

Risultati recenti e prospettive delle ricerche
nel Dipartimento di Fisica "G. Occhialini"

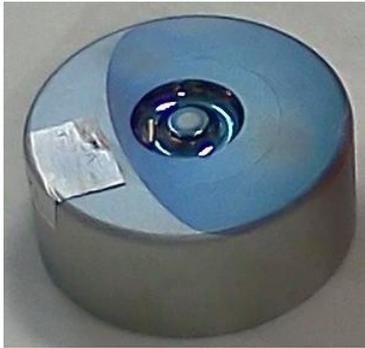
ELETTRONICA PER LA FISICA SPERIMENTALE

P. Carniti, C. Gotti, G. Pessina

Fisica in Bicocca
18 dicembre 2018

Rivelatori di particelle ed elettronica

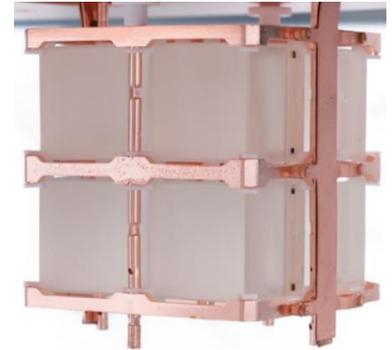
- Permettono di identificare particelle e/o misurarne l'energia, l'istante di transito, la posizione, la carica, la traiettoria, ecc...
- Convertono l'energia deposta dalla particella in un **segnale elettrico**



Diodi a semiconduttore
(per radiazione ionizzante)



Fotomoltiplicatori
(sensibili a singolo fotone)



Bolometri
(calorimetri criogenici)

Il sistema elettronico:

- Polarizza il rivelatore permettendone il funzionamento
- Amplifica i segnali massimizzando il rapporto segnale/rumore («front-end»)
- Digitalizza e memorizza i segnali («Data acquisition», «DAQ»)

Attenzione!

- La relazione tra rivelatore ed elettronica è spesso più stretta di quello che può sembrare!
- È compito del **fisico/elettronico** progettare un'elettronica che sia in grado di far funzionare il rivelatore al massimo delle sue potenzialità (rumore, stabilità, velocità, affidabilità, rate, ecc...)
- Per farlo è **indispensabile** conoscere bene il rivelatore e tutti gli aspetti dell'esperimento

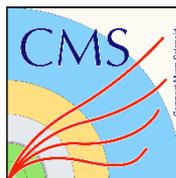
Le attività del nostro gruppo

Siamo un gruppo piccolo, ma laborioso...

Durante l'anno trascorso ci siamo occupati di:

Fisica delle alte energie

- CMS
- LHCb



Fisica del neutrino

- CUORE
- CUPID-0/CUPID
- CROSS
- DUNE
- SINGLE



Fisica della materia oscura

- COSINUS



Altre attività del gruppo

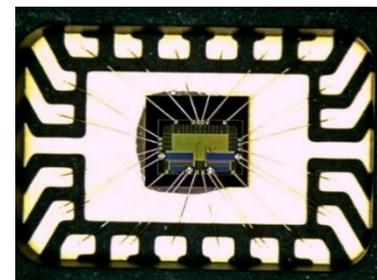
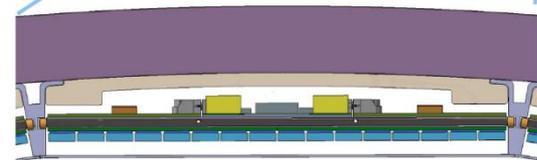
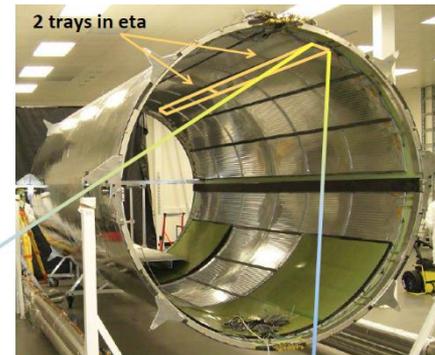
- Collaborazioni con l'industria (con INFN): Technologix/Applied Materials, ALTA-LAB
- Collaborazioni con il gruppo di Biofisica
- Didattica

Il gruppo di CMS Bicocca partecipa alla realizzazione di un nuovo rivelatore:

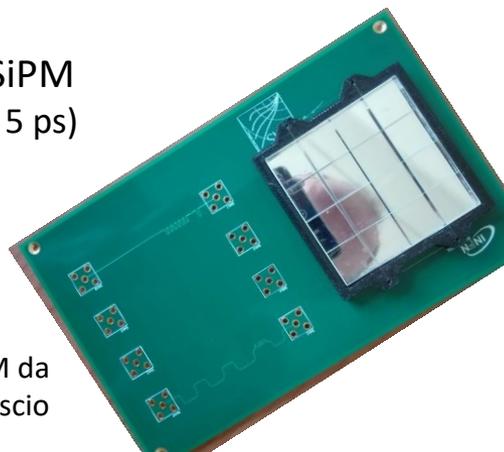
- Barrel Timing Layer (BTL)
- Rivelazione di MIP (particelle al minimo di ionizzazione) con risoluzione temporale di 30 ps RMS per separare i vertici primari
- Utilizzo di scintillatori LYSO accoppiati a fotomoltiplicatori SiPM
- Operativo nel 2026

Elettronica:

- Progettazione del circuito integrato ALDOv2
 - Resistente alla radiazione
 - Regolazione e filtraggio delle alimentazioni per il chip di front-end
 - Generazione delle tensioni di riferimento
 - Regolazione programmabile della tensione di bias di ciascun SiPM per correggere le derive dovute a diverse caratteristiche, temperatura, irraggiamento, ecc...
 - Tecnologia ON Semi I3T80 (HV, 350 nm)
- Schede di supporto per i SiPM
 - Propagazione equalizzata (< 5 ps)



Fotografia ALDOv1, area 2.1 x 1.4 mm²

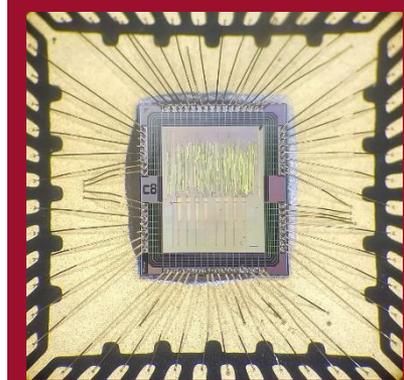
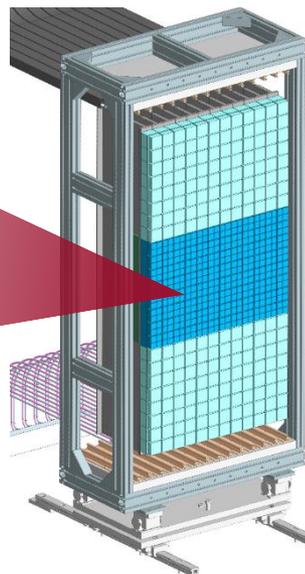
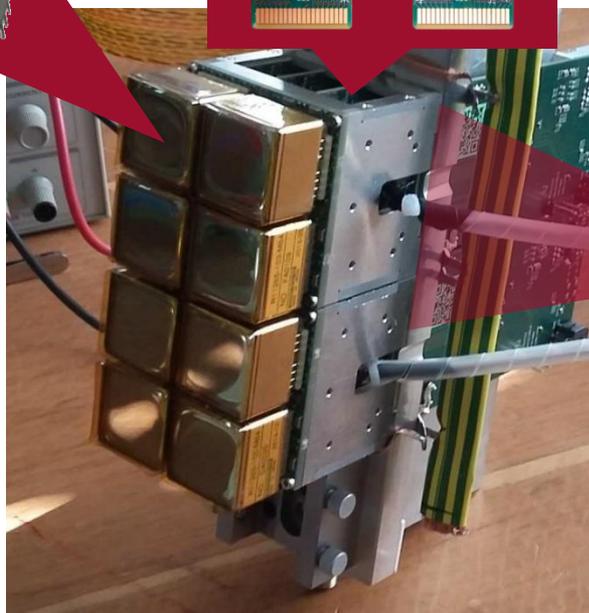
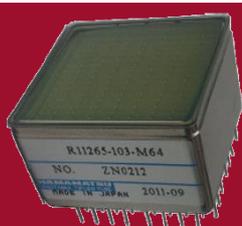


Schede di test per matrici di SiPM da utilizzare durante i test su fascio



Il gruppo di LHCb Bicocca partecipa all'aggiornamento dei rivelatori RICH:

- Ring Imaging Cherenkov (RICH), rivelatore per l'identificazione di particelle cariche grazie all'effetto Cherenkov
- 4 grandi macchine fotografiche (> 300k canali) sensibili a singoli fotoni
- Fotorivelatore: PMT multianodo (MaPMT)
- Elettronica di frontend: circuito integrato «CLARO8»
- Assemblaggio in corso, montaggio nel 2019



2 m

Caratterizzazione dei fotomoltiplicatori:

- Selezionati 2 modelli MaPMT Hamamatsu (R11265 e H12700)
- 64 canali
- Pixel $3 \times 3 \text{ mm}^2$ e $6 \times 6 \text{ mm}^2$
- Sensibilità al singolo fotone
- Test di invecchiamento, in campo magnetico, crosstalk, ecc...

Sviluppo del chip CLARO8:

- CMOS 350 nm
- 8 canali
- Ultra-veloce (risposta < 25 ns) per alti rate di segnale (> 40 MHz)
- Resistente alla radiazione

Questo primo aggiornamento è imminente, ma già si lavora ad un secondo aggiornamento...

Upgrade 2:

- Aumento del numero di interazioni protone-protone di un **fattore 10**
- Aumento anche dei fotoni incidenti al rivelatore ($100 \text{ MHz/cm}^2 \rightarrow 1 \text{ GHz/cm}^2$)
- Necessari nuovi fotorivelatori con **pixel più piccoli** (1 mm^2) e **risoluzione temporale migliore** (100 ps)

Principali opzioni :

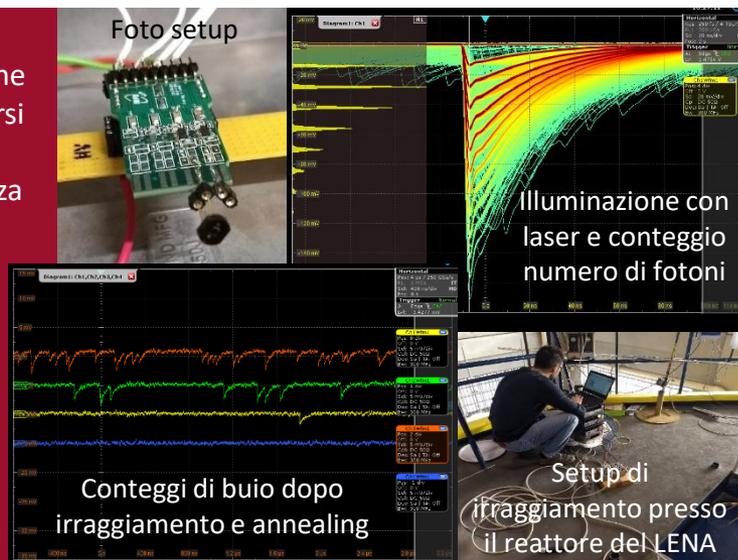
- Silicon photomultiplier (**SiPM**)
 - Compatti e con tensioni operative più basse
 - Ottime prestazioni nel conteggio (basso spread del guadagno per fotone incidente)
 - Sensibili al danno da radiazione
 - Alti conteggi di buio
- Micro-channel plate (**MCP**) PMT
 - Ultra-veloci (30 ps RMS)
 - Problemi ad alto rate: invecchiamento e/o saturazione

L'elettronica dovrà diventare più performante e intelligente:

- Sviluppo del CLARO++
 - Conteggio di più fotoni per pixel
 - Maggior risoluzione temporale e digitalizzazione integrata

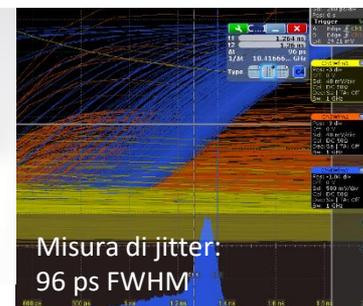
Test su SiPM:

- Caratterizzazione su banco di diversi modelli
- Test di resistenza al danno da radiazione
- Sviluppo di tecniche per la mitigazione del danno o per il recupero (riscaldamento, raffreddamento)

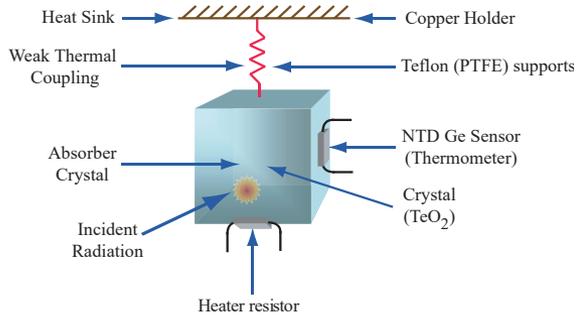


Test su MCP:

- Caratterizzazione su banco di diversi modelli (in corso)
- Test ad alto rate e di invecchiamento (a breve)



Tra gli esperimenti di fisica del neutrino, CUORE è il più rappresentato in Bicocca.



I bolometri convertono in calore l'energia rilasciata dalla particella. L'aumento di temperatura è rivelato da un termistore (NTD-Ge).

Compiti dell'elettronica:

- **Polarizzare** il termistore
- Lettura **differenziale** del segnale di tensione
- **Amplificazione** programmabile (200-20000 V/V)
- Generazione impulsi di **stabilizzazione** del detector

Altre caratteristiche:

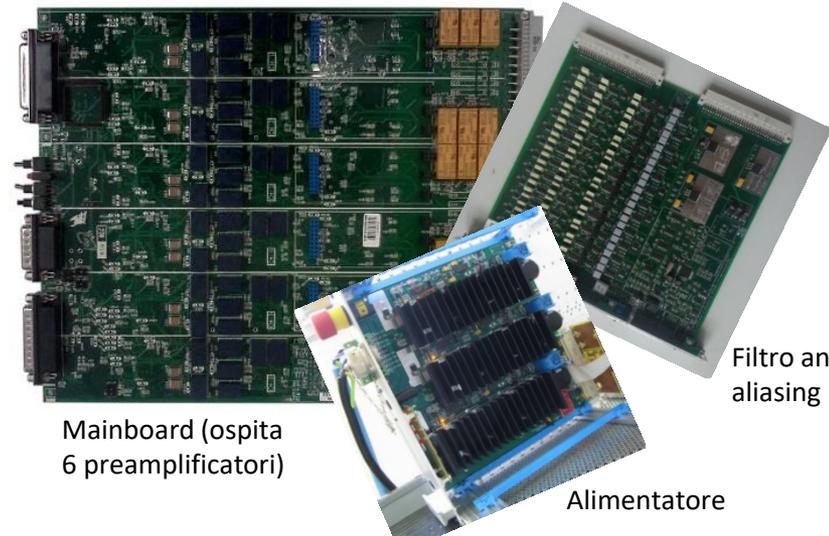
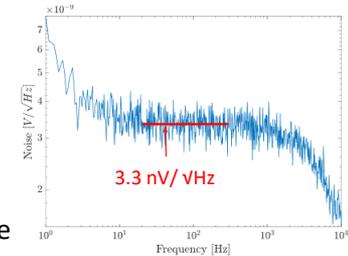
- Basso rumore (3.3 nV/√Hz a 10 Hz, 7 nV/√Hz a 1 Hz)
- Alta reiezione dei disturbi di modo comune (100 dB)
- Alta stabilità nel tempo (< 1 μV/°C)



Fotografia dell'elettronica installata sopra il criostato (1000 ch)



Preamplificatore e spettro di rumore



Mainboard (ospita 6 preamplificatori)

Filtro anti-aliasing

Alimentatore

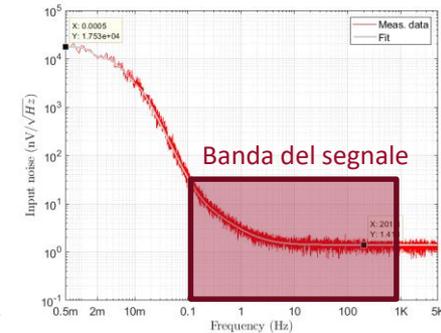
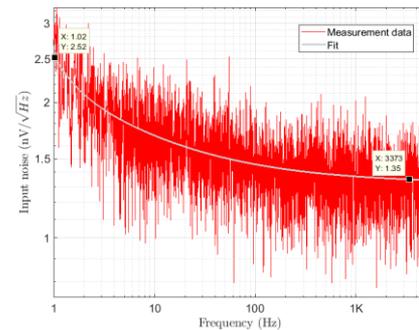
CUPID-0/CUPID/CROSS/SINGLE

L'esperimento CUORE è operativo da più di un anno e ha pubblicato il nuovo limite per il doppio decadimento beta senza emissione di neutrini nel Tellurio.

Anche in questo caso si stanno già studiando degli aggiornamenti, nell'ambito del futuro CUPID (CUORE Upgrade with Particle Identification). Sono diversi i progetti di R&D con i quali collaboriamo (CUPID-0, CROSS, SINGLE, ecc...). L'identificazione delle particelle interagenti consente di ridurre il fondo.

Upgrade dell'elettronica:

- Preamplificatore a **rumore più basso** per l'utilizzo con termistori di impedenza più piccola
 - Selezione di nuovi transistor di ingresso (JFET)
 - Ottimizzazioni circuitali
 - Soluzioni di schermatura ambientale per ridurre il rumore a frequenza ultra-bassa (mHz)
- Nuovo **sistema di acquisizione** custom basato su **FPGA**
 - 24 bit di risoluzione
 - Sample rate fino a 25 kHz
 - Cut-off programmabile (24 Hz – 2.5 kHz)
 - Trasferimento dati su TCPIP e storage remoto



Spettri di rumore dei nuovi preamplificatori



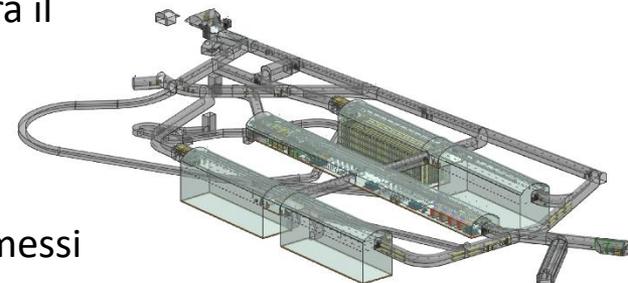
Scheda DAQ



FPGA

L'esperimento DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) studierà il fascio di neutrini più intenso al mondo grazie a delle Time Projection Chambers ad Argon liquido (LArTPC).

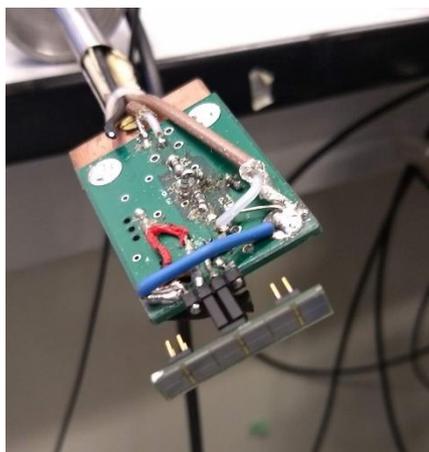
Oltre alla carica di ionizzazione, viene raccolta anche la **luce di scintillazione**, che permette di triggerare gli eventi sui fotoni prompt emessi al momento dell'interazione. I sensori di luce di scintillazione utilizzeranno fotorivelatori **SiPM**, operanti a temperature criogeniche (85 K).



DUNE: 4 caverne contenenti
17 kton di Argon liquido

Il nostro contributo:

- Studio di SiPM a temperature criogeniche (grazie al setup già sviluppato per l'Upgrade 2 di LHCb)
- Sviluppo dell'**elettronica di front-end criogenica**

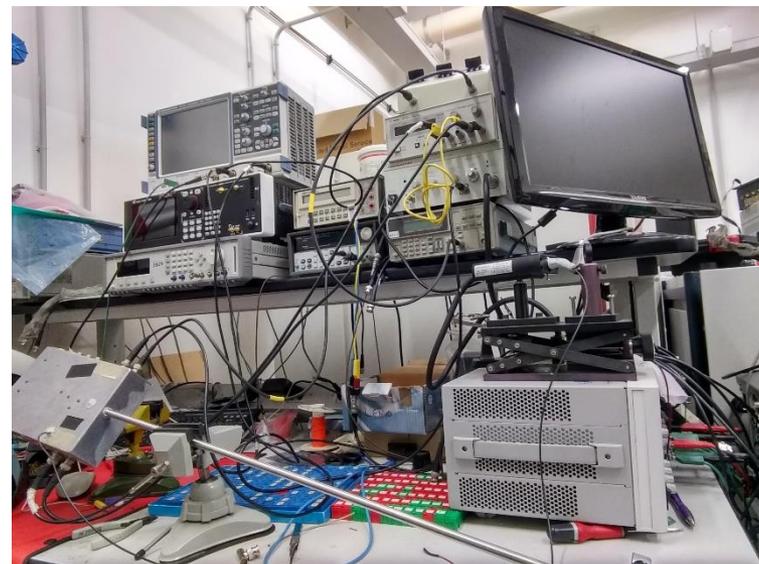


Schedina di lettura a freddo

Sistema di test:

- Laser
- Oscilloscopio
- Impulsatore
- Semiconductor analyzer
- Alimentatori
- Olio di gomito

Campagna di misura in corso...



Collaboriamo anche per esperimenti sulla ricerca di materia oscura: COSINUS.

COSINUS:

- Tecnica bolometrica su cristalli di Ioduro di Sodio (**NaI**)
- Rivelazione segnale termico e luce di scintillazione per identificare e **discriminare il fondo**
- Termistori superconduttivi **TES** (Transition Edge Sensors)

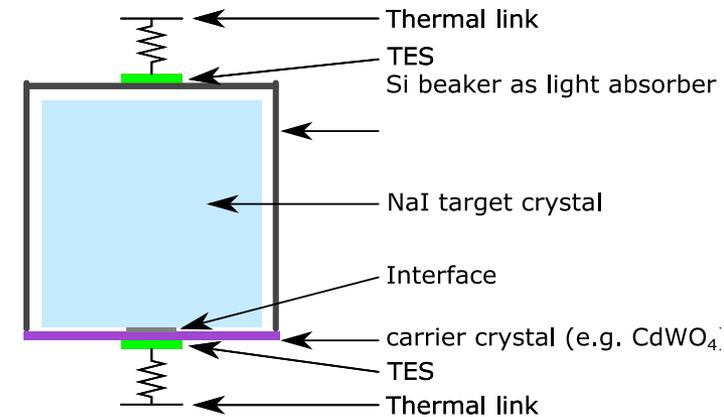
I TES hanno una migliore sensibilità dei termistori al Germanio, ma hanno bisogno di essere polarizzati con precisione per operare nel **punto di transizione**.

Requisiti per utilizzo TES:

- Polarizzazione ultra-stabile
- Iniezione di impulsi di test tramite un riscaldatore integrato nel TES (ogni 300 s)
- Correzione del punto di lavoro tramite una corrente iniettata nel riscaldatore

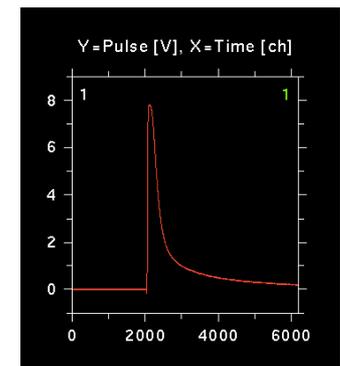
Il nostro contributo:

- Realizzazione **scheda multi-funzione** per polarizzazione, generazione impulsi e generazione corrente di correzione



Sopra:
Scheda multi-
funzione

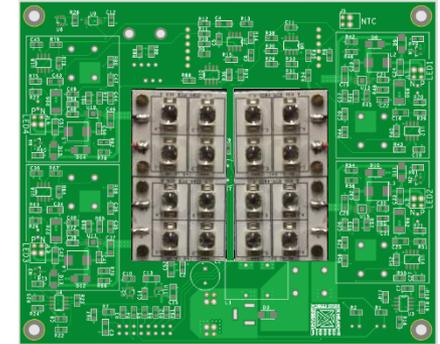
A lato:
Un impulso di
test generato
con la scheda



Altre attività

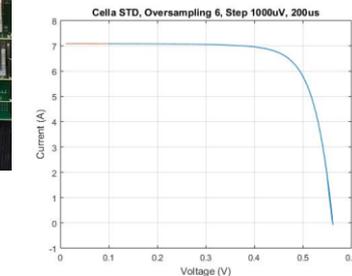
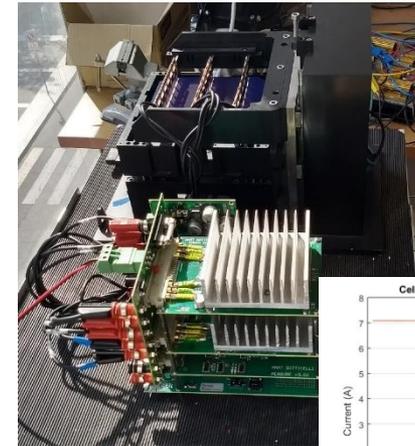
Collaborazione con il gruppo di **Biofisica**

- Disegno di una scheda per il pilotaggio di LED infrarossi ad alta potenza (25 W) per applicazioni di Fisica medica



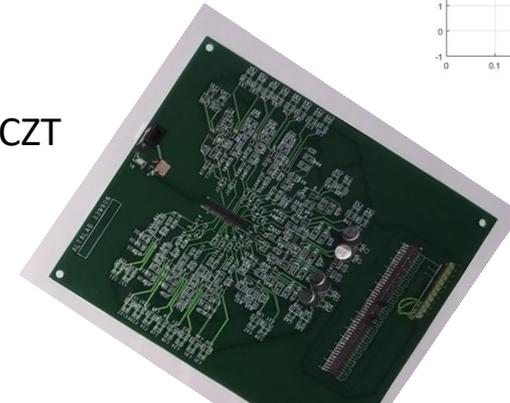
Collaborazione con l'industria (con INFN): **Tecnologix/Applied Materials**

- Realizzazione di un sistema di caratterizzazione per celle solari
 - Sistema analogico di potenza (400 W) a basso rumore e controllo digitale via protocollo industriale EtherCAT
 - Caratterizzazione completa della cella per determinare i parametri caratteristici in meno di 300 ms
 - Impiego in linee di produzione industriale da 60k pezzi al giorno



Collaborazione con l'industria (con INFN): **ALTA-LAB**

- Realizzazione di un preamplificatore di carica per rivelatori CZT
 - Velocità di risposta impostabile e indipendente dalla capacità di feedback
 - Realizzato con componenti discreti a basso costo
 - Domanda di brevetto in preparazione



Grazie dell'attenzione

Buone feste e buon 2019 da parte degli elettronici

