

**Un rivelatore di RC molto
divertente (C3P o Cosmocube)**

Fabio Morsani – INFN Pisa



Web site: <https://agenda.infn.it/event/33461/>

Con cosa riveliamo qui i RC?

mattonelle di scintillatore plastico

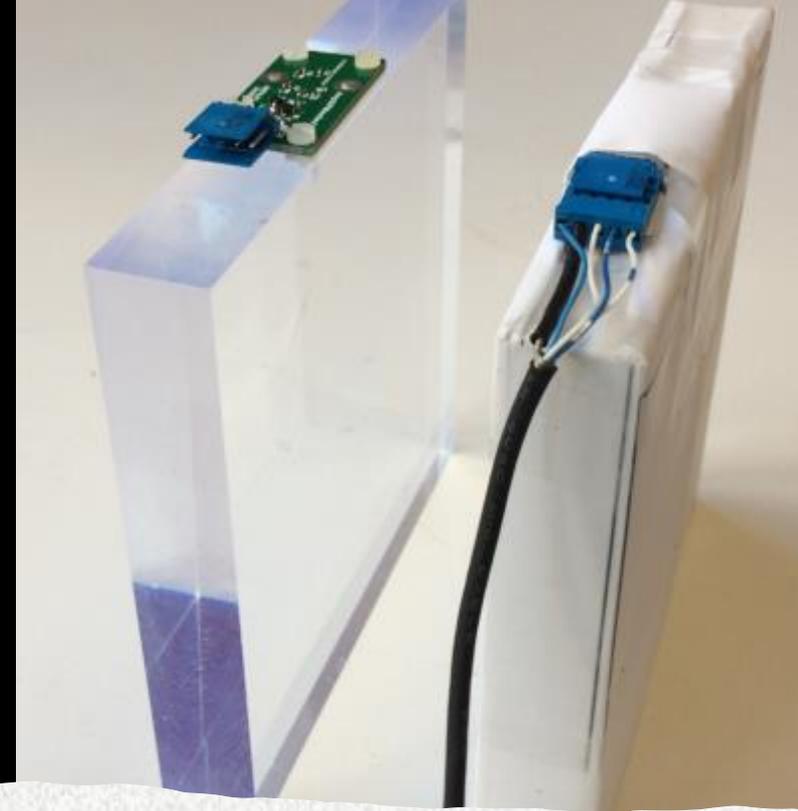
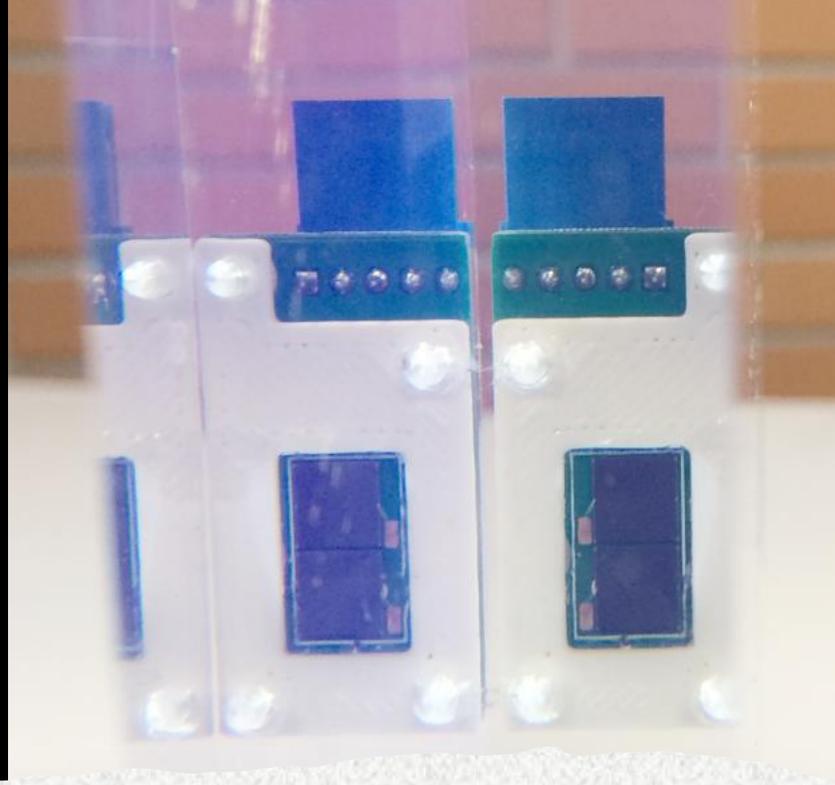
particella carica che lo attraversa → atomi eccitati → emissione di luce
circa 10 mila fotoni per cm di scintillatore attraversato

sensore di fotoni (SiPM – Silicon Photo Multiplier)

luce dallo scintillatore → minuscola corrente elettrica nel SiPM

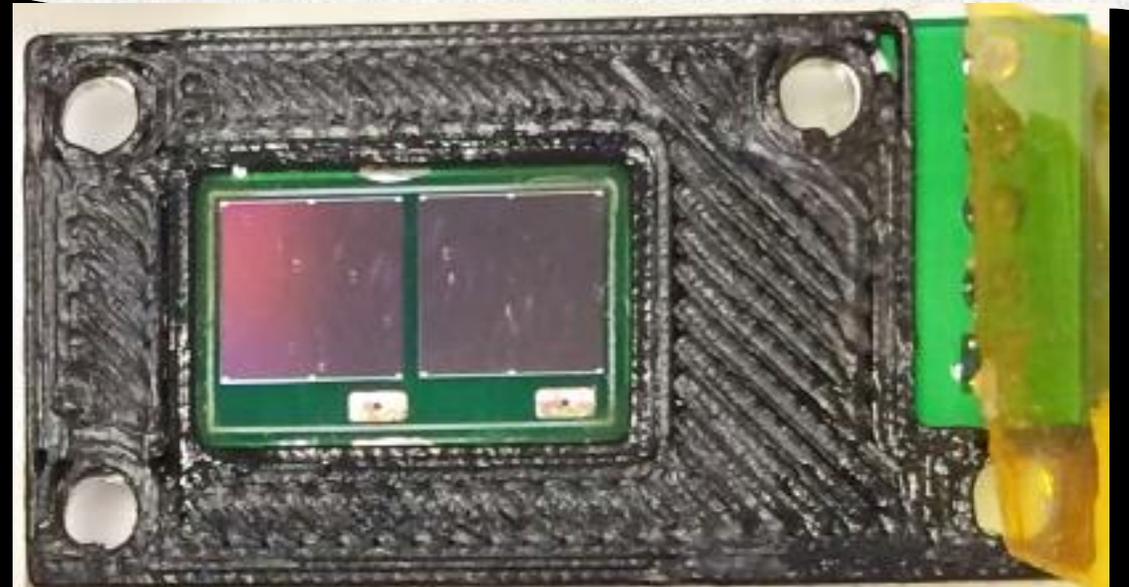
amplificatore a transistor

minuscola corrente → corrente adeguata per circuiti elettronici
centinaia di mV su un carico di 50 Ohm (milliampere)

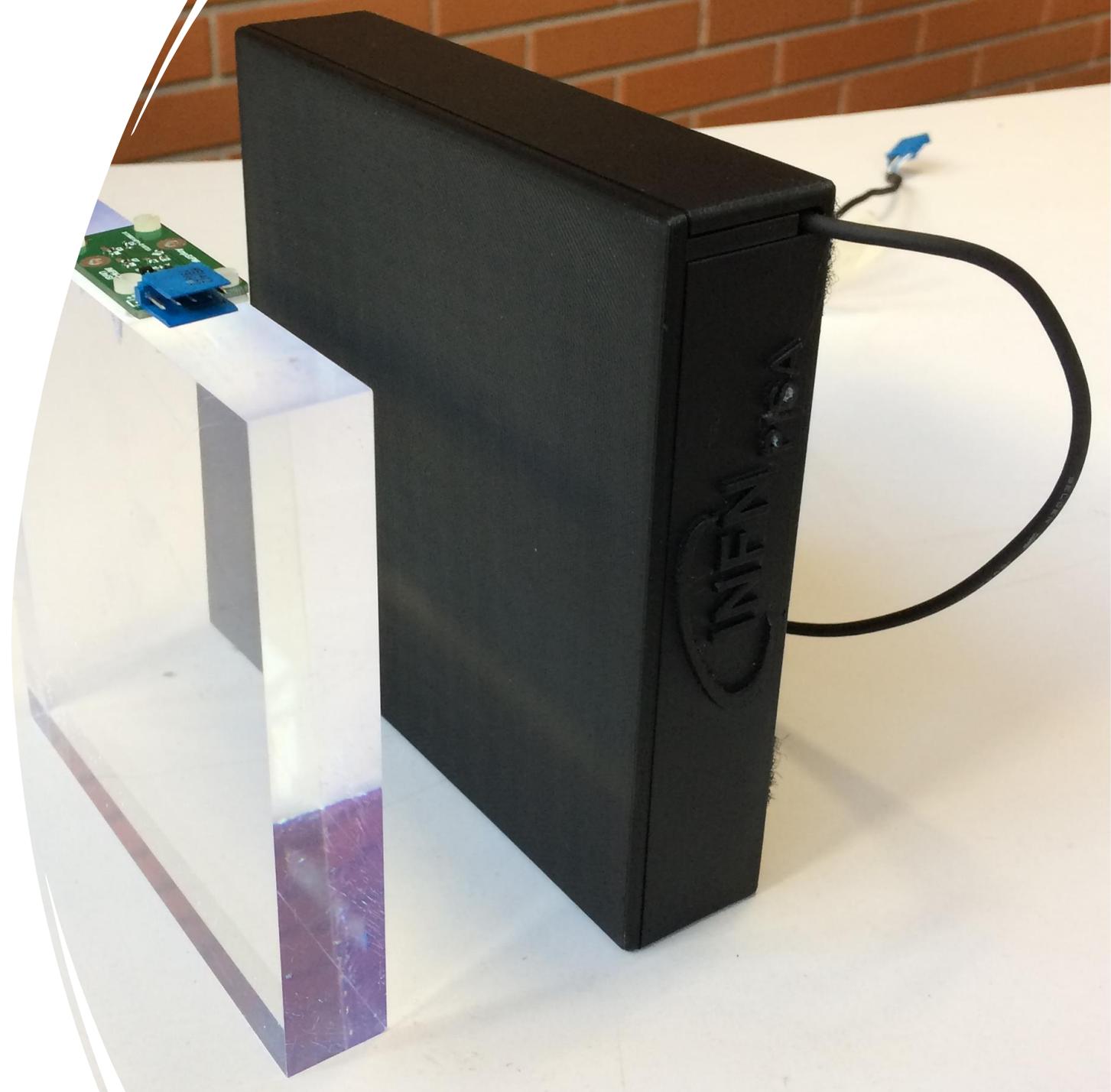


Ecco la mattonella!

La mattonella «nuda» e «vestita»,
l'amplificatore con i due SiPM



La mattonella
viene vestita
e inscatolata,
al buio!



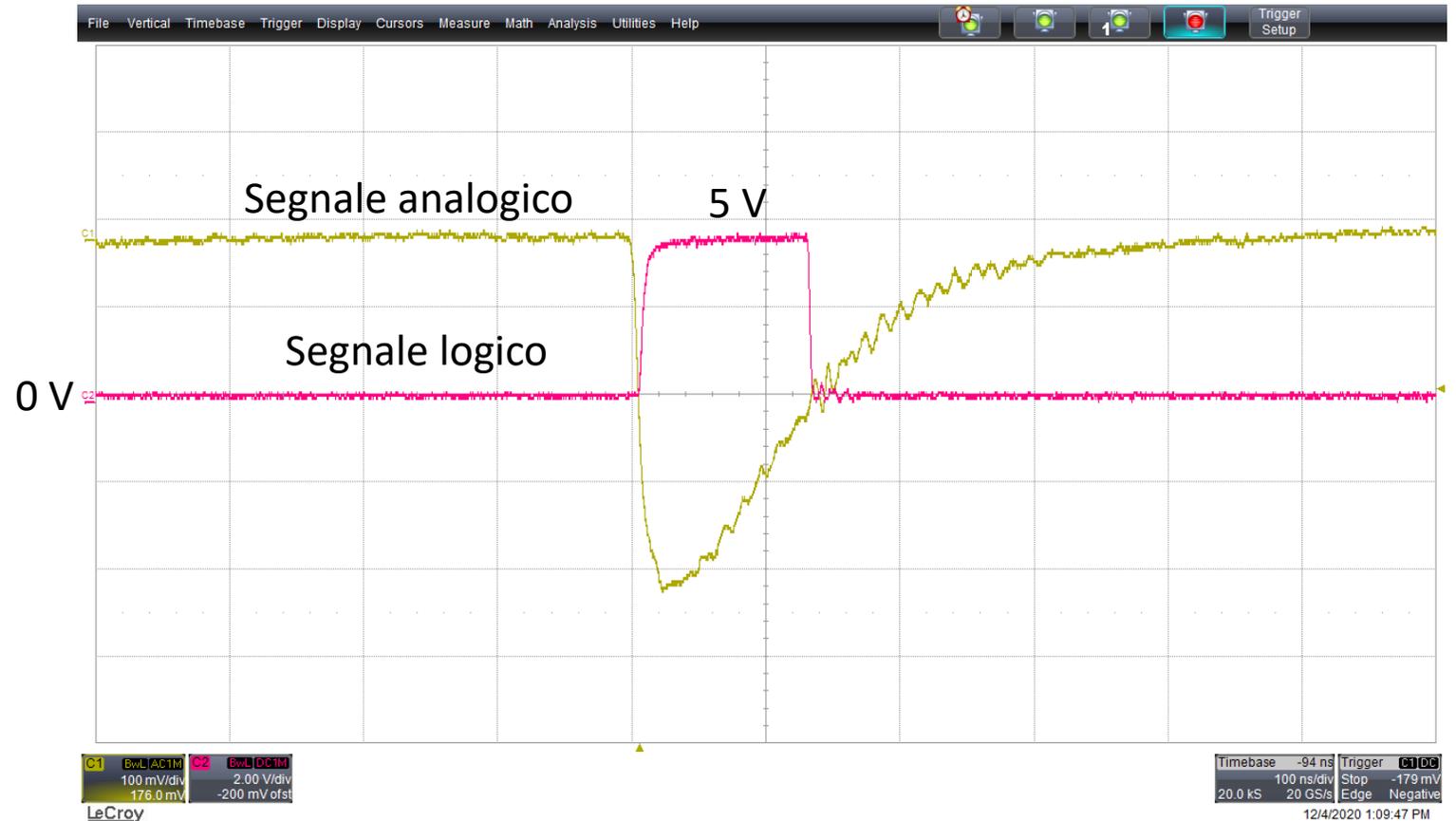
La versione «aperta» del Cosmocube

Un foto da BergamoScienza



Segnale analogico → segnale logico 0-1 -il comparatore-

- Tramite un **comparatore analogico a soglia**, il segnale proveniente dall'amplificatore viene trasformato in segnale utilizzabile dal circuito digitale di controllo (0-5V)



Cosa fa il Cosmocube?

- Conta i segnali provenienti da ogni mattonella collegata
- Conta anche il tempo ...
- Con questi conteggi misura il rate medio, fa vedere quello «istantaneo» su 15 secondi
- Misura quanto tempo intercorre tra un segnale e il successivo: memorizza queste misure, fa vedere un istogramma
- E' facile da usare, può essere collegato ad un PC.
- e poi ... fa divertire chi lo usa!

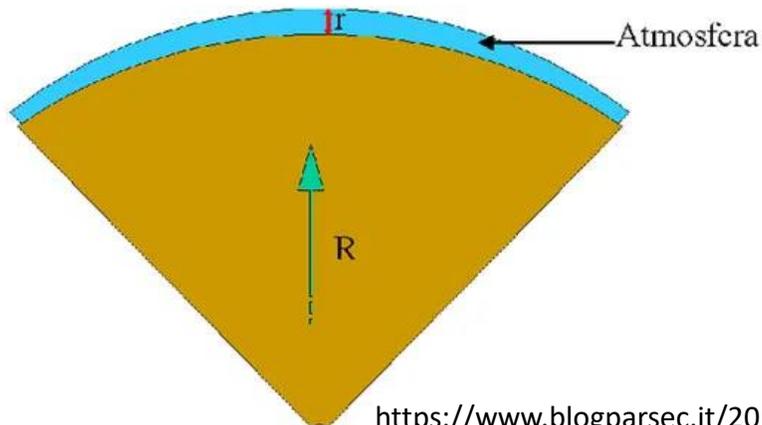
Flusso dei raggi cosmici sulla superficie terrestre

$$\propto \sin^2\theta$$

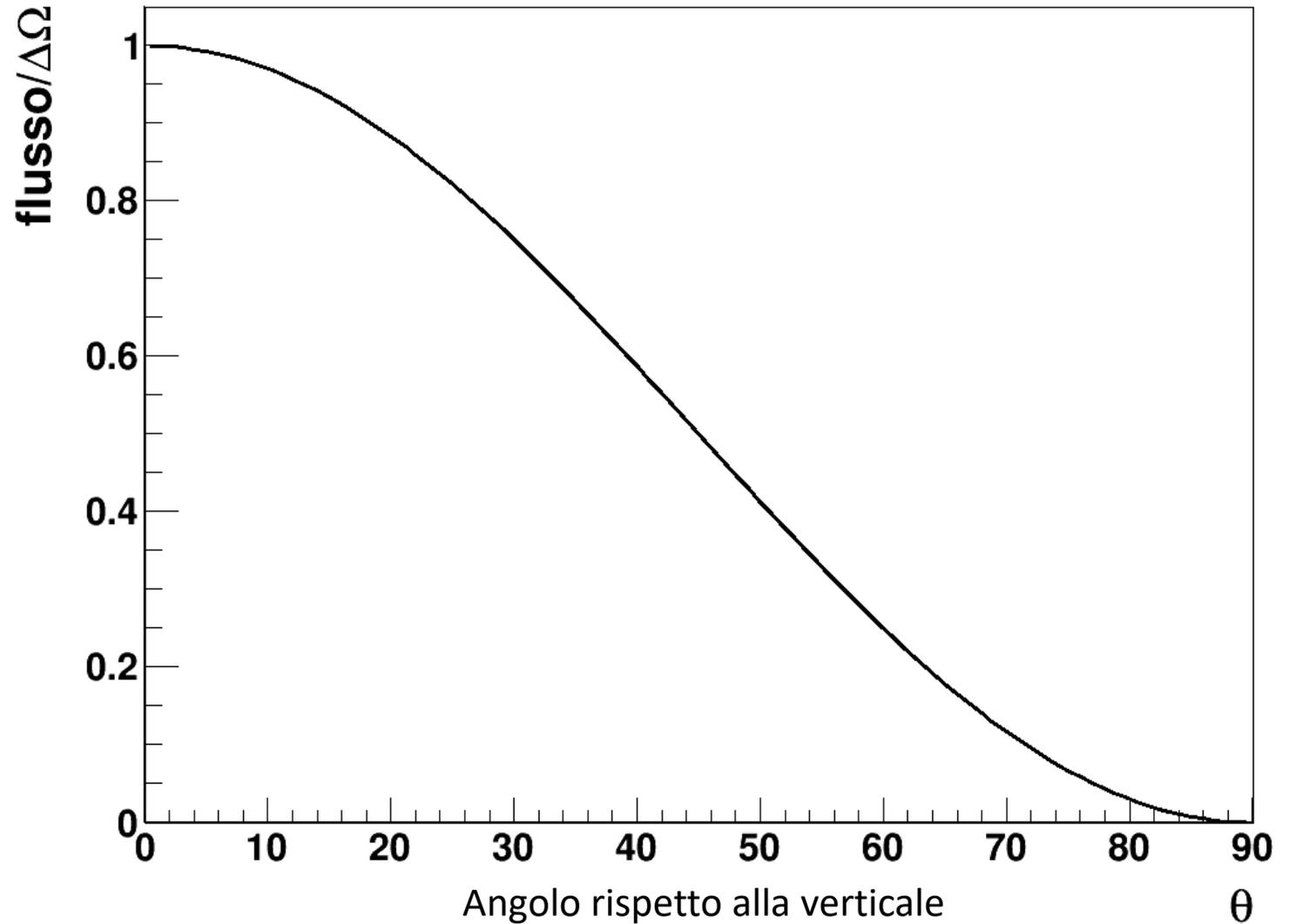
| L'atmosfera terrestre |

R = raggio terrestre medio $\cong 6360$ Km

r = spessore atmosfera $\cong 500$ Km

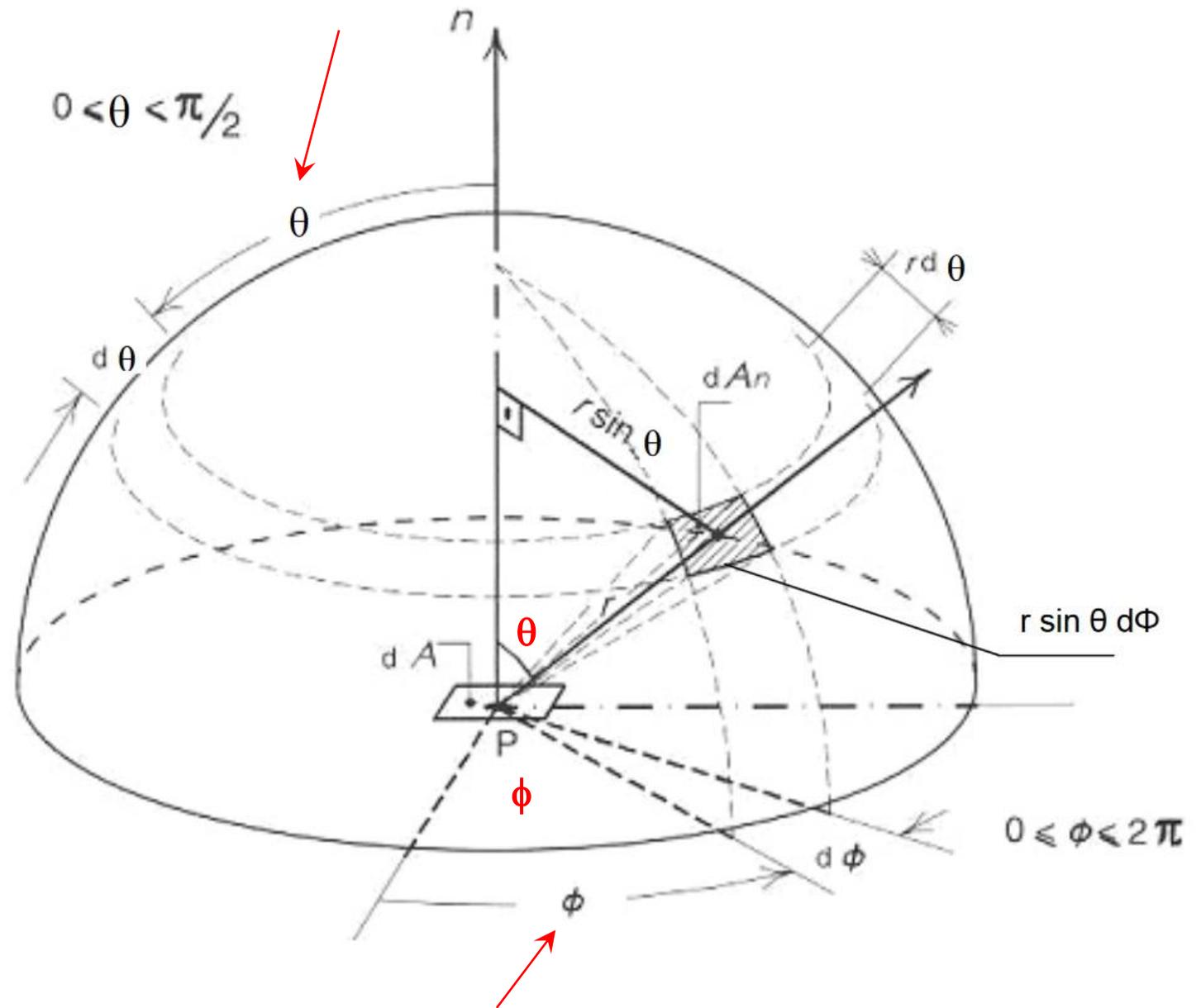


Numero medio di cosmici per unità di angolo solido (normalizzato)



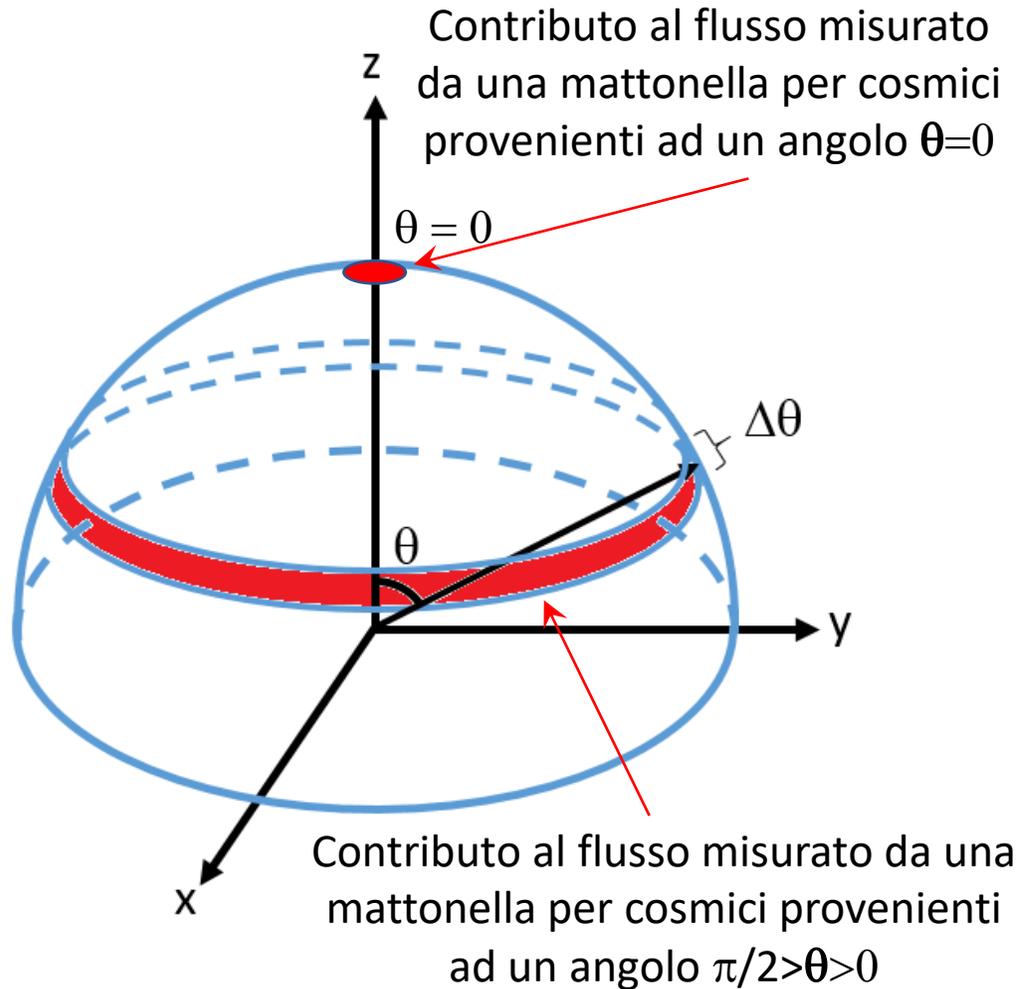
Angolo solido coordinate polari (θ, ϕ)

Fondamentale per capire il
flusso dei raggi cosmici
attraverso un rivelatore

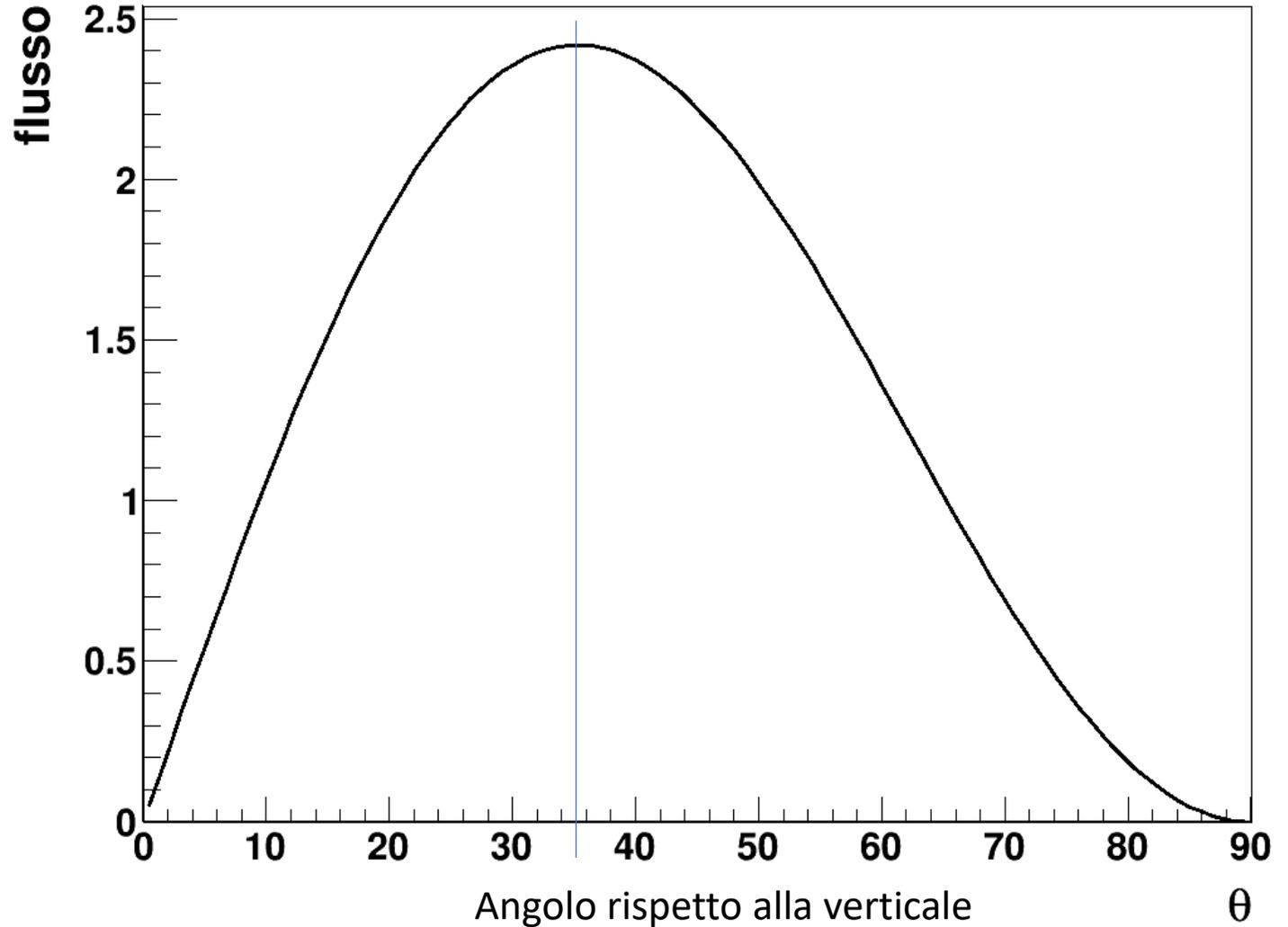


Che flusso misura una mattonella?

Contributo al flusso attraverso una mattonella in funzione dell'angolo rispetto alla verticale θ



Flusso misurato da una mattonella $\propto \cos^2\theta * \sin\theta$
(con la normalizzazione della slide precedente)



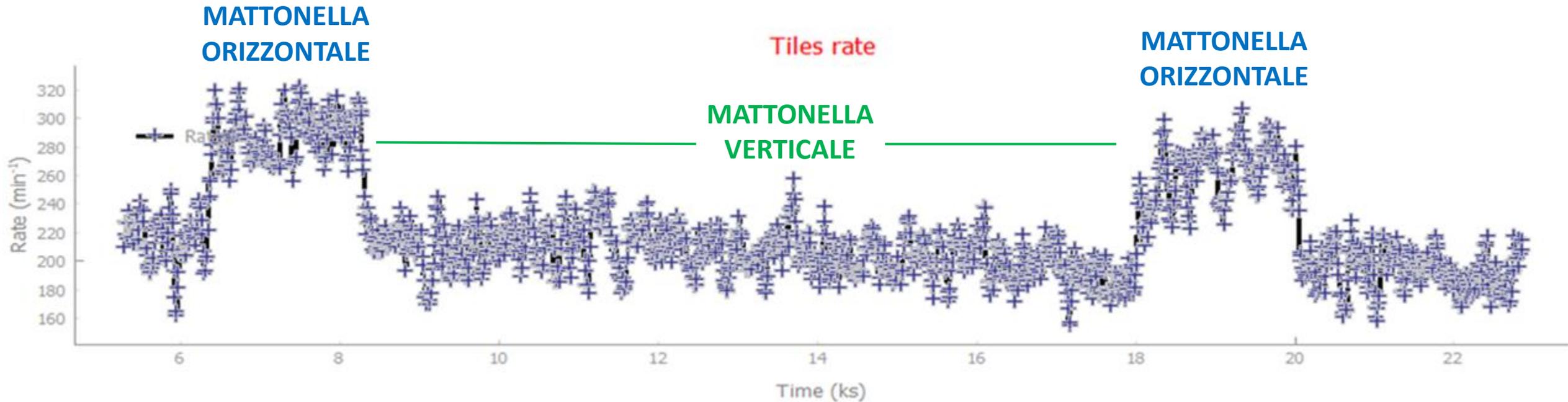
Cosa rivela una mattonella?

- **Particelle cariche:** nel nostro caso i muoni (o **mu**) sono positivi o negativi (μ^+ , μ^-) così come gli elettroni (e^-) e i positroni (e^+)
- **Alcune**, soprattutto quelle **meno energetiche** come gli elettroni e positroni **si fermano in gran parte al suo interno**.
- **Accettanza** di 2π steradiani se *orizzontale* (sensibile nella «semisfera superiore»), un po' meno se *verticale*, vedi misura alla prossima slide
- **Concetto di RATE (quanto «conta»):** numero di particelle (\rightarrow segnali) nell'unità di tempo
- **COME ARRIVANO NEL TEMPO I RC?**

Ascoltiamo il loro arrivo ...

... leggiamo sul display i valori di rate calcolati ...

Mattonella verticale e orizzontale



Variazione: $(\text{Vert-Orizz})/\text{Orizz} \approx -60/290 \approx -20\%$

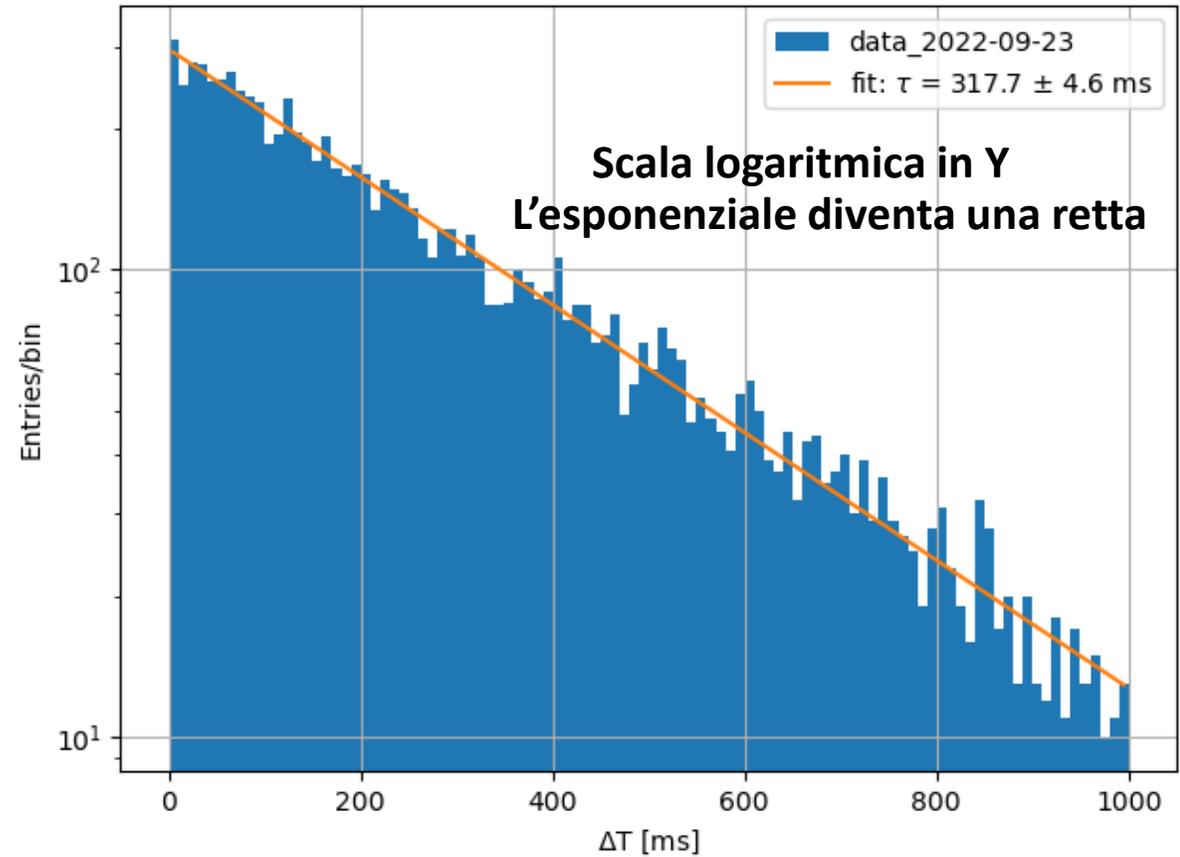
Cosa rivelano due mattonelle?

- **Come la singola mattonella, particelle cariche:** vedono in media il doppio di particelle nello stesso intervallo di tempo
- **Concetto di COINCIDENZA TEMPORALE DEI DUE SEGNALI (trigger AND):** ricordate Bruno Rossi che fece un circuito per vedere le COINCIDENZE tra più rivelatori Geiger-Muller?
 - stessa particella che attraversa le due mattonelle «vicine», particelle diverse che le attraversano allo stesso tempo pur essendo queste «lontane» tra loro
- **Concetto di «singola» (trigger OR)**
- **Accettanza:** dipende dalla disposizione relativa delle mattonelle
- **Direzione dei muoni:** isotropa?
- **Provenienza dei muoni:** dall'alto o dal basso? Con che velocità?

vediamo queste cose con il Cosmocube «aperto» ...

Cosa si vede misurando i tempi tra un segnale e il successivo?

- Se si guarda su scale di centinaia di millisecondi e si fa un istogramma, appare una distribuzione esponenziale decrescente il cui τ è il rate medio nel periodo di misura
- **N mattonelle sono attraversate da N volte i RC che attraversano una singola mattonella**, quindi usando 1, 2, 3, 4 mattonelle si osserva ogni volta una distribuzione dei tempi più «stretta» diversa con diverso τ che di dimezza, diventa 1/3 e poi 1/4 di quello misurato con la singola mattonella.

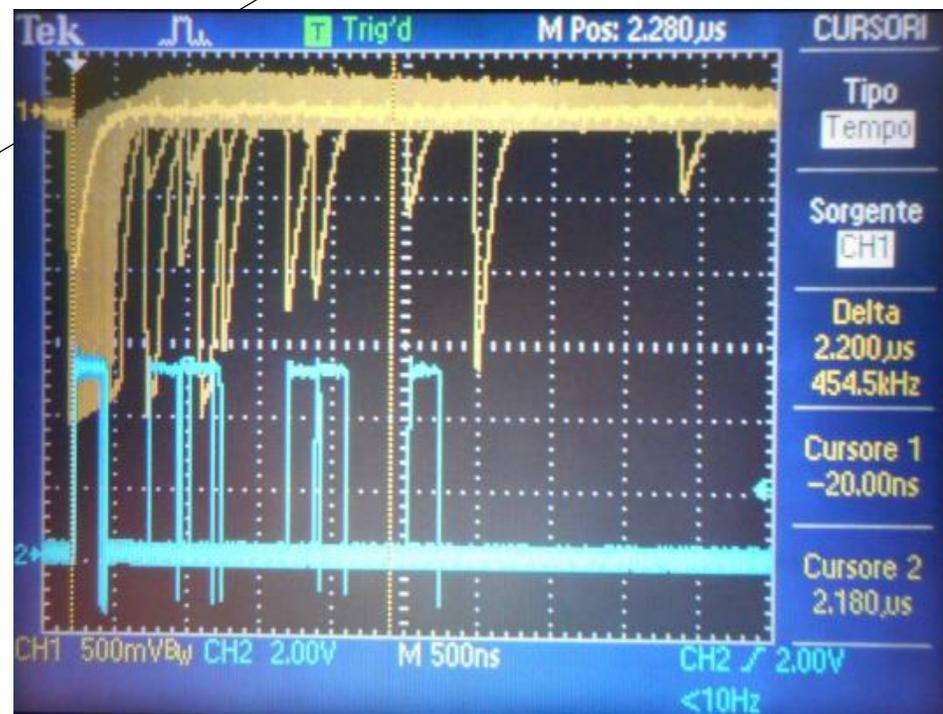
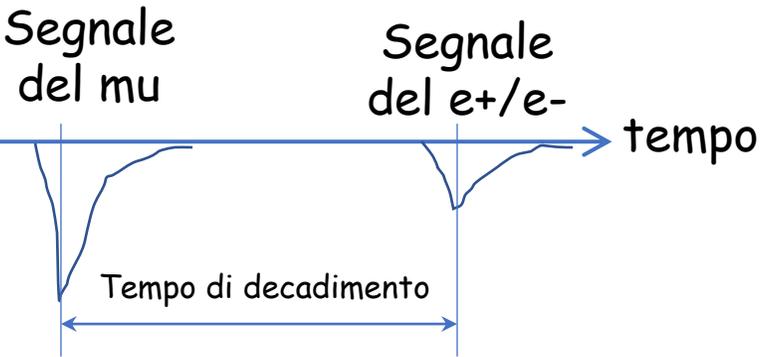
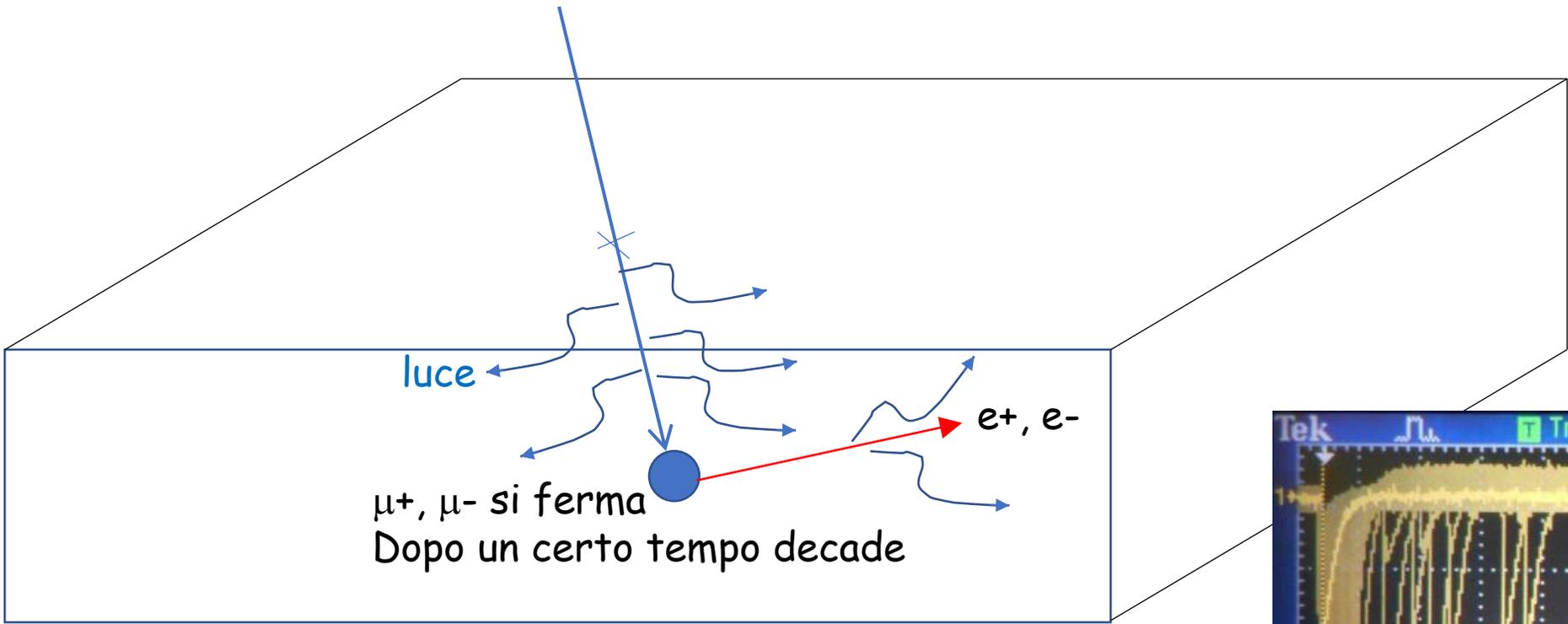


Scala
lineare
in Y



Vediamolo insieme ...

Ci sono muoni che si fermano nella mattonella e lì decadono? **Sì!**



Chi ci dice che sono proprio muoni che decadono?

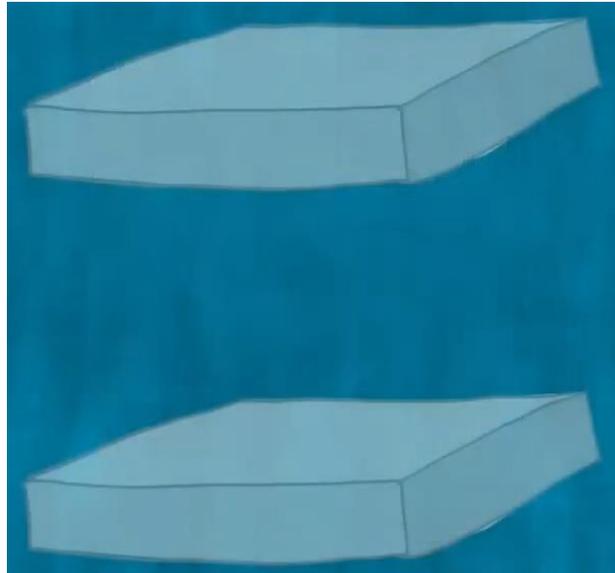
- 1- SAPIAMO CHE SONO LA MAGGIORANZA DELLE PARTICELLE CHE PASSANO E CHE PROVOCANO UN SEGNALE
- 2- SAPIAMO CHE DECADONO CON UNA VITA MEDIA DI CIRCA $2.1 \mu\text{s}$ EMETTENDO UN ELETTRONE (o un positrone) E CHE ESSO STESSO DA' UN SEGNALE
- 3- SE MISURIAMO LA DISTANZA TEMPORALE TRA DUE SEGNALI CONSECUTIVI, VEDIAMO NEI PRIMI MICROSECONDI UN «AFFOLLARSI PARTICOLARE DI DATI»
- 4- SE FACCIAMO UN ISTOGRAMMA CON QUESTI DATI TROVIAMO UN ANDAMENTO DI ESPONENZIALE DECRESCENTE $\exp(-t/\tau)$, SEMPRE CON LO STESSO TAU
- 5- TUTTO QUESTO E' INDIPENDENTE DAL NUMERO DI MATTONELLE USATE, DA 1 a 4 CON TRIGGER OR, SIA CHE SI USINO DUE MATTONELLE IN AND
- 6- NEL CASO SI USINO DUE MATTONELLE IN AND, L'EFFETTO SPARISCE SE SI INTERPONE TRA LE DUE UN ASSORBITORE (piombo) CHE RAGIONEVOLMENTE FERMA L'ELETTRONE E GLI IMPEDISCE DI RAGGIUNGERE L'ALTRA MATTONELLA

TRIGGER OR (da 1 a 4 MATTONELLE): TUTTO FA PENSARE CHE QUELLO CHE VEDIAMO SIA UN MUONE CHE SI FERMA IN UNA MATTONELLA E DECADE

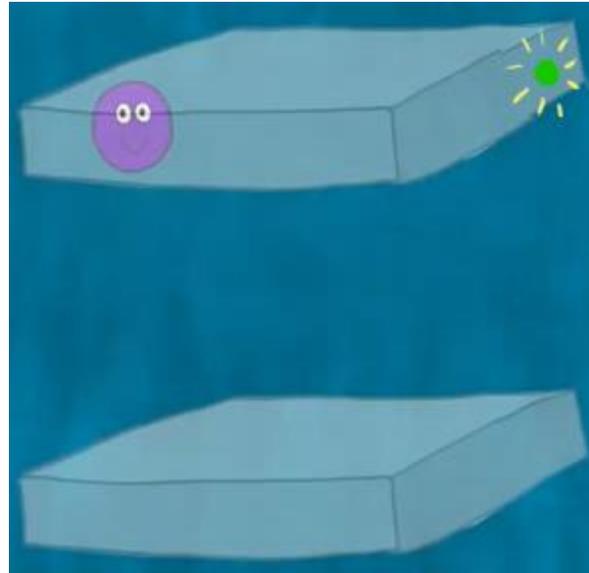
TRIGGER AND (tra 2 mattonelle, senza e con assorbitore nel mezzo): TUTTO FA PENSARE CHE UN MUONE CHE SI FERMA IN UNA DELLE DUE MATTONELLE E IL PRODOTTO DEL SUO DECADIMENTO PARTENDO DA QUESTA VADA AD ATTRAVERSARE L'ALTRA

(da 3-4 l'ora con la singola mattonella a 4 volte di più con quattro mattonelle)

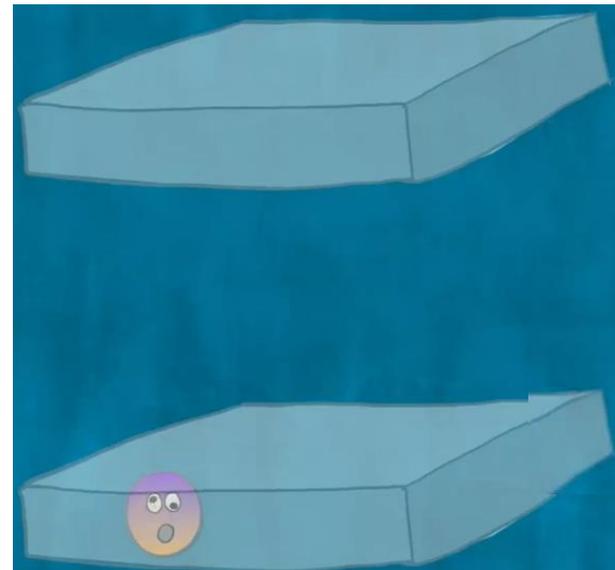
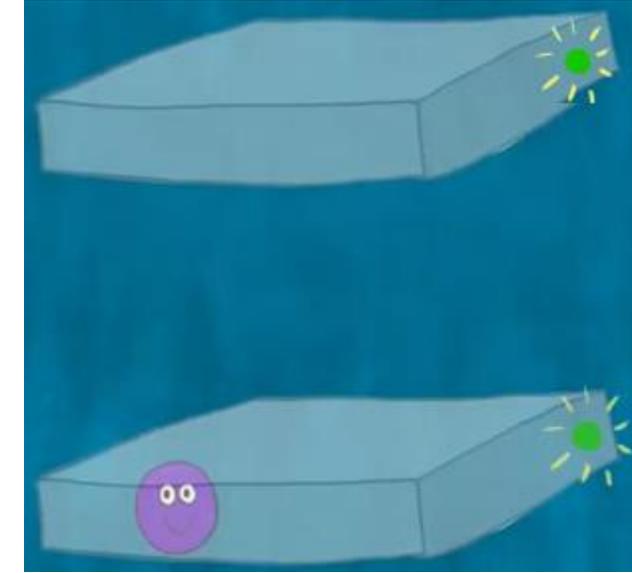
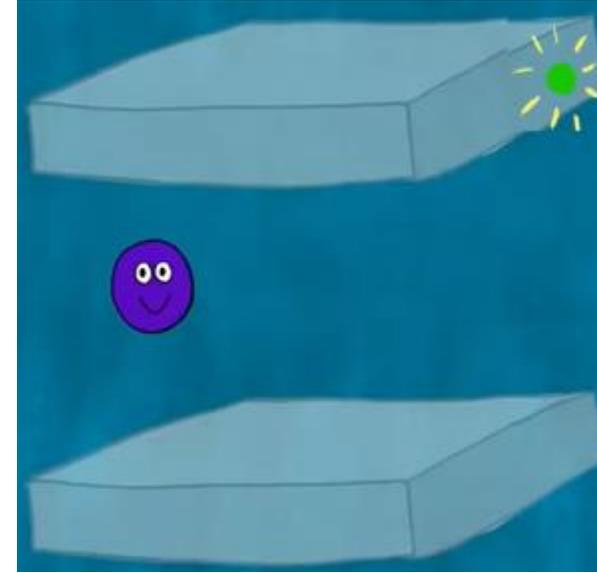
(immagini un po' modificate per l'occasione)



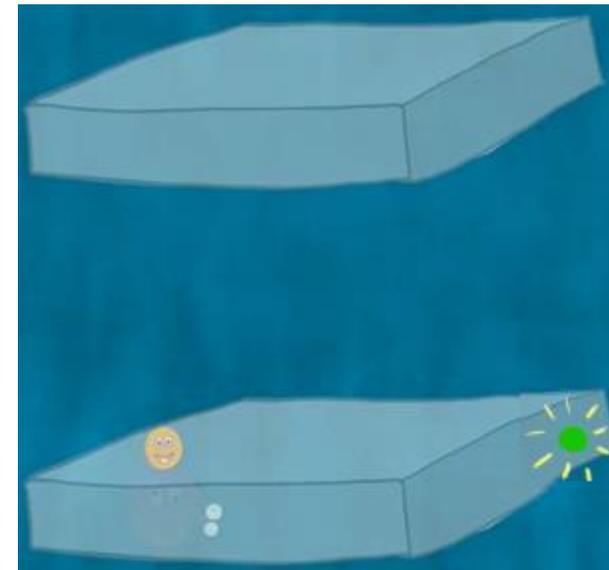
ASPETTIAMO UN MUONE



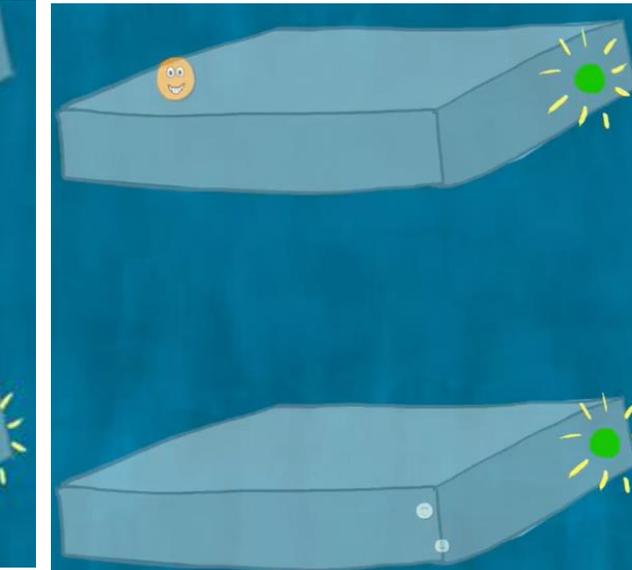
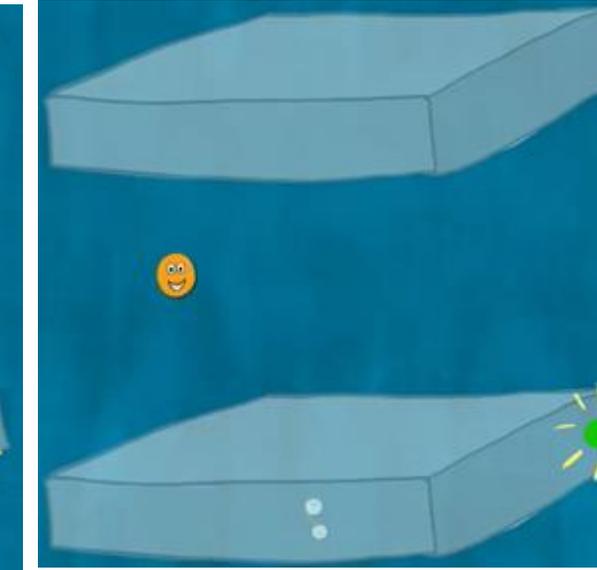
IL MUONE PASSA LA COPPIA DI MATTONELLE E GENERA DUE SEGNALI IN COINCIDENZA (AND)



IL MUONE DECADE

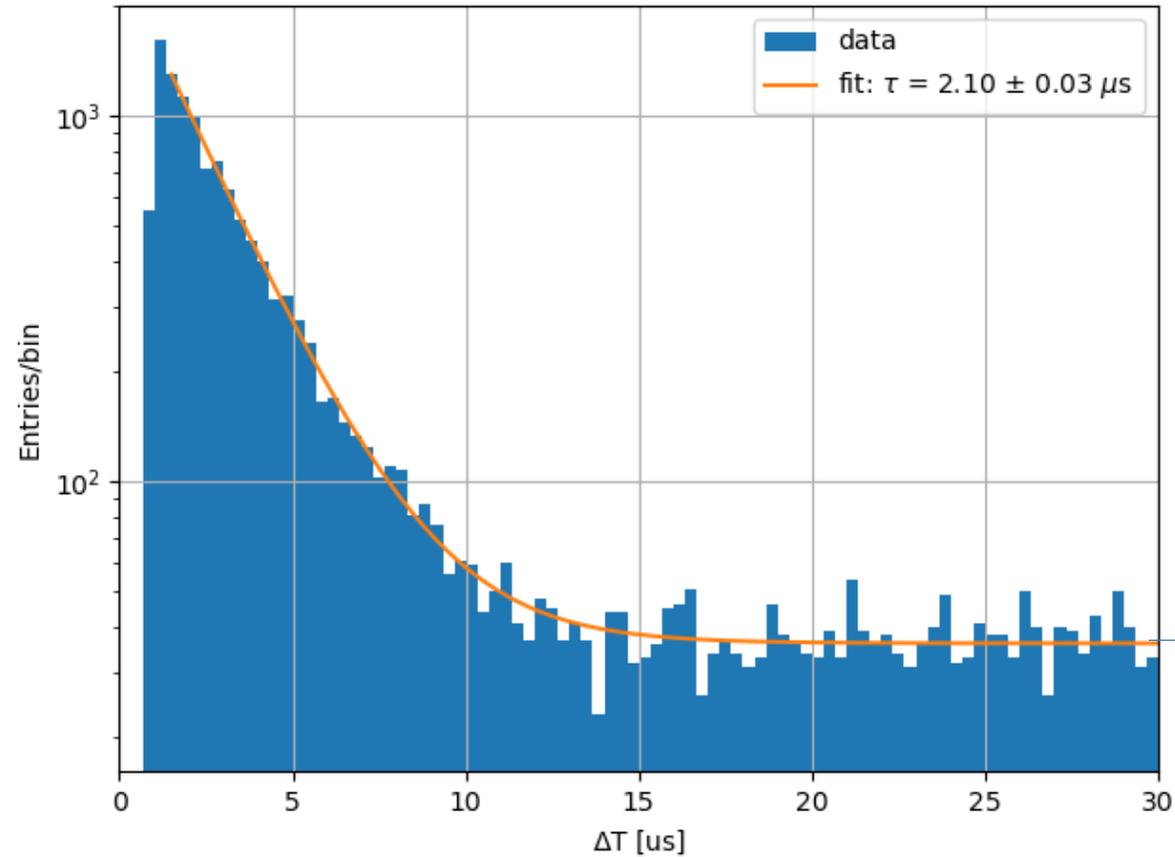


L'ELETTRONE PASSA LA COPPIA DI MATTONELLE E GENERA DUE SEGNALI IN COINCIDENZA (AND)



Ecco la firma del decadimento del muone

- Se si guarda su scale di microsecondi e si fa un istogramma, appare una distribuzione esponenziale decrescente il cui τ è sempre lo stesso, sia che si usi una o quattro mattonelle.
- Il τ che si trova facendo il fit di diverse migliaia di dati, è circa **2.09 μs** (con un errore che dipende dal numero di dati usati).
- Si sovrappone all'esponenziale un **fondo uniforme** che altro non è che la parte iniziale dell'esponenziale precedente, quello che ci permette di misurare il rate medio, che in un intervallo di decine di μs possiamo approssimare con un valore costante



Vediamolo insieme ...

Uso non convenzionale di un rivelatore per raggi cosmici

Albero di Natale



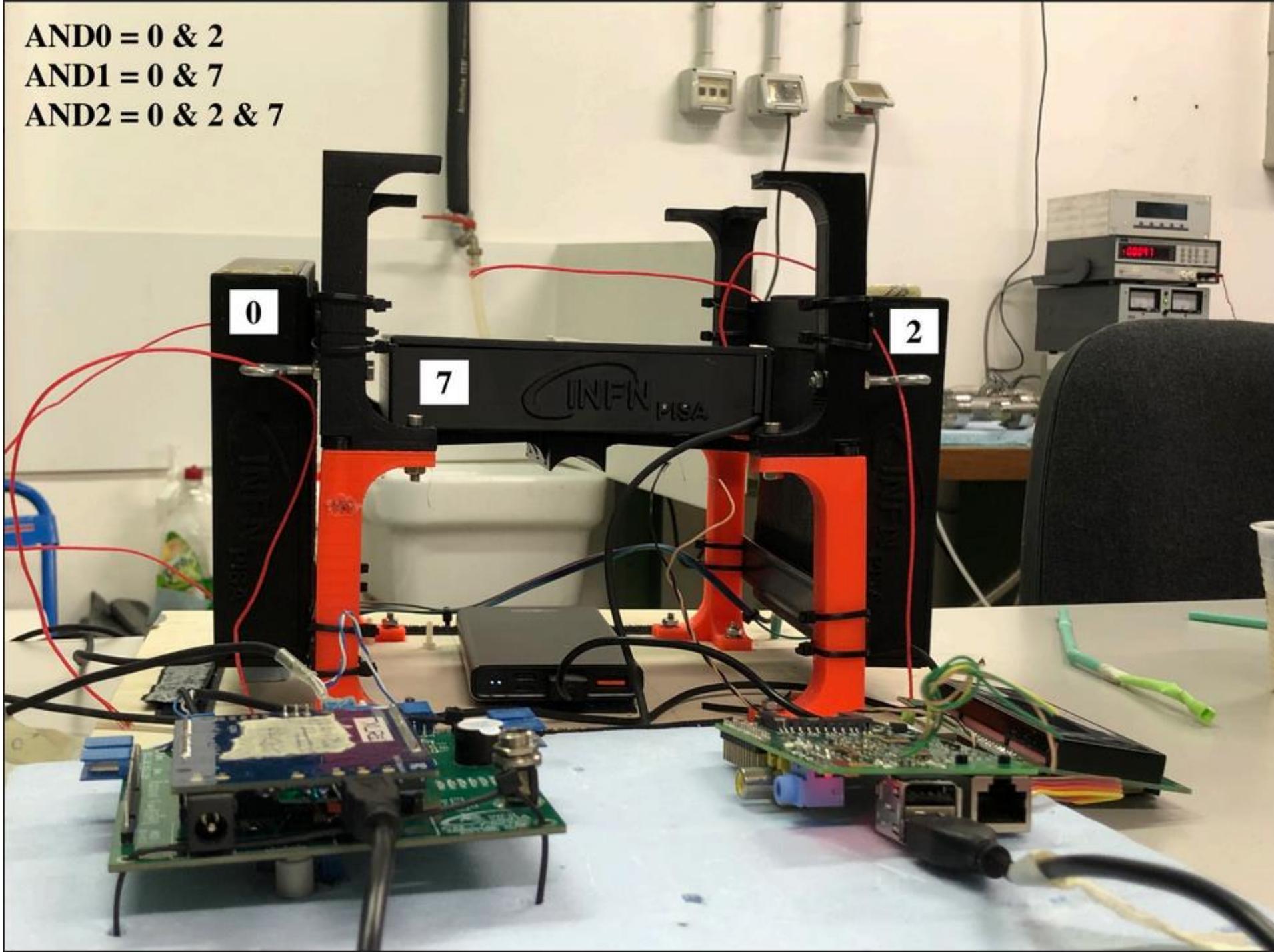


Il «Cosmocube»
in volo su un
pallone

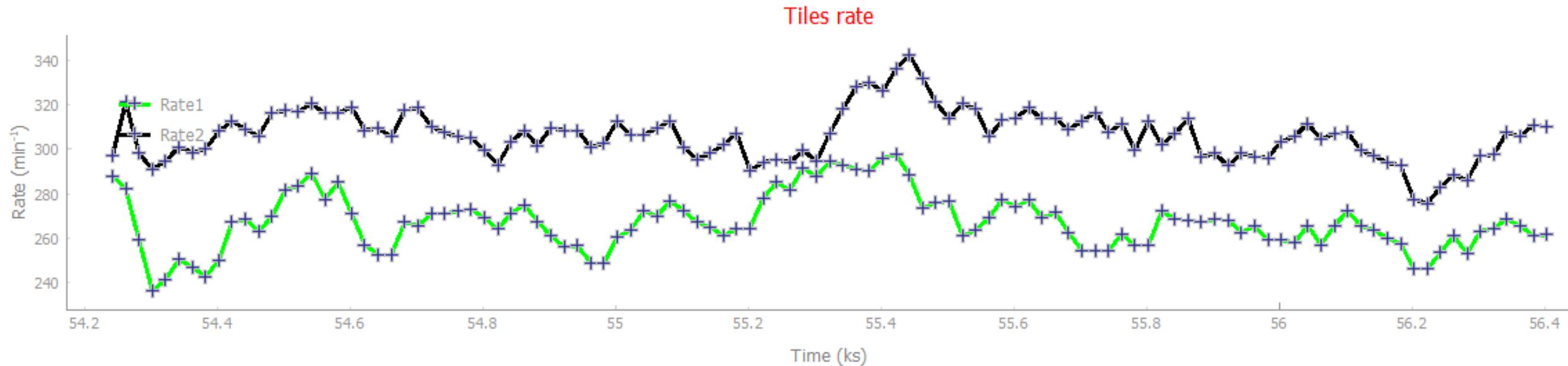
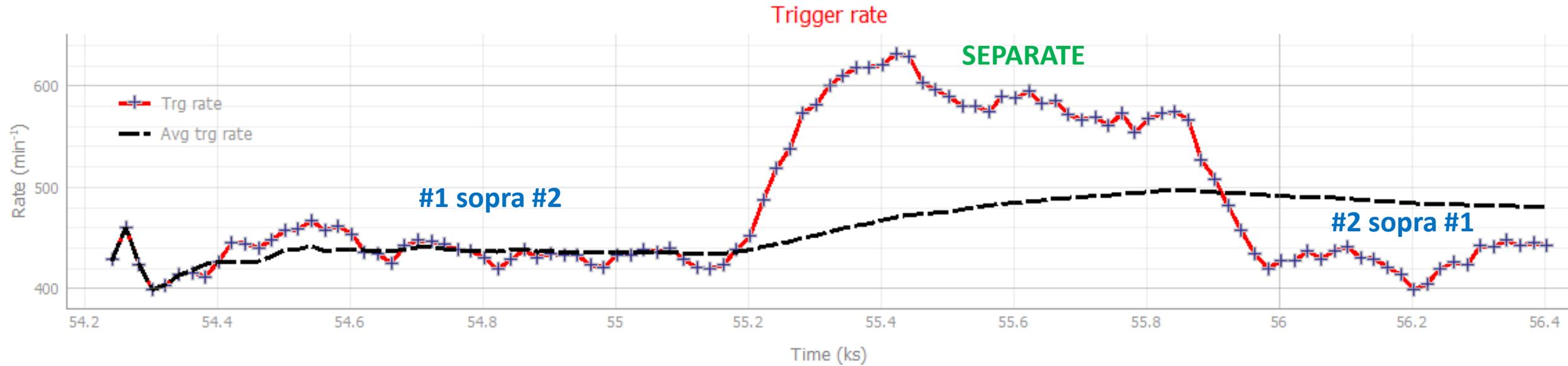
Il «Cosmocube»
in volo su un
pallone

AND0 = 0 & 2
AND1 = 0 & 7
AND2 = 0 & 2 & 7

- «Conta» più una
mattonella
verticale oppure
verticale?



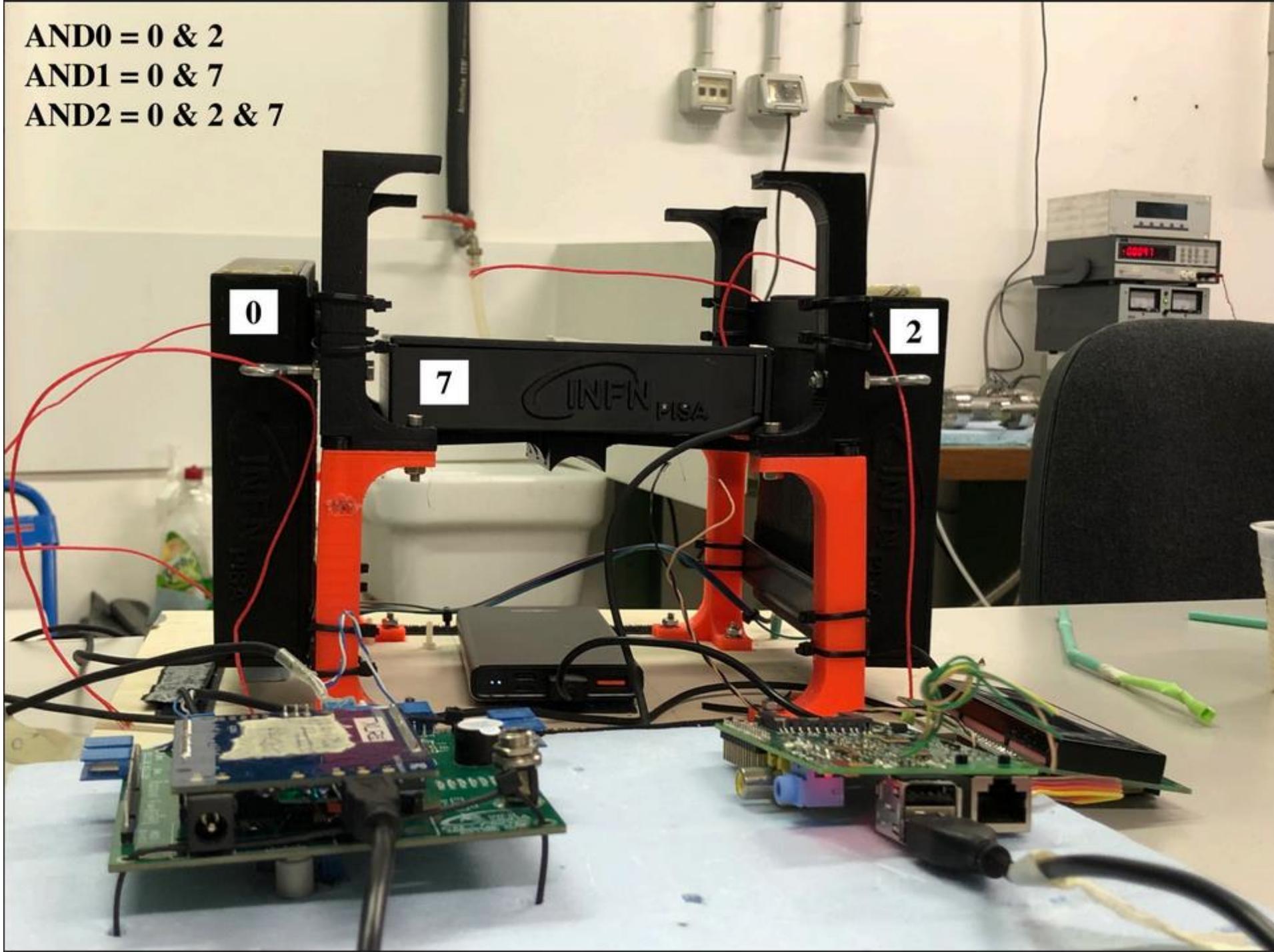
Due mattonelle sovrapposte-separate, trigger OR



Il «Cosmocube»
in volo su un
pallone

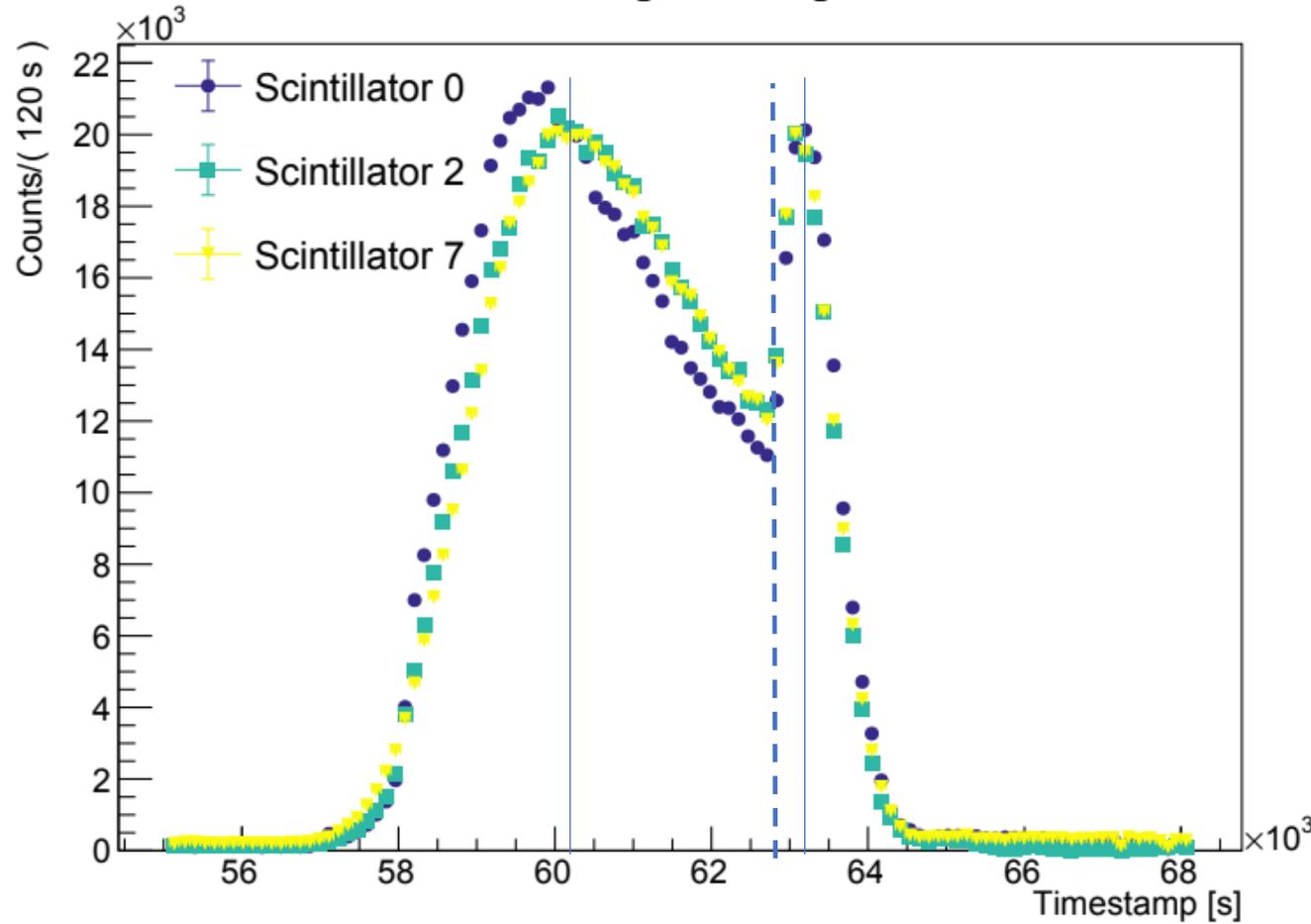
AND0 = 0 & 2
AND1 = 0 & 7
AND2 = 0 & 2 & 7

- Cosa vi immaginate possano vedere tre mattonelle così messe, a terra e man mano che il pallone sale?

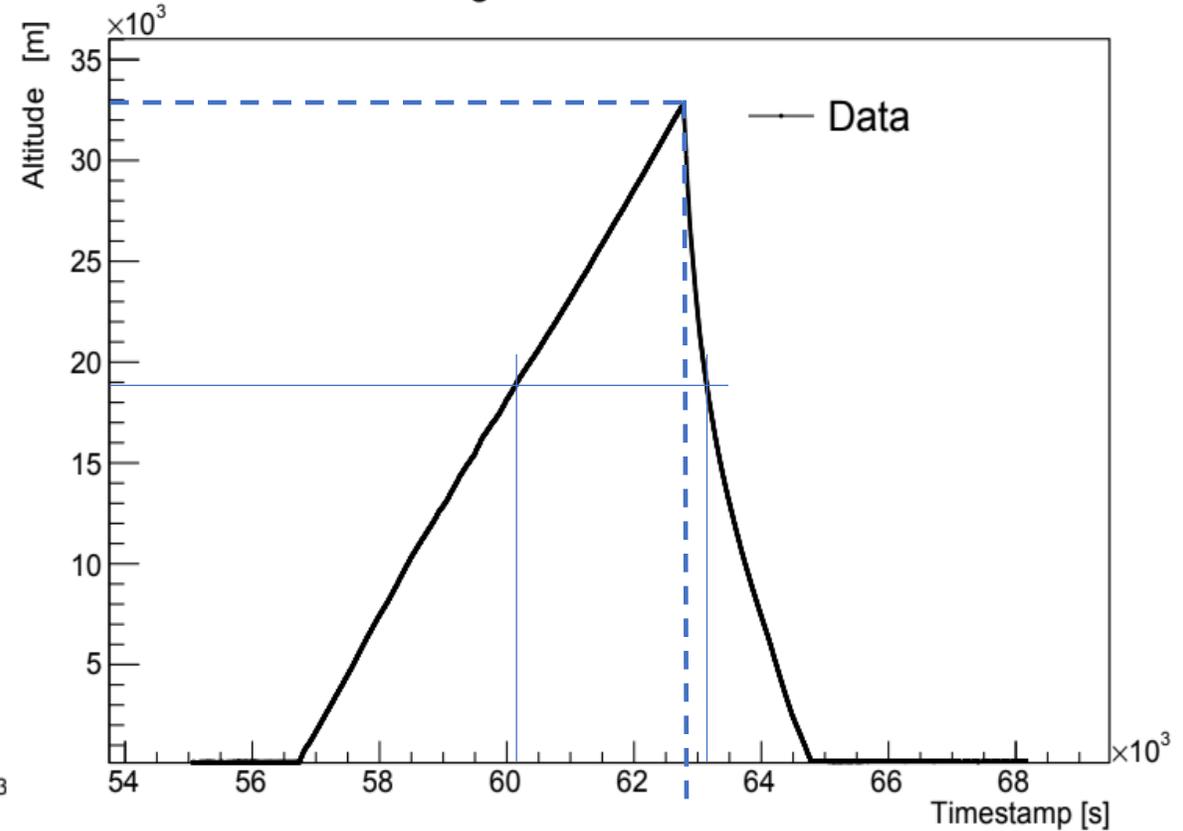


Il «Cosmocube» in volo su un pallone

Counts of single configurations



Height above sea level

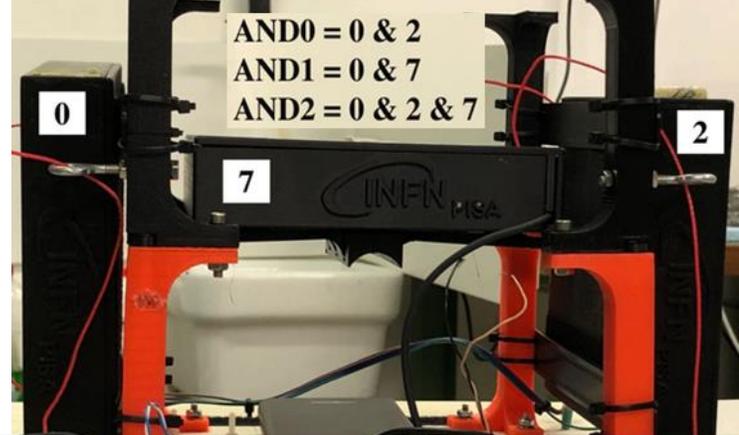


Salita in $\approx 1\text{h}40\text{m}$, discesa in $\approx 28\text{m}$

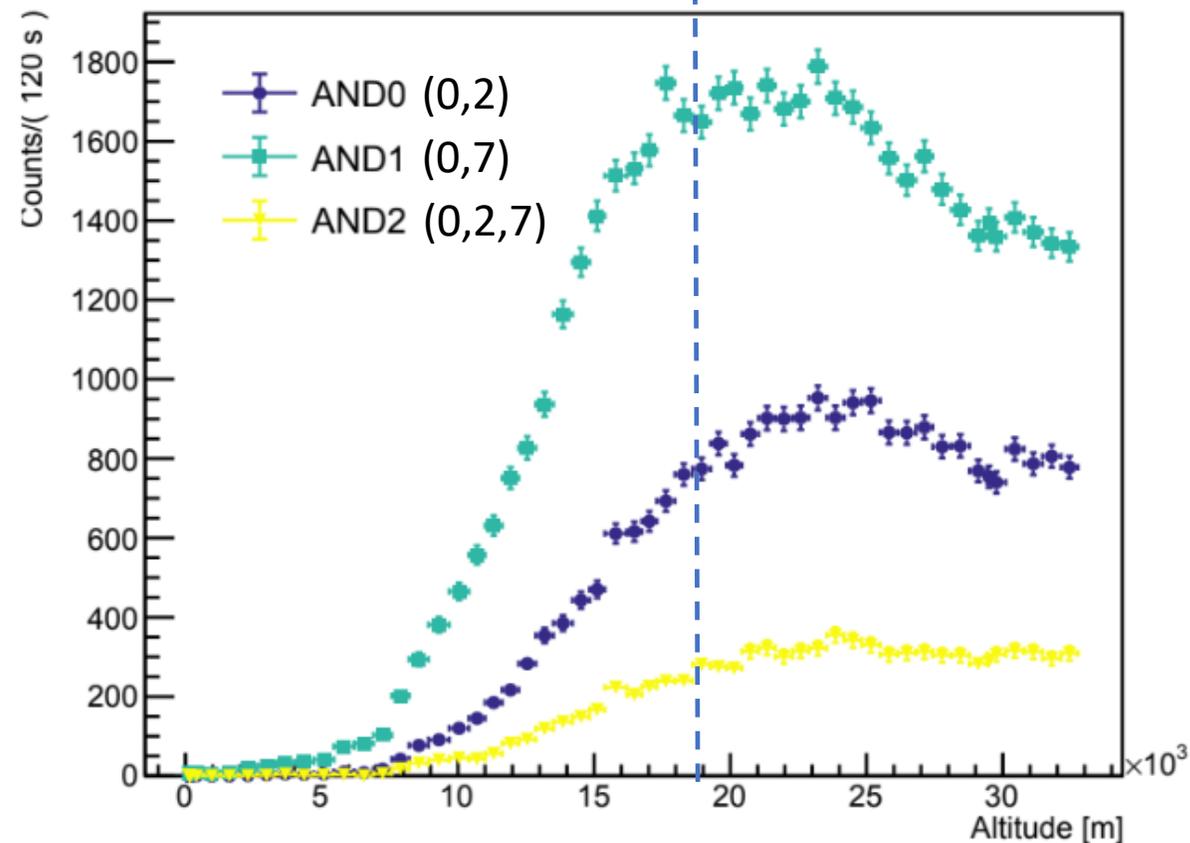
>10 mila conteggi a minuto (175 Hz) a 19 km di altitudine contro i circa **200-300 a terra (3-5 Hz)**

Il «Cosmocube» in volo su un pallone

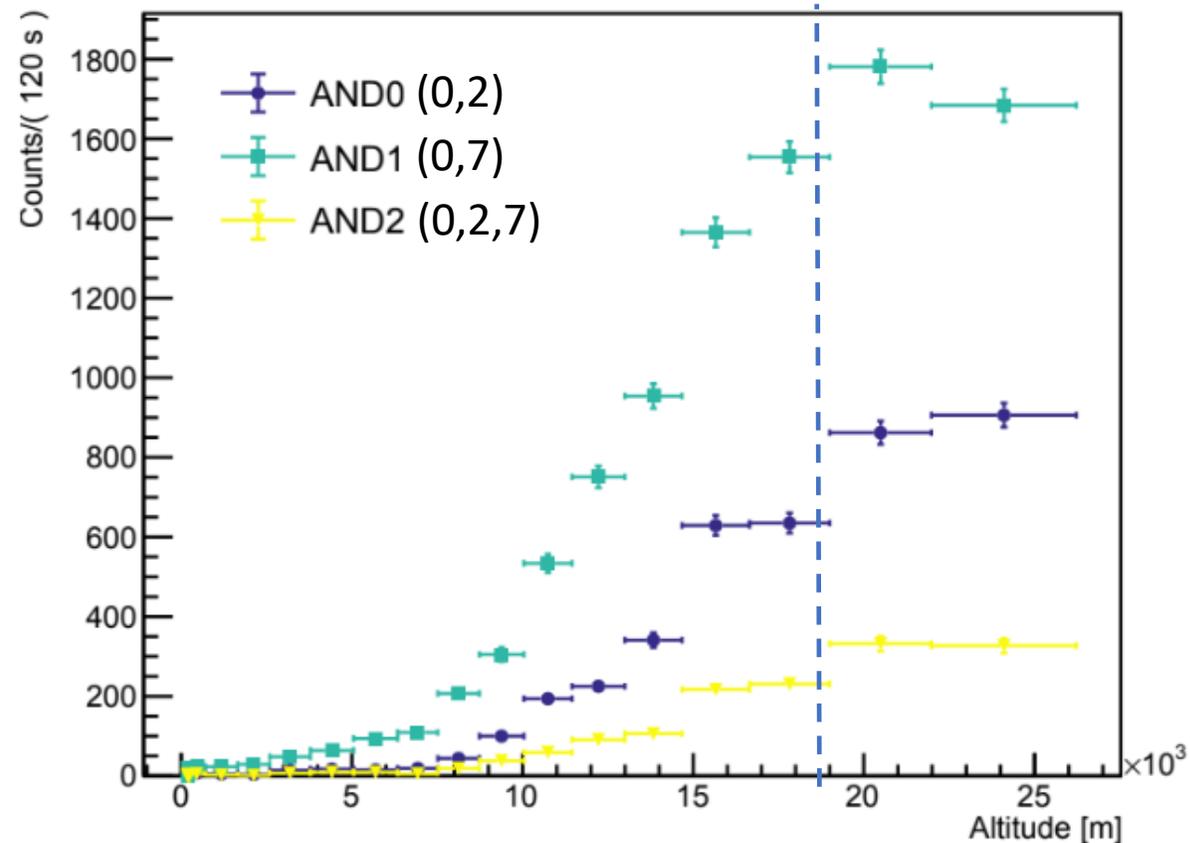
- Ecco quello che vedono le coincidenze usate tra due (AND0, AND1) e tre mattonelle (AND2), in funzione dell'altezza



Counts of AND configurations (Salita)



Counts of AND configurations (Discesa)



FINE