

MIBELETRONICA

Paolo Carniti

Claudio Gotti

Gianluigi Pessina

Davide Trotta

10 Luglio 2025

Di cosa ci siamo occupati e ci stiamo occupando:

Gr.I: CMS; 

Gr.I: DUNE; 
DEEP UNDERGROUND
NEUTRINO EXPERIMENT

Gr.I: LHCb; 

Gr.II: CUORE; 

Gr.II: CUPID, CROSS;   

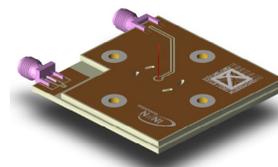
Gr.II: RES-NOVA; 

TT; 

Didattica;

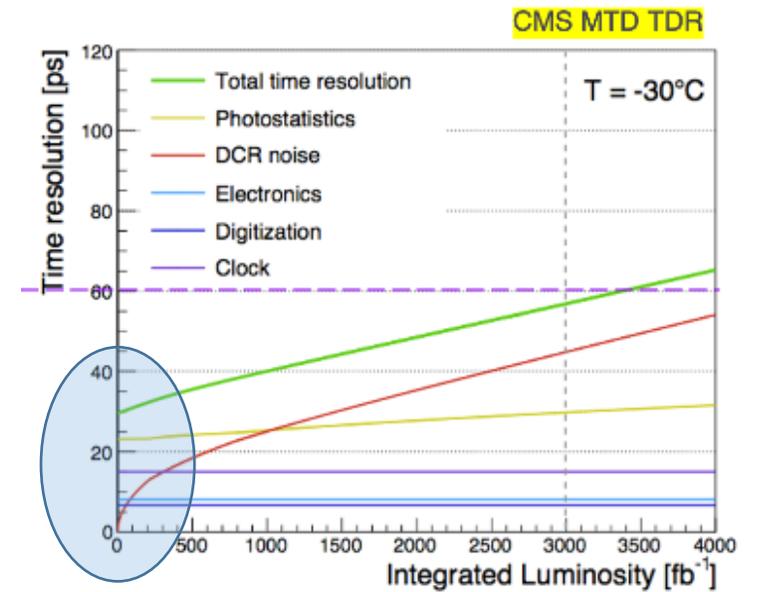
Outreach;

Extra: Dip. Di Eccellenza (mini-supporto);



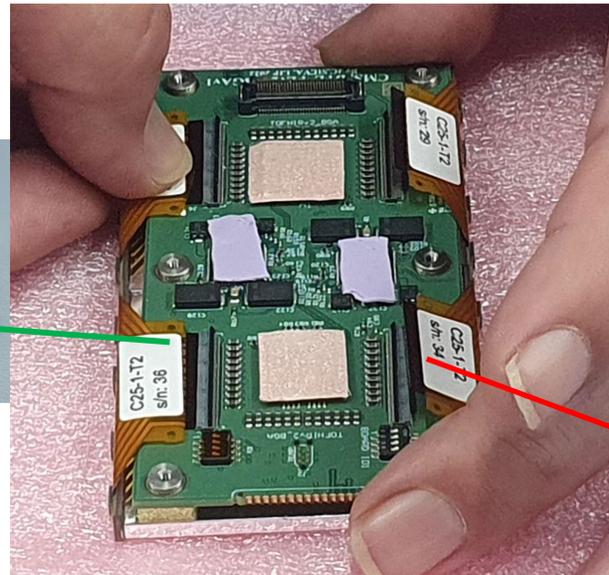
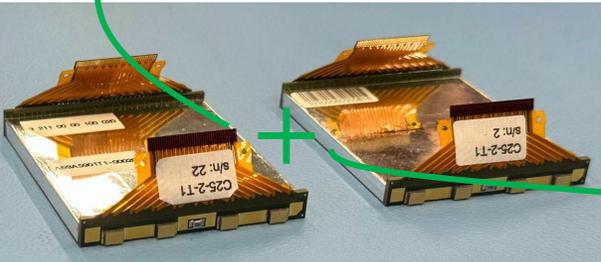
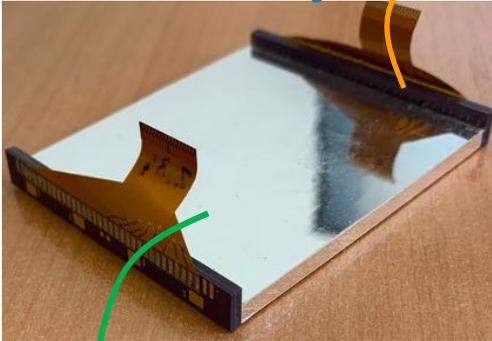
MTD-BTL=MIP Timing Detector-Barrel Timing Layer

SiPM+Lyso

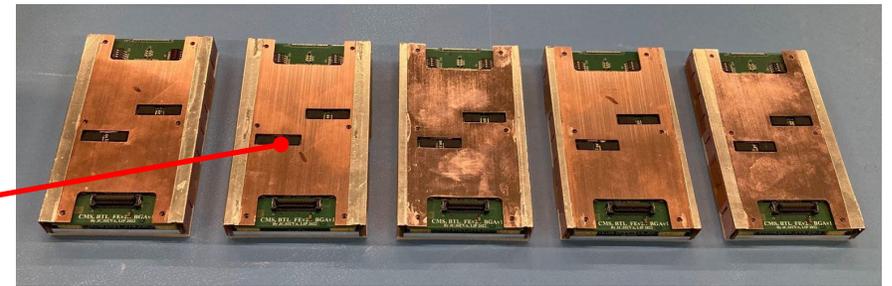


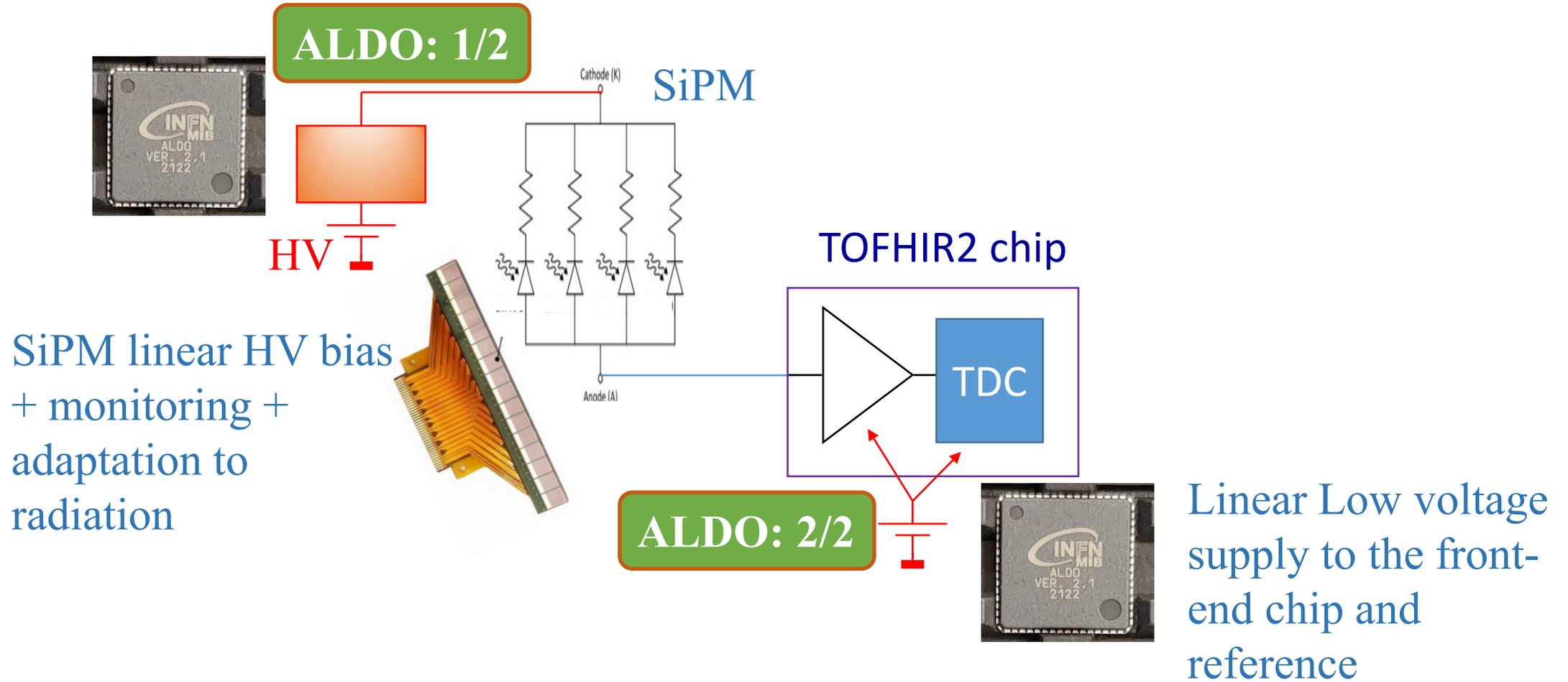
Risoluzione temporale Lyso+SiPM+Front-end.

Temperatura operativa -30°C ulteriori 10 °C in meno su SiPM (Peltier aggiuntiva su SiPM).



=





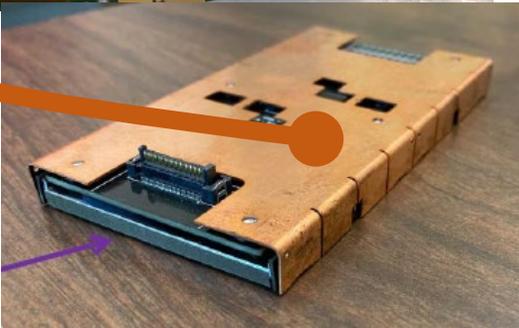
La produzione del nostro ALDO2:
quindi un chip con doppia funzionalità.



1. Regolatore di tensione lineare per front-end;
2. Gestione ed ottimizzazione dell'alta tensione per i SiPM;

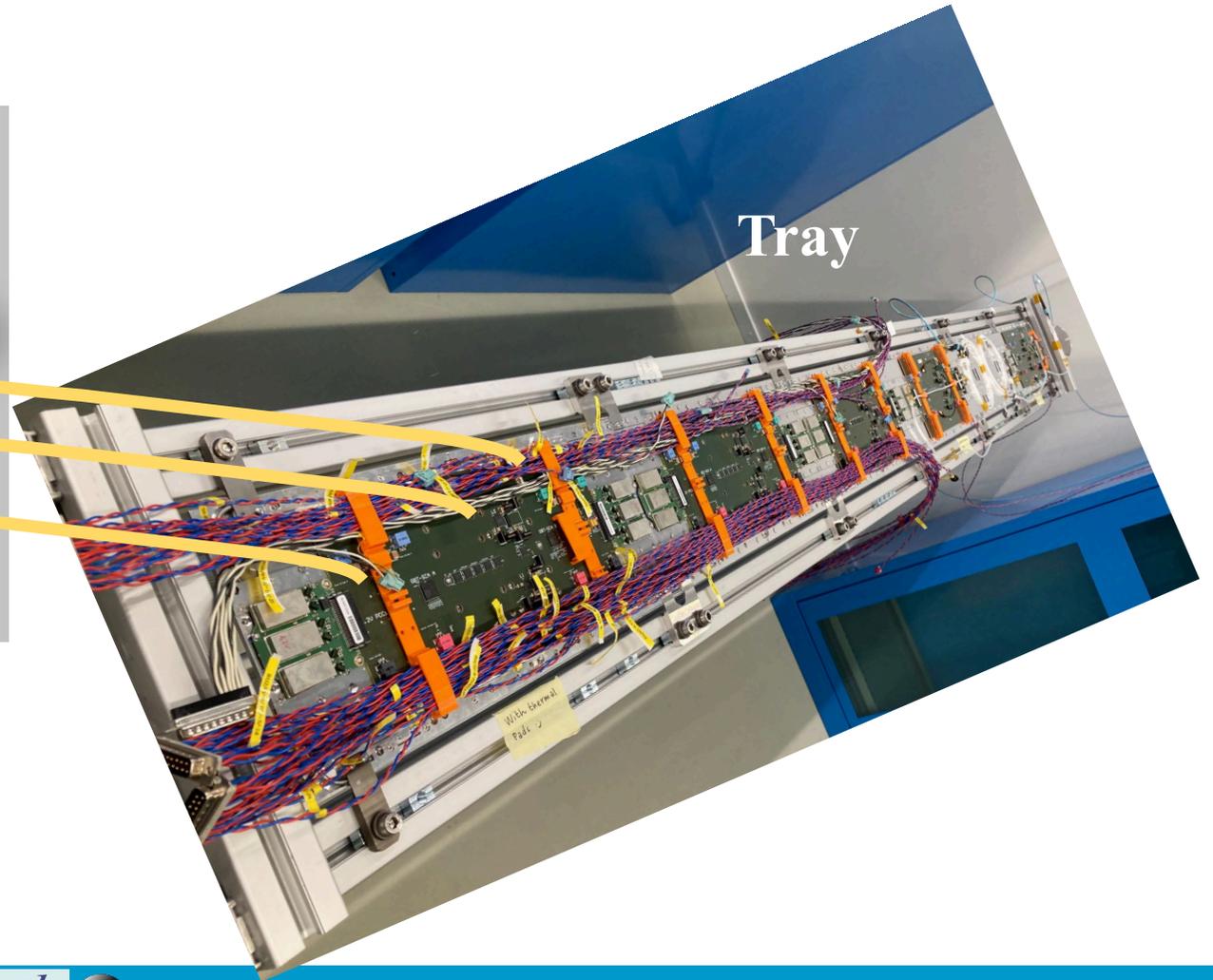
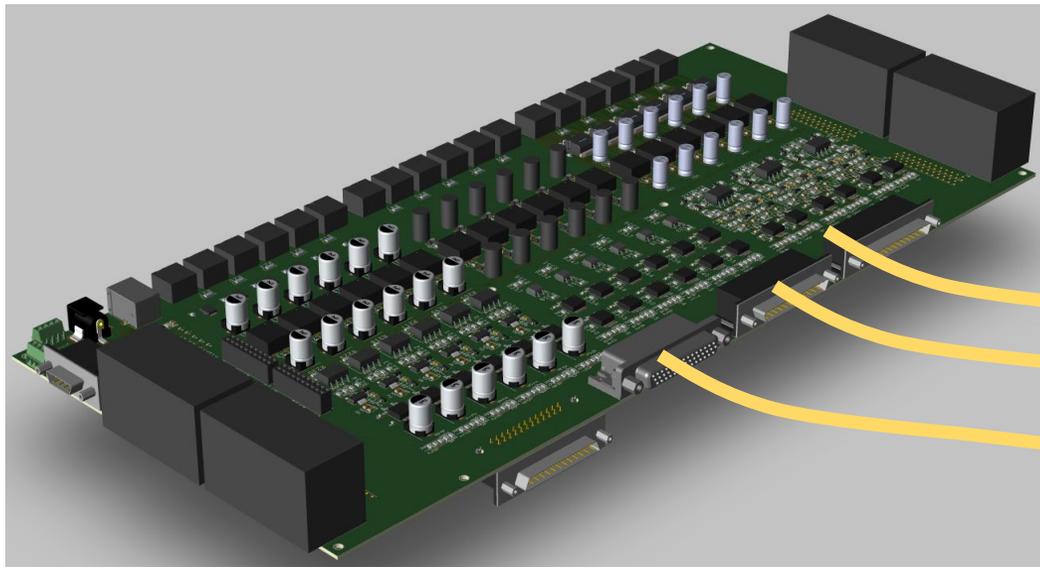
- 12250 chip sono usati dal BTL
- 9900 chip sono per il rivelatore HGCal (Desy)

Interesse anche da parte di LHCb (rivelatore SciFi) per l'utilizzo di ALDO2 nell'Upgrade II (LS4, 2034?)



Responsabile Paolo C

Board per la distribuzione e controllo dell'alimentazione dei tray durante l'assemblaggio progettata a MiB (Paolo C.).



Gr.I: DUNE (1)

Il nostro amplificatore criogenico è stato adottato in:

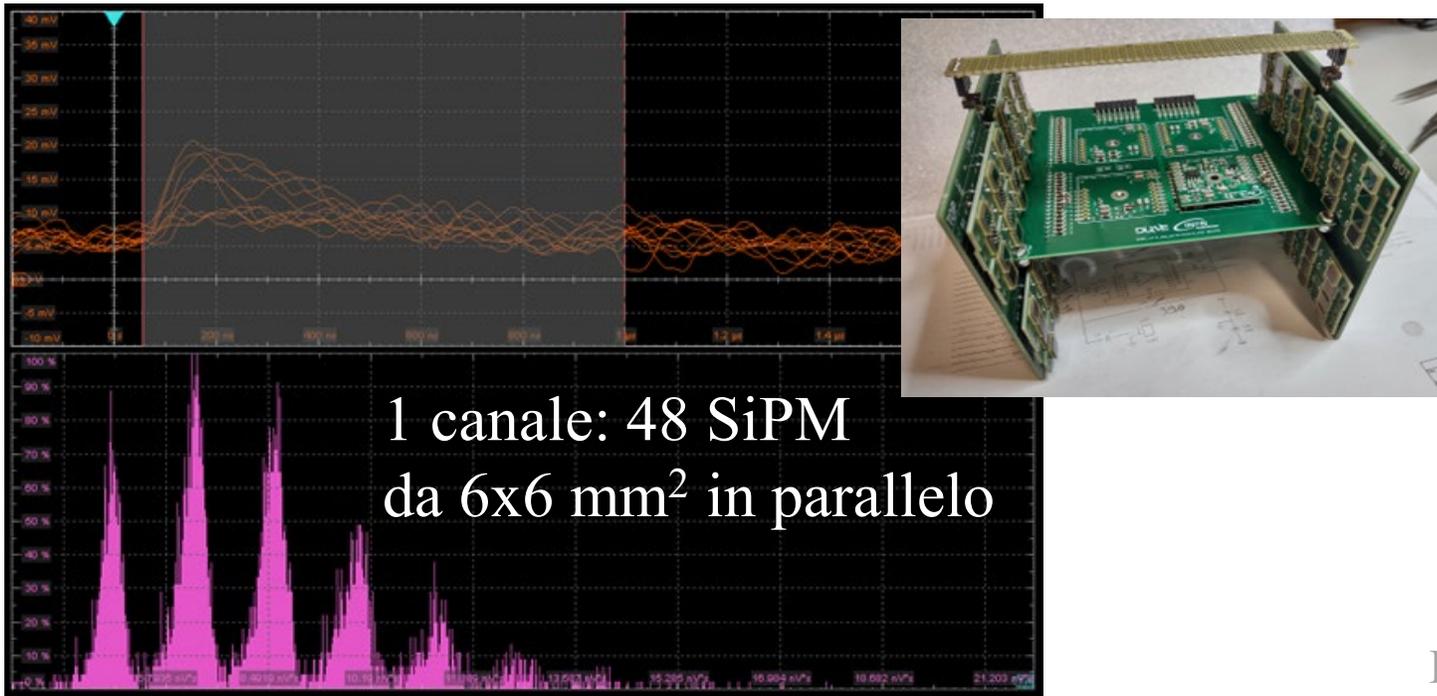
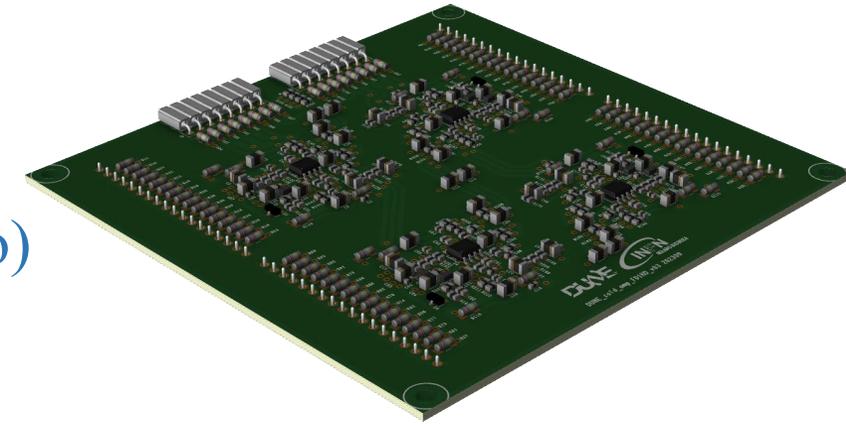
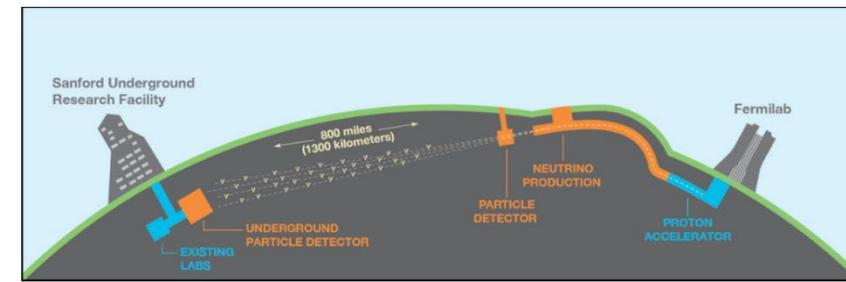
✓ FD1 - horizontal drift:

Produzione in corso di 1500 schede da 4 canali

✓ FD2 – vertical drift:

Previsione 2026 per produzione 200 schede da 2 canali

(Variante della versione FD1 progettata da Esteban Cristaldo)

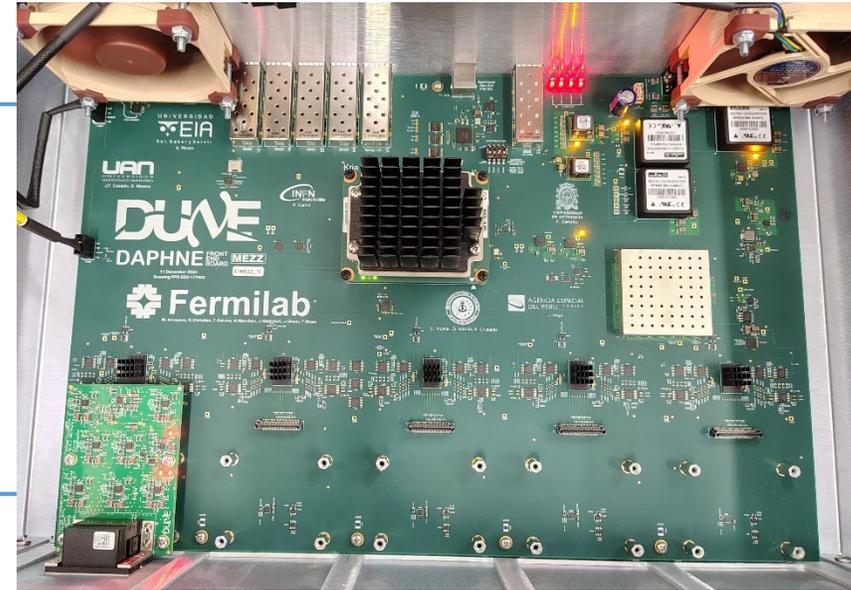
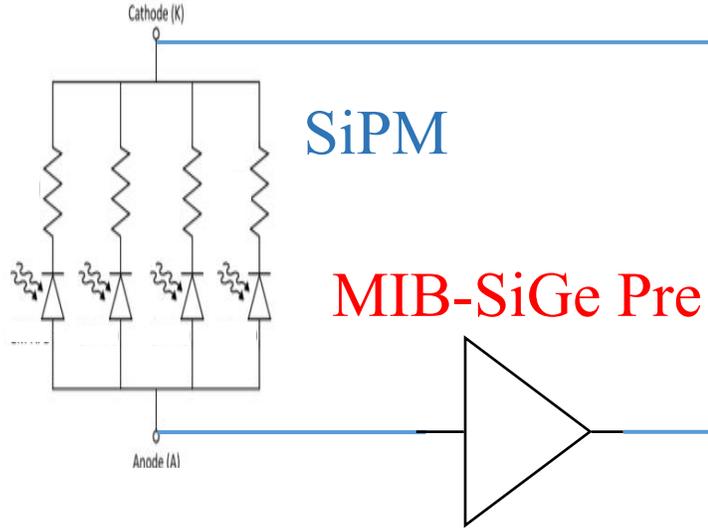


1 canale: 48 SiPM
da 6x6 mm² in parallelo

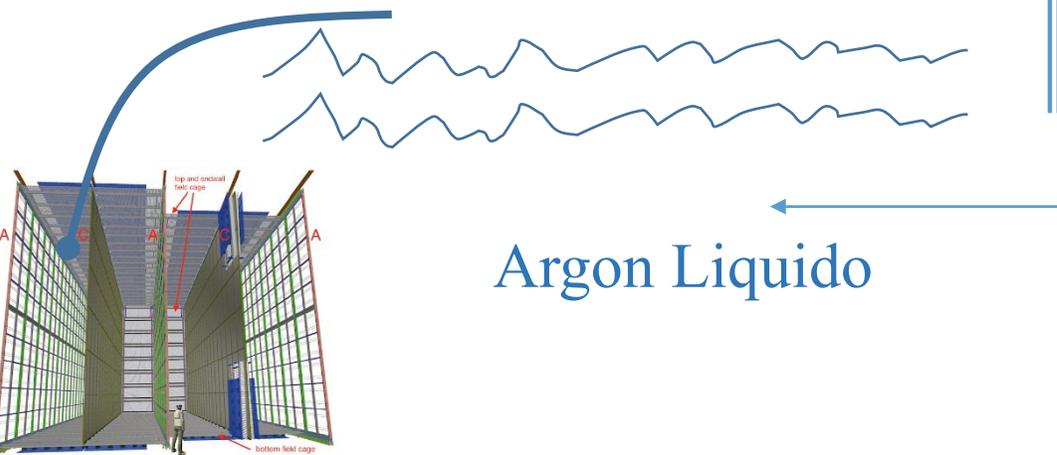
Claudio G.:
co-convenor cold electronics

DUNE= Deep Underground Neutrino Experiment

Gr.I: DUNE (2)



T ambiente

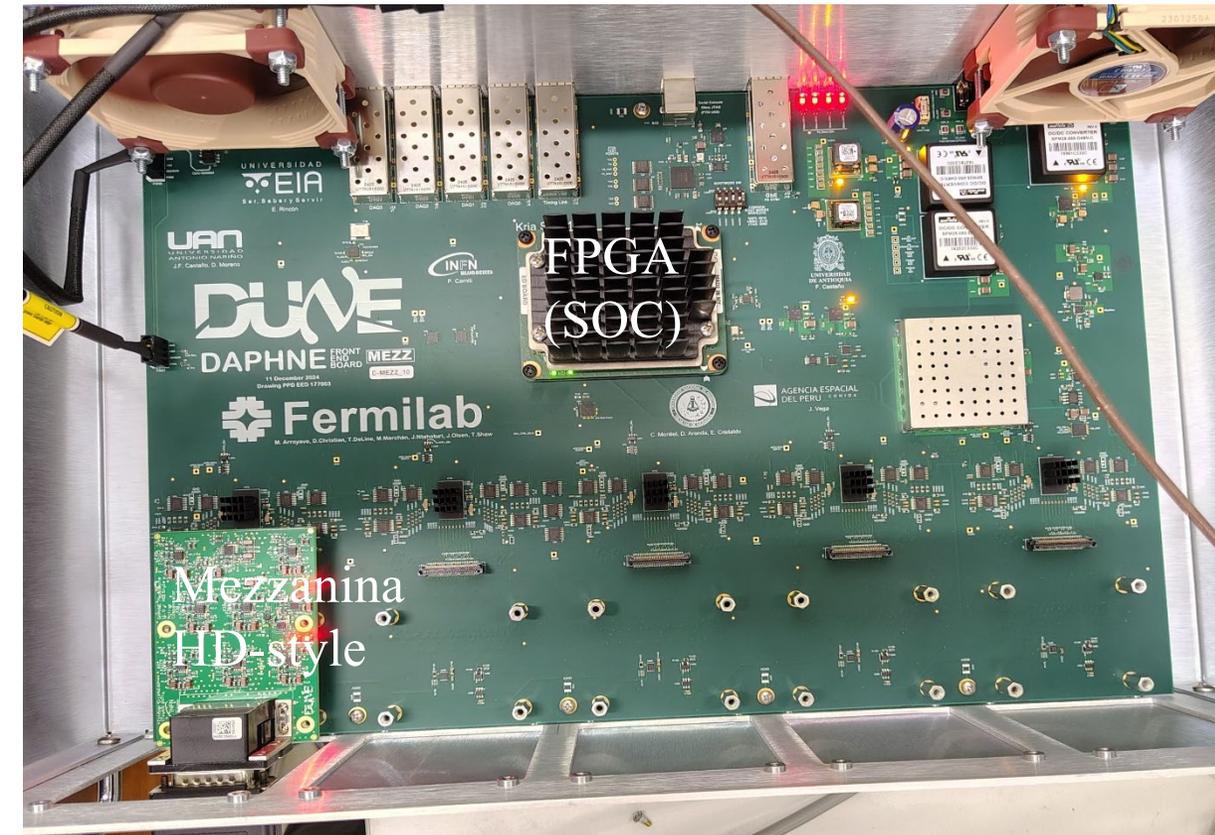


Argon Liquido

In briciole il preamplificatore: amplificatore ottenuto mischiando la tecnologia SiGe discreta con Amplificatori Operazionali tradizionali; il tutto operante alla temperatura dell'Argon Liquido, 87 K.

Gr.I: DUNE (3)

Ottimizzazione del DAQ a MiB da parte di Esteban Cristaldo e Paolo C.



DAPHNE:

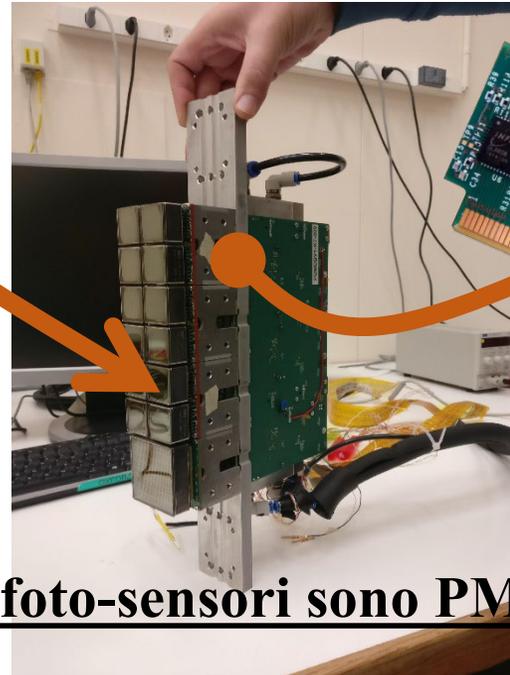
- Conversione segnali da differenziali o ottici a single-ended sulle mezzanine (sviluppo della mezzanina HD-style @ MiB)
- Digitalizzazione (14 bit, 62.5 Msps)
- Filtraggio segnali (DSP)
- Calcolo metadati segnali
- Triggering
- Trasmissione dati (10 Gbps)
- Slow control

NEW: Paolo C.:
co-convenor Warm Electronics

A MiB ci stiamo occupando dello sviluppo della mezzanina HD-style (usata in FD1-HD e in parte di FD2-VD), dello sviluppo del FW e dello slow control, oltre ovviamente all'integrazione del DAQ con l'amplificatore criogenico e SiPM.

Il RICH di LHCb nella sua versione attuale ha come front-end...

... il nostro chip **CLARO** (poco meno di 30000 chip):



I foto-sensori sono PMT

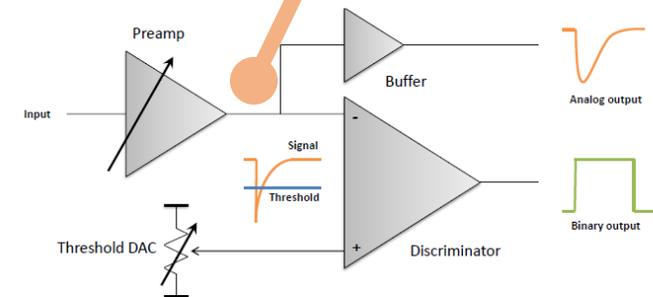
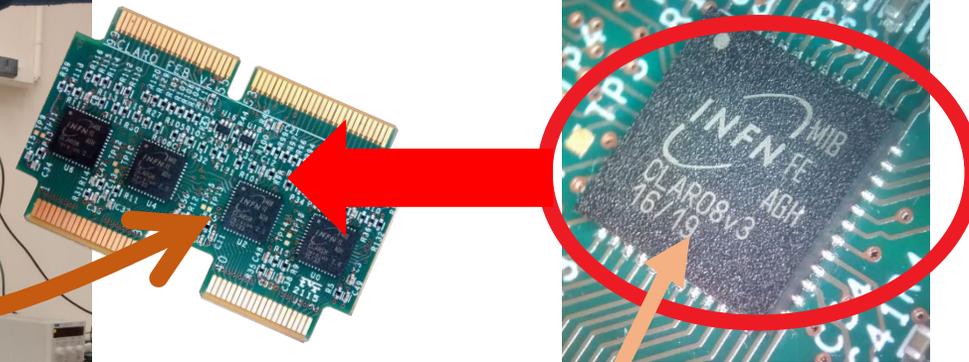
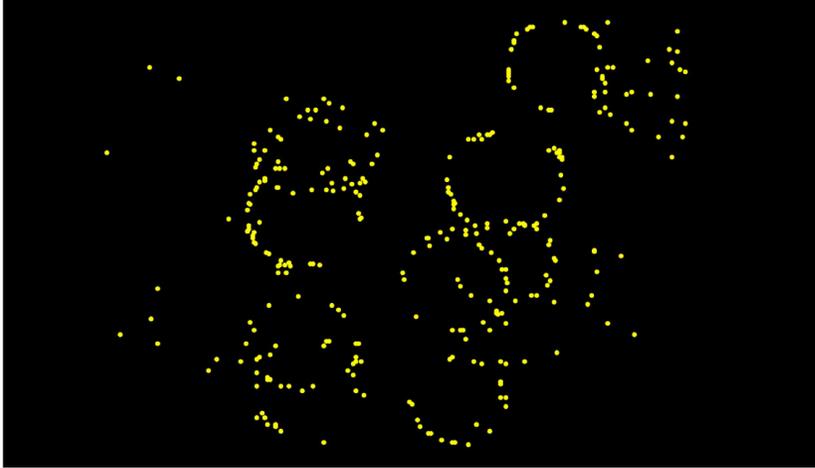


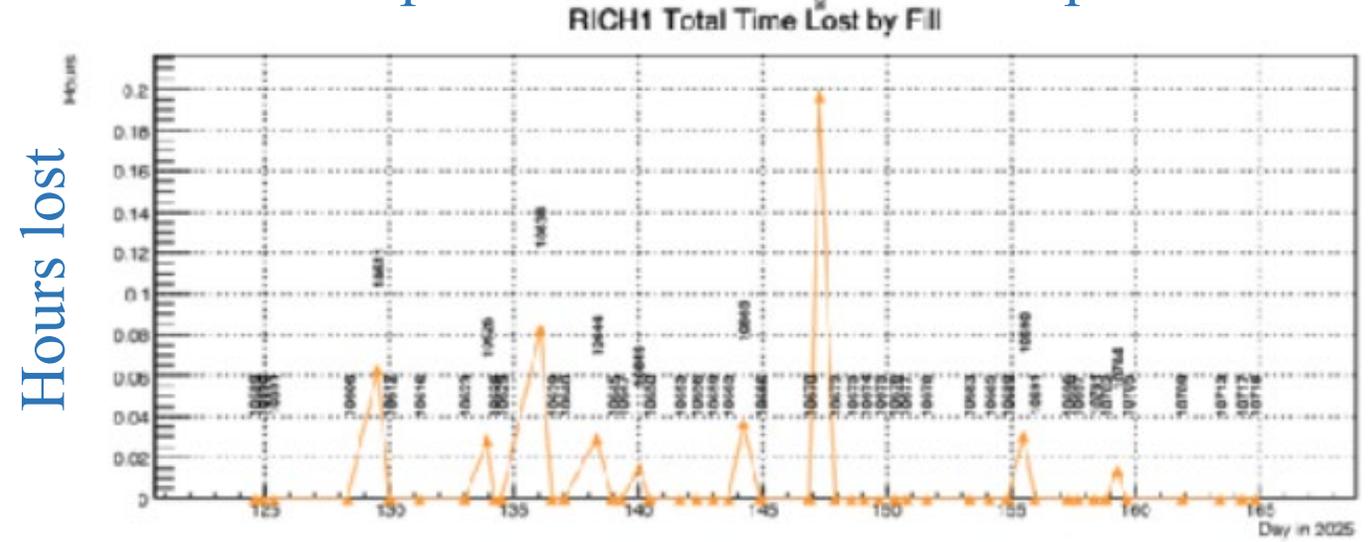
Figure 1. Block schematic of a CLARO-CMOS channel.

Deputy project leader Claudio G

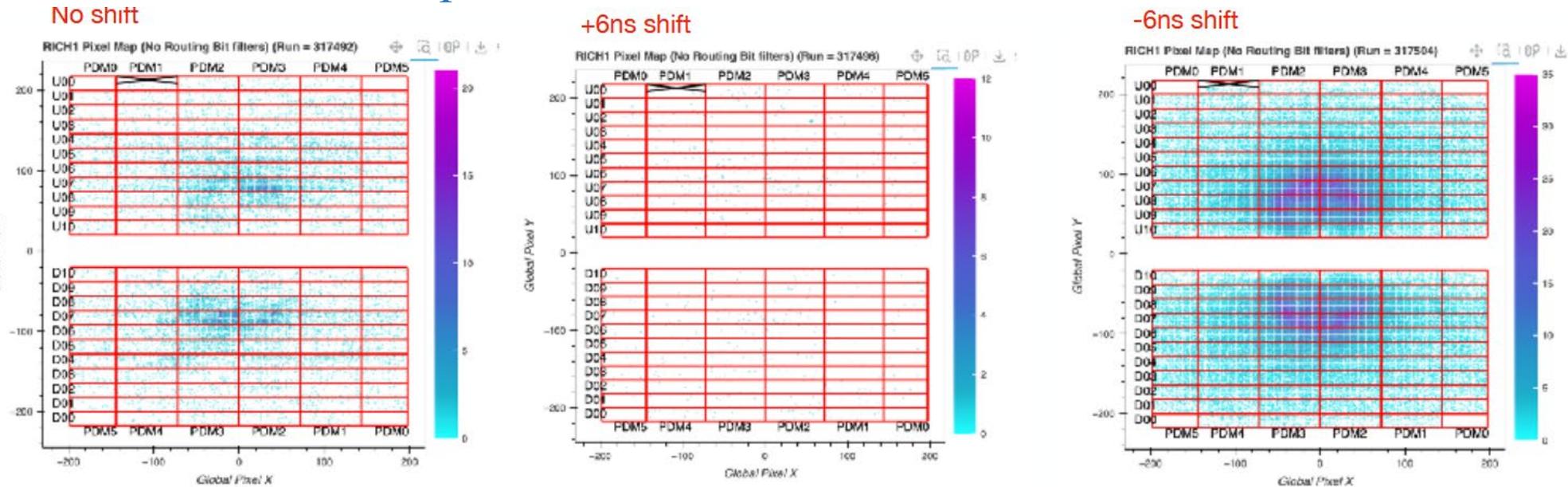
Rings



Hours lost



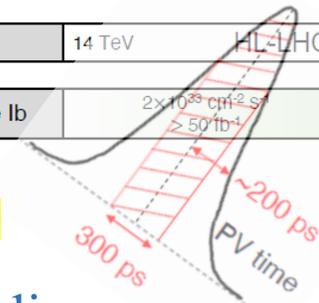
Buona risoluzione temporale: allineamento con finestre di 6 ns



Gr.I: LHCb (3)

	Run 2	LS2	Run 3	LS3	Run 4	LS4	Run 5 - 6
	LHC			13 TeV	14 TeV	HL-LHC	
LHCb	$4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 9 fb ⁻¹	Upgrade Ia	$2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ > 25 fb ⁻¹	Upgrade Ib	$2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ > 50 fb ⁻¹	Upgr. II	$1.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ > 300 fb ⁻¹

Enhanced (Run 4)



Nelle fasi di aggiornamento future si prevede di cambiare il tipo di sensore per cercare di conseguire una informazione temporale più precisa.

Si sta studiando la possibilità di usare SiPM a temperatura criogenica, $\sim 100 \text{ K}$: è necessario essere sensibili al singolo fotone, dark-count per effetti della radiazione non ce ne devono quasi essere.

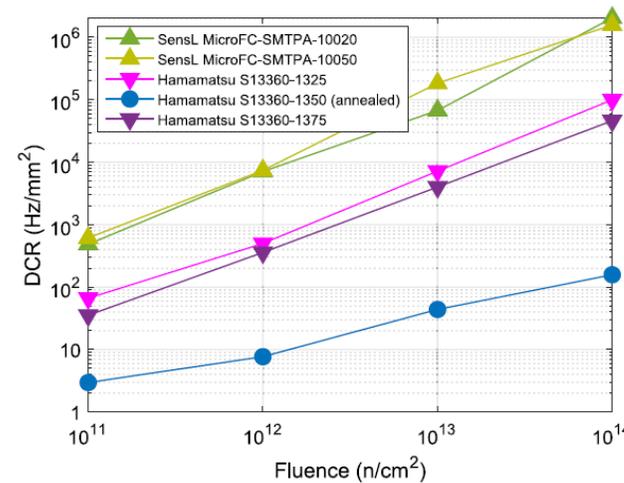
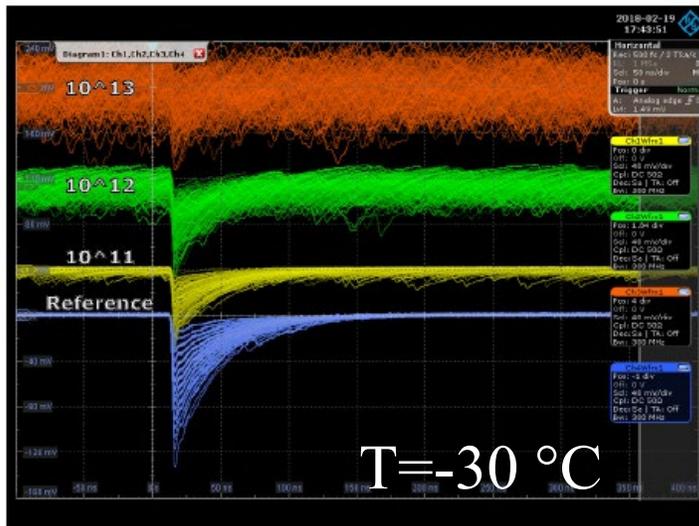


Fig. 12. DCR at 77 K versus neutron fluence for all irradiated devices.

Gr.I: LHCb (4)

Per studiare l'effetto della temperatura e della radiazione sui SiPM, abbiamo sviluppato un amplificatore super-veloce capace di operare da temperatura ambiente a 80K:



Questo front-end, realizzato e prodotto a MIB, è utilizzato dalla comunità LHCb-Italia (Ferrara, Genova, MIB, Padova e Perugia) nella attuale campagna di caratterizzazione dei SiPM.

In briciole la soluzione: amplificatore ottenuto mischiando la tecnologia SiGe discreta con Amplificatori Operazionali tradizionali con compensazione in frequenza sagomata opportunamente.

Responsabile Davide T.

Gr.I: LHCb (5)

Espansione della scala orizzontale per la misura della risoluzione temporale dell'amplificatore (jitter): misura effettuata con ampiezza e tempo di salita emulati del singolo fotone da SiPM. Attenzione che il jitter non ha carattere assoluto, ma dipende dall'ampiezza, Q_S del segnale, oltreché dalla sua velocità:

$$V_{ov} = 3 \text{ V}, T = 77 \text{ K}$$

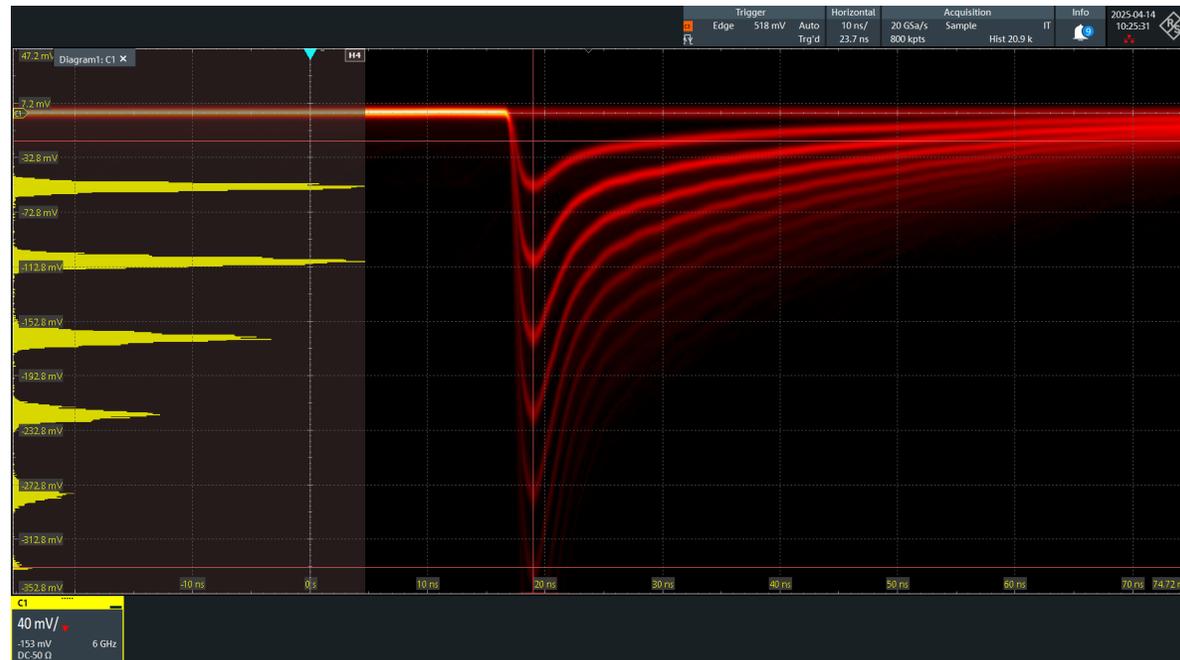
$$\sigma_t = \frac{\sigma_v}{Q_S f'(t_m)}$$



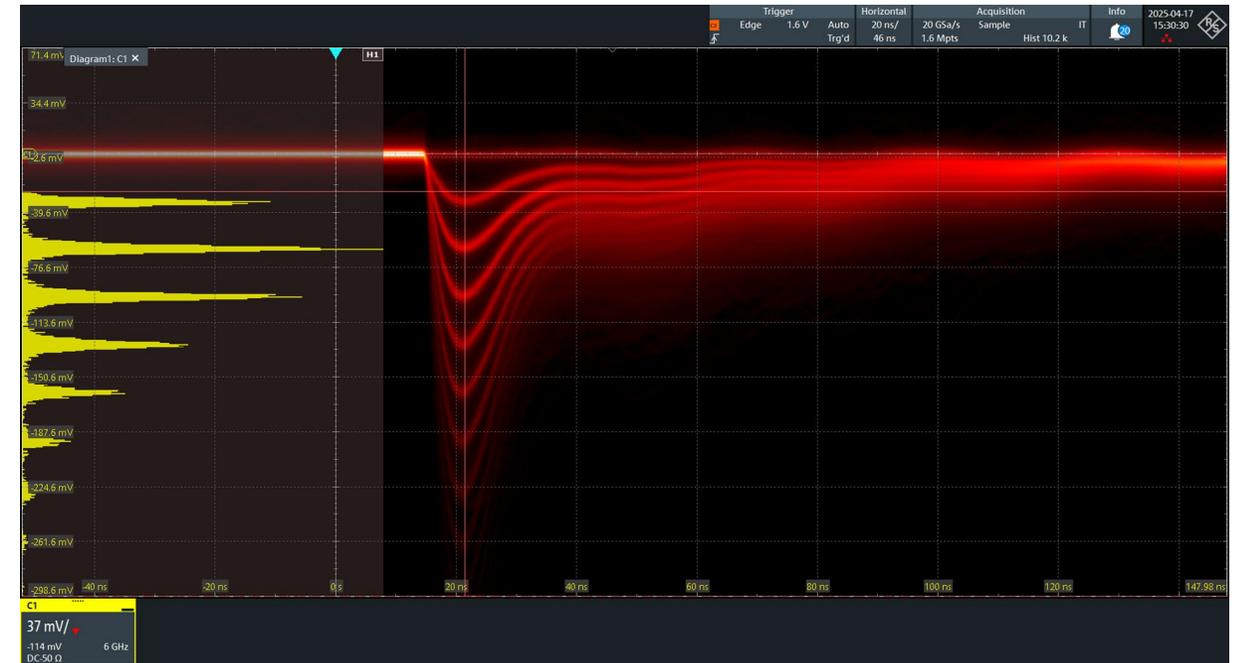
Jitter reale a 77 K, considerando $10.3 \text{ ps}_{\text{RMS}}$ strumentali: $10 \text{ ps}_{\text{RMS}}$ (a 300 K $\sim 16 \text{ ps}_{\text{RMS}}$)

Segnali di fotoni a temperatura ambiente e a 77 K a $V_{ov} = 3$ V:

T = 300 K



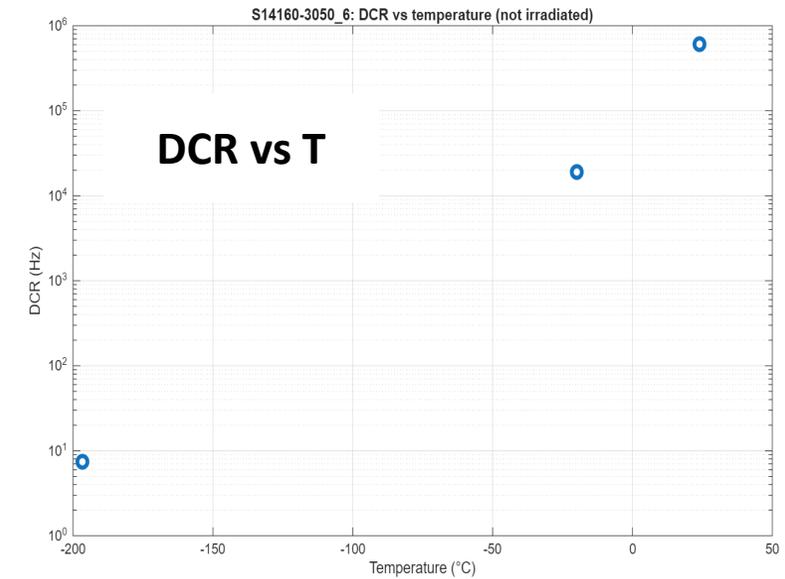
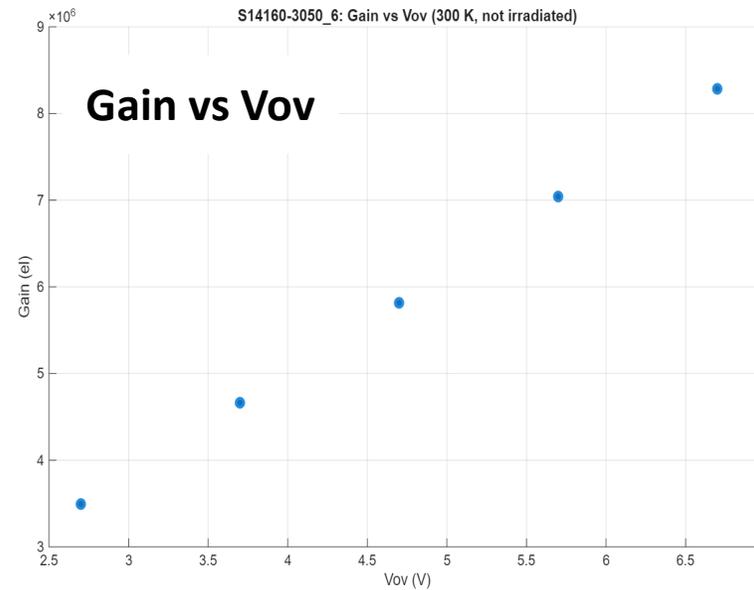
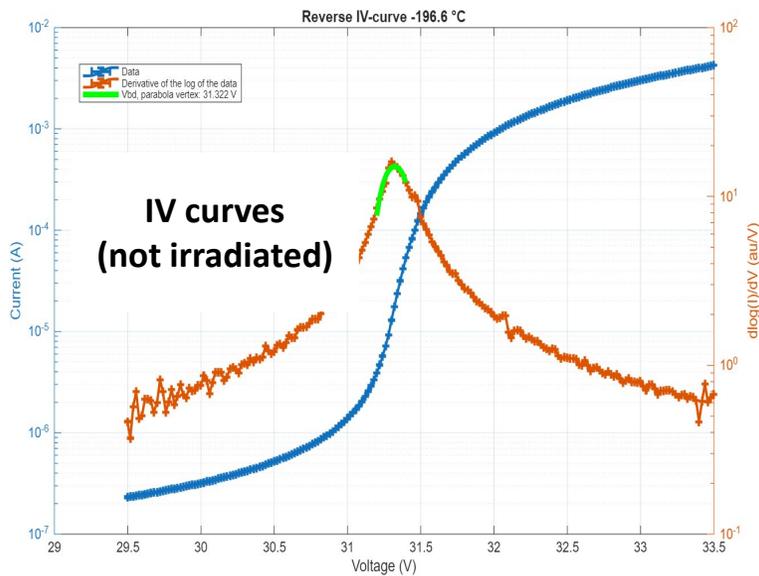
T = 80 K



- Ottima risoluzione dei segnali a diverso numero di fotoni.
- Segnale di singolo fotone a $V_{ov} = 3$ V ha ampiezza maggiore di decine di mV ad entrambe le temperature.
- Il segnale può essere ulteriormente amplificato di 3.5 V/V con un secondo stadio operante a temperatura ambiente e che fa parte del sistema completo realizzato qui nei nostri laboratori.

Gr.I: LHCb (7)

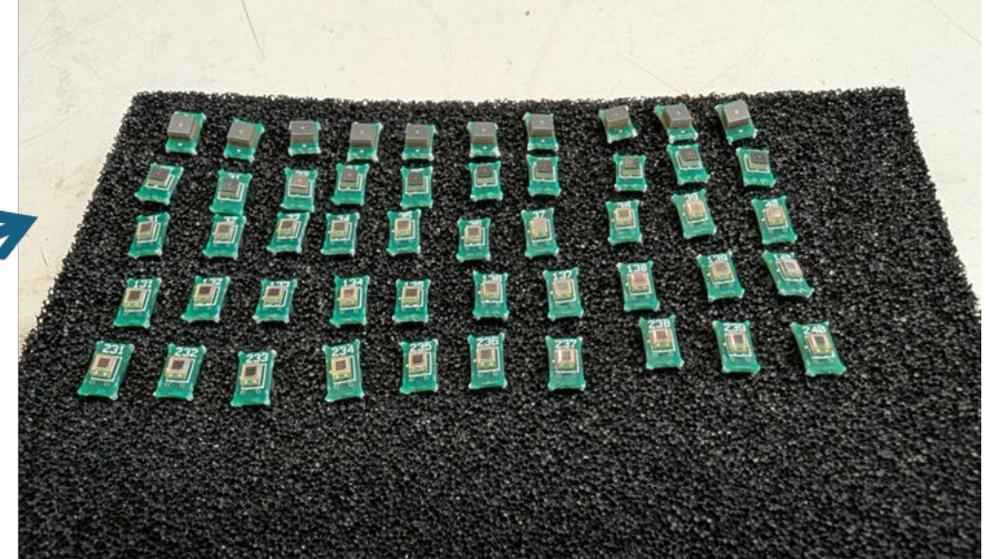
- Primi risultati della caratterizzazione sistematica di uno dei SiPM (S14160-3050HS) ottenuti da Caterina Abboto (laureanda triennale)
- Misure di curve IV, DCR e gain in ambiente controllato (temperatura costante)



Gr.I: LHCb (8)

- Caratterizzazione di 5 diversi tipi di SiPM di diversa serie, area e grandezza dei pixel (qui sotto elencati in tabella).
- Abbiamo acquistato 10 SiPM di ciascun tipo.

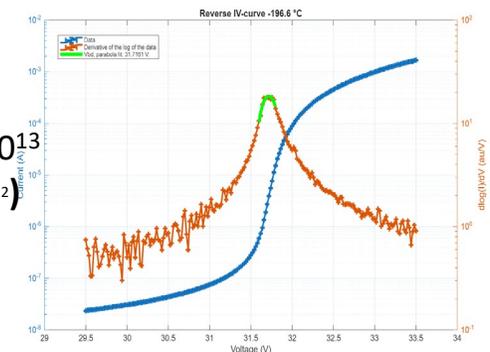
SiPM model	Pitch (μm)	Area (mm^2)	Packaging	Window	Vbd room T (V)	Fill factor %
S13360-1325PE	25	1.3 x 1.3	SMD	epoxy	53	47
S13360-1350PE	50	1.3 x 1.3	SMD	epoxy	53	74
S13360-1375PE	75	1.3 x 1.3	SMD	epoxy	53	82
S13360-2050VE	50	2 x 2	SMD	epoxy	53	74
S14160-3050HS	50	3 x 3	SMD	epoxy	38	74



- Lo studio avviene sia prima che dopo l'irraggiamento. Abbiamo mandato ai laboratori di Ljubljana 5 esemplari di S14160-3050HS per essere irraggiati con diverse fluenze:

- 3×10^{11} 1 MeV-eq n/cm^2
- 3×10^{12} 1 MeV-eq n/cm^2
- 6×10^{12} 1 MeV-eq n/cm^2
- 3×10^{13} 1 MeV-eq n/cm^2
- 6×10^{13} 1 MeV-eq n/cm^2

IV curves (6×10^{13}
1 MeV-eq n/cm^2)



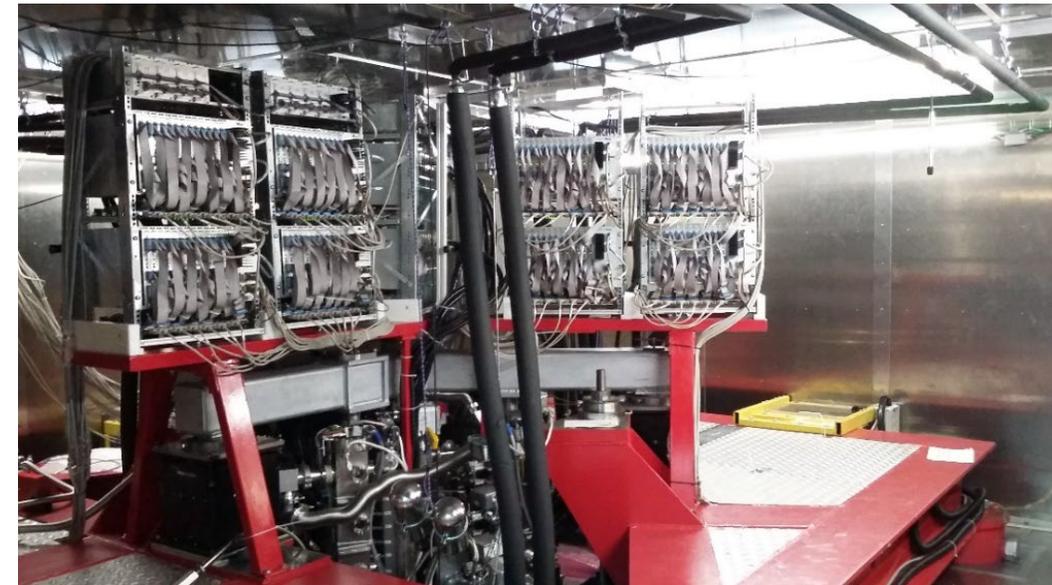
Gr.II: CUORE

CUORE è in presa dati dal 2017 per lo studio del decadimento $0\nu\beta\beta$ (del ^{130}Te).

C'è stato uno periodo di qualche mese di stop durante l'ultimo anno per manutenzione del sistema criogenico.

Consiste di circa 1000 rivelatori bolometrici equipaggiati con elettronica sviluppata a **MIB**.

Fino ad ora non ci sono stati problemi sul front-end, in particolare durante l'ultimo anno.

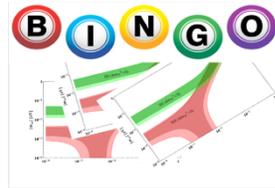


CUORE=Cryogenic Underground Observatory on Rare Events

Genesi nello studio del $\beta\beta$ con bolometri:



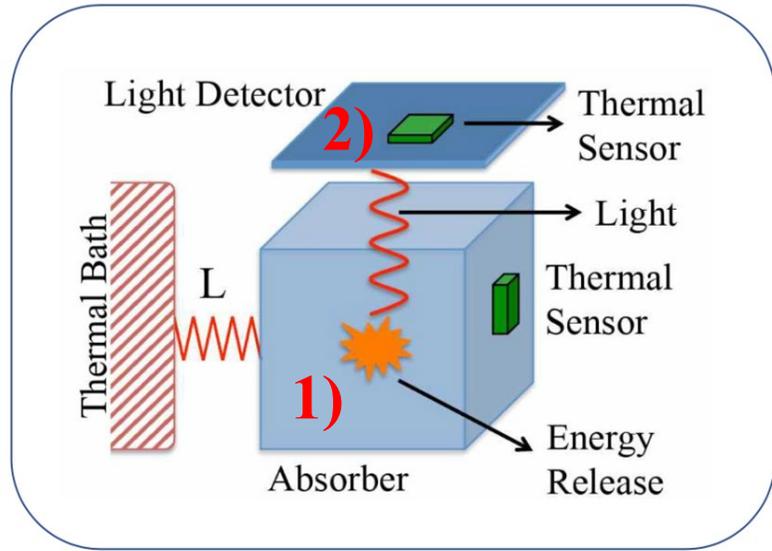
CUORE: sensibilità alla sola componente termica del segnale.



Nuove generazioni: Sensibilità alla componente termica e fotonica del segnale.



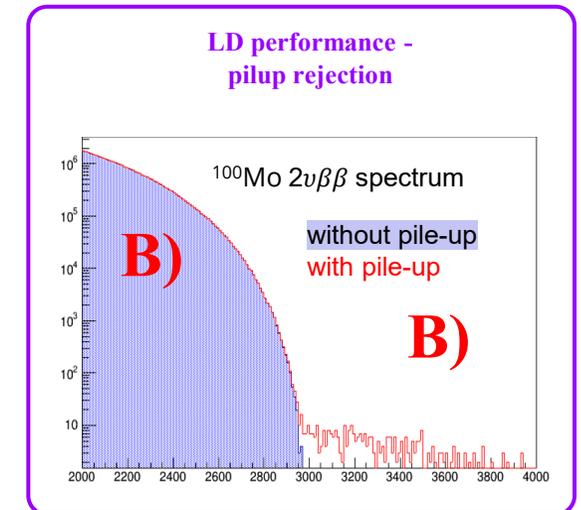
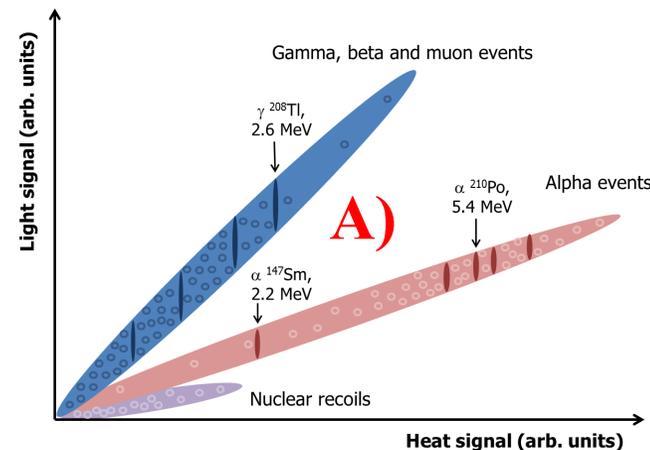
Gr.II: CUPID ed altro (3)



I **Bolometri** per lo studio dello $0\nu\beta\beta$ a fondo zero operano sfruttando la componente termica e fotonica del segnale rilasciato dalla particella incidente: **1)** il sensore sul cristallo è sensibile alla sola componente termica; **2)** la luce emessa dall'assorbitore, se trasparente, riscalda il secondo cristallo che genera un segnale in coincidenza.

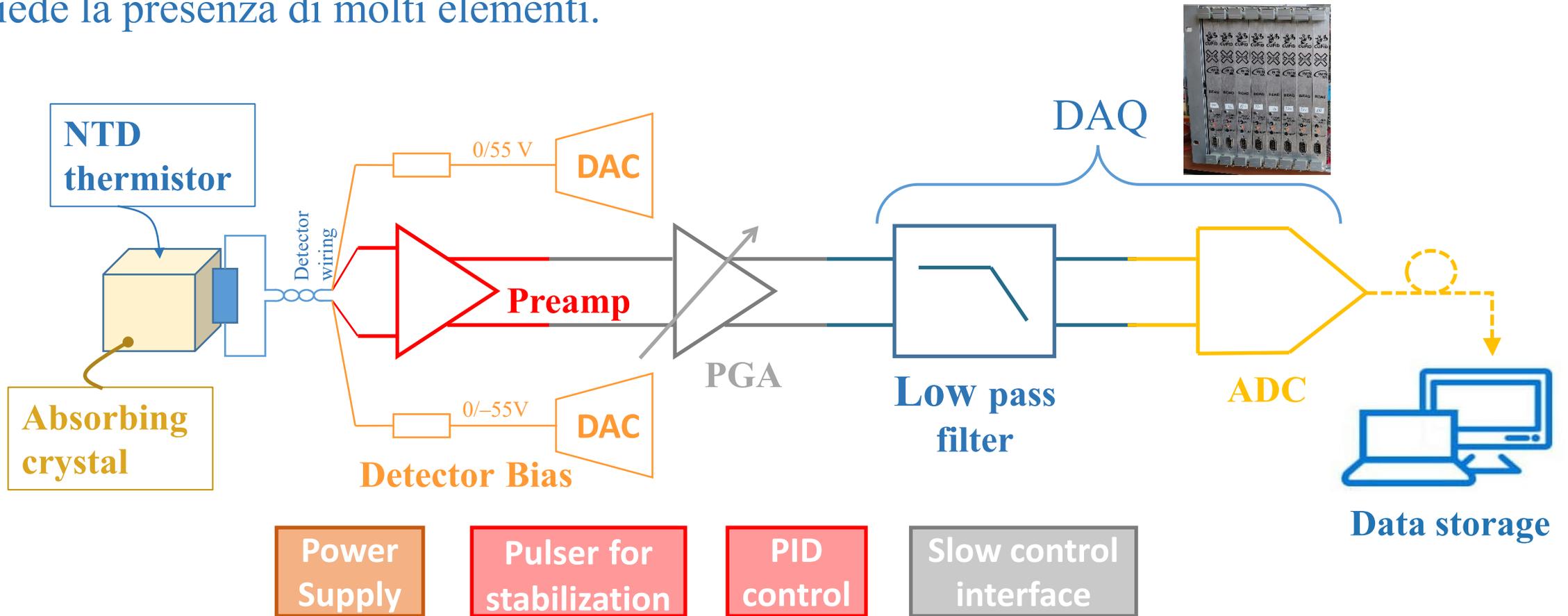
Il canale di luce consente di ottenere 2 obiettivi: **A)** la discriminazione degli eventi di fondo grazie alla differente resa di luce, α/γ , **B)** discriminazione di eventi di pile-up da segnali $2\nu\beta\beta$.

La frequenza degli eventi è bassa ed i segnali lenti. Tuttavia il pile-up, sebbene raro, per essere riconosciuto ($\sim 100 \mu\text{s}$) necessita di un alto S/N.



Gr.II: CUPID (4)

I rivelatori criogenici hanno bisogno di essere coccolati ed il sistema di amplificazione richiede la presenza di molti elementi.

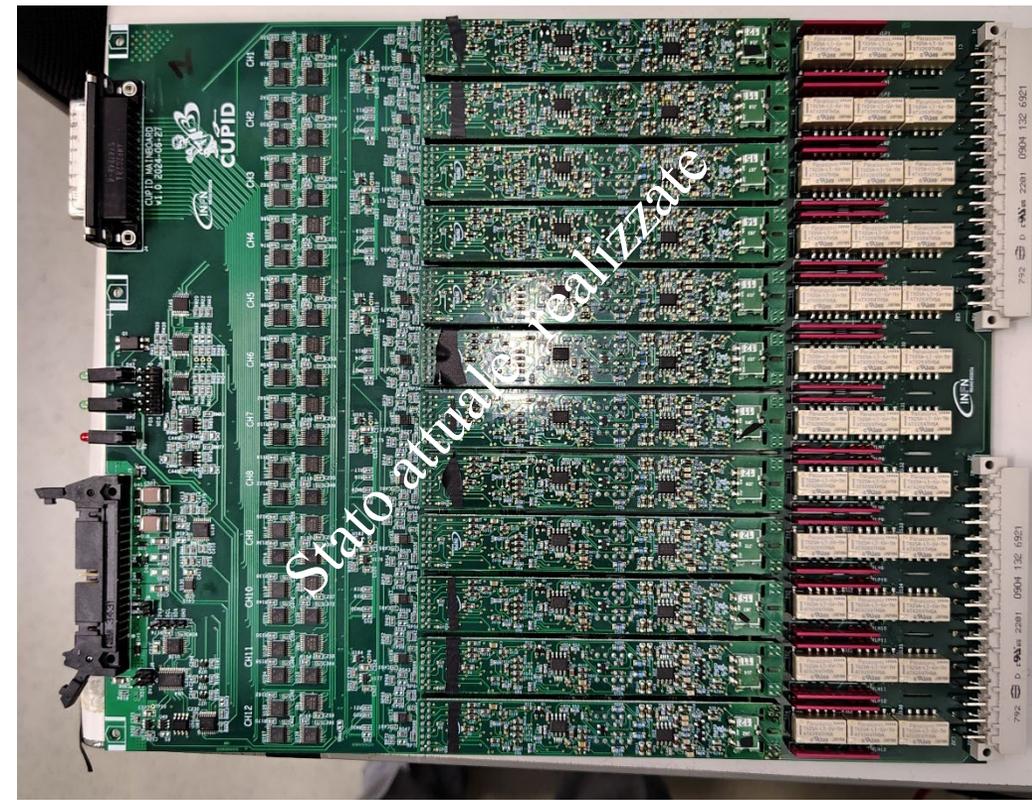
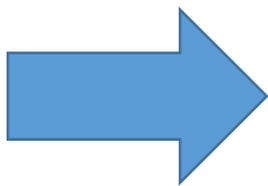
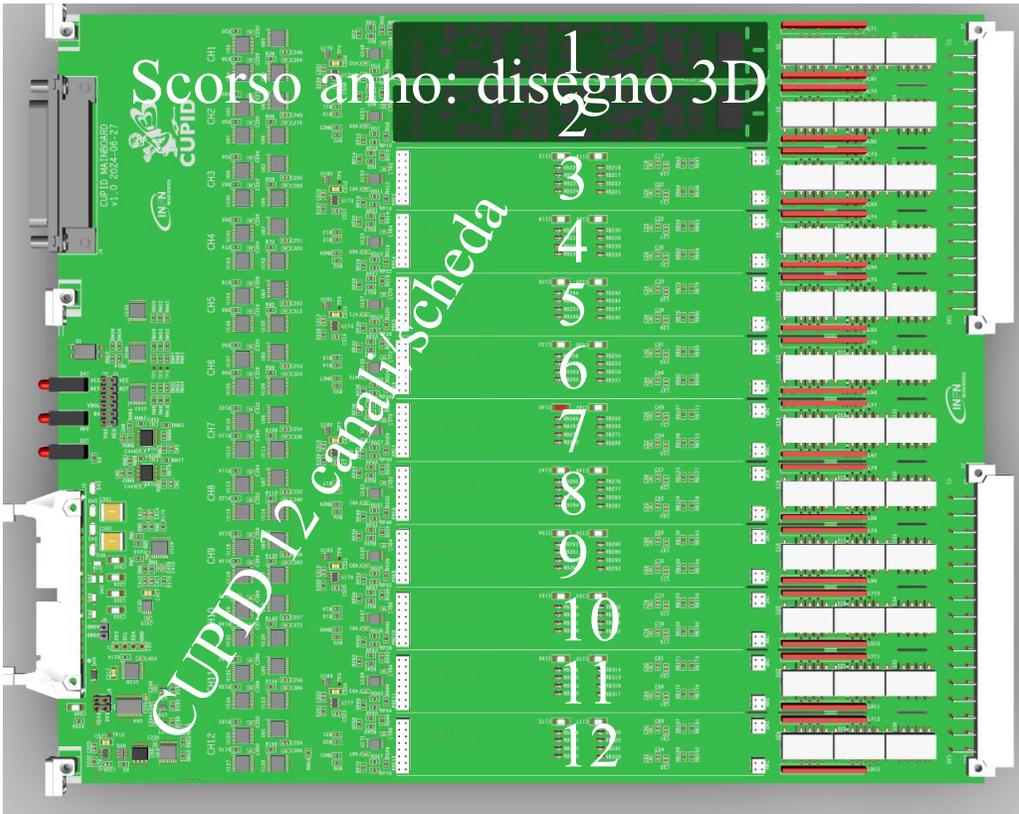


Paolo Carniti: L2 dell'Integrazione del sistema front-end di CUPID

Gr.II: CUPID (5)

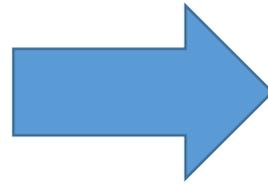
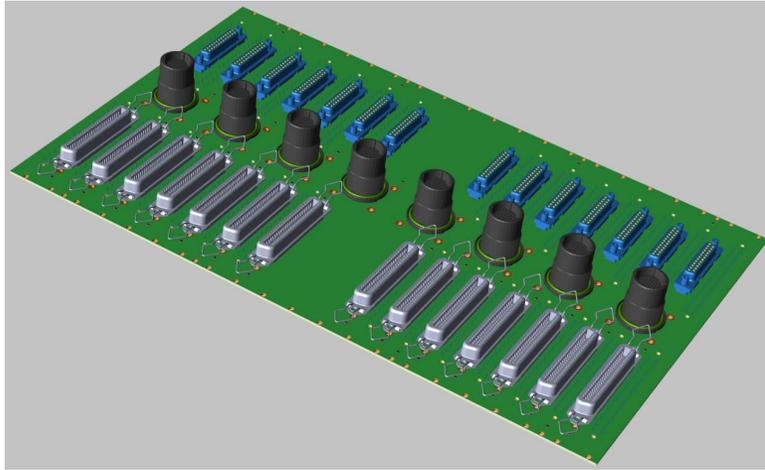
Nel corso dell'anno abbiamo lavorato alla produzione di prototipi e semi-produzione del sistema per CUPID e, di riflesso, anche di altre richieste.

Esempi sono la scheda madre, mainboard, dove risiedono 12 amplificatori (il doppio che in CUORE) e buona parte del resto della circuiteria di amplificazione e gestione della polarizzazione dei rivelatori.

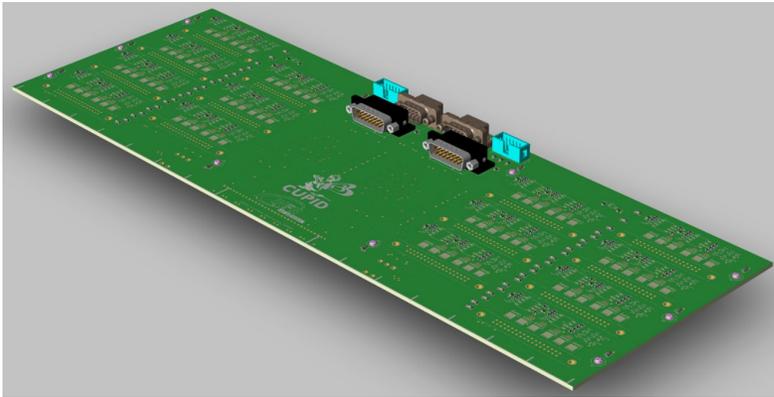


Gr.II: CUPID (6)

Discorso analogo per il backplane, la scheda dove arrivano i cavi di connessione dai rivelatori:

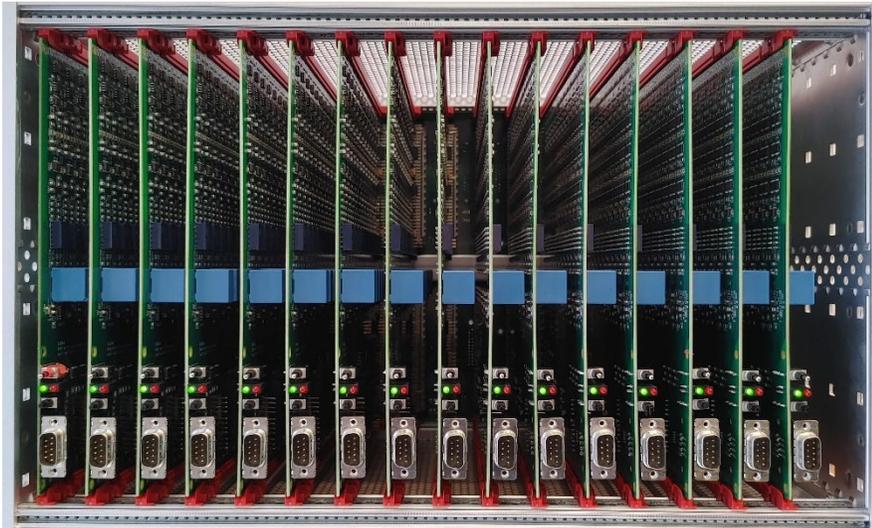


Continuando con le underplane, le schede che si preoccupano di portare le alimentazioni al front-end e dialogare con il DAQ per tutte le impostazioni di slow control necessarie.

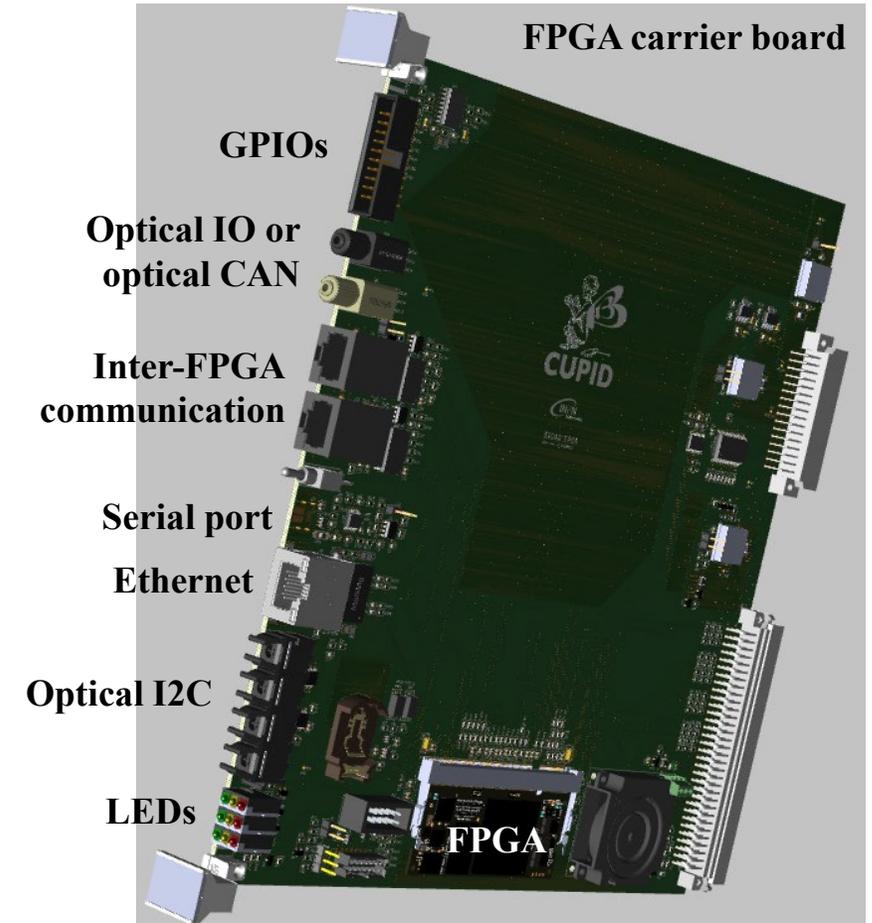


Anche il DAQ a 24-bit è stato aggiornato con la nuova scheda FPGA sviluppata.

Schede DAQ: 12 canali/scheda

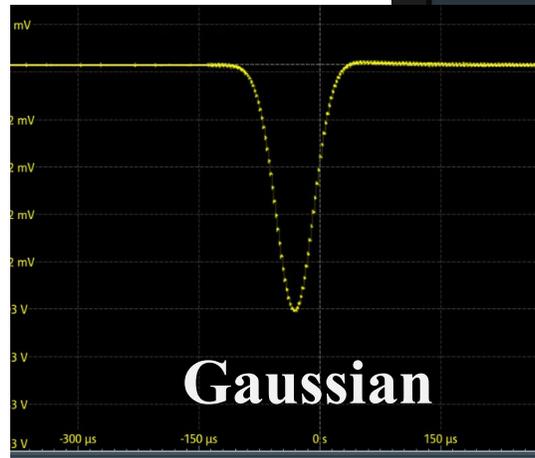
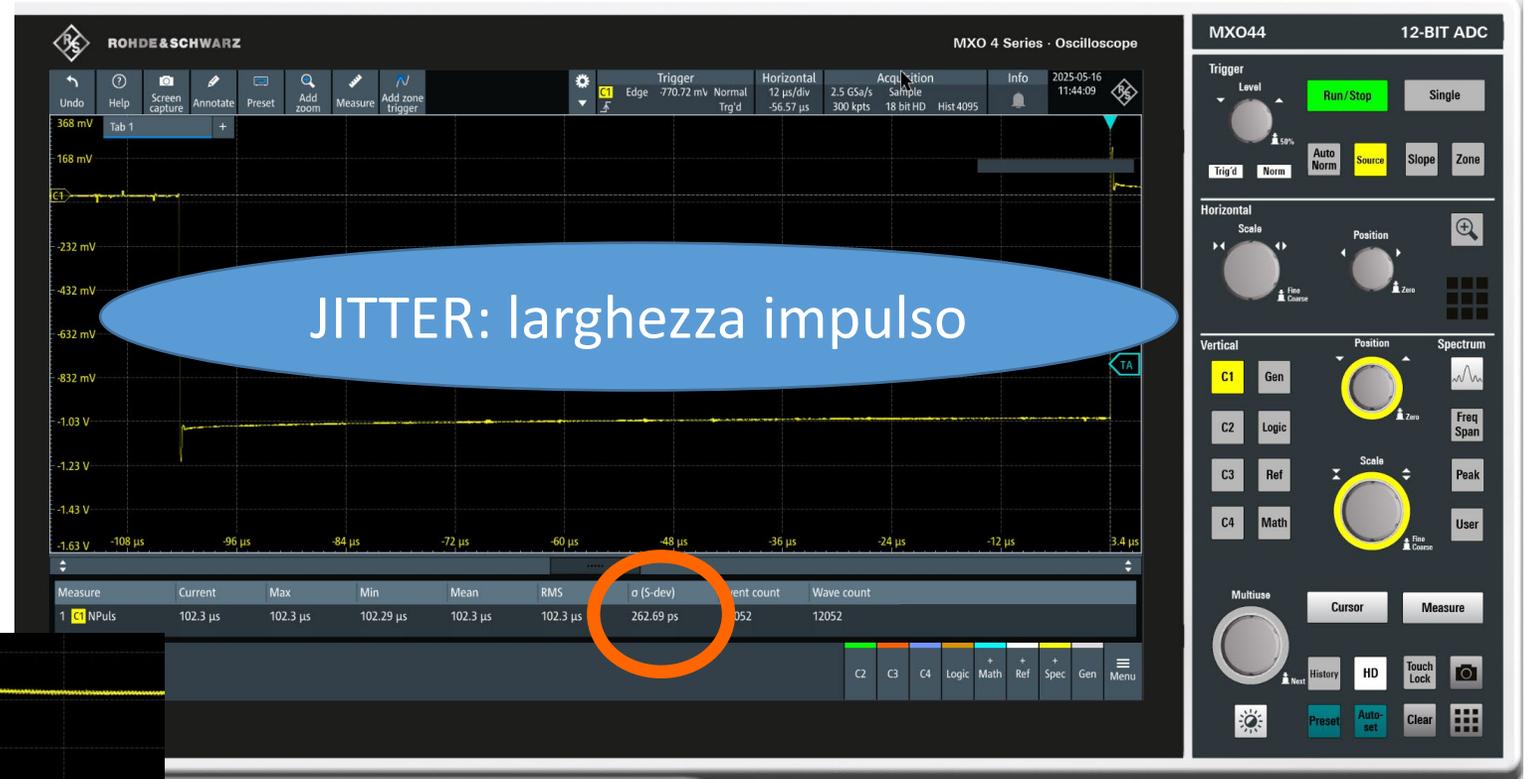
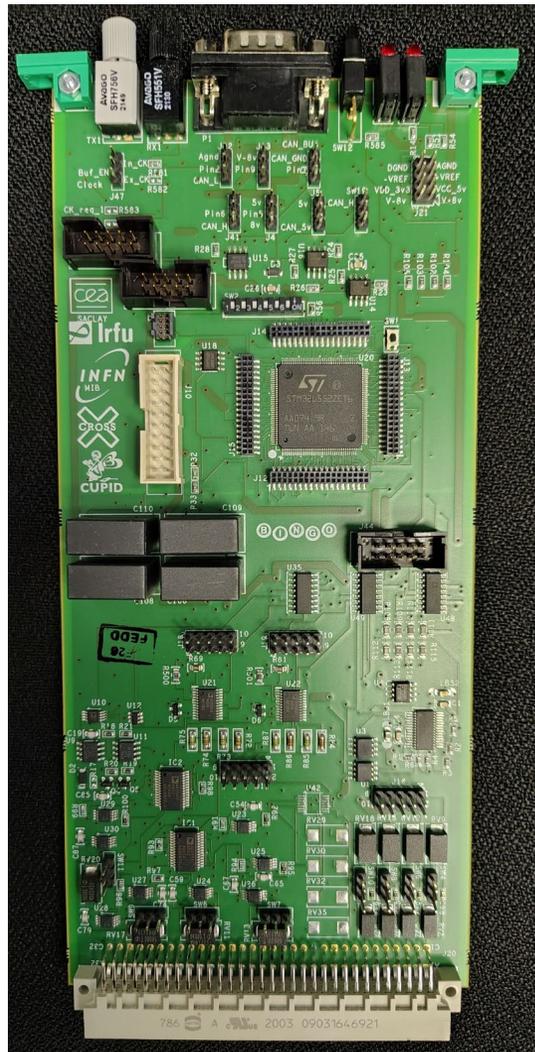


Nuova scheda FPGA: regista



Gr.II: CUPID (8)

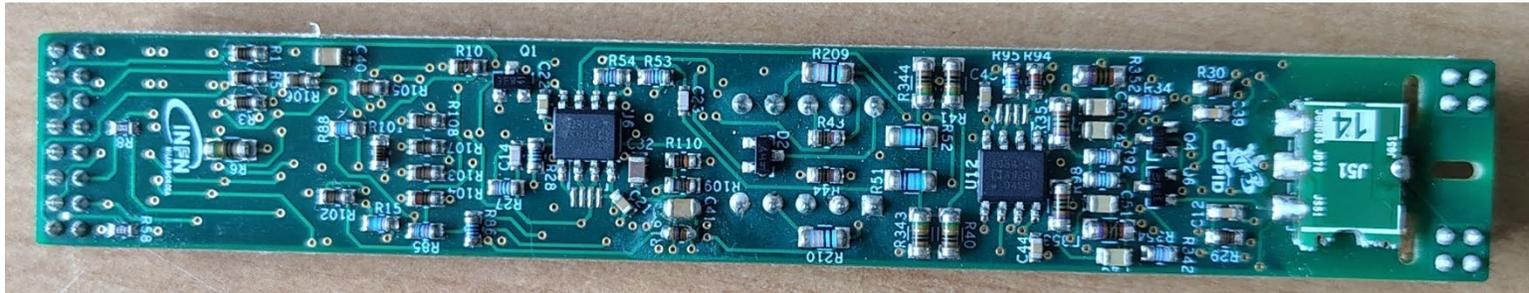
La nuova scheda impulsatore, necessaria per la stabilizzazione:



Impulso arbitrario

Gr.II: CUPID (9)

I preamplificatori sono la parte più critica. Ne sono stati appena prodotti 1800 (ed un altro centinaio per gli ERC)



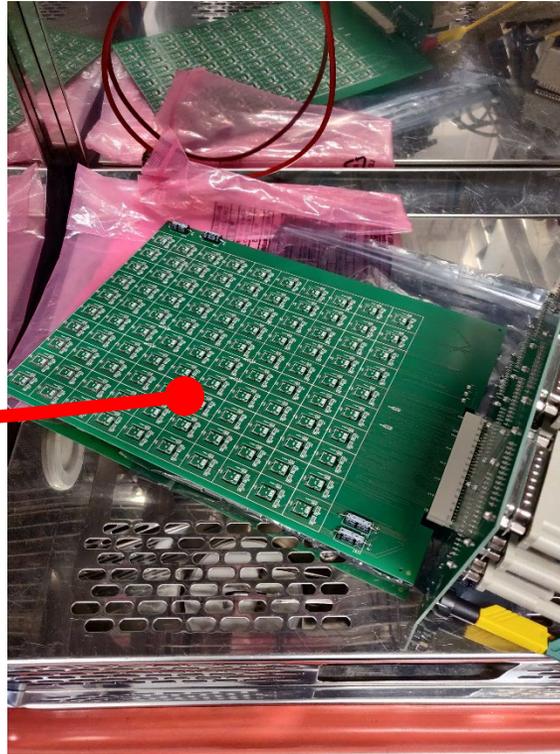
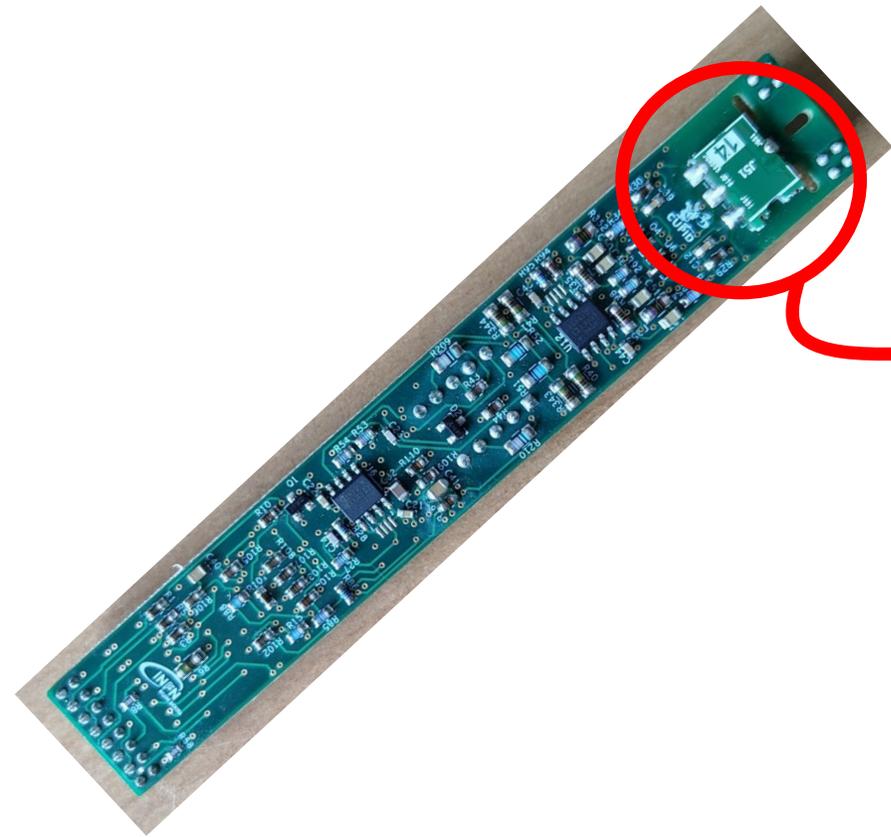
Interno di una scatola



Stato attuale: 1800 preamplificatori incatolati

Gr.II: CUPID (10)

Ancora più critico del preamplificatore ci sono i transistori di ingresso, JFET al Si.
Difficile trovare una reperibilità industriale diretta. Ci siamo creati un sistema di selezione ed accoppiamento semi-automatico.



Ciascuna matrice contiene 100 transistor, i quali vengono caratterizzati in camera climatica.



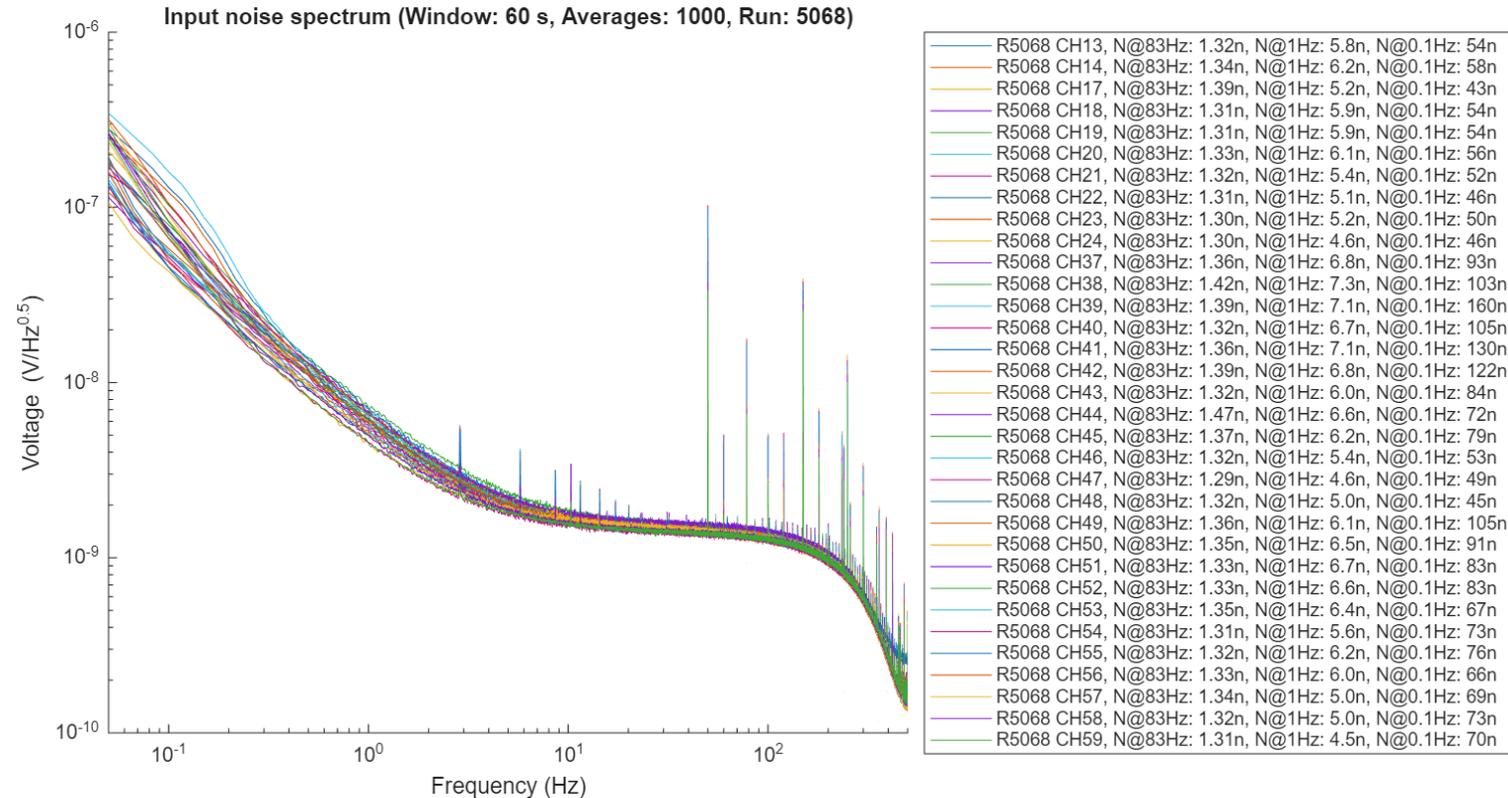
A cura di Davide T.

Gr.II: CUPID (11)

Misura rappresentativa: la sovrapposizione del rumore di 34 amplificatori in operazione con un intero modulo di set-up implementato:

Il sistema elettronico deve essere prestante nei riguardi di differenti parametri:

- Rumore (qui a fianco);
- Deriva termica;
- Stabilità guadagno;
- Affidabilità nel tempo.



Gr.II: CUPID (12)

Dove è usata la nostra elettronica per bolometri:

1. Berkeley;
2. Canfranc (Spagna);
3. Orsay (CROSS) (Parigi);
4. CEA-SACLAY (Bingo e Tiny) (Parigi)
5. Modane (Francia)
6. Fudan University (Shangai Cina);
7. USTC (Hefei, Cina) (Versione vintage) ;
8. Milano-Bicocca;
9. LNGS CUORE;
10. LNGS Sala A;
11. LNGS Sala C.

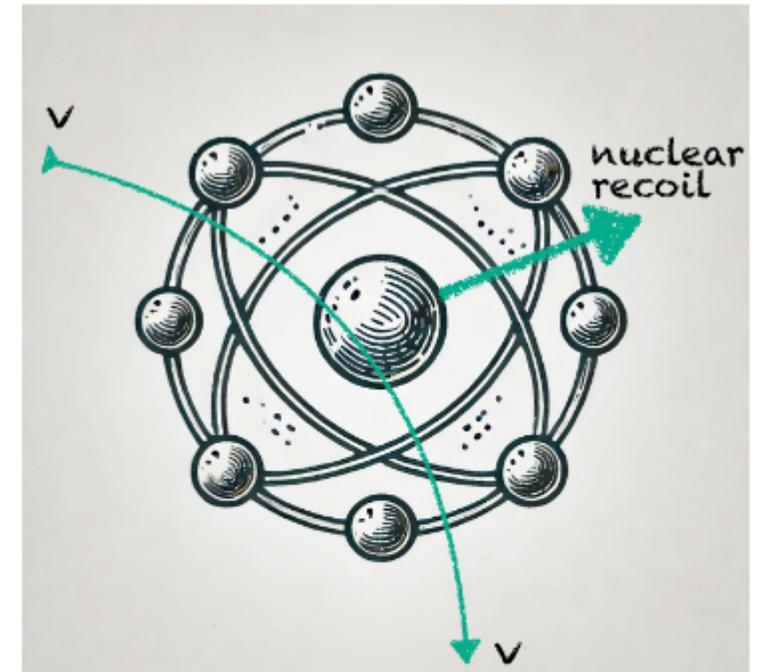
Affidabilità: questa è una ulteriore ragione perché sia elevata.

Gr.II: RES-NOVA (1)



RES-NOVA ha lo scopo di studiare neutrini provenienti da supernova con rivelatori criogenici, attraverso il così definito «Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering (CEvNS)»: massimo trasferimento di energia quando il nucleo ha dimensioni comparabili alla lunghezza d'onda del neutrino (nuclei ciccotti sono benvenuti).

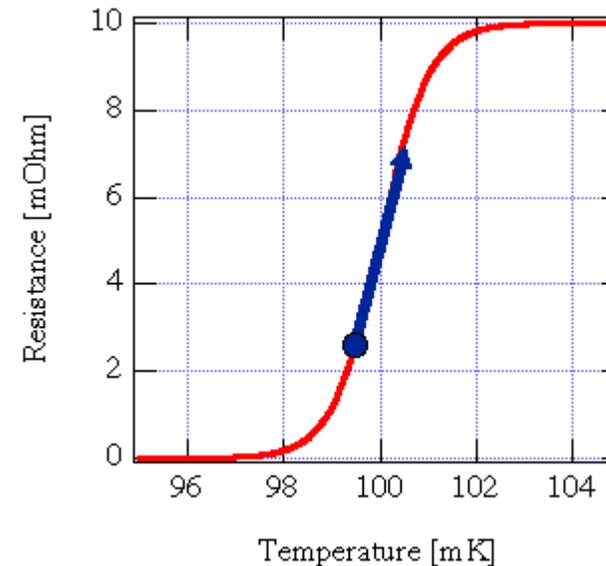
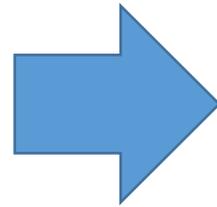
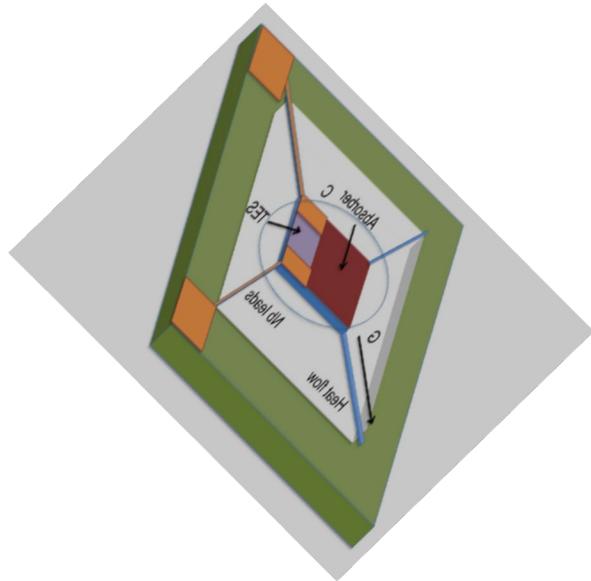
Considerata l'enorme differenza nei confronti del nucleo su cui il neutrino incide, l'energia trasferita è dell'ordine del KeV, a fronte di una energia posseduta di qualche decina di MeV.



Schematic view of the neutrino interaction with a nucleus. SN neutrinos have energies of around 20 MeV and higher. CEvNS induces a nuclear recoil with energy of the order of 1 keV.

Gr.II: RES-NOVA (2)

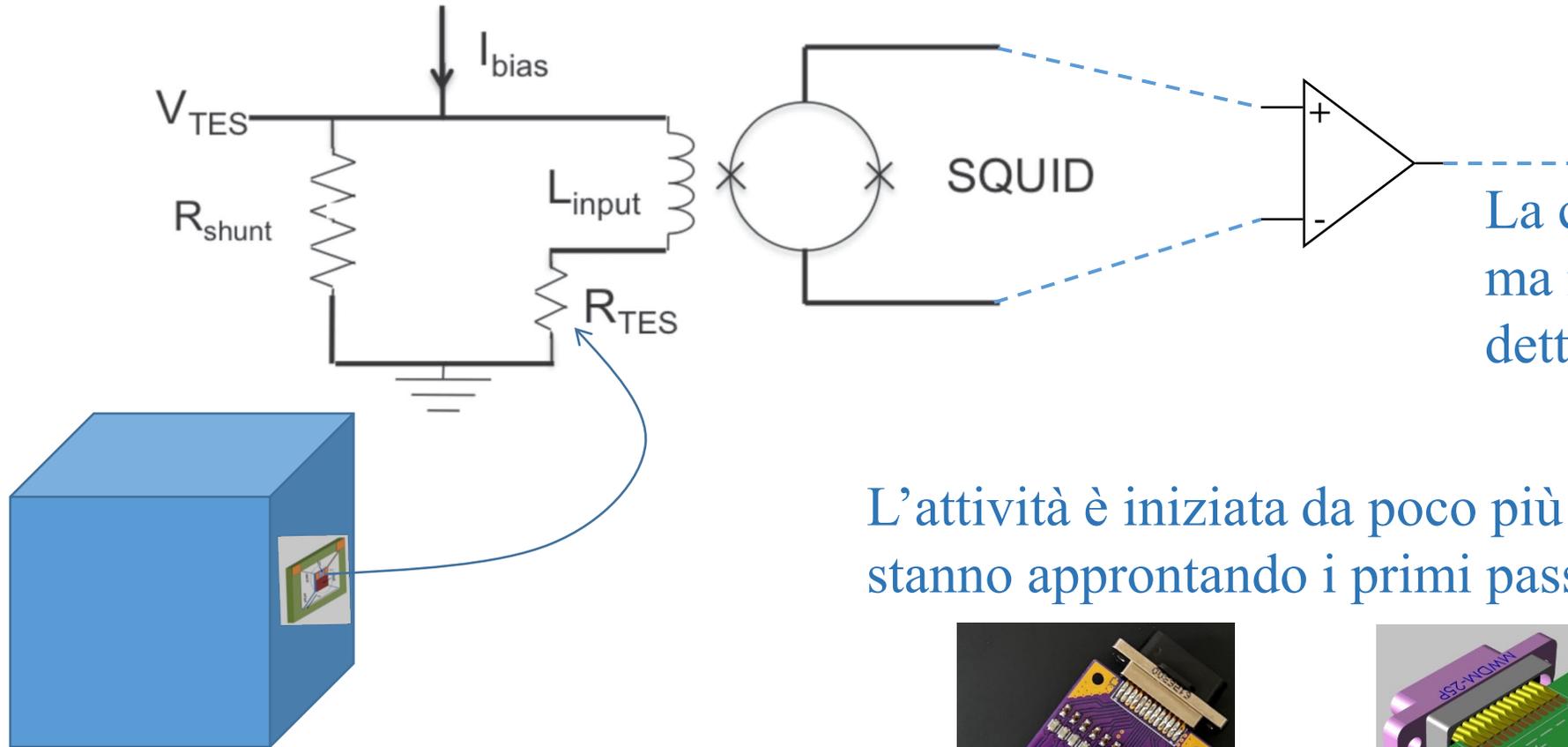
Per ottenere sensibilità elevate a bassa energia si usano sensori che hanno un alto guadagno, ma bassa dinamica, un esempio sono i TES, Transition Edge Sensors: «striscettine» di materiale superconduttore tenute a cavallo della loro temperatura di transizione:



La cosa non si conclude qui perché i TES hanno impedenza nulla e qualsiasi amplificatore li sovrasterebbe con il proprio rumore: occorre pre-amplificare il loro segnale.

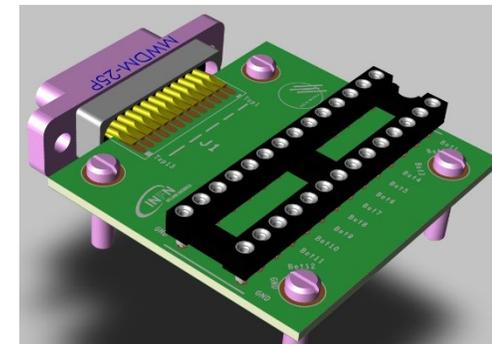
Gr.II: RES-NOVA (3)

La pre-amplificazione viene effettuata con uno SQUID, un DC-SQUID nel caso di RES-NOVA, una sorta di trasformatore quantistico.



La cosa non finisce qui,
ma non entriamo nei
dettagli.

L'attività è iniziata da poco più di 1 anno e si stanno approntando i primi passi organizzativi:



Gr.II: RES-NOVA (4)

RES-NOVA ha 2 caratteristiche interessanti da segnalare:

La prima: i cristalli assorbitori con gli atomi candidati all'interazione sono composti da «*piombo ritrovato dal naufragio di vecchi velieri romani*» che ha la caratteristica di una bassa radioattività.

Questo approccio tecnico è stato introdotto da Ettore Fiorini (*)...



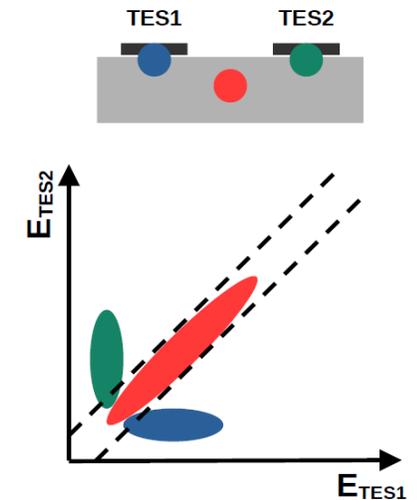
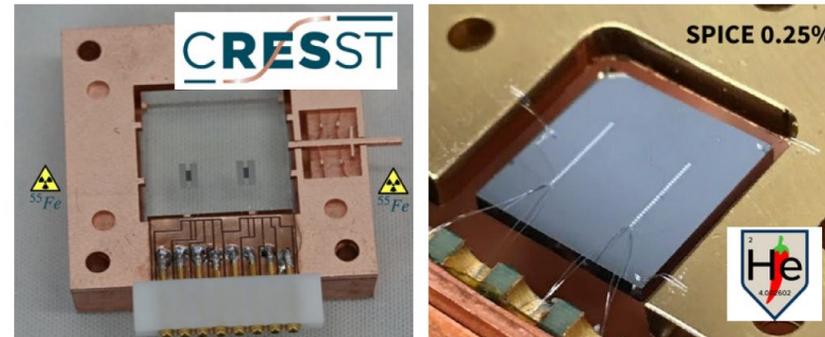
(*): NIMB, B83, 539, 1993

Gr.II: RES-NOVA (5)

La seconda: Negli esperimenti su materia oscura vi è un limite al fondo dato da quelli che vengono chiamati Low Energy Excess, LEE (possiamo pensarli simili agli scricchiolii dei vecchi mobili di casa).

La loro natura è un problema annale, non ancora risolto.

Il range di energia si estende fino a circa 200 eV, particolarmente limitante. Un effetto mitigante, ma sembra non risolutivo, è il doppio sensore di lettura in coincidenza:



RES-NOVA esclude questo problema banalmente: il range di energia necessario parte da 1 KeV, ben sopra il range degli LEE!

La didattica...

Nei nostri corsi ci sforziamo di insegnare l'Elettronica usando l'approccio del Fisico, adottando metodi matematici e modelli dedicati.

Questo ha dato luogo a 2 pubblicazioni, di cui l'ultima recente:

Feedback Amplifier Analysis: Extending the Rosenstark Method for Impedance and Noise Evaluation, *Electronics* 2025, 14, 1558

A laboratory course on detector readout for undergraduate students of experimental physics, *European Journal of Physics*, 43, 035804, 2022

28 Crediti:

1. Laboratorio di Esperimentazioni di Elettronica, III anno (8 cfu);
2. Elettronica (I Magistrale) (6 cfu);
3. Laboratorio di Fisica 1 (5 cfu);
4. Elettronica (Dottorato), 2 cfu.

Divulgazione:

Corso di Criogenia e Vuoto, 2 ore, 5 – 8 Novembre 2024, presso la sede LNGS: *Applicazioni: Trasmissione e lettura dei segnali*

Gli FTE pienamente efferenti MIBELETTRONICA...

Totale: 4 FTE (allocati)

Strumentazione desiderata

Necessità:

- ✓ 1 PC, (laboratorio) (lo scorso anno ne avevamo chiesti 1 o 2 ed 1 è stato acquistato);
- ✓ 1 laptop
- ✓ Metabolismo, qualche k€
- ✓ *(nessuna richiesta specifica di strumentazione: abbiamo avuto supporto adeguato lo scorso anno)*