

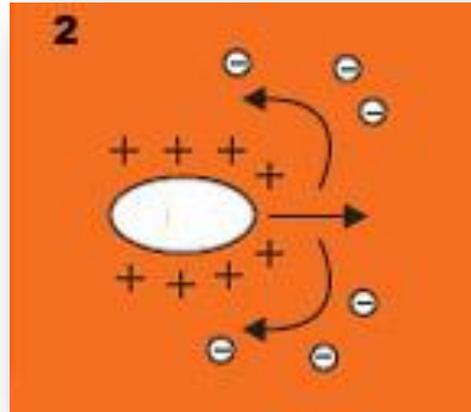
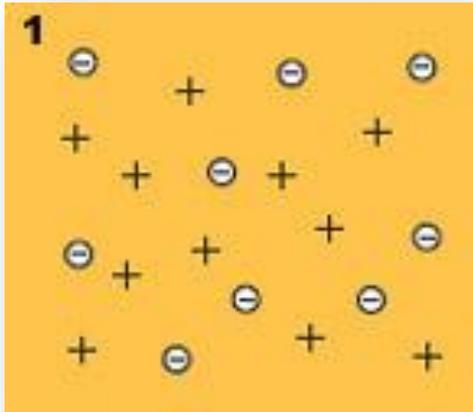
Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II
Prof. Carlo Dionisi

LO SPETTROMETRO MAGNETICO DI PLASMONX

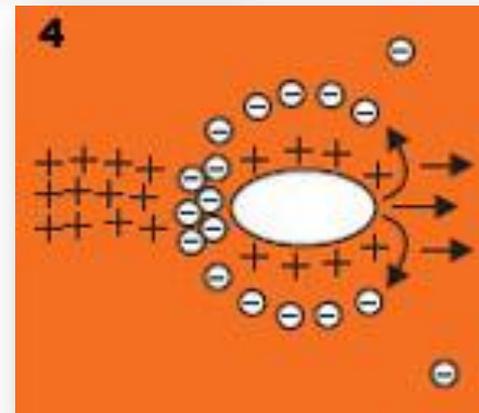
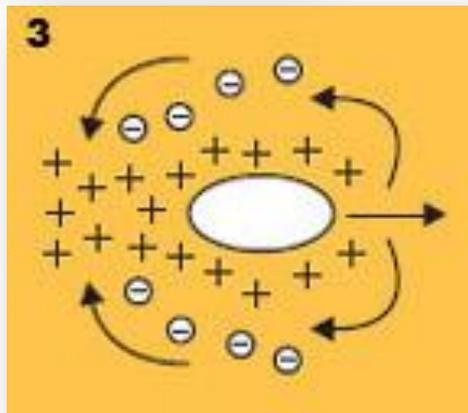
Francesco Collamati
28-05-2010

Tutor:
Prof. Riccardo Faccini

ACCELERAZIONE IN PLASMA



$\Delta t = 30 \text{ fs}$
 $E \approx 5 \text{ J}$
 $I_{\text{peak}} = 166 \text{ TW}$



ACCELERAZIONE IN PLASMA

RADIO-FREQUENCY (RF)

- ▶ Accelerating gradient:
10–100 MV/m
 - breakdown

LASER-PLASMA

- ▶ Accelerating gradient:

$$E_0(V/m) \cong 96\sqrt{n_0(cm^{-3})}$$

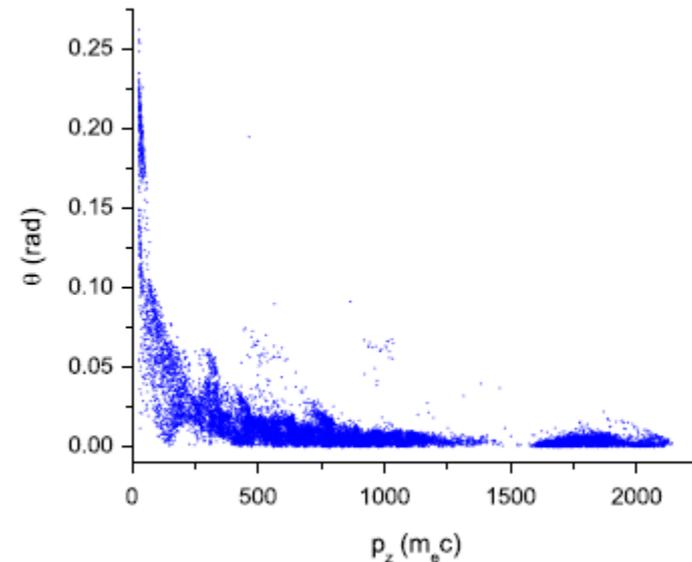
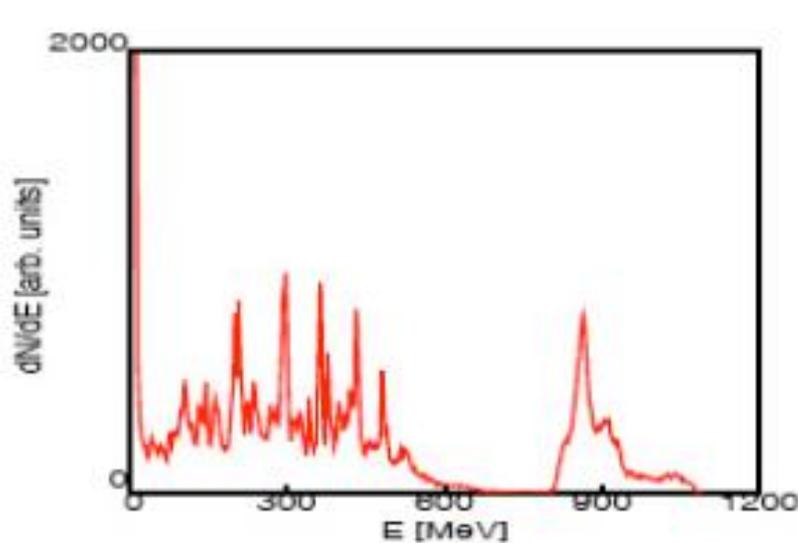
≈ 100 GV/m

- Berkeley → *1 GeV* in *3.3 cm*
 - Invece dei 64 m del Linac di SLAC
- SLAC → *42 GeV* in *82 cm*

- ▶ **Definizione requisiti**
- ▶ Setup
- ▶ Posizione fascio e rivelatori
- ▶ Scelta rivelatore
- ▶ Elettronica lettura
- ▶ Risultati

▶ Principali task di PLASMONX

- Spread in energia degli elettroni ($10\text{ MeV} - 1\text{ GeV}$)



- 10^8 elettroni contemporaneamente nel magnete
- **Spread angolare ($\approx 2\text{ mrad}$)**
 - domina l'interazione elettromagnetica tra el
 - elettroni "indipendenti" da sorgente puntiforme $\approx 1\text{ m}$

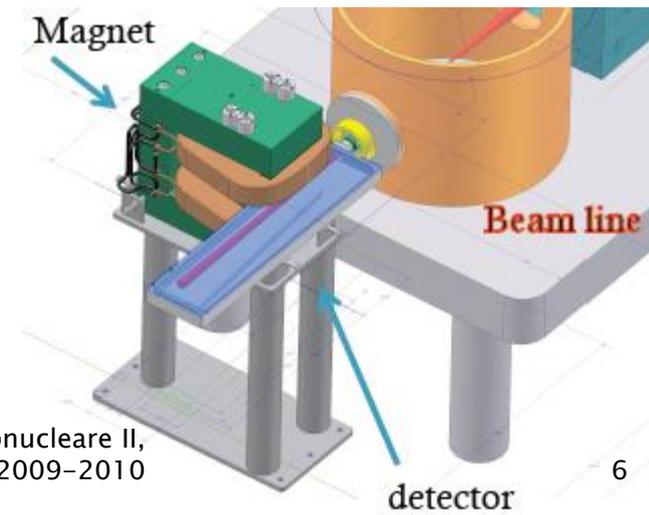
SPETTROMETRO

- ▶ Una particella con velocità v all'interno di un campo magnetico costante nel tempo ha una traiettoria che dipende dalla sua stessa velocità \rightarrow impulso

$$\rightarrow Pc[MeV] = 0.03 B[t] R[cm]$$

se campo uniforme

- Campo non uniforme \rightarrow integrazione numerica
Runge Kutta



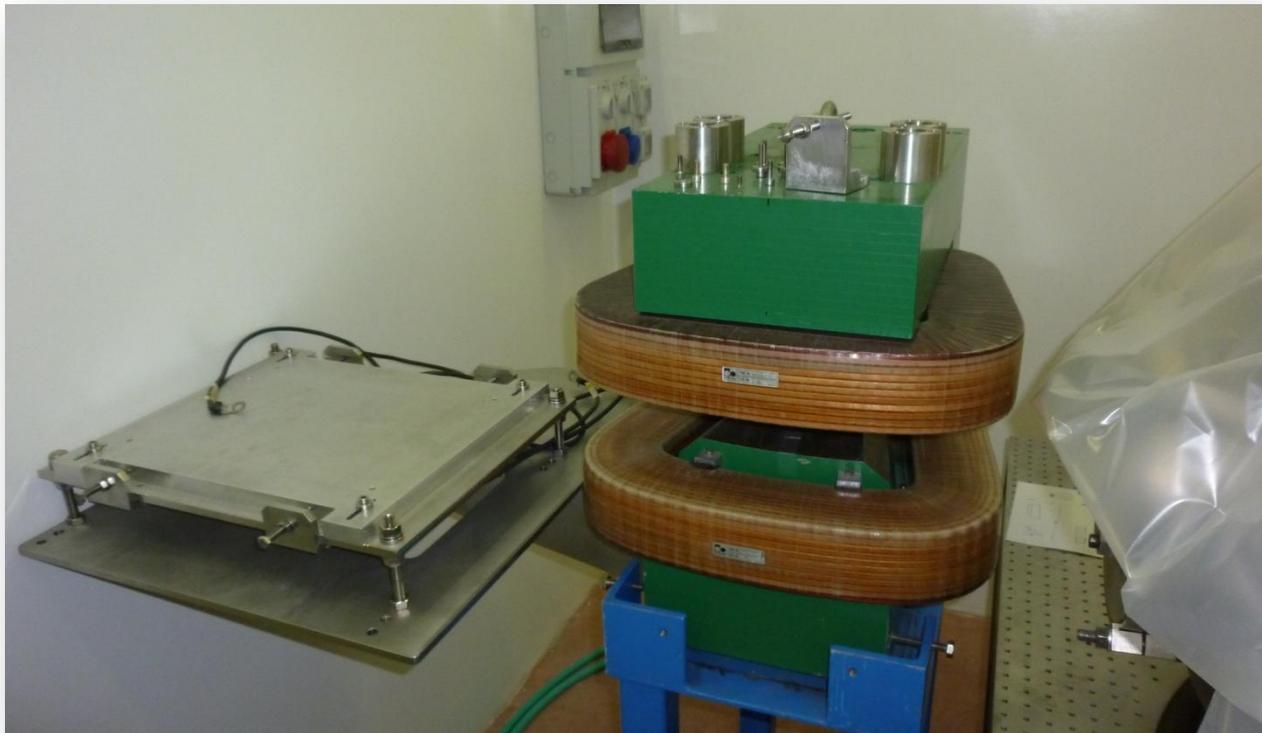
- ▶ Definizione requisiti
- ▶ **Setup**
- ▶ Posizione fascio e rivelatori
- ▶ Scelta rivelatore
- ▶ Elettronica lettura
- ▶ Risultati

SET UP SPERIMENTALE

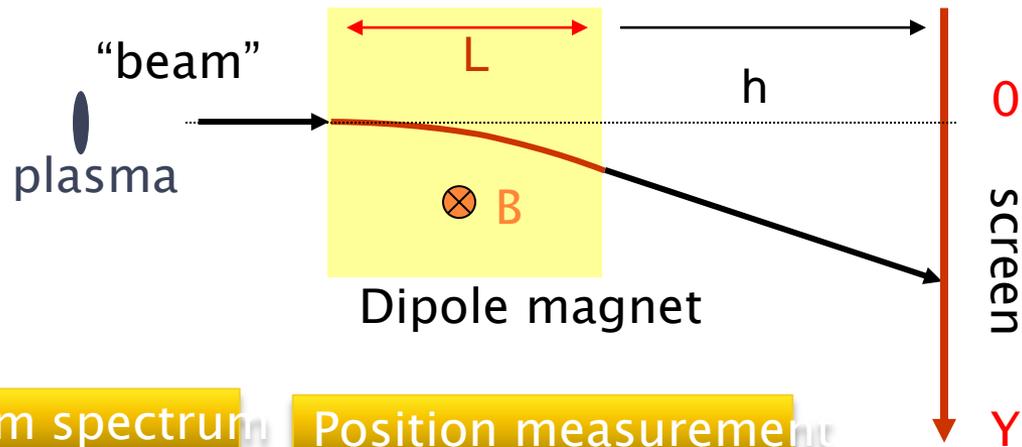


SET UP SPERIMENTALE

- ▶ Magnete da $0.5T$, gap fra i poli $6cm$



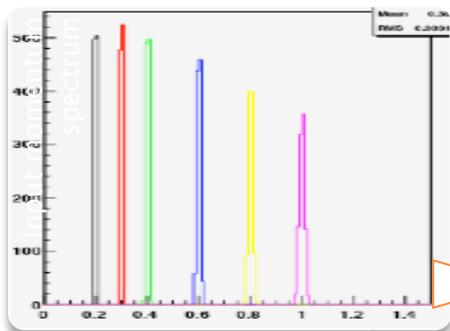
SET UP SPERIMENTALE



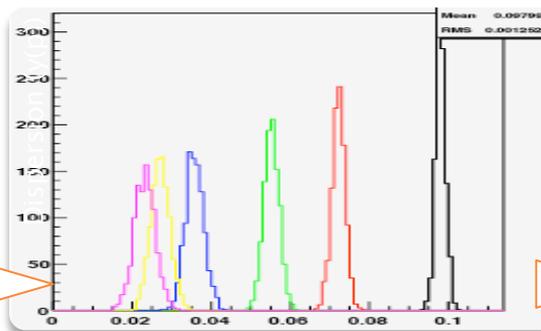
Momentum spectrum

Position measurement

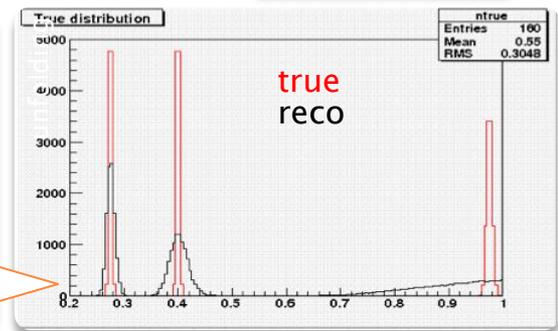
Unfolding



P(GeV)



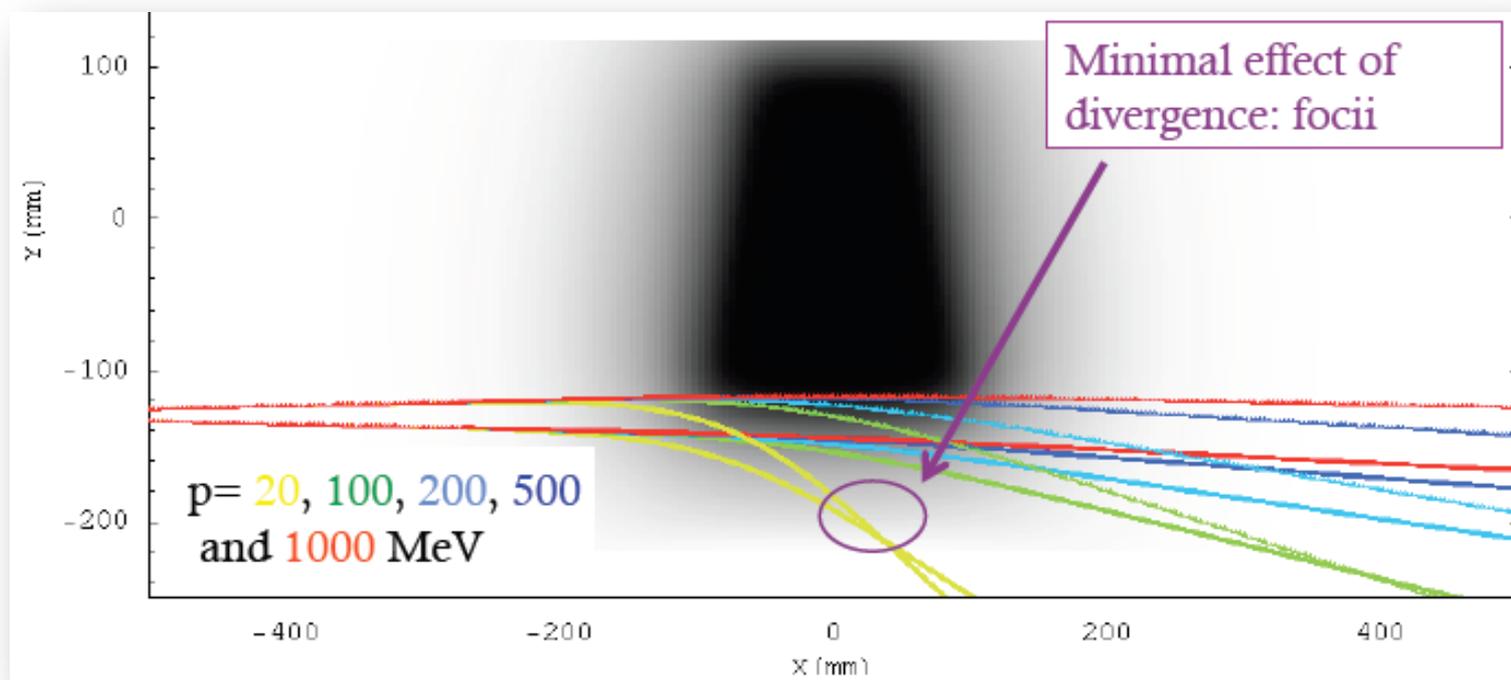
Y(m)



P(GeV)

- ▶ Definizione requisiti
- ▶ Setup
- ▶ **Posizione fascio e rivelatori**
- ▶ Scelta rivelatore
- ▶ Elettronica lettura
- ▶ Risultati

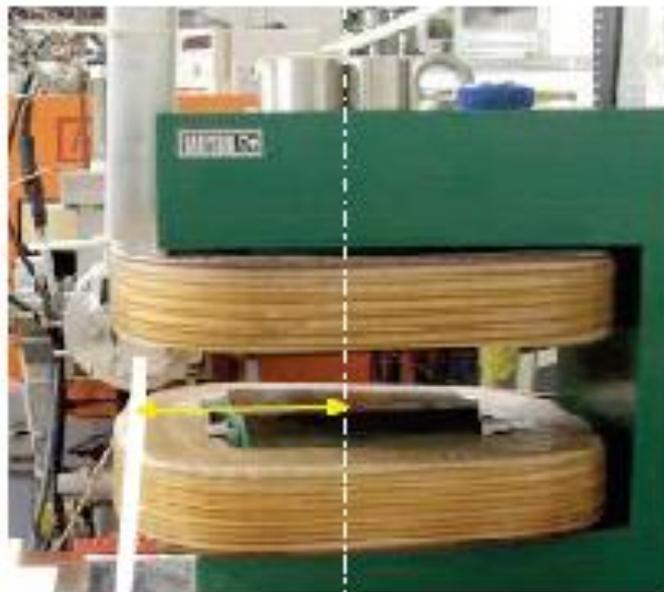
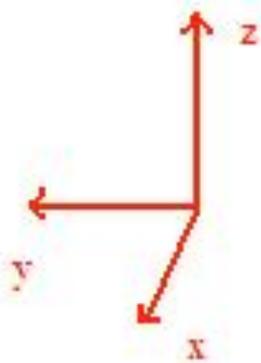
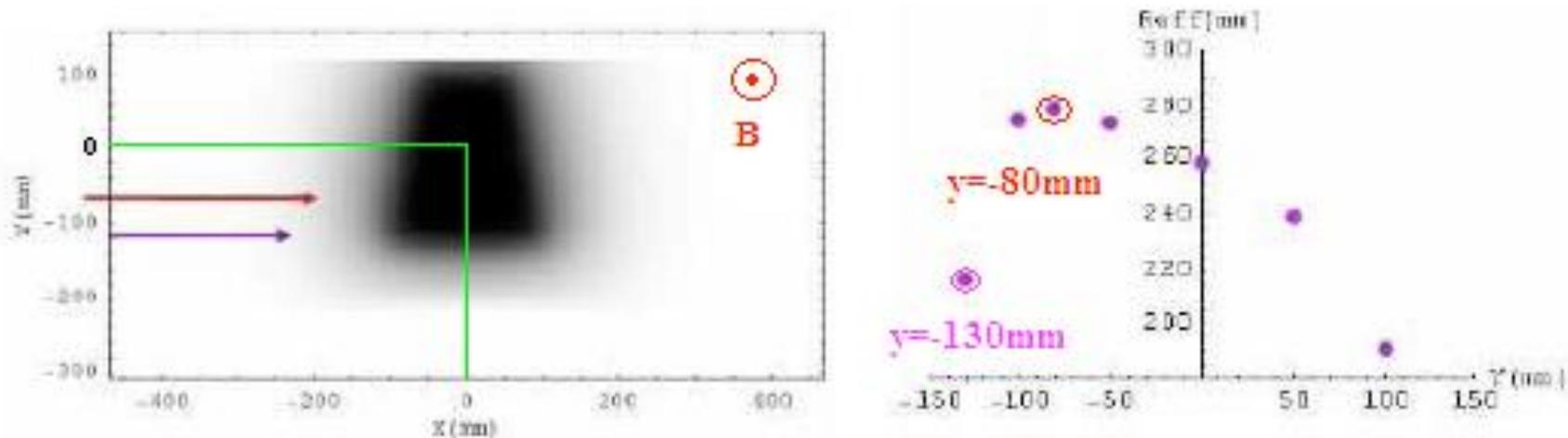
- ▶ **Dispersione angolare iniziale**
 - sovrapposizione di tracce relative a momenti differenti
- ▶ **Cerchiamo i fuochi**
 - Con $0.5T$ si possono trovare punti di convergenza fino a momenti di circa 150MeV



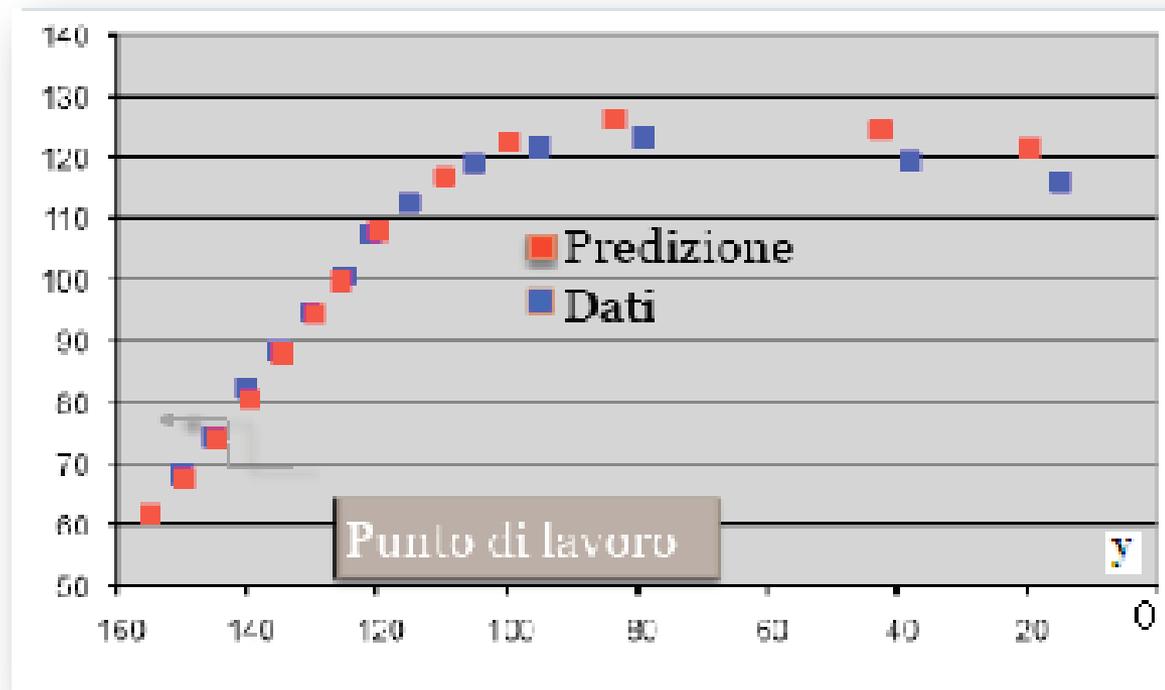
- ▶ Per migliorare la risoluzione e risolvere il problema degli alti impulsi
 - Studio del “*cammino efficace*” nel c. magnetico

$$R_{eff} = \int dx \frac{B_z(x, y, 0)}{B_z(0, 0, 0)}$$

- Integrando su x e minimizzando in y si ricava la posizione che rende massimo il raggio di curvatura
→ $Y = -80mm$
- ▶ Per il momento però ci si occupa di bassi impulsi (*altri limiti x alti imp.*),
→ si sceglie $y = -130mm$



- ▶ Lavorando al bordo, il campo B non è più totalmente uniforme
- ▶ Conoscenza comunque soddisfacente se confrontata con la risoluzione spaziale (1mm) imposta dal rivelatore



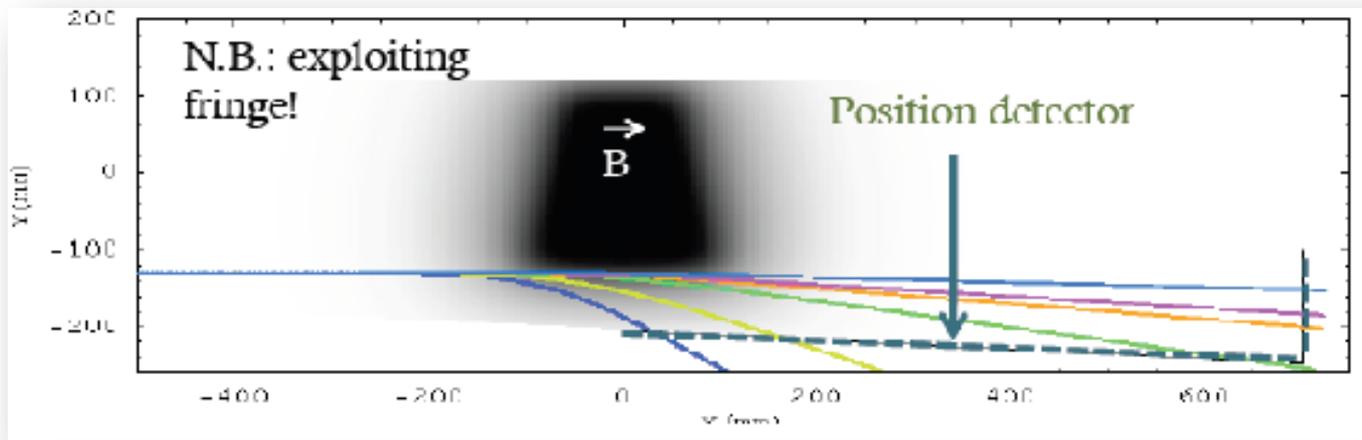
RIASSUMENDO

▶ Alti impulsi

- Rivelatore alla *massima distanza* dal magnete

▶ Bassi impulsi

- Rivelatore segue la *posizione* dei fuochi (trovata tramite integrazione)



- ▶ Definizione requisiti
- ▶ Setup
- ▶ Posizione fascio e rivelatori
- ▶ **Scelta rivelatore**
- ▶ Elettronica lettura
- ▶ Risultati

RIVELATORE ed ELETTRONICA

▶ Bremsstrahlung

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{rad} \approx \frac{E}{X_0}$$

$$\frac{1}{X_0} = 4r_e^2 \frac{N_A Z^2 \rho}{A} \ln(183Z^{-1/3})$$

- e di $20 \text{ MeV} \rightarrow$ in aria $X_0=30.5 \text{ m}$; per $1 \text{ m} \rightarrow dE \approx 0.7 \text{ MeV}$
 \rightarrow Trascurabile!

RIVELATORE ed ELETTRONICA

▶ Multiple Scattering

- Per piccoli angoli di deviazione, distrib. Gauss.

$$\bar{\theta} = \sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = 21 \text{ MeV} \frac{z}{c\beta p} \sqrt{\frac{x}{X_0}}$$

$$E=20 \text{ MeV} \rightarrow \text{in aria } \theta_{max}=60 \text{ mrad } (3^\circ)$$

- Non trascurabile \rightarrow **vuoto**
 - 10^{-4} per avere $\theta_{max}=2 \text{ mrad}$

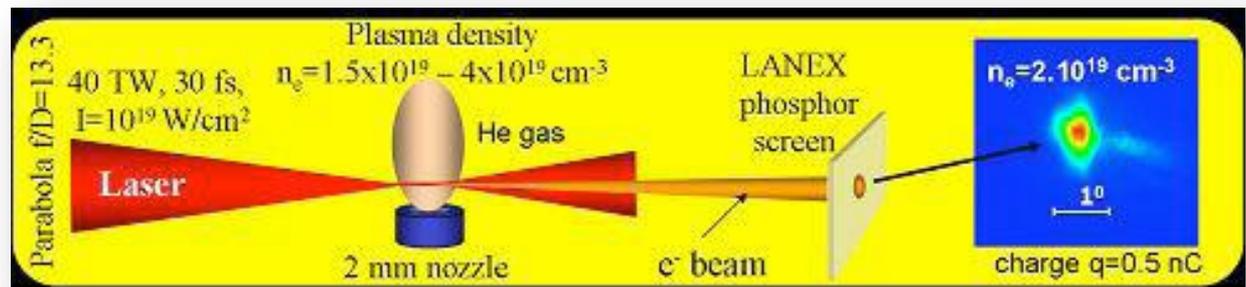
SCELTA DEL RIVELATORE

- ▶ **Vuoto** → esclusione rivelatori elettronici e cavi elettrici
 - La potenza generata per effetto Joule $W = RI^2$ non potrebbe essere dissipata per convezione nel mezzo
 - fusione
- ▶ **Elettronica** → **Ottica**

- ▶ Definizione requisiti
- ▶ Setup
- ▶ Posizione fascio e rivelatori
- ▶ Scelta rivelatore
- ▶ **Elettronica lettura**
- ▶ Risultati

ELETTRONICA → OTTICA

- ▶ Posizione → Schermi LANEX
 - Pellicole di materiale scintillante che assorbono energia ed emettono fotoni
- ▶ CCD (*Charged Couple Device*)
 - Rielabora il segnale all'esterno della camera a vuoto
 - È formato da elementi (*Si* drogato con *Ga, In..*) che accumulano una carica elettrica proporzionale all'intensità della radiazione elettromagnetica che li colpisce



LANEX + CCD

PRO

- ▶ Risoluzione molto alta: $(100/200\mu\text{m})$

CONTRO

- ▶ Vasta area da controllare
- ▶ **Calibrazioni** costanti per il disallineamento CCD
- ▶ **Saturazione** dovuta alle grandi cariche in gioco
- ▶ Radiazione da **sincrotrone**

$$P = \frac{2e^4 c^2 E^2 B^2}{3(m_0 c^2)^4}$$

- $E \approx 200\text{MeV} \rightarrow P_{\text{sinc}} \approx 5.6\text{Gev/s} \rightarrow E \approx 5.6 \cdot 10^{-6} \text{Gev} \rightarrow$
 $\rightarrow E_{\text{tot}} \approx 600\text{MeV}$

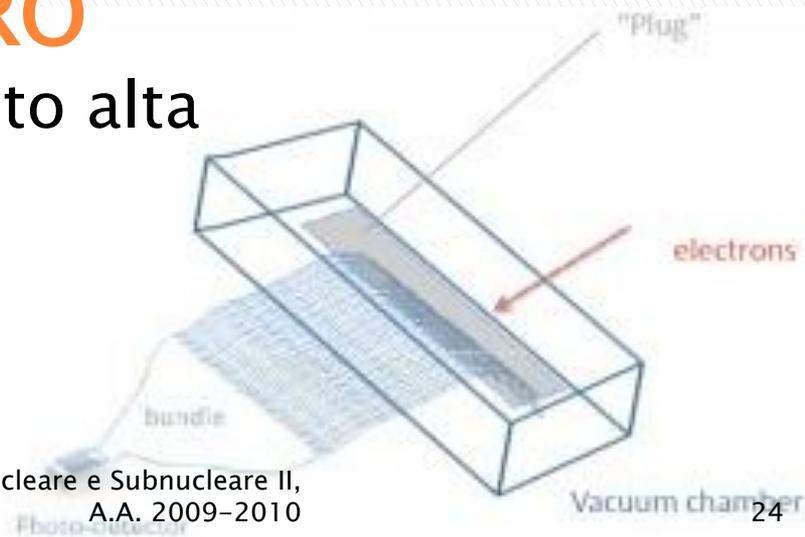
FIBRE SCINTILLANTI

PRO

- ▶ Non sensibili alla radiazione da sincrotrone
- ▶ Ottima flessibilità → + copertura, - calibrazione
- ▶ Lavorano nel vuoto

CONTRO

- ▶ Risoluzione spaziale non molto alta
- ▶ *800 fibre → molti canali → €*



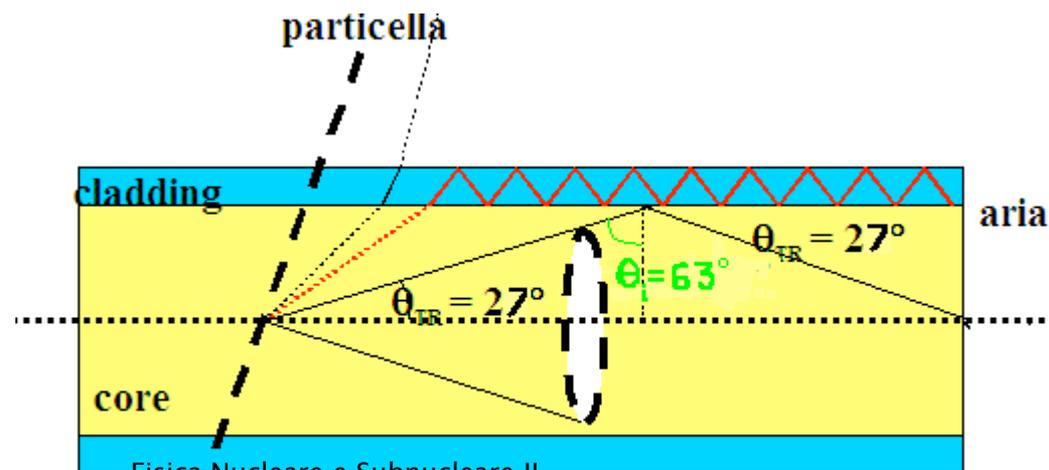
FIBRE SCINTILLANTI

- ▶ Tubicini di polimero platisco drogato, *core* (nucleo) e *cladding* (mantello) ed eventuale rivestimento per isolare

- I due strati hanno diverso indice di rifrazione,
- Le riflessioni incanalano la radiazione in un cono (*angolo di trapping*)

$$n_{core} = 1.59, n_{cladding} = 1.42, \theta_{TR} = 27^\circ$$

- Banda di emissione del polisitirene:
400–500 nm,
con massimo in *437 nm*



RIVELATORI DI LUCE

- ▶ La luce è trasportata dalle fibre per circa *50cm*
 - Attenuazione trascurabile in quanto $\lambda \approx 3m$
→ Arriva quindi al fotomoltiplicatore

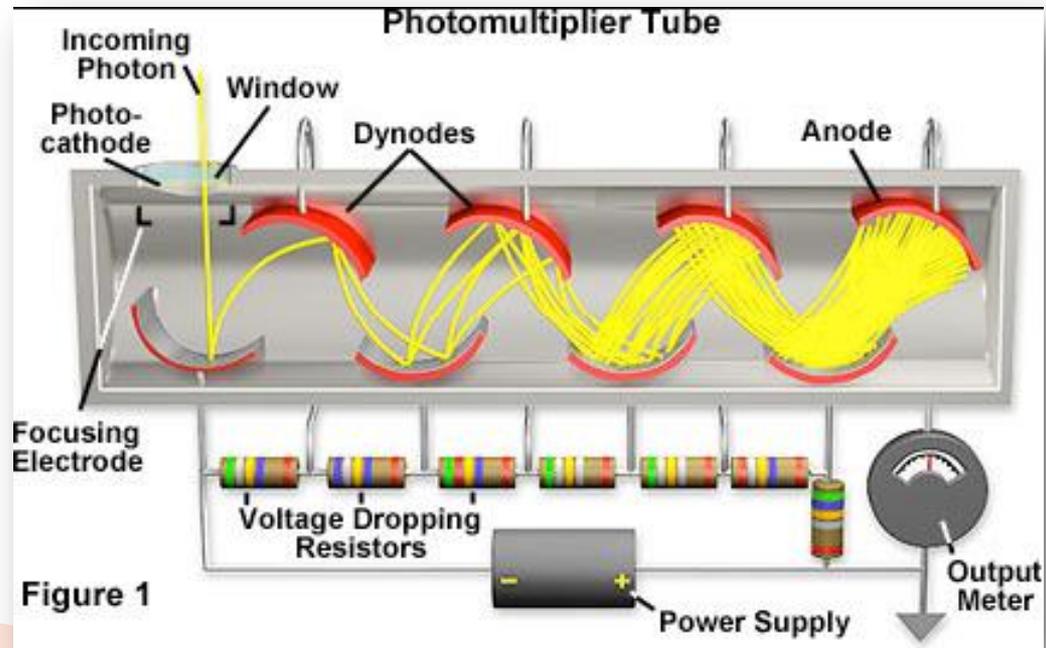


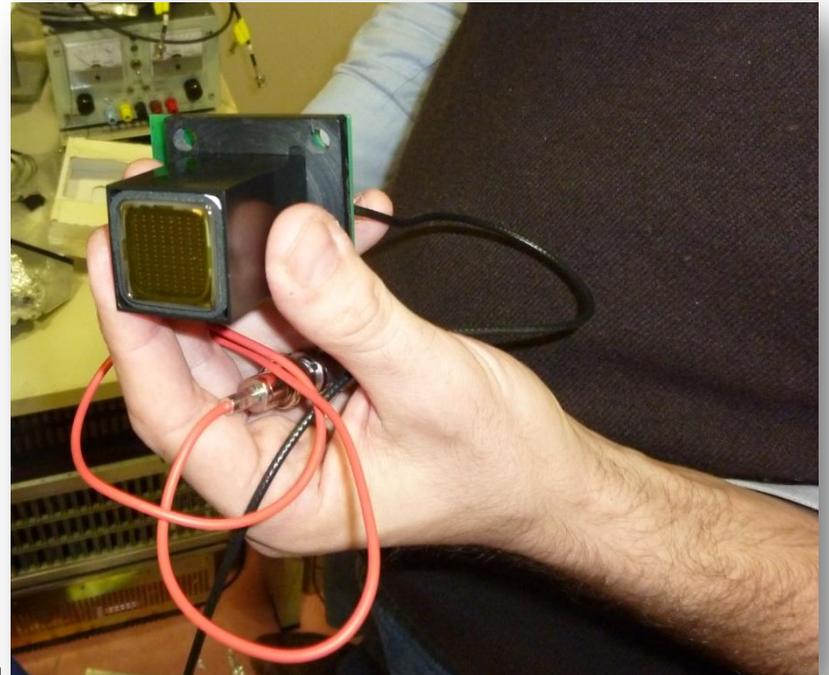
Figure 1

FOTOMOLTIPLICATORE

- ▶ *Efficienza quantica* $\epsilon(\lambda)$
 - # fotoelettroni rilasciati / # fotoni incidenti
 - $\lambda = 437\text{nm} \rightarrow \epsilon \approx 30\%$
 - ▶ *Secondary Emission Factor* K
 - Guadagno di ogni elettrodo
- Numero di elettroni sull'anodo $N = nK^d$
- $10 < d < 14, 3 < K < 4 \rightarrow \text{gain } \underline{10^5 < K^d < 10^7}$
 - d numero dinodi, n numero fotoelettroni

RIVELATORI DI LUCE

- ▶ Nuova generazione di PMT, *Hamamatsu H7546*
 - Legge 64 canali i 2x2cm
 - Costo elevato → merging delle fibre per bassi impulsi → 300 canali di el.



ACCOPPIAMENTO FIBRE-PMT

- Bassi impulsi
→ 3 fibre scintillanti
per canale di PMT



- allineamento



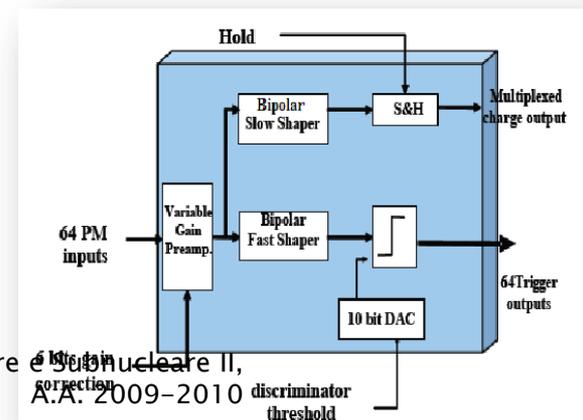
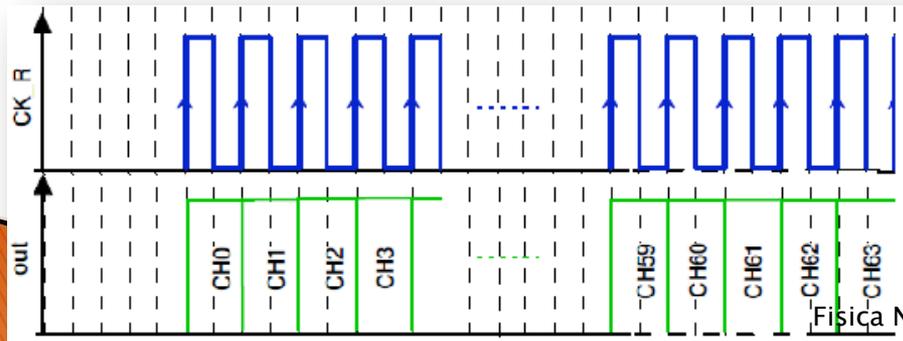
ELETTRONICA di READ-OUT

- ▶ Per leggere i 64 canali uscenti dai PMT si utilizza un circuito integrato detto **MAROC 2.0**, *Multi Anod ReadOut Chip*
- ▶ Fornisce:
 - 1 segnale prop. alla carica di uno degli input
 - 64 outputs di trigger
 - 1 segnale che riproduce i 64 input digitalizzati e serializzati nel tempo



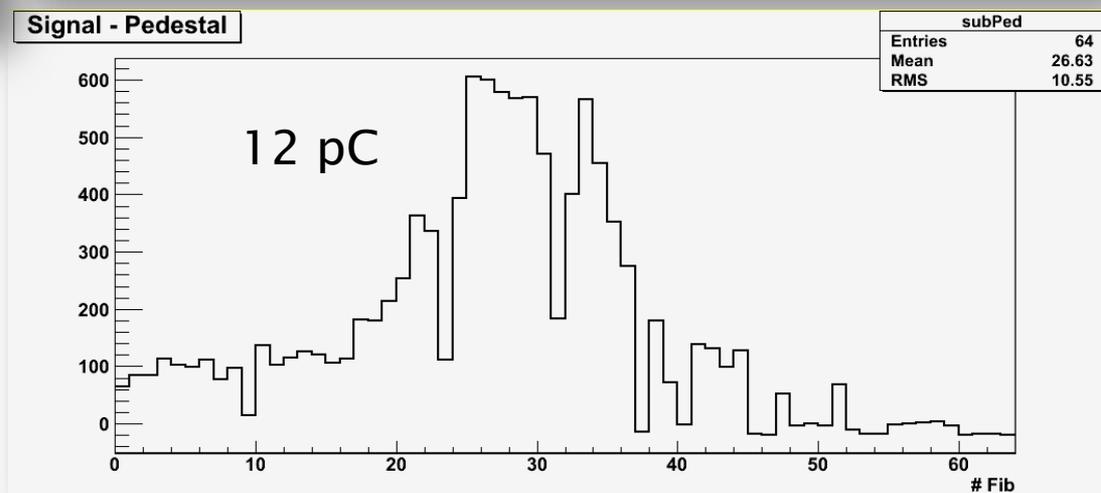
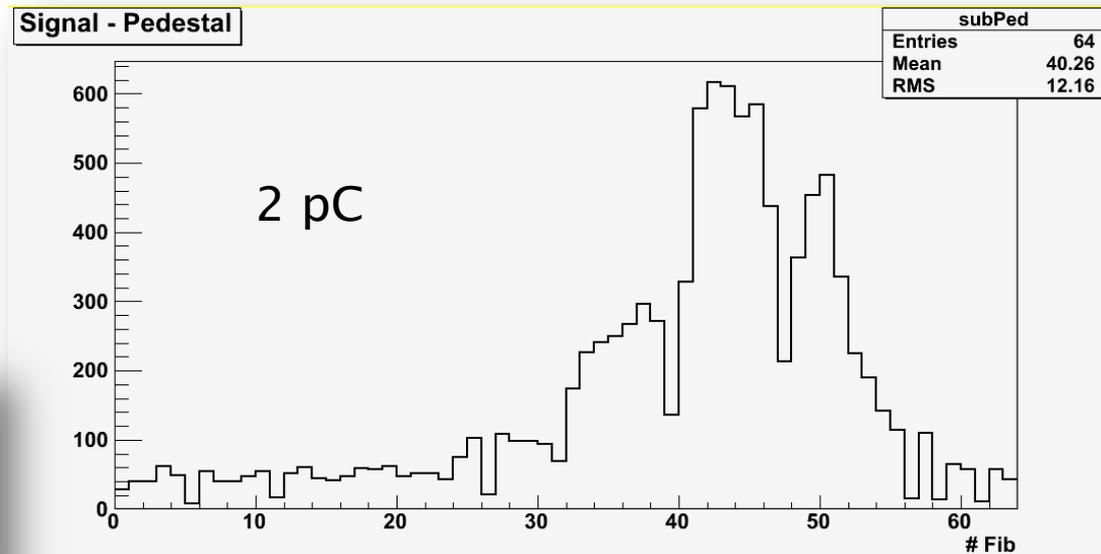
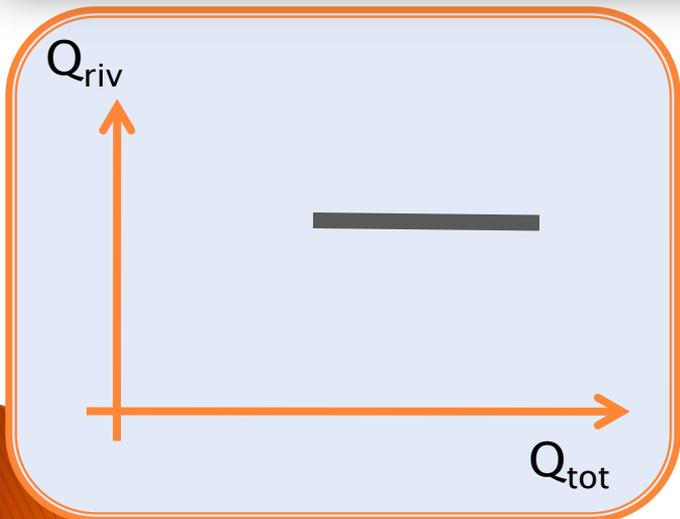
MAROC

- ▶ PMT → preamp → **shapers** (fast & slow)
 - *Fast-shaper*: confronta in modo veloce ma poco preciso il segnale con uno “discriminatore” per capire se è solo rumore → 64 outputs di trigger
 - *Slow-shaper*: elaborazione accurata → *Sample & Hold*, conservano carica trasportata e baseline del segnale
- ▶ S&H → **multiplexaggio e digitalizzazione**
 - Inserimento regolare di un ritardo temporale: 64 segnali → 1 segnale



PROBLEMA!

► Saturazione!

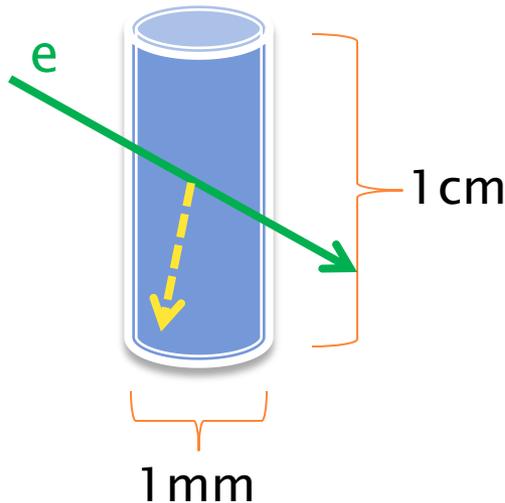


SATURAZIONE

► Possibili effetti

→ **Fibra:**

- Scintillatore → Cherenkov → €



$$\rho_{\text{pol}} = 1.032 \text{ g/cm}^3$$

$$V = \pi * r^2 * h = \pi(0.05\text{cm})^2 * 1\text{cm} = 0.0079 \text{ cm}^3$$

$$M = \rho_{\text{pol}} * V = 8.11 * 10^{-3} \text{ g}$$

$$M_{\text{C}_8\text{H}_8} = 104.15 \text{ uma}$$

$$N_{\text{scint}} = M / M_{\text{C}_8\text{H}_8} \approx 4.6 * 10^{18}$$

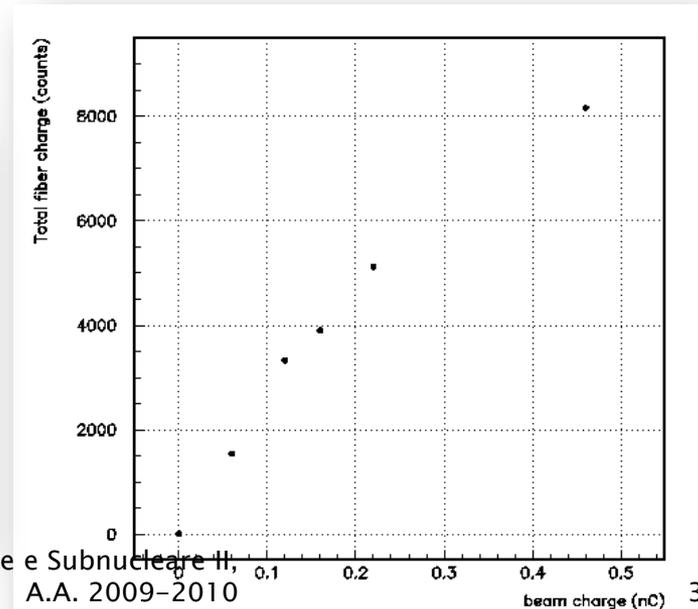
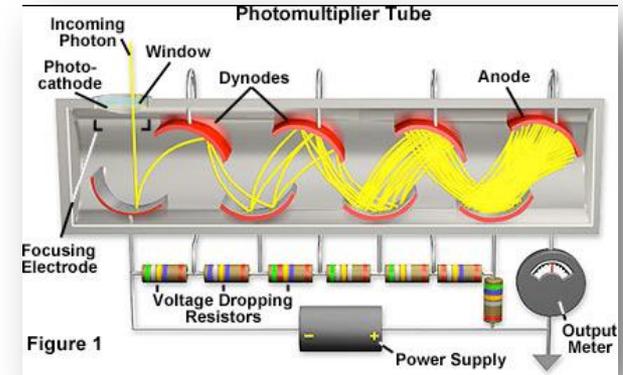
OK!

$$1 \text{ pC} \rightarrow 10^7 \text{ electr}$$

SATURAZIONE

► Possibili effetti

- fotocatodo
 - corrente anodica
- } filtri ottici 0.4%



- ▶ Definizione requisiti
- ▶ Setup
- ▶ Posizione fascio e rivelatori
- ▶ Scelta rivelatore
- ▶ Elettronica lettura
- ▶ **Risultati**

RIASSUNTO

- ▶ Nuova tecnica di accelerazione **LASER-PLASMA**
 - *“A GeV accelerator in a tabletop”*
 - Possibili applicazioni in ricerca e fisica medica (*adroterapia*)
- ▶ Rivelatore necessario
 - Spread energia
 - Spread angolare
 - Flusso

RISULTATI

► Unfolding Bayesiano

- Fibre accese → spettro di energia del fascio

► Risoluzione totale

- $< 200 \text{ MeV} \rightarrow < 1\%$ 🤔
- $< 500 \text{ MeV} \rightarrow \approx 5\%$ 😊
- $> 500 \text{ MeV} \rightarrow > 10\%$ 😬
- Domina la divergenza angolare iniziale del fascio
- Servirebbe $> B$

