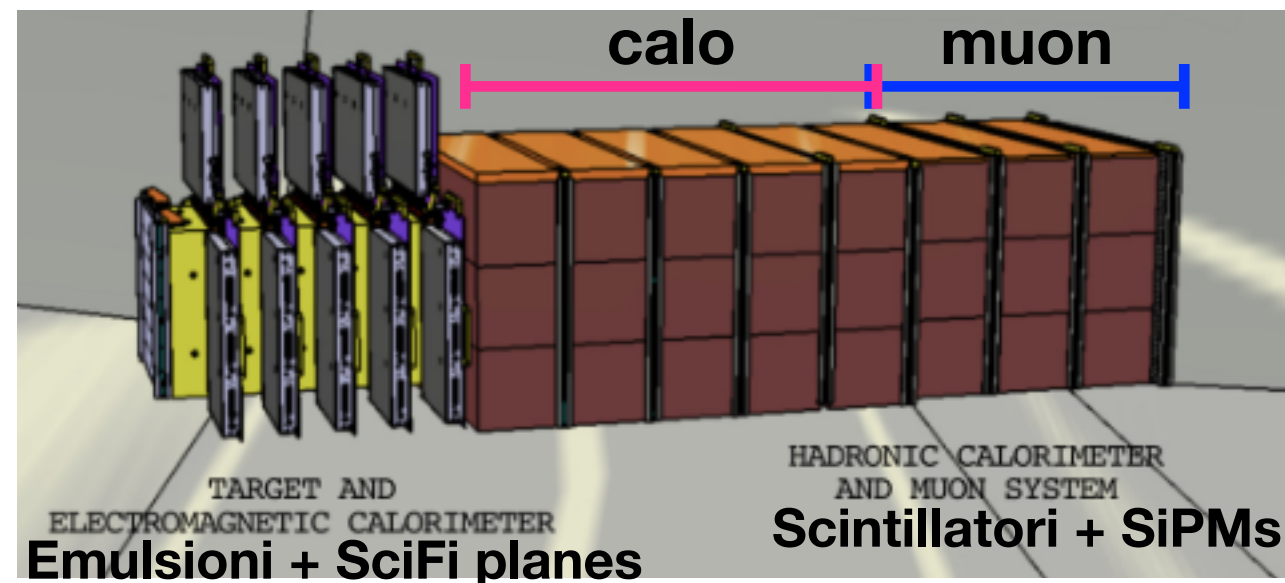


A Bologna l'attività per un esperimento coi neutrini dalle collisioni pp di LHC è originata nel 2015 all'interno del gruppo CMS.

A SND@LHC partecipa un gruppo misto di colleghi da gruppo 1, 2 e 5 a tempo parziale

Due filoni di attività tecnica:



- progettazione e costruzione muon “downstream” planes (con Zurigo, Berlino, Mainz): scintillatori e SiPM; granularità 1 cm² ; IN CORSO; installazione in LHC a fine anno
- scan delle emulsioni (competenza da OPERA, microscopio da aggiornare); a partire dal 2022 (in SND@LHC si punta a utilizzare in parallelo 5 tavoli di scan (Napoli, Bologna, CERN, 2 Russia);

Interessi di analisi:

- analisi on-line coi rivelatori elettronici per selezione e classificazione degli eventi nu_e, nu_{mu}
- analisi off-line coi rivelatori elettronici
- misura degli eventi nelle emulsioni
- analisi combinata degli eventi nelle emulsioni e nel rivelatore elettronico

Meccanica dei tre Downstream muon planes (DSM)

Ognuno dei tre planes consta di due layers di barre di scintillatori, uno V verticali l'altro H orizzontali.

Il layer V ha 60 scintillatori di sezione 1 cm² e lunghezza 61 cm.

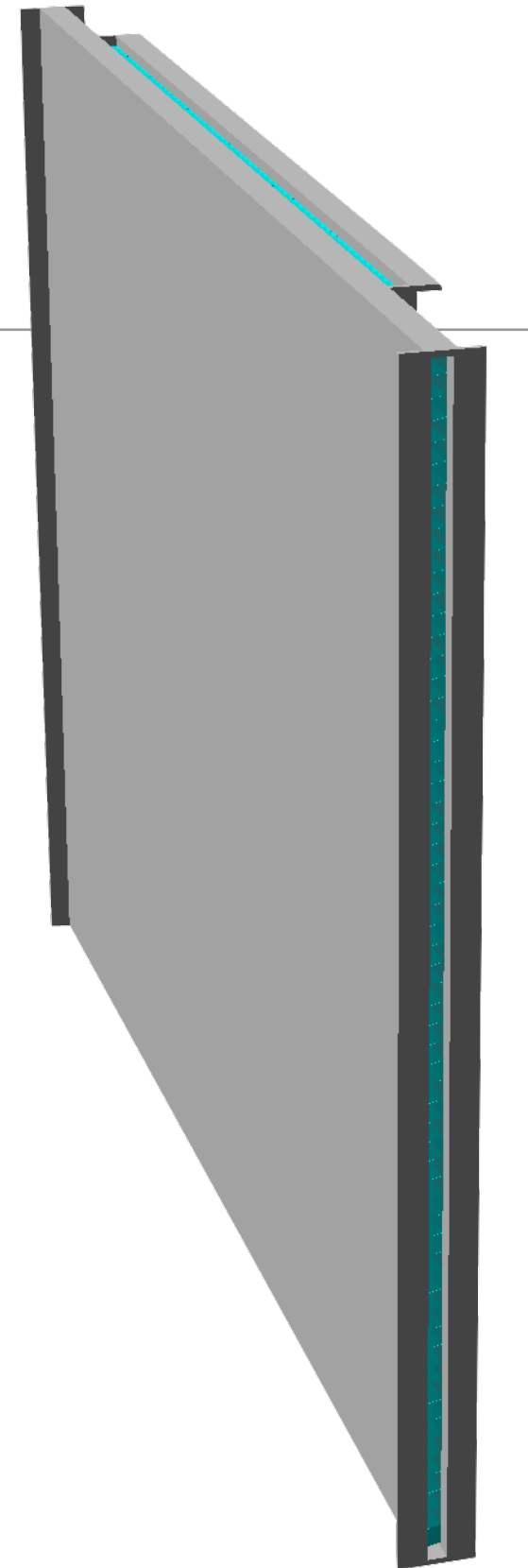
Ogni scintillatore è letto da un SiPM di 6 mm².

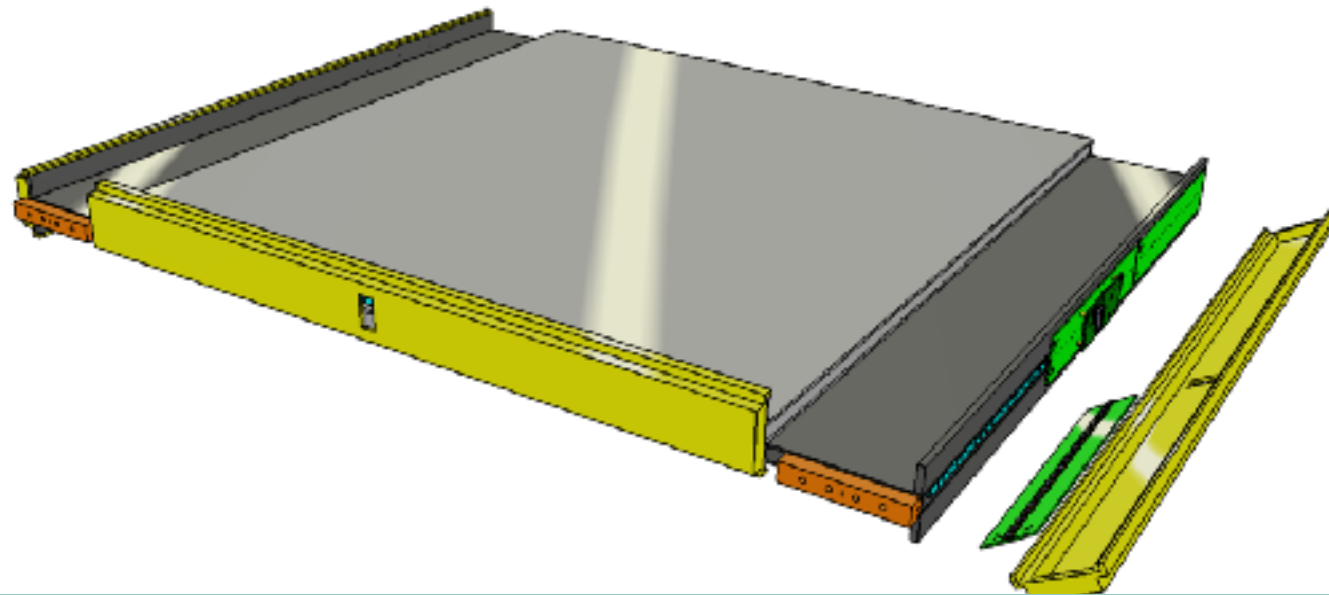
Il layer H ha 60 scintillatori di sezione 1 cm² e lunghezza 82 cm.

Ogni scintillatore è letto da due SiPM di 6x6 mm², uno per estremità.

Il gruppo di Bologna ha la responsabilità della progettazione della meccanica dei DSM.

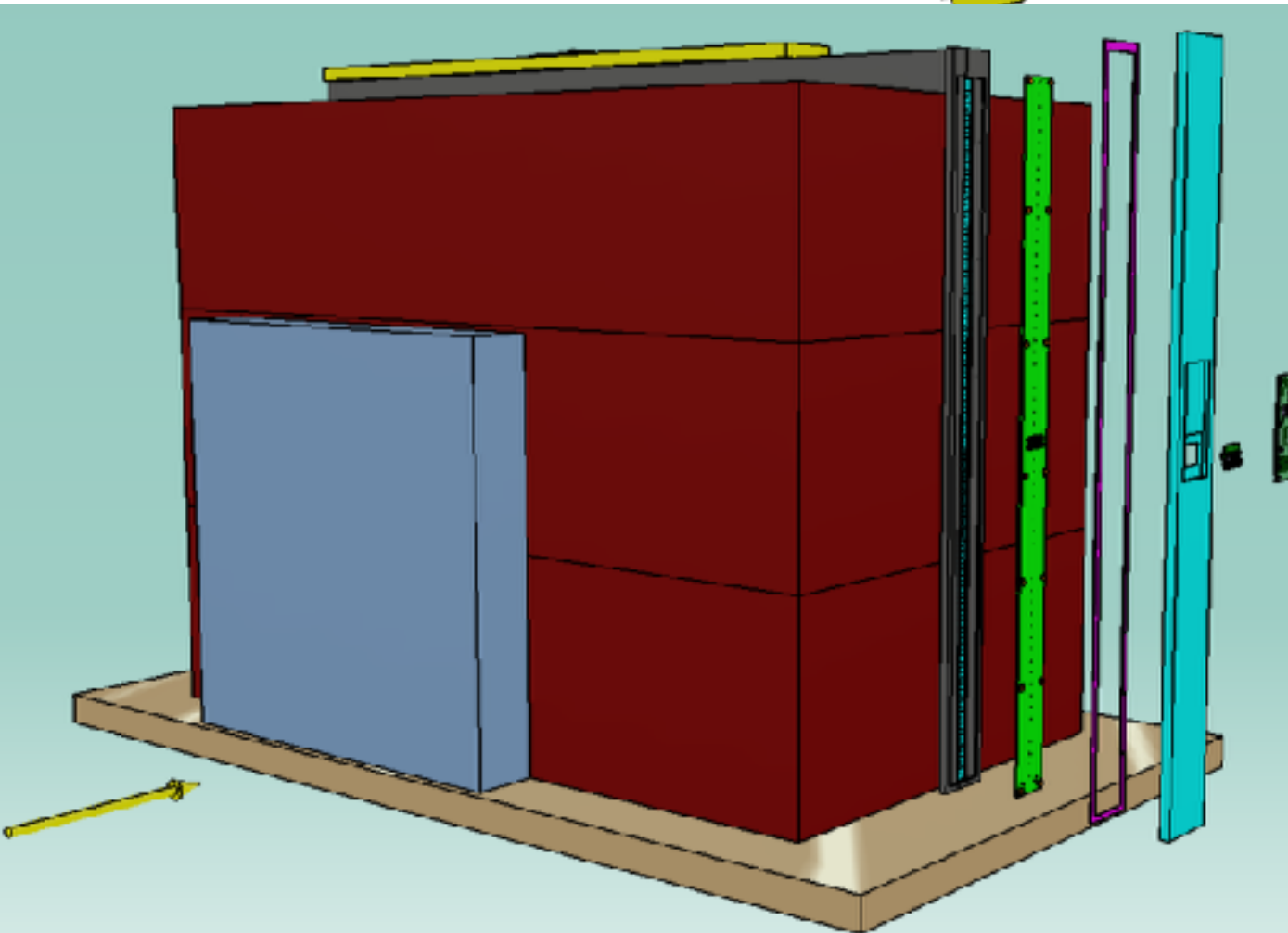
- La tolleranza di fabbricazione degli scintillatori è di 0.25 mm su ogni dimensione.
-> errore cumulativo
- La precisione delle dimensioni trasversali e di impilaggio dei blocchi di ferro (CERN) è valutata in 0.8 mm





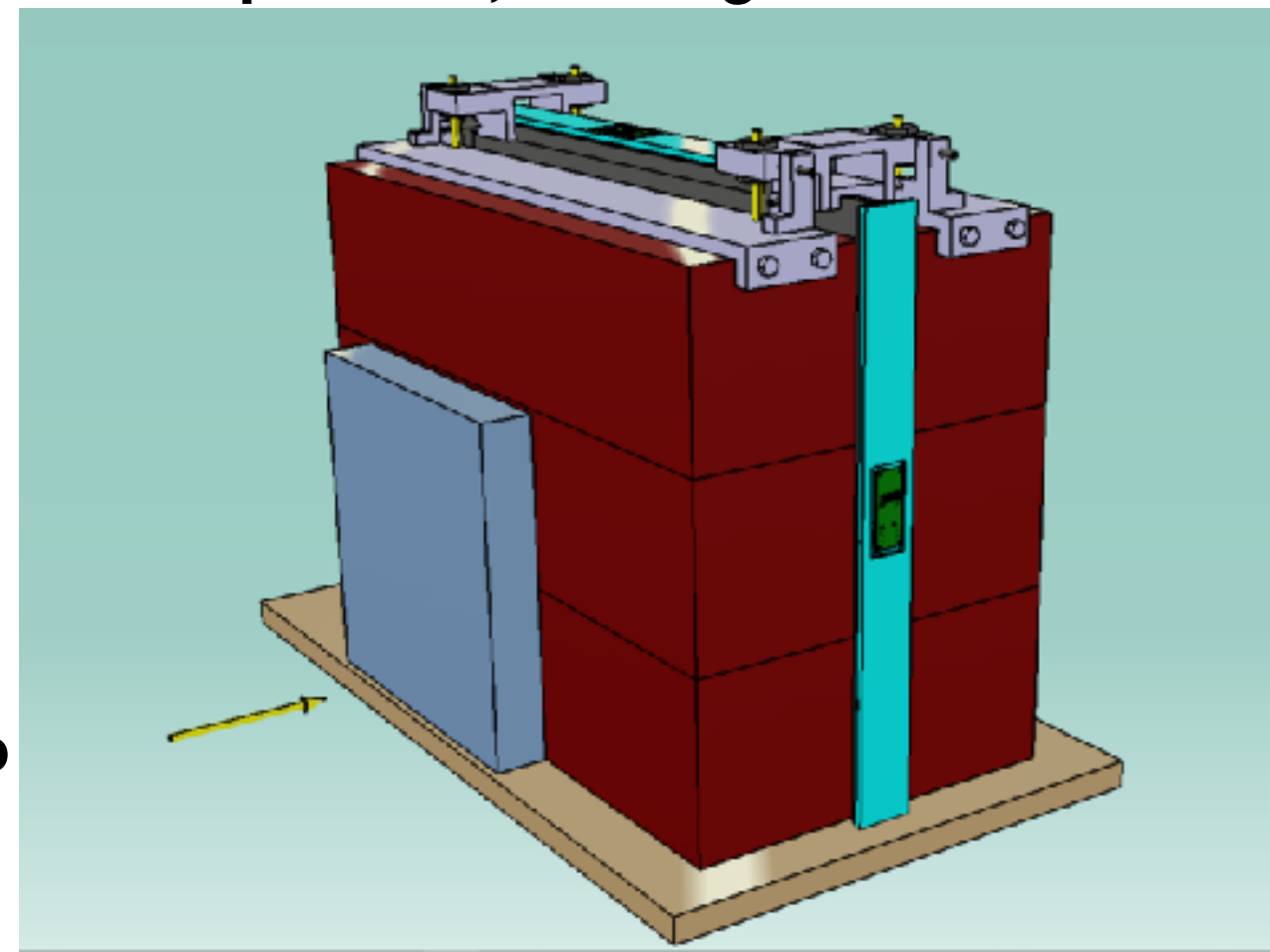
- La meccanica di ogni piano consiste di:**
- 2 piani di 2mm di alluminio 63x60 cm
 - 2 piani di 2mm di alluminio 83x60 cm
 - 4 cornici di chiusura
 - 3 coppie di flange per sostenere i PCB con i SiPM
 - 3 coperchi a tenuta di luce
 - la struttura di sostegno e di allineamento

Peso totale ~22 Kg, installabile da due persone, senza gru



(V.Cafaro, A.Crupano, V.Giordano)

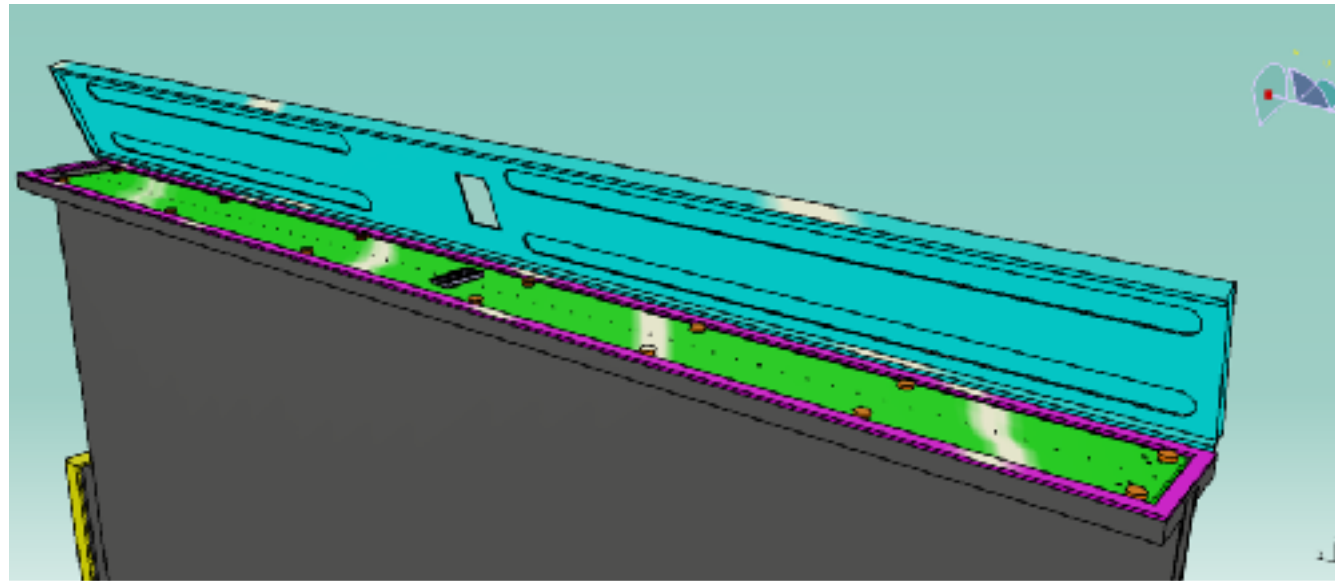
Il design sviluppato a Bologna è stato adottato anche per i 5 Upstream “calo” planes



Coperchi a tenuta di luce — richiedono un design molto accurato

Ogni barra di scintillatore è avvolta in un foglio riflettente di mylar-alluminio spesso 25 micron

All'estremità della barra di 10x10 mm² è appoggiato un SiPM di 6x6 mm²

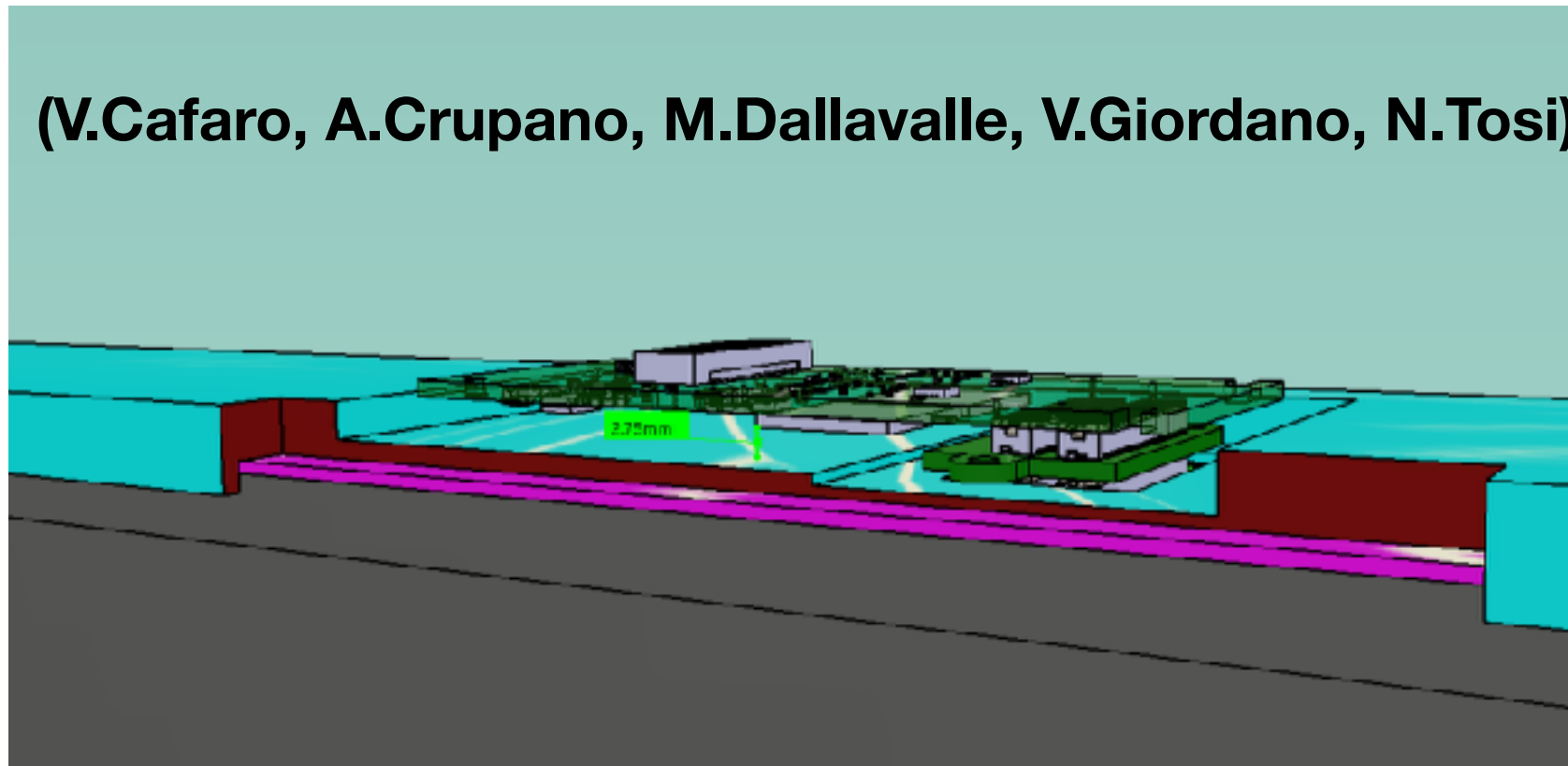


Il coperchio evita che luce dall'esterno colpisca l'area libera

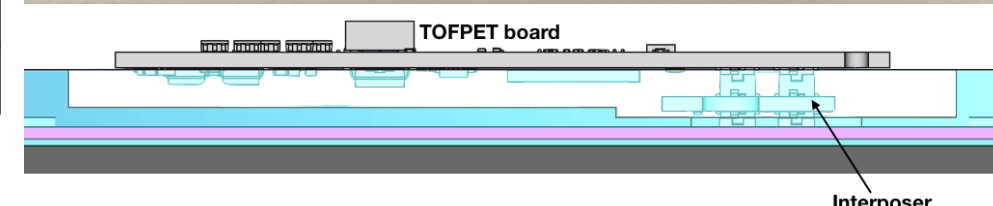
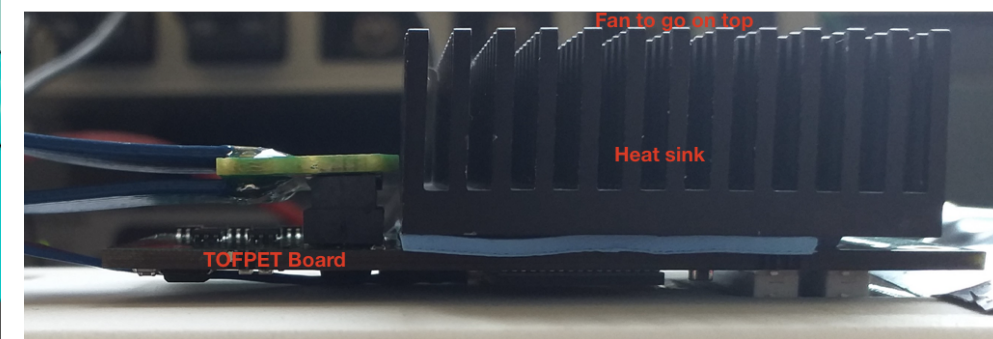
Inoltre, la performance dei SiPM dipende dalla temperatura

Il coperchio isola termicamente il PCB coi 60 SiPM dalla board di RO che dissipa 3 W

(V.Cafaro, A.Crupano, M.Dallavalle, V.Giordano, N.Tosi)



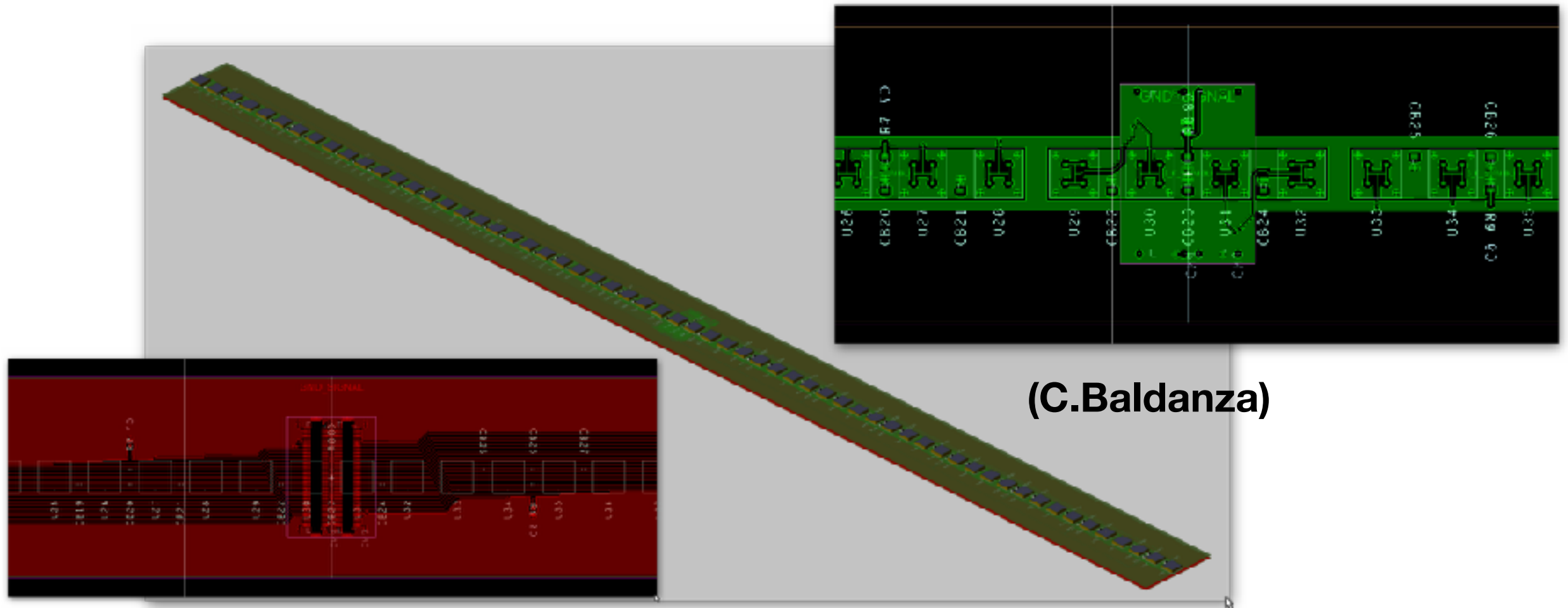
I 9 coperchi dei 3 DSM planes saranno prodotti dall'officina della sezione INFN di Bologna da inizio maggio e fine giugno



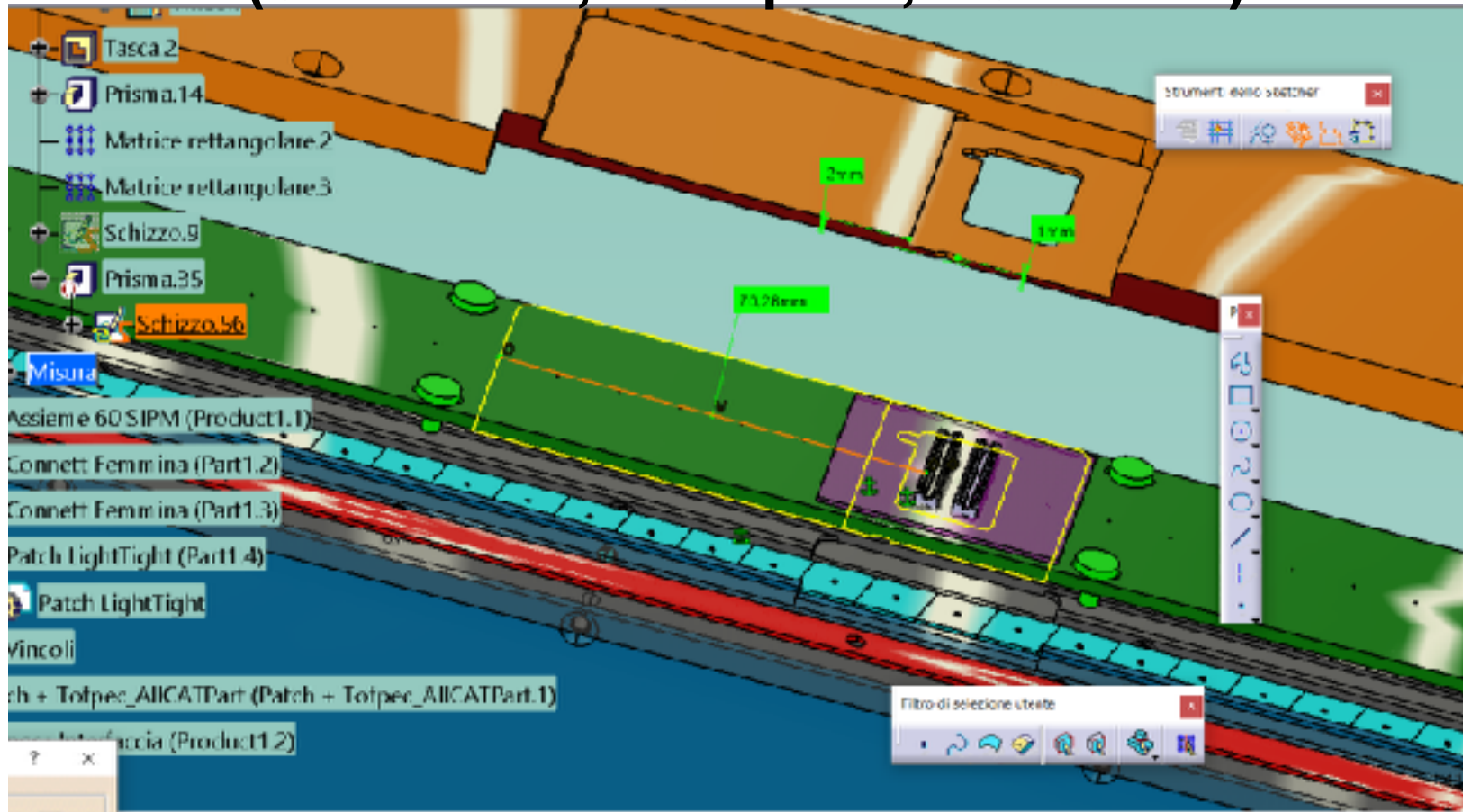
Elettronica - progettazione del PCB coi SiPM

Difficoltà:

- sul PCB la spaziatura tra SiPM è uniforme. Ma la spaziatura tra le barre può essere diversa, a causa della tolleranza di fabbricazione. E i SiPM potrebbero finire fuori posizione rispetto alla barra. $0.25 \text{ mm} \times 60 = 15 \text{ mm}$ ($+0.03 \times 2 \times 60 = 3.6 \text{ mm}$)
- per conservare l'integrità del segnale dei SiPM sui lunghi cammini evitare altri connettori oltre quelli con la board di RO (quindi dividere in 3 PCBs con 20 SiPM per risolvere il problema suddetto è escluso). Impedenza piste = 42 Ohm
- La performance del SiPM si deteriora se il SiPM non è a contatto con lo scintillatore. Per le barre V lette da un estremo, si possono spingere le barre contro i SiPM. Ciò è impossibile per la barre H con SiPM a entrambe le estremità.



(C.Baldanza, A.Crupano, V.Giordano)



Il PCB è avvitato alle flange in modo che i SiPM rientrano a toccare le barre.

Le asole delle viti sono ellittiche, in modo da poter spostare il PCB e ottimizzare la posizione dei SiPM rispetto alle barre

I coperchi sono disegnati per permettere uno spostamento del PCB e dei connettori (RO e Vbias)

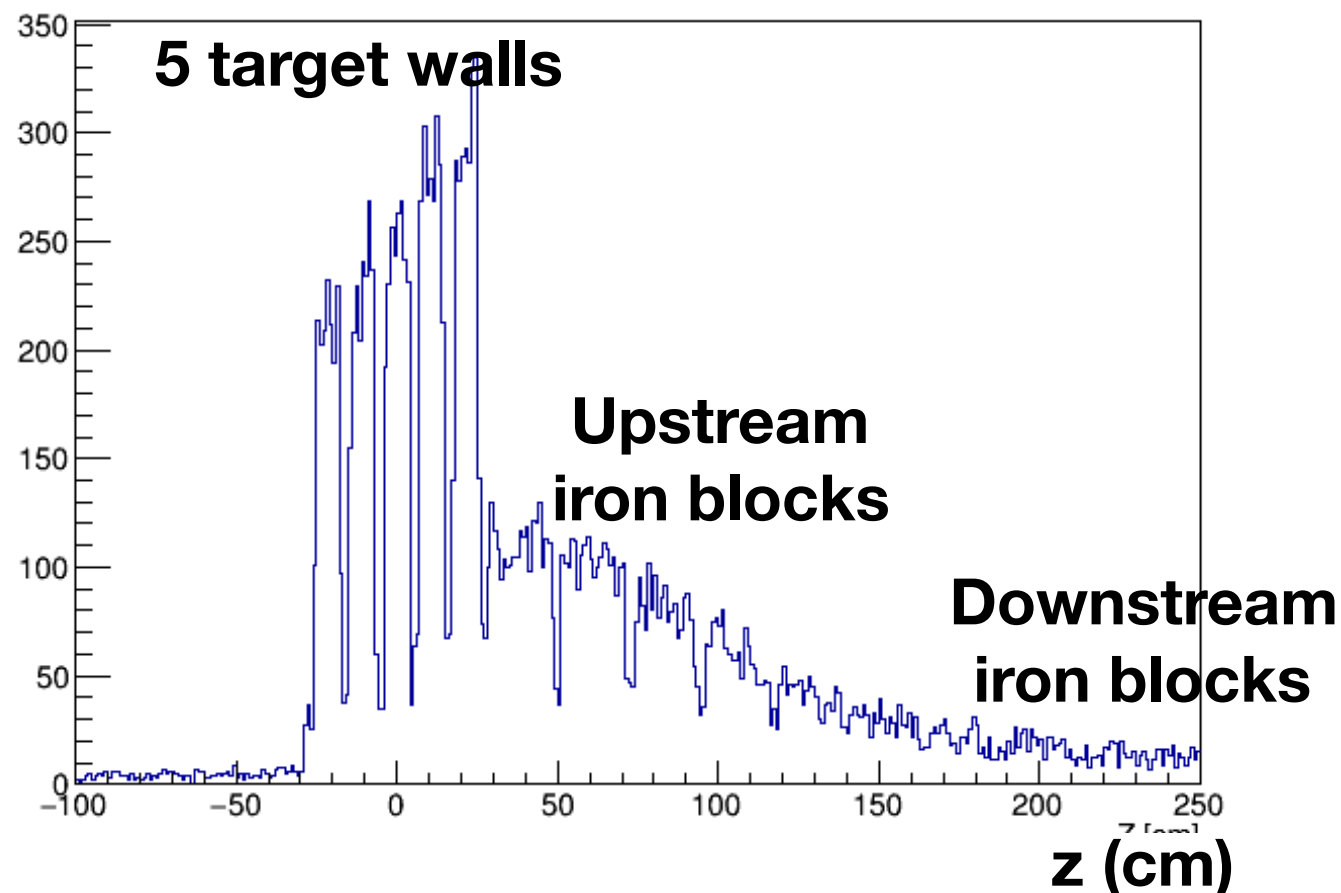
La meccanica è molto curata ma è possibile un vuoto fino a 0.25 mm tra SiPM e scintillatore, a causa della tolleranza sulla lunghezza dei SiPM. Per le barre orizzontali potrebbe essere necessario l'utilizzo di silicon pads trasparenti per adattare l'indice di rifrazione.

Studio dell'algoritmo di identificazione dei muoni (D.Fasanella)

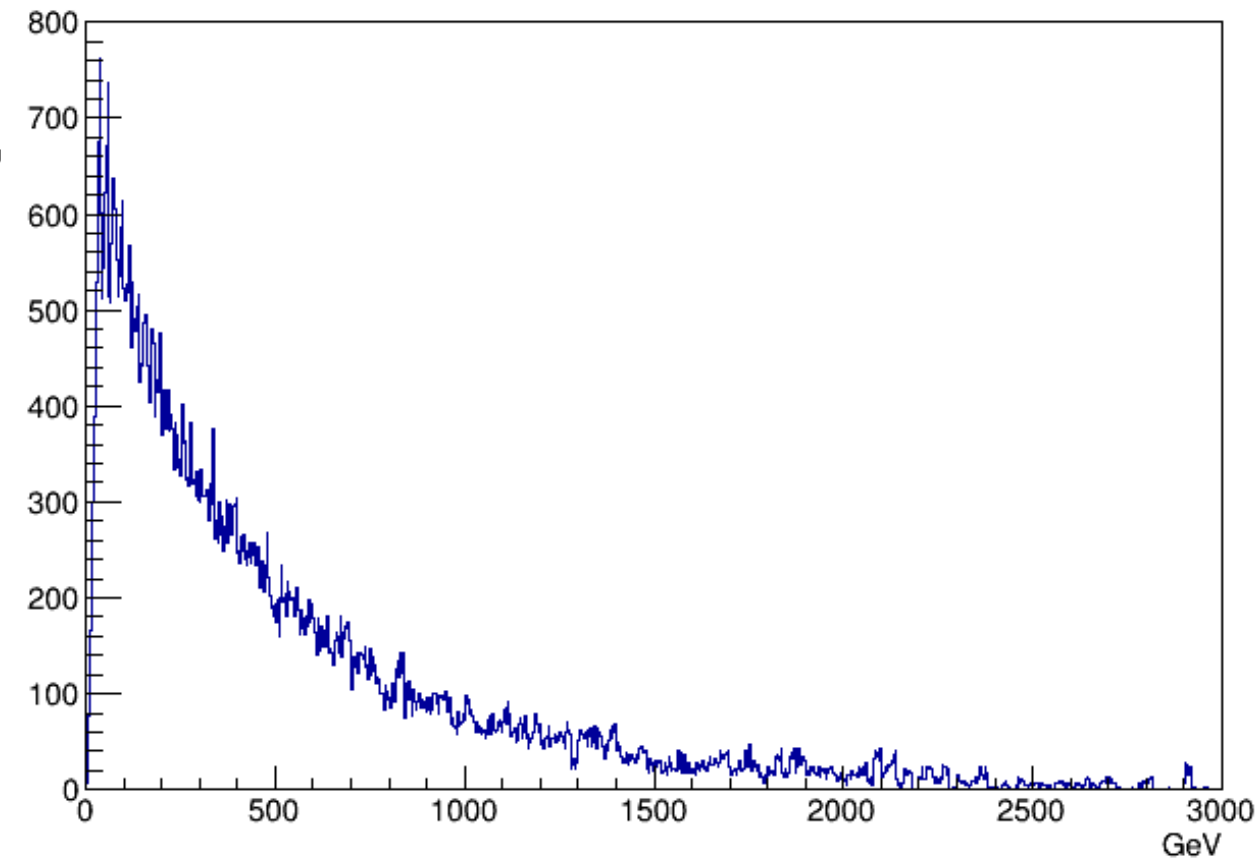
— analisi di 100K eventi, generati a Napoli (A.Iuliano, A.DiCrescenzo), che simulano interazioni a CC di neutrini del mu, con GENIE e GEANT4, che hanno lo spettro previsto in LHC (vedi SND@LHC TP)

— disponibili per l'analisi gli hits nei rivelatori attivi: posizione, perdita d'energia, tempo, particle id

— oltre il muone primario dal neutrino, altri muoni originano nel materiale del rivelatore e attraversano le DSM



Primary Neutrino Energy



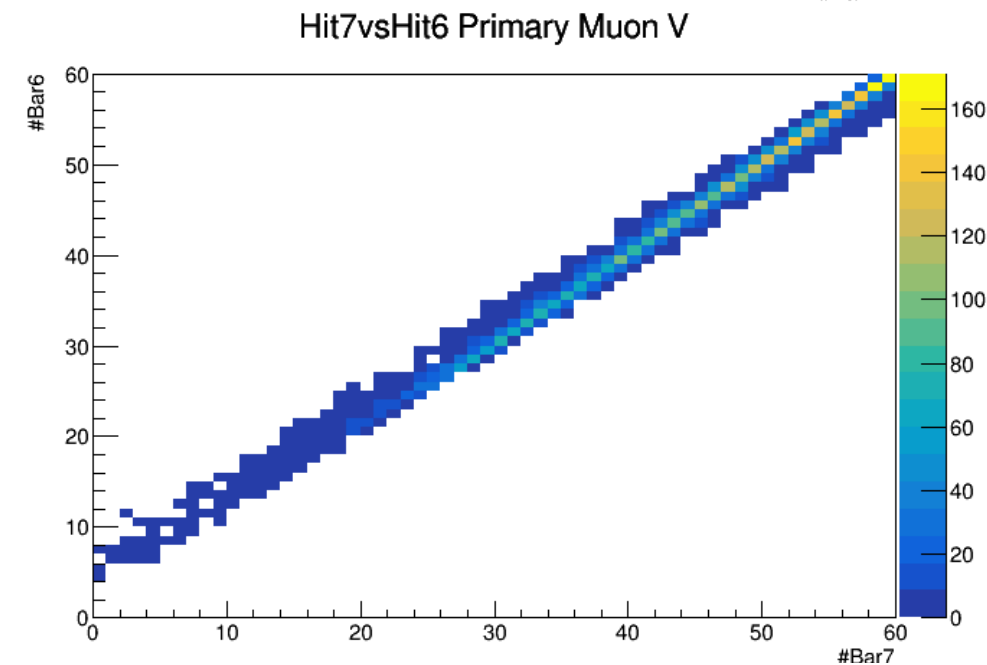
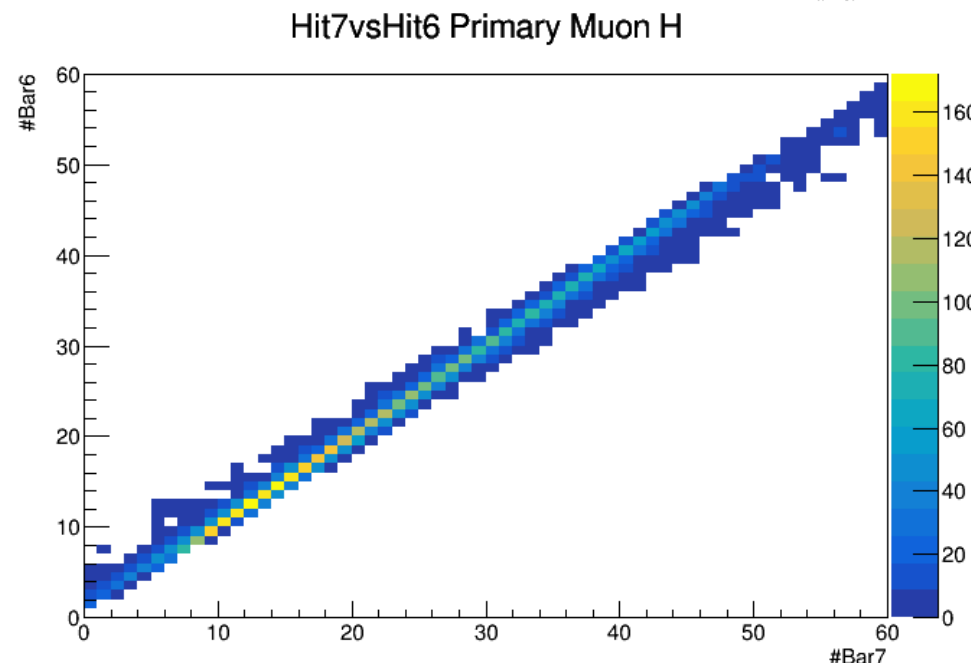
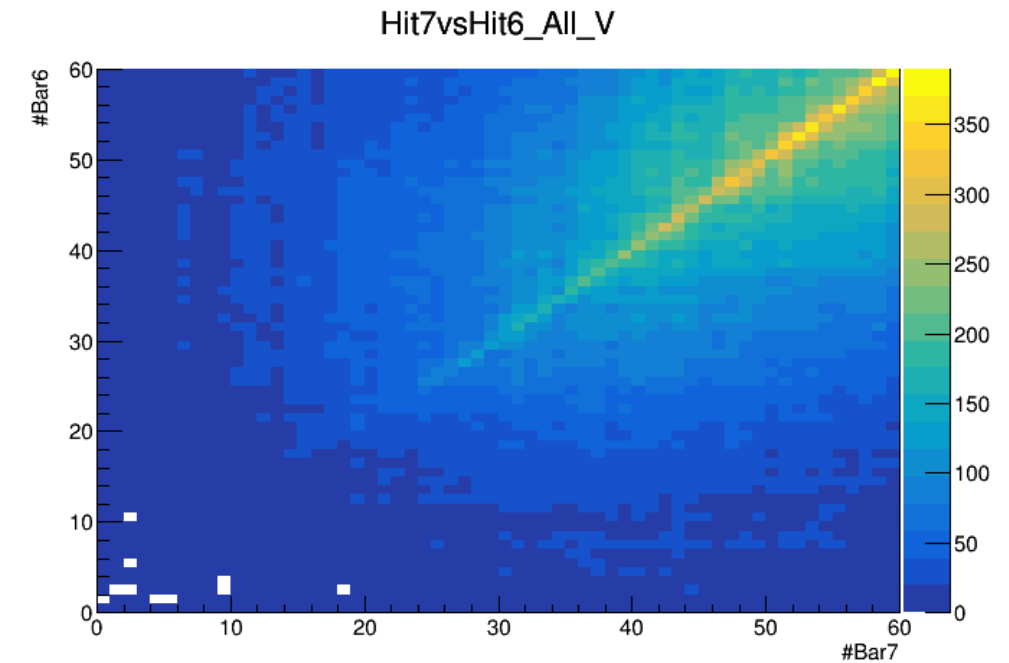
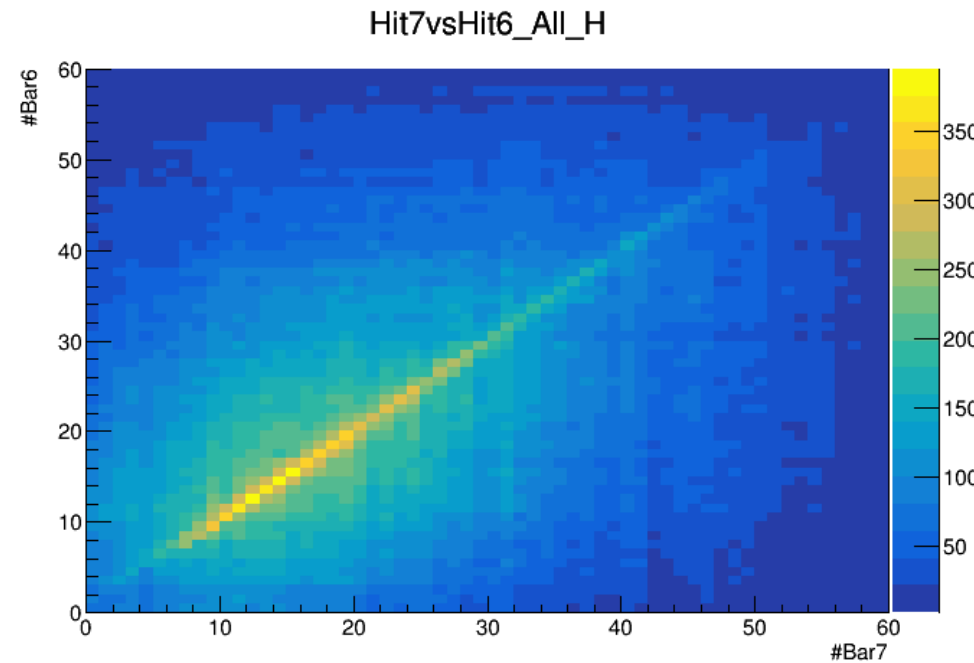
— modello semplice: una barra di scintillatore dà segnale se la somma degli hit di tutte le particelle supera 50 KeV al SiPM. Trasmissione lungo la barra con lunghezza di attenuazione di 1m

necessita misure specifiche in lab

I 3 Downstream planes sono numerati da 6 a 8

Hit Correlation in MUON Layers 7-6

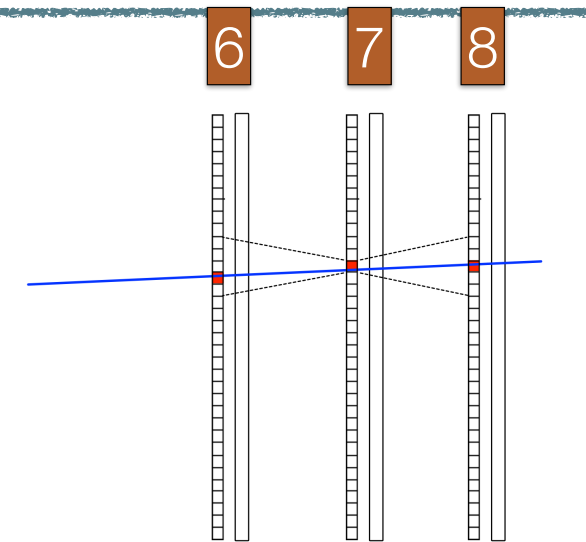
- Reference is the middle layer (layer 7)
- We studied the correlation with the previous and sequent layers
 - in H an V
 - For all events and the primary muons
- Clear correlation seen and the primary muons moves straight on, hitting ~ the same bar in the different layers



similmente per 8 vs 7

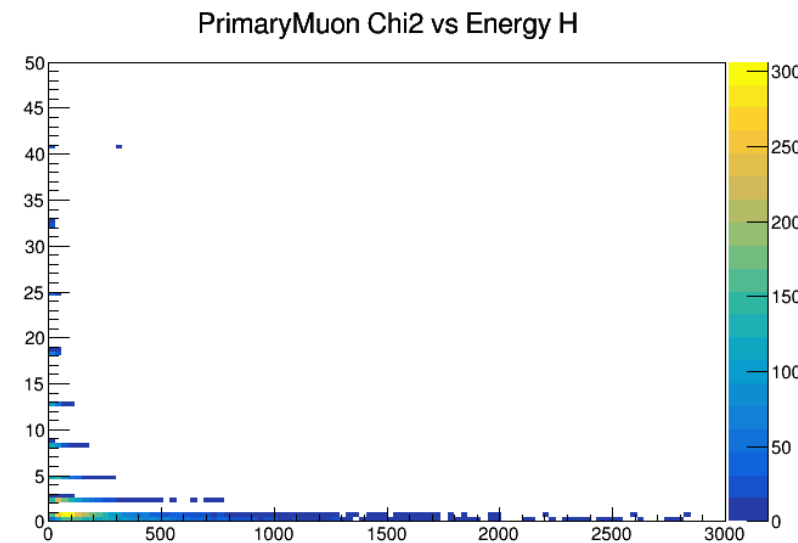
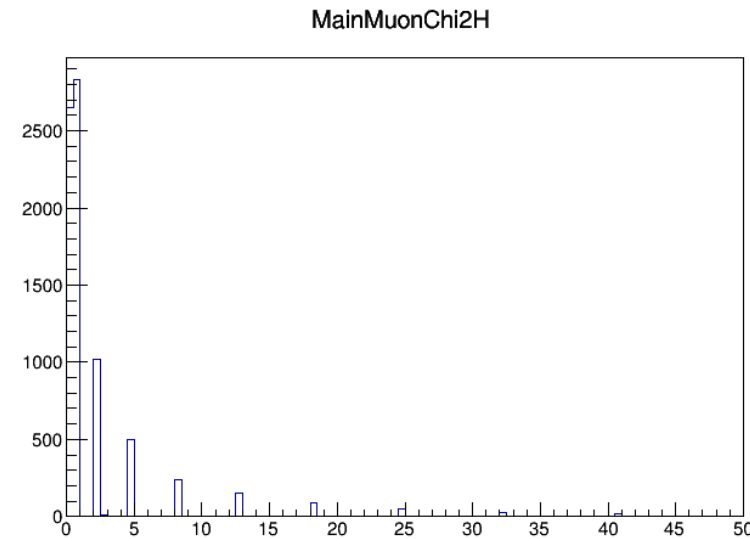
Track finding logic

- From what we learned on correlation we choose a simple track finding logic
 - We start from a hit bar in Layer 7
 - We look for a hit bar in Layer 6 in a ± 2 window
 - If found we search a hit in Layer 8 using the same ± 2 bar window with respect to Layer 7
 - We check that the triplette is pointing toward the interaction region
- Usually we found a limited number of Triplets, with a long tail in high occupancy events



Chi2 Evaluation

$$\chi^2 = \frac{(Bar7 - Bar6)^2 + (Bar7 - Bar8)^2 + (Bar6 - Bar8)^2}{3}$$

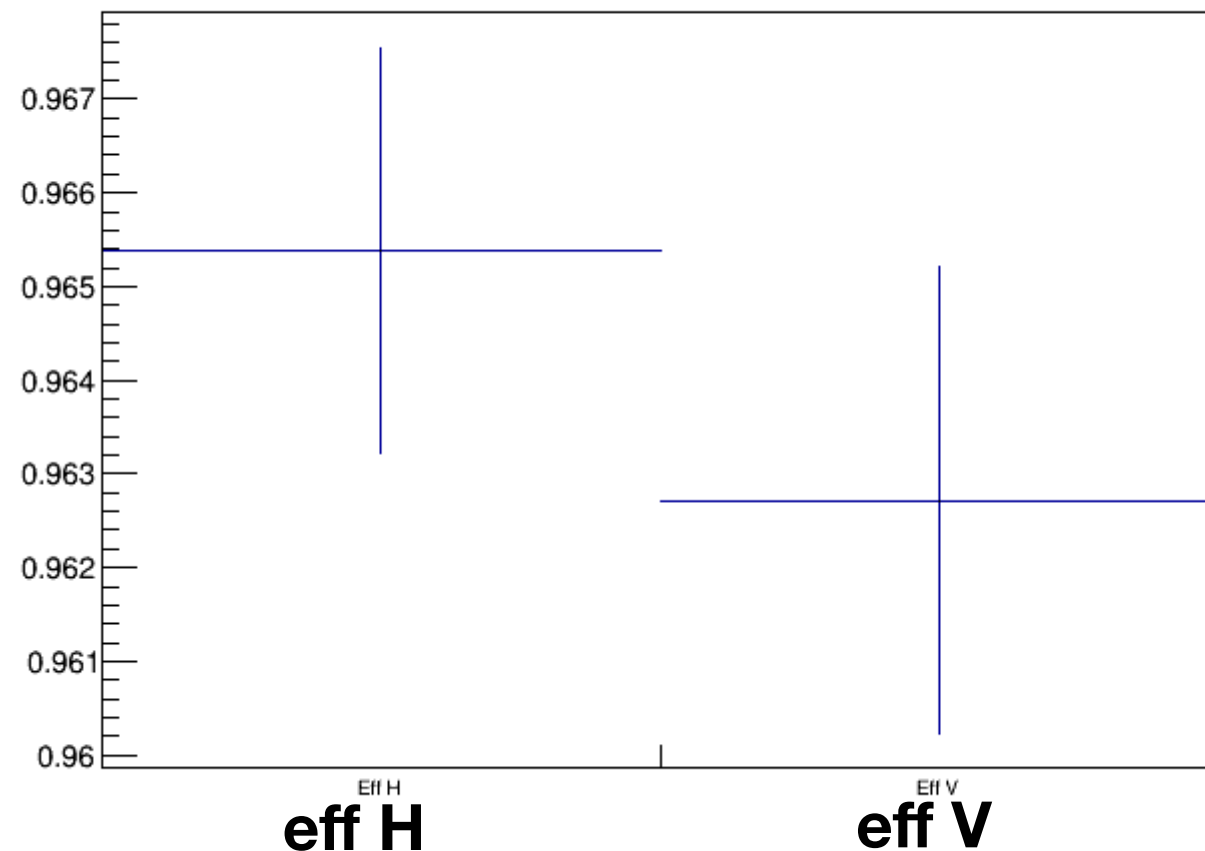


- Primary muons with high χ^2 are in general low energy muons, in which we are less interested
- χ^2 can be used to select triplette in energy.
 - Cut applied at $\chi^2 = 1$
 - Inefficiency from the ± 2 rule are “low energy” muons

Reconstruction efficiency

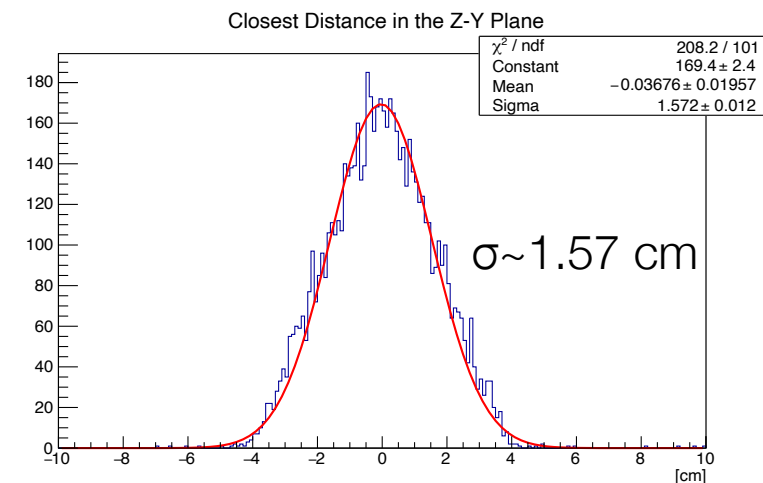
- Reconstruction efficiency is given on the probability to find the muon triplette in the one reconstructed

Efficiency primary

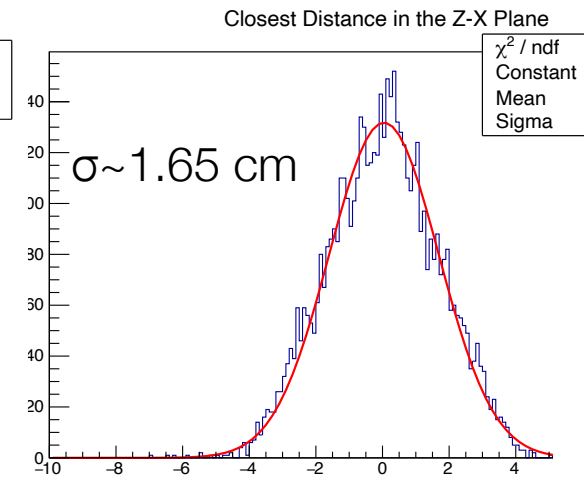


Resolution

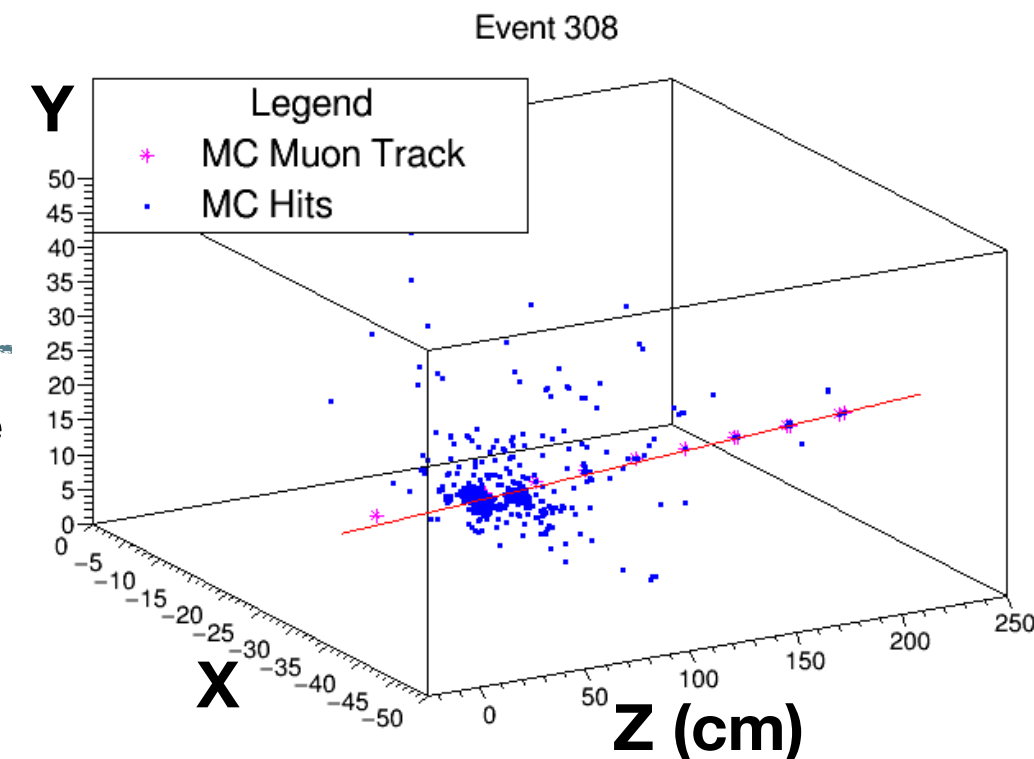
- Fitting separately the H and V triplette we looked at the distance in the corresponding plane with respect to the MC origin of the muon



Horizontal Bars: Z-Y plane

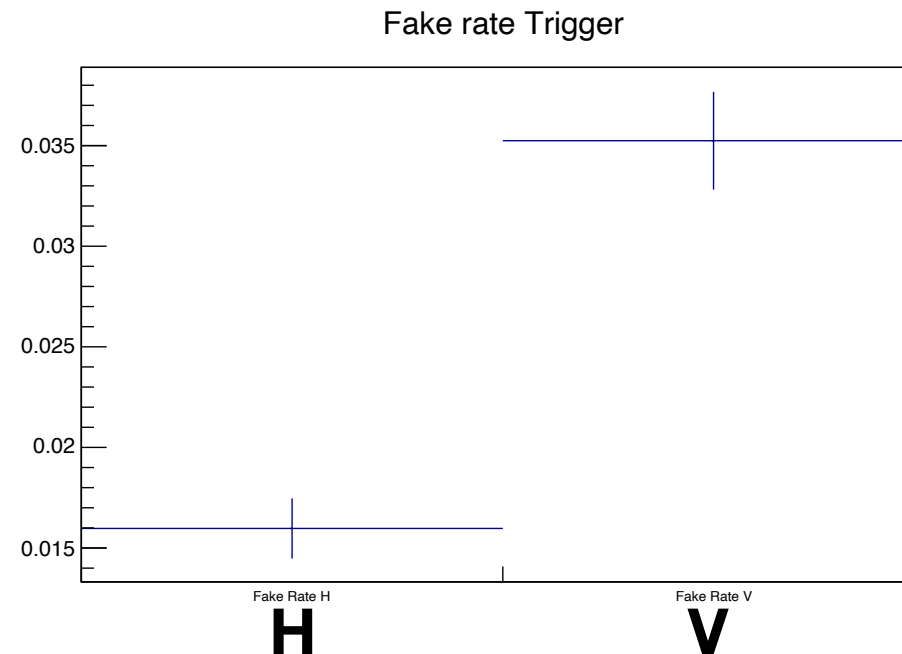


Vertical Bars: Z-X plane



Fake rate

- Fake rate is calculated event by event considering the fraction of reconstructed triplette which don't correspond the triplette of the primary muons or of any other muon in the event
- It seems low, of the order of 4%



- To really look at a trigger fake rate we would like to use the neutral current sample

Summary

(D.Fasanella)

- Correlation of hits in the 3 downstream layers seems promising and combinatorial not excessive
 - Good efficiency and small fake rate
 - 2D Resolution ~ 1.5 cm
 - Applying and OR of Horizontal and Vertical view keep an high efficiency even if we loose a layer
 - 3D combination seem to be working well
 - Need hits in all the 6 layers

Prototipo di DSM plane e tests con cosmici

Scopo è studiare vari aspetti dell'efficienza di rivelazione:

- ci si aspetta una inefficienza geometrica tra le barre dovuta allo spessore del rivestimento di mylar-alluminio **MISURA FINITA**
- nelle barre verticali, con SiPM a una sola estremità, quanto è diversa l'ampiezza del segnale tra vicino e lontano il SiPM. **IN CORSO**
- come varia l'ampiezza del segnale se il SiPM non è a contatto con lo scintillatore ma distante 0.25 mm **MISURA DA FARE**

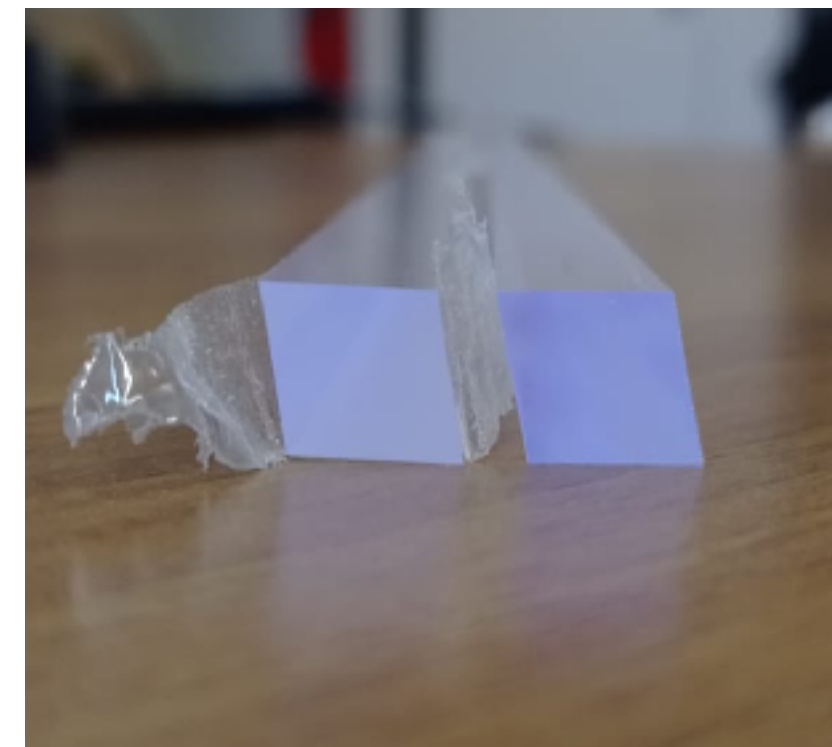
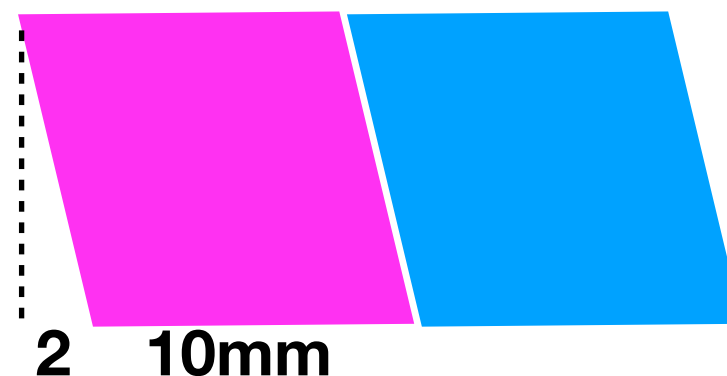
Spessore misurato del foglio di mylar-alluminio = 25 micron

Tra due barre ci sono 50 micron di materiale inattivo ogni 10 mm

Inefficienza intrinseca di un layer 0.5%

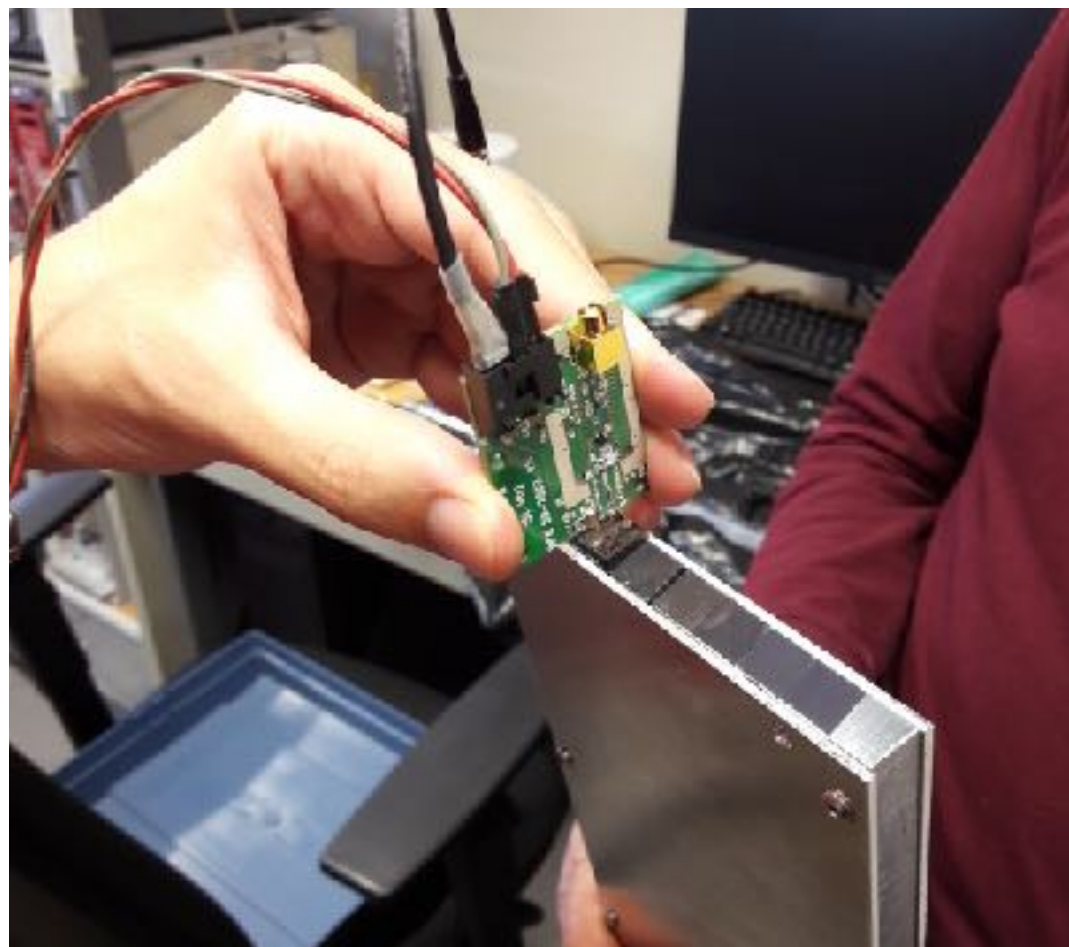
Efficienza di un tripletto H o V = 98.5%

Provare barre a sezione romboidale anziché quadrata



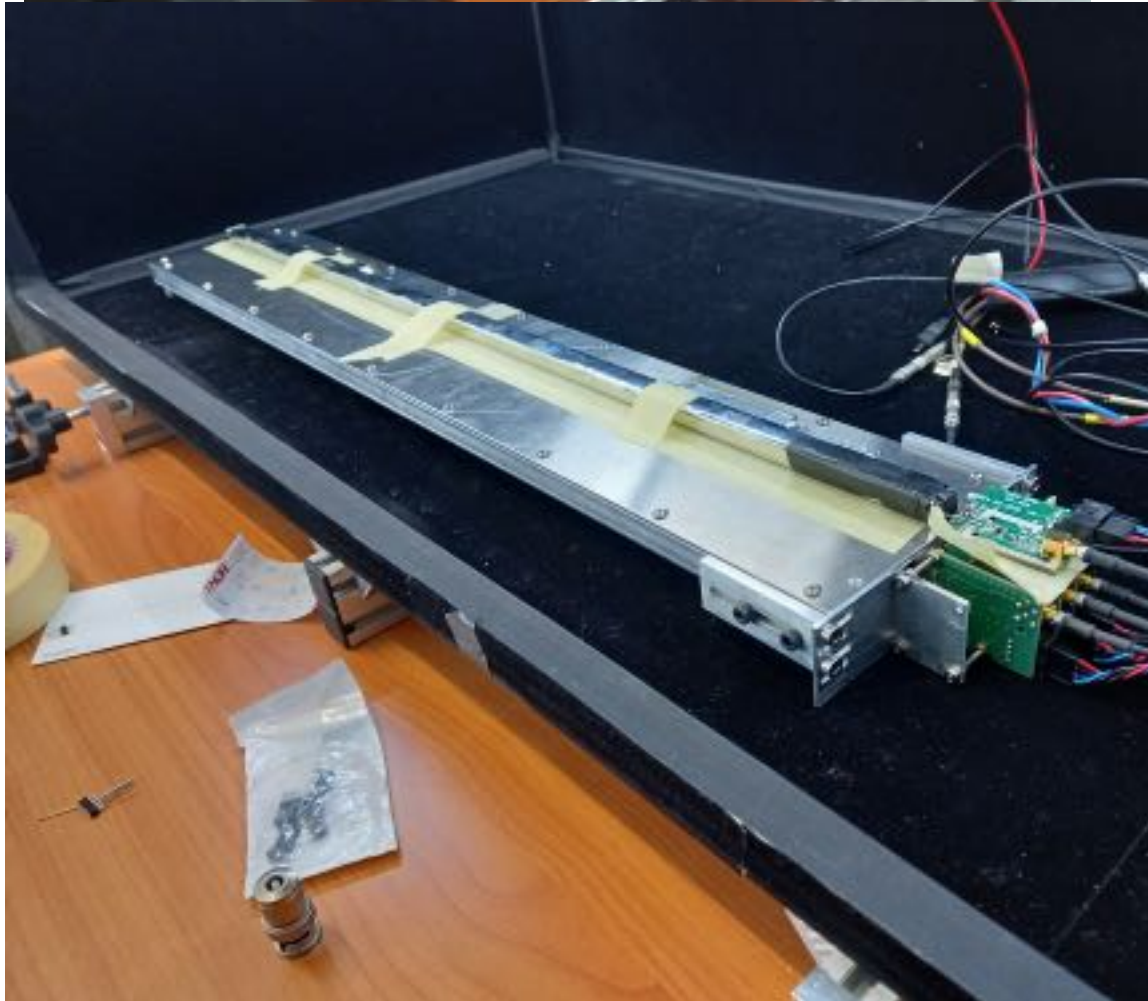
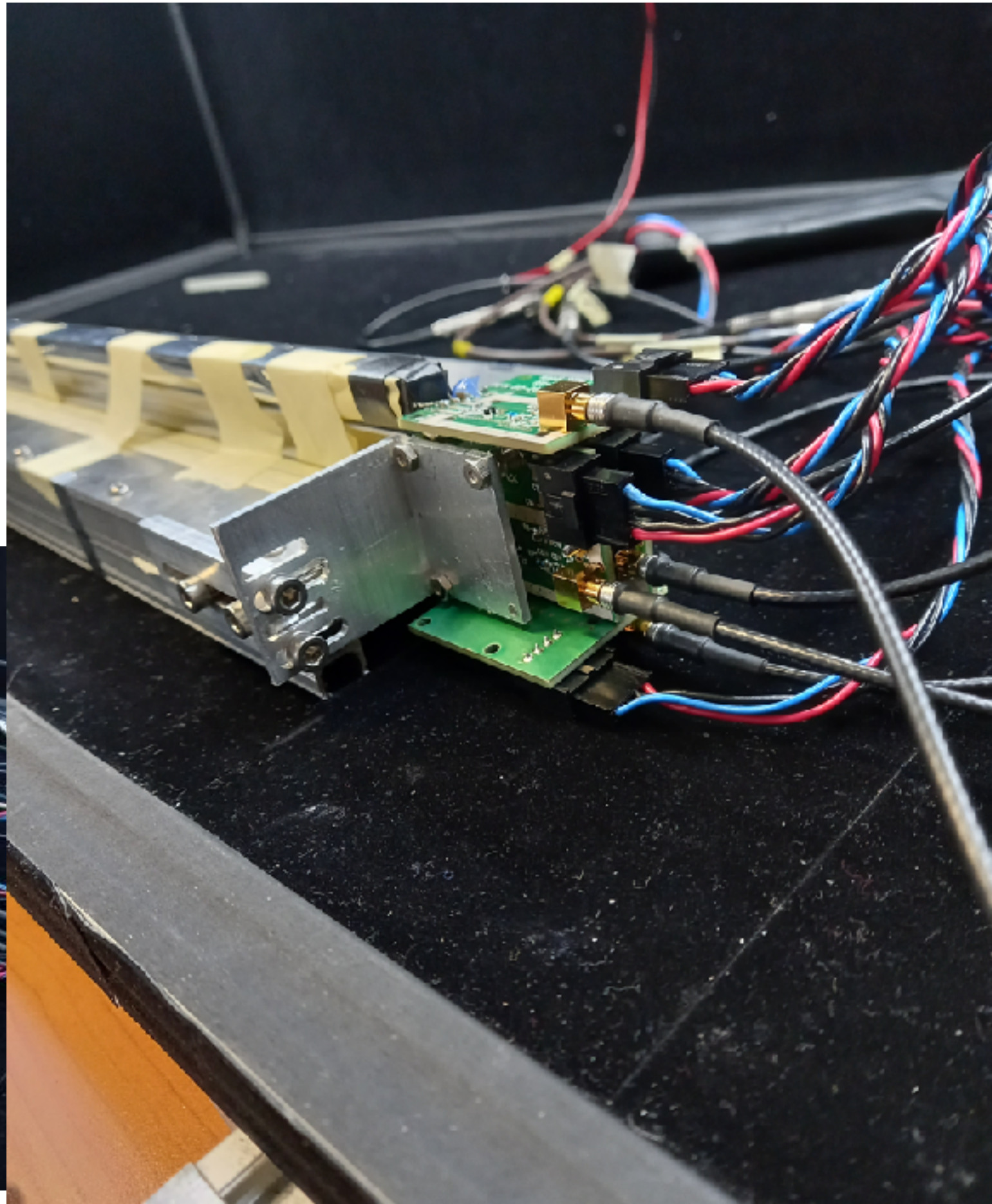


V.Cafaro
scintillator bars



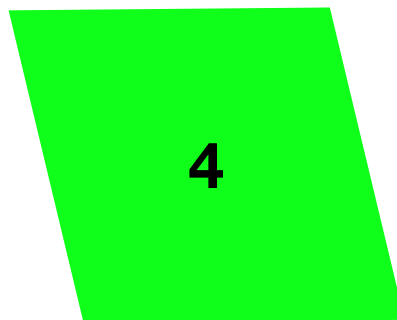
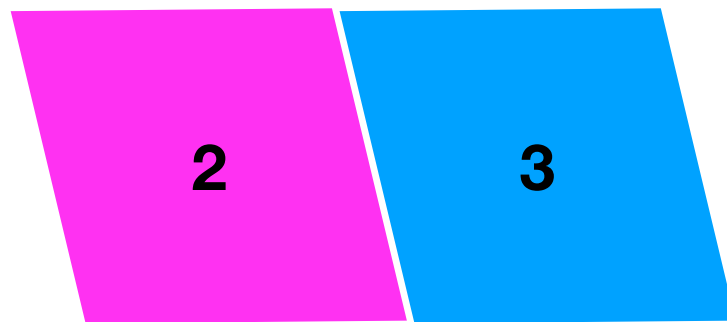
I.Lax
**preamp board
with SiPM**

dark box (V.Cafaro, V.Cicero, A.Montanari, N.Tosi)





10 mm

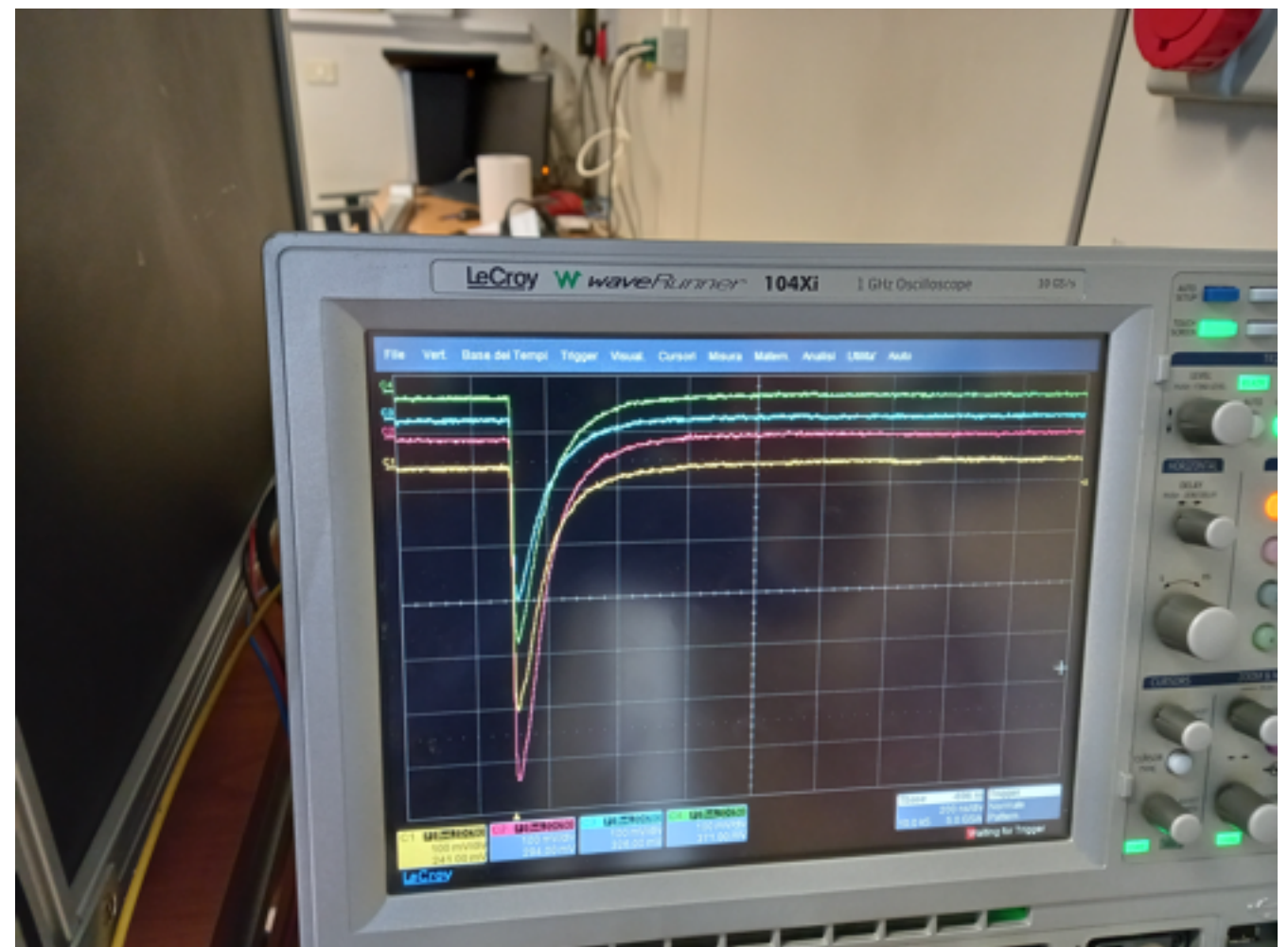
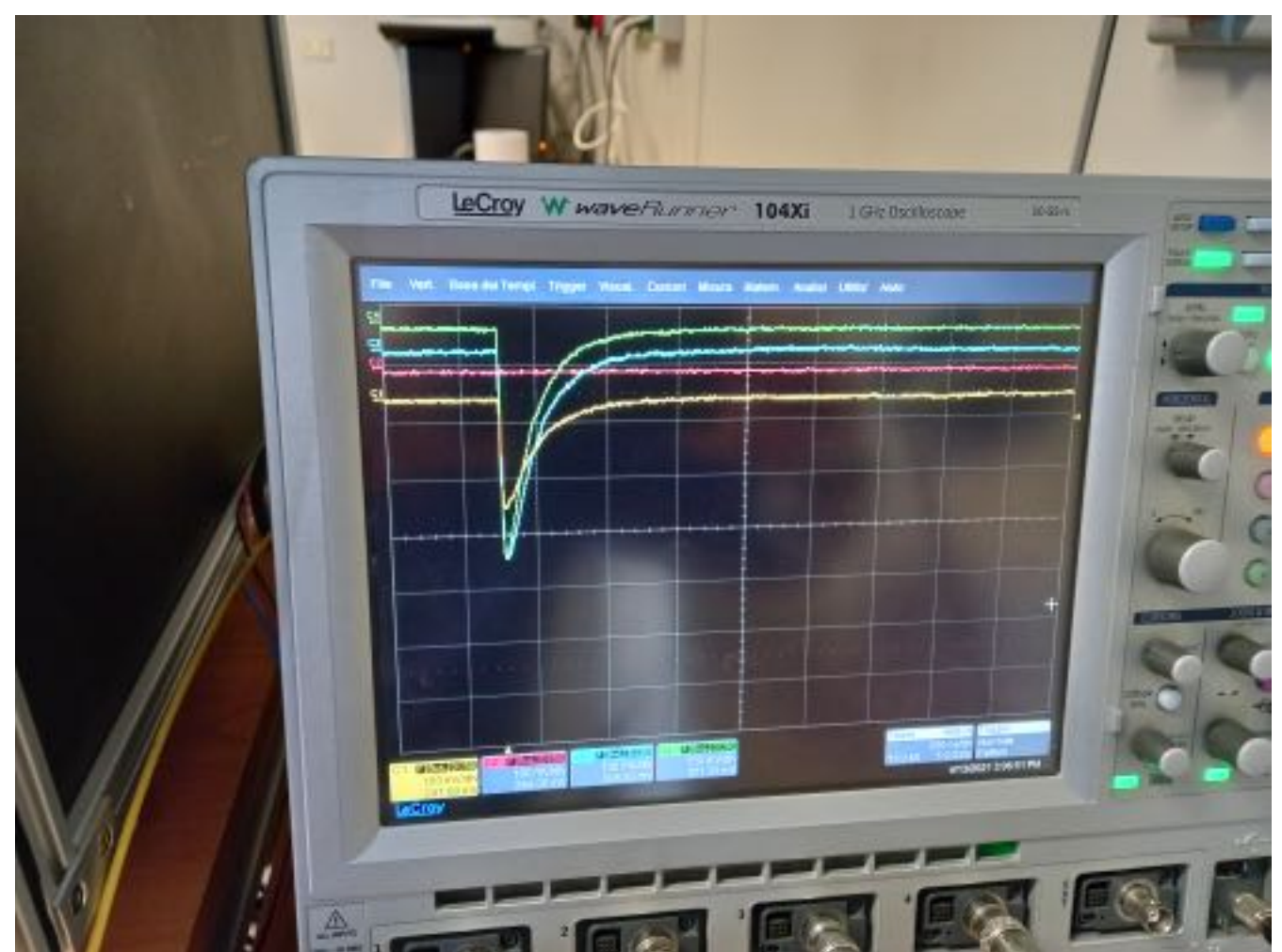


trigger on 1&4

rate: 600 triggers /ora

on 2366 triggers (4 hours) :
1365 above threshold in channel 3
1094 above threshold in channel 2
2366 above threshold in 2 or 3

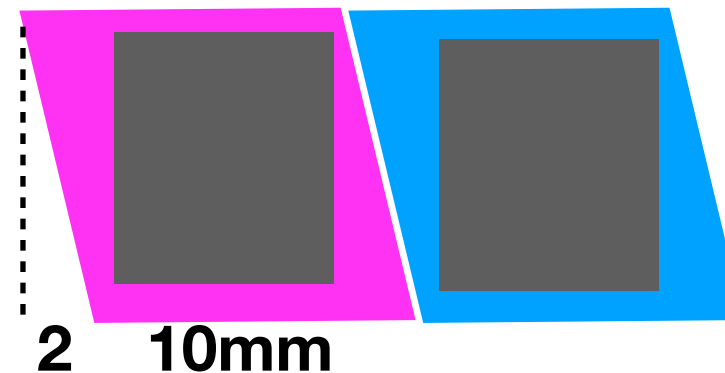
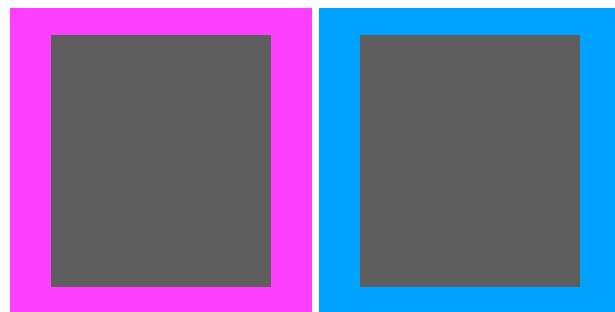
$$1/\sqrt{2366} = 2\%$$



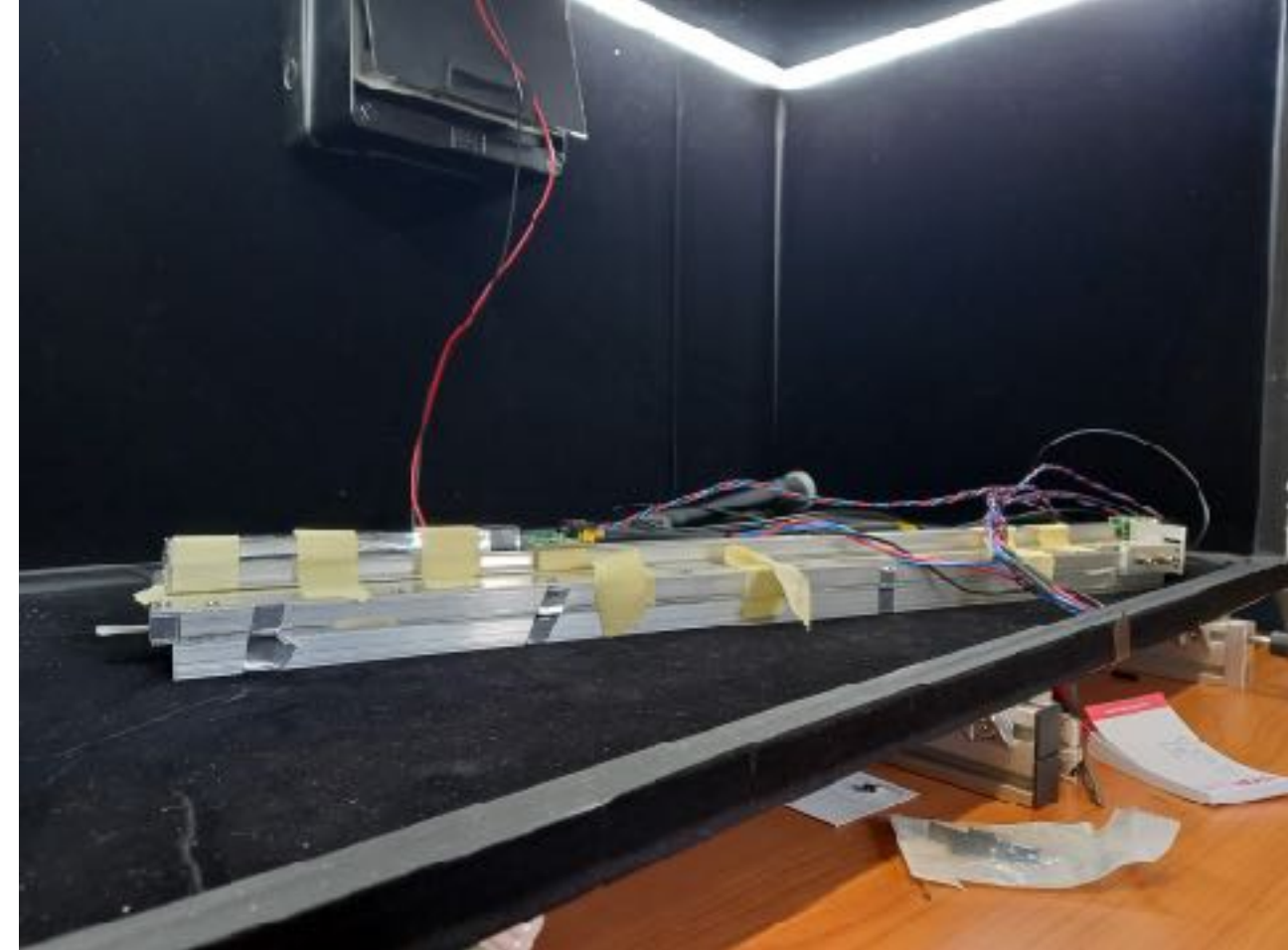
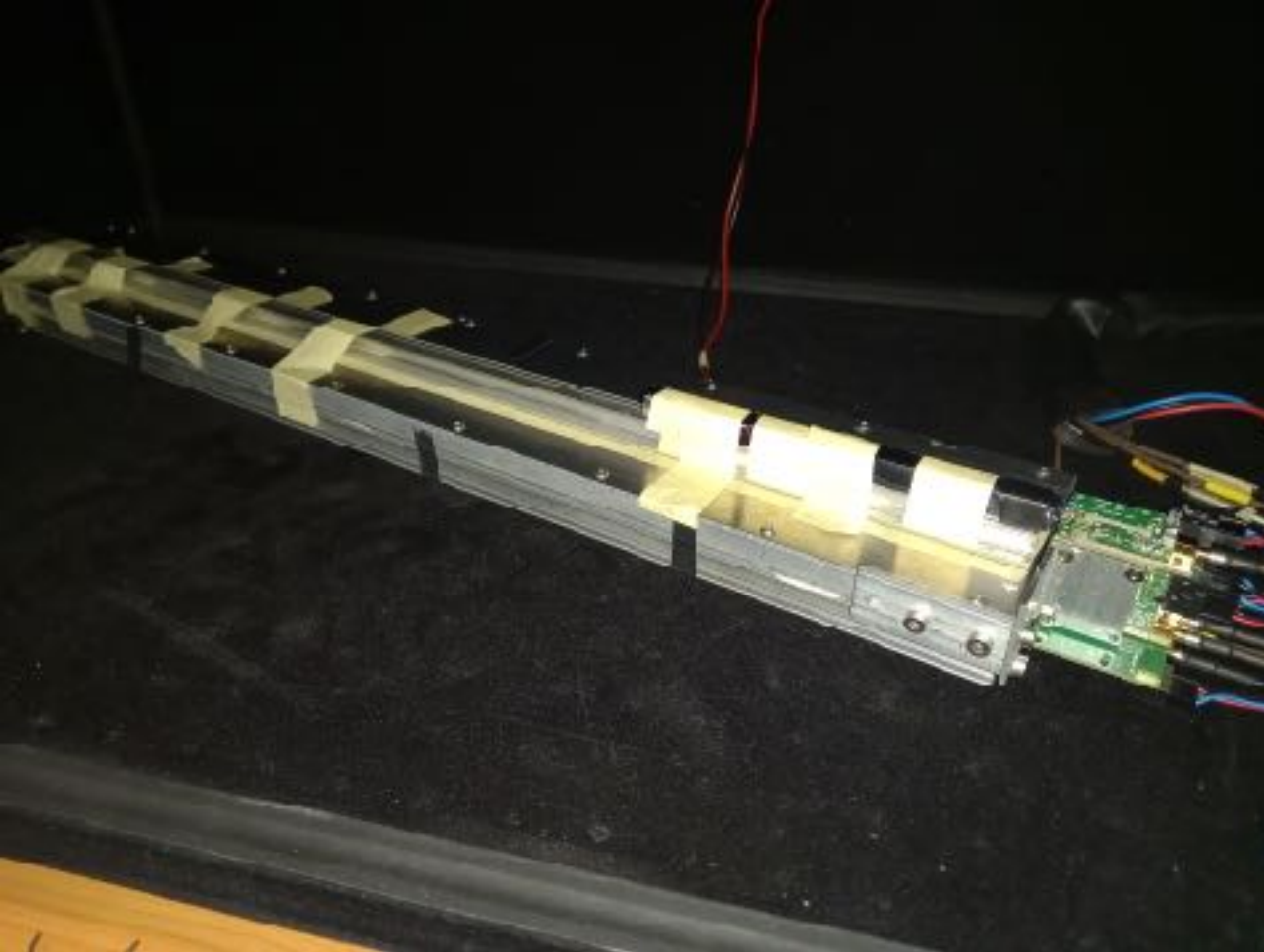
**(C.Battilana, V.Cafaro, M.Dallavalle,
I.Lax, A.Montanari, N.Tosi)**

sommario barre romboidali:

- potenzialmente si recupera la piccola inefficienza causata dallo spessore dell'involucro di mylar-alluminio**
- lavorazione complessa, anche con le macchine a controllo numerico dell'officina di Bologna, rispetto alle barre quadrate. Difficile rispettare le tolleranze richieste.**
- più difficile posizionare i SiPM di 6x6 mm²**



La collaborazione ha scelto le barre a sezione quadrata



configurazione A
la barra superiore 1 copre 15 cm
all'estremità vicina al SiPM

1

configurazione B
la barra superiore 1 copre 15 cm
all'estremità lontana dal SiPM

10 mm

2

3

4

trigger 1&4
rate ~200 triggers/ora

confronto tra configurazione A e B
IN CORSO



Muon Up- & Down- stream detector cost & schedule

Groups involved: Zurich, Berlin, Mainz, Lausanne, Bologna

proposed INFN contribution (29.3KEuro):

	Unit cost [CHF]	Units	Cost [kCHF]
<i>Detector</i>			
Upstream Bars	200	55	11.0
Downstream Horz. Bars	105	183	19.2
Downstream Vert. Bars	90	183	16.5
SiPMs	25	1'400	35.0
		Total	81.7
<i>DAQ Boards*</i>			
PCB, components, assembly	1'189	6	7.1
Enclustra FPGA module	357	6	2.1
TOFPET2 ASIC	352	48	16.9
FE board	100	24	2.4
FE cables	59	6	0.4
		Total	28.9
<i>Power Supplies*</i>			
CAEN LV module	638	6	3.8
CAEN HV module	1'375	6	8.3
CAEN crate	1'286	6	7.7
		Total	19.8
<i>Mechanics</i>			
Mechanical structure	500	8	4.0
PCB end-cap	100	19	1.9
Transport to CERN	100	8	0.8
		Total	6.7
Grand total			137.2

1Eur=1.07CHF

120 bars → 11.8 KCHF → 11 KEur

downstream PCB (9pc) → 2.9 KEur

light tight caps (9pc) → 1.8 KEur

600 SiPMs → 14.6 KCHF → 13.6 KEur

**In corso acquisti SiPM e scintillatori,
produzione parti tra maggio e giugno.**

Assembling & test: July, August 2p*2w

Test beam: Oct 4p*1w

Installation: November 2p*2w

INFN proposed support:

3 person*month @ CERN

Table 6: Cost estimates in CHF for different components of the muon system. *These are effective costs for the whole system. They are included in the cost estimates of the DAQ system.

TOTALE RICHIESTE 2021: 29.3 KEur Muon (+ 24 KEur upgrade tavolo di scan)

altro

Physics potential of an experiment using LHC neutrinos

N Beni¹, M Brucoli² , S Buontempo⁵, V Cafaro⁴,
G M Dallavalle^{3,8} , S Danzeca², G De Lellis^{2,3,5},
A Di Crescenzo^{3,5}, V Giordano⁴, C Guandalini⁴, D Lazic⁶,
S Lo Meo⁷, F L Navarria⁴ and Z Szillasi^{1,2}

¹ Hungarian Academy of Sciences, Inst. for Nuclear Research (ATOMKI), Debrecen, Hungary

² CERN, CH-1211 Geneva 23, Switzerland

³ Dipartimento di Fisica E. Pancini, Università Federico II, Naples, Italy

⁴ INFN sezione di Bologna and Dipartimento di Fisica dell'Università, Bologna, Italy

⁵ INFN sezione di Napoli, Naples, Italy

⁶ Boston University, Department of Physics, Boston, MA 02215, United States of America

⁷ INFN sezione di Bologna and ENEA Research Centre E. Clementel, Bologna, Italy

E-mail: marco.dallavalle@cern.ch

Received 24 April 2019, revised 14 August 2019

Accepted for publication: 29 August 2019

Published 11 October 2019



CrossMark

Abstract

Neutrinos are abundantly produced in the LHC. Flavour composition and energy reach of the neutrino flux from proton-proton collisions depend on the pseudorapidity η . At large η , energies can exceed the TeV, with a sizeable contribution of the τ flavour. A dedicated detector could intercept this intense neutrino flux in the forward direction, and measure the interaction cross section on nucleons in the unexplored energy range from a few hundred GeV to a few TeV. The high energies of neutrinos result in a larger πN interaction cross section, and the detector size can be relatively small. Machine backgrounds vary rapidly while moving along and away from the beam line. Four locations were considered as hosts for a neutrino detector: the CMS quadrupole region (25 m from CMS Interaction Point (IP)), UJ53 and UJ57 (90 and 120 m from CMS IP), RR53 and RR57 (240 m from CMS IP), TI18 (480 m from ATLAS IP). The potential sites are studied on the basis of (a) expectations for neutrino interaction rates, flavour composition and

⁵ Author to whom correspondence should be addressed.



Original content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/). Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

Further studies on the physics potential of an experiment using LHC neutrinos

N Beni^{1,2}, M Brucoli² , V Cafaro³, T Camporesi², F Cerutti²,
G M Dallavalle^{3,*} , S Danzeca², A De Roeck², A De Rújula⁴,
D Fasanella², V Giordano³, C Guandalini³, A Ioannisyan^{2,5},
D Lazic⁶, A Margotti³, S Lo Meo^{3,7}, F L Navarria³,
L Patrizii³ , T Rovelli³, M Sabaté-Gilarte^{2,8}, F Sanchez
Galan², P Santos Diaz², G Sirri³, Z Szillasi^{1,2} and C-E Wulz⁹

¹ Hungarian Academy of Sciences, Inst. for Nuclear Research (ATOMKI), Debrecen, Hungary

² CERN, CH-1211 Geneva 23, Switzerland

³ INFN sezione di Bologna and Dipartimento di Fisica dell'Università, Bologna, Italy

⁴ Inst. de Estructura de la Materia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, Spain

⁵ A.Alikhanyan National Science Laboratory, Yerevan Physics Institute, Yerevan, Armenia

⁶ Boston University, Department of Physics, Boston, MA 02215, United States of America

⁷ ENEA Research Centre E. Clementel, Bologna, Italy

⁸ Universidad de Sevilla, Spain

⁹ Institute of High Energy Physics of the Austrian Academy of Sciences, and Vienna University of Technology, Vienna, Austria

E-mail: Marco.Dallavalle@cern.ch

Received 20 April 2020, revised 8 July 2020

Accepted for publication 20 July 2020

Published 4 November 2020



CrossMark

Abstract

We discuss an experiment to investigate neutrino physics at the LHC, with emphasis on tau flavour. As described in our previous paper Beni *et al* (2019 *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **46** 115008), the detector can be installed in the decommissioned TI18 tunnel, ≈ 480 m downstream the ATLAS cavern, after the first bending dipoles of the LHC arc. The detector intercepts the intense

* Author to whom any correspondence should be addressed.



Original content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.