

# International Cosmic Day 2019

---

**Analisi dati e  
Istruzioni per compilare le  
relazioni finali**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE



Lo spessore di materia in fisica delle particelle si misura in unita' di  $\text{g cm}^{-2}$ .  
Sopra le nostre teste e' presente uno strato di atmosfera.

**Sulla verticale a 0 gradi**  
 $X_0 = 1030 \text{ g cm}^{-2} \rightarrow$  Equivalente a 1 m di piombo.

**Inclinazione a 90 gradi**  
 $X_{90} = 36000 \text{ g cm}^{-2} \rightarrow$  Equivalente a 36 m di piombo.

Un muone con una traiettoria perpendicolare attraversera' una quantita' di materia inferiore rispetto ad una traiettoria angolata.

**I muoni perdono energia attraversando la materia quindi ci aspettiamo un'intensita' inferiore a grandi angoli.**

$$I(\theta) = I_0 \cos^2(\theta)$$

$I(\theta)$  intensita' all'angolo  $\theta$   
 $I_0$  intensita' a 0 gradi  
 $I_0 \sim 70 (\text{m}^2 \text{ s sr})^{-1}$

$h_0 = 40 \text{ km}$

$h_0 = 700 \text{ km}$

**Obiettivo:** stimare quanti muoni al secondo impattano su una superficie di un metro quadrato cioè il flusso.

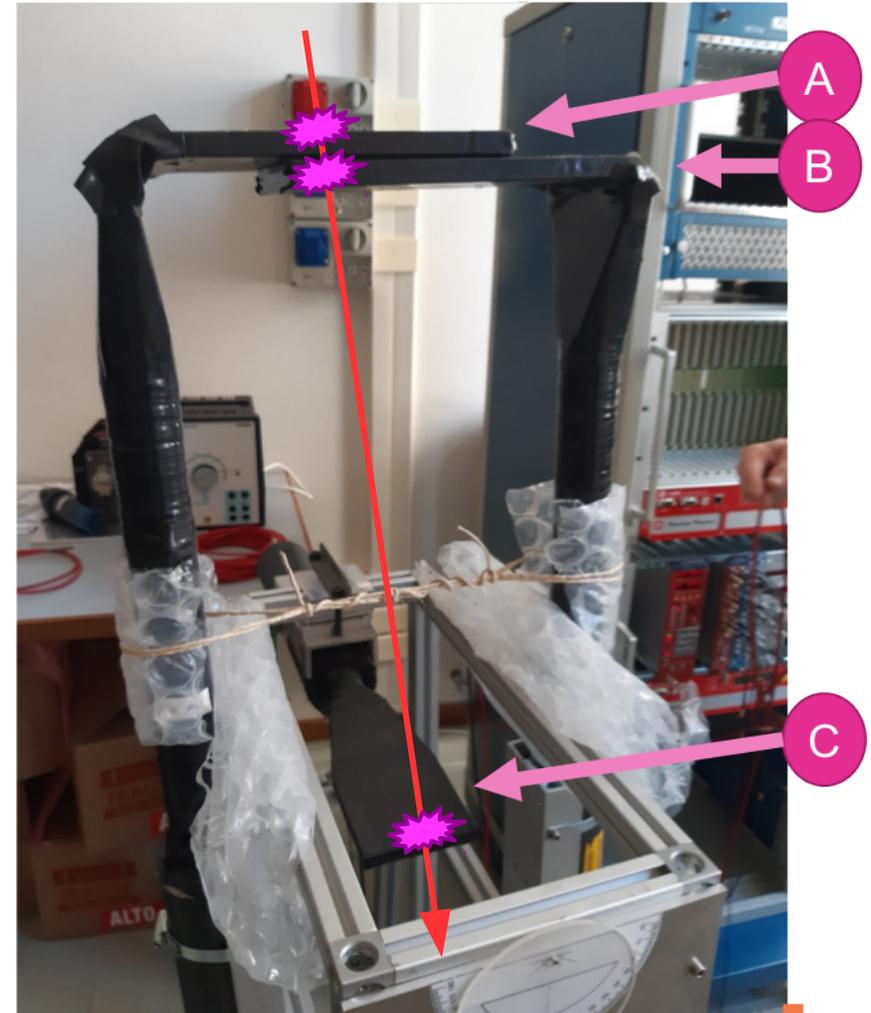
**Come:** il flusso si calcola come:

$$F = \frac{N}{A * T}$$

**N:** e' il numero di conteggi che abbiamo misurato in laboratorio

**T:** e' il tempo totale di acquisizione che abbiamo misurato

**A:** e' l'accettanza del detector, cioè il fattore che tiene conto della dimensione del nostro detector



**Obiettivo:** stimare quanti muoni al secondo impattano su una superficie di un metro quadrato cioè il flusso.

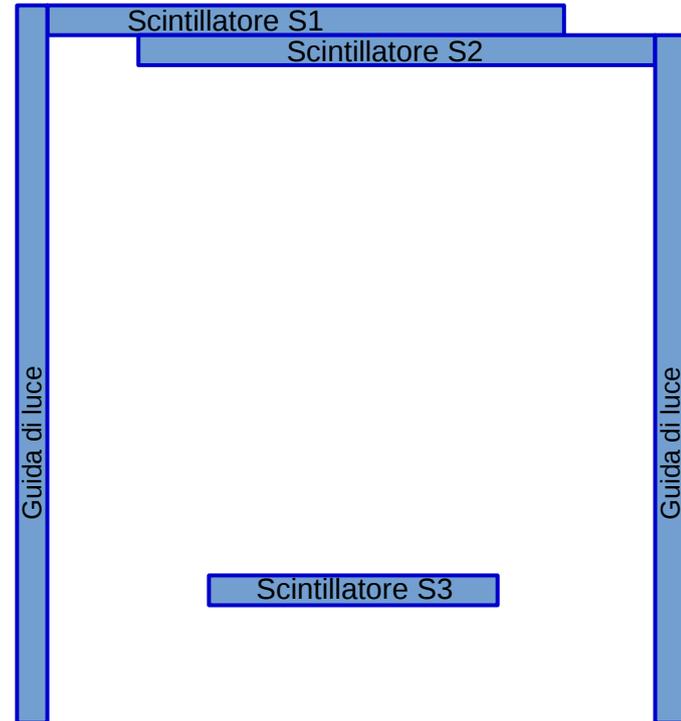
**Come:** il flusso si calcola come:

$$F = \frac{N}{A * T}$$

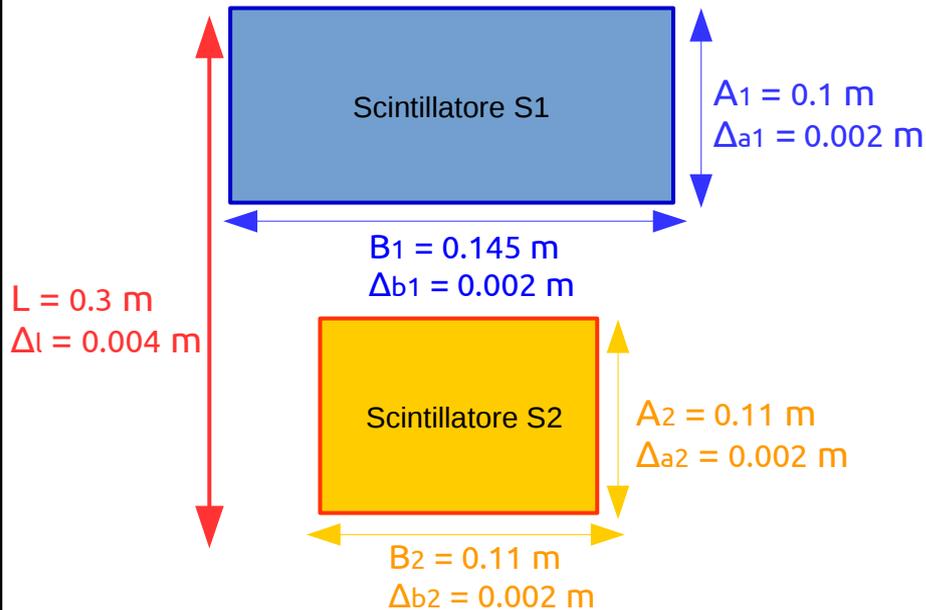
**N:** e' il numero di conteggi che abbiamo misurato in laboratorio

**T:** e' il tempo totale di acquisizione che abbiamo misurato

**A:** e' l'accettanza del detector, cioè il fattore che tiene conto della dimensione del nostro detector



## Dimensioni scintillatori



## Incertezze

Per misure moltiplicate tra loro:

$$x = a * b / c$$

$$\frac{\Delta X}{x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2}$$

Per una misura moltiplicata per costante:

$$x = \sigma * a$$

$$\Delta X = \sigma * \Delta a$$

## Contaggi e tempo vivo

Angolo	Conteggi doppia (N <sub>doppia</sub> )	Conteggi Tripla (N <sub>tripla</sub> )	Tempo acquisizione
0	3491	145	2400 s
20	4488	185	3300 s
40	2813	72	2400 s
60	3556	46	3600
90	63474	331	69420 s

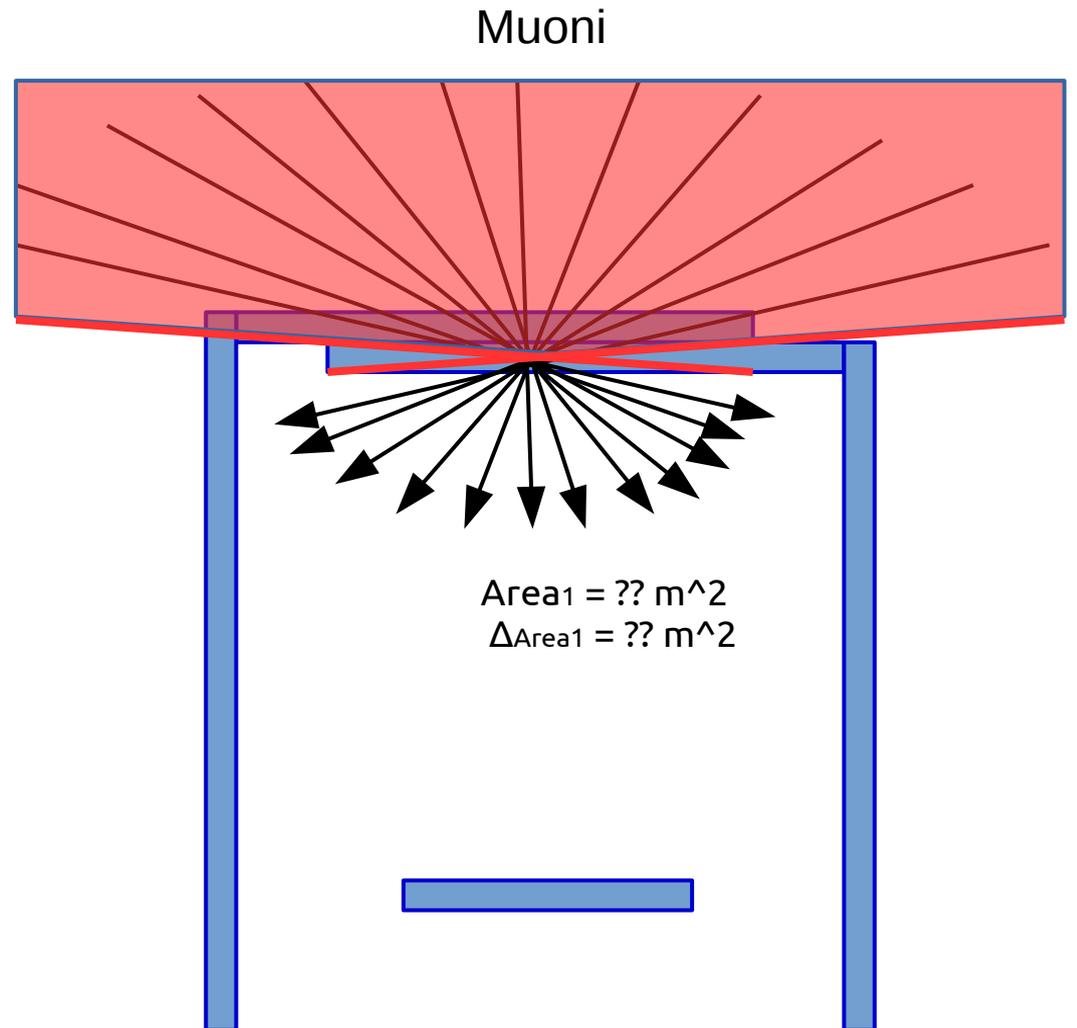
## S1 & S2

Con due coincidenze il cono di apertura all'interno del quale si trovano i muoni misurati e' molto grande e copre essenzialmente l'intero angolo solido.

### Accettanza singolo piano

$$\begin{aligned} A_{\text{dopp}} &= \text{Area}_1 * \pi \\ &= \text{Area}_1 * 3.14 \text{ sr} \\ &= ?? \text{ m}^2 \text{ sr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{dopp}} &= \Delta \text{Area}_1 * \pi \\ &= ?? \text{ m}^2 \text{ sr} \end{aligned}$$



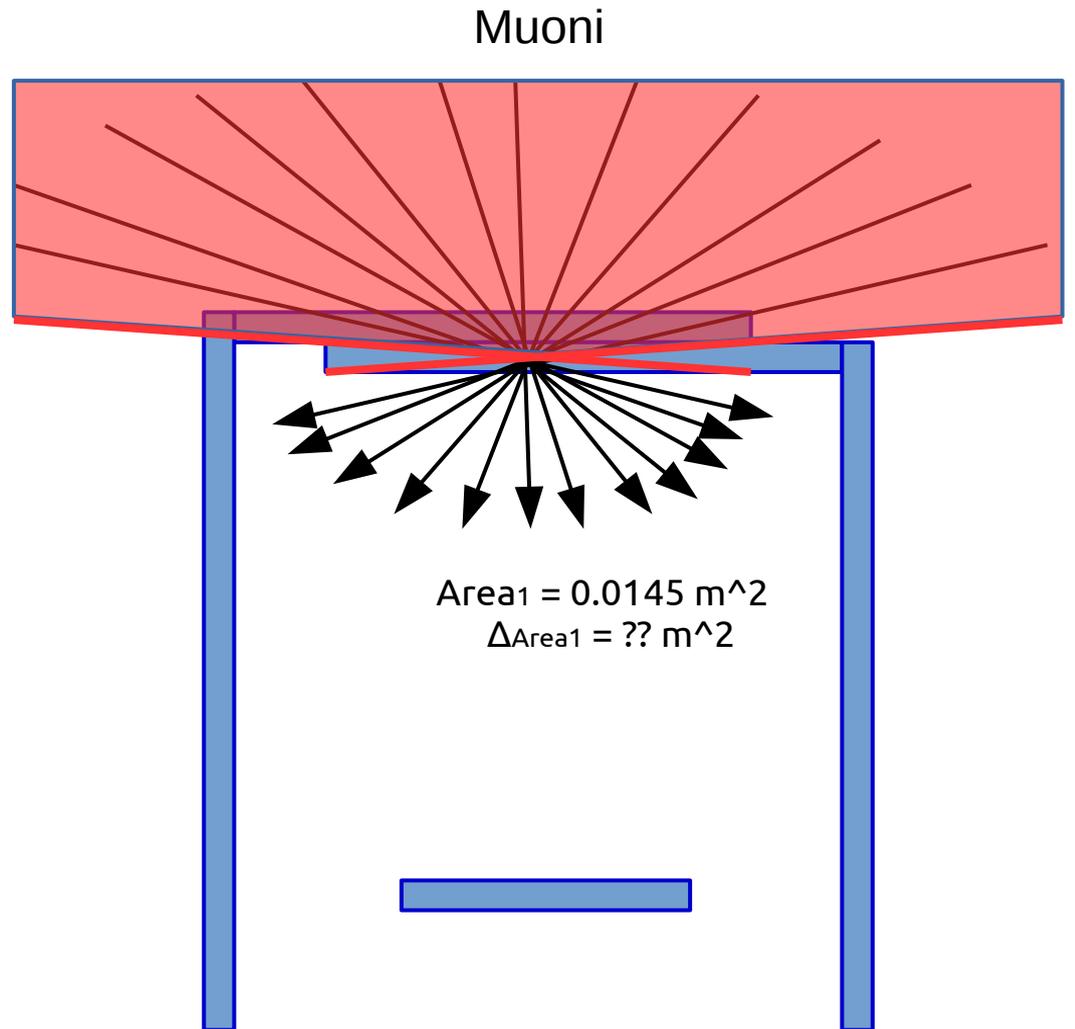
## S1 & S2

Con due coincidenze il cono di apertura all'interno del quale si trovano i muoni misurati e' molto grande e copre essenzialmente l'intero angolo solido.

### Accettanza singolo piano

$$\begin{aligned} A_{\text{dopp}} &= \text{Area}_1 * \pi \\ &= \text{Area}_1 * 3.14 \text{ sr} \\ &= 0.0455 \text{ m}^2 \text{ sr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{dopp}} &= \Delta \text{Area}_1 * \pi \\ &= ?? \text{ m}^2 \text{ sr} \end{aligned}$$



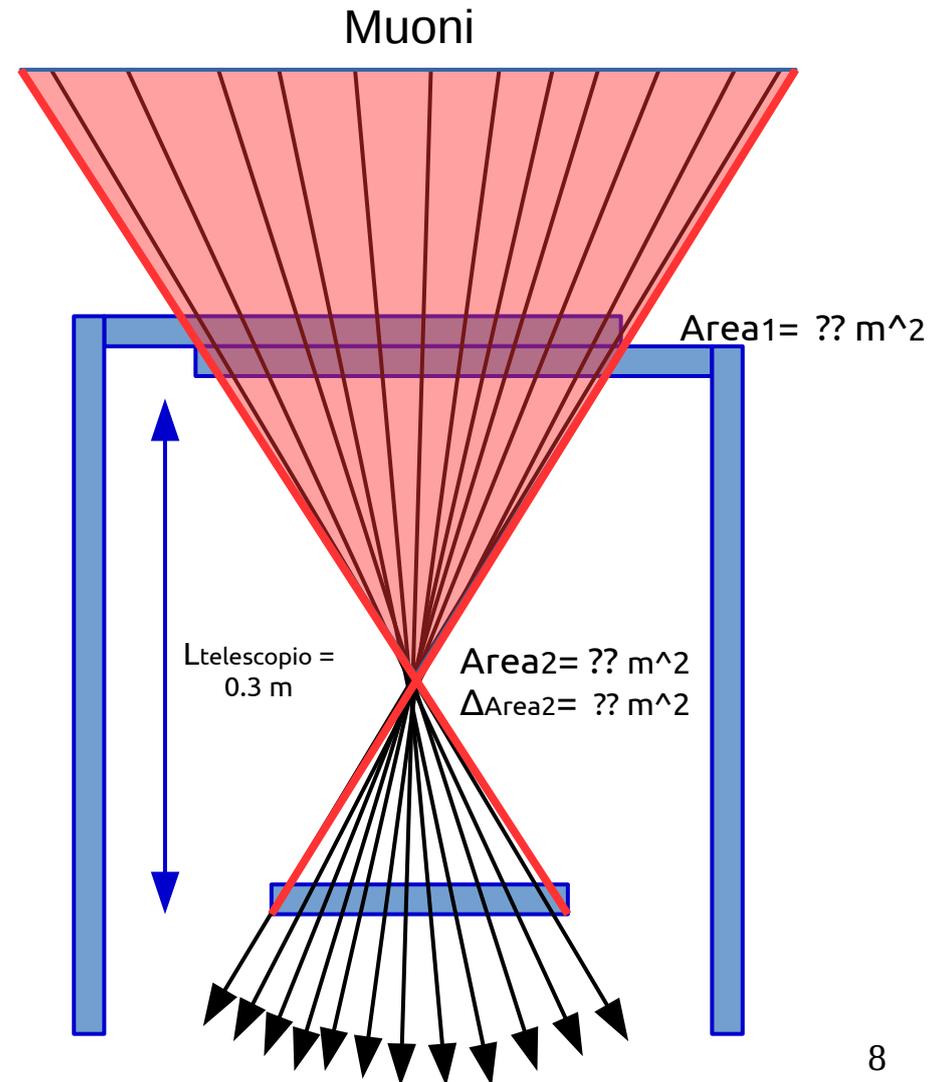
## S1 & S2 & S3

Con tre coincidenze il cono di apertura diminuisce significativamente e solo una frazione dell'angolo solido e' coperta.

### Accettanza telescopio

$$A_{\text{tripla}} = \frac{\text{Area1} * \text{Area2}}{l_{\text{telescopio}} * l_{\text{telescopio}}}$$
$$= \quad ?? \quad \text{m}^2 \text{ sr}$$

$$\Delta A_{\text{tripla}} = \quad ?? \quad \text{m}^2 \text{ sr}$$



## S1 & S2 & S3

Con tre coincidenze il cono di apertura diminuisce significativamente e solo una frazione dell'angolo solido e' coperta.

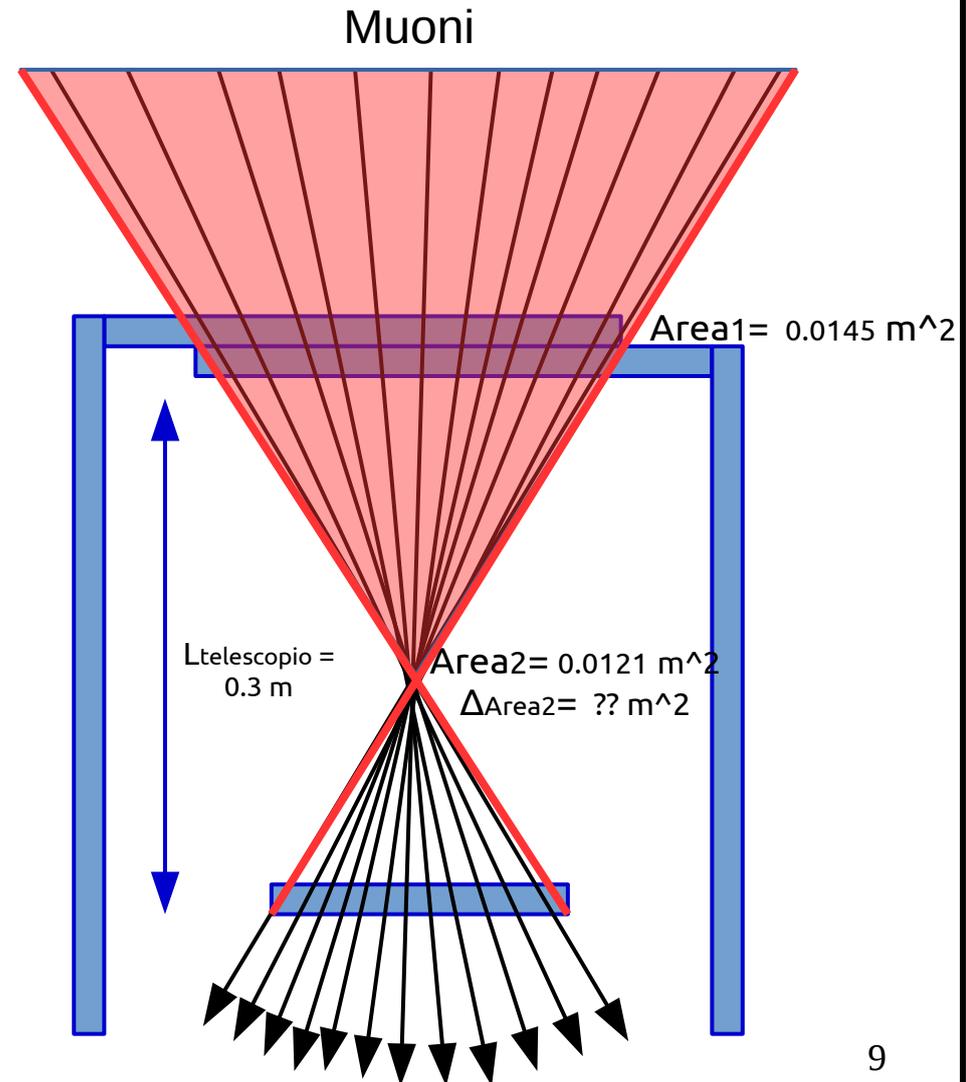
### Accettanza telescopio

$$A_{\text{tripla}} = \frac{\text{Area1} * \text{Area2}}{l_{\text{telescopio}} * l_{\text{telescopio}}}$$
$$= 0.00195 \text{ m}^2 \text{ sr}$$

$$\Delta A_{\text{tripla}} = \quad ?? \quad \text{m}^2 \text{ sr}$$

Atripla e' un limite superiore, il valore che useremo e' una media ed e':

$$A_{\text{tripla media}} = 0.00185 \text{ m}^2 \text{ sr}$$



**Il rapporto tra il numero di conteggi in doppia e in tripla deve essere simile al rapporto tra le accettanze del singolo piano e del telescopio.**

Rapporto Accettanza **telescopio/singola** = ??

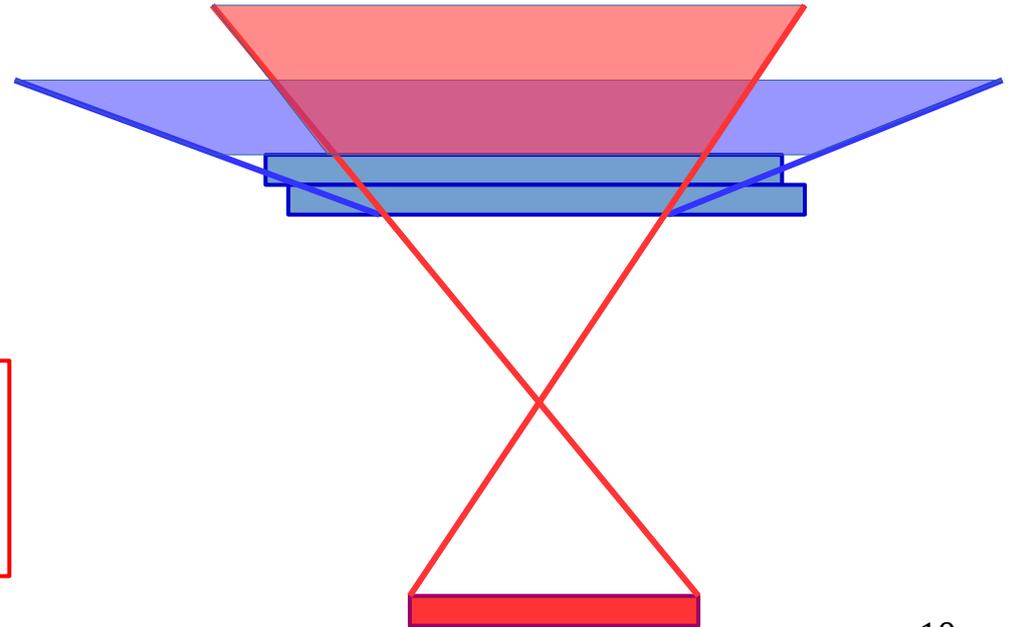
**Ad un angolo di 0 gradi**

Rapporto tripla/doppia = ??

**Ad un angolo di 90 gradi**

Rapporto tripla/doppia = ??

Piu' grande o piu' piccolo del rapporto a 0 gradi? **Perche'?**



**Il rapporto tra il numero di conteggi in doppia e in tripla deve essere simile al rapporto tra le accettanze del singolo piano e del telescopio.**

Rapporto Accettanza **telescopio/singola** = **0.041**

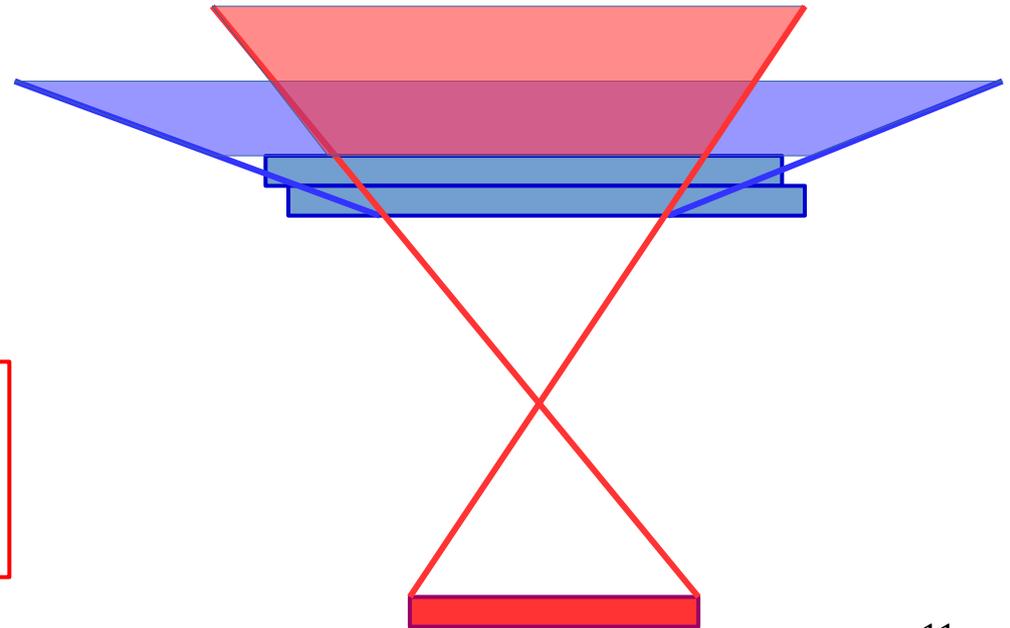
**Ad un angolo di 0 gradi**

Rapporto tripla/doppia = **0.042**

**Ad un angolo di 90 gradi**

Rapporto tripla/doppia = **0.0052**

Piu' grande o piu' piccolo del rapporto a 0 gradi? **Perche'?**



## S1 & S2

Stimare il flusso con la **doppia** coincidenza relativo ai valori dei vari angoli che abbiamo misurato:

$$F_{0\text{dopp}} = \frac{N_{0\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{0\text{dopp}}} = ??$$

$$F_{20\text{dopp}} = \frac{N_{20\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{20\text{dopp}}} = ??$$

$$F_{40\text{dopp}} = \frac{N_{40\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{40\text{dopp}}} = ??$$

$$F_{60\text{dopp}} = \frac{N_{60\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{60\text{dopp}}} = ??$$

$$F_{90\text{dopp}} = \frac{N_{90\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{90\text{dopp}}} = ??$$

$$A_{\text{doppia}} = 0.0455 \text{ m}^2 \text{ sr}$$

## S1 & S2 & S3

Stimare il flusso con la **tripla** coincidenza relativo ai valori dei vari angoli che abbiamo misurato:

$$F_{0\text{tripla}} = \frac{N_{0\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{0\text{tripla}}} = ??$$

$$F_{20\text{tripla}} = \frac{N_{20\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{20\text{tripla}}} = ??$$

$$F_{40\text{tripla}} = \frac{N_{40\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{40\text{tripla}}} = ??$$

$$F_{60\text{tripla}} = \frac{N_{60\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{60\text{tripla}}} = ??$$

$$F_{90\text{tripla}} = \frac{N_{90\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{90\text{tripla}}} = ??$$

$$A_{\text{tripla}} = 0.00185 \text{ m}^2 \text{ sr}$$

Angolo	Conteggi doppia (Ndoppia)	Conteggi Tripla (Ntripla)	Tempo acquisizione
0	3491	145	2400 s
20	4488	185	3300 s
40	2813	72	2400 s
60	3556	46	3600
90	63474	331	69420 s

## S1 & S2

## S1 & S2 & S3

Angolo	Conteggi doppia (Ndoppia)	Conteggi Tripla (Ntripla)	Tempo acquisizione
0	3491	145	2400 s
20	4488	185	3300 s
40	2813	72	2400 s
60	3556	46	3600
90	63474	331	69420 s

Stimare il flusso con la **doppia** coincidenza relativo ai valori dei vari angoli che abbiamo misurato:

$$F_{0\text{dopp}} = \frac{N_{0\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{0\text{dopp}}} = 31.9$$

$$F_{20\text{dopp}} = \frac{N_{20\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{20\text{dopp}}} = 29.9$$

$$F_{40\text{dopp}} = \frac{N_{40\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{40\text{dopp}}} = 25.7$$

$$F_{60\text{dopp}} = \frac{N_{60\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{60\text{dopp}}} = 21.6$$

$$F_{90\text{dopp}} = \frac{N_{90\text{dopp}}}{A_{\text{dopp}} * T_{90\text{dopp}}} = 20.1$$

Stimare il flusso con la **tripla** coincidenza relativo ai valori dei vari angoli che abbiamo misurato:

$$F_{0\text{tripla}} = \frac{N_{0\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{0\text{tripla}}} = 32.7$$

$$F_{20\text{tripla}} = \frac{N_{20\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{20\text{tripla}}} = 30.3$$

$$F_{40\text{tripla}} = \frac{N_{40\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{40\text{tripla}}} = 16.2$$

$$F_{60\text{tripla}} = \frac{N_{60\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{60\text{tripla}}} = 8$$

$$F_{90\text{tripla}} = \frac{N_{90\text{tripla}}}{A_{\text{tripla}} * T_{90\text{tripla}}} = 2.6$$

Unita' di misura del flusso  
 $m^{-2} s^{-1} sr^{-1}$

$$A_{\text{doppia}} = 0.0455 \text{ m}^2 \text{ sr}$$

$$A_{\text{tripla}} = 0.00185 \text{ m}^2 \text{ sr}$$

# Stima degli errori:

## Statistico

Legato al numero di eventi che abbiamo acquisito. Se il numero di eventi e' molto piccolo ci aspettiamo una incertezza maggiore rispetto al caso in cui abbiamo acquisito moltissimi eventi. In generale l'errore sui conteggi e' definito come la radice del numero dei conteggi.

N numero conteggi

$\Delta N$  incertezza sul numero di conteggi

$$\Delta N = \sqrt{N}$$
$$\Delta F = \frac{\Delta N}{A * T}$$

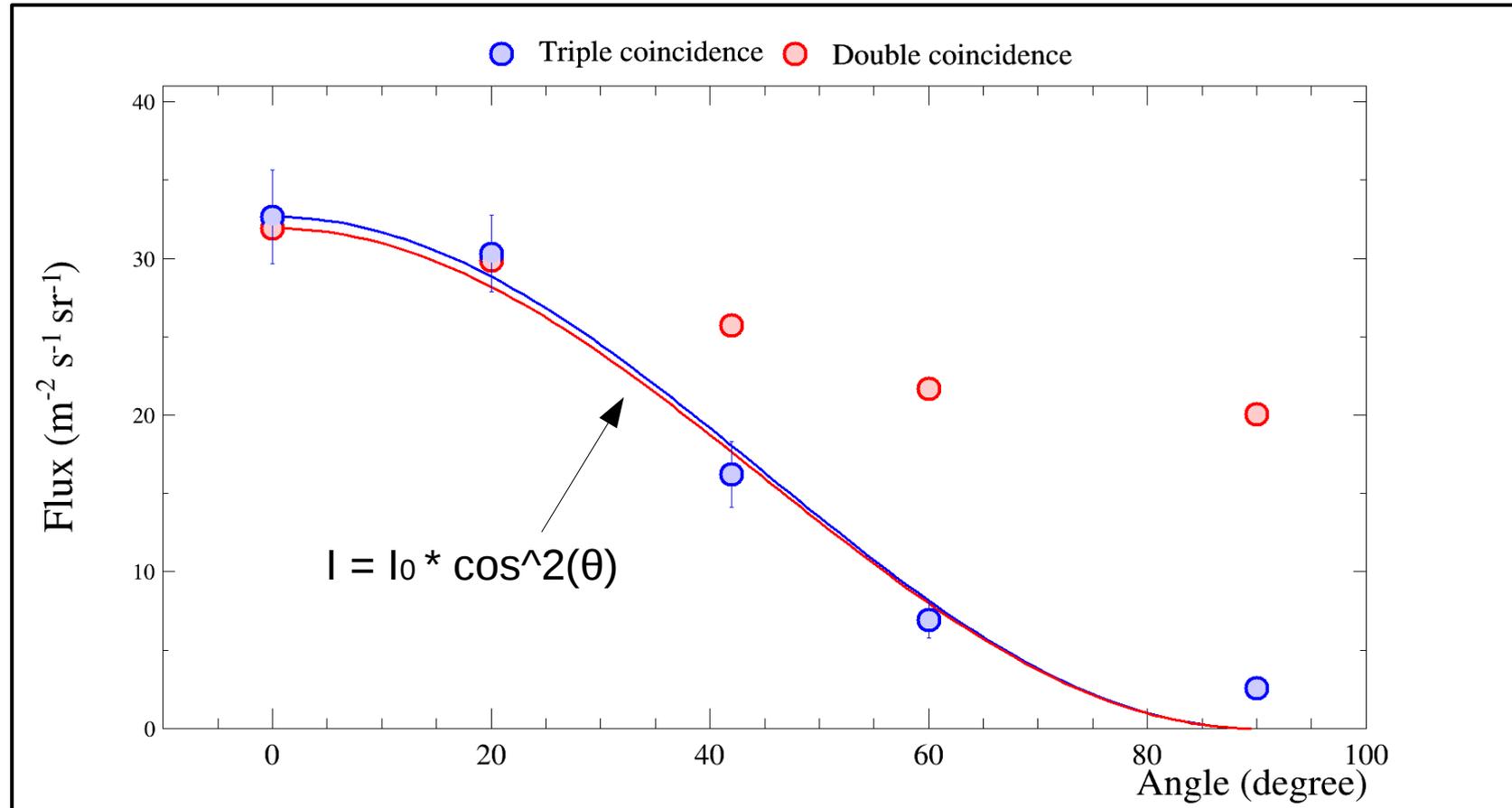
## Sistematico

Nel nostro caso tutte le incertezze relative alla strumentazione. Ad esempio le incertezze sulla dimensione dei rivelatori che si traduce nell'incertezza sull'accettanza e quindi sul flusso dei muoni.

Inoltre il fatto che stiamo misurando i muoni con uno strumento che ha un'apertura angolare finita si traduce in un effetto sistematico di aumento del conteggio rispetto al valore che ci aspettiamo.

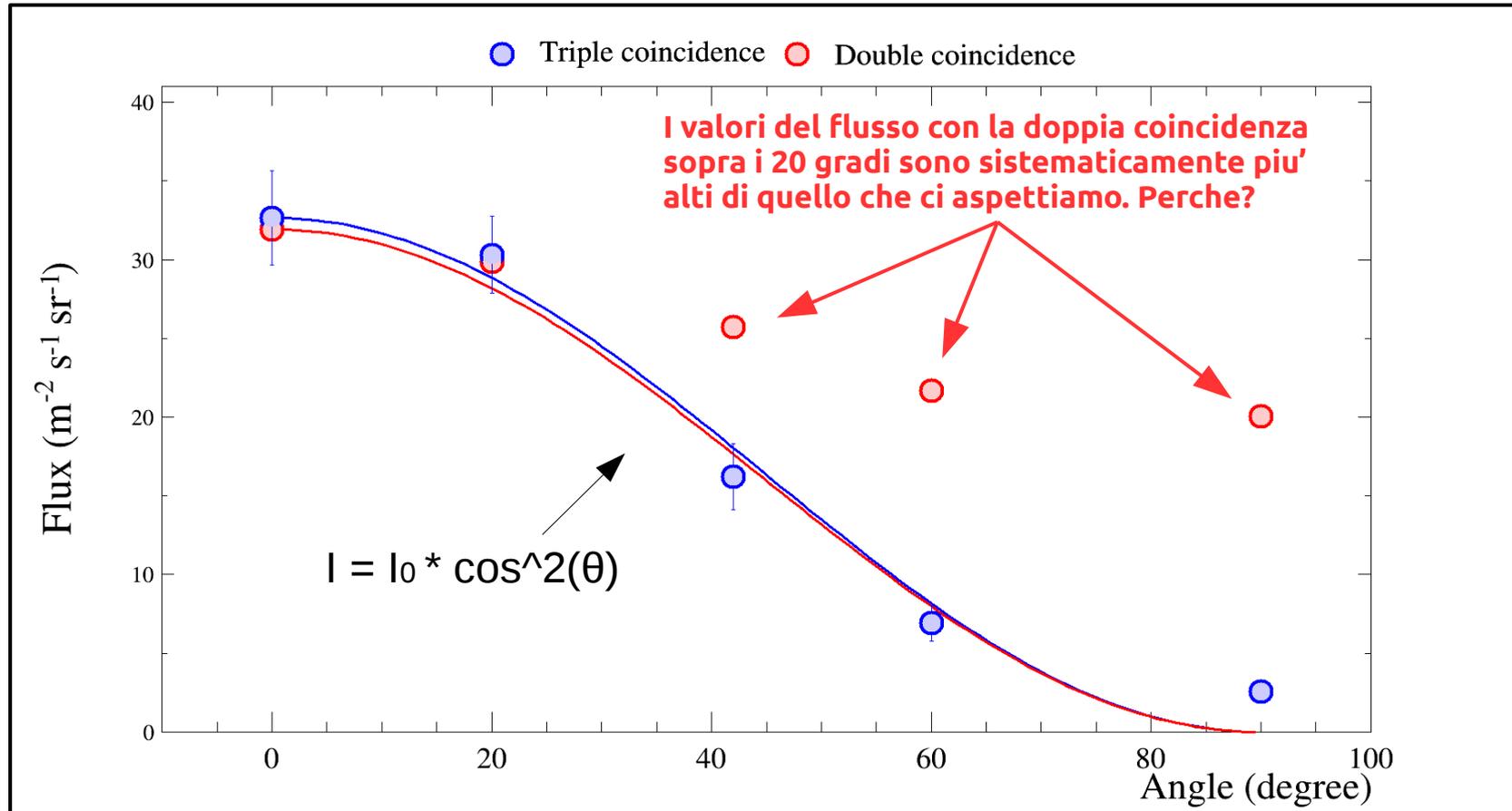
I punti corrispondono al valore del flusso che noi abbiamo calcolato.

**Le linee solide sono il valore che ci aspettiamo (date le ipotesi di partenza) del flusso a diversi angoli**



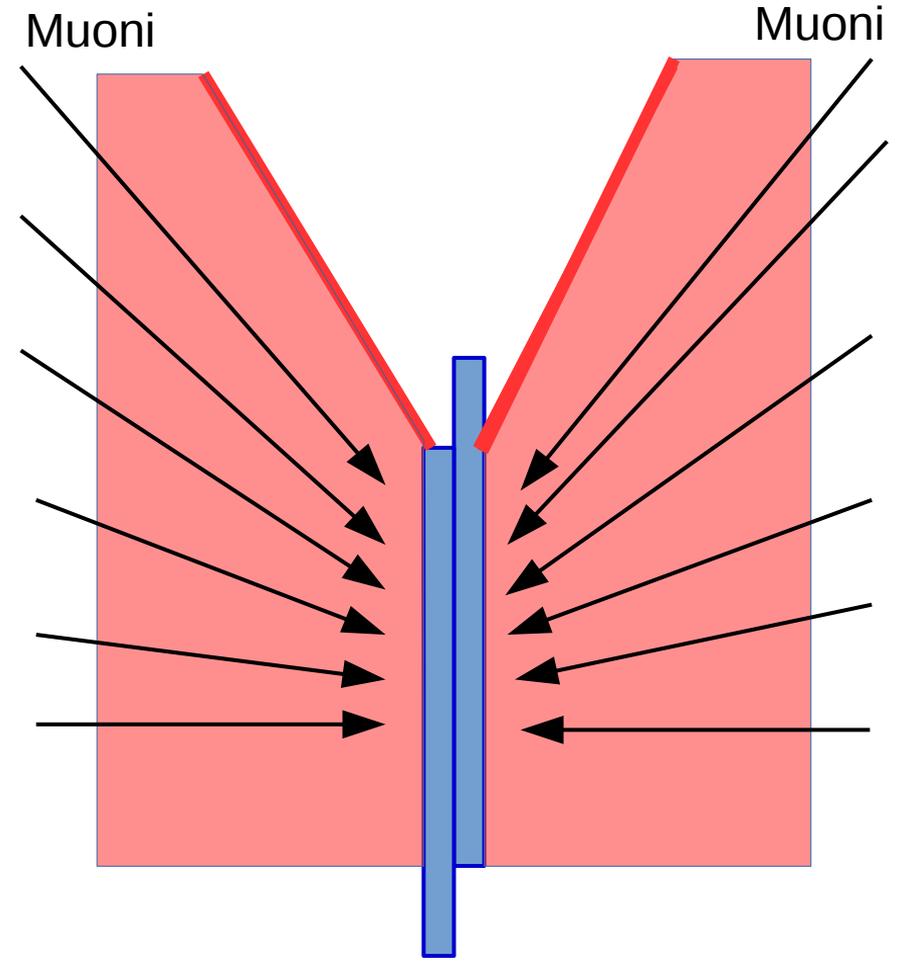
I punti corrispondono al valore del flusso che noi abbiamo calcolato.

Le linee solide sono il valore che ci aspettiamo (date le ipotesi di partenza) del flusso a diversi angoli



**Come spieghiamo il fatto che il flusso sopra i 20 gradi con la doppia coincidenza e' maggiore rispetto al valore aspettato?**

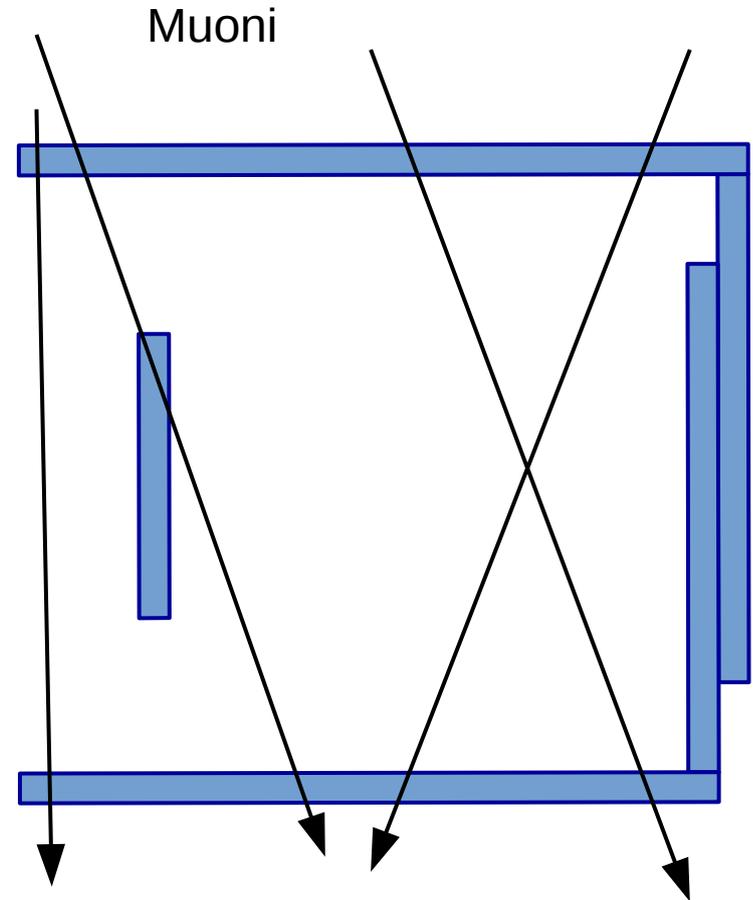
1) Non stiamo misurando solo le particelle che arrivano a 90 gradi!



Pavimento

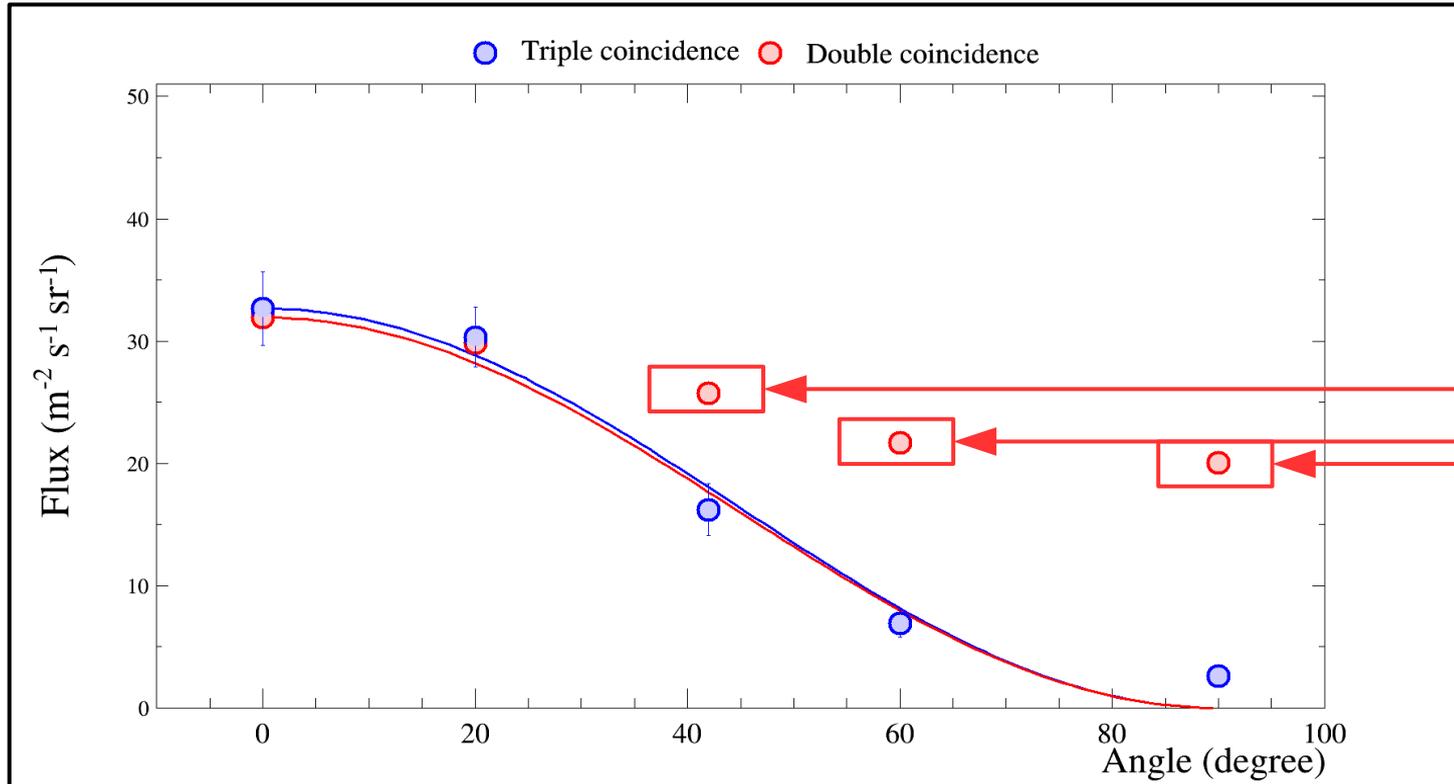
**Come spieghiamo il fatto che il flusso sopra i 20 gradi con la doppia coincidenza e' maggiore rispetto al valore aspettato?**

- 1) Non stiamo misurando solo le particelle che arrivano a 90 gradi!
- 2) Anche le guide di luce se vengono colpite da muoni mandano un segnale, di conseguenza il valore dell'accettazione che stiamo inserendo per il calcolo del flusso e' sbagliata! E' cioe' piu' grande.



## Quindi in definitiva:

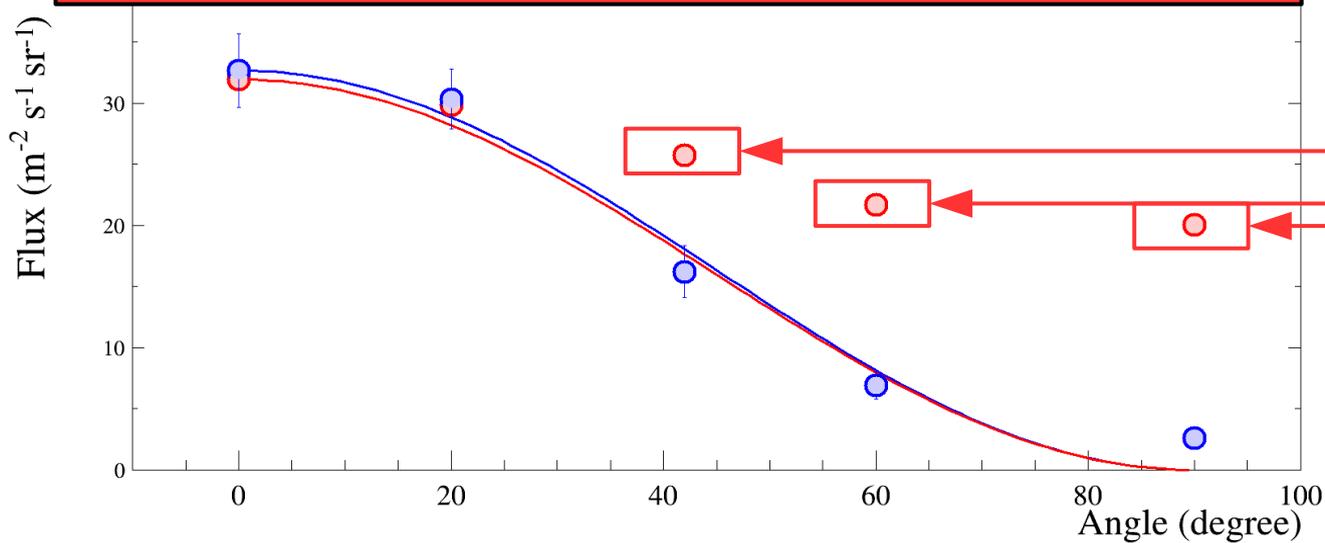
- 1) Contiamo piu' eventi di quelli che vedremmo arrivare se misurassimo ad un angolo ben definito
- 2) Dividiamo per una accettazione troppo piccola



## Quindi in definitiva:

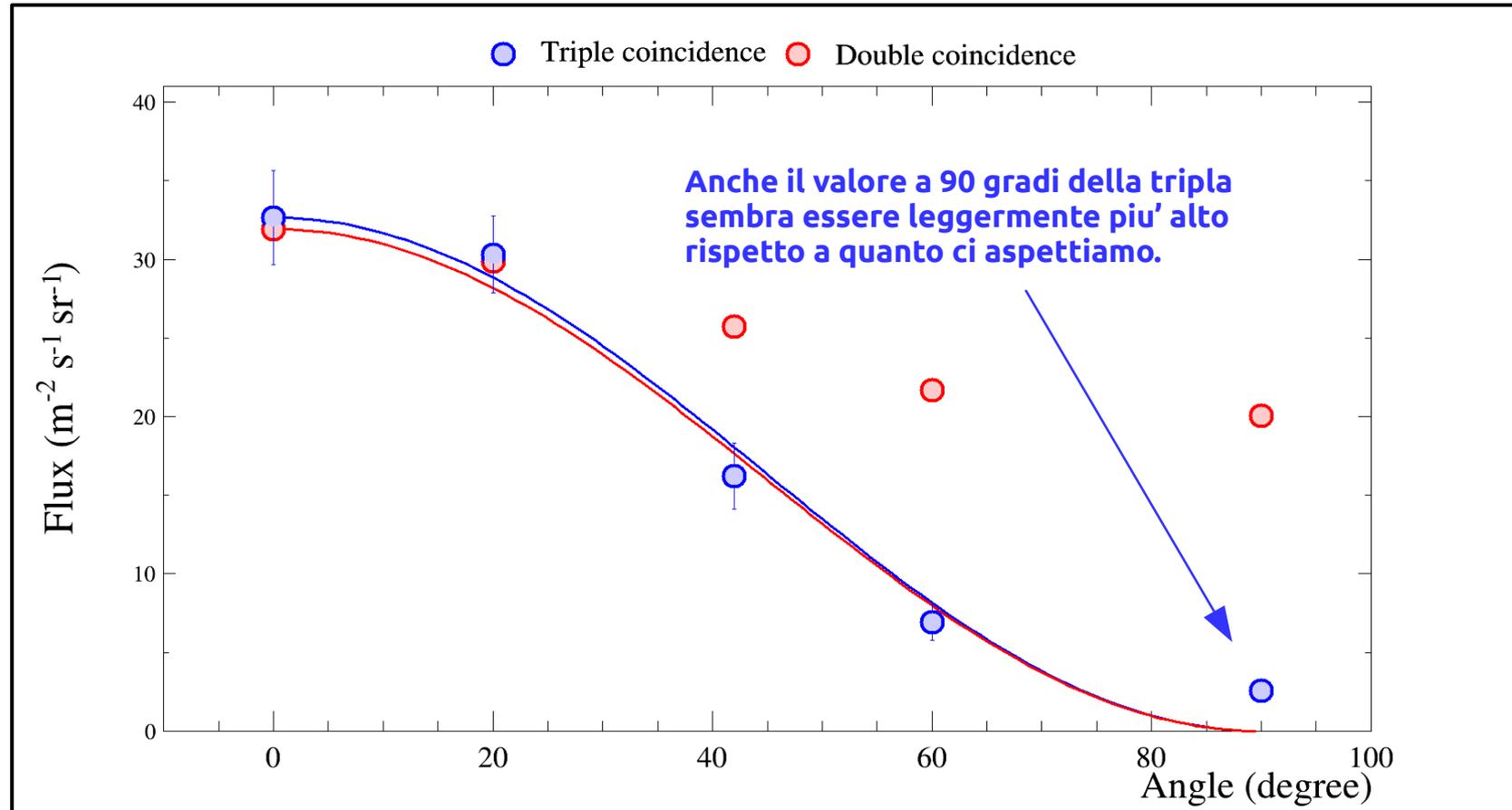
- 1) Contiamo piu' eventi di quelli che vedremmo arrivare se misurassimo ad un angolo ben definito
- 2) Dividiamo per una accettazione troppo piccola

**Conclusione:  
La doppia coincidenza non e' uno  
strumento che puo' essere usato per i  
nostri scopi!**



I punti corrispondono al valore del flusso che noi abbiamo calcolato.

Le linee solide sono il valore che ci aspettiamo (date le ipotesi di partenza) del flusso a diversi angoli



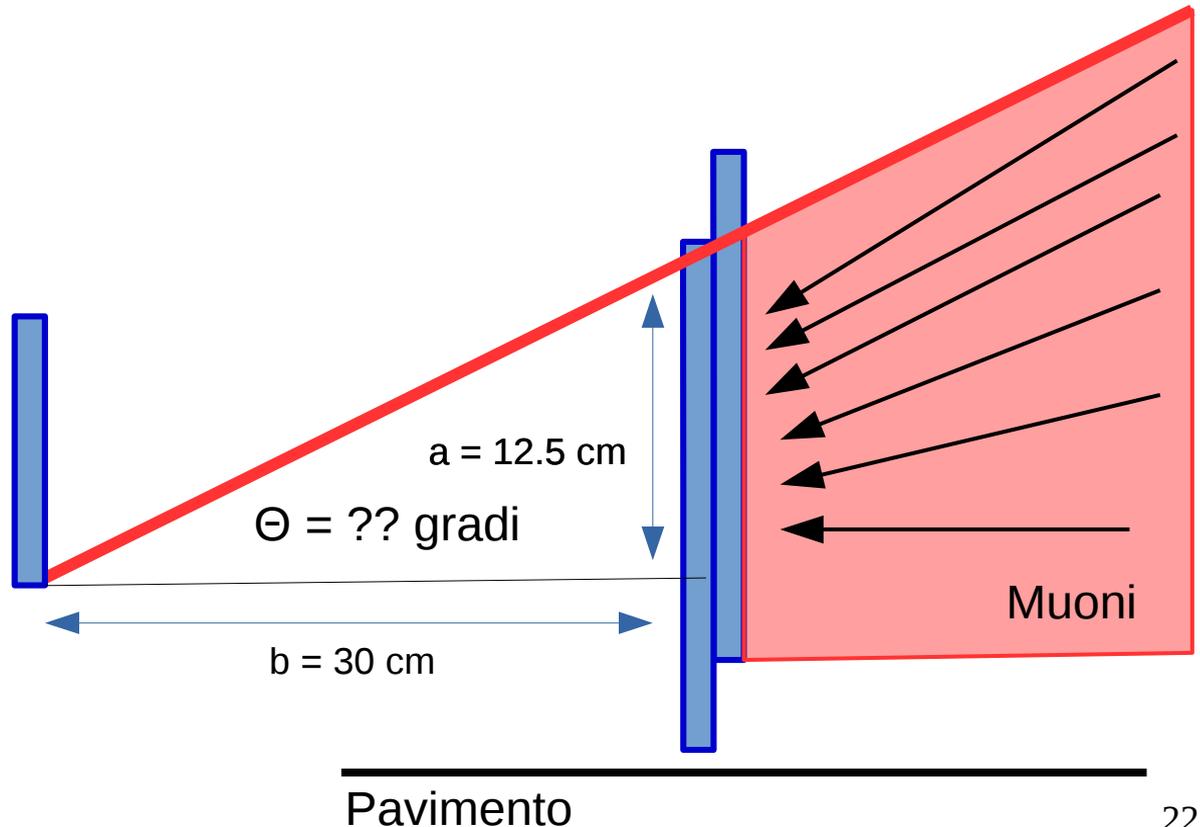
1) Anche in questo caso non misuriamo solo eventi a 90 gradi ma abbiamo un cono di apertura di circa ?? gradi

Ora stimiamo l'angolo di apertura per calcolare il cono di apertura e il suo valore medio.

$$\Theta_{\text{inf}} = 90$$

$$\Theta_{\text{sup}} = ??$$

$$\Theta_{\text{medio}} = (\Theta_{\text{sup}} - \Theta_{\text{inf}}) / 2 = ??$$



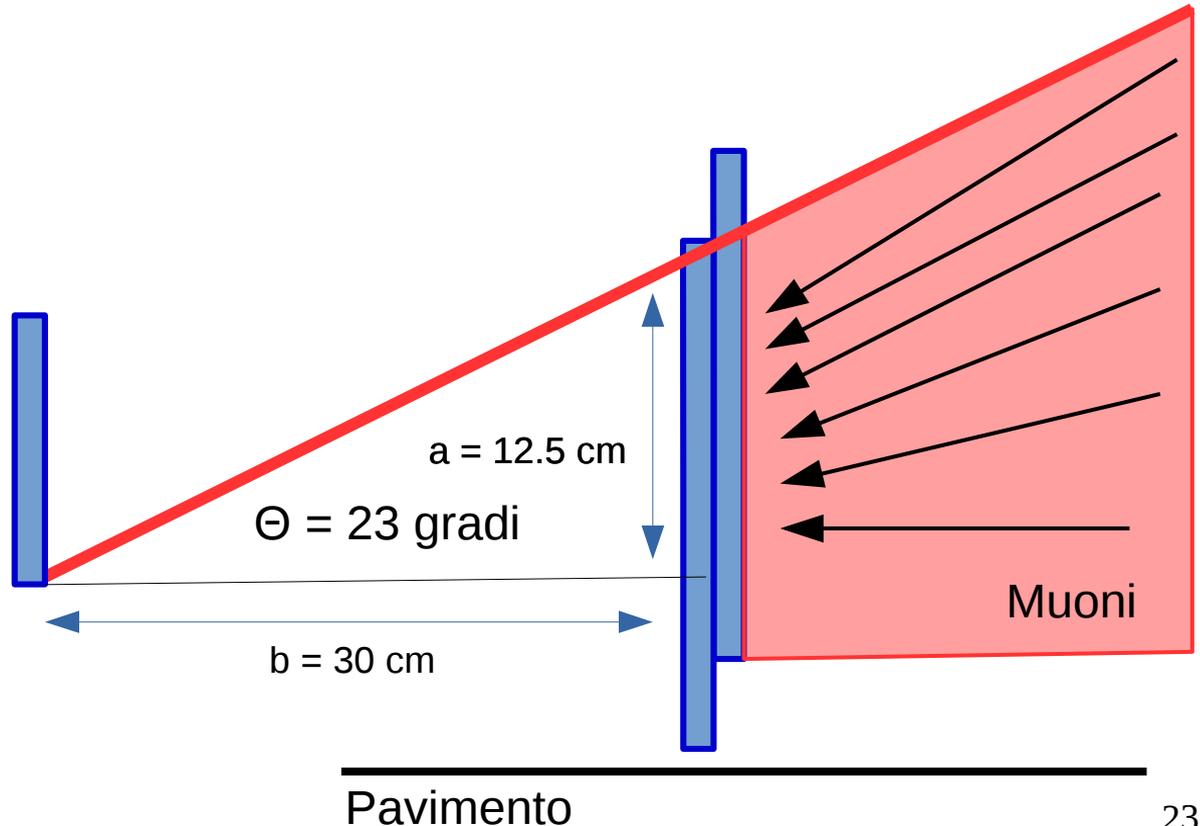
1) Anche in questo caso non misuriamo solo eventi a 90 gradi ma abbiamo un cono di apertura di circa 23 gradi

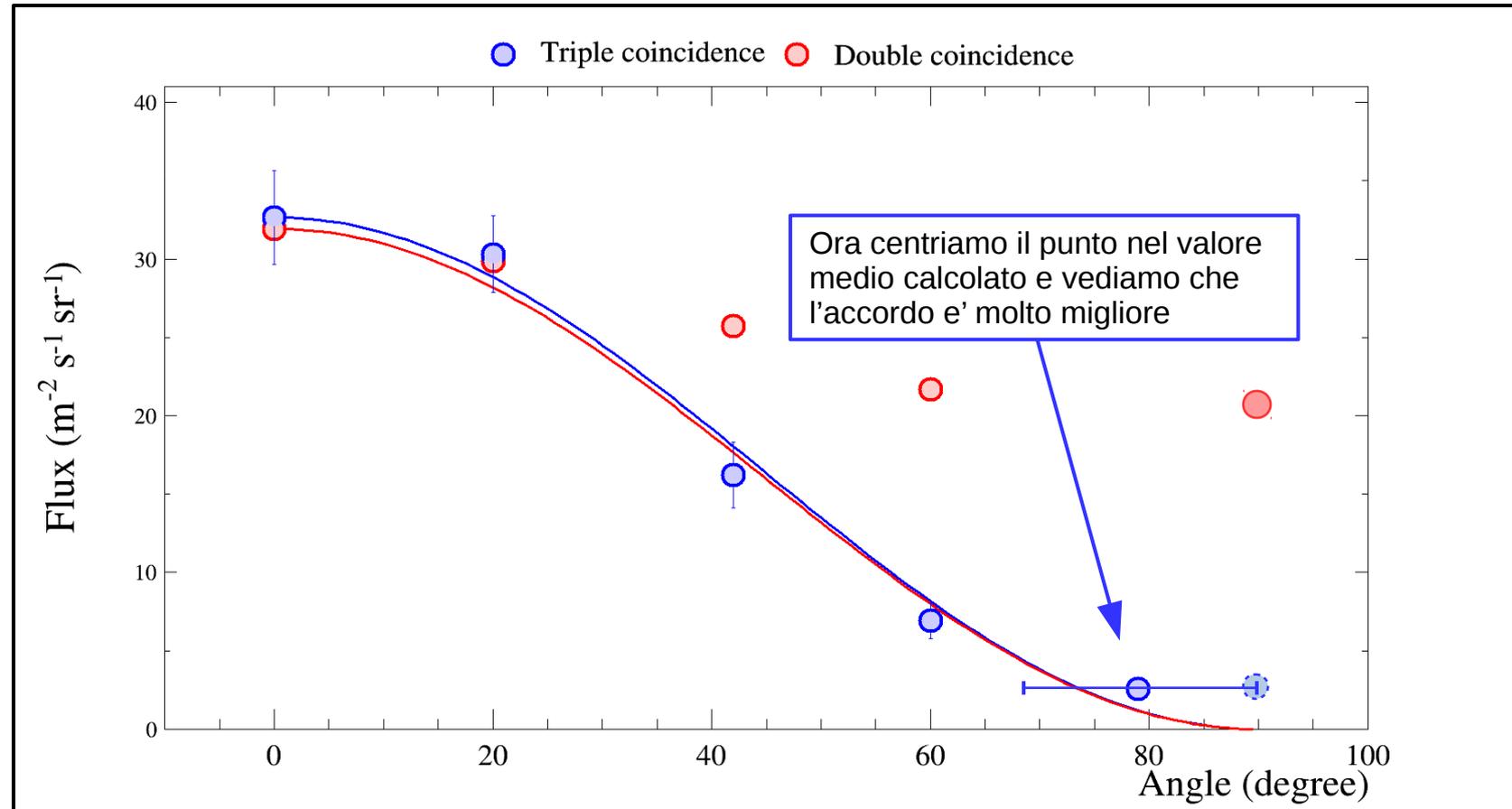
Ora stimiamo l'angolo di apertura per calcolare il cono di apertura e il suo valore medio.

$$\Theta_{\text{inf}} = 90$$

$$\Theta_{\text{sup}} = 67$$

$$\Theta_{\text{medio}} = (\Theta_{\text{sup}} - \Theta_{\text{inf}}) / 2 = 78.5$$





## Ulteriore considerazione per la tripla coincidenza

Come nel caso a doppia coincidenza anche in questo caso i muoni arrivano anche da sinistra e possono attivare il telescopio quando e' a 90 gradi.

In questo caso ci aspetteremmo il doppio di conteggi in quanto tanti muoni arrivano da destra e tanti da sinistra...

←  
...ma in questa direzione abbiamo il carso (500 m di altezza).

**Dobbiamo quindi davvero aspettarci il doppio dei conteggi?**

Muoni

Muoni

Pavimento

# Stesura relazione finale

La relazione finale deve essere strutturata nel seguente modo:

- Scopo della misura;
- Apparato sperimentale;
- Presa dati;
- Analisi dati, **ripetuta con i dati acquisiti da voi durante la giornata**;
- Riprodurre con un grafico excel quanto fatto durante l'analisi;
- Creare anche una tabella con i valori finali del flusso ai vari angoli e le relative incertezze (statistiche e sperimentali) che non abbiamo calcolato durante la giornata
- Problematiche sperimentali;
- Come migliorare la misura e considerazioni aggiuntive (vedi domane slide successiva);
- Considerazioni finali sui risultati.

Ogni relazione verra' fatta in collaborazione da due studenti e dovra' avere una lunghezza tra le 3 e le 4 pagine. Potra' essere scritta in Word o in Latex e dovra' includere il plot finale.

Gli studenti che comporranno la migliore relazione vinceranno uno stage ai laboratori nazionali di Frascati.

Le relazioni devono essere inviate entro il 30 gennaio 2019.

Domande a cui rispondere per integrare la vostra relazione. Non prendetele come una verifica o un compito per casa! Consideratele come dei suggerimenti guida per aggiungere considerazioni al vostro lavoro. Le considerazioni (se giuste) varranno punti aggiuntivi ai fini della valutazione.

- 1) Come si puo' aumentare la statistica di eventi acquisita?
- 2) Quali sono gli errori dominanti nella misura? Come li potremmo ridurre?
- 2) Come si puo' restringere l'angolo solido del telescopio e quindi diminuire l'angolo di apertura? In che modo questo aiuta ad avere una stima piu' precisa del flusso di muoni ad un dato angolo?
- 3) Ti aspetti che il flusso di muoni sia maggiore o minore di quello che abbiamo misurato se ripetessimo l'esperienza in cima al monte bianco? E se la misura di muoni avvenisse al di fuori dell'atmosfera?
- 4) Rispondere alla domanda alla slide 16.