



Dipartimento di Matematica e Fisica
Corso di Laurea Triennale in Fisica

Modellizzazione con Geant4 di rivelatori a scintillazione

Relatore:
Prof.ssa
Domizia Orestano

Candidato:
Pietro Meloni
Matricola 498252

Anno Accademico 2017-2018

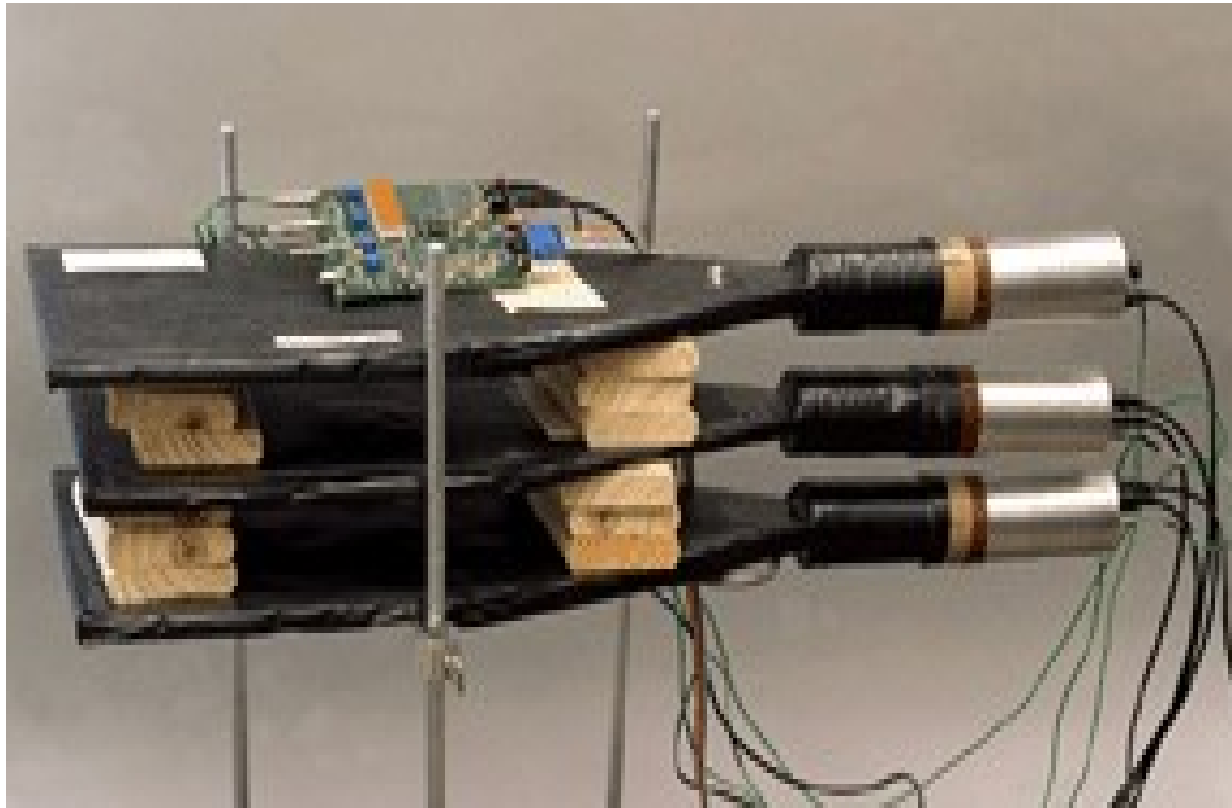
1. Finalità
2. Rivelatori a scintillazione
3. Metodi Monte Carlo e Geant4
4. La simulazione
5. I risultati
6. Conclusioni

Finalità

- Approfondire il funzionamento dei **rivelatori a scintillazione** usati nel corso di *Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare*
- Acquisire le conoscenze di base sui **metodi di simulazione** in fisica delle particelle, simulando la risposta del rivelatore al passaggio della radiazione (**raggi cosmici**)



Rivelatori a scintillazione



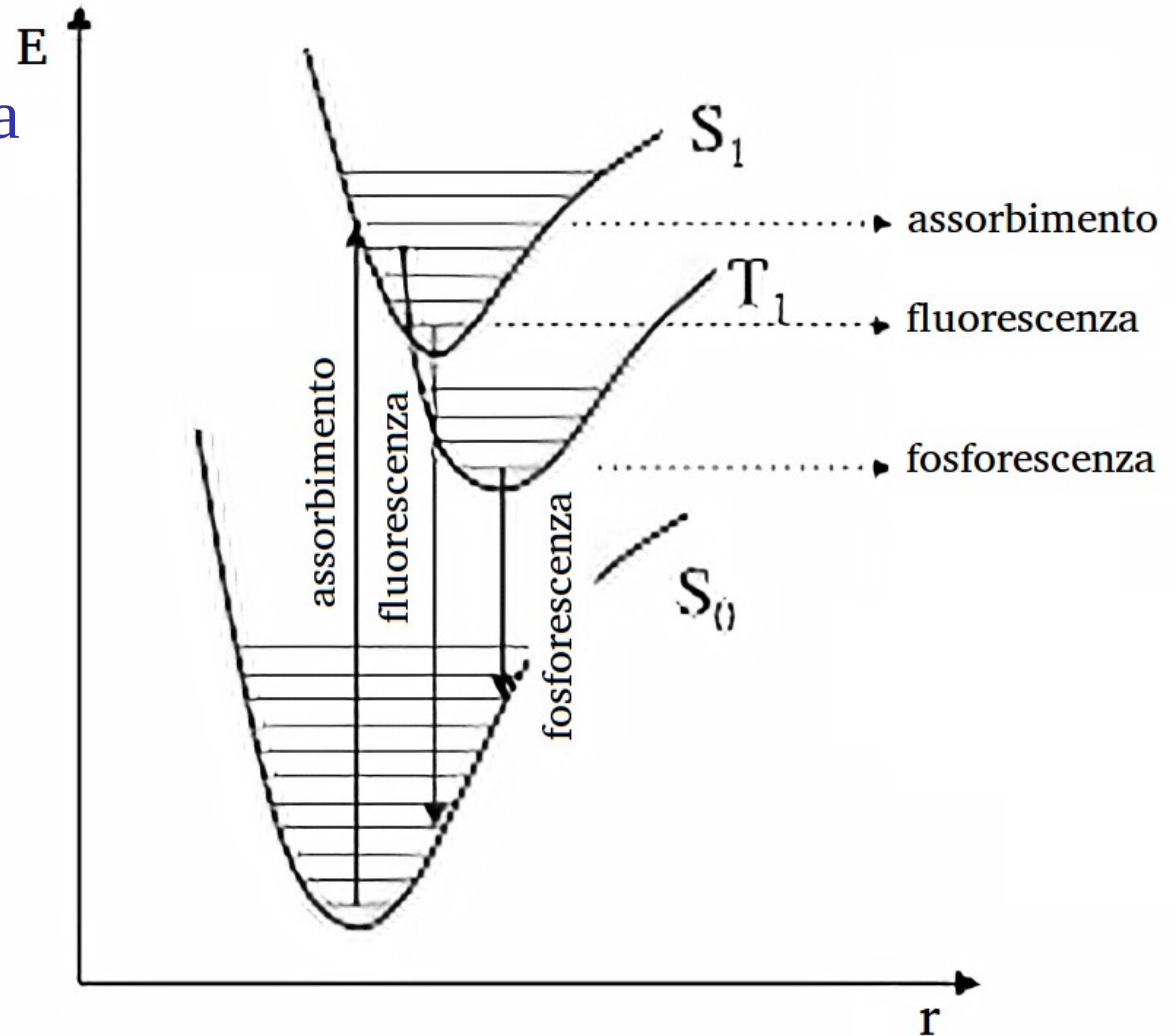
[<http://quarknet.fnal.gov>]

Scintillatori

- Fluorescenza e fosforescenza
- Lunghezza di assorbimento
- Output di luce (o efficienza)

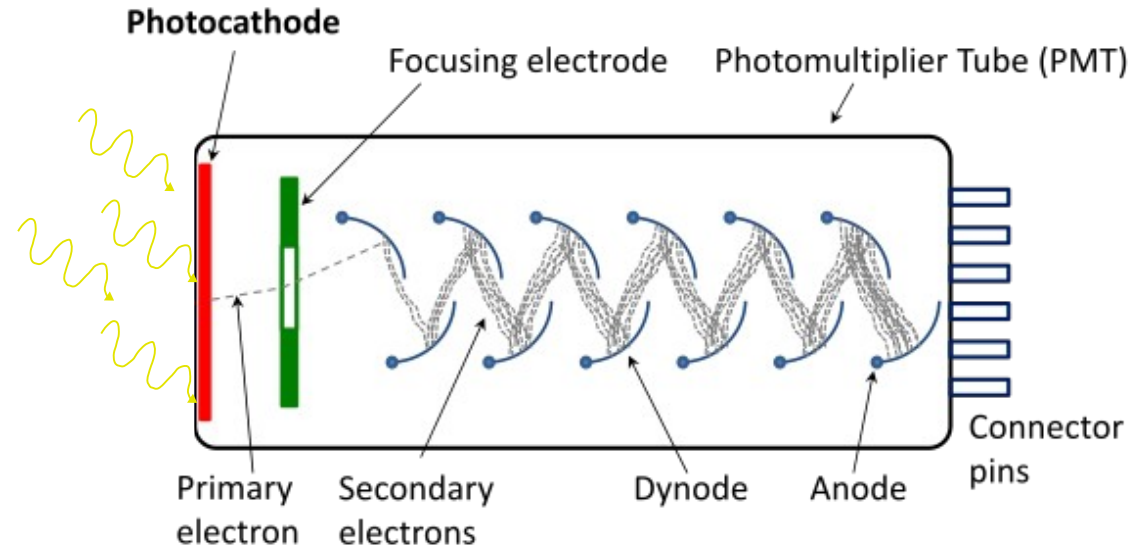


Fosforescenza nella vita quotidiana



Fotomoltiplicatori (PMT)

Funzionamento



PTM

(<https://www.sense-pro.org>)

Principali parametri

- Efficienza quantica
- Guadagno
- Numero di dinodi
- Tensione di alimentazione

Metodi Monte Carlo e Geant4

Metodi Monte Carlo

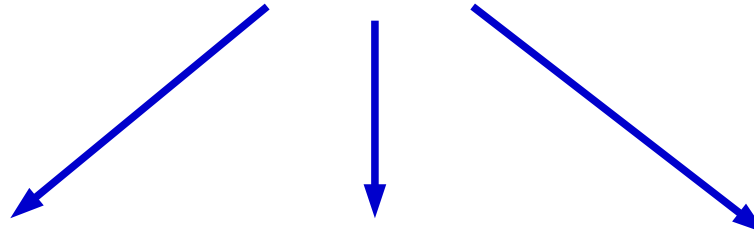
Estrazione di numeri **pseudo-casuali**



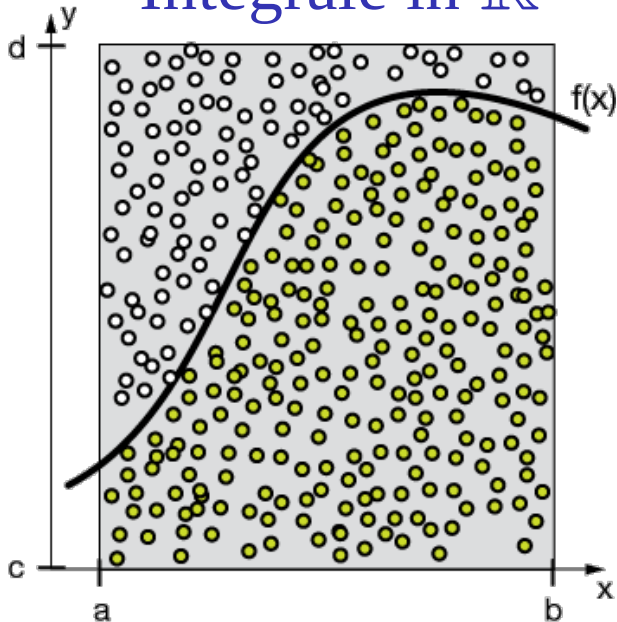
Algoritmo



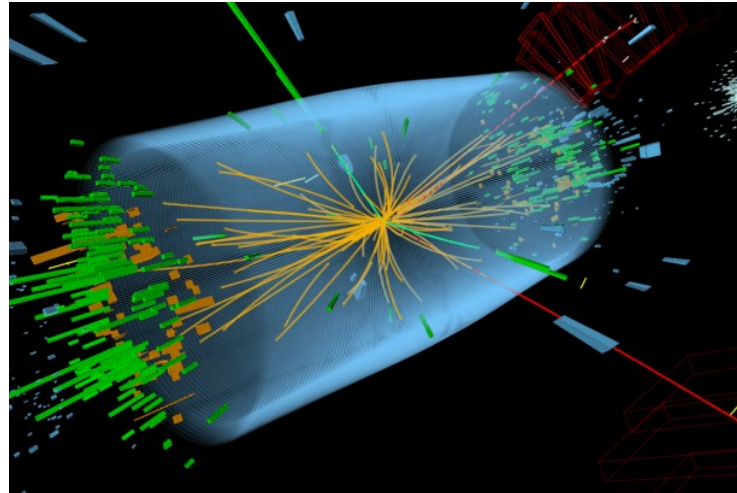
Risoluzione numerica di un problema



Integrale in \mathbb{R}

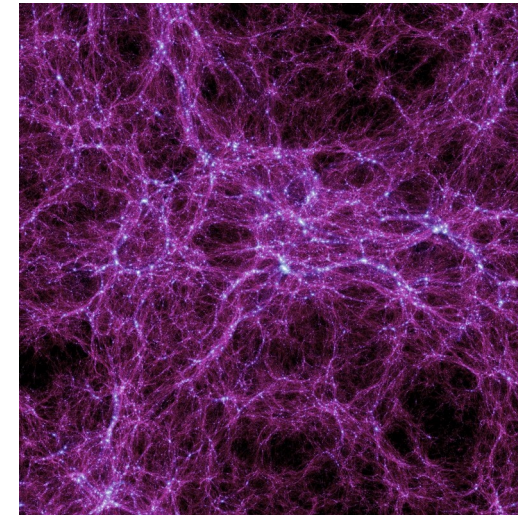


Simulazione



[Simulazione di una collisione pp a LHC]

Problema degli n-corpi



[Millennium Simulation]

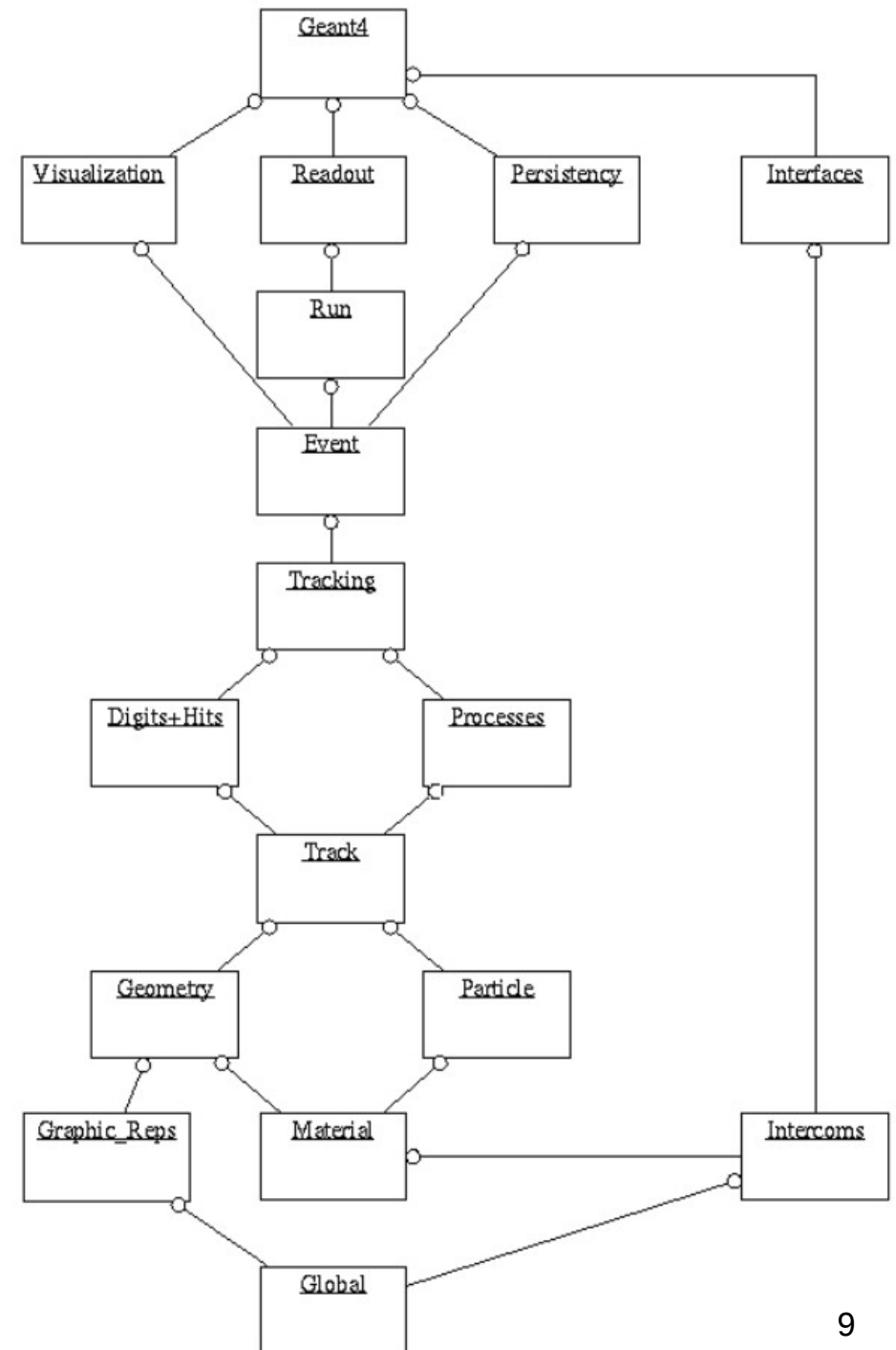


Elementi essenziali:

- Rivelatore
- Generatore dei primari
- Modelli fisici

Gestione della simulazione:

- Tracking e step
- Eventi
- Run



La simulazione

Rivelatore

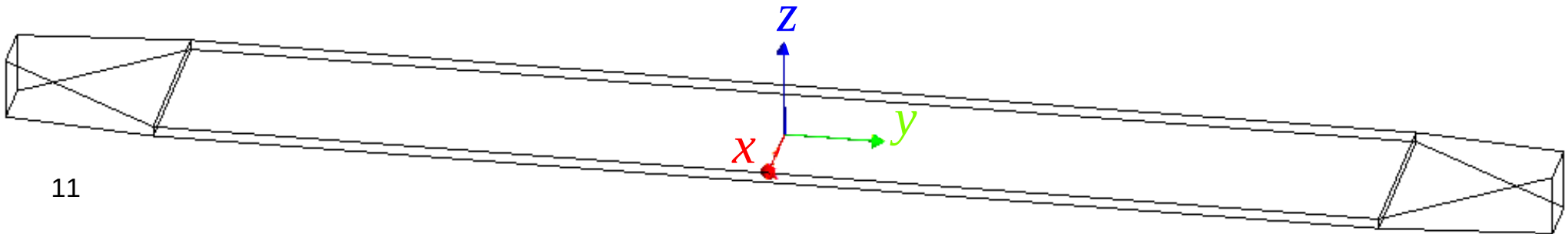
- 122cm x 20cm x 1cm
- Polistirene ($n = 1.60$)
- Output di luce $\varepsilon = 5 \cdot 10^3 \text{ MeV}^{-1}$
- Lunghezza di assorbimento: 360 cm
- Guadagno $G = 5 \cdot 10^7$
- 12 dinodi

Approssimazioni

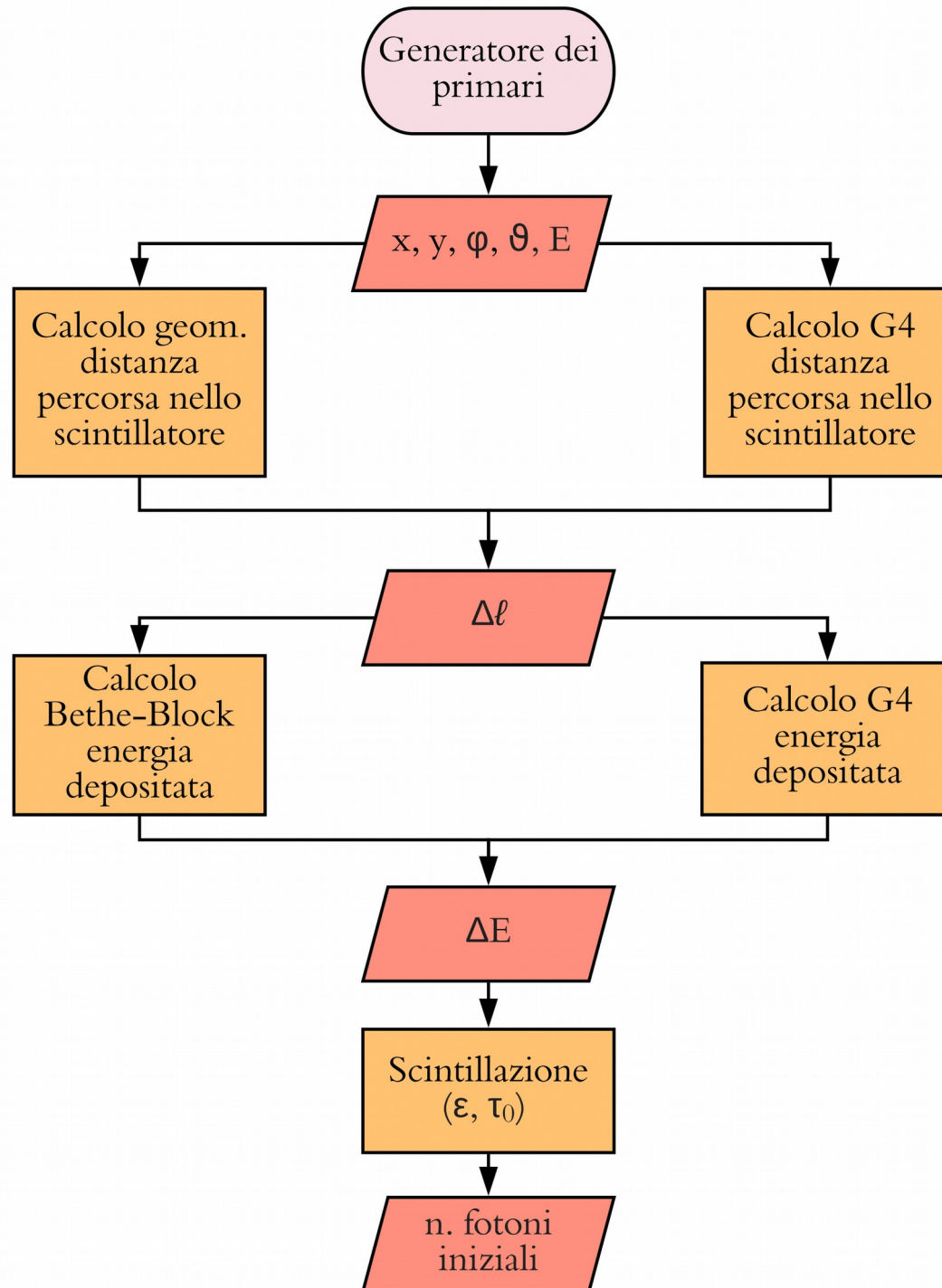
- **NO** rumore
- **NO** guide di luce
- Parametri indipendenti dall'energia dei fotoni

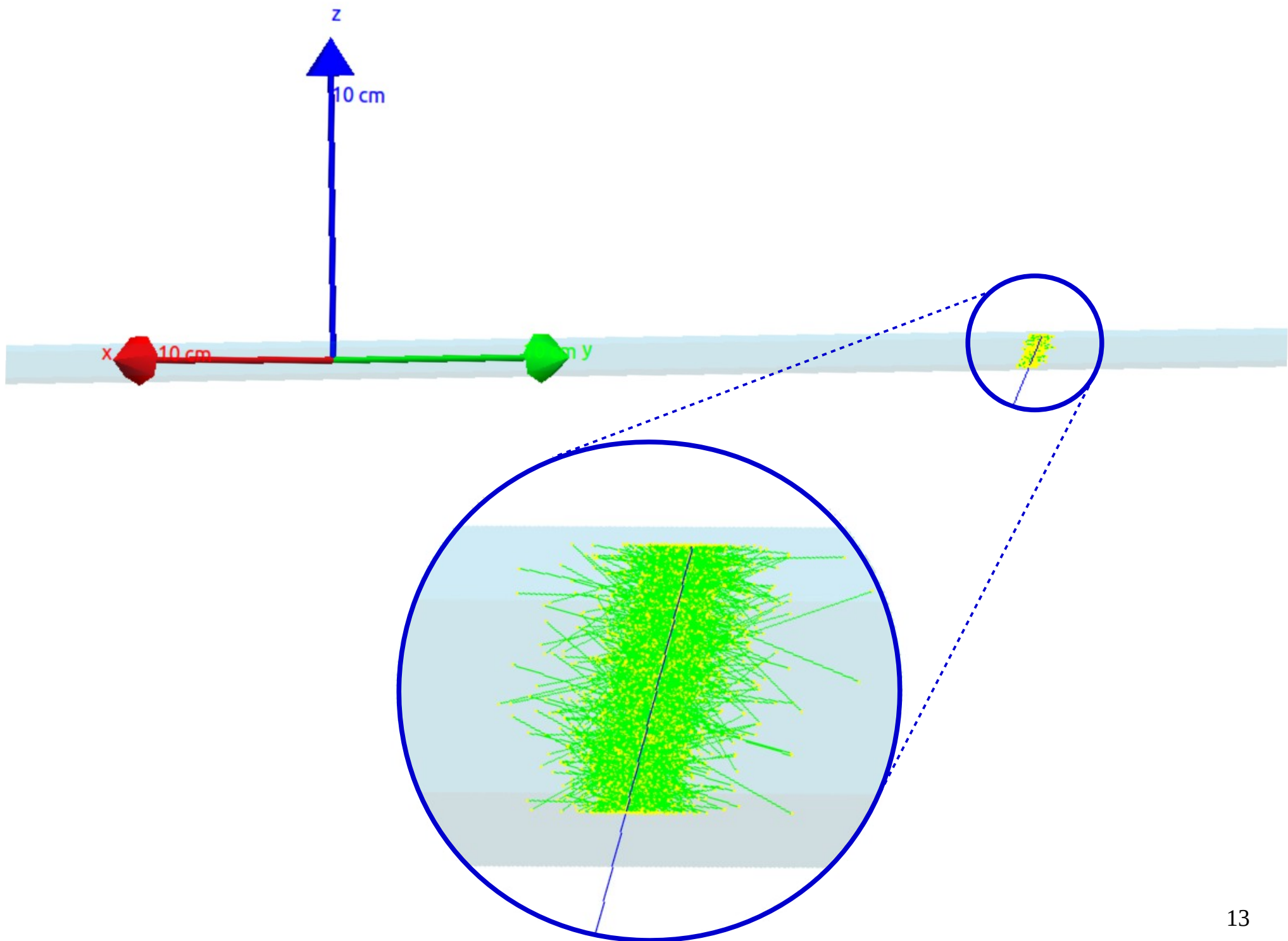
Fisica

- Particelle: $n, p, e^-, e^+, \nu, \bar{\nu}, \gamma, \mu^-, \mu^+$
- Processi ionizzazione e diffusione multipla, decadimenti.

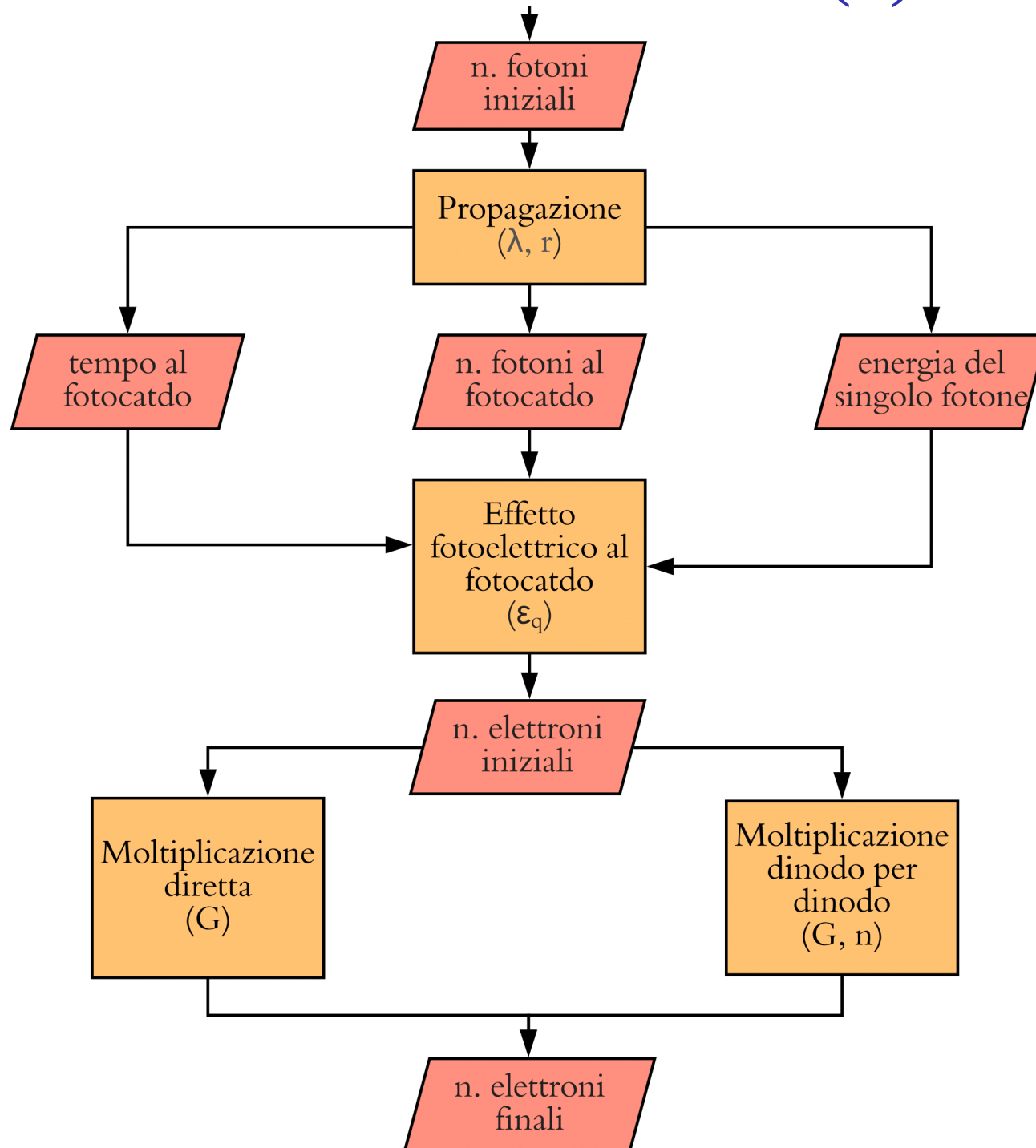


Schema di un evento (1)





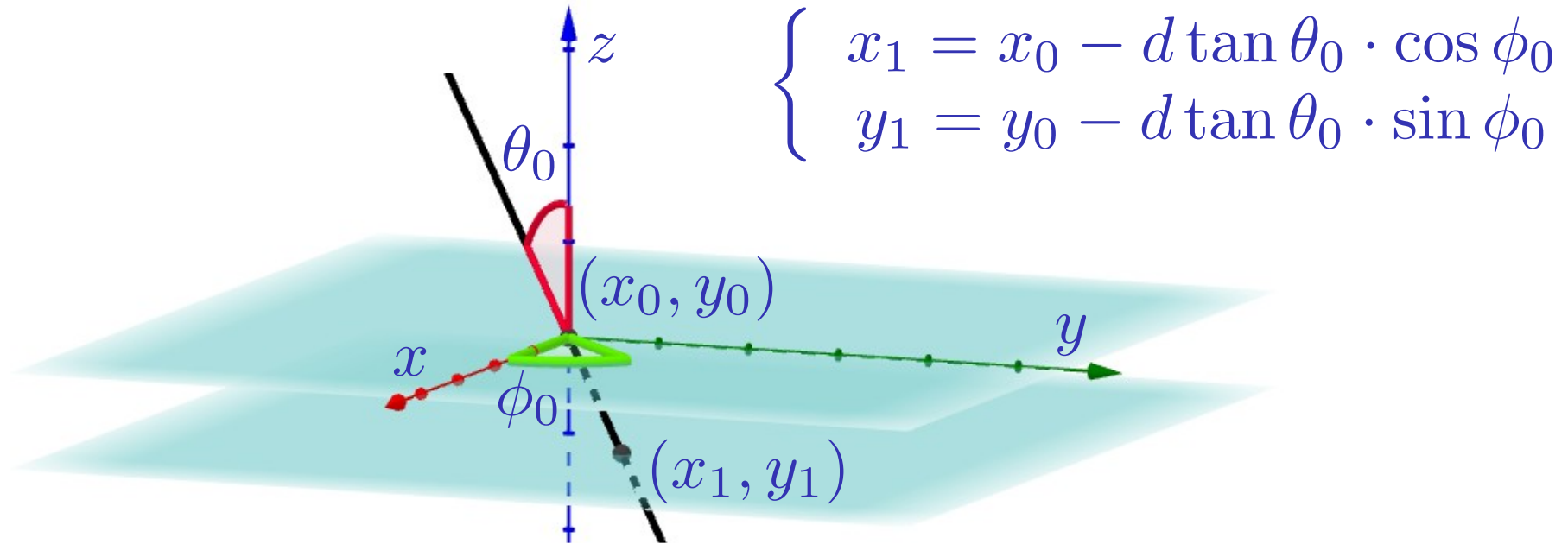
Schema di un evento (2)



I risultati

Distanza percorsa

Calcolo geometrico

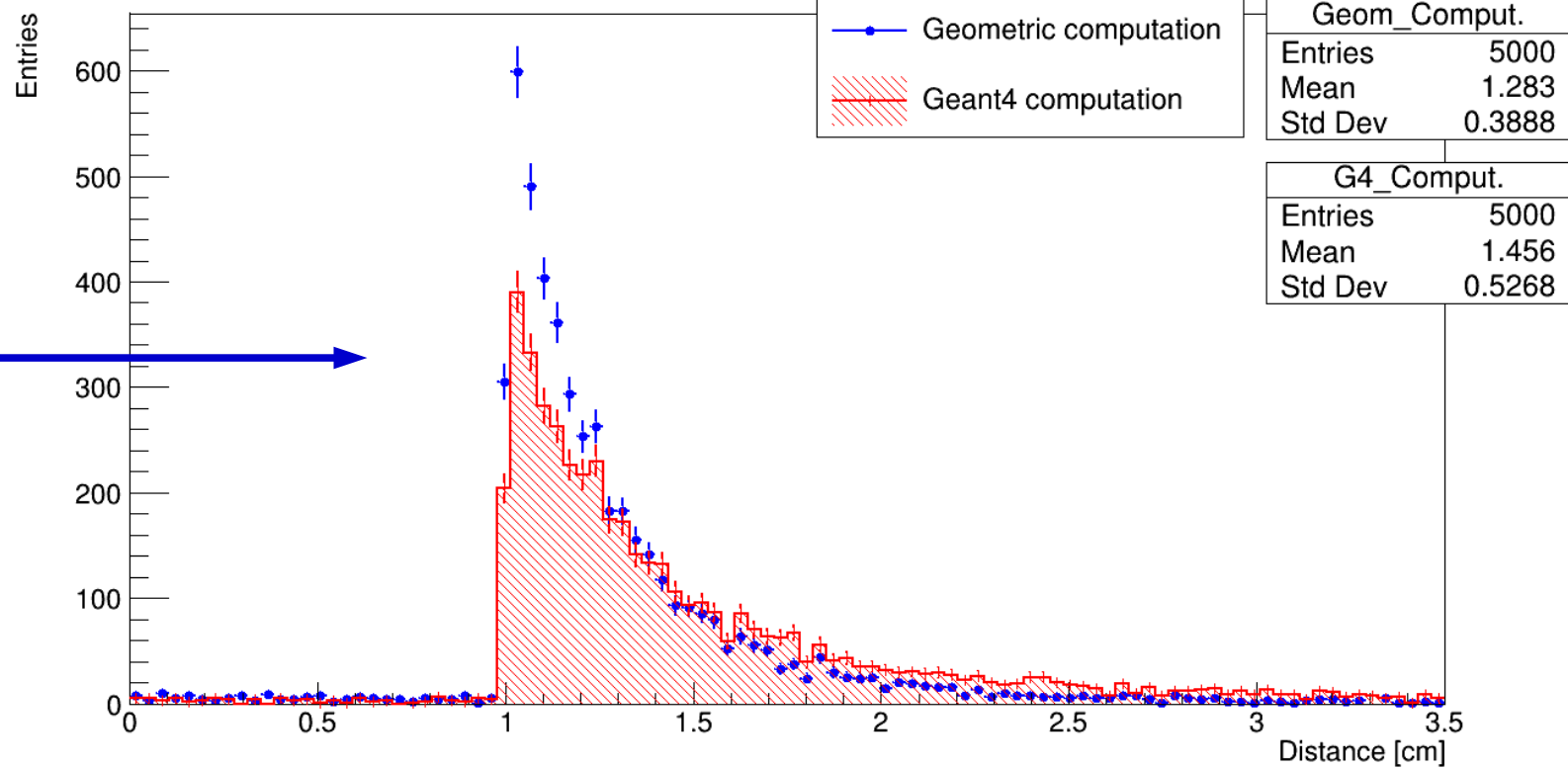


$$\Delta \ell_{geom} = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + d^2}$$

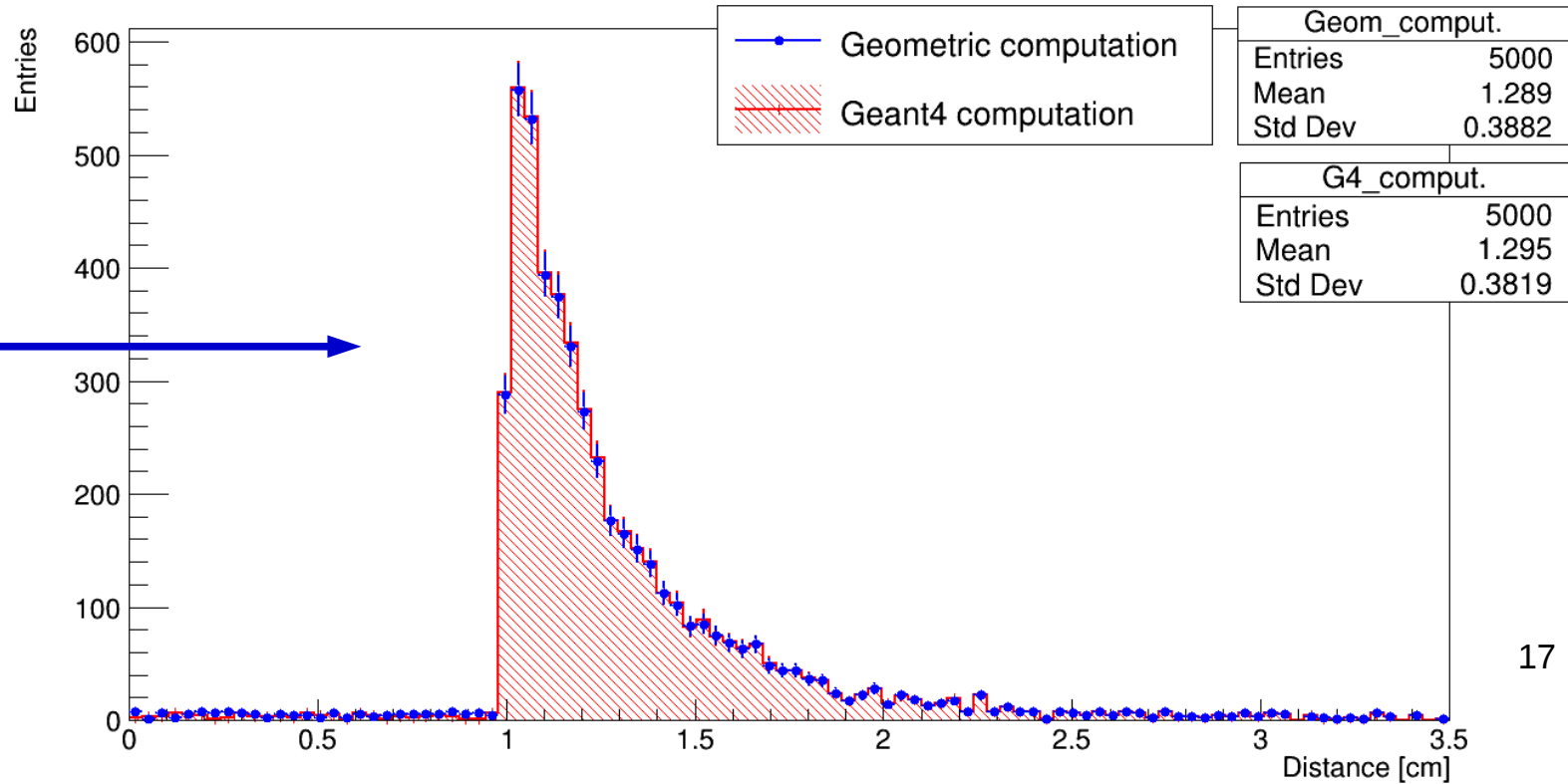
Calcolo con Geant4

$$\Delta \ell_{G4} = \sum_i^{step} \delta \ell_i$$

SI
diffusione
multipla



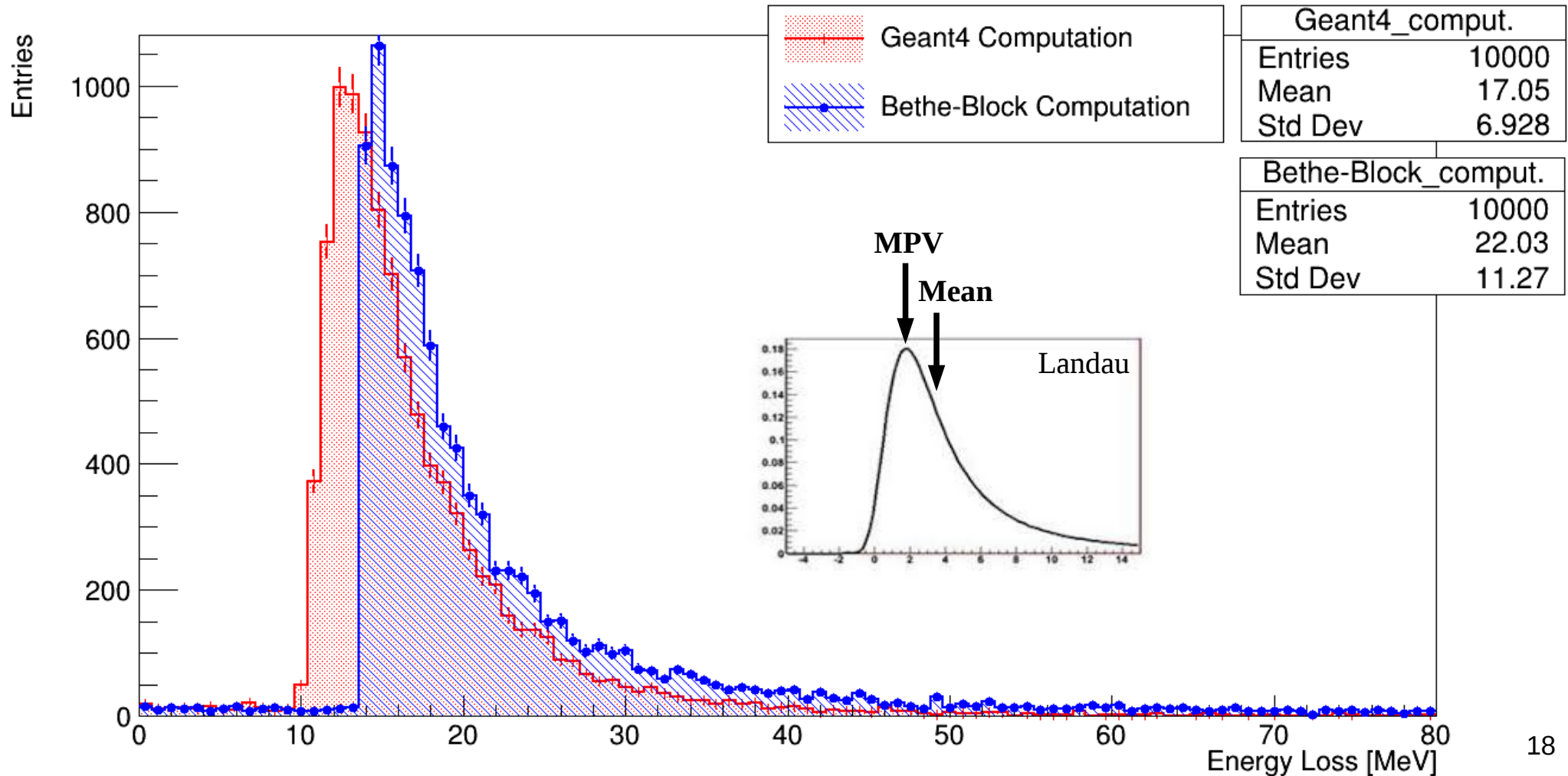
NO
diffusione
multipla



Perdita d'energia

$$\Delta E_{G4} = \sum_i^{step} \delta E_i$$

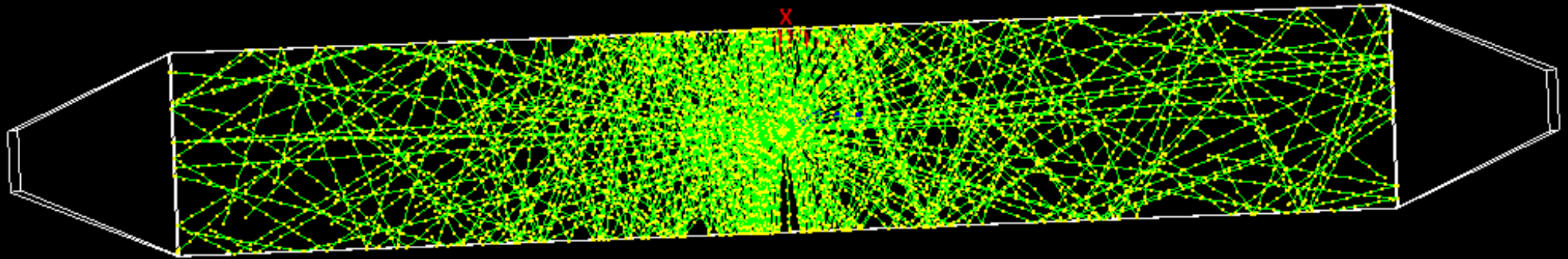
$$\Delta E_{BB} = \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \Delta \ell$$



Verifica della simmetria (1)

- Per μ passanti lungo \hat{z} deve valere:

$$\langle n_{\gamma_{PMT_1}} \rangle = \langle n_{\gamma_{PMT_2}} \rangle$$

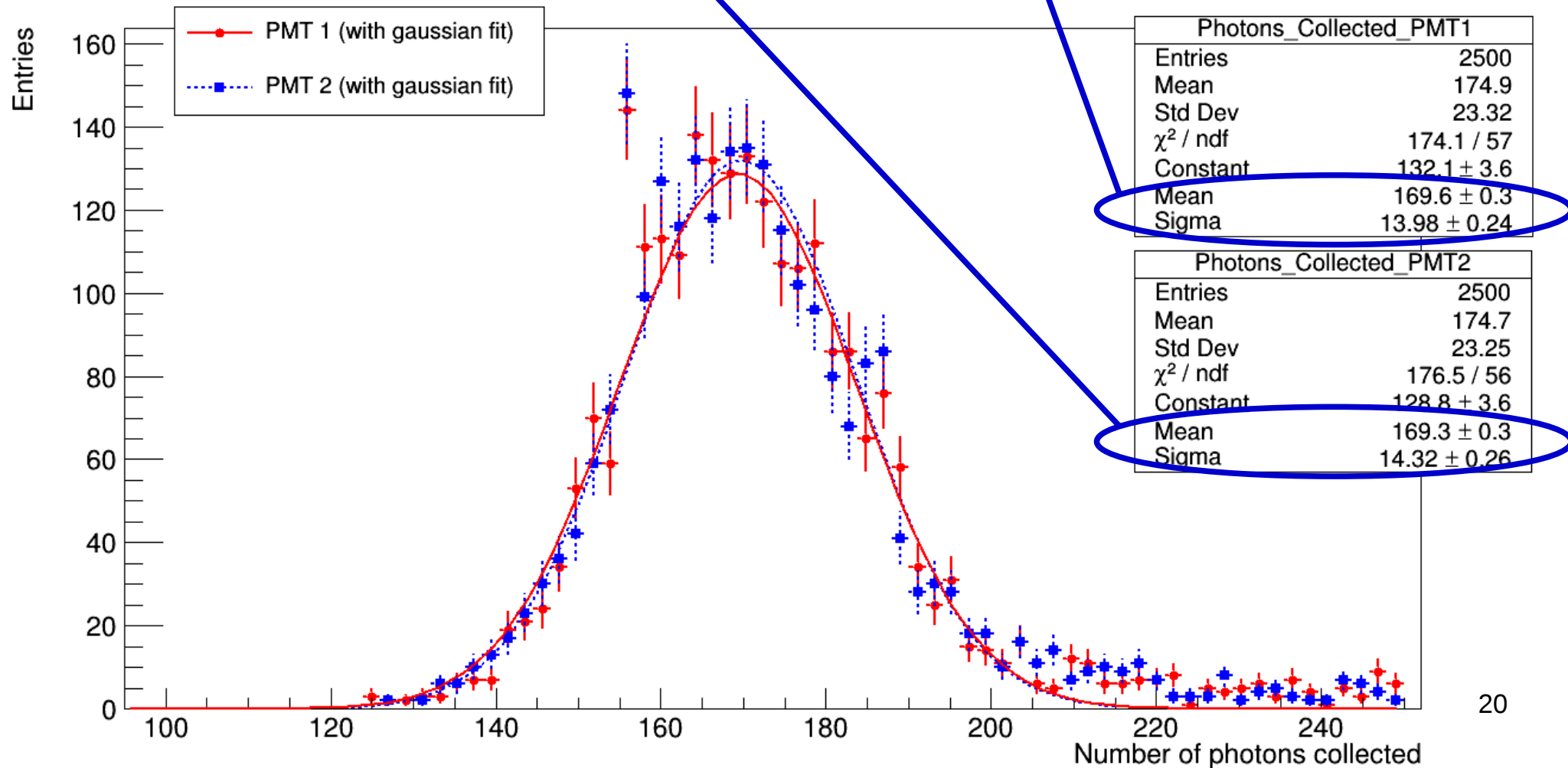


(Muone incidente lungo l'asse z)

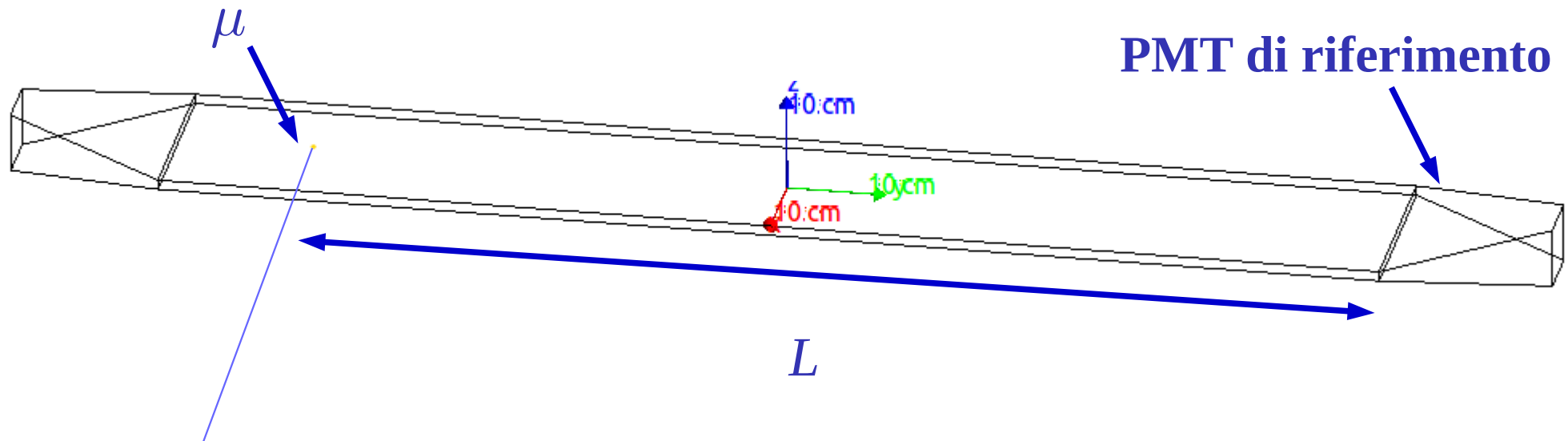
Verifica della simmetria (2)

$$\langle n_{\gamma_{PMT_2}} \rangle = 169 \pm 1$$

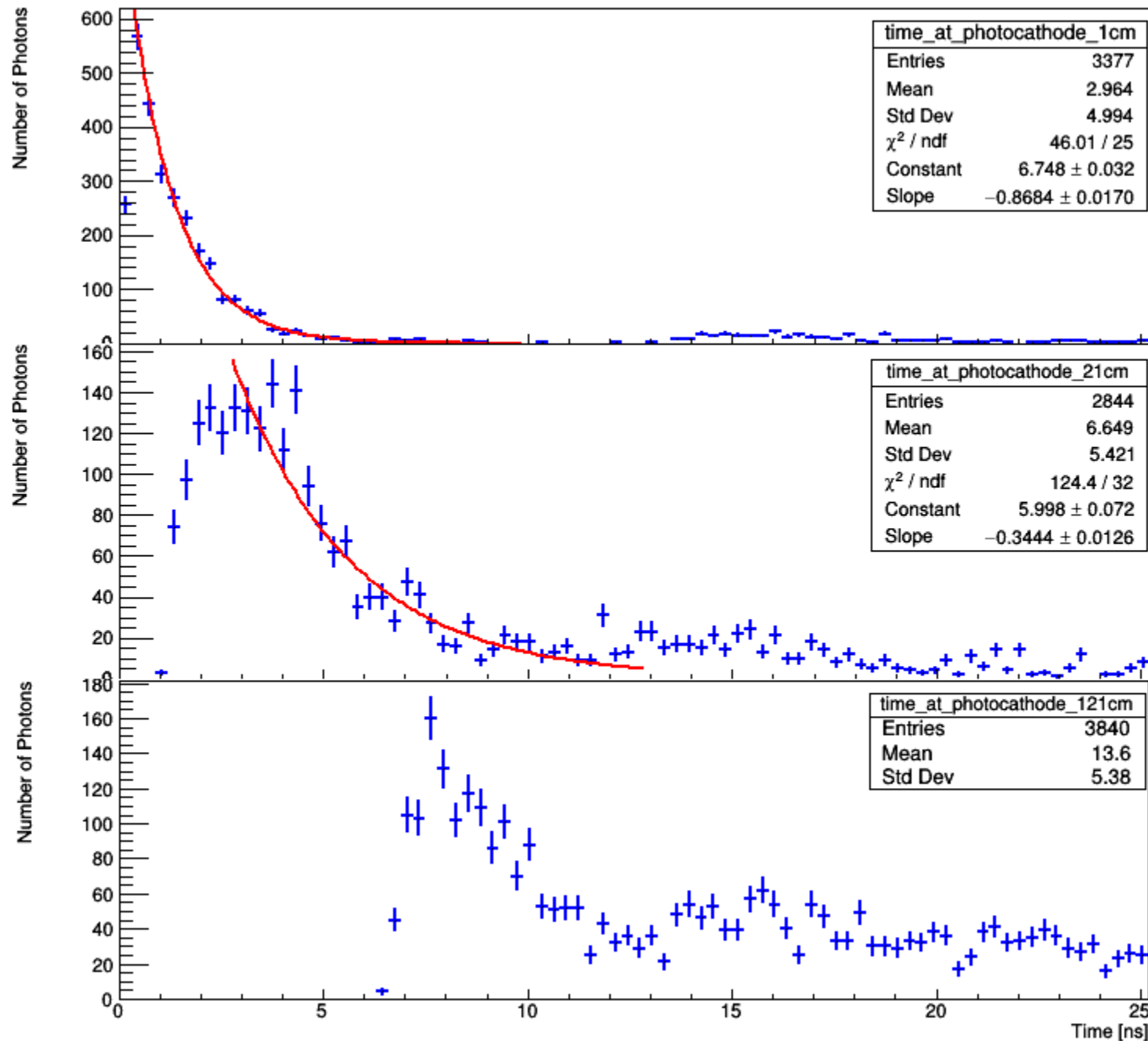
$$\langle n_{\gamma_{PMT_1}} \rangle = 170 \pm 1$$



Segnali luminosi



- **Intensità luminosa** al fotocatodo in funzione del tempo
- **Ritardo** del segnale al variare di L
- **Durata** del segnale in funzione di L
- Stima della **velocità** del segnale



$L = 1 \text{ cm}$
 $\tau \simeq 1.1 \text{ ns}$
 $t_0 \simeq 0$

$L = 21 \text{ cm}$
 $\tau \simeq 2.9 \text{ ns}$
 $t_0 \simeq 1.0 \text{ ns}$

$L = 121 \text{ cm}$
 $\tau > 2.9 \text{ ns}$
 $t_0 \simeq 6.4 \text{ ns}$

$v \simeq 18.5 \text{ cm/ns} \simeq 0.62c \quad (n = 1.60 \rightarrow v_{th} = 0.625c)$

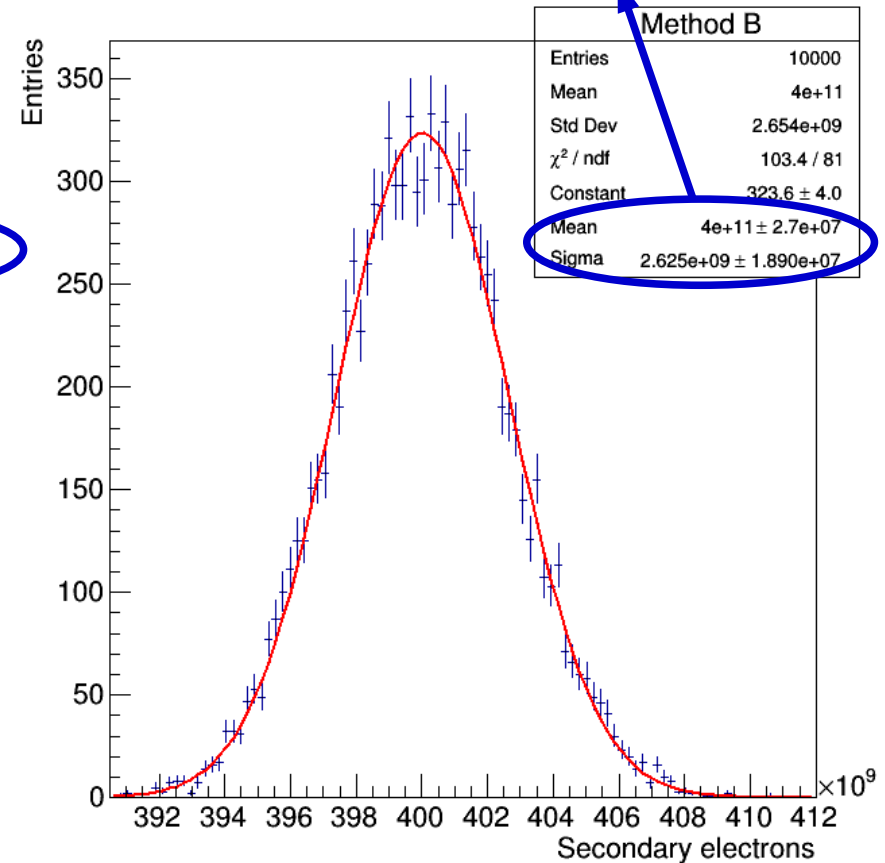
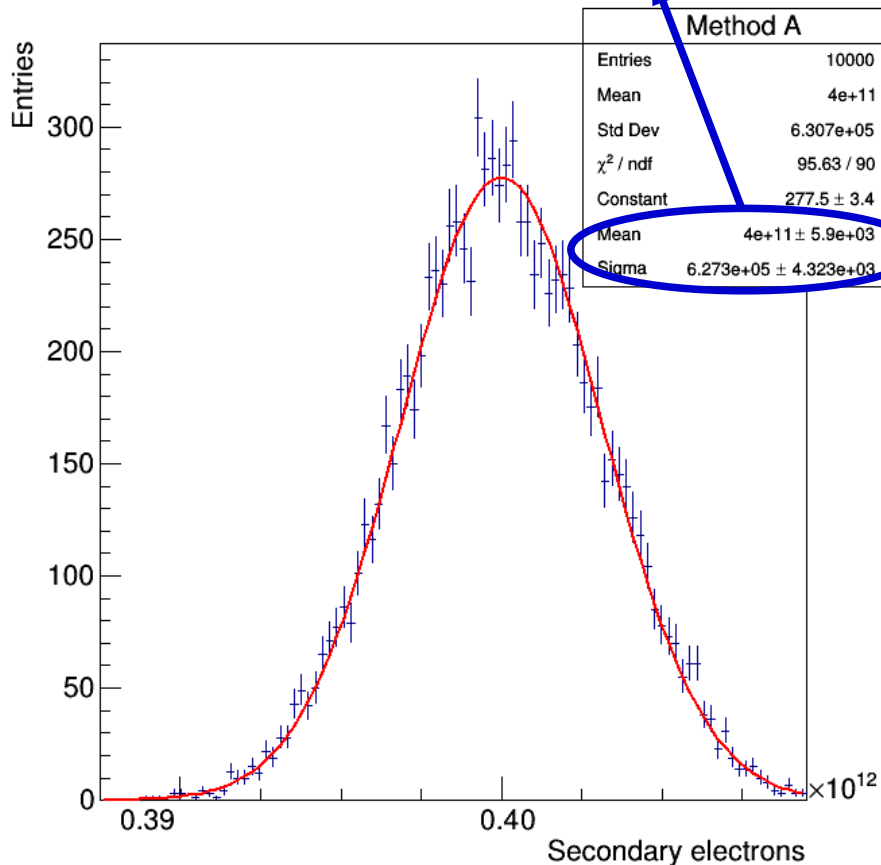
Elettromoltiplicazione

$$n_{sec}^A \sim \sum_i^{n_{pr}} \mathcal{P}_i(G)$$

$$n_{sec}^B \sim \sum_i^{n_{pr}} \mathcal{P}_i(g_1) \mathcal{P}_i(g_2) \dots \mathcal{P}_i(g_{12})$$

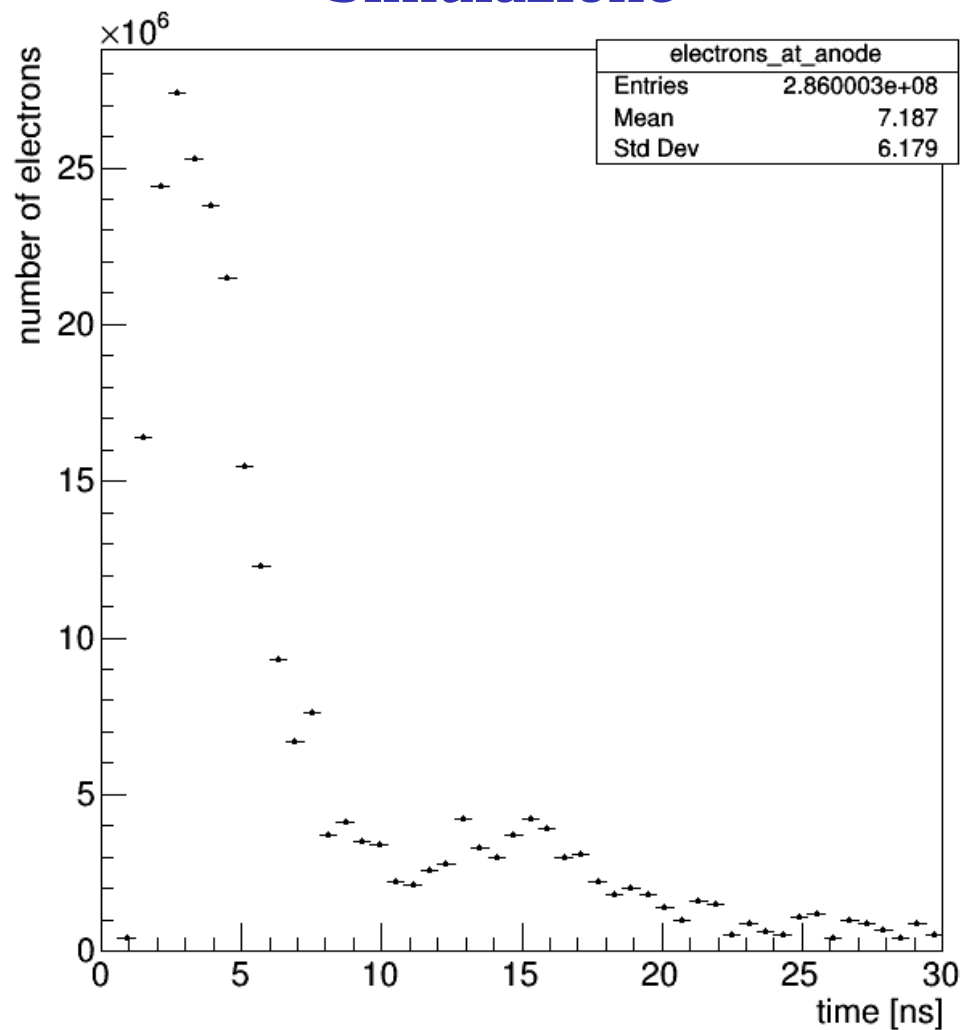
Mean $4e+11 \pm 5.9e+03$
Sigma $6.273e+05 \pm 4.323e+03$

Mean $4e+11 \pm 2.7e+07$
Sigma $2.625e+09 \pm 1.890e+07$

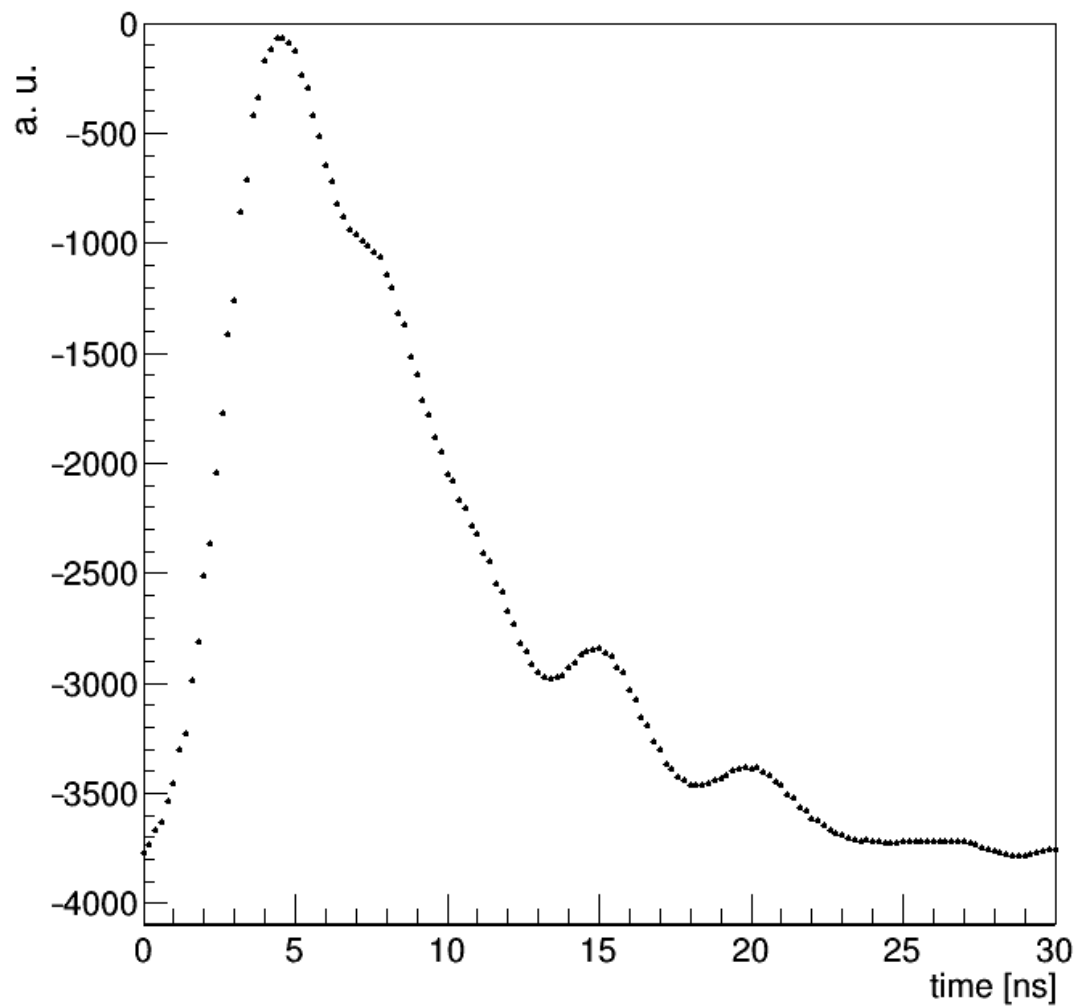


Segnale all'anodo

Simulazione



Laboratorio



Conclusioni

I risultati sono generalmente concordi con la teoria e con i risultati del laboratorio:

- Effetto della diffusione multipla
- Fluttuazioni del dE/dx
- Simmetria del rivelatore
- Comportamento dei segnali temporali al variare di L
- Stima della velocità del segnale (0.62 c)

Grazie per l'attenzione

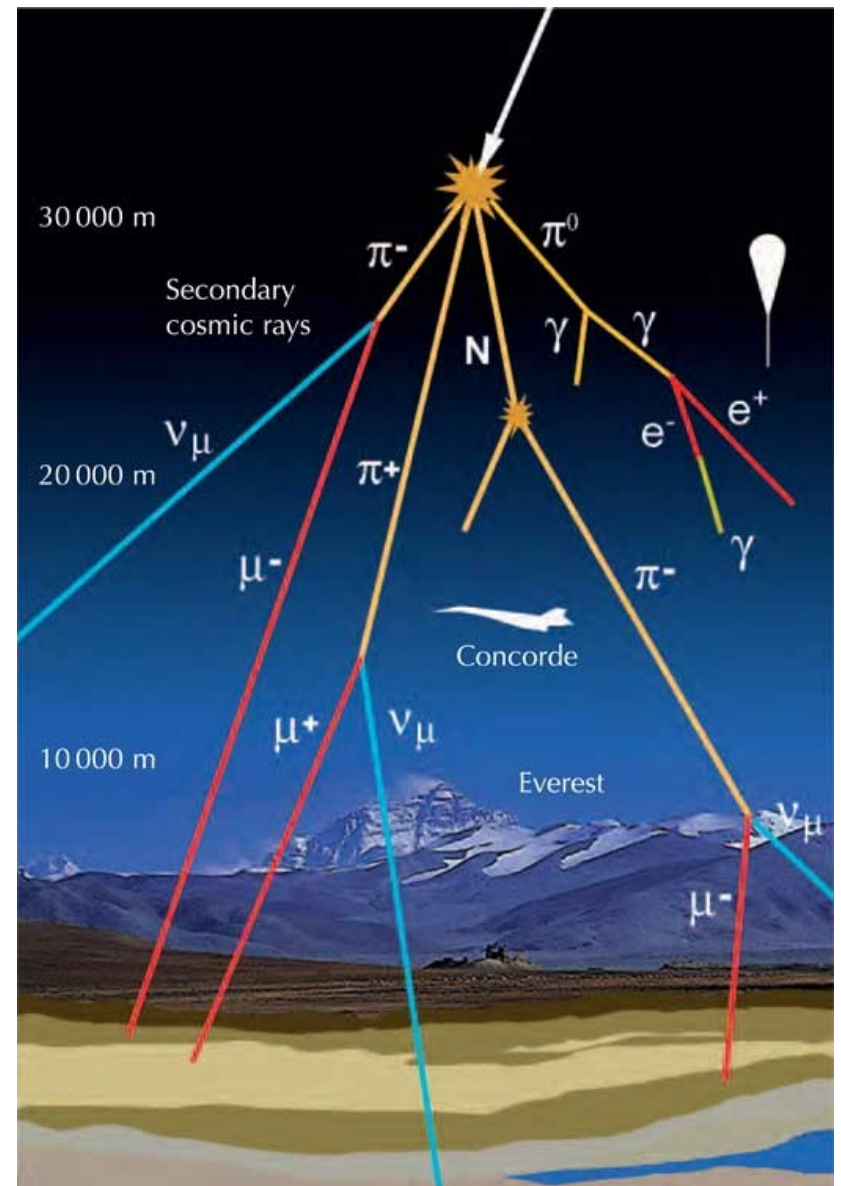
Backup

Raggi Cosmici

Al livello del mare:

- Muoni ~ 70 %
- Energia media ~ 3 GeV
- Flusso differenziale:

$$I(\theta, \phi) = \frac{dN}{dA dt d\Omega} = I(0) \cos^2(\theta)$$



Il generatore

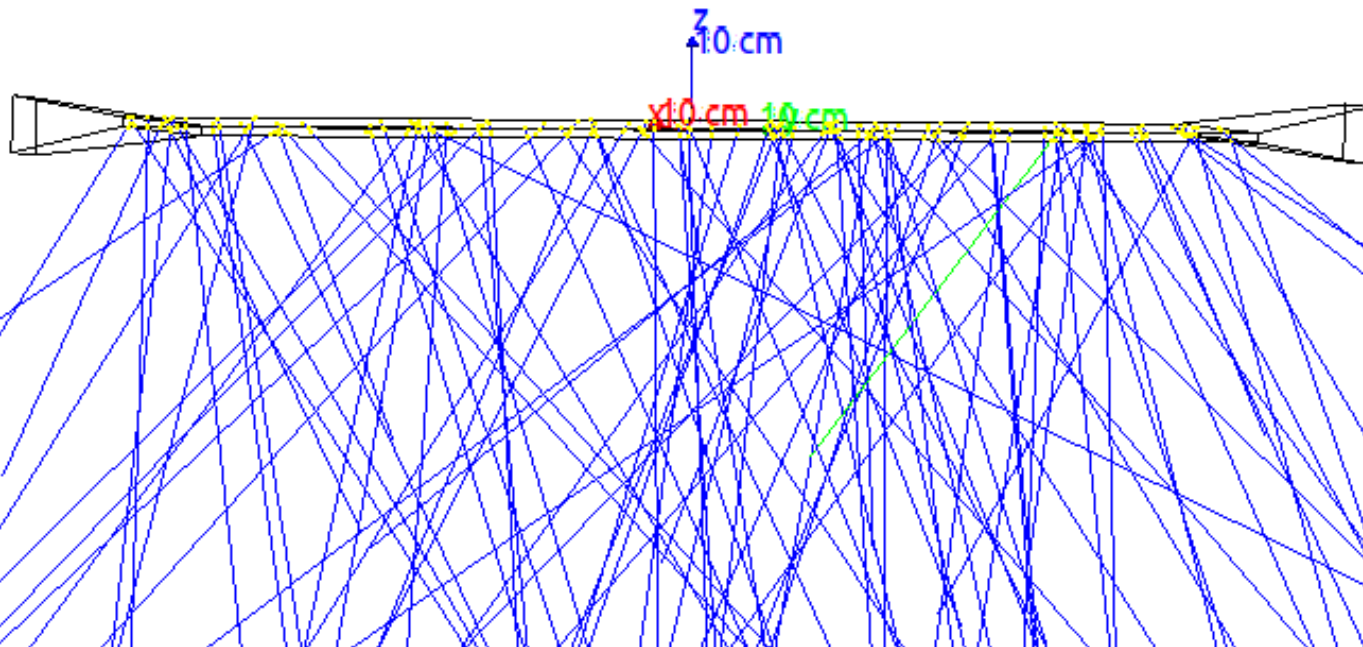
$$x \sim \text{cost} \quad \text{con } x \in (-10 \text{ cm}, 10 \text{ cm})$$

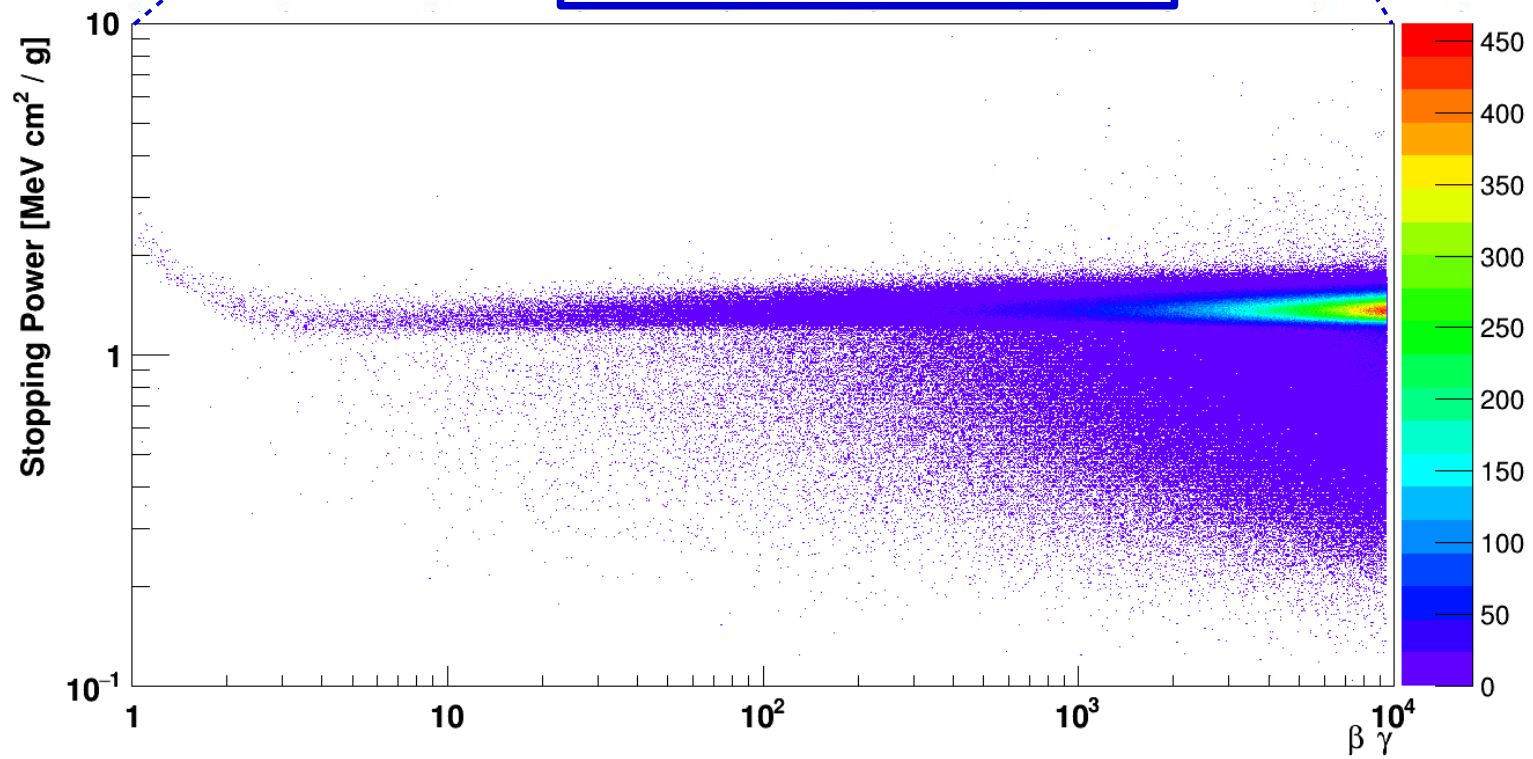
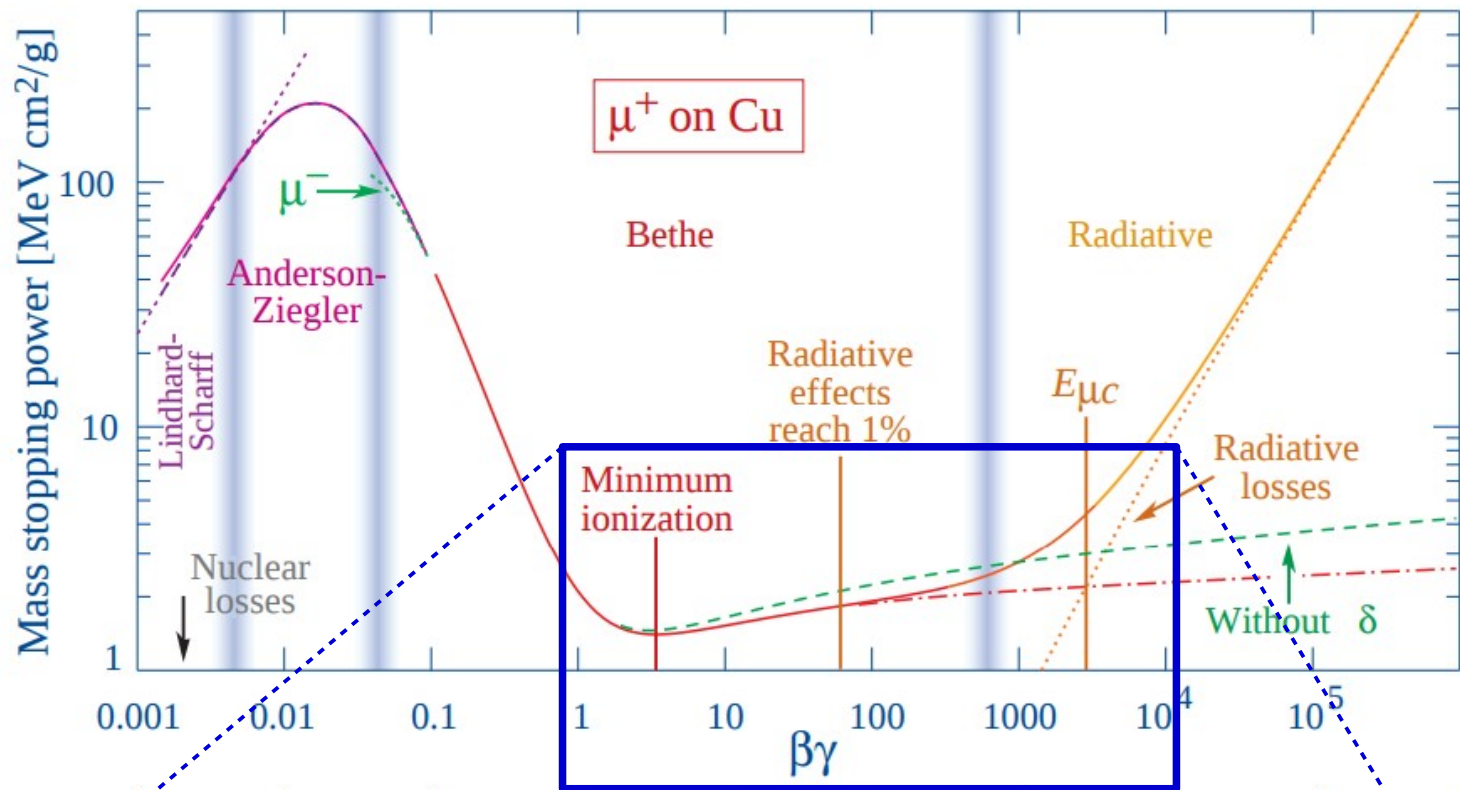
$$y \sim \text{cost} \quad \text{con } y \in (-61 \text{ cm}, 61 \text{ cm})$$

$$\phi \sim \text{cost} \quad \text{con } \phi \in (0, 2\pi)$$

$$\theta \sim \cos^3 \theta \sin \theta \quad \text{con } \theta \in (0, \pi/2)$$

$$E \sim \delta(E - E_0) \quad \text{con } E_0 = 3 \text{ GeV}$$





($\Delta\ell$ costante)

ΔE

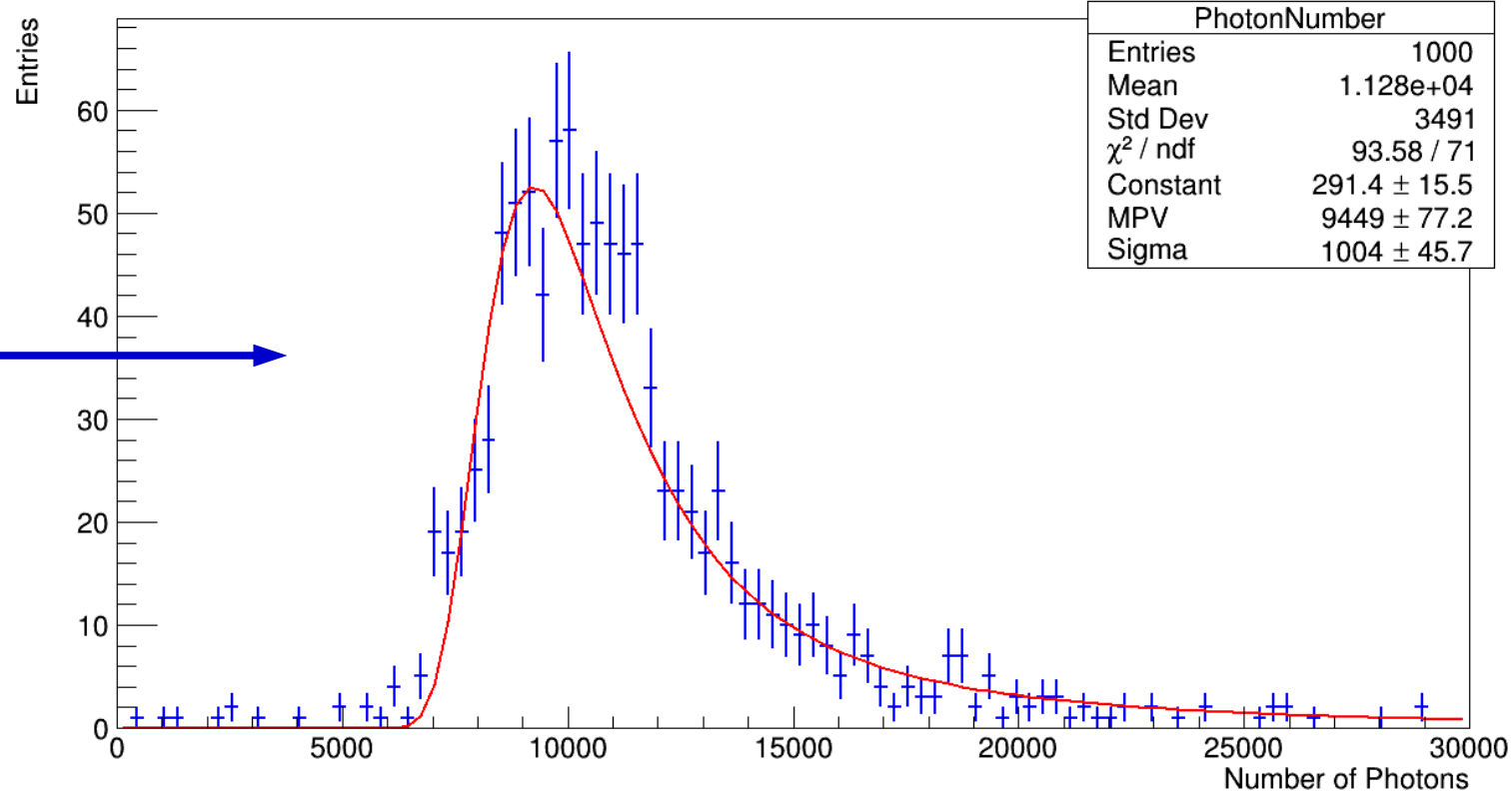
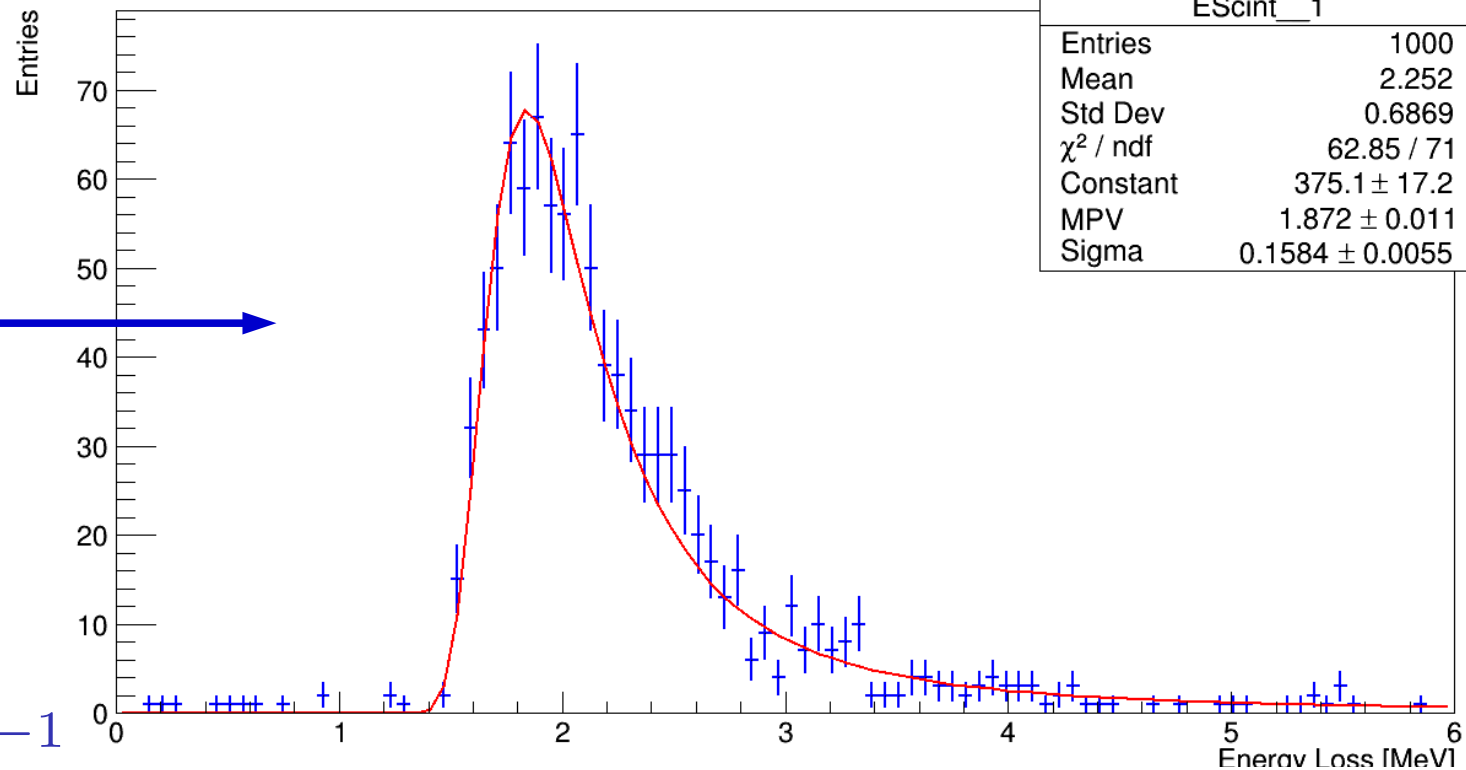


Scintillazione

$$\varepsilon = 5 \cdot 10^3 \text{ MeV}^{-1}$$

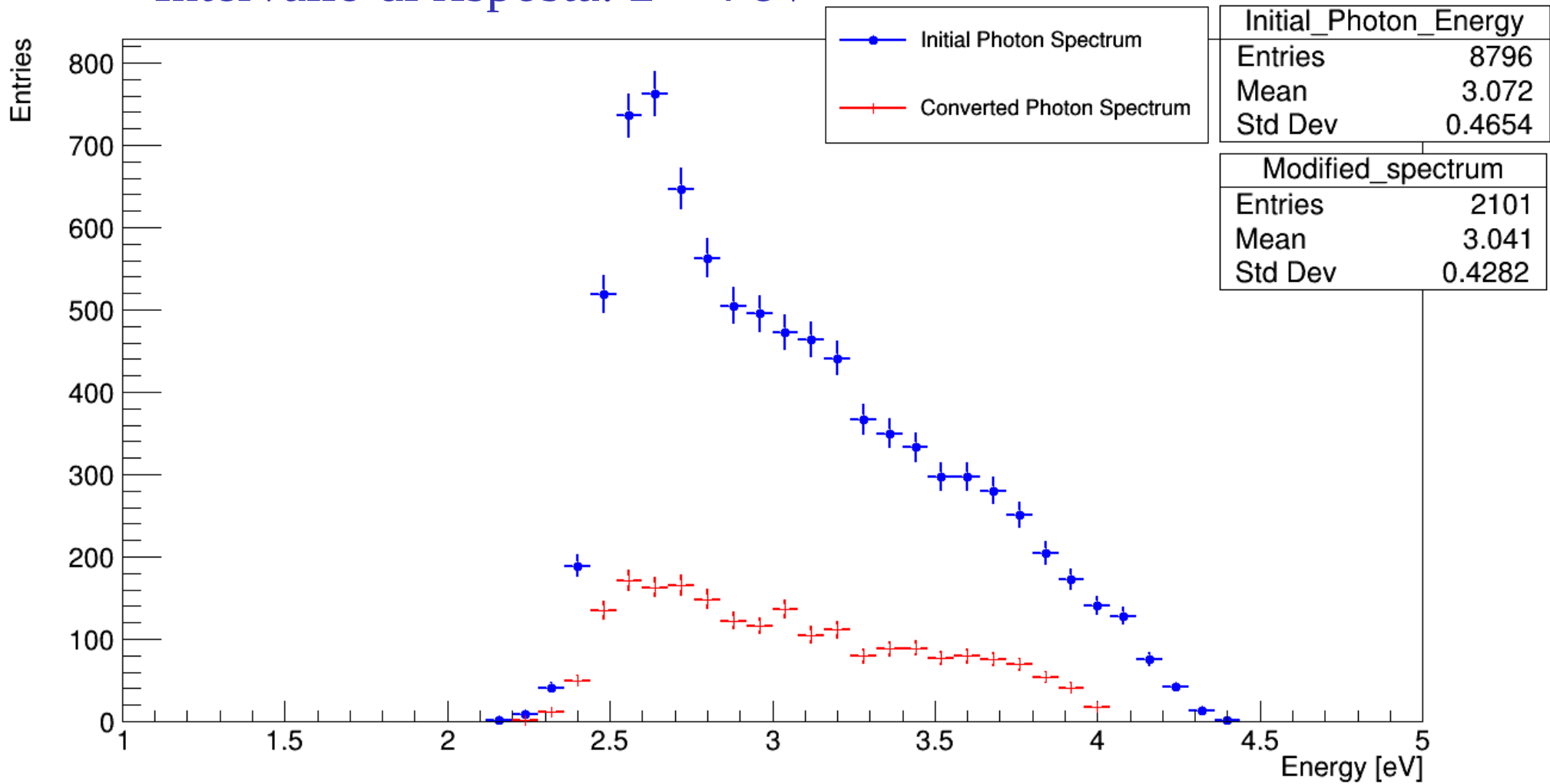


n_{γ_i}



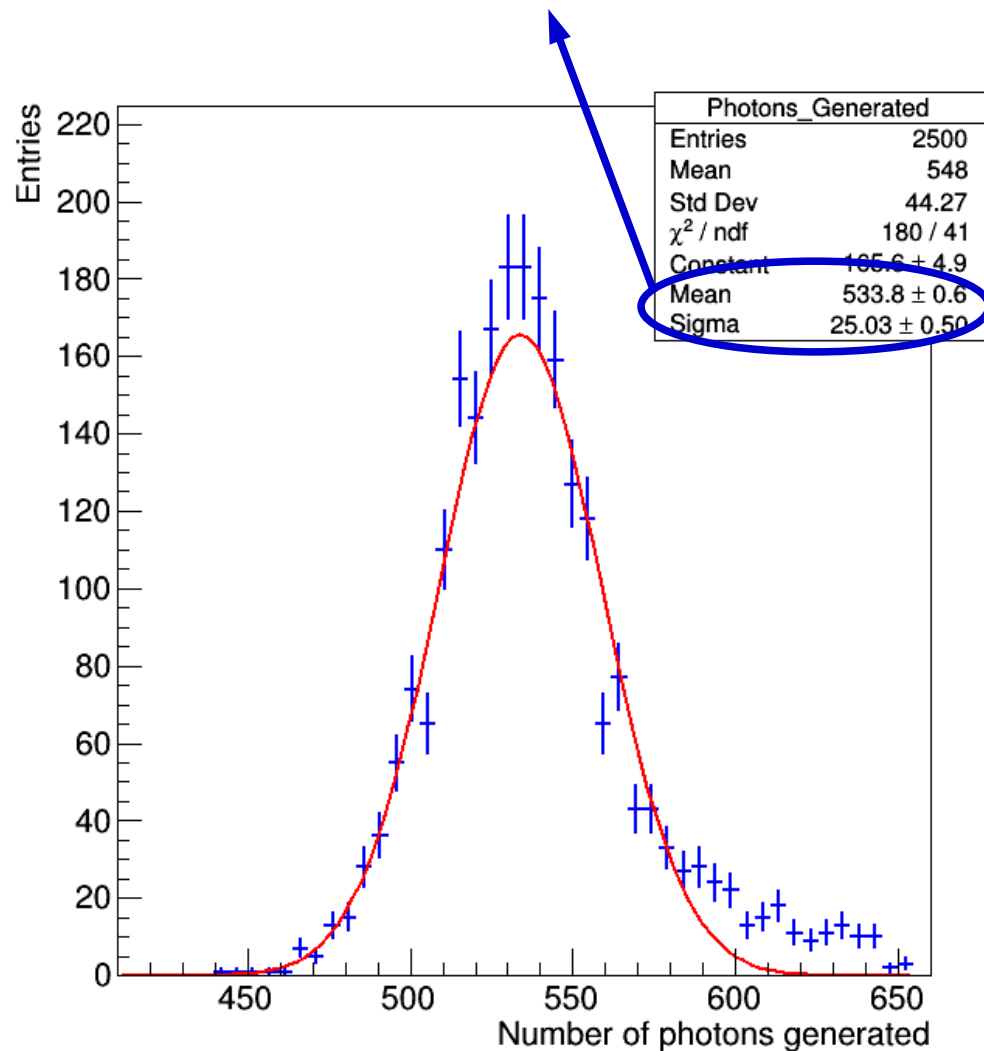
Effetto fotoelettrico

- Efficienza quantica: 0.25 (costante)
- Intervallo di risposta: $2 \div 4$ eV

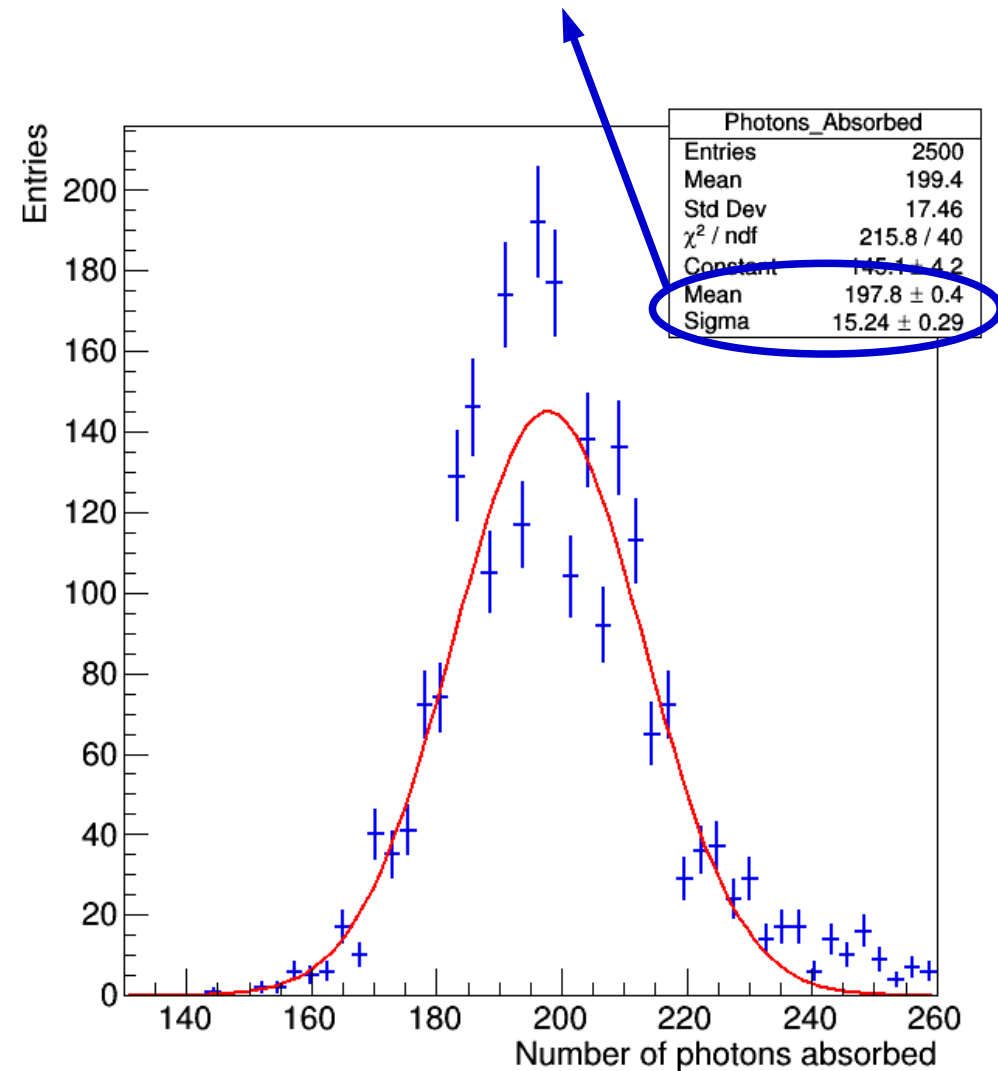


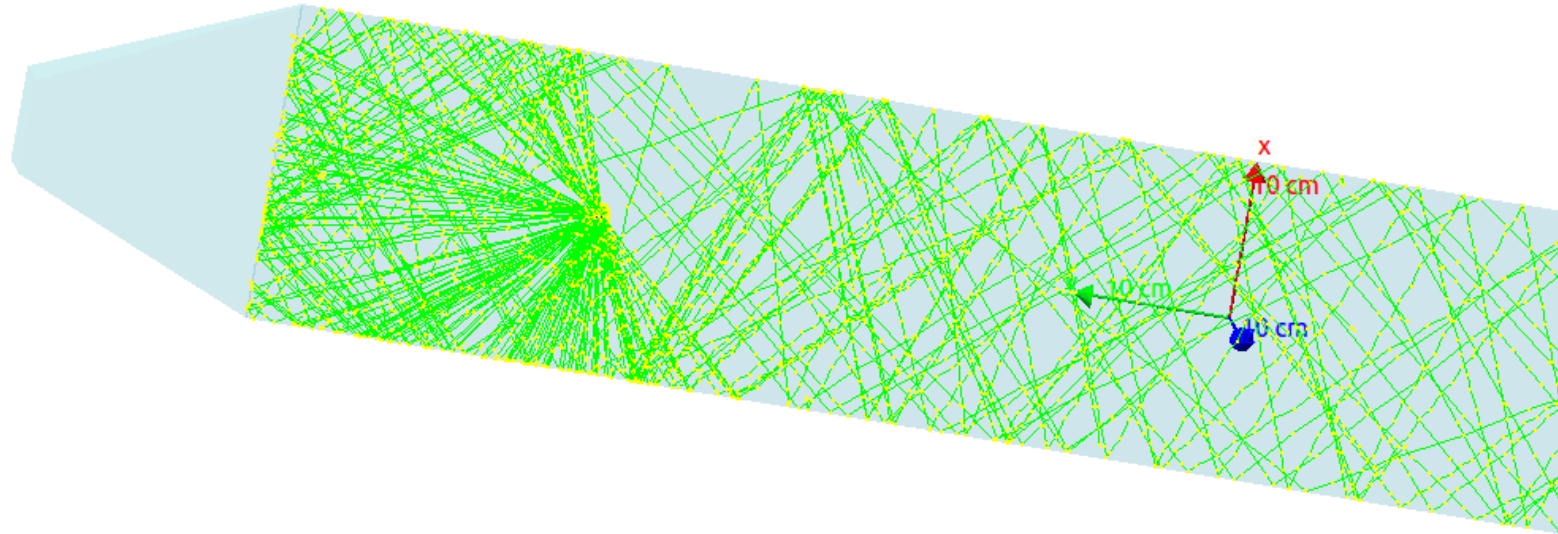
Fotoni emessi e riassorbiti

$$\langle n_{\gamma_{gen}} \rangle = 534 \pm 1$$



$$\langle n_{\gamma_{abs}} \rangle = 198 \pm 1$$

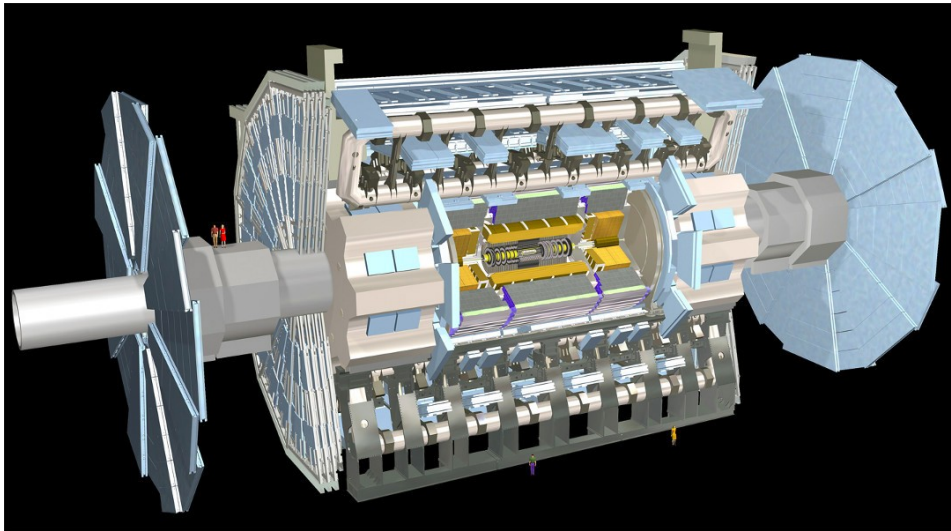




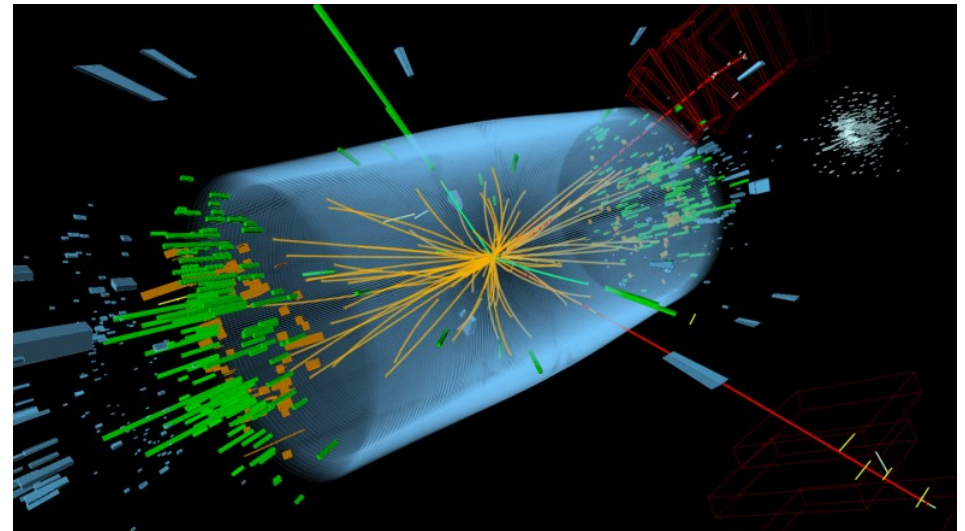
Simulazioni in fisica delle particelle

Le **simulazioni** in fisica delle particelle hanno un ruolo fondamentale:

- **Progettazione** di rivelatori
- **Confronto** tra risultati sperimentali e previsioni teoriche



[Rivelatore di ATLAS]



[Simulazione di una collisione pp a LHC]

Perdita d'energia (teoria)

$$-\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle = 4\pi N_e r_e^2 m_e c^2 \frac{z^2}{\beta^2} \left(\ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} - \beta^2 - \frac{\delta(\gamma)}{2} \right)$$

(Formula di Bethe-Block)

