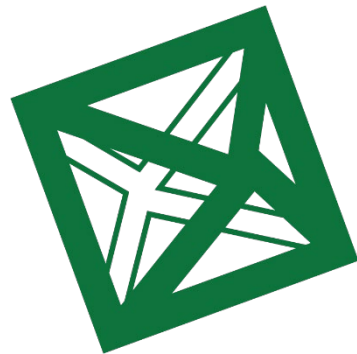


Elettronica per la fisica delle particelle

Tesi magistrali

Paolo Carniti, Claudio Gotti, Gianluigi Pessina, Davide Trotta

Università di Milano-Bicocca e INFN sezione di Milano Bicocca

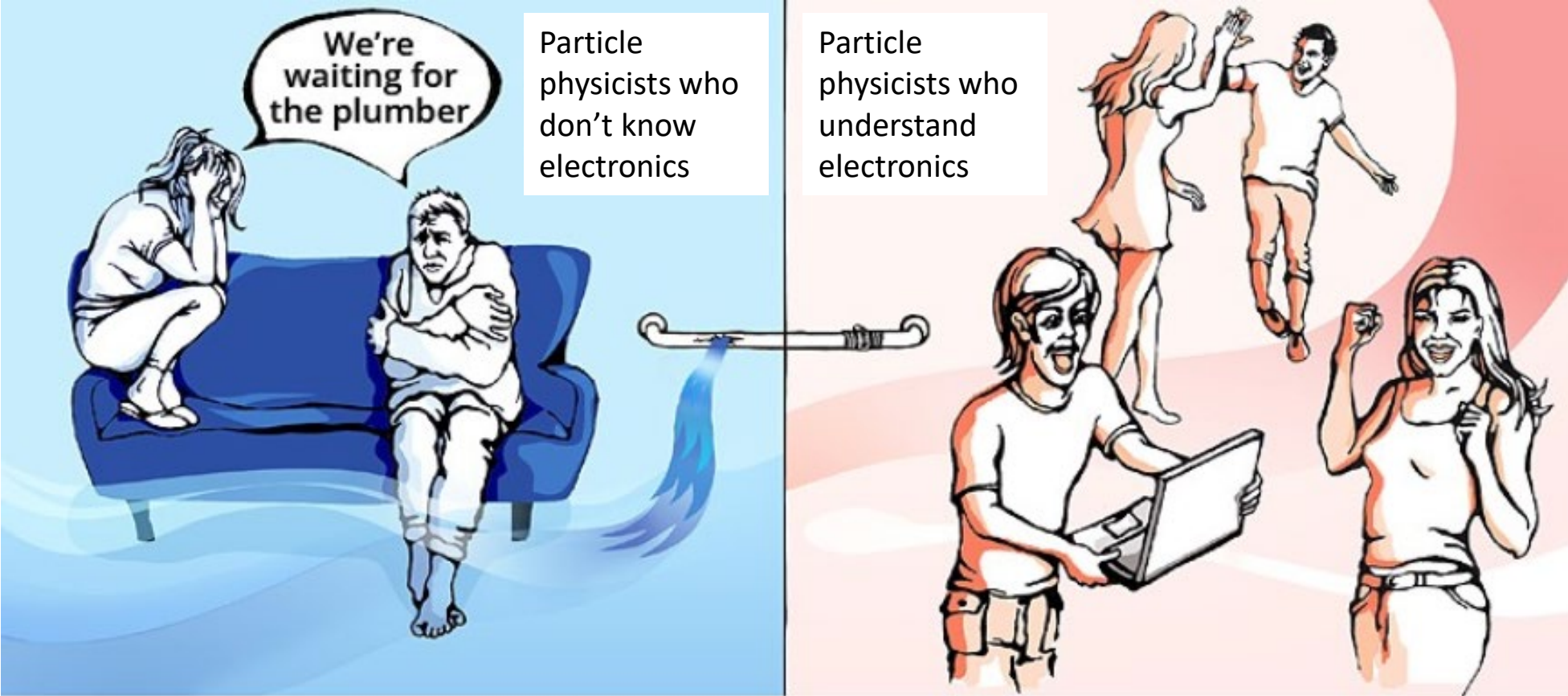


Cosa facciamo?

- Strumentazione (elettronica) per esperimenti di fisica.
- Collaborazione con laboratori internazionali: **CERN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Canfranc, Fermilab, ...**
- Ricerca applicata: sviluppo rivelatori, tecniche sperimentali, elettronica, ...



Cosa facciamo?



Which party would you join?

Immagine rubata dal sito di Betterbird...
e riadattata ;)

Cosa facciamo?

YOU
ARE
HERE

Pure Experimentalist

Builds the detectors
Expert of Hardware,
Electronics and Vacuum

Data Analyst

Analyses recorded data.
Expert of Statistics and
Computer Programming

Phenomenologist

Applies Theory
Calculates cross sections and
makes signal predictions

Pure Theoritarian

Creates new laws.
Expert of QFT, Strings
and Supersymmetry

Skill	Experimental	Analyst	Theoretician
Programming	Low/Medium*	Top	Medium/High (simulations)
Formal Math	Medium	Medium	Top
Electronics/Lab	High...o Top?	Low/Medium	None
Statistics	High	Top	Medium

* Discorso a parte se parliamo di programmazione firmware per processori, controllori digitali, FPGA (C, SystemVerilog, ...)

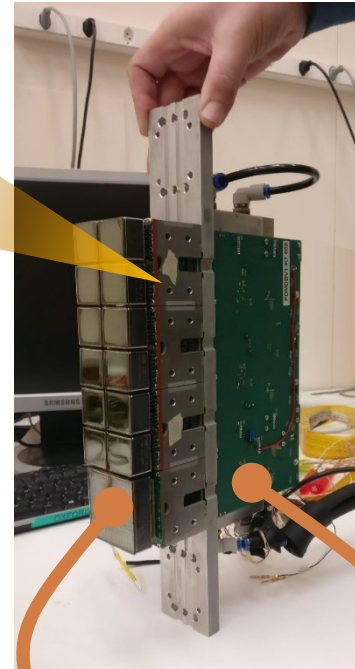
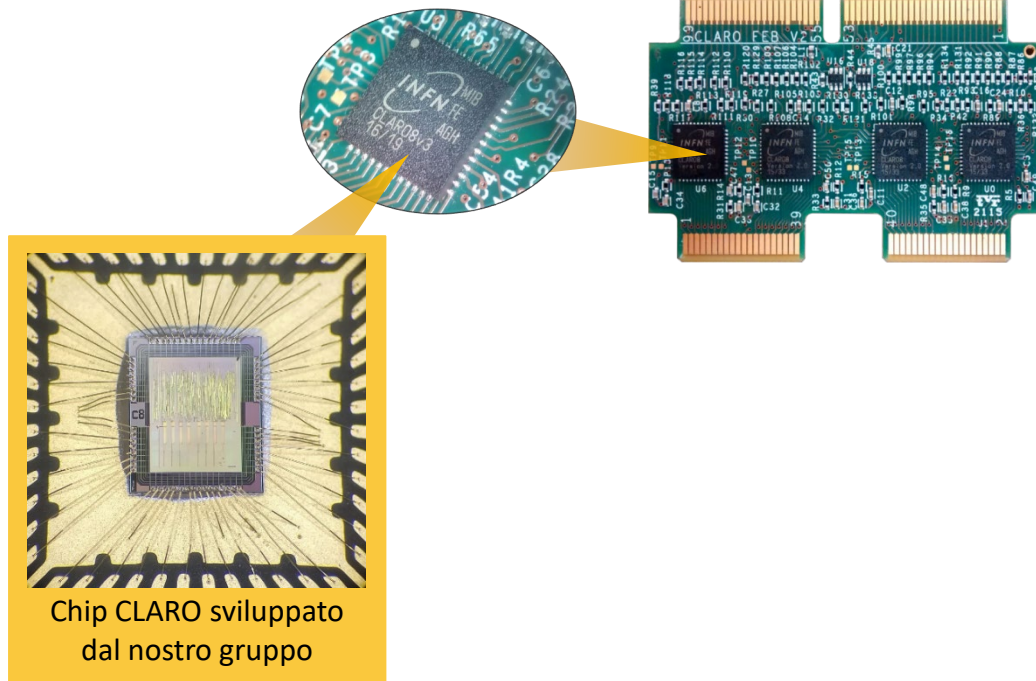
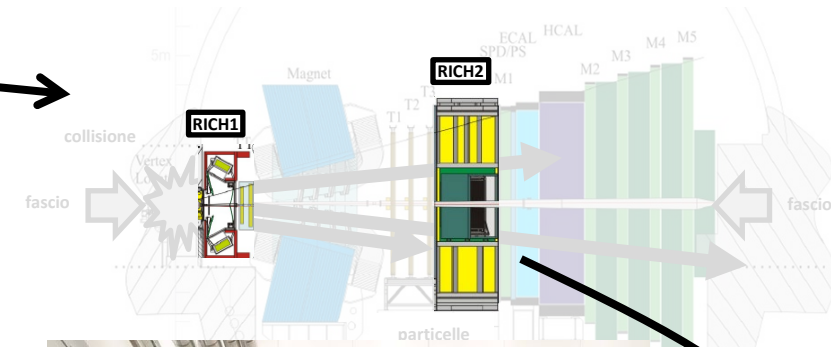
LHCb – Misure di timing di fotoni Cherenkov

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 (Ma-PMT) 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



LHCb – Misure di timing di fotoni Cherenkov

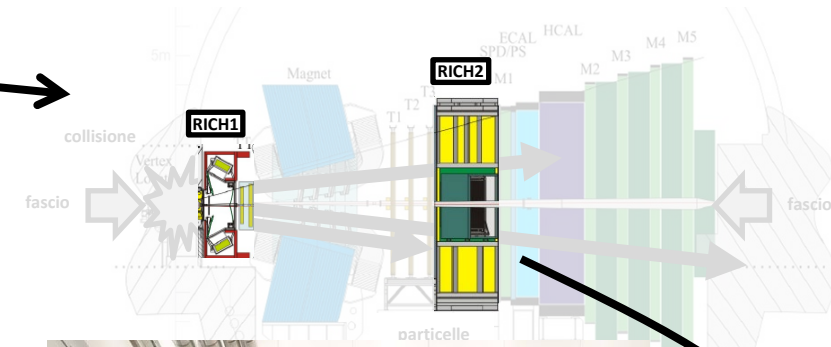


LHCb è uno dei 4 grandi esperimenti all'acceleratore Large Hadron Collider (CERN).

Comprende due sotto-rivelatori «RICH» per l'identificazione delle particelle.

Fotomoltiplicatori a multi anodo (Ma-PMT) ed elettronica progettata *ad hoc* permettono:

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

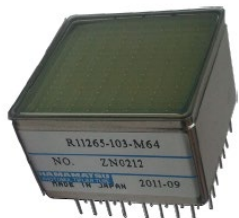


Nei prossimi anni sarà effettuato un grande **aggiornamento** all'esperimento che porterà a un aumento della luminosità (x 5 dall'attuale luminosità), quindi più particelle per ogni evento.



Necessità di usare sensori con **maggiore granularità** e migliore **risoluzione temporale** per far fronte al maggior numero di fotoni incidenti.

Present

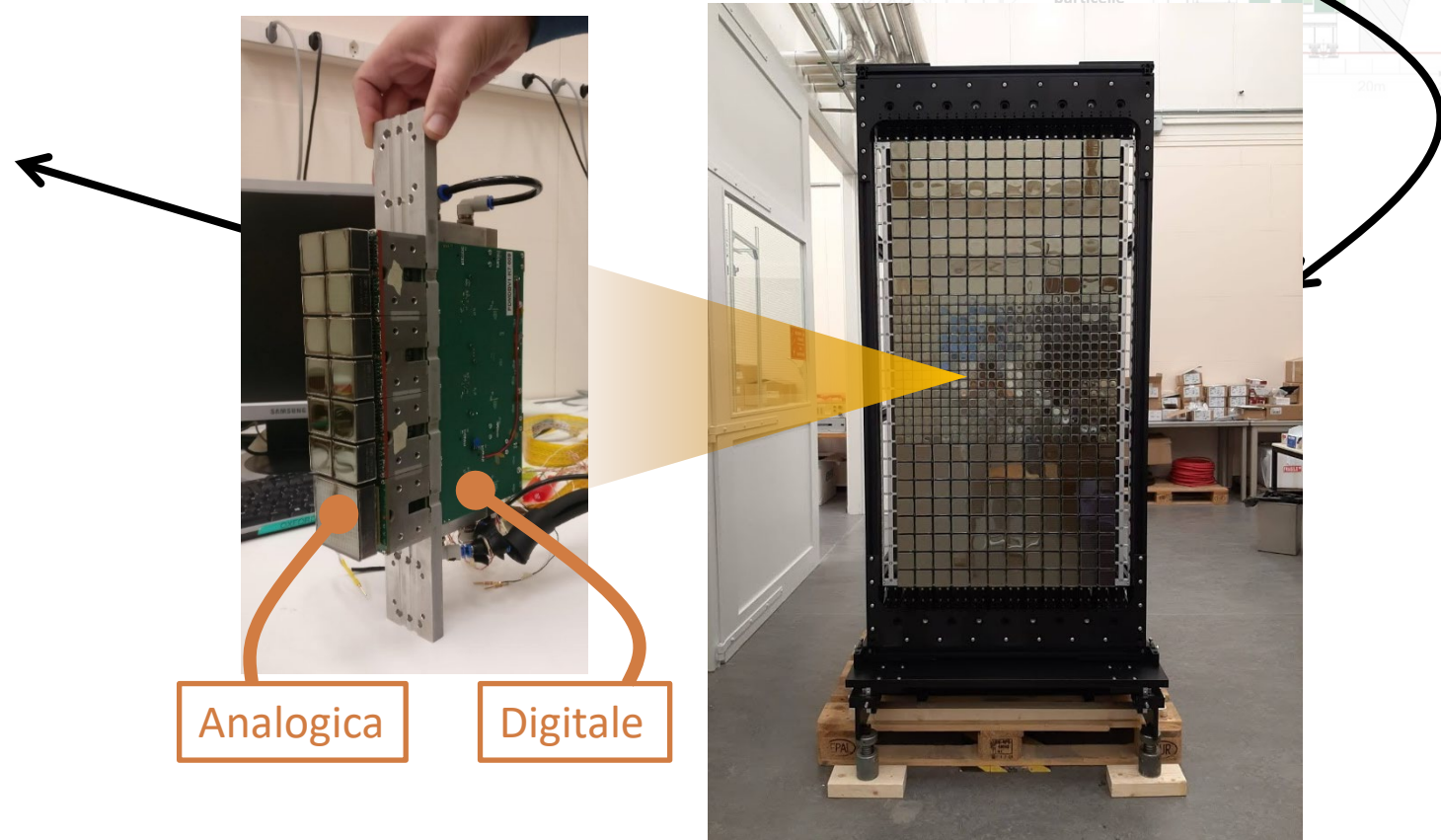


Ma-PMT
2.5cm x 2.5cm
(64 pixel da 3 mm x 3mm)

New generation



SiPM
2mm x 2mm



Analogica

Digitale

I **SiPM** (Silicon PhotoMultiplier) sono sensori molto piccoli e anche veloci, quindi **alta precisione temporale** (< 100 ps), altro requisito per il nuovo upgrade.

Sembrerebbero avere tutte le carte in regola

MA

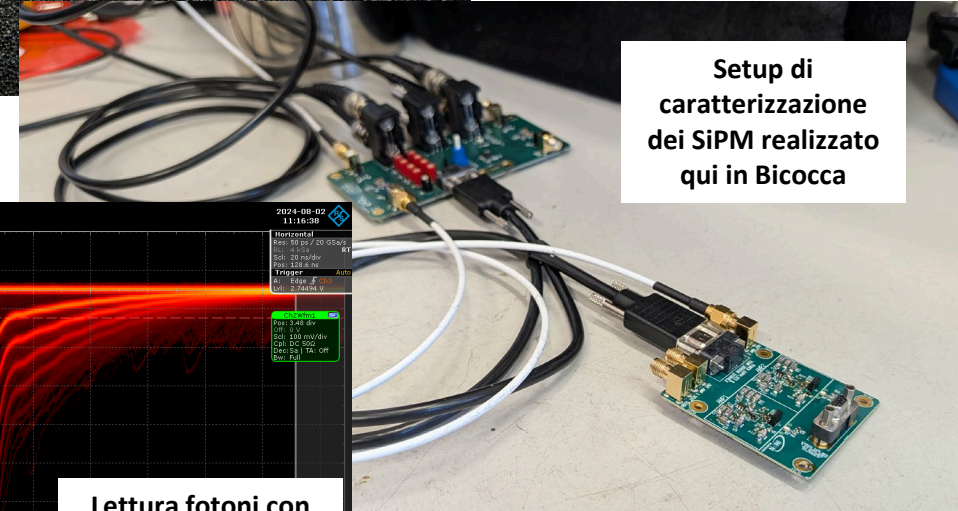
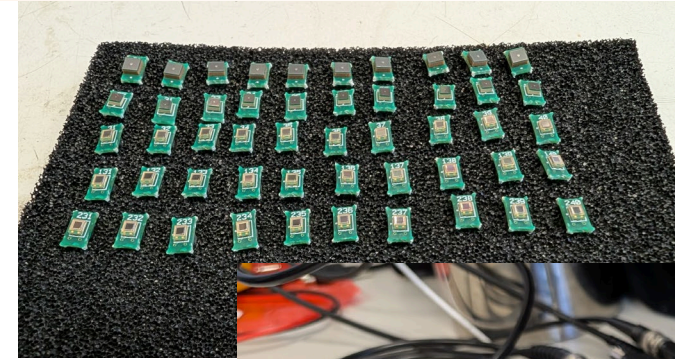
Il problema è che i SiPM non riescono ad essere sensibili al singolo fotone se esposti a **livelli di radiazione elevati** (come le fluenze di neutroni oltre 10^{13} n/cm² che si avranno nel prossimo upgrade).



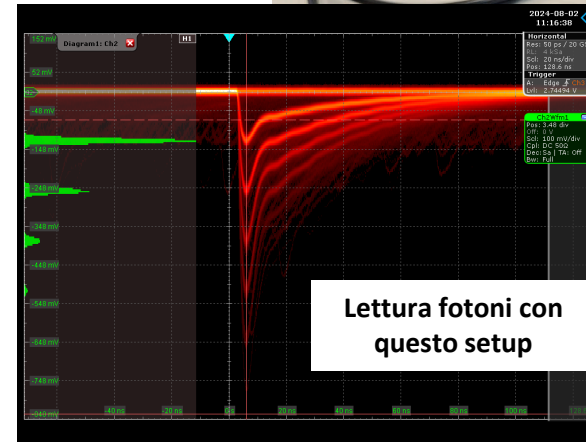
Un modo per contrastare l'effetto della radiazione è **raffreddare** (anche a temperature criogeniche) i sensori di luce.



C'è bisogno di uno studio del comportamento di vari SiPM **irraggiati** a diverse **temperature** (fino a temperature dell'azoto liquido).



Setup di caratterizzazione dei SiPM realizzato qui in Bicocca



Letture fotoni con questo setup

Dove potete aiutarci con la vostra tesi:

- Caratterizzazione dei sensori di luce da temperatura ambiente fino all'azoto liquido (70 K), prima e dopo irraggiamento con neutroni.
- Misurazione tempi di arrivo dei segnali di fotomoltiplicatori con precisione alle decine di ps.

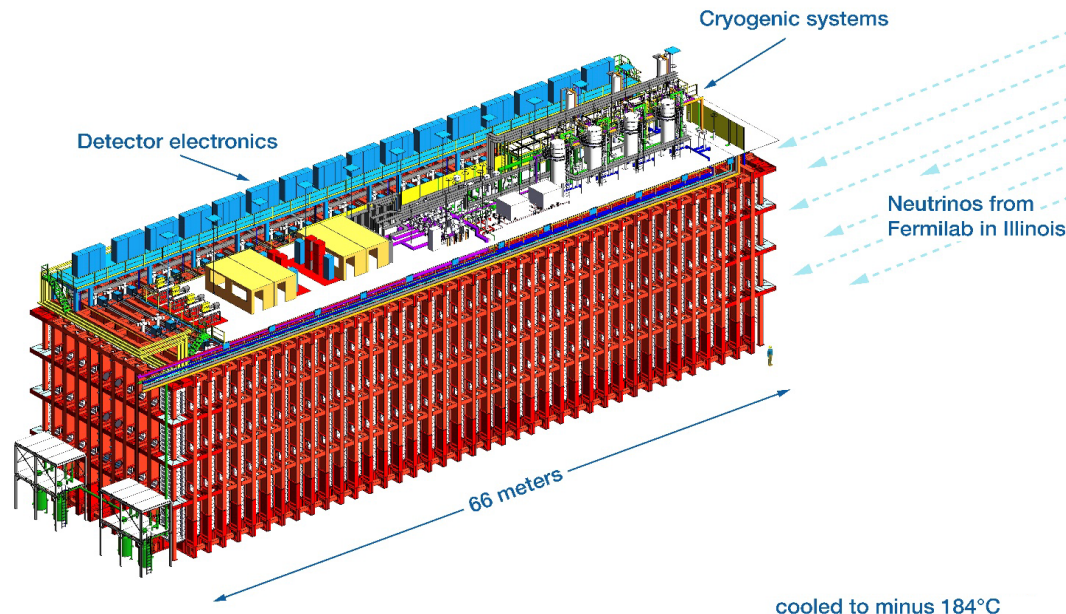
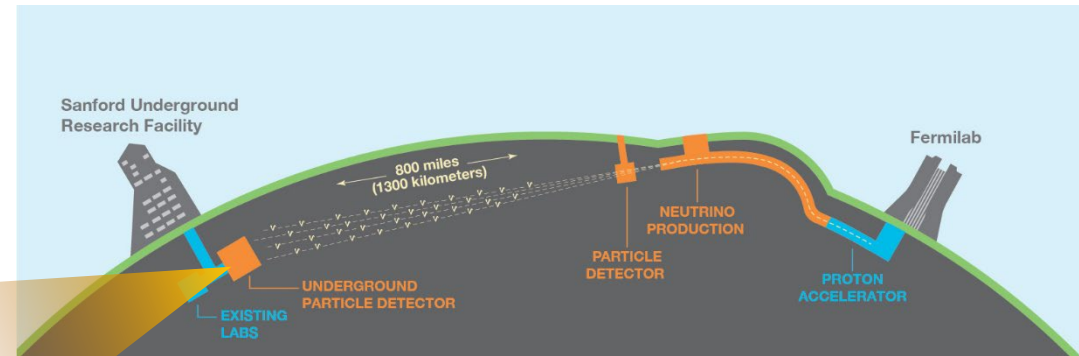
DUNE – Amplificatore criogenico per SiPM



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**).



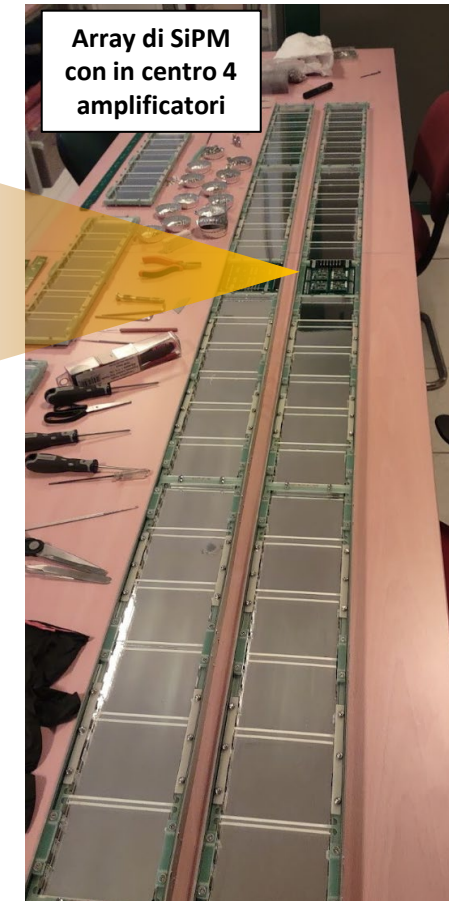
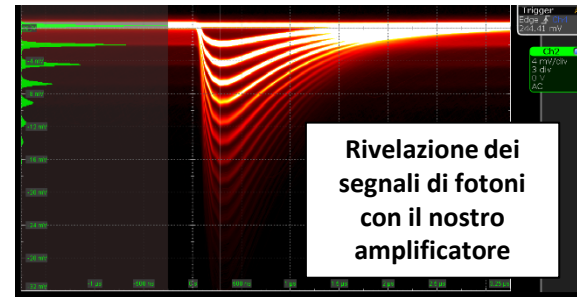
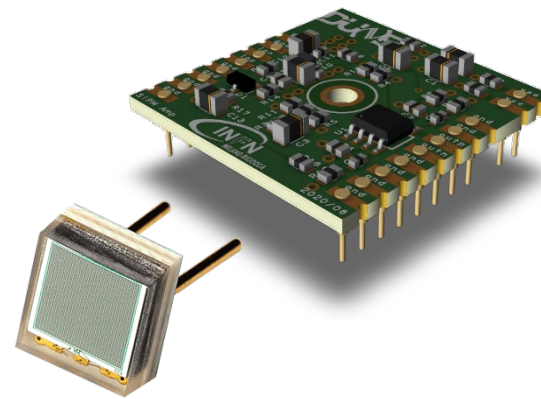
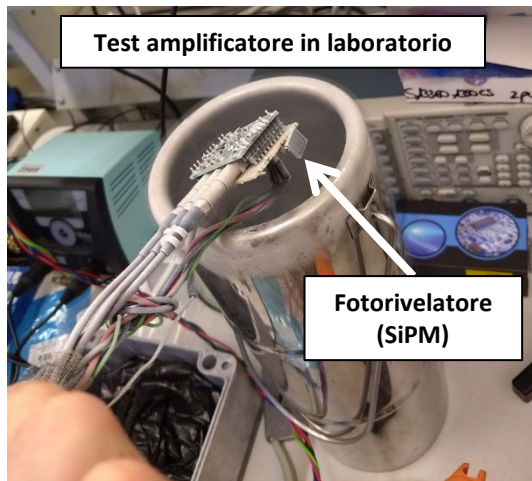
Detector located 1.5 kilometers underground at Sanford Lab

cooled to minus 184°C

DUNE – Amplificatore criogenico per SiPM

Ci siamo occupati della progettazione e realizzazione dell'**amplificatore per la rilevazione di singoli fotoni** con queste caratteristiche:

- Rumore ultra-basso
- Buona velocità di risposta
- Alta affidabilità
- Funziona in Argon liquido ($T = 90\text{ K}$)



Dove potete aiutarci con la vostra tesi:

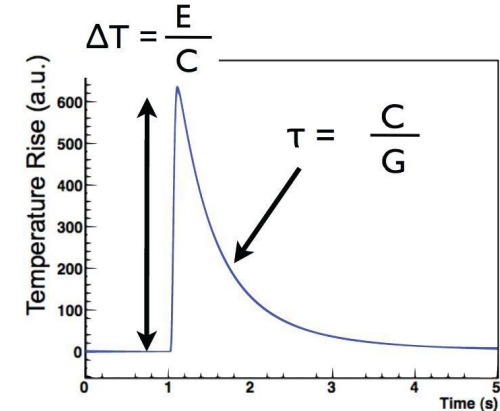
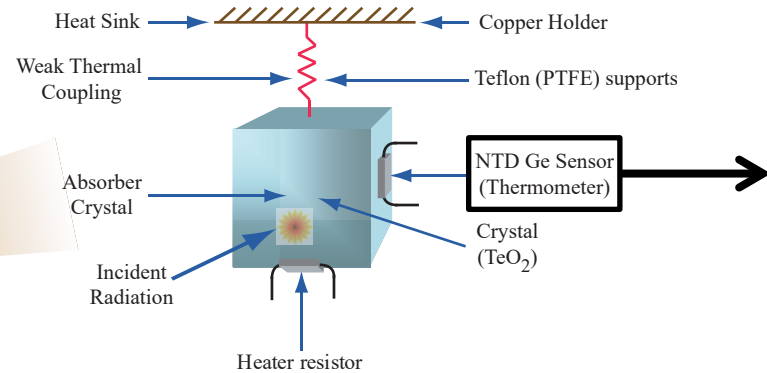
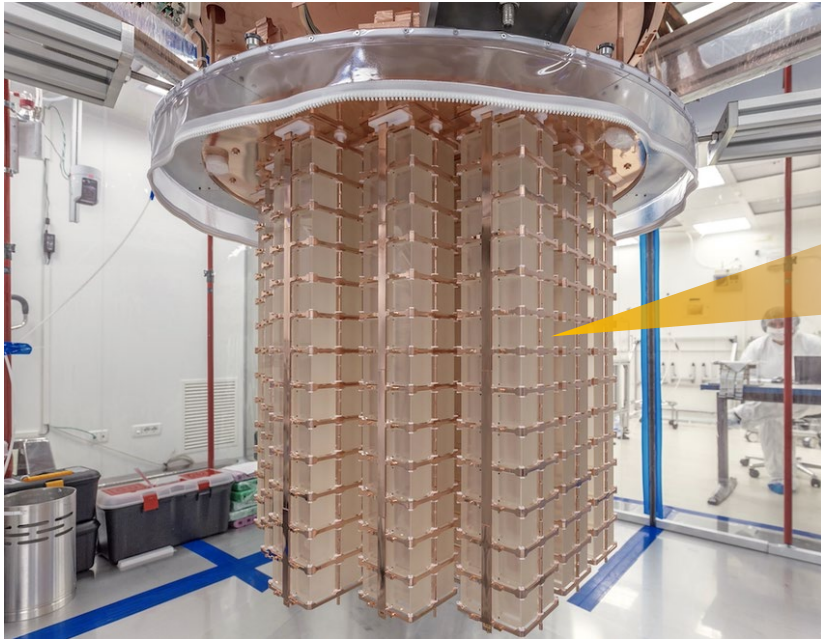
- Studiare le caratteristiche dei fotorivelatori (SiPM) in ambiente criogenico.
- Amplificare segnali analogici a basso rumore ed alta precisione.
- Caratterizzare elettronica resistente a temperature criogeniche.
- Programmare FPGA (Verilog HDL) per acquisire i dati.

CUPID/CROSS – Calorimetri criogenici: 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 **calorimetri criogenici**, o bolometri, con identificazione del tipo di particella, per la ricerca del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini.



- I calorimetri criogenici convertono l'energia rilasciata dalla particella sotto forma di 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.

CUPID/CROSS – Calorimetri criogenici: dal front-end al DAQ

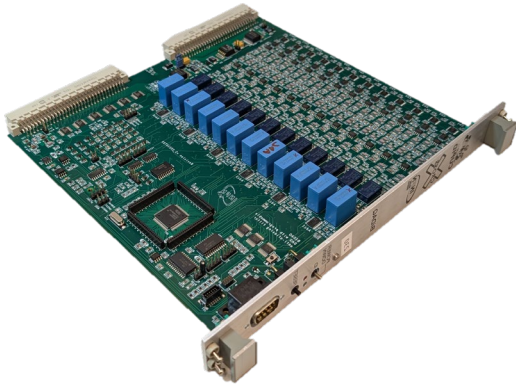


Il nostro gruppo si occupa della progettazione di tutta la **strumentazione** elettronica di lettura e calibrazione dei segnali.

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

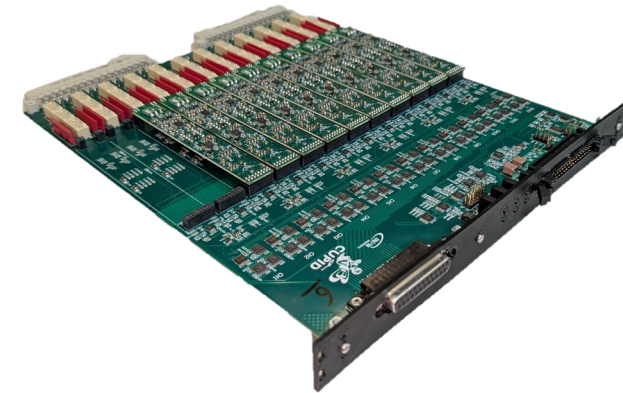
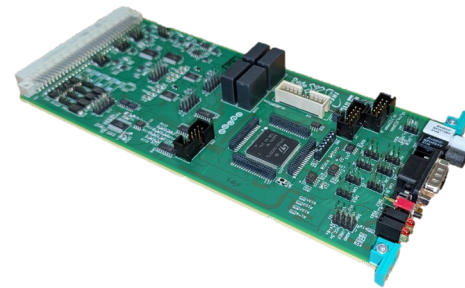
Il «**DAQ**» digitalizza i segnali e li invia al PC

Il «**pulser**» viene usato per calibrare i detector



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



Dove potete aiutarci con la vostra tesi:

- Sviluppare tecniche per amplificare segnali analogici a basso rumore ed alta precisione provenienti dai bolometri.
- Programmare FPGA (Verilog HDL) per acquisire i dati.
- Programmare (Python) l'interfaccia di controllo, trasferimento e gestione dei dati.

Attività e competenze

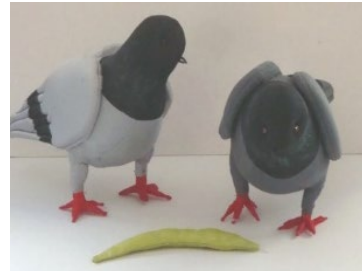
Sono disponibili Tesi Magistrali in ciascuno degli argomenti ed esperimenti appena descritti.

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

- **Progettazione di circuiti elettronici analogici**
Basso rumore, alta precisione, alta velocità, ...
- **Progettazione e 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.

(2 piccioni con una fava)



Aver seguito corsi di elettronica è utile, ma non indispensabile.

L'unico requisito fondamentale è di voler imparare come funziona l'elettronica per la lettura dei rivelatori negli esperimenti di fisica delle particelle.

Per informazioni scriveteci!

gianluigi.pessina@mib.infn.it

claudio.gotti@mib.infn.it

paolo.carniti@mib.infn.it

davide.trotta@mib.infn.it