

Utilizzo di un Convertitore DC-DC a controllo remoto per la polarizzazione di fotomoltiplicatori al silicio per l'esperimento DUNE

Valeria Trabattoni per la Collaborazione DUNE - IFAE 2025, Cagliari
Università degli Studi di Milano, INFN Sezione di Milano



DUNE

DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) è un esperimento long baseline attualmente in costruzione negli Stati Uniti in collaborazione con il Fermilab, dove verrà generato il fascio di neutrini, e il laboratorio sotterraneo SURF (South Dakota), dove saranno costruiti e messi in funzione i moduli del Far Detector per la futura presa dati.

Principali obiettivi di fisica:

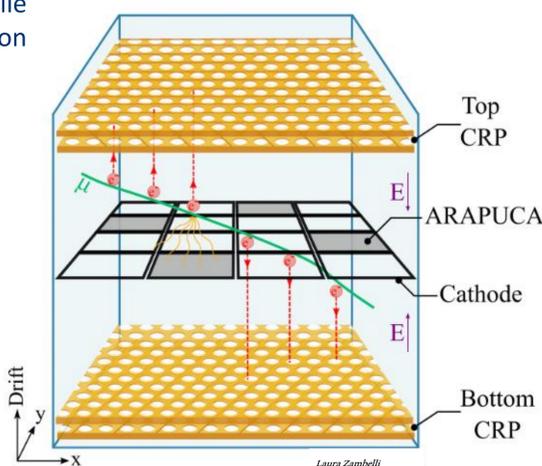
- Misurazione ad alta precisione dei parametri di **oscillazione dei neutrini**
- Determinazione della **gerarchia di massa** dei neutrini ($> 5\sigma$)
- Rilevazione di **neutrini da supernova** e **neutrini solari**
- Studio della **violazione di CP**
- Ricerche **oltre il Modello Standard**

Il Far Detector: Vertical Drift

Il Far Detector è realizzato con design modulare e si basa sulla tecnologia delle camere a proiezione temporale ad Argon Liquido: **LAr-TPC**.

Uno dei moduli è il **Vertical Drift**, che comprende:

- Due regioni di **deriva verticale** (6,5 m) grazie ad un campo elettrico uniforme e costante
- Circuiti stampati perforati per la **lettura della carica (CRP)**
- Raccolta della luce di scintillazione** ($\lambda = 128$ nm) tramite SiPM (ARAPUCA) sul catodo e sulle pareti del rivelatore



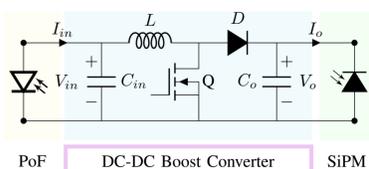
I SiPM posizionati sul catodo sono soggetti ad alta tensione (-300 kV) e non è possibile utilizzare connessioni tradizionali con materiali conduttivi.

Soluzione tramite utilizzo di **fibre ottiche**:

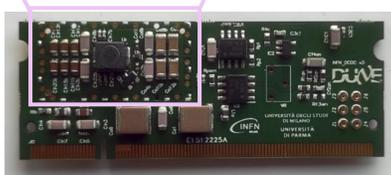
- Signal over Fiber (SoF)** per trasmettere segnali di uscita
- Power over Fiber (PoF)** per alimentare il sistema

Il Convertitore DC-DC

La tensione di uscita dal Convertitore di Potenza Ottico è di 5 V, mentre la tensione di polarizzazione dei SiPM è di ~ 50 V: il Convertitore DC-DC riceve in ingresso la bassa tensione e fornisce in uscita la tensione necessaria per una **alimentazione stabile** a basso rumore.



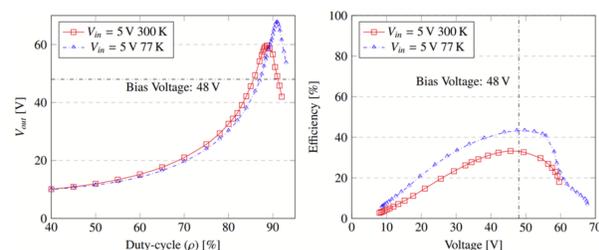
- Componenti discreti** caratterizzati indipendentemente a 77 K negli ultimi due anni
- Prototipo avanzato** di DC-DC con filtri di ingresso e uscita migliorati e circuito di controllo analogico ottimizzato
- Modulazione di larghezza di impulso (PWM)** con feedback interno che imposta la tensione di uscita al valore nominale (48 V)
- Circuito di controllo ad anello con **feedback analogico**



Terza versione ottimizzata del prototipo del DC-DC proposto dal gruppo di Milano Statale e Università di Parma.

Caratterizzazione del Convertitore DC-DC

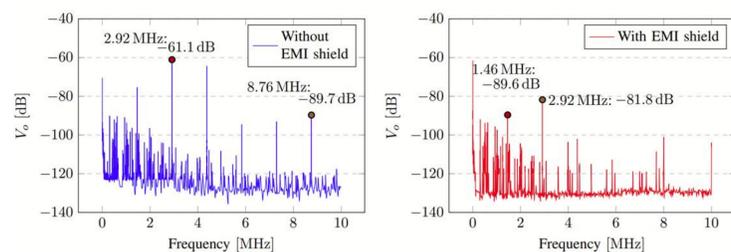
I test sono stati svolti a **temperatura ambiente** e temperatura criogenica tramite immersione in **azoto liquido (LN₂)**.



- T = 300 K: V_{out} è limitata dalla resistenza serie dell'induttore
- T = 77 K: $V_{out} = 68$ V al 91% del Duty Cycle
- T = 77 K con $V_{out} = 48$ V: l'efficienza è superiore al 40%

Misure di rumore in LN₂

Risultati dell'**analisi FFT** di V_{out} confermano la riduzione del rumore ottenuta con lo schermo in ottone.



Il controllo remoto

Il Convertitore DC-DC include un **controllo remoto** in grado di determinare diverse tensioni di uscita operando tramite una connessione a **temperatura ambiente in fibra ottica**.

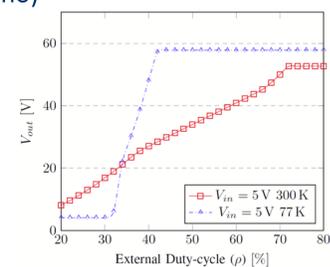
NEW! **Maggiore flessibilità** per gestire potenziali derive dovute all'ambiente criogenico o a malfunzionamenti dei SiPM.

Feedback interno: V_{out} al valore desiderato con due configurazioni:

- Nominale:** impostato in fase di progettazione e fisso per l'intera durata del funzionamento
- Esterna:** modificato tramite comunicazione esterna (riportato a valore nominale in caso di guasto o assenza di controllo esterno)

Risultati con generatore di funzioni

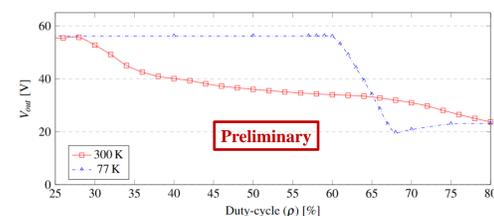
- Risposta lineare
- T = 77 K: saturazione prima del 50% del Duty Cycle del segnale esterno



Risultati con collegamento ottico

Convertitore DC-DC alimentato tramite la motherboard di protoDUNE.

- Risposta lineare
- T = 77 K: saturazione prima del caso a temperatura ambiente
- Limite per la tensione di uscita a 77 K: $V_{out} = 56$ V



Contatti:
valeria.trabattoni@mi.infn.it

Riconoscimenti
Progetto parzialmente finanziato dal Ministero Italiano dell'Università e della Ricerca, nell'ambito del progetto PRIN2020 "Rivelazione di fotoni in ambienti estremi per la Fisica Fondamentale e Applicata", e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) - Sezione di Milano, Italia.

Per saperne di più:



N. Gallice et al., "Development of a cryogenic DC-DC Boost Converter: devices characterization and first prototype measurements" in IEEE I2MTC 2022 doi: 10.1109/I2MTC48687.2022.9806646



M. Torti, V. Trabattoni, "Cryogenic power over fiber: results from the Cryo-PoF project and tests on a remotely controlled DC-DC boost converter" in Neutrino 2024, doi: 10.5281/zenodo.13498777



Santoro D. et al., "DC-DC Boost Converter Design With Analog Feedback Control for Cryogenic Application" in IEEE Access, vol. 13, pp. 23220-23233, 2025, doi: 10.1109/AC-CESS.2025.3536887