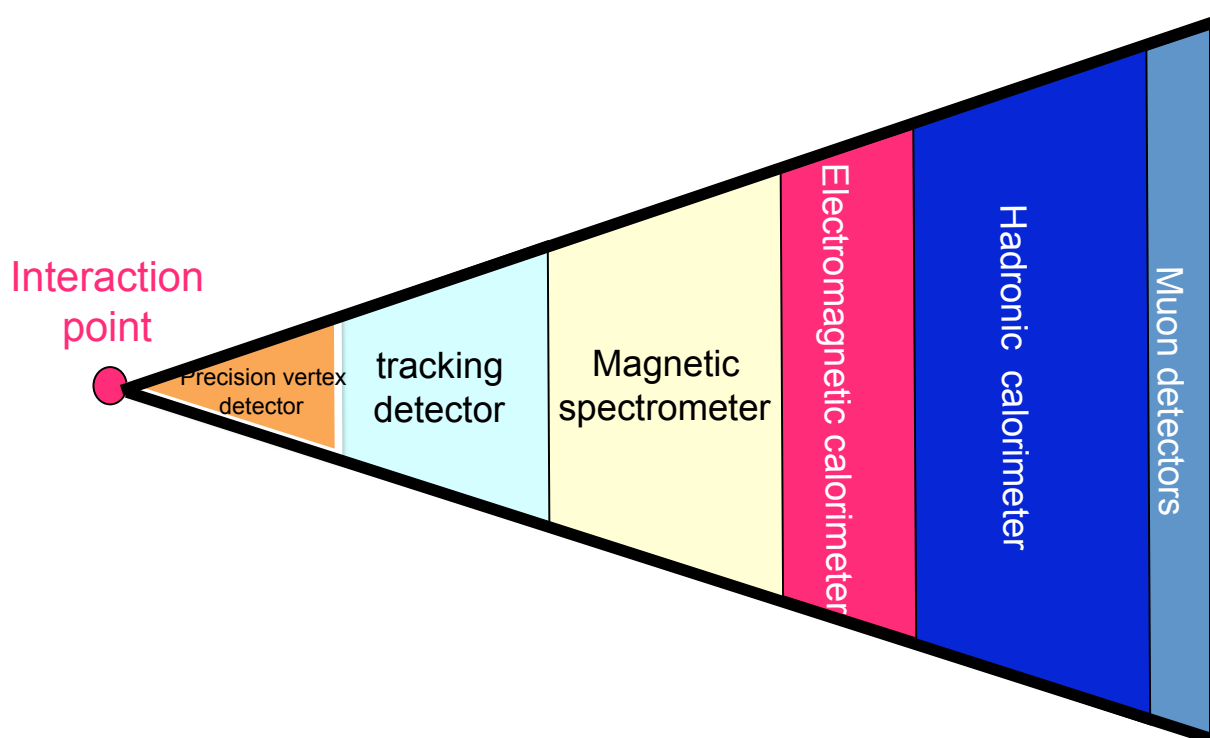


# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Parte 3



### • Parte 3

- Classificazione dei rivelatori
  - Funzionalità
  - Tecniche adottate
- Definizione delle prestazioni
  - Risoluzione, efficienza etc.

## Classificazione

- **Rivelatori di vertice e di traccia**

- Scopo:

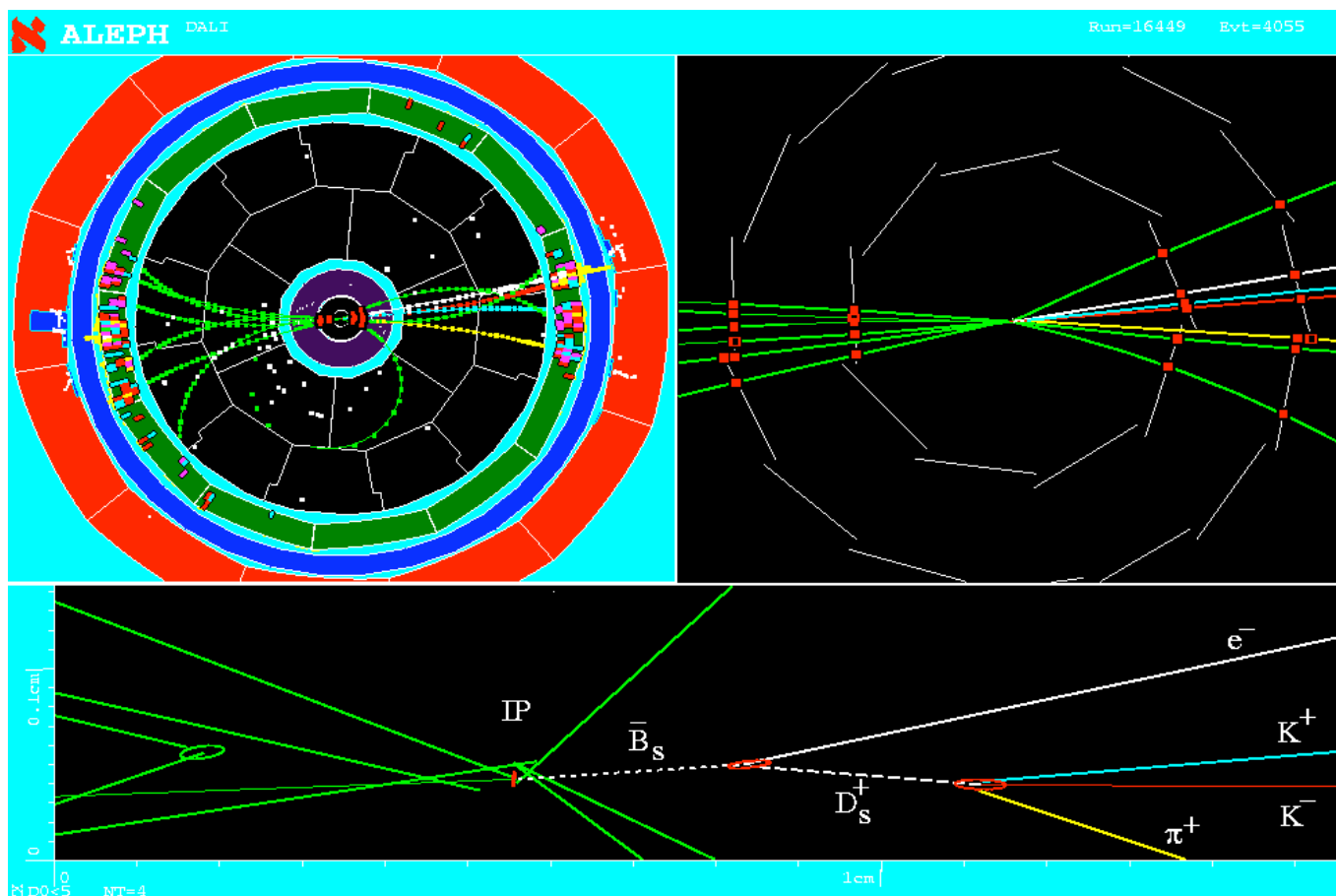
- misura delle tracce cariche con alta precisione molto vicino al vertice di interazione
  - identificazione di vertici secondari per l'identificazione di decadimenti deboli di quark pesanti (b,c)
- misura della topologia dell'evento
- **misura del segno della carica e della quantità di moto (spettrometri)**
  - dalla curvatura della traccia in campo magnetico

- Requisiti essenziali

- precisione spaziale su un numero grande di punti
- “trasparenti”: ridotta quantità di materia
  - minimizzare scattering multiplo, interazioni secondarie

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## tracker



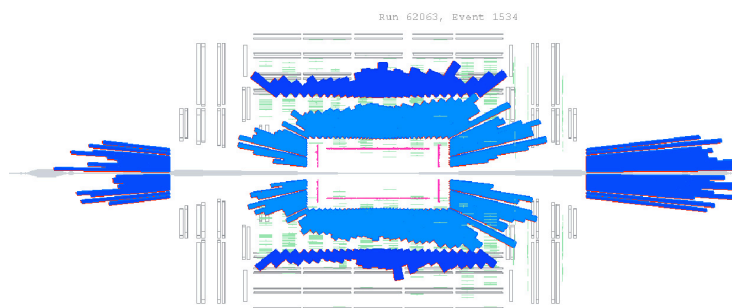
Un evento ricostruito nel rivelatore di tracce di Aleph (LEP)

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Classificazione

- **Calorimetri**

- misura dell'energia assorbendo tutta l'energia nel detector
  - Calorimetri EM (per elettroni, positroni, fotoni)
  - Calorimetri adronici
- Rivelatori densi e profondi per contenere completamente l'energia
- Caratteristiche importanti
  - Risoluzione
  - Segmentazione
    - separazione di "jets"
    - calcolo dell'energia mancante
  - Ermeticità



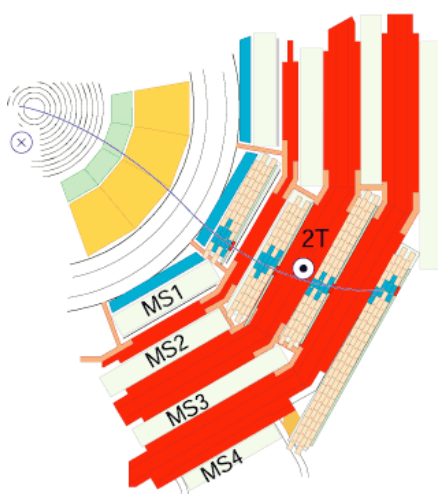
0.1/0.3 fps

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Classificazione

- **Rivelatori di muoni**

- rivelatori di tracce posti a valle di uno spesso assorbitore (in genere un calorimetro)
  - ulteriori stati di assorbitore tra i vari strati di rivelatore per confermare l'identificazione
- in genere, ri-misura del momento in campo magnetico per verifica con la misura iniziale
  - discriminazione di muoni secondari da decadimenti in volo di altre particelle



# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Classificazione

- **PID (Particle Identification)**
  - Misurando  $\beta$  o  $\gamma$  o la velocità, e noto  $p = \beta \gamma mc$ , si misura la massa e si identifica la particella
    - discriminazione dei tipi di particelle in un decadimento per lo studio di stati finali
- **Trigger e Veto**
  - rivelatori utili a selezionare velocemente gli eventi con caratteristiche interessanti scartando il fondo di eventi “banali”, o per vetare eventi indesiderati (cosmici, fondo dovuto ad aloni del fascio)
    - requisiti di risoluzione meno stringenti
    - in genere devono essere veloci per permettere una selezione rapida
- **Altri rilevalori**
  - misure di “luminosità” del fascio
  - misure di dose di radiazione assorbita
    - allarme per la protezione di altri rivelatori sensibili

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Tecniche utilizzate

- Numerose tecniche basate sugli effetti descritti nei capitoli precedenti
  - ionizzazione in gas o liquidi
  - rivelatori a stato solido (coppie elettrone/lacuna) in semiconduttori
  - scintillatori (luce emessa dagli atomi eccitati)
  - rivelatori Cherenkov
  - rivelatori storici (emulsioni fotografiche, camere a bolle, a nebbia, etc)
- Spesso con la stessa tecnica si possono realizzare rivelatori con scopi diversi
  - rivelatori a gas per spettrometri e rivelatori di muoni
- Spesso un rivelatore ha più funzioni combinate
  - un rivelatore a gas può fare da spettrometro, e da particle-id usando  $dE/dx$
  - i calorimetri e i rivelatori di muoni spesso vengono usati per il trigger
- Scelte costruttive e compromessi diversi a seconda dell'insieme di funzioni volute e delle condizioni al contorno
  - velocità richiesta al trigger
  - risoluzioni necessarie

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Prestazioni

- Risoluzione
  - accuratezza delle misure (energia, posizione, tempo)
    - larghezza della distribuzione delle misure attorno al valore medio

$$z = z_{misurata} - z_{vero}$$

$$\langle z \rangle = \frac{\int z D(z) dz}{\int D(z) dz}$$

$$\sigma_z^2 = \frac{\int (z - \langle z \rangle)^2 D(z) dz}{\int D(z) dz}$$

- dove  $D(z)$  è la funzione di distribuzione
- in molti casi, i risultati sono distribuiti in maniera gaussiana
- in genere si quota come risoluzione  $\pm \sigma_z$ , che corrisponde ad una probabilità del 68.3% di trovare il risultato entro quell'intervallo

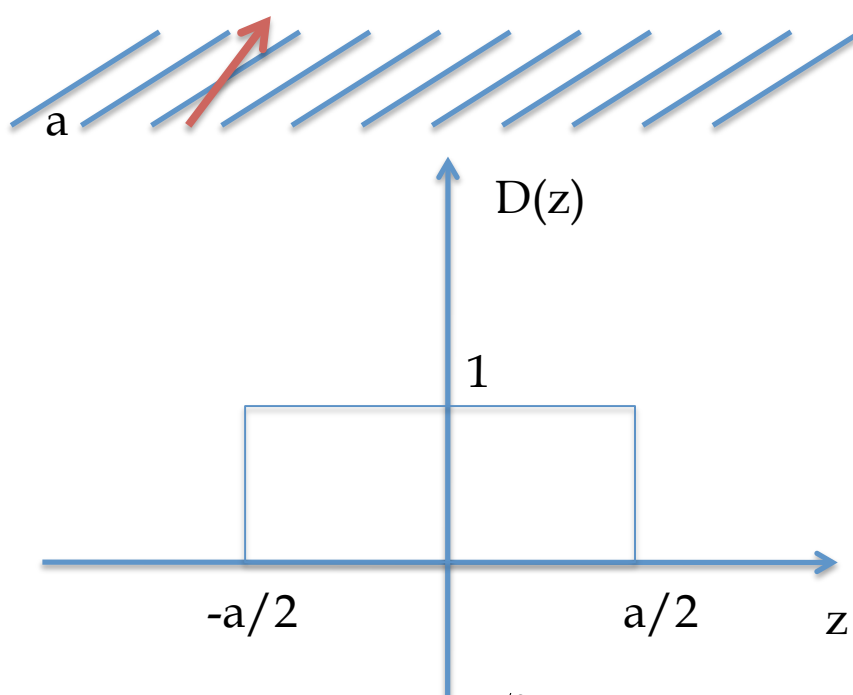


# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Prestazioni

- **Esempio:**

- distribuzione rettangolare. Caso tipico: un rivelatore a fili con spaziatura "a" in cui si misura solo quale filo è stato interessato dal segnale



$$\sigma_z^2 = \frac{\int (z - \langle z \rangle)^2 D(z) dz}{\int D(z) dz} = \frac{\int_{-a/2}^{a/2} (z - 0)^2 \cdot 1 dz}{a} =$$

$$= \frac{1}{a} \int_{-a/2}^{a/2} z^2 dz = \frac{1}{a} \frac{z^3}{3} \Big|_{-a/2}^{a/2} = \frac{a^2}{12}$$

$$\sigma_z = \frac{a}{\sqrt{12}} \leftarrow \text{risoluzione}$$

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Prestazioni

- Efficienza:
  - probabilità che il rivelatore risponda ad un segnale che lo attraversa
  - vari fattori
    - efficienza geometrica (zone morte, supporti)
    - efficienza di generazione del segnale
    - efficienza dell'eventuale catena di lettura (soglie)
  - esempio: in 1 cm di Ar a STP attraversato da una MIP vengono prodotte in media 29 coppie e<sup>-</sup>/ione primarie
    - quale è la probabilità che ne vengano prodotte 0?
    - distribuzione di Poisson dei conteggi:

$$f(n, \mu) = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!} \quad (\mu = \text{media}, n \text{ valore osservato})$$

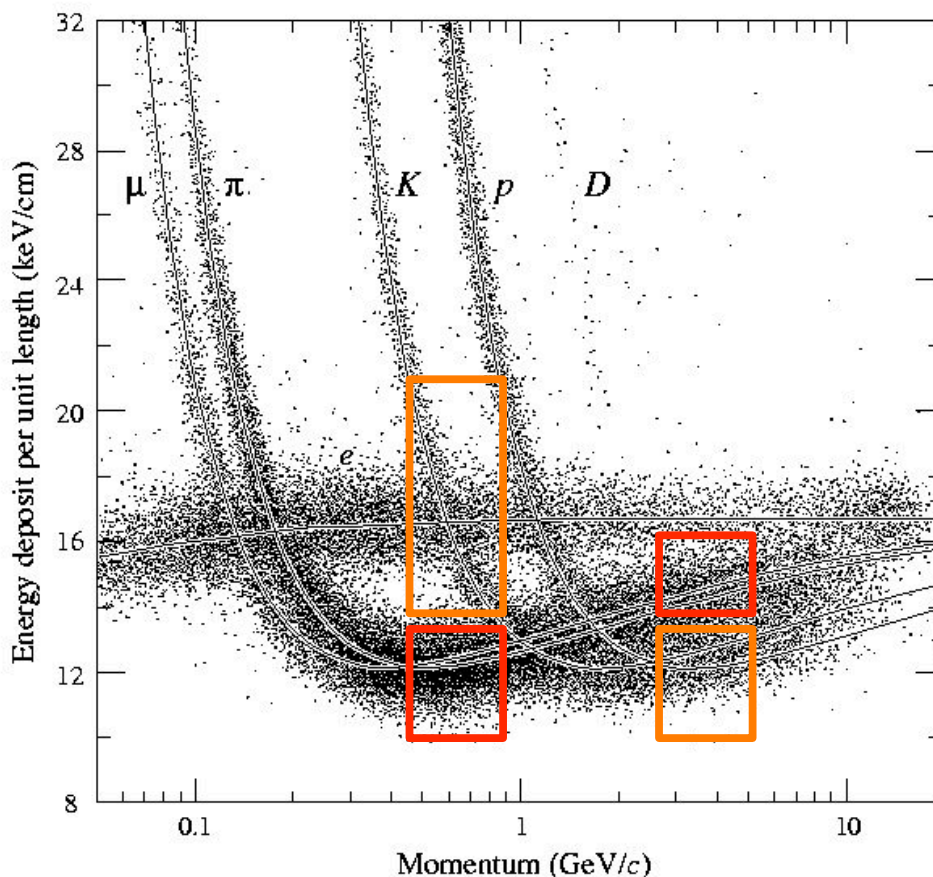
$$f(0, 29) = e^{-29} = 2.5 \cdot 10^{-13} \text{ evidentemente trascurabile}$$

- NB spesso l'efficienza e la risoluzione sono anticorrelate

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Efficienza vs risoluzione

- Per esempio, se in una regione di momento voglio discriminare un  $\pi$  da un  $k$ 
  - taglio stretto in  $dE/dx$ 
    - buona discriminazione ma bassa efficienza
  - taglio largo in  $dE/dx$ 
    - migliore efficienza ma peggior contaminazione



# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Prestazioni

- Tempi caratteristici
  - Tempo di risposta:
    - in quanto tempo si ottiene il segnale
      - dai 100ps (scintillatori) ai  $\mu$  s e più (ionizzazione in liquidi)
      - rilevante per trigger, acceleratori con alta frequenza di ripetizione (LHC=25ns)
  - Tempo morto
    - per quanto tempo il rivelatore (e la catena di lettura) è cieco dopo un segnale
      - dal ns (scintillatori) ai ms (Geiger)
- Esempio:
  - se  $N$  è la frequenza di conteggio misurata in un rivelatore, e  $\tau_D$  è il suo tempo morto, quale è la frequenza vera?

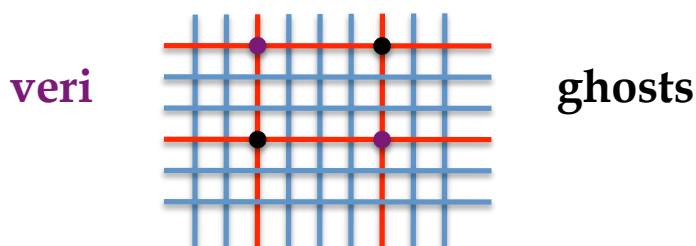
$1 - N\tau_D$  tempo in cui il rivelatore è sensibile

$$N_{Vero} = \frac{N}{1 - N\tau_D} \text{ valido per } N\tau_D < 1$$

# Introduzione ai rivelatori di particelle

## Prestazioni

- Altre caratteristiche importanti
  - Stabilità nel tempo
    - per esempio calibrazioni per misure calorimetriche
  - Capacità di discriminare più particelle vicine
    - “ghosts” nelle letture x-y



- Resistenza alla radiazione
- Costo...