

CACTUS VD: Aggiornamenti

Meeting DUNE Italia 2025

Eleonora Bertolini
(on behalf of Milano group)

FBK SiPM

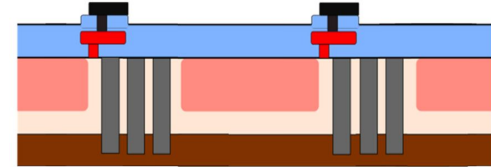
Tecnologia NUV-HD-Cryo Triple Trench

- Sviluppata presso **FBK** a partire dai dispositivi **NUV-HD SiPM** esistenti
- Ottimizzata per soddisfare i requisiti del PDS di DUNE

Caratteristiche principali

- **DCR estremamente basso:**
Pochi mHz/mm² a temperature criogeniche
- **Bassa probabilità di Afterpulse**
- **Elevato Gain**
- **Basso Crosstalk** grazie all'incremento del numero di **Deep Trench Isolations (DTI)**
- **PCB** rigida con 6 SiPM ognuna e lettura del singolo SiPM per l'HD

Triple trench (3T)



DUNE – SiPM requirements

SiPM cell pitch	50-100 μm
PDE @ Vop	>35% @435nm
DCR	<200 mHz/mm ² @77k <200 kHz/mm ² @RT
Crosstalk probability	<35% at Vop @RT
Afterpulsing probability	<5% at Vop @77k
Gain	>2 10^6 at Vop @RT
Fall time constant	600ns +/- 250ns @77k

HPK SiPM

Tecnologia HPK S13360-9935 HQR 75 μm

- Tecnologia **HPK**, è stata selezionata testando le performance di 4 prototipi sviluppati migliorando le prestazioni dei modelli in commercio (HPK S13360)
- Ottimizzata per soddisfare i requisiti del PDS di DUNE

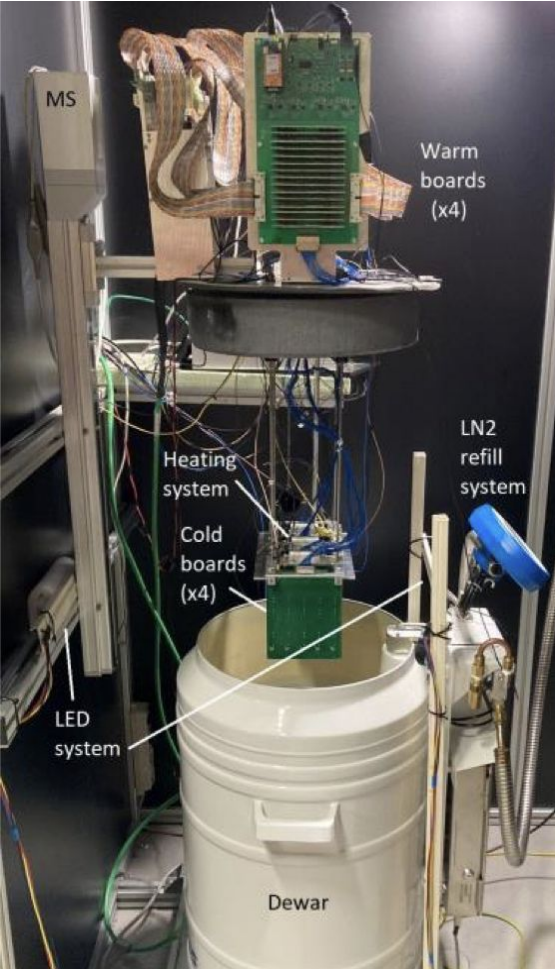
Caratteristiche principali

- **Maggior R-quenching** (660 k Ω) e **cell pitch** (75 μm) per ridurre l' afterpulse, il dark count e il cross-talk, oltre che aumentare il fill factor
- **PCB** rigida con 6 SiPM ognuna e lettura del singolo SiPM per l'HD



DUNE – SiPM requirements	
SiPM cell pitch	50-100 μm
PDE @ Vop	>35% @435nm
DCR	<200 mHz/mm ² @77k <200 kHz/mm ² @RT
Crosstalk probability	<35% at Vop @RT
Afterpulsing probability	<5% at Vop @77k
Gain	>2 10^6 at Vop @RT
Fall time constant	600ns +/- 250ns @77k

Punto di partenza: CACTUS HD

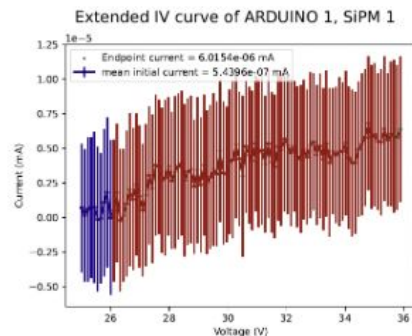
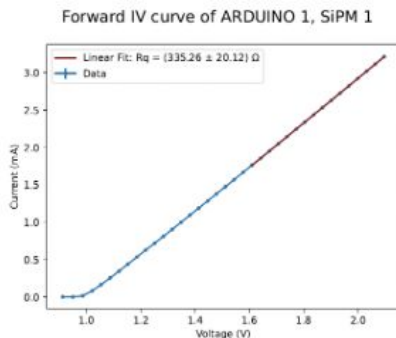
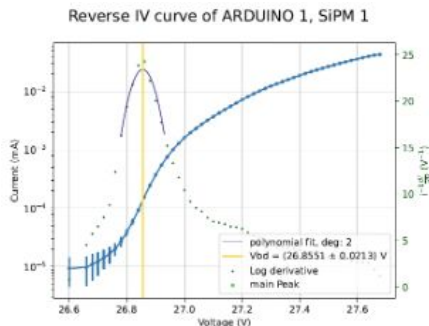


- **CACTUS** è progettato per lo studio su larga scala dei SiPM di DUNE. E' pensato per la caratterizzazione automatica dei SiPM sia a temperatura ambiente che a temperatura criogenica in modo da creare un database contenente le proprietà rilevanti
- **Il sistema:**
 - Movimentatore lungo 60 cm.
 - Elettronica a caldo: 4 motherboards con daughter boards + Arduino
 - Elettronica a freddo: 4 cold board che ospitano ciascuna 5 PCB (120 SiPM).
 - Dewar da 55 L di contenente azoto liquido.
 - I test sono gestiti e monitorati tramite una stazione PC + Raspberry grazie ad un programma LabVIEW e a uno in Python.

CACTUS HD

Test eseguiti:

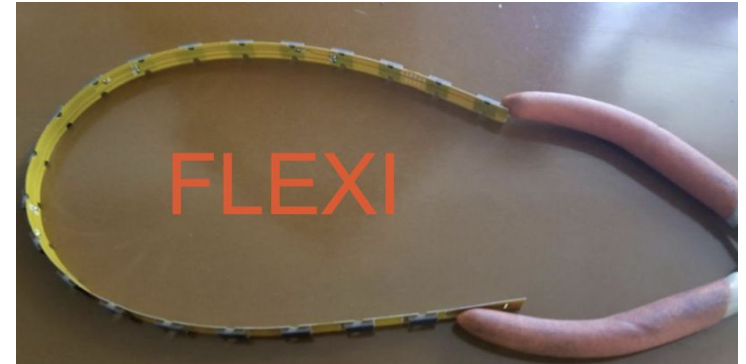
- Curve I-V dirette e inverse a temperatura ambiente e temperatura dell'azoto liquido → **R_q** e **V_bd**
- Extended I-V a V_bd+9V di OV, senza luce → Identificazione delle **curve IV anomale**
- Misurazione DCR con una finestra temporale di 120 secondi → Identificazione di **SiPM rumorosi**



SiPM VD

SiPM

- Stesso modello per HPK del HD mentre per FBK stesso modello ma con migliorie che hanno portato un aumento dell'area efficace del 10%
- Dimensioni: **6 × 6 mm²**
- Montati su **Flexi PCB in Kapton** (30 cm) più flessibili
- Lettura di tutto il flexi, non sono più sensibile al singolo SiPM
- **20 SiPM per striscia**
- Circa **5550 flexi** da testare -> 107520 SiPM in totale (FONTE: pagina 234 del “DUNE Far Detector Vertical Drift Technology - Technical Design Report”)



FLEX BOARD

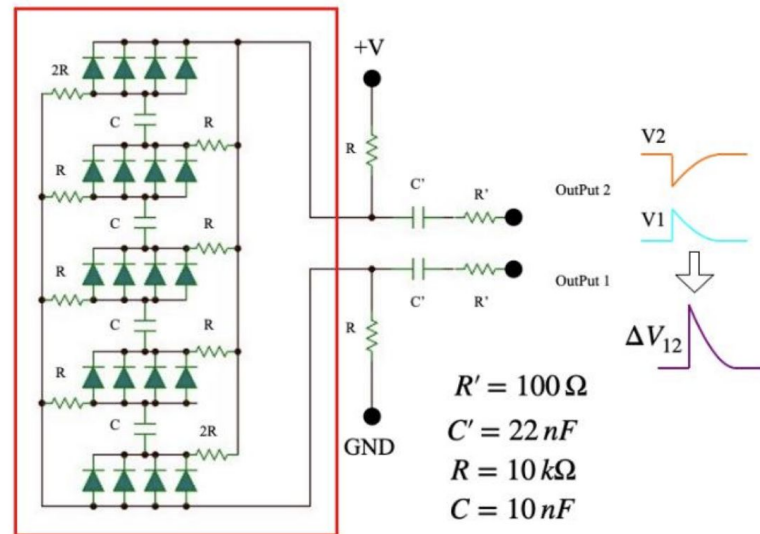
In figura il **circuito equivalente**:

- Totale: **20 SiPM**
- **5 gruppi $\times$ 4 SiPM in parallelo**
- I **5 gruppi** sono collegati **in serie**

VANTAGGI della nuova configurazione:

1. **Tutti i SiPM sono polarizzati alla stessa tensione**
→ funzionano in modo uniforme, con la stessa efficienza di rilevazione e guadagno.
2. **Capacità complessiva ridotta**
→ minor capacità = **Rumore elettronico più basso** + **Tempi di risposta più rapidi** (l'impulso del segnale è più stretto e pulito).
3. **Lettura differenziale del segnale**
→ il segnale è letto in **modalità differenziale**, si misura la differenza tra due linee = **Aumenta il rapporto segnale/rumore (S/N)** perché i disturbi comuni alle due linee vengono eliminati.

Flex board



From “DUNE Far Detector Vertical Drift Technology - Technical Design Report

Stato della gara dei SiPM per FD2-VD

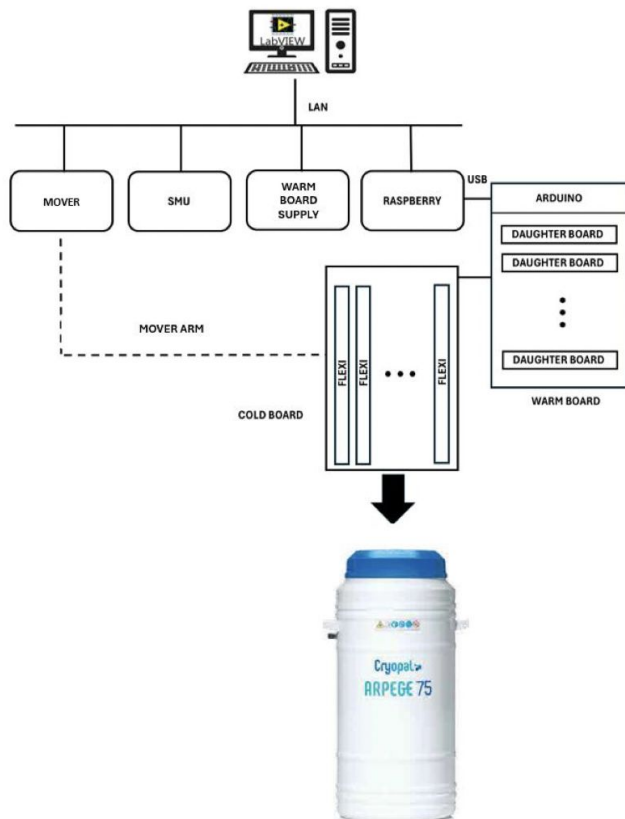
La gara dei SiPM per FD2-VD prevede la realizzazione di **5550 flexi boards** divisi in **due Lotti da 3850 (Lotto 1) e 1700 (Lotto 2)**. Il primo Lotto copre il **catodo e metà delle tile di membrane**. Il secondo l'altra **metà delle tile di membrana**.

- Il Lotto 2 (1700 boards) è stato assegnato a **FBK a Luglio 2025**. E' stato necessario rifare l'assegnazione del Lotto 1 per un problema burocratico relativo ai documenti tecnici.
- Il Lotto 1 (3850 boards) è stato assegnato a **Hamamatsu (HPK) a Ottobre 2025**.
- Il contratto è in firma e FBK ha già avviato la produzione dei wafer di silicio. Stiamo contrattando le date con Hamamatsu per poter recuperare i tre mesi perduti.
- Ci aspettiamo le prime consegne **all'inizio del 2026** e la produzione richiederà circa **8-10 mesi** dalla firma del contratto.

Dazi, esportazioni e altre amenità:

- L'esportazione delle flexi HPK seguirà lo stesso percorso di FD1-HD: Giappone → Italia (CACTUS-VD) in importazione temporanea → Fermilab (destinazione finale).
- Per FBK speriamo di fare una cosa più semplice rispetto a FD1-HD, anche alla luce delle complicazioni internazionali degli ultimi mesi. La soluzione ideale sarebbe: FBK → Italia (CACTUS-VD) per max 30 giorni prima che FBK emetta la fattura → Fermilab (destinazione finale). Questo ci permetterebbe di evitare le esportazioni temporanee. Tuttavia, ciò richiede che CACTUS-VD misuri i flexi di ogni spedizione entro massimo 30 giorni. L'alternativa sarebbe fare come FD1-HD: FBK → Fermilab (destinazione finale) → Italia (esportazione temporanea degli americani) → Fermilab (destinazione finale)
- In questo momento, **il Fermilab non ha ancora avuto assicurazione formale di essere un ente esente dai dazi della nuova amministrazione americana**. Perciò tutti i trasporti dall'Europa a Fermilab/SURF (APA, SiPM FD1-HD ecc.) sono temporaneamente sospesi in attesa che si chiarisca la situazione.

CACTUS VD



Obiettivo: è progettato per lo studio su larga scala dei SiPM di DUNE, in questo caso per il **Vertical Drift**, partendo da CACTUS HD sono state apportate delle modifiche che permettono l'utilizzo per i nuovi flexi

Composizione sistema:

- **Piattaforma meccanica:** braccio motorizzato (100 cm)
- **Dewar :** ARPEGE 75 L
- **Elettronica calda:**
 - 1 motherboard
 - 1 scheda temperatura
 - Schede ausiliarie
- **Elettronica fredda:**
 - 1 scheda madre con **30 Flexi** ($30 \times 20 = 600$ SiPM)
- **Controllo e monitoraggio:** server PC con software **LabVIEW**

MISURE

Procedura prevista per lo studio di 30 flexi:

1. **Controllo preliminare** dello **set up** e del **livello di azoto liquido (LN_2)** presente nel dewar.
2. **Identificazione dei flexi** tramite **scansione del QR code** e **installazione sulla scheda a freddo**.
3. **Misura delle curve I–V a temperatura ambiente in luce**.
4. **Misura delle curve I–V a temperatura di LN_2 in luce**.
5. **Misura delle curve I–V estese (+9 V di overvoltage) a temperatura di LN_2 in buio**.

Durante le misure in LN_2 , sono previsti **più cicli termici** (immersione della scheda a freddo in azoto liquido, seguita da estrazione e termizzazione a temperatura ambiente) per **valutare la resistenza dei flexi alle condizioni criogeniche**.

Tempistiche previste (approssimativamente):

- Per l'analisi dei circa **5550 flexi**, si prevede di effettuare **una presa dati completa al giorno** per ogni gruppo di **30 flexi installati sulla scheda**, per un totale stimato di **circa 200 giorni di lavoro**.
- Il **setup sperimentale** verrà **installato presso l'Università degli Studi di Milano**.

COLD BOARD

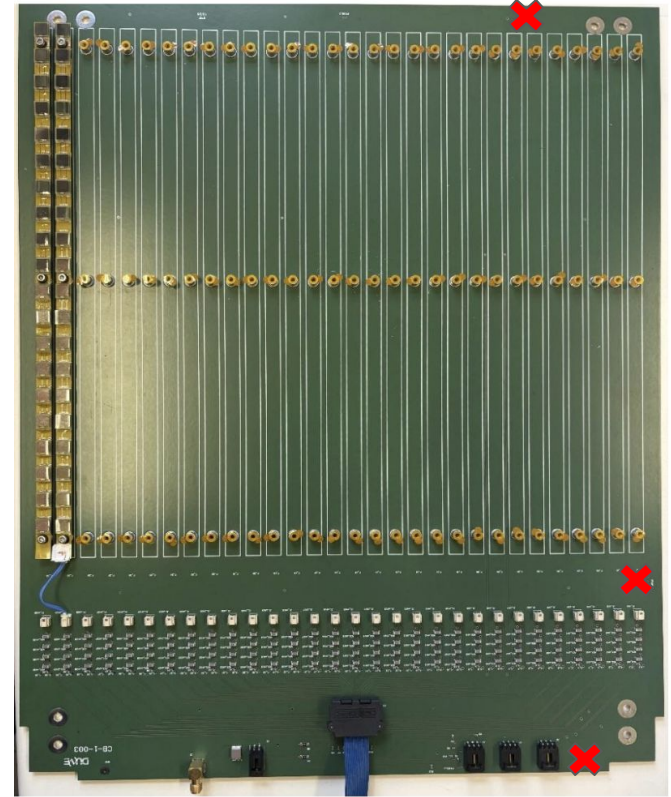
Nuovo Design:

- È stato realizzato un **nuovo design** pensato per il **test dei flexi**, i quali vengono **fissati alla scheda tramite tre viti ciascuno**.
- Le **dimensioni complessive** della scheda sono **340 mm × 435 mm**.
- Sono stati inoltre integrati **tre sensori Pt100** per il **monitoraggio del livello di azoto nel dewar**.

Stato:

La scheda è stata **testata con successo** e risulta **pienamente funzionante**, così come i **sensori Pt100**.

✗ → Sensore Pt100



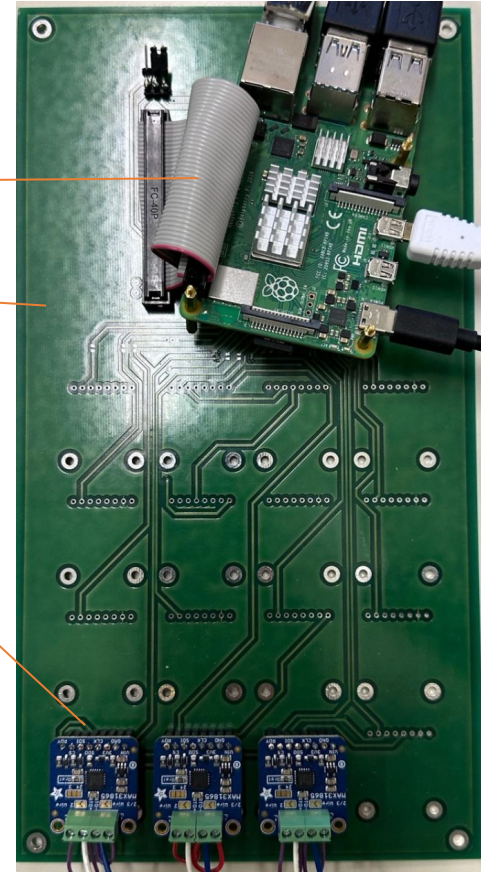
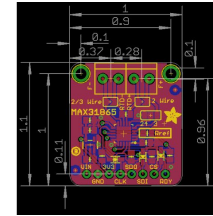
SCHEDA TEMPERATURA

Componenti:

- **Scheda Raspberry Pi** collegata a uno **schermo** per la gestione dell'interfaccia grafica.
- **Motherboard** progettata da Ferrara per CACTUS HD.
- **Tre schede Adafruit** dedicate alla **lettura delle PT100**, utilizzate come sensori di temperatura.
- Tutte le componenti sono **alloggiate all'interno di un box** dedicato.

Stato:

Tutte le componenti sono state **installate, collaudate e risultano funzionanti.**



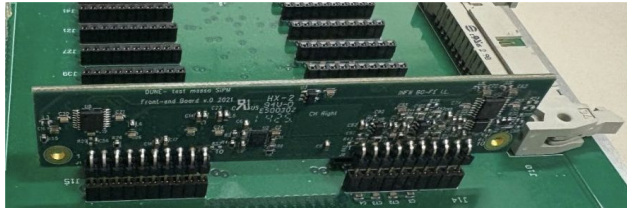
WARM BOARD

Componenti:

- **Scheda dell'Arduino**
- **Motherboard** progettata da Ferrara per CACTUS HD per portare il segnale dai flexi alle daughter boards.
- **Front end daughter boards (amplificatore analogico per la lettura della corrente caratteristica I-V)** progettate da Ferrara e modificate per adattarsi alle caratteristiche dei flexi del VD.

Stato:

Tutte le componenti sono state **installate, collaudate e risultano funzionanti.**



COMPONENTI AGGIUNTIVE

- Power supplies per le schede a caldo e per la scheda della temperatura
- Power supplies per il movimentatore
- SMU (Source Measure Unit)
- Cavi e connettori vari

Stato:

Tutte le componenti sono state ordinate, sono state testate e funzionano correttamente



MOVIMENTATORE

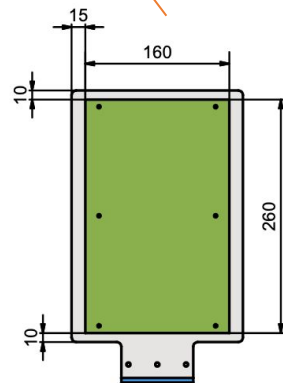
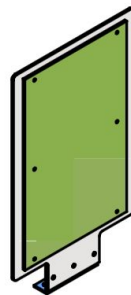
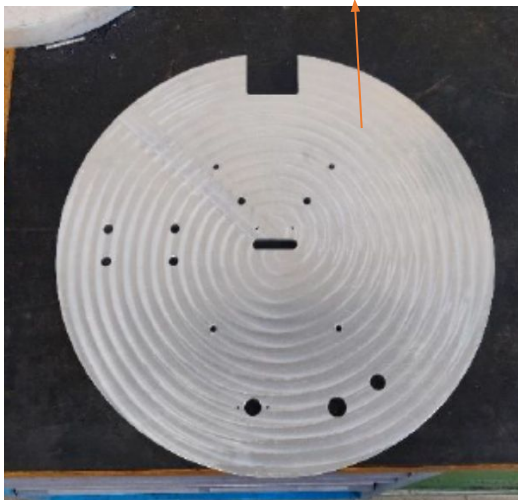
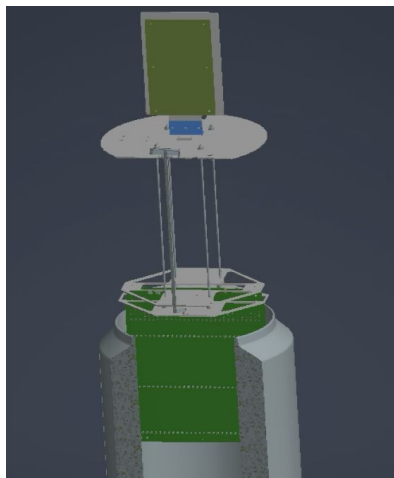
- **Meccanismo che regola il movimento e l'altezza della cold board**, necessario per consentirne l'immersione controllata in azoto liquido
- È stato selezionato il modello **SMC LEFS32B-1000-R1C917**, con una **corsa di 100 cm**, in funzione delle nuove dimensioni del dewar
- Il sistema è stato **consegnato all'Università degli Studi di Milano – Statale** e **testato con successo** tramite il software di comando dedicato fornito dall'azienda produttrice
- È attualmente in corso **l'adattamento del codice LabVIEW** per l'integrazione del controllo dei **cicli termici automatici**



SISTEMA MECCANICO

Scelta e Progettazione del Sistema

- **Scelta del dewar:** Tramite **simulazioni dedicate**, è stato selezionato il **modello più idoneo** alle caratteristiche del sistema CACTUS VD, con particolare riferimento alla **cold board**. È stato scelto un **dewar da 75 L**.
- **Realizzazione del supporto di alluminio per la scheda a caldo**, realizzato dall'officina INFN Milano.
- **Realizzazione del tappo di alluminio**, realizzato dall'officina INFN Milano.



SOFTWARE

Panoramica componenti software / firmware pt1:

- **Raspberry Pi — Python (PT100)**
 - Script Python eseguito su Raspberry per il **controllo e lettura delle PT100**
 - Ottimizzato e modificato per **CACTUS VD**
- **Raspberry Pi — Python (SMU / Arduino / DAQ)**
 - Script Python su Raspberry per: **gestire la SMU, interfacciarsi con Arduino, acquisire e registrare dati**
 - Adattamento a **CACTUS VD** in corso, manca la parte di calibrazione

```
2025-09-08 10:28:10
SENSOR: 0 MEAN T 25.74 MIN 25.73 MAX 25.8
SENSOR: 1 MEAN T 26.02 MIN 25.97 MAX 26.02
SENSOR: 2 MEAN T 24.99 MIN 24.96 MAX 25.01

2025-09-08 10:28:18
SENSOR: 0 MEAN T 25.74 MIN 25.73 MAX 25.8
SENSOR: 1 MEAN T 26.03 MIN 25.97 MAX 26.03
SENSOR: 2 MEAN T 25.0 MIN 24.96 MAX 25.01

2025-09-08 10:28:23
SENSOR: 0 MEAN T 25.73 MIN 25.73 MAX 25.8
SENSOR: 1 MEAN T 26.03 MIN 25.97 MAX 26.03
SENSOR: 2 MEAN T 25.0 MIN 24.96 MAX 25.01

2025-09-08 10:28:29
SENSOR: 0 MEAN T 25.74 MIN 25.73 MAX 25.8
SENSOR: 1 MEAN T 26.03 MIN 25.97 MAX 26.03
SENSOR: 2 MEAN T 25.0 MIN 24.96 MAX 25.01

2025-09-08 10:28:34
SENSOR: 0 MEAN T 25.74 MIN 25.73 MAX 25.8
SENSOR: 1 MEAN T 26.03 MIN 25.97 MAX 26.03
SENSOR: 2 MEAN T 25.01 MIN 24.96 MAX 25.01
```

```
import os
import sys
import serial
from datetime import datetime
from datetime import timedelta
import time
from threading import Lock

import queue
import board
import busio
import digitalio
import adafruit
import math
import socket

ADDR_SERVER = ('', 8080)
ADDR_CLIENT = ('', 8080)

sock_client = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
count = 0
measStr = ''

while True:
    #Reassembling
    measStr = ''
    stringToSend = ''
    print('SENDING')

    sock_client.send(measStr)
    time.sleep(1)

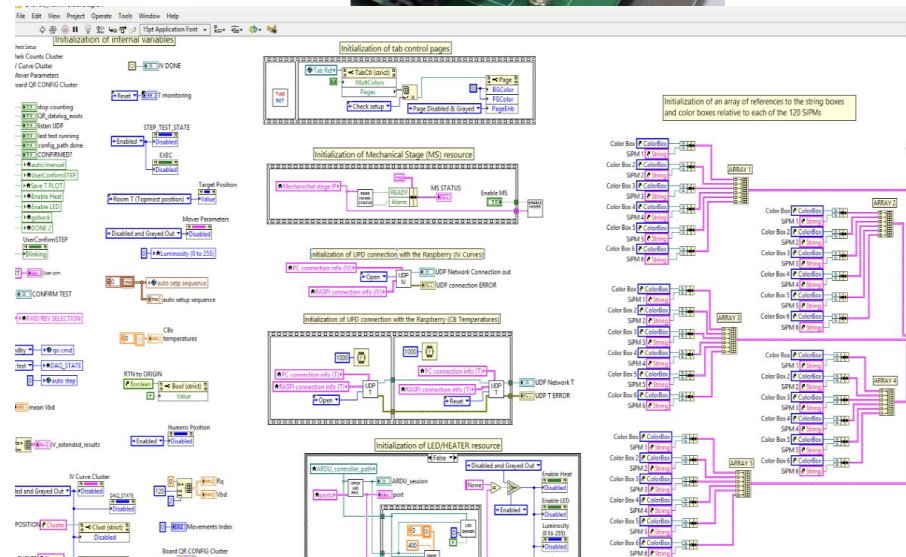
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.1
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.2
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.3
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.4
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.5
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.6
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.7
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.8
    SENDING TO RASPBERRY: SMU set 0.9
```

SOFTWARE



Panoramica componenti software / firmware pt 2:

- **Arduino — C**
 - Firmware C sull'Arduino per: **gain**, **ADC**, **DAC** della warm board
 - Codice ottimizzato e modificato per **CACTUS VD**
- **PC (server) — LabVIEW**
 - Applicazione LabVIEW per: **controllo movimentatore (posizione), comando/monitoring del Raspberry, invio setpoint di tensione alla SMU (per le curve I-V)**
 - **Rifacimento in corso:** modifica ampia che richiede tempo significativo



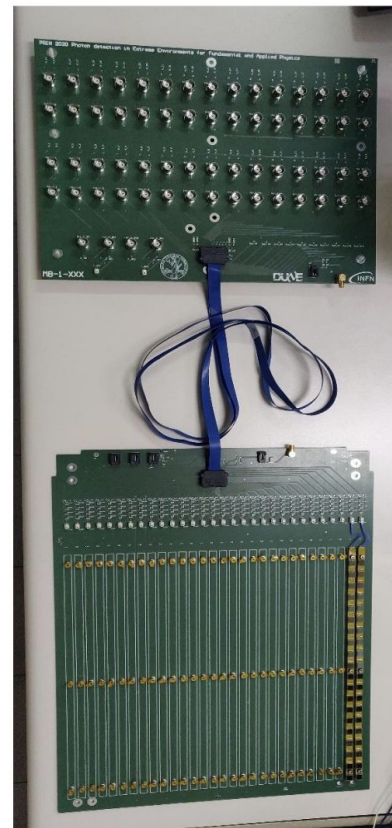
MISURE CON SCHEDA DI TEST

Obiettivo:

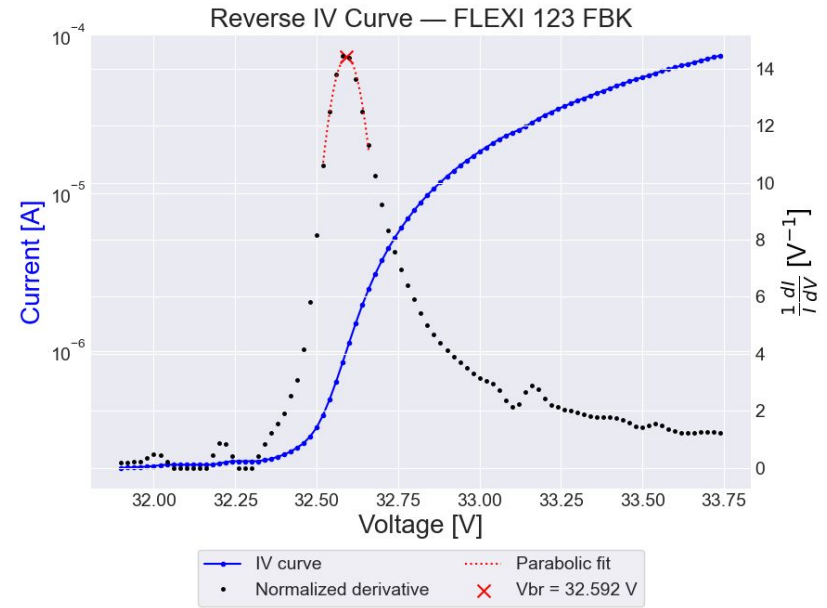
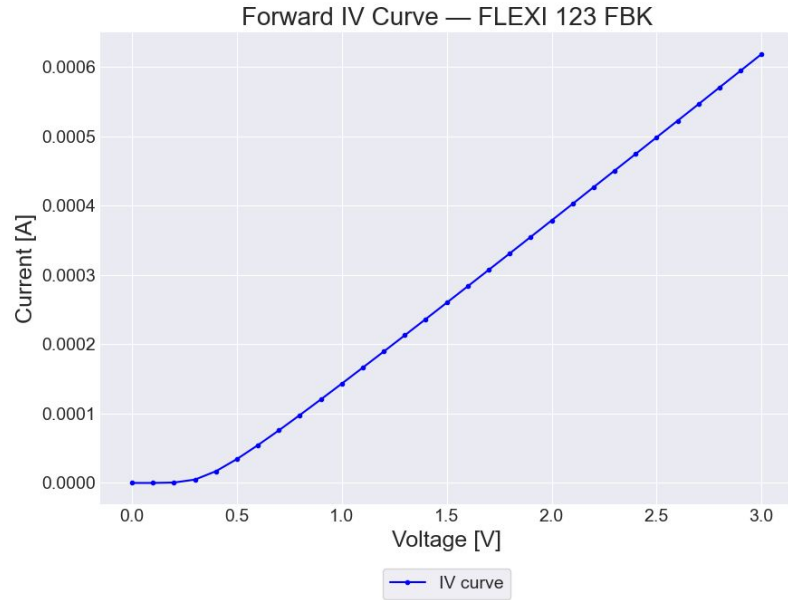
Verificare il **corretto funzionamento delle diverse componenti** del sistema, analizzando la loro **integrazione e comunicazione reciproca**, e **valutare i primi risultati sperimentali sui flexi**, da **confrontare con i dati ottenuti dal sistema CACTUS HD**.

Setup:

- **Scheda di test per i flexi**, di dimensione 340.11 mm×254.10 mm, presenta 64 connettori BNC utili alla connessioni di strumenti o flexi
- **Scheda a freddo** per l'installazione e la misura di **dei flexi**.
- **SMU** (Source Measure Unit) per l'esperimento **CACTUS**.
- **Codice MATLAB** dedicato al **controllo della SMU** e alla **registrazione automatica dei dati di misura**.

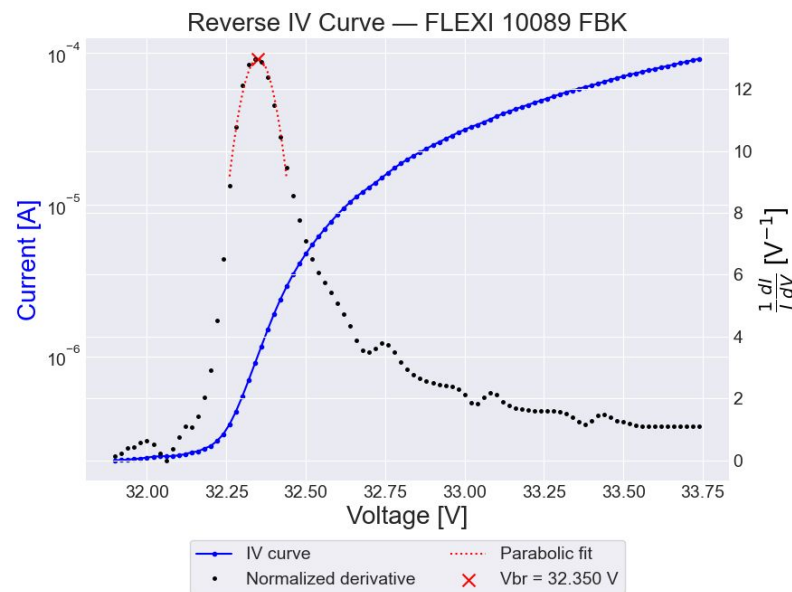
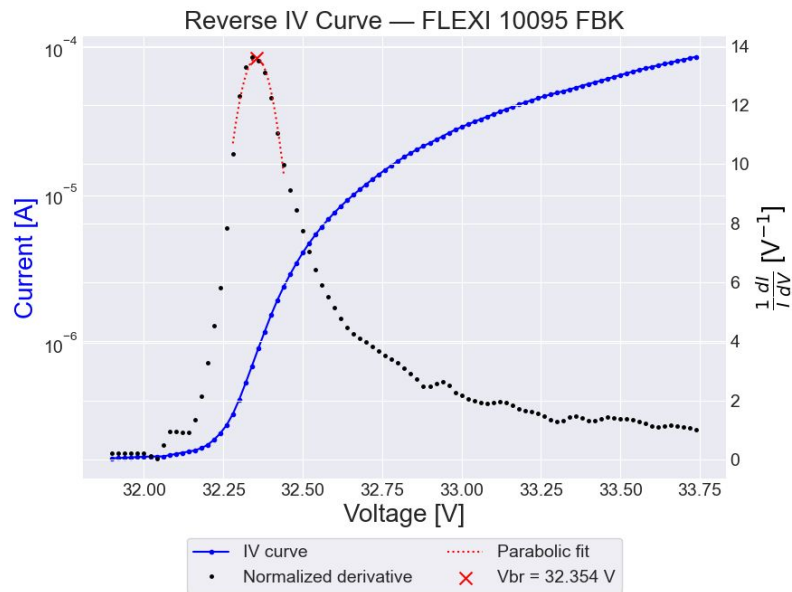


RISULTATI PRELIMINARI



- Le misure del flexi 123 FBK sono state prese a temperatura ambiente

RISULTATI PRELIMINARI



- Le misure dei due flexi 10095 e 10089 sono state prese a temperatura ambiente

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Back up slide

