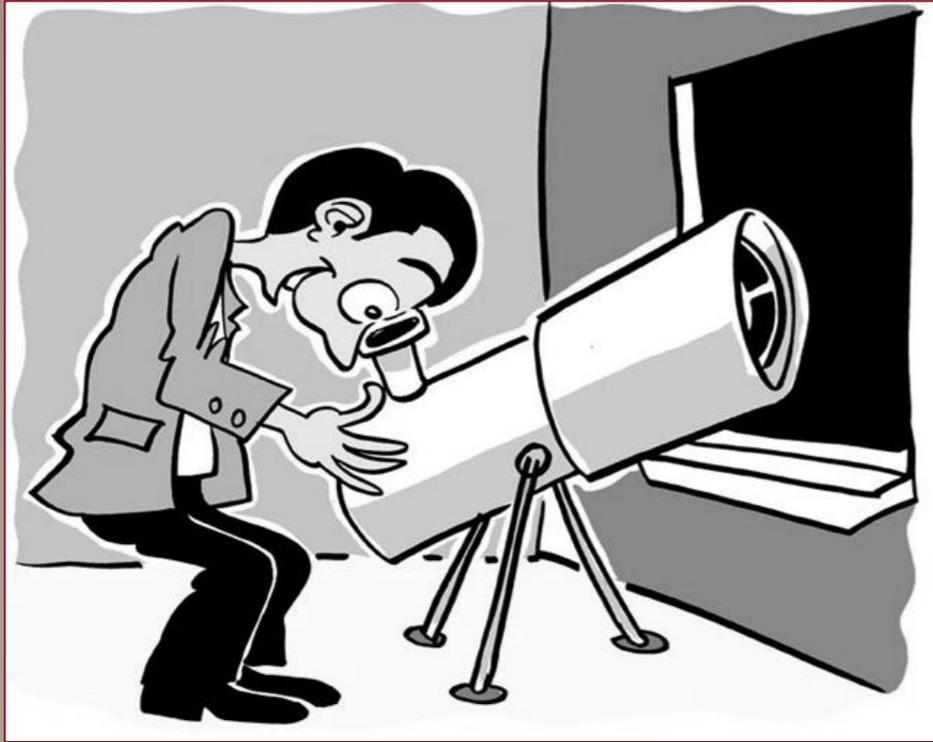


Giornata Internazionale dei Raggi Cosmici



*INFN Napoli - 30 Novembre 2017
Attanasio Candela - LNGS*

Un telescopio per Raggi Cosmici

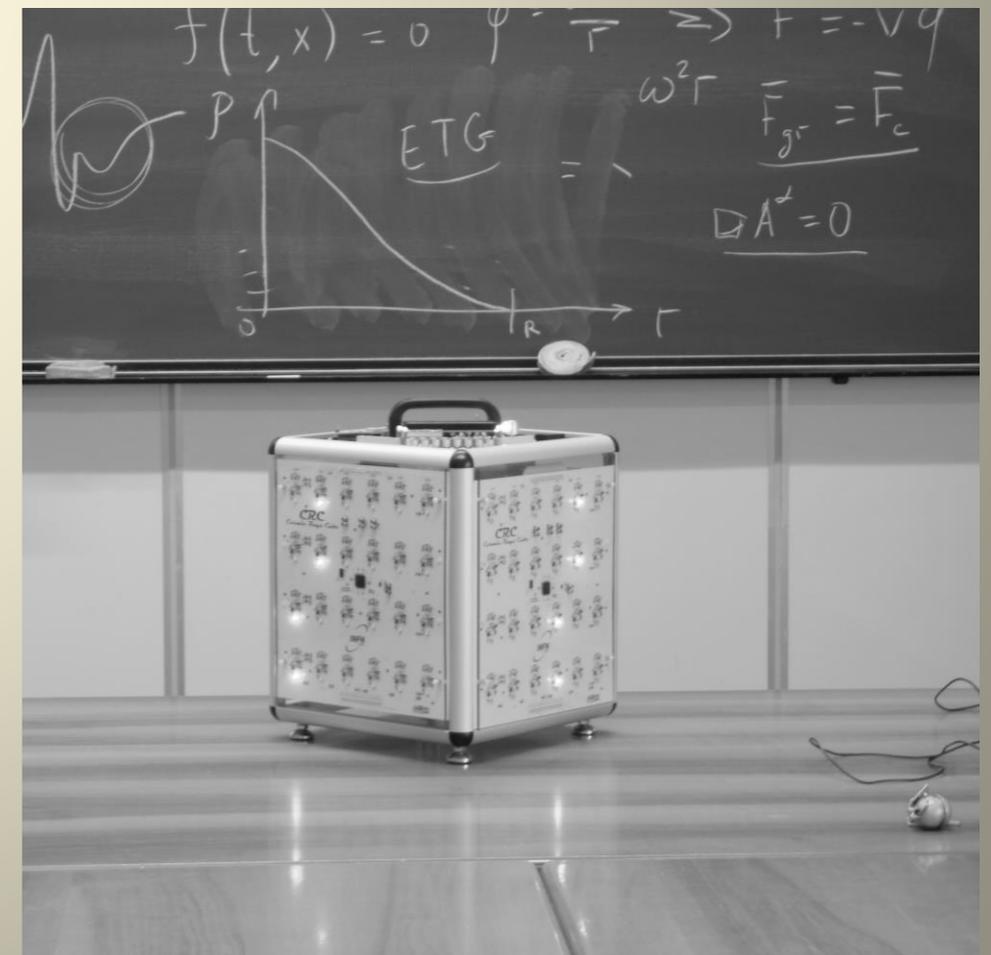


La parola “**telescopio**” porta a pensare al classico strumento ottico che raccoglie la luce (o *altre radiazioni elettromagnetiche*) proveniente da “oggetti” lontani e le concentra in un punto riproducendone un’immagine ingrandita.

...il “**telescopio**” che potete osservare nella foto accanto è, invece, 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

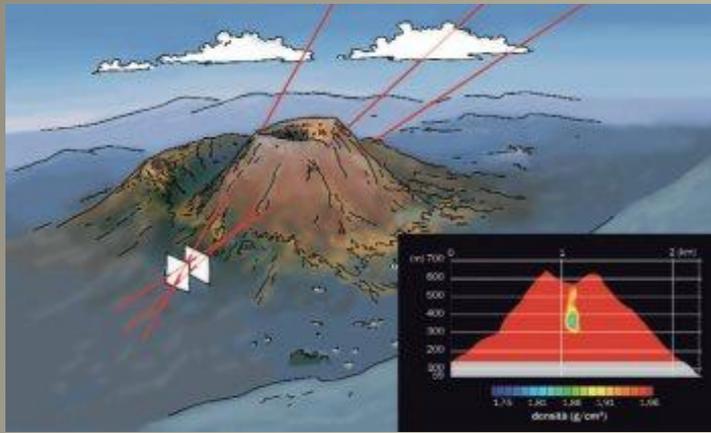
Quelle più penetranti sono in grado di attraversare grosse porzioni di Terra ed essere osservate da questi sofisticati strumenti.



Ora, proprio ora, ci sta colpendo un *muone!* Cosa sarà mai?
La collisione di un protone con le molecole d'aria, negli strati più alti dell'atmosfera, sprigiona uno sciame di particelle "secondarie".
Ed ecco spuntare i muoni, i pioni e i neutrini!
Invisibili ad occhio nudo possono essere "scovati" da sofisticati strumenti che utilizzano le più avanzata tecnologie.
Un'occasione unica per osservare degli "sciami" ... diversi dal solito!

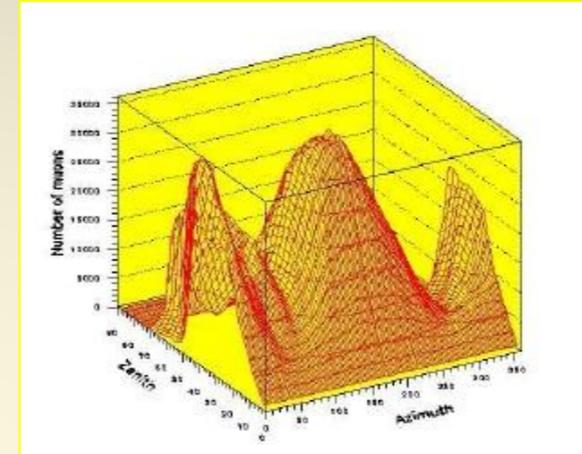
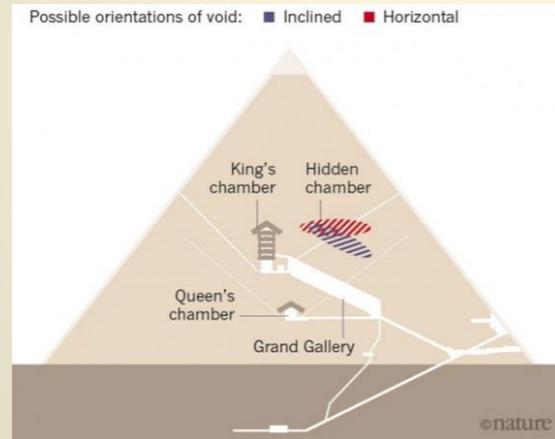


*Cosa si può fare con i
Raggi Cosmici?*

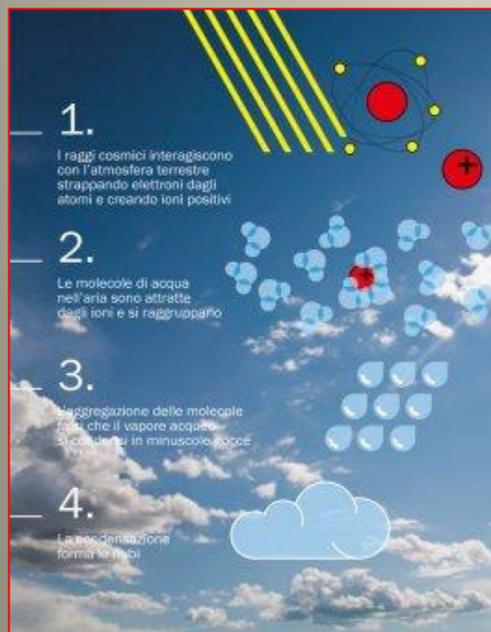


Ecco come è visto il vulcano giapponese Satsuma_Iwojima attraverso la radiografia muonica. In Italia il progetto **MURAVES** (MUon-Radiography-of-VESuvius) prevede il posizionamento di un telescopio a muoni alle pendici del Vesuvio in modo da studiare la struttura sommitale del vulcano. Sono possibili anche applicazioni in campo archeologico attraverso telescopi a muoni.

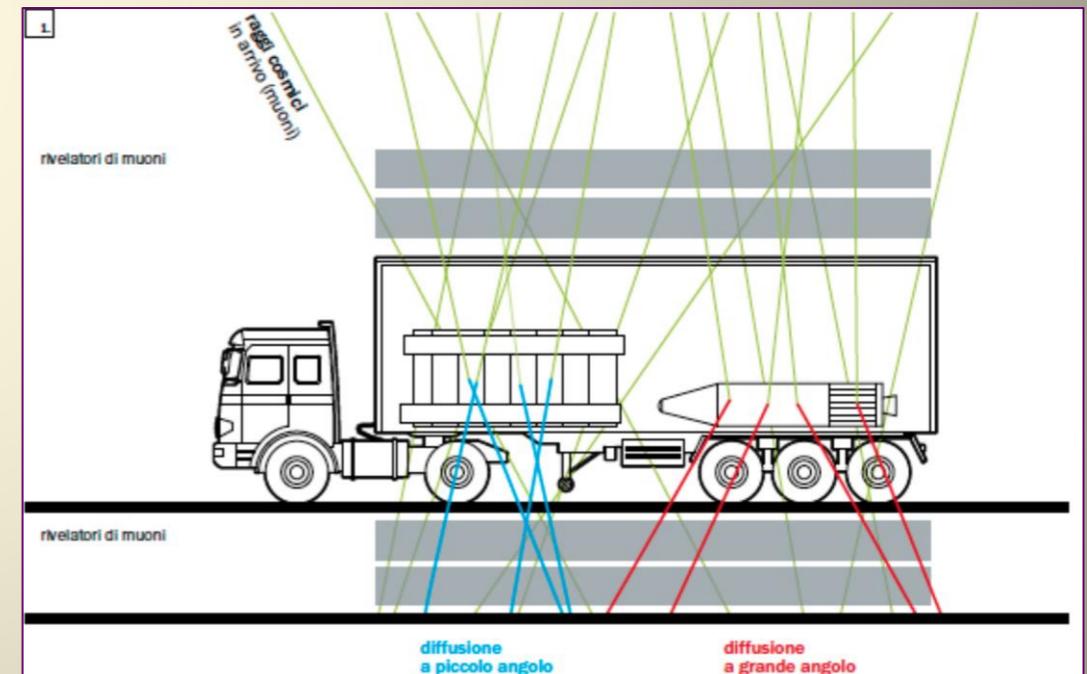
Con la **Muon Radiography** è possibile evidenziare stanze nascoste all'interno di tunnel o scoprire masse disomogenee prossime o sovrastanti grotte naturali. Nel 1970, il premio Nobel Luis Alvarez ebbe l'idea di evidenziare con i muoni stanze non ancora scoperte dagli archeologi nella Piramide di Chephren (Egitto). Di recente è stata individuata nella Piramide di Cheope una cavità grazie a rivelatori a muoni. L'esatta posizione della zona vuota non è stata ancora ben definita.



Radiografia muonica del Monte Aquila (massiccio del Gran Sasso) fatta dall'esperimento MACRO ai LNGS.



Gli esperimenti CLOUD (Cosmics Leaving Outdoor Droplets) al CERN e SKY (nuvola) all'Istituto dello Spazio di Copenhagen, hanno evidenziato l'influenza dei raggi cosmici sulla formazione delle nubi. Urtando le particelle di atmosfera aumenta il grado di ionizzazione degli strati bassi atmosferici favorendo così l'addensarsi delle nubi. Il flusso di raggi cosmici dipende anche dall'attività solare.



MUON PORTAL PROJECT - Un rivelatore per l'ispezione dei container per la ricerca di materiale radioattivo (uranio, plutonio...). I muoni vengono deflessi a grande angolo in presenza di materiali ad elevato numero atomico.

*Cosa NON si può fare con i
Raggi Cosmici*

I Laboratori del Gran Sasso

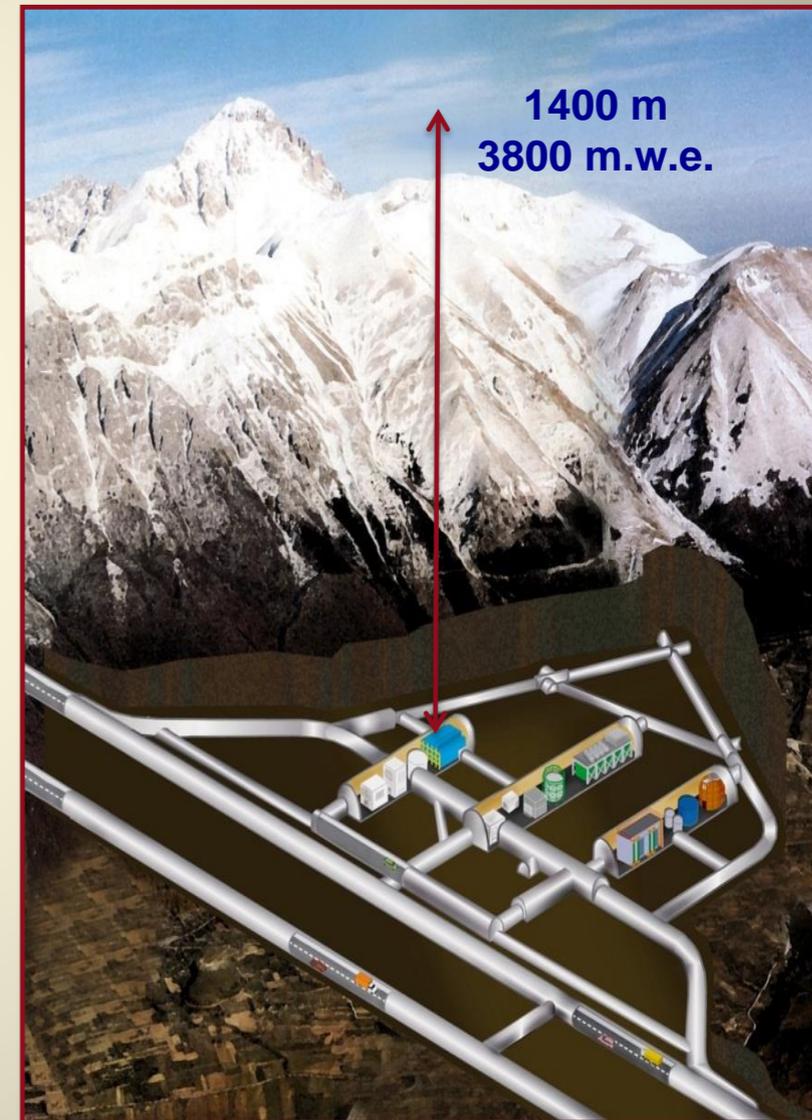


Per la ricerca e lo studio di eventi rari è necessario un ambiente sotterraneo in grado di attenuare il flusso di particelle cariche che arrivano sulla Terra.

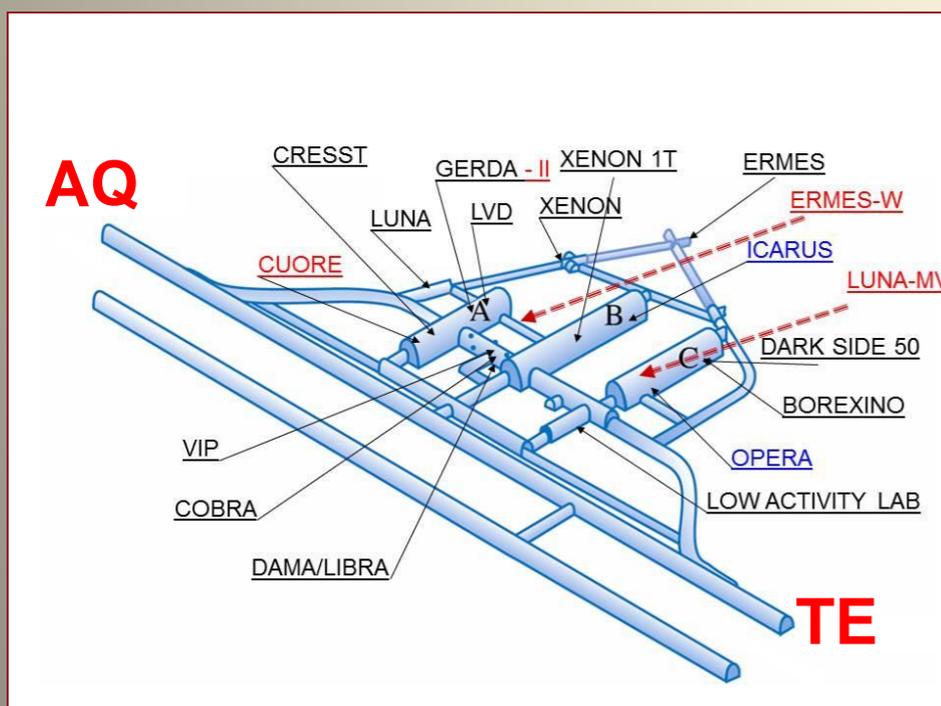


Gruppo di oltre 40 muoni osservati on-line dall'esperimento MACRO

- 1400 m di roccia sovrastante
- Riduzione del flusso di μ : 10^6
- Flusso di $\mu \sim 1\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$
- Superficie: 17 800 m^2
- Volume: 180 000 m^3
- Tre sale sperimentali (100 x 20 x 18 m)
- Collaborazione scientifica con oltre 30 Paesi



Tutti i laboratori del mondo, messi insieme, non raggiungono metà del volume dei LNGS!



I Laboratori esterni



Ingresso dei Laboratori sotterranei



Qualche esperimento ai LNGS

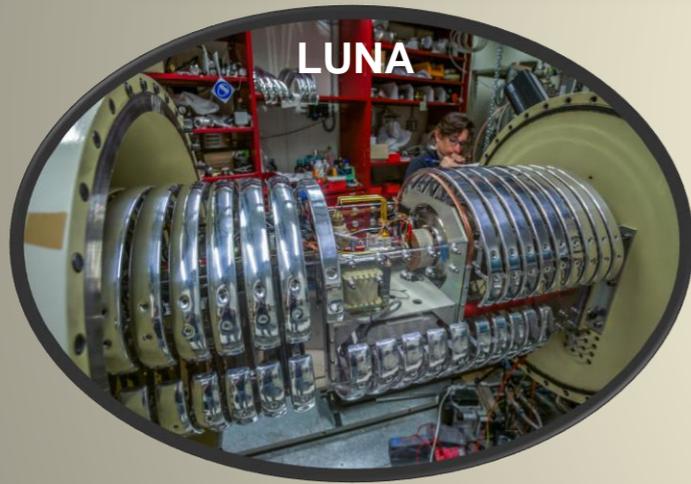


Foto Yury Suvorov

Cos'è un rivelatore di particelle

Nella fisica sperimentale, un rivelatore di particelle è uno strumento usato per *rivelare, tracciare ed identificare* particelle come quelle prodotte ad esempio dallo sciame della radiazione cosmica o dalle interazioni in un acceleratore di particelle.

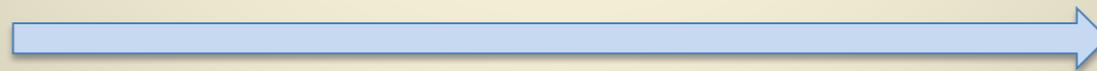
Quando una particella attraversa un mezzo rilascia una certa dose di energia per cui si ha quella che viene definita interazione *radiazione-materia*.

I rivelatori di particelle sono strumenti che producono un *segnale osservabile* quando il loro elemento attivo viene colpito dalla radiazione.

L'occhio umano è un rivelatore di particelle!

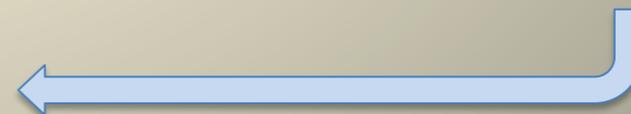
Noi vediamo un oggetto perché viene colpito da fotoni (particelle elementari di cui è costituita la luce) che poi rimbalzano e vengono rivelati dal nostro occhio.

sorgente



oggetto

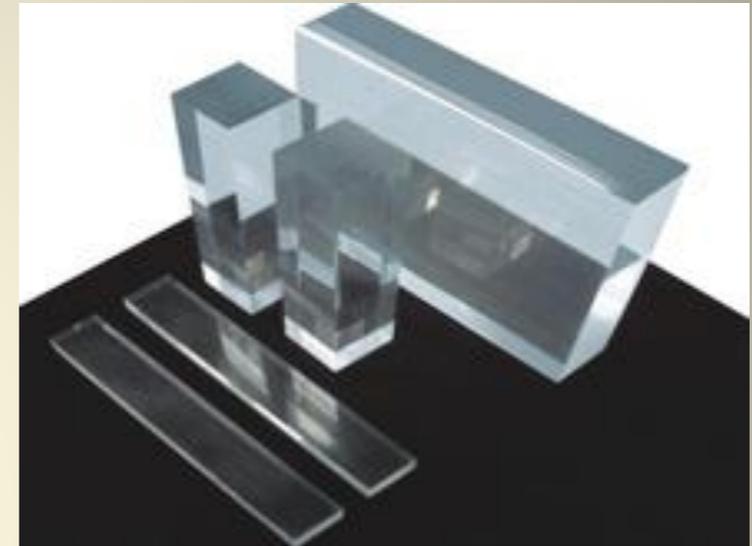
occhio



Cos'è un rivelatore di particelle

Il segnale di un rivelatore in genere necessita di ulteriori dispositivi in grado di processare il segnale.

Nel caso del nostro telescopio abbiamo utilizzato come “rivelatore” del materiale scintillante plastico, ovvero del materiale con proprietà di **luminescenza**, cioè in grado di emettere impulsi di luce (in genere nel visibile o nell'ultravioletto), quando viene attraversato da particelle cariche. Se l'emissione avviene subito dopo l'assorbimento (10^{-8} s) il processo è chiamato **fluorescenza**, se invece il tempo fra assorbimento e la ri-emissione è ritardato tra i μs e le ore il processo si chiama **fosforescenza**.

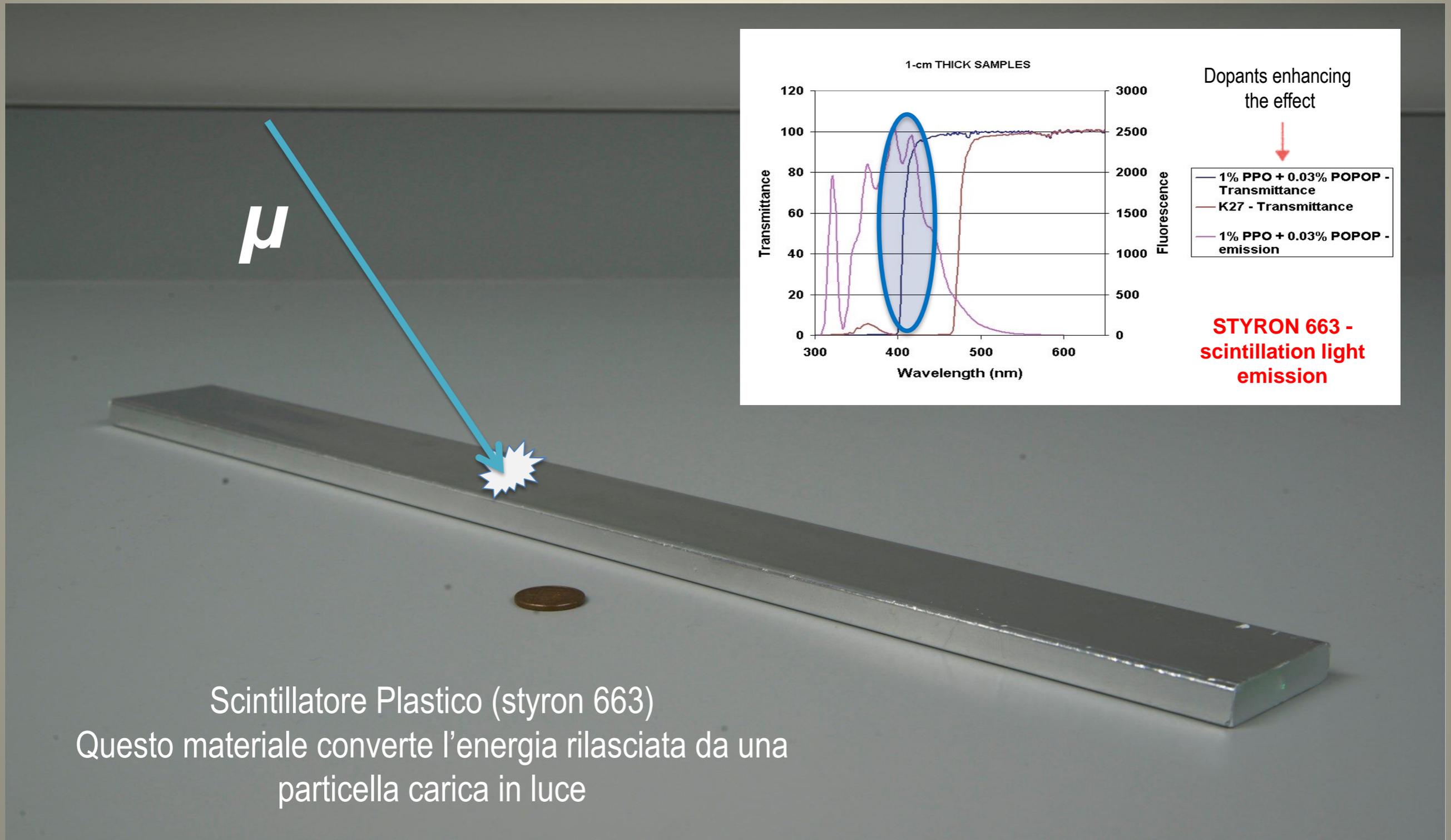


La luce prodotta nello scintillatore lungo la sua direzione è emessa isotropicamente e pertanto deve essere raccolta uniformemente per poter essere misurata

In particolare, 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. Tale impulso di luce viene poi rivelato ed amplificato da opportuni sensori chiamati “fotomoltiplicatori” .

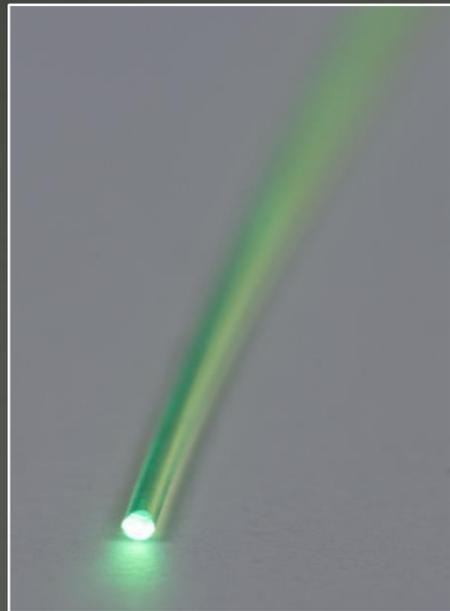
Cosa serve per costruire un telescopio per *Raggi Cosmici*

- ✓ del materiale in grado di convertire l'energia rilasciata da una particella in un debole segnale luminoso (scintillatore plastico o altro tipo di rivelatore)

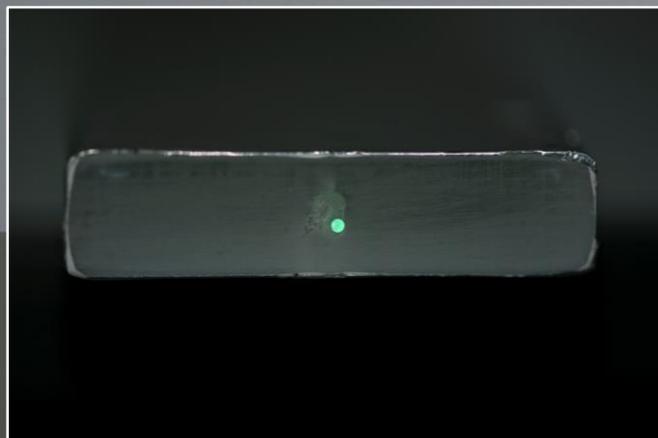
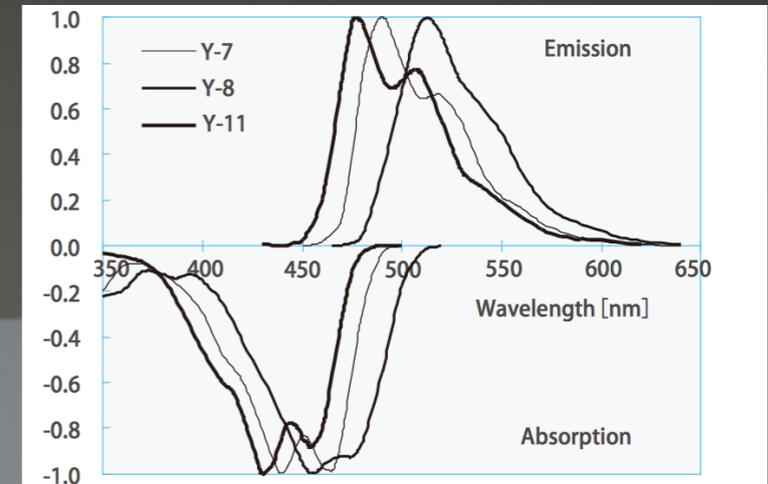


Cosa serve per costruisce un telescopio per *Raggi Cosmici*

- ✓ delle particolari fibre simili alle fibre ottiche, chiamate WLS (*Wave Length Shifter*), in grado di convertire la luce raccolta in luce di diversa lunghezza d'onda (dal blu al verde)

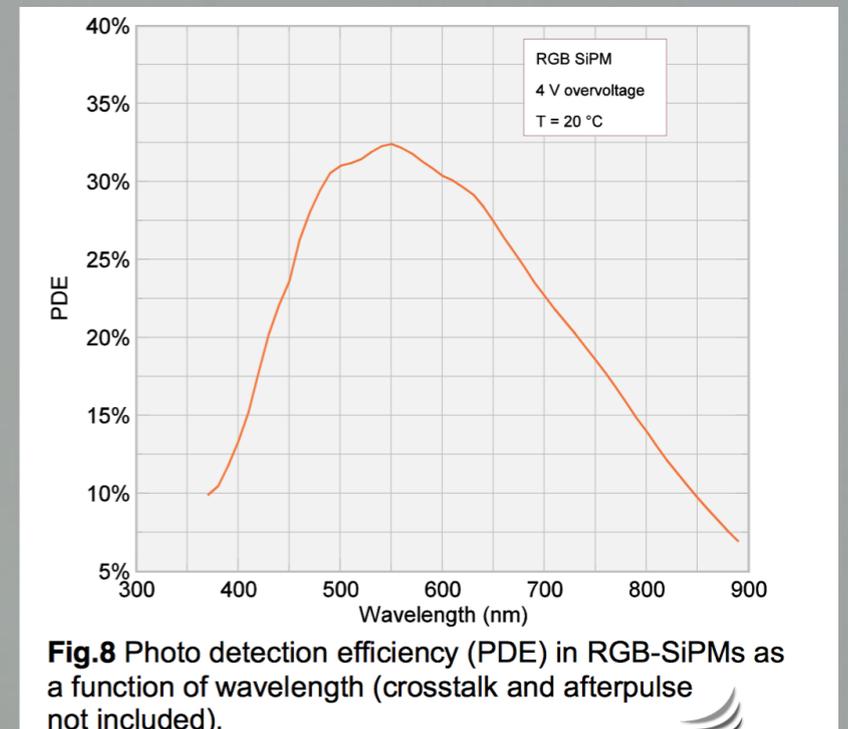
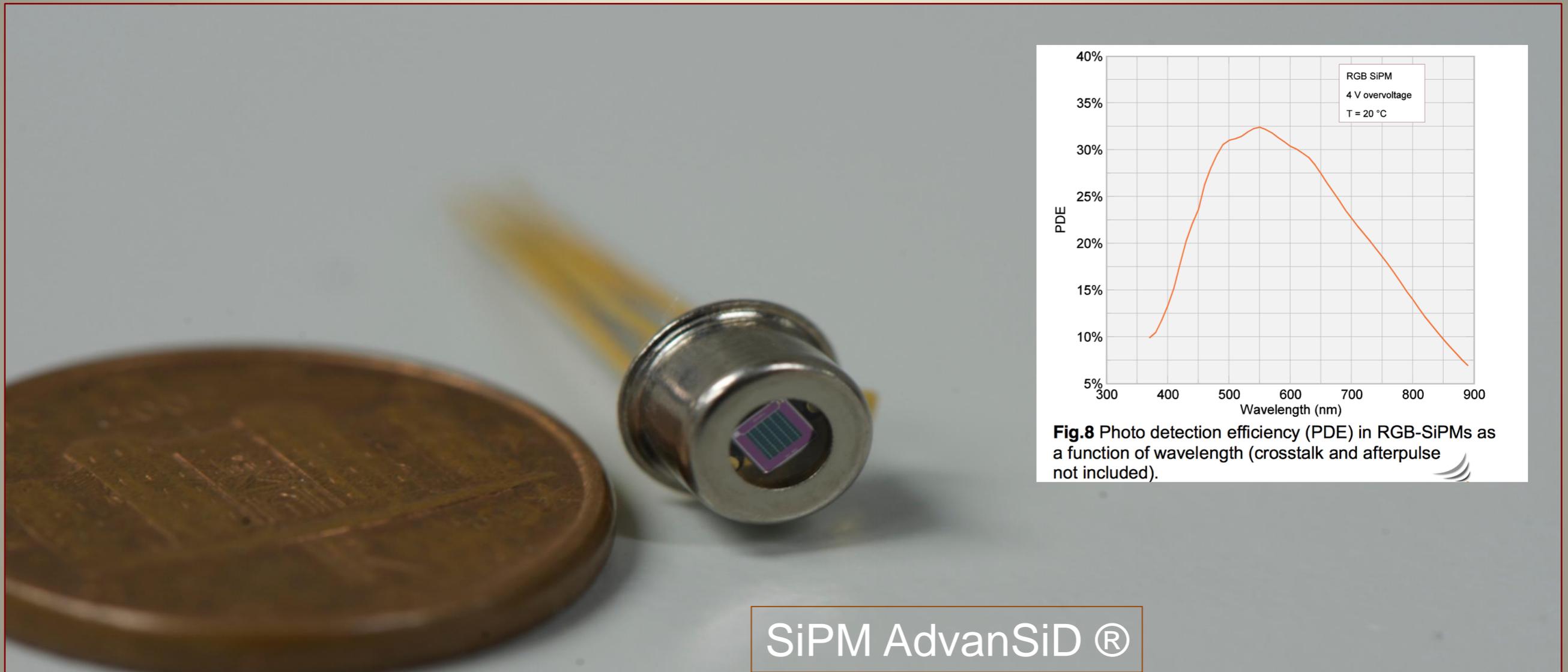


Wavelength shifter fibre
Kuraray Y-11 - 2 mm



Cosa serve per costruisce un telescopio per *Raggi Cosmici*

- ✓ dispositivi in grado di convertire la luce raccolta dalle fibre in un segnale elettrico (*Silicon PhotoMultiplier - SiPM*);

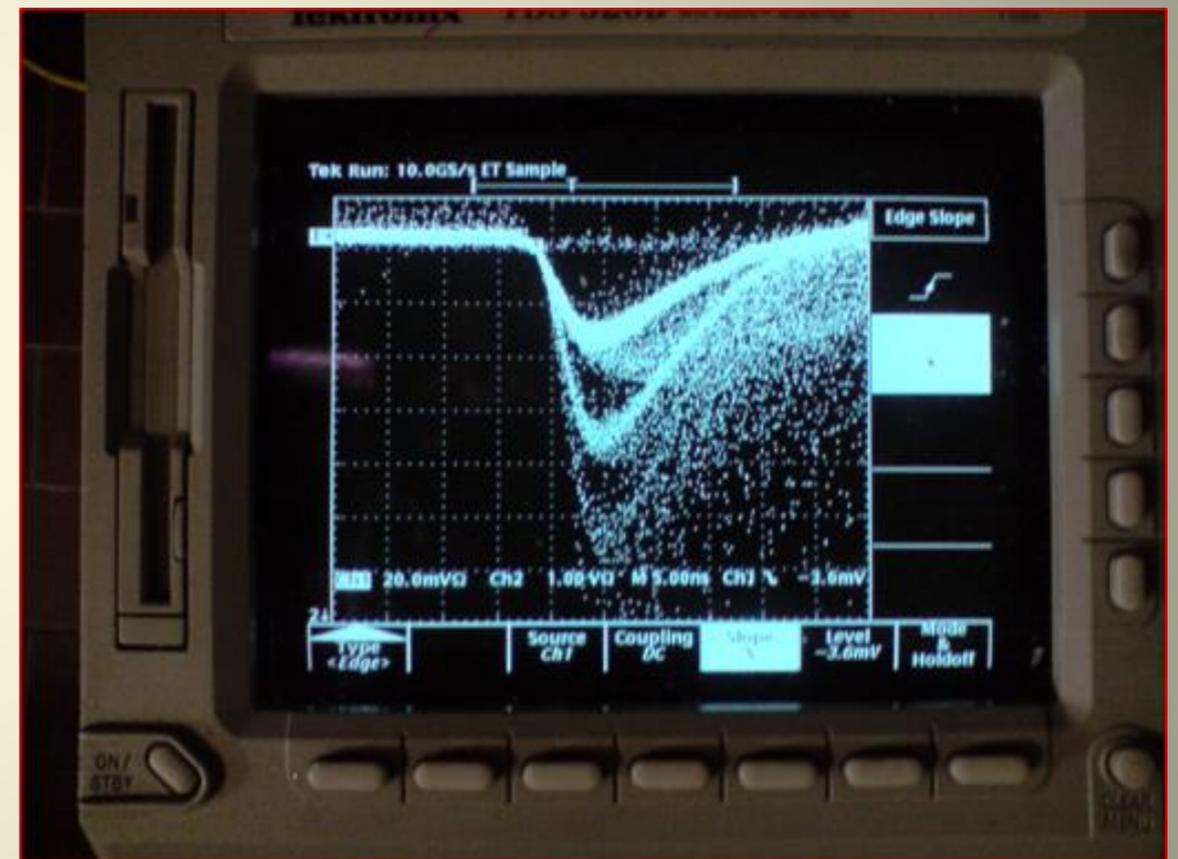
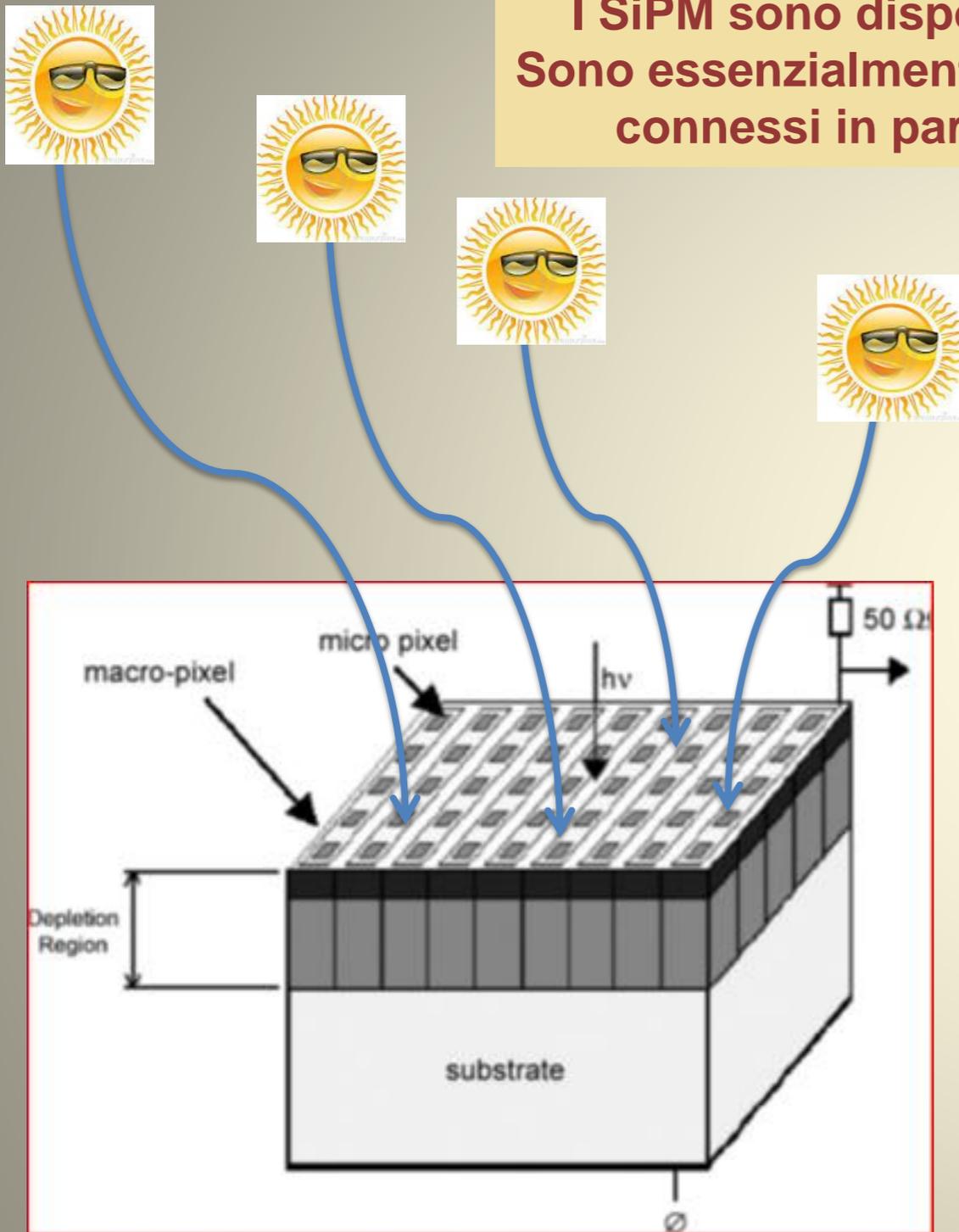
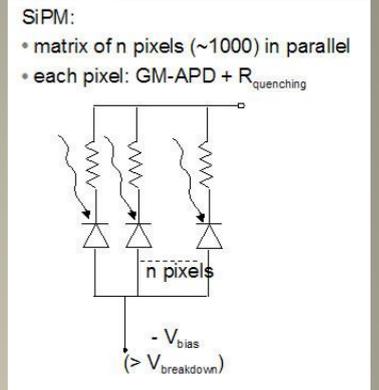


SiPM characteristics: 1,13 mm² area, 40x40 μm² cell size, cells number: 673
gain: 2,7x10⁶, dark count: 200 kHz/mm², PDE: 32,5%, TO 18 metallic package

Breakdown Voltage Temperature Coefficient: 27 mV/° C

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.



Il segnale in uscita da un SiPM è la somma analogica dei segnali prodotti da ciascuna cella. Un SiPM perciò fornisce un segnale elettrico proporzionale al numero di fotoni incidenti

Dipendenza della tensione di un SiPM dalla temperatura

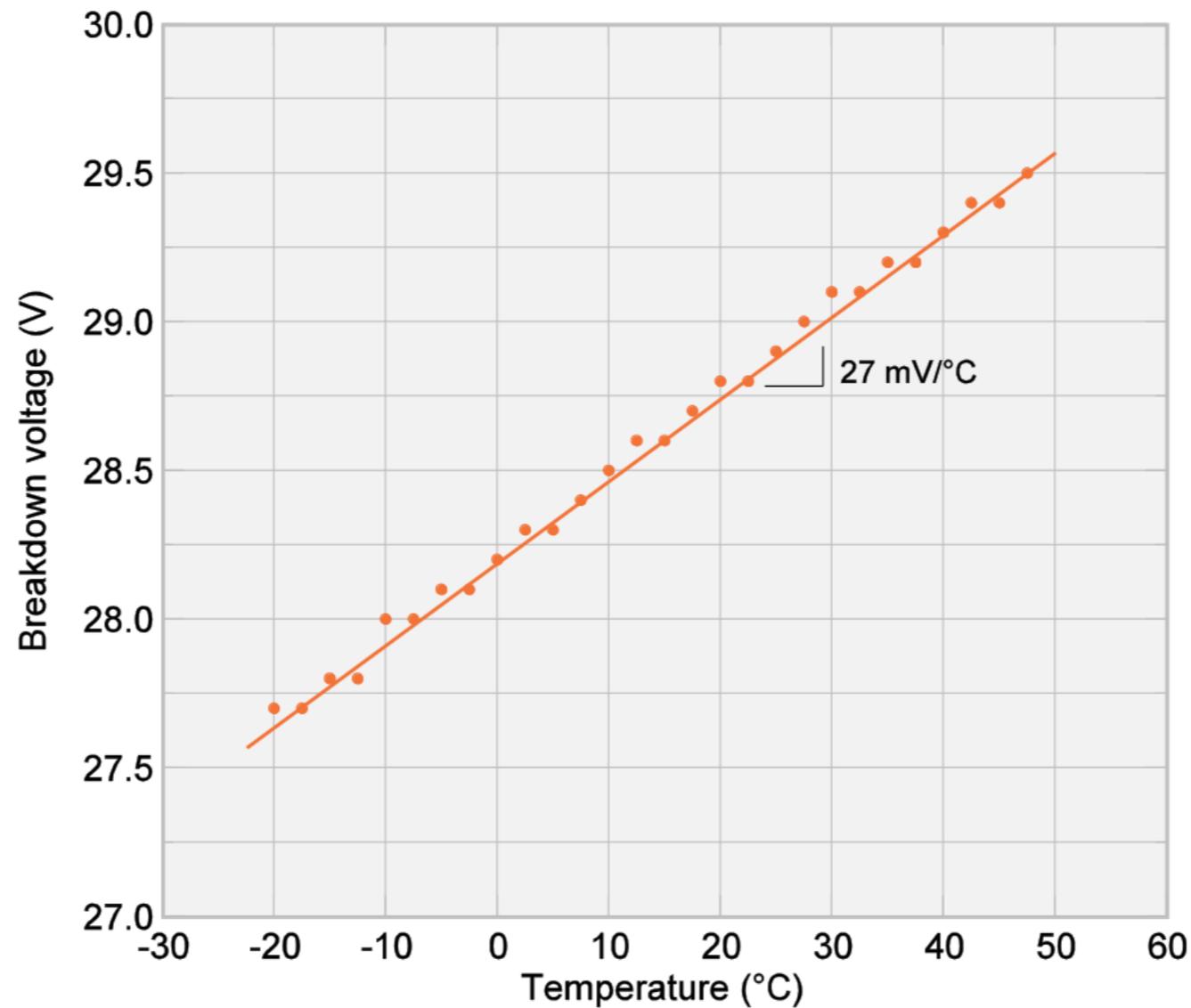
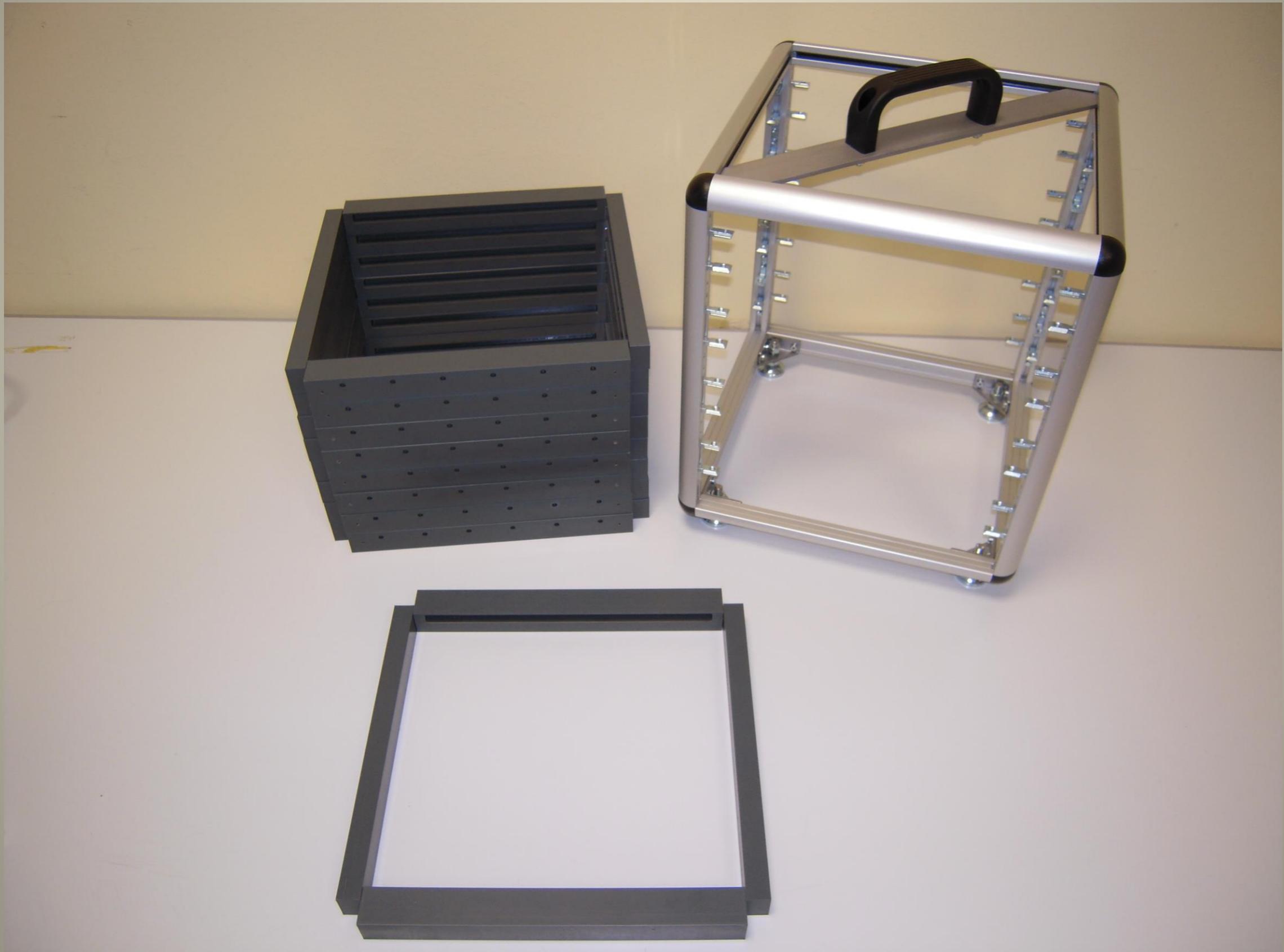


Fig.3 RGB-SiPMs breakdown voltage temperature dependence.

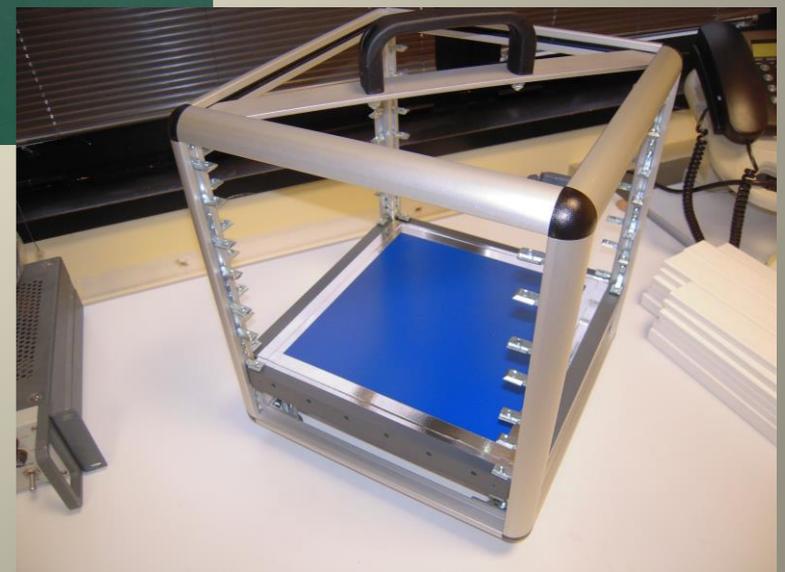
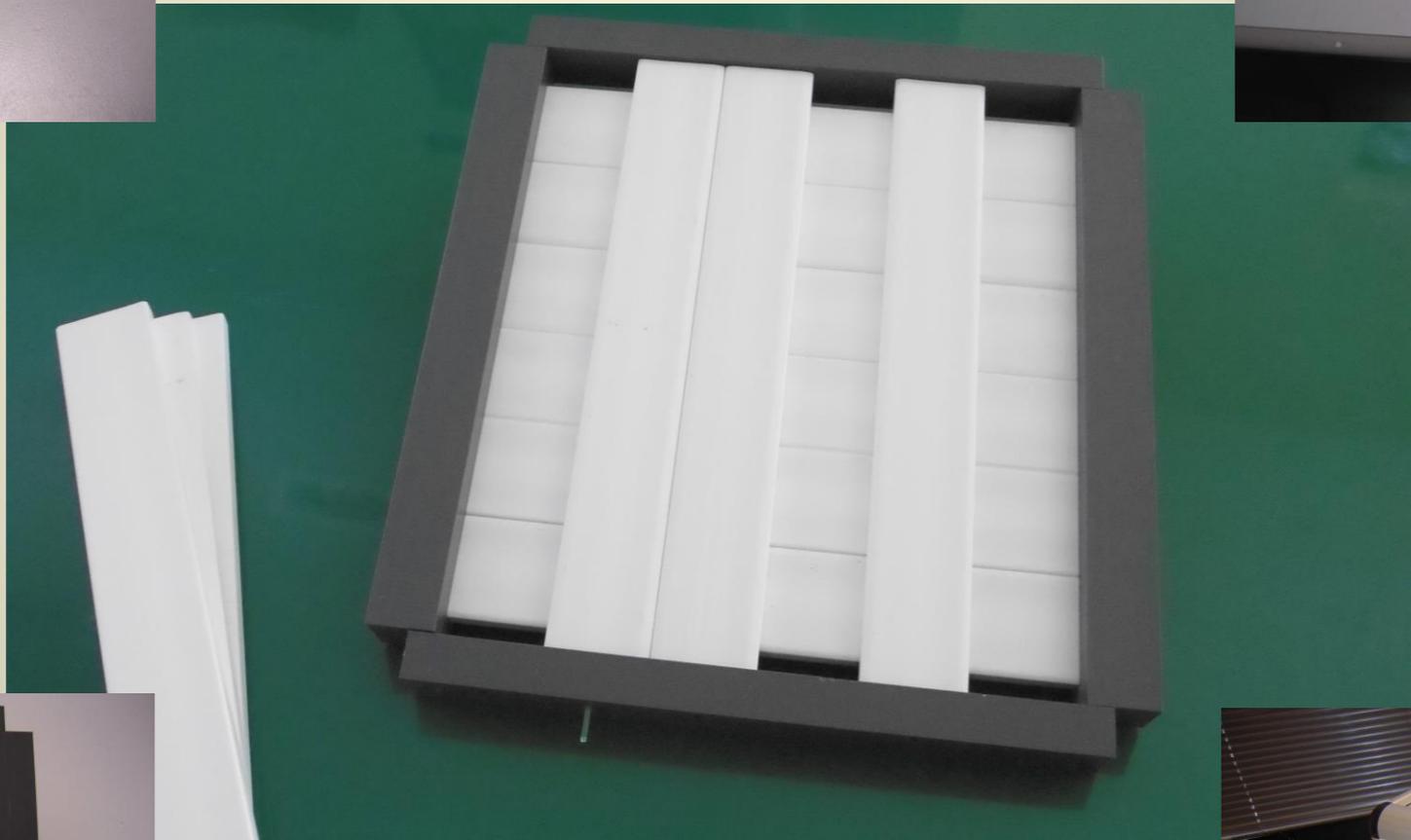
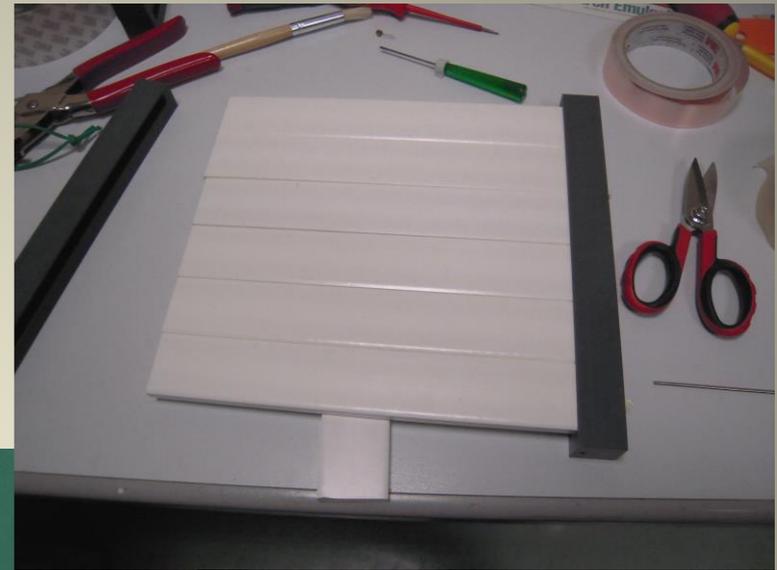
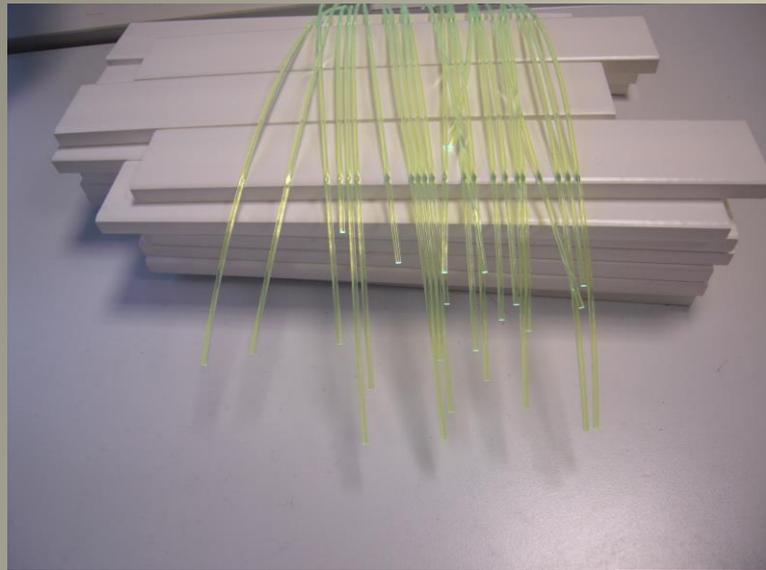
Realizzazione pratica di un telescopio



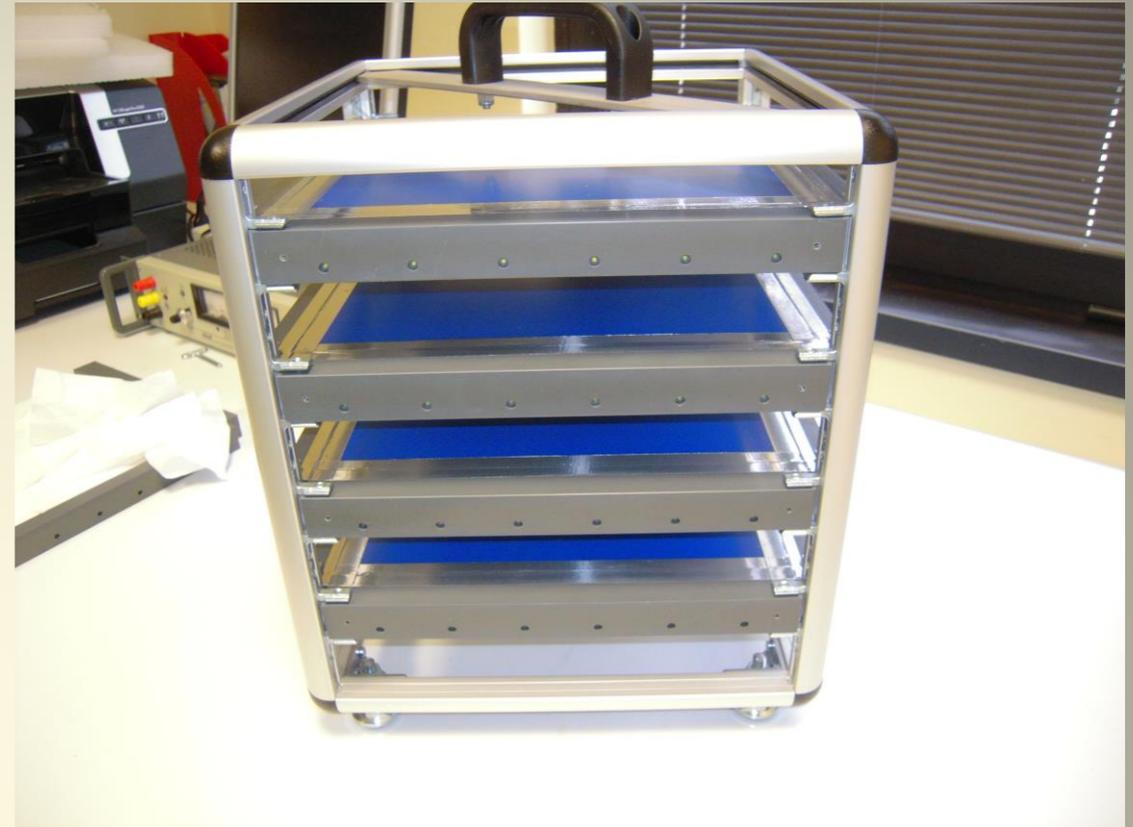
Realizzazione pratica di un telescopio



Realizzazione pratica di un telescopio

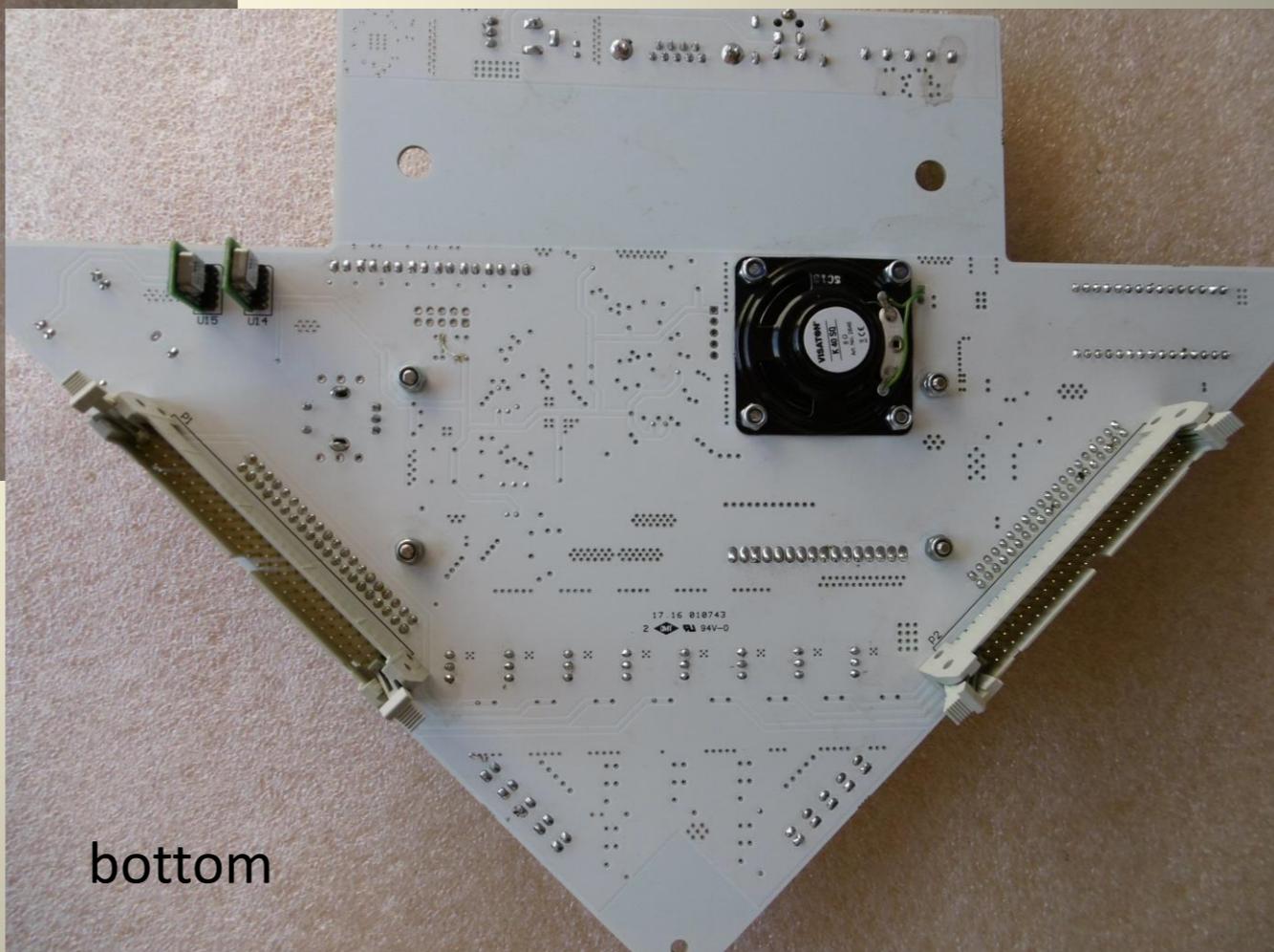
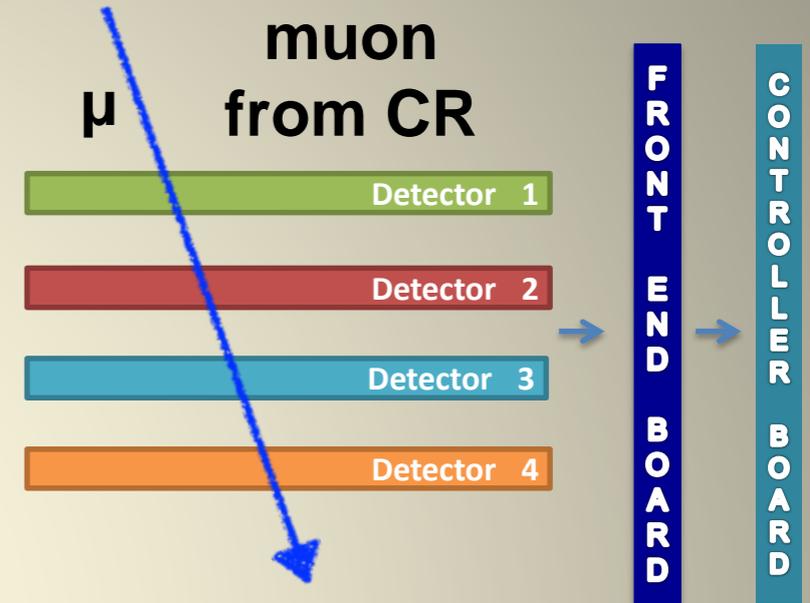
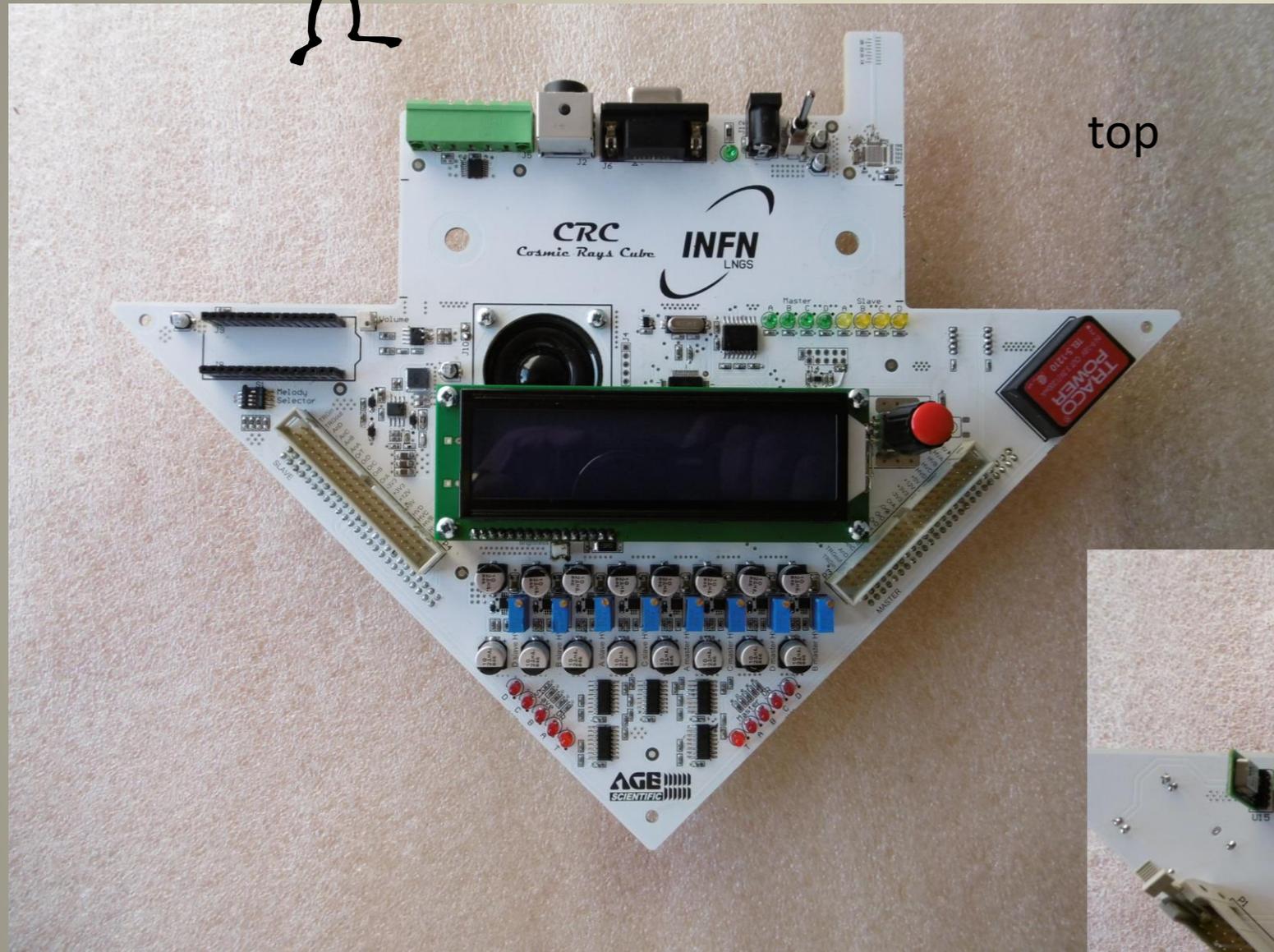


Realizzazione pratica di un telescopio





L'elettronica del telescopio



Scheda Controller
Alimentazione SiPM: 32 V cc
Alimentazione elettronica telescopio:
+12,+5, +3,3, -3,3 V
Tutto con un unico alimentatore commerciale da 12

V

scheda segnali

CRC
Cosmic Rays Cube

INFN
LNGS

AGE
SCIENTIFIC

Ch0

Ch1

Ch2

Ch3

Ch4

Ch5

A

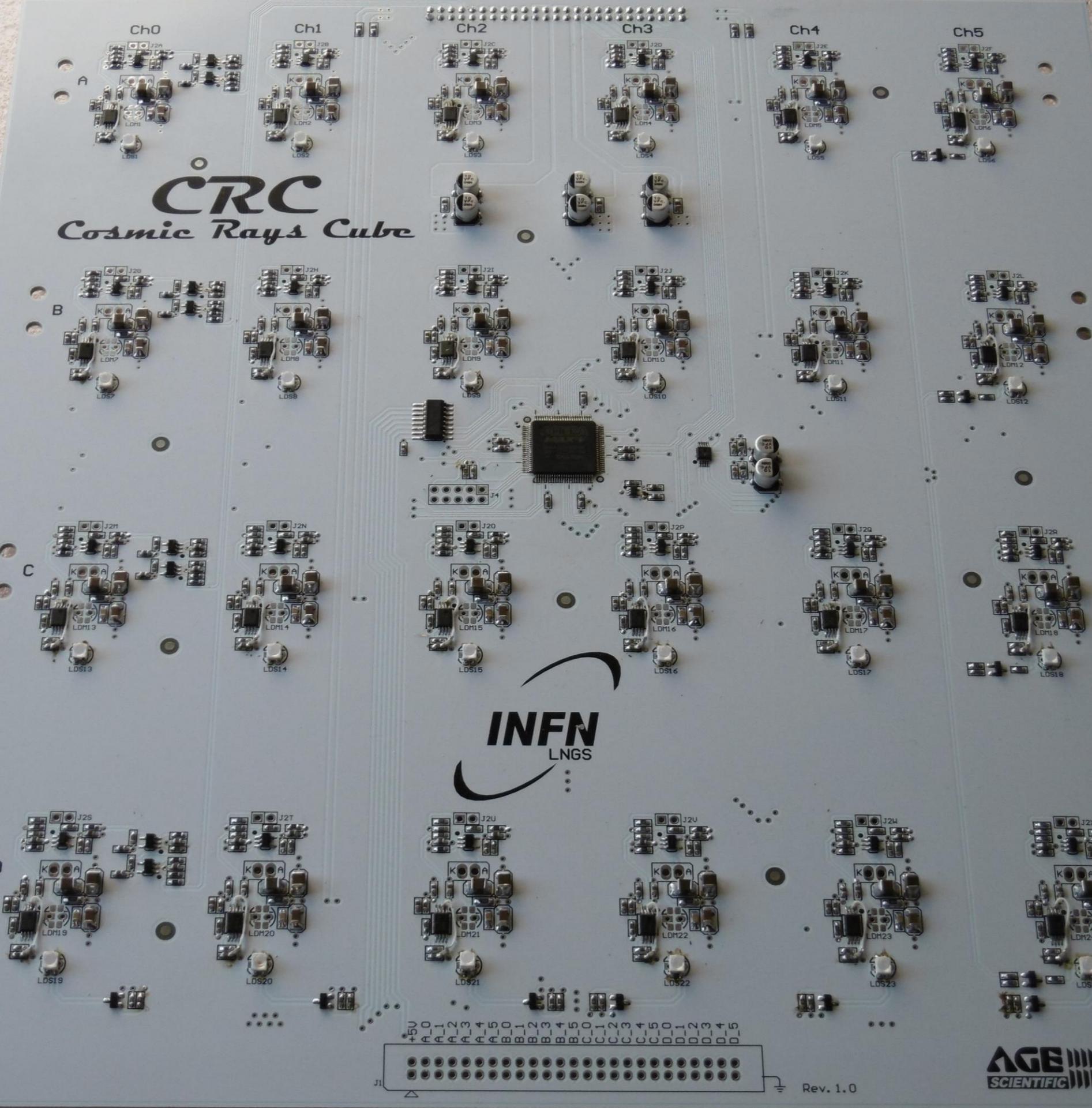
B

C

D

+5V
A0 A1 A2 A3 A4 A5
B0 B1 B2 B3 B4 B5
C0 C1 C2 C3 C4 C5
D0 D1 D2 D3 D4 D5

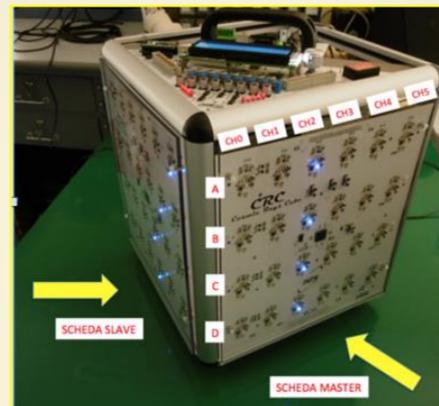
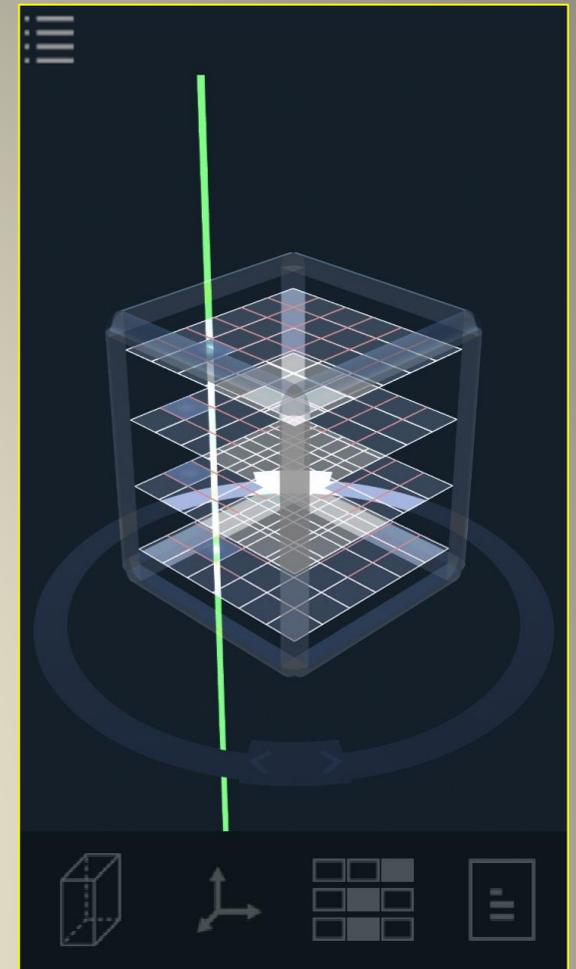
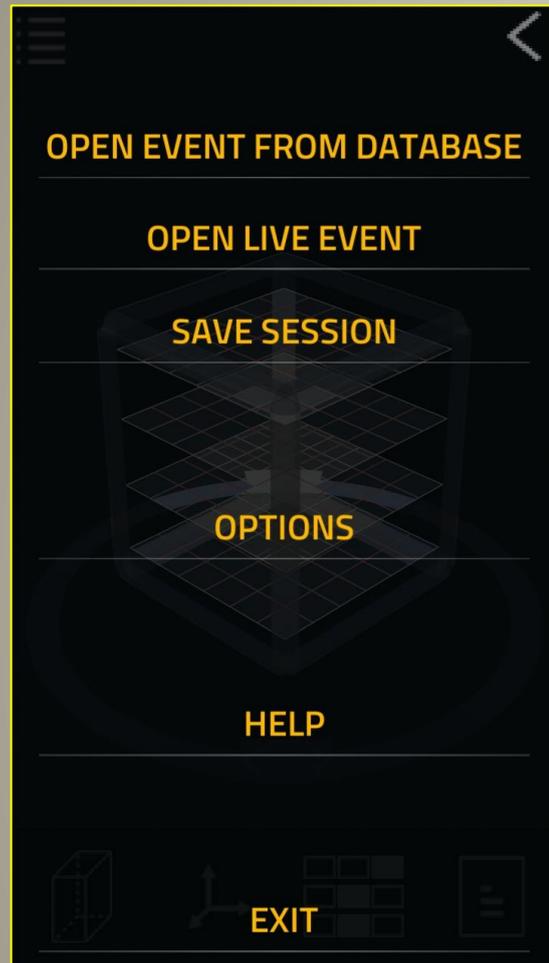
Rev. 1.0



- Al momento abbiamo in rete 3 telescopii:
- 1 ai LNGS (laboratori esterni);
- 1 ai LSC (laboratori esterni di Canfranc – Spagna);
- 1 ai LSC (laboratori sotterranei di Canfranc – Spagna)

E' stata sviluppata un'App disponibile su smartphone Android (a breve anche ci sarà anche per i-phone)

E' scaricabile da Google Play:
Cosmic Rays Live



I dati possono essere scaricati in tre diversi modi:

- collegamento diretto tramite porta seriale connessa ad un PC con convertitore RS232-USB Per leggere i dati attraverso la porta seriale vanno usati i seguenti settaggi: velocità 115200 Baud, 8 bit, 1 stop.
- tramite bluetooth;
- dai files salvati sullo smartphone

```

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

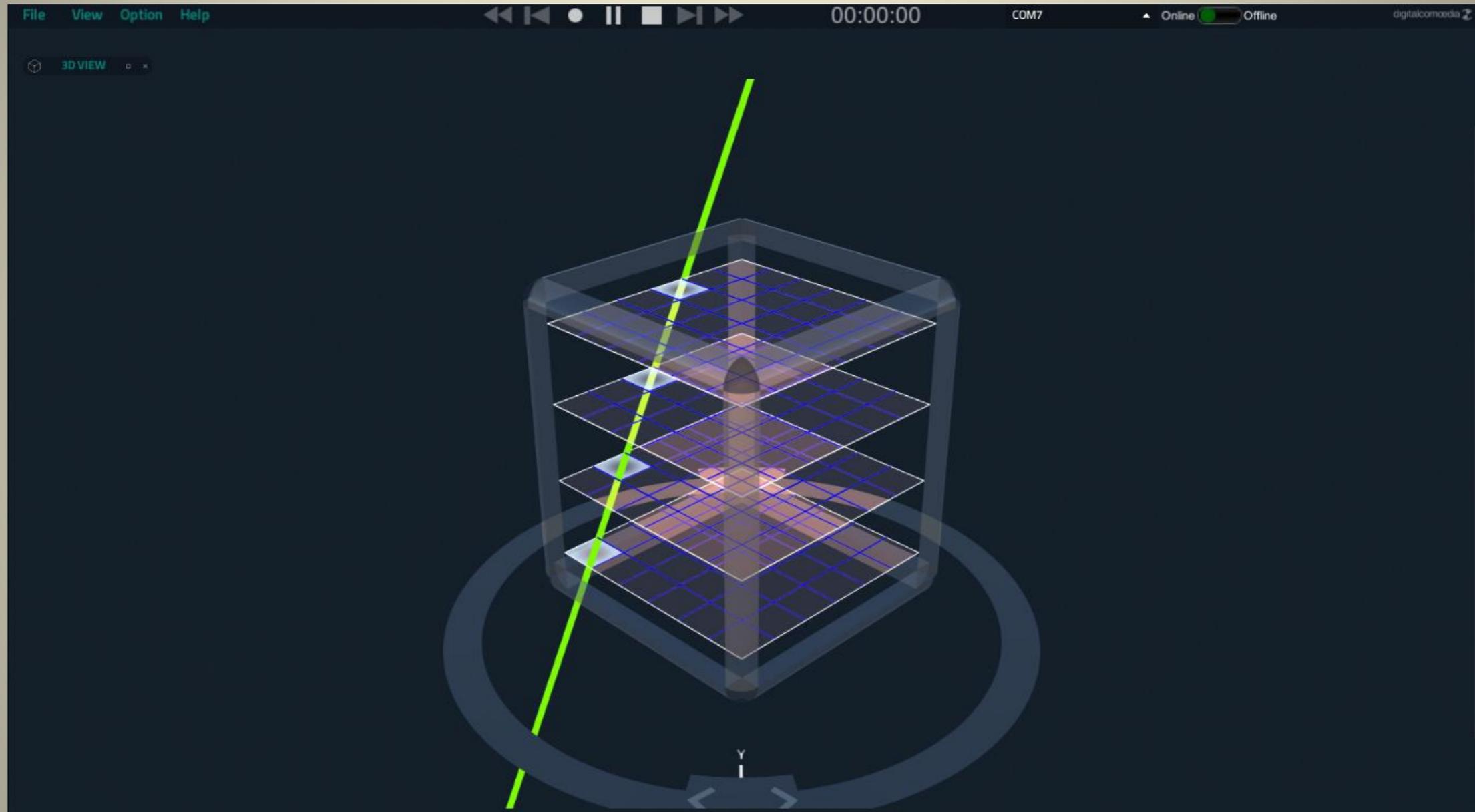
```

0 _{hex} = 0 _{dec} = 0 _{oct}	0 0 0 0
1 _{hex} = 1 _{dec} = 1 _{oct}	0 0 0 1
2 _{hex} = 2 _{dec} = 2 _{oct}	0 0 1 0
3 _{hex} = 3 _{dec} = 3 _{oct}	0 0 1 1
4 _{hex} = 4 _{dec} = 4 _{oct}	0 1 0 0
5 _{hex} = 5 _{dec} = 5 _{oct}	0 1 0 1
6 _{hex} = 6 _{dec} = 6 _{oct}	0 1 1 0
7 _{hex} = 7 _{dec} = 7 _{oct}	0 1 1 1
8 _{hex} = 8 _{dec} = 10 _{oct}	1 0 0 0
9 _{hex} = 9 _{dec} = 11 _{oct}	1 0 0 1
A _{hex} = 10 _{dec} = 12 _{oct}	1 0 1 0
B _{hex} = 11 _{dec} = 13 _{oct}	1 0 1 1
C _{hex} = 12 _{dec} = 14 _{oct}	1 1 0 0
D _{hex} = 13 _{dec} = 15 _{oct}	1 1 0 1
E _{hex} = 14 _{dec} = 16 _{oct}	1 1 1 0
F _{hex} = 15 _{dec} = 17 _{oct}	1 1 1 1

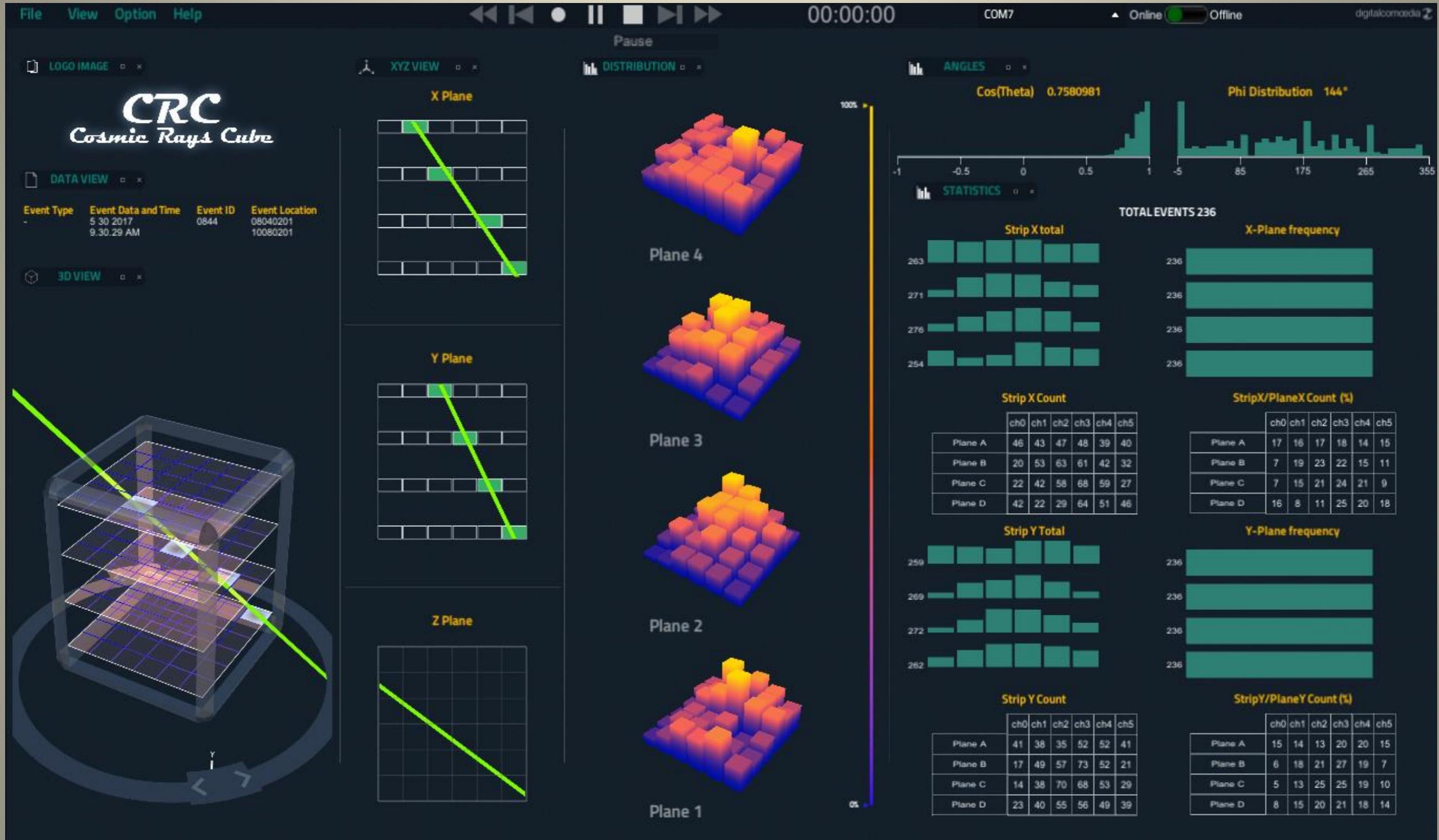
Il formato dei dati di uscita è: numero di evento (da 0 a 9999) poi due cifre esadecimali per piano (abbiamo 4 piani con 6 bit per piano). Ogni coppia di cifre esadecimali formano un Byte (ovvero 8 bit di cui l'MSB e quello accanto vanno considerati sempre 0) . I rimanenti 6 bit vanno collocati a partire da CH0. Un "1" indica il passaggio del muone in quel canale).

La corrispondenza di una riga di dati è:
 Numero evento (decimale) + in esadecimale
 <Master_LayerA><Master_LayerB>
 <Master_LayerC> <Master_LayerD>
 <Slave_LayerA> <Slave_LayerB>
 <Slave_LayerC> <Slave_LayerD>

Telescopio e *muoni* visti dall'App

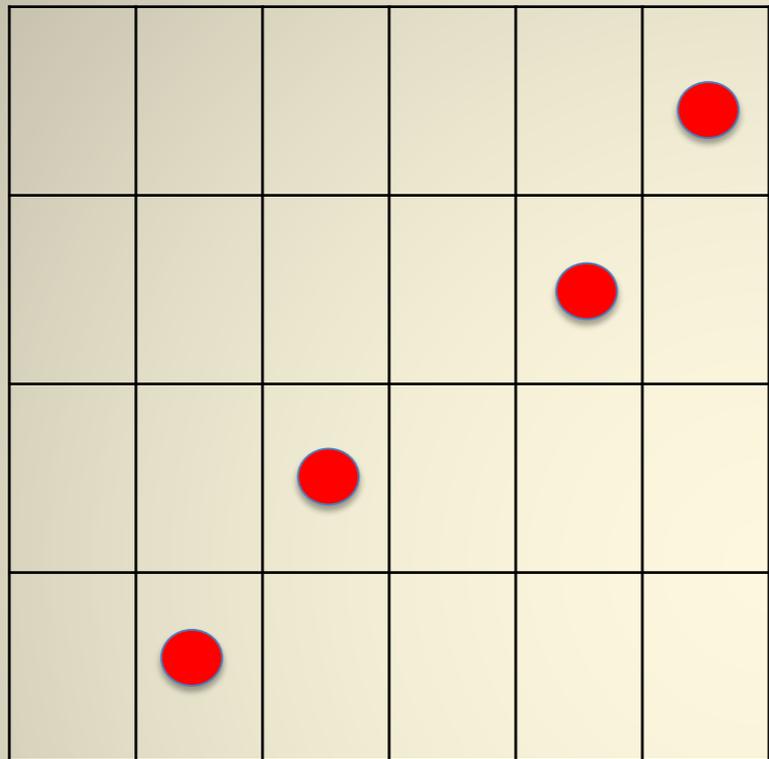


Schermata completa dell'App

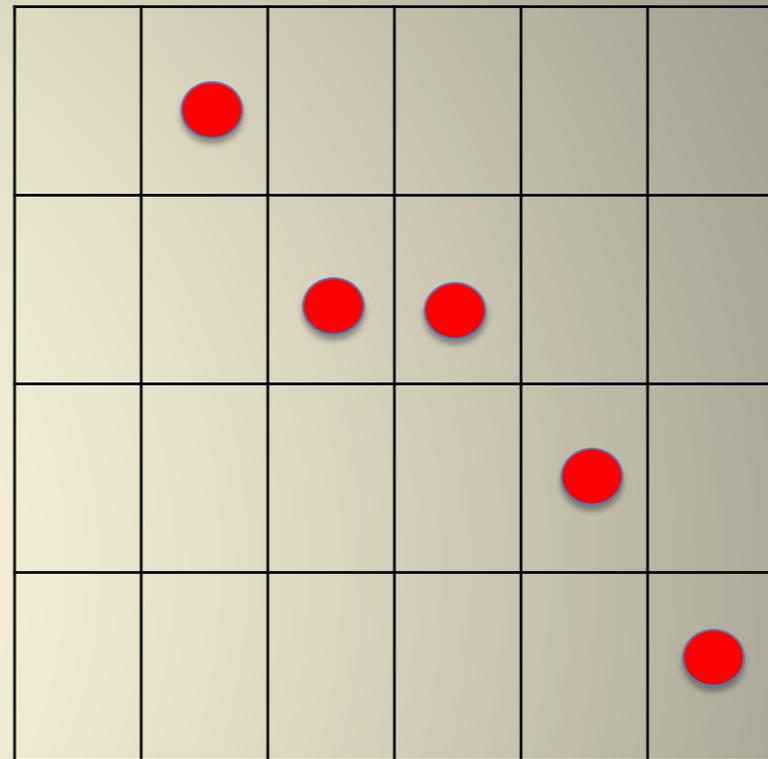


0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
A	1	0	1	0
B	1	0	1	1
C	1	1	0	0
D	1	1	0	1
E	1	1	1	0
F	1	1	1	1

Scheda Slave



Scheda Master



Esempio:

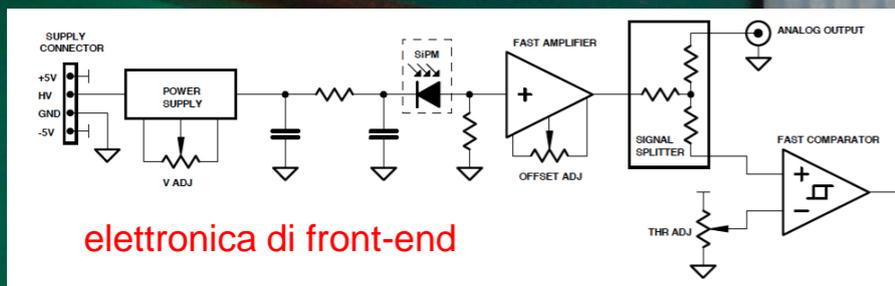
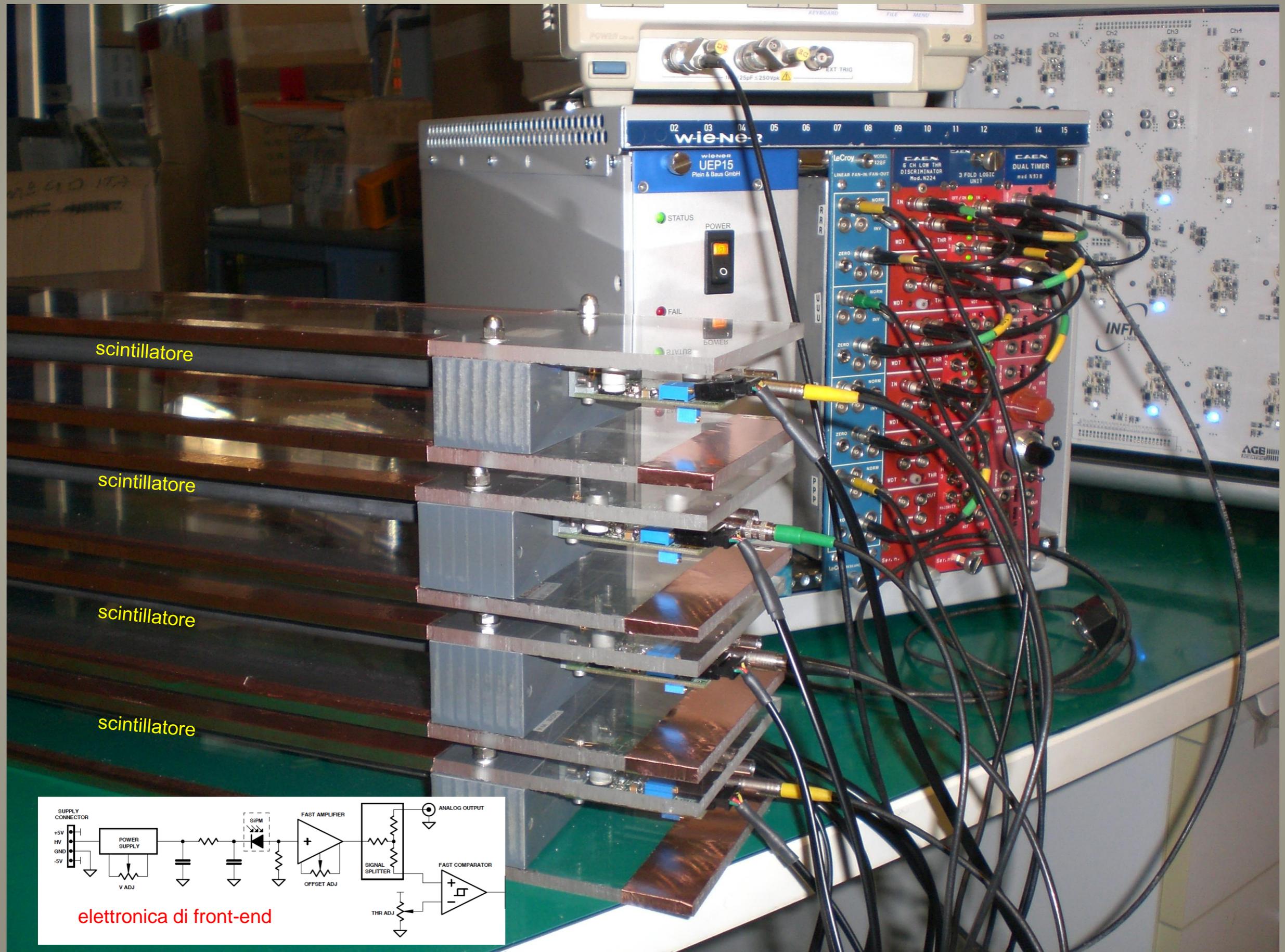
evento n. 1163

100C0201 01020810

10 hex= 0001 0000
 0C hex= 0000 1100
 02 hex= 0000 0010
 01 hex= 0000 0001

01 hex= 0000 0001
 02 hex= 0000 0010
 08 hex= 0000 1000
 10 hex= 0001 0000

E adesso proviamo a vedere il segnale di un muone che attraversa 4 bacchette di scintillatore plastico di dimensioni 5x40 cm e facciamo qualche calcolo





Giornata Internazionale dei Raggi Cosmici

Sez. INFN - Napoli, 30 Novembre 2017

Grazie per l'attenzione