

***Let's look at muons !!!
Diamo una occhiata ai muoni!!!
ICD - International Cosmic Day***

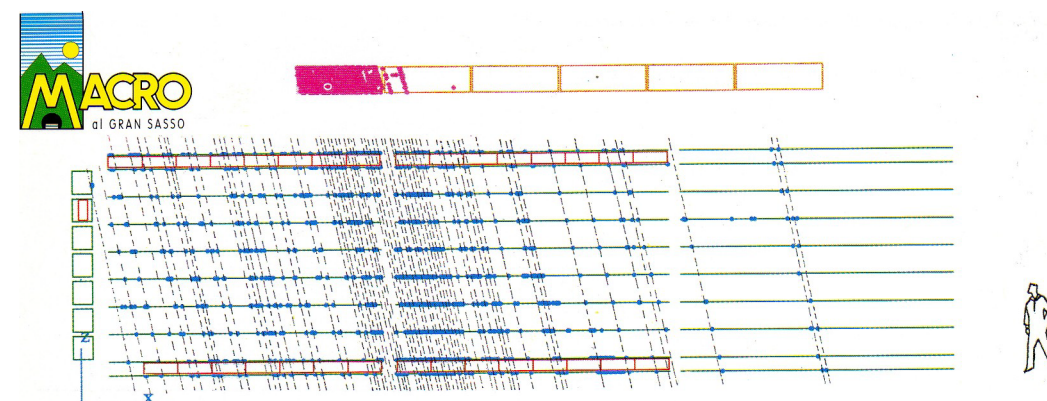


***INFN Roma Tre, 28 Ottobre
13 Novembre 2025***

Diego Tagnani
INFN Sezione di Roma Tre
[*diego.tagnani@roma3.infn.it*](mailto:diego.tagnani@roma3.infn.it)



Non tutto ciò che esiste si vede !



R= 3031 E= 3019 13-MAR-91 16:43:49 HT= 0000-0000-0000-302B ST=8001 M= 1

Gruppo di oltre 40 muoni osservati simultaneamente dall'esperimento MACRO in un volume di circa 1300 m³ di rivelatore. In media nei laboratori sotterranei abbiamo un flusso di $\mu \sim 1 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

Il più antico rivelatore di particelle è

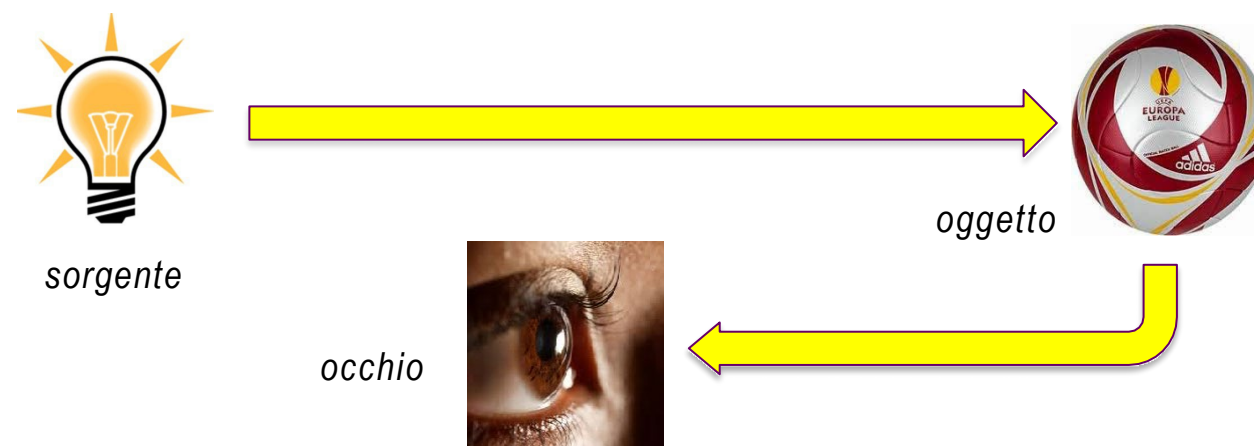
l'occhio umano

Un rivelatore è un oggetto dove parte dell'energia ceduta da una particella viene convertita in qualche altra forma più accessibile alle percezioni umane.

✓ Noi vediamo un oggetto perché viene colpito da fotoni (particelle elementari di cui è costituita la luce) che poi vengono riflessi e rivelati dal nostro occhio. Il potere risolutivo dell'occhio umano è circa 0,1 mm.

✓ Come tutti i sensori biologici, l'occhio non risponde in modo proporzionale allo stimolo, ma al logaritmo dello stimolo, in questo modo risulta molto efficiente nel rilevare la luce emessa da sorgenti con luminosità molto diverse (9-10 ordini di grandezza!!!)

✓ In linea di principio però la luce l'occhio la misura piuttosto male. L'efficienza quantica dell'occhio è almeno un ordine di grandezza inferiore a quella dei moderni rivelatori elettronici (*ma in compenso ha un intervallo di funzionamento decisamente più ampio!*)

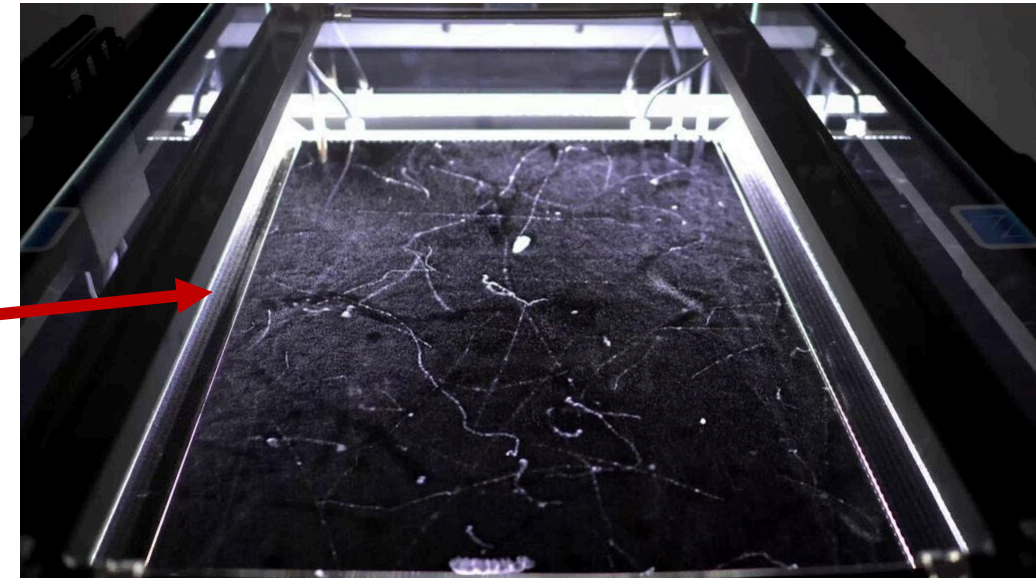


COME SI POSSONO OSSERVARE I RAGGI COSMICI?

- Camera a nebbia
- Emulsioni fotografiche nucleari
- Tubi a drift
- RPC
- **Scintillatori plastici**

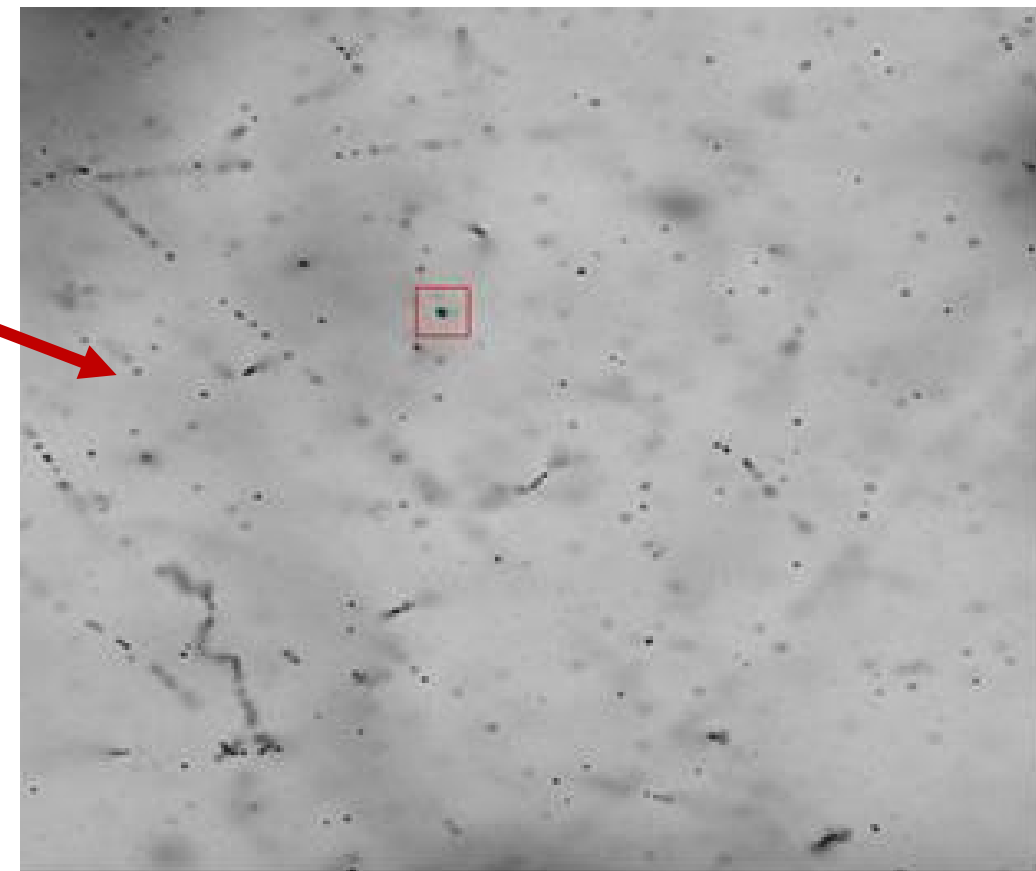
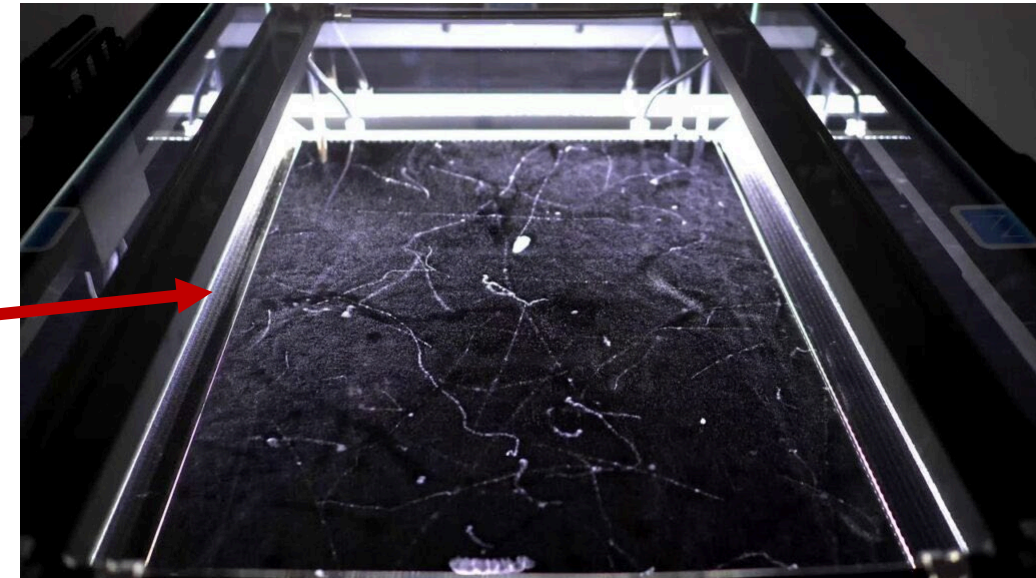
COME SI POSSONO OSSERVARE I RAGGI COSMICI?

- Camera a nebbia
- Emulsioni fotografiche nucleari
- Tubi a drift
- RPC
- **Scintillatori plastici**



COME SI POSSONO OSSERVARE I RAGGI COSMICI?

- Camera a nebbia
- Emulsioni fotografiche nucleari
- Tubi a drift
- RPC
- **Scintillatori plastici**



PIONE (1947)



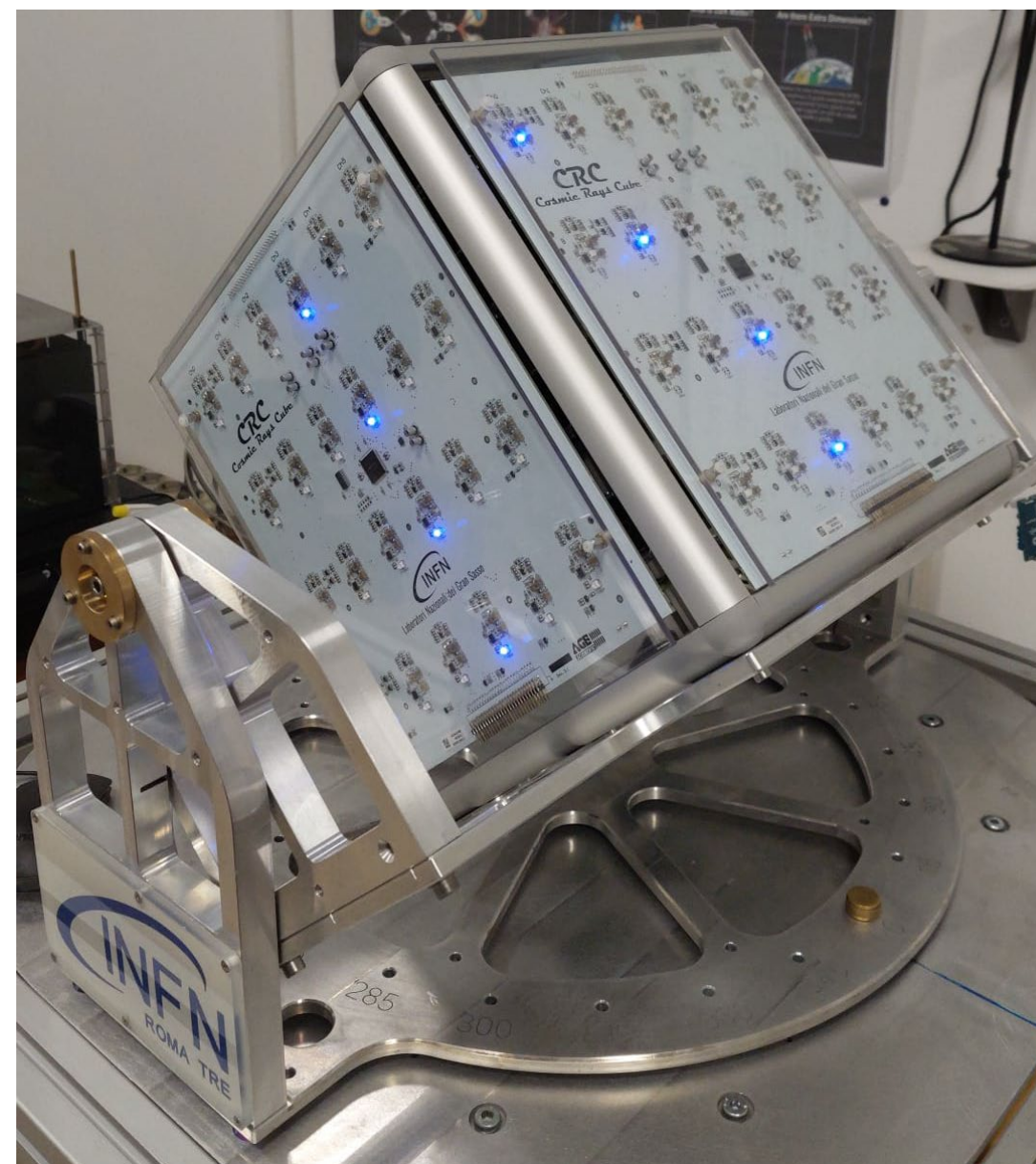
La parola **“telescopio”** porta a pensare al classico strumento ottico che raccoglie la luce (o *altre radiazioni elettromagnetiche*) proveniente da “oggetti” lontani e le concentra in un punto riproducendone un’immagine ingrandita.

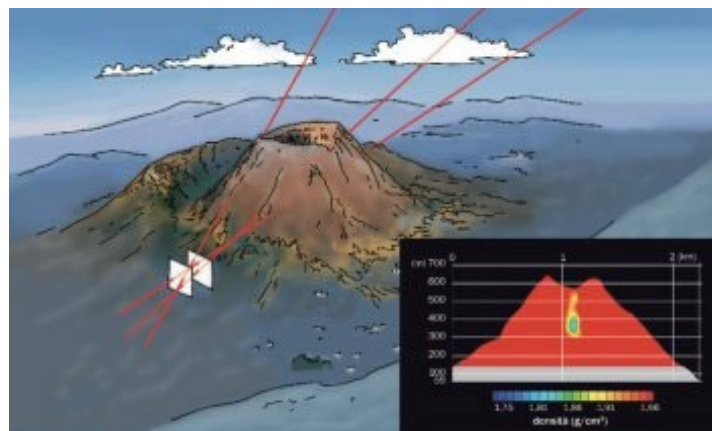
...il **“nostro telescopio”** è uno strumento realizzato con i classici “rivelatori” che si usano negli esperimenti di fisica delle particelle. Con esso, anziché osservare la radiazione visibile, osserviamo altri messaggeri dell’universo:

LE PARTICELLE SUBNUCLEARI

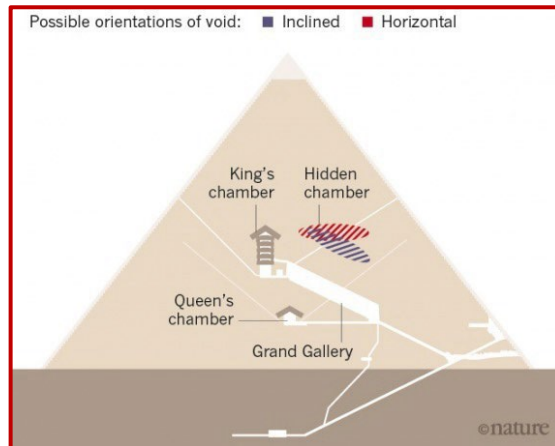
Quelle più penetranti sono in grado di arrivare al suolo terrestre ed essere osservate da questi sofisticati strumenti.

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 22 sedi, con circa 100 scuole e oltre 800 studenti.

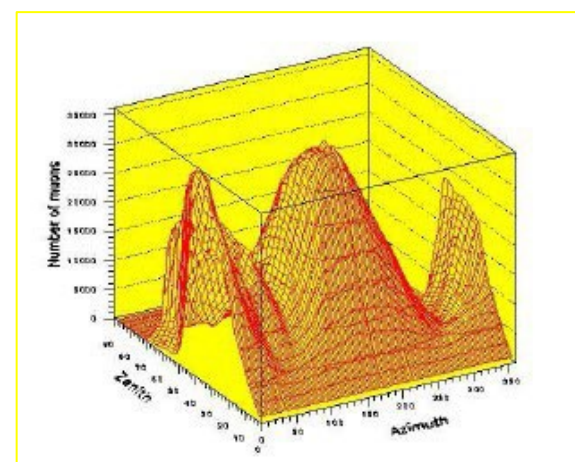




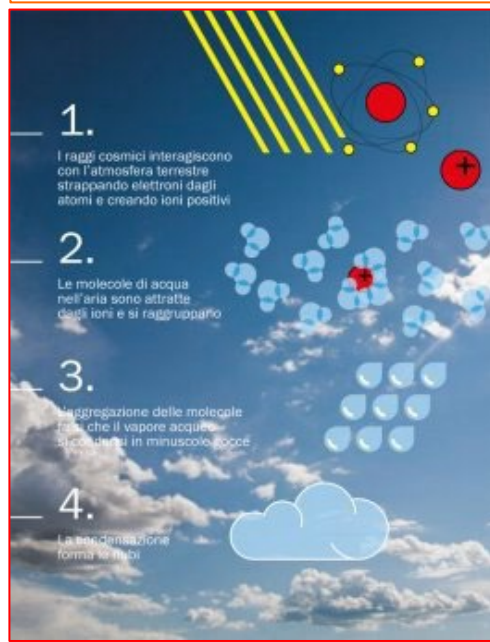
Ecco come è visto il vulcano giapponese Satsuma_Iwojima attraverso la radiografia muonica. In Italia il progetto **MURAVES** (**MU**on-**R**adiography-of-**VES**uvius) prevede il posizionamento di un telescopio a muoni alle pendici del Vesuvio in modo da studiare la struttura sommitale del vulcano. Sono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



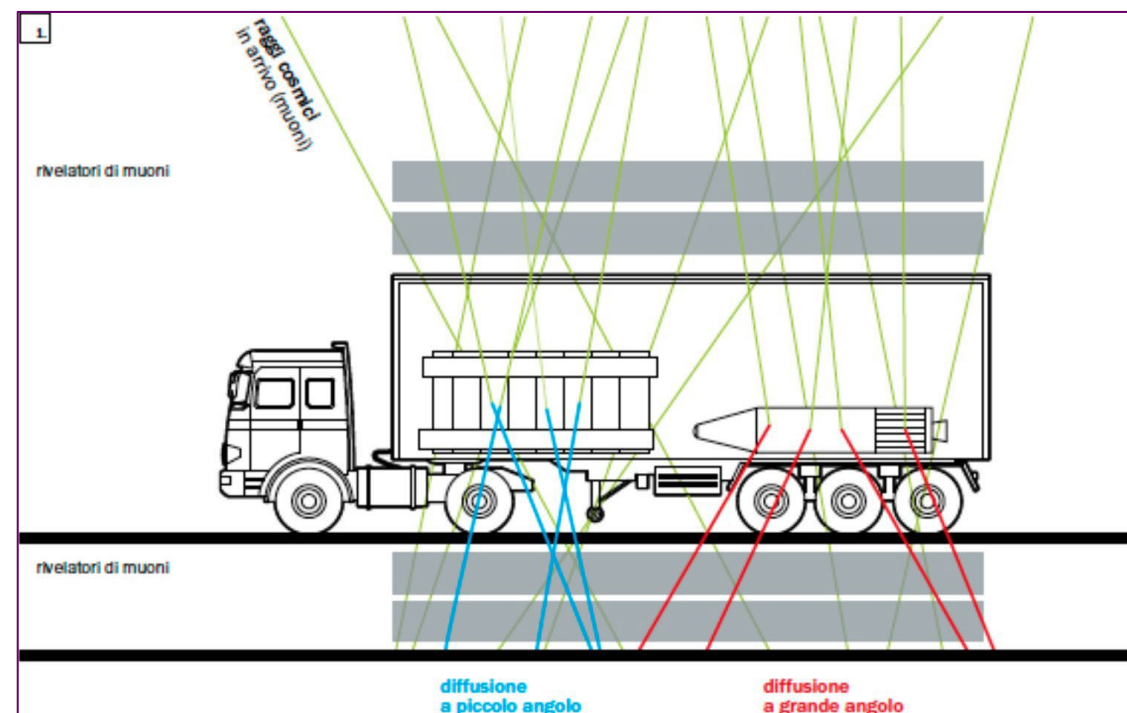
Con la **Muon Radiography** è possibile evidenziare stanze nascoste all'interno di tunnel o scoprire masse disomogenee prossime o sovrastanti grotte naturali. Nel 1970, il premio Nobel Luis Alvarez ebbe l'idea di evidenziare con i muoni stanze non ancora scoperte dagli archeologi nella Piramide di Chephren (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** (**M**onopole, **A**strophysics, and **C**osmic **R**ay **O**bservatory) ai LNGS.



Gli esperimenti **CLOUD** (**C**osmics **L**eaving **O**utdoor **D**roplets) 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 faremo?

*Proviamo a riconoscere
e vedere le particelle
con un CRC...*



I conteggi di un singolo rivelatore sono legati a:

- Radioattività naturale
- Passaggio di particelle cariche
- Noise elettronico (i SiPM usati nel telescopio hanno una Dark Count Rate (DCR) superiore a 100 kHz/mm²).

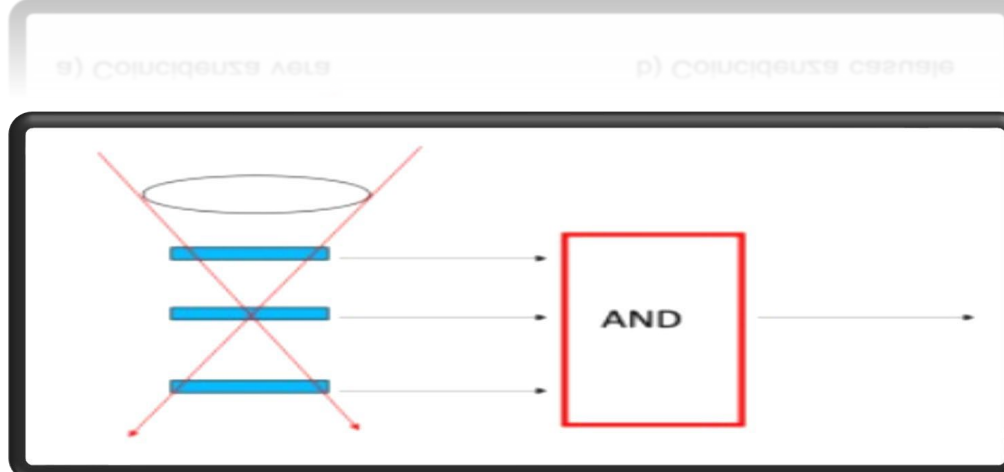
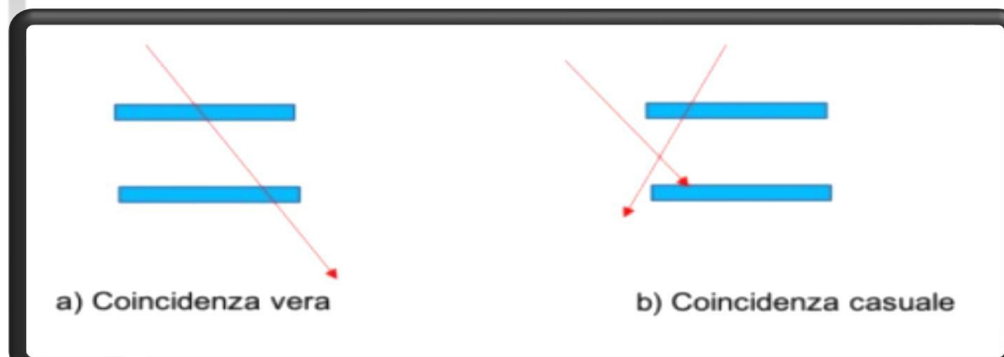
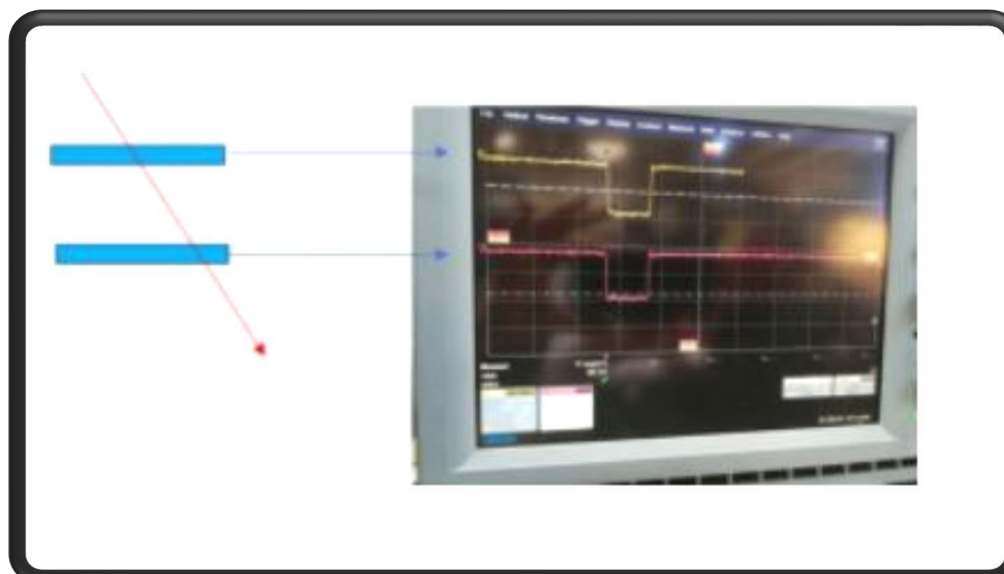
Per ridurre i conteggi dovuti ad eventi casuali si possono mettere due piani in coincidenza, ovvero generare un segnale solo se in uno stesso arco temporale fissato a priori (gate) la particella colpisce entrambi i piani.

Anche in questo caso però si possono contare eventi casuali. Nella figura a lato si vede che avremo una coincidenza in entrambi i casi, ma nel caso a) si ha una coincidenza vera, nel caso b) una coincidenza casuale.

Ecco il motivo per cui si tende ad avere gate molto piccoli.

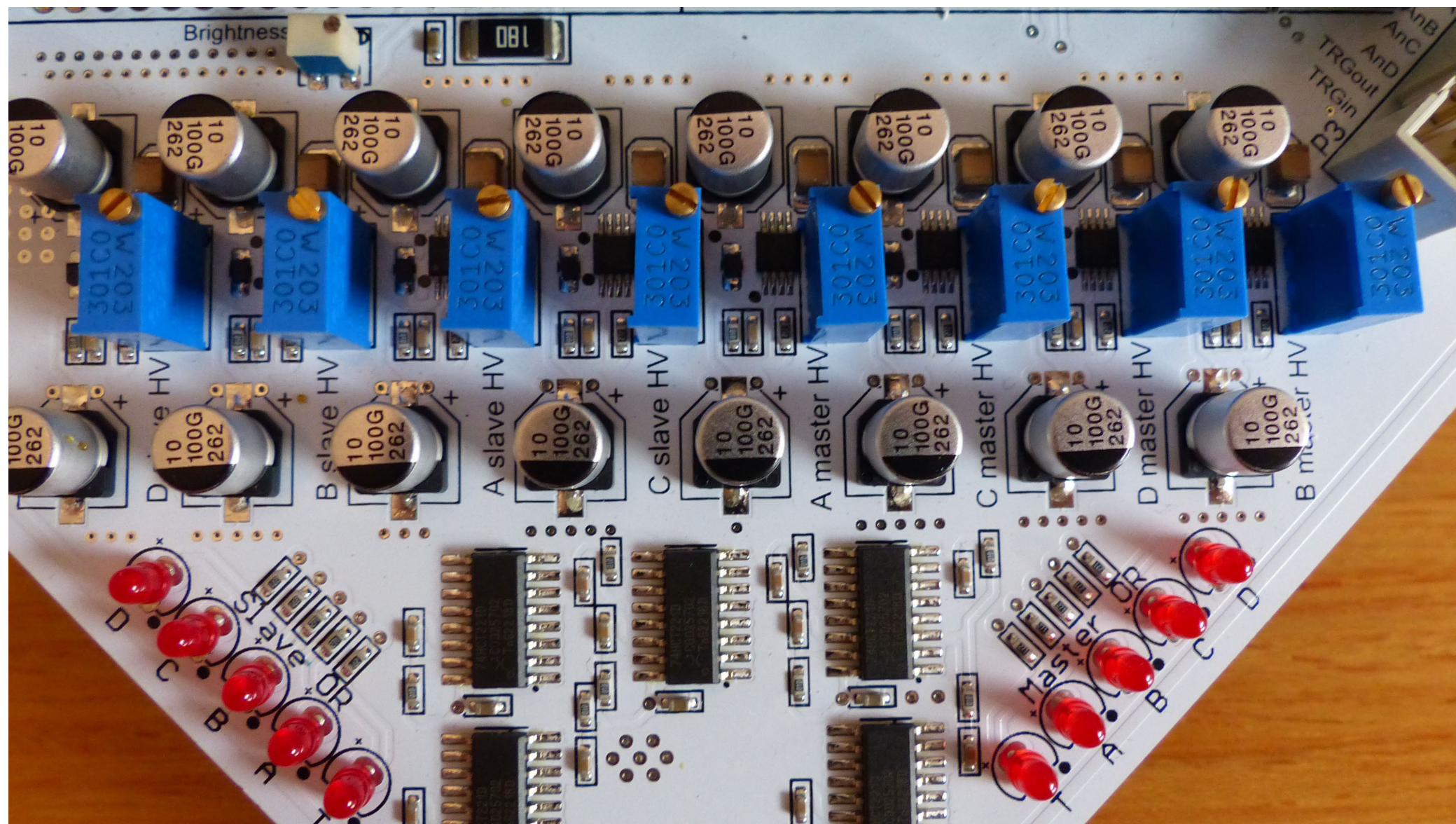
Aggiungendo più rivelatori in coincidenza la rate di coincidenze casuali diminuisce **di diversi ordini di grandezza**.

La rate delle coincidenze casuali è legata al numero di piani in coincidenza.

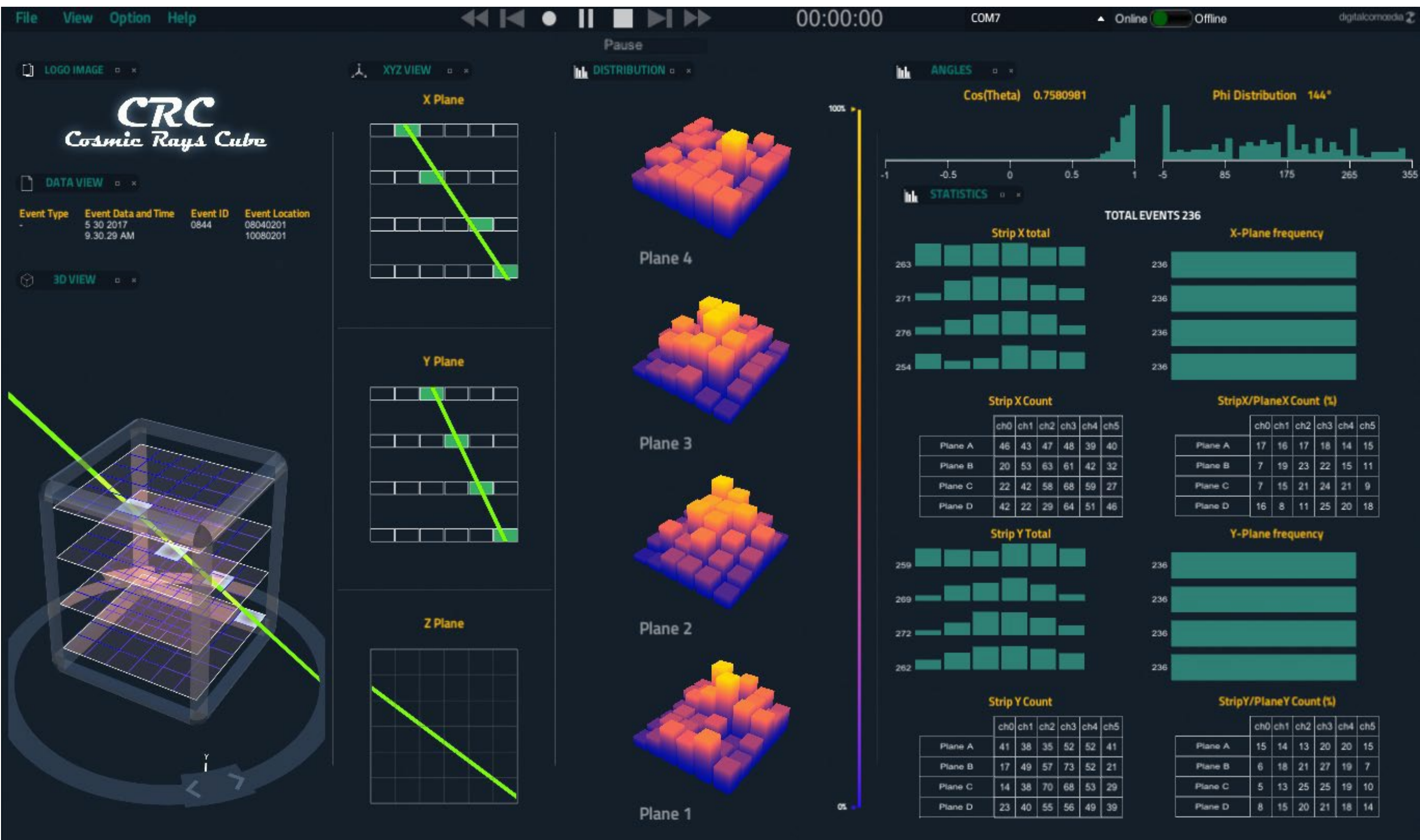


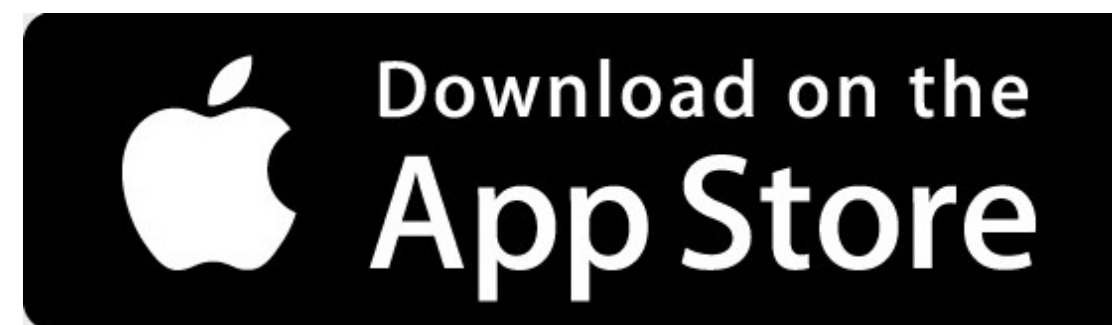
Più sono i piani più l'angolosolido è piccolo, più precisa è la direzione di provenienza, ma minore sarà il campo visivo.

TRIGGER: SOGLIA (THRESHOLD) NEL CRC



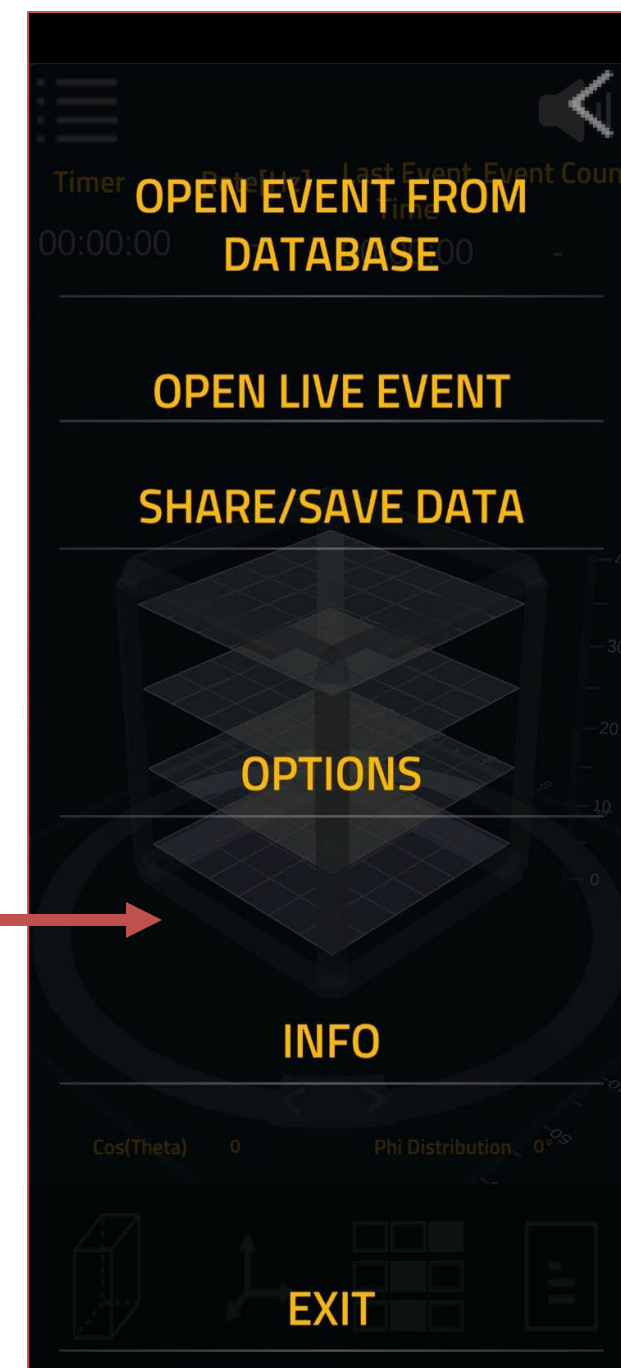
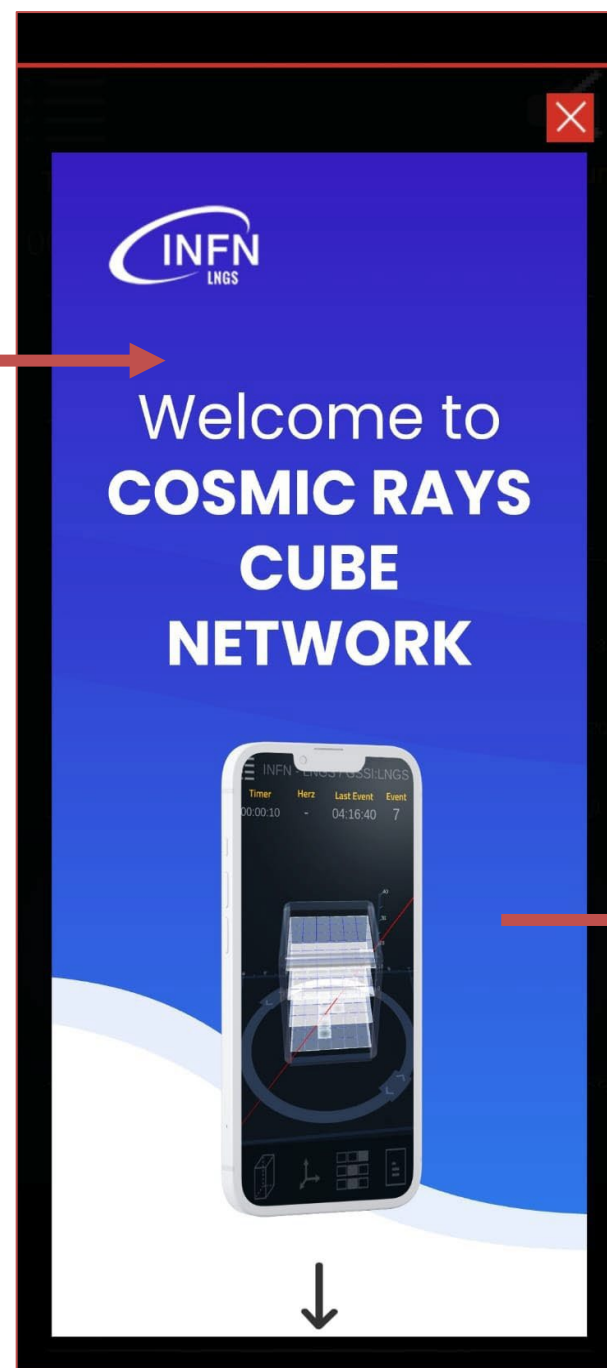
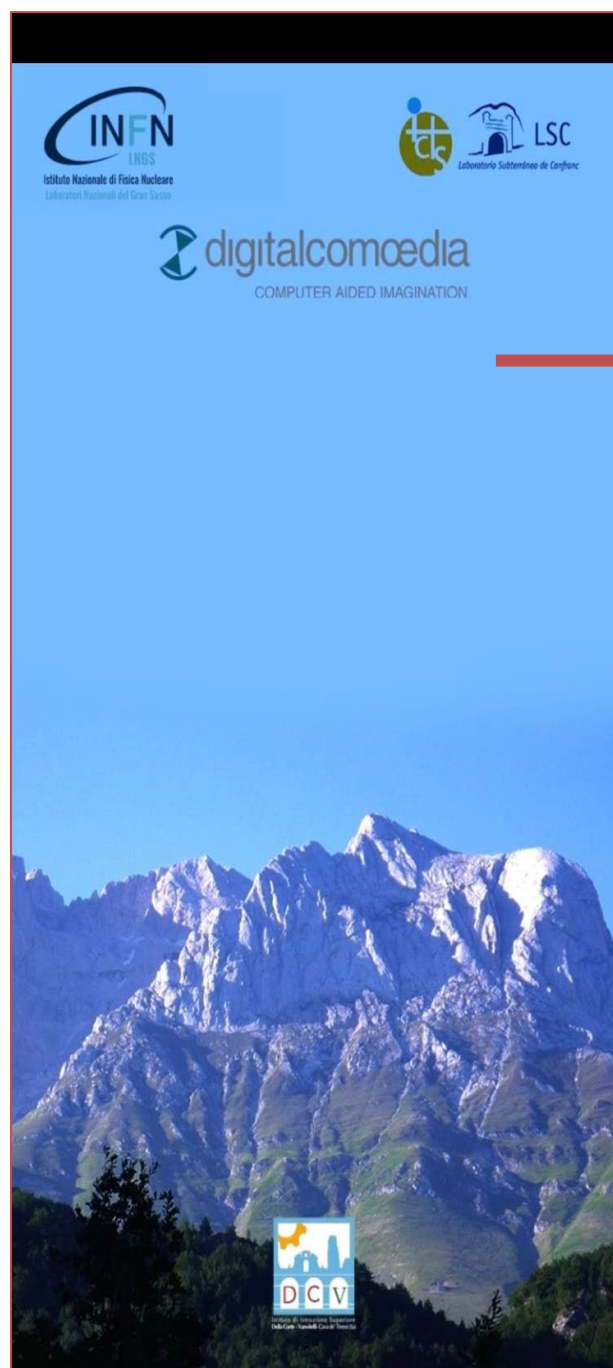
BV	Breakdown voltage ⁽²⁾	Typical: 27 V	Min: 25 V	Max: 29 V
σ BV	BV standard deviation ⁽³⁾	50 mV		
OV	Recommended Overvoltage range ⁽⁴⁾	Min: 2 V Max: 4 V		
DCR	Dark Count Rate ⁽⁵⁾	< 100 kHz/mm ² @ 2 V OV < 200 kHz/mm ² @ 4 V OV		
G	Gain ⁽⁶⁾	2.7×10^6		
BVTC	Breakdown Voltage Temperature Coefficient	27 mV/°C		

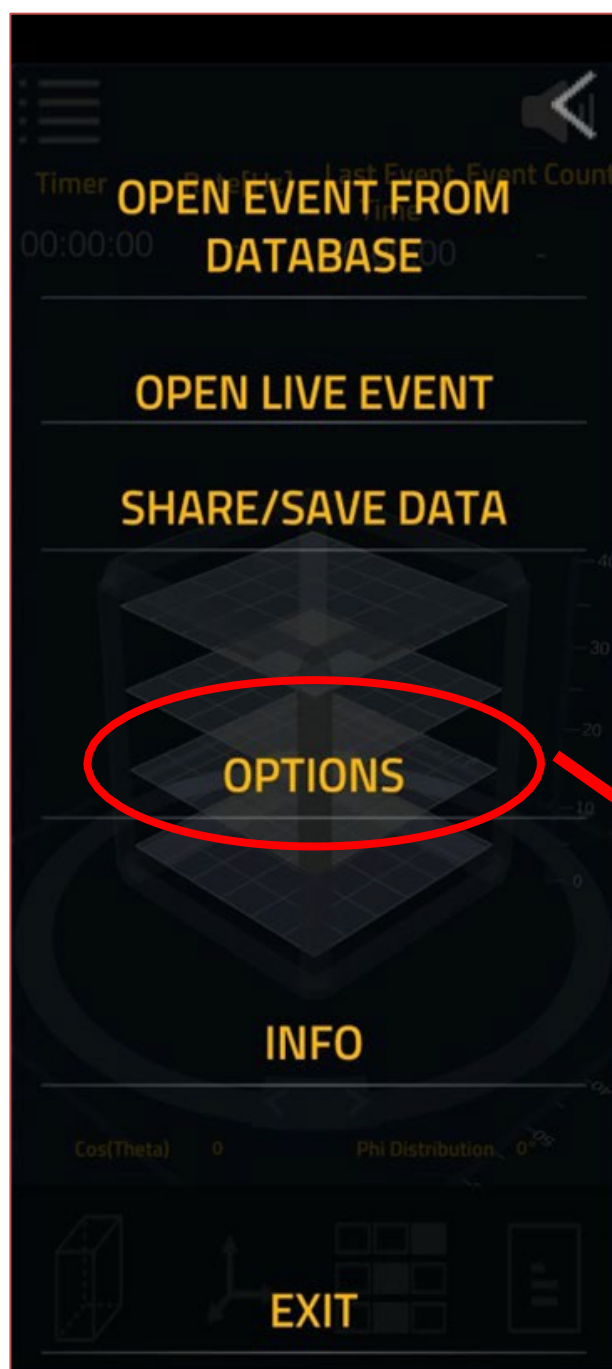


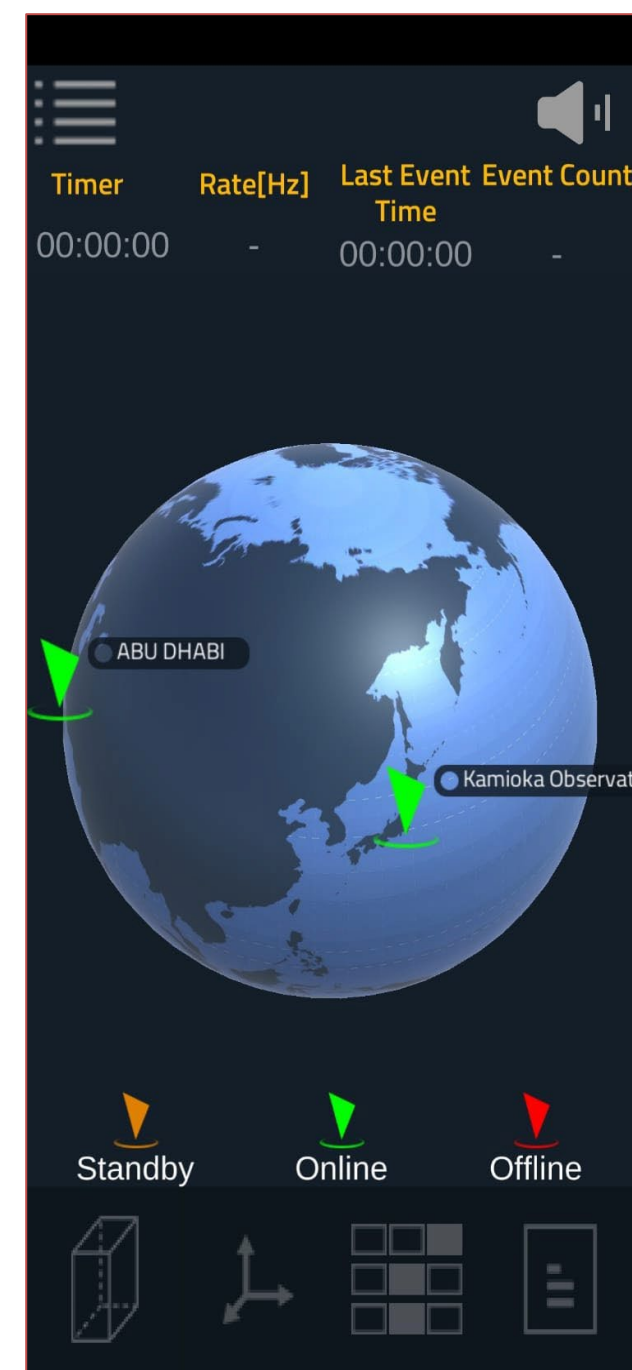
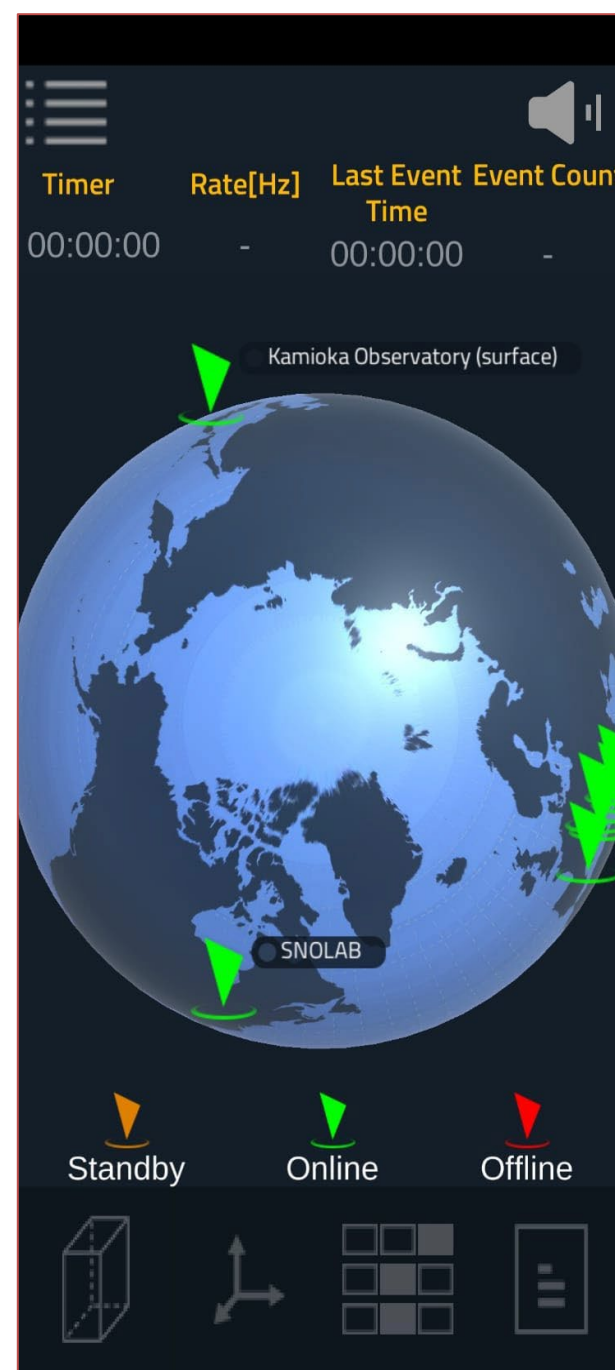
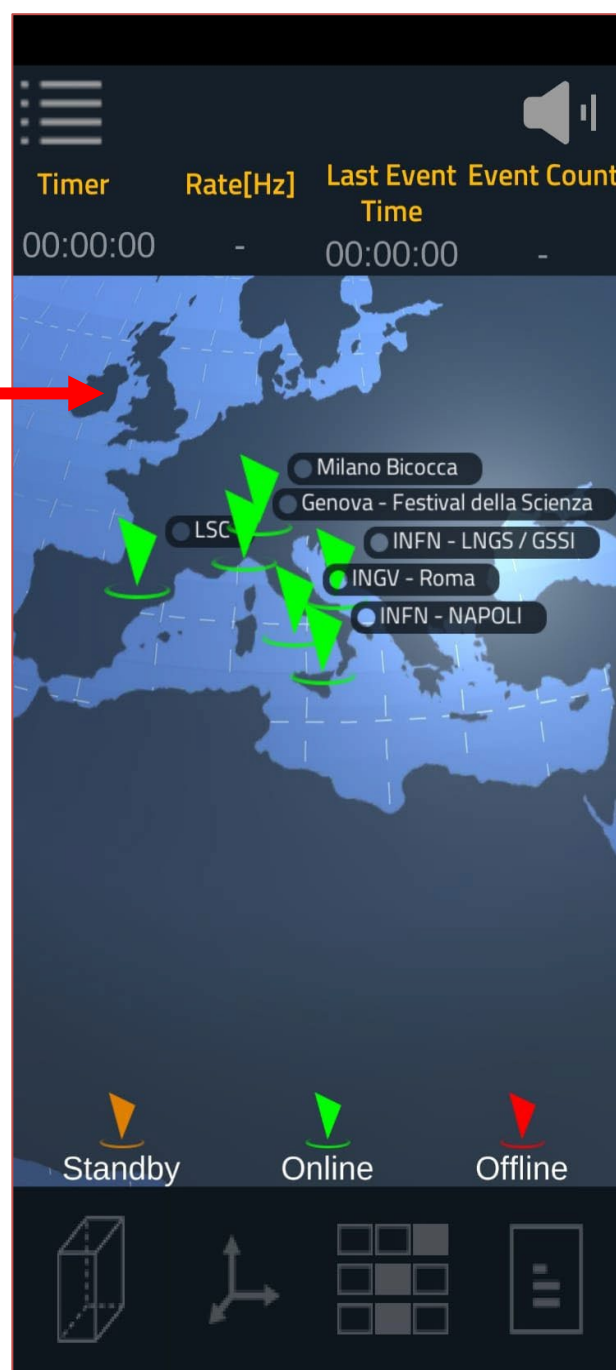
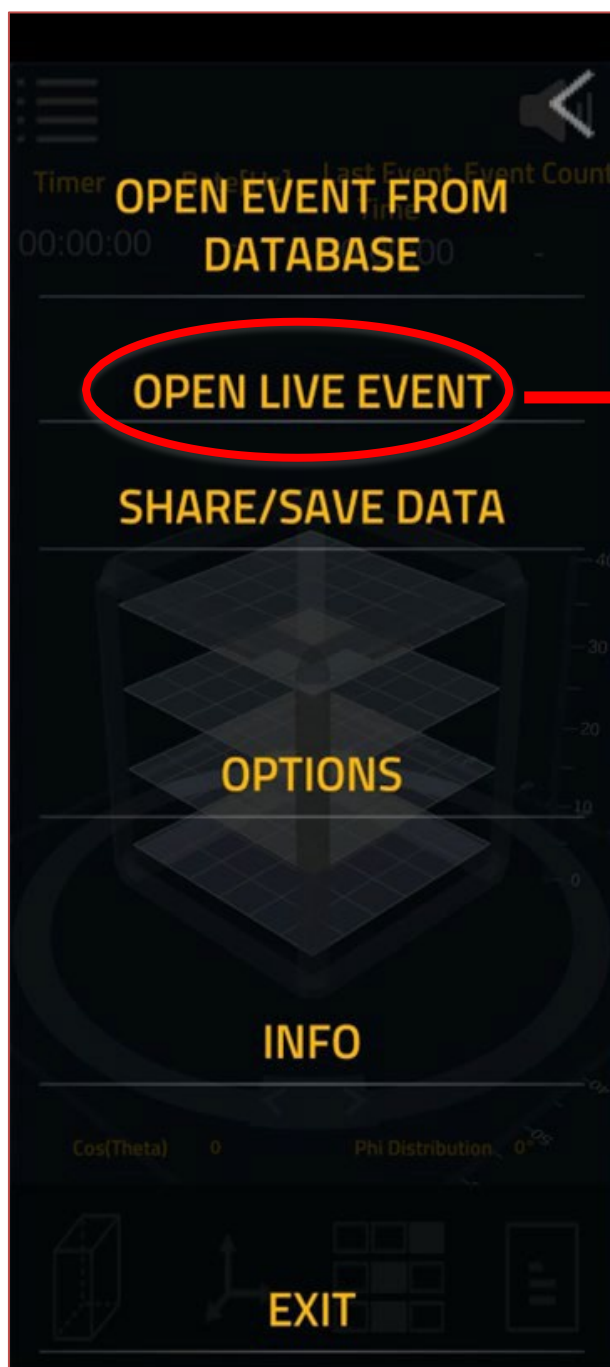


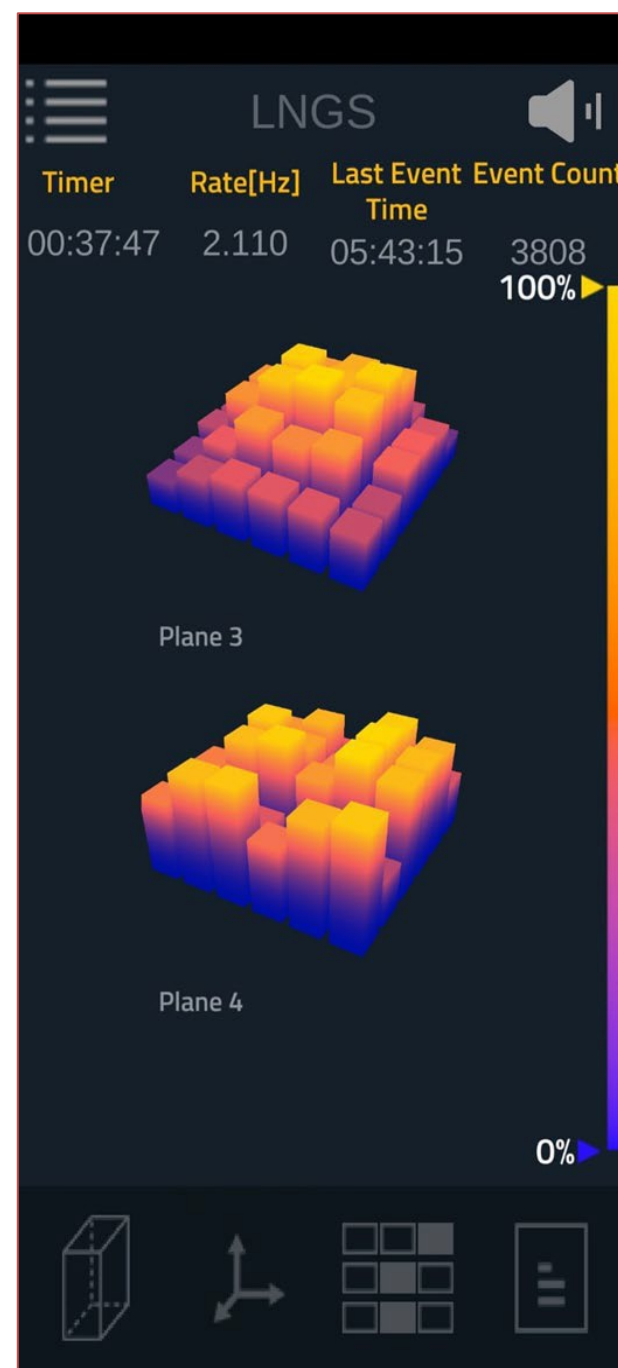
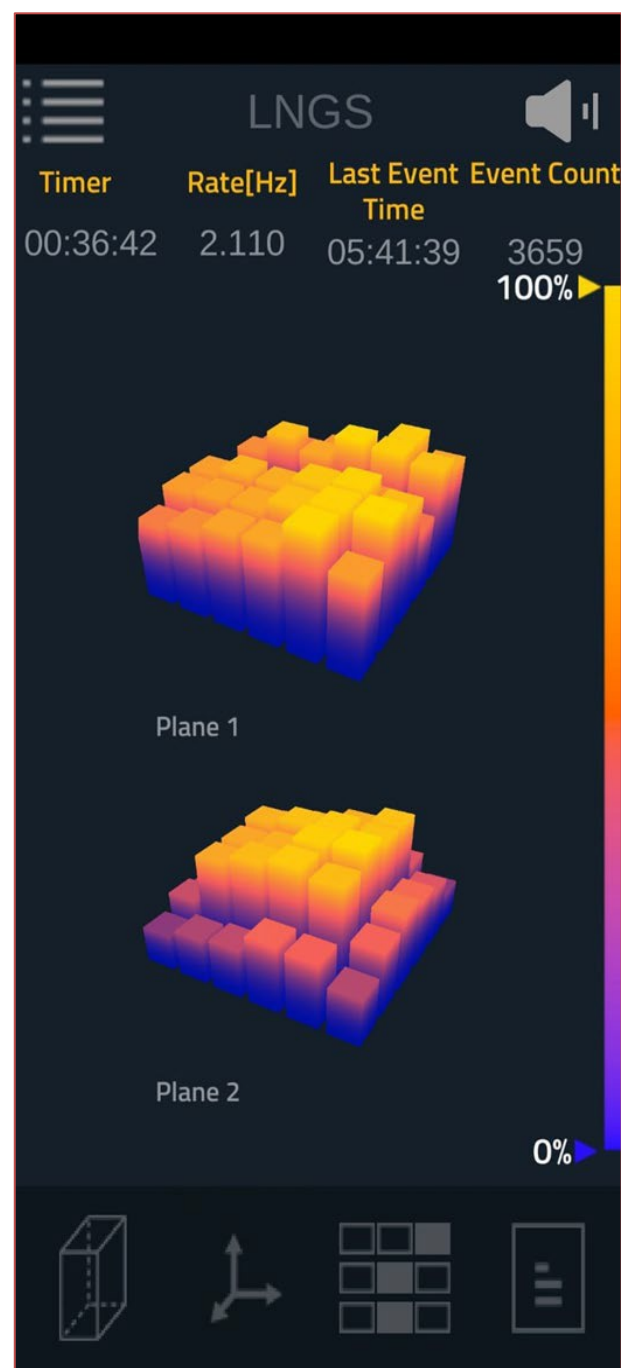
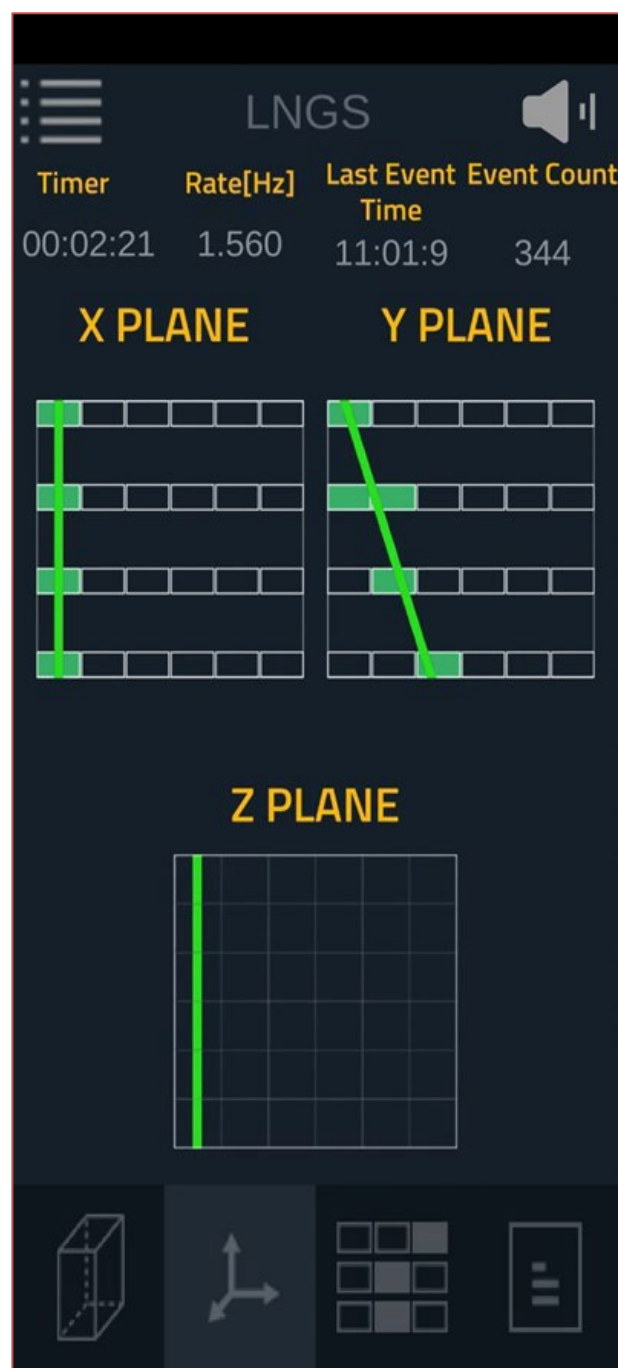
Il vostro smartphone, sarà lo strumento da usare per osservare raggi cosmici in tempo reale !!!

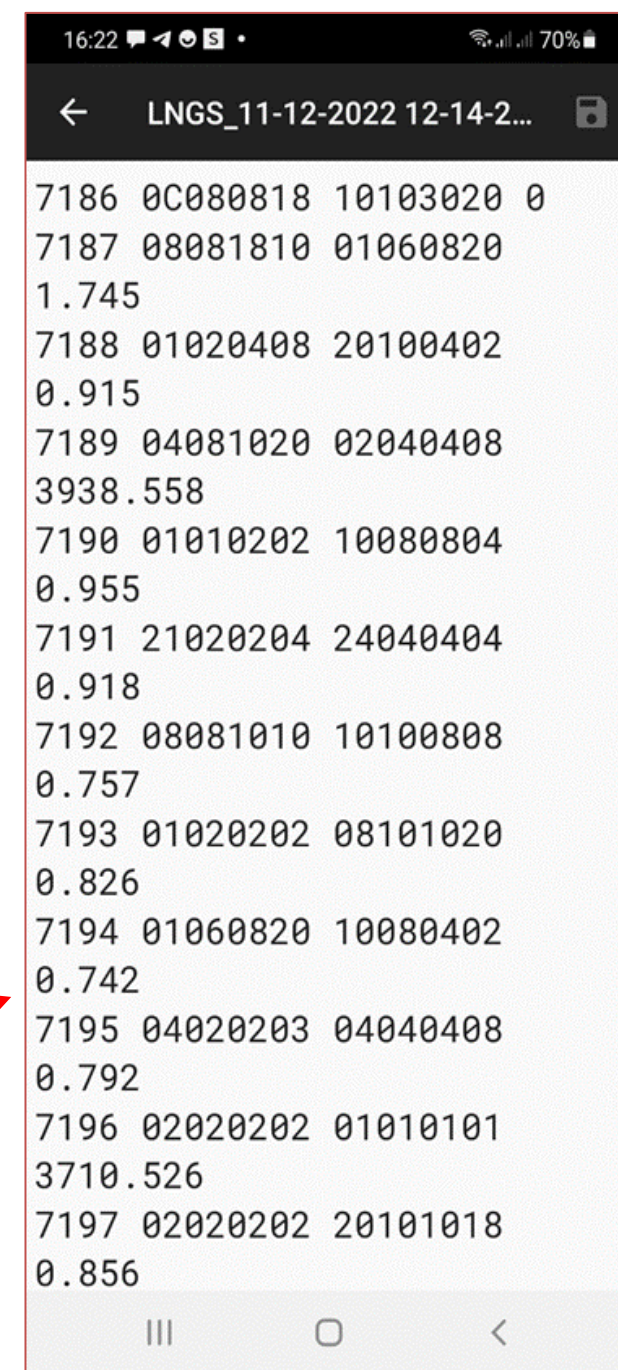
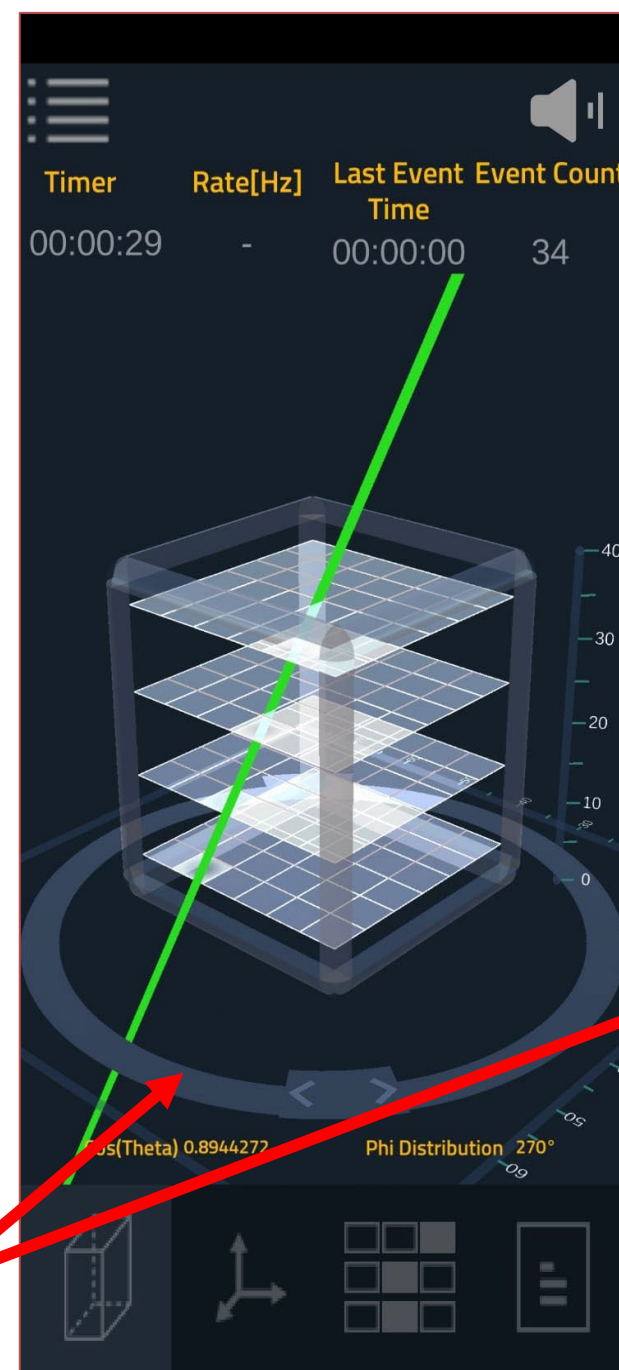
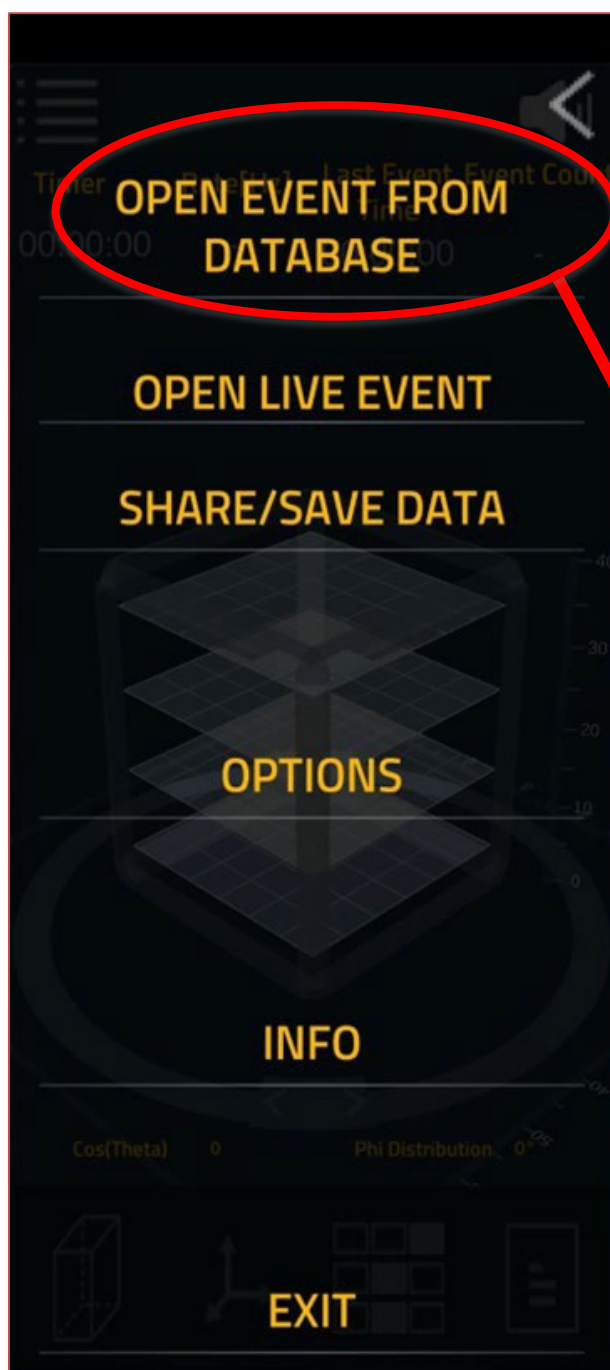






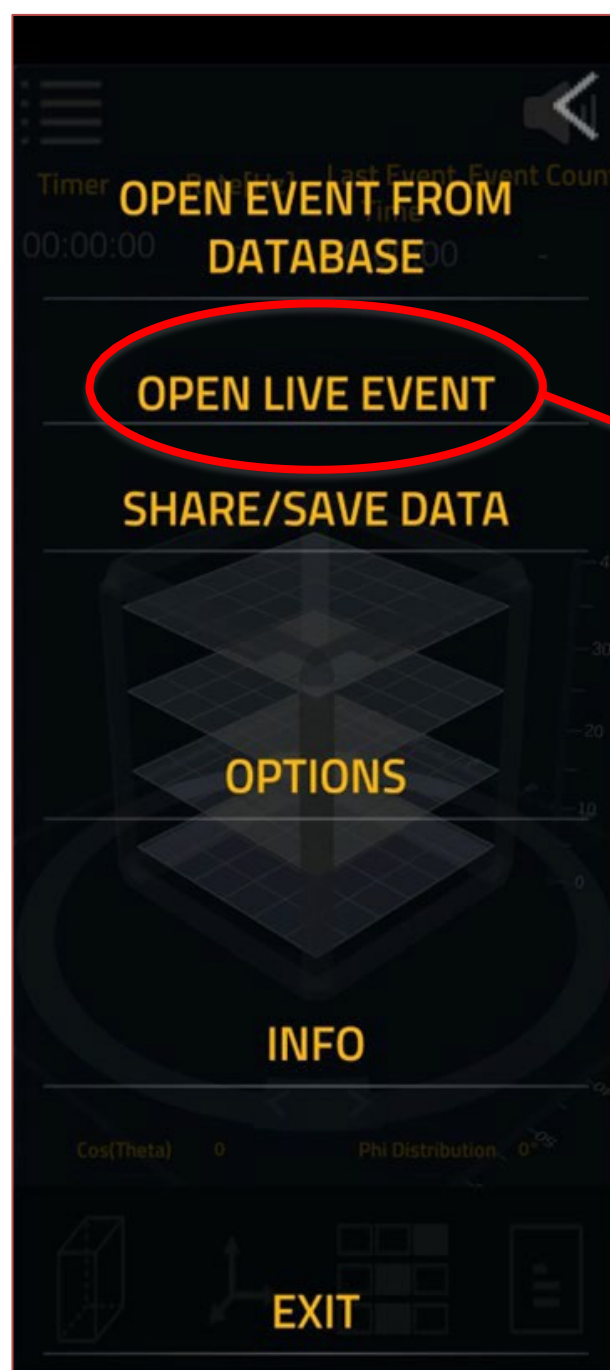






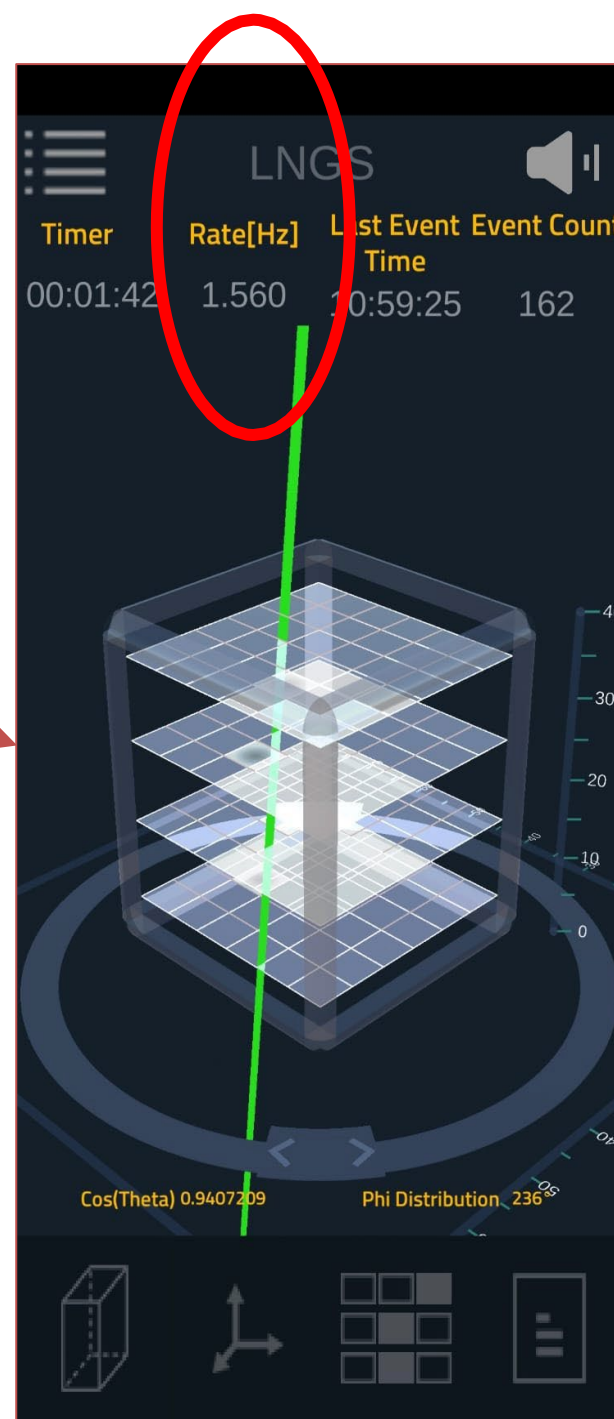
Per il sistema Android: andare nella cartella download (si trova in genere nella cartella File Manager), cercare la cartella CRC. Lì si trovano i dati che vengono salvati automaticamente ogni volta che si clicca su un CRC funzionante in rete.

Cosmic Rays Live: «muoni» in APP SCARICARE I DATI



File	Modifica	Formato	Visualizza ?
6633	02010101	20100402	0
6634	08101020	10080404	1.651
6635	01010202	02020408	0.832
6636	10100808	01010101	0.767
6637	20300804	10101008	0.686
6638	02040C08	20100804	0.693
6639	08040201	02020202	3762.97
6640	02020202	01020408	1.582
6641	02081020	08040402	2.031
6642	10080804	08101030	1.417
6643	10101010	02020408	1.568
6644	03041820	20100808	1.527
6645	04040408	08040402	3933.583
6646	08080808	10080201	1.692
6647	20202020	20202020	1.718
6648	10080402	0804040A	1.523
6649	10100804	04082004	1.657
6650	08101010	01020810	4068.981
6651	10080804	01020408	1.665
6652	20201010	08040202	1.782
6653	01041020	02040C08	1.685
6654	01010101	02020202	1.526

Per il sistema i-OS: selezionare OPEN LIVE EVENT e scegliere un CRC in rete. Dopo aver raccolto il numero di eventi desiderato, anziché uscire con EXIT, andare nel menù e scegliere SHARE/SAVE DATA. Quindi selezionare una modalità di condivisione (e-mail, whatsapp,...). Il file inviato è in formato txt.



E' possibile misurare il numero di muoni al secondo visti dal CRC selezionato.

Il valore in **Hz** può essere letto nella casella "rate"[Hz]. Il valore si aggiorna ogni 100 secondi. E' possibile fare misure più lunghe per migliorare l'errore statistico, in tal caso il flusso di muoni sarà pari a:

Event Count/Timer in s

Per azzerare il contatore (Timer) usciamo e rientriamo dal CRC cliccando prima in alto a sx e poi su EXIT.

Se c'è la possibilità di movimentazione del CRC si può calcolare il flusso al variare dell'angolo, misura che tipicamente viene fatta durante l'ICD.

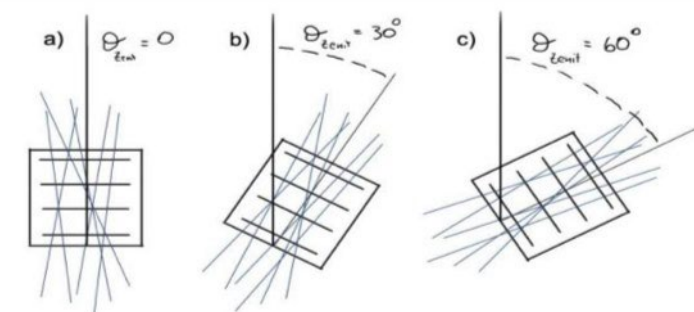
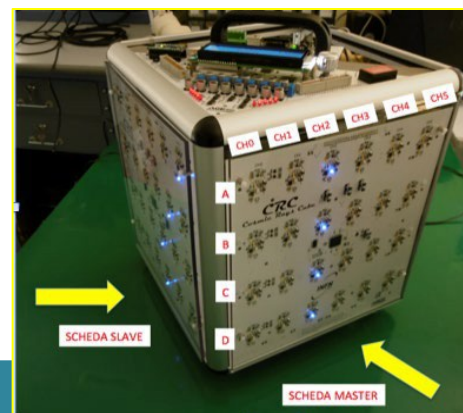


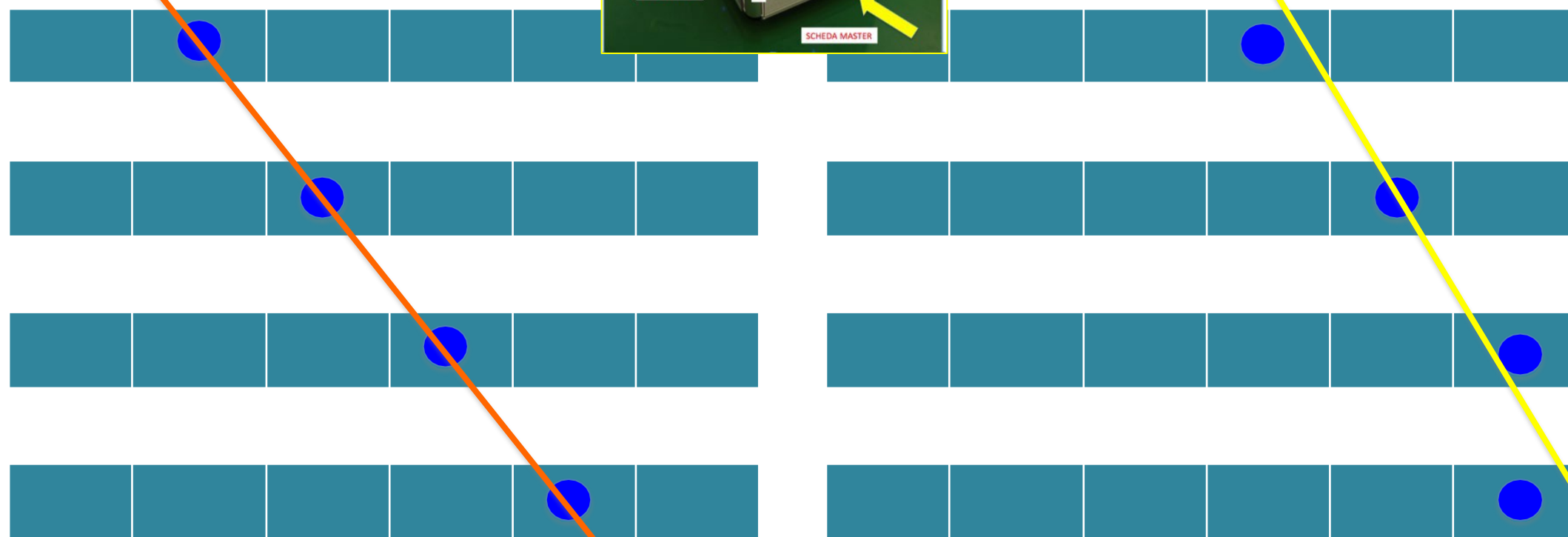
Tabella di conversione
hex-binario

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
n. evento

10080402
dati scheda slave

04020101
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

QUALI PARAMETRI POSSIAMO VARIARE IN UN CRC

- ✓ 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 analogici;
- ✓ con display su **TRIGGER SELECT** si possono abilitare o disabilitare i piani in coincidenza (si modifica l'accettanza 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 eventi (100 ms o 1 s) e si può mettere il telescopio in configurazione "single shot" (visualizzazione di un evento per 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 dati tramite PC con un collegamento tra la porta seriale del telescopio ed l'ingresso USB di un PC.

