

Dose Profiler: Risultati dei test al centro di protonterapia di Trento

DIPARTIMENTO DI FISICA

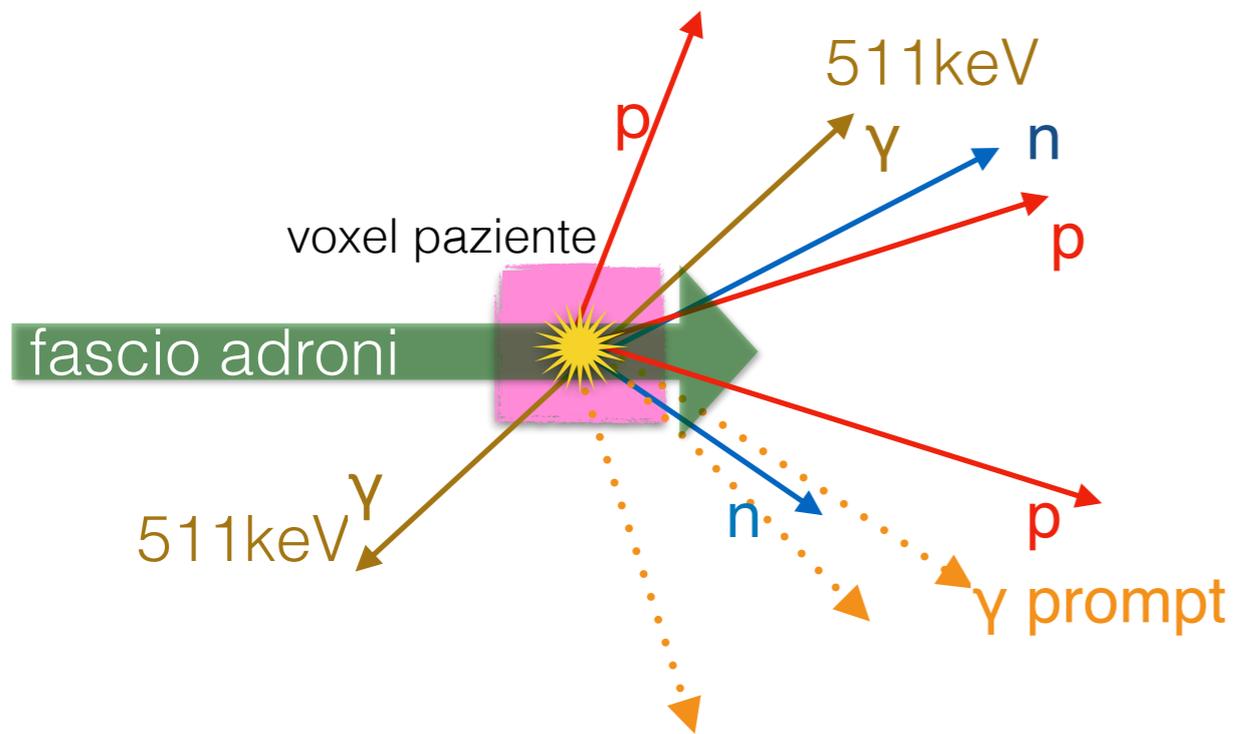


SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

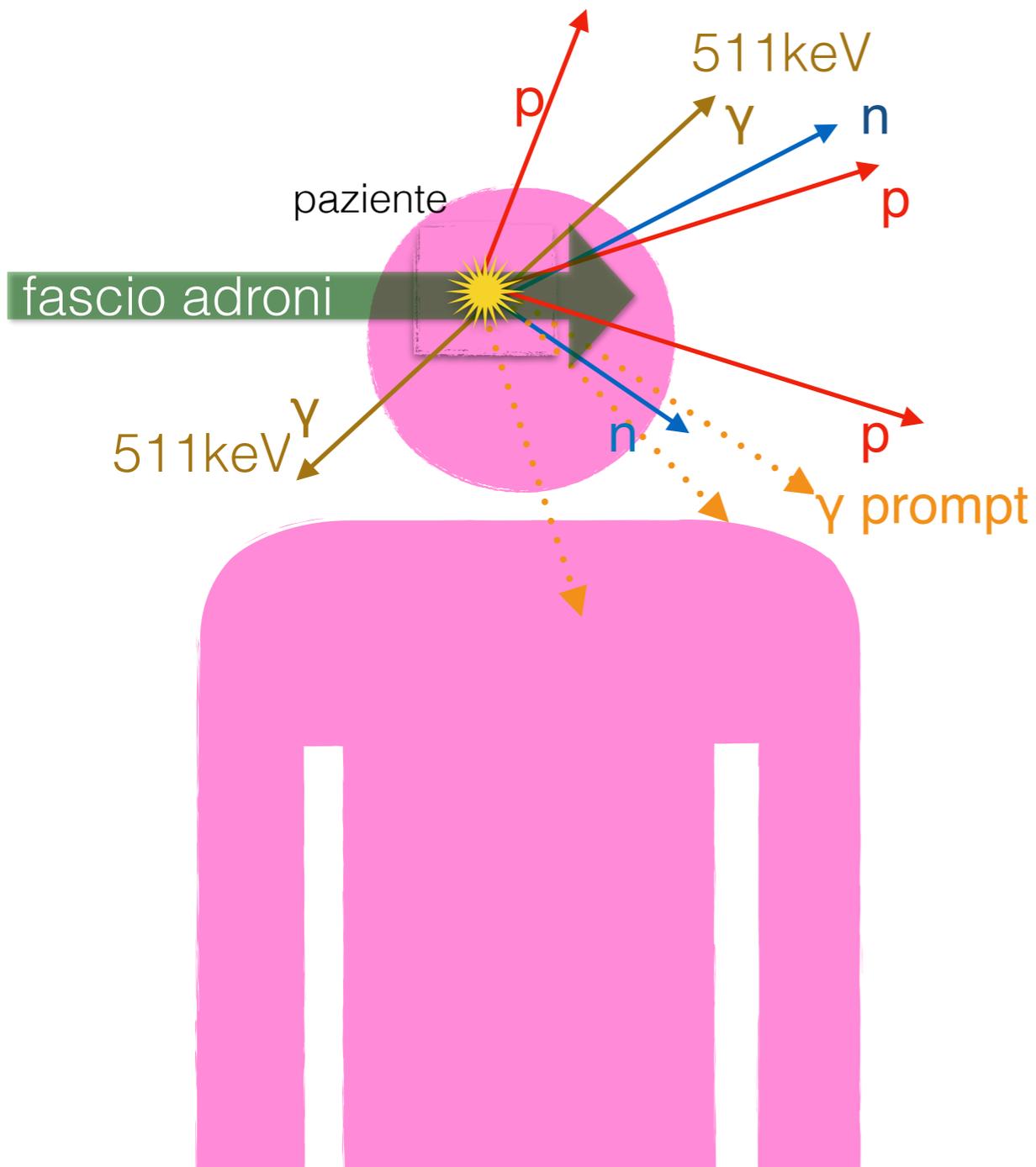
Micol De Simoni

ARPG 11 Luglio 2017

Principio fisico di rivelazione



Principio fisico di rivelazione

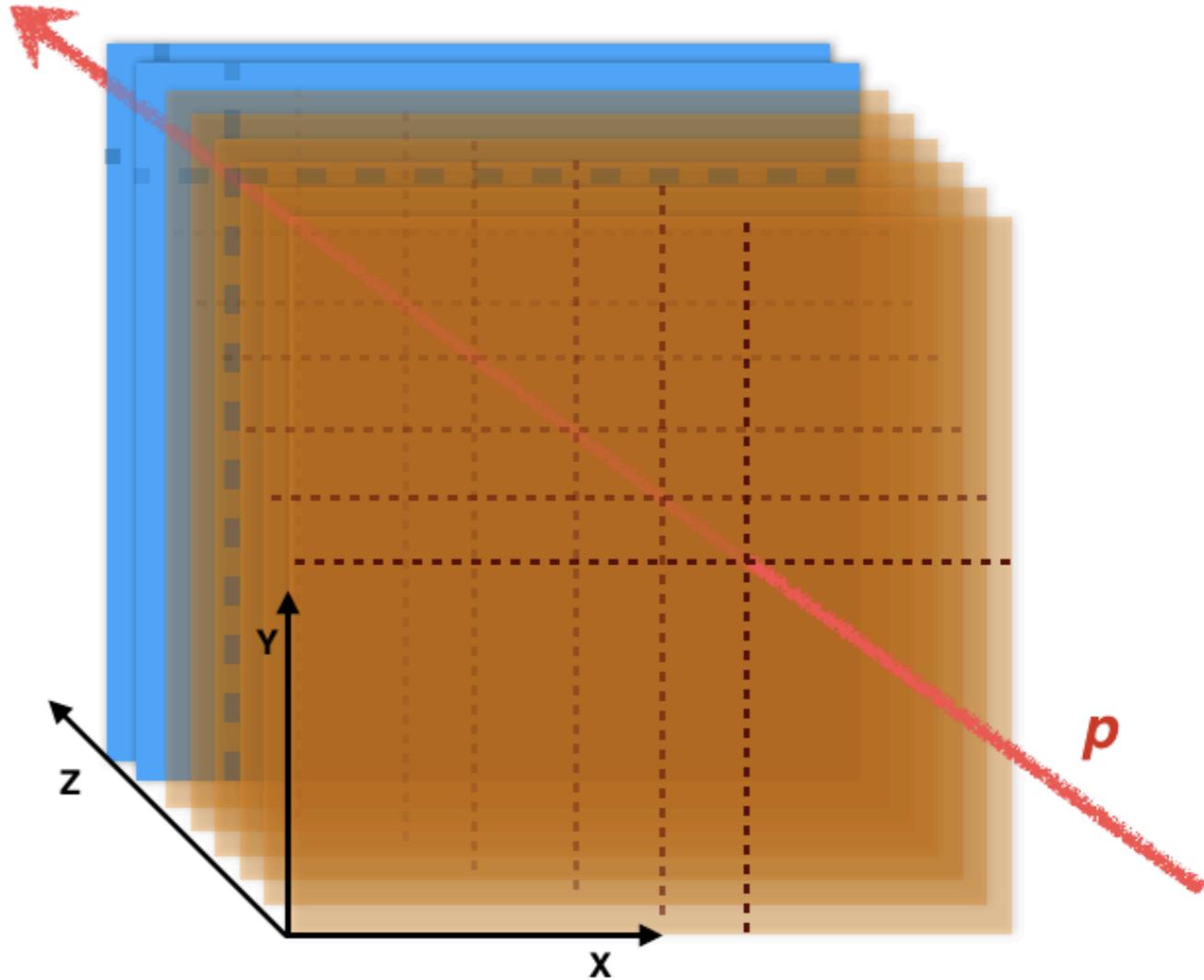
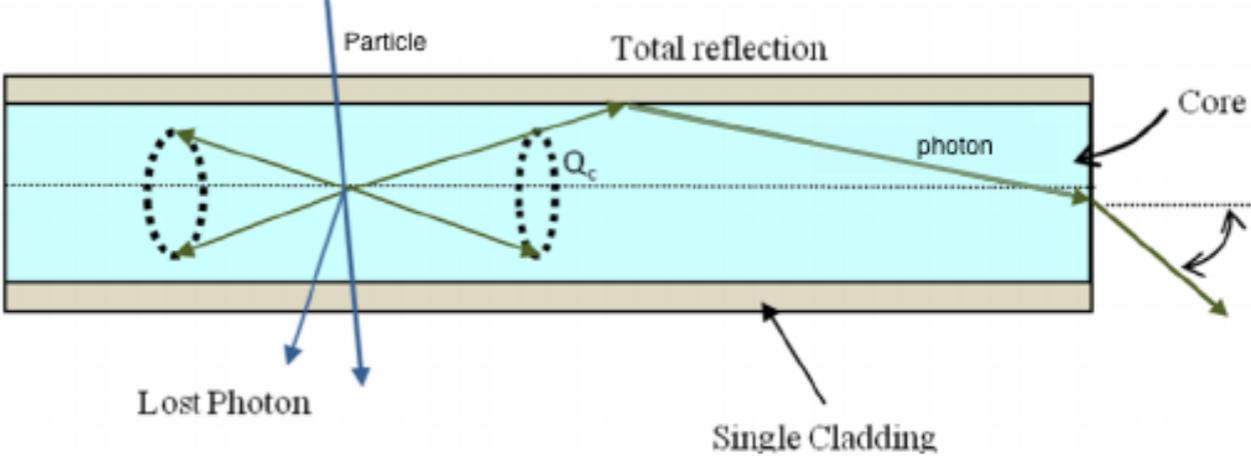
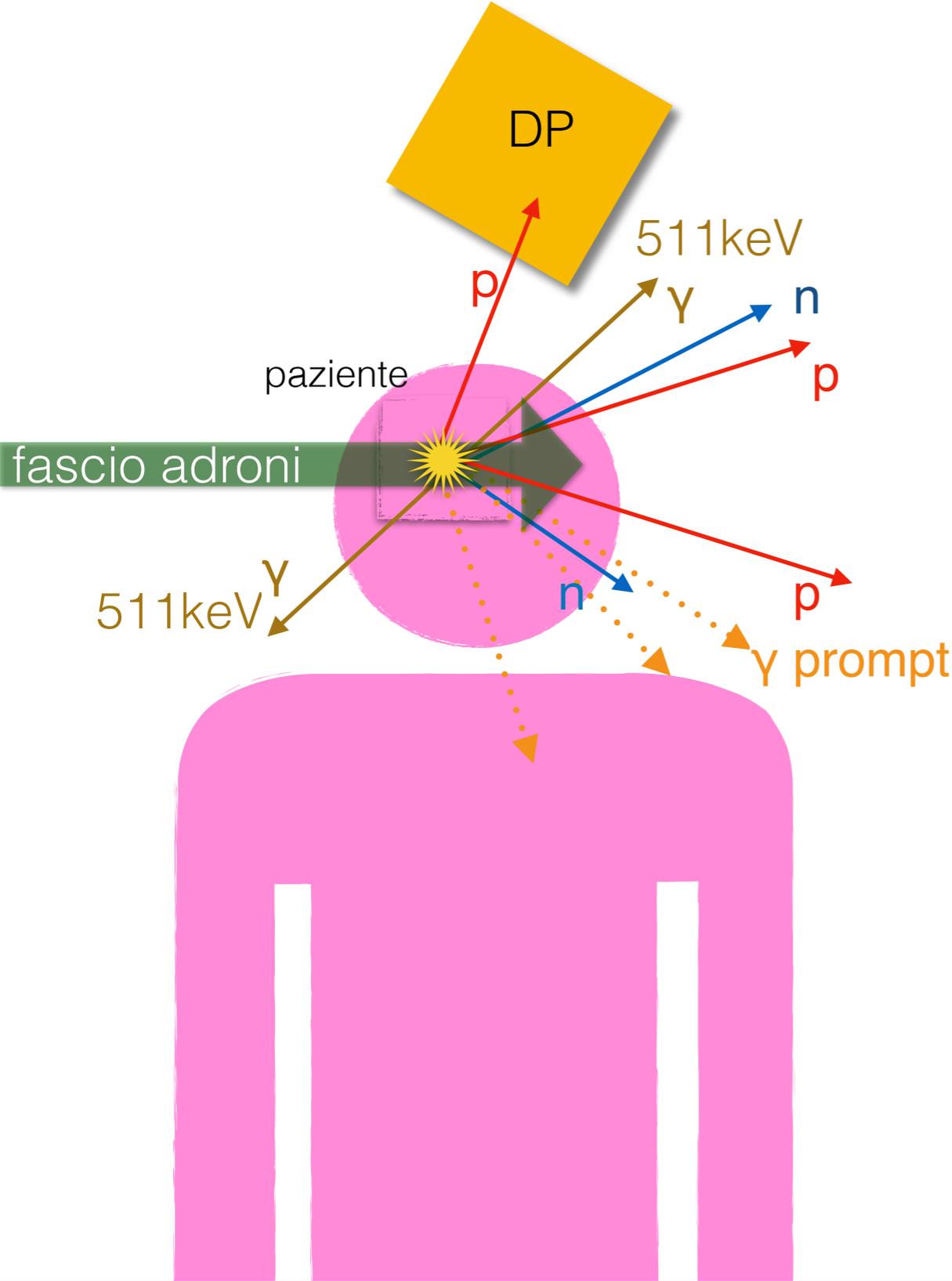


le particelle primarie non escono dal paziente

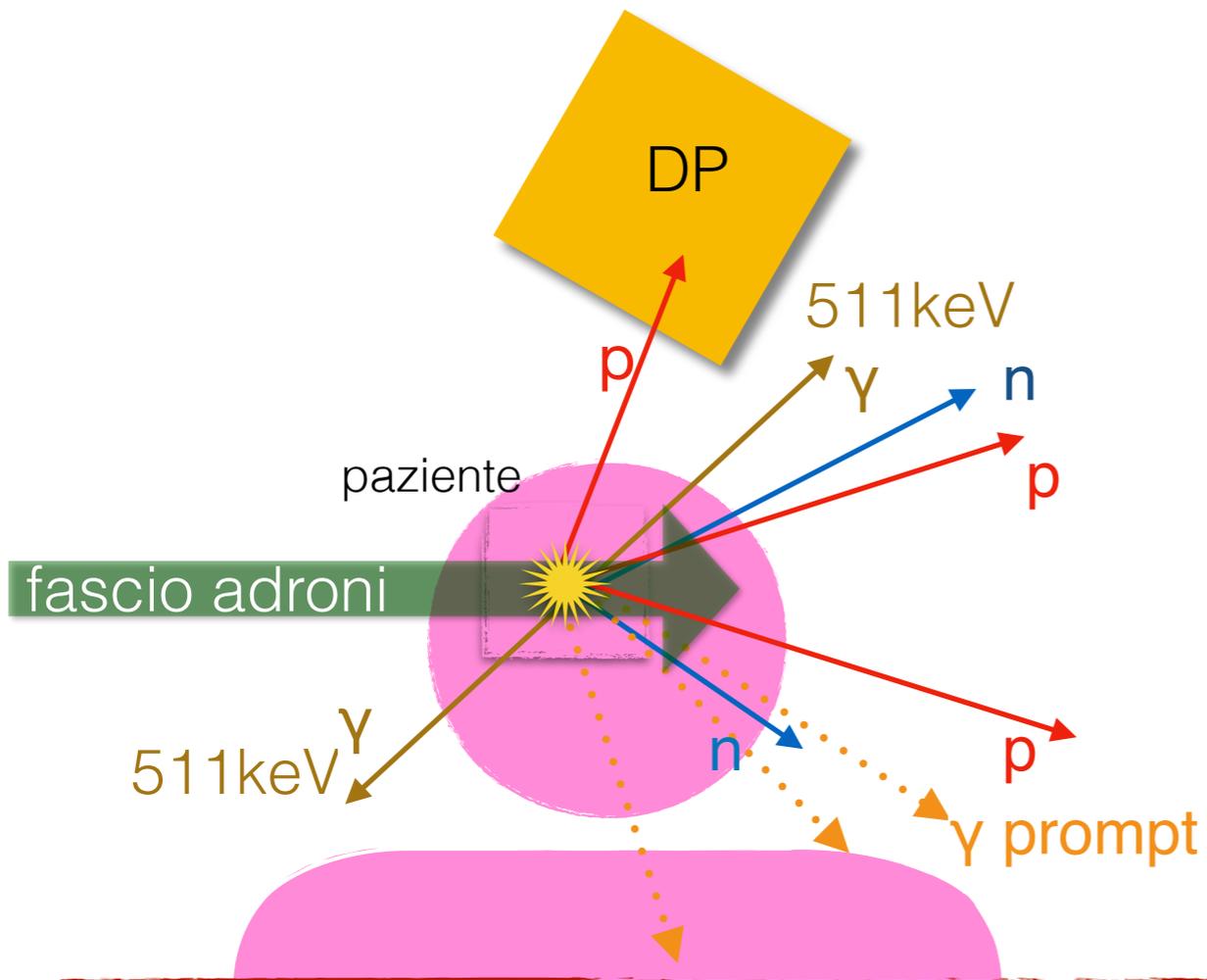


utilizzo di particelle secondarie prodotte dalla frammentazione del proiettile nel bersaglio

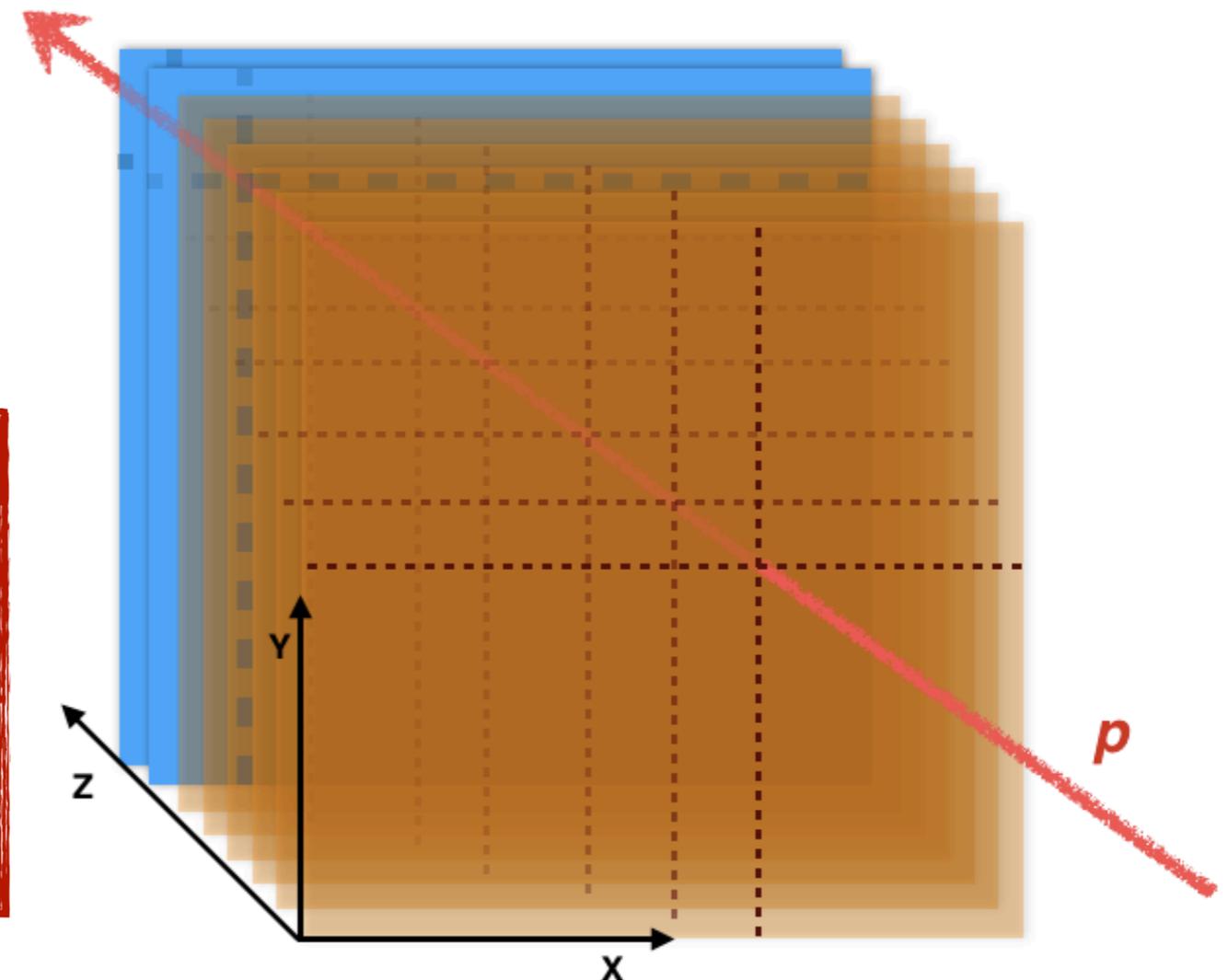
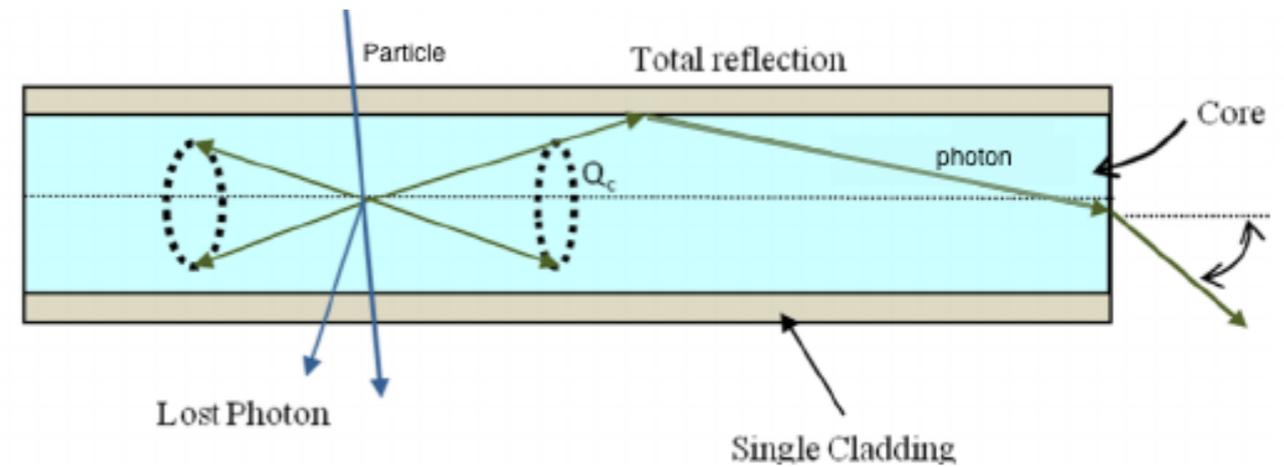
Principio fisico di rivelazione



Principio fisico di rivelazione



- energia protoni secondari : **50÷150 MeV**
- Rate atteso ~ **10 kHz**
- Risoluzione spaziale < **scattering multiplo nel paziente (pochi mm)**



Dose Profiler



**Pronti per il test al
Centro di ProtonTerapia
di Trento**



Test di Trento - Maggio

Obiettivi:

Test di Trento - Maggio

Obiettivi:

Test preliminari



- **Studio dei piedistalli**
- **Studio della distribuzione di carica**

Test di Trento - Maggio

Obiettivi:

Test preliminari



- Studio dei piedistalli
- Studio della distribuzione di carica

Punto di lavoro



- parametri di shaping (resistenza e capacità) dell'amplificatore di carica del BASIC
- HV dei SiPM
- Soglia dei SiPM

Test di Trento - Maggio

Obiettivi:

Test preliminari



- Studio dei piedistalli
- Studio della distribuzione di carica

Punto di lavoro



- parametri di shaping (resistenza e capacità) dell'amplificatore di carica del BASIC
- HV dei SiPM
- Soglia dei SiPM

Efficienza



- Studio dell'efficienza dei layer nella vista XZ e YZ
- Studio dell'efficienza 2D con un binning dell'asse orizzontale pari ad 1 mm

Test di Trento - Maggio

Obiettivi:

Test preliminari



- Studio dei piedistalli
- Studio della distribuzione di carica

Punto di lavoro



- parametri di shaping (resistenza e capacità) dell'amplificatore di carica del BASIC
- HV dei SiPM
- Soglia dei SiPM

Efficienza



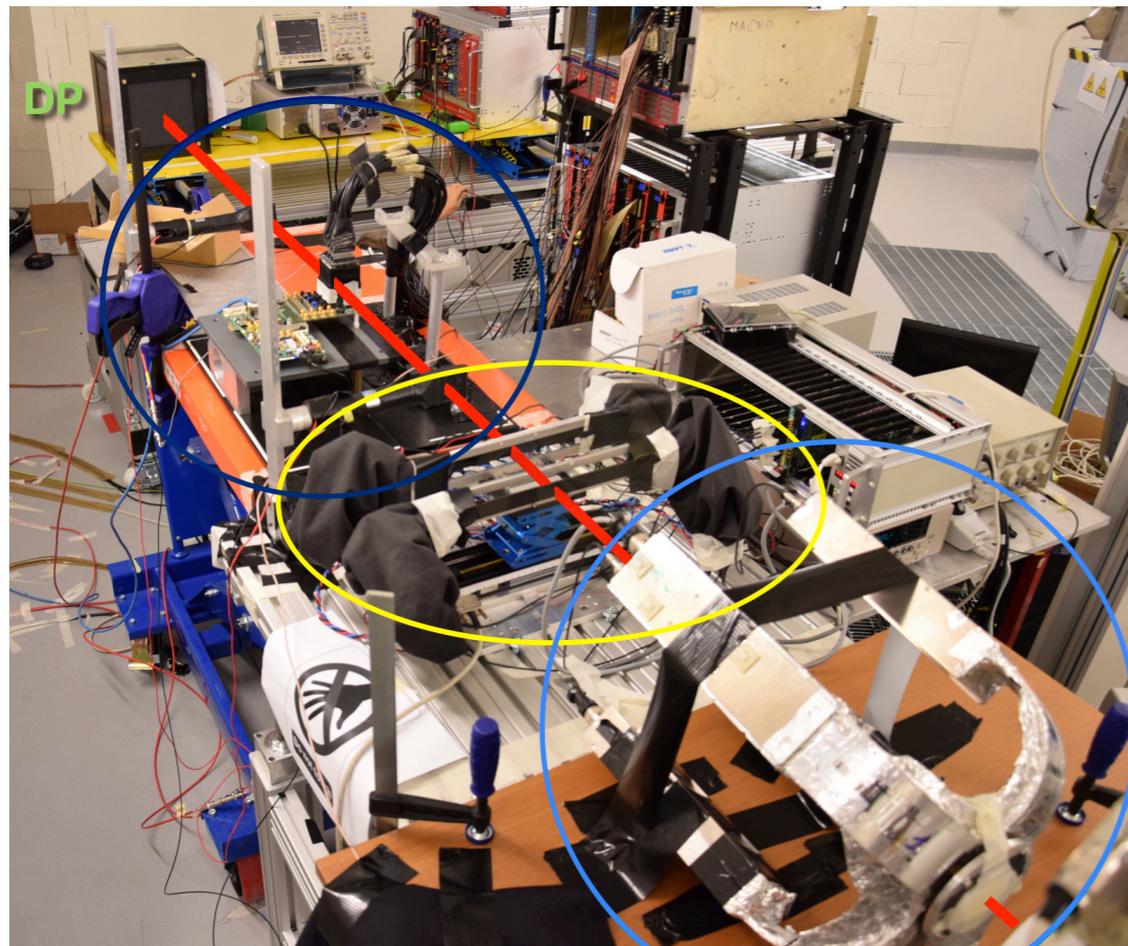
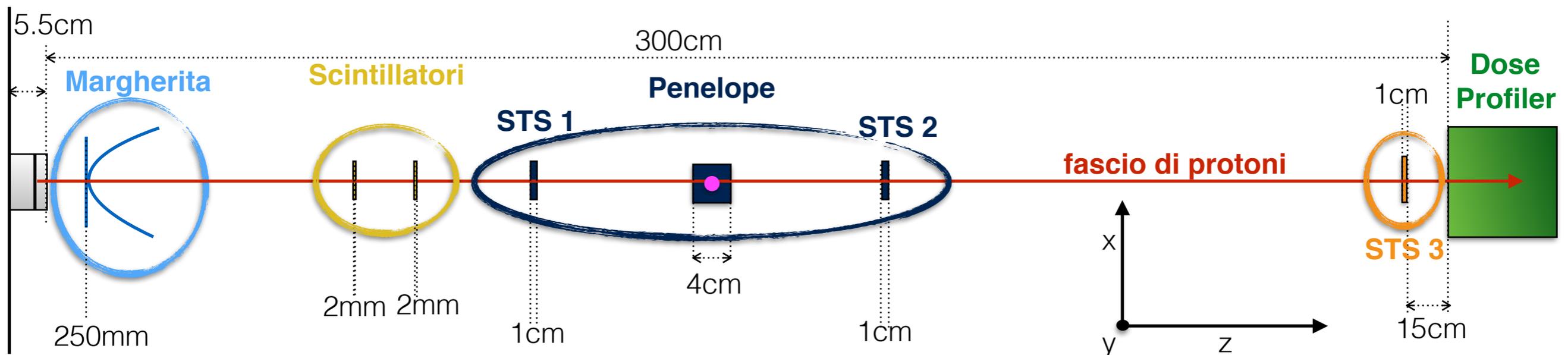
- Studio dell'efficienza dei layer nella vista XZ e YZ
- Studio dell'efficienza 2D con un binning dell'asse orizzontale pari ad 1 mm

Risoluzione



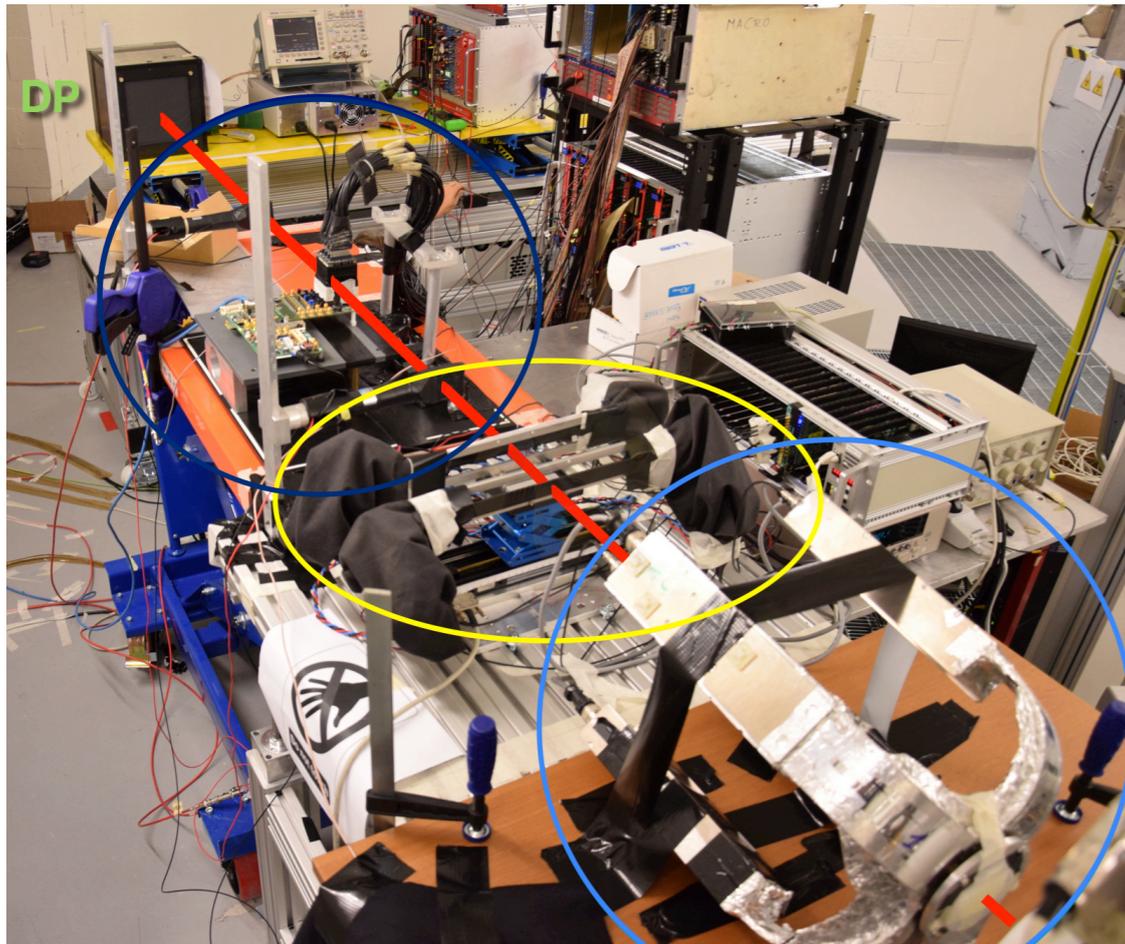
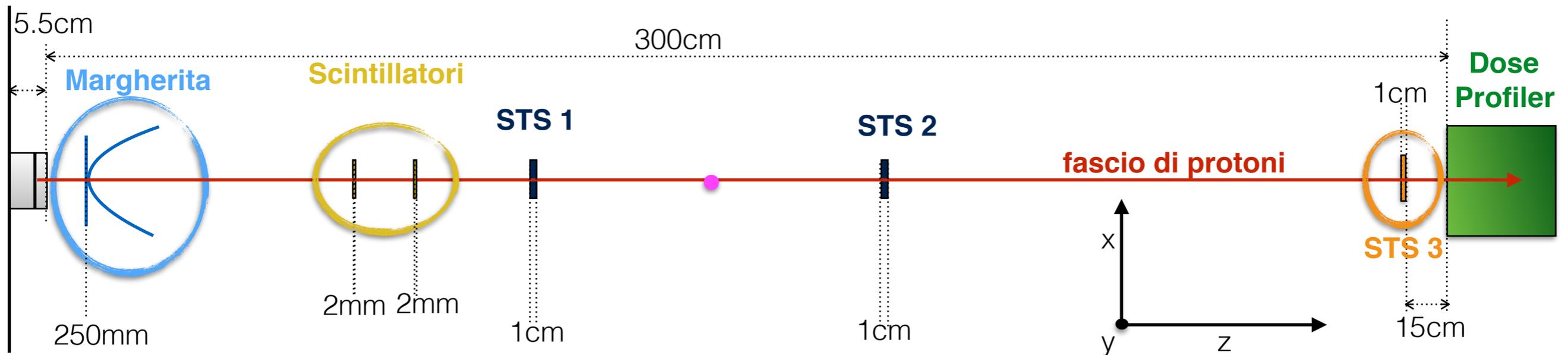
- Beam spot delle tracce proiettate al centro del rivelatore e all'isocentro

Set-up sperimentale - Maggio



- Possibilità di traslare il Dose Profiler lungo l'asse x e l'asse y
- Fascio di protoni di energia: 70÷230 MeV
- Fascio all'isocentro (●) gaussiano con:
 $\sigma=6.9\div2.91 [mm]$
- Materiale attraversato da fascio prima di raggiungere il Dose Profiler:
~7 cm di materiale plastico scintillante (densità $1.03 g/cm^3$)

Set-up sperimentale - Maggio

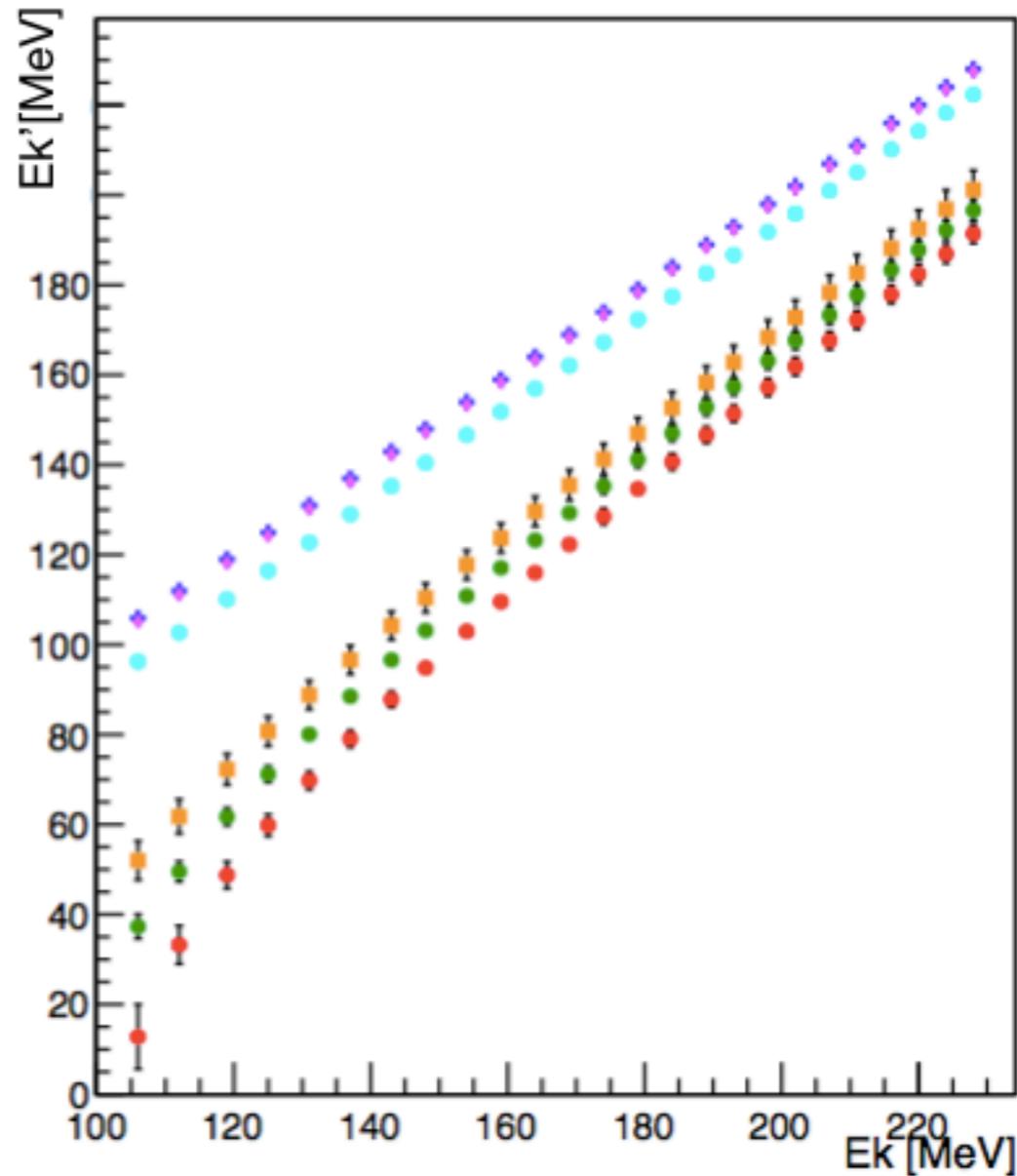


- Possibilità di traslare il Dose Profiler lungo l'asse x e l'asse y
- Fascio di protoni di energia: 70÷230 MeV
- Fascio all'isocentro (●) gaussiano con:
 $\sigma=6.9\div2.91 [mm]$
- Materiale attraversato da fascio prima di raggiungere il Dose Profiler:
~3 cm di materiale plastico scintillante (densità 1.03 g/cm³)

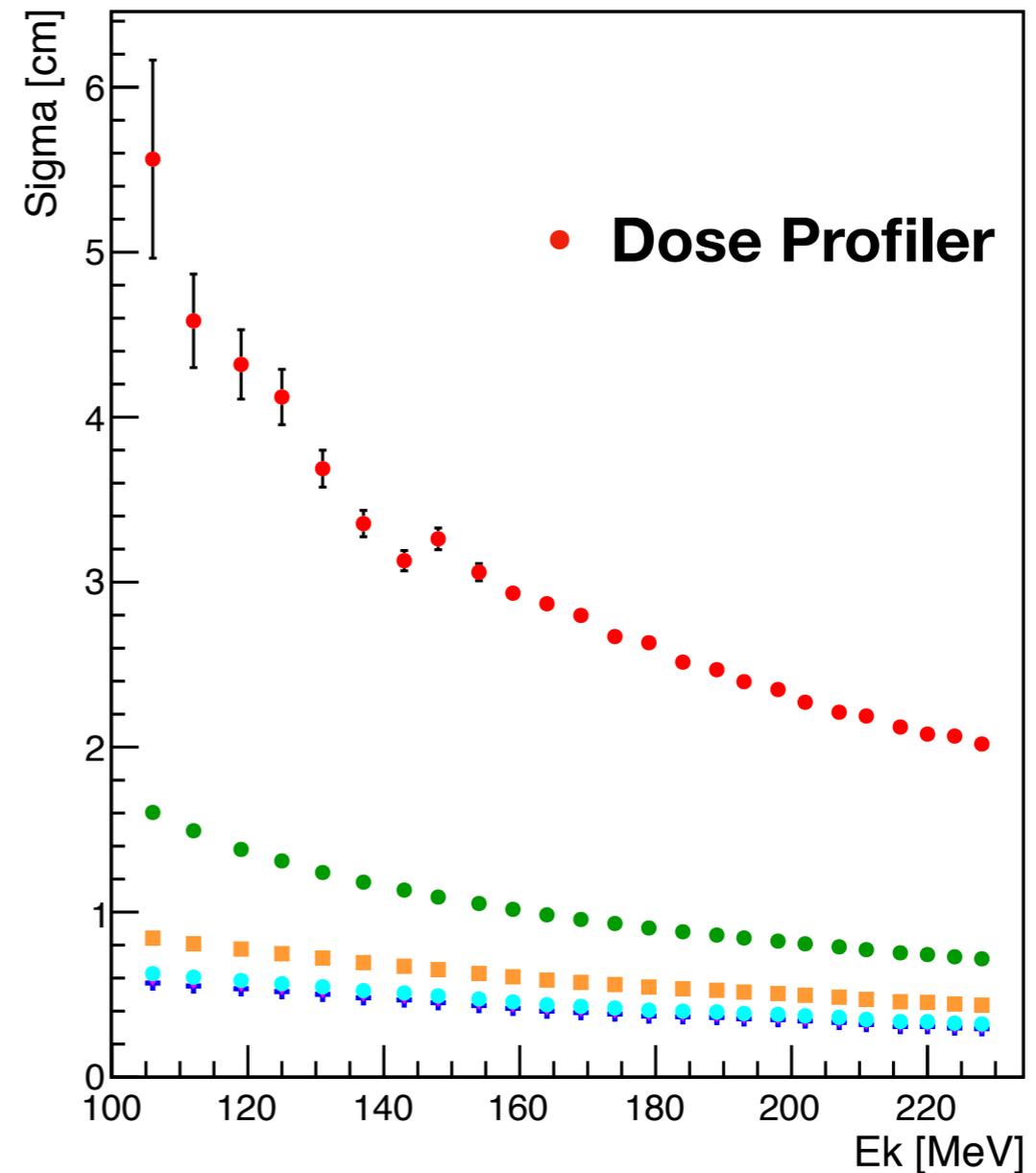
Set-up sperimentale - Maggio

Simulazione Monte Carlo

Energia cinetica



Spot size

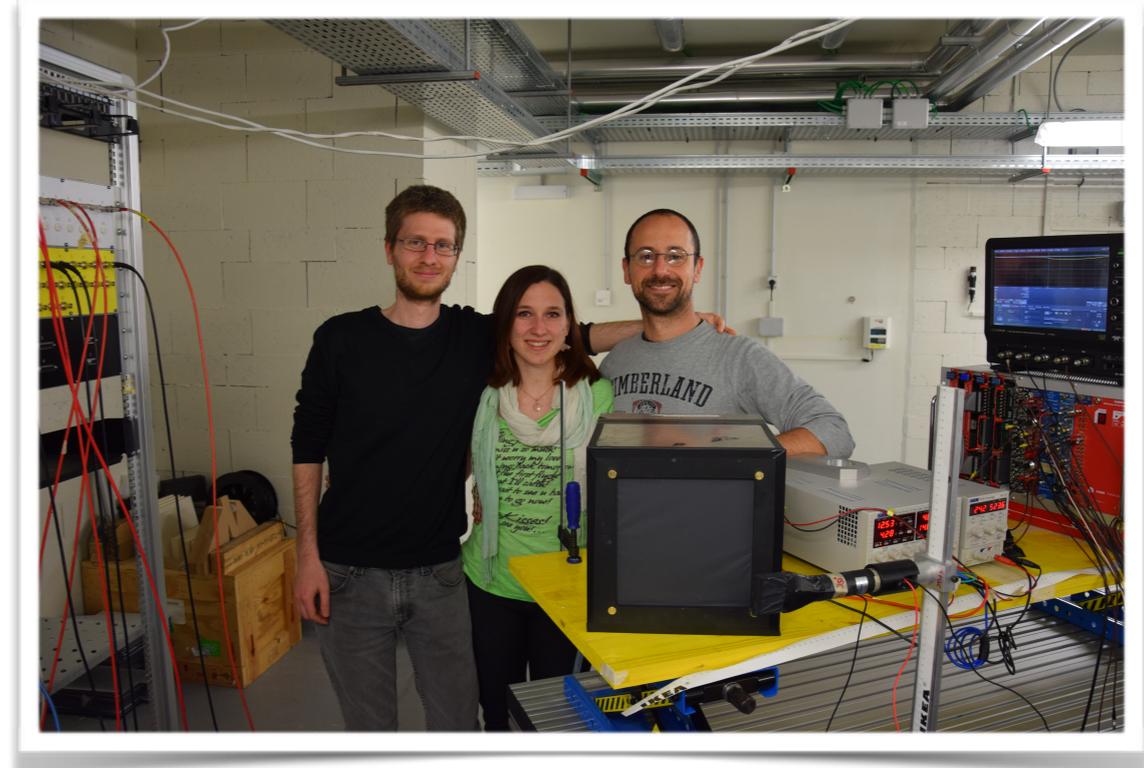


Risultati Test Beam

Test Beam di Maggio

Ha evidenziato la necessità di:

- Ottimizzare la messa a terra del rivelatore
- Ottimizzare la finestra di trigger
- Riallineare i piani di fibre con i SiPM

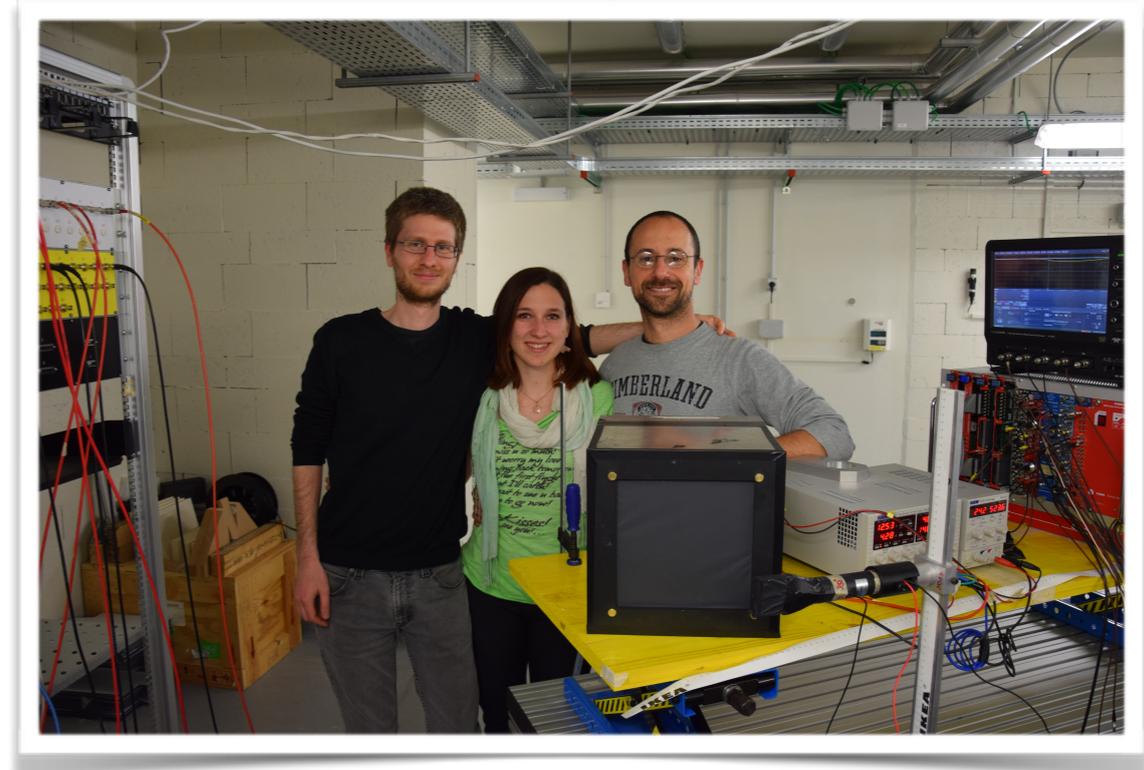


Risultati Test Beam

Test Beam di Maggio

Ha evidenziato la necessità di:

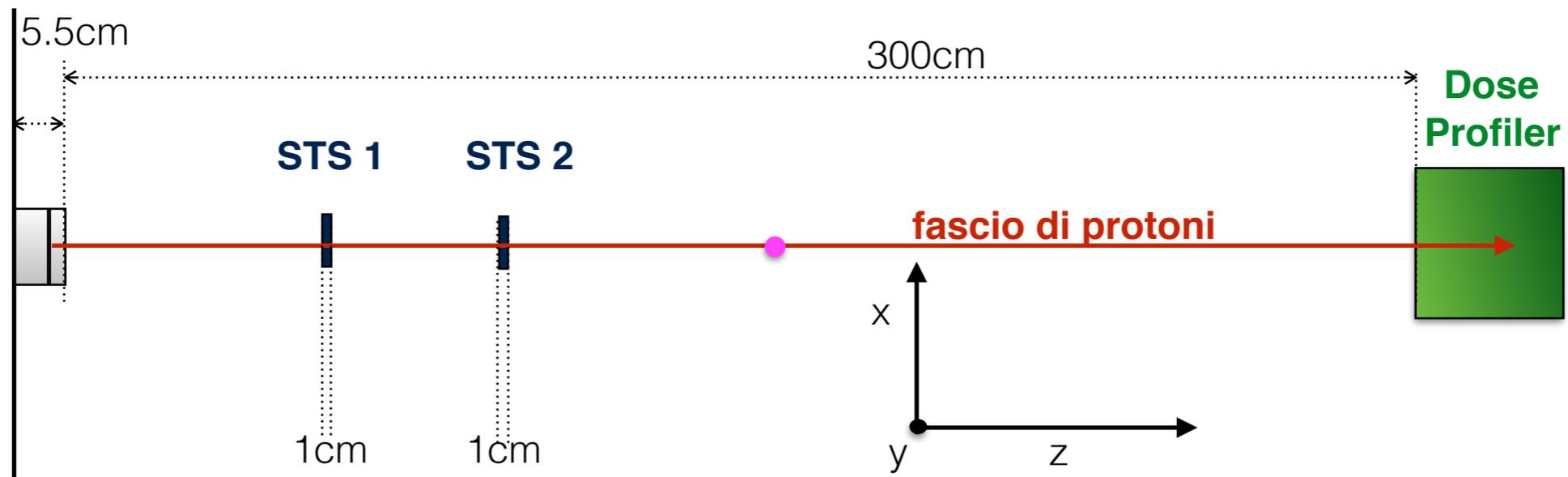
- Ottimizzare la messa a terra del rivelatore
- Ottimizzare la finestra di trigger
- Riallineare i piani di fibre con i SiPM



Test Beam di Giugno

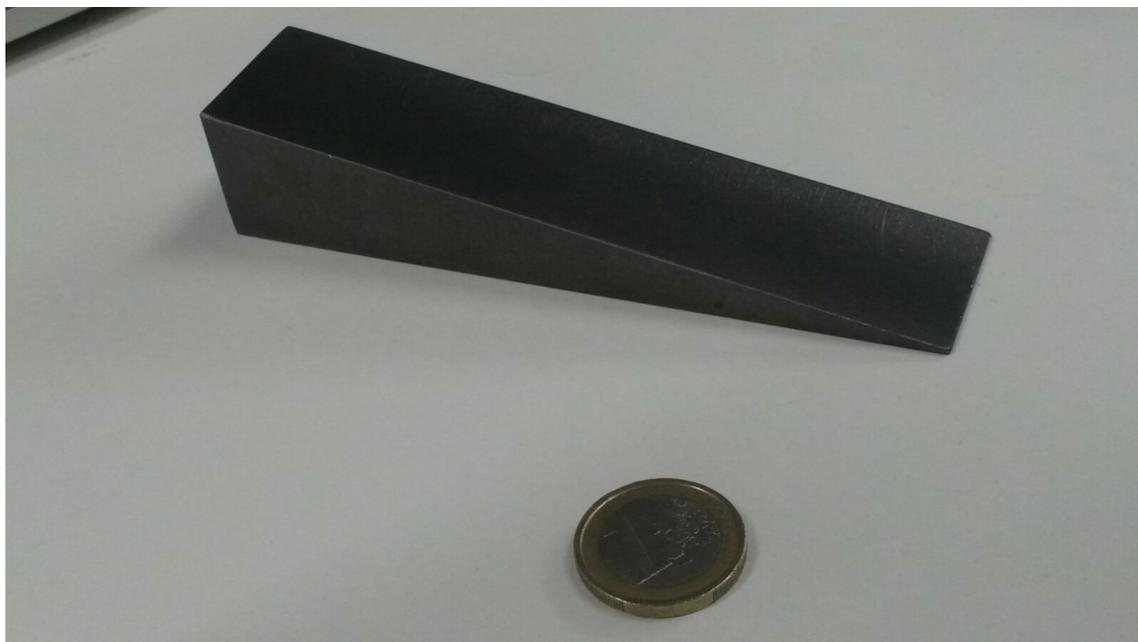
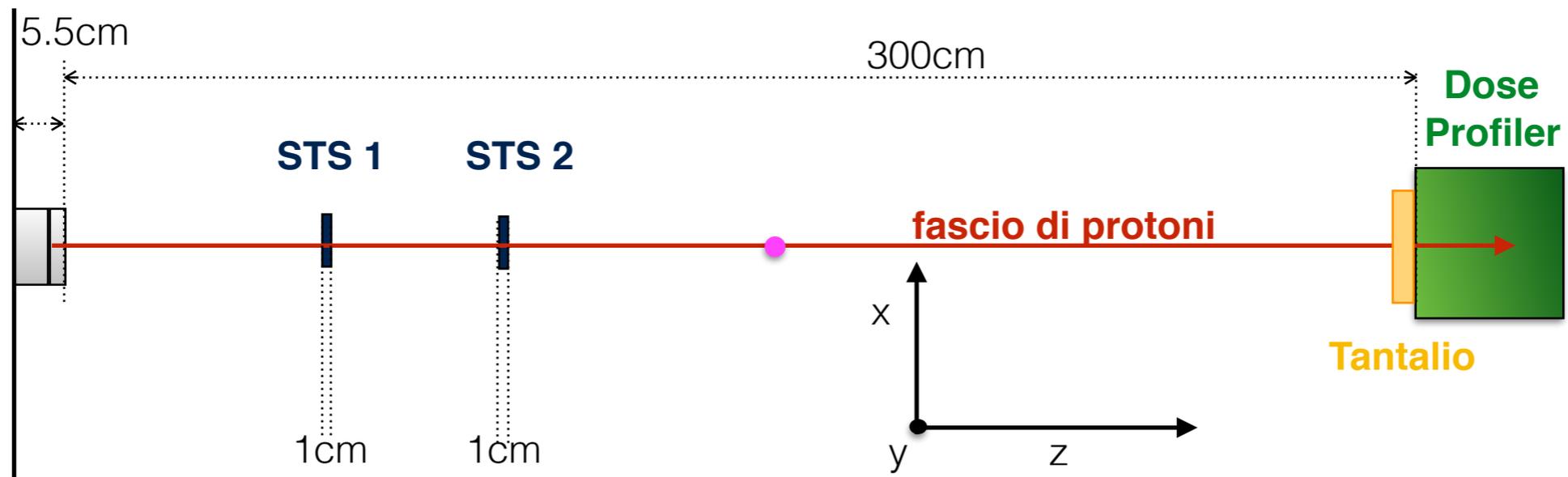
- Valutazione dell'efficacia delle operazioni di modifica del rivelatore e del software e della risoluzione dei problemi riscontrati a Maggio
- Studio sull'efficienza
- Studio sulla risoluzione

Set-up sperimentale - Giugno



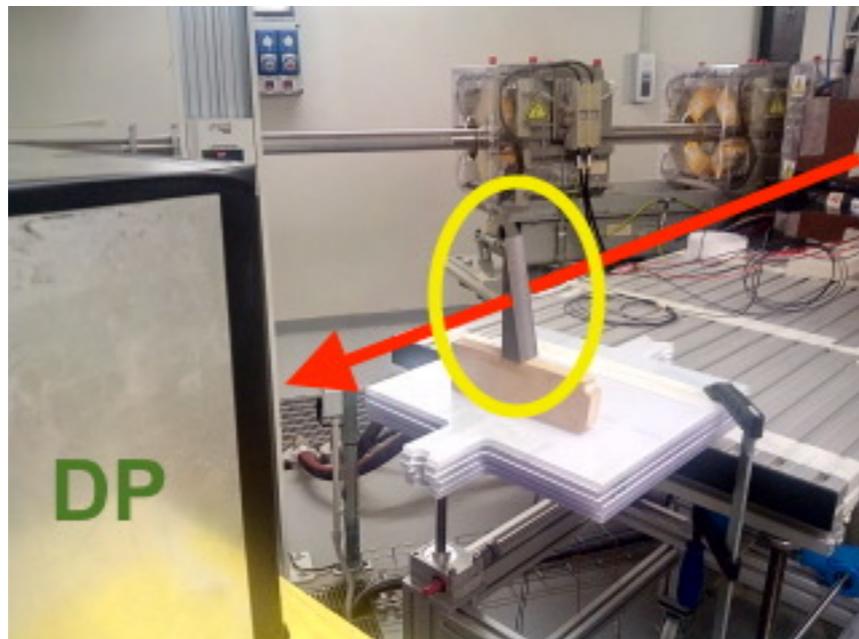
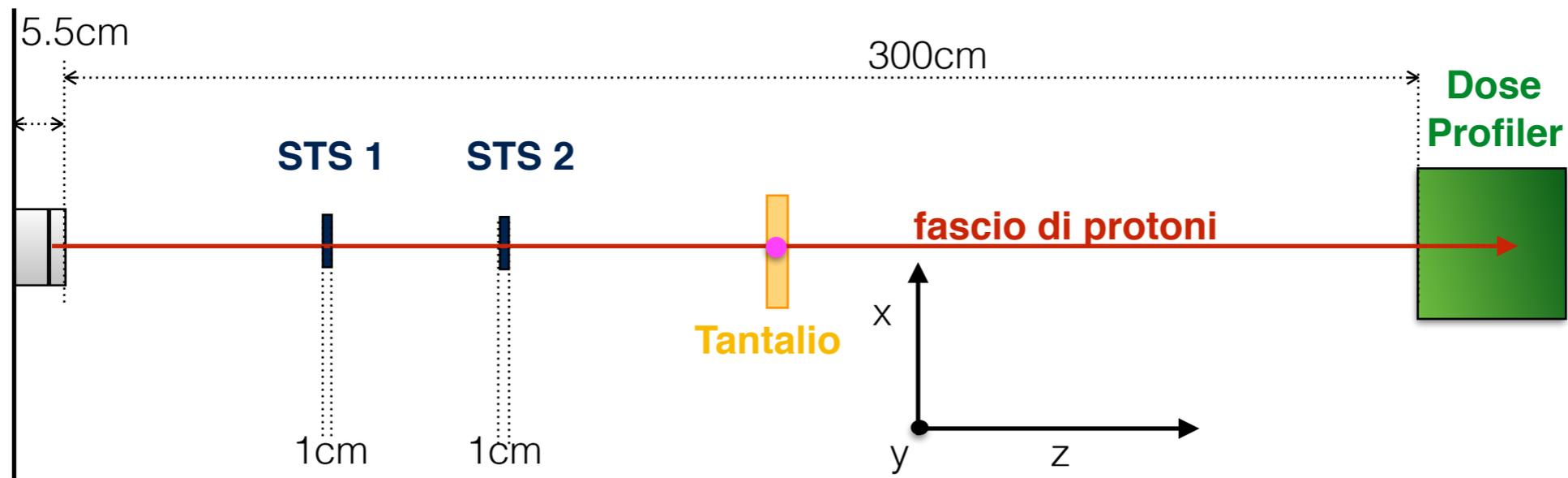
- Possibilità di traslare il Dose Profiler lungo l'asse x e l'asse y
- Fascio all'isocentro (●) gaussiano con:
 $\sigma = 6.9 \div 2.91$ [mm]
- Materiale attraversato da fascio prima di raggiungere il Dose Profiler:
~ 2 cm di materiale plastico scintillante
(densità 1.03 g/cm^3)

Set-up sperimentale - Giugno



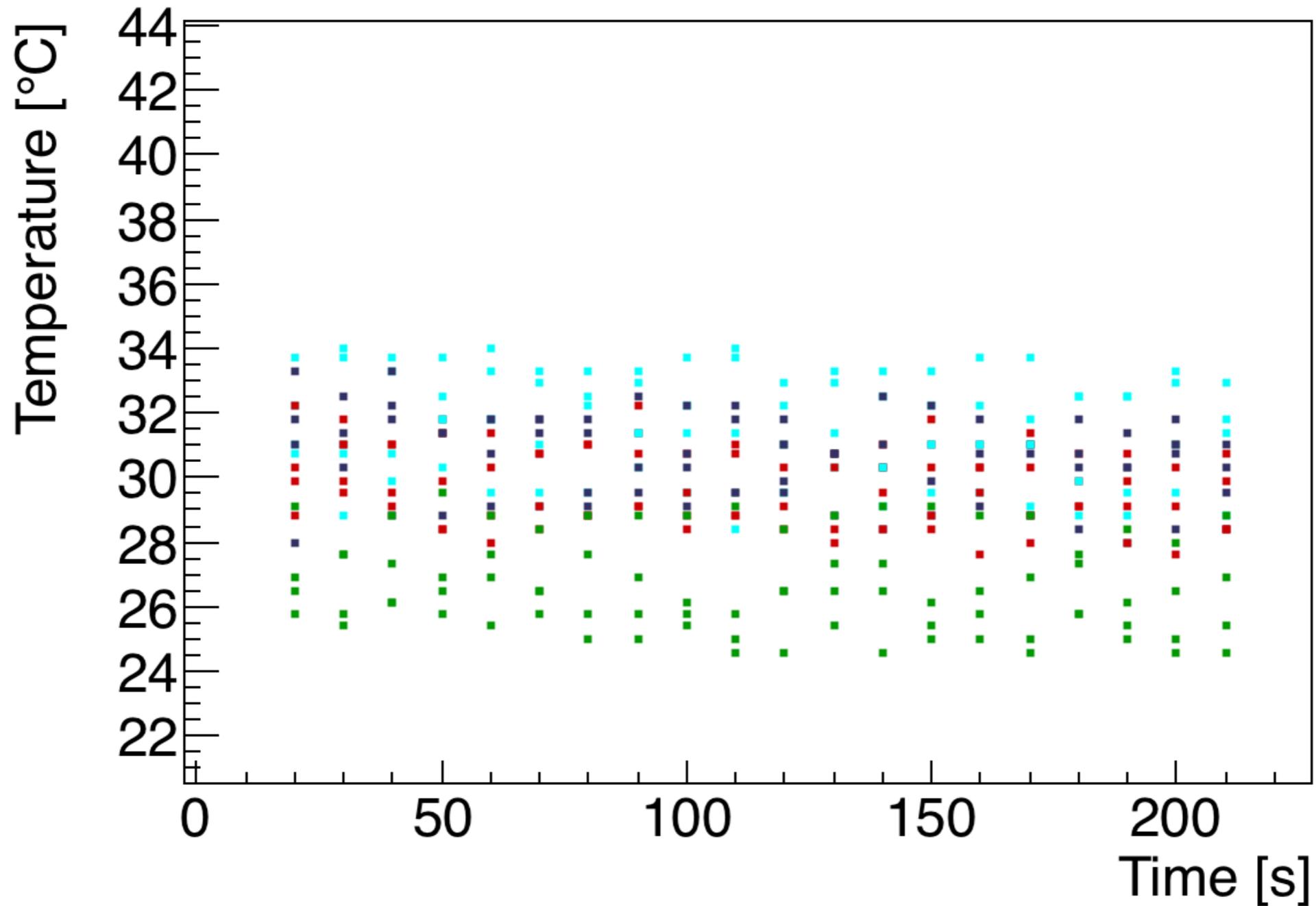
- Possibilità di traslare il Dose Profiler lungo l'asse x e l'asse y
- Fascio all'isocentro (●) gaussiano con:
 $\sigma = 6.9 \div 2.91$ [mm]
- Materiale attraversato da fascio prima di raggiungere il Dose Profiler:
 - ~ 2 cm di materiale plastico scintillante (densità 1.03 g/cm^3)
 - ~ 3 cm di Tantalio (densità 16.650 g/cm^3 , numero atomico 73)

Set-up sperimentale - Giugno



- Possibilità di traslare il Dose Profiler lungo l'asse x e l'asse y
- Fascio all'isocentro (●) gaussiano con:
 $\sigma = 6.9 \div 2.91$ [mm]
- Materiale attraversato da fascio prima di raggiungere il Dose Profiler:
 - ~ 2 cm di materiale plastico scintillante (densità 1.03 g/cm^3)
 - ~ 3 cm di Tantalio (densità 16650 kg/m^3 , numero atomico 73)

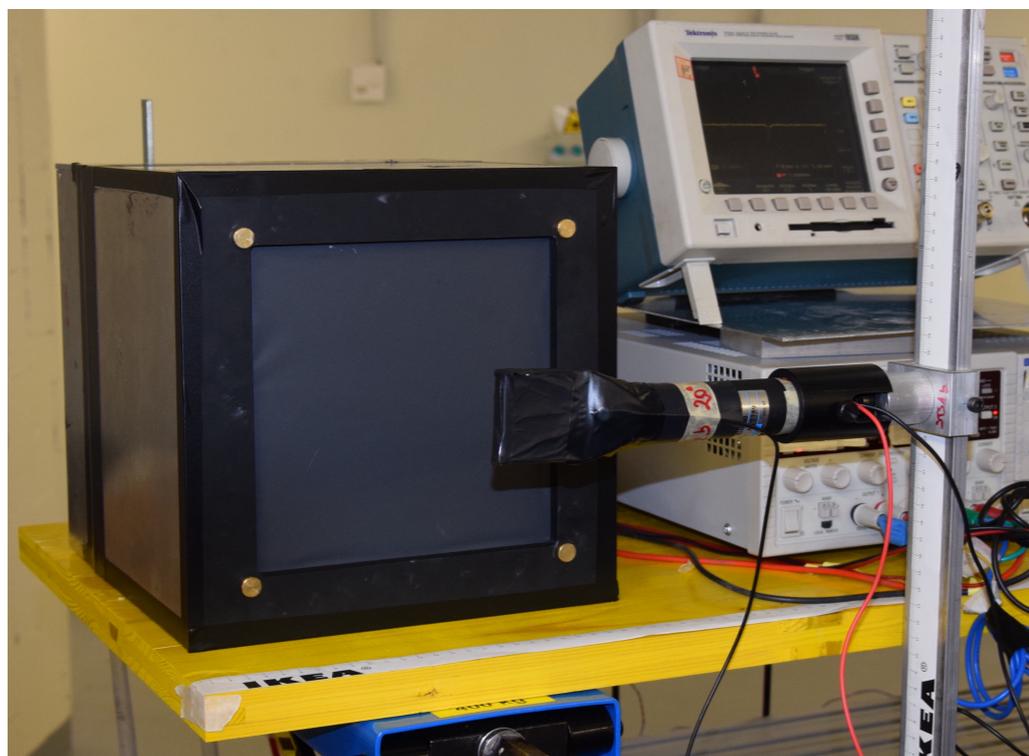
Temperatura



- **18 °C -> temperatura teste PET**
- **11 °C -> temperatura minima per fare condensa**

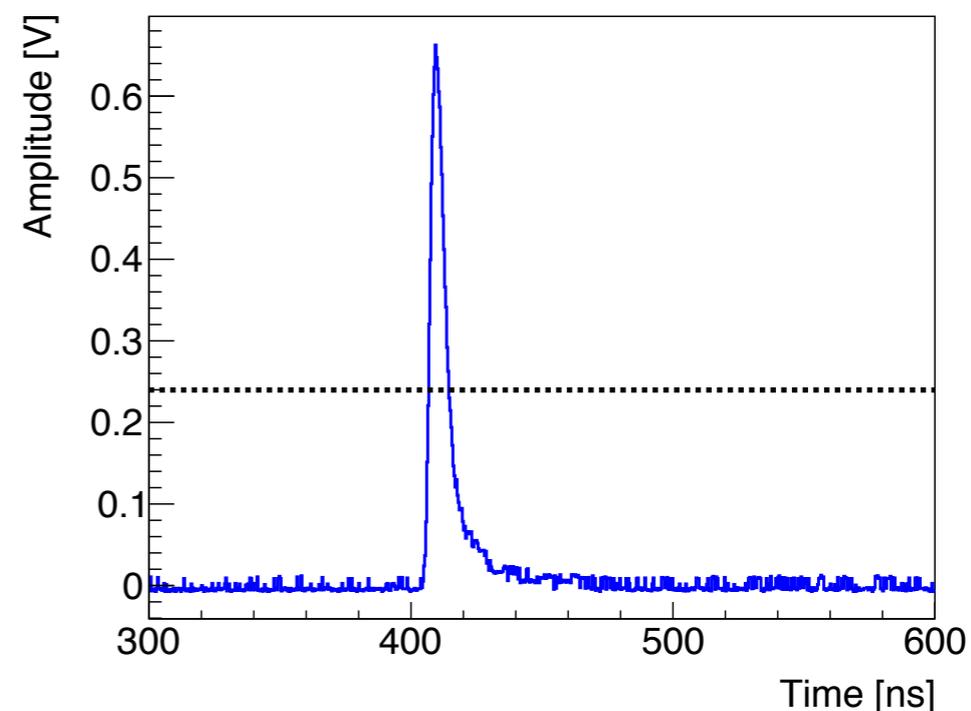
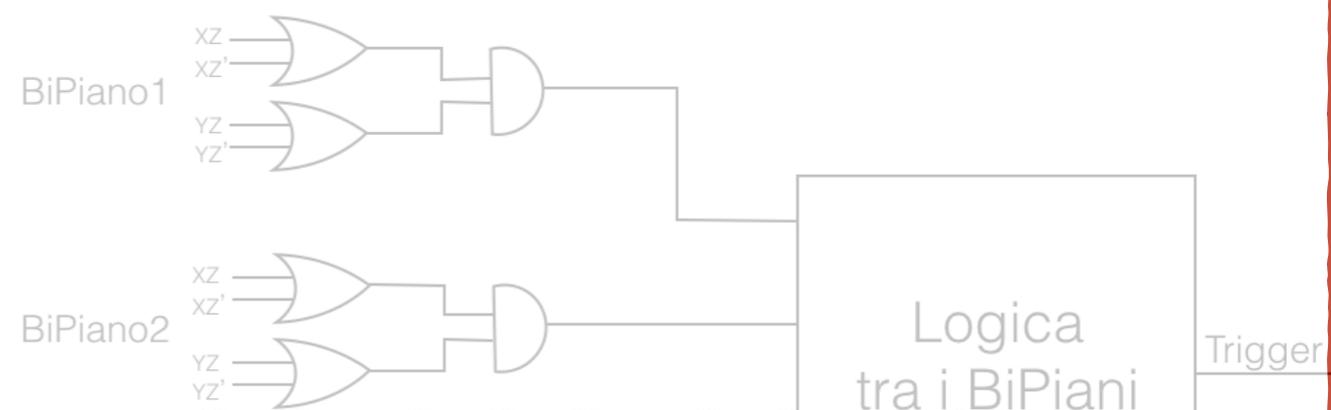
Trigger

Trigger esterno



- **Scintillatore plastico (spesso 1cm)**
- **Il segnale viene inviato ad un discriminatore (soglia -250 mV)**
- **Acquisiti 3072 canali successivamente selezionati via software (no zero suppression)**

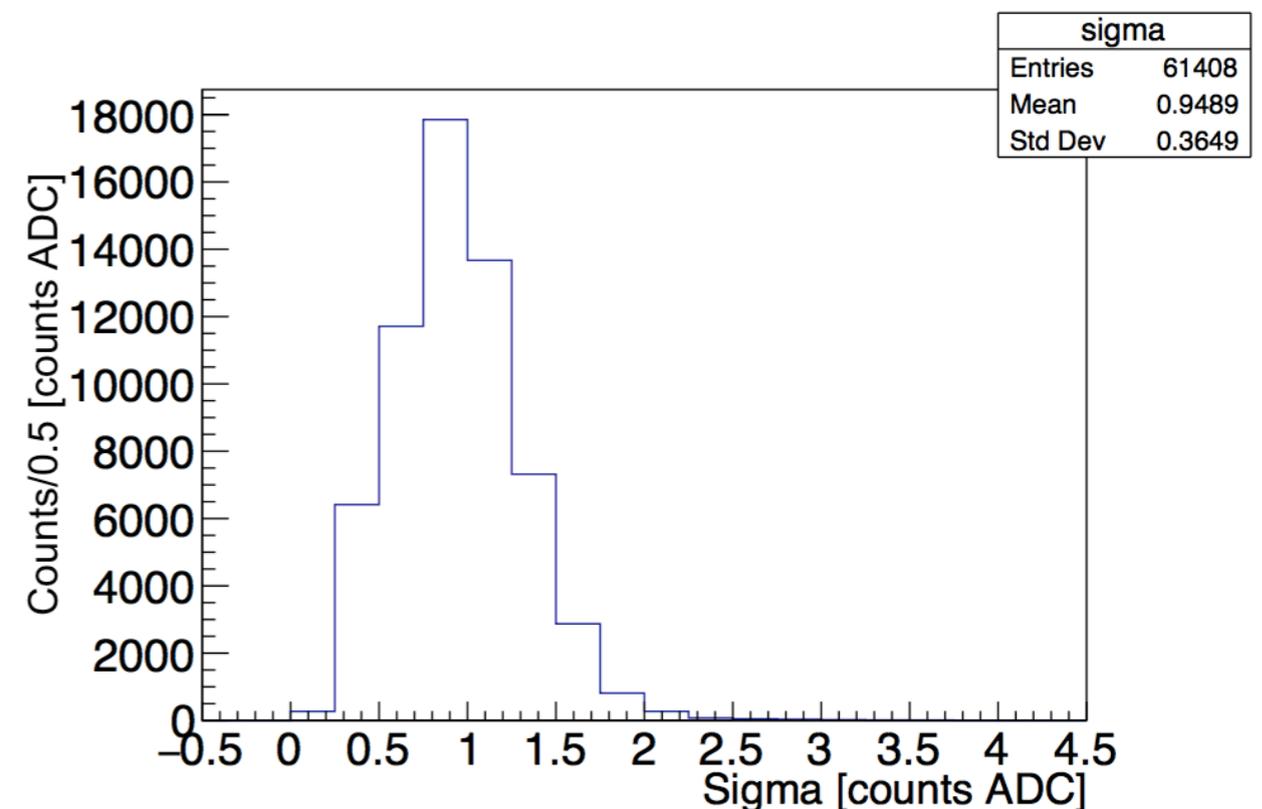
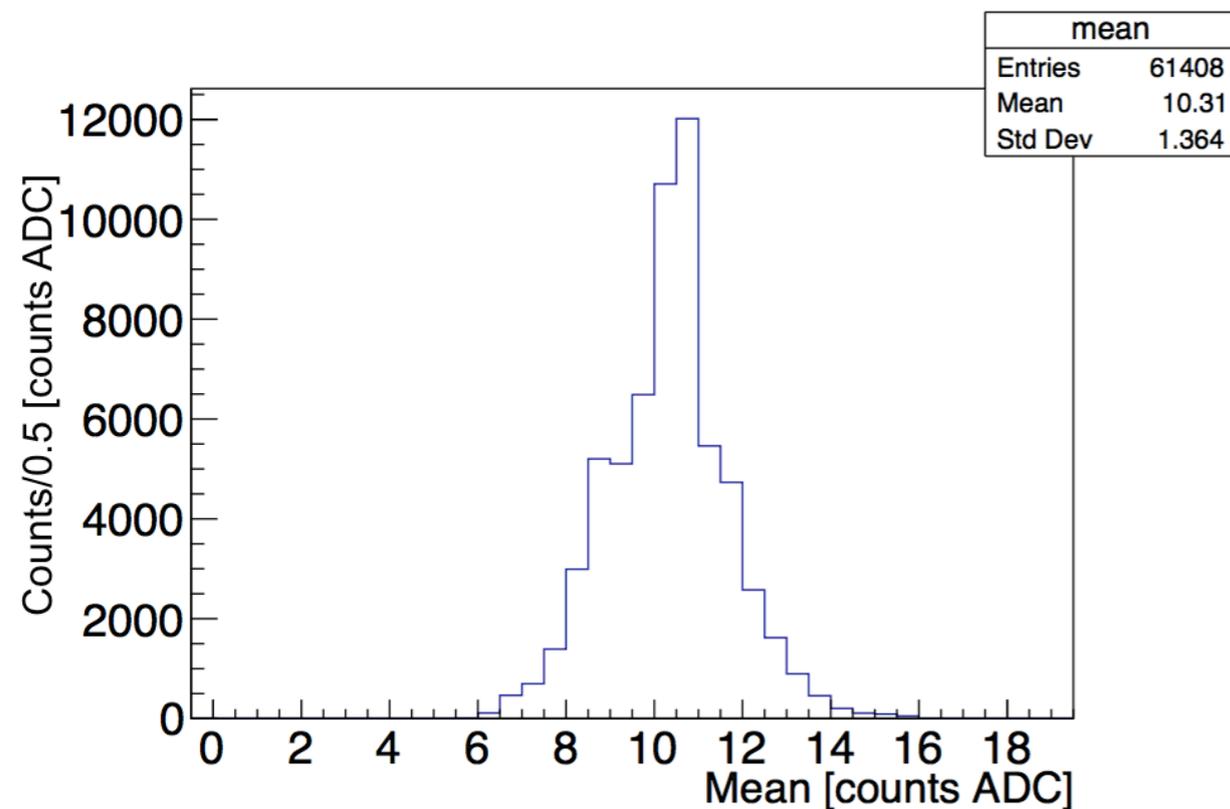
Trigger interno



Risultati

Piedistalli

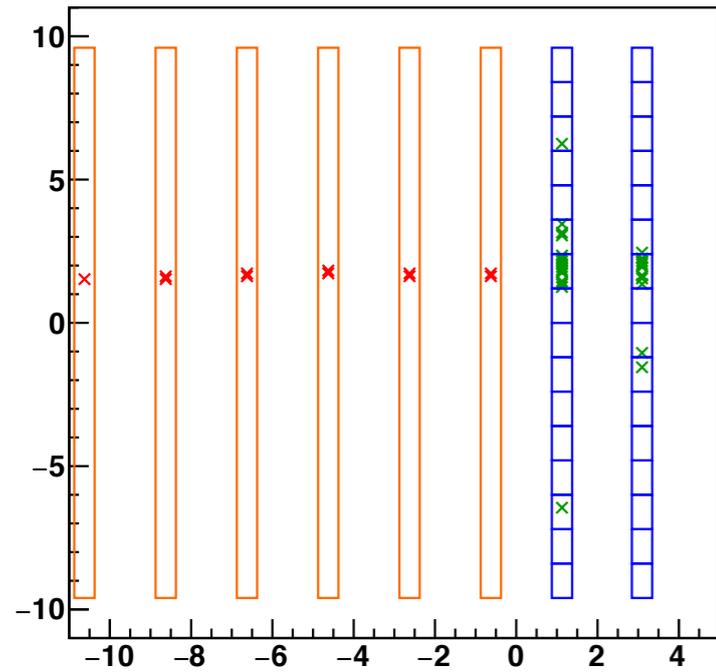
Misura della carica in assenza di segnale esterno da sottrarre alla carica misurata nelle acquisizioni di fasci di protoni



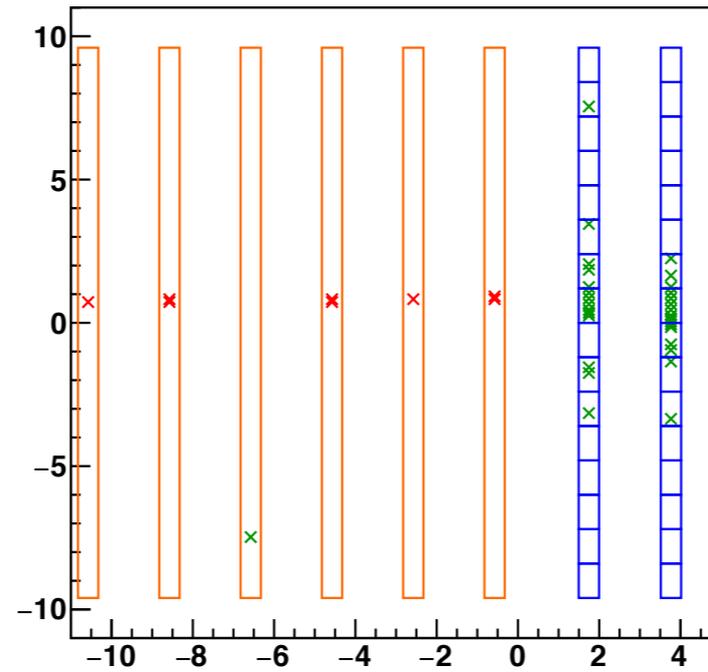
Stabile al variare delle condizioni operative

Hit e Cluster

X-Z planes - Ev::2 (36 hits)



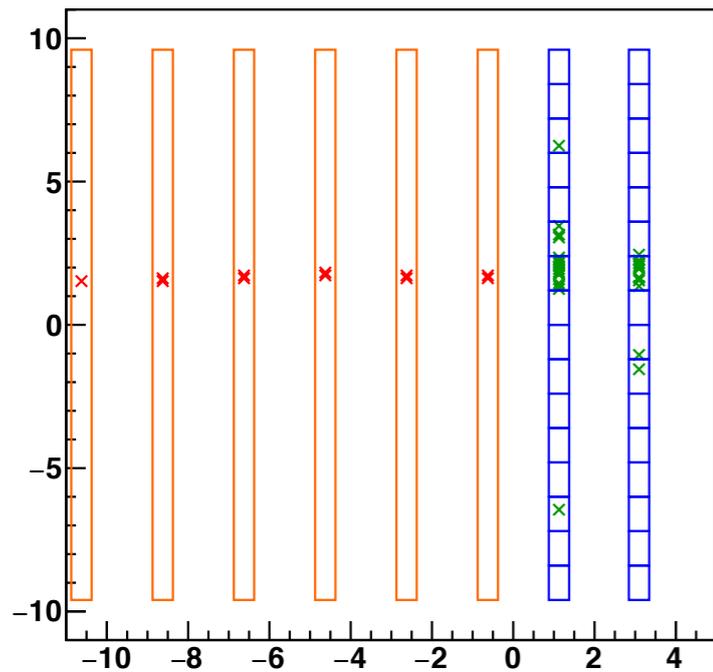
Y-Z planes - Ev::2 (39 hits)



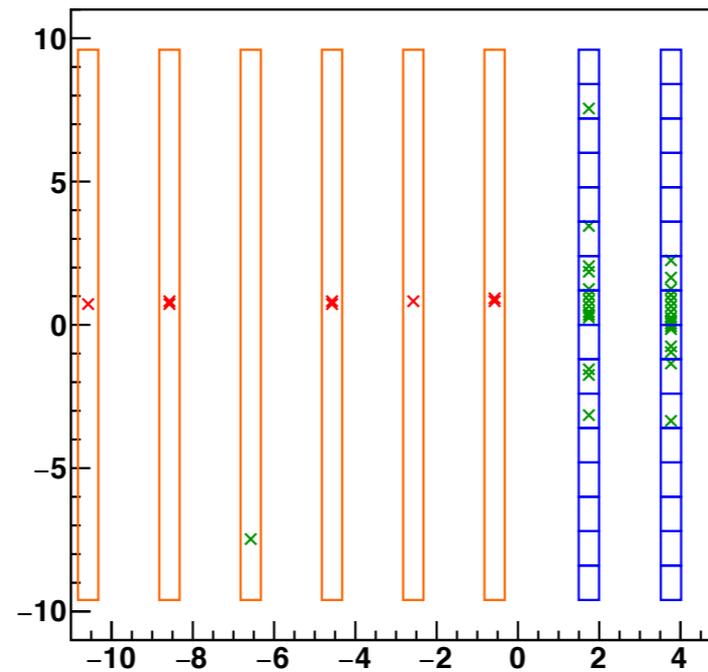
**Hit = SiPM con segnale
sopra soglia**

Hit e Cluster

X-Z planes - Ev::2 (36 hits)



Y-Z planes - Ev::2 (39 hits)

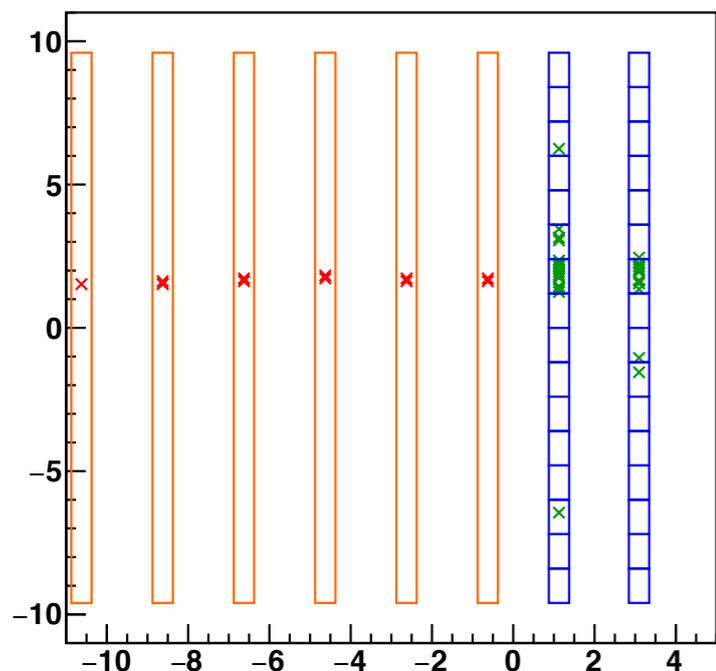


**Hit = SiPM con segnale
sopra soglia**

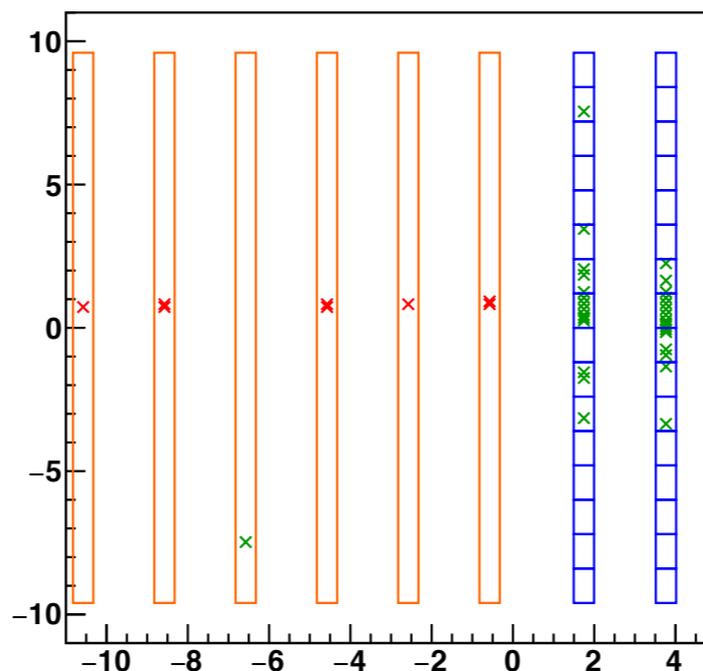
**Cross Talk
(ottico ed elettronico)**

Hit e Cluster

X-Z planes - Ev::2 (36 hits)



Y-Z planes - Ev::2 (39 hits)



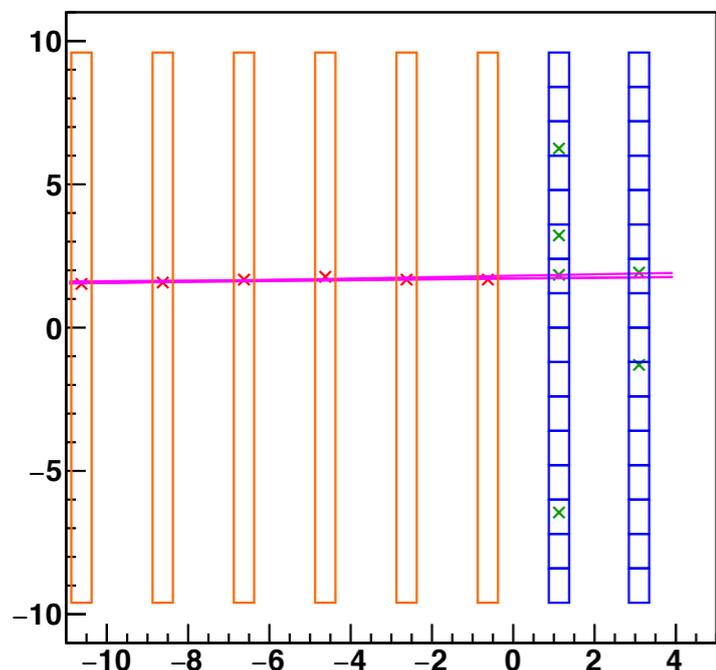
Hit = SiPM con segnale sopra soglia

**Cross Talk
(ottico ed elettronico)**

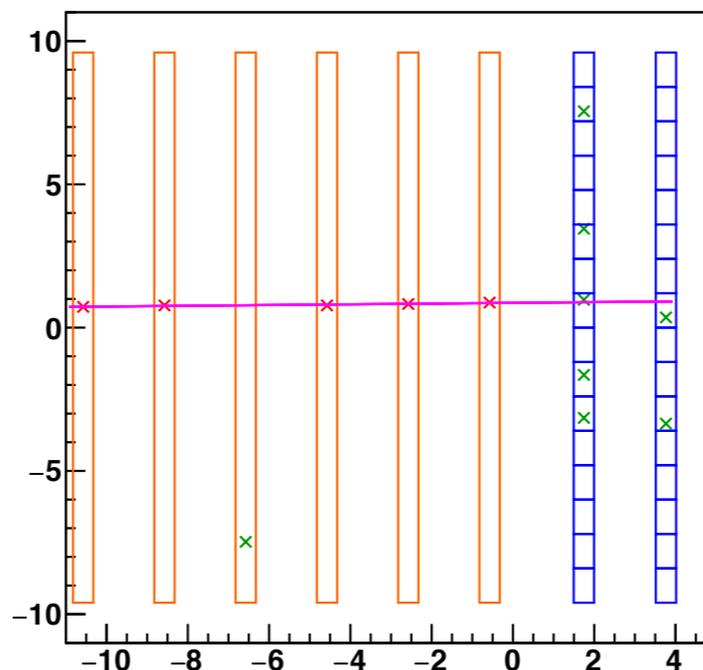


**Raggruppare hit vicini in cluster
(distanza 2 mm)**

X-Z planes - Ev::2 (12 hits)

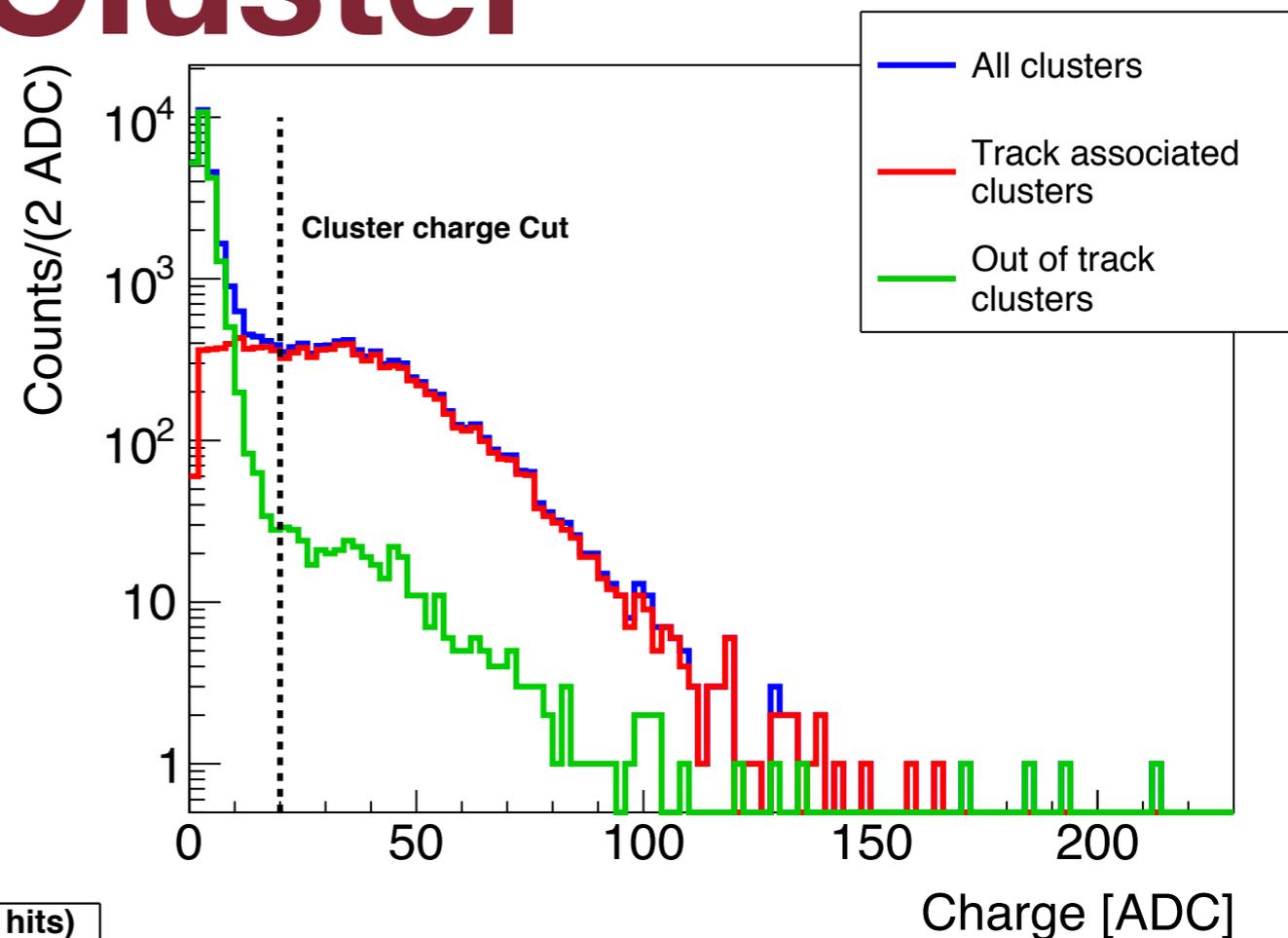


Y-Z planes - Ev::2 (13 hits)

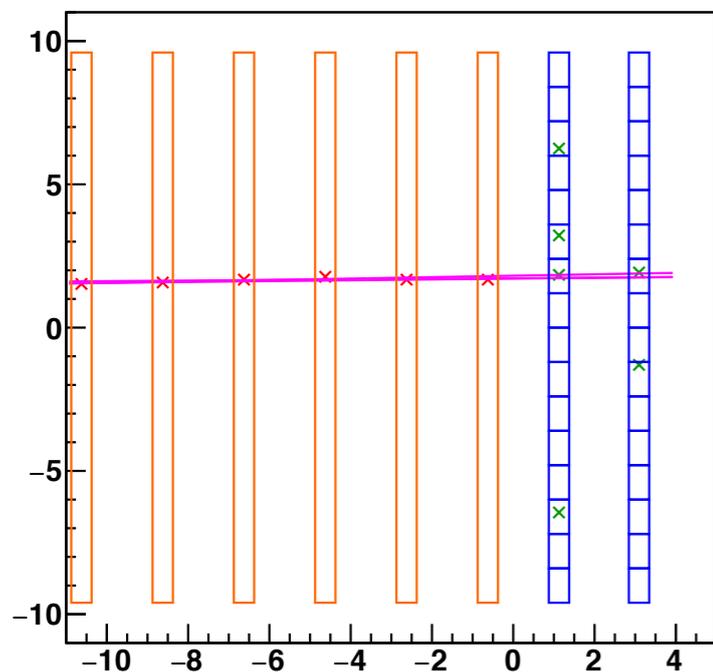


Hit e Cluster

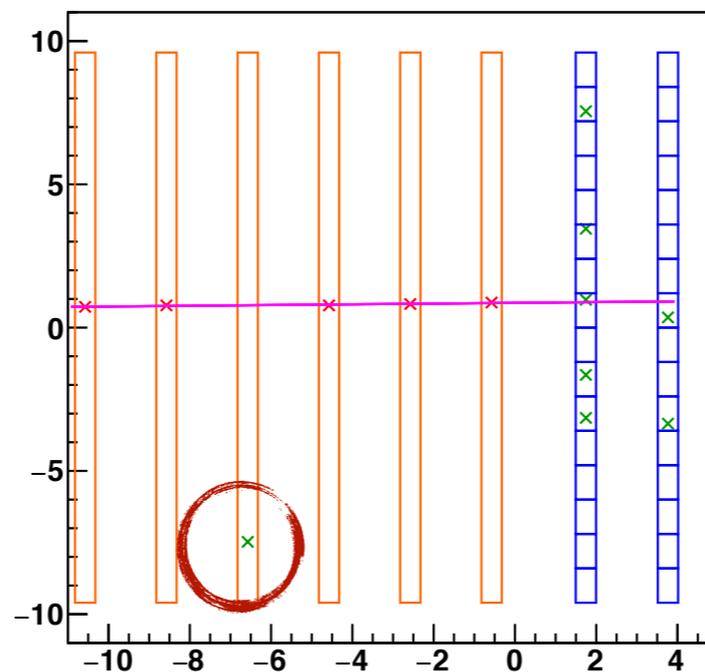
Preselezione degli Hit in base alla distribuzione di carica di cluster non associati a tracce



X-Z planes - Ev::2 (12 hits)

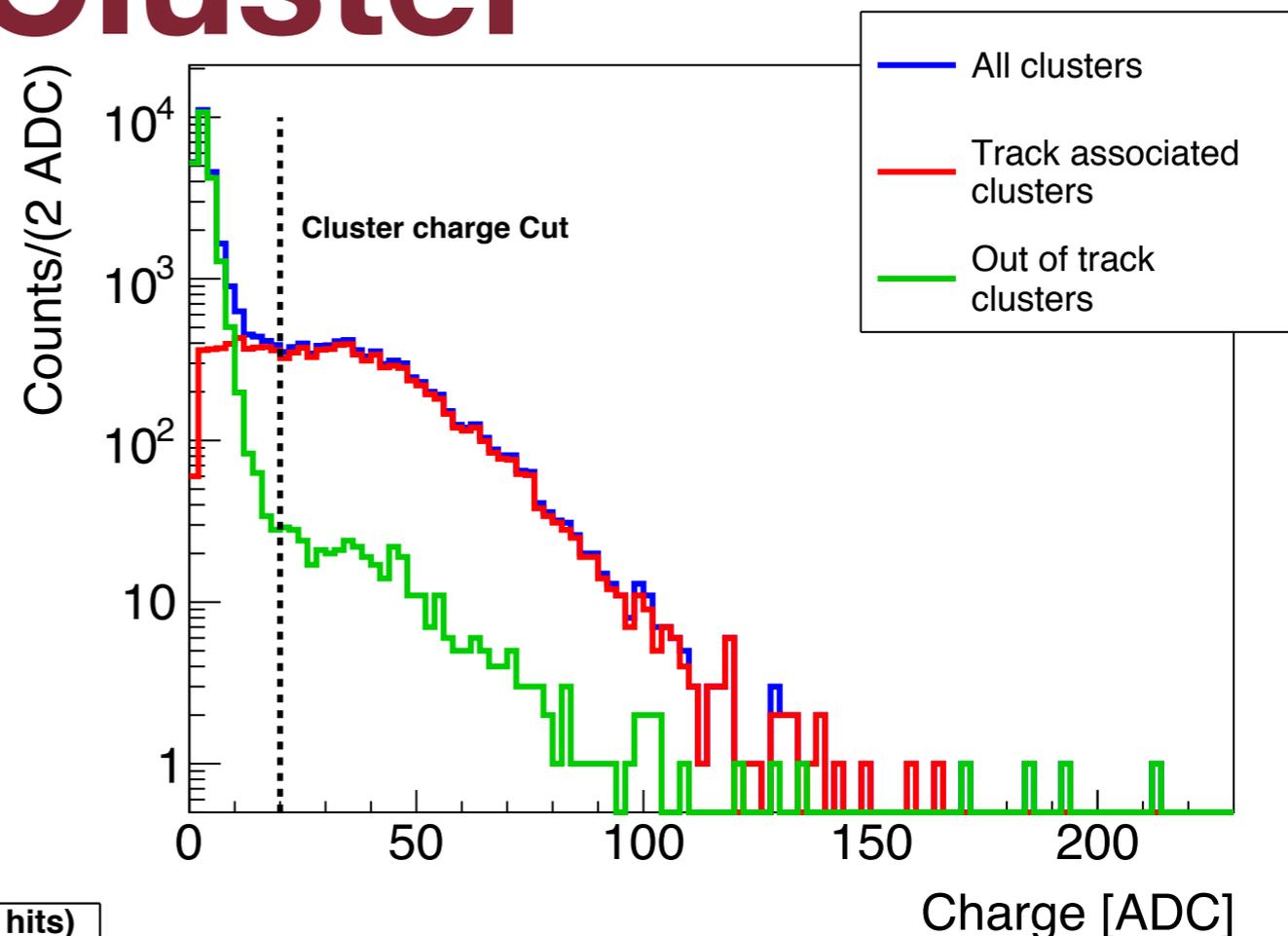


Y-Z planes - Ev::2 (13 hits)

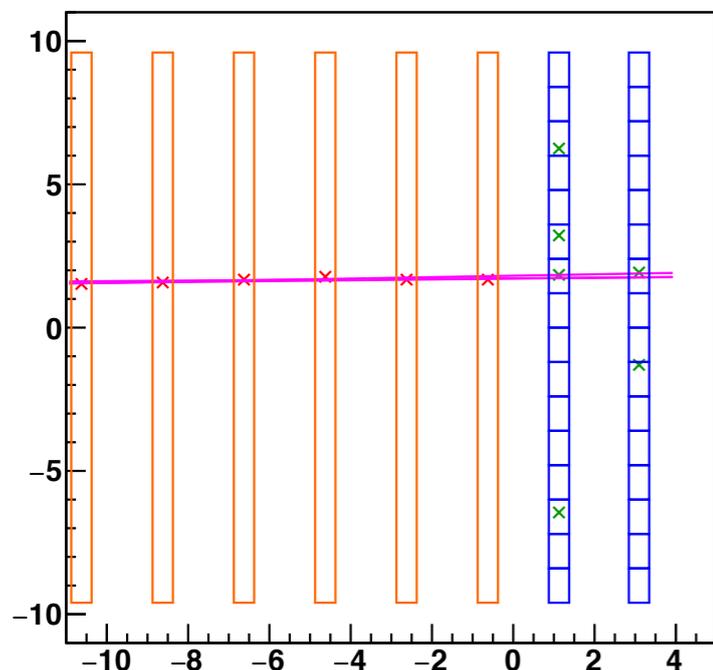


Hit e Cluster

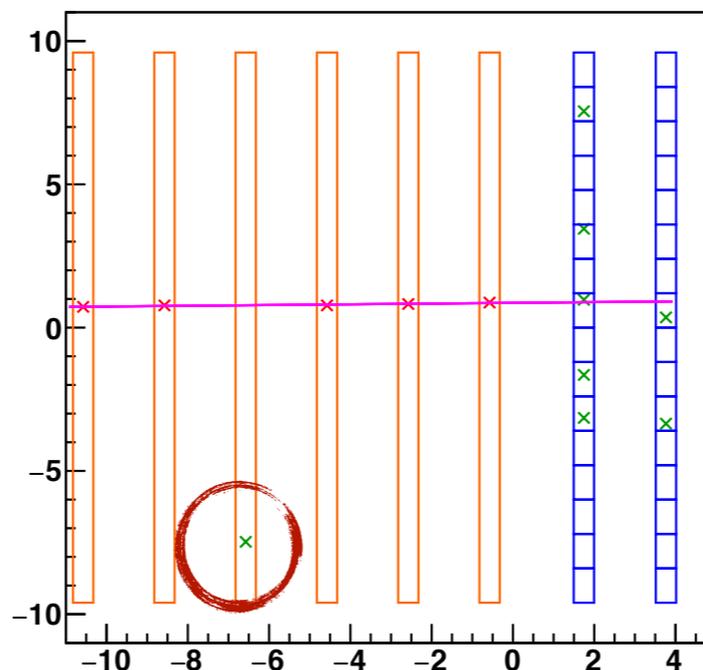
Preselezione degli Hit in base alla distribuzione di carica di cluster non associati a tracce



X-Z planes - Ev::2 (12 hits)

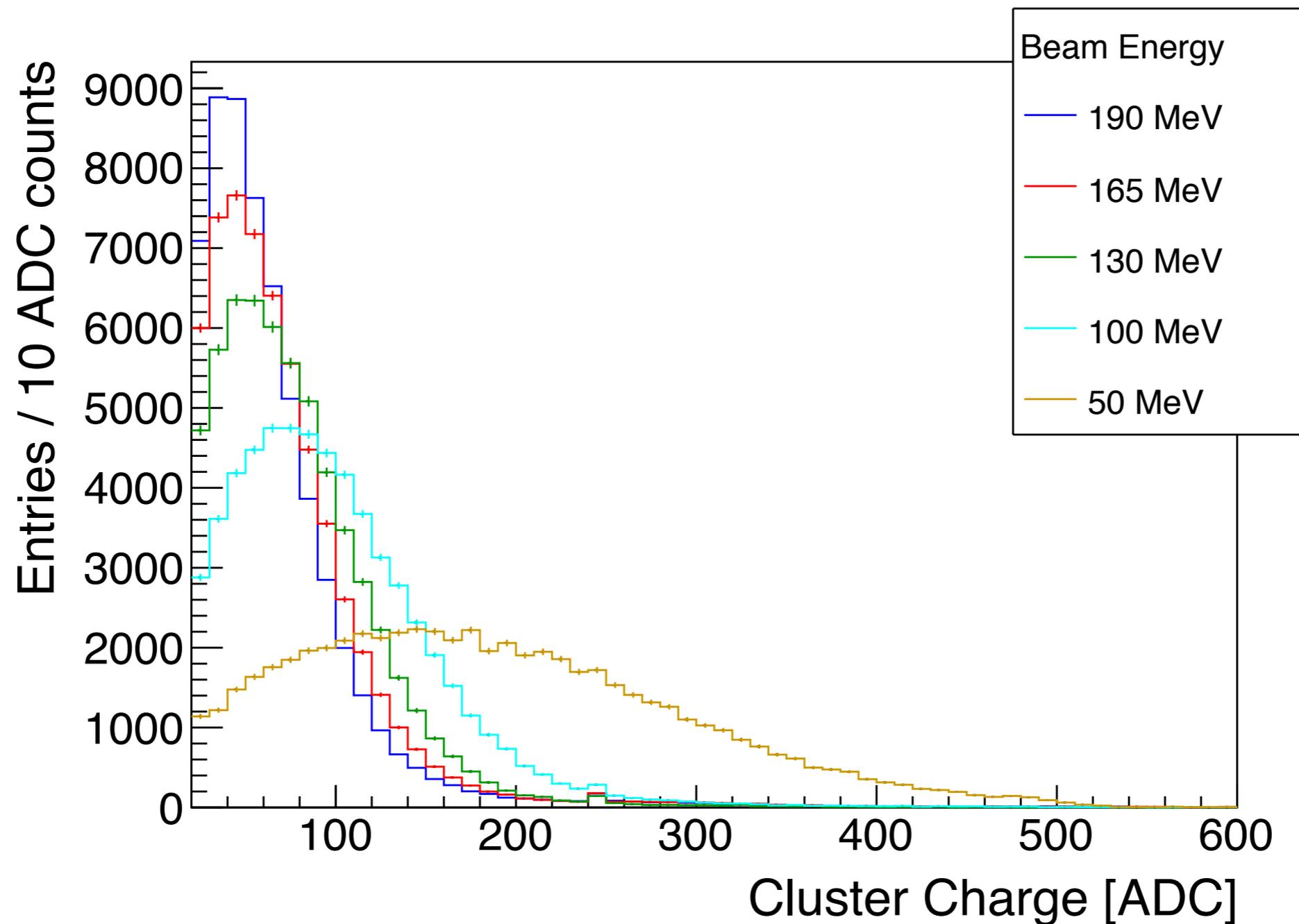


Y-Z planes - Ev::2 (13 hits)



Effettuando un taglio sui cluster con carica minore di 20 conteggi ADC si riduce significativamente il numero di cluster da valutare nella costruzione delle tracce

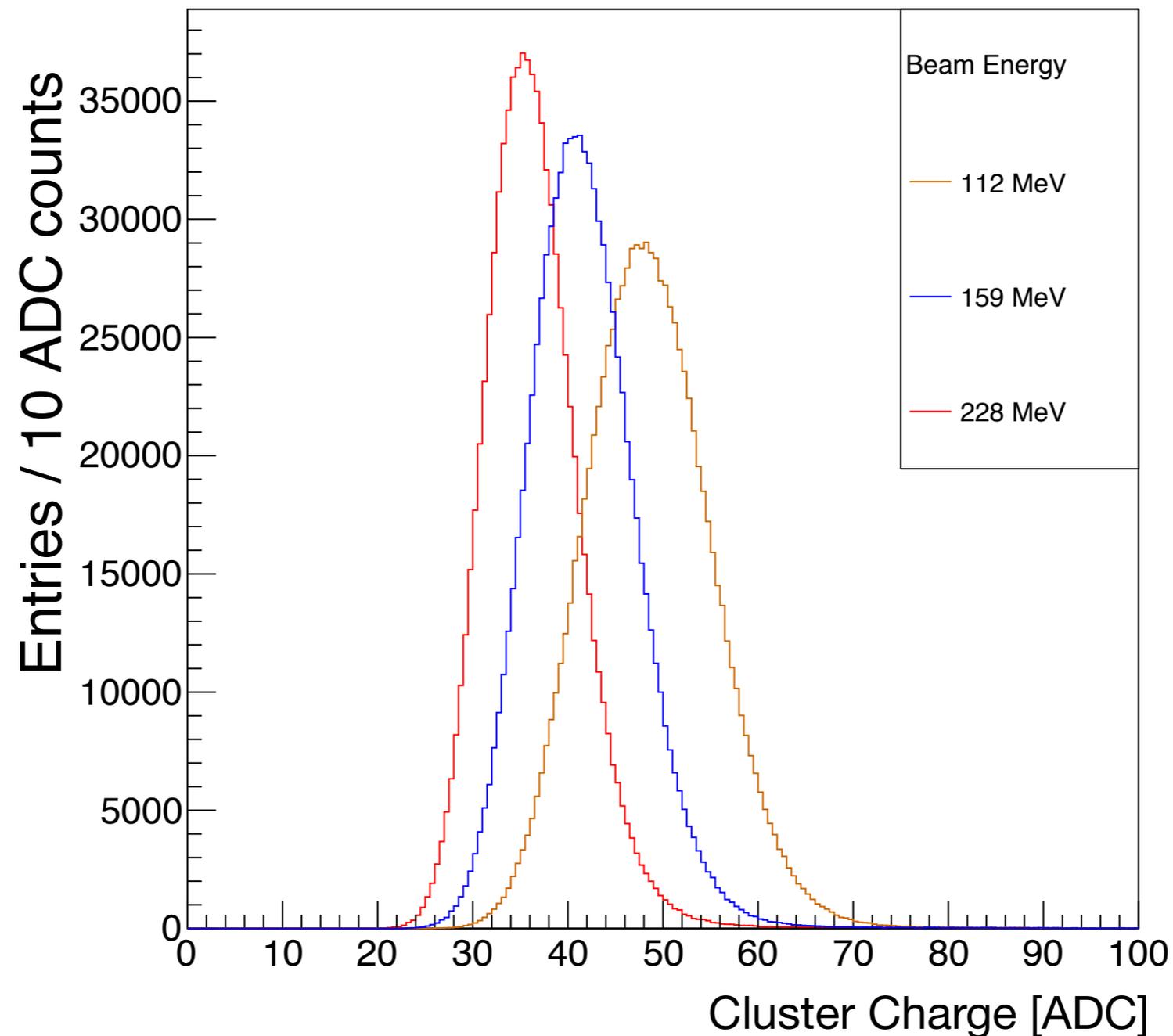
Carica dei Cluster - Maggio



energia depositata nelle fibre $\propto 1/\text{energia cinetica protoni}$

numero di fotoelettroni generati \propto energia depositata nelle fibre

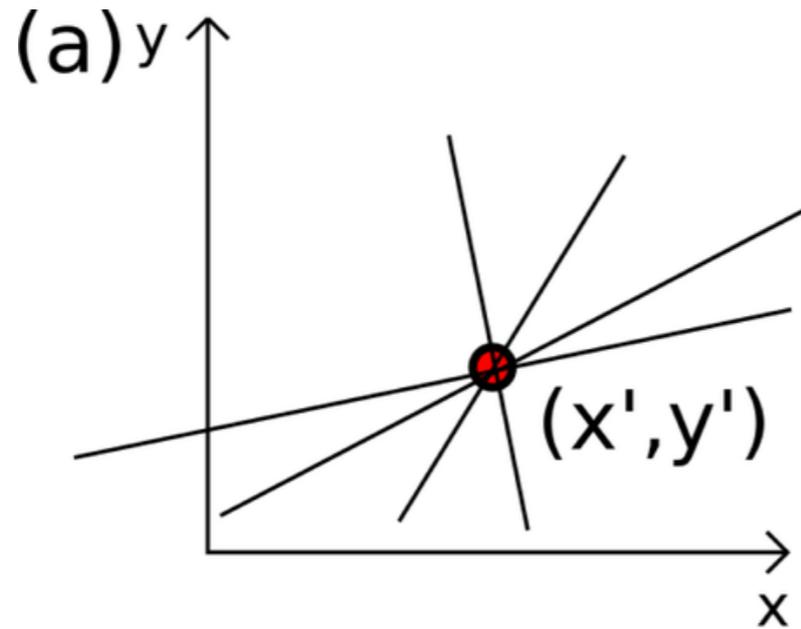
Carica dei Cluster - Giugno



energia depositata nelle fibre $\propto 1/\text{energia cinetica protoni}$

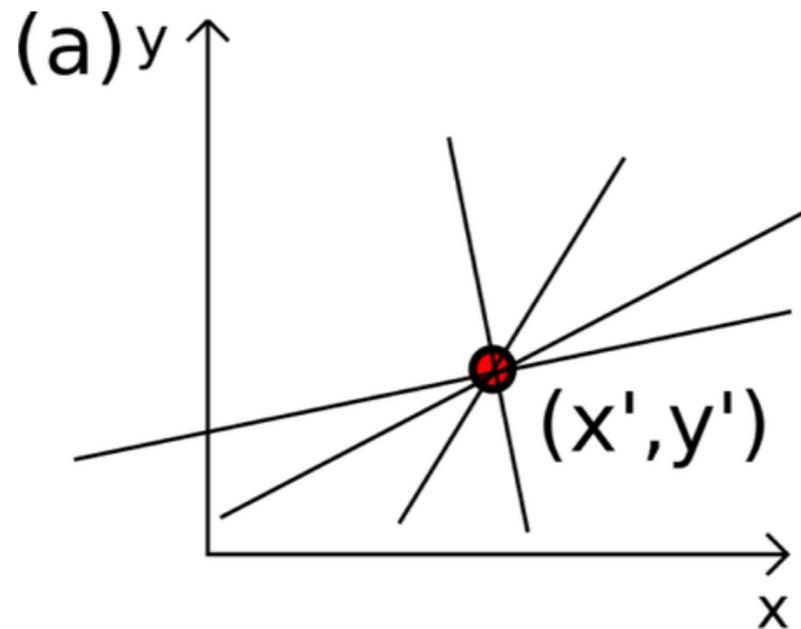
numero di fotoelettroni generati $\propto \text{energia depositata nelle fibre}$

Tracking: Trasformata di Hough

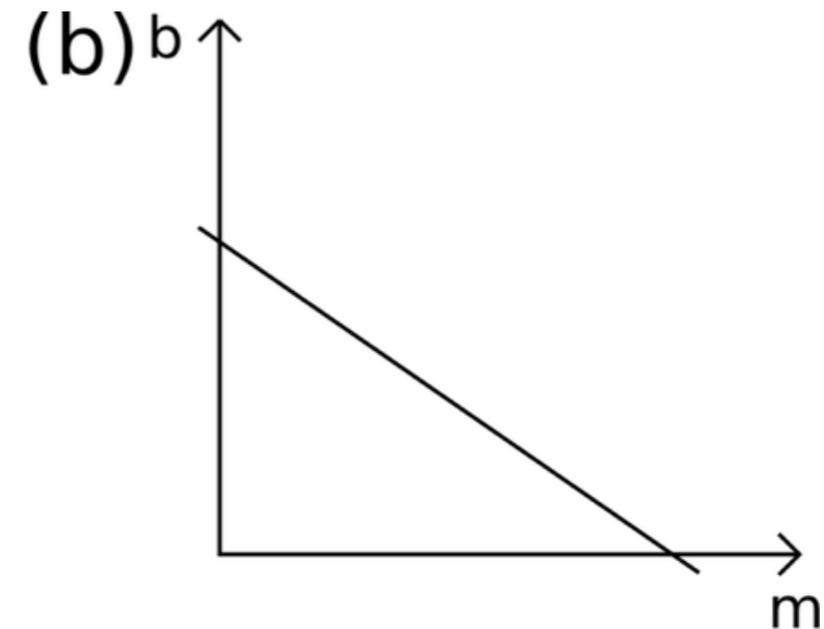


$$y' = mx' + b$$

Tracking: Trasformata di Hough

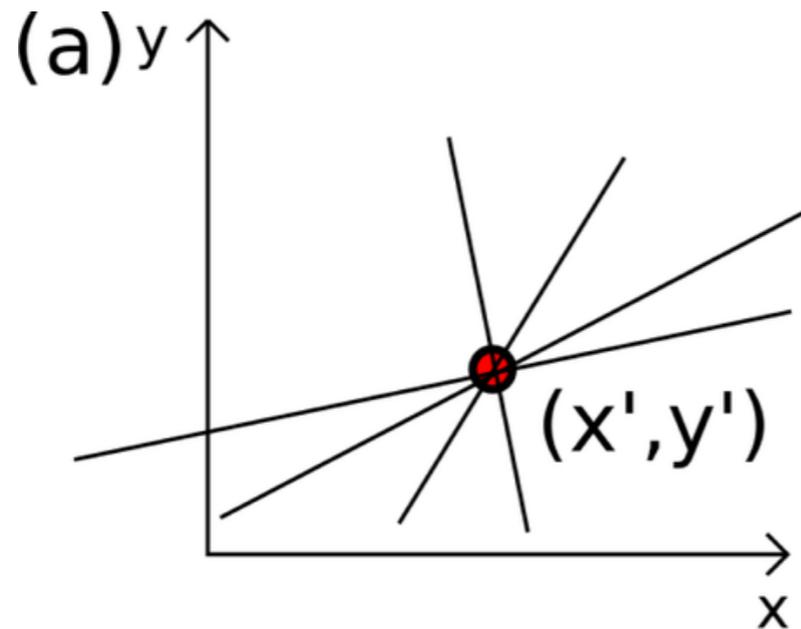


$$y' = mx' + b$$

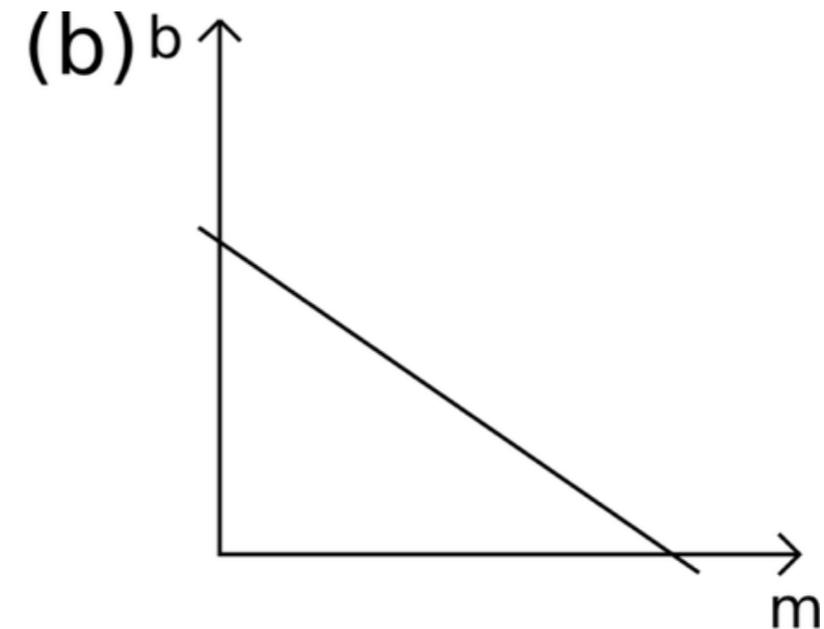


$$b = -mx' + y'$$

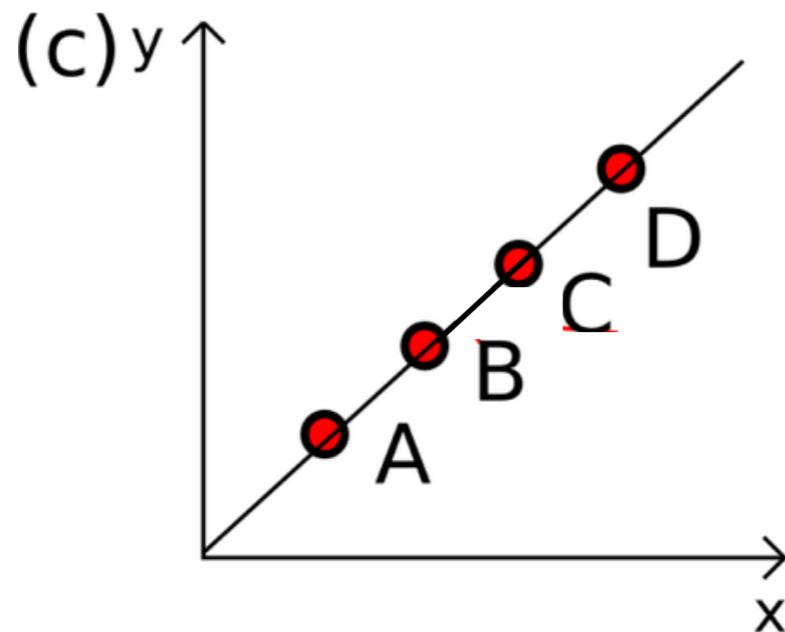
Tracking: Trasformata di Hough



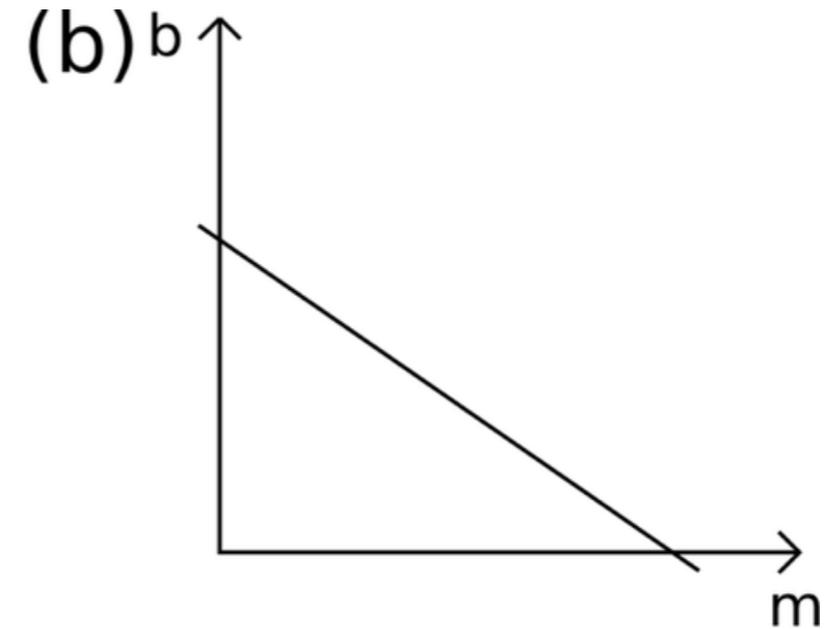
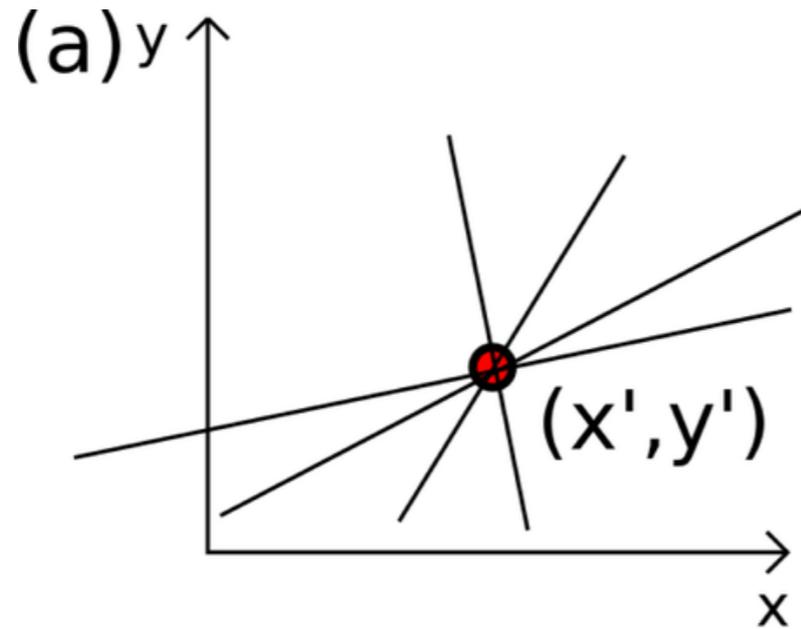
$$y' = mx' + b$$



$$b = -mx' + y'$$

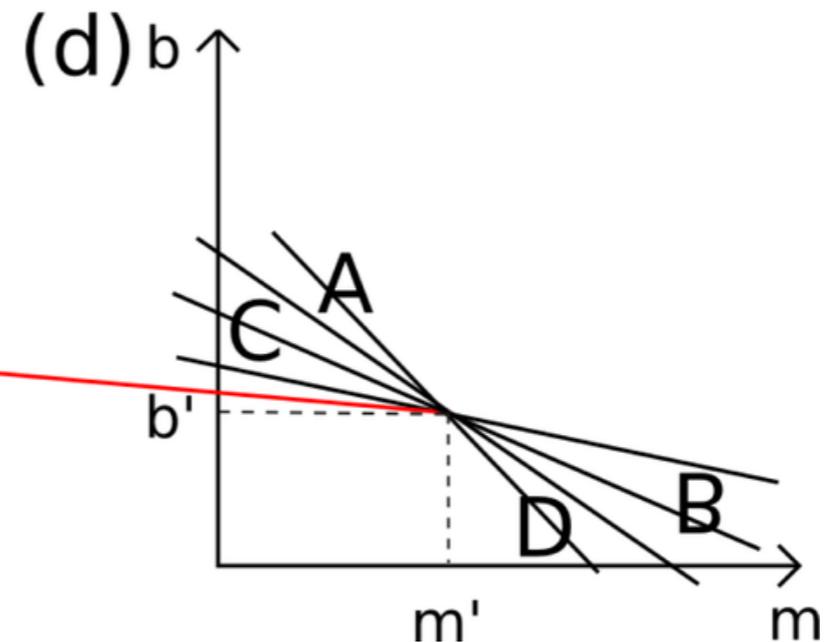
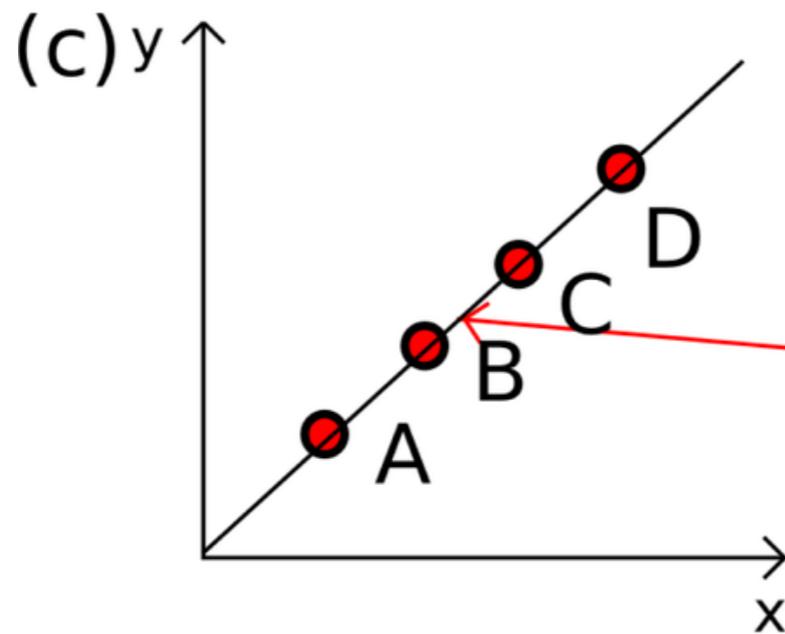


Tracking: Trasformata di Hough

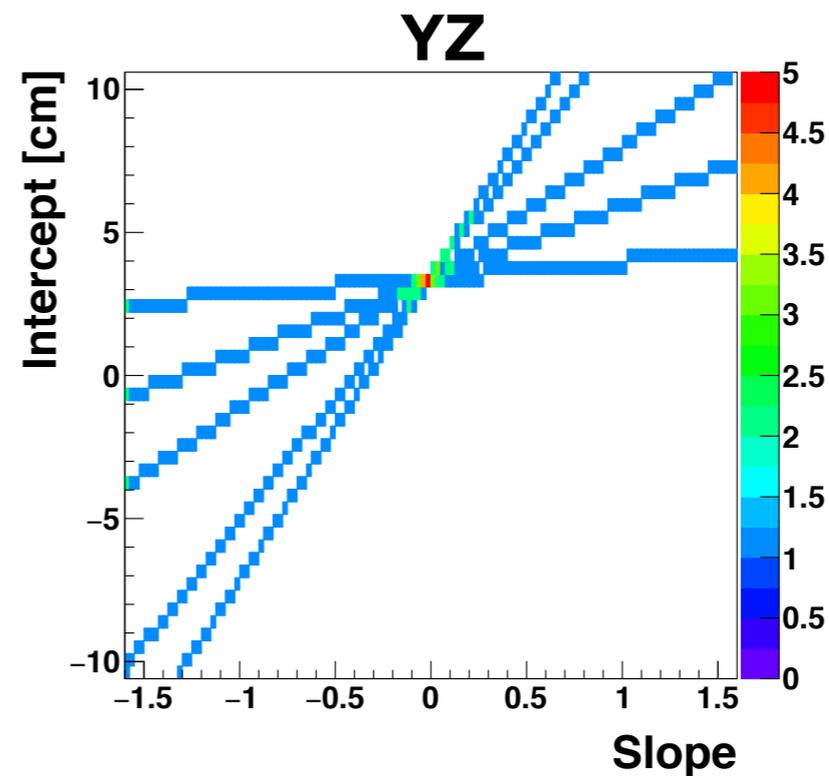
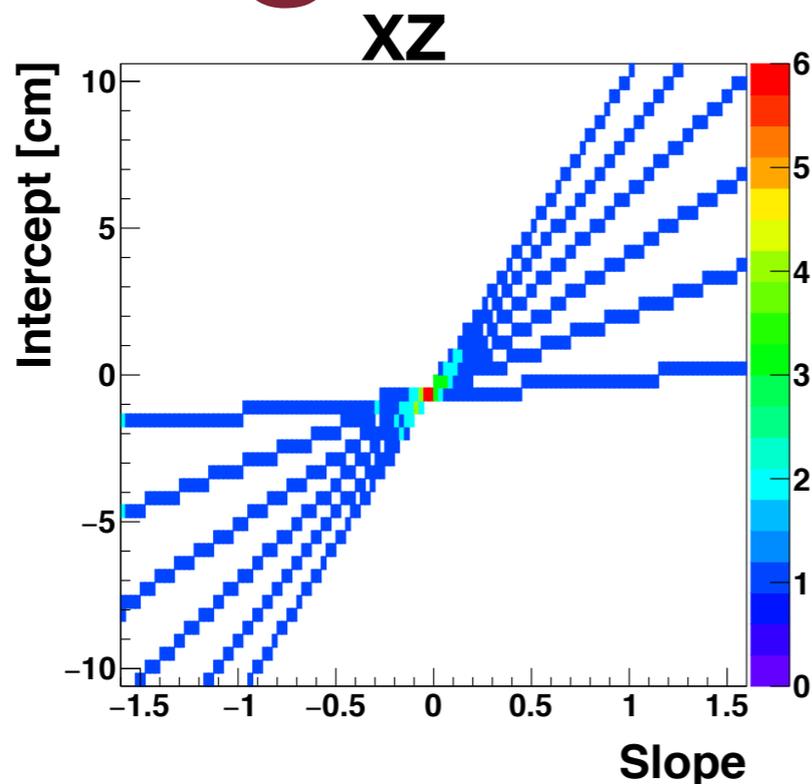


$$y' = mx' + b$$

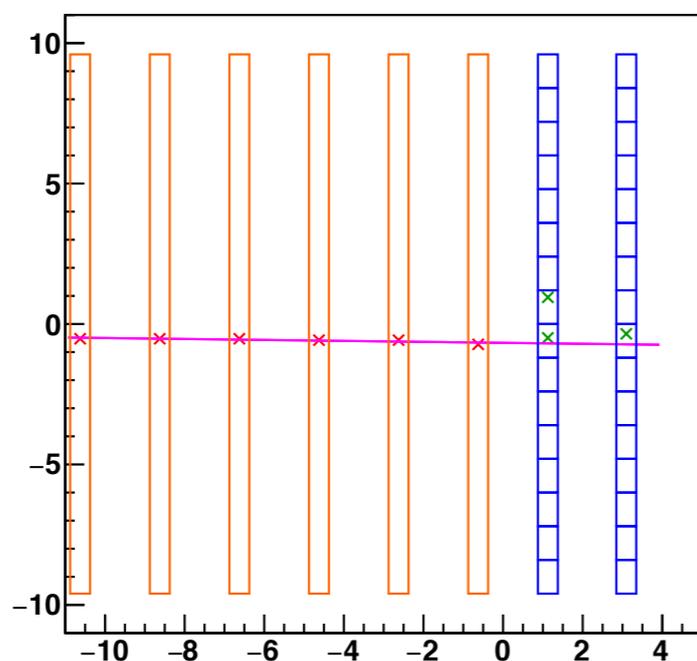
$$b = -mx' + y'$$



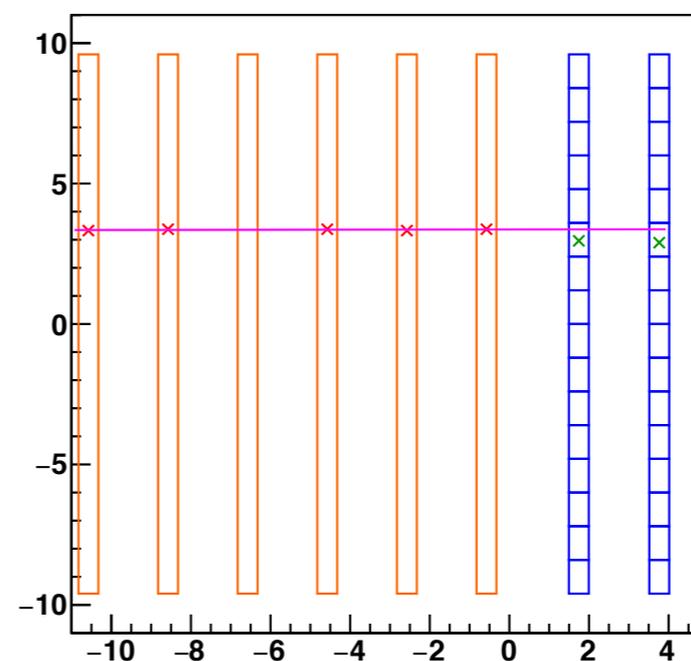
Tracking: Trasformata di Hough



X-Z planes - Ev::9 (9 hits)



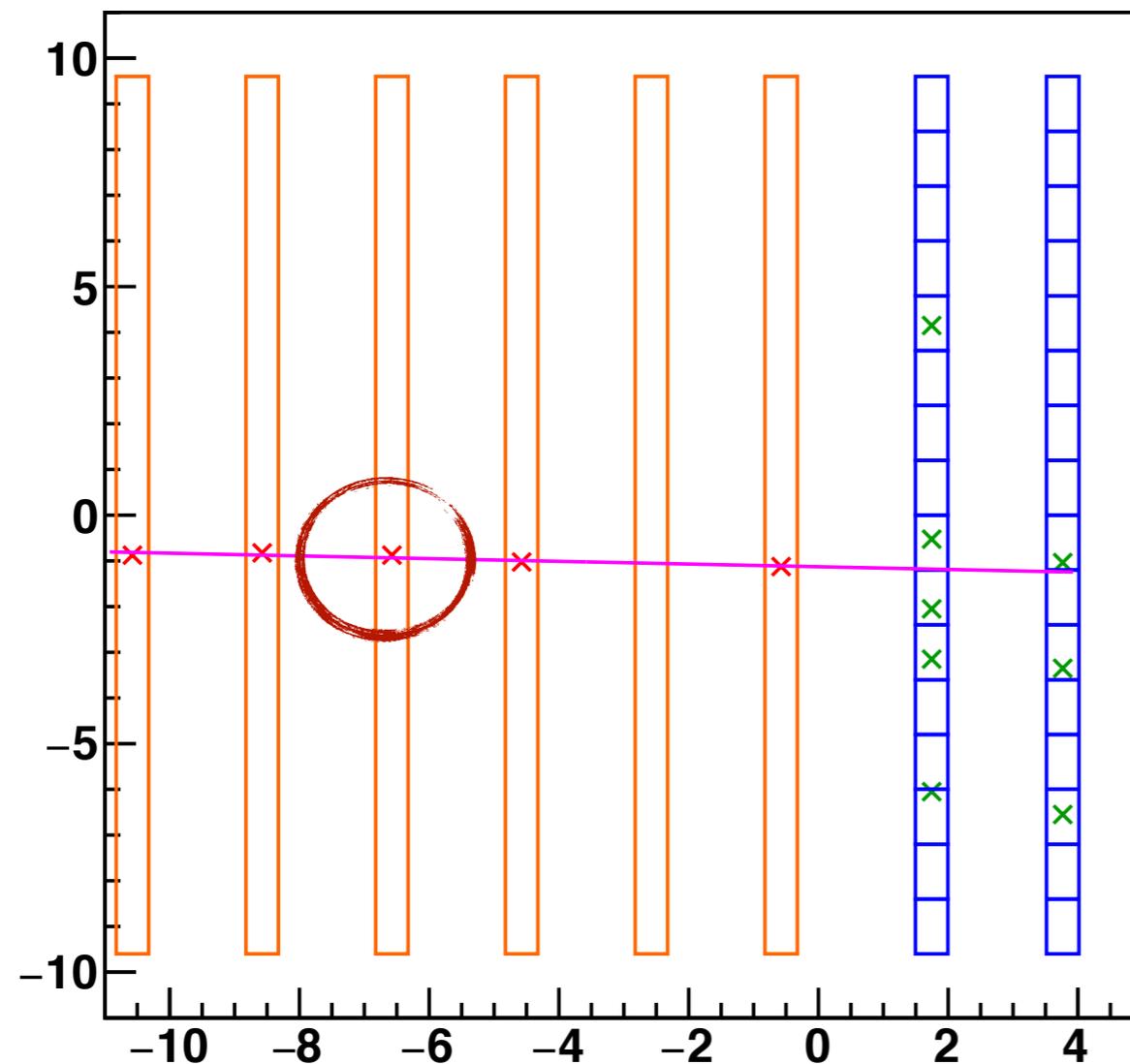
Y-Z planes - Ev::9 (7 hits)



Efficienza di rivelazione

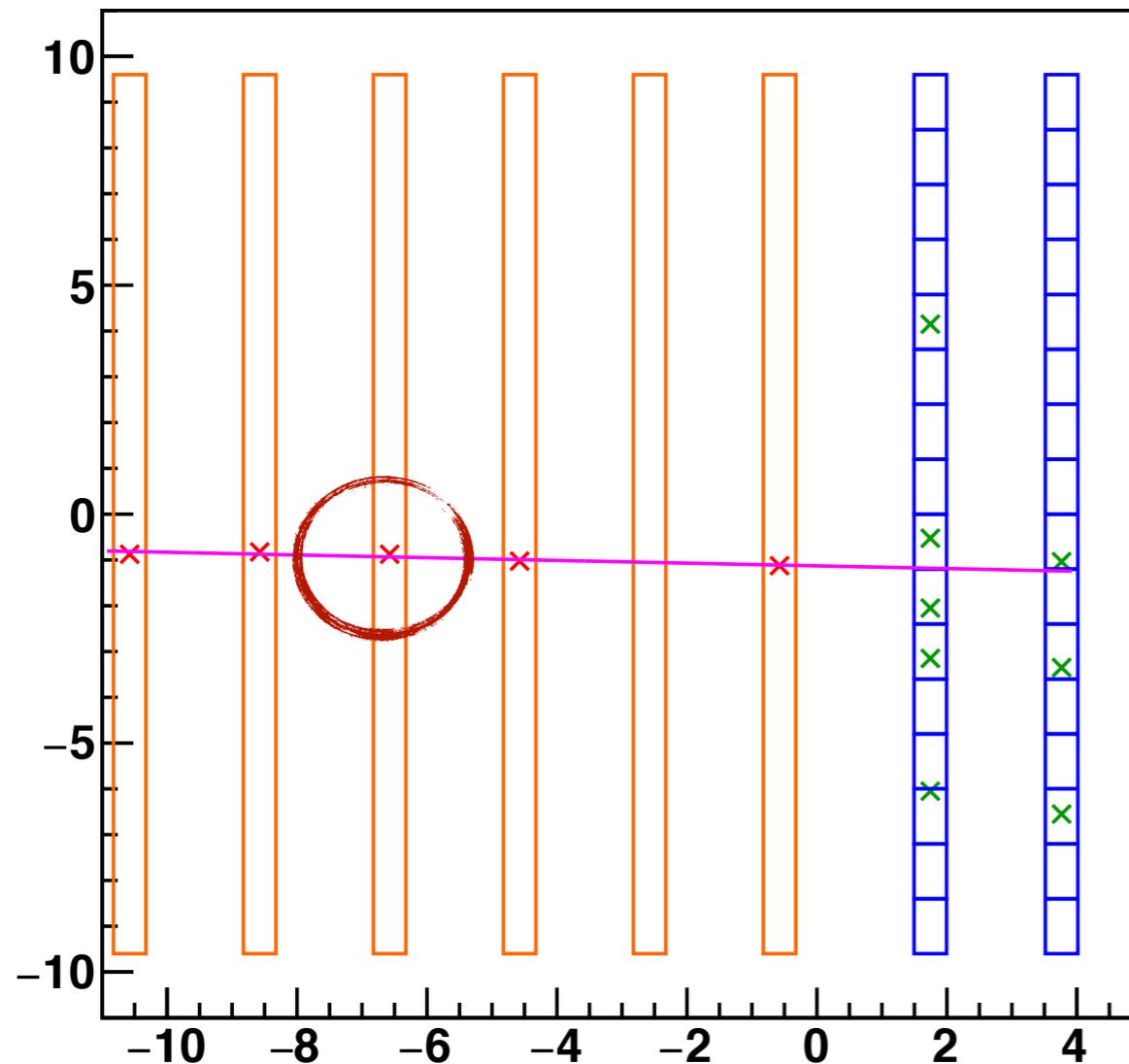
Y-Z planes - Ev::47 (13 hits)

Stimare l'efficienza di rivelazione per ogni piano :



Efficienza di rivelazione

Y-Z planes - Ev::47 (13 hits)

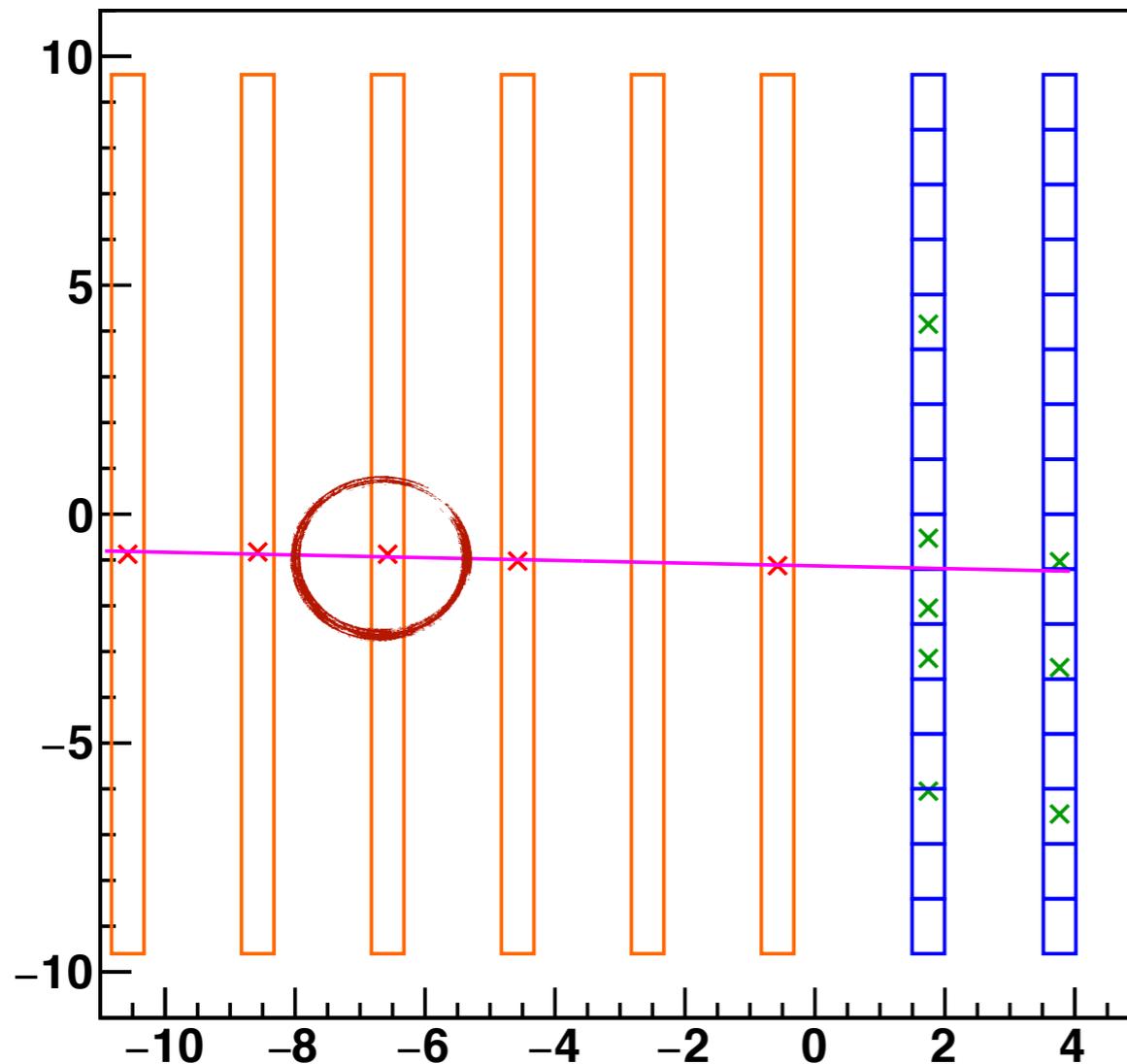


Stimare l'efficienza di rivelazione per ogni piano :

1. Tracking escludendo i cluster nel piano di cui si vuole misurare l'efficienza

Efficienza di rivelazione

Y-Z planes - Ev::47 (13 hits)

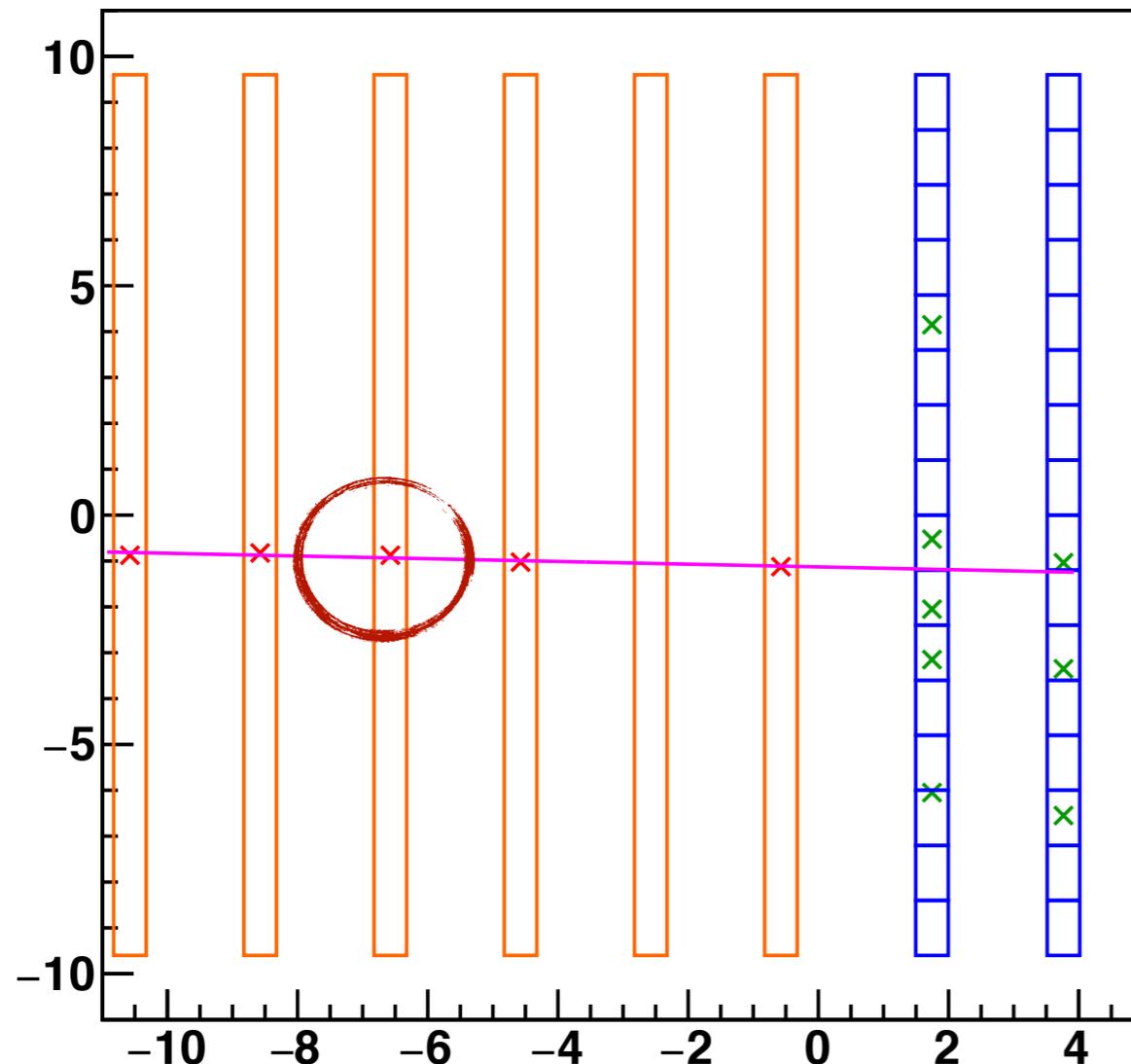


Stimare l'efficienza di rivelazione per ogni piano :

1. Tracking escludendo i cluster nel piano di cui si vuole misurare l'efficienza
2. Utilizzare i parametri della traccia per predire il punto di attraversamento nel layer

Efficienza di rivelazione

Y-Z planes - Ev::47 (13 hits)



Stimare l'efficienza di rivelazione per ogni piano :

1. Tracking escludendo i cluster nel piano di cui si vuole misurare l'efficienza
2. Utilizzare i parametri della traccia per predire il punto di attraversamento nel layer
3. Verifica che il SiPM corrispondente a quel punto avesse un segnale sopra soglia

Punto di lavoro - Maggio

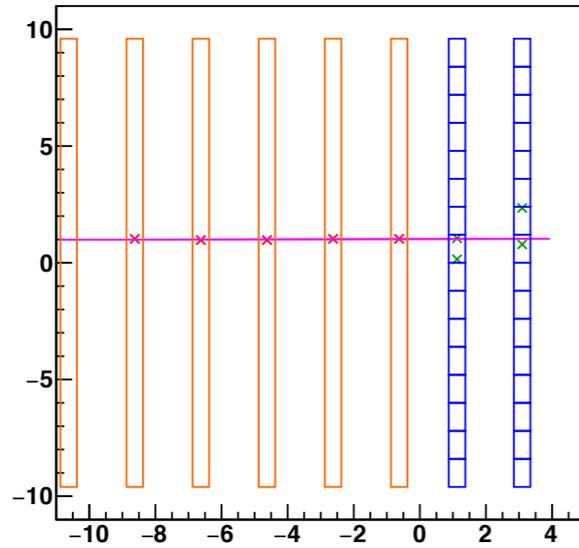
Parametri	Valore	Unità
Trigger	Interno (tripla o quadrupla), esterno	
Soglia	40÷75	conteggi ADC
Capacità	1, 2	pF
Resistenza	33, 50, 66, 100, 200	kΩ

Energia nominale	Energia protoni incidenti sul DP	Set-up
105 MeV	80 MeV	senza il rivelatore Penelope
110 MeV	35 MeV	con tutti i rivelatori
120 MeV	50 MeV	con tutti i rivelatori
145 MeV	85 MeV	con tutti i rivelatori
170 MeV	120 MeV	con tutti i rivelatori
170 MeV	150 MeV	senza il rivelatore Penelope
200 MeV	155 MeV	con tutti i rivelatori
230 MeV	190 MeV	con tutti i rivelatori

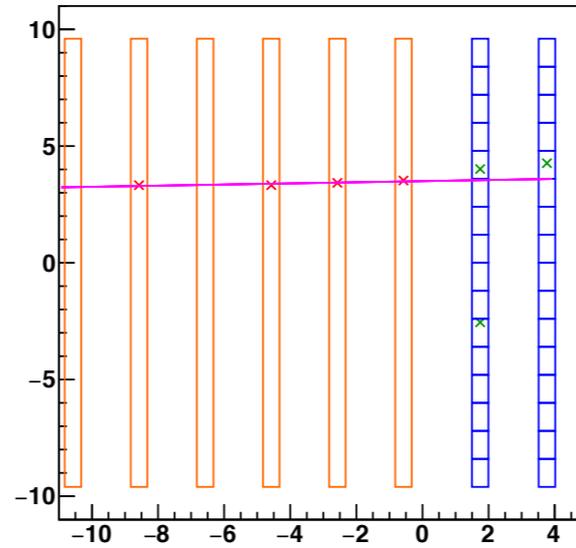
Punto di lavoro - Maggio

Variazione dei parametri di shaping

X-Z planes - Ev::94 (9 hits)

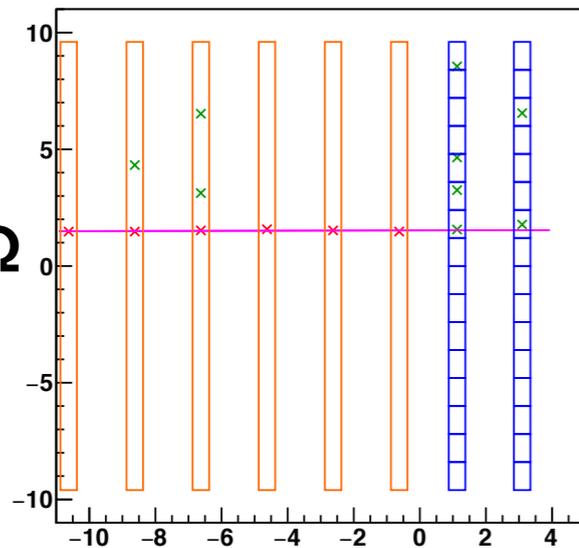


Y-Z planes - Ev::94 (7 hits)

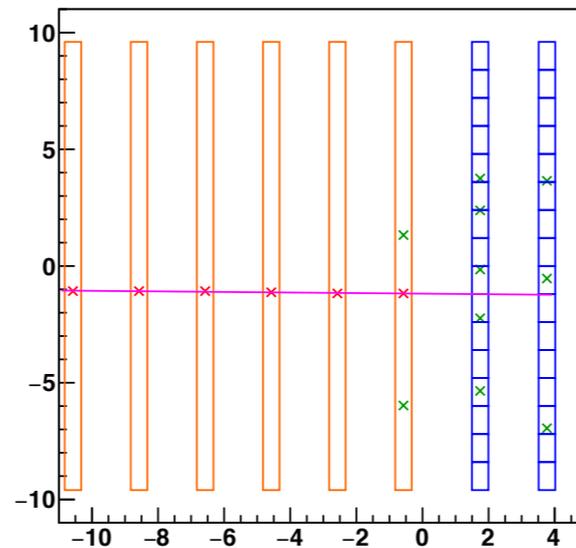


Energia protoni incidenti: 85 MeV
Trigger esterno
Capacità 1pF

X-Z planes - Ev::72 (15 hits)



Y-Z planes - Ev::72 (16 hits)



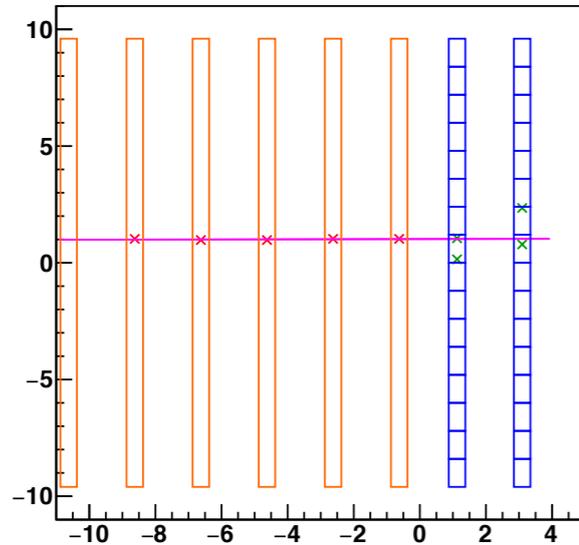
R = 50 k Ω

R = 100 k Ω

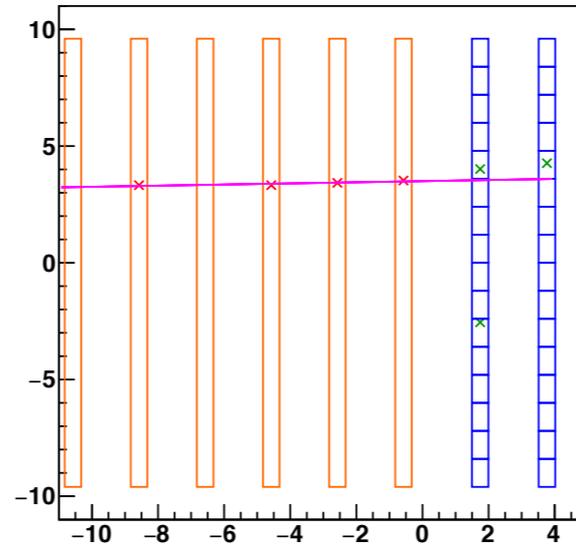
Punto di lavoro - Maggio

Variazione dei parametri di shaping

X-Z planes - Ev::94 (9 hits)



Y-Z planes - Ev::94 (7 hits)



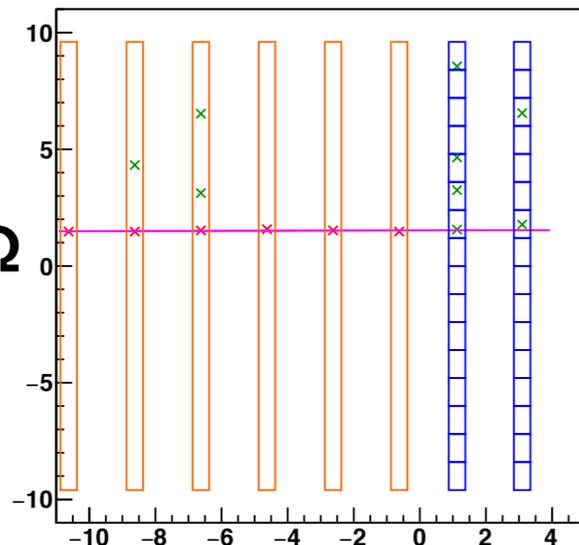
Energia protoni incidenti: 85 MeV
Trigger esterno
Capacità 1pF

$$\tau = RC$$

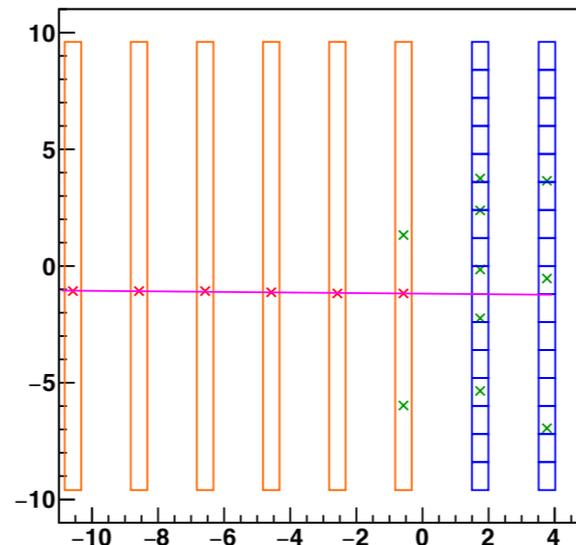


Aumentando la resistenza, a parità di capacità, ci aspettiamo un aumento degli hit di rumore
Con resistenze troppo piccole si integra meno rumore ma con una perdita del segnale

X-Z planes - Ev::72 (15 hits)



Y-Z planes - Ev::72 (16 hits)

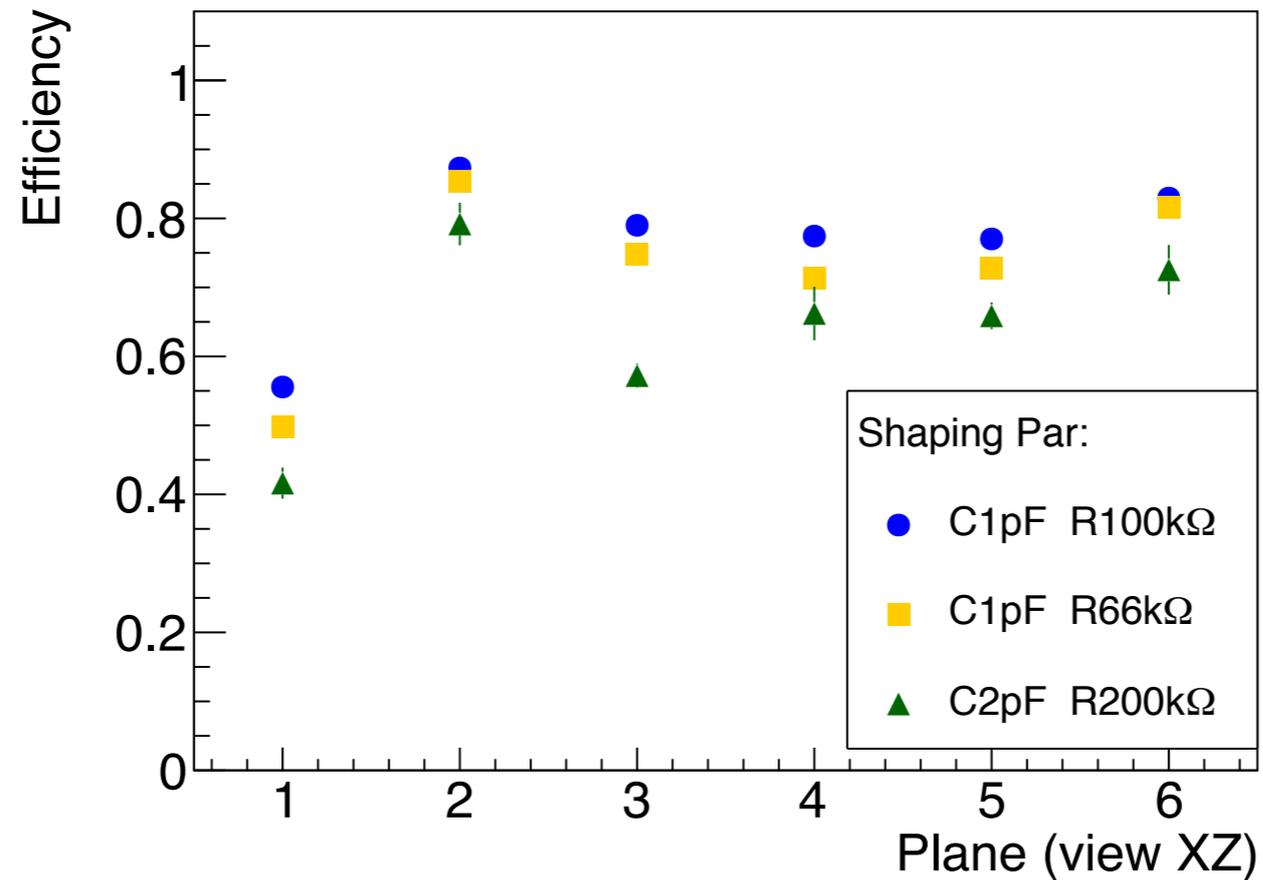


R = 50 kΩ

R = 100 kΩ

Punto di lavoro - Maggio

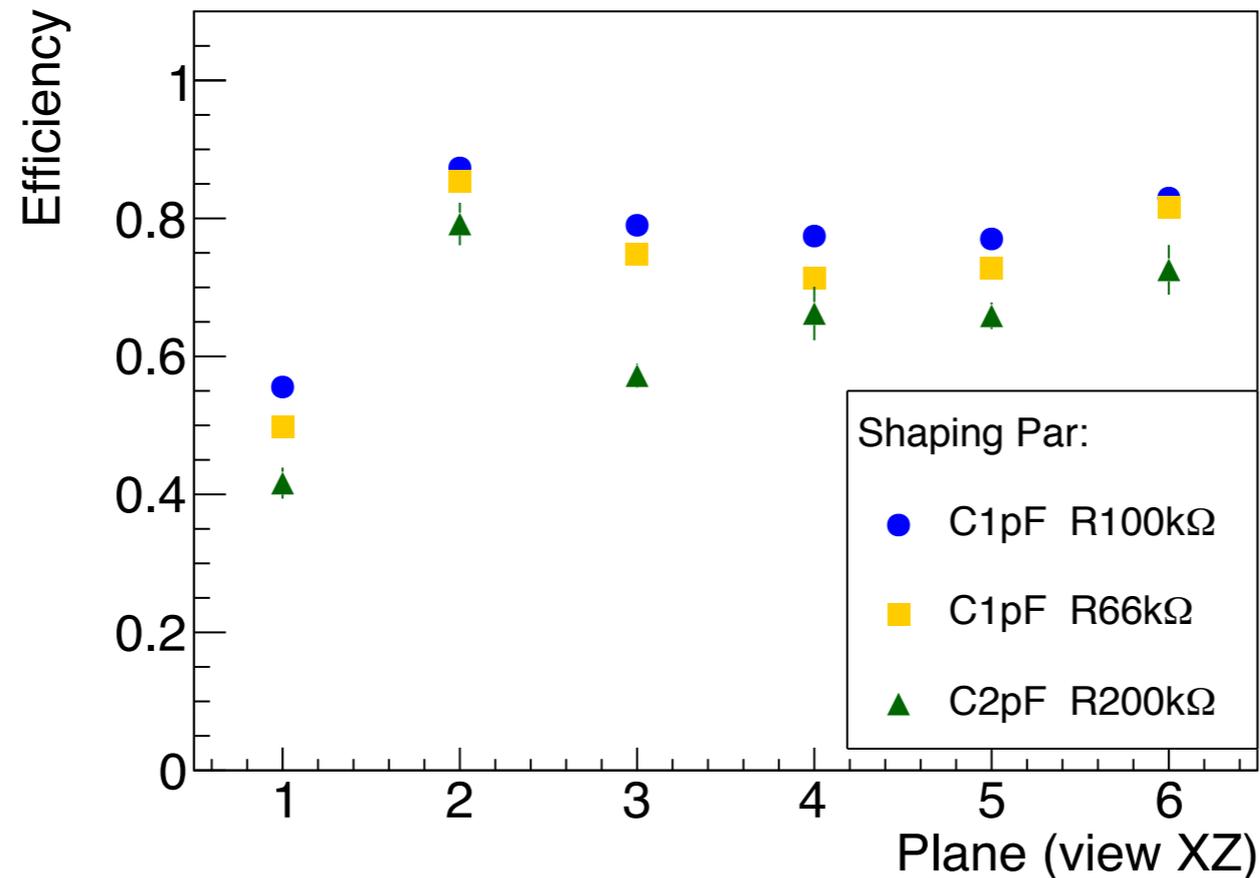
Variazione dei parametri di shaping



85 MeV
Trigger interno
Soglia 55 cont. ADC

Punto di lavoro - Maggio

Variazione dei parametri di shaping



85 MeV
Trigger interno
Soglia 55 cont. ADC

Aumentando
la capacità



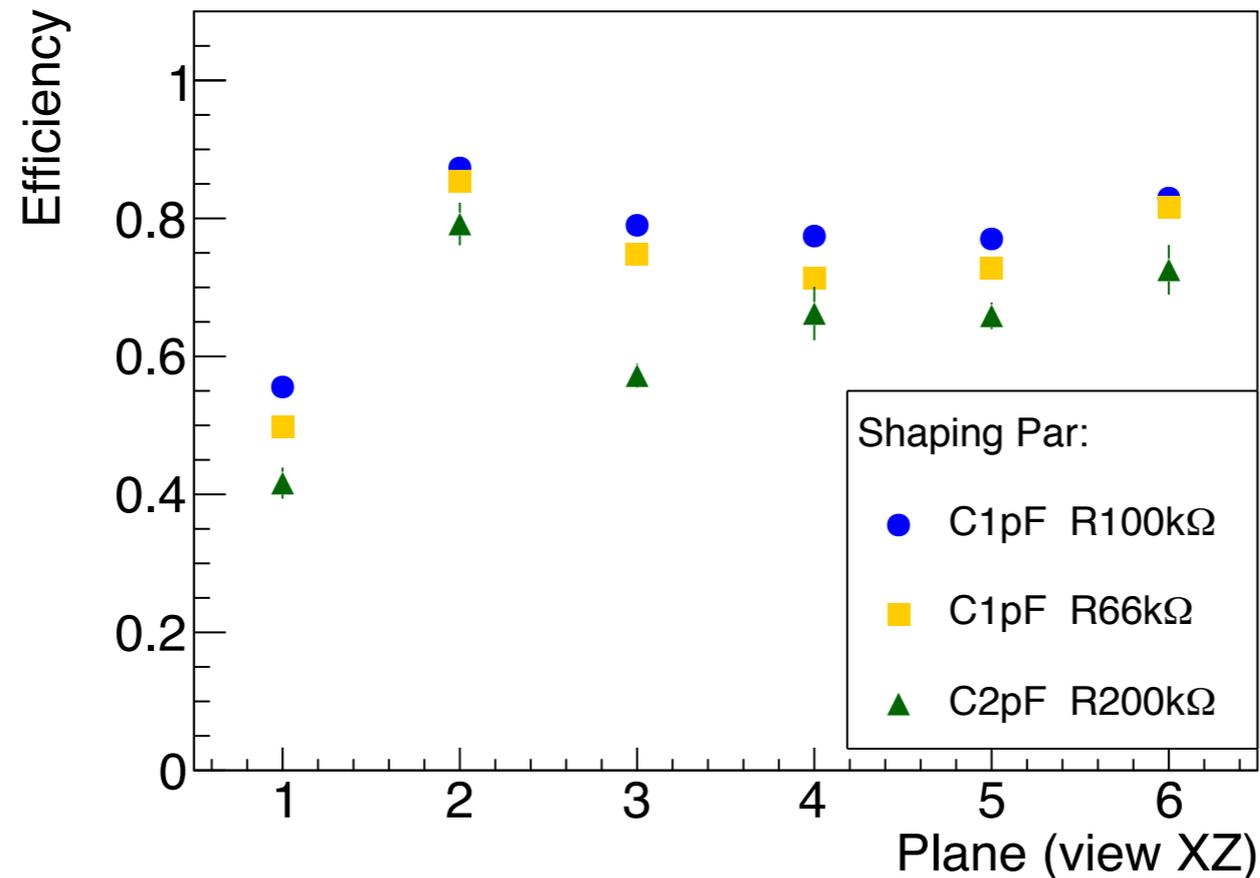
Si dimezza
il segnale integrato



Diminuisce
l'efficienza

Punto di lavoro - Maggio

Variazione dei parametri di shaping



85 MeV
Trigger interno
Soglia 55 cont. ADC

Aumentando
la capacità



Si dimezza
il segnale integrato



Diminuisce
l'efficienza

Aumentando
la resistenza



Aumenta
l'efficienza



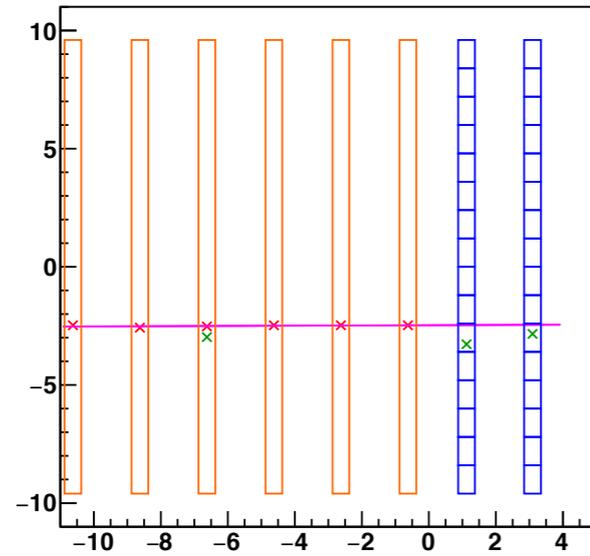
Aumenta
il rumore

Punto di lavoro - Maggio

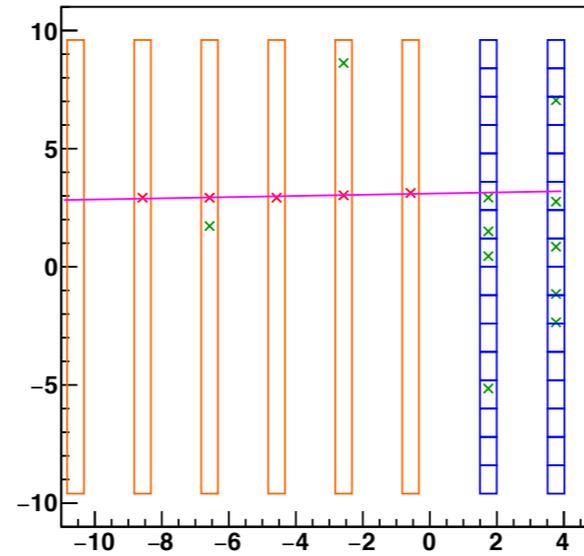
Variazione della soglia

**Soglia =
41
conteggi
ADC**

X-Z planes - Ev::52 (9 hits)



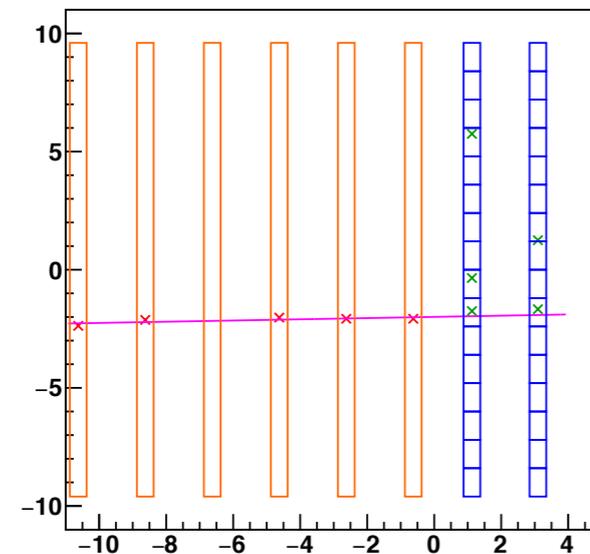
Y-Z planes - Ev::52 (16 hits)



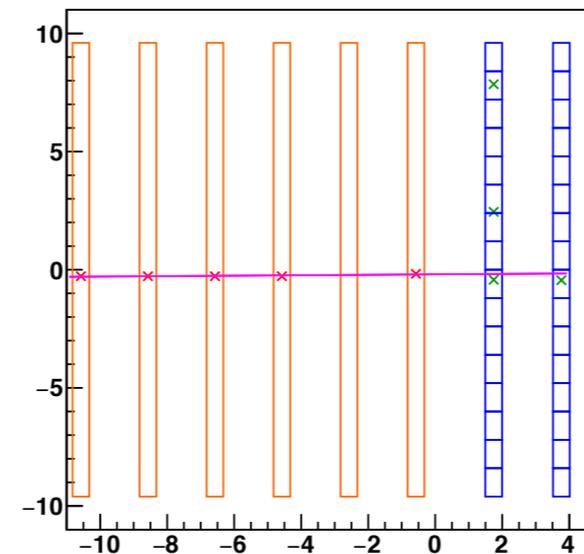
**Energia protoni incidenti: 85 MeV
Trigger interno
Capacità 1pF
Resistenza 66 kΩ**

**Soglia =
49
contegg
ADC**

X-Z planes - Ev::10 (10 hits)



Y-Z planes - Ev::10 (9 hits)

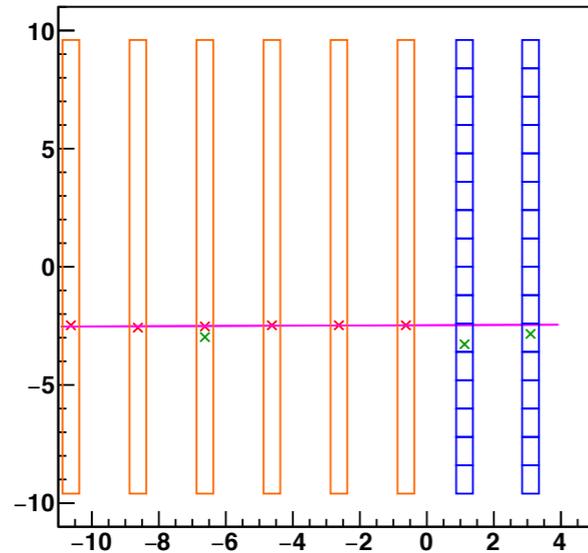


Punto di lavoro - Maggio

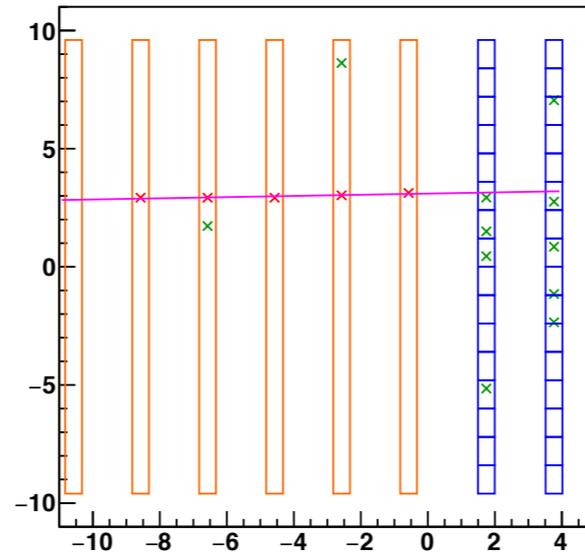
Variazione della soglia

**Soglia =
41
conteggi
ADC**

X-Z planes - Ev::52 (9 hits)



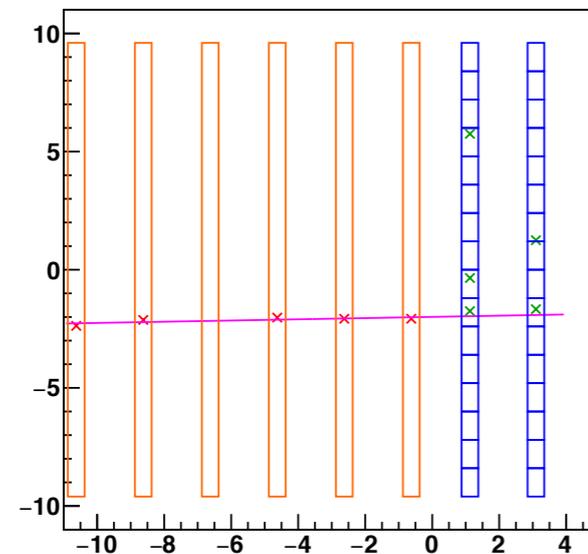
Y-Z planes - Ev::52 (16 hits)



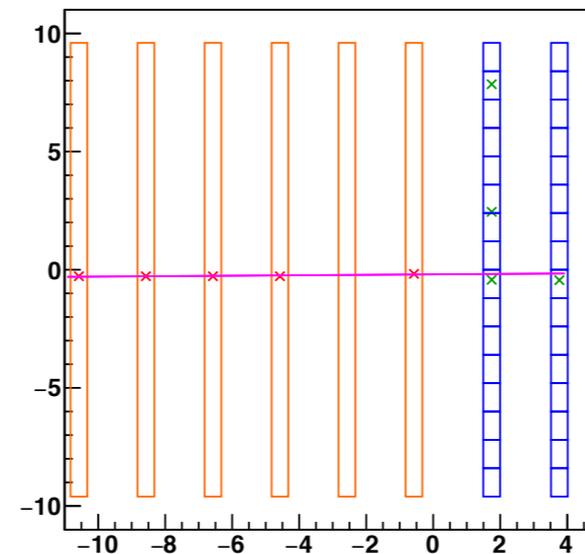
**Energia protoni incidenti: 85 MeV
Trigger interno
Capacità 1pF
Resistenza 66 kΩ**

**Soglia =
49
contegg
ADC**

X-Z planes - Ev::10 (10 hits)



Y-Z planes - Ev::10 (9 hits)

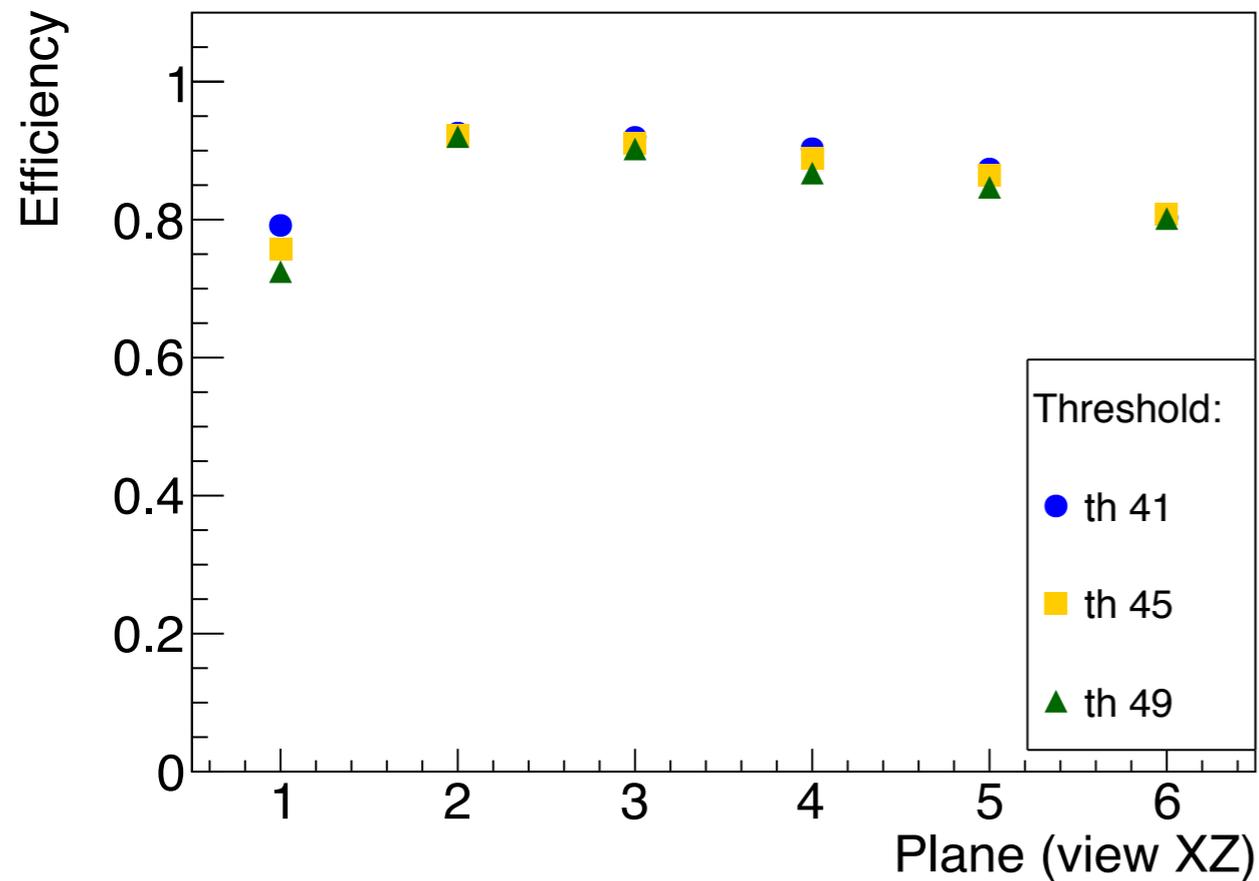


**Aumentando la soglia
diminuisce l'efficienza**

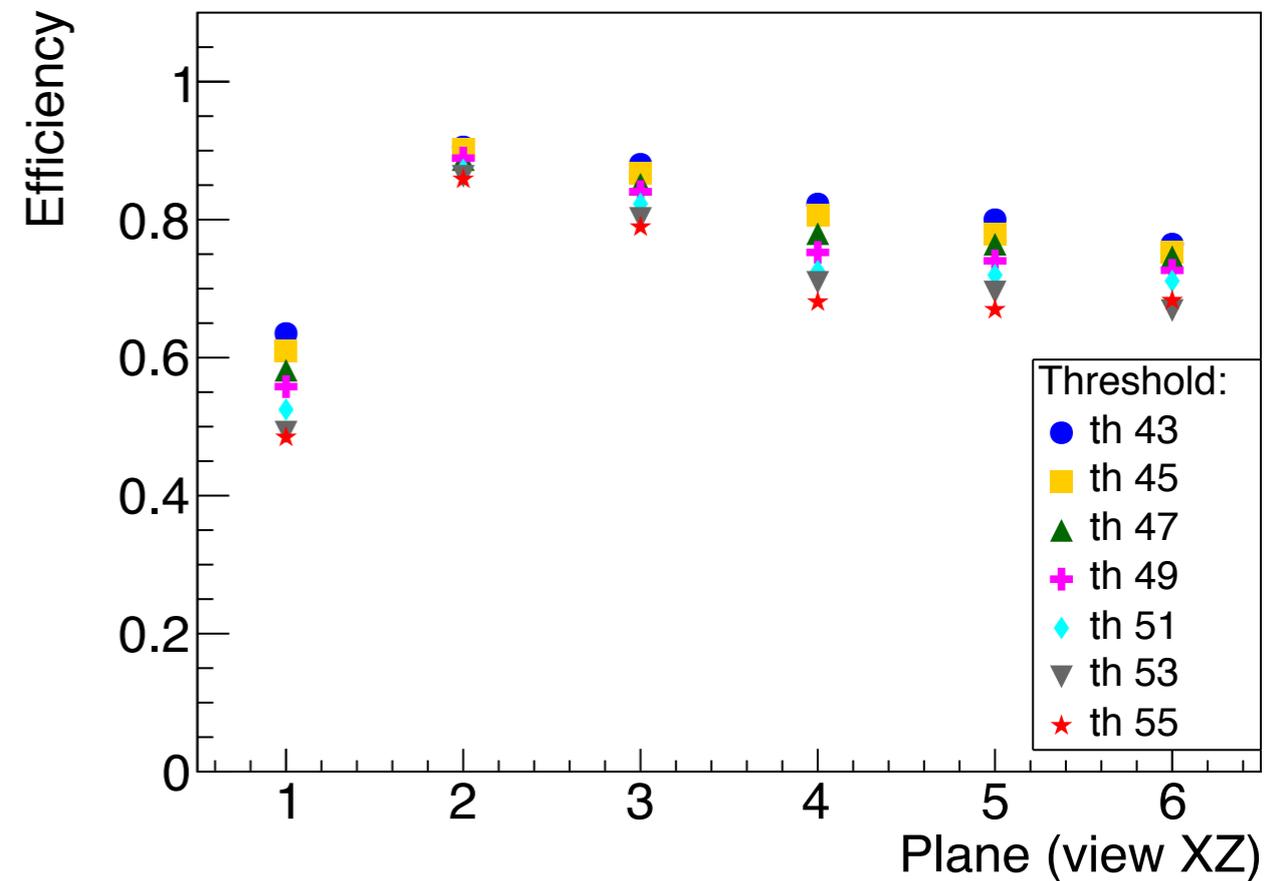
**Per soglie troppo basse il
rischio è di aumentare gli
eventi triggerati sul
rumore**

Punto di lavoro - Maggio

Variazione della soglia



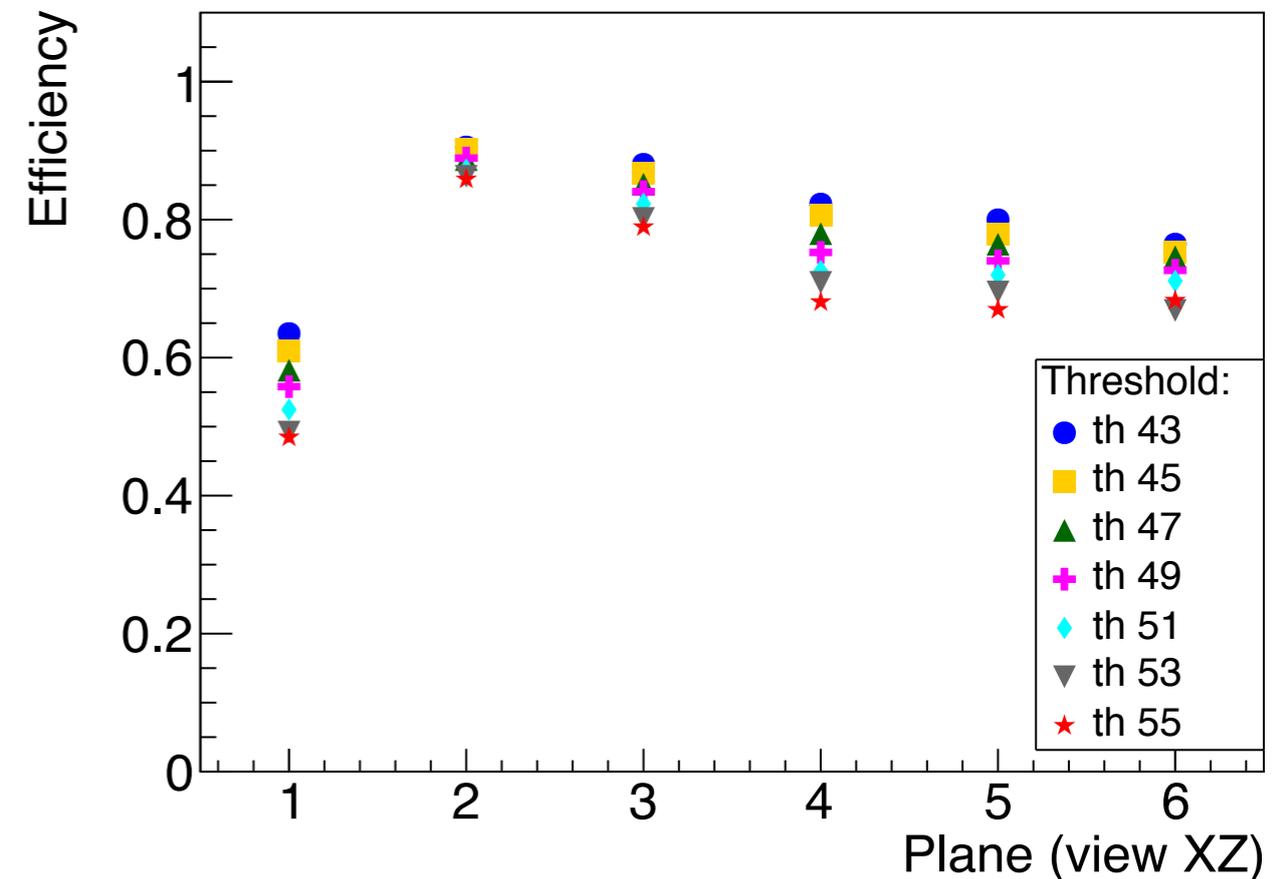
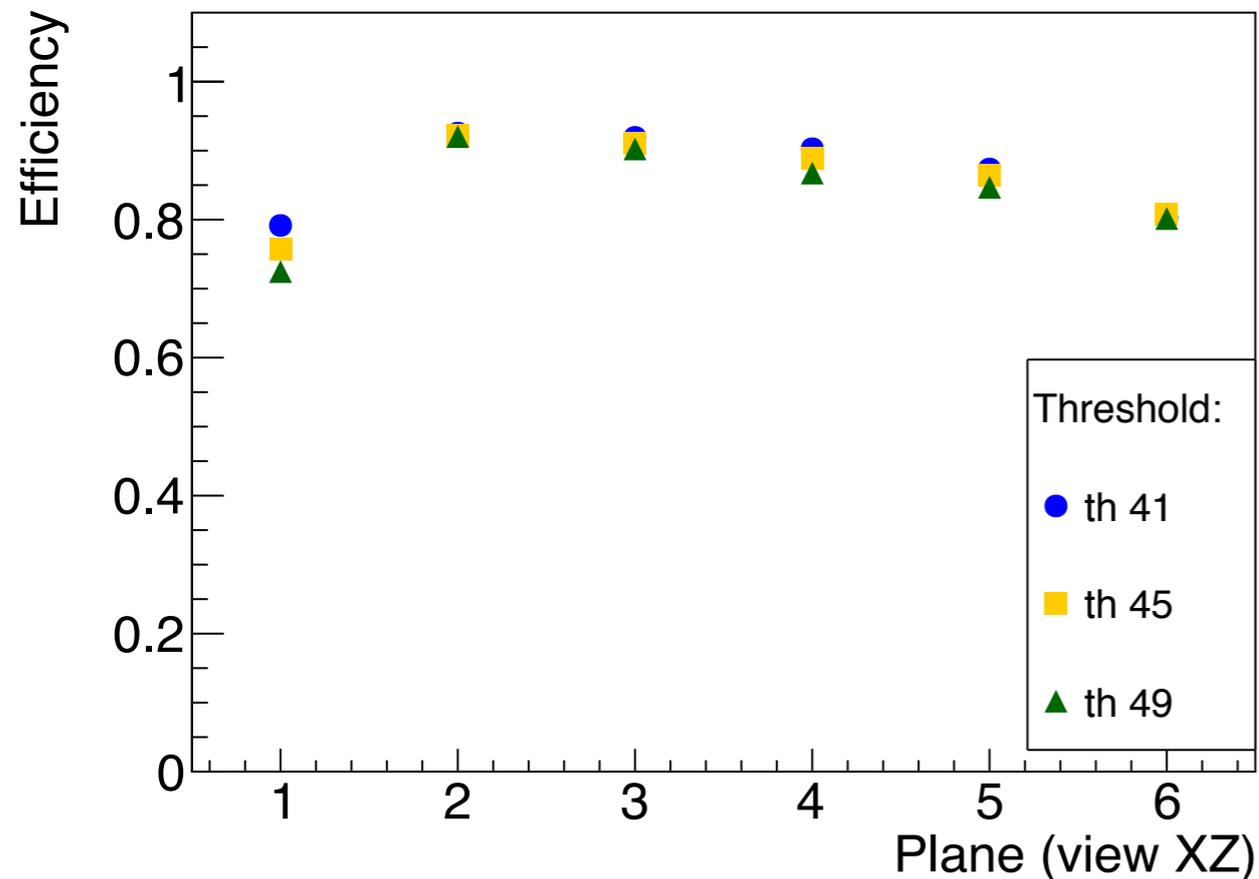
80 MeV
Trigger interno
Capacità 1 pF
Resistenza 66 k Ω



150 MeV
Trigger interno
Capacità 1 pF
Resistenza 66 k Ω

Punto di lavoro - Maggio

Variazione della soglia



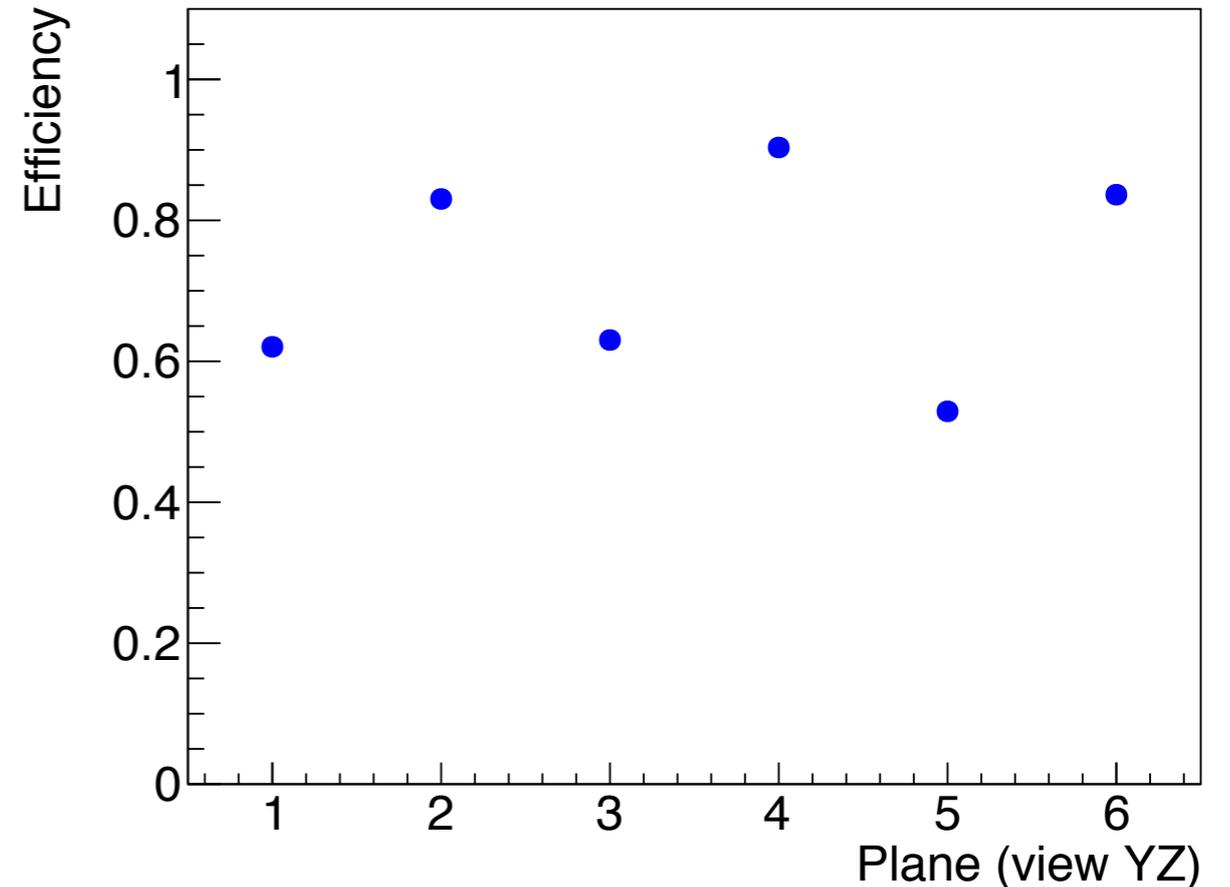
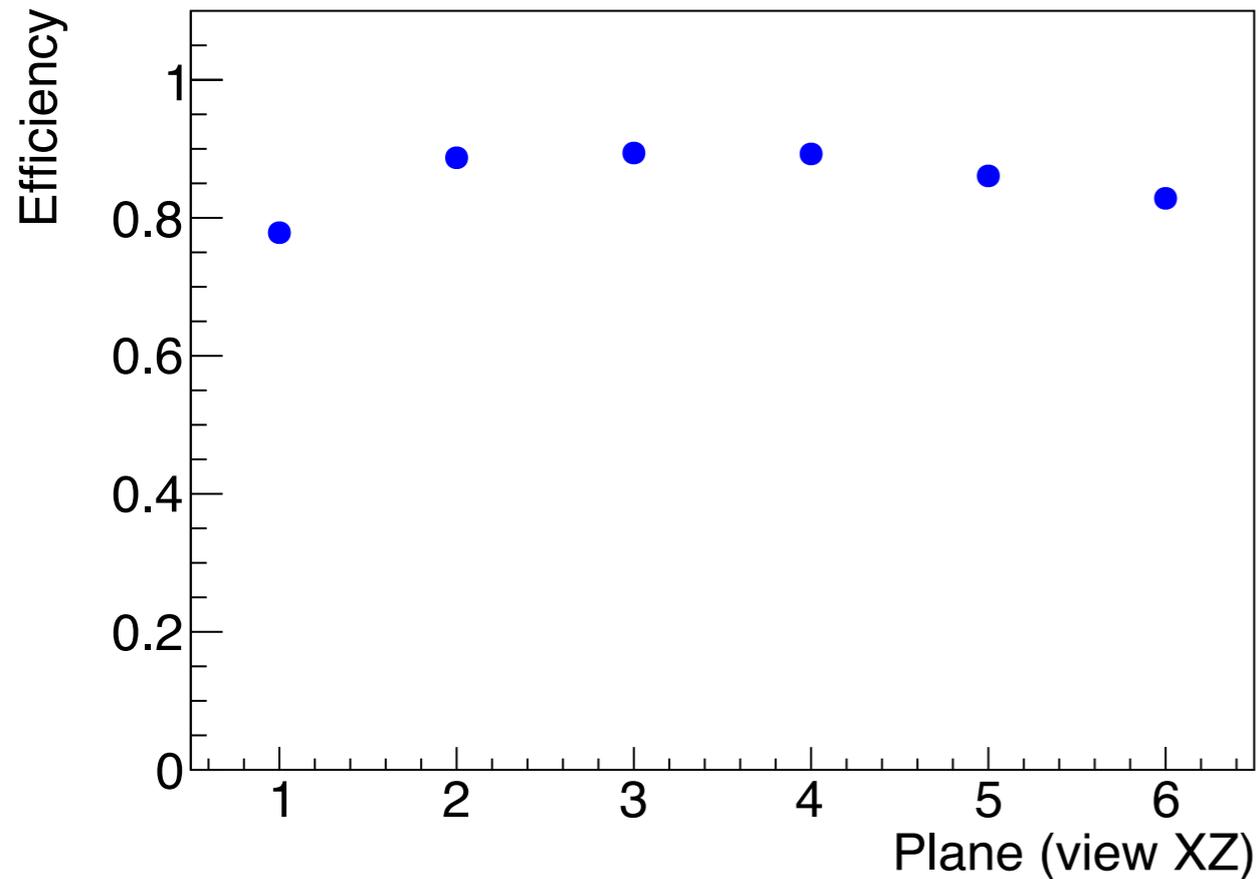
80 MeV
Trigger interno
Capacità 1 pF
Resistenza 66 kΩ

150 MeV
Trigger interno
Capacità 1 pF
Resistenza 66 kΩ

L'efficienza:

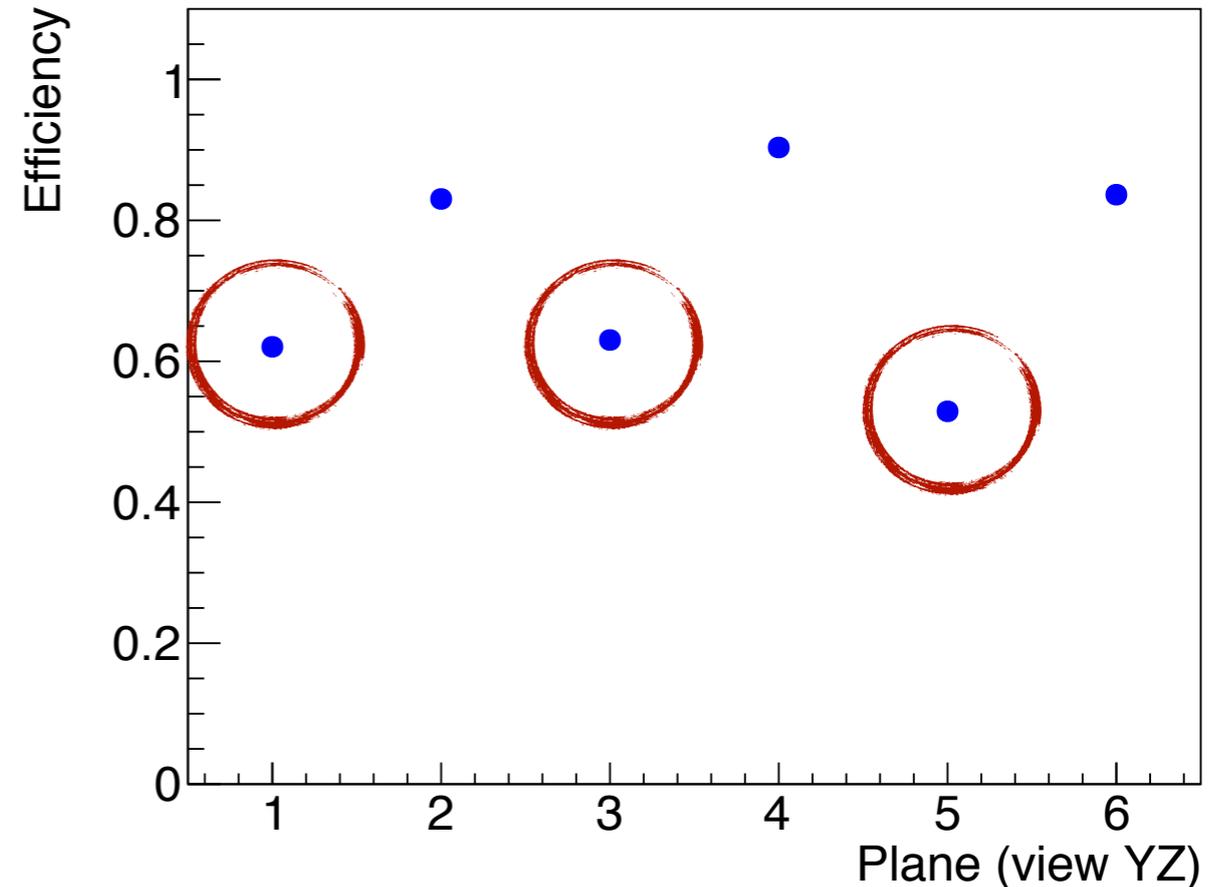
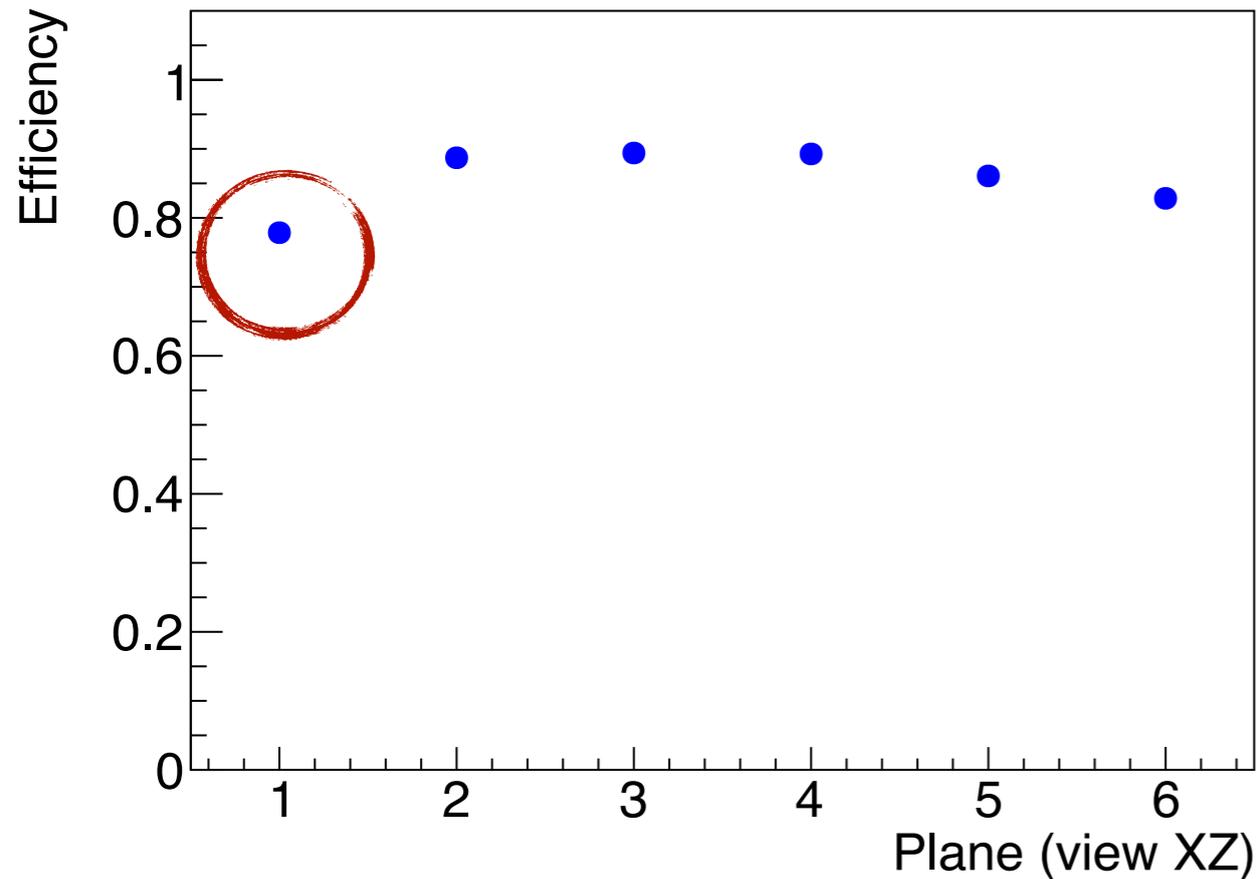
- Diminuisce con l'aumentare della soglia
- Diminuisce all'aumentare dell'energia

Efficienza - Maggio



**Energia protoni
incidenti: 85 MeV
Capacità 1pF
Resistenza 66 k Ω**

Efficienza - Maggio



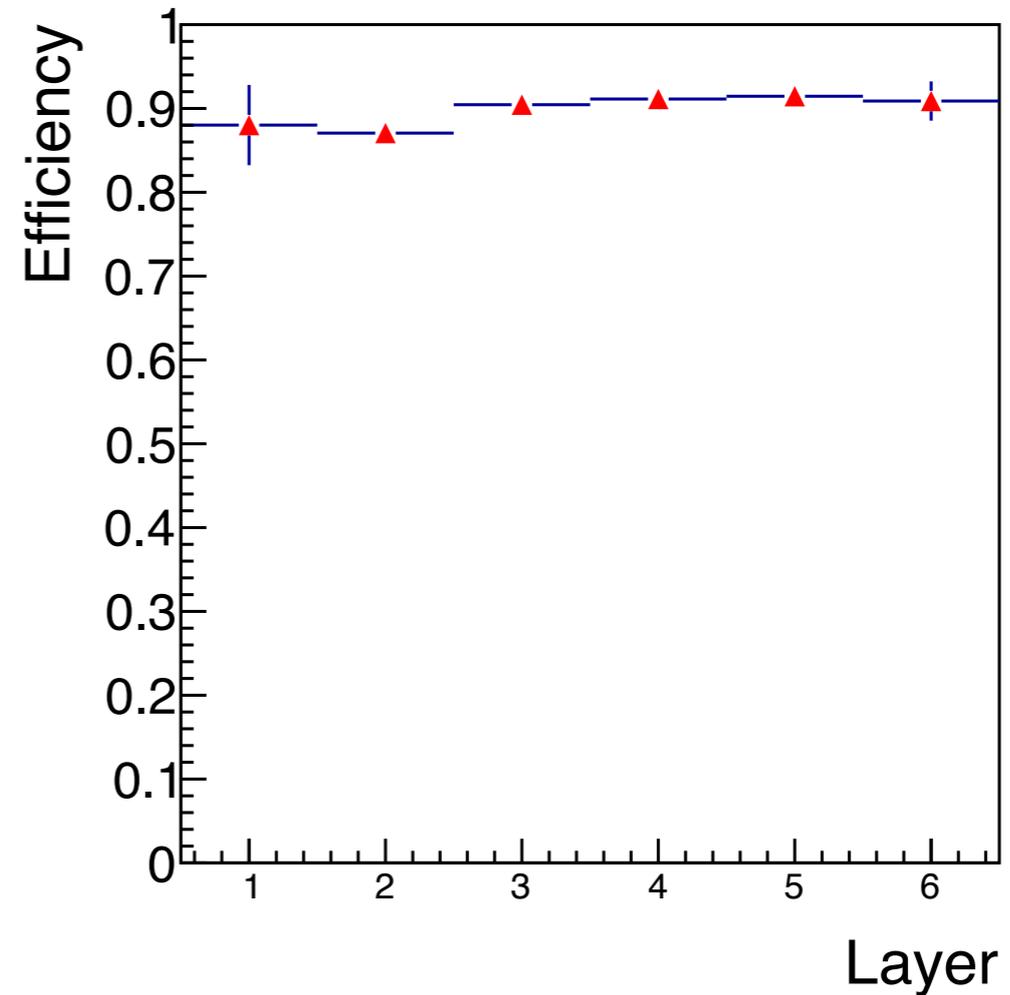
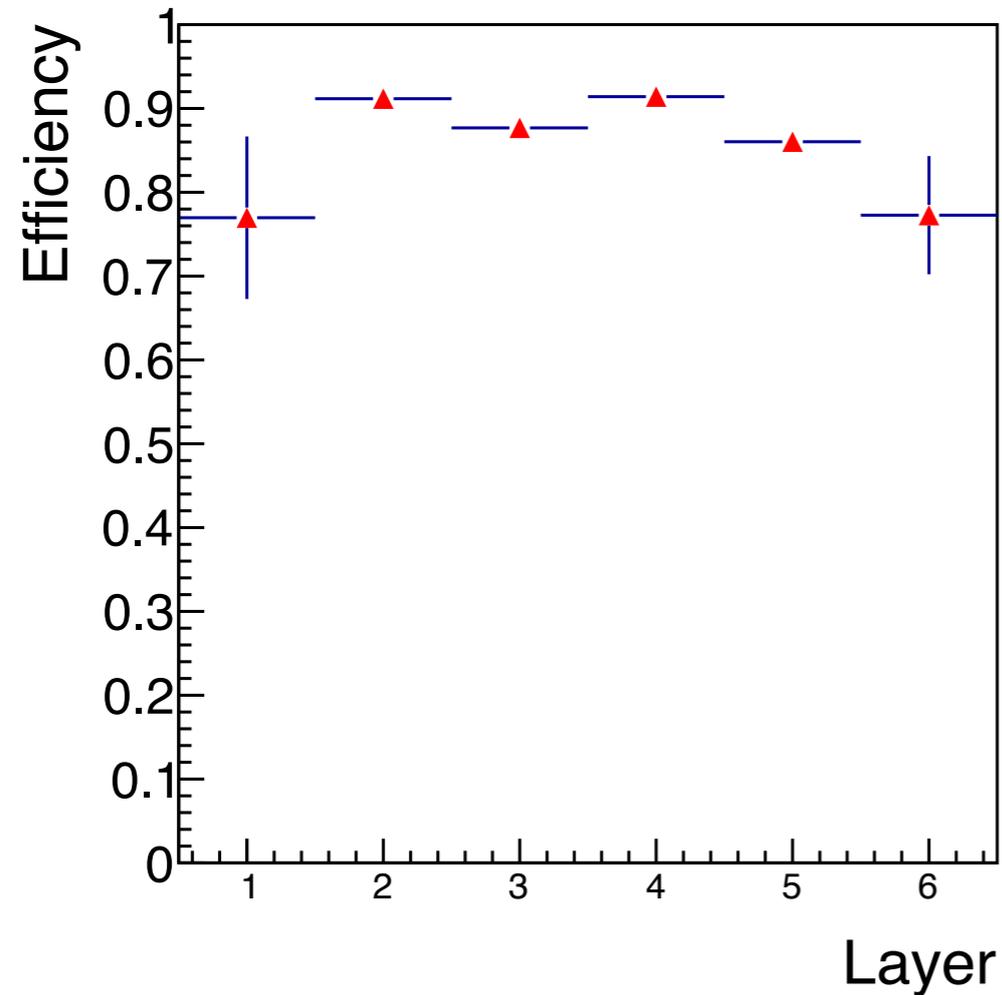
Inefficienza costante dei piani 1 (XZ) e 1,2,3 (YZ)



Disallineamento

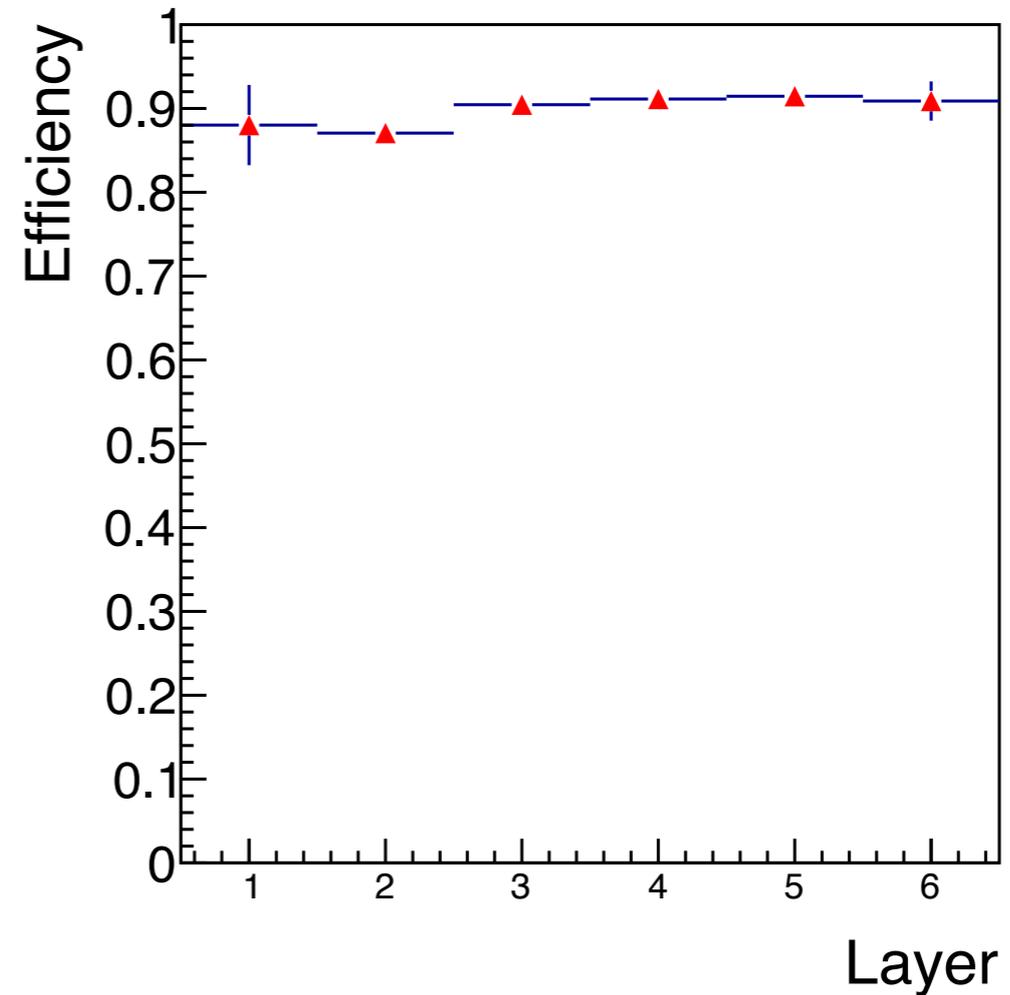
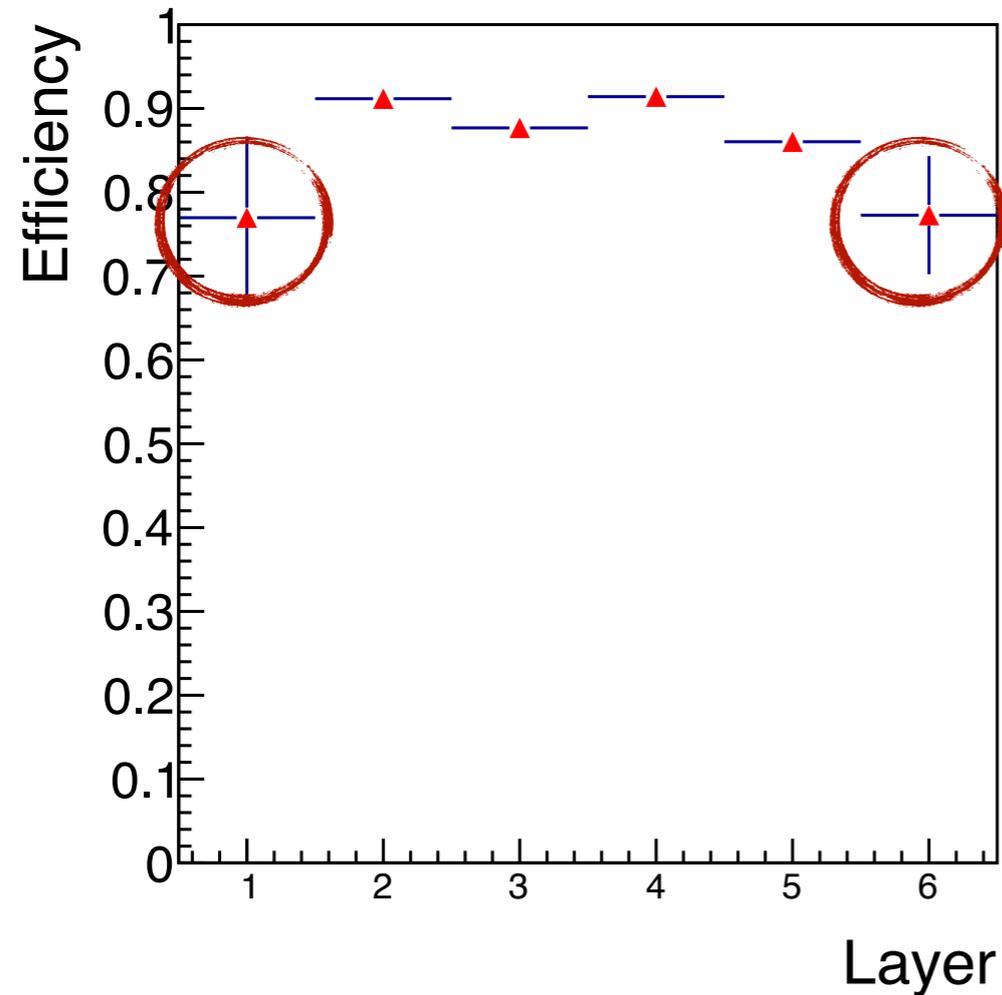
**Energia protoni
incidenti: 85 MeV
Capacità 1pF
Resistenza 66 kΩ**

Efficienza - Giugno



Efficienza uniforme al variare del piano di fibre e compatibile con il 90% per tutti i piani

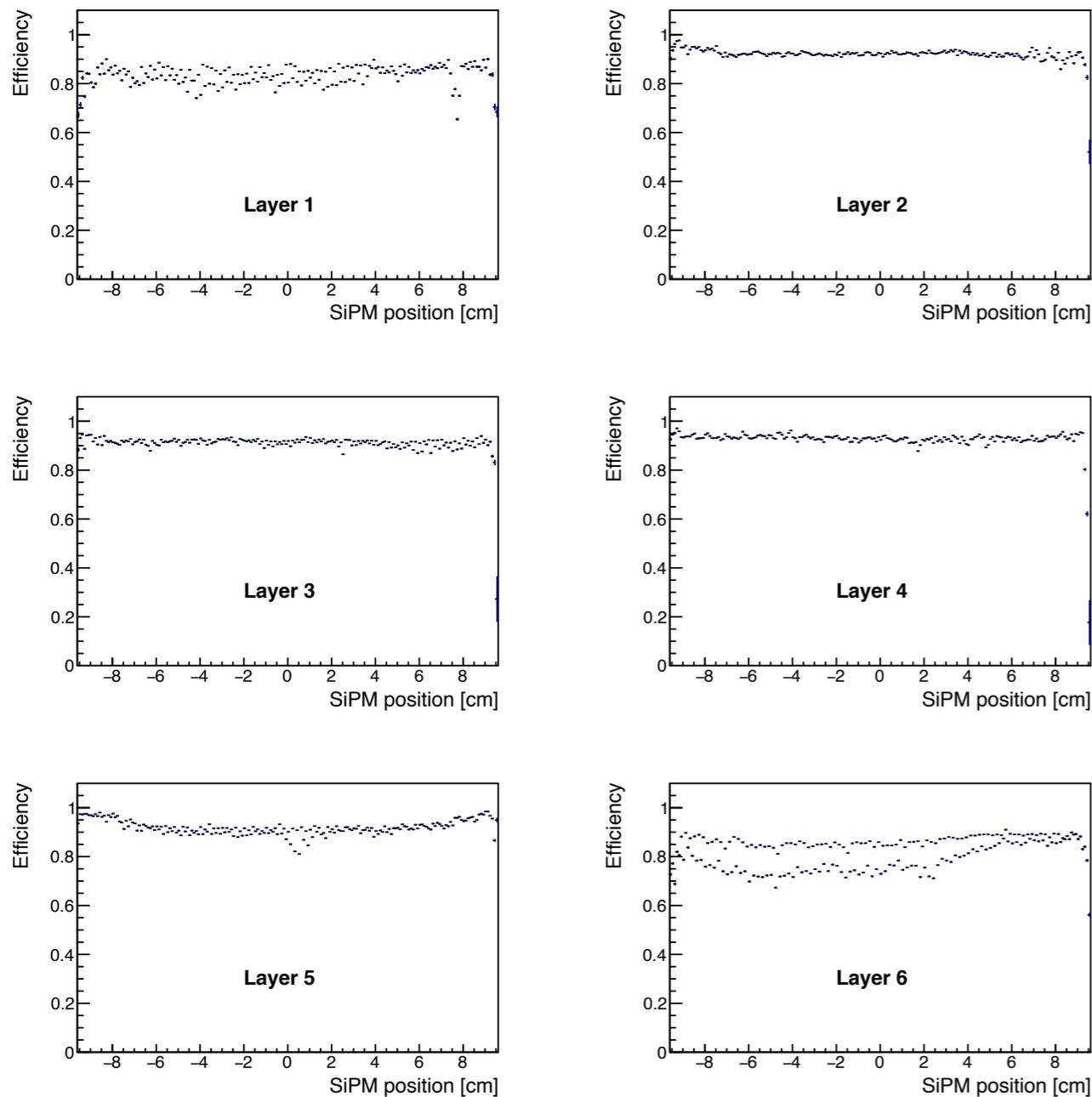
Efficienza - Giugno



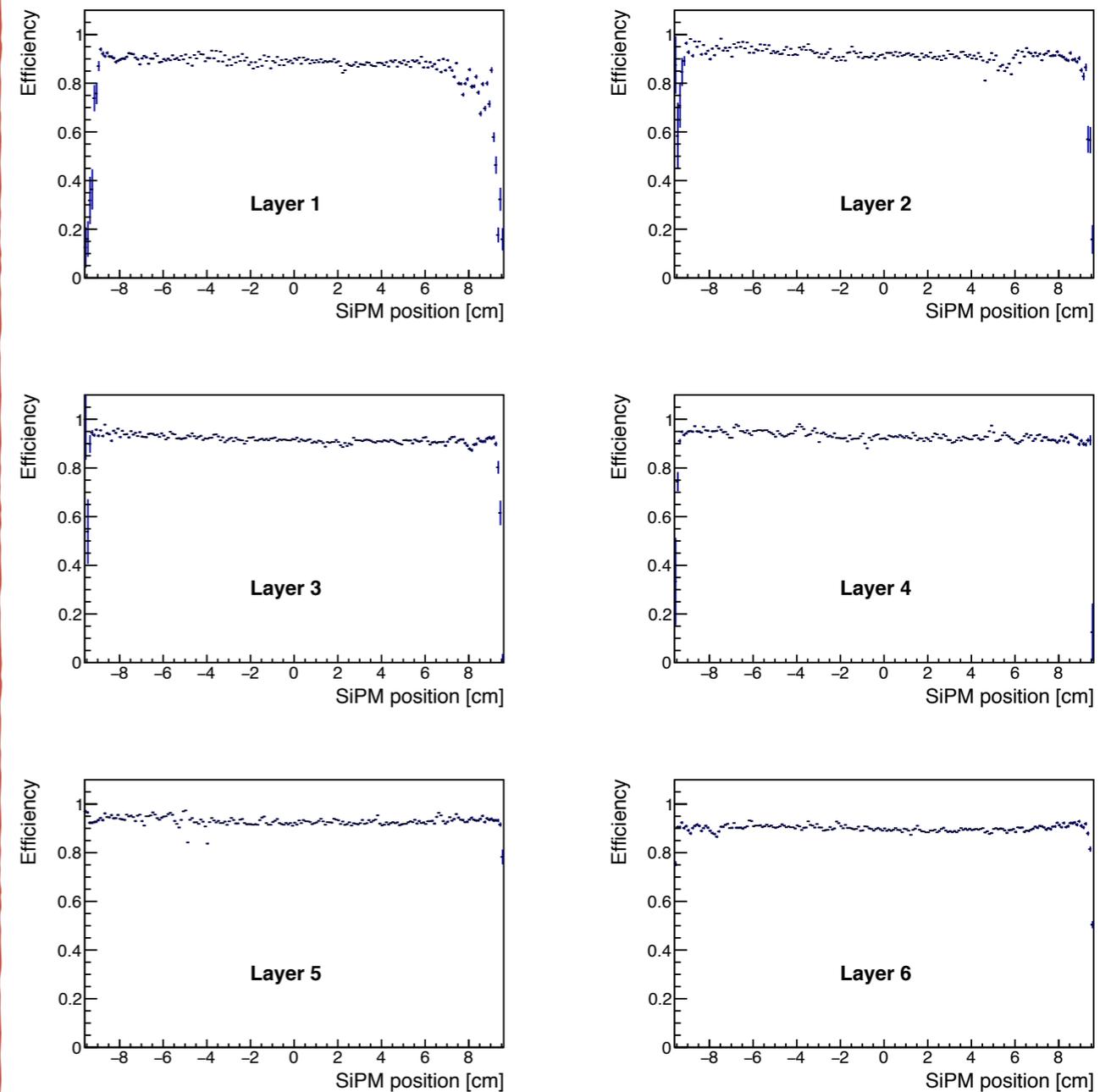
Efficienza uniforme al variare del piano di fibre e compatibile con il 90% per tutti i piani

Efficienza 2D - Giugno

vista XZ

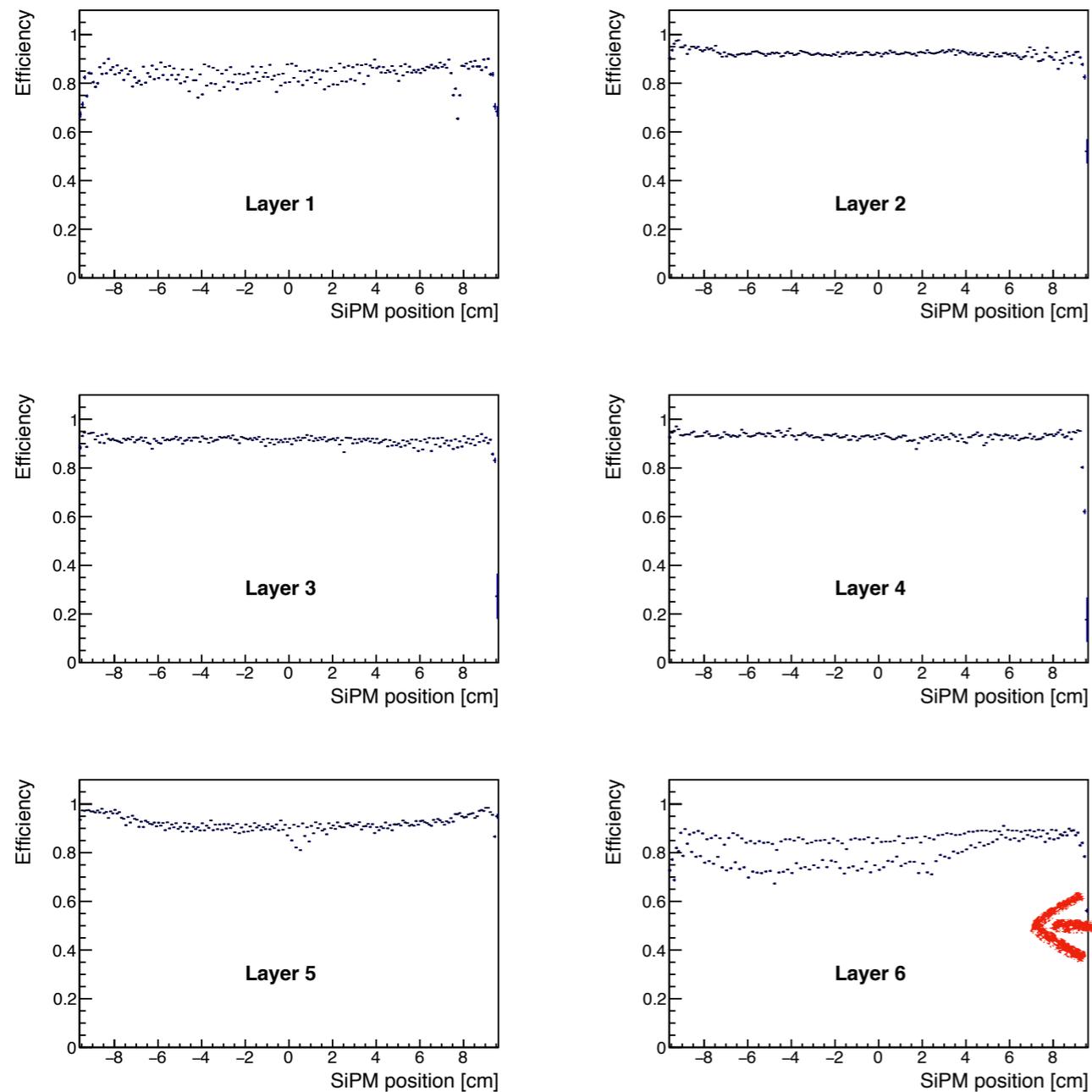


vista YZ

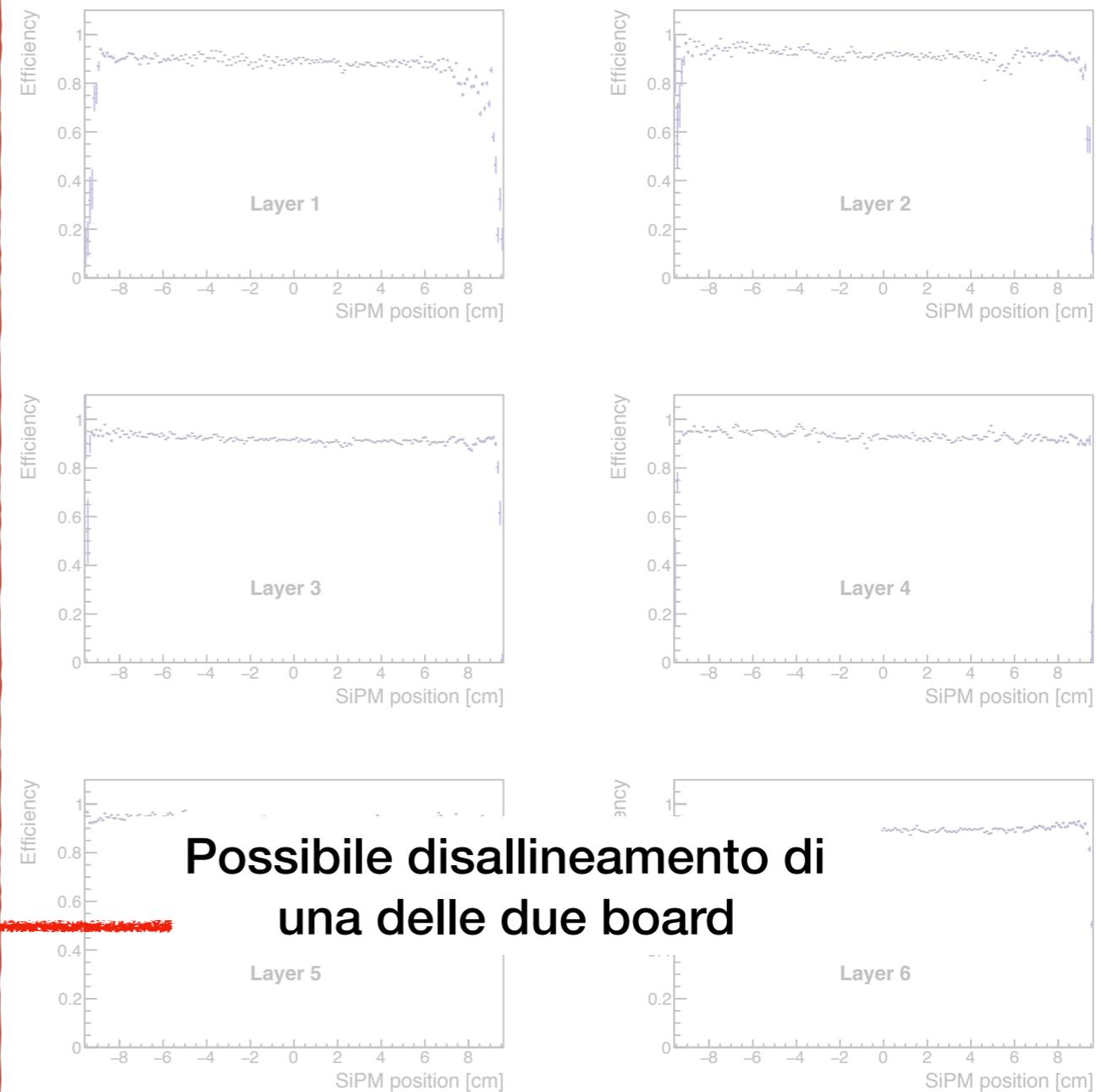


Efficienza 2D - Giugno

vista XZ

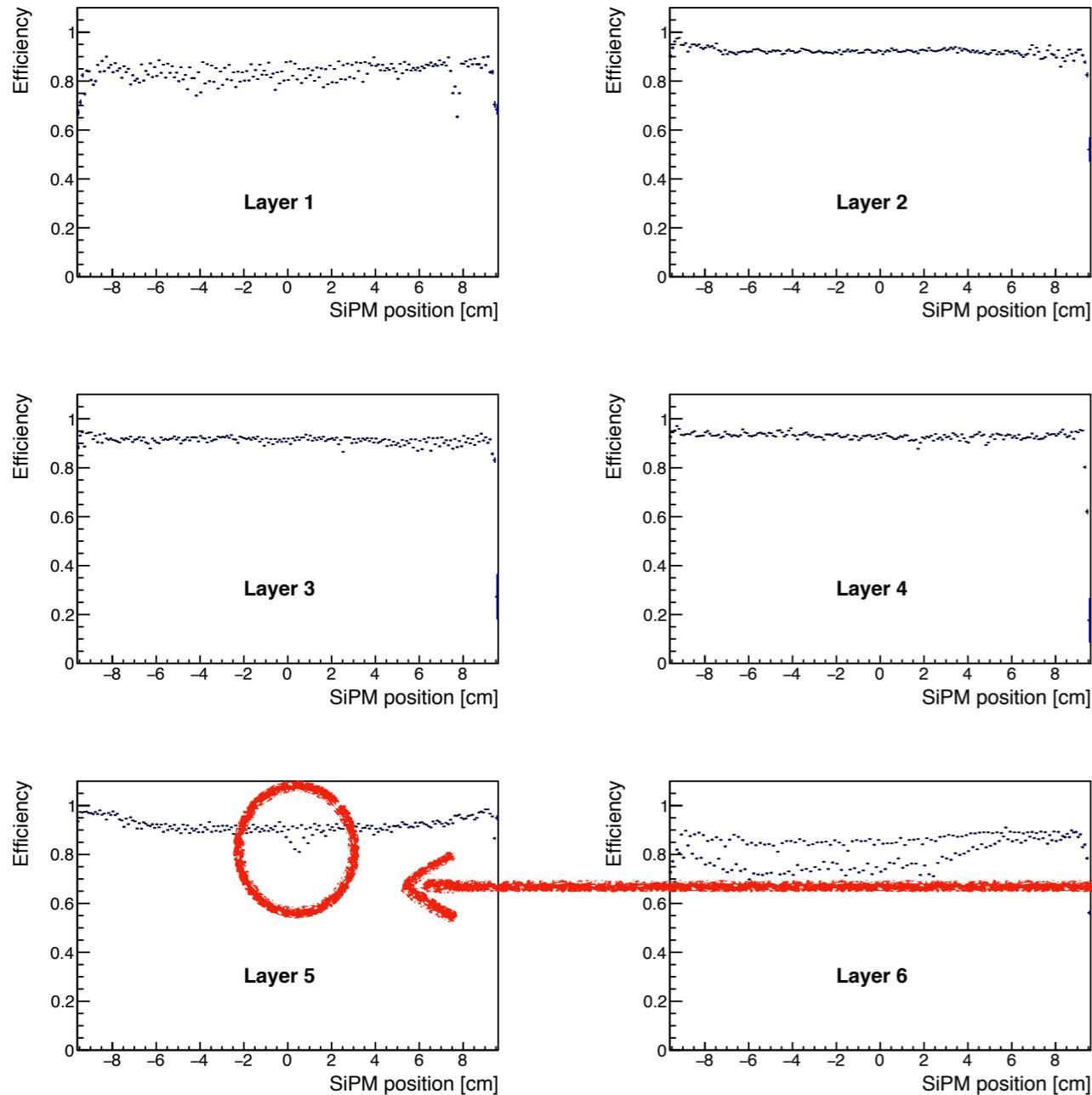


vista YZ

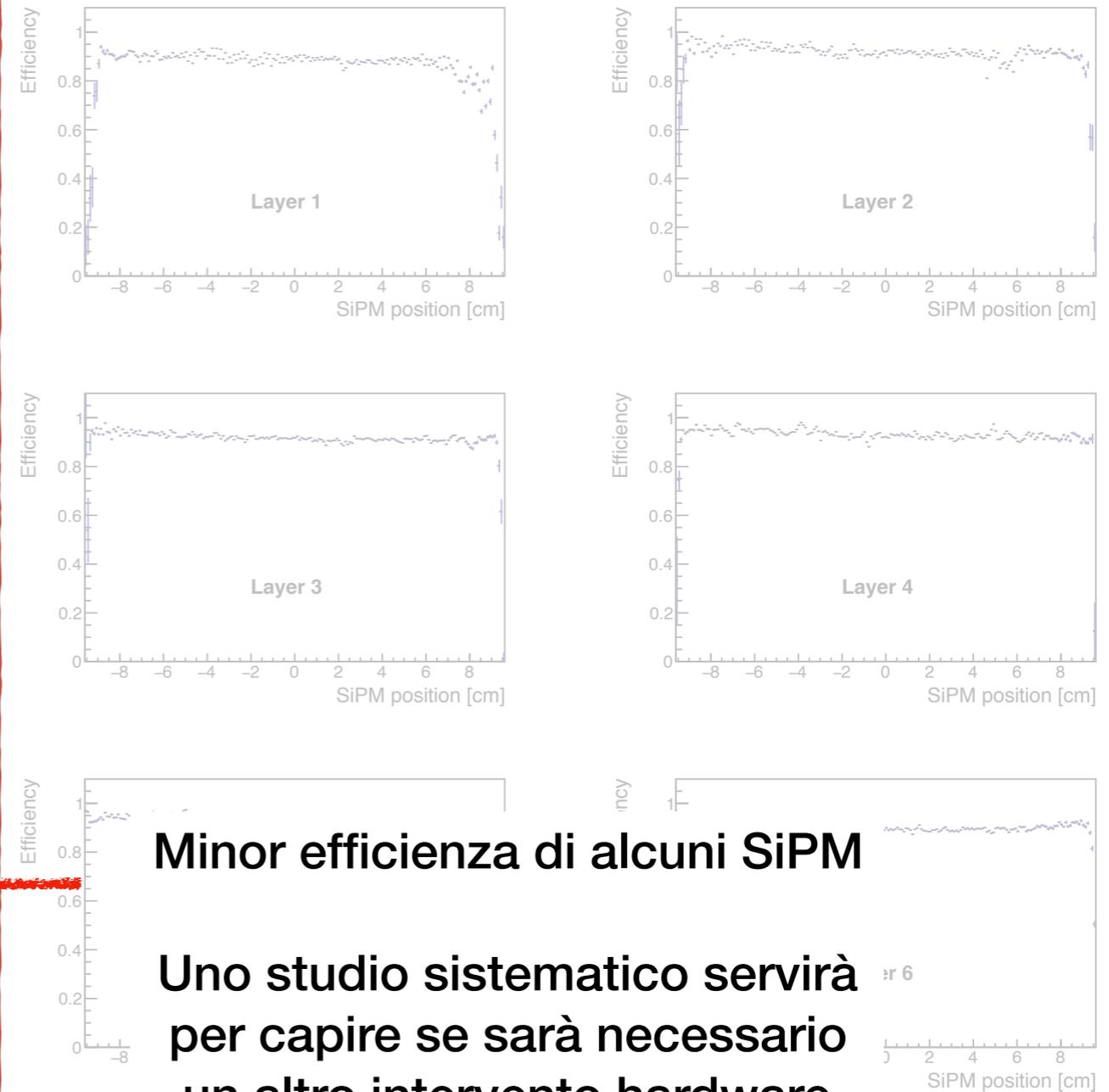


Efficienza 2D - Giugno

vista XZ



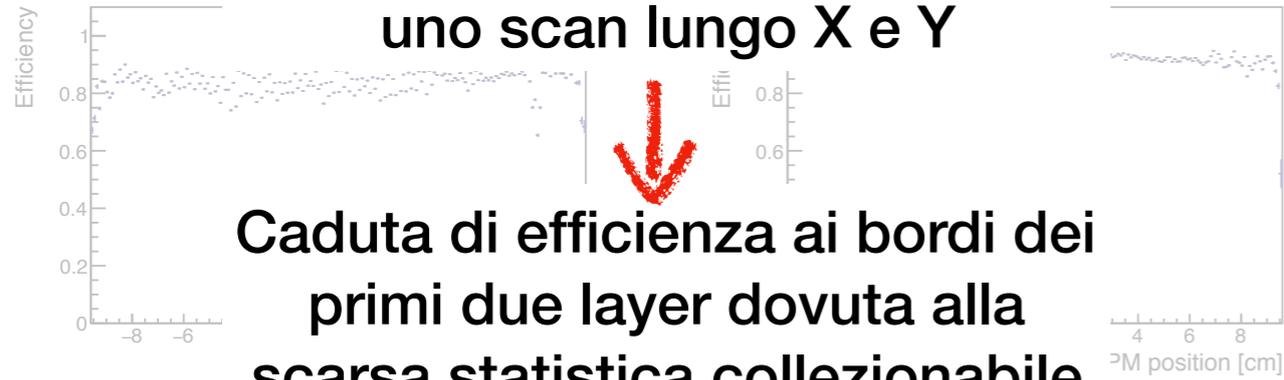
vista YZ



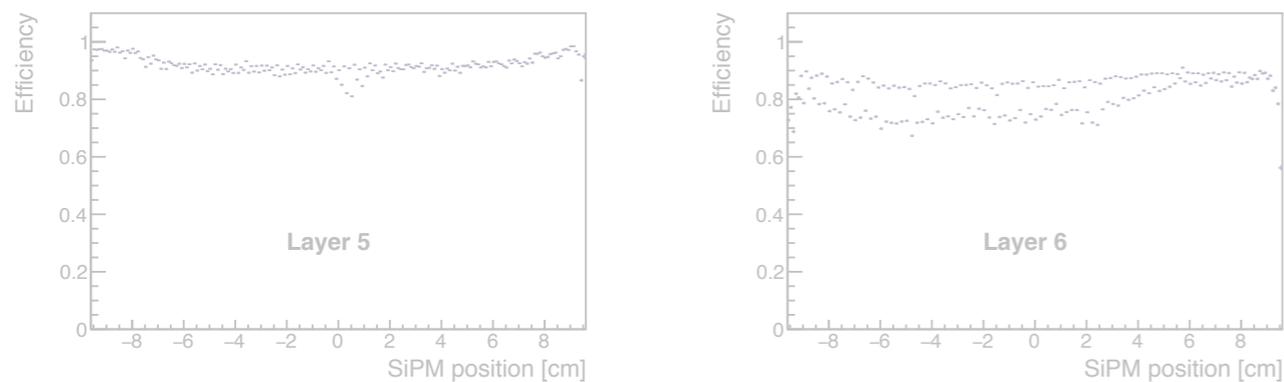
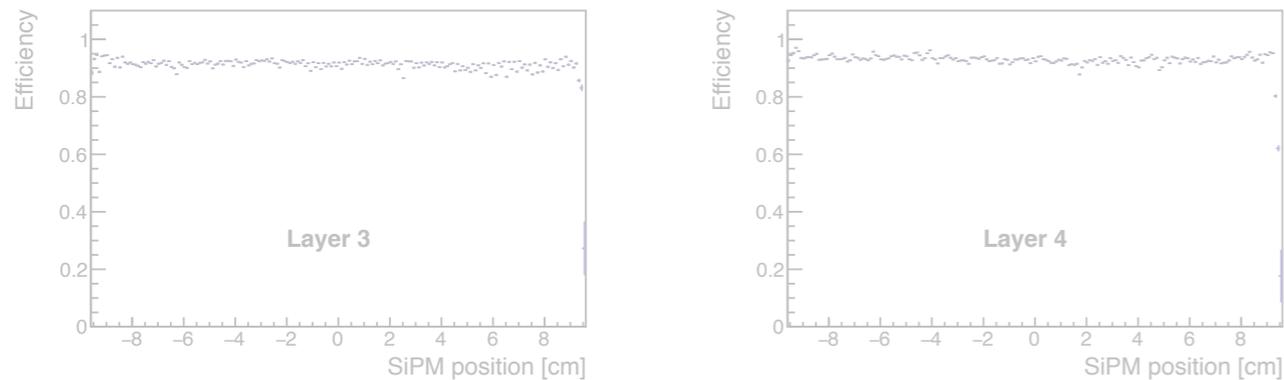
Efficienza 2D - Giugno

vista XZ

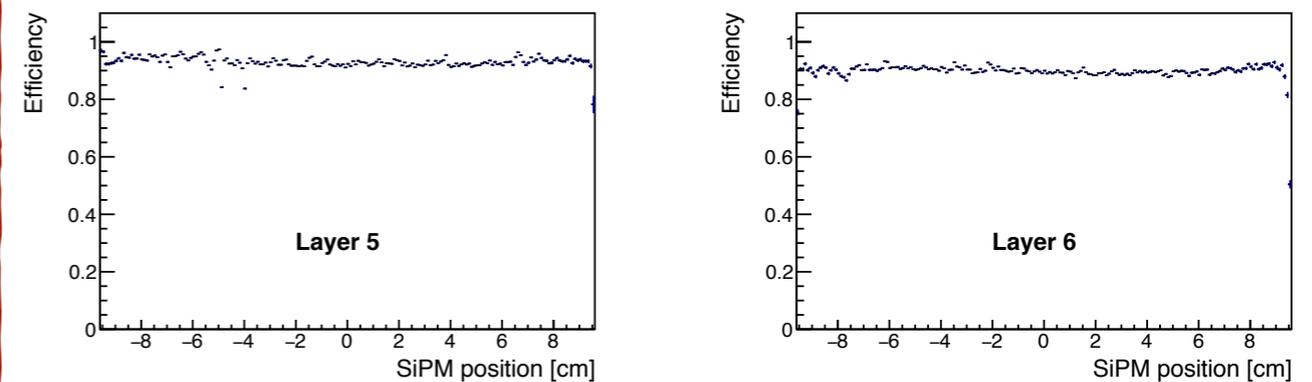
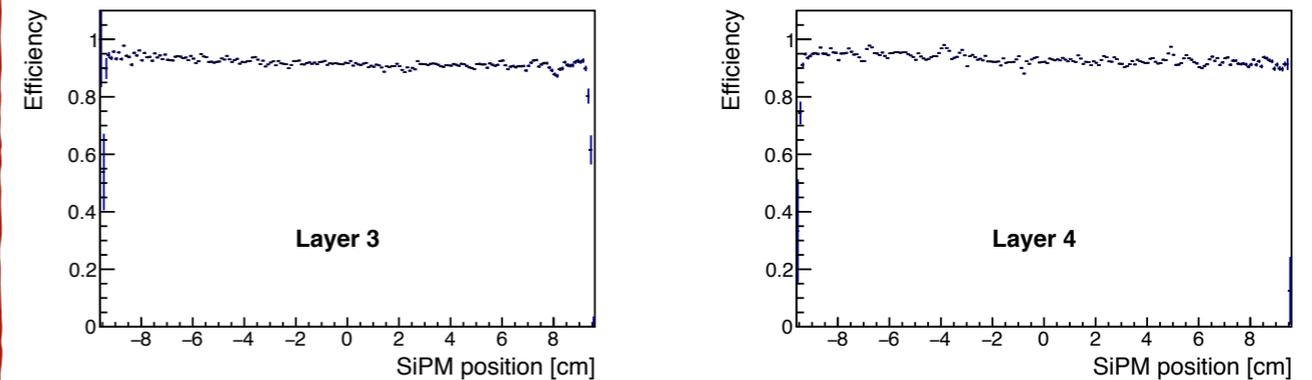
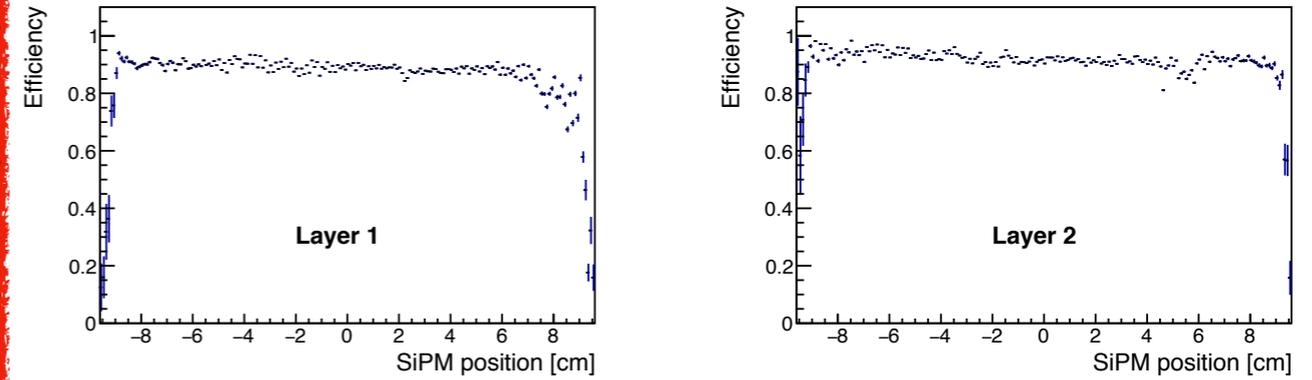
Acquisizione effettuata durante uno scan lungo X e Y



Caduta di efficienza ai bordi dei primi due layer dovuta alla scarsa statistica collezionabile

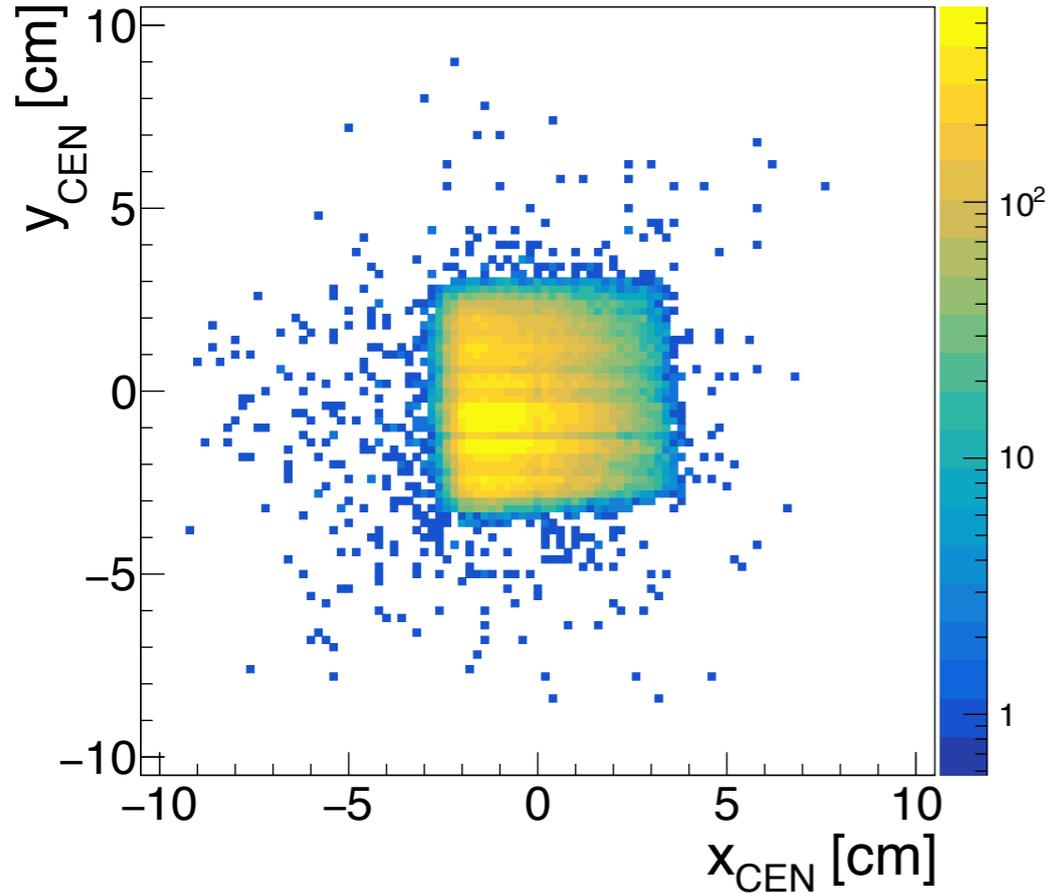


vista YZ

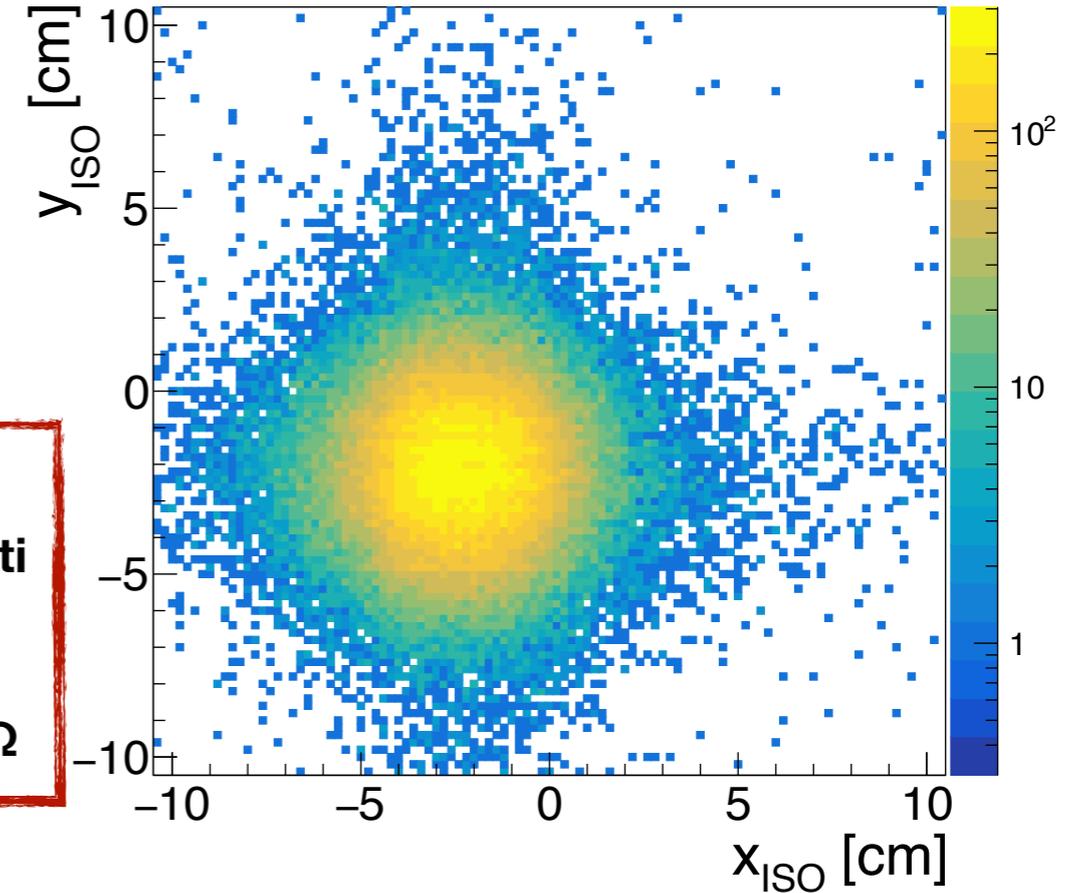


Risoluzione - Maggio

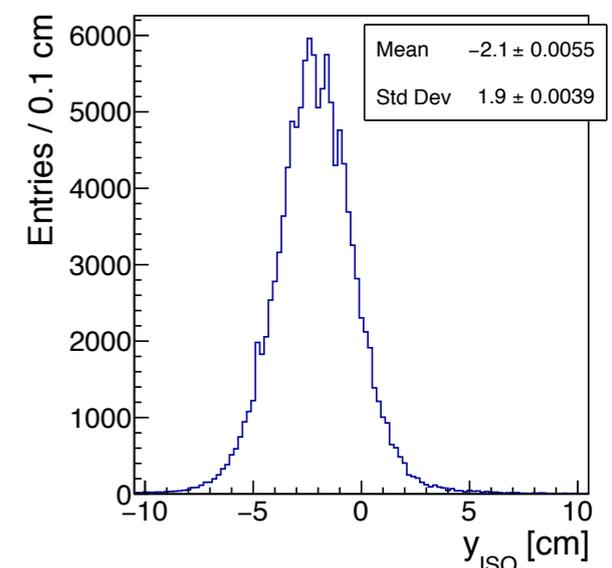
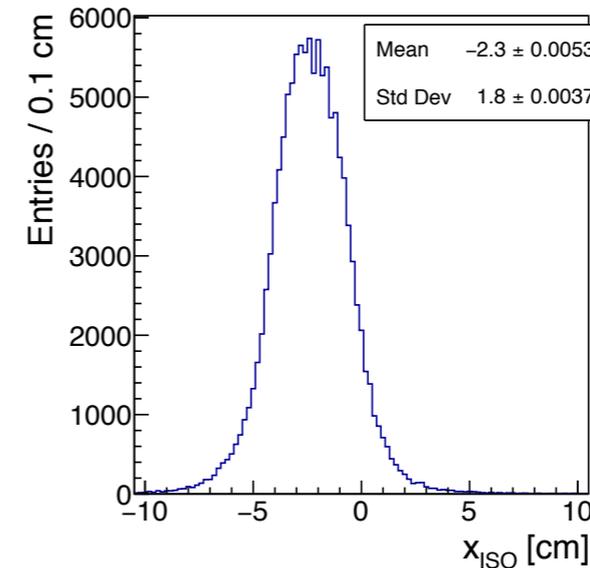
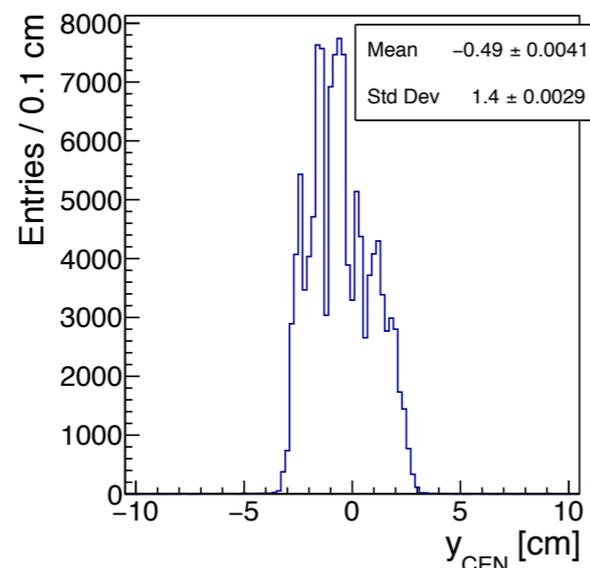
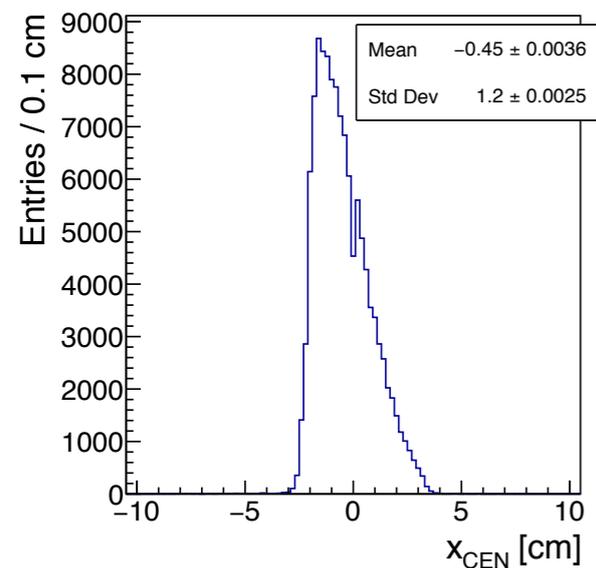
Proiezione al centro del rivelatore



Proiezione all'isocentro

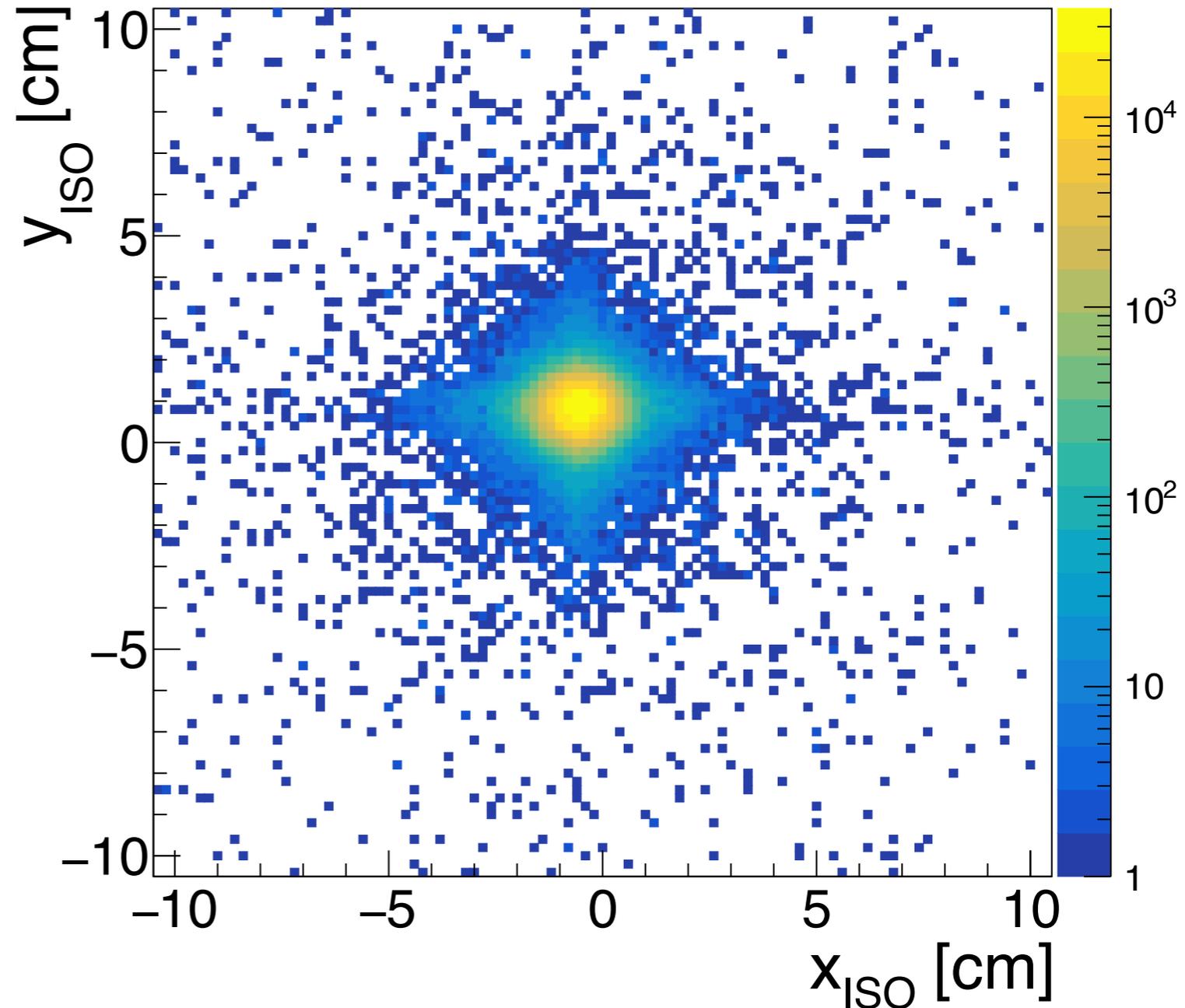
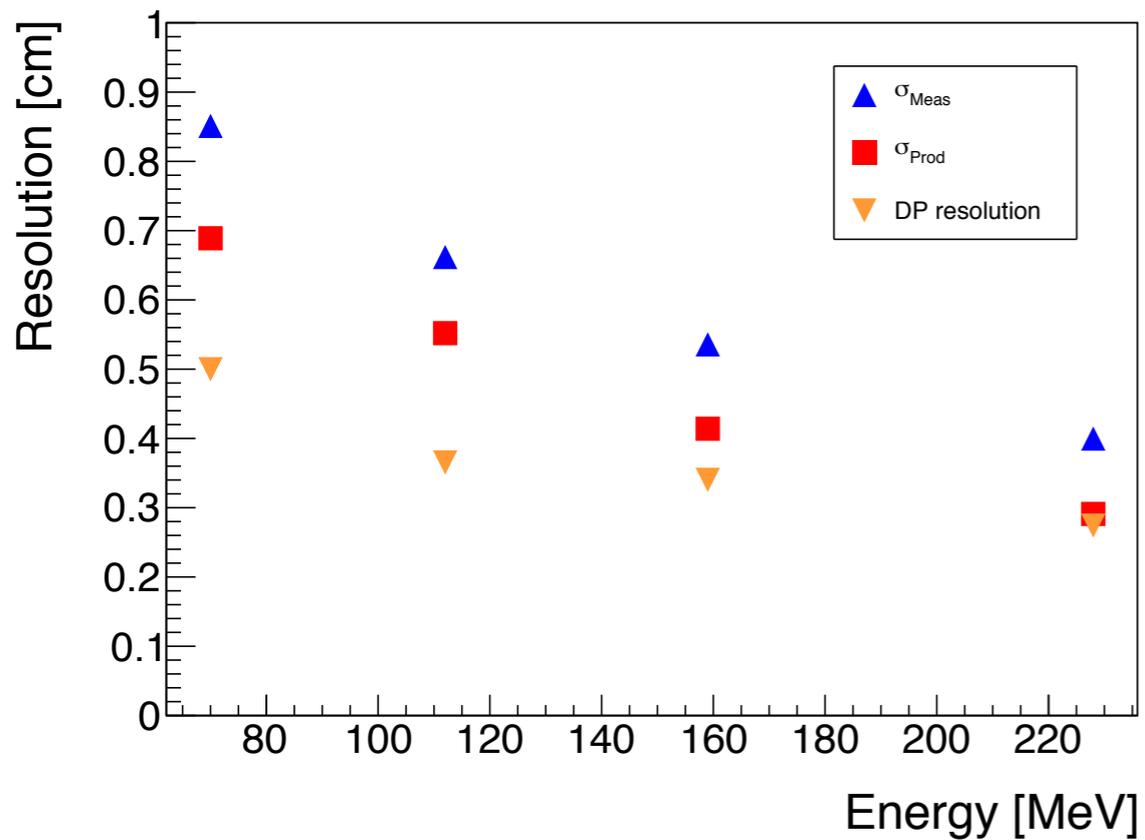


Trigger Esterno
1 milione di eventi
120 MeV
Capacità 1pF
Resistenza 66 k Ω



Risoluzione - Giugno

Proiezione all'isocentro

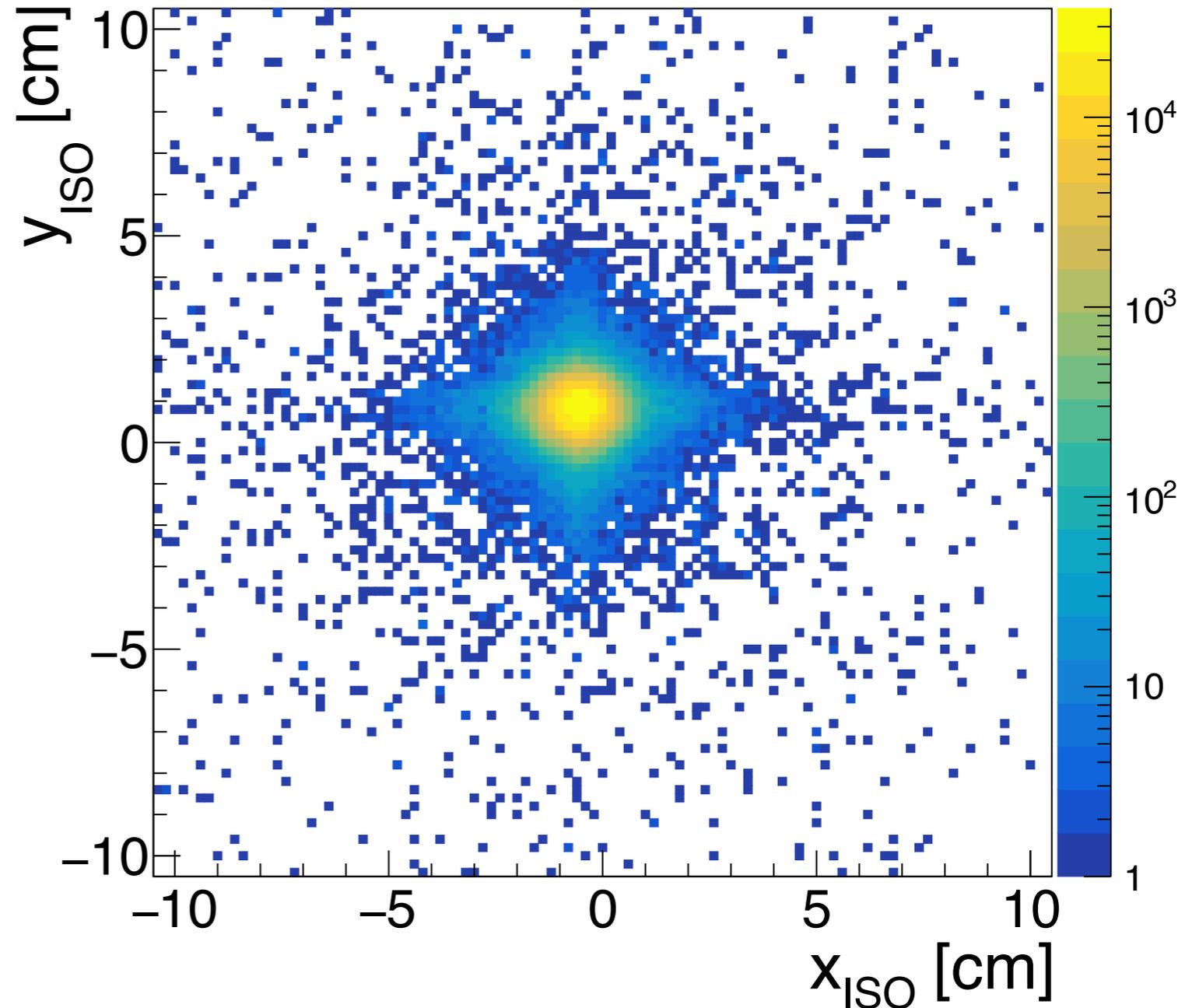
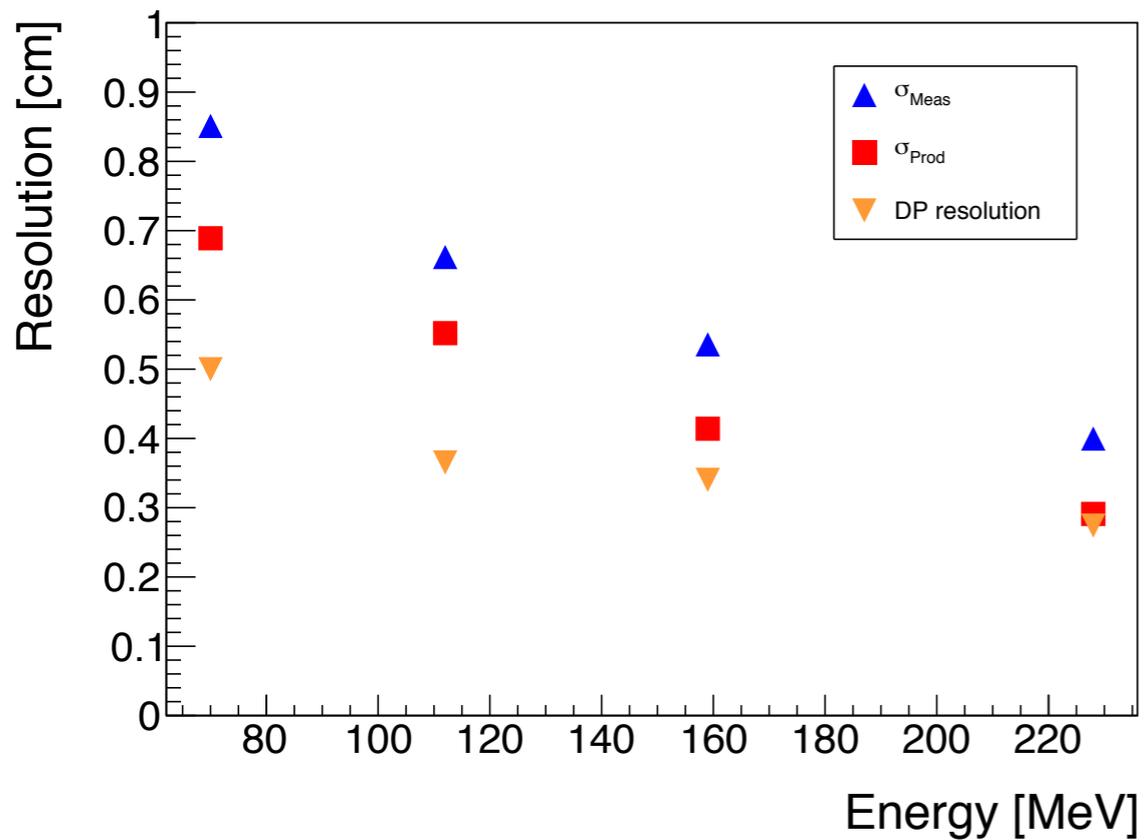


$$\sigma_{DP} = \sqrt{\sigma_{Meas}^2 - \sigma_{Prod}^2}$$

Trigger interno
1 milione di eventi, 120 MeV
Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω

Risoluzione - Giugno

Proiezione all'isocentro



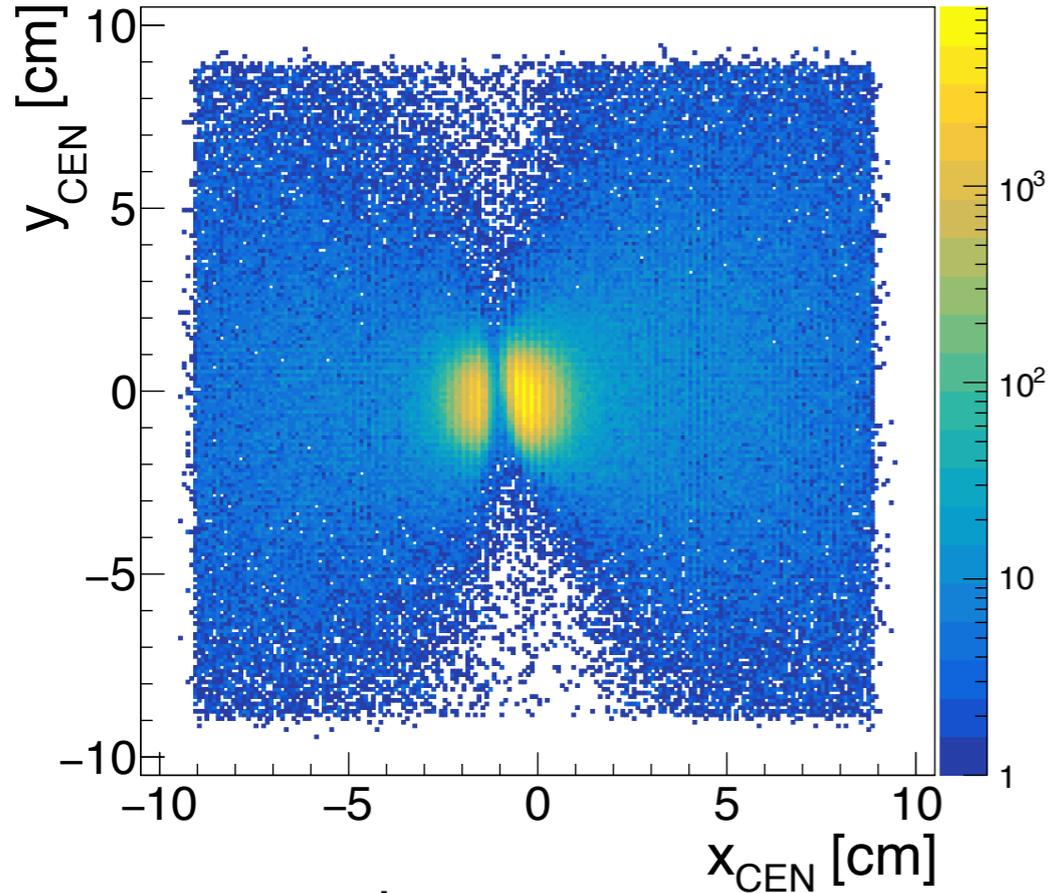
$$\sigma_{DP} = \sqrt{\sigma_{Meas}^2 - \sigma_{Prod}^2}$$

$$\sigma_{DP}(50cm) = \frac{\sigma_{DP}(ISO)}{3}$$

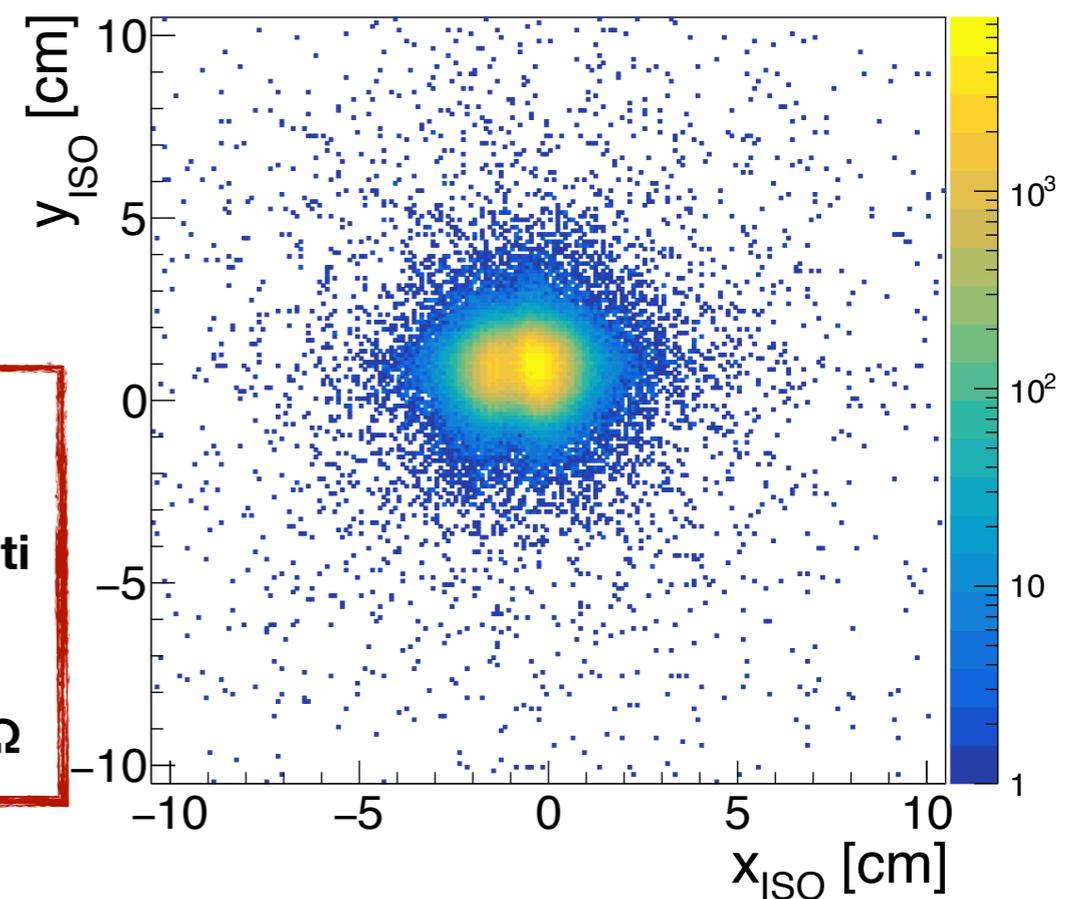
Trigger interno
1 milione di eventi, 120 MeV
Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω

Risoluzione - Tantalio

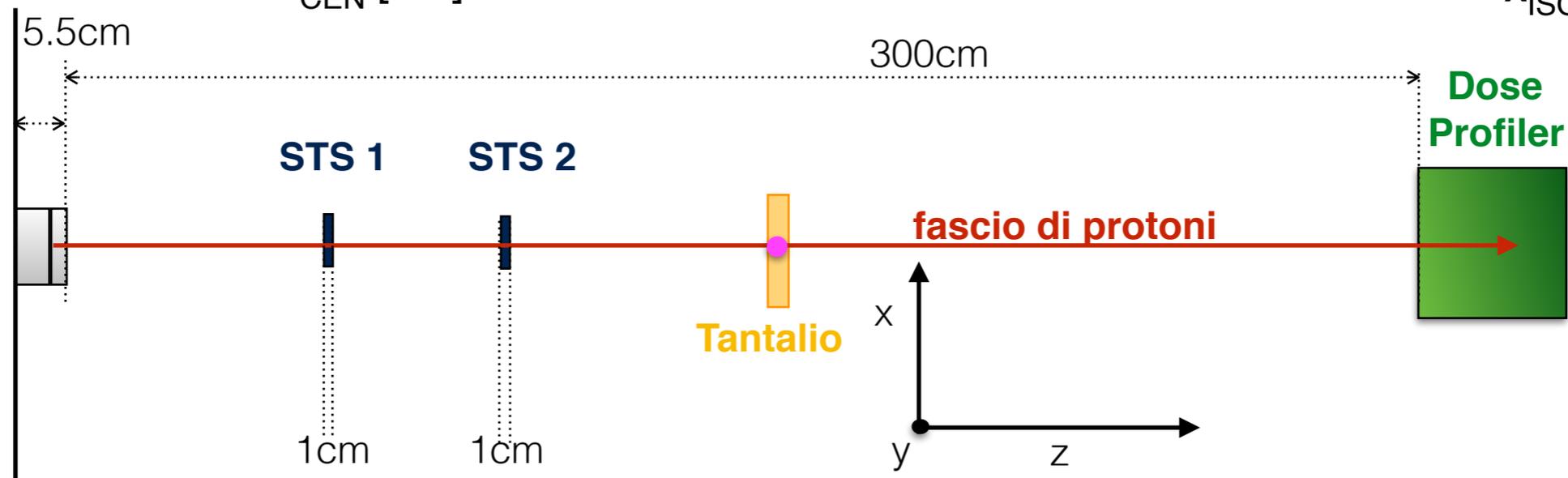
Proiezione al centro del rivelatore



Proiezione all'isocentro

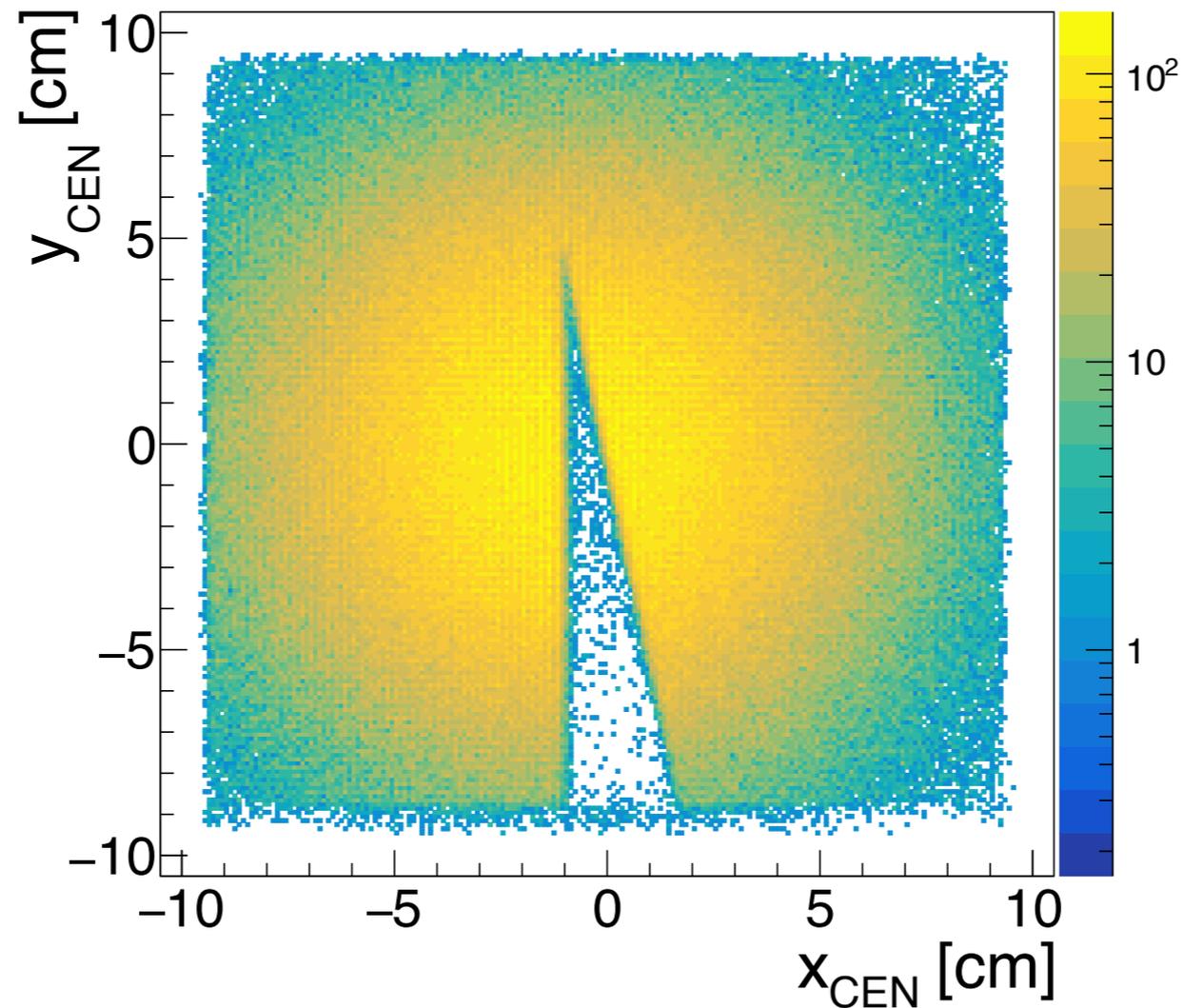


Tantalio
all'isocentro
1 milione di eventi
160 MeV
Capacità 1pF
Resistenza 66 kΩ

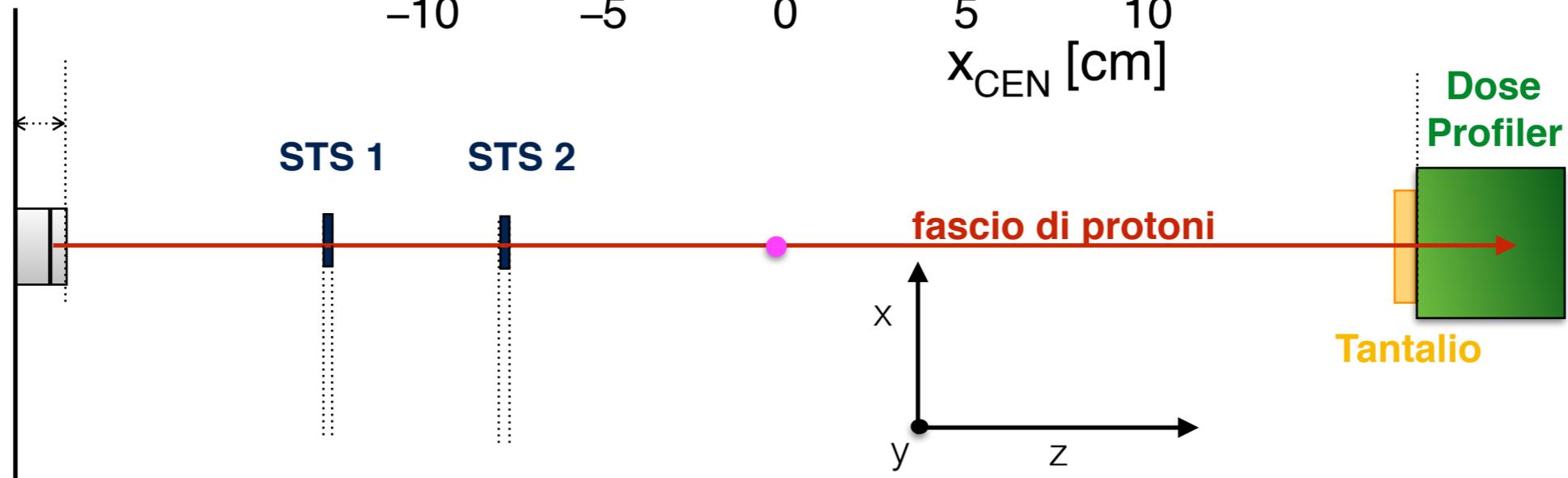


Risoluzione - Tantalio

Proiezione al centro del rivelatore



Tantallio davanti il
Dose Profiler
1 milione di eventi
40 MeV
Capacità 1pF
Resistenza 66 kΩ



Conclusioni

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

TRACKING: preliminare, da ottimizzare

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

TRACKING: preliminare, da ottimizzare

RISOLUZIONE: già soddisfacente per l'utilizzo in PT ma ancora migliorabile con un'ottimizzazione del tracking

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

TRACKING: preliminare, da ottimizzare

RISOLUZIONE: già soddisfacente per l'utilizzo in PT ma ancora migliorabile con un'ottimizzazione del tracking

EFFICIENZA: uniforme al variare del piano di fibre e compatibile con il 90% per tutti i piani

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

TRACKING: preliminare, da ottimizzare

RISOLUZIONE: già soddisfacente per l'utilizzo in PT ma ancora migliorabile con un'ottimizzazione del tracking

EFFICIENZA: uniforme al variare del piano di fibre e compatibile con il 90% per tutti i piani

PROSPETTIVE FUTURE

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

TRACKING: preliminare, da ottimizzare

RISOLUZIONE: già soddisfacente per l'utilizzo in PT ma ancora migliorabile con un'ottimizzazione del tracking

EFFICIENZA: uniforme al variare del piano di fibre e compatibile con il 90% per tutti i piani

PROSPETTIVE FUTURE

Misura della produzione di carichi su bersaglio sottile al CNAO utilizzando fasci di carbonio

Conclusioni

PUNTO DI LAVORO: Capacità 1pF, Resistenza 66 k Ω , HV nominale

STUDIO IN SOGLIA: da definire una volta nota la temperatura operativa

TRIGGER INTERNO: affidabile ed efficiente

TRACKING: preliminare, da ottimizzare

RISOLUZIONE: già soddisfacente per l'utilizzo in PT ma ancora migliorabile con un'ottimizzazione del tracking

EFFICIENZA: uniforme al variare del piano di fibre e compatibile con il 90% per tutti i piani

PROSPETTIVE FUTURE

Misura della produzione di carichi su bersaglio sottile al CNAO utilizzando fasci di carbonio

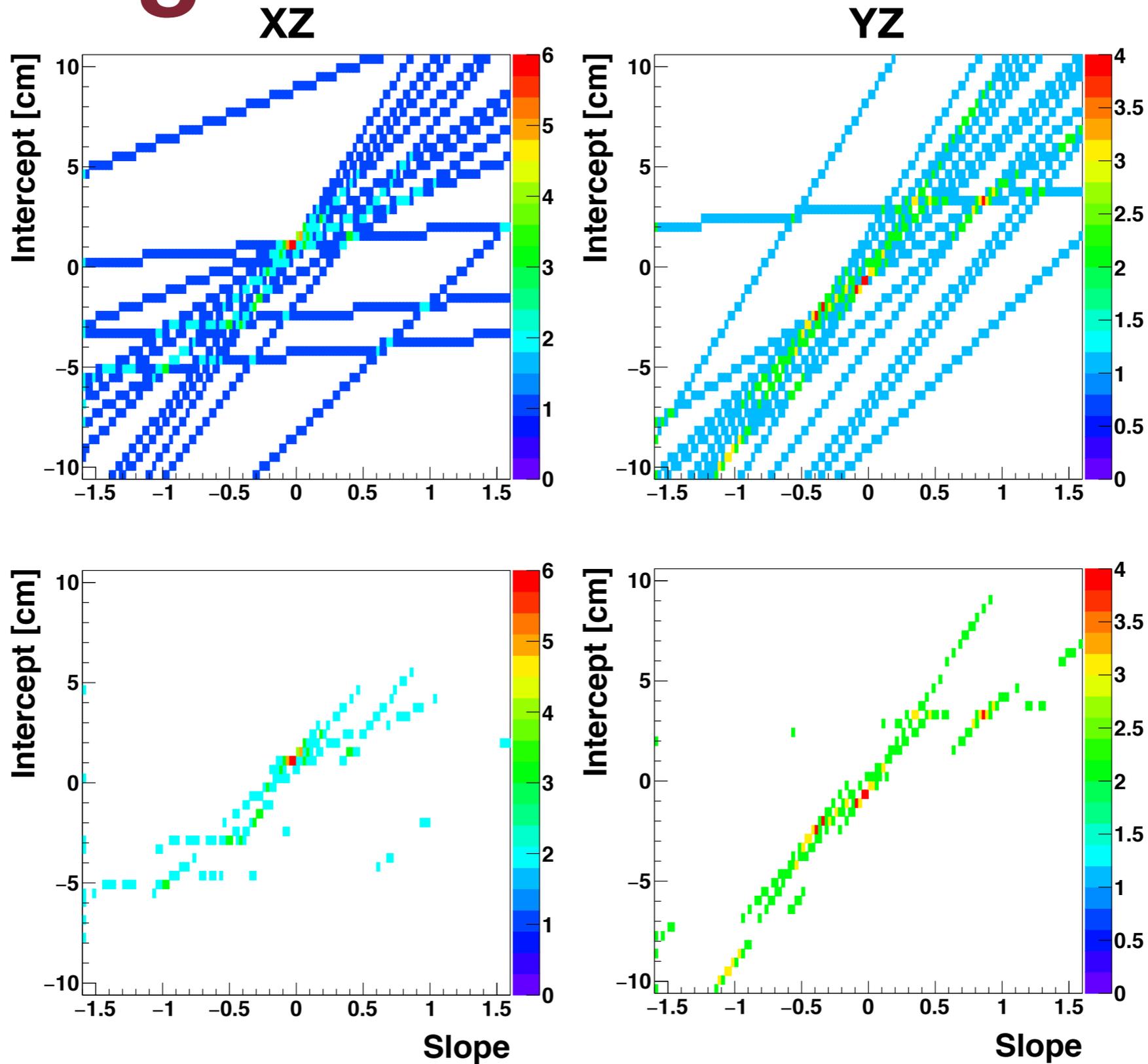
Misura della produzione di carichi su fantoccio al CNAO

Grazie

CELEBRO DI PROTONTERAPIA

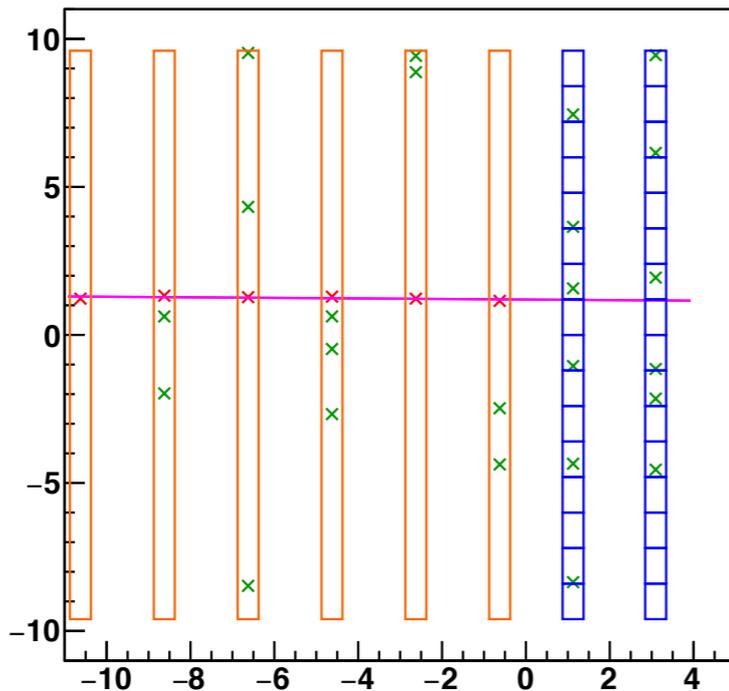


Tracking: Trasformata di Hough

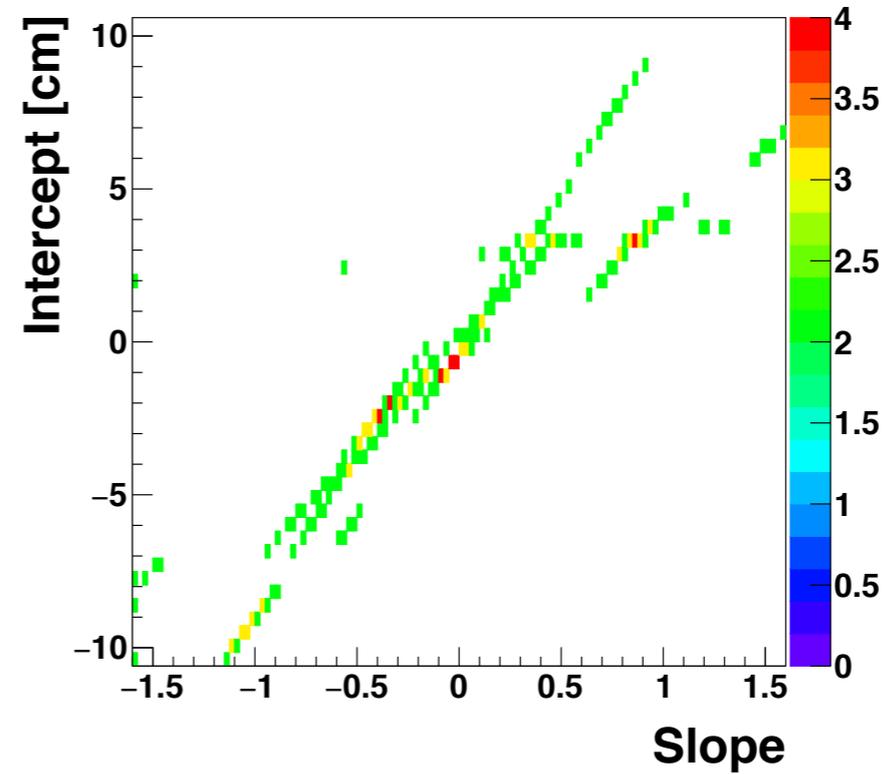
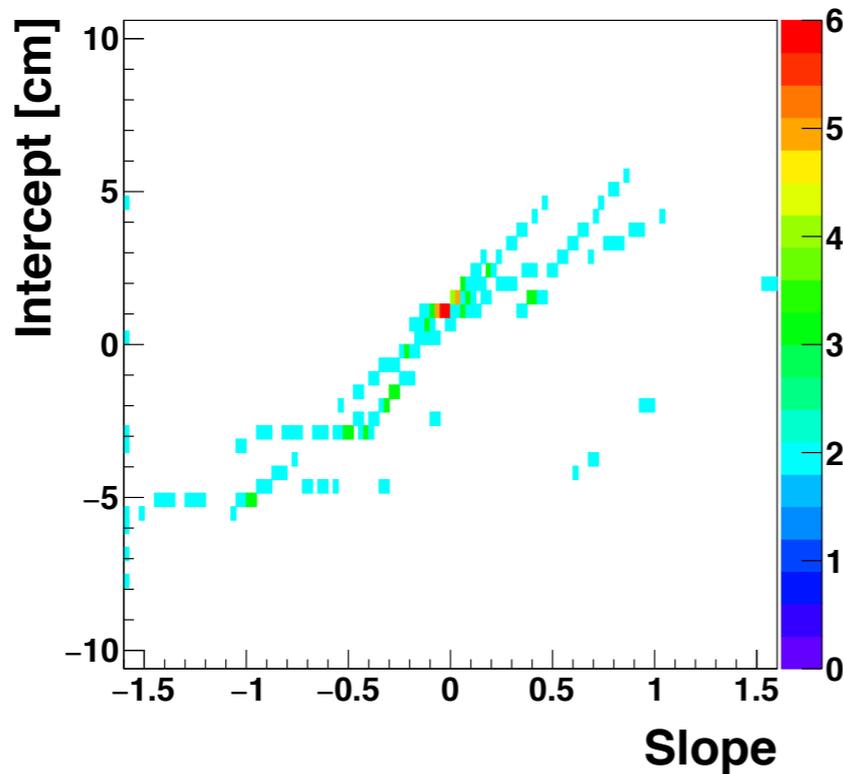
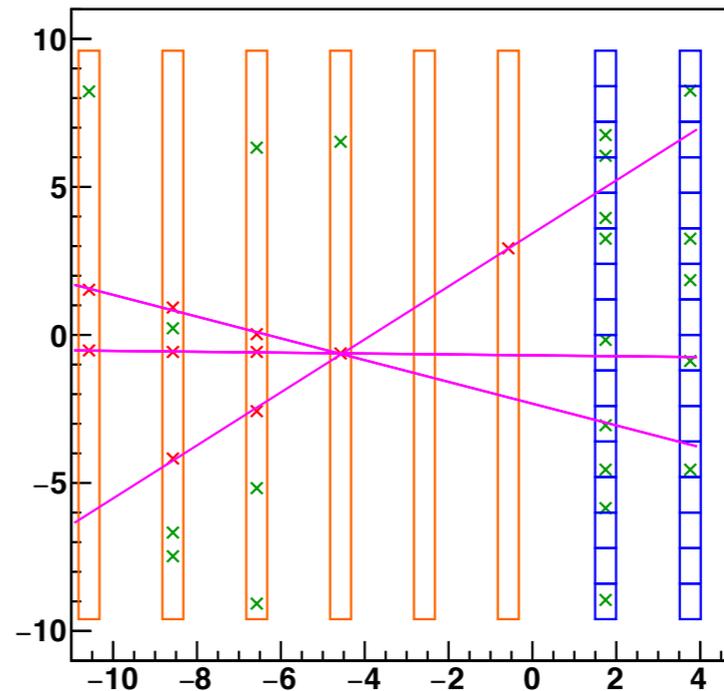


Tracking: Trasformata di Hough

X-Z planes - Ev::797 (30 hits)



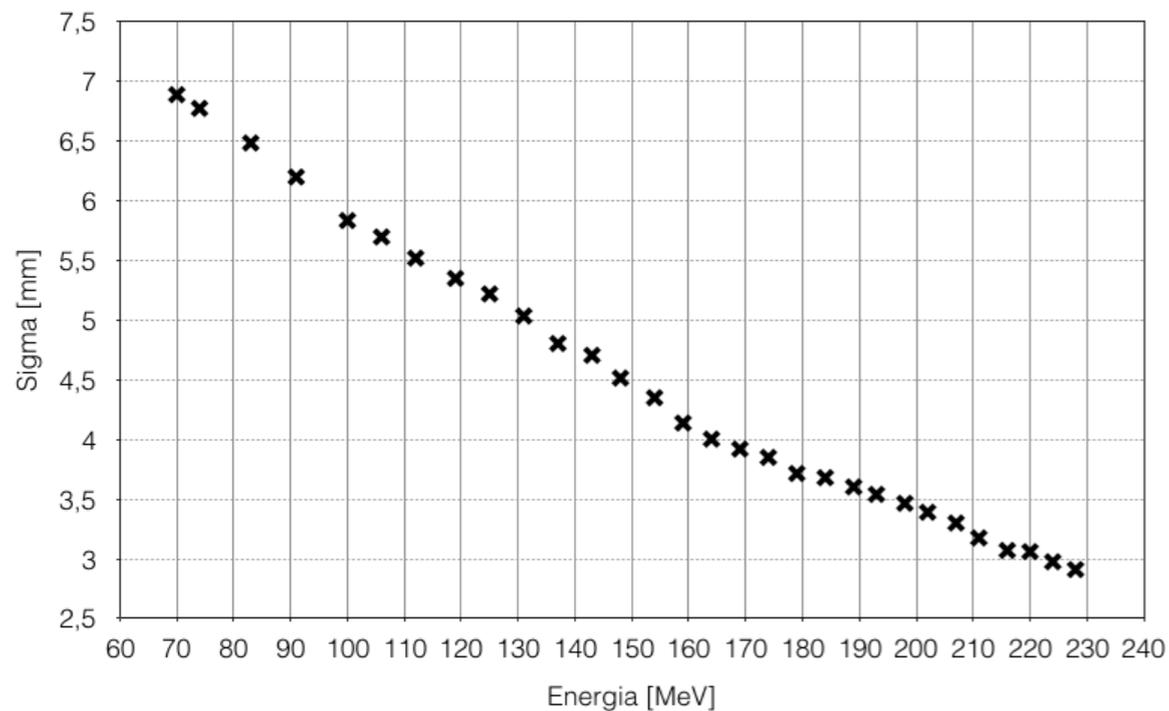
Y-Z planes - Ev::797 (32 hits)



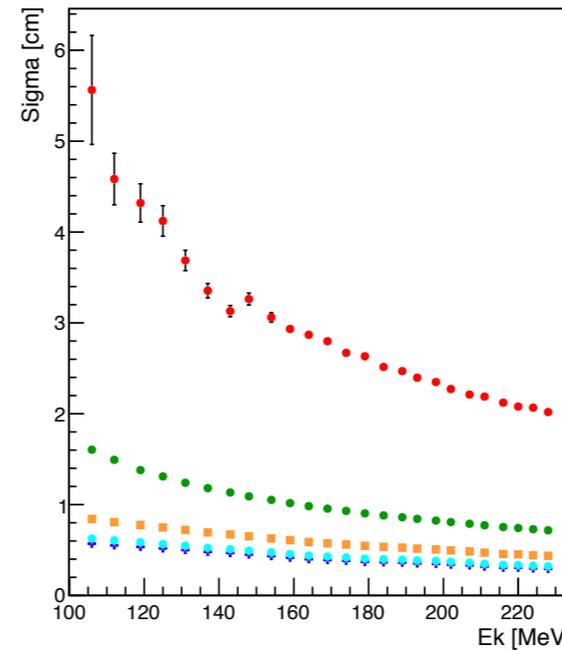
Set-up sperimentale - Maggio

Tutti i rivelatori lungo il fascio

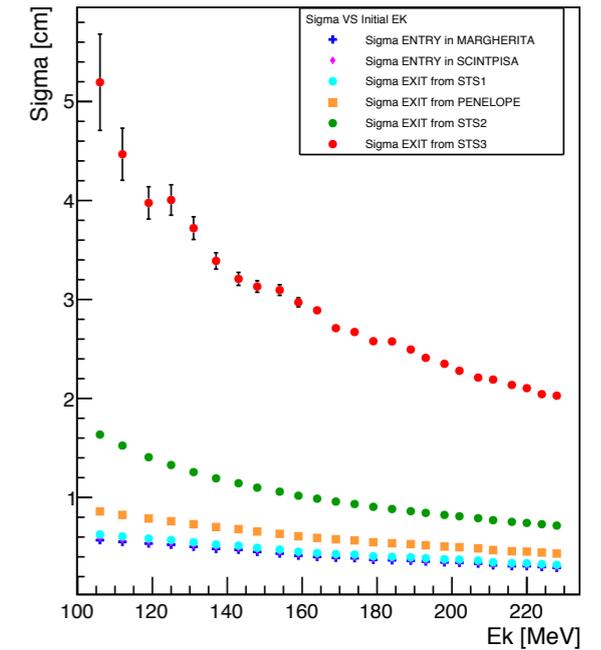
Sigma nominale del fascio nell'isocentro



Sigma X in five position vs EKin

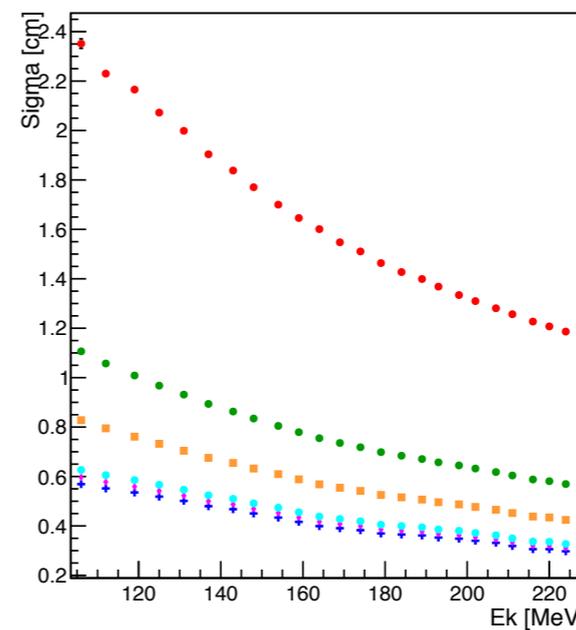


Sigma Y in five position vs EKin



In assenza del rivelatore Penelope

Sigma X in five position vs EKin



Sigma Y in five position vs EKin

