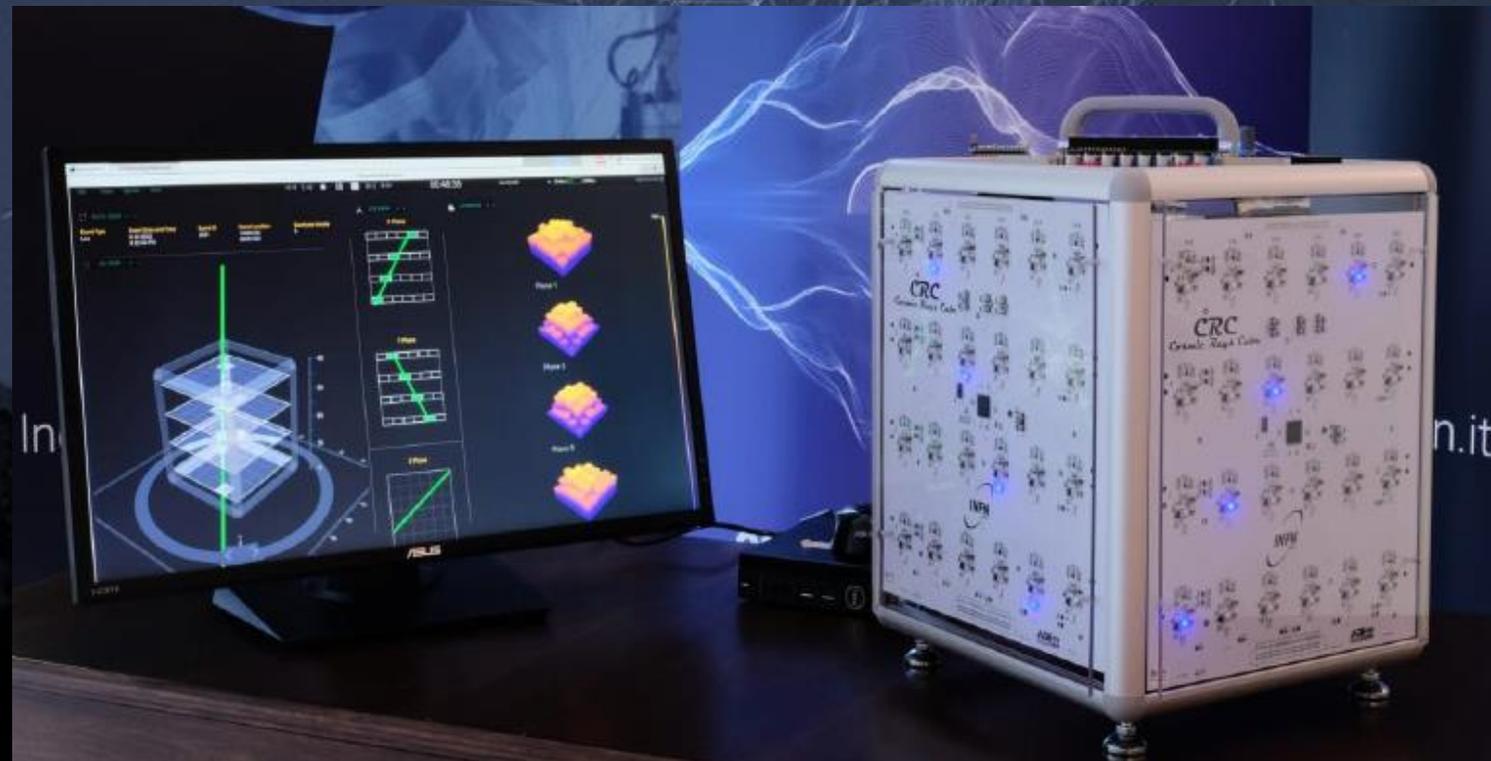


# MUONI COSMICI IN DIRETTA *CON I LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO*

**PROF.SSA DANIELA ORLANDO**

LICEO SCIENTIFICO/CLASSICO G. STAMPACCHIA

TRICASE (LE)



# POTENZIAMENTO COMPETENZE

- ✓ **Geometria analitica nello spazio**  
rappresentazione grafica di rette in un sdr cartesiano 3D
- ✓ **Sistemi di numerazione** (esadecimale-binario)
- ✓ **Analisi statistica dei dati con test  $R^2$**
- ✓ **Rappresentazione grafica dei dati e adattamento a un modello matematico**

# APPROFONDIMENTO CONOSCENZE

## Perchè i muoni?

- **Aggancio al programma di quinto anno di Fisica:**  
prova sperimentale della teoria della Relatività Speciale
- Alla scoperta del tema affascinante e di frontiera: **i raggi cosmici**
- Applicazioni nella **società: la muografia.**

# RADIOGRAFIA



I RAGGI X  
SONO PENETRANTI,  
MA...

**Limite pratico = 1 metro cemento**

**1 cm piombo = 4,6 cm cemento = 11 cm acqua = 86 m aria**

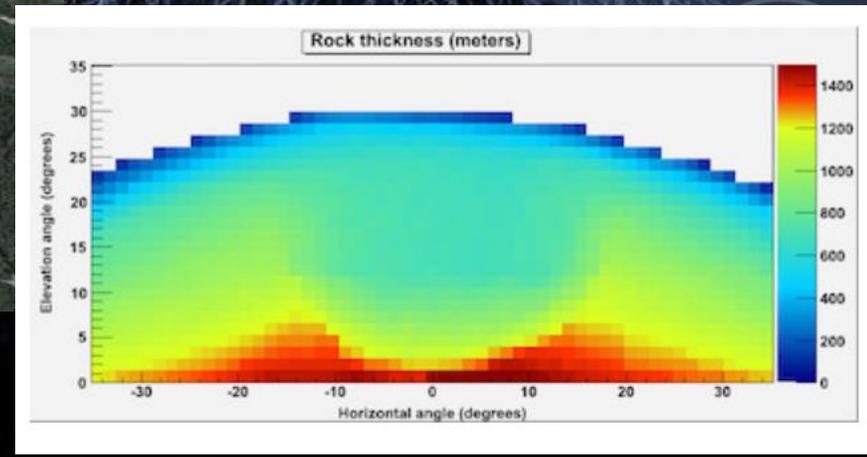
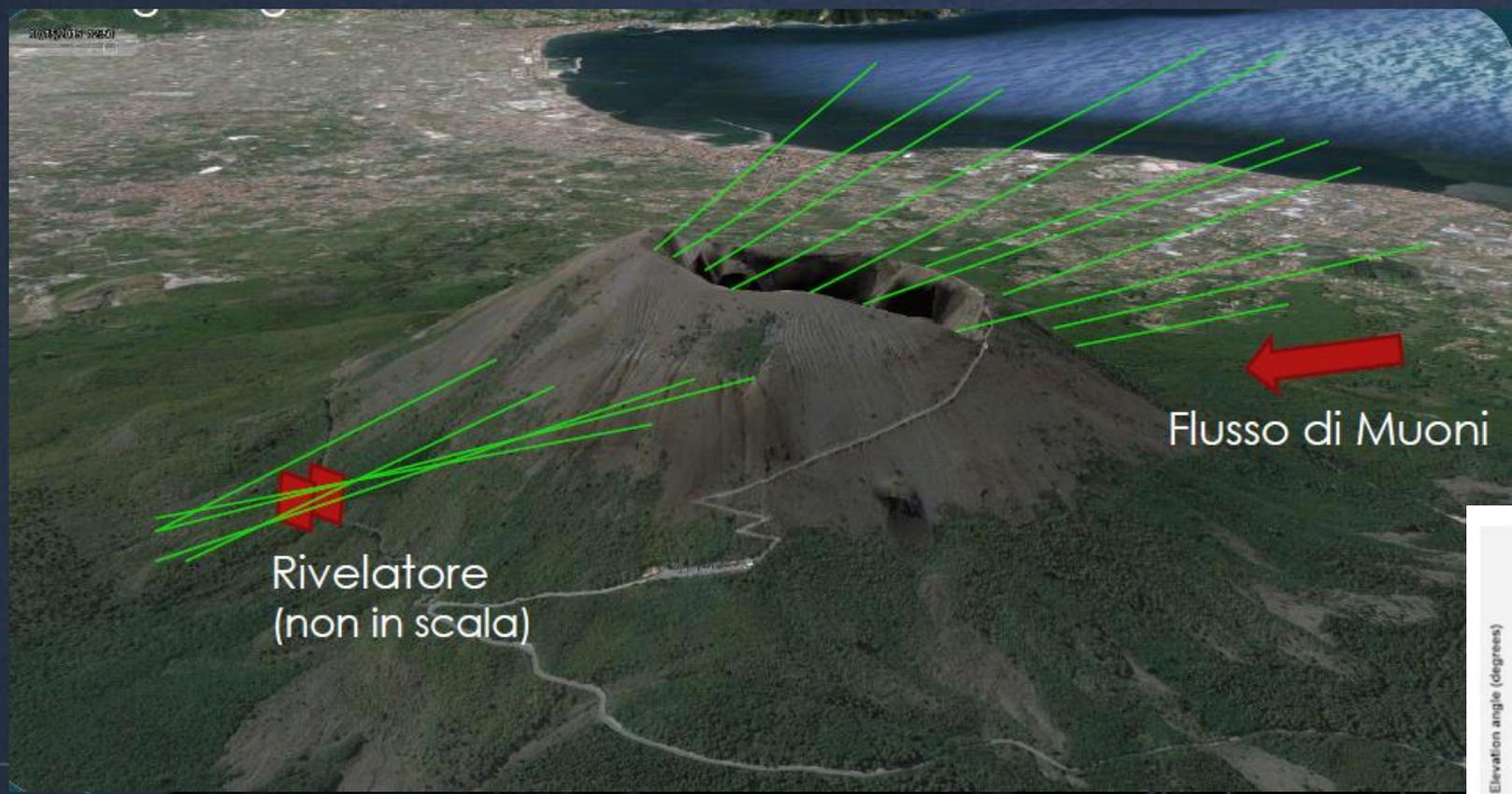
acqua	1g/cm <sup>3</sup>
cemento	2,4 g/ cm <sup>3</sup>
granito	2,7 g/ cm <sup>3</sup>
piombo	11,2 g/ cm <sup>3</sup>
oro	19,3 g/ cm <sup>3</sup>
aria	1,3 x10 <sup>-3</sup> g/ cm <sup>3</sup>

*Prof.ssa Daniela Orlando*

A COSA SERVONO I MUONI?

# MUOGRAFIA

I MUONI SONO MOLTO PIU' PENETRANTI



Prof.ssa Daniela Orlando

# MUOGRAFIA

SCOPERTA DI UNA CAMERA SEGRETA NELLA PIRAMIDE DI CHEOPE



*Prof.ssa Daniela Orlando*

# le Scienze

EDIZIONE ITALIANA DI SCIENTIFIC AMERICAN

02 novembre 2017

## I muoni scoprono una nuova camera nella piramide di Cheope



Sfruttando i muoni prodotti dall'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera per effettuare una sorta di radiografia, è stato scoperto un vasto spazio vuoto all'interno della piramide di Cheope a Giza. Lungo almeno 30 metri, si trova al di sopra della Grande Galleria ma la sua funzione è ancora sconosciuta (red)

◉ archeologia ◉ fisica delle particelle ◉ fisica



Una fase della collocazione delle lastre per la rilevazione dei muoni all'interno della piramide. (ScanPyramids Mission)

Prof.ssa Daniela Orlando

# Nella piramide di Cheope c'è una stanza dei misteri. Forse è quella del tesoro

Scoperta di un team internazionale con uno "scanner" che individua le interazioni dei raggi cosmici con il granito

VITTORIO SABADIN



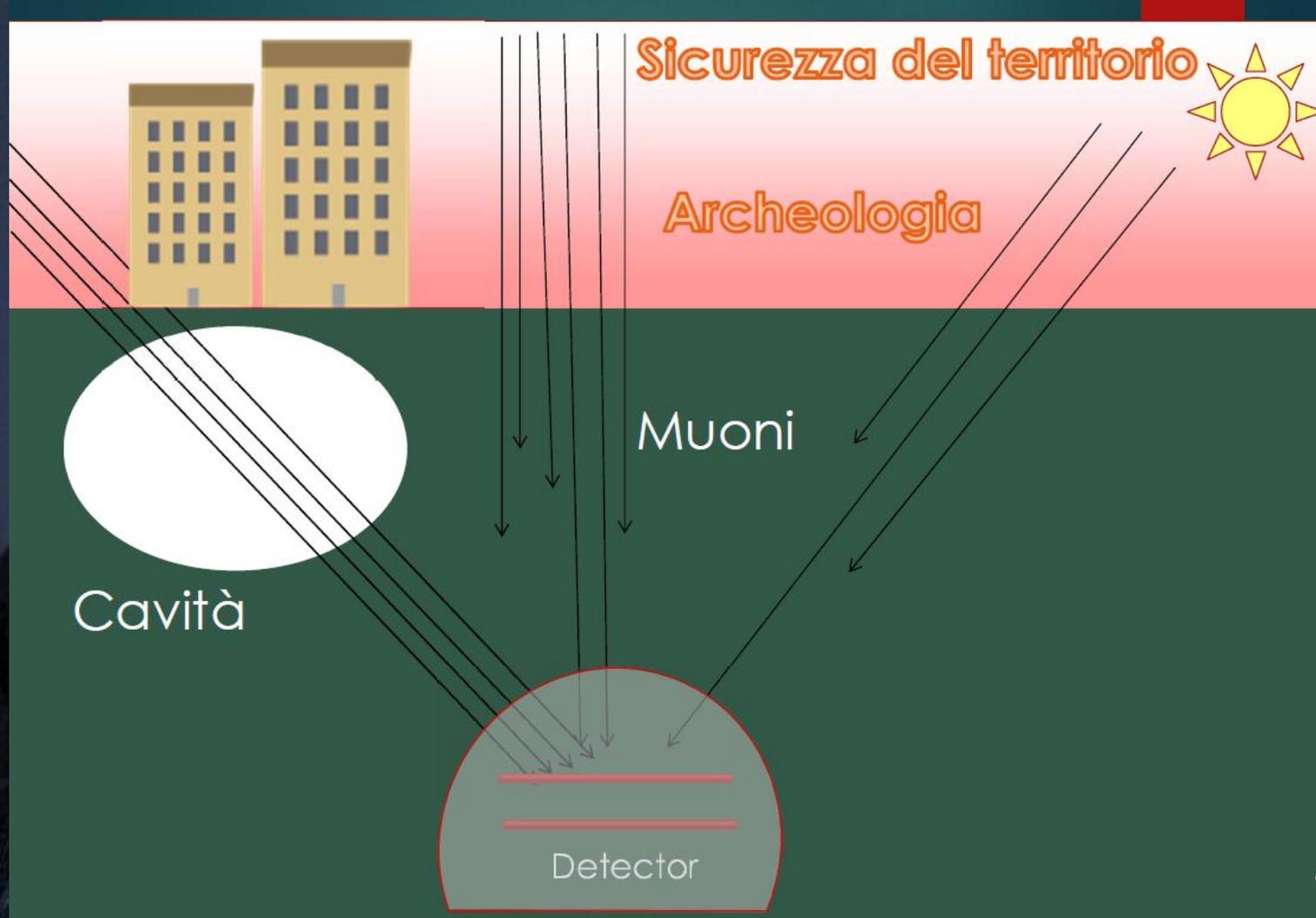
## Piramide di Cheope: scoperta una nuova stanza

di ELENA DUSI

Usate particelle elementari chiamate muoni. Provengono dai raggi cosmici e, come in una radiografia, permettono di identificare gli spazi vuoti. Il nuovo ambiente è lungo almeno 30 metri. Scoprirne la funzione e il contenuto sarà la prossima missione degli archeologi

# MUOGRAFIA

INDAGINE DEL SOTTOSUOLO



*Prof.ssa Daniela Orlando*

# MUOGRAFIA

SCOPERTA DI UNA CAMERA FUNERARIA NEL RIONE SANITA' A NAPOLI  
COSTRUITA DAI GRECI IV – III SEC A.C.

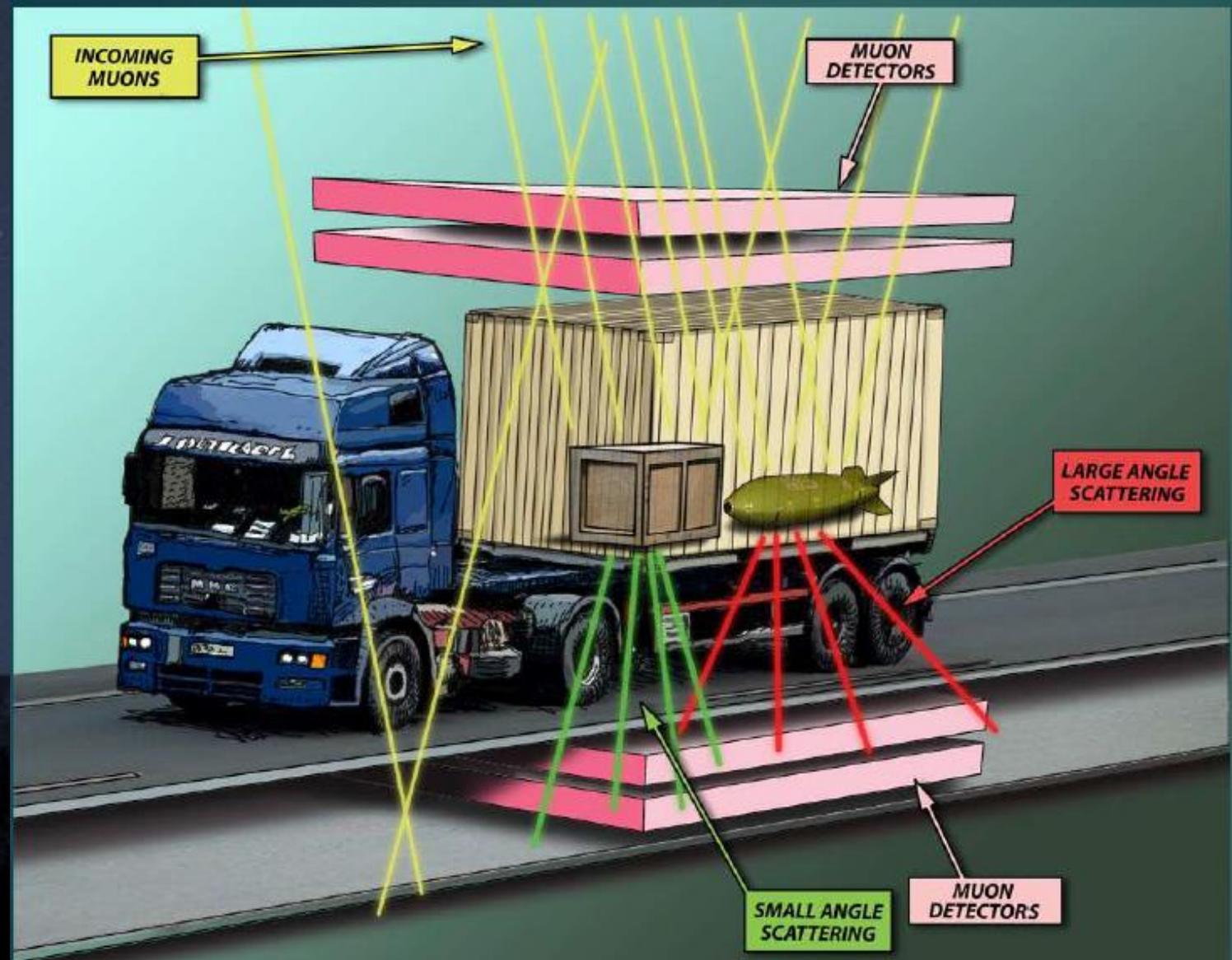


# MUOGRAFIA

CONTROLLO DEL CARICO  
NEI TRASPORTI PER  
MATERIALE DA FONDERIA

RICERCA DI RESIDUI DI  
SORGENTI RADIOATTIVE

LA DISPERSIONE DEI  
MUONI È ELEVATA SU  
SOSTANZE RADIOATTIVE  
(..URANIO, PLUTONIO)  
AD ELEVATA DENSITÀ

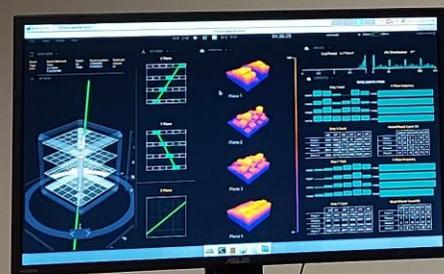


# Laboratori Nazionali del Gran Sasso



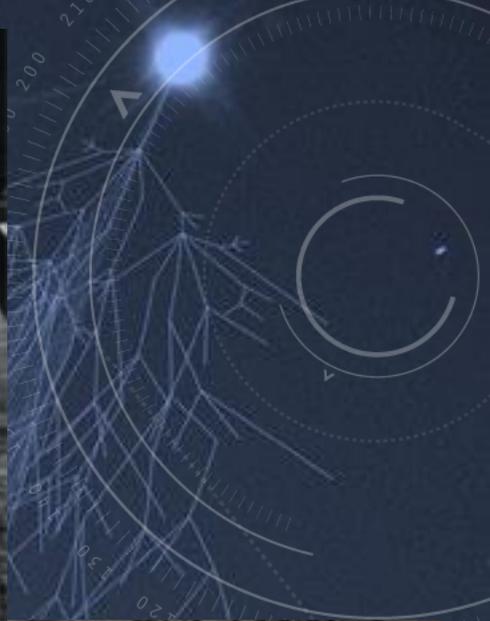
INFN

## COSMIC RAY CUBE

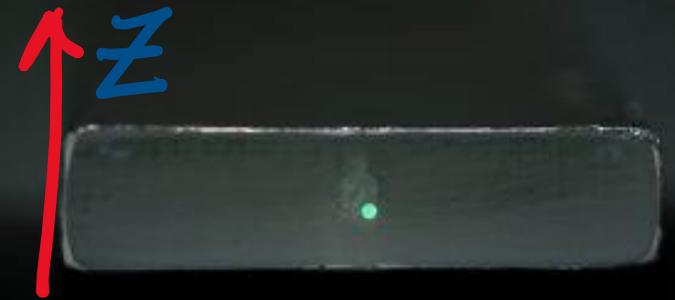
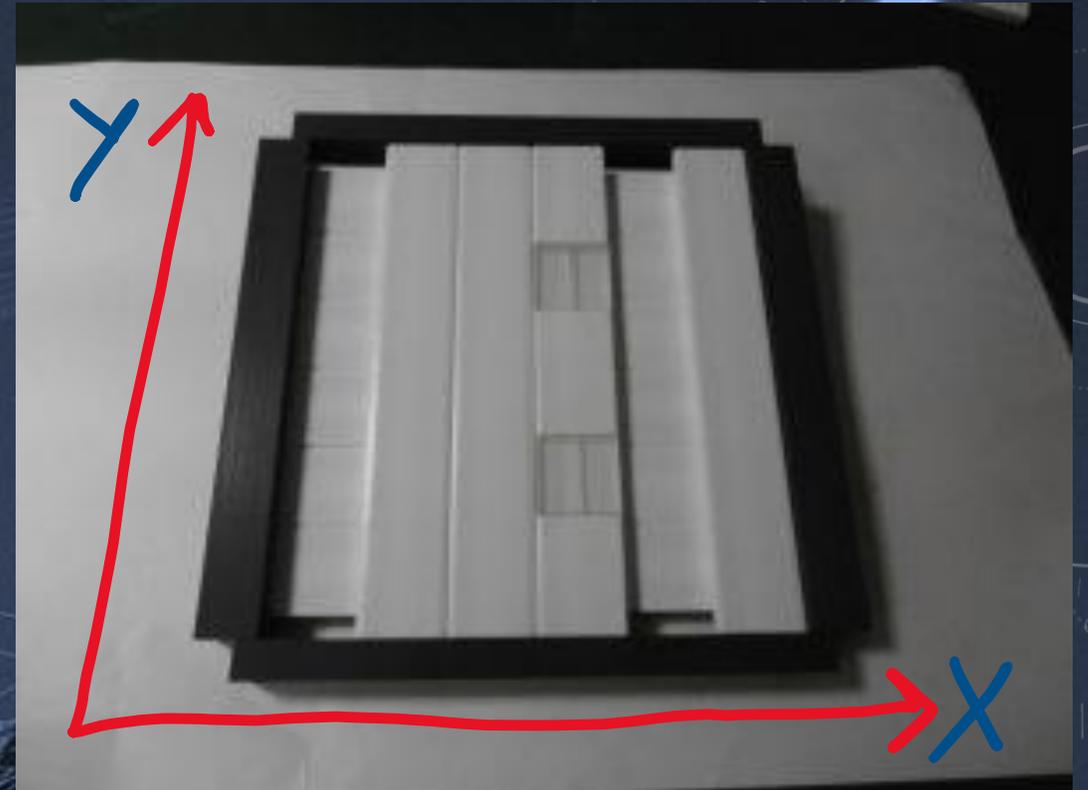
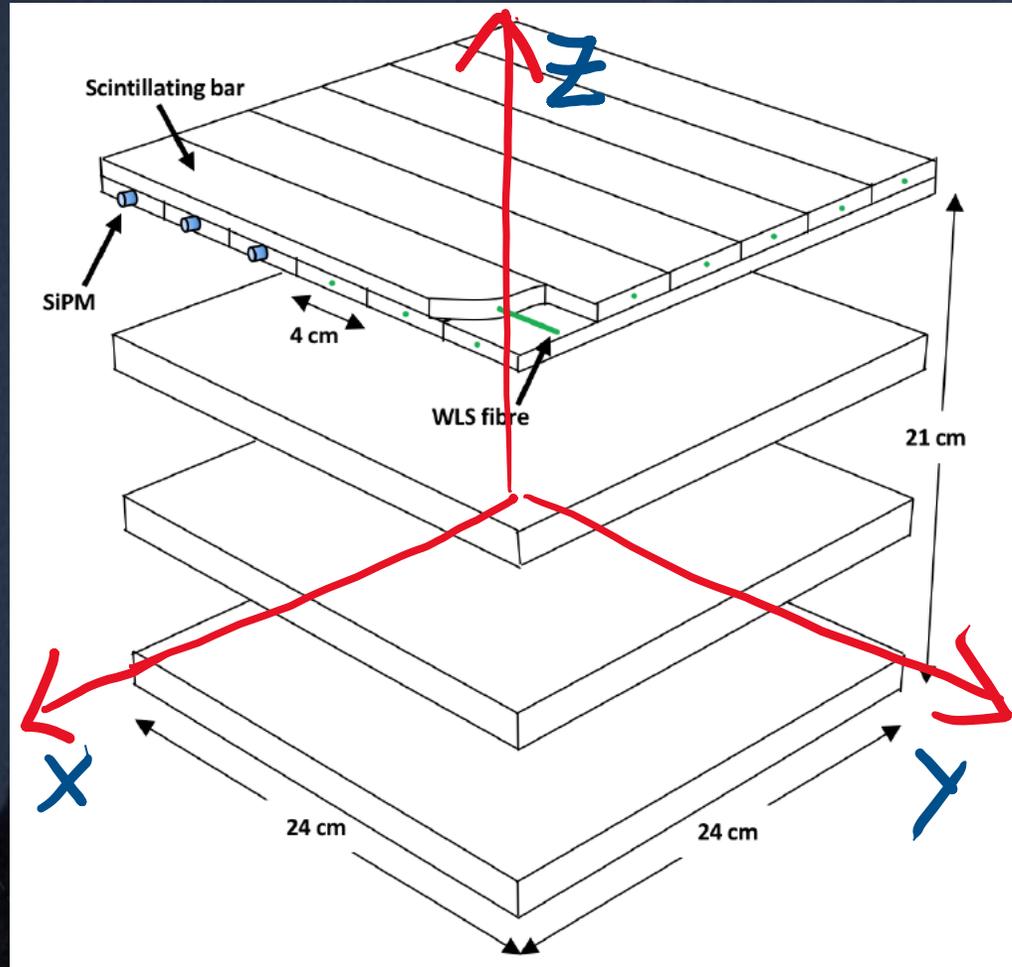


Prof.ssa Daniela Orlando

# Muografia del Monte Soratte con il CRC



# Lo strumento Cosmic Ray Cube



Prof.ssa Daniela Orlando

# COSMIC RAY CUBE @ LNGS 10-13 DICEMBRE 2023

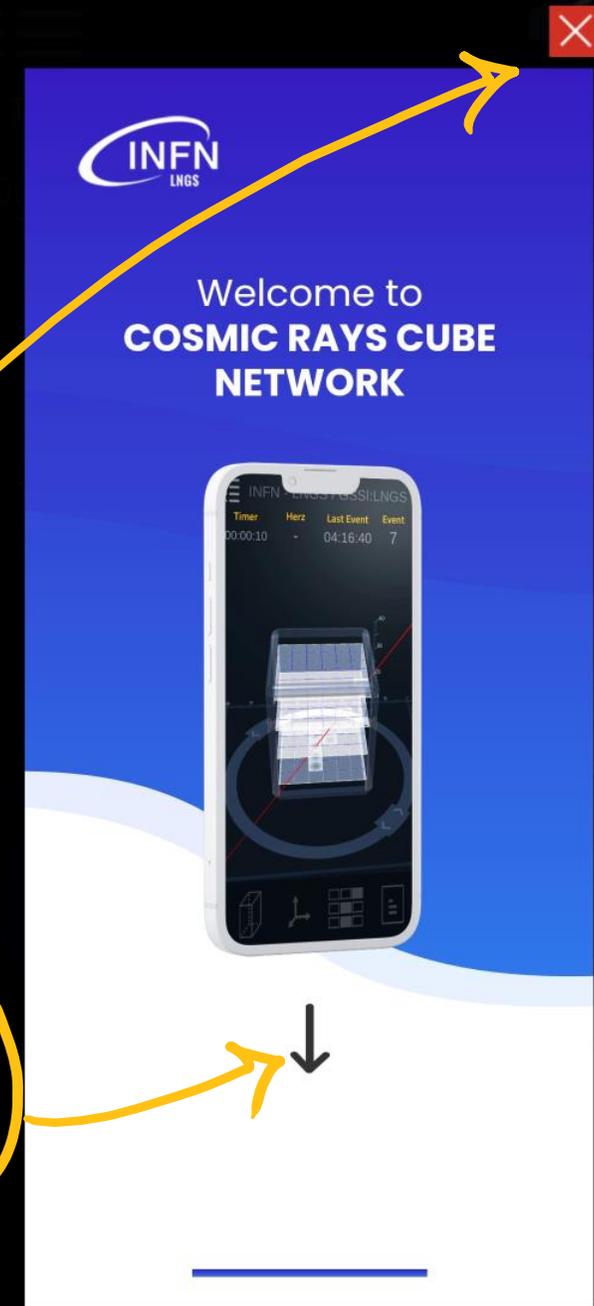


*Prof.ssa Daniela Orlando*

# SCARICA L'APP COSMIC RAY LIVE

Per usare  
direttamente  
l'app

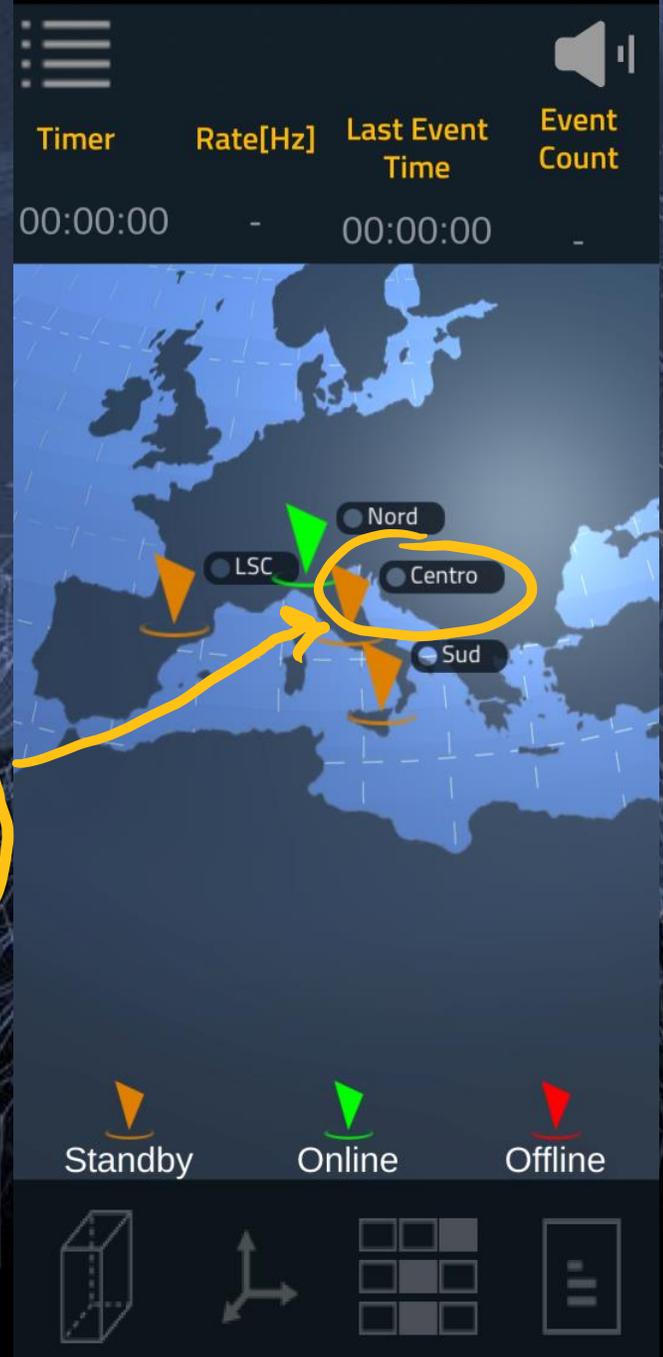
Per avere  
informazioni  
generali





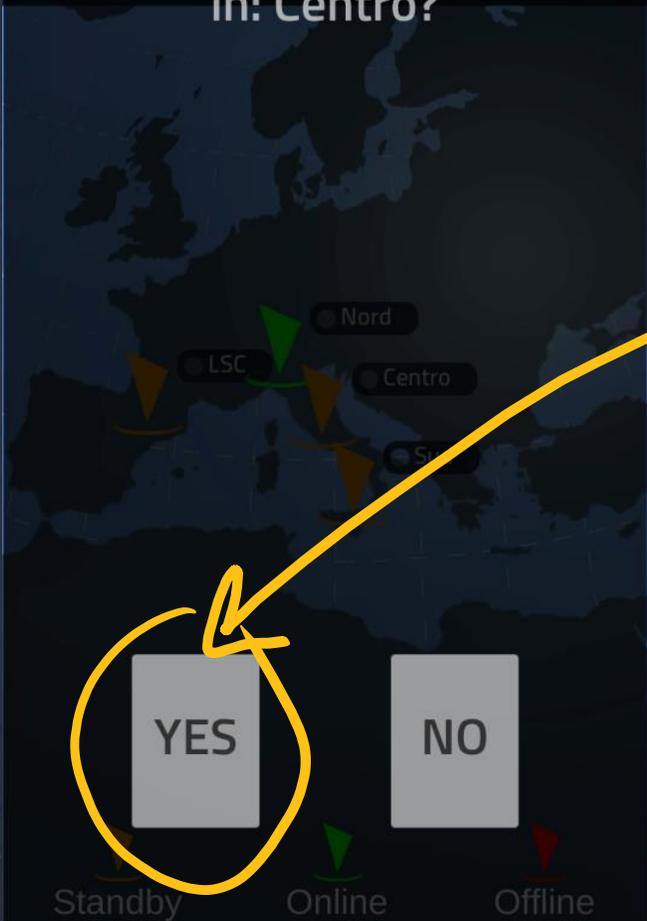
Per prendere i dati in diretta con il rivelatore CRC

Seleziona uno dei rivelatori CRC: posizionati in Italia e scegli *Centro*



CONFIRM

Do you want to be connected to the Small Telescope located in: Centro?



YES NO

Scegli il CRC ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso

SELECTION

DO YOU WANT TO CONNECT TO WHICH TELESCOPE ?

- LNGS
- GSSI
- INFN - Roma 1
- INGV - Roma



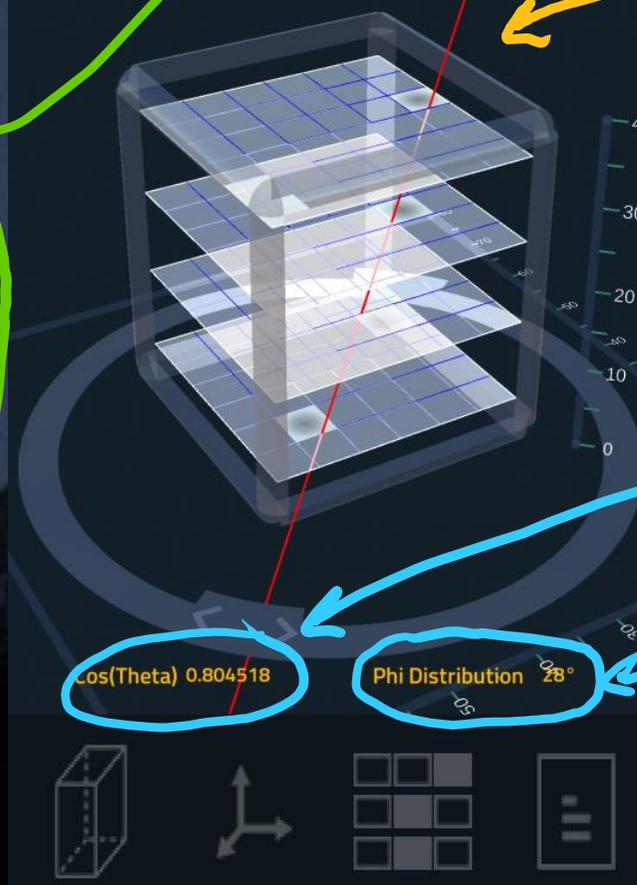
Parte il cronometro

Timer	Rate[Hz]	Last Event Time	Event Count
00:01:49	1.530	08:55:36	165

Parte il contatore di eventi

Ogni 100 secondi viene aggiornata la RATE (Hz) cioè il numero di eventi al secondo

Traccia di ogni evento in diretta (circa uno al secondo)



Direzione della traccia  
Angolo zenithale Theta

Angolo «azimuthale» Phi

LNCS

Timer 00:02:02

Event Count 191

OPEN EVENT FROM DATABASE

OPEN LIVE EVENT

SHARE/SAVE DATA

OPTIONS

INFO

Cos(Theta) 0.773244

Phi Distribution 317°

EXIT

23:30 53%

DOC-20240320-WA0009.

3202	02040810	01020202	832.913
3203	04020201	20080401	667.506
3204	01010101	20202020	549.139
3205	10080808	02020202	4405.7
3206	04040808	20202020	0.887
3207	10101010	08040201	0.763
3208	02020202	20100804	1089.635
3209	02020408	20080404	0.665
3210	02040808	02020408	415.794
3211	01010204	08102020	0.697
3212	02020202	02020101	477.961
3213	02020408	04020202	1992.271
3214	20100804	02010101	0.903
3215	01010101	10102020	450.357
3216	04040808	01010101	399.527
3217	01010101	04040404	1228.835
3218	04080810	08101020	972.591
3219	02020404	08102020	0.526
3220	02040808	020C1830	256.913
3221	08101020	08080404	594.778
3222	04020202	10102020	389.722
3223	10080405	20080A01	0.72
3224	02020101	10102020	866.739
3225	10080603	20201010	0.695
3226	08040201	08080808	125.889
3227	10100808	01020202	1201.211
3228	10101010	10100808	0.944
3229	02040408	01010202	292.358
3230	01020408	08040402	1515.704
3231	04020201	10101020	818.972
3232	02020202	08040404	811.27
3233	02040408	10100808	401.817
3234	20202020	20201010	516.352
3235	02020202	01020202	448.516
3236	10101010	08080808	876.905
3237	04081010	04080808	214.163
3238	02041810	18080C06	422.88
3239	10202020	20101008	498.056
3240	02020404	10100808	500.795
3241	08101010	10080808	702.139
3242	04040202	04040408	1.391
3243	22050920	01010101	1368.02

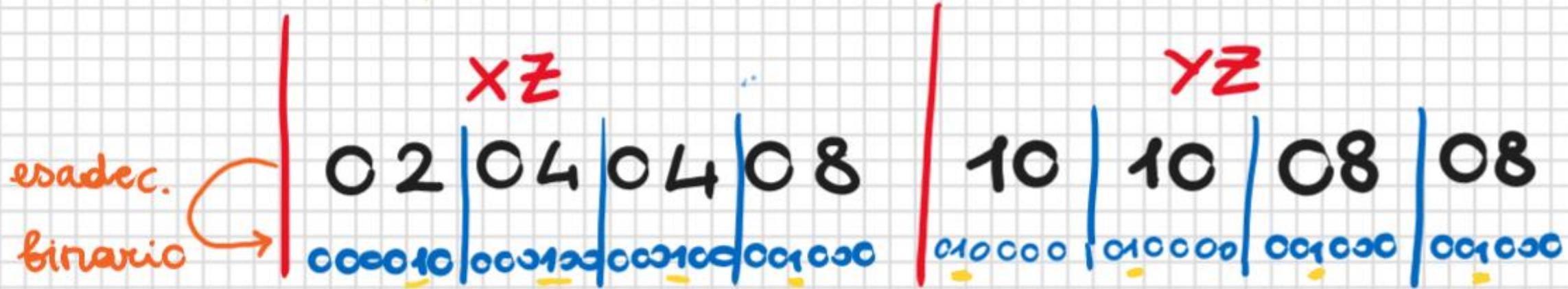
# MISURA 1

## RICOSTRUZIONE DELLA DIREZIONE DELLA TRACCIA

Il CRC al Gran Sasso verrà inclinato

Prof.ssa Daniela Orlando

3231	04020201	10101020	818.972	
3232	02020202	08040404	811.27	
<b>evento</b>	<b>3233</b>	<b>02040408</b>	<b>10100808</b>	401.817
3234	20202020	20201010	516.352	
3235	02020202	04020202	448.516	



esadec.  
binario

XZ

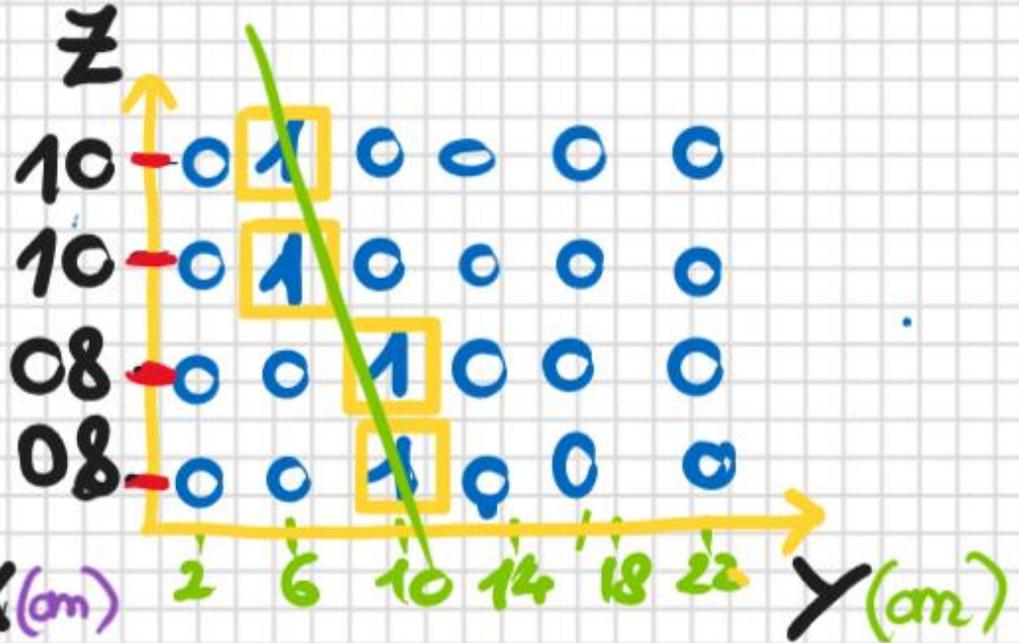
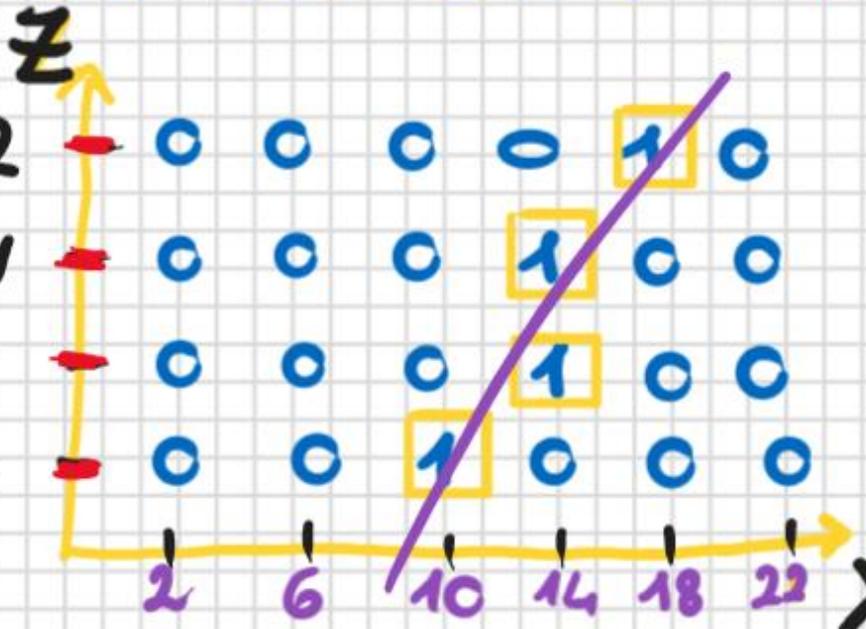
YZ

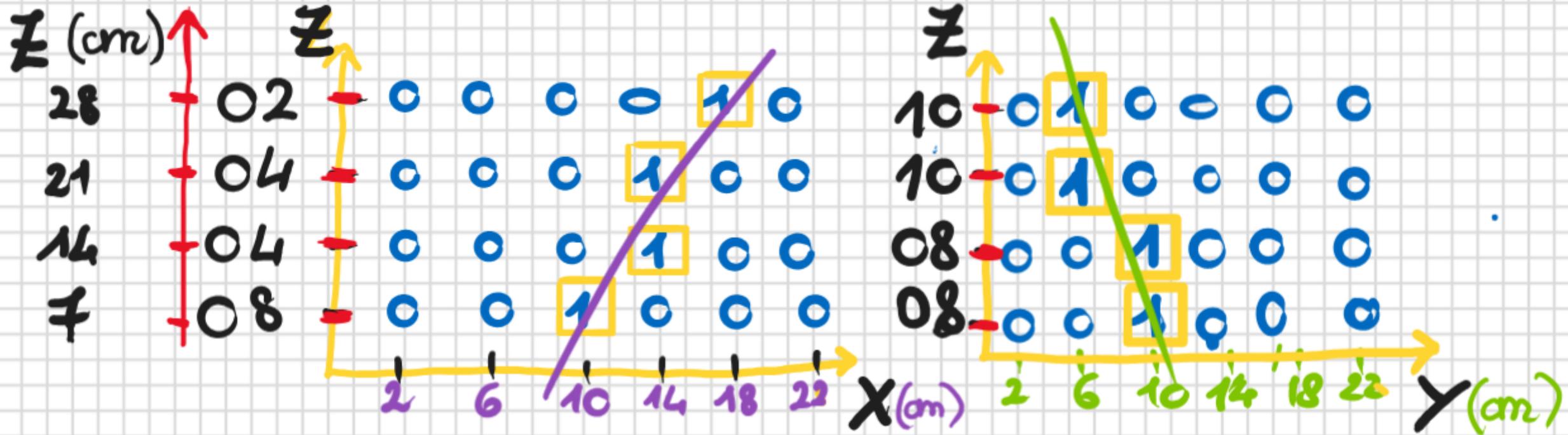
02	04	04	08
000010	000100	000100	001000

10	10	08	08
010000	010000	001000	001000

Z (cm) ↑

28  
21  
14  
7





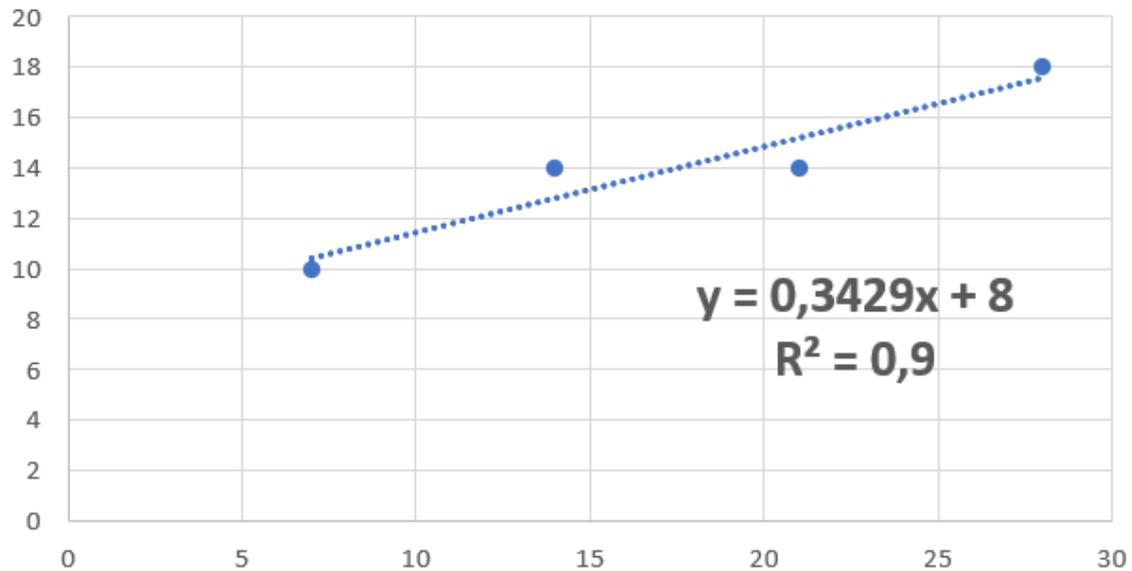
Z	7	14	21	28
X	10	14	14	18
Y	10	10	6	6

**Best fit**

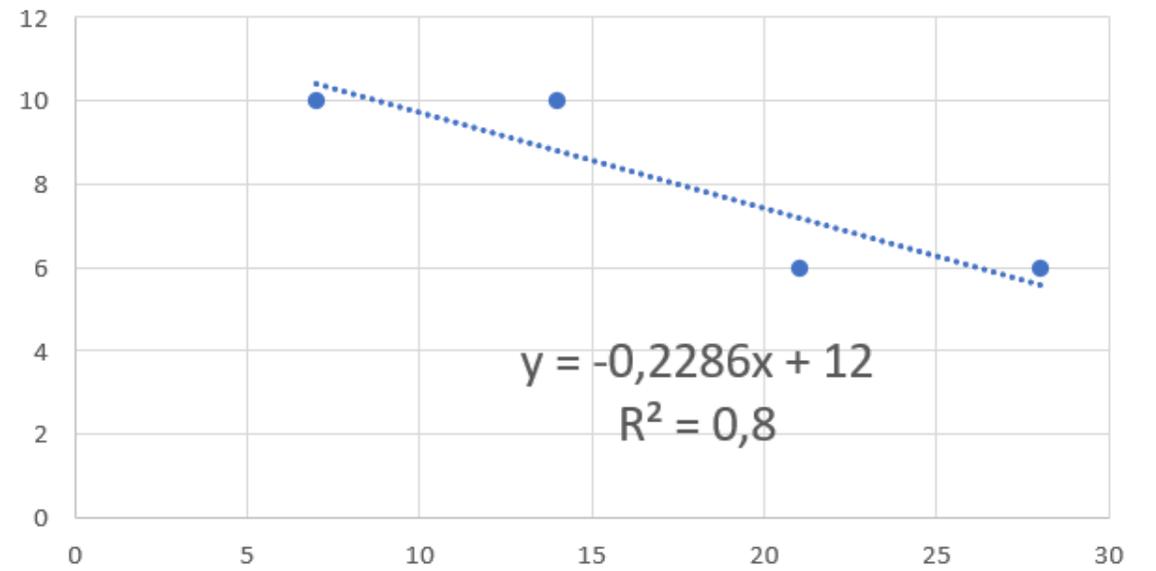
$$X = 0.34Z + 8$$

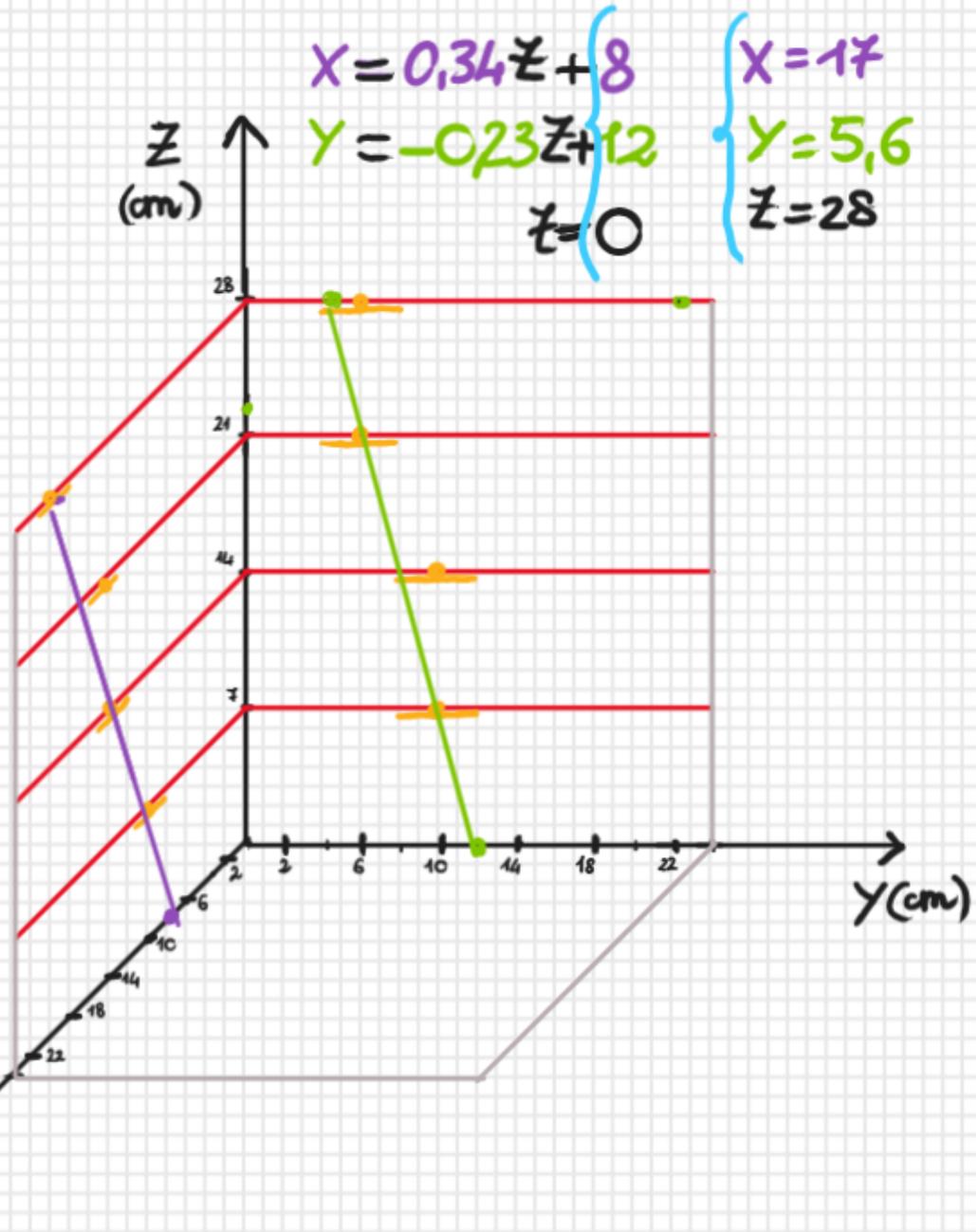
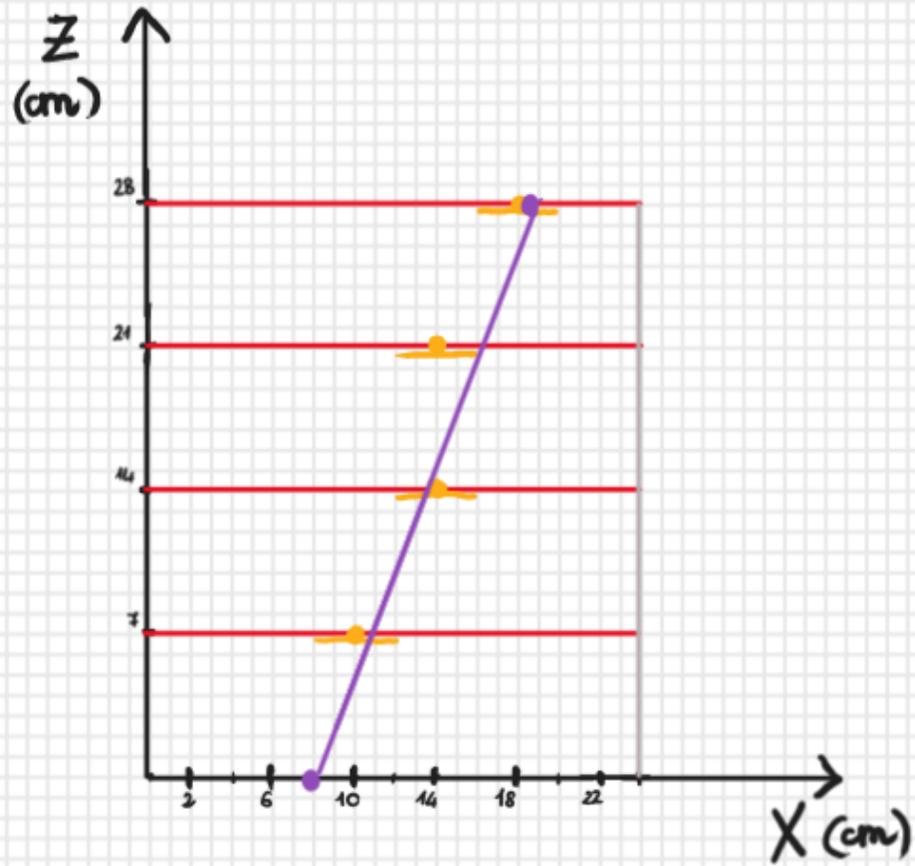
$$Y = -0.23Z + 12$$

## X vs Z

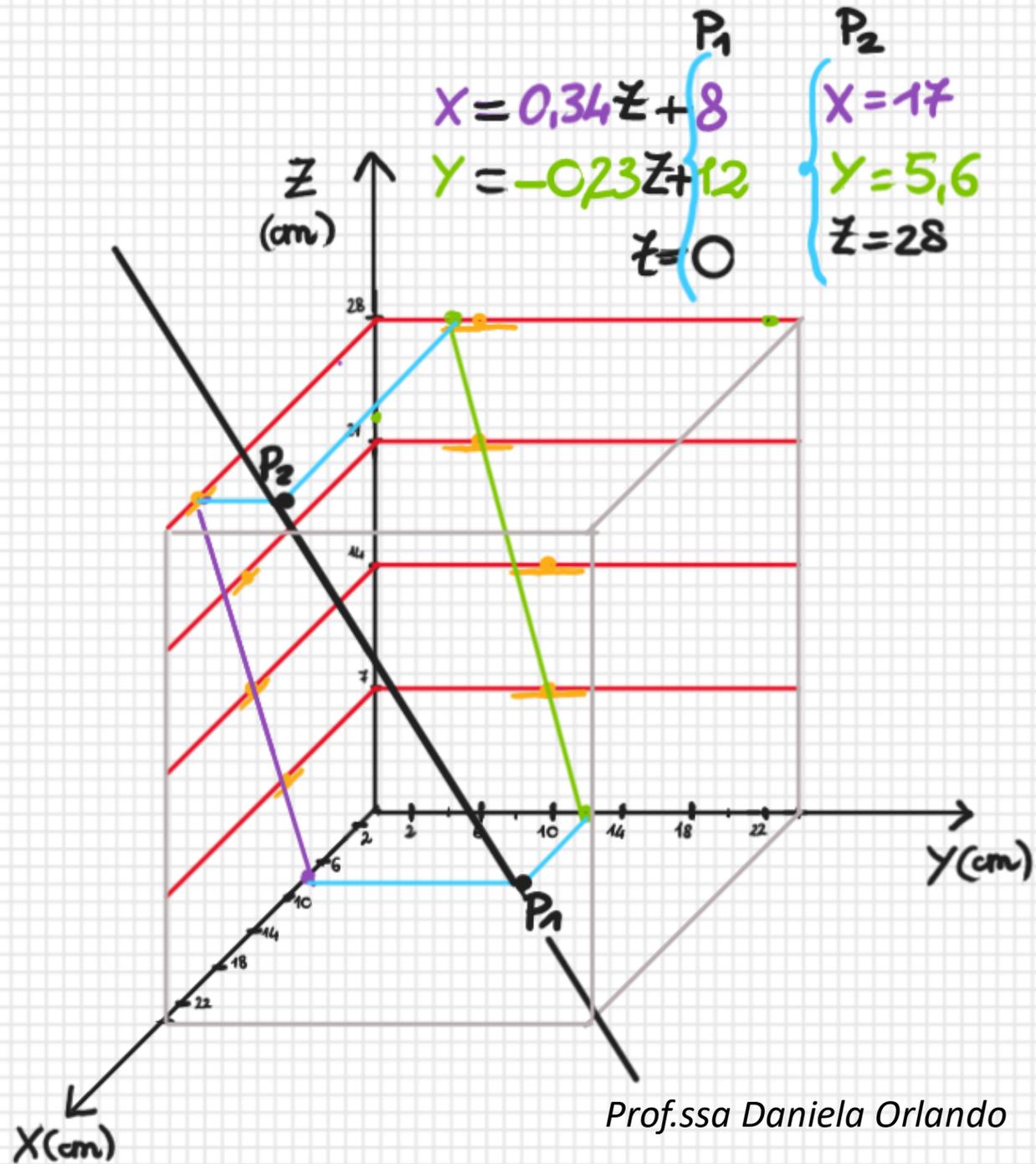


## Y vs Z





Prof.ssa Daniela Orlando



Prof.ssa Daniela Orlando

traccia: retta  $r$  per  $P_1$  e  $P_2$

Es: con  $z=0 \rightarrow P_1(q_x, q_y, 0)$

con  $z_2=28 \rightarrow P_2(28m_x + q_x, 28m_y + q_y, 28)$

$P_1P_2 (\Delta x, \Delta y, \Delta z)$

$(\overset{z_2}{28}m_x, \overset{z_2}{28}m_y, \overset{z_2}{28})$

$\frac{\overset{z_2}{28}}{28} (m_x, m_y, 1)$

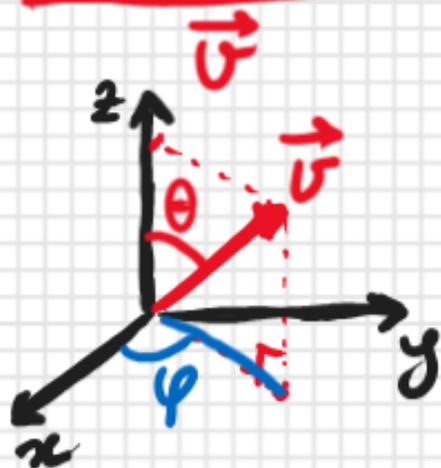
parametri direttori

angolo  
zenithale

$$\tan \theta = \frac{v_z}{|v|} = \frac{1}{\sqrt{m_x^2 + m_y^2}}$$

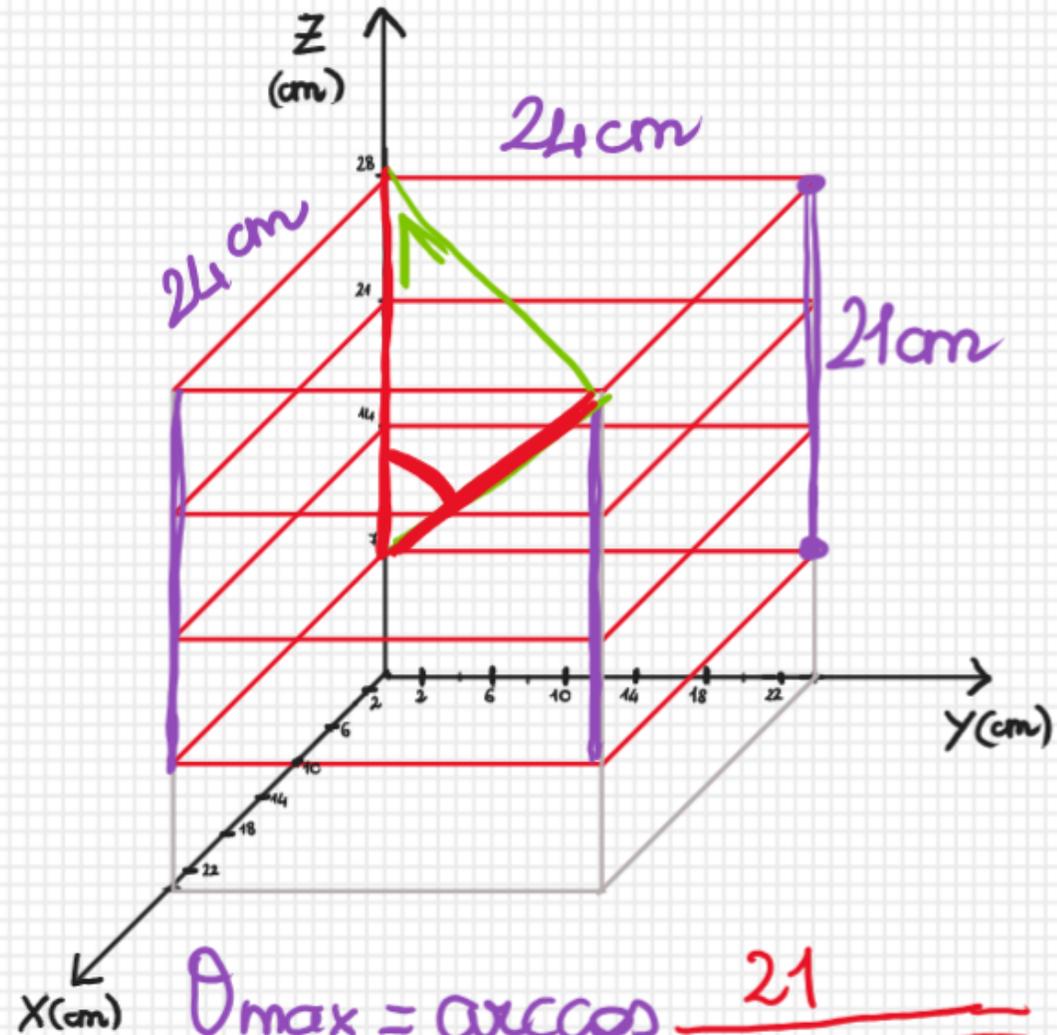
angolo  
"azimutale"

$$\tan \varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{m_y}{m_x}$$



# CUBO VERTICALE

qual è la massima inclinazione zenithale di una traccia?

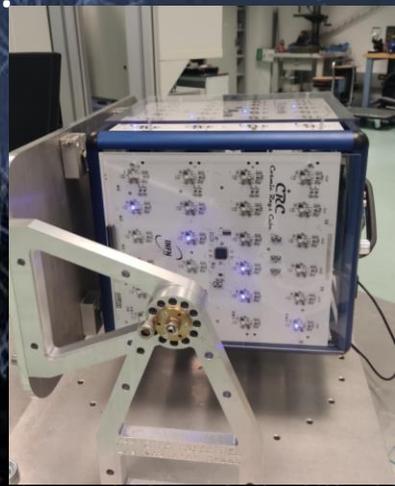
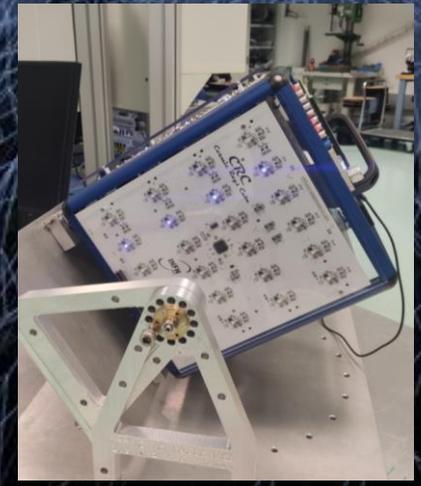
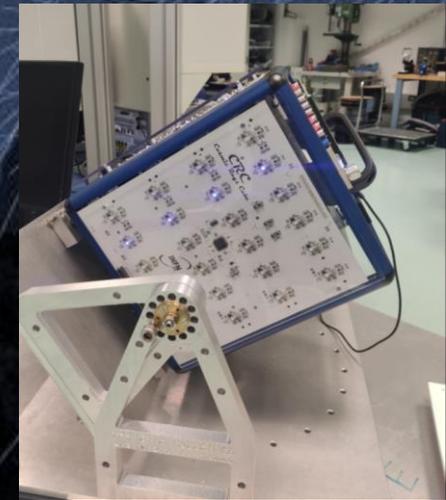
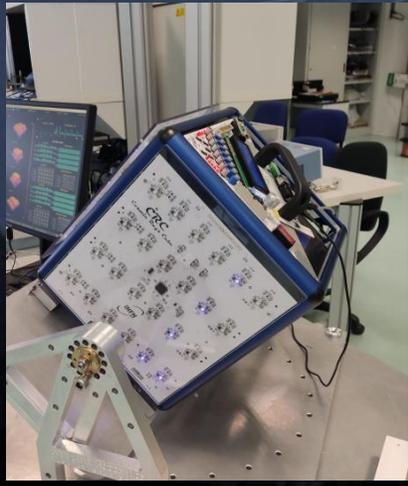
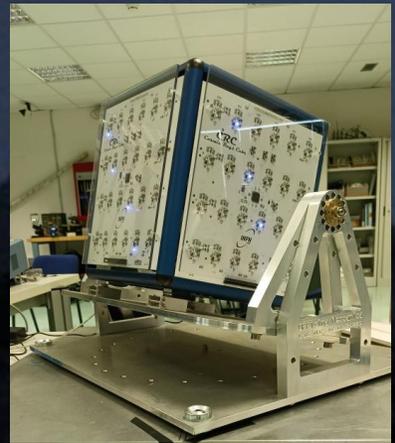


The Cosmic Month	Angolo Zenithale
8-9 aprile	15°
10-11 aprile	30°
12-14 aprile	45°
15-16 aprile	60°
17-18 aprile	75°
19-20 aprile	90°

## MISURA 2

# RATE VS ANGOLO ZENITHALE

Il CRC al Gran Sasso viene inclinato dalla posizione verticale a quella orizzontale con passo di 15°



COSA  
MISURIAM.

Timer	Rate[Hz]	Last Event Time	Event Count
00:03:00	1.780 ( $\Delta t = 100s$ )	11:05:55	303

Dopo 3 minuti  
(180 s)

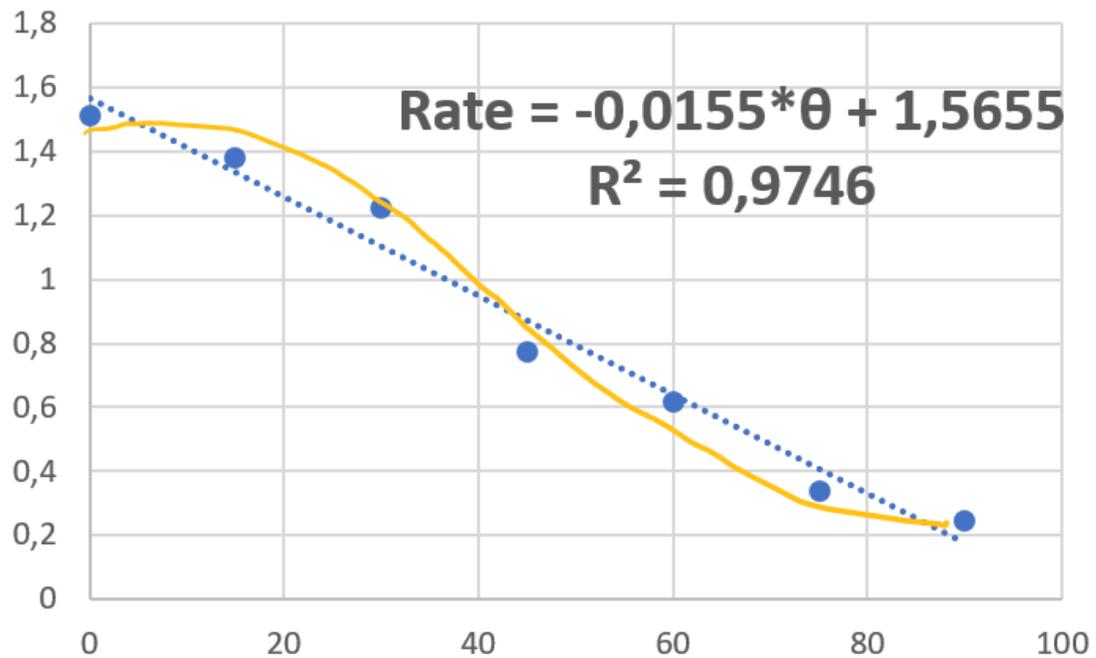
Annotiamo il  
numero  
di eventi

$> \Delta t$   
 $<$  errore  
statistico

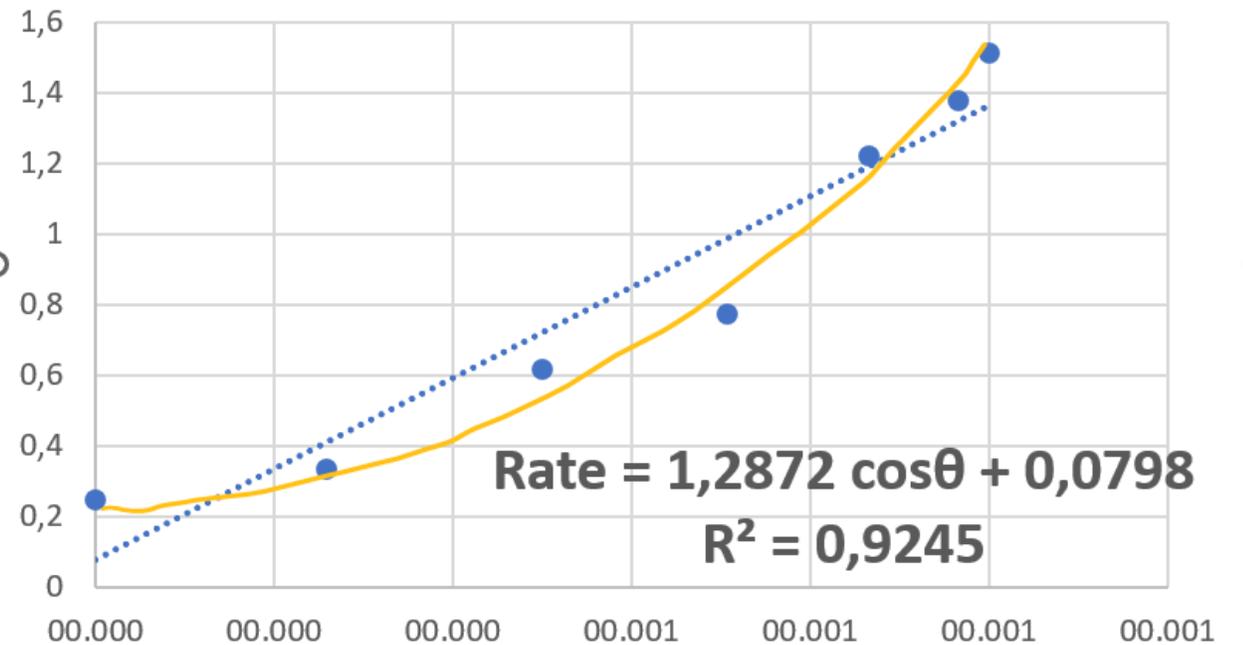
COSA  
CALCOLIAMO

$$\text{Rate(Hz)} = \frac{\text{numero di eventi in } \Delta t}{\Delta t} = \frac{303}{180 s} = 1,68 \text{ Hz}$$

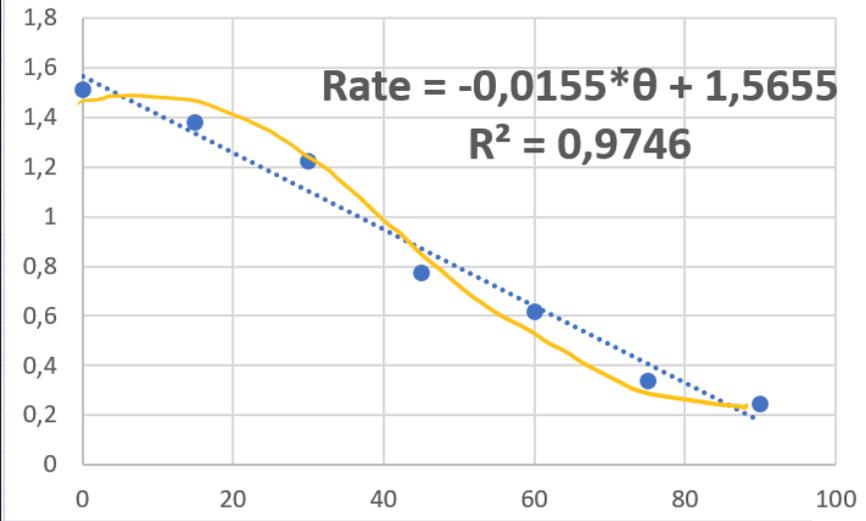
### Rate (Hz) vs $\theta$



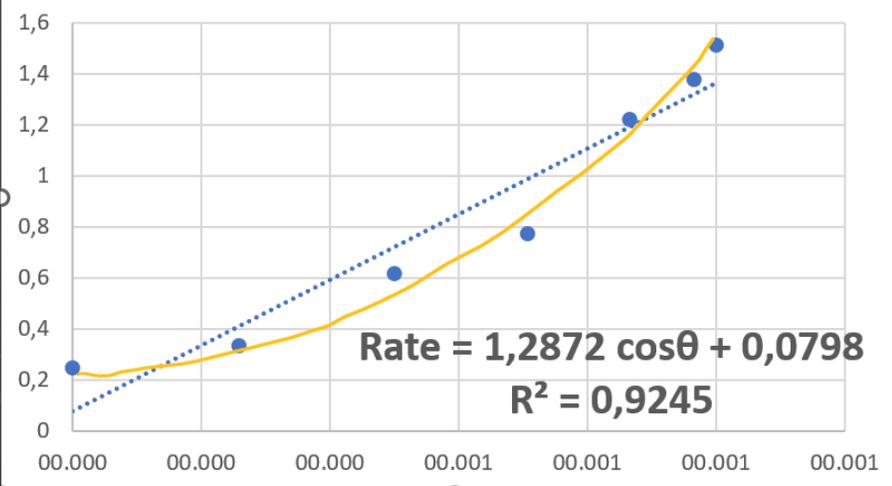
### Rate (Hz) vs $\cos \theta$



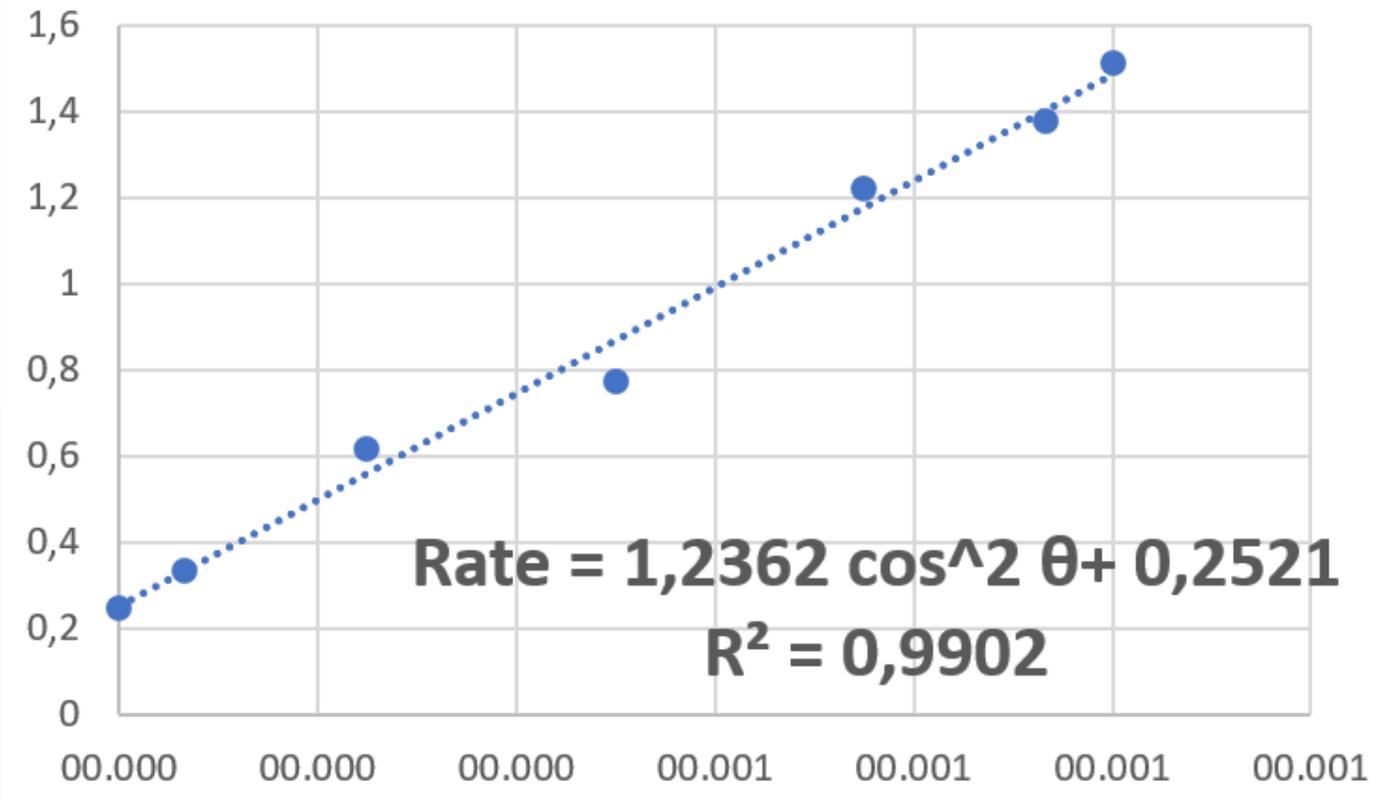
### Rate (Hz) vs $\theta$



### Rate (Hz) vs $\cos \theta$



### Rate(Hz) vs $\cos^2 \theta$



# RINGRAZIAMENTI

R. Antolini 1, C. Aramo 2, A. Candela 1, N. D'Ambrosio 1, M. De Deo 1,  
A. Giampaoli 1, S.Hemmer 3, A. Iuliano 2, I. Veronesi 4  
per la collaborazione OCRA <https://web.infn.it/OCRA/>

1 INFN – LNGS (ITALY)

2 INFN - Sezione di Napoli (ITALY)

3 INFN - Sezione di Padova (ITALY)

4 University of Salerno / INFN - Sezione di Napoli (ITALY)

\*

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Asimmetrie Anno 16 numero 31 /12.21, *Un'App cosmica!*, pag 48

<https://web.infn.it/OCRA/misura-della-rate-di-muoni-cosmici/>

Antolini et al., «*Discovering Cosmic Rays*»: a High School Physics teachers'course as a link between education and research, Proceedings of inted2024 Conference Valencia, Spain, pag 4795

Vi ringrazio  
per l'attenzione

Prof.ssa Daniela Orlando