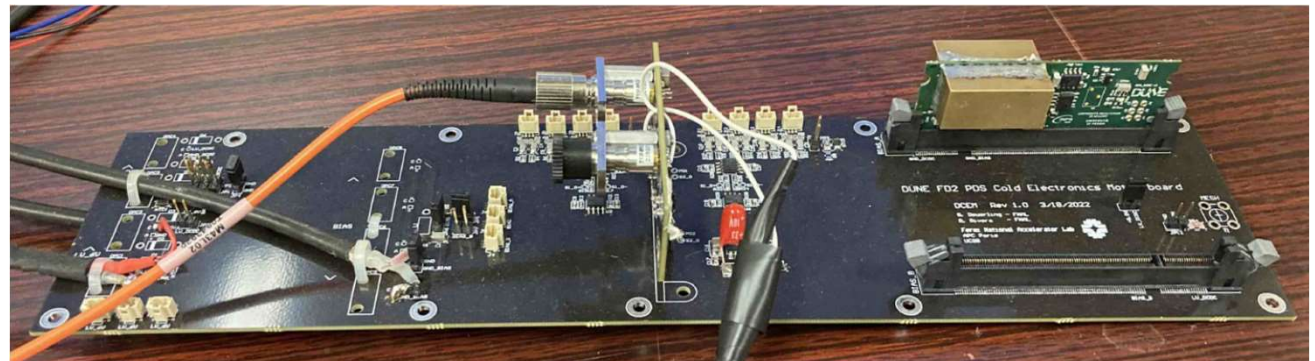
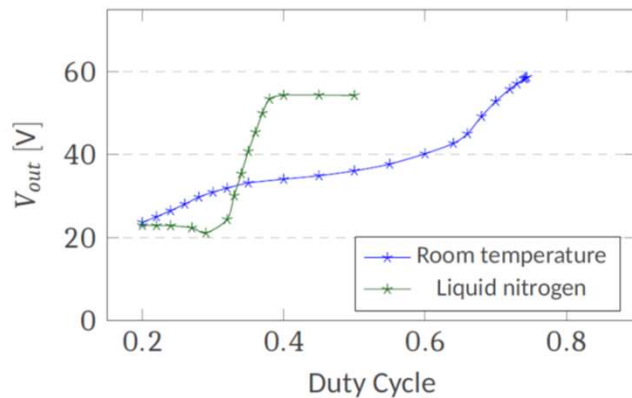
Per il momento nessuna richiesta fondi (già disponibili su 2024).



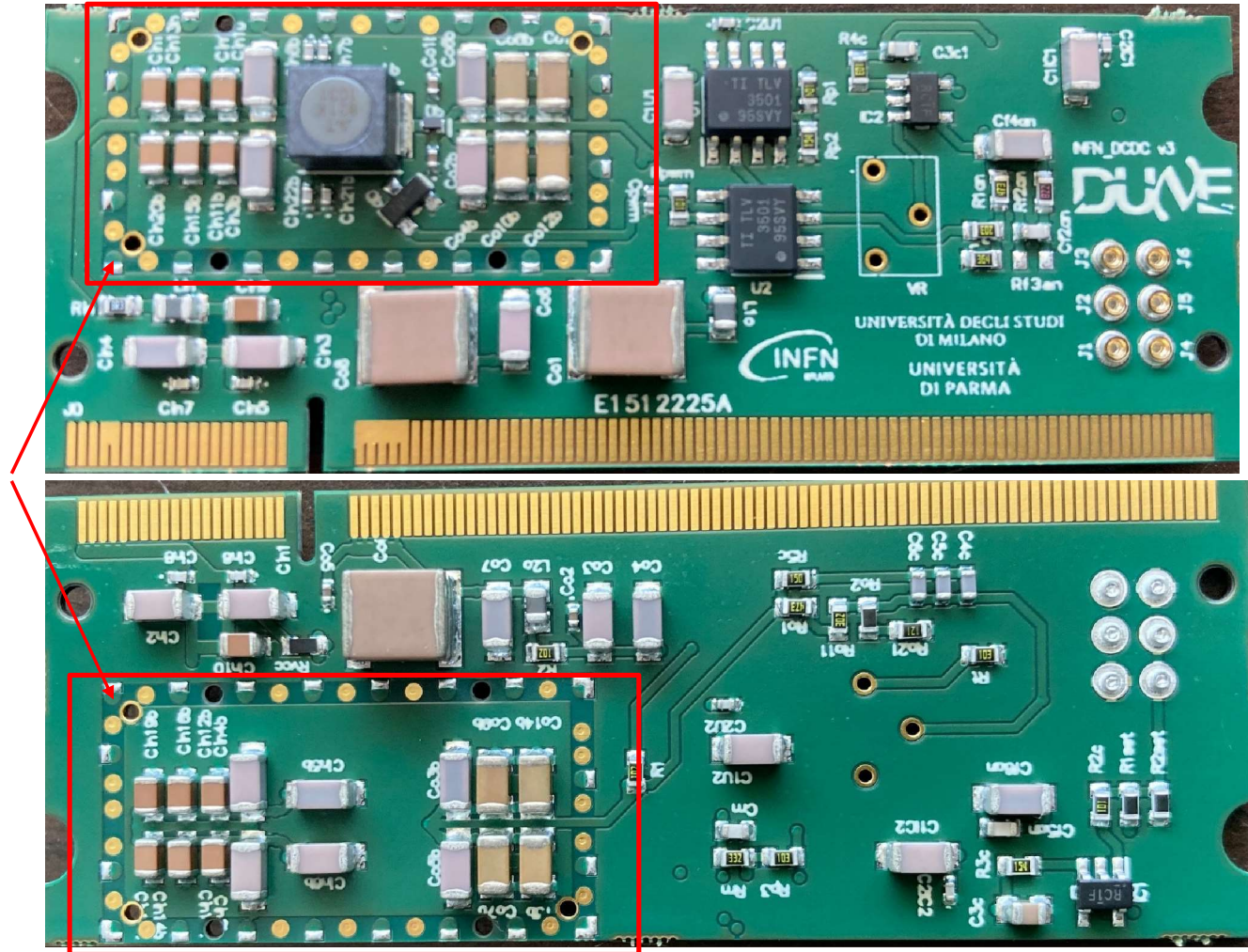
DC-DC Converter (Pof)

- Continua la ricerca sul DC-DC converter
- Realizzate le schede «Link ottico»
- Funzionamento verificato (migliorabile ?)
- Prossimi passi: integrazione dei circuiti del link ottico sulla scheda.

Richiesti di fondi (modesta) per avanzamento ricerca



PoF – V3



- Il setpoint (tensione di uscita) può essere regolato anche mediante comunicazione da remote.

Attività di test su componenti

FD2-PDS Longevity qualification and Stability test Workshop
 Wednesday 7 Jun 2023, 08:00 → 16:00 US/Central
 Flavio Cavanna (Fermilab)

Registration: FD2-PDS Workshop - Longevity and Stability qualifications | 40 | Register

Participants: Ajb Paudel, Alan Prosser, Alexander Kish, Ariel Cohen, Biswaranjan Behera, Claudio Gotti, Dante Totani, David Caratelli, David Christian, David Martinez Calcedo, David Warner, Diana Leon

08:50 → 09:00 Session 1 - PD Electronics Individual Component Longevity - Stress- Stability qualification Tests | 10m

09:00 → 09:35 SoF-LaserDiode Longevity&Stress test @PAB/FNAL | 35m
 Speakers: Alan Prosser (Fermilab), Alexander Kish (Fermilab), Jaime Dawson (APC CNRS/IN2P3)
 ColdTest.LongTerm..., LaserDiodesTestPre...

09:35 → 09:45 Rate of saturating BEAM events (for SoF/LaserDiode high pulse stress test) | 10m
 Speaker: Fre...
 saturatic...

09:45 → 10:15 Capacitor r... | 30m
 Speaker: Ma...

Typical Degradation Mechanisms

Board Warpage [1]

Most cracks happen close to the contacts resulting in capacitance change and noise

Cracks that cross both electrodes can short the capacitor

Cryogenic liquid fills the crack, further damaging it during thermal cycling

HV Capacitor

HV Capacitor are less likely to short due to cracks

- Lower coefficient of thermal expansion
- Thinner geometrics are desirable

- <https://indico.fnal.gov/event/60034/contributions/268380/attachments/167818/224211/CapacitorsWorkshop.pdf>

Typical Degradation Mechanisms

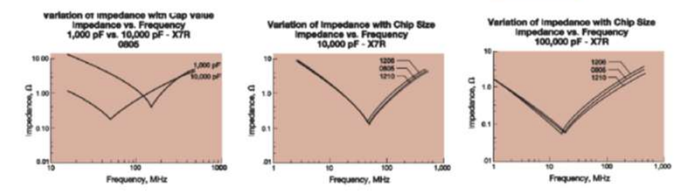
Type 2 capacitors

- Extreme increase of ESR capacitors can lead to failure due to heating caused by current or voltage spikes
- Current spikes with a duration of less than 1 μ s might cause rather significant increase in the temperature of small elements due to adiabatic conditions of heating, at which all energy generated in the element goes to increase its temperature proportional to the square of the current amplitude [7].



Capacitance and ESR measurements at 300 K, 77 K and 4 K normalized to 100 nF at 300 K

Capacitor type	Measured capacitance (100 nF at 300 K)		f \ T	Measured ESR		
	77 K	4 K		300 K	77 K	4 K
X7R ceramic	21.3 nF	3.4 nF	1 kHz	76 Ω	574 Ω	5.6 M Ω
			10 kHz	1.5 Ω	64 Ω	400 k Ω
			100 kHz	0.3 Ω	7.6 Ω	62 k Ω
NPO ceramic (NPO-COG/COH)	100.2 nF	99.7 nF	1 kHz	2.1 Ω	2 Ω	3 Ω
			10 kHz	0.3 Ω	0.4 Ω	0.1 Ω
			100 kHz	0.2 Ω	0.02 Ω	0.05 Ω



Goal

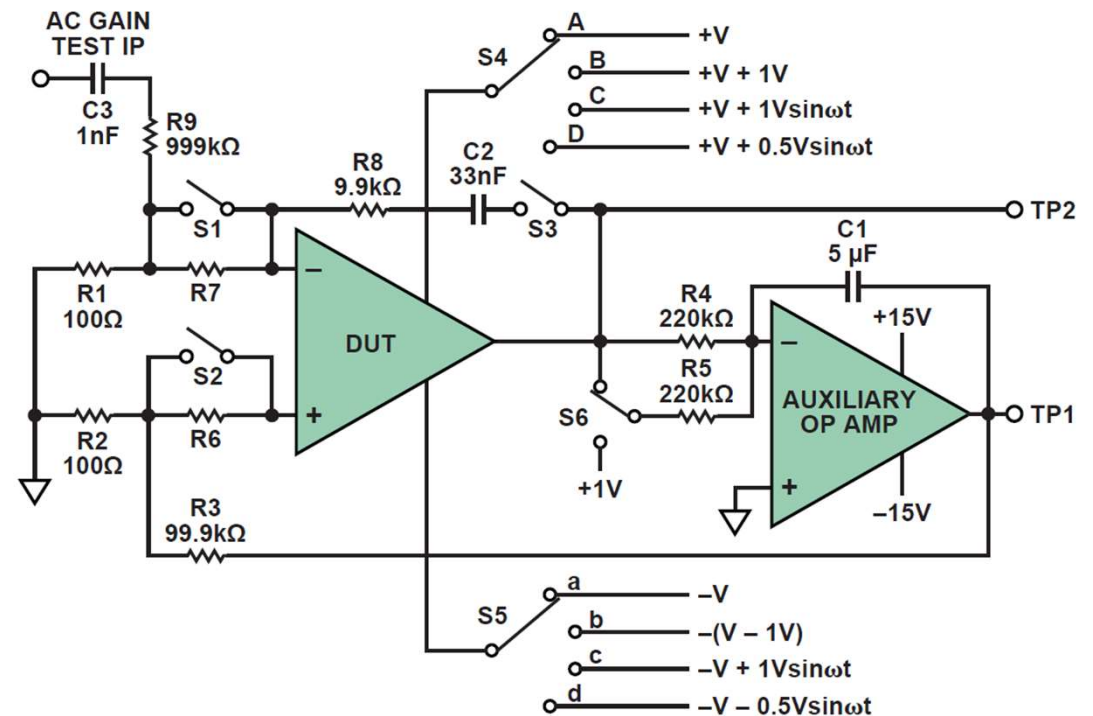
- Caratterizzazione dei differenti componenti, attivi e passivi, su un ampio range di temperature (da temperatura criogenica sino a temperatura ambiente o almeno alla temperature di lavoro dichiarata dai costruttori).
- Allo scopo di identificare un ampio set di componenti da poter essere utilizzati per la realizzazione di power converters in grado di lavorare a temperature criogeniche.

È stata approntata una lista di dispositivi non ancora caratterizzati in modo soddisfacente in letteratura:

- OpAmps (alcuni già acquistati e testati, altri solo acquistati)
- Transistor
- Induttori
- Condensatori

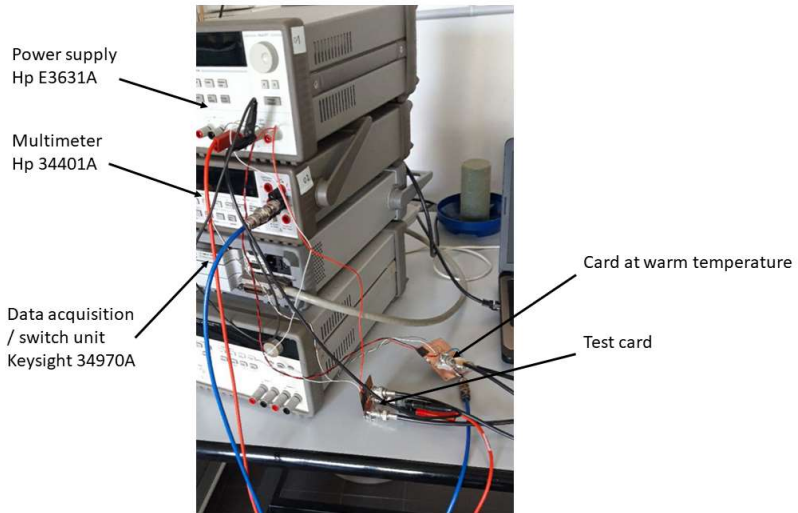
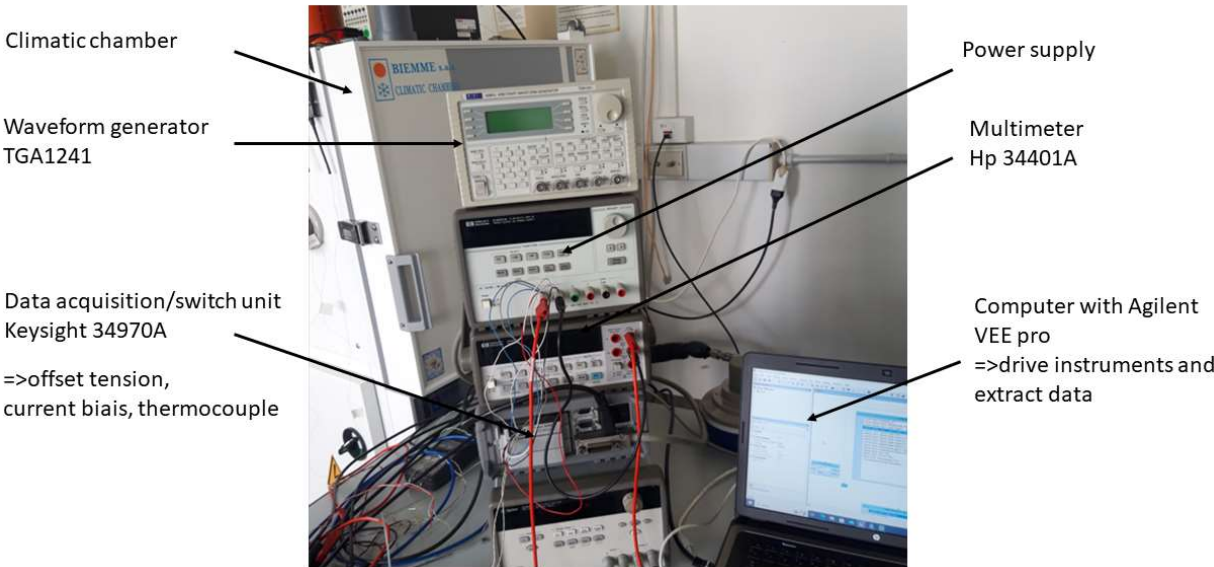
Revised characterization circuit

- OpAmp characterization for cyogenics:
 - **Input offset voltage;**
 - **Bias current**
 - **PSRR**
 - **Quiescent current**
- General circuit for all Op Amp parameters extraction
- OpAmps as DUT:
 - MCP6291
 - MCP6N11
 - LMV321
 - TLC271
 - AD8293

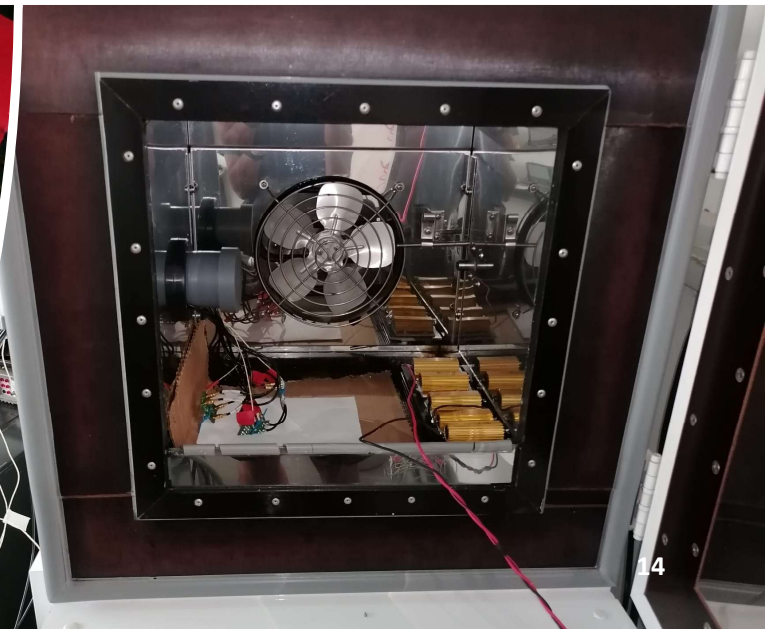
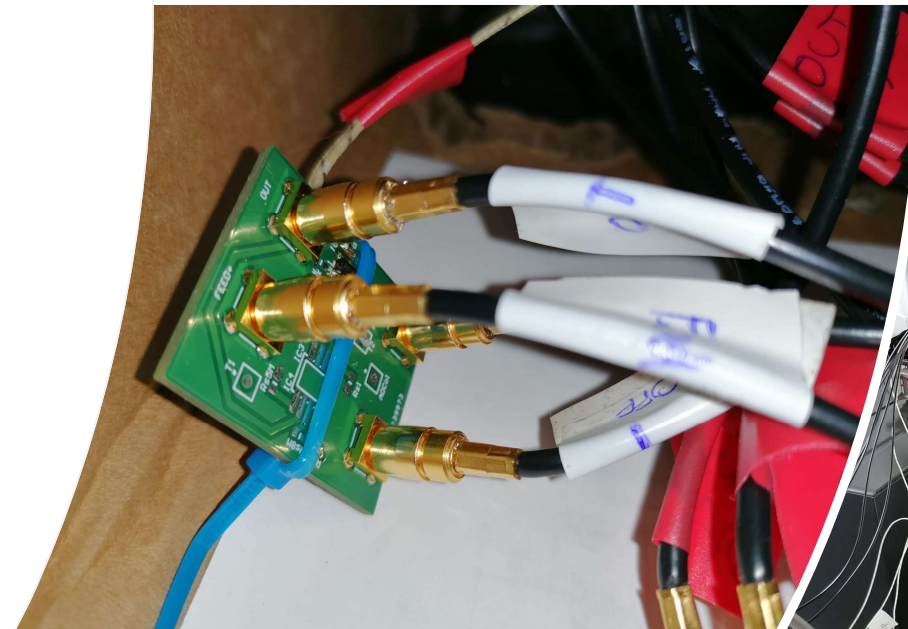
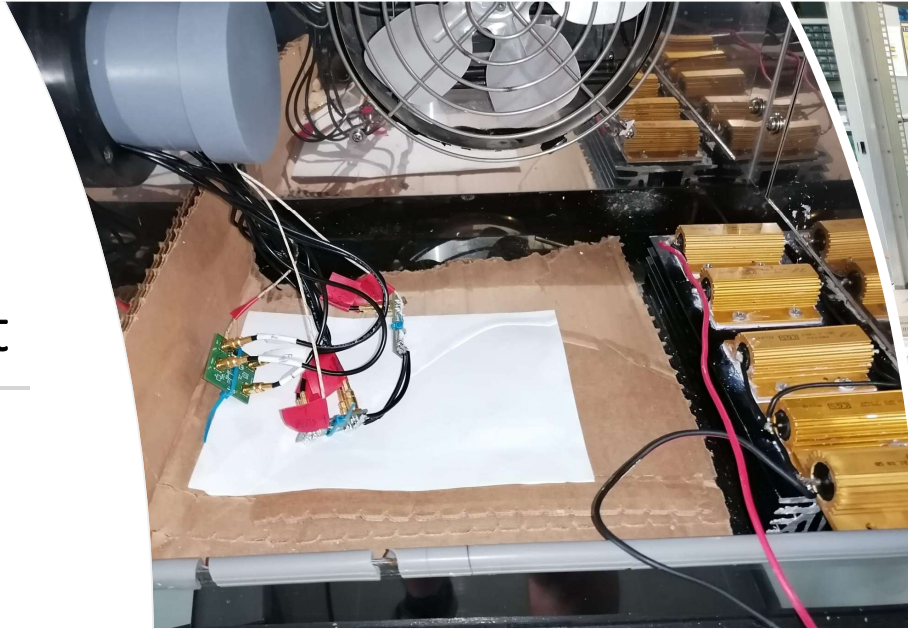


Characterization testbed

- Auxiliary Op Amp at room temperature
- DUT in climate chamber with LN₂ injection



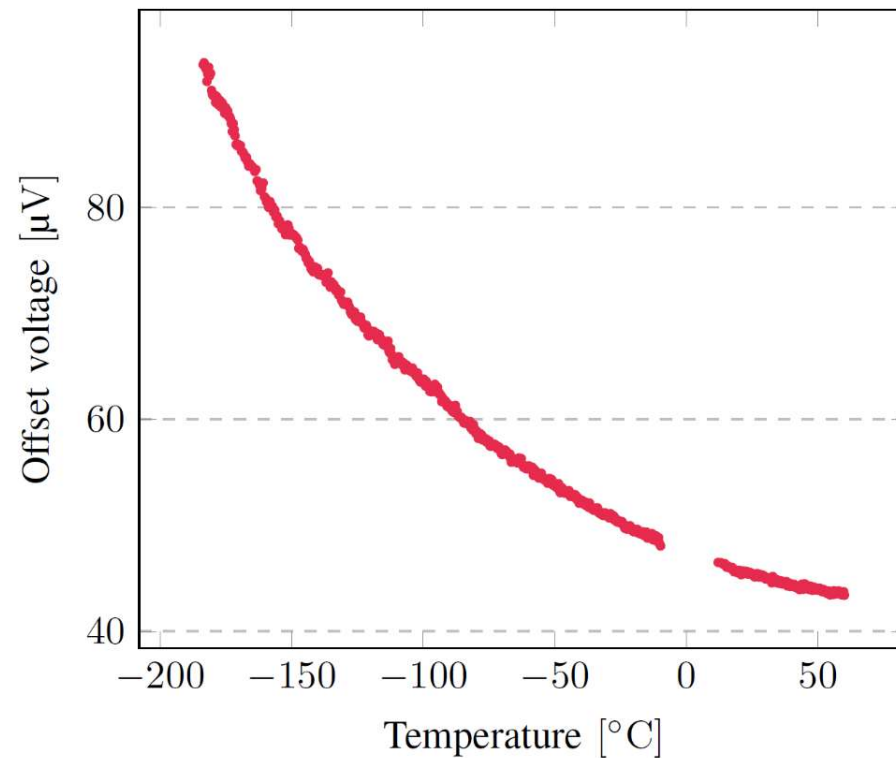
Alcune fasi del test



Primi risultati – Già presentati

Un esempio - Offset voltage per **OPAMP LMV321** in climatic chamber cooled with liquid N₂

temperature coefficient of input offset voltage consistent with the average one given in the datasheet



Sviluppi futuri

- Warm test board with Auxiliary OpAmp at 300 K → Fatto (2024)
- Cold test board in climate chamber with LMV321 → Test iniziati (2024 – 2025)

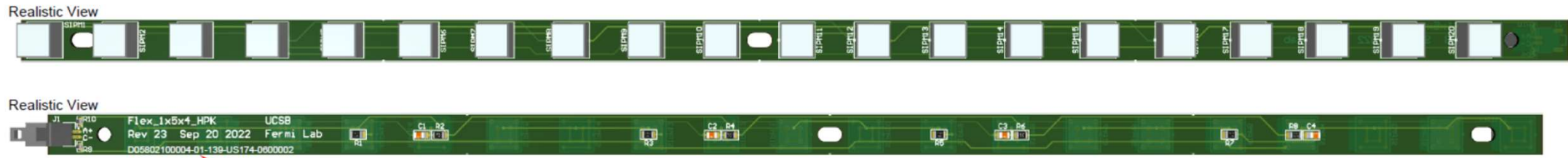
Issues:

- É emersa la necessità di rivisitare il PCB usato per i test (richieste per 2024 - fatto)
- Per avere risultati significativi dal punto di vista statistico è necessario parallelizzare i test → PCB in grado di alloggiare molti campioni per test simultanei → in fase di realizzazione (2024 – 2025)
- High-rate multiplexer per data acquisition → Richiesta di finanziamento 2024 → Acquisto fatto: sistema in funzione

Richiesta fondi per continuazione attività di caratterizzazione componenti (prevalentemente su 2025 spese di materiale di consumo: PCB e componenti)

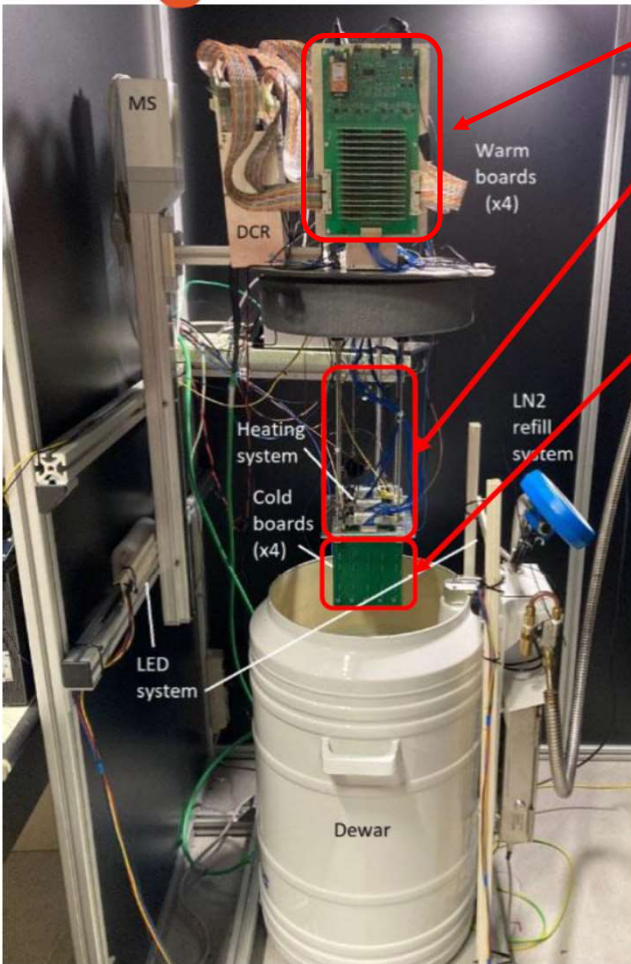
CACTU VD

- The expected production for FD2-VD is 107520 SiPM mounted in flexi of 20 SiPM each (the device to be tested is the board denoted as “flexes”, not the single SiPM)



- That is 5376 flexes plus approximately 5% of spares (269 flexes)
- Therefore, it is reasonable to think of a number close to 5800 flex
- We rounded up generously because in our opinion there are always preliminary tests on pre-series to be done and some waste to predict worst case

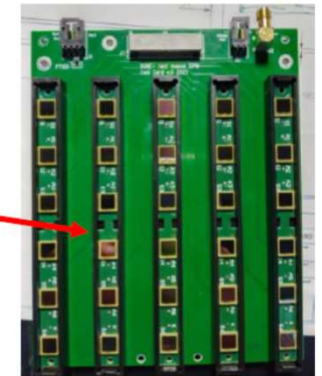
Progettazione - 1



Le attuali schede dovrebbero essere riutilizzate con semplici modifiche al valore di alcuni resistor (variazione di BoM)

La parte di sostegno dell'elettronica che va a lavorare a freddo deve essere sicuramente rivista completamente.

Le schede che attualmente alloggiavano le SiPM board per HD sono da riprogettare e produrre



Actual version

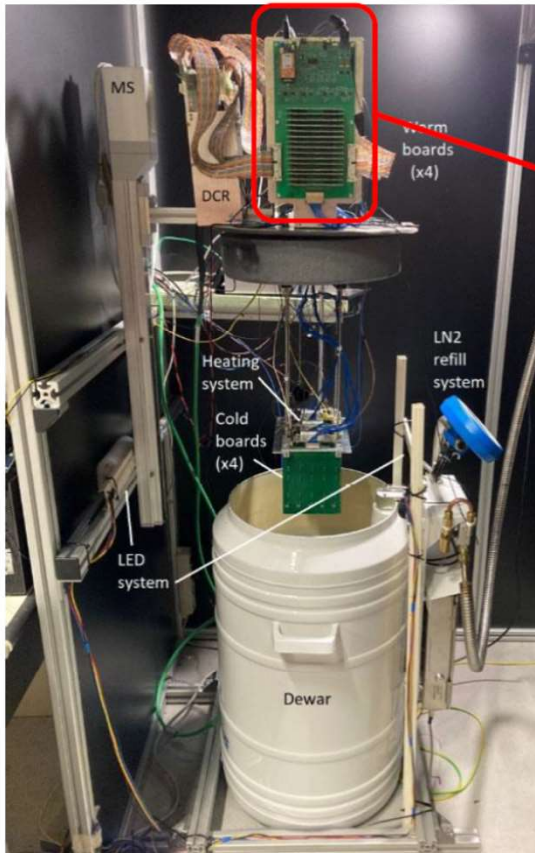


Licenze Altium ???

Progettazione - 2

CACTUS → 20 schede SiPM per ogni run

CACTUS VD → 30 Schede Flexes per ogni run (proposta, da valutare)



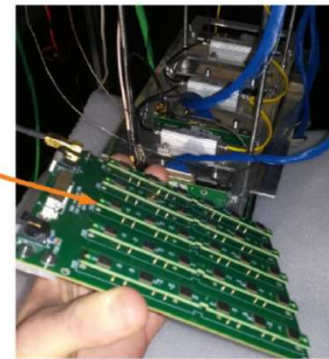
Cactus electronic

Motherboards + front-end cards:

- 4 motherboards;
- 15 front-end cards/motherboard;
- 120 independent channels;
- Current measure/digitalization;
- Signals acquisition;
- Supply power.

Cold boards:

- 4 boards;
- 5 arrays/board;
- 120 SiPM;
- Temperature monitor;
- Bias voltage.



Motherboards & cold cards



Presentation of Marco Guaresi

Progettazione - 3

Molte parti possono rimanere invariate (solo costo)

Purtroppo non si prevede di poter utilizzare le parti attualmente installate nei CACTUS perché la progettazione e costruzione di CACTUS inizierà prima della dismissione degli attuali CACTUS (forse per il secondo esemplare, se previsto)



Software



Il Software, realizzato in LabView, sarà riutilizzabile in larga parte.

Sono da prevedere ore/uomo per adattarlo alla nuova situazione.

Licenze Labview

Tempistiche della fase di test (a grandi linee)

- Calcoli basati sulla esperienze pregresse (situazioni ovviamente differenti ma buon punto di partenza)
 - 2 cicli di misura al giorno (mattina e pomeriggio) – 20 SiPM/boards
 - Poichè il singolo SiPM non è accessibile, stiamo valutando una procedura di test per verificare (semi-manuale o automatica) per verificare che il singolo SiPM stia lavorando propriamente (ongoing → previsione costi difficile “a forfait”)
 - Da un semplice e rudimentale calcolo abbiamo stimato circa 130 giorni per completare i test
 - Considerando gli arrotondamenti fatti (test da rifare ... capita, spare parts, test preliminari etc...) arriviamo a considerare 150 giorni (su una singola stazione o su due?)
 - Se decidiamo di farne due allora la ripartizione non sarà comunque uguale in quanto il secondo esemplare sarà pronto in un secondo momento
 - I numeri dicono che forse il second esemplare non è strettamente necessario → cosa accade in presenza di un guasto (tempi per individuare il guasto, ordinare il pezzo...)
 - Nei preventivi non è al momento presente nessuna richiesta di manodopera aggiuntiva.
-
- **Richiesta fondi 2025**

Richieste 2025: Missioni e Seminari (in kE)

Collab Meet USA	4
TURNI Test Power Over Fiber al CERN N 2 turni x 2 persone x 3 giorni	2.5
Partecipazione Meeting DUNE Italia 2025 (2 persone)	2
Missioni Italia per test (da Milano a Parma e viceversa)	1 + 1 SJ
Presa dati - Analisi - Misure su sistemi di RD di DUNE e ProtoDUNE HD e VD (1 persona x 8 week)	8
Collab Meet CERN (2 persone)	2
Collab Meet VALENCIA (3 persone)	4.5
TURNI al CERN per presa dati protoDUNE HD e VD: N 2 turni x 2 persone x 5 giorni	4
2 Conferenze	5
<hr/>	
Totale Missioni	33 + 1 SJ

Richieste 2025: Apparati(in kE)

PDS/FD2/SIPM: CACTUS Vertical Drift

42

Anticipata richiesta di spazi ai Direttori INFN e Dipartimento

Richieste 2025: Consumo (in kE)

PDS/FD2/ELECTRONICS: PoF (produzione versione 4 con integrazione link ottico e nuovo connettore)	6
PDS/FD2/ELECTRONICS: Materiale elettronico di consumo (prevalentemente per test componenti a temperatura criogenica)	2
PDS/FD2/SIPM: Azoto per test Criogenici	5
<hr/>	
Totale Consumo	13

Richieste 2025: Inventario (in kE)

PDS/FD2/SIPM: Misuratore di alimentazione Keysight Technologies serie B2962B	18
PDS/FD2/ELECTRONICS: Attrezzatura per approntamento di un laboratorio per la verifica affidabilistica delle schede elettroniche (temperatura criogenica, stress, vibrazioni, stress meccanici dovuti alla bassa temperatura e/o cicli termici).	4
<hr/>	
Totale Inventario	22

Richieste 2025: Trasporti (in kE)

Trasporto Lead Signal Board della produzione di massa (una volta approvata e iniziata la produzione)	12 SJ
Trasporto Flexes dopo test con CACTUS VD	6 + 6 SJ
<hr/>	
Totale Inventario	6 + 18 SJ

Preventivi 2025 Milano Totali

Missioni	33 + 1 SJ
Apparati	42
Inventario	22
Consumo	13
Trasporti	6 + 18 SJ
Totale	116 (+ 19 SJ)

Metabolismo ?

Anagrafica 2025

Nome	Cognome	Posizione	FTE	Note
Paolo	Cova	PA	0.3	Uni Parma
Nicola	Delmonte	PA	0.3	Uni Parma
Danilo	Santoro	A.R.	0.8	Uni Parma
Mauro	Citterio	Tecn. (Direttore)	0,1	INFN
Massimo	Lazzaroni	PA	0.3	UNIMI
Stefano	Riboldi	PA	0.2	UNIMI
Davide	D'Angelo	PA	0.2	UNIMI
Andrea	Zani	Tecnologo	0.1	INFN
Marco	Bassani	Dottorando	0.8	Uni Parma
Valeria	Trabattoni	Dottorando	0.5	UNIMI
	Totale*		3,6 (di cui 0.2 Tecnologo)	

Richieste servizi: Elettronica – 2 mesi/uomo + Officina Meccanica – 2 mesi/uomo

Grazie per l'attenzione.

Slide di backup

L'esperimento DUNE - 1 di 2

L'esperimento DUNE è in costruzione negli Stati Uniti lungo la linea del fascio LBNF (in preparazione) prodotto a Fermilab e diretto al Sanford Underground Research Facility (SURF) in Sud Dakota a 1500 m di profondità e 1300 km di distanza da Fermilab.

Gli obiettivi principali di DUNE sono la misura di precisione dei parametri delle oscillazione dei neutrini, inclusa la fase di CP, la determinazione dell'ordinamento delle masse dei neutrini, la verifica dell'unitarietà della matrice PMNS, la ricerca del decadimento del nucleone, lo studio dei neutrini da supernove, di neutrini solari, atmosferici e la ricerca di segnali oltre il Modello Standard.

L'esperimento DUNE – 2 di 2

La collaborazione DUNE include oltre 1400 membri da 37 Paesi, 208 Istituzioni, incluso il CERN. Il rivelatore lontano (Far Detector, FD) di DUNE utilizzerà circa 70 kt di Argon liquido. Nel design attuale sono previsti quattro LAr TPC ciascuna con un volume fiduciale di 10 kt.

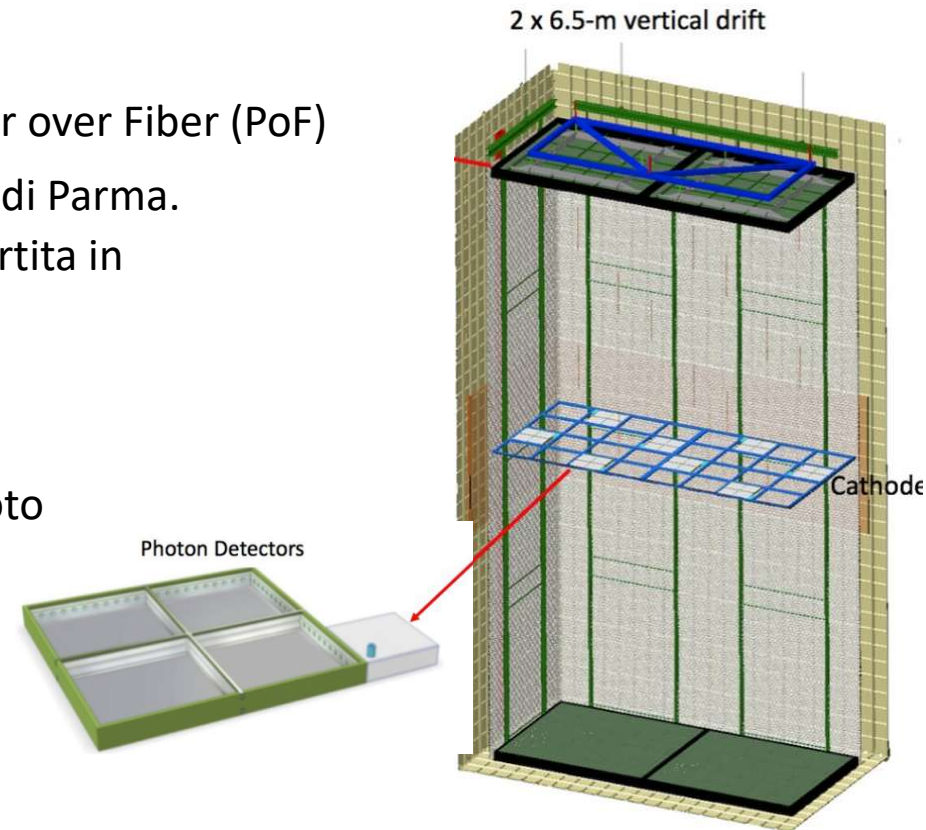
Poiché la tecnologia LArTPC è relativamente nuova, è stato necessario un ampio lavoro di ricerca e sviluppo e prototipazione. Due prototipi di 700 t ciascuno, in singola fase, sono stati realizzati al CERN presso la Neutrino Platform. Nel primo di questi, ProtoDUNE-HD, gli elettroni di ionizzazione derivano orizzontalmente verso piani di fili anodici . Questa tecnologia sarà implementata nel modulo 1 del Far detector di DUNE (FD1-HD).

Il secondo prototipo (ProtoDUNE-VD) è una LArTPC in cui gli elettroni si spostano in direzione verticale. Per ridurre la lunghezza della deriva, il catodo è posizionato a metà altezza e il sistema di lettura della carica è installato nella parte superiore e inferiore della TPC. I fili vengono sostituiti da strisce di PCB "custom". Il modulo 2 del Far Detector sarà una LAR TPC a drift verticale (FD2-VD).

DUNE Far Detector 2/ProtoDUNE VD

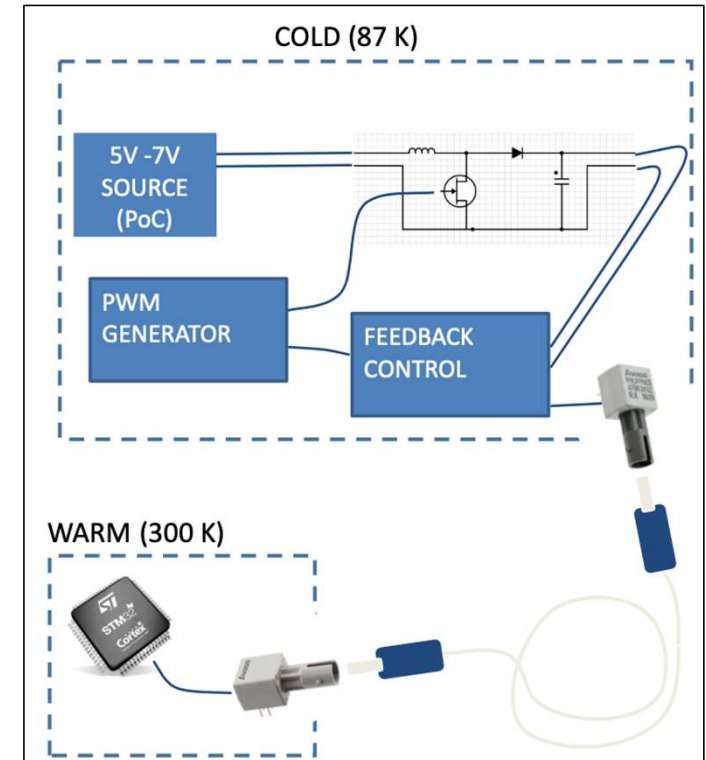
Secondo modulo del far detector DUNE: Vertical Drift

- Alimentazione e lettura con fibra ottica dei SiPM (PDS): Power over Fiber (PoF)
- Forte attività R&D a Milano con il coinvolgimento del gruppo di Parma.
- potenza fornita e convogliata attraverso fibre ottiche e convertita in potenza elettrica con un convertitore ottico-elettrico.
- Sviluppato circuito custom DC-DC boost converter in grado di lavorare a temperatura criogenica – **Terza revisione**
- Schema validato mediante immersione di un prototipo in Azoto liquido
- Produzione schede in corso (arrivate questa settimana), per interfacciarlo con i fotorivelatori di ProtoDUNE VD (vedi slide successiva).



PoF

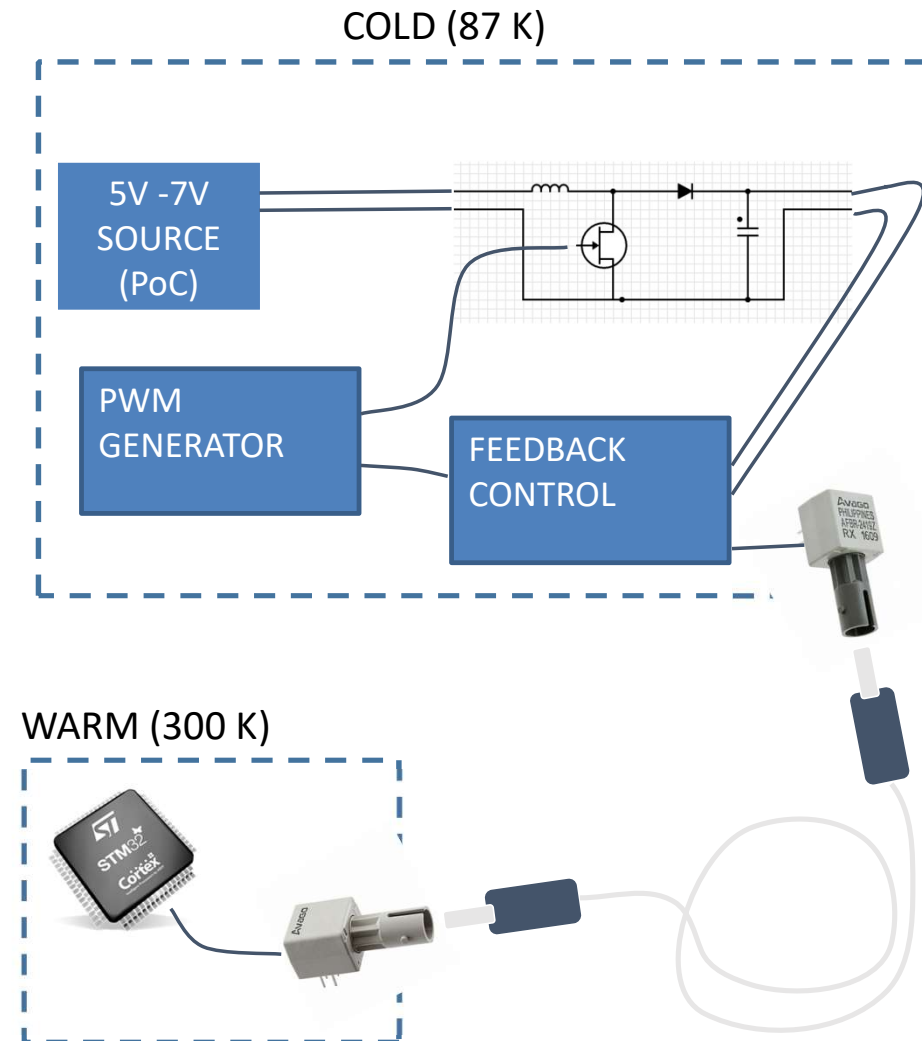
- Obiettivo: Generare alta tensione (intorno ai 50 V) per la polarizzazione dei SiPM a freddo per mezzo di un DC-DC boost converter
- Un PoC (Power Optical Converter, GaAs) con un range 5V-7V in ingresso fornisce tensione/corrente per il convertitore DC-DC
- Configurazione del DC-DC boost converter tipica, con transistor MOS, per portare la tensione di uscita fino a circa 50V
- Un generatore PWM pilota lo switch del MOS con due possibili metodi di controllo:
 - Retroazione interna (locale) che imposta la tensione di uscita su un valore nominale (es. 48 V);
 - Input esterno (per mezzo di una ulteriore fibra ottica) per modificare attivamente la tensione in un range di pochi volt intorno ai 50V.



- Sistema sviluppato: a) Selezionando e caratterizzando i componenti/dispositivi elettronici a freddo (LN₂; Milano-Parma)
b) Simulando il circuito per meglio comprenderne il comportamento (Parma)
c) Realizzazione primi prototipi → Prototipi consegnati questa settimana
d) Test sul campo Rev 3 (Milano e successivamente CERN - Cold box VD).

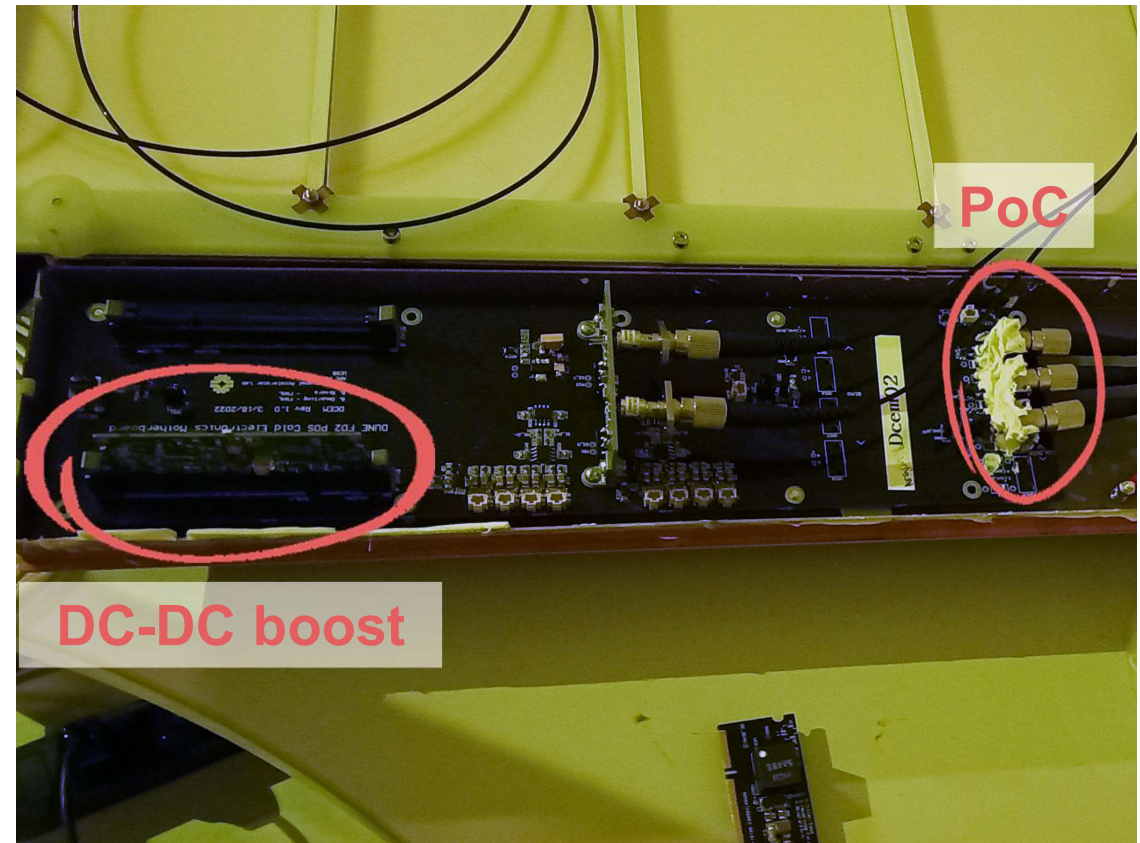
System overview

- DC-DC boost converter: HV for SiPM bias at cold
- Lunga evoluzione legata alle mutevoli necessità che via via sono maturate in seno alla collaborazione
- **Alimentazione fornita da un PoC (Power optical Converter): 5 V - 7 V**
- **Typical boost topology con MOS transistor:**
Tensione di uscita sino a 50 V
- **PWM** con due possibili controlli:
 - Feedback interno con set al valore nominale (e.g. 48 V)
 - Ingresso ottico per regolazione da remoto (pochi volt)



Il sistema di test al CERN

- GaAs Power optical Converter (PoC)
- DC-DC boost design
 - Caratterizzazione componenti
 - Prestazioni
- Control design
- OpAmp characterization



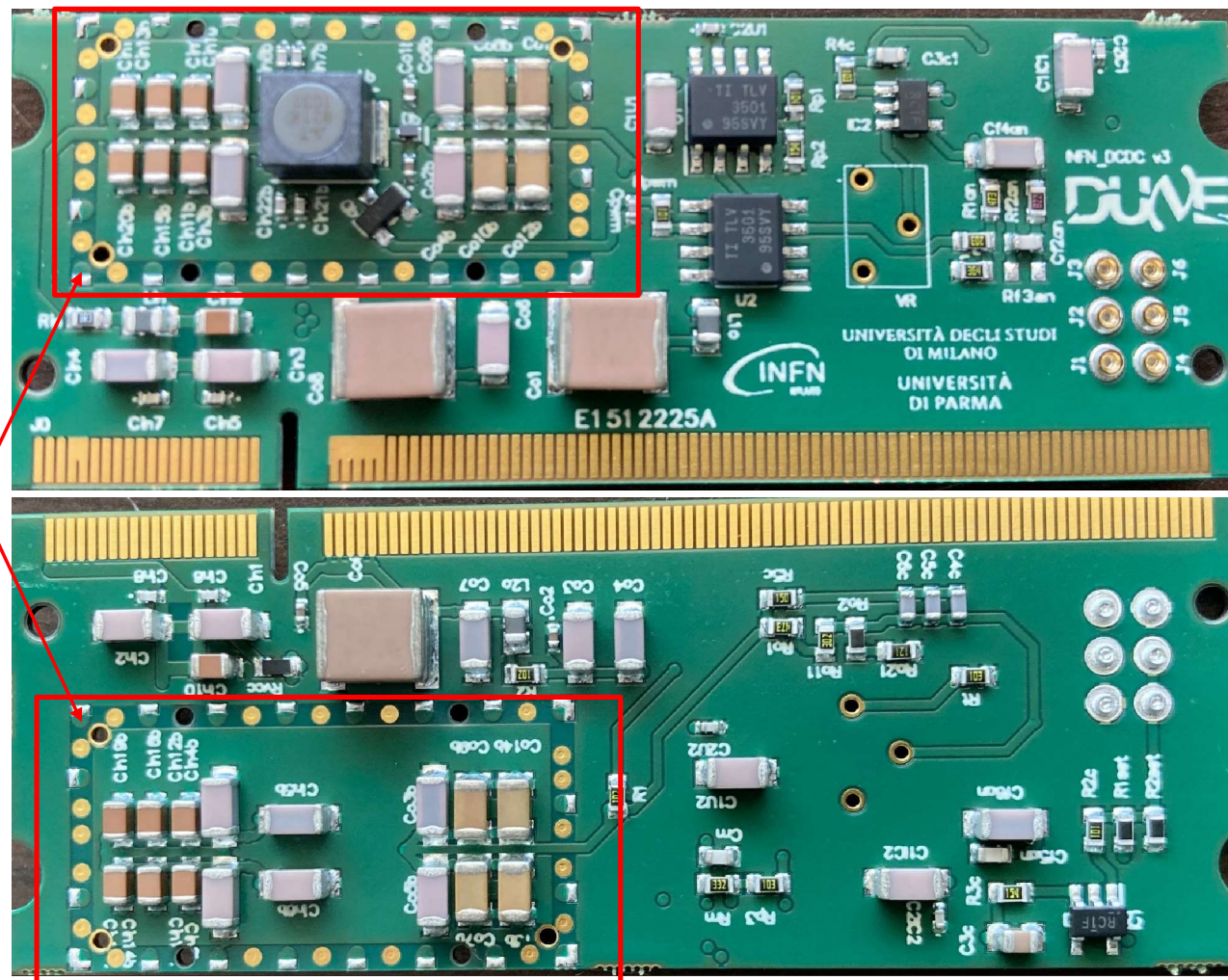
PoF – V2 → V3

Test al CERN (in Cold Box) in setup definitivo con V2

- Funzionalità OK
- Trimming dei filtri → miglioramenti sul rumore

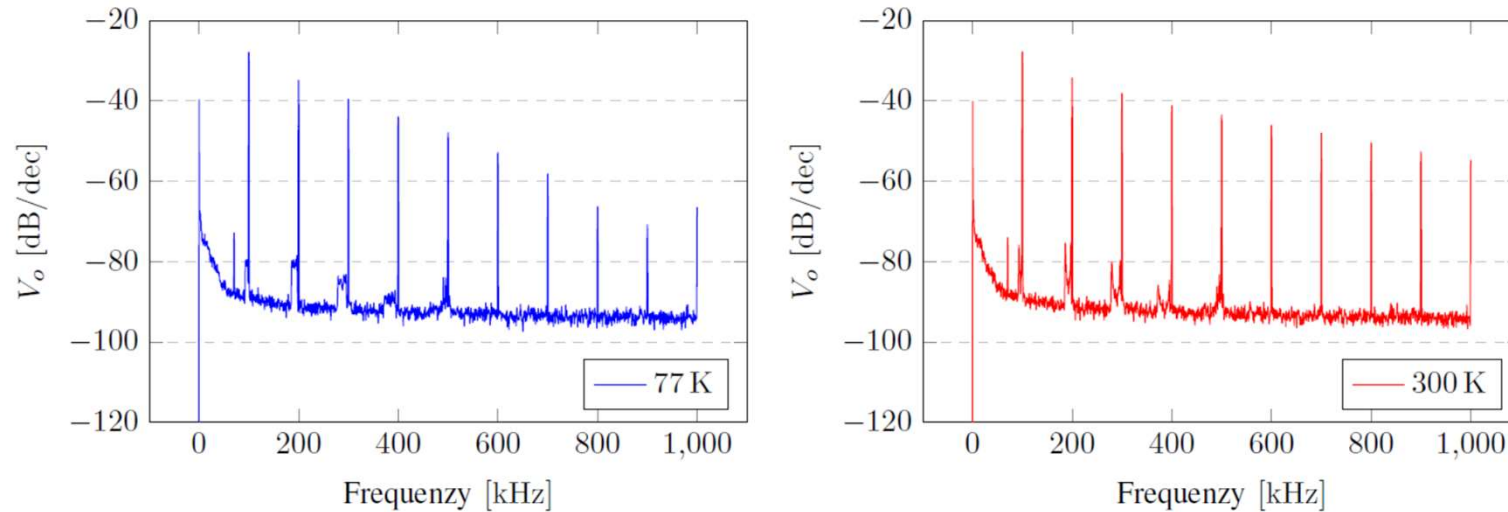
Nuova versione (V3)

- Primi di Giugno 2023
- 10 schede popolate
- 12 PCB di riserva
- Primi test iniziati (06/2023) con soddisfazione
 - Milano
 - Parma
- Nuovo design per eventuale schermatura (EMI shield)
 - Officina meccanica



- Il setpoint (tensione di uscita) può essere regolato anche mediante comunicazione da remote.

Risultati (Rev. 2) → Rev. 3 Ongoing



12: Output voltage FFT measurements at 77 K (blue) and 300 K (red).

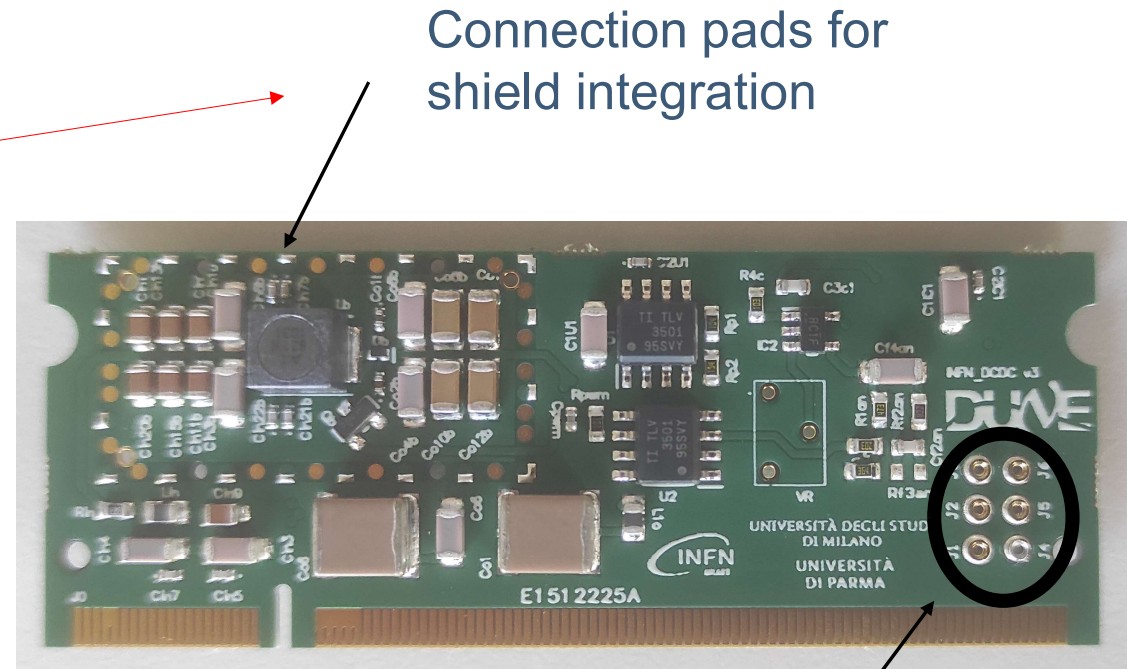
Figure show an evaluation of the output ripple FFT between warm and cryogenic temperatures. The tests have been done with a 37V output voltage.

	300 K	77 K
Calculated	0.16 V	0.14 V
Measured	0.13 V	0.12 V

Table: ripple values calculated and measured.

Future developments

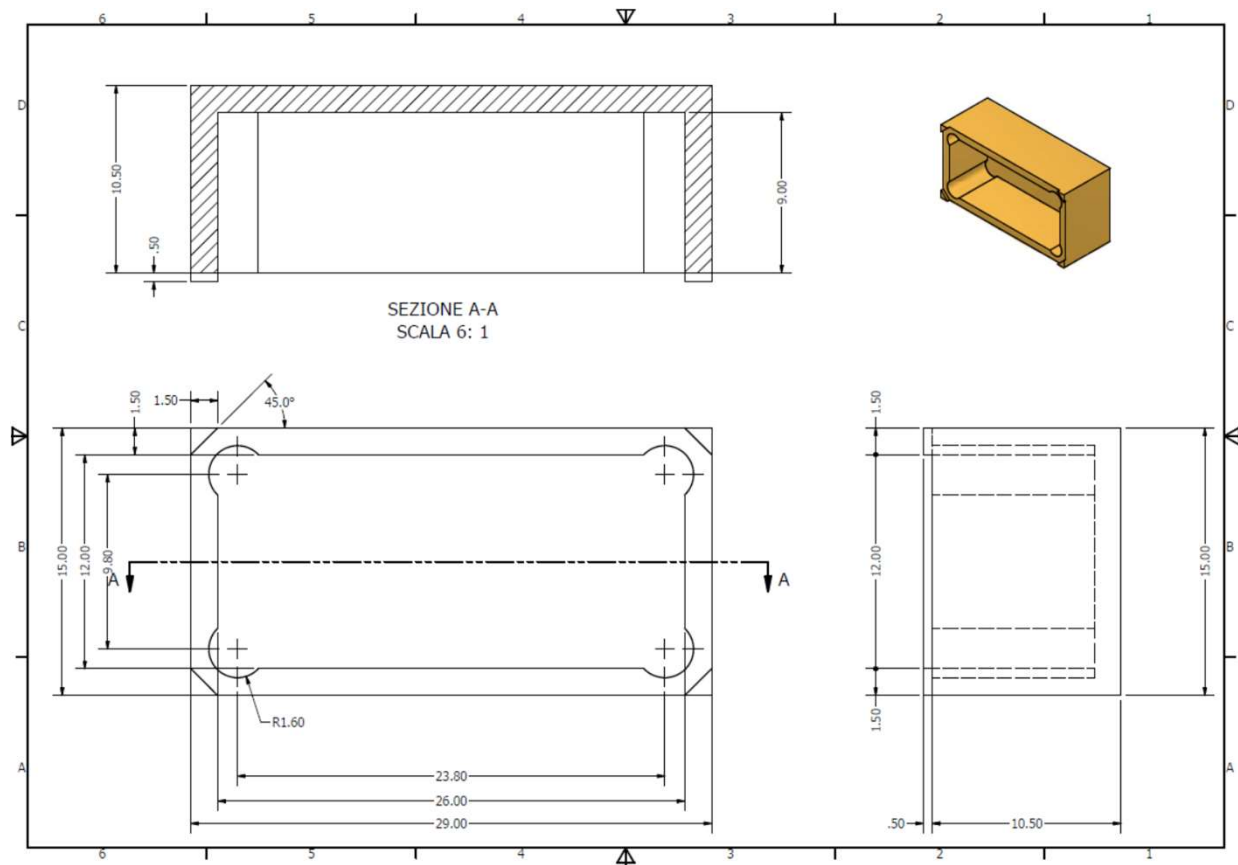
- Integrazione schermi per riduzione EMI
- Aggiunta della scheda esterna per controllare il DC-DC boost converter
- La scheda ha già la predisposizione



Connection pads for shield integration

External card slot

Shield (Progettazione e realizzazione)



2 coppie per il momento:

- Ottone
- Alluminio

Provata solo quella di ottone al momento

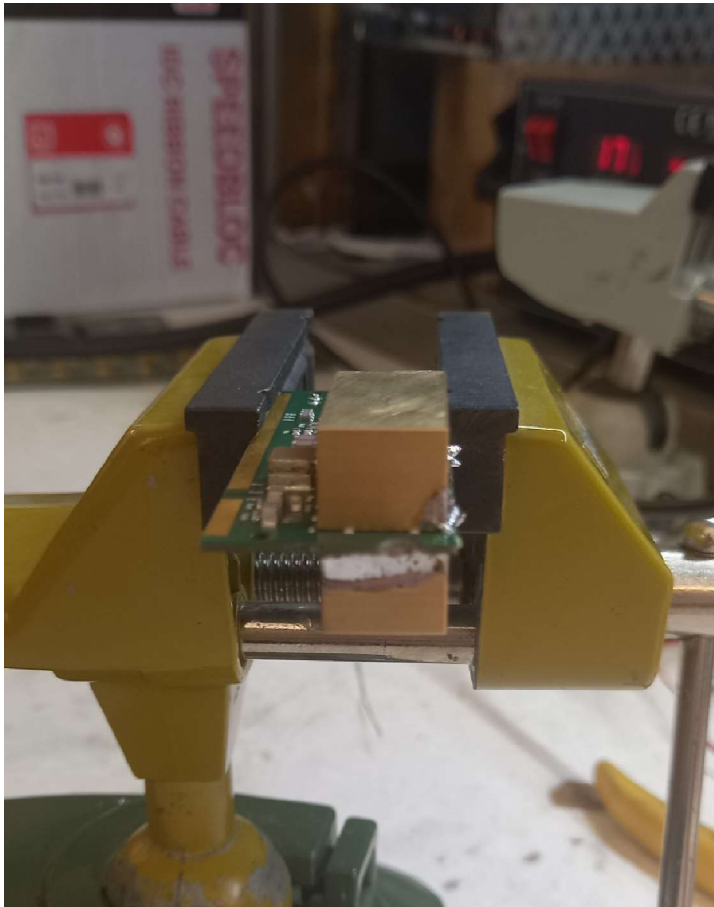
Shield (Test)

Sensibile miglioramento delle prestazioni in termini di rumore.

Risultati analoghi sulla versione 2 (e con una schermatura non realizzata ad hoc) era stato riscontrato da Marta Torti (Bicocca)

Nuove prove per verificare:

- comportamento dello schermo in alluminio
- Ripetibilità (test su diversi esemplari)



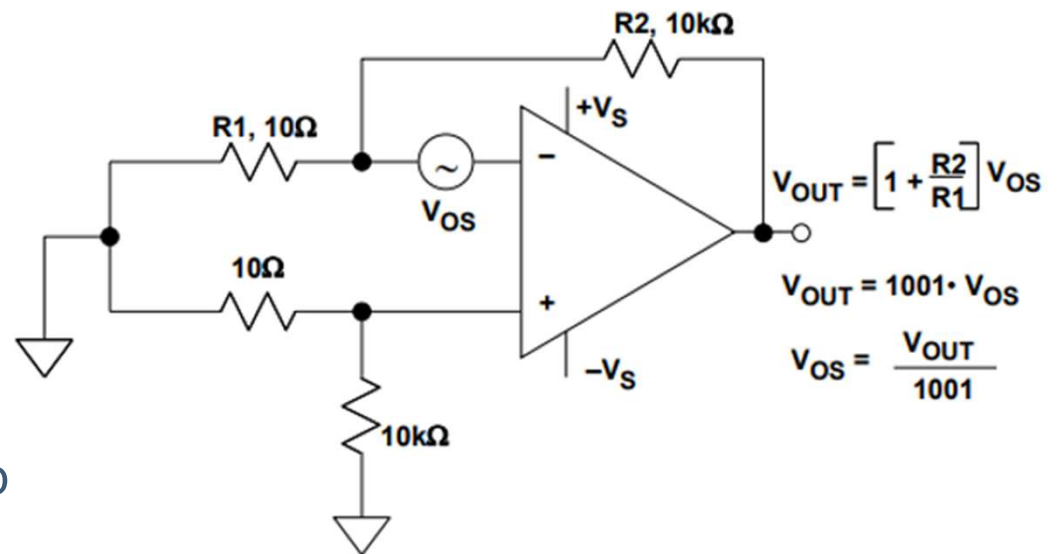
Assegno di Ricerca → Dottorato di Ricerca

- Niccolò Gallice ha dato un grande contributo alle attività di NuatFNAI (DUNE).
- Dopo il Dottorato Niccolò ha continuato a rimanere in DUNE anche grazie ad un assegno di ricerca (finanziato da un mio PRIN).
- Purtroppo (per noi tutti) da giugno ci ha lasciati (per BNL). Continuano, ovviamente, i contatti.
- Con i risparmi (legati all'assegno di ricerca non completato) e ad una fortunata coincidenza è stato possibile attivare un bando di dottorato tematico → a breve avremo una nuova risorsa a Milano per 3 anni (entro metà settembre conclusione dei lavori della commissione).
- Obbligatorio: 6 mesi in centro di ricerca/Università all'estero (CERN e FNAL).
- Altra risorsa: un tesista da Giugno 2023.

Component characterization: OpAmps

First characterization circuit for OpAmps

- DUT: OpAmp LMV321
- Input offset voltage test
- DUT in climate chamber with LN₂ injection
- Offset recovery at each temperature step
- Automatic test bench control



Primi risultati – Già presentati

Grafici test OpAmp n.1 LMV321

Grafici test OpAmp n.2 LMV321

Grafici test OpAmp n.3 LMV321

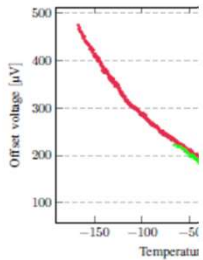


Fig. 1: Offset Voltage OpAmp LMV. from -167 °C to 60.8 °C.

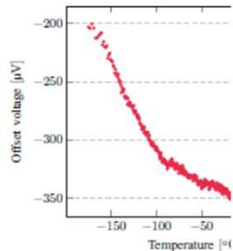


Fig. 1: Offset Voltage OpAmp LMV321 n. to 60.1 °C.

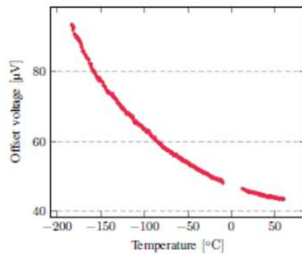


Fig. 1: Offset Voltage OpAmp LMV321 n.3, from -183.6 °C to 60.1 °C.

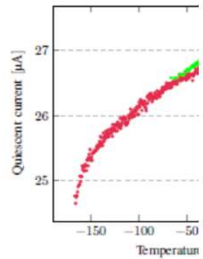


Fig. 2: Quiescent current with Vout LMV321 n.1, from -167 °C to 60.1 °C.

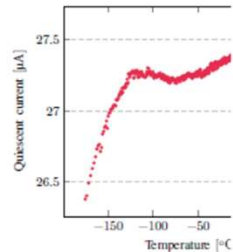


Fig. 2: Quiescent current with Vout equal to 0 °C to 60.1 °C.

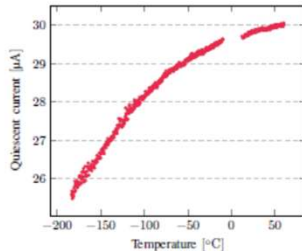


Fig. 2: Quiescent current with Vout equal to 0 V, OpAmp LMV321 n.3, from -183.6 °C to 60.1 °C.

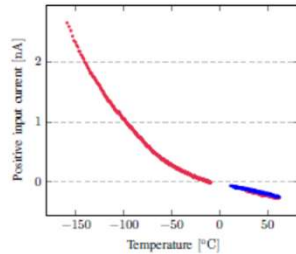


Fig. 3: Positive input current OpAmp LMV321 n.3, from -159.3 °C to 61.5 °C.

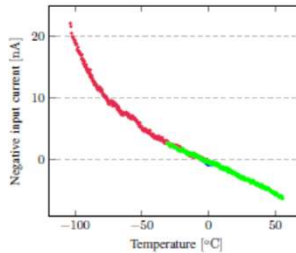


Fig. 4: Negative input current OpAmp LMV321 n.3, from -103.5 °C to 55.3 °C.

- Test OP AMP LMV 321
- 3 esemplari
- Offset Voltage
- Quiescent current with Vout equal to 0 V.
- Positive input current
- Negative input current
- Range Temperature misurate: -184 °C - 60 °C.

CACTU VD

- The expected production for FD2-VD is 107520 SiPM mounted in flexi of 20 SiPM each (the device to be tested is the board denoted as “flexes”, not the single SiPM)



- That is 5376 flexes plus approximately 5% of spares (269 flexes)
- Therefore, it is reasonable to think of a number close to 5800 flex
- We rounded up generously because in our opinion there are always preliminary tests on pre-series to be done and some waste to predict worst case
- HD situation (for a comparison): to get an idea of the present situation, and to be able to make a comparison, the FD1-HD situation is as follows: 288000 SiPMs are installed in boards of 6 SiPM each, for a total of 48000 "SiPM boards". Also in this case, approximately 5% of spares must be added to these values (total of 300000 SiPMs to be tested for HD)

Quanti CACTUS VD?

- For the VD, 2 CACTUS VD could be the best choice
 - we are over 3000 flexes per station to test (yet another rounding up)
- It is important to provide 2 stations even if the work could be probably carried out by a single facility
- A malfunction could block the tests for a long time without a second facility (possible delay)

- **Pros @2 facility:**
 - greater testing speed
 - greater resilience in the presence of failures

- **Cons @2 facility:**
 - higher costs
 - two sites are needed