

An aerial photograph of a forest at night, illuminated by a golden light source from above, creating a starburst effect. The light trails are interspersed with bright blue lightning bolts striking the ground.

Come è fatto un telescopio per raggi cosmici ?

ICD - LNGS, 6 Novembre 2019

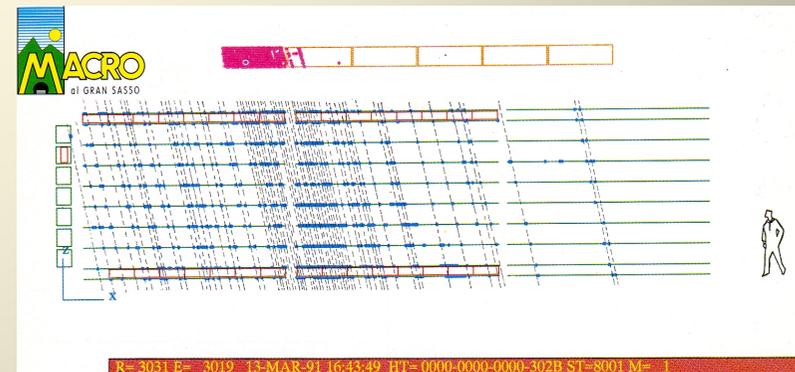
*Attanasio Candela – LNGS
candela@lngs.infn.it*

Attanasio Candela – LNGS

IL MUONE IN FUMETTI



Non tutto ciò che esiste si vede !



Gruppo di oltre 40 muoni osservati simultaneamente dall'esperimento MACRO su una superficie di circa 216 m² di rivelatore. In media nei laboratori sotterranei abbiamo un flusso di $\mu \sim 1 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

COME SI POSSONO OSSERVARE I MUONI?

- Elettroscopio
- Camera a nebbia
- Tubi a drift
- RPC
- Emulsioni fotografiche

***Noi useremo scintillatori plastici e Silicon Photomultiplier,
per costruire un TELESCOPIO per raggi cosmici !!!***

UN TELESCOPIO PER RAGGI COSMICI



La parola **“telescopio”** porta a pensare al classico strumento ottico che raccoglie la luce (o *altre radiazioni elettromagnetiche*) proveniente da “oggetti” lontani e le concentra in un punto riproducendone un’immagine ingrandita.

...il **“nostro telescopio”** è uno strumento realizzato con i classici “rivelatori” che si usano negli esperimenti di fisica delle particelle. Con esso, anziché osservare la radiazione visibile, osserviamo altri messaggeri dell’universo:

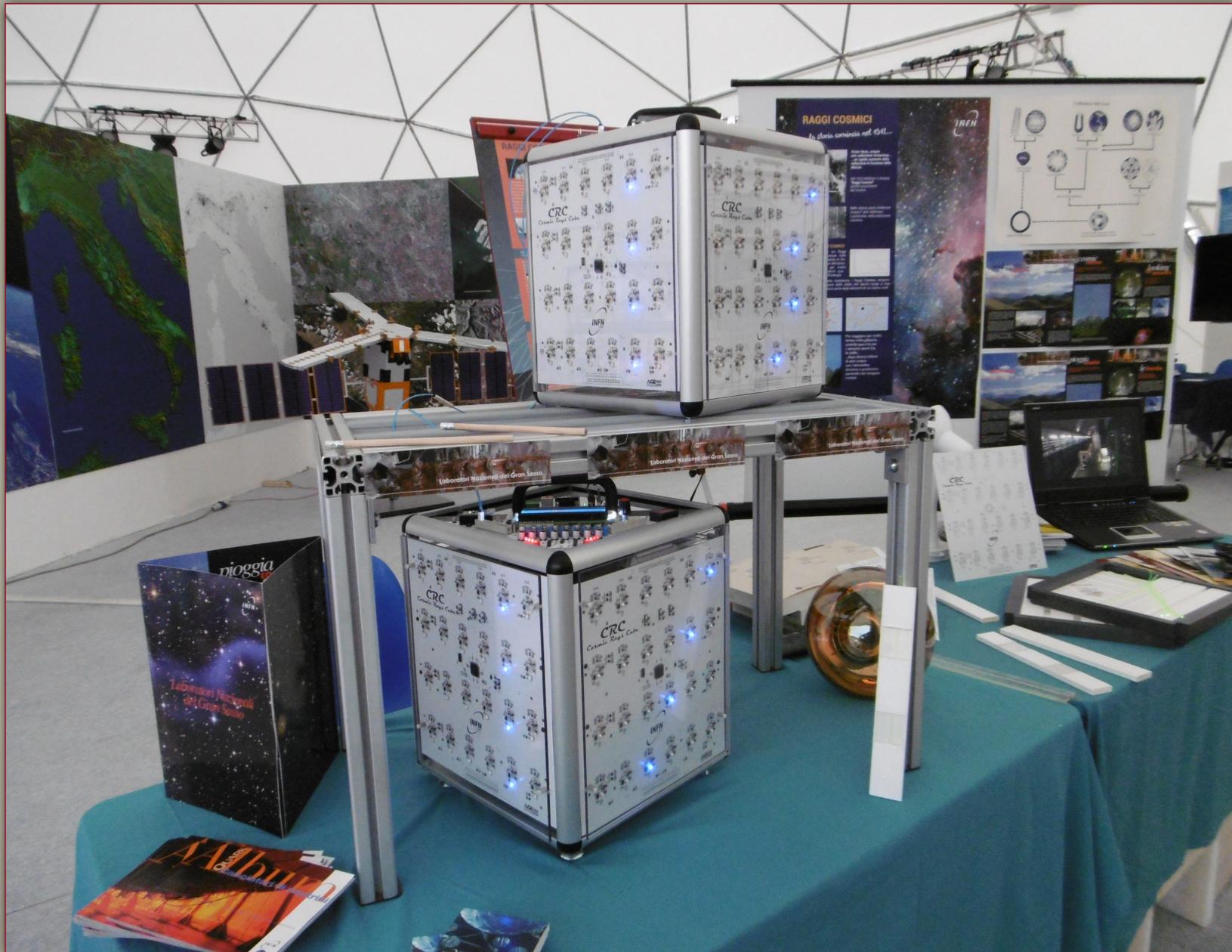
LE PARTICELLE SUBNUCLEARI

Quelle più penetranti sono in grado di arrivare al suolo ed essere osservate da questi sofisticati strumenti.

Era una notte buia e tempestosa sul Gran Sasso. All’improvviso un neutrino muonico divenne tau...



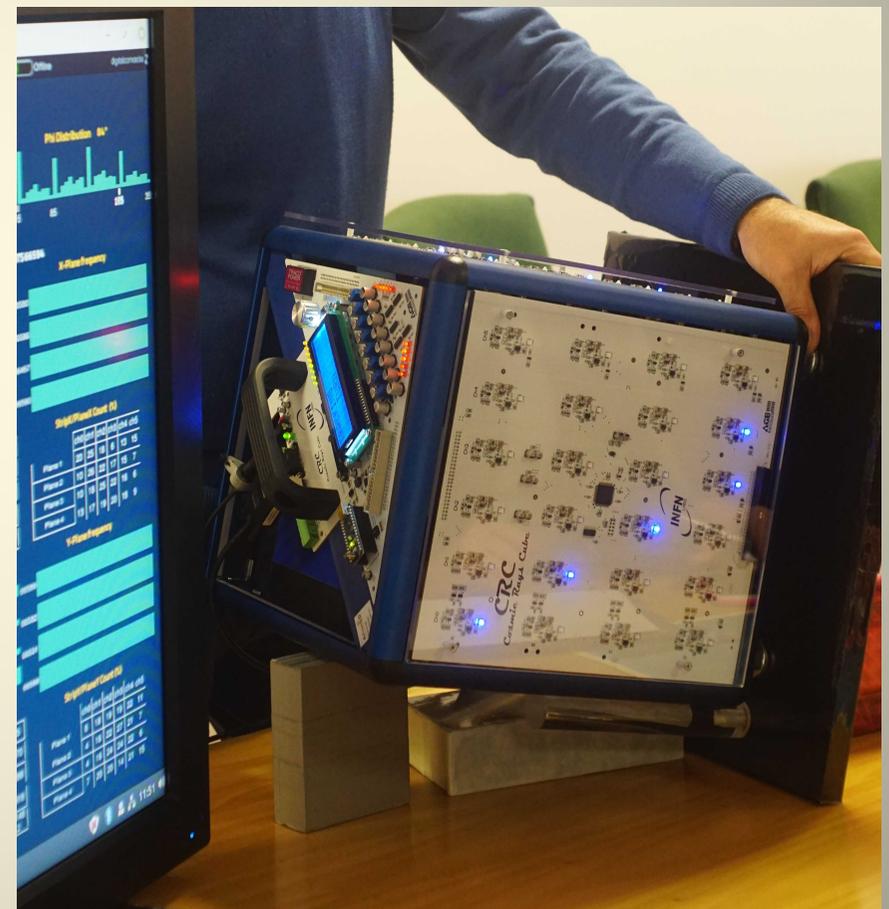
DUE TELESCOPI IN COINCIDENZA TRA LORO



ALCUNE FOTO: ICD NOVEMBRE 2018

L'International Cosmic Day è un progetto che coinvolge ogni anno 30 istituti di ricerca Internazionali e oltre 2000 studenti di 16 paesi diversi. Per l'INFN partecipano 21 sedi locali, con circa 100 scuole e oltre 800 studenti.

Articolo sul n. 27 di "Asimmetrie": <https://www.asimmetrie.it/as-spazi-27>



I SUCCESSI DELL'ICD 2018

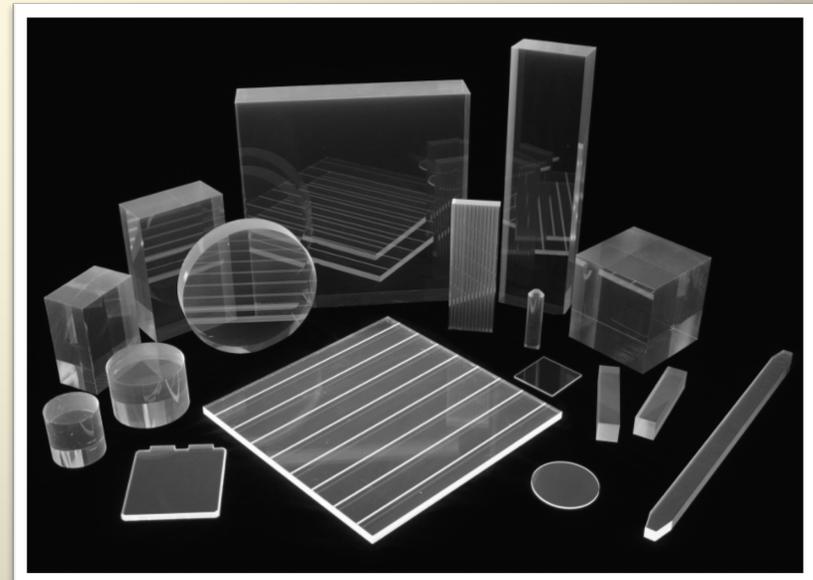
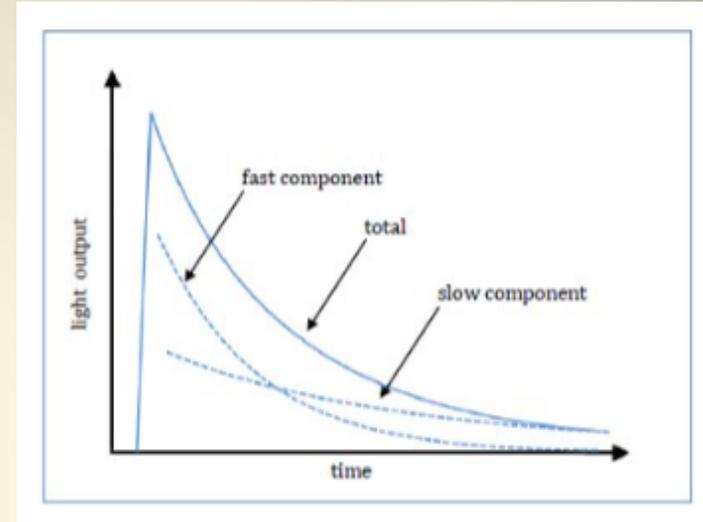
Il 22 ottobre 2019 una studentessa del liceo Scientifico “E. Fermi” di Sulmona ha ricevuto dal Presidente Mattarella una medaglia conferita ai migliori 26 studenti diplomati d'Italia.

Angela Zanatta, aveva partecipato all'ICD 2018 relazionando in inglese in videoconferenza internazionale il risultato delle misure sui raggi cosmici e all'esame di Stato ha presentato e discusso un lavoro sulle attività che si svolgono ai LNGS.



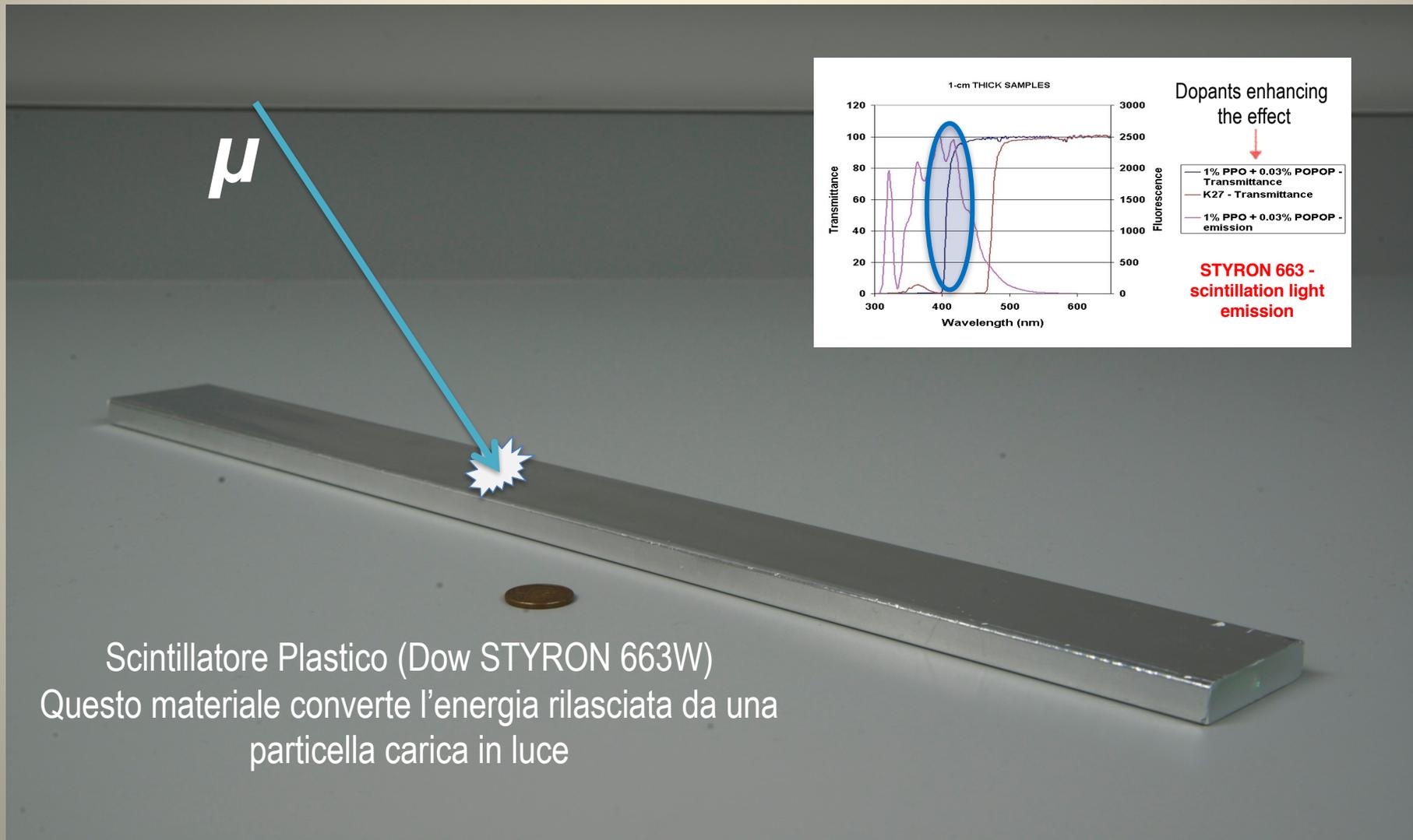
UN PARTICOLARE RIVELATORE CHE CONSENTE DI OSSERVARE I MUONI: *LO SCINTILLATORE PLASTICO*

- ❑ Gli scintillatori costituiscono un'importante classe di rivelatori usati nella fisica delle particelle. Alla base del loro funzionamento vi è il fenomeno della *luminescenza*. I materiali luminescenti, se esposti a certe forme di energia (luce, radiazione), hanno la capacità di assorbire e rimettere energia sotto forma di luce visibile.
- ❑ La particella incidente cede parte della propria energia allo scintillatore, causando l'eccitazione di un elettrone che si sposta in un livello superiore di energia. Quando l'elettrone decade al livello che occupava prima dell'eccitazione emette un "fotone" di energia relativamente bassa, tipicamente nel visibile.
- ❑ Quasi tutti gli scintillatori hanno 2 componenti di ri-emissione, una componente veloce e una lenta, entrambe hanno un andamento di tipo esponenziale.
- ❑ A seguito della interazione di una particella con lo scintillatore si ha una emissione di luce che dura circa 10^{-8} - 10^{-9} s (1-10 ns): tale processo è chiamato *fluorescenza*; c'è poi anche una emissione di luce che dura più di 100 ms e di lunghezza d'onda maggiore rispetto alla fluorescenza; questo processo si chiama *fosforescenza (o afterglow)*.
- ❑ Non tutti i materiali scintillanti possono essere utilizzati come rivelatori. Infatti, uno scintillatore di buona qualità, deve soddisfare alle seguenti caratteristiche:
 - *alta efficienza di conversione dell'energia persa dalla particella ionizzante in fotoni di scintillazione (light yield);*
 - *una costante di decadimento τ molto breve, ovvero elevata rapidità di risposta all'impatto della particella e quindi buona risoluzione temporale;*
 - *buona trasmissione della luce (lunghezza di attenuazione);*
 - *capacità di emettere su lunghezza d'onda compatibile con il dispositivo con cui si accoppia.*



LO SCINTILLATORE USATO PER IL “TELESCOPIO”

- ✓ Scintillatore organico di tipo plastico estruso (impiega polistirene in granuli, circa 2 \$/kg).
- ✓ Già dotato di materiale riflettente (biossido di titanio TiO_2).
- ✓ **Low cost**, ma bassa lunghezza di attenuazione (la distanza in corrispondenza della quale il numero di fotoni emessi dallo scintillatore e che si propagano all'interno del materiale, viene ridotto di un fattore pari a e). Nel nostro caso abbiamo una *attenuation length* di 5 cm per la componente veloce e 24 cm per quella lenta.
- ✓ Bassa *light yield*.
- ✓ invecchiamento precoce del materiale (-30% di luce in 10 anni).





Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 466 (2001) 482–491

**NUCLEAR
INSTRUMENTS
& METHODS
IN PHYSICS
RESEARCH**
Section A

www.elsevier.com/locate/nima

Low-cost extruded plastic scintillator

Anna Pla-Dalmau, Alan D. Bross*, Kerry L. Mellott

Fermi National Accelerator Laboratory, Mail Station 121 (WH 9E), P.O. Box 5000, Batavia, IL 60510, USA

Received 1 August 2000; received in revised form 2 October 2000; accepted 2 October 2000

Abstract

Motivated by a need for lower cost plastic scintillation detectors, we have tested commercially available polystyrene pellets in order to produce scintillating materials that can be extruded into various shapes. Selection of the raw materials is discussed. Two techniques are described that add wavelength shifting dopants to polystyrene pellets and extrude plastic scintillating bars using these materials. Data on light yield and transmittance are presented. © 2001 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

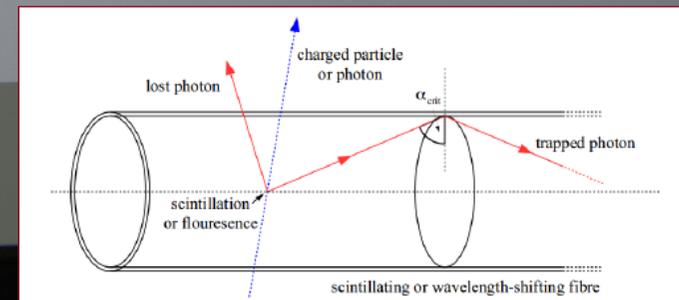
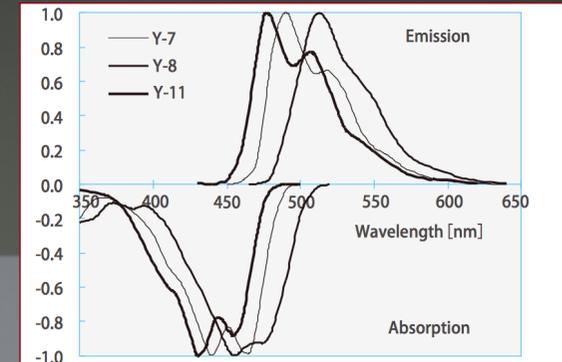
PACS: 29.40.Mc

Keywords: Scintillation; Neutrino detector; Calorimeter

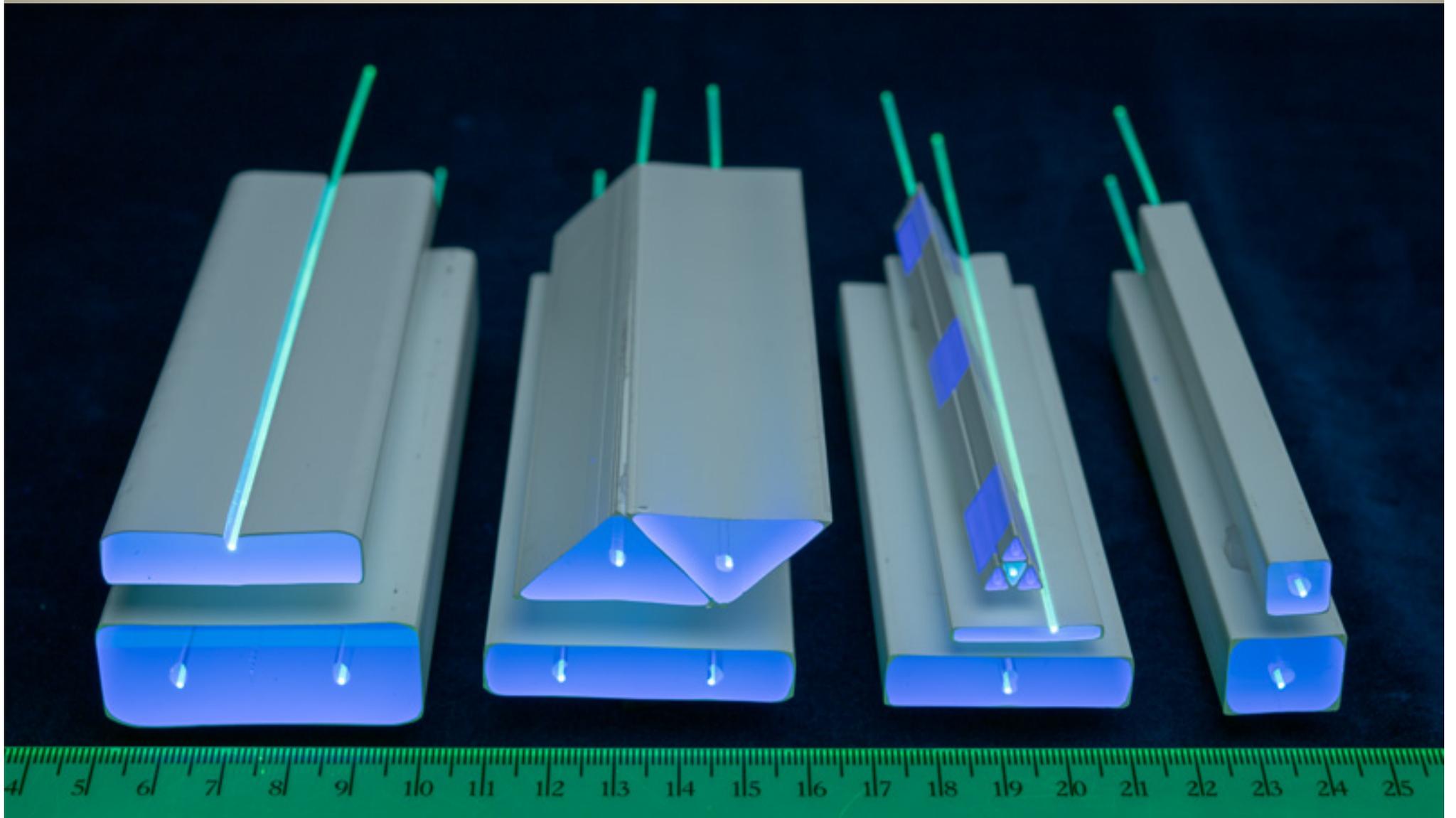
COME RISOLVERE IL PROBLEMA DELLA BASSA LUNGHEZZA DI ATTENUAZIONE???

- ✓ Usiamo particolari fibre simili alle fibre ottiche, chiamate **WLS (Wave Length Shifter)**, in grado di raccogliere la luce in ogni punto dello scintillatore e convertirla in luce di diversa lunghezza d'onda (dal blu al verde);
- ✓ Hanno lunghezza di attenuazione $> 3,5$ m (fattore estremamente importante se il segnale luminoso deve percorrere lunghe distanze prima di essere "letto" da un fotoregistratore sia esso un PMT o un SiPM).

Wavelength shifter fibre
Kuraray Y-11 - 2 mm

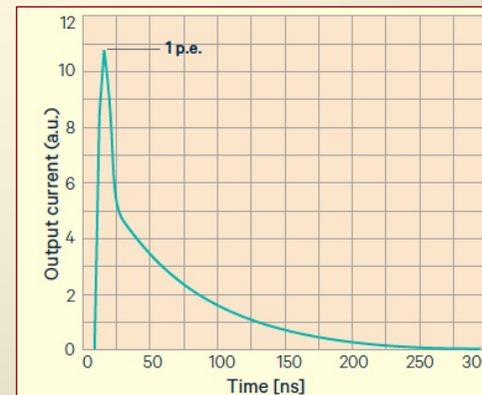
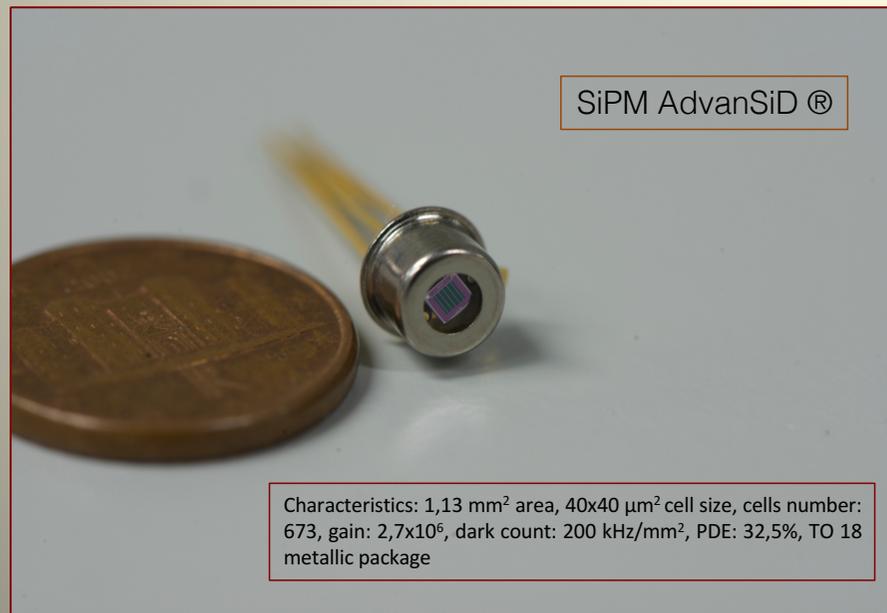


DIVERSE FORME DI SCINTILLATORE ESTRUSO

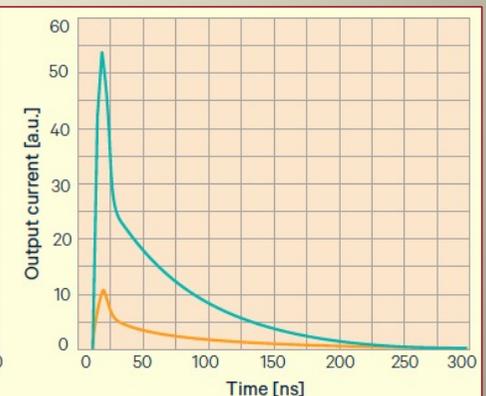


COME “LEGGERE” LA LUCE RACCOLTA DALLE WLS

- ✓ Usiamo dispositivi chiamati **SiPM (Silicon PhotoMultiplier)** in grado di convertire la luce raccolta in un segnale elettrico.
- ✓ I SiPM sono dispositivi a stato solido che quando rivelano 1 fotone producono un impulso di corrente della durata di decine di nanosecondi contenente da 10^5 a 10^6 elettroni. I SiPM hanno un guadagno!!!
- ✓ Il segnale di uscita di un SiPM è un impulso di corrente a doppio esponenziale ed è la somma analogica dei segnali prodotti da ciascuna microcella. Un SiPM perciò fornisce un segnale elettrico proporzionale al numero di fotoni incidenti.



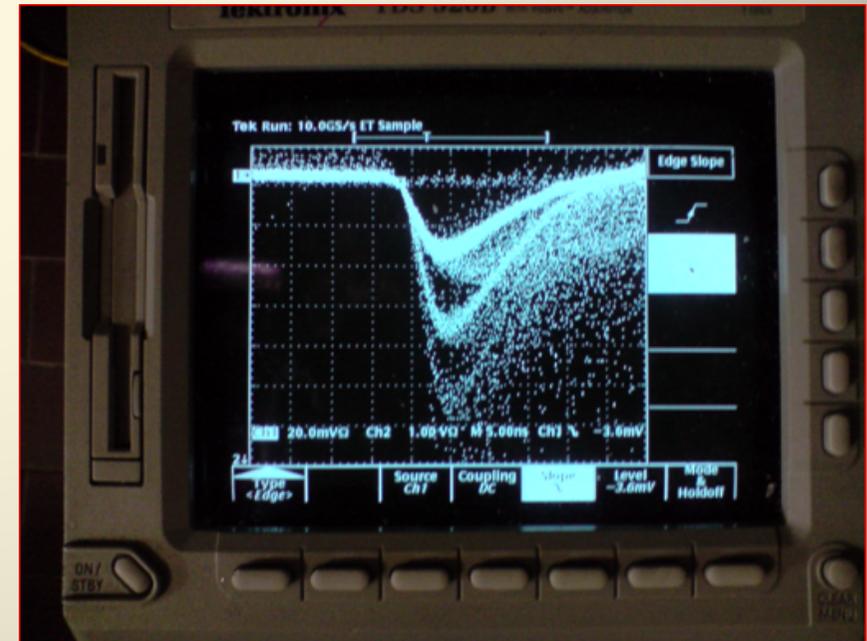
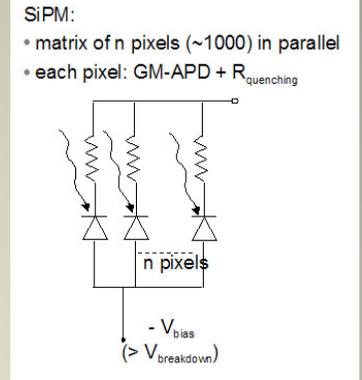
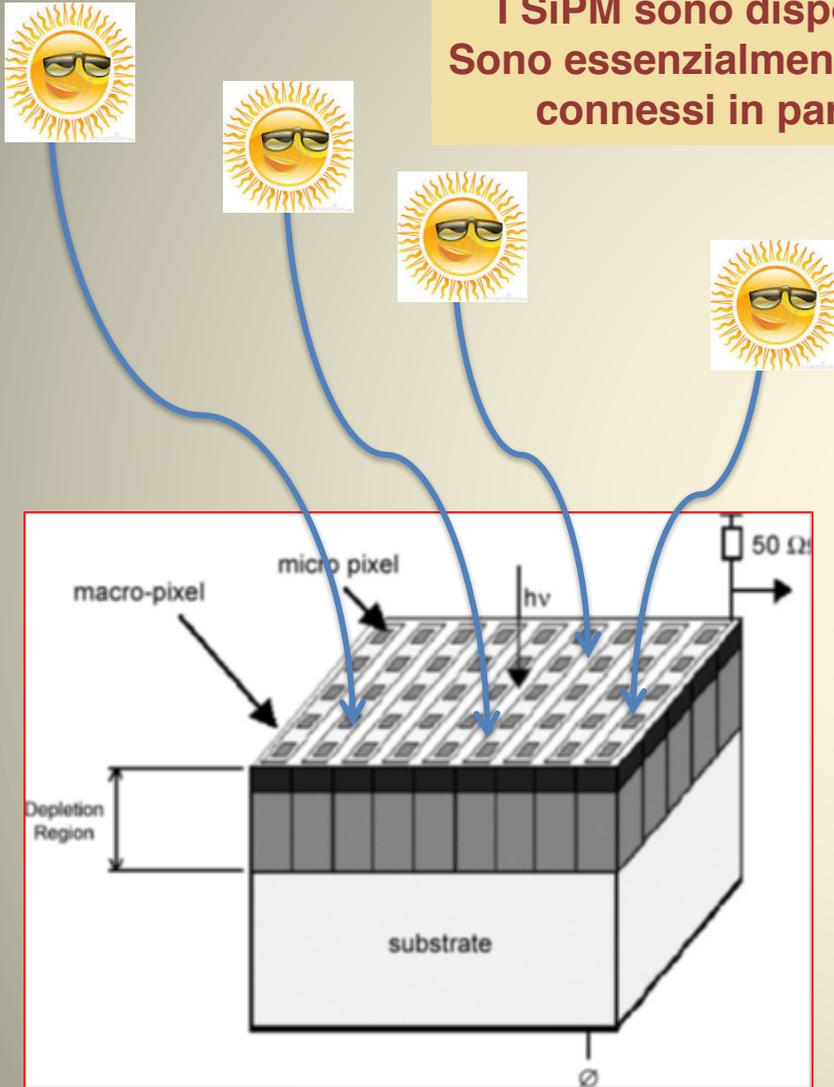
Current pulse produced by a micro-cell in response to photon absorption (single-cell signal). The pulse has a very fast rising edge and a slower trailing edge (micro-cell recovery). Its amplitude is defined to be 1 p.e. (photo-electron).



Typical SiPM pulse (blue curve) corresponding to simultaneous firing of several cells. The single-cell signal is also reported (orange curve). The SiPM amplitude and pulse area are proportional to the number of detected photons at the same time.

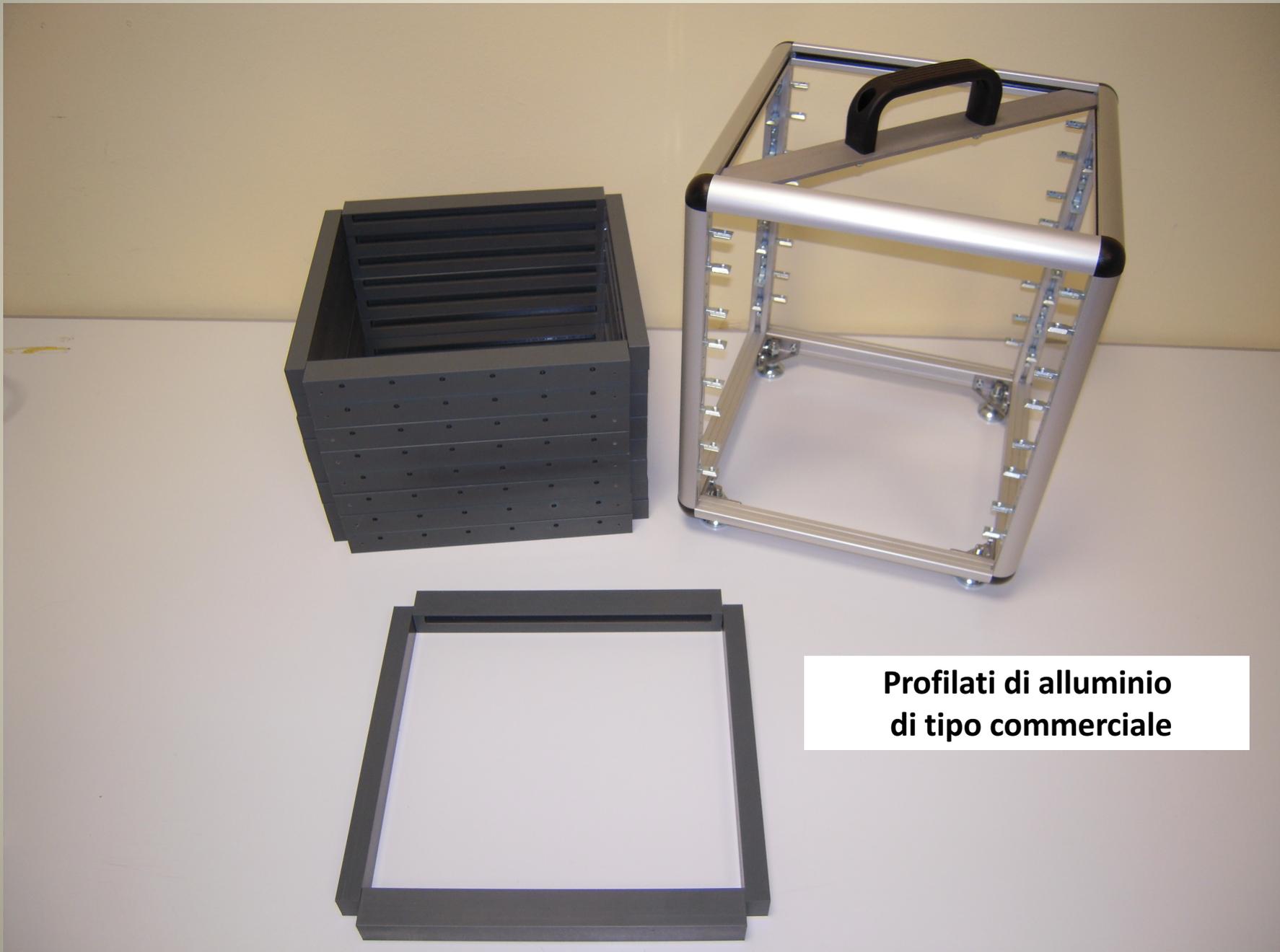
COME FUNZIONA UN SiPM

I SiPM sono dispositivi in grado di contare i fotoni. Sono essenzialmente realizzati con una matrice di diodi connessi in parallelo su un substrato di silicio.



Tipico segnale in uscita da un SipM visto con un oscilloscopio

REALIZZAZIONE PRATICA DEL TELESCOPIO



**Profilati di alluminio
di tipo commerciale**

REALIZZAZIONE PRATICA DEL TELESCOPIO

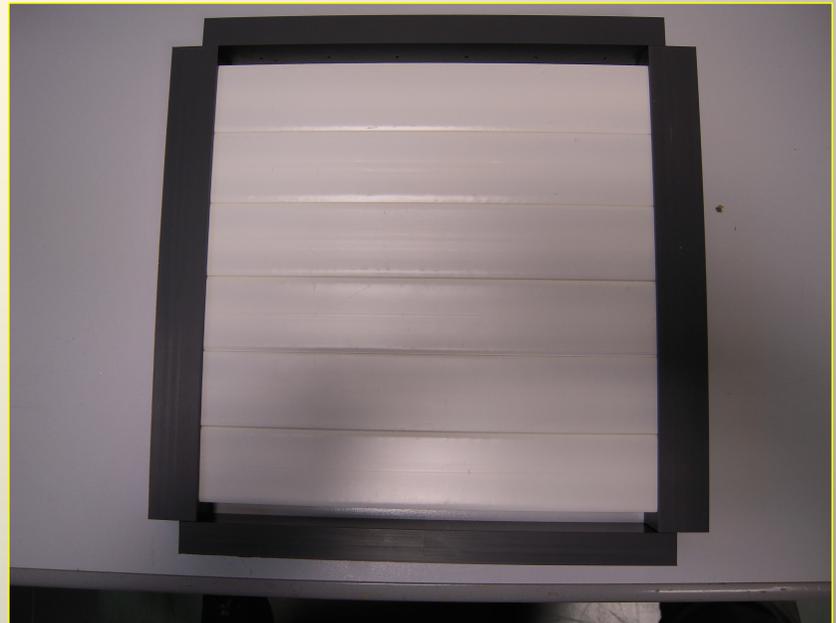
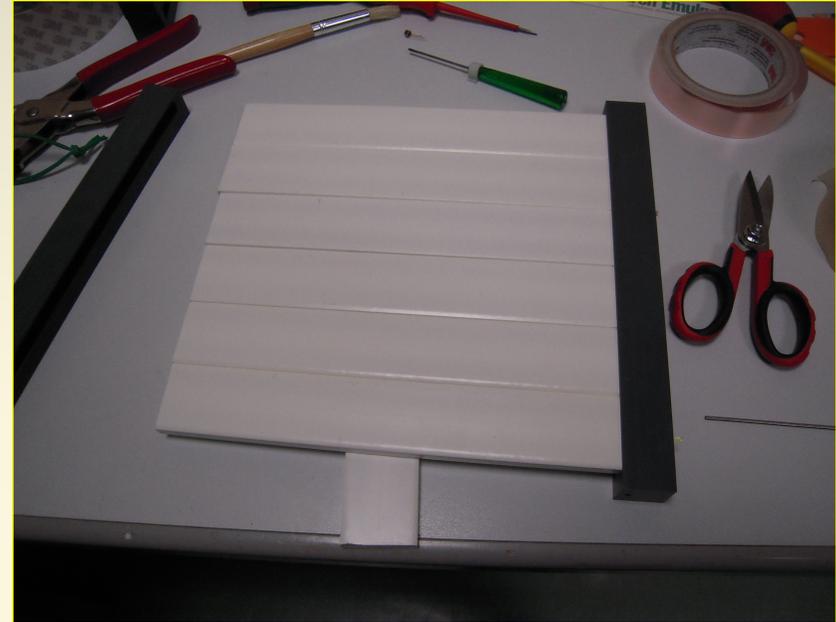
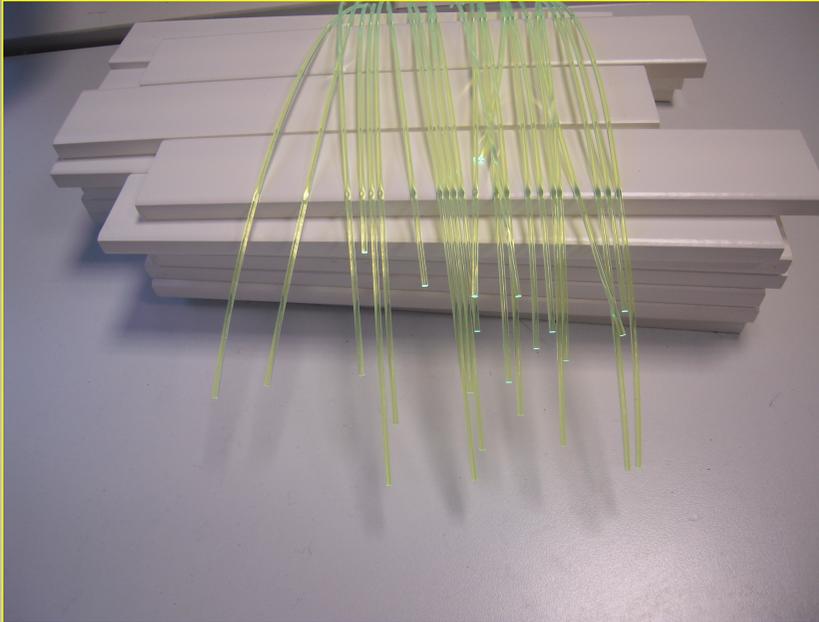


**Supporti dello scintillatore:
4 pezzi di PVC
(lavorati con fresatrice a
controllo numerico)**

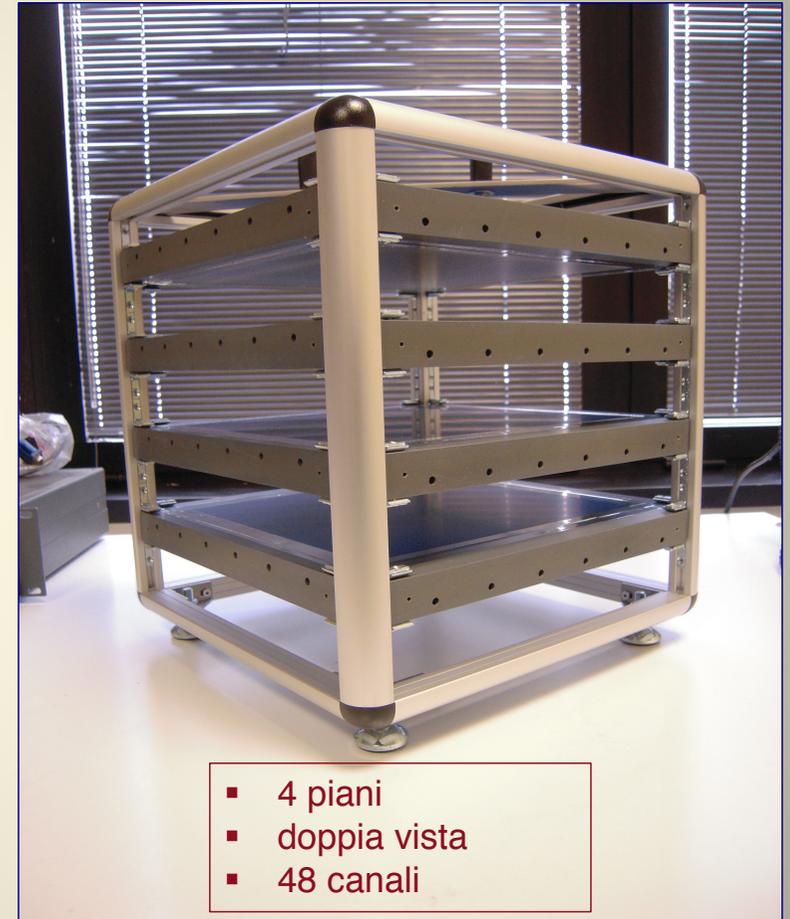
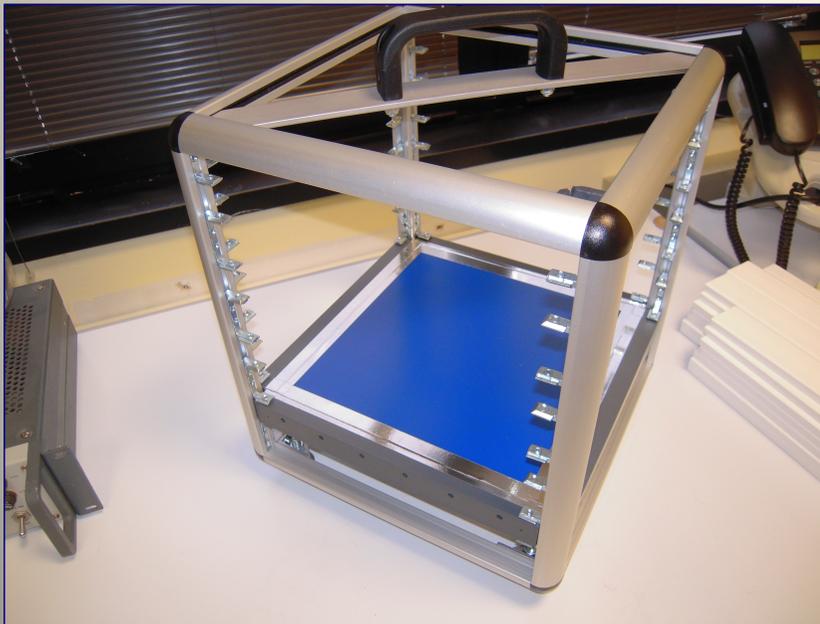
REALIZZAZIONE PRATICA DEL TELESCOPIO



REALIZZAZIONE PRATICA DEL TELESCOPIO



REALIZZAZIONE PRATICA DEL TELESCOPIO



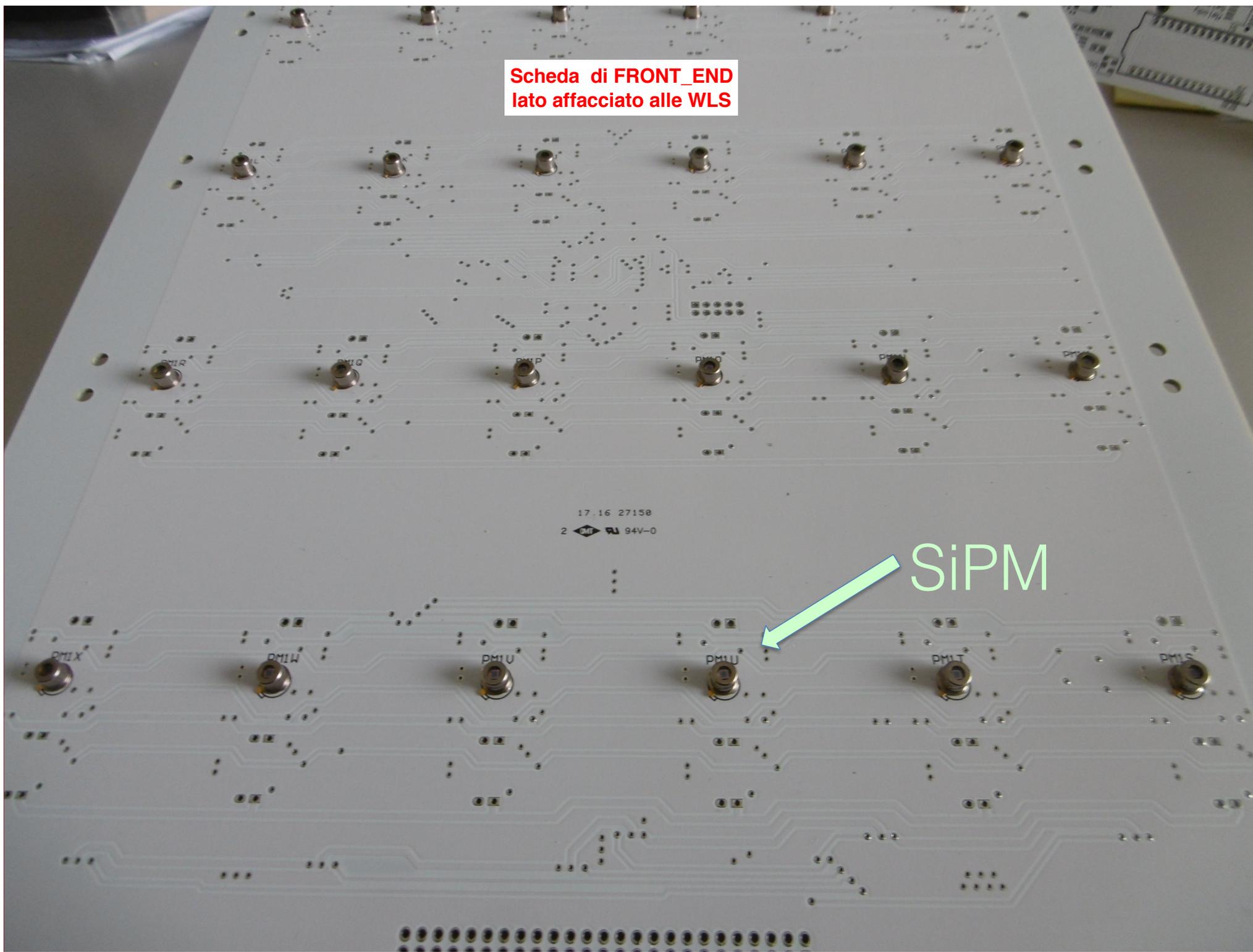
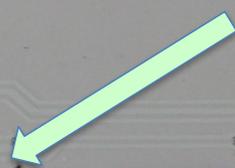
- 4 piani
- doppia vista
- 48 canali

Tutti i piani devono essere a tenuta di luce

Scheda di FRONT_END
lato affacciato alle WLS

17.16 27150
2  94V-0

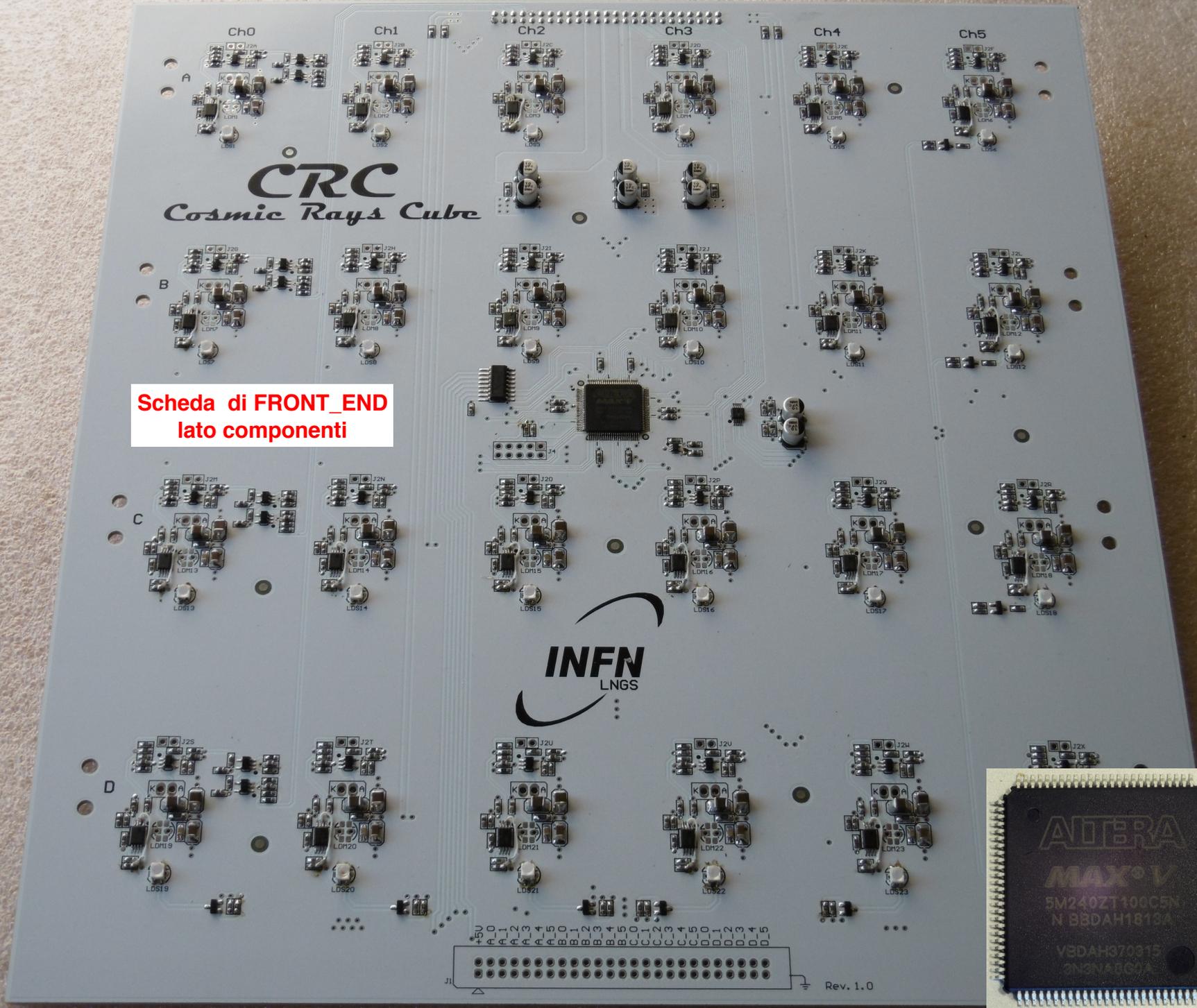
SiPM



CRC
Cosmic Rays Cube

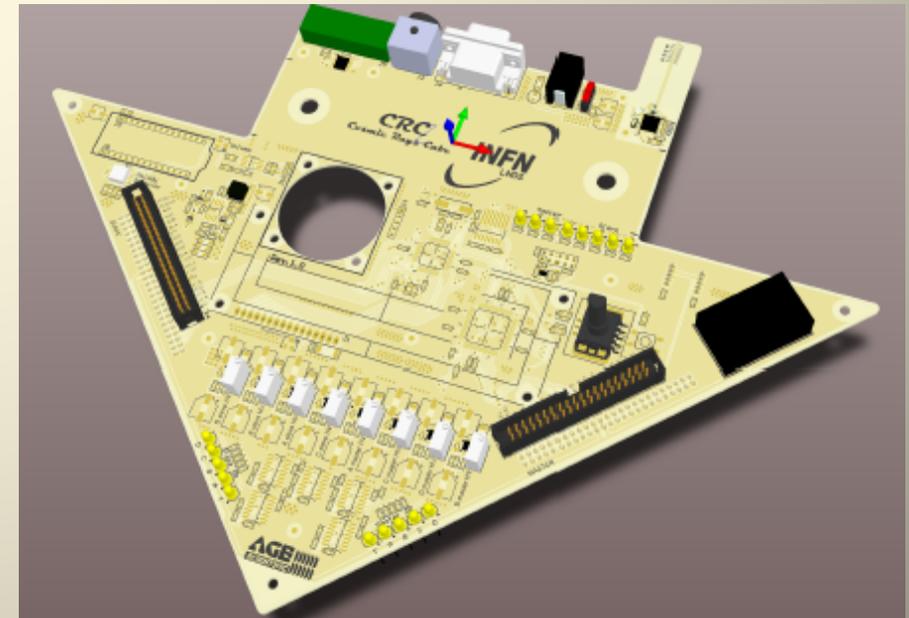
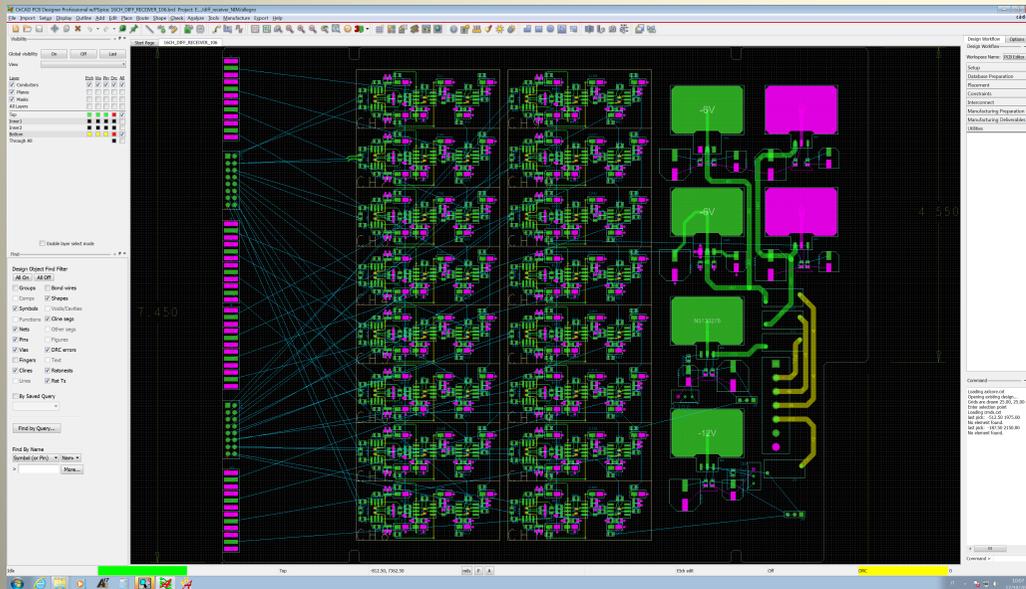
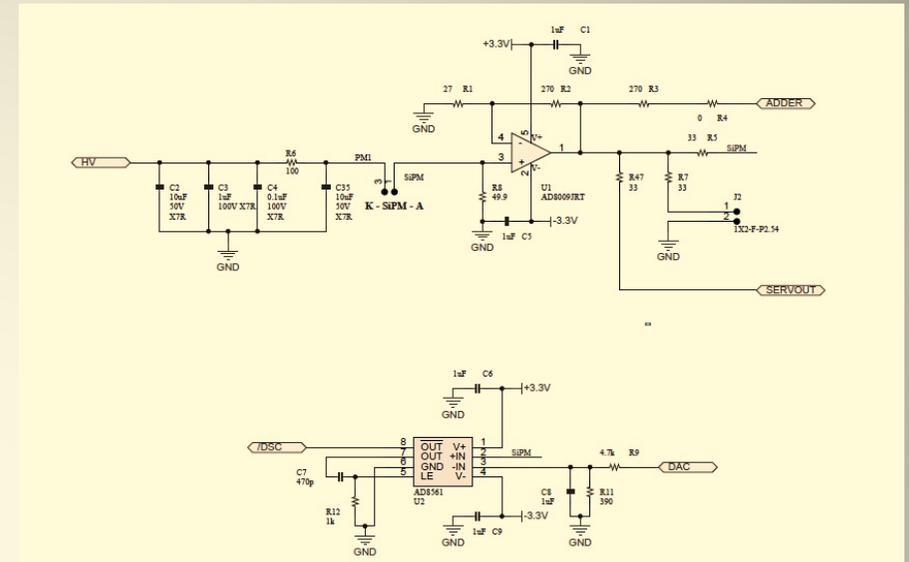
Scheda di FRONT_END
lato componenti

INFN
LNGS

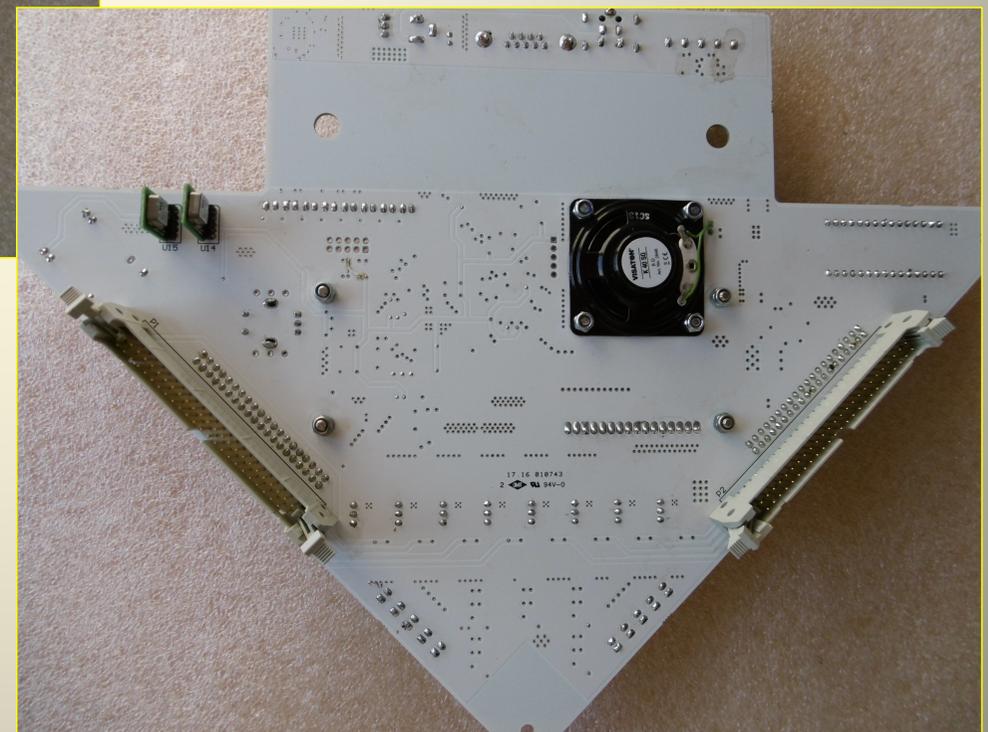
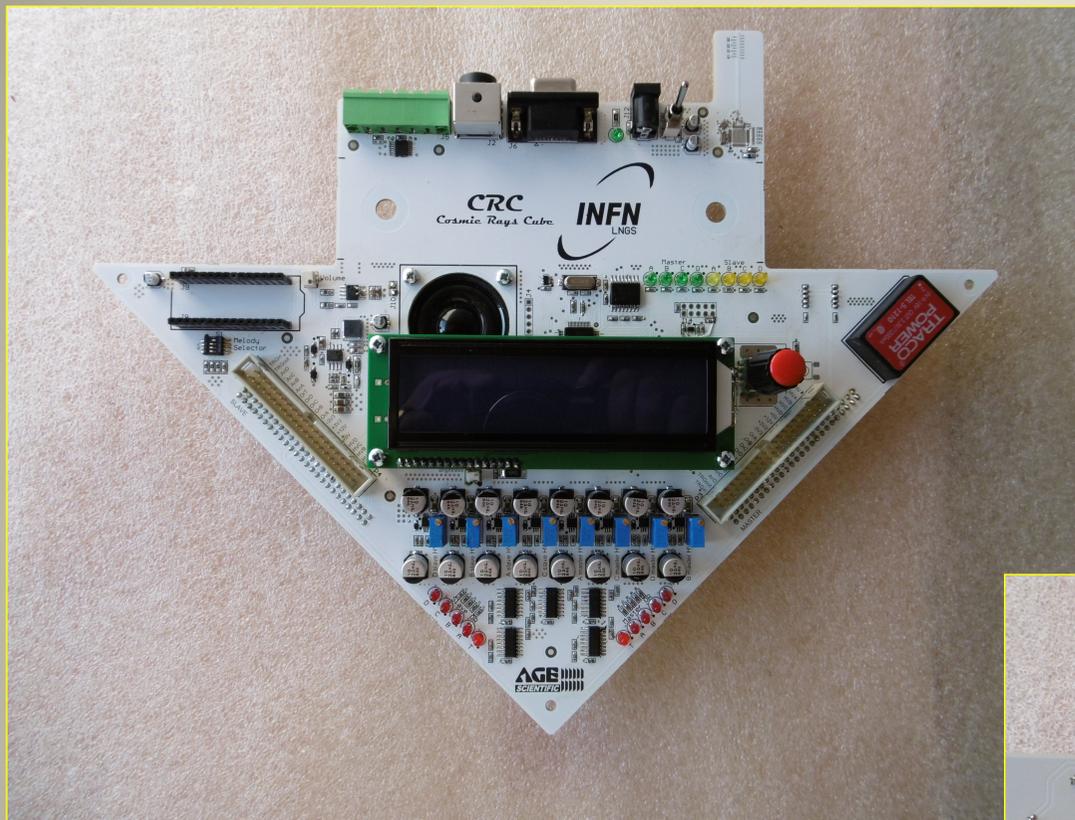


Nel progetto di una scheda di elettronica... c'è il lavoro di tante persone

- Realizzazione dello schema e simulazioni
- Realizzazione al CAD della scheda (produzione di file gerber)
- Produzione finale in collaborazione con aziende che producono PCB



Scheda di Controllo



Alimentazione SiPM (Vbias) = 32 V cc

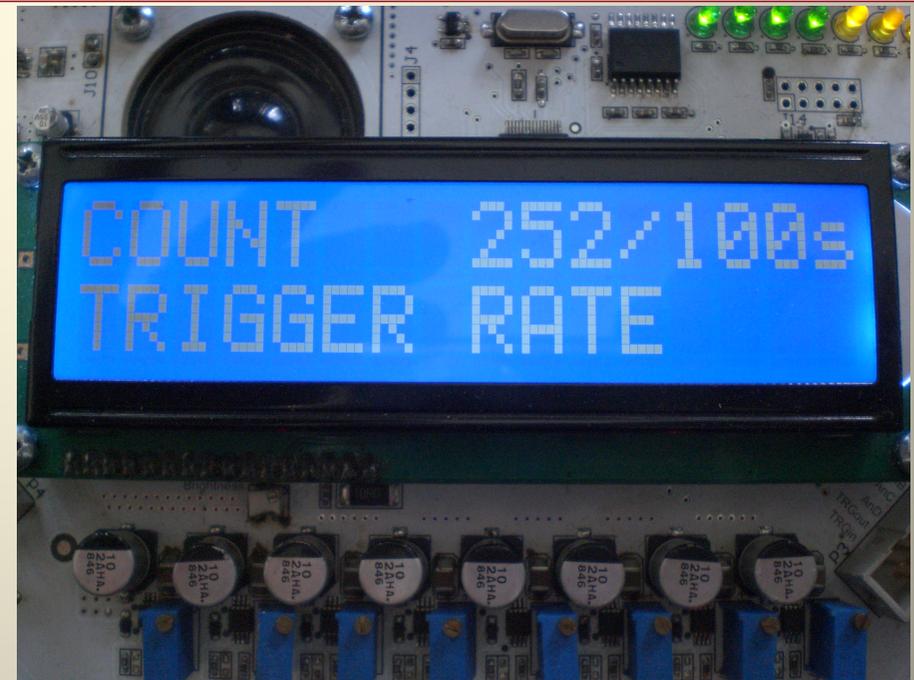
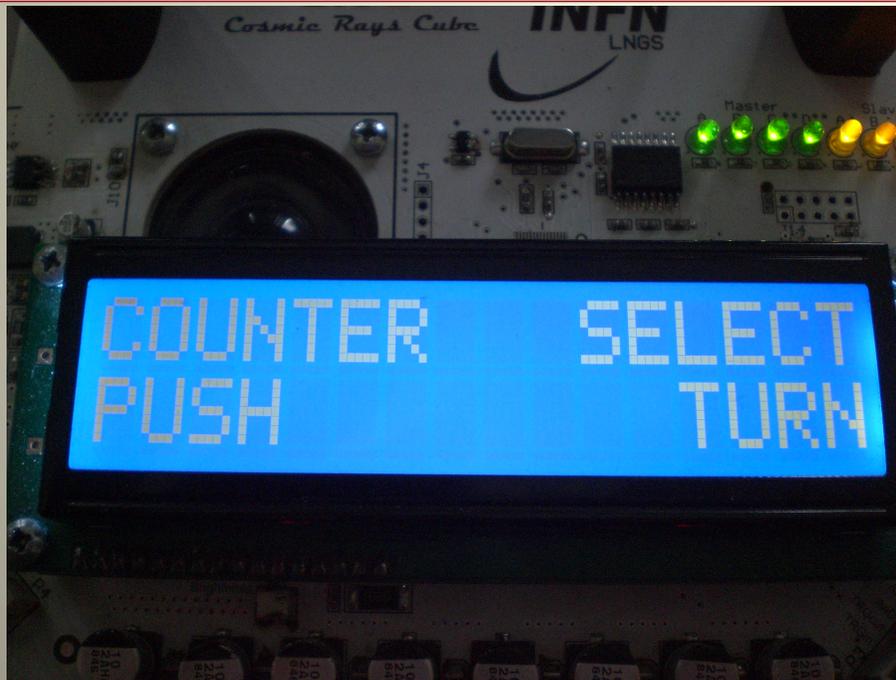
Alimentazioni del telescopio: +12,+5, +3,3, -3,3 V

Tutto con un unico alimentatore commerciale a 12 V !

Collegamento tra le schede con soli 2 flat-cable !

QUALI MISURE POSSIAMO FARE CON IL NOSTRO TELESCOPIO

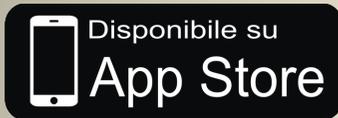
- ✓ con il display selezionato su **TRACKING TURN** si ha il tracciamento a LED;
- ✓ con display su **THRESHOLD SELECT** si può impostare, a step di 5 mV, la tensione di soglia sui segnali;
- ✓ con display su **TRIGGER SELECT** si possono abilitare o disabilitare i piani in coincidenza (si modifica l'accettazione geometrica del rivelatore). Come sottomenù è possibile mettere in coincidenza più telescopi;
- ✓ con display su **TIME BASE SELECT** si può definire la finestra temporale (gate) entro cui fare i conteggi (1 s, 10 s, 100 s);
- ✓ con display su **COUNTER SELECT** è possibile contare il numero di trigger, il numero di eventi per canale, per piano e dell'intera vista;
- ✓ con display su **DEADTIME SELECT** si può inserire un tempo morto tra due acquisizioni (100 ms o 1 s) e si può mettere il telescopio in configurazione "single shot" (visualizzazione di un evento alla volta).
- ✓ si possono inoltre, attraverso connettori posti sulla scheda controller, monitorare le alimentazioni, i segnali analogici di ciascun SiPM, la somma analogica di ciascun piano e i segnali digitali di ciascun piano (Digital OR);
- ✓ si può connettere un GPS;
- ✓ si possono acquisire i dati tramite PC mediante un collegamento tra la porta seriale del telescopio ed un ingresso USB di un PC, oppure spedire i dati via wireless.



Cosmic Rays Live: «muoni» in un'APP

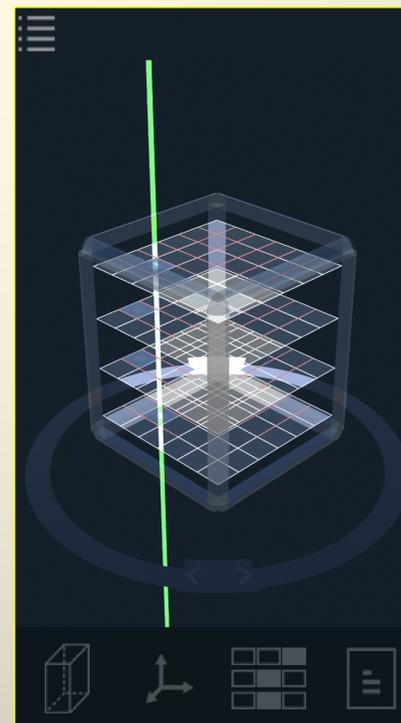
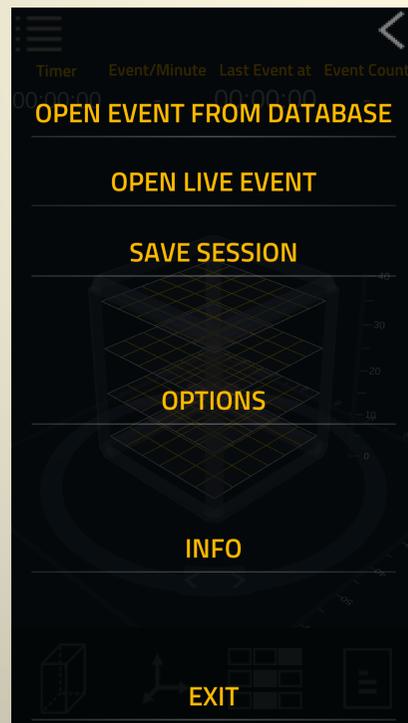
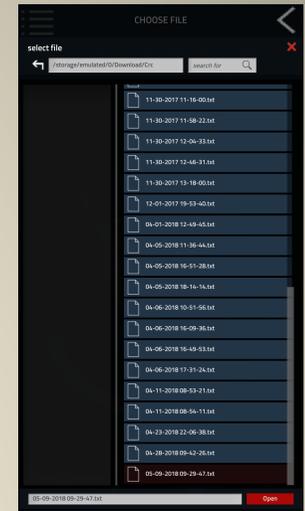


Cosmic Rays Live

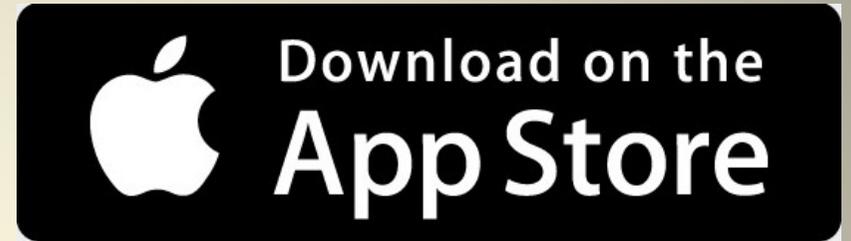


Abbiamo in rete 3 telescopii:

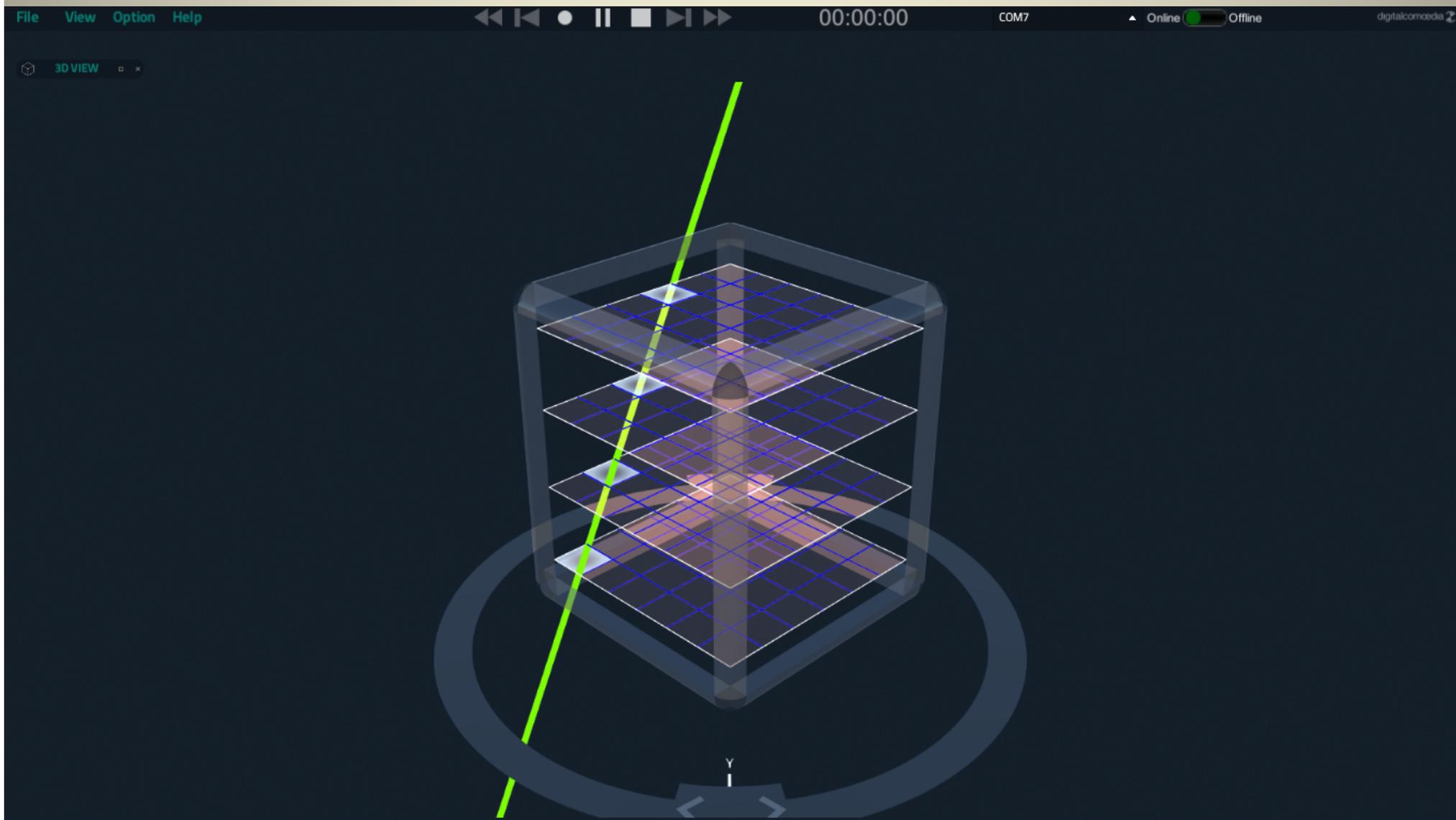
- ❑ 1 ai laboratori esterni dei LNGS – Assergi (AQ)
- ❑ 1 ai laboratori esterni dei LSC - Canfranc - Spagna
- ❑ 1 ai laboratori sotterranei dei LSC - Canfranc - Spagna;
- ❑ 1 alla New York University di Abu Dhabi (UAE)
- ❑ Oltre 1200 download su Android. Dati di download ancora non disponibili per iOS.



```
1149 01020408 20101010
1150 00040810 04020202
1151 00040808 10080804
1152 04040404 00080804
1153 02040808 00080808
1154 00081020 00010410
1155 00040404 00100401
1156 00010101 00200802
1157 00010204 00010204
1158 00060201 00201008
1159 00040404 00201004
1160 00100802 08081020
1161 00020101 00200802
1162 08080810 20080401
1163 100C0201 01020810
1164 00040201 00010202
1165 10080402 04020101
1166 00040808 02020101
1167 00040404 02020606
1168 00040201 00010101
1169 04040402 00100804
1170 00010204 00080804
```



Event display visto dall'App



Schermata completa dell'App

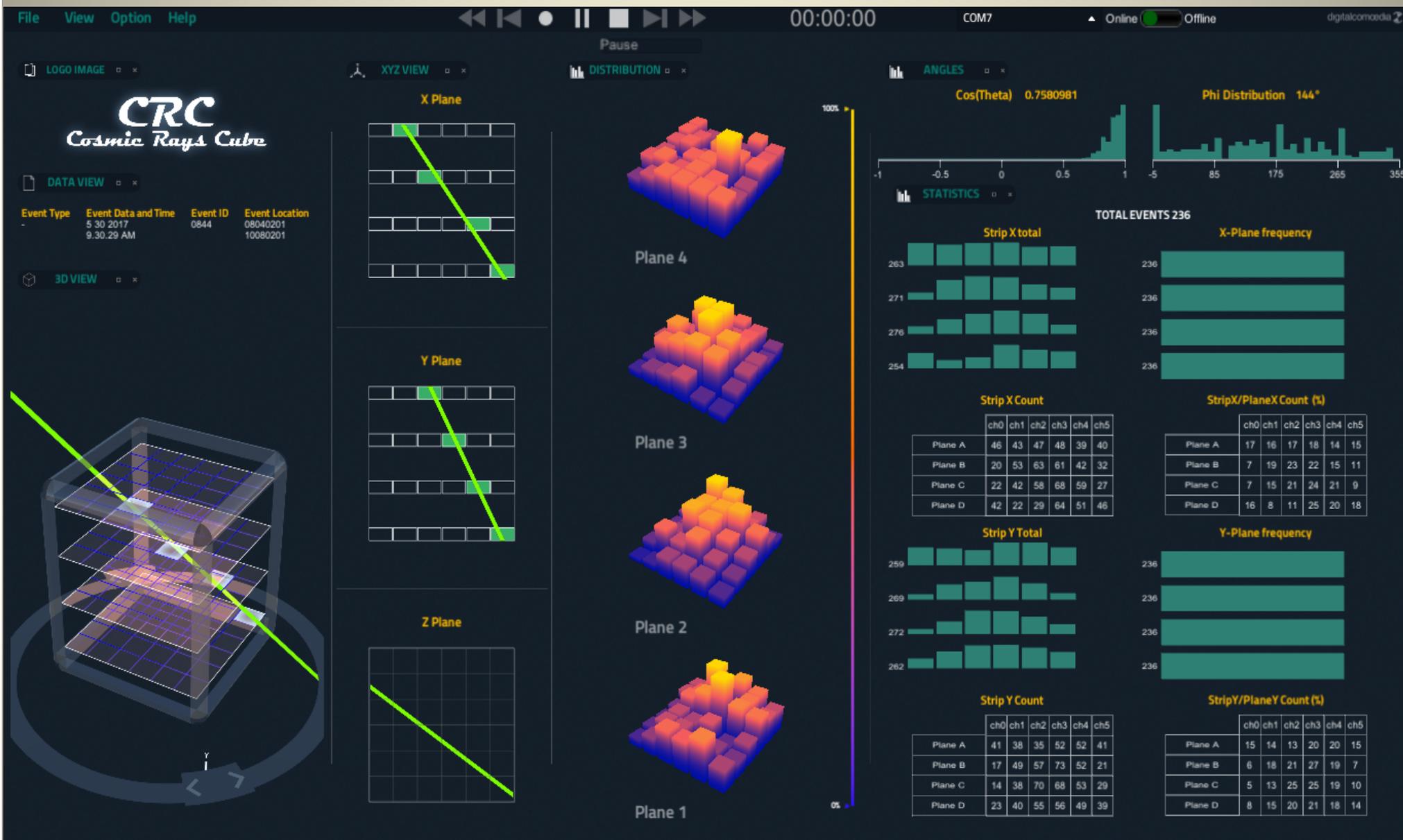
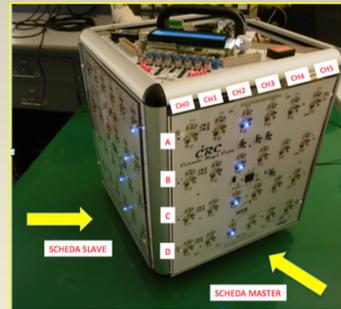


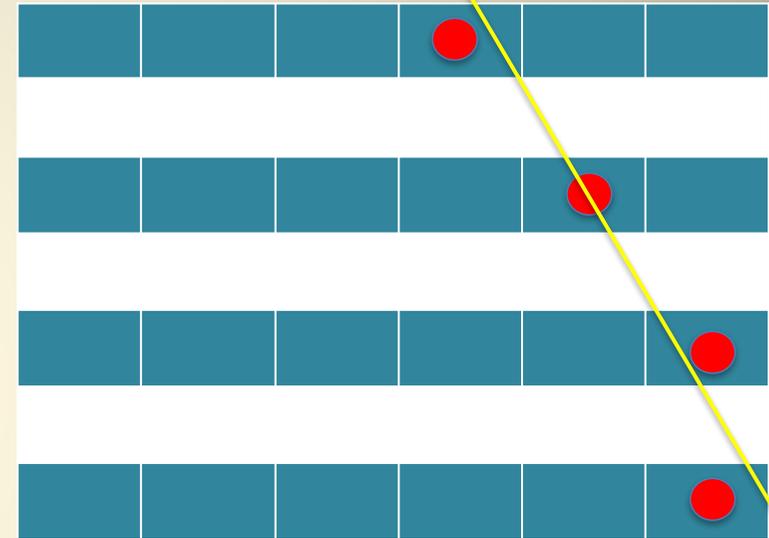
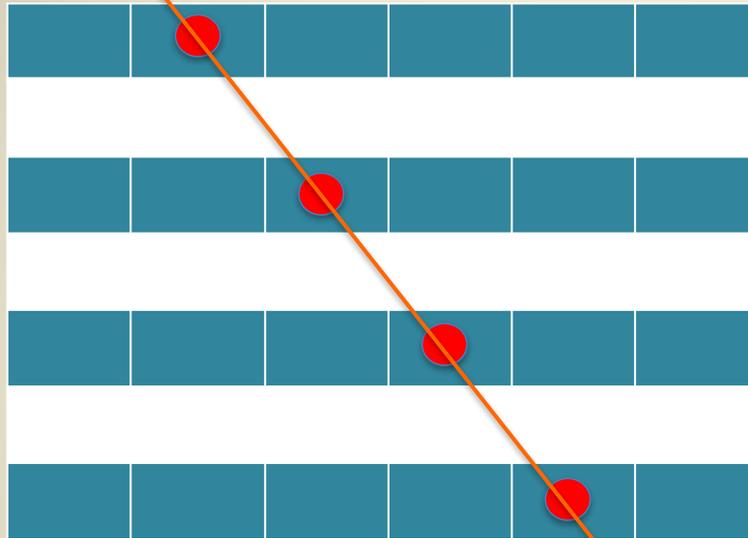
Tabella di conversione hex-binario

0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
A	1	0	1	0
B	1	0	1	1
C	1	1	0	0
D	1	1	0	1
E	1	1	1	0
F	1	1	1	1

Scheda SLAVE



Scheda MASTER



1165 10080402 04020101
n. evento *dati scheda slave* *dati scheda master*

PIANO	HEX Scheda SLAVE	BINARIO Scheda SLAVE	HEX Scheda MASTER	BINARIO Scheda MASTER
A	10	0001 0000	04	0000 0100
B	08	0000 1000	02	0000 0010
C	04	0000 0100	01	0000 0001
D	02	0000 0010	01	0000 0001

Il numero binario che si ottiene da ogni coppia di numeri esadecimali va considerato eliminando il MSB e ed il successivo bit



**PERO'
CHE
FISICA!**

**E ADESSO TOCCA A
VOI MISURARE IL
FLUSSO DEI RAGGI
COSMICI !!!**

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**

Copertina di un *booklet* realizzato dagli allievi di V-A
dell'indirizzo di Grafica dell' I.I.S. "Della Corte – Vanvitelli" di
Cava de' Tirreni (SA)

Attanasio Candela – LNGS
candela@lngs.infn.it

Qualche sito di informazione e divulgazione scientifica

- <http://scienzapertutti.inf.infn.it> (è il sito realizzato dalla comunità dei ricercatori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) che collabora a questo progetto di comunicazione per rendere accessibili a tutti i temi della scienza e della tecnologia. Ci sono concorsi a premi mensili);
- <https://www.asimmetrie.it> (è una rivista di informazione e divulgazione dell'INFN, ricca di curiosità e approfondimenti sulla fisica delle particelle con infografiche e immagini utili alla didattica. Ogni numero di Asimmetrie è una monografia che si sviluppa attorno ad un tema scientifico. La rivista esce con cadenza semestrale, ad aprile e a ottobre di ogni anno, ci si può abbonare in maniera gratuita);
- <http://www.scienzagiovane.unibo.it> (questo sito web è rivolto principalmente a studenti degli ultimi anni delle medie superiori e dei primi anni di Università e ha lo scopo di aggiornare i giovani su argomenti di attualità scientifica e tecnologica);
- <https://www.lsw.nu> (questo sito, con articoli e approfondimenti a tema, tenta di avvicinare il grande pubblico alla scienza e alle sue scoperte. Gli argomenti trattati vanno dalla robotica alla medicina, dalla genetica all'ecologia e, sebbene presentati con taglio professionale, sono di facile comprensione);
- <http://www.scienzainrete.it> (è possibile restare informati su tutto ciò che accade nel mondo della scienza e della ricerca senza dover per forza essere un fisico con tanto di dottorato in astrofisica particellare!);
- <https://www.scientificast.it> (“scientificast” è stato il primo podcast indipendente a tema scientifico in Italia. Fondato nel 2007 si propone di diffondere la cultura scientifica, rivolgendosi soprattutto a coloro che ne sono più lontani adottando uno stile divulgativo semplice, divertente, ma al tempo stesso rigoroso);
- <http://www.agorascienza.it/> (il sito crea spazi e occasioni di confronto tra il mondo della ricerca e la società, affinché maturi una reale cittadinanza scientifica e tutti possano partecipare attivamente al costruire una società della conoscenza);
- <http://www.ilsussidiario.net/News/Emmeciquadro> (la rivista Emmeciquadro è essenzialmente rivolta ai docenti di tutte le discipline scientifiche e si propone come strumento di lavoro in grado di fornire suggerimenti didattici e itinerari di approfondimento guidato sui temi di ricerca più attuali);
- <https://www.scienzaonline.com> (“scienzaonline” è un giornale di scienza online a cura di studiosi ed esperti con un articoli scientifici sui più svariati argomenti).
- <https://www.agi.it/blog-italia/scienza> (Agenzia Giornalistica Italia: il blog dà notizie di interesse scientifico - e non solo - validate da esperti del settore).