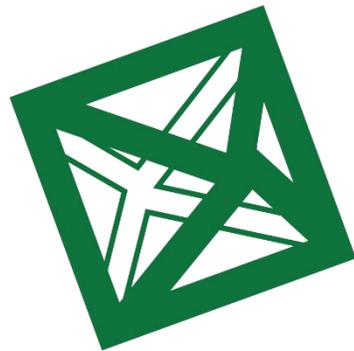


# Elettronica per la fisica delle particelle: tesi magistrali

**Paolo Carniti, Claudio Gotti, Gianluigi Pessina**

Università di Milano-Bicocca e INFN sezione di Milano Bicocca



14/07/2022

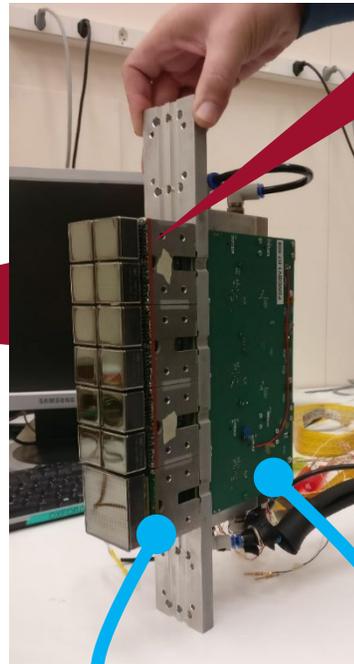
# LHCb – Chip digitale per misure di timing di fotoni Cherenkov



LHCb è uno dei 4 grandi esperimenti all'acceleratore Large Hadron Collider (CERN). Comprende due sotto-rivelatori «RICH» per l'identificazione delle particelle.

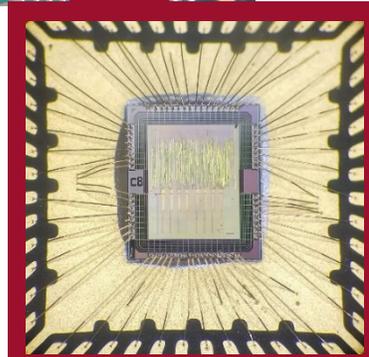
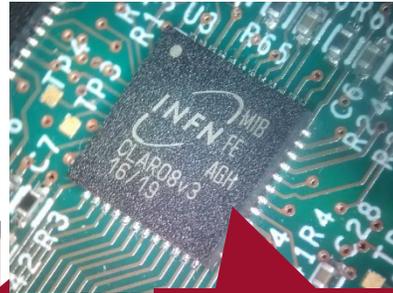
Fotomoltiplicatori a multi anodo ed elettronica progettata *ad hoc* permettono:

- Sensibilità a singolo fotone
- 40 milioni di scatti al secondo
- 200'000 pixel con dimensioni  $\approx \text{mm}^2$



Analoga

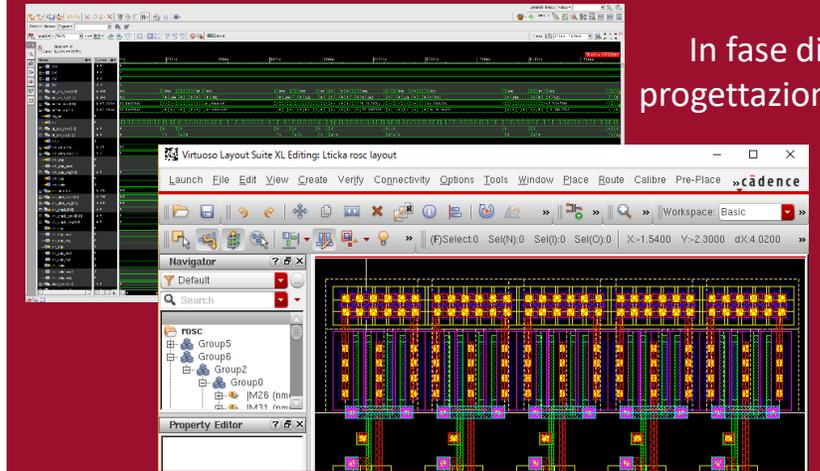
Digitale



Chip CLARO sviluppato dal nostro gruppo

Nei prossimi anni sarà effettuato un grande **aggiornamento** all'esperimento: Sarà richiesto di determinare il tempo di arrivo del singolo fotone con un'**alta precisione temporale** ( $< 100 \text{ ps}$ ).

Sviluppo di un chip digitale rad-hard per timing in tecnologia CMOS TSMC 65 nm



In fase di progettazione...

Si impara a:

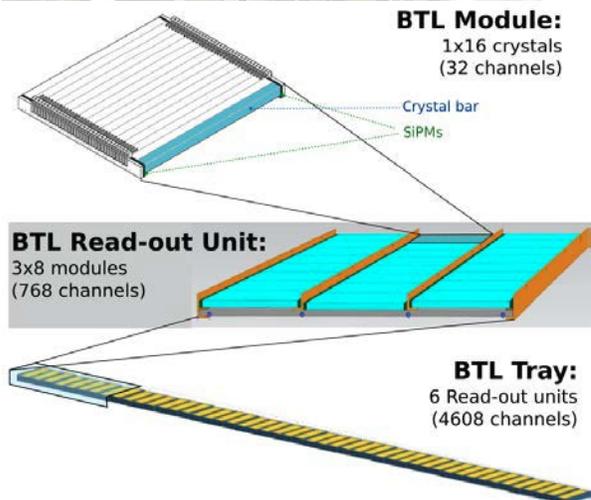
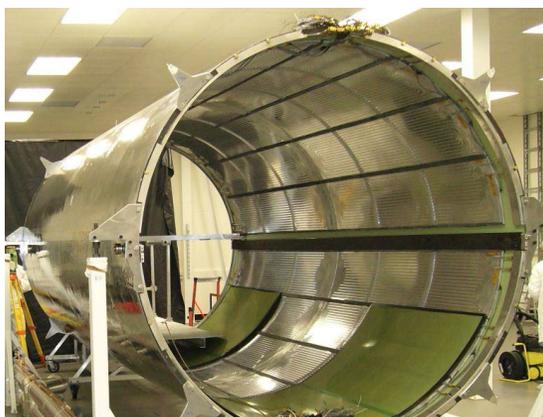
- Misurare tempi di arrivo dei segnali di fotomoltiplicatori con precisione alle decine di ps
- Programmare in Verilog HDL per sintetizzare circuiti digitali
- Realizzare e caratterizzare elettronica resistente alla radiazione

# CMS – Chip di controllo delle tensioni di lavoro dei SiPM

CMS è un altro dei 4 grandi esperimenti a LHC.

Nel 2025, l'esperimento sarà aggiornato per lavorare a luminosità più alta (HL-LHC).

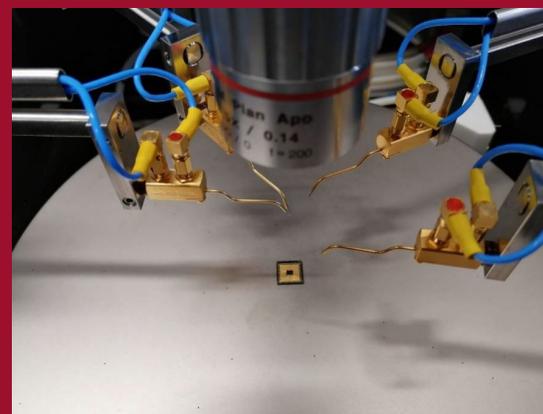
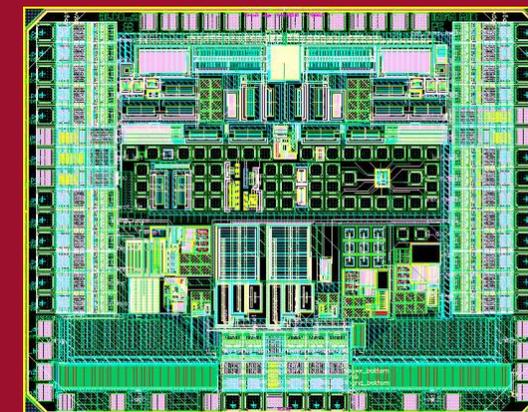
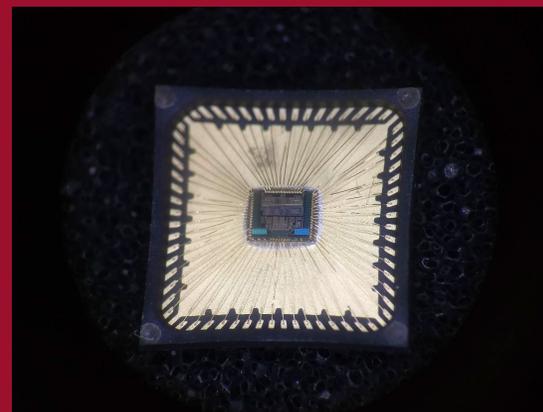
Sarà installato un nuovo rivelatore adibito al timing di particelle al minimo di ionizzazione, il «Barrel Timing Layer» (o BTL).



Il rivelatore è basato su:

- Scintillatore LYSO: Produzione di luce al passaggio di una particella
- Fotosensori SiPM: Conversione dei fotoni in segnale elettrico

Per questo rivelatore abbiamo sviluppato un chip rad-hard, chiamato ALDO, che si occupa di gestire l'alimentazione dei SiPM e del chip di front-end



La produzione del chip è stata avviata...

...ma la caratterizzazione del dispositivo continua in parallelo

A sinistra un esempio di misura del chip con la nostra «probe station» qui alla Bicocca

Si impara a:

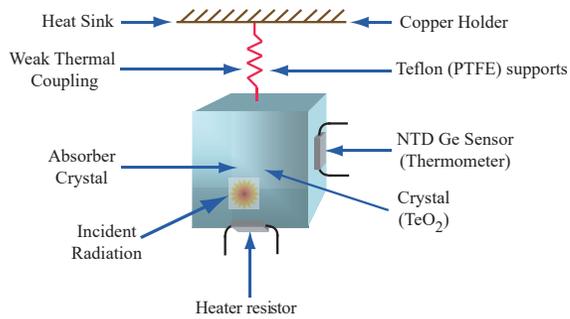
- Generare tensioni analogiche a basso rumore ed alta precisione per alimentazione di rivelatori (SiPM) e relativi amplificatori
- Realizzare e caratterizzare elettronica resistente alla radiazione

# CUPID/CROSS – Lettura di bolometri, dal front-end al DAQ



CUPID e CROSS saranno due esperimenti per lo studio del neutrino, presso i laboratori sotterranei del Gran Sasso (LNGS) e di Canfranc, Spagna (LSC).

Entrambi utilizzano dei bolometri, con identificazione del tipo di particella, per la ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini.



- I bolometri convertono l'energia rilasciata dalla particella in calore.
- L'incremento di temperatura è rivelato da un sensore resistivo (termistore) a semiconduttore (NTD-Ge).
- Il termistore genera un segnale di tensione, che viene amplificato e digitalizzato.



Il sistema DAQ è basato su FPGA Intel Cyclone V che inviano dati al sistema di storage tramite protocollo RTP su UDP

Un software in Python, in esecuzione su Embedded Linux all'interno dell'FPGA, permette il controllo remoto del DAQ

Il nostro gruppo si occupa della progettazione di tutta la strumentazione elettronica di lettura dei segnali



Il «front-end» fornisce la corrente di polarizzazione dei termistori, amplifica il segnale, aggiusta l'offset, ...



Il «DAQ» digitalizza i segnali e li invia al PC

Si impara a:

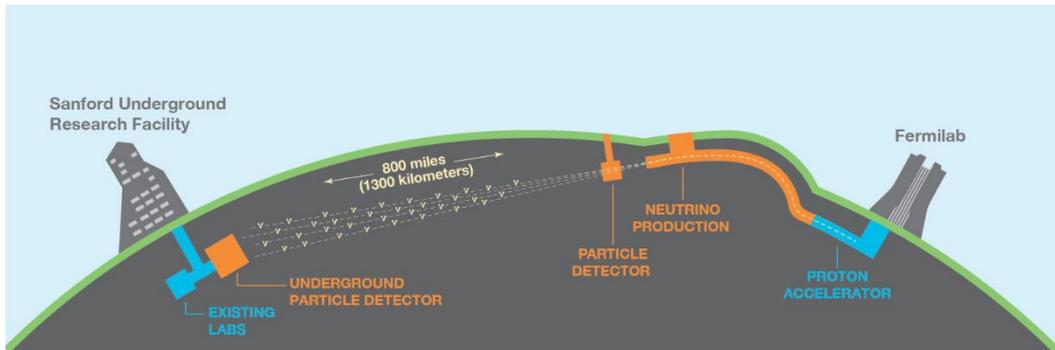
- Amplificare segnali analogici a basso rumore ed alta precisione provenienti da bolometri (macrocalorimetri criogenici)
- Programmare FPGA (Verilog HDL) per acquisire i dati
- Programmare (Python) l'interfaccia di controllo, trasferimento e gestione dei dati

# DUNE – Amplificatore criogenico per SiPM



DUNE è un grande esperimento sulla fisica del neutrino in costruzione negli USA. Enormi rivelatori pieni di Argon liquido riveleranno fasci di neutrini prodotti al Fermilab a 1300 km di distanza.

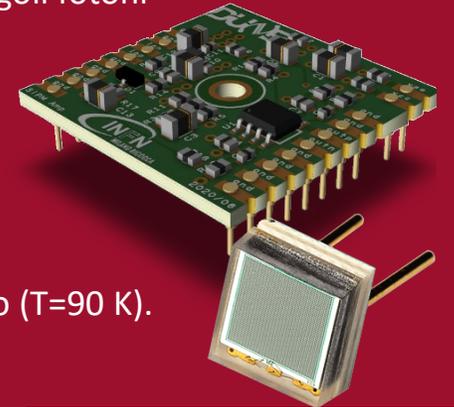
Ogni interazione dei neutrini in Argon produce carica e luce. Il segnale di luce viene raccolto e rilevato da fotorivelatori al Silicio (SiPM).



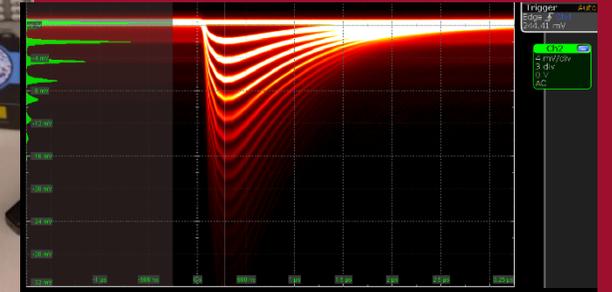
Ci stiamo occupando della progettazione e realizzazione dell'amplificatore per la rilevazione di singoli fotoni con queste caratteristiche:

- Rumore ultra-basso
- Alta velocità di risposta
- Alta affidabilità

...e che funzioni immerso in Argon liquido (T=90 K).



Fotorivelatore (SiPM)



Si impara a:

- Studiare le caratteristiche dei fotorivelatori (SiPM) in ambiente criogenico
- Amplificare segnali analogici a basso rumore ed alta precisione
- Realizzare e caratterizzare elettronica resistente a temperature criogeniche
- Programmare FPGA (Verilog HDL) per acquisire i dati

# Attività e competenze

Sono disponibili Tesi Magistrali in ciascuno degli argomenti ed esperimenti appena descritti.

Nel contesto dei diversi esperimenti, queste attività permettono di apprendere:

- **Progettazione di circuiti elettronici analogici**  
Basso rumore, alta precisione, alta velocità, ...
- **Programmazione circuiti digitali**  
Microcontrollori, Processori, FPGA, Sistemi Embedded, ...
- **Tecniche di misura e caratterizzazione;**  
Uso della strumentazione di laboratorio, tecniche di analisi dei segnali e dati raccolti, ...
- **Elettronica in ambienti ostili**  
Resistenza alla radiazione, funzionamento a temperature criogeniche, ...

...un set di competenze molto utili in ogni ambito sperimentale, dalla fisica delle particelle all'industria.



**Per informazioni scriveteci!**

[gianluigi.pessina@mib.infn.it](mailto:gianluigi.pessina@mib.infn.it)

[claudio.gotti@mib.infn.it](mailto:claudio.gotti@mib.infn.it)

[paolo.carniti@mib.infn.it](mailto:paolo.carniti@mib.infn.it)