

dRICH electronics integration and SiPM

Roberto Preghenella

INFN Bologna

activities involving BO, CS, CT, FE, SA, TO, TS

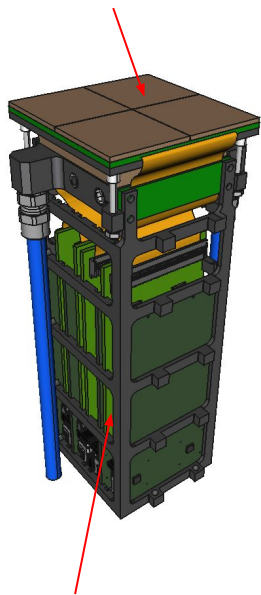
electronics integration

2024 test beam at CERN-PS

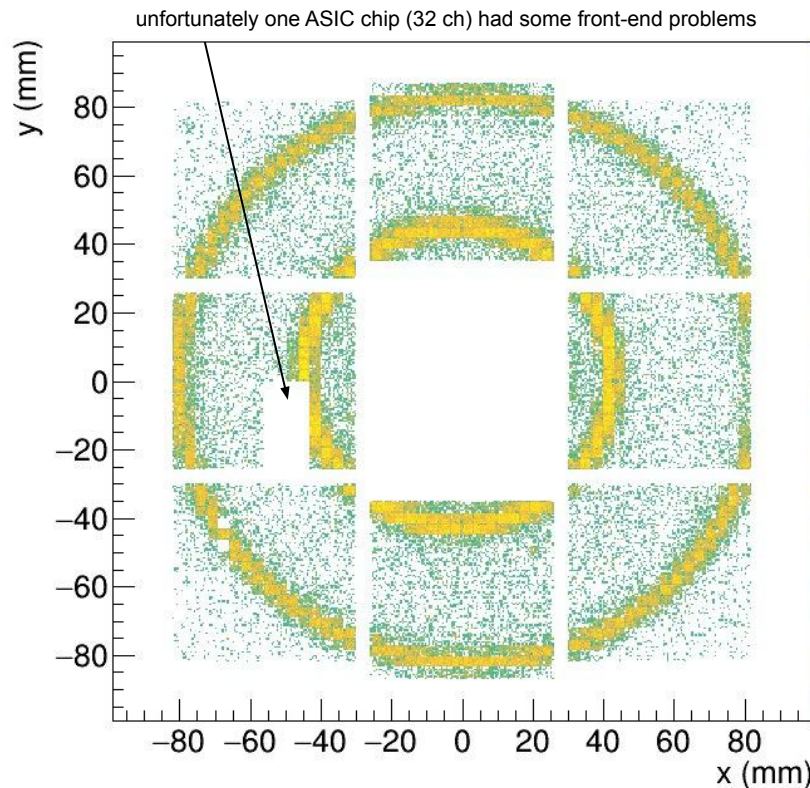
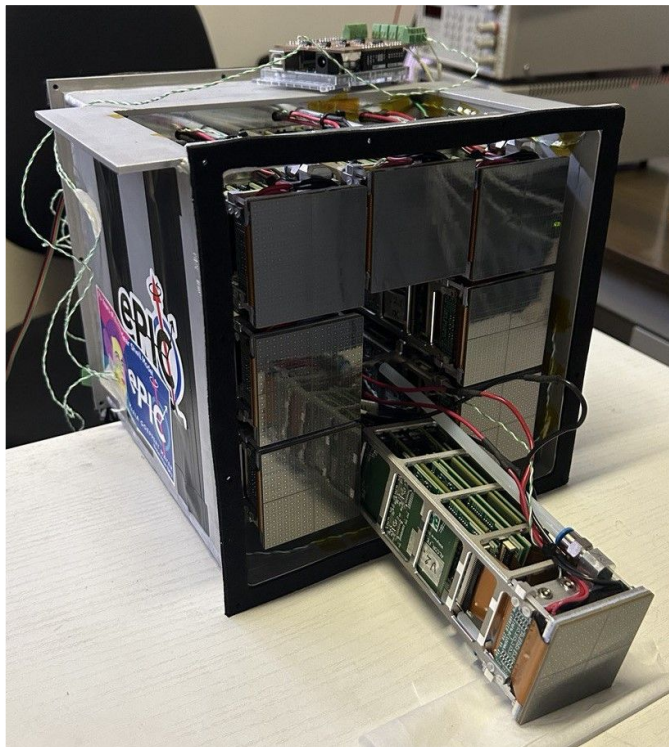
successful beam test with prototype v2 of the SiPM photodetector units (CERN-PS, ended on 5th June)

PDU

4x SiPM matrix arrays
(256 channels)



front-end electronics
(ALCOR ASIC inside)

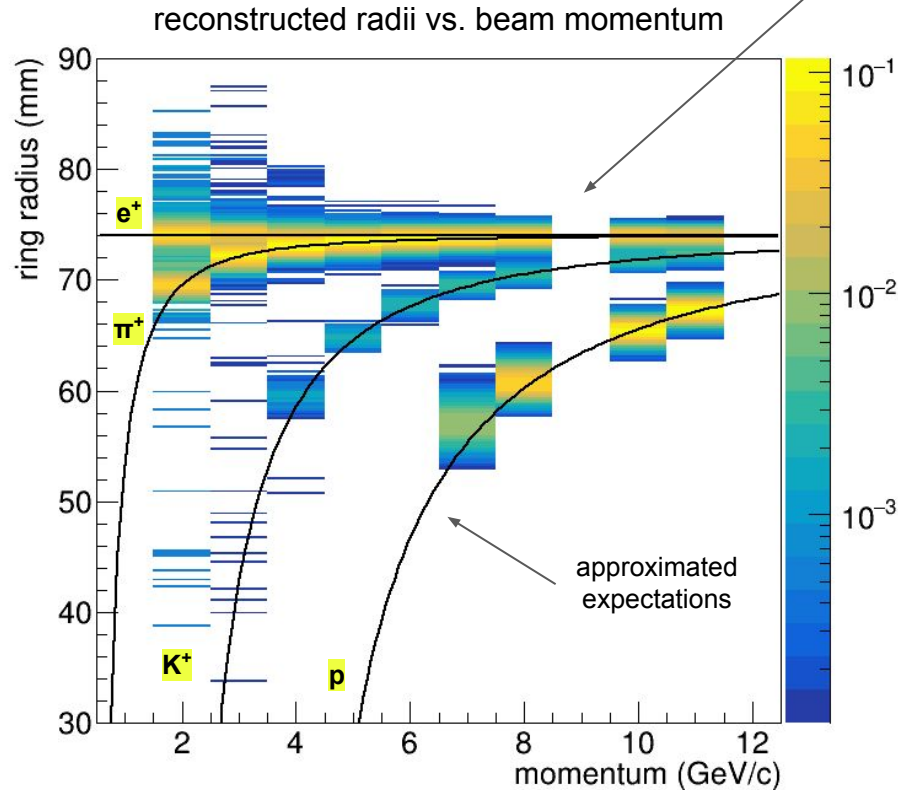


all the rest was rather full of photons
> 2000 SiPMs with TDC readout at work

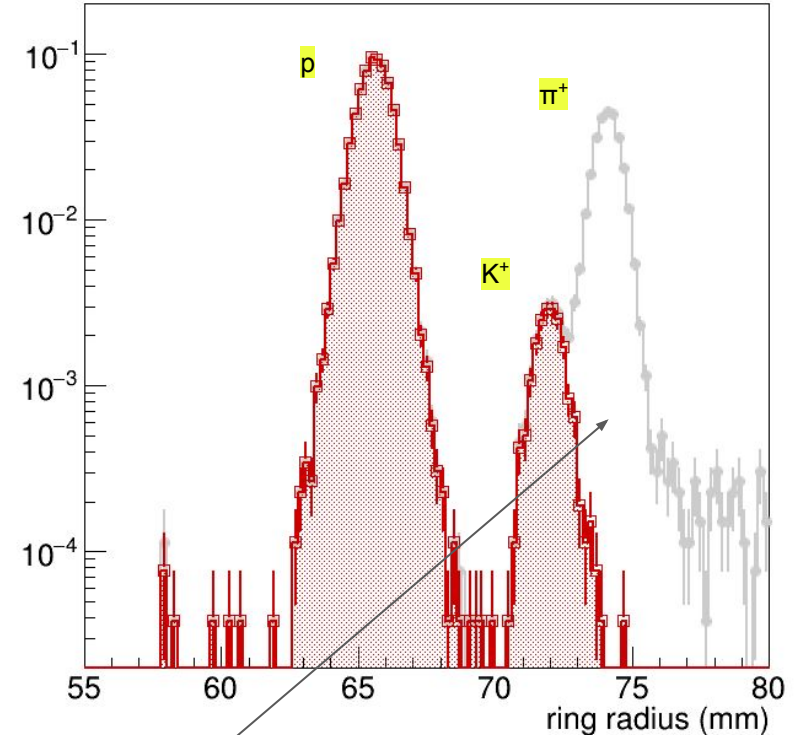
Beam momentum scan

positive particles, aerogel only

something went wrong with the
beam configuration for 9 GeV
(that's a pity, data seems not good)



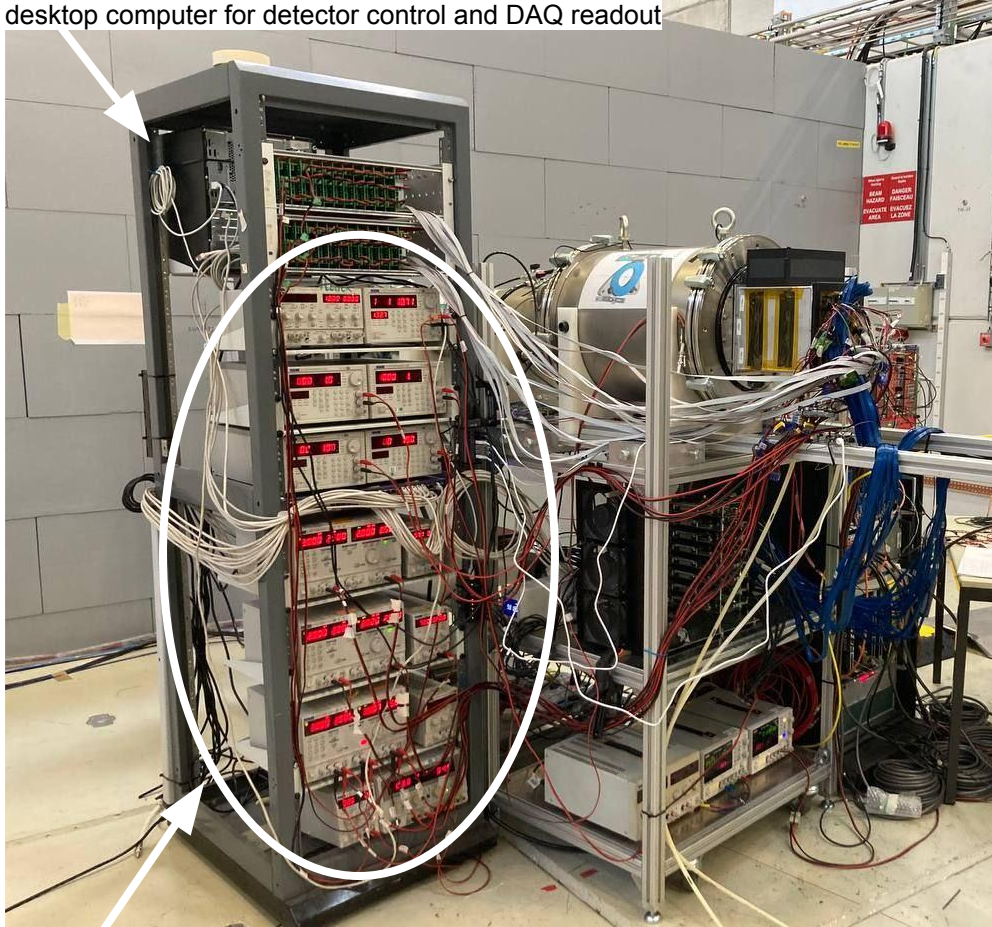
reconstructed ring radius at 10 GeV/c with gas veto



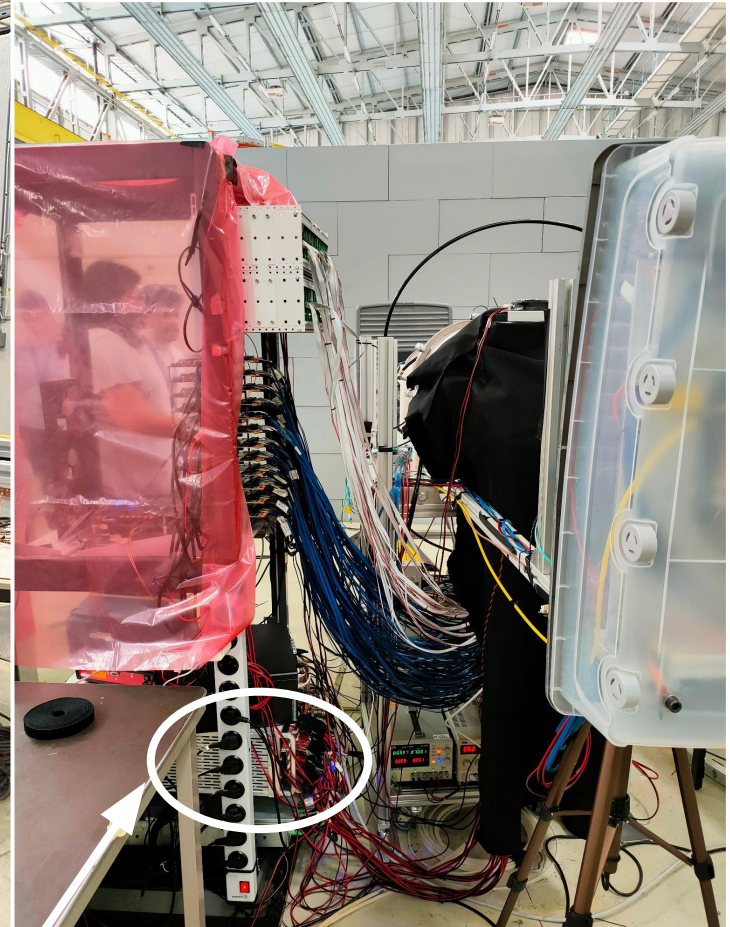
gas-ring veto removes pions, clean kaon identification at 10 GeV/c

Power supply and DAQ-computing needs

desktop computer for detector control and DAQ readout



many table-top power supplies in 2023



first test with rented CAEN power-supply units in 2024

Power supply system

richiesta di 9.5 kEUR su Inventario Bologna

- **nel test beam del 2024 è stato utilizzato**
 - un main-frame CAEN SY5527 preso in prestito dall'esperimento ALICE
 - PS booster noleggiato dal electronics-pool del CERN (conto pagato da ALICE)
 - schede per LV noleggiate dal electronics-pool del CERN (conto pagato da ALICE)
- **richieste nei preventivi 2025**
 - 1x Universal Multichannel Power Supply System CAEN SY5527
 - non assegnato
 - 1x 8 Channel 8 V/12 A Full Floating Channel Board CAEN A2551
 - 1x 8 Channel 16 V/6 A Full Floating Channel Board CAEN A2552
 - 1x 8 Channel 32 V/3 A Full Floating Channel Board CAEN A2553
- **richieste nei preventivi 2026**
 - 1x Universal Multichannel Power Supply System CAEN SY5527
 - si ribadisce necessità
 - 1x 8 Channel 64 V/1.5 A Full Floating Channel Board CAEN A2554
 - per SiPM HV, ora disponibile a catalogo

Fondamentale disporre localmente di un sistema di alimentazione orientato ai requisiti sperimentali per sviluppare, testare e fare il debug dell'integrazione e dell'alimentazione di tutto il sistema. Abbiamo riscontrato qualche piccolo problema di rumore durante il test su fascio.

Computer system per DAQ, readout e sincronizzazione

richiesta di 18 kEUR su Inventario Bologna

- **nel test beam del 2024**

- utilizzato un sistema DAQ basato su interfacce e cavi Ethernet standard
- computer e generatore di impulsi in prestito per l'acquisizione dati e sincronizzazione del sistema
- fatta molta fatica con lo storage dei dati durante il test beam e tuttora è un po' complesso accesso per analisi

- **richieste nei preventivi 2025**

- generatore di impulsi Aim-TTi TGP3152 → non assegnato
- scheda GPU NVIDIA L4 per ricostruzione parallela e analisi dati dRICH → non assegnato
- server bi-processore prestazionale con SFP ottici per DAQ → non assegnato

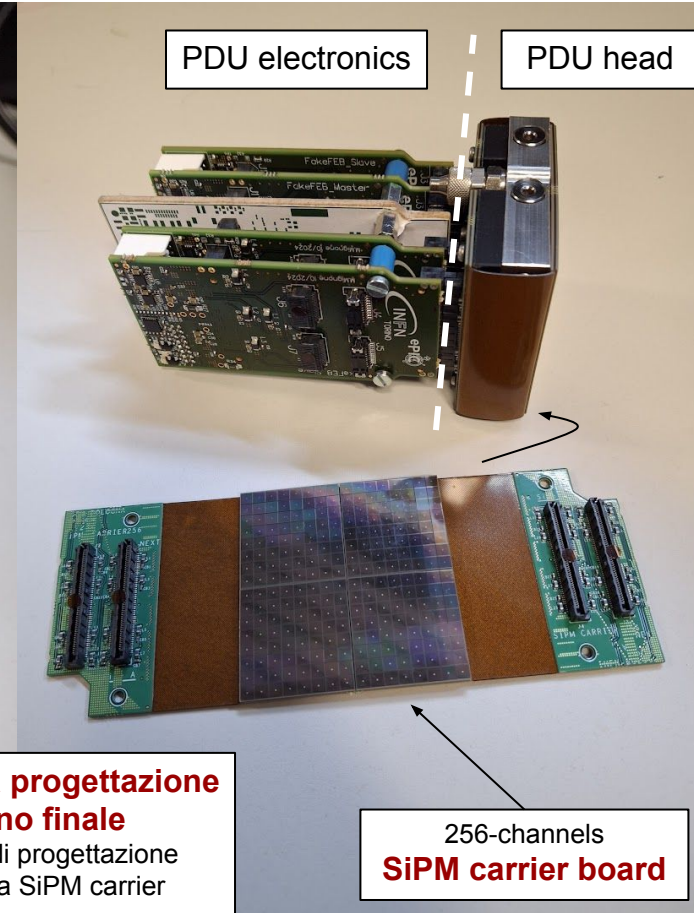
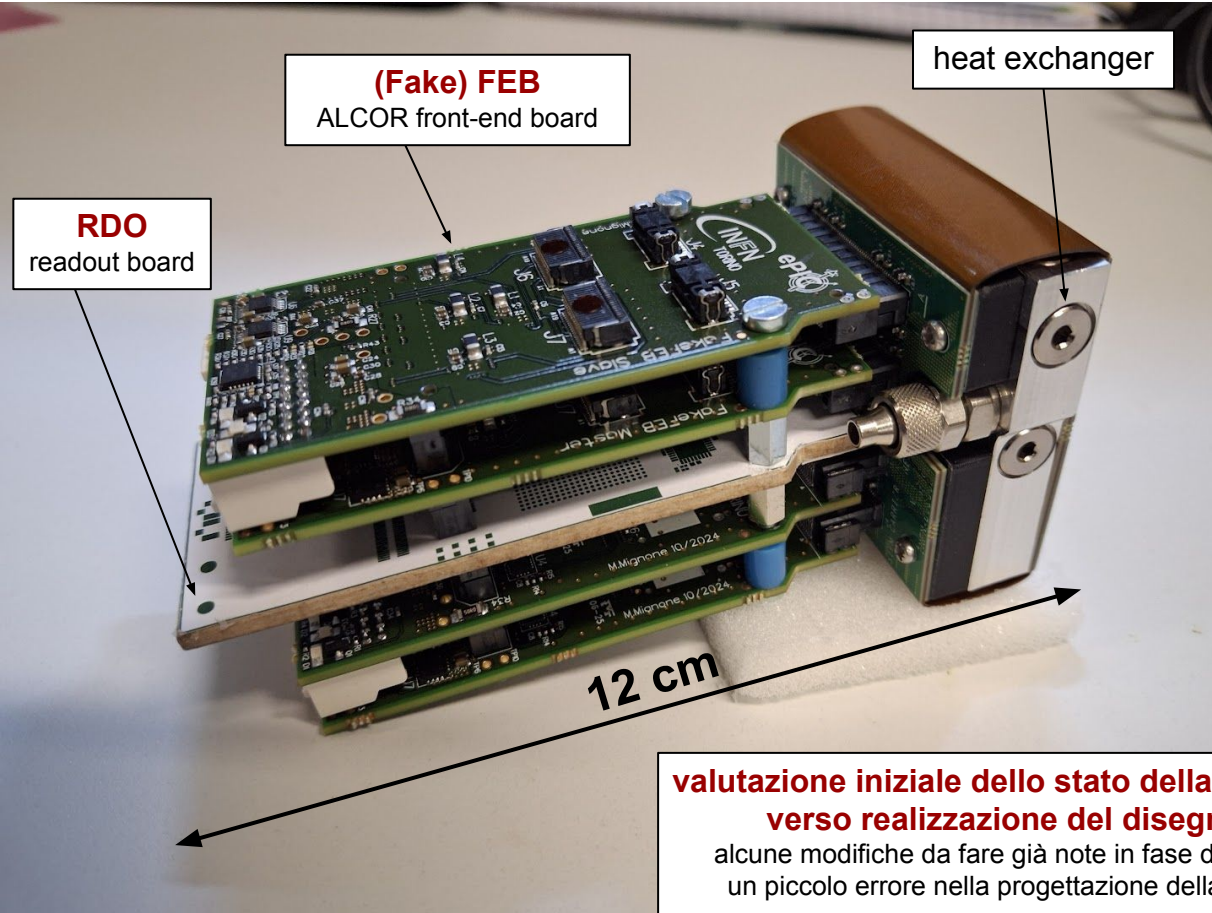
- **richieste nei preventivi 2026**

- generatore di impulsi Aim-TTi TGP3152 → si ribadisce necessità
 - fondamentale per la sincronizzazione del sistema di readout
- server bi-processore prestazionale con SFP ottici per DAQ → si ribadisce necessità
 - fondamentale per la lettura ad alte prestazioni delle schede RDO via fibra ottica con interfaccia SFP
- dischi per storage aggiuntivo di 10 TB in configurazione RAID5 → nuova necessità
 - fondamentale per salvataggio dati test beam garantendo la sicurezza dei dati salvati e rapido accesso per l'analisi
- scheda GPU NVIDIA L4 per ricostruzione parallela e analisi dati dRICH → si ribadisce richiesta
 - richiesta per migliorare prestazioni di analisi dati che possono beneficiare di accelerazione GPU

Questo sistema è **necessario per i test beam** del dRICH (presa dati e analisi offline), e per il continuo sviluppo in laboratorio del **firmware e dei sistemi di acquisizione RDO**. La facility di calcolo supporterà inoltre la nuova attività su **streaming readout per calibrazione online**, che beneficia della GPU anche per tecniche AI/ML

PDU in direzione della versione finale

Disegno in stato avanzato, prototipi in produzione e inizio prime prove di integrazione e assemblaggio



Pre-produzione di 10 PDU complete

Disegno finale dei vari componenti della PDU completato nel 2026, pre-produzione e verifica integrazione

- **componenti base per la pre-produzione di 10 PDU**

- 10x SiPM carrier boards
 - ognuna equipaggiata con 4 matrici SiPM da 64 canali ciascuna
- 10x piastre scambiatore di calore per raffreddamento SiPM con fluido
 - utilizzate anche per il processo di annealing
 - inclusa ferramenta, raccordi e tubazioni necessarie
- 40x schede FEB ALCOR front-end boards
 - ognuna equipaggiata con con 1 chip ALCOR-64
- 10x schede RDO readout boards
 - ognuna equipaggiata con 2 FPGA e un transceiver ottico VTRX+
- materiali, componenti e cavi
 - necessari per l'assemblaggio e il collaudo delle 10 PDU

- **richiesta di 81 kEUR su Apparati suddivisa in**

- 45 kEUR su Bologna per 10x SiPM Head (carrier e piastra scambiatore) e materiali assemblaggio
- 16 kEUR su Bologna per 10x schede RDO
- 20 kEUR su Torino per 40x schede FEB ALCOR-64

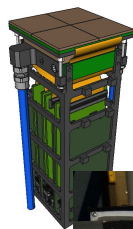
- **operazioni di pre-produzione, assemblaggio e collaudo fondamentali per**

- verificare prima della produzione di massa che tutti i componenti e i materiali siano adeguati
- iniziare a definire i protocolli di costruzione e di controllo qualità
- valutare le capacità delle aziende e definire le necessità per la produzione di massa
 - spazi, armadi, banchi di lavoro, strumentazione, ...

from the first prototype

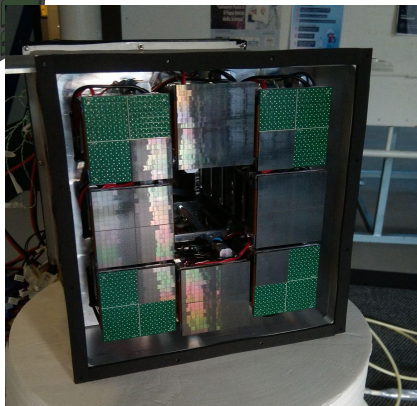
2022

electronics v1



2023

electronics v2

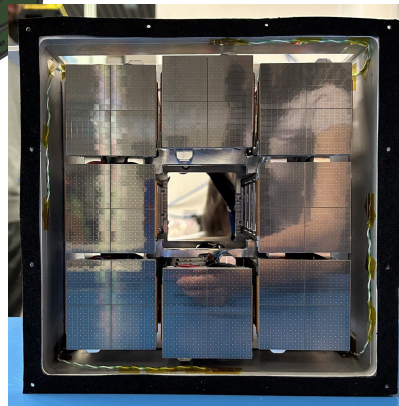


towards detector construction



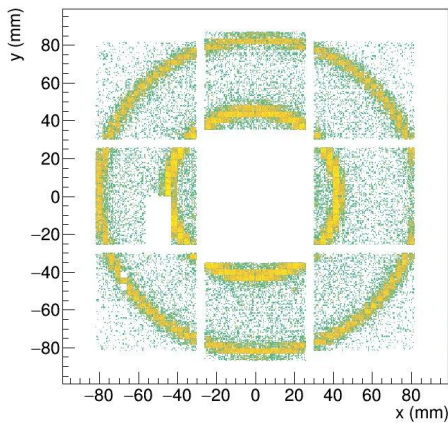
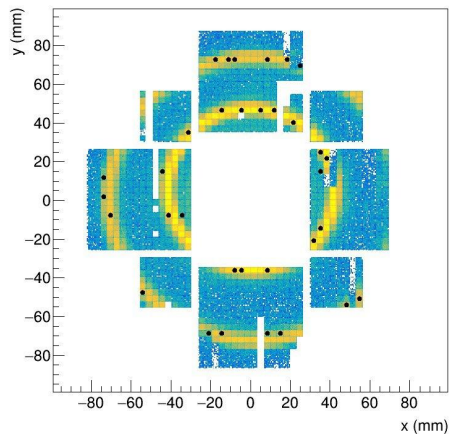
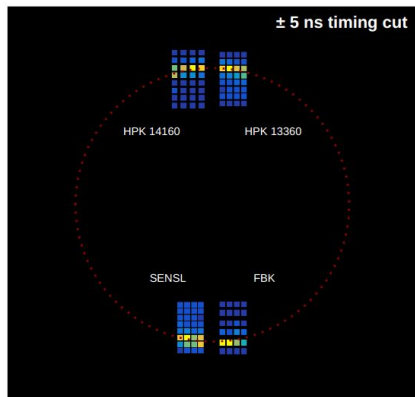
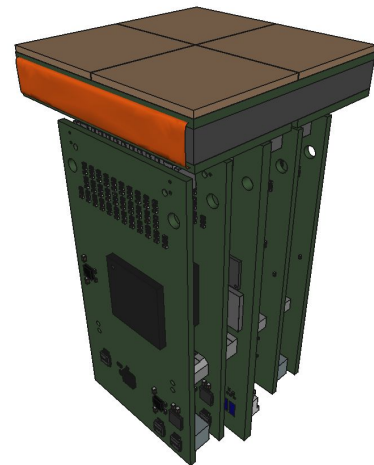
2024

electronics v2.1



2025

electronics v3
final prototype

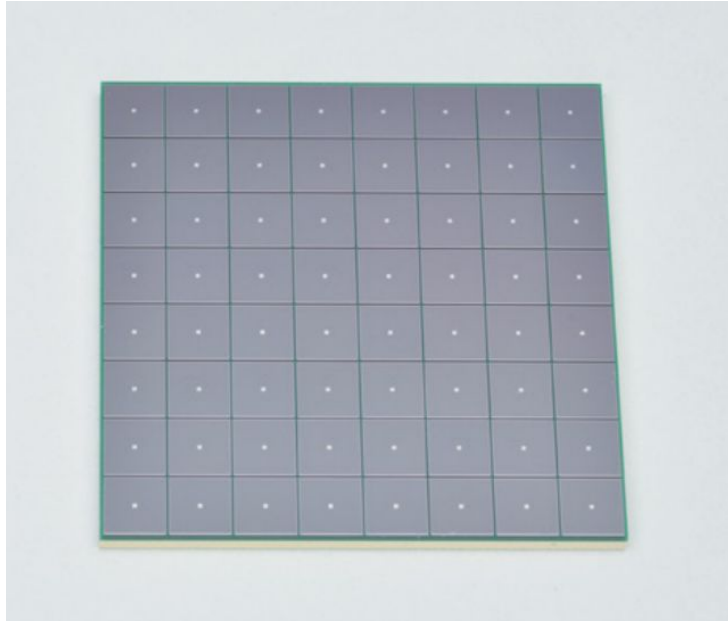


SiPM procurement
might start next year

SiPM sensors

Technical Specifications

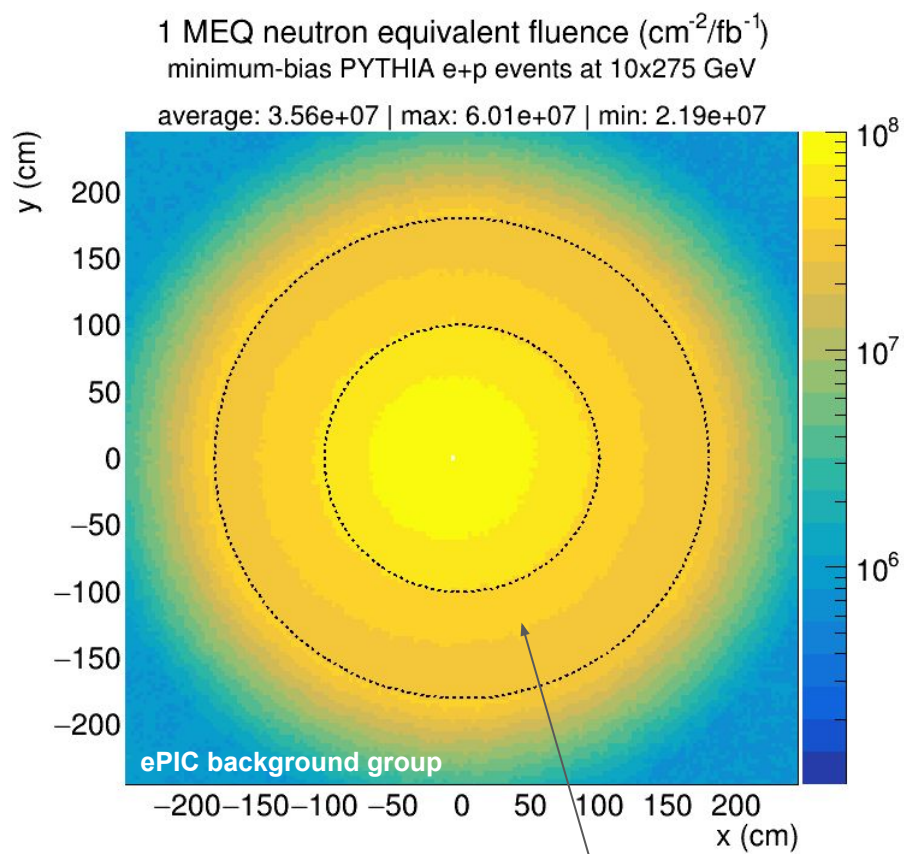
- **SiPM sensors**
 - $\sim 3 \text{ m}^2$ total surface
 - $3 \times 3 \text{ mm}^2$ pixel
- **baseline device**
 - 64 (8x8) channel SiPM array



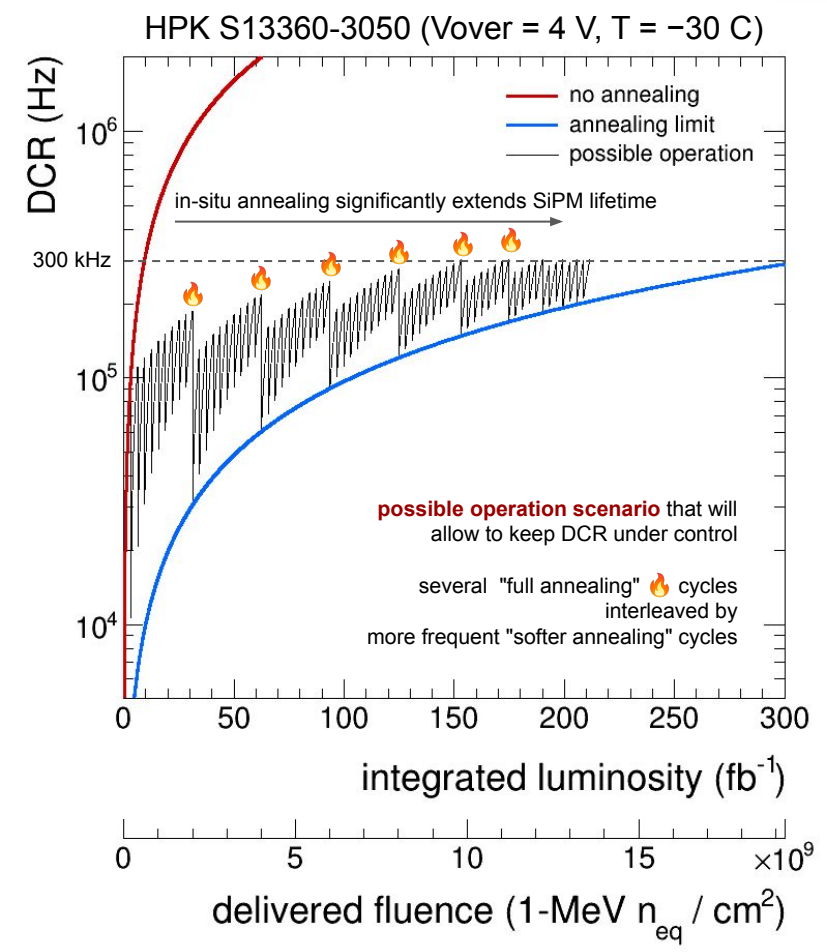
Parameter	Value	Notes
Package type	SiPM array	
Package dimension	$< 26 \times 26 \text{ cm}^2$	
Mounting technology	surface mount	
Number of channels	64	
Matrix layout	8×8	
Channel size	$3 \times 3 \text{ mm}^2$	
Fraction of active area in package	$> 85\%$	
Microcell pitch	$50 - 75 \mu\text{m}$	
Protective window material	silicone resin	radiation & heat resistant
Protective window refractive index	1.55 - 1.57	
Spectral response range	300 to 900 nm	
Peak sensitivity wavelength (λ_{peak})	400 - 450 nm	
Photon detection efficiency at λ_{peak}	$> 40\%$	
Breakdown voltage (V_{break})	$< 60 \text{ V}$	
Operating overvoltage (V_{over})	$< 5 \text{ V}$	
Operative voltage (V_{op})	$< 64 \text{ V}$	
Max V_{op} variation between channels	$< 100 \text{ mV}$	at $T = -30^\circ\text{C}$
Channel dark count rate (DCR)	$< 50 \text{ kHz}$	
DCR at $T = -30^\circ\text{C}$	$< 5 \text{ kHz}$	at $T = -30^\circ\text{C}$
DCR increase with radiation damage	$< 500 \text{ kHz}/10^9 n_{\text{eq}}$	at $T = -30^\circ\text{C}$
Residual DCR after annealing	$< 50 \text{ kHz}/10^9 n_{\text{eq}}$	at $T = -30^\circ\text{C}$
Terminal capacitance	$< 500 \text{ pF}$	
Gain	$> 1.5 \cdot 10^6$	
Recharge time constant (τ)	$< 100 \text{ ns}$	
Crosstalk (CT)	$< 5\%$	
Afterpulsing (AP)	$< 5\%$	
Operating temperature range	-40 to 25°C	
Single photon time resolution (SPTR)	$< 200 \text{ ps FWHM}$	

Table 8.5: Baseline specifications of the SiPM sensor devices for the dRICH photodetector. All parameters are defined at room temperature ($T = 25^\circ\text{C}$) and at the operating voltage V_{op} , unless otherwise specified.

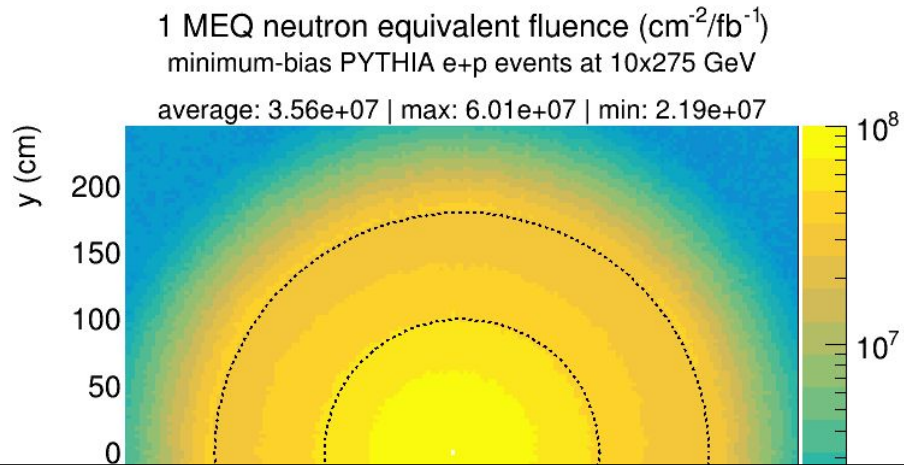
Radiation Level Estimates Update



max fluence = $6.38 \cdot 10^7 \text{ neq}/\text{fb}^{-1}$ at the location of dRICH photosensors

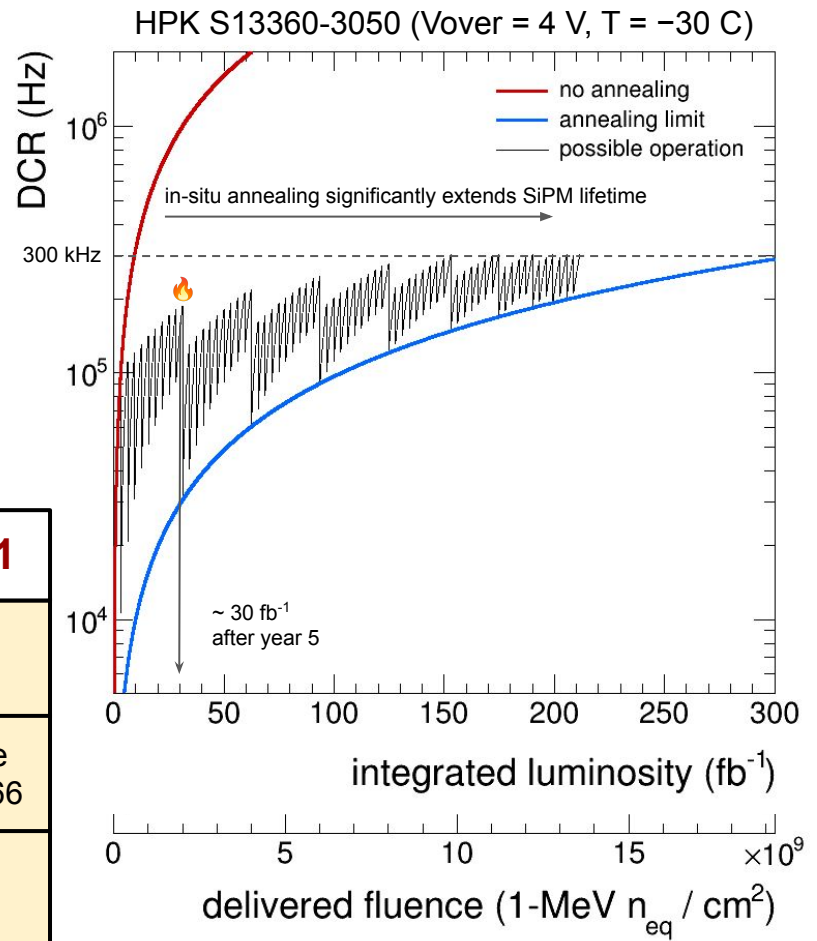


Radiation Level Estimates Update

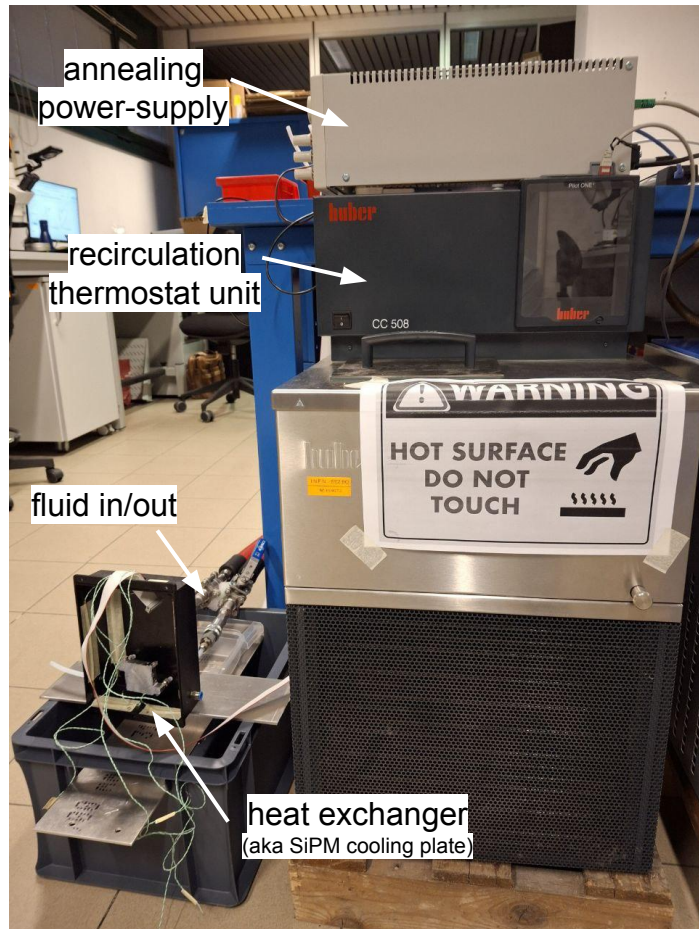


possible scenario for first 5 years of EIC Phase-1

Year	1	2	3	4	5
Beams (GeV)	e^- Ru 10 x 115	e^- d 10 x 130	e^- p 10 x 130	e^- Au 10 x 100	e^- ^3He 10 x 166
$\int$ Lumi (fb^{-1})	0.9	11.4	5.33	0.84	8.65



Fluid-Assisted Online Self-Annealing Process

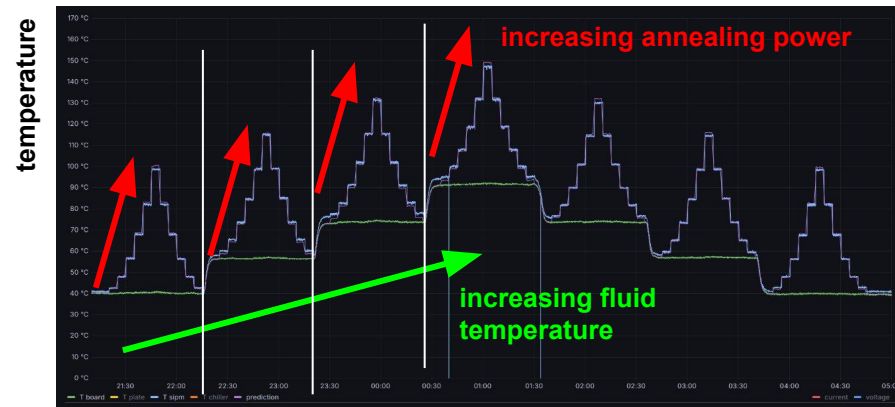


new dedicated laboratory test-stand

fluid-based (silicone) circulating thermostat system
keep the SiPM PCB board at a controlled temperature
cooling (-55 C) and heating (105 C) mode possible
while delivering forward-bias current for annealing

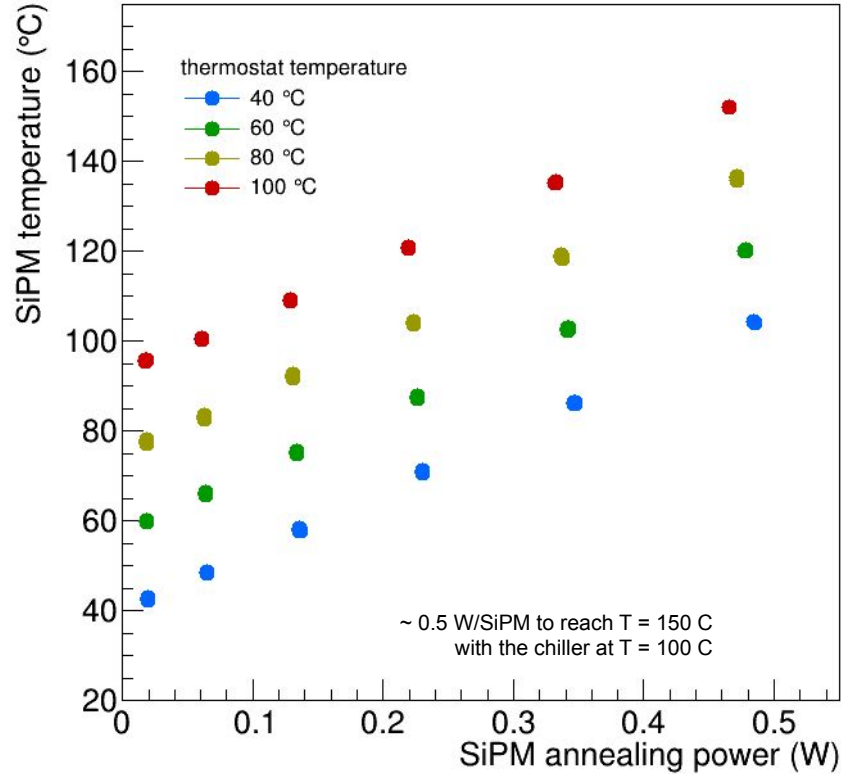
SiPM temperature measurements as function of

- circulating-fluid temperature
- annealing power

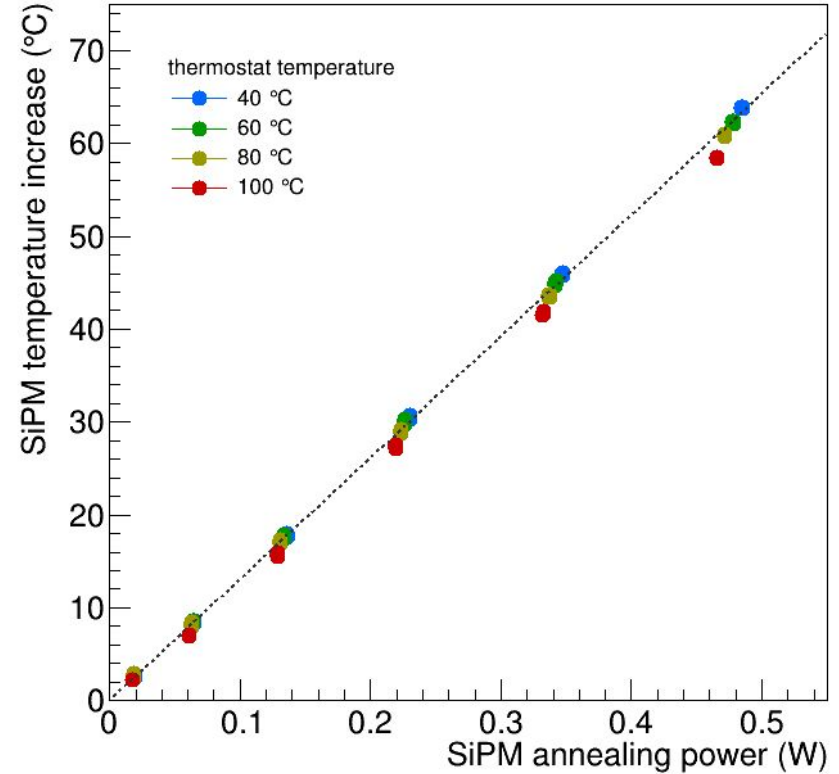


Forward-Bias Annealing Control

SiPM temperature increases proportionally to annealing power



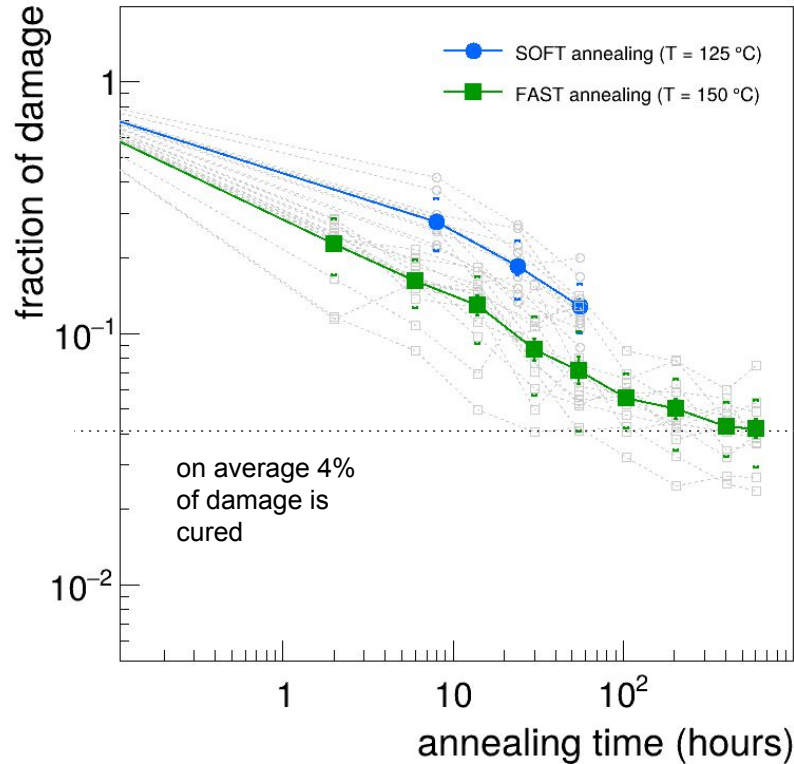
constant increase wrt. the temperature of the PCB board



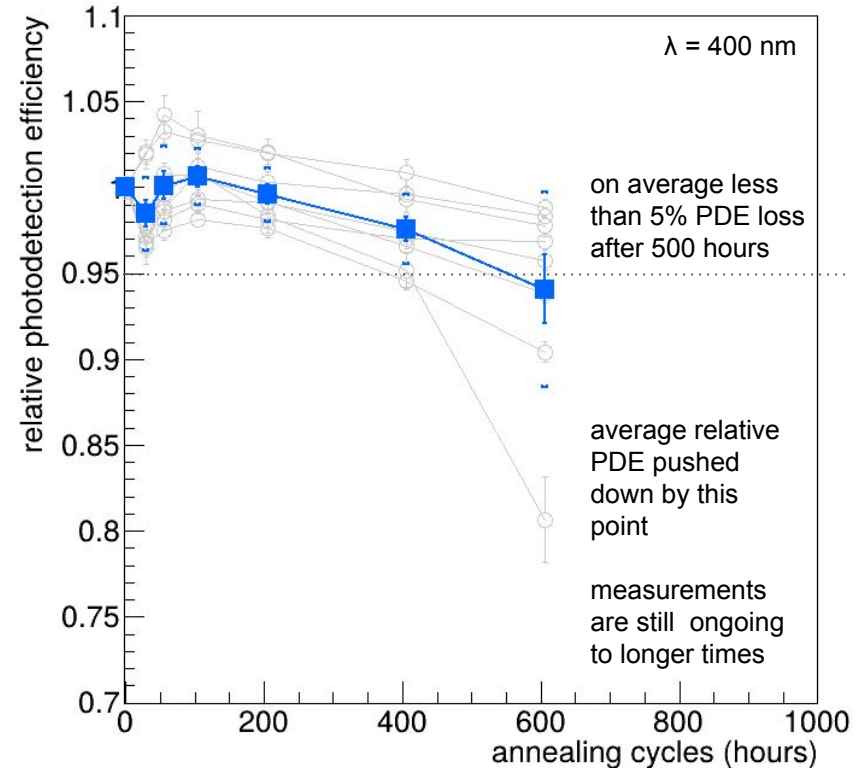
measure temperature of the PCB board (we have 4 NTC temperature sensors) and the amount of annealing power → predict the SiPM temperature

Results using the simplified-but-realistic annealing setup

fraction of damage decreases with annealing integrate time
these data will be instrumental to refine the SiPM ageing model



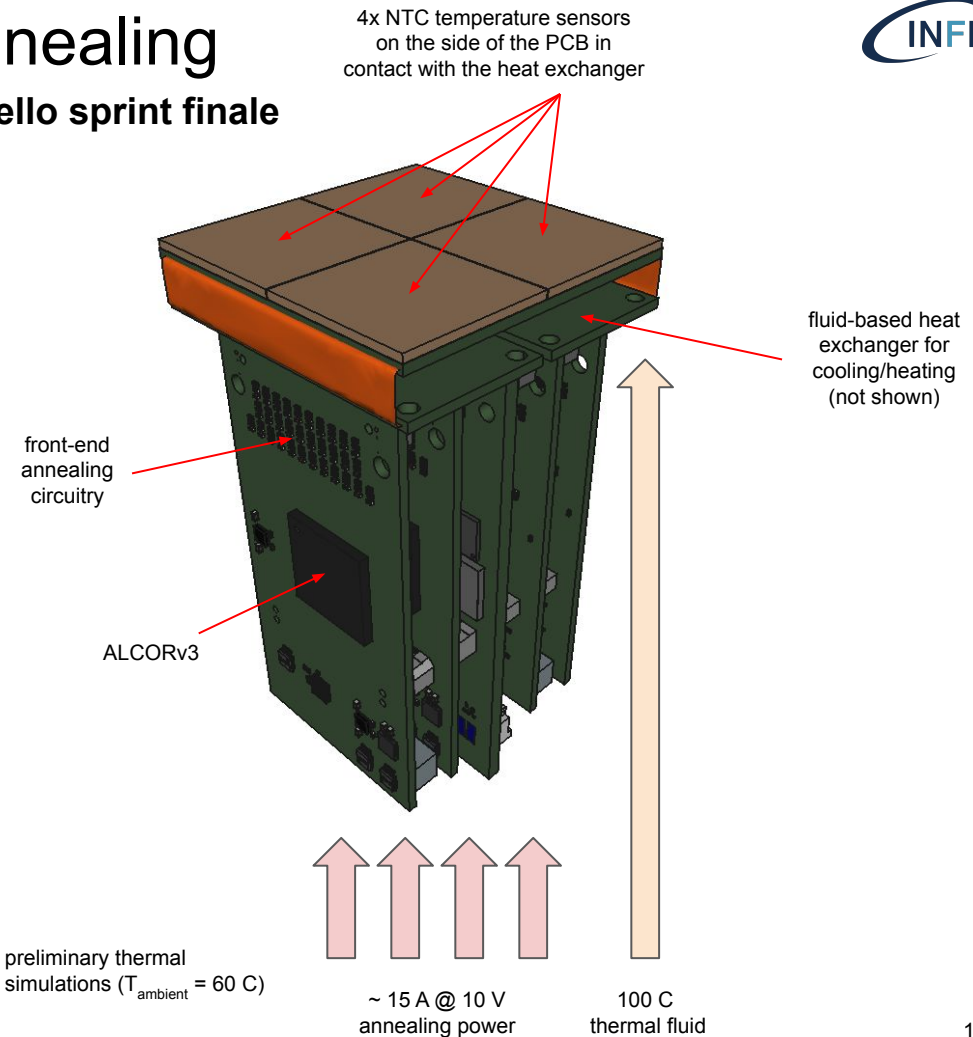
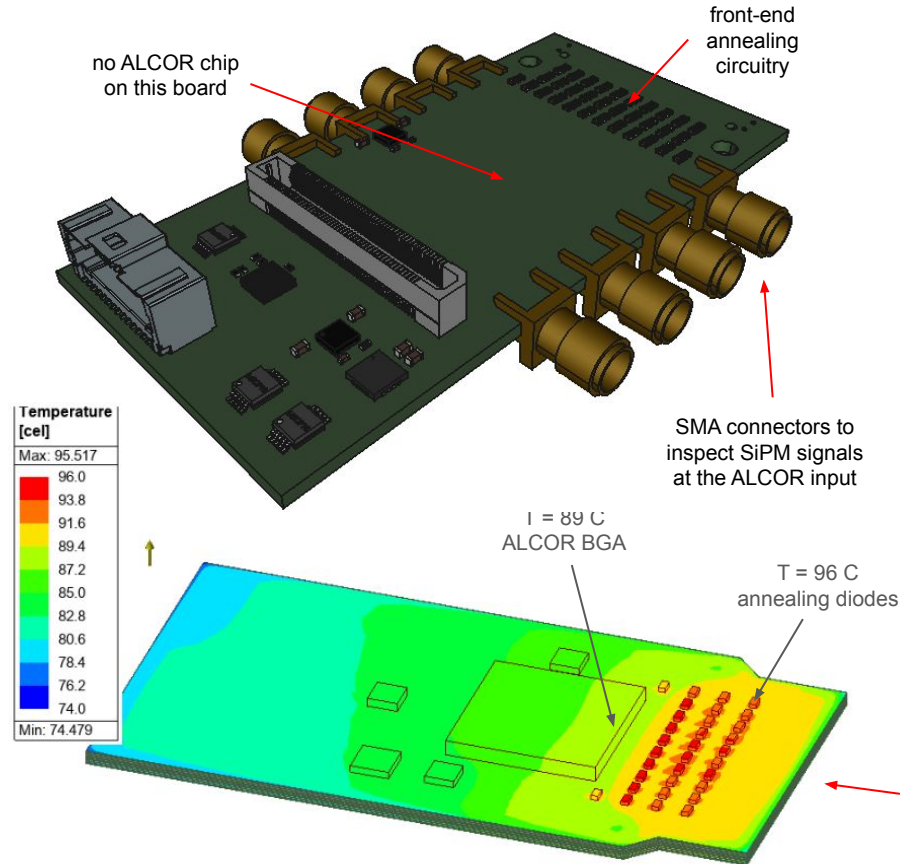
SiPM sensors can detect light without significant efficiency losses
up to 500 annealing hours, hint of PDE decrease after that



forward-bias annealing done under realistic conditions in a dry (air) closed box, performance measurements done in the climatic chamber at $T = -30^\circ\text{C}$

Final PDU engineering and annealing

Necessità di produrre schede ad-hoc a supporto dello sprint finale



Ottimizzazione delle prestazioni dei fotorivelatori

- **misure delle prestazioni temporali**

- sono state già mostrate in passato (backup slide)
- migliore risoluzione con le celle SPAD (Single-Photon Avalanche Diodes) da 75 μm rispetto a 50 μm
 - buona già a bassi valori di over-voltage
 - possibile migliorare con la prossima versione ALCOR-v3 (larger bandwidth)

- **misura delle prestazioni DCR vs. PDE**

- i sensori Hamamatsu tipo S13360 sono chiaramente superiori dei sensori S14160 (backup slide)
- anche qui le prestazioni sono migliori nei sensori con SPAD da 75 μm rispetto a 50 μm (backup slide)
 - anche dopo irraggiamento & annealing

- **misure da test su fascio**

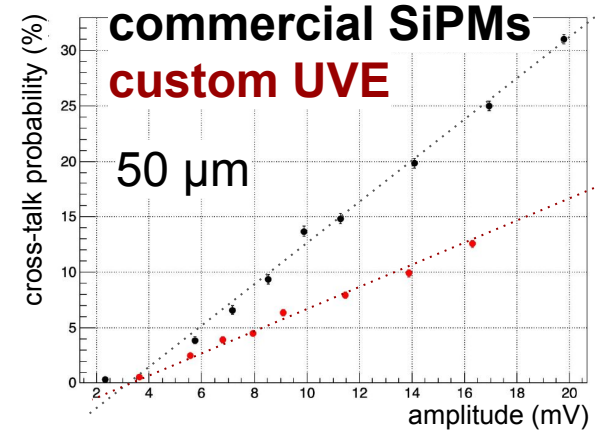
- conferma anche con luce Cherenkov che i sensori con SPAD da 75 μm rivelano più luce (backup slide)

- **nuovi sensori Hamamatsu UV-enhanced (UVE)**

- promettono tempo di ricarica più rapido
- maggiore efficienza di rivelazione
 - test su fascio e valutazioni finali entro la fine del 2025

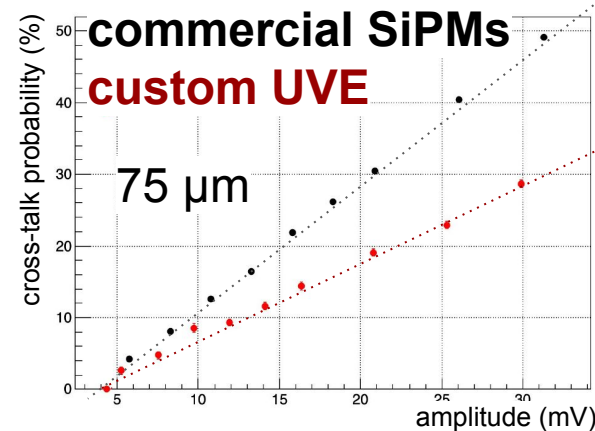
Hamamatsu UV-Enhanced SiPM characterisation

Risultati preliminari promettenti dai sensori custom acquistati



a parità di ampiezza
del segnale
la **probabilità di
cross-talk è
significativamente
più bassa**

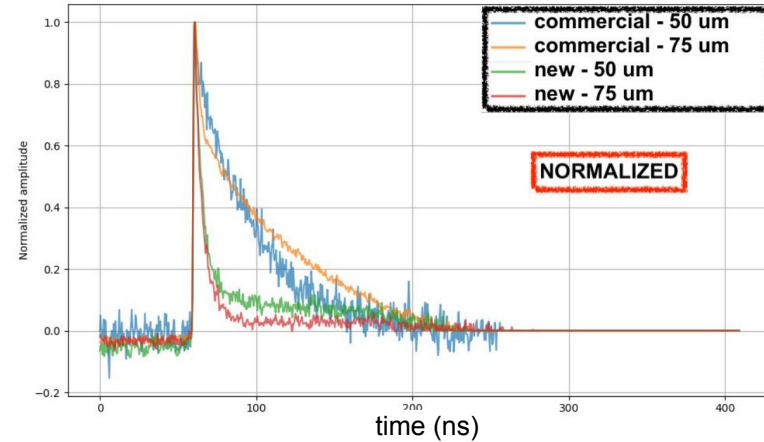
sia per i sensori con SPAD da 50 μm che da 75 μm



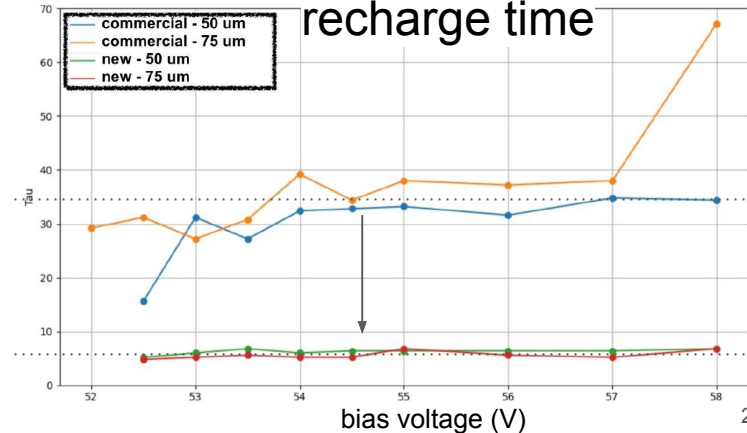
**ricarica del segnale
significativamente
più rapida (~5x),
minore probabilità di
pile-up dei segnali**

misure di PDE vs DCR in corso

normalised waveforms



recharge time



Acquisto matrici SiPM per apparati

Alcune informazioni, stime e assunzioni di base

- **recente preventivo informale Hamamatsu**

- singolo ordine di 6000 matrici SiPM, costo di ~ 250 EUR (+IVA) a matrice
 - totale 1500 kEUR (+IVA)
- spezzare ordine in due è possibile, ma costa ~ 50 EUR (+IVA) in più a matrice
 - da evitare se possibile
- scenario baseline è unico ordine con produzione Hamamatsu su due anni (6-9 + 15 mesi)
 - 6-9 mesi lead time dall'ordine per la prima consegna
 - 15 mesi di produzione sensori (consegne con frequenza di 400 matrici / mese)
 - previste fatture da 100 kEUR (+IVA) ogni mese dopo prima consegna

- **si prevede IVA non imponibile**

- ai sensi dell'art. 8 lett. a) del DPR 633/1972 per consegna finale negli USA
- verosimile richiedere delibera di Giunta con questa formulazione (da verificare)

- **incentivi per le funzioni tecniche**

- ex art. 45 del d.lgs. n. 36/2023
- fino al 2% dell'importo posto a base di gara
- previsti fino a 30 kEUR

TOTALE previsto 1530 kEUR

se bisogna pagare IVA al 22% bisogna aggiungere 330 kEUR

note importanti: i prezzi Hamamatsu sono legati al cambio EUR-JPY e possono variare con esso
inoltre è vero in generale che i costi di strumentazione e dispositivi sono in continuo aumento

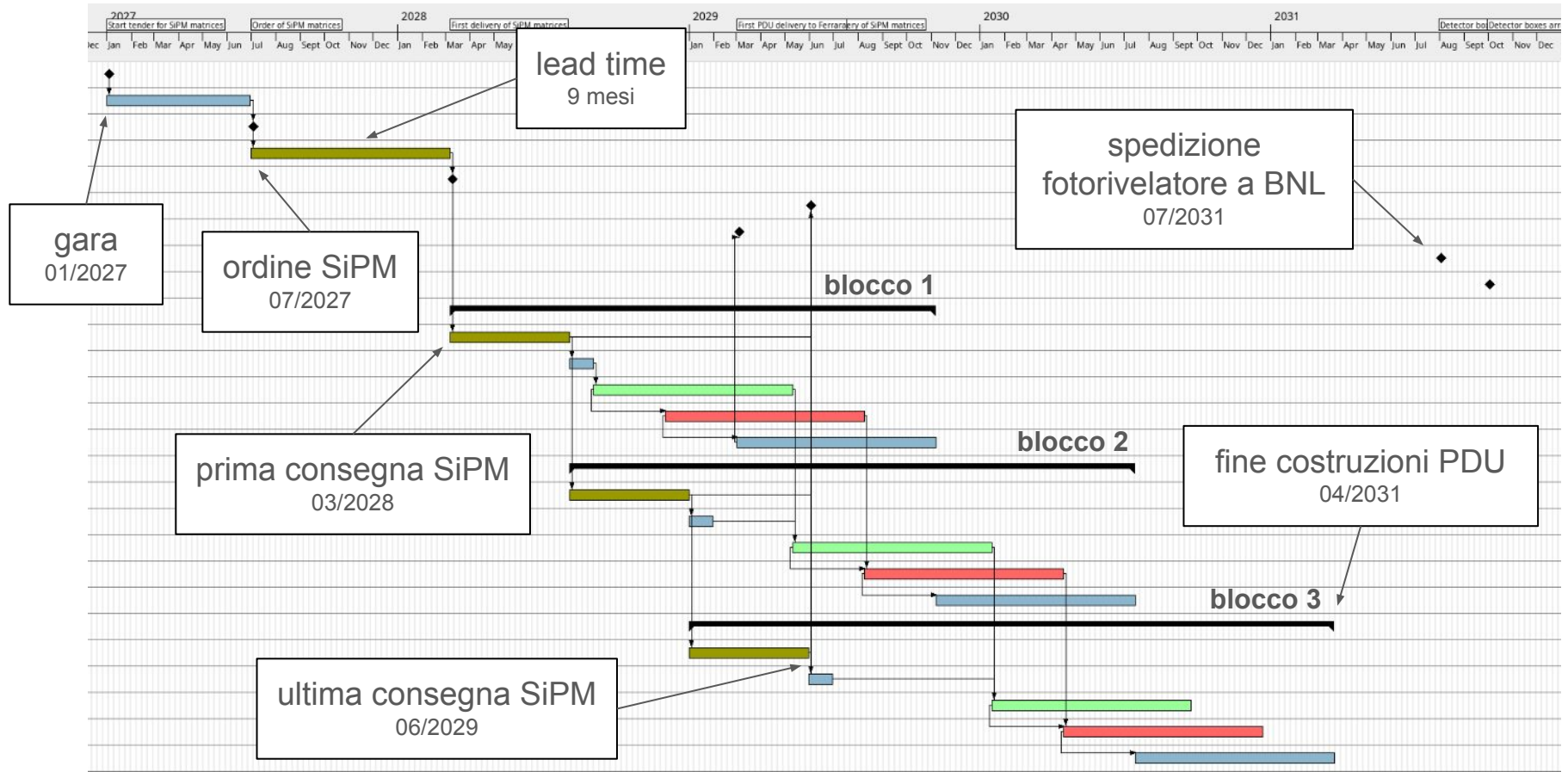
Acquisto matrici SiPM per apparati

Constraint temporali per costruzione e scelte per rispettare la timeline

- **installazione dRICH a ottobre 2032 dentro esperimento ePIC**
 - assemblaggio finale e commissioning del rivelatore dRICH avverrà a BNL
 - box con i fotorivelatori assemblate a Ferrara da spedire entro luglio 2031
 - ultima consegna PDU assemblate a Bologna non oltre marzo/aprile 2031
- **costruzioni PDU su arco temporale di 2.5 anni**
 - 2 anni di assemblaggio quando la pipeline è piena
 - in più serve buffer di 3 mesi prima e 3 mesi dopo per la quality assurance di
 - materiali e componenti in ingresso (matrici SiPM, ...)
 - materiali e componenti in uscita (le PDU)
 - iniziare costruzioni non oltre settembre 2028
- **dividere le costruzioni PDU in 3 blocchi**
 - costruzioni PDU necessitano dell'assemblaggio delle SiPM carrier boards
 - che necessitano delle matrici SiPM
 - aspettare la fine della fornitura SiPM di Hamamatsu causerebbe molto ritardo (450 giorni)
 - per rispettare timeline significherebbe prima fornitura SiPM a giugno 2027
 - significherebbe profilo di finanziamento su 3 anni (invece di 4 anni) 2026, 2027 e 2028
 - ordine a fine 2026 e gara a metà 2026 (possibile, ma non necessario)
 - integrare 1/3 dei sensori per primo blocco produzione SiPM carrier boards (150 giorni)
 - permette di posticipare la prima fornitura SiPM a marzo 2028

Acquisto matrici SiPM per apparati

GANTT costruzione PDU assumendo limite massimo per inizio costruzioni con 3 blocchi di produzione



Acquisto matrici SiPM per apparati

Profilo richieste di assegnazioni per gli anni 2026, 2027, 2028 e 2029

- **minimo per soddisfare la timeline della costruzione**

- si richiede un profilo di finanziamento SiPM come segue
 - 300, 500, 500, 200 kEUR negli anni 2026, 2027, 2028 e 2029
 - oltre a 30 kEUR per incentivi funzioni tecniche
- necessità di integrare fondi per almeno 1 MEUR nelle assegnazioni degli anni 2026, 2027 e 2028
 - pagamento di 10 fatture Hamamatsu da 100 kEUR ciascuna nel 2028 = 1 MEUR
 - ulteriori fatture Hamamatsu da pagarsi nel 2029 per i rimanenti 500 kEUR

- **baseline per gara matrici SiPM a inizio 2027**

- delibera di giunta per indizione di gara con questa possibile formulazione
 - per la fornitura è stimata una spesa di € 1.500.000,00
 - oltre a € 30.000,00 di incentivi per le funzioni tecniche
 - IVA non imponibile
- per un totale di € 1.530.000,00 che trova copertura nel bilancio come segue
 - € 830.000,00, esercizio finanziario 2027
 - € 700.000,00, pro-quota negli esercizi finanziari 2028-2029

- **questo assume ri-assegnazione della quota 2026 al 2027**

- se ri-assegnazione non fosse una strada percorribile, ci sono altre soluzioni
 - possibili se la quota di finanziamento 2026 e il profilo fino al 2029 sono rispettati

Conclusioni

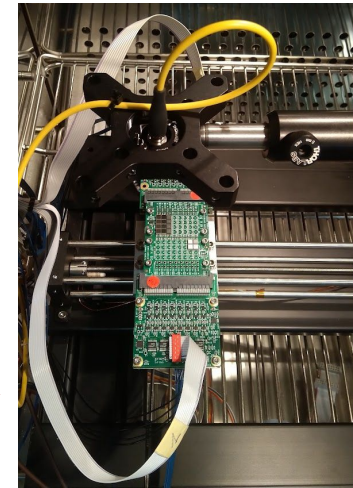
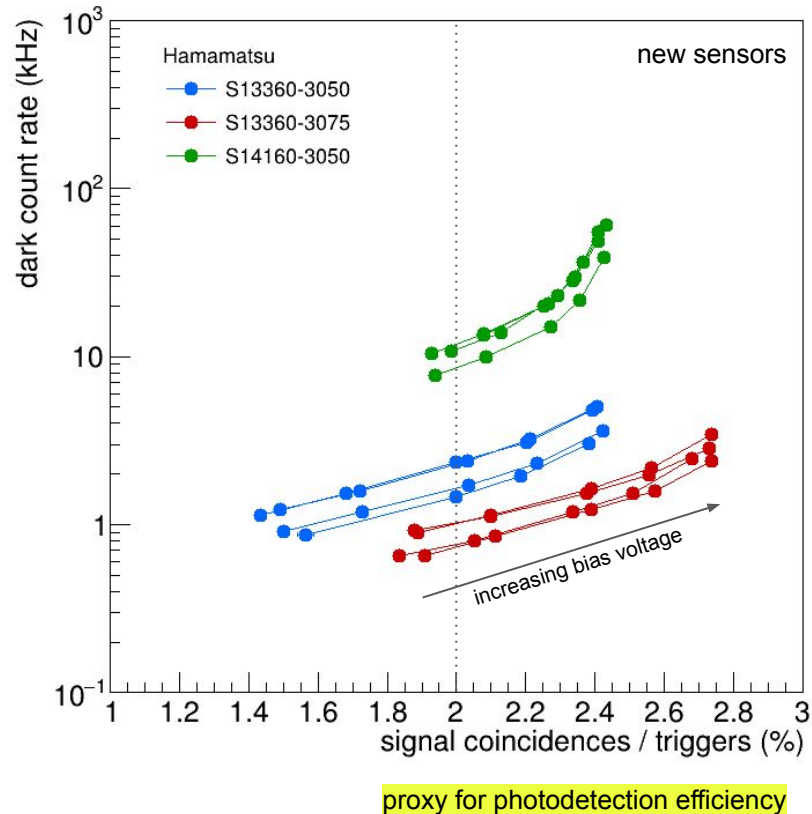
Riassunto delle richieste per l'anno 2026

- **continuare a supportare sviluppo e integrazione del sistema completo**
 - sistema CAEN completo per power-supply di tutta l'elettronica del fotorivelatore
 - high-performance computing system per DAQ, readout, data-taking, analisi dati online/offline, ...
 - sviluppo e produzione di schede di elettronica di supporto
 - acquisti di materiale, componenti, utensili e altri articoli tecnici di consumo per laboratorio
- **pre-produzione di 10x photodetector units PDU complete**
 - 10x PDU heads con matrici SiPM
 - 10x schede RDO readout board
 - 40x schede FEB front-end board ALCOR-64
 - 20x schede master + 20x slave
 - più materiale per assemblaggio e cavi per test di funzionalità
- **acquisto di 6000 matrici SiPM per apparato dRICH**
 - chiare le necessità per soddisfare la timeline delle costruzioni
 - necessario che finanziamento segua il più accuratamente possibile le linee del profilo richiesto
 - 300, 500, 500 e 200 kEUR assegnati rispettivamente negli anni 2026, 2027, 2028 e 2029

backup slides

DCR vs. PDE Comparison Between Sensors

3 Hamamatsu sensor types, 4 sensors each measured as NEW



these studies have
been performed with
the **full ALCOR**
readout prototype
electronics chain

at the same level of detection efficiency
namely, the probability to detect light from laser pulse
different sensors have different DCR level

best: S13360-3075

most promising sensors, large pitch SPADs (75 μm)

second: S13360-3050

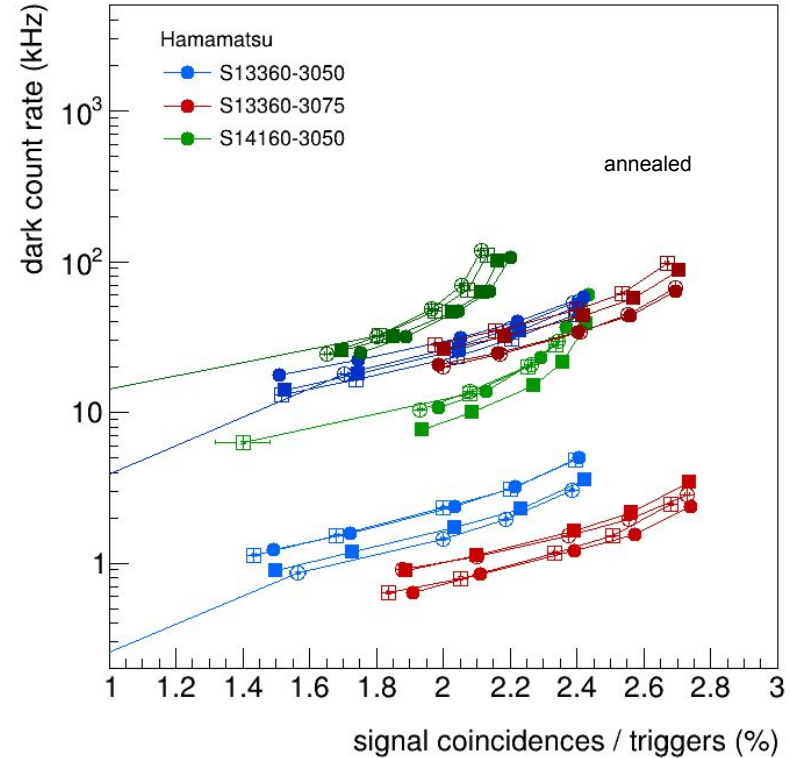
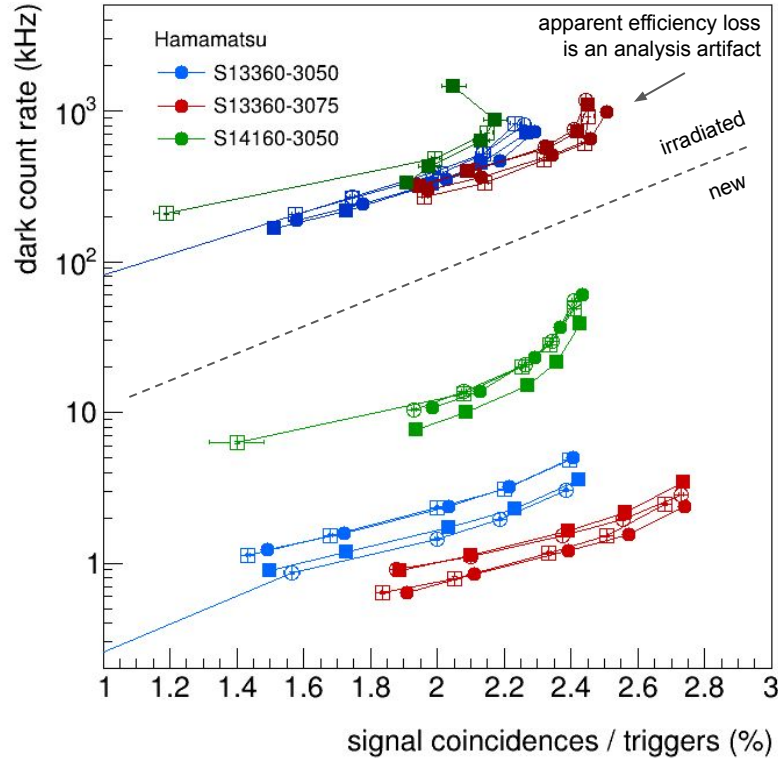
same technology, medium pitch SPADs (50 μm)

worst: S14160-3050

different technology, medium pitch SPADs (50 μm)

DCR vs. PDE Comparison Between Sensors

after proton irradiation with 10^9 1-MeV n_{eq}/cm^2 and after over annealing (150 hours at $T = 150$ C)

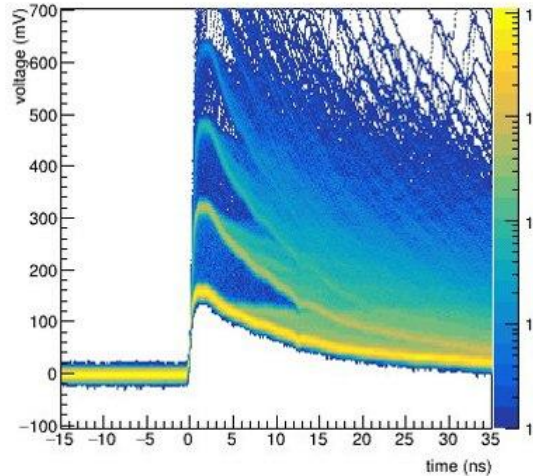


S13360-3075 sensors (75 μm SPADs) are always at the bottom-left meaning it has higher PDE at the same DCR troubles with S14160-3050 sensors after irradiation, they also show lower efficiency after annealing

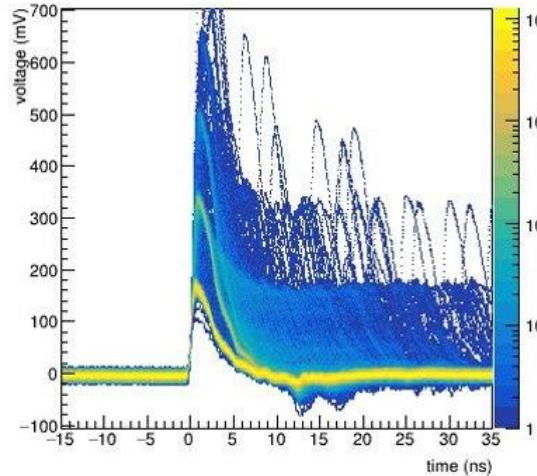
DCR vs. PDE Comparison Between Sensors

we compared the standard commercial Hamamatsu S13360 sensors with the UVE sample devices

S13360 (50 μm)



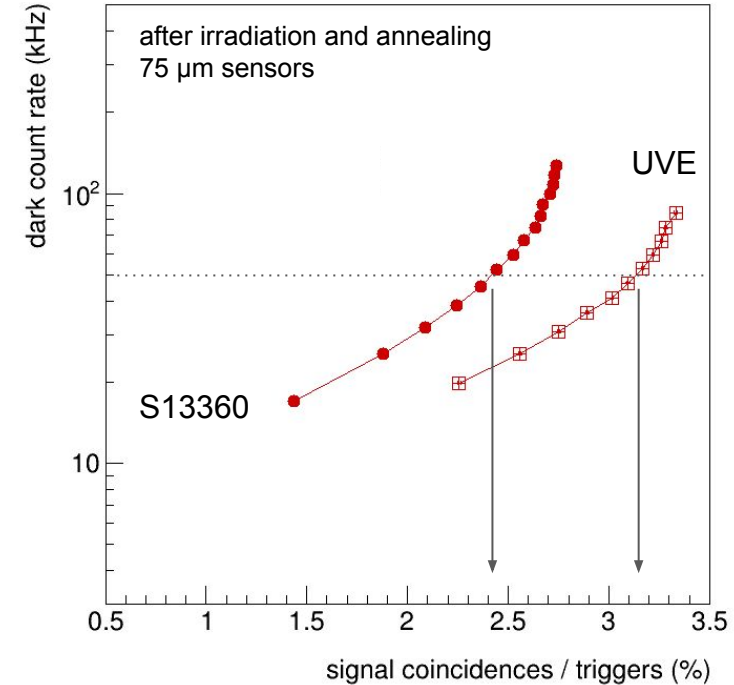
UVE (50 μm)



measured with the oscilloscope and a broadband amplifier

UVE sensors have > 5x faster recharge time with the same signal amplitude

→ lower pile-up probability at high DCR



measured with the ALCOR electronics readout chain

UVE sensors have > 30% higher PDE at the same DCR of 50 kHz

note: this is measured with a 400 nm laser and the prototype have a quartz protective window
check with Hamamatsu for custom devices with silicone protective window

Irraggiamento

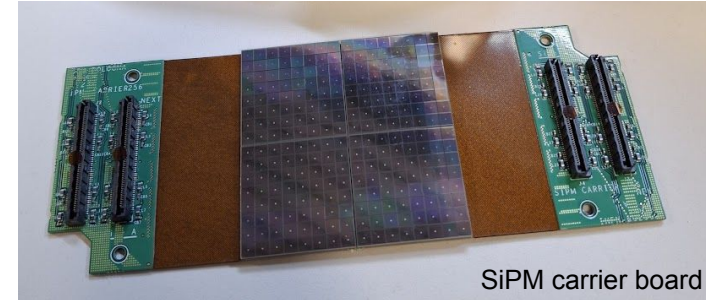
Test di irraggiamento di sensori SiPM, componenti, materiali e schede di elettronica

- **ne potrebbe parlare Pietro, qui alcuni giustificativi per la spesa**
 - dal primissimo test irraggiamento RDO intera a Dicembre ci impariamo probabilmente qualcosa, ma nel 2026 quando il firmware della scheda è avanzato farei irraggiamenti sui componenti singoli mentre sono montati sulla RDO che frulla, per vedere se siamo bravi a beccare le failure e l'effetto che fa alla RDO
 - primissimo test RDO scrubbing a Dicembre 2025, essendo il primissimo sicuramente servirà altro per finalizzare il firmare
 - a CHARM nel 2025 non ci siamo andati e direi che non ci andremo (liberiamo i soldi SJ) però nel 2026 verso fine anno credo sarebbe bene farci un giro con tutta la PDU intera
 - avremo ALCOR-64 e dovremmo irraggiare anche lui che è nuovo per vedere come va
 - e bisogna anche irraggiare una matrice SiPM intera per vedere annealing in una PDU vera
- **abbiamo queste richieste da difendere**
 - TIFPA, 3 sessioni
 - per le attività irraggiamento RDO, ALCOR-64 e SiPM direi che sono giustificate
 - Legnaro, un turno
 - copre attività irraggiamento matrice SiPM
 - CHARM, un turno
 - copre tutto e in particolare è necessario per avere mixture realistica di adroni
 - portando una PDU intera inoltre testiamo tutti i materiali (viti, colle, cavi, tutto)

Scheda di test per il QA delle SiPM carrier boards

Sviluppo e realizzazione di prototipi di scheda per i futuri test di qualità delle schede SiPM carrier

- **design della scheda SiPM carrier board è in fase di finalizzazione a Bologna**
 - la maggior parte dei dettagli sono stati definiti
- **realizzazione di una scheda di test: SiPM carrier test board (10 kEUR su Consumo Bologna)**
 - Bologna progetterà e realizzerà una nuova scheda di test, dedicata a
 - verifica funzionale delle schede SiPM carrier
 - misura delle caratteristiche di base dei sensori SiPM montati
 - effettuare la calibrazione dei sensori di temperatura NTC
 - scheda necessaria per effettuare la quality assurance durante la produzione di massa
 - progetto che si colloca nelle attività di preparazione per la costruzione del dRICH
- **la scheda sarà strumentale anche per iniziare a definire**
 - requisiti per attrezzature e strumentazione
 - protocolli per il QA delle schede SiPM carrier e dei sensori SiPM
- **prima versione della scheda di SiPM carrier test board**
 - design e definizione del layout da concordare insieme a Salerno
 - sarà utilizzata inizialmente con i prototipi di schede SiPM carrier board



SiPM carrier board

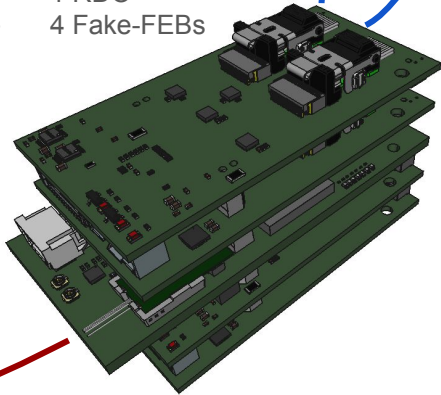
Beam-test 2025 RDO readout architecture

use IPbus protocol (already used) via Ethernet (SFP) to access RDO FPGA and readout ALCOR data on a **high-performance computer system**

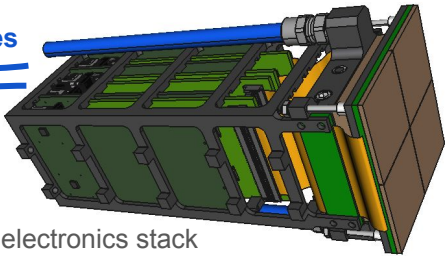
the simplest (and likely also cheapest) way to readout RDO and 2K ALCOR SiPM channels in 2025

8x front-end electronics stacks each with

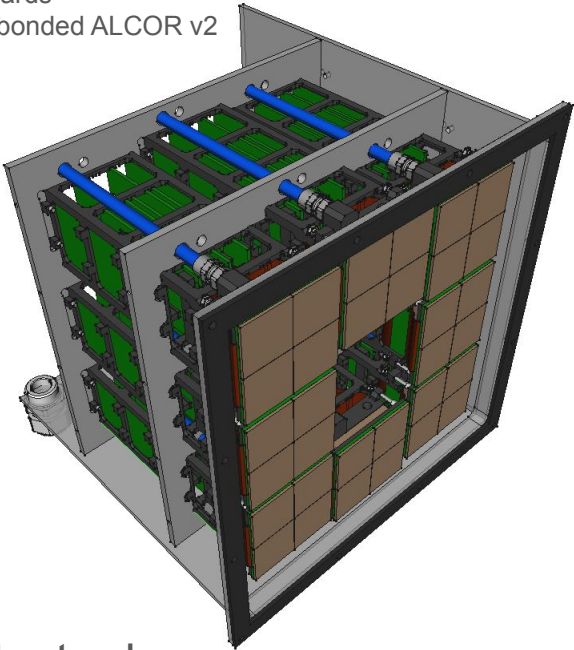
- 1 RDO
- 4 Fake-FEBs



8x FireFly cables



existing front-end electronics stack
4 ALCOR-dual boards
each with 2x wirebonded ALCOR v2



VTRX+ optical link
to SFP



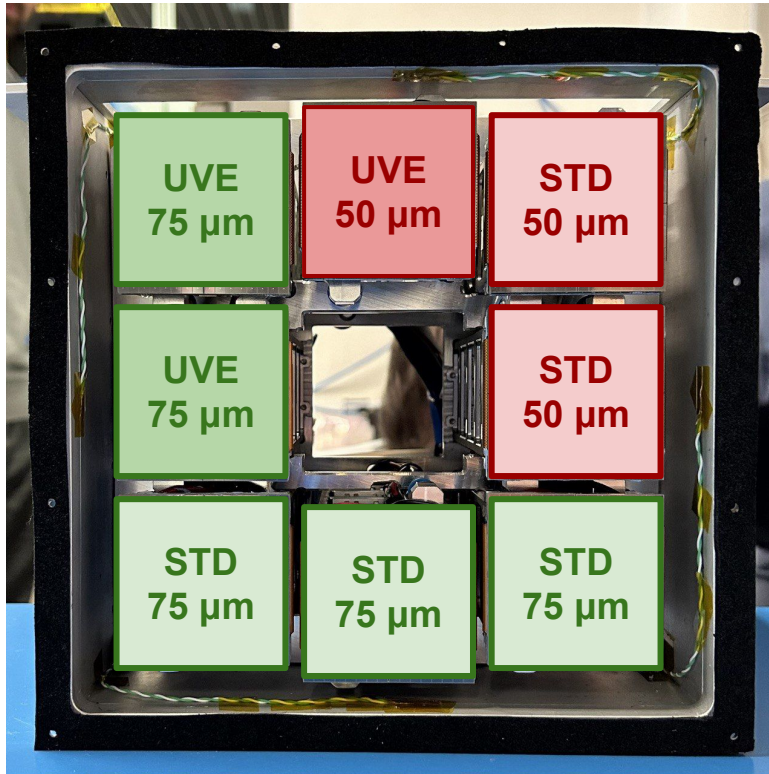
server bi-processore prestazionale con 8 link ottici SFP

outside

inside detector box

Hamamatsu UV-Enhanced SiPM optimisation

aim at a the next dRICH beam test to evaluate them with Cherenkov light



- **meeting with ingegneri Hamamatsu**

- meeting produttivo a settembre 2024
- ci possono fornire sensori custom
 - matrici SiPM 8x8 con sensori UVE
 - SMD mount
 - finestra in resina siliconica

- **acquistati e ricevuti**

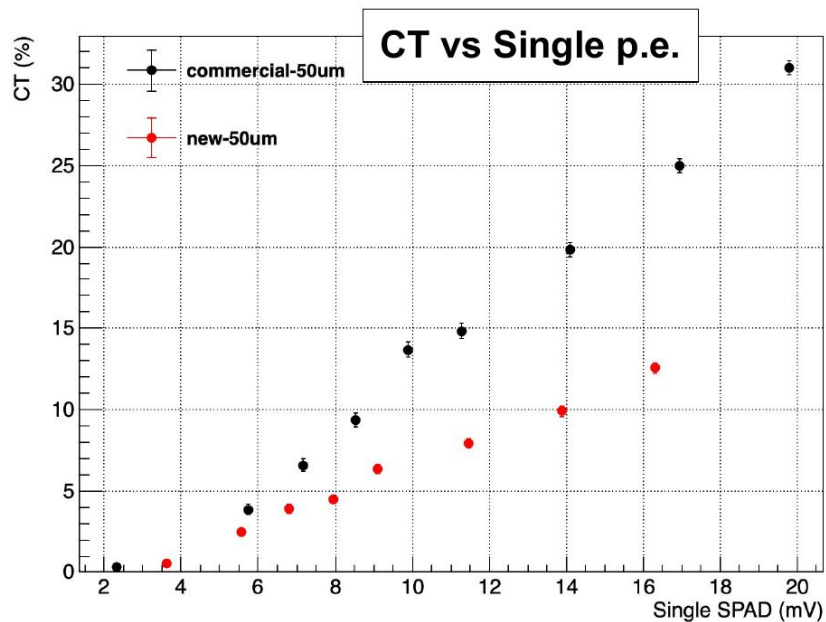
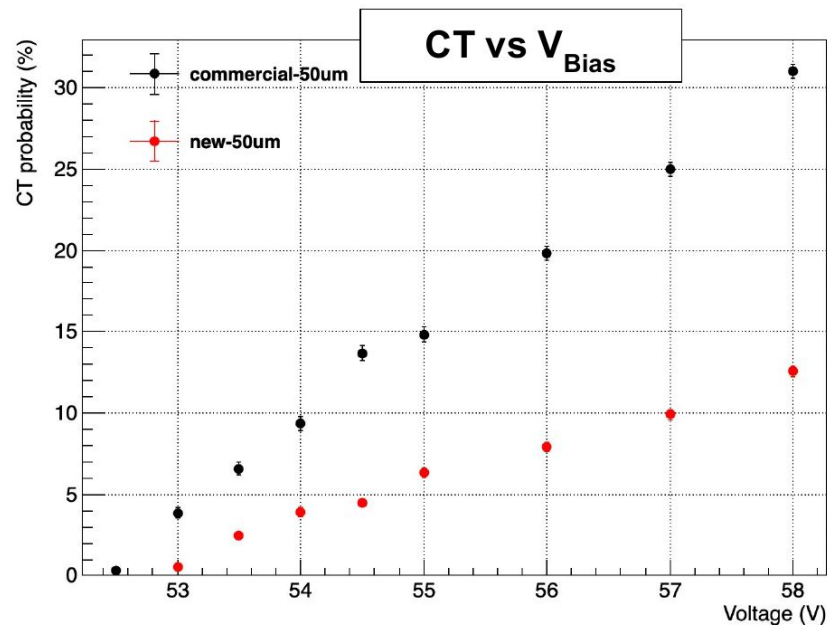
- 4x matrici con sensori da 50 μm SPADs
- 12x matrici con sensori da 75 μm SPADs
- alcuni sensori SiPM singoli

- **goal**

- assemblare alcune PDU nuove
- da usare nel prossimo test su fascio
- e valutare i miglioramenti previsti

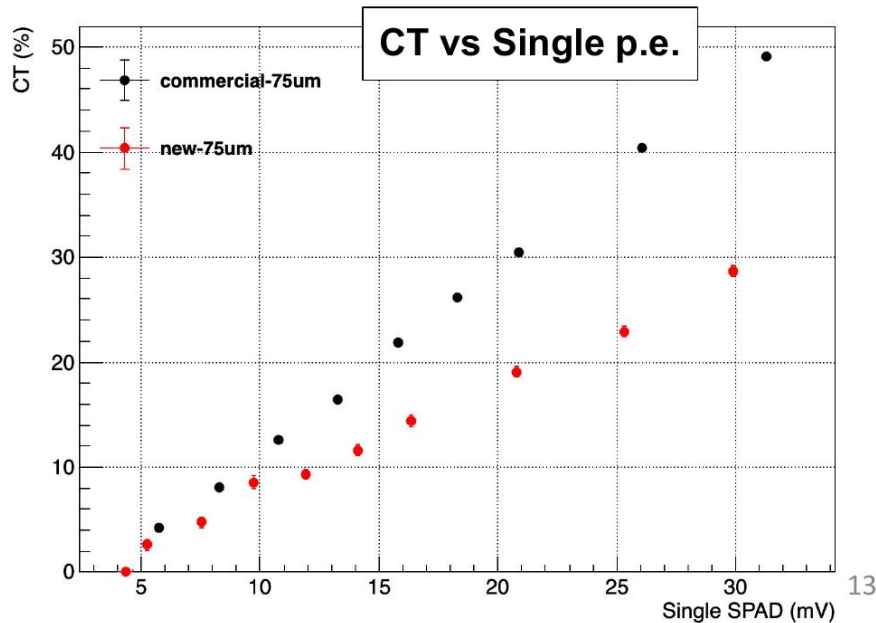
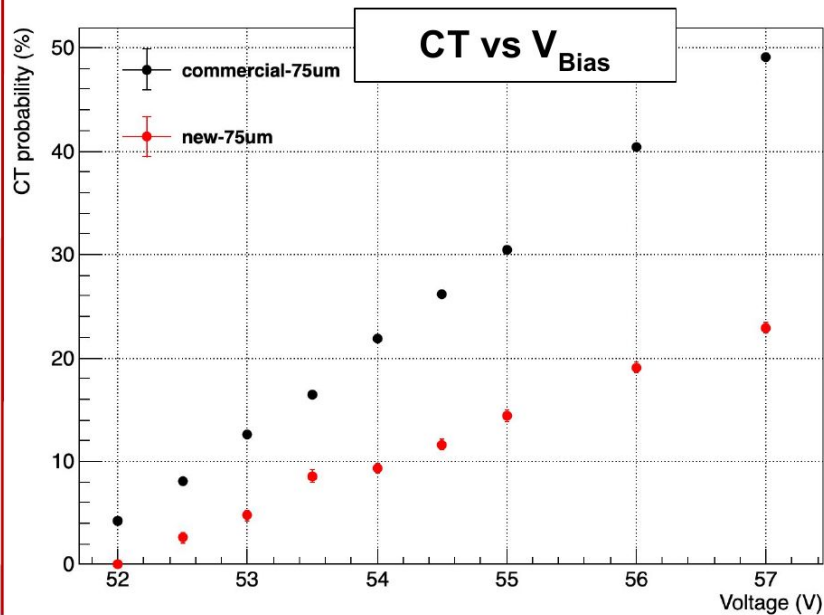
Results of dark analysis [50 μm]

- General improvements in CT results
- Need to have a precise temperature stabilization

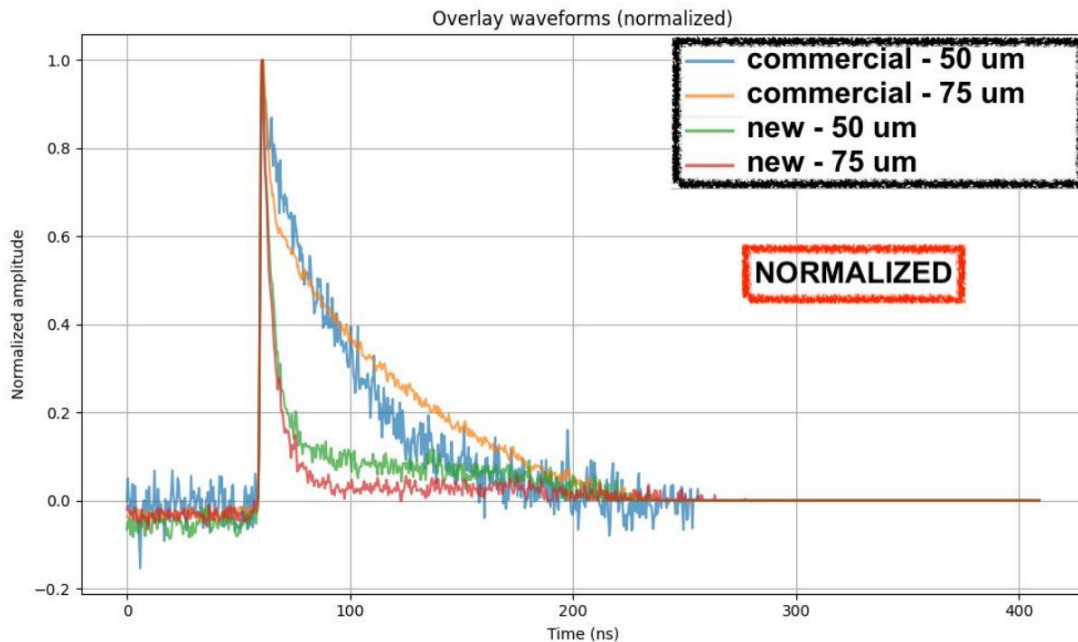


Results of dark analysis [75 μm]

- General improvements in CT results
- Need to have a precise temperature stabilization

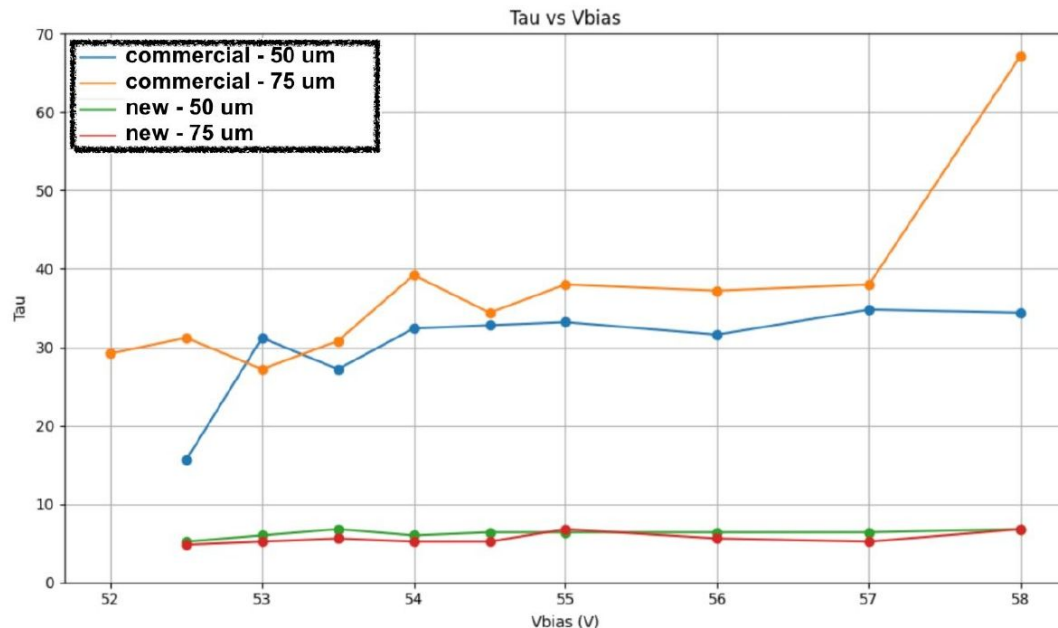


Persistence - sensor comparison



- measured at constant bias voltage: **54 V**
- **waveform selection:** waveform over threshold, single pe, no double peaks
- **after selection** → **median**
- Breakdown voltage differs slightly between sensors → new sensors (**board 41**) may show lower signals than those on **board 31** due to different **overvoltage** levels i.e. not the same operating point
- Same considerations applies to the next plots

Measurement of the tau

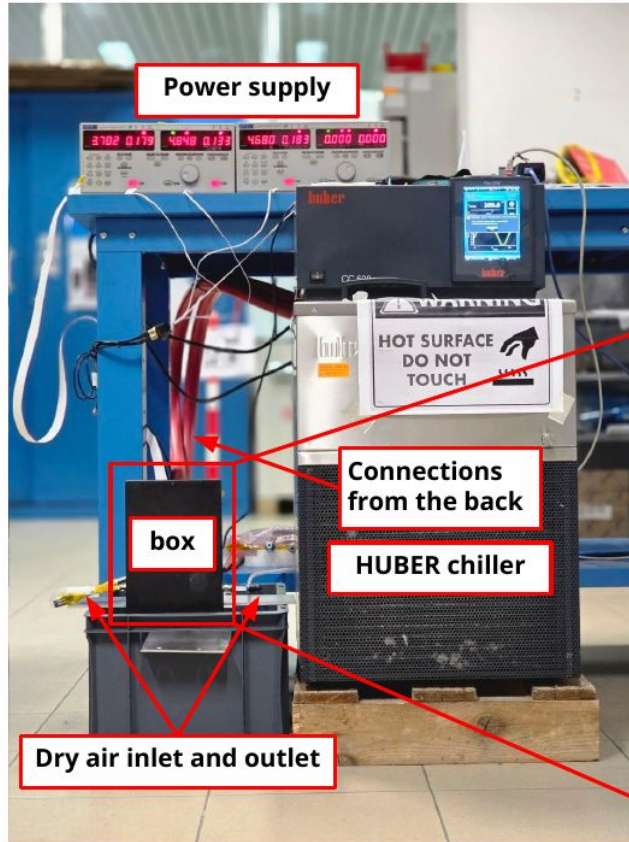


- **waveform selection:** waveform over threshold, single pe, no double peaks
- **after selection:**
 - median (waveforms)
 - decay constant (direct estimation)

$$\tau = t_{1/e} - t_{\text{peak}}$$

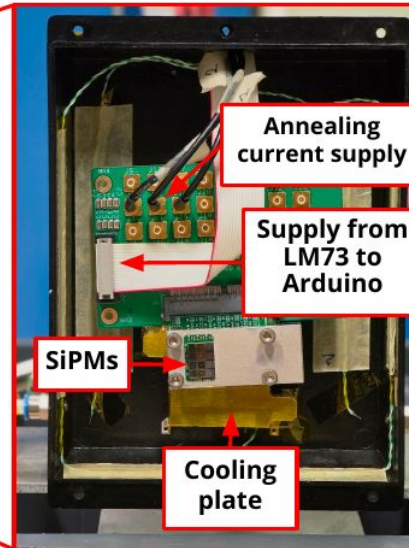
PRELIMINARY

Experimental setup



Different approach for annealing:

1. **Humidity** will always be kept **at 0%** by flushing **dry air** in a closed a box.
2. It uses **both liquid chiller and forward current** to heat up the sensors upto the desired temperatures.
3. The goal now was to **go upto 100 °C with huber chiller and remaining temperatures with forward bias current.**



The SiPM board is attached on the surface of a cooling plate where liquid from the HUBER flows through it to maintain at 100 °C.

The LM73 sensor measures the ambient temperature near SiPM region.

There are two main calibrations needed:

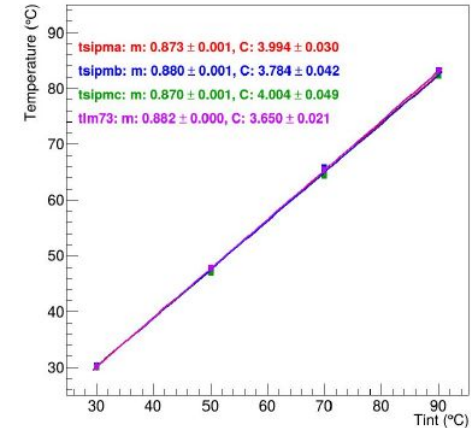
1. Variations of LM73 with chiller temperatures.
2. SiPM temperature with supplied power in forward bias.

Calibration setup and methods

Before annealing **for the calibration a FLIR thermal camera** was used **to measure the temperature of the SiPMs** and temperature of the **LM73** was measured by using an **ARDUINO**

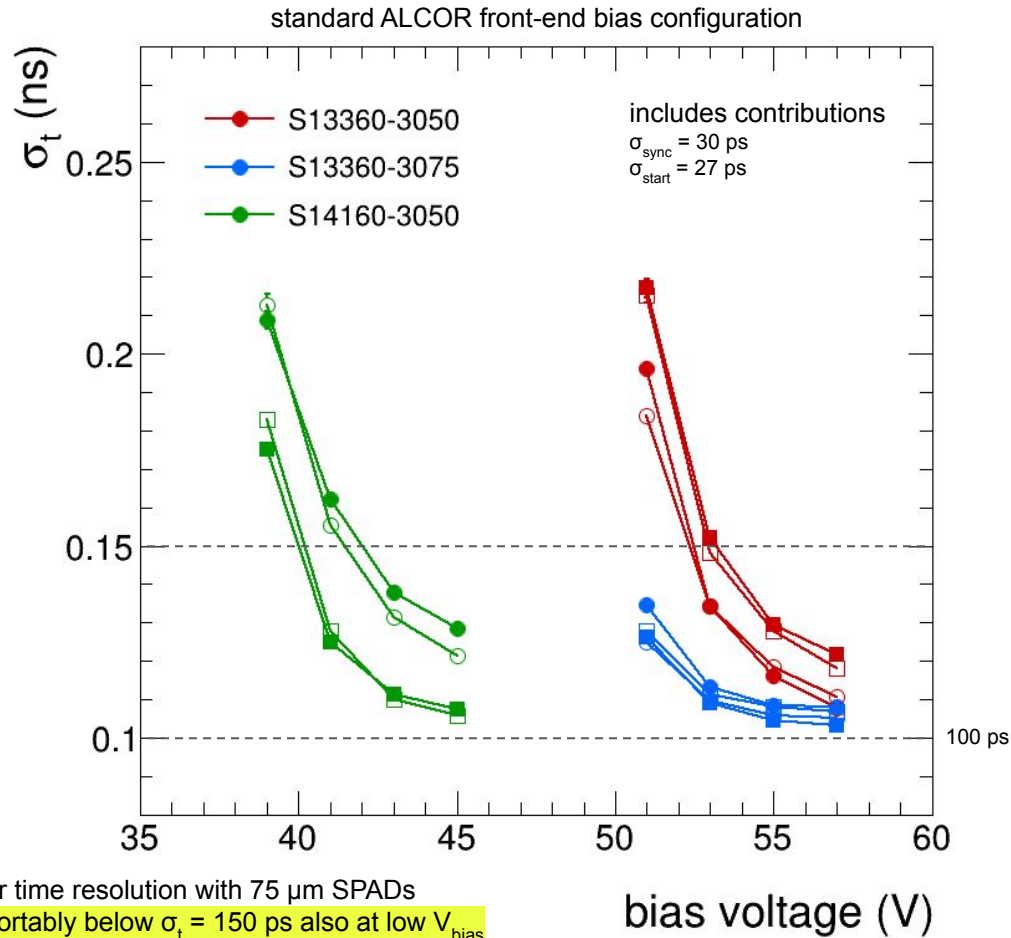


All the temperature and humidity sensors, HUBER chiller, power supplies are controlled automatically by a Linux PC.

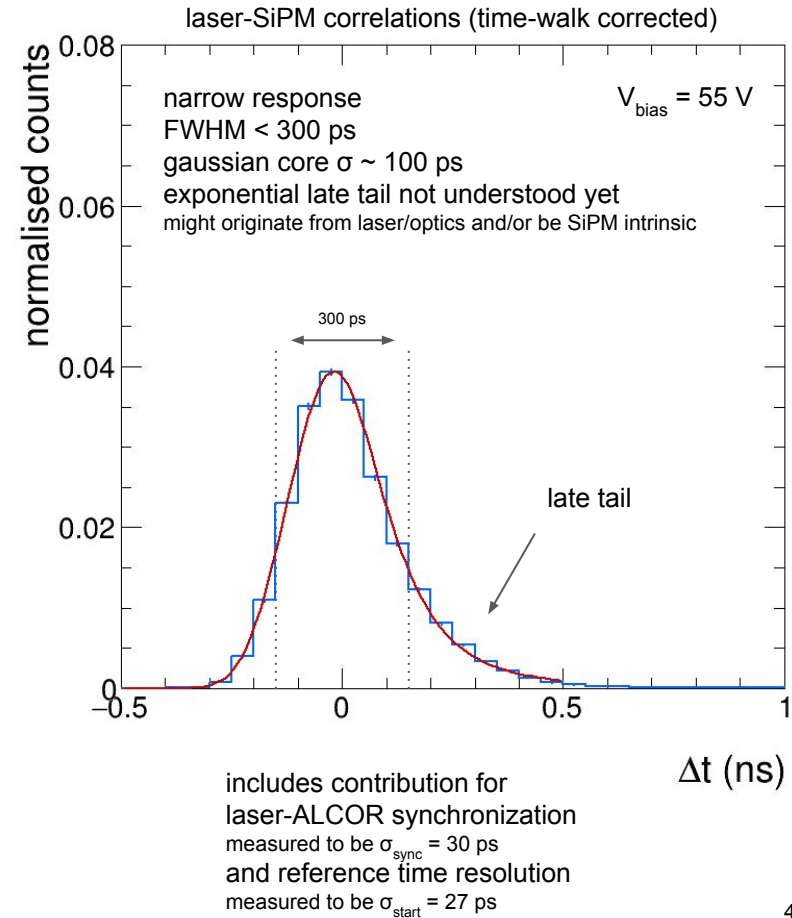


With HUBER control, all the temperatures looks almost same in the temperature range from 30 °C to 100 °C.
There is a heat loss at higher temperature.

Timing performance measurements with ALCOR

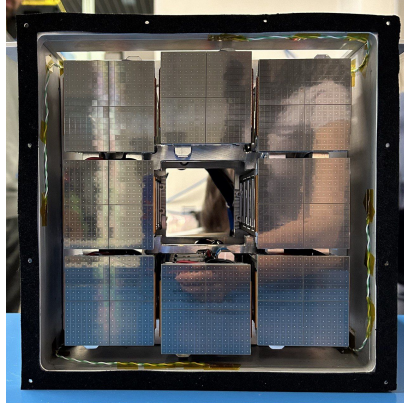


better time resolution with 75 μm SPADs
 comfortably below $\sigma_t = 150 \text{ ps}$ also at low V_{bias}



Comparison between different SiPM sensors

same Hamamatsu technology, different SPAD sizes on the beam line



dRICH readout plane in 2024 beam test at CERN-PS

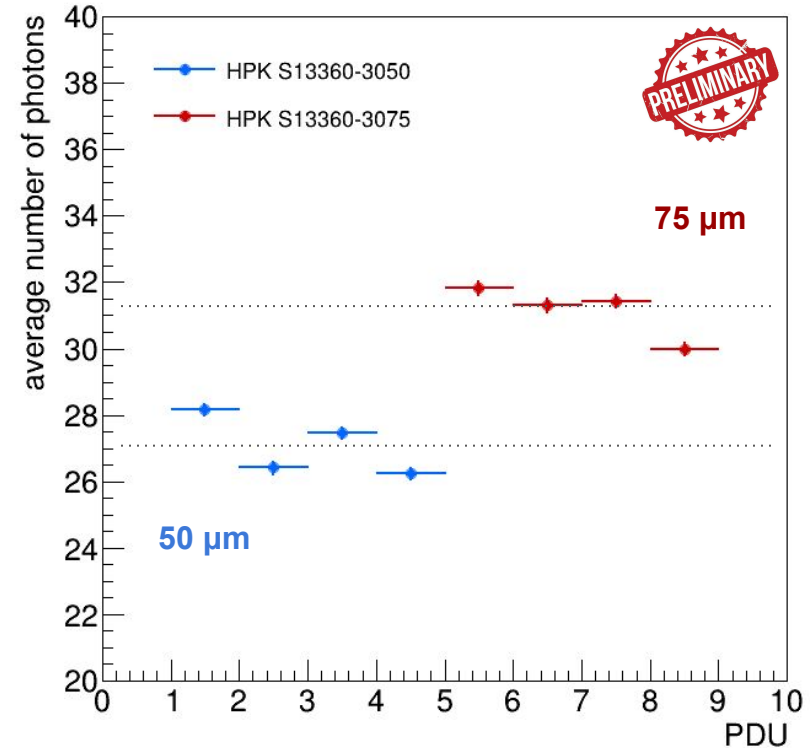
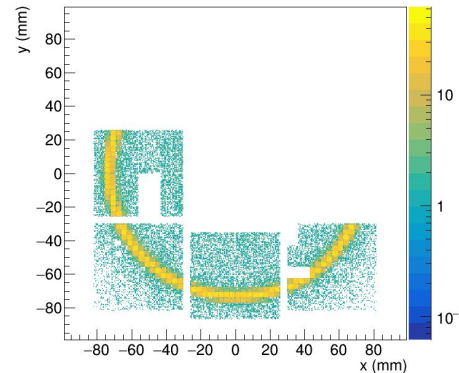
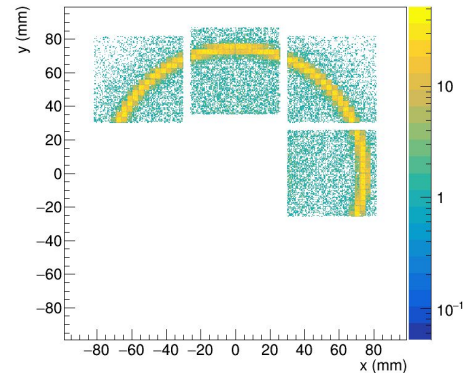
equipped with

- 4x PDUs with 50 μm sensors
- 4x PDUs with 75 μm sensors

to test Cherenkov performance of different SPAD sizes

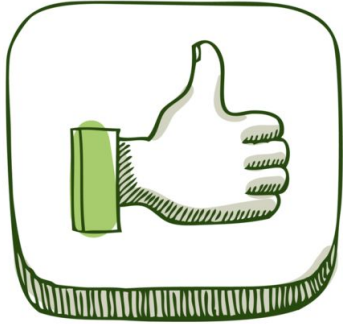
S13360-3050 (50 μm)

S13360-3075 (75 μm)



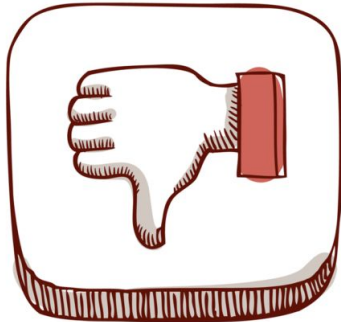
on average, 75 μm SPAD sensors see ~ 15% more light

SiPM Requirements for dRICH Optical Readout



- **pros**

- single-photon detection **requirement** ☐
- high efficiency **requirement** ☐
- excellent time resolution **requirement** ☐
- insensitive to magnetic field **requirement** ☐



- **cons**

large dark count rates
not radiation tolerant

technical solutions and mitigation strategies

-  cooling
-  timing
-  annealing

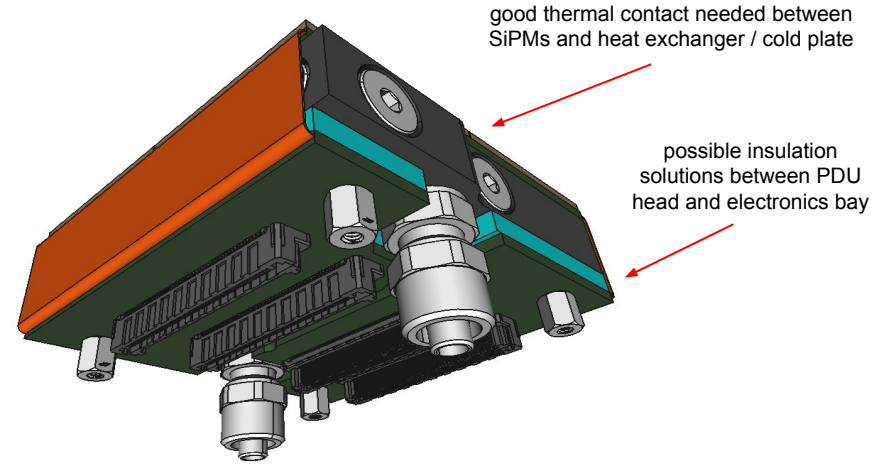
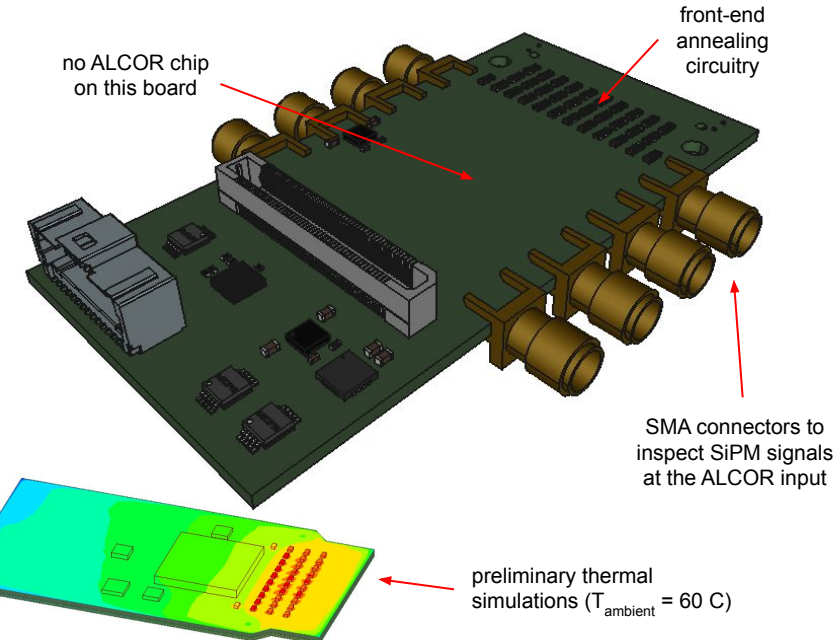
Annealing FEB and PDU Head Prototypes

features

- like a final FEB with all annealing circuitry
- SMA connectors to inspect SiPM signals on scope

goals

- test realistic dRICH annealing electronics
- study/engineering of annealing process details



several annealing FEBs and a few PDUs will be soon produced

goals

- test assembly procedures and materials
- study thermal performance within PDU elements
- test annealing cycles with a complete realistic PDU module
- test SiPM signal transmission/integrity towards ALCOR