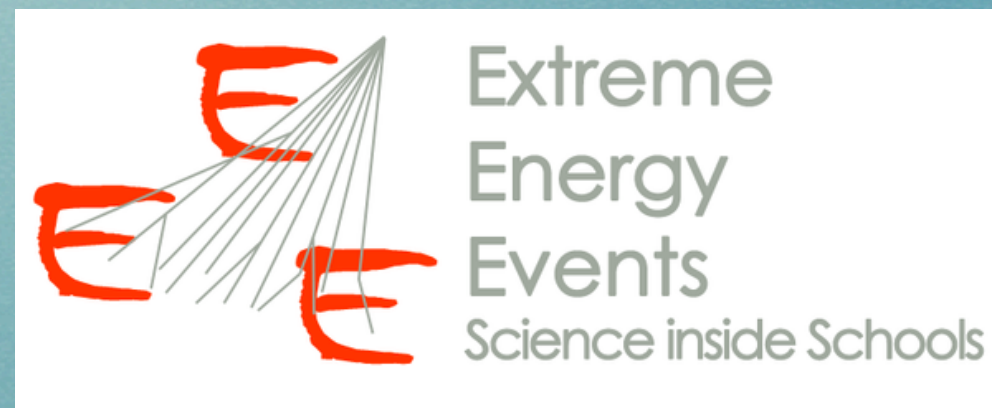




DISTRIBUZIONE ANGOLARE DEI MUONI



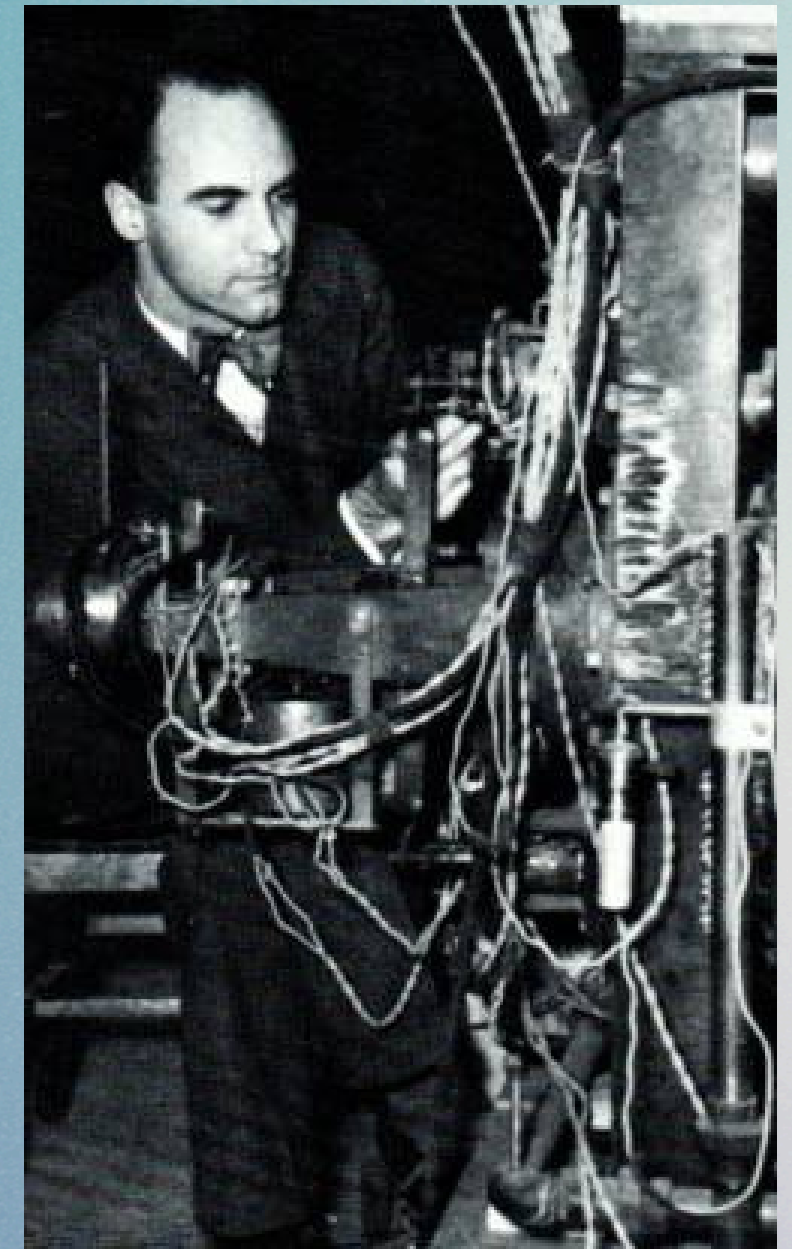
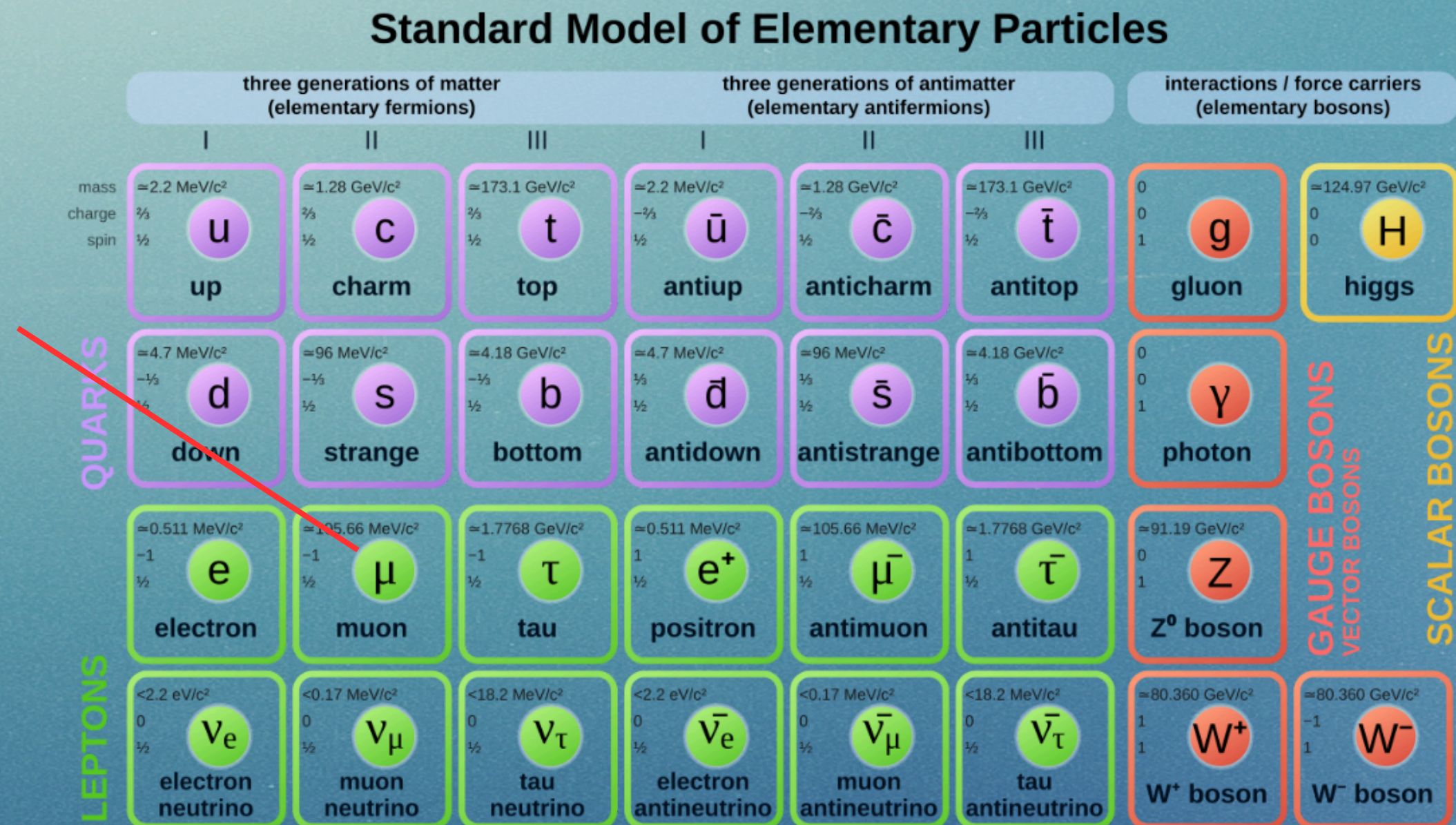
ALVISE GRANDESSO, ALICE TERRADURA, FRANCESCA NAPPI, MATILDA
IPPOLITI, NICO CORTESE, PIETRO CAMPONESCHI, CARLOTTA MARRA,
FRANCESCO PICCININI, GREGORIO VON TEUBER, ANDREA FEDELI, MARTINA
TACMEANU, PAOLO DI NUZZO, YLENIA BIGONZI, IRENE FUMI

Roma, 28 maggio 25

Cos'è il muone?

Il muone è una particella elementare con carica elettrica negativa appartenente alla famiglia dei leptoni.

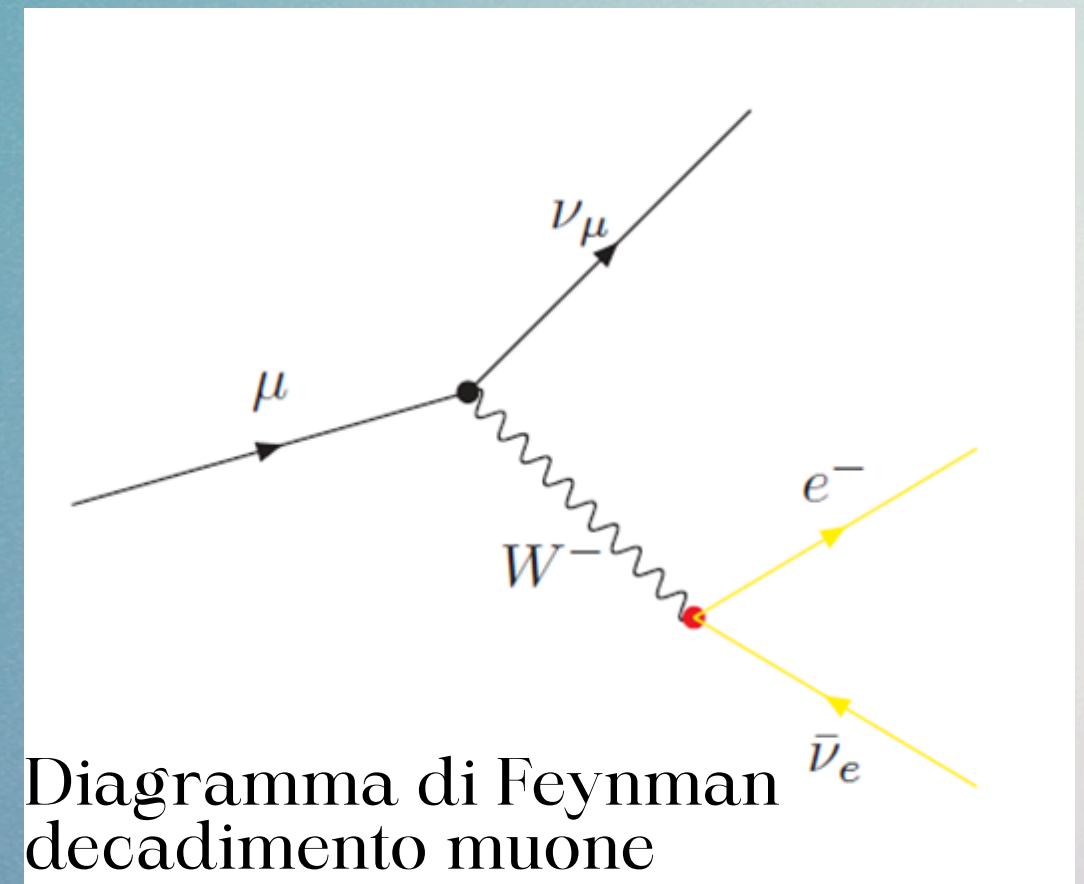
E' stato scoperto nel 1937 da Carl Anderson e Seth Neddermayer.



Carl David Anderson

- ha massa (105 MeV) circa 206 volte maggiore della massa dell'elettrone
- è instabile con vita media intorno ai 2,2 μs
- è un fermione

Fermioni: in onore del fisico Enrico Fermi, sono le particelle che seguono la statistica di Fermi-Dirac. (spin =1/2)



Per via della loro massa, subiscono un'accelerazione meno intensa quando incontrano un campo elettromagnetico ed emettono meno energia sotto forma di radiazione, risultando più penetranti anche dei raggi X.

Tendendo il palmo della mano verso il cielo, questa è attraversata da 1 muone/secondo



$$Flusso = \frac{1 \text{ muone}}{\text{cm}^2 \text{ min}}$$

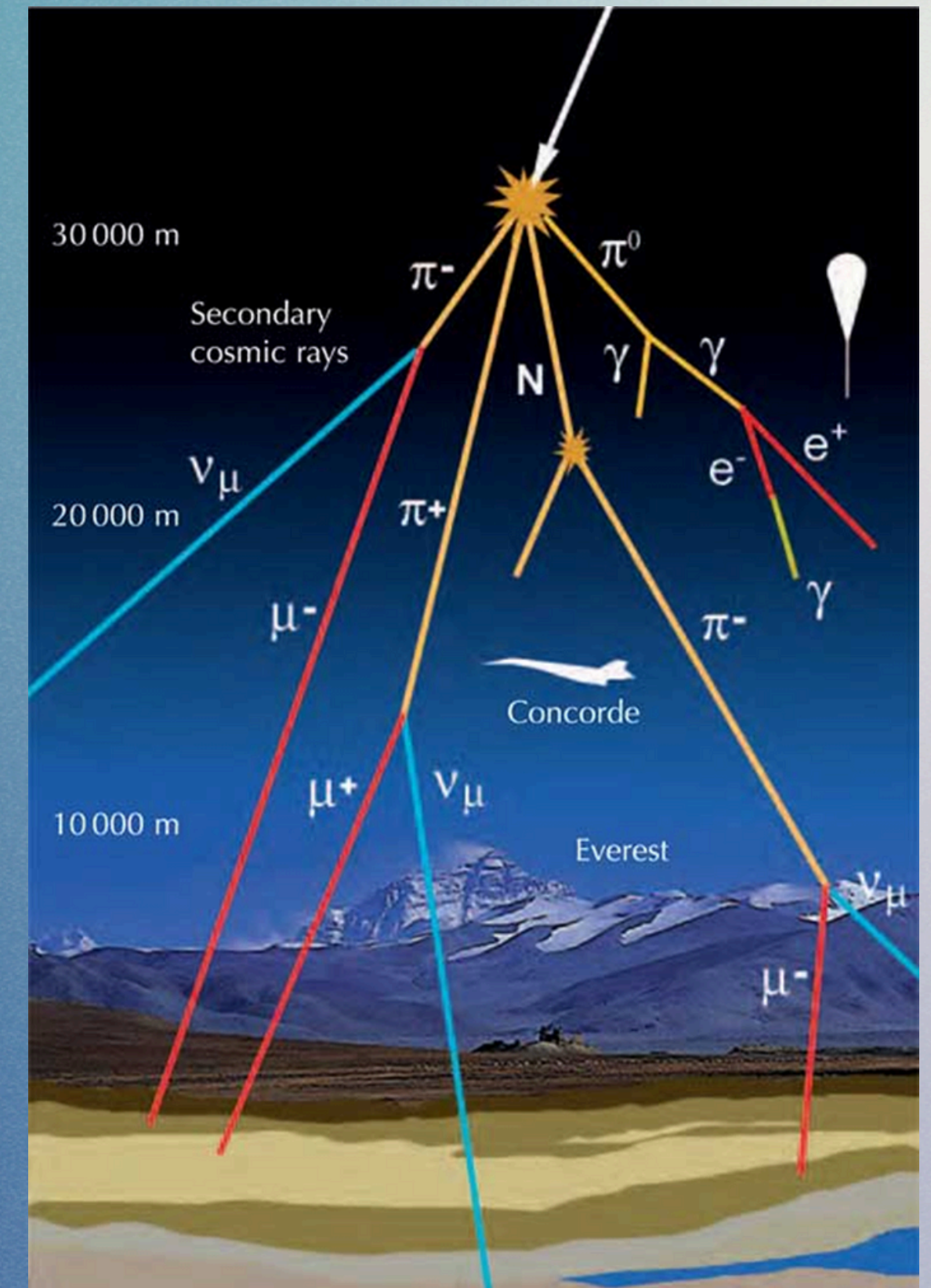
Da dove vengono i muoni?

Dallo spazio esterno arriva una “cascata” di Raggi Cosmici (primari): particelle cariche e nuclei atomici di alta energia che, muovendosi alla velocità della luce, colpiscono la Terra da ogni direzione in modo equiprobabile (isotropi).

Lungo il percorso verso la Terra, i RC interagiscono con il gas interstellare generando **RC secondari**

L'interazione con l'atmosfera terrestre dei **RC secondari** produce **Sciame Estesi**:

i muoni e gli elettroni sono le particelle create a livello del mare come ultimo prodotto dei vari decadimenti dei secondari



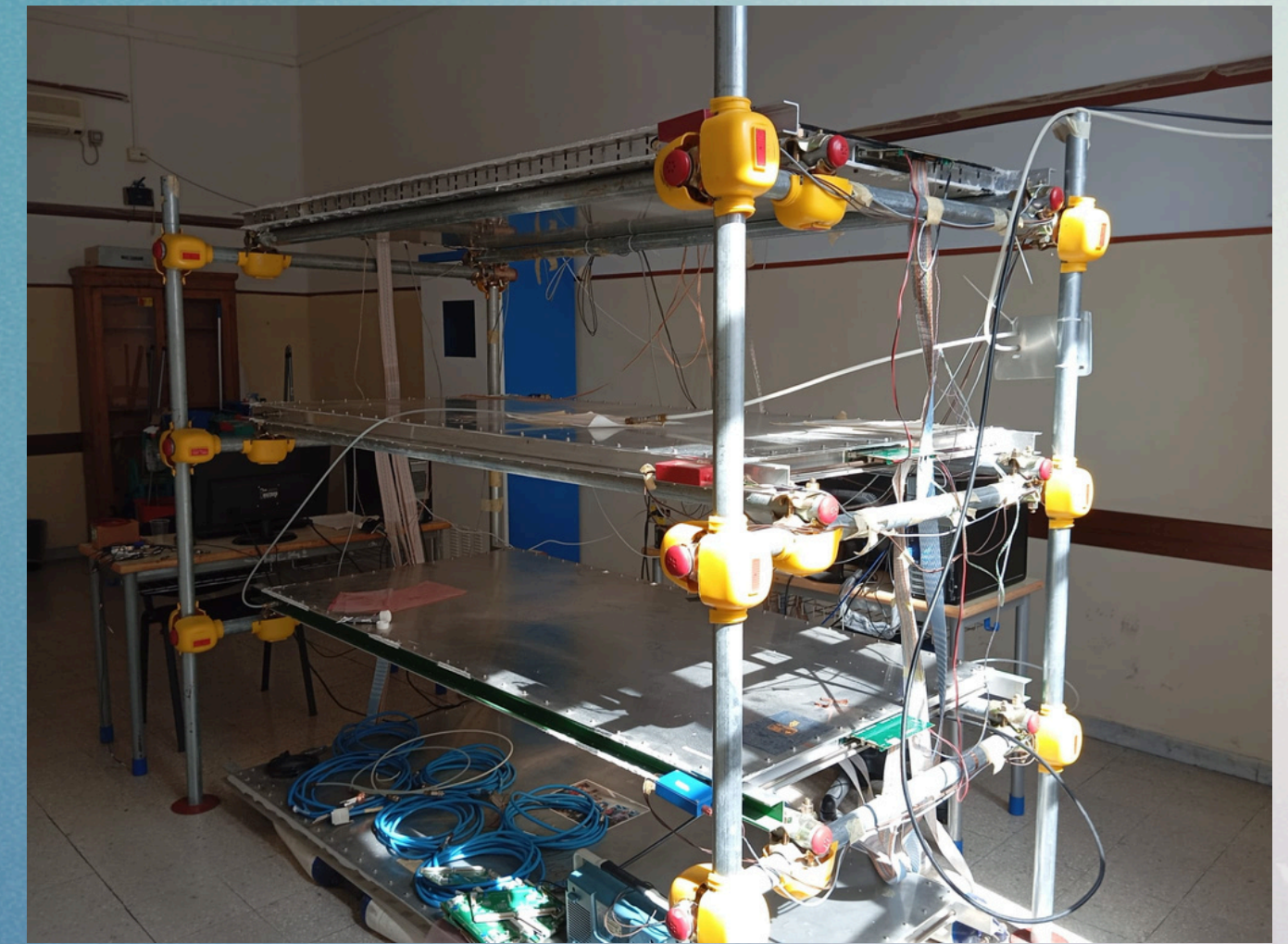
Sciame dei RC

Come li riveliamo?

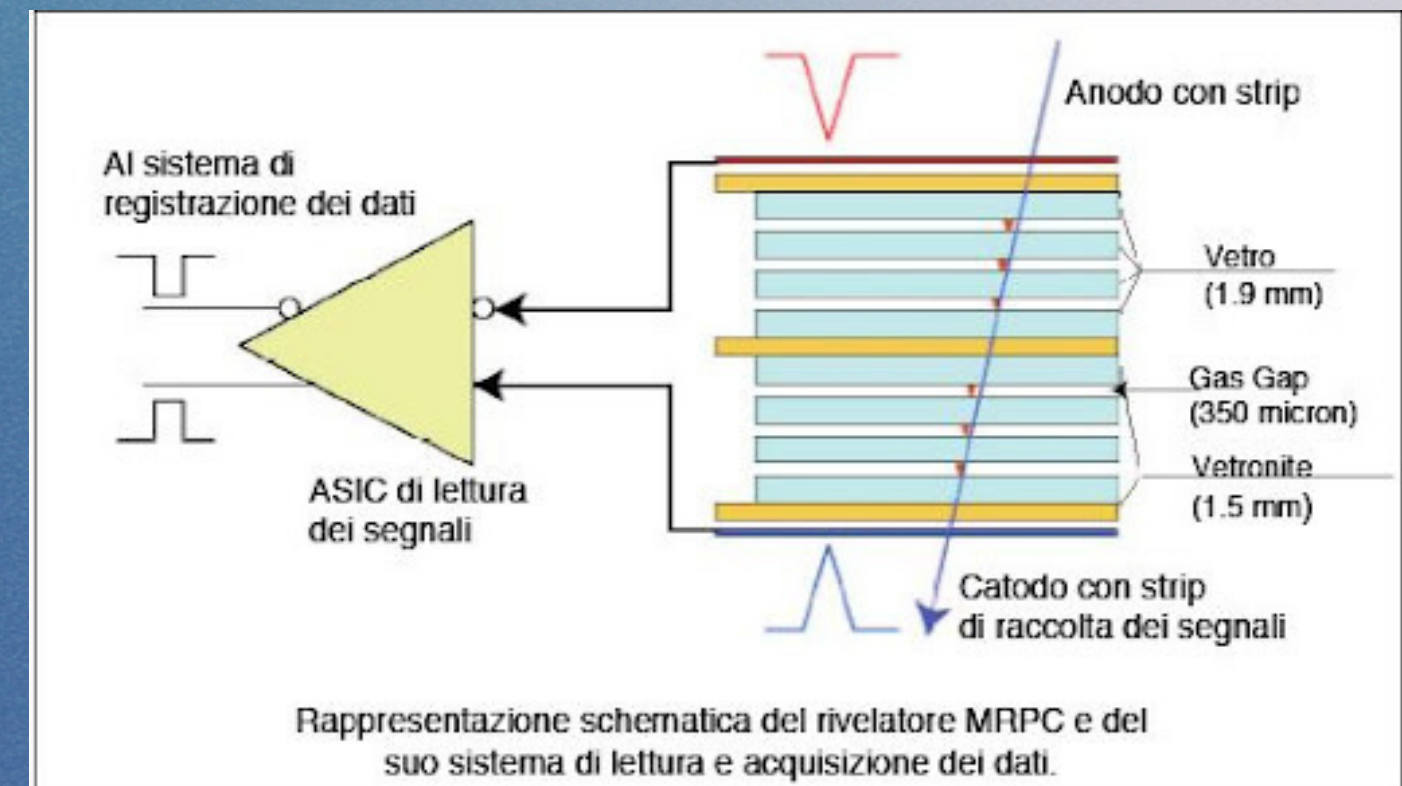
Telescopio EEE

rivelatore MRPC
(Multigap Resistive Plate Chamber)

Il flusso dei muoni è determinato dalla traccia ricostruita dalla rilevazione dei 3 punti di impatto (uno per piano) sulle tre camere (HIT)



Telescopio Albertelli

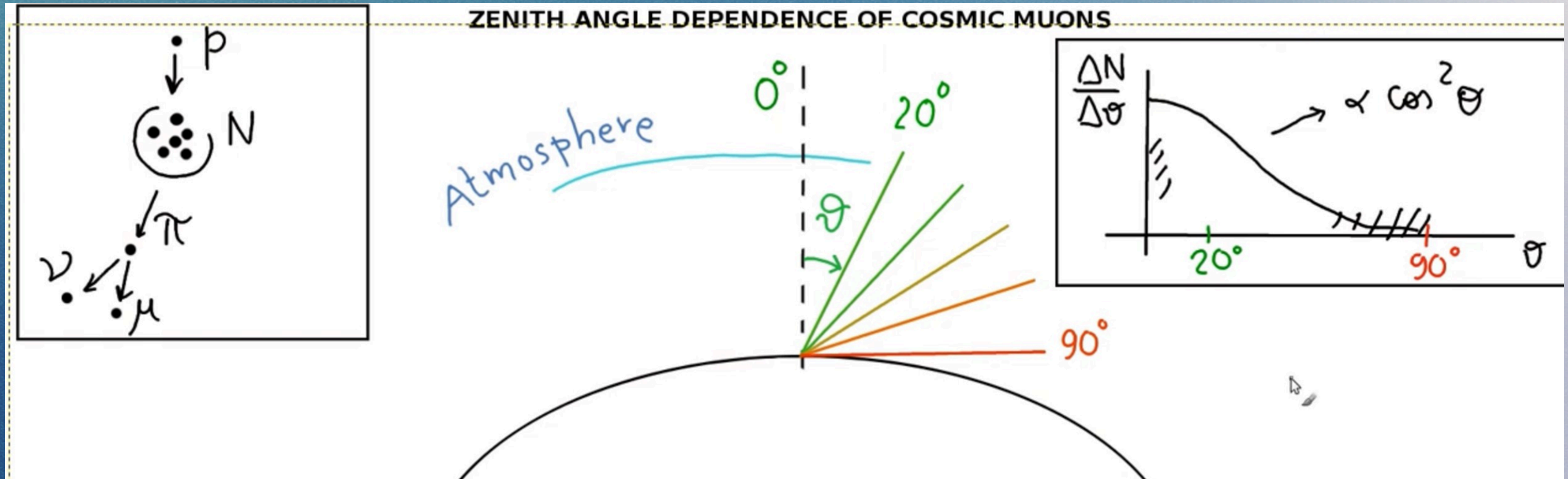


Distribuzione angolare zenitale ideale dell'arrivo dei muoni

La direzione di provenienza del muone è individuata attraverso due angoli θ e φ .

θ = angolo zenitale, calcolato rispetto alla verticale

φ = angolo azimutale, angolo tra la proiezione sul piano orizzontale xy e l'asse x (rispetto ad un lato delle camere)



Analisi dati

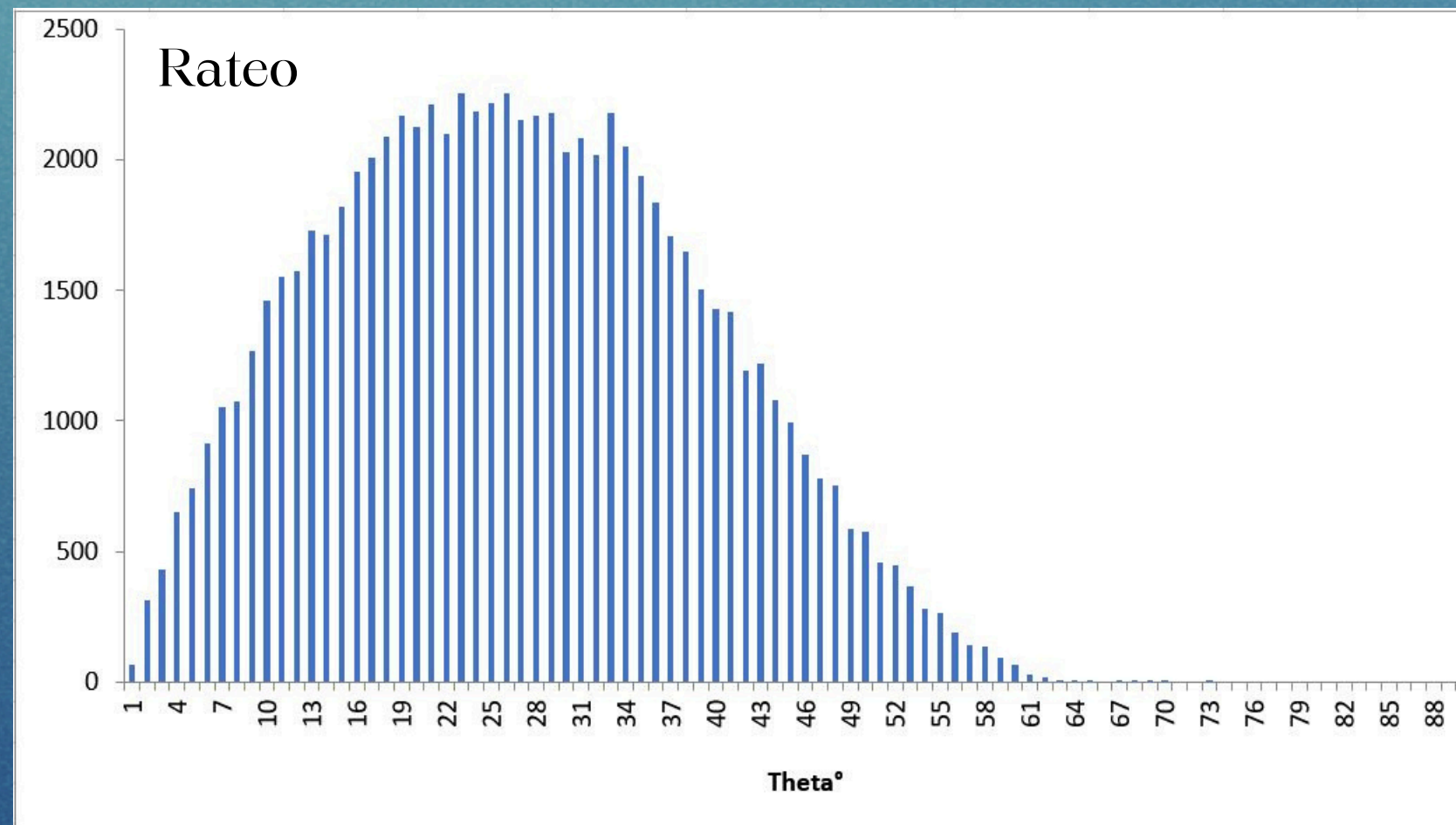
Data Query

Request a subset of data		Logge
Submit Preview Back		
Entry time:	Sun Apr 13 13:53:30 2025	
Author:	ROMA-01	
MC:	☐	
Output format:	CSV	
Telescope ID:	REGG-01	
Start time:	February 3 Year: 2025	
Stop time:	February 3 Year: 2025	
RunNumber:	☐	
Seconds:	☐	
Nanoseconds:	☐	
Theta:	☒	
Phi:	☐	
ChiSquare:	☐	
TimeOfFlight:	☐	
TrackLength:	☐	
DeltaTime:	☐	
Pressure:	☐	
Cut:	ChiSquare<10&&RunNumber<3	

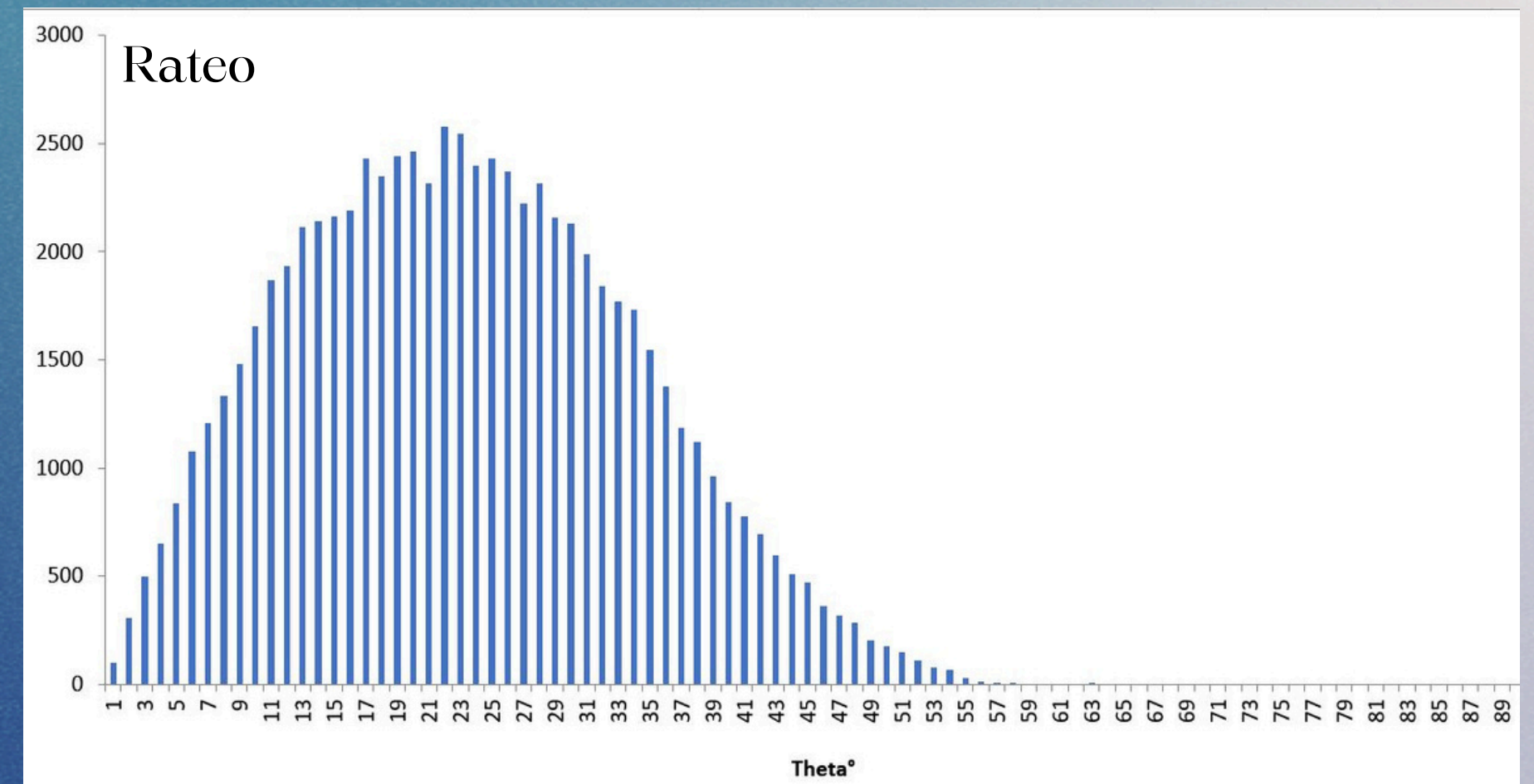
Request a subset of data		Logge
Submit Preview Back		
Entry time:	Sun Apr 13 13:53:30 2025	
Author:	ROMA-01	
MC:	☐	
Output format:	CSV	
Telescope ID:	AREZ-01	
Start time:	January 5 Year: 2025	
Stop time:	January 5 Year: 2025	
RunNumber:	☐	
Seconds:	☐	
Nanoseconds:	☐	
Theta:	☒	
Phi:	☐	
ChiSquare:	☐	
TimeOfFlight:	☐	
TrackLength:	☐	
DeltaTime:	☐	
Pressure:	☐	
Cut:	ChiSquare<10&&RunNumber<3	

Per avere tracce “buone” abbiamo applicato il taglio
Chiquadro<10

Distribuzione dei muoni rispetto a Theta (confronto tra due telescopi)



telescopio Reggio_01
3/02/2025

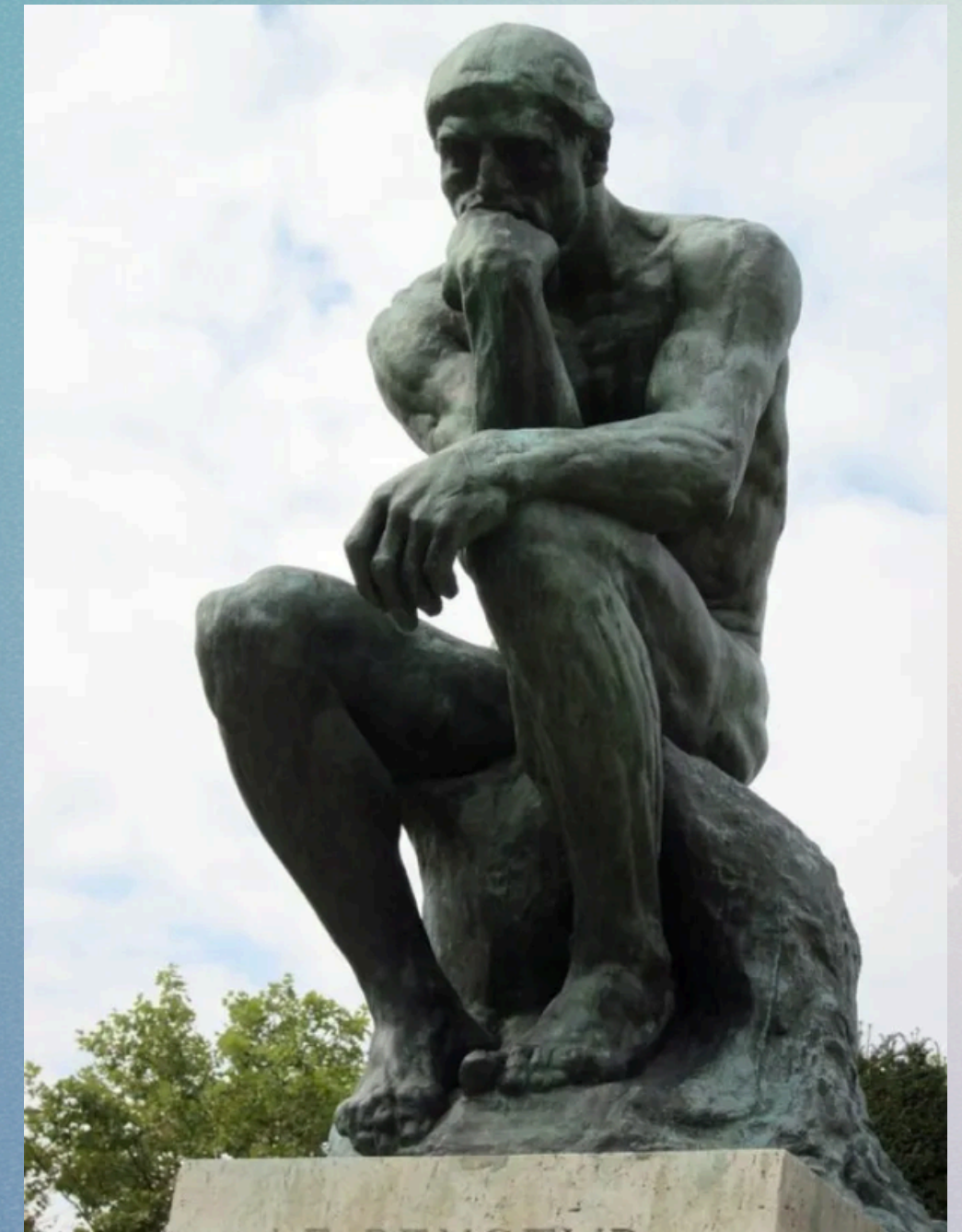


telescopio Arezzo_01
5/01/2025

Analisi del risultato ottenuto

considerazioni:

geometria dello spazio,
geometria del rivelatore e sua efficienza



A. Rodin

Il pensatore (1880-1902)

Parigi, Museo Rodin

Geometria dello spazio

Si suppone che
il rateo dei conteggi/angolo solido sia costante

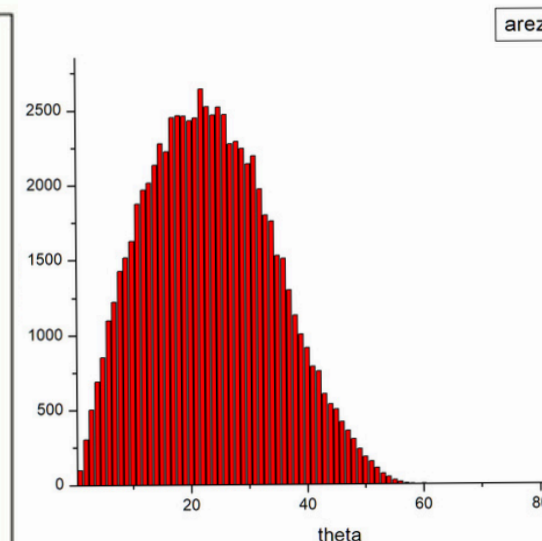
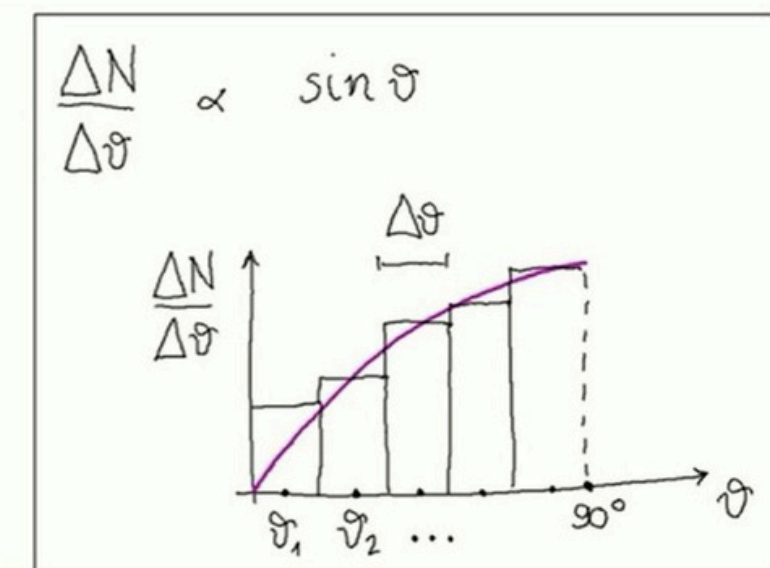
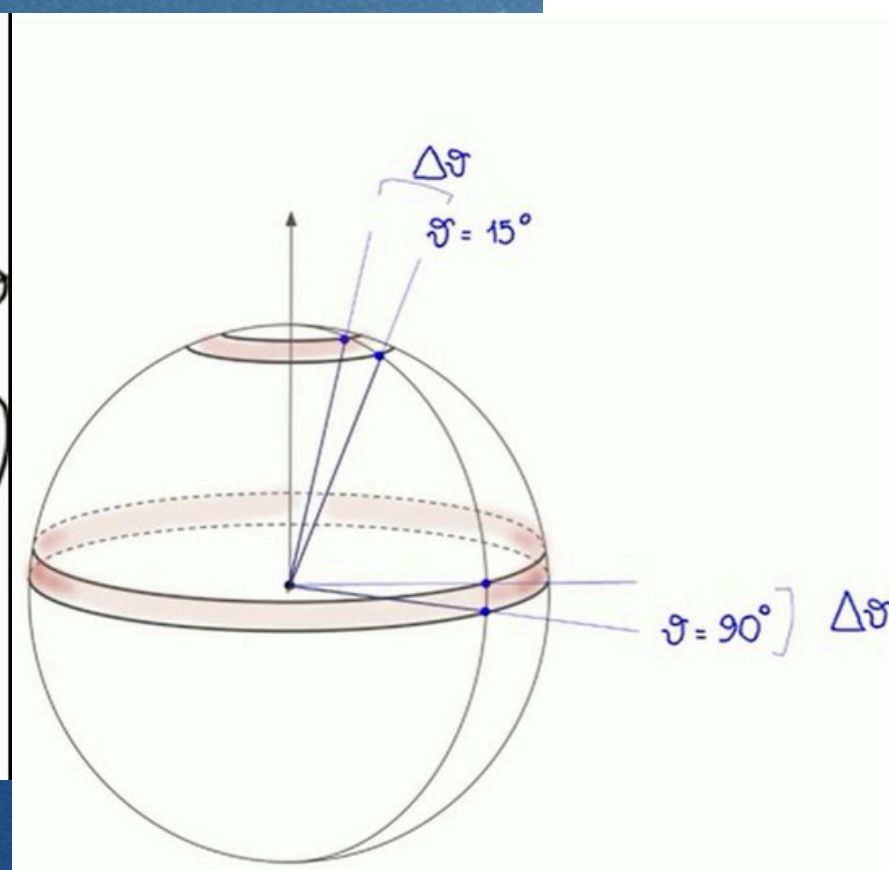
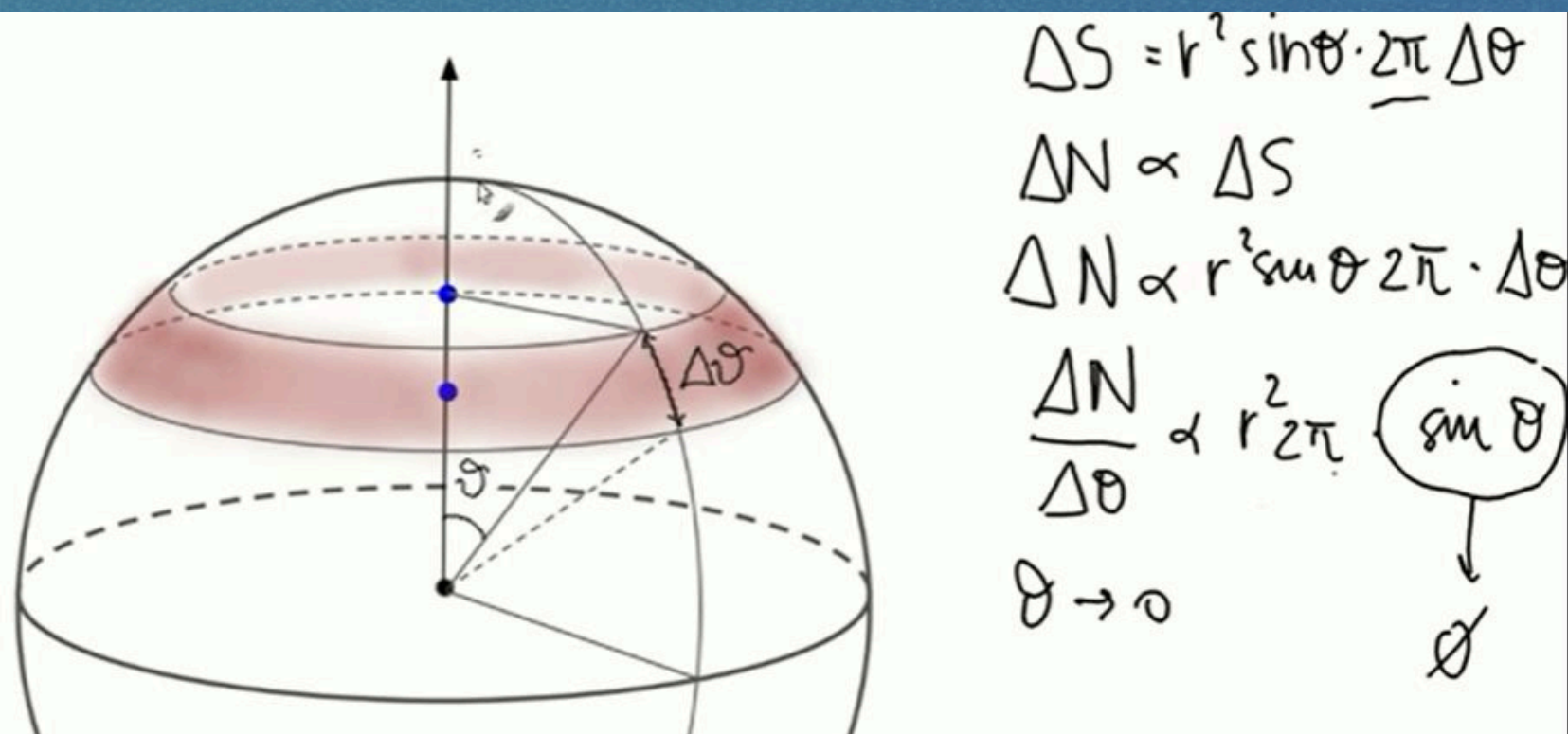
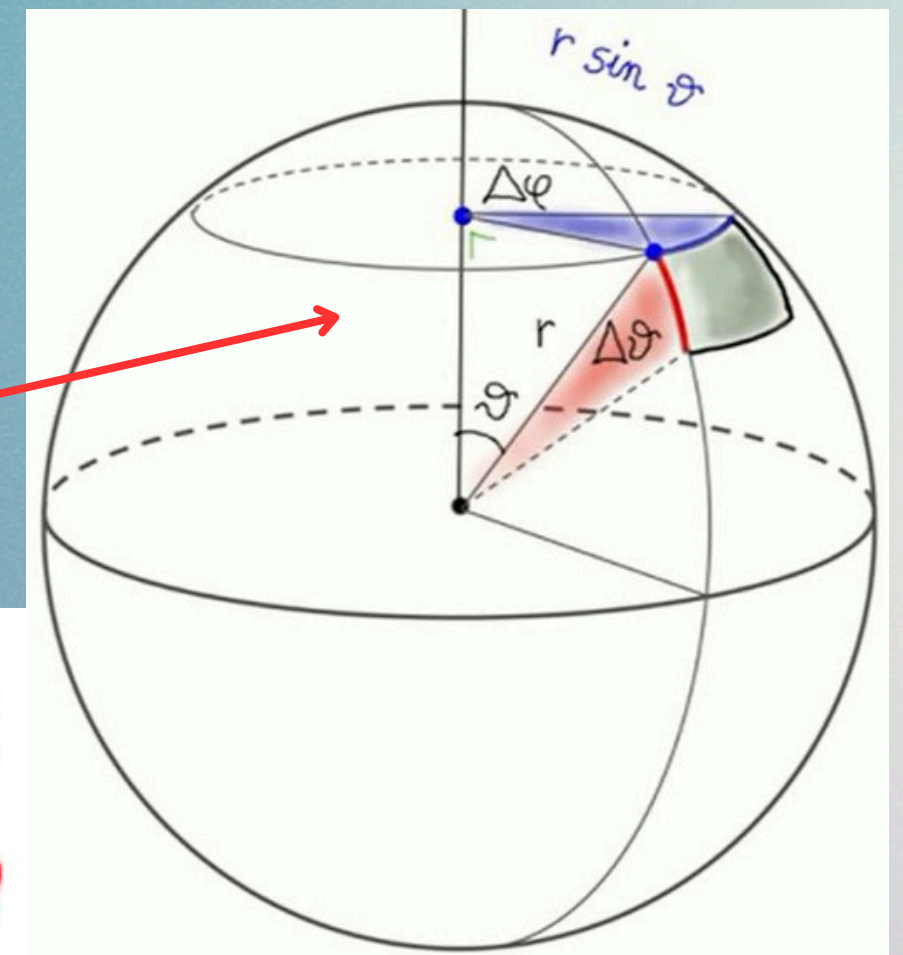
Il numero di muoni N misurato per angolo
solido dipende dall'area ΔS (in verde)

ruotando intorno allo Zenith
stiamo osservando la striscia di arco $\Delta\theta$

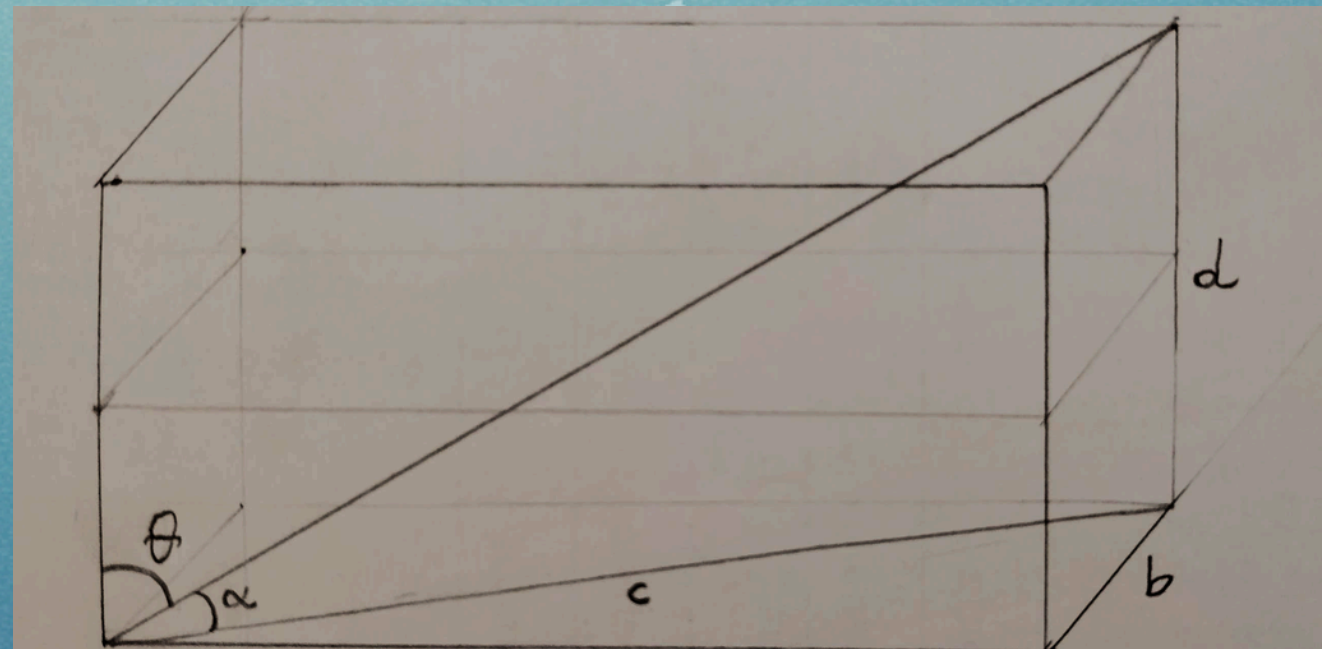
$$\Delta S = r^2 \Delta\Omega$$

$$\Delta\Omega = \sin\theta \Delta\varphi \Delta\theta$$

$$\Delta\varphi = 2\pi$$



Geometria del rivelatore

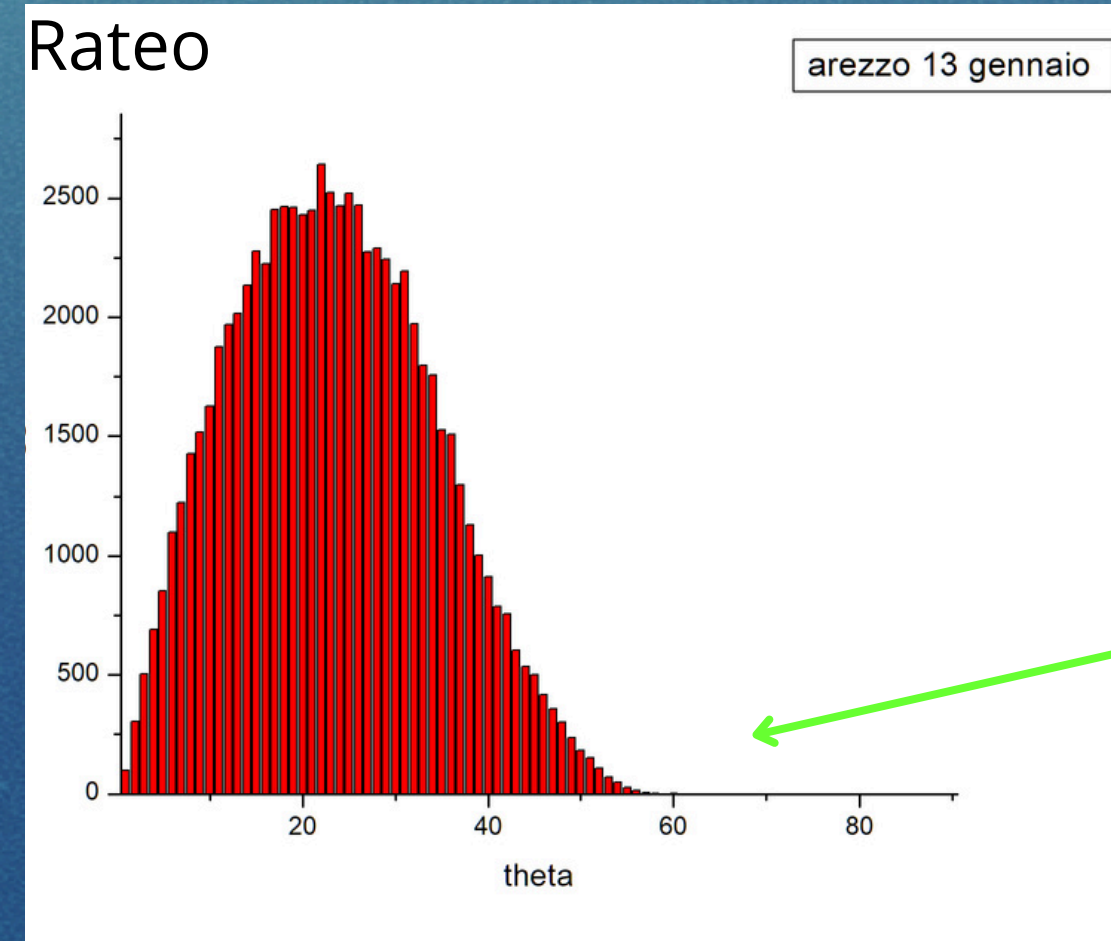


$$a = 2m \quad b = 1m \quad d = 1,20m$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{5}m$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d}{c} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1,20m}{\sqrt{5}m} \right) = 28,2^\circ$$

$$\vartheta = 90^\circ - \alpha = 61,8^\circ$$



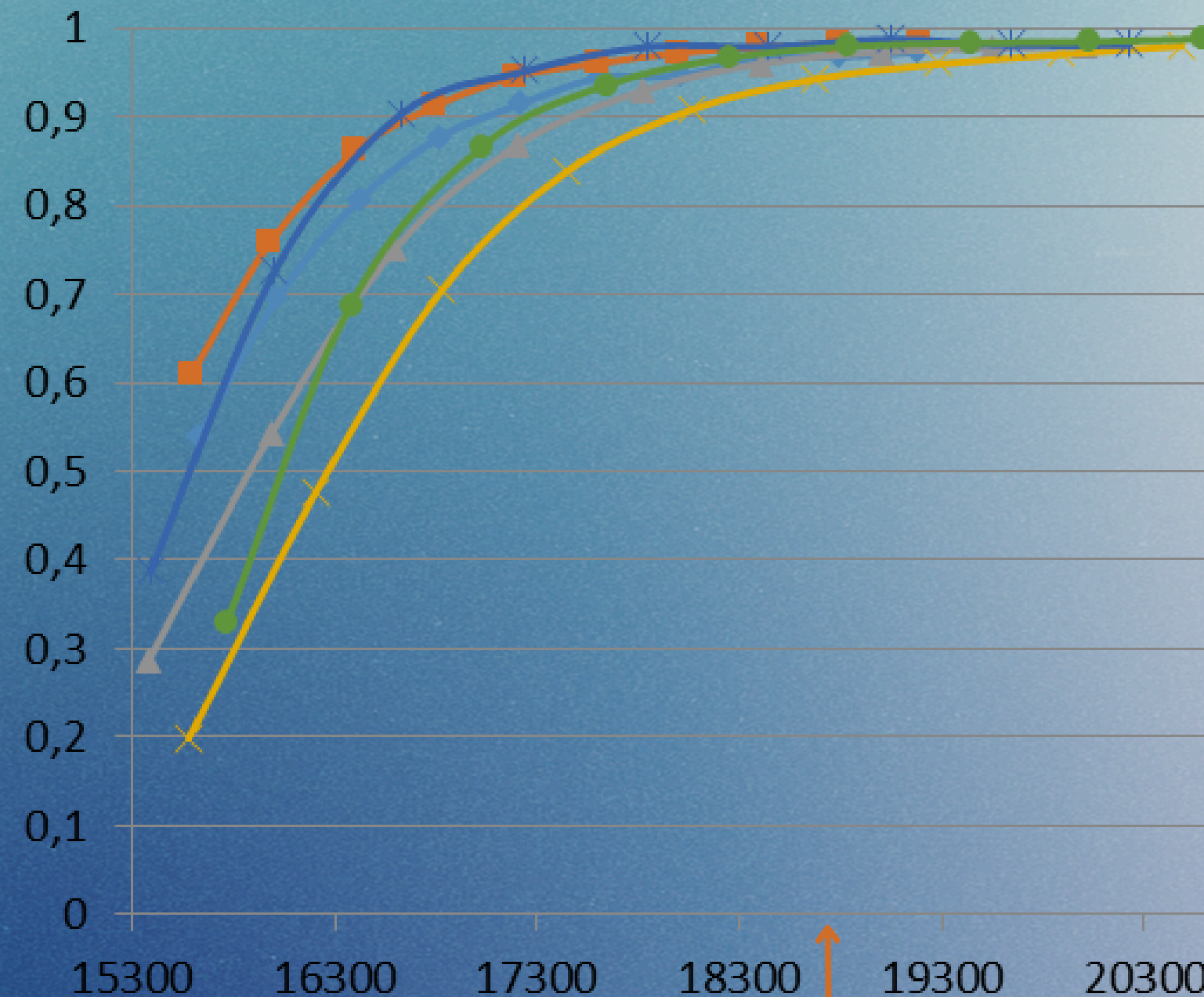
Angolo massimo Theta del nostro rivelatore circa **60 gradi**
i muoni che arrivano per angoli maggiori, non sono rivelati

Efficienza dei rivelatori EEE

- Il prodotto dell'efficienza delle tre camere determina l'efficienza totale
- Si osserva che l'efficienza dipende dalle tensioni applicate alle camere
- Alle tensioni di lavoro delle camere EEE (18-19 kV) l'efficienza è quasi 100% (circa 98%)

Non è necessario apportare correzioni

Efficienza



Tensione eV

Correzione

Il numero di muoni/ θ sperimentale è dato dal prodotto di 3 fattori

*)

$$\frac{\Delta N}{\Delta \theta} (\text{sperimentale}) = F(\theta) r^2 2\pi \sin \theta A(\theta, \varphi)$$

geometria rivelatore

geometria spazio

Vogliamo estrarre $F(\theta)$: la reale distribuzione F dei muoni al variare di θ
Come facciamo?

Consideriamo una distribuzione zenitale isotropica simulata (MC)

**)

$$\frac{\Delta N}{\Delta \theta} (MC) = K r^2 2\pi \sin \theta A(\theta, \varphi)$$

Dividendo *) dati per **) (dopo una correzione sui MC)
determiniamo $F(\theta)/K$

Simulazione MC Nuova Query

iatw.cnaf.infn.it/eee/elog/Query/?cmd=New

Request a subset of data

Logg

Submit

Preview

Back

Entry time:

Sun Apr 13 13:53:30 2025

Author:

ROMA-01

MC:

☒

Output format:

CSV

Telescope ID:

REGG-01

Start time:

February

3

Year: 2025

Stop time:

February

3

Year: 2025

RunNumber:

☐

Seconds:

☐

Nanoseconds:

☐

Theta:

☒

Phi:

☐

ChiSquare:

☐

TimeOfFlight:

☐

TrackLength:

☐

DeltaTime:

☐

Pressure:

☐

Cut:

ChiSquare<10&&RunNumber<3

iatw.cnaf.infn.it/eee/elog/Query/?cmd=New

Request a subset of data

Logge

Submit

Preview

Back

Entry time:

Sun Apr 13 13:53:30 2025

Author:

ROMA-01

MC:

☒

Output format:

CSV

Telescope ID:

AREZ-01

Start time:

January

5

Year: 2025

Stop time:

January

5

Year: 2025

RunNumber:

☐

Seconds:

☐

Nanoseconds:

☐

Theta:

☒

Phi:

☐

ChiSquare:

☐

TimeOfFlight:

☐

TrackLength:

☐

DeltaTime:

☐

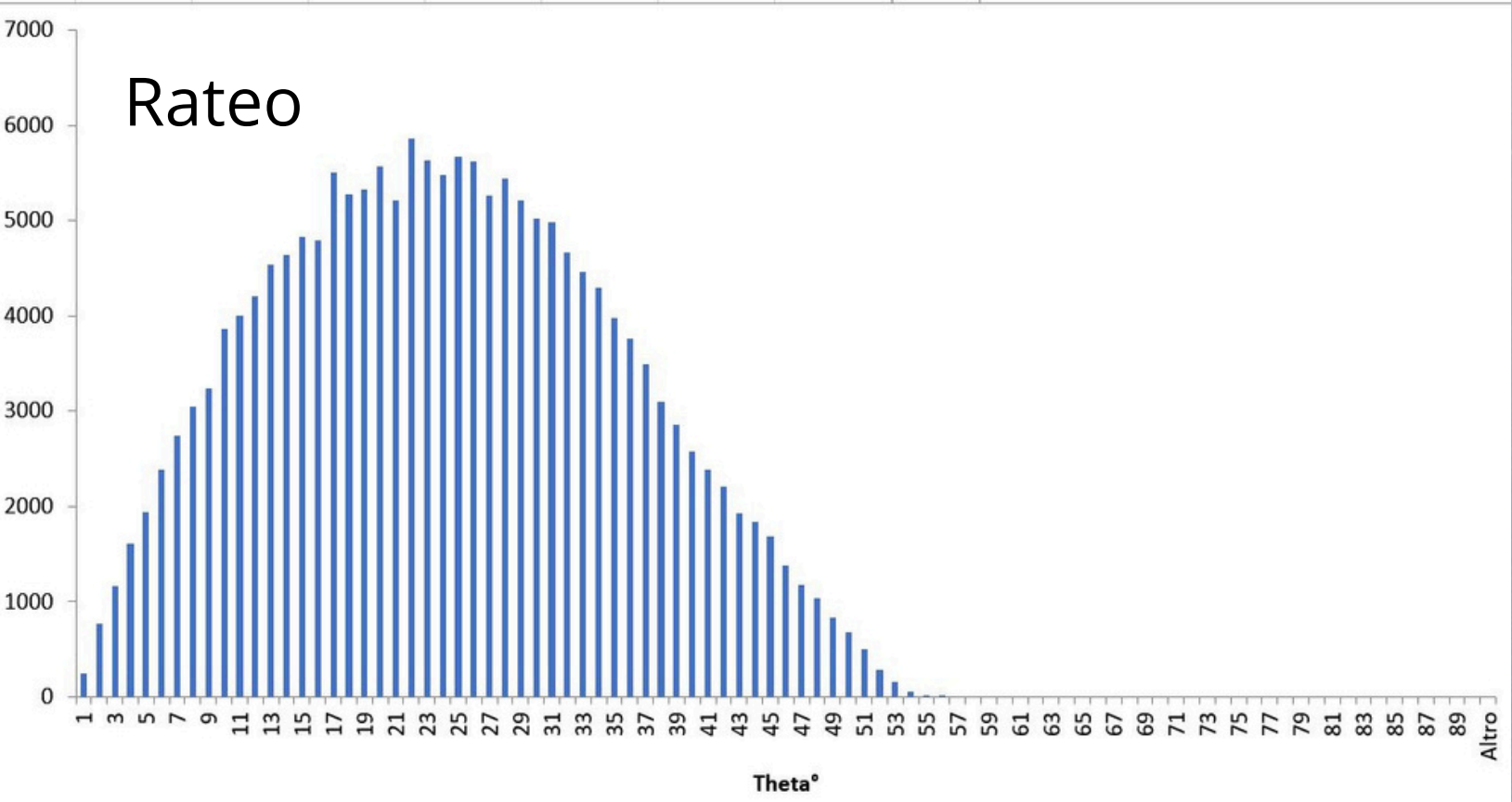
Pressure:

☐

Cut:

ChiSquare<10&&RunNumber<3

Distribuzione MC



Normalizzazione dati MC

La **distribuzione Sperimentale** e quella **MC** contengono un numero diverso di eventi:
dobbiamo normalizzare i dati MC per rendere le due distribuzioni confrontabili

$F_{sp} \rightarrow \text{rateo sperimentale}$

$F_{MC} \rightarrow \text{rateo MC}$

IPOTESI

La simulazione MC produce con buona approssimazione le misure per θ piccolo:
per l'angolo $\theta=1^\circ$ la Frequenza sperimentale si suppone uguale a quella MC

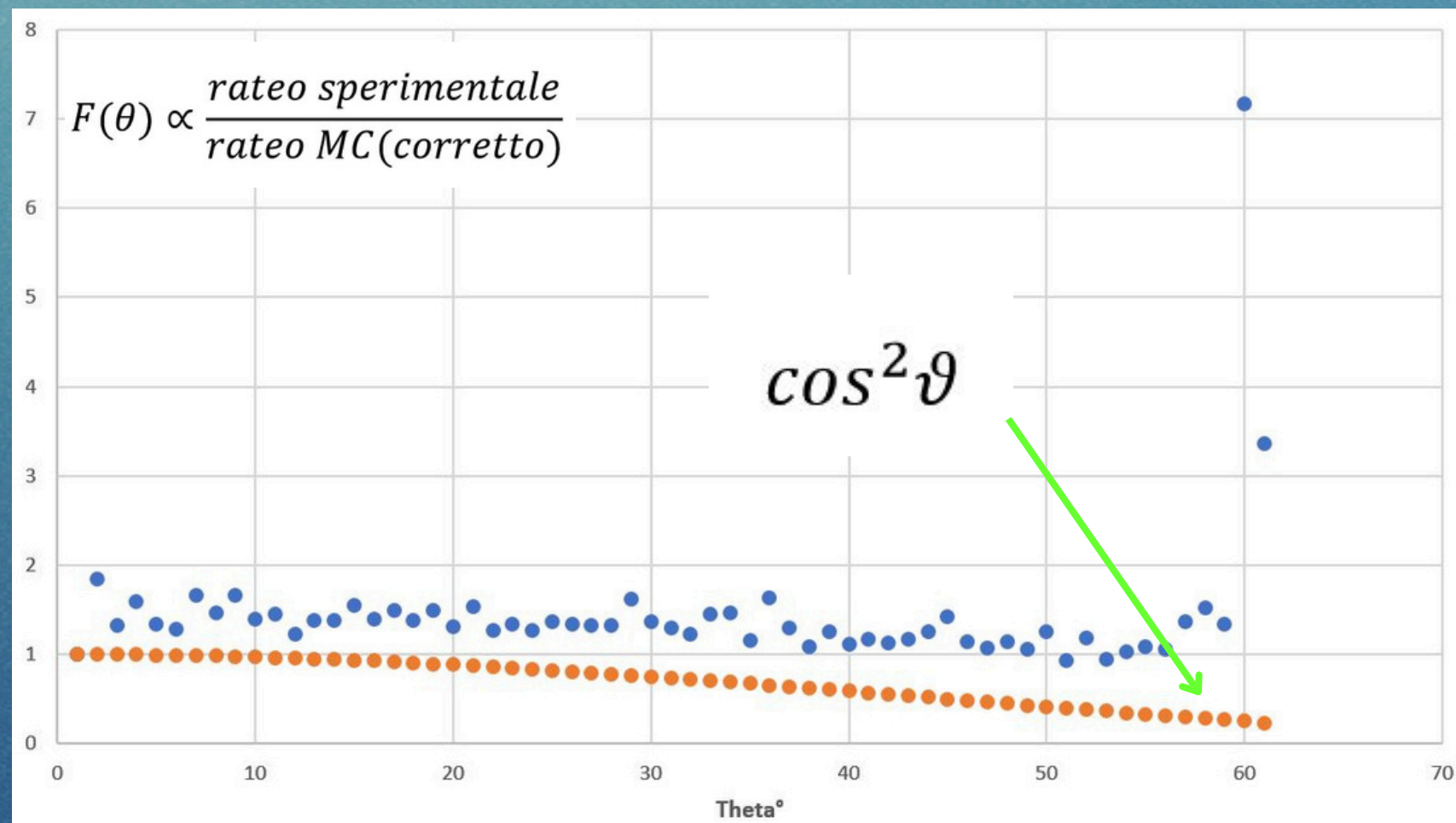
$$F_{sp}(\theta = 1^\circ) = F_{MC}(\theta = 1^\circ)$$

Correzione

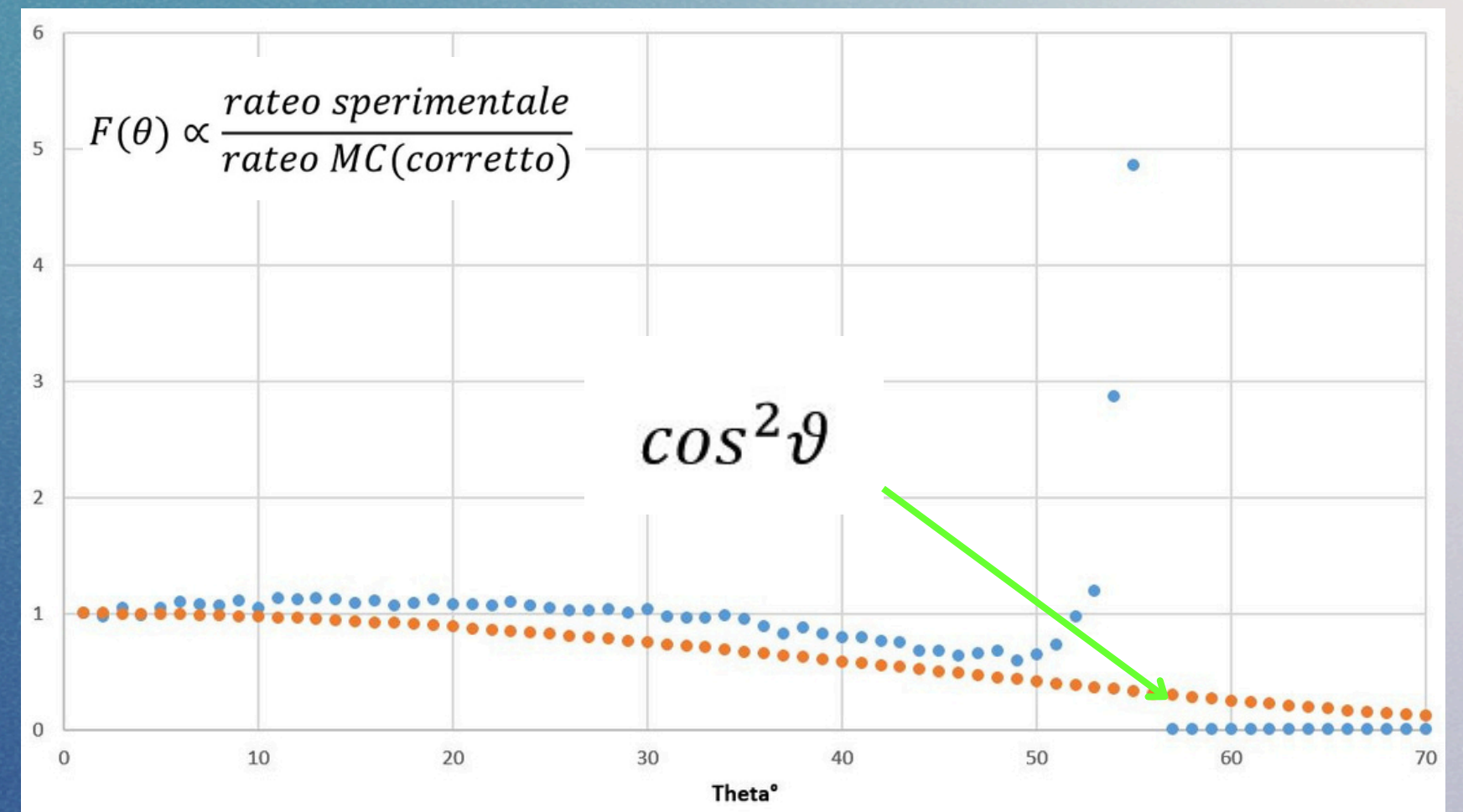
$$F_{MC}(\text{corretto}) = F_{MC}(\theta) \frac{F_{sp}(\theta = 1^\circ)}{F_{MC}(\theta = 1^\circ)} = F_{MC}(\theta) \mathbf{c}$$

Risultato finale

Cofrontiamo il **Rapporto tra rateo sperimentale e rateo simulato** in funzione di Theta con la **funzione $\cos^2\theta$**



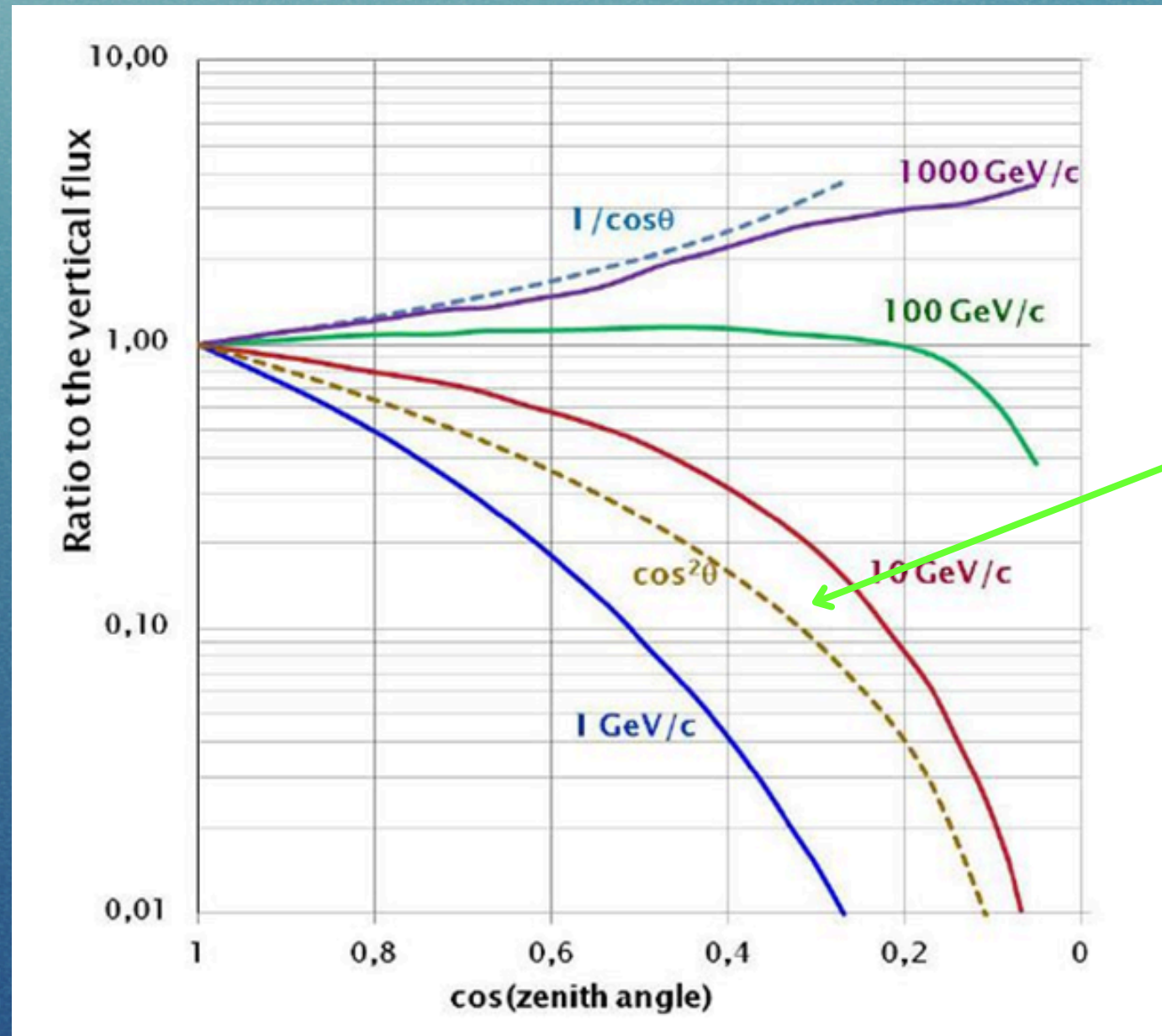
Reggio 01



Arezzo 01

Si osserva che il rateo reale (blu) segue l'andamento della curva arancione

Conclusione



Le misure che abbiamo analizzato riguardano muoni che cadono in questa fascia di energia

Abbiamo verificato che, apportando le opportune correzioni, la distribuzione angolare dei muoni $F(\theta)$, rispetto all'angolo zenitale θ , a livello del mare, segue l'andamento della funzione

$$\cos^2\vartheta$$

Distribuzione angolare dei muoni a Terra in funzione dell'angolo zenitale in relazione alle diverse energie

Ringraziamenti

GRAZIE.. GRAZIE.. GRAZIE..

Bibliografia

<https://project-cms-rpc-endcap.web.cern.ch/rpc/Chambers/OtherEXP/ALice/EEE.pdf>

<https://web.infn.it/OCRA/i-muoni/>

https://www.youtube.com/watch?v=vtc_6UV_DxQ&t=14s

<https://www.youtube.com/watch?v=bl2uZhsT9pk>

<https://web.infn.it/OCRA/misura-della-distribuzione-angolare-dei-muoni/>

<https://web.infn.it/OCRA/misura-dei-muoni-in-funzione-dellangolo-di-zenith/>

<https://agenda.centrofermi.it/event/100/contributions/691/attachments/364/557/fermi.pdf>

https://agenda.centrofermi.it/event/70/contributions/461/attachments/288/418/Guida_ICD.pdf

<https://slideplayer.it/slide/14989899/>

