

# Misura delle sezioni d'urto

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma, e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$$

Tutori:

Caterina Bloise

Graziano Venanzoni

Leonardo Alese

Monica Cecchi

Silvano Frattesi

Giada Gandolfo

Claudia Lorenzetti

Stefano Scannavini

# Introduzione

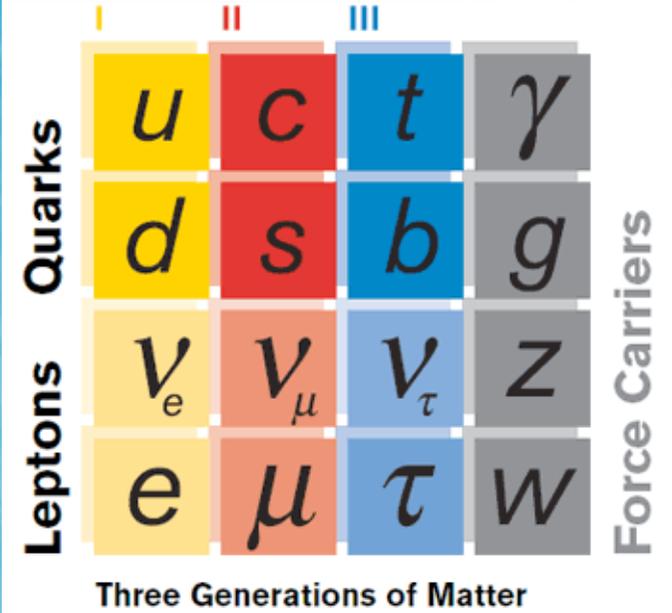
La fisica delle particelle elementari (FdP) studia il comportamento dei costituenti fondamentali della materia.

In questo contesto nulla è definito con certezza: il mondo della FdP / fisica particellare è un mondo probabilistico, governato dalle leggi della meccanica quantistica.

## Lo STANDARD MODEL

L'insieme degli studi della FdP ha portato all'elaborazione della teoria del Modello Standard, che descrive in modo coerente le particelle e le interazioni fondamentali.

6/20/08



The diagram illustrates the Standard Model of particle physics, organized into a grid. The columns are labeled I, II, and III at the top, representing the three generations of matter. The rows are labeled Quarks, Leptons, and Force Carriers on the left and right sides. The particles are arranged as follows:

	I	II	III	
Quarks	$u$	$c$	$t$	$\gamma$
	$d$	$s$	$b$	$g$
Leptons	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	$Z$
	$e$	$\mu$	$\tau$	$W$

Three Generations of Matter

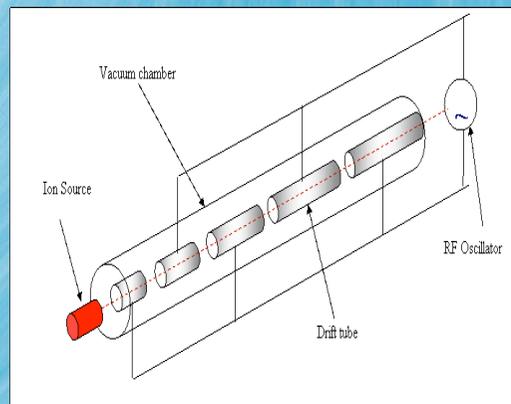
# Acceleratori...

Perché gli acceleratori di particelle?

L'utilizzo degli acceleratori nasce dall'esigenza di studiare eventi e interazioni che avvengono solo ad alte e determinate energie.

All'energia desiderata fasci di particelle vengono fatti collidere con un bersaglio.

Negli a. lineari il bersaglio è immobile. In questa maniera l'energia utilizzata non viene sfruttata completamente.



Negli a. circolari fasci di particelle circolano in versi opposti divenendo a loro volta bersagli.



# DAΦNE e KLOE

In particolare in DaΦne avviene la collisione tra elettroni e positroni (particelle identiche ma con carica opposta) che, nella maggior parte dei casi produce la particella  $\phi$ , avente diverse possibilità di decadimento (Kaoni carichi, Kaoni neutri, Pioni...); in altri casi la collisione genera, senza passare per  $\phi$ , una coppia di particelle con carica opposta  $\mu$  o  $\pi$ , rilasciando un fotone  $\gamma$ .



Kloe è un rivelatore che ha il compito di rivelare le particelle attraverso una camera a deriva che ne ricostruisce le traiettorie e un calorimetro che ne misura l'energia

## ...il nostro obiettivo...

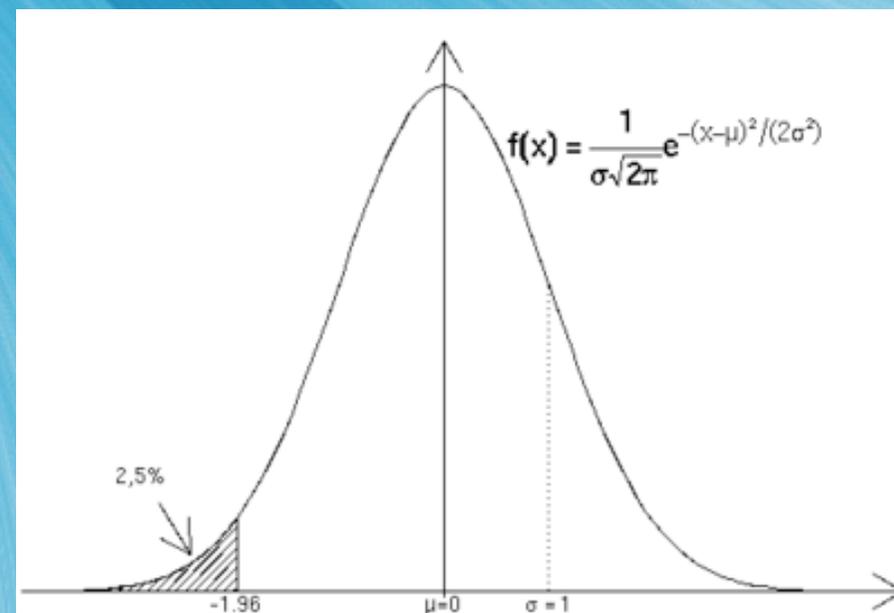
è stato quello di determinare la sezione d'urto del processo di produzione  $\pi\pi\gamma$  e  $\mu\mu\gamma$  attraverso un'indagine statistica che discrimina tra le due diverse ipotesi  $\pi$  e  $\mu$ .

A tale scopo abbiamo utilizzato come variabile discriminante la massa della traccia, soluzione del sistema di equazioni che si ottengono dalla conservazione dell'energia e dell'impulso dell'evento.

# Analisi statistica

La distribuzione in massa della traccia, dedotta dai dati acquisiti attraverso il funzionamento di Kloe, che riguardano l'impulso e l'energia delle particelle, ha un andamento assimilabile ad una curva gaussiana.

La curva gaussiana è un esempio di funzione (continua) densità di probabilità: per un determinato intervallo l'area sottesa alla curva rappresenta la probabilità che un dato evento cada all'interno di esso.



# Raccolta dati...

La camera a deriva di Kloe permette di determinare gli impulsi delle due particelle di tipo  $\pi$  o  $\mu$  prodotte, mentre l'energia totale e l'impulso totale del processo sono determinati attraverso eventi comparativi detti "Bhabha". Durante il processo vengono prodotti anche fotoni, particelle prive di massa, che non lasciano alcun segnale nella camera a deriva.

In base a queste premesse è stato possibile determinare l'equazione della massa della traccia...

$$\begin{cases} E = E_1 + E_2 + E_Y \\ P = P_1 + P_2 + P_Y \end{cases}$$

$$E_Y = |P_Y| = |P - (P_1 + P_2)|$$

$$E - |P - (P_1 + P_2)| = \sqrt{P_1^2 + M^2} + \sqrt{P_2^2 + M^2}$$

$$(E - |P - (P_1 + P_2)|)^2 = 2M^2 + P_1^2 + P_2^2 + 2\sqrt{(P_1^2 + M^2)(P_2^2 + M^2)}$$

$$\underbrace{(E - |P - (P_1 + P_2)|)^2 - P_1^2 - P_2^2 - 2M^2}_A = 2\sqrt{(P_1^2 + M^2)(P_2^2 + M^2)}$$

A

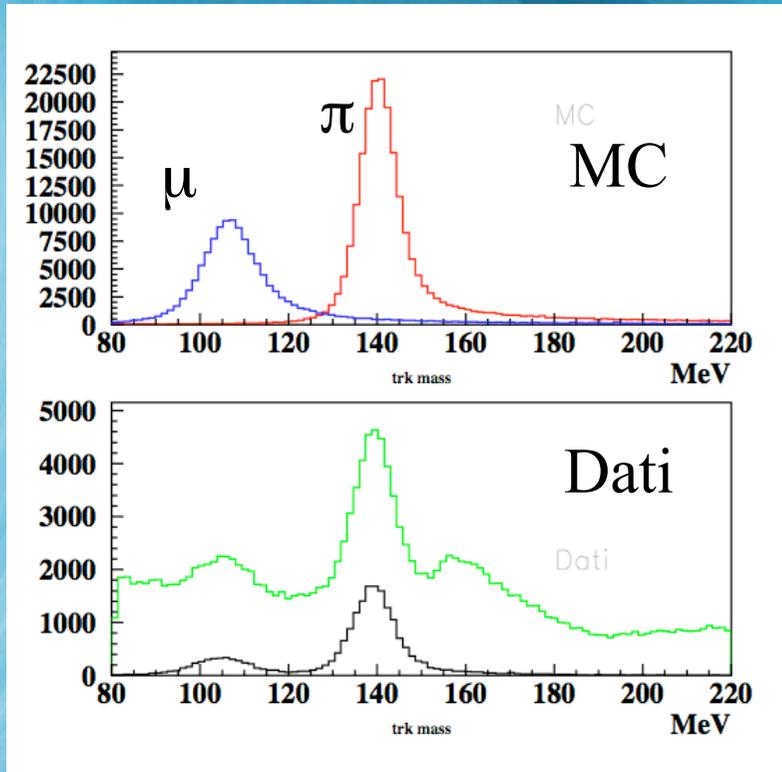
$$(A - 2M^2)^2 = 4P_1^2 P_2^2 + 4M^2 + 4M^2 (P_1^2 + P_2^2)$$

$$A^2 - 4M^2 A = 4P_1^2 P_2^2 + 4M^2 (P_1^2 + P_2^2)$$

$$(A/2)^2 - P_1^2 P_2^2 = M^2 (A + P_1^2 + P_2^2)$$

$$\text{Mtrk} = \frac{\sqrt{(A/2)^2 - P_1^2 P_2^2}}{E - |P - (P_1 + P_2)|}$$

# Distribuzione in Mtrk degli eventi



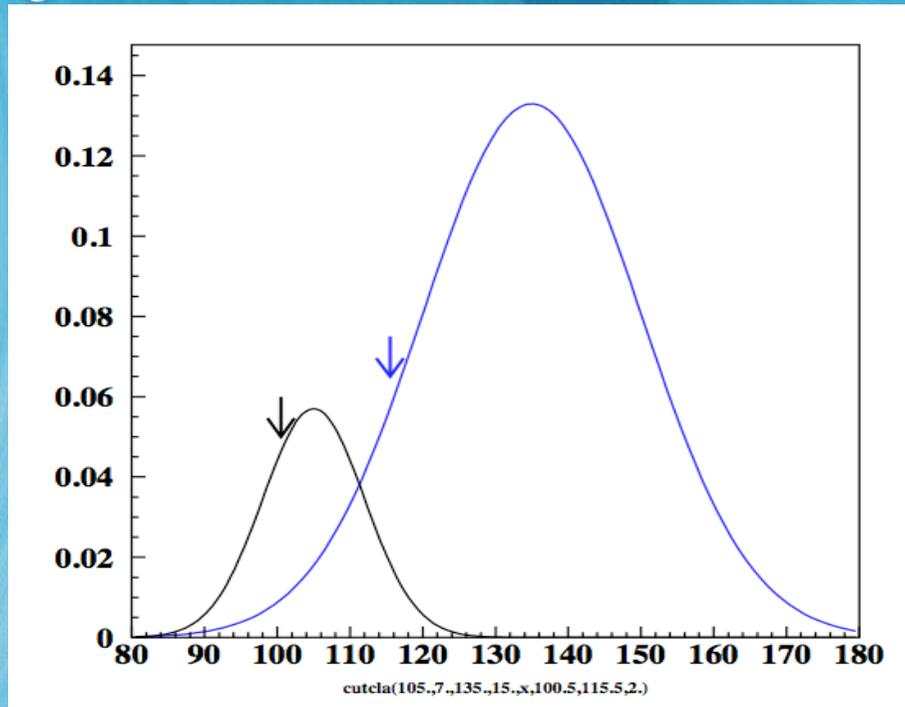
Il Monte Carlo è un programma che permette di simulare l'interazione delle particelle all'interno del rivelatore

Nel grafico in basso sono riportati i dati reali, prima (in verde) e dopo (in nero) i tagli di accettazione.

I tagli di accettazione sono selezioni geometriche (cioè spaziali) che filtrano i dati selezionando soltanto eventi che avvengono in una determinata regione del rivelatore

# Verifica delle ipotesi

In un caso esemplificativo, le due ipotesi  $\pi\pi\gamma$  e  $\mu\mu\gamma$  sono assimilabili a due gaussiane:



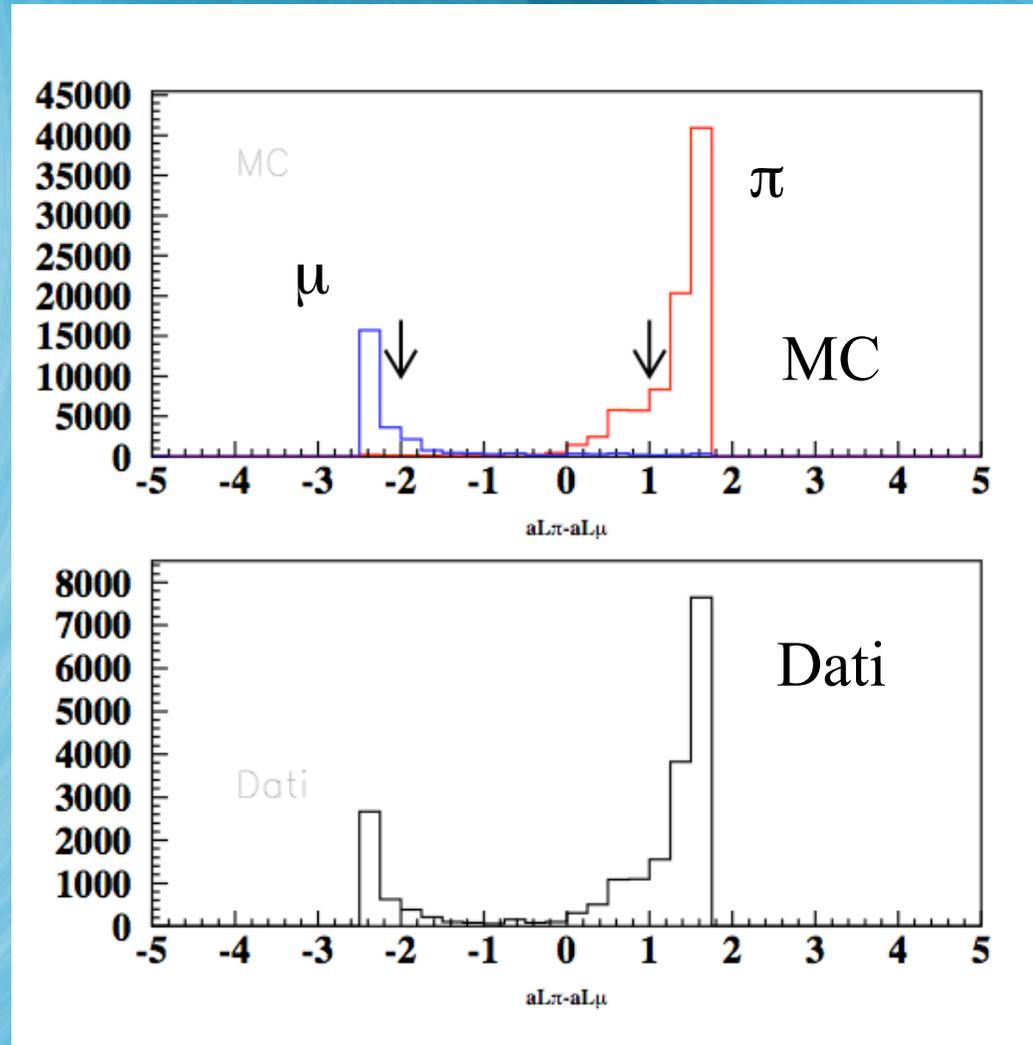
Poichè le aree sottese dalle due gaussiane si sovrappongono occorre definire dei criteri di taglio ottimali.

Stabilito un determinato taglio si definisce efficienza di segnale il rapporto tra gli eventi individuati dal taglio e gli eventi totali.

Si definisce contaminazione il rapporto tra gli eventi di secondo tipo individuati dal taglio e gli eventi di segnale.

Solitamente si stabilisce un taglio nel punto dove rapporto tra efficienza e contaminazione è massimo.

# Likelihood



Date due ipotesi  $H_1$  e  $H_2$  che hanno probabilità  $PH_1$  e  $PH_2$  di verificarsi si definisce Likelihood (o funzione di verosimiglianza) la funzione:

$$y = \ln ( PH_1 / PH_2 )$$

Nella distribuzione della Likelihood, l'evento viene attribuito a una o all'altra ipotesi ( $\pi\pi\gamma$  o  $\mu\mu\gamma$ ), a secondo che cada a destra o a sinistra del taglio.

Ecco i risultati dopo vari tentativi di taglio: quelli evidenziati sono stati scelti per avere il miglior rapporto tra efficienza e contaminazione

## Muoni ( $\mu$ ) 26169

Taglio $\mu$	$N_{\mu}$	$N_{\pi}$	$\epsilon_{\mu}$	$K_{\mu}$	$\epsilon_{\mu}/K_{\mu}$
$r < -2.2$	15709	227	0.600	0.014	42.857
<b><math>r &lt; -2.0</math></b>	<b>19326</b>	<b>312</b>	<b>0.738</b>	<b>0.016</b>	<b>46.125</b>
$r < -1.5$	22241	540	0.850	0.024	35.411
$r < -1.0$	23106	711	0.883	0.031	28.483
$r < -0.5$	23783	1143	0.909	0,048	18.937
$r < 0$	24107	1829	0.921	0.076	12.118
$r < 0.5$	24746	5730	0.946	0.232	4.077

## Pioni ( $\pi$ ) 86853

Taglio $\pi$	$N_{\pi}$	$N_{\mu}$	$\epsilon_{\pi}$	$K_{\pi}$	$\epsilon_{\pi} / K_{\mu} \pi$
$r > 1.5$	40943	342	0.471	0.008	58.875
$r > 1.0$	69599	774	0.801	0.011	72.818
$r > 0.5$	81123	1423	0.934	0.018	51.889
$r > 0$	85024	2062	0.979	0.024	40.791
$r > -0.5$	85710	2386	0.987	0.028	35.250
$r > -1.0$	86142	3063	0.992	0.036	27.555
$r > -1.5$	86313	3928	0.994	0.046	21.609

# Sezione d'Urto

La sezione d'urto di un processo rappresenta la probabilità che quel determinato processo si verifichi ed è descritta dalla seguente equazione:

$$\sigma = N / \mathcal{L}$$

dove  $N$  è il numero di eventi prodotti e  $\mathcal{L}$  è la luminosità della macchina

Nel caso del processo  $\pi\pi\gamma$

$$\sigma_{\pi\pi\gamma} = N_{\pi} / ((1 + k_{\pi}) \epsilon_{\pi} \cdot A_{\pi} \cdot \mathcal{L})$$

Per il nostro taglio  $A_{\pi} = 0.335$  (accettanza)

Nel caso del processo  $\mu\mu\gamma$

$$\sigma_{\mu\mu\gamma} = N_{\mu} / ((1 + k_{\mu}) \epsilon_{\mu} \cdot A_{\mu} \cdot \mathcal{L})$$

Per il nostro taglio  $A_{\mu} = 0.147$

# Propagazione dell'Errore

$$\Delta\sigma/\sigma = \sqrt{(\Delta S/S)^2 + (\Delta\varepsilon/\varepsilon)^2 + (\Delta A/A)^2 + (\Delta L/L)^2}$$

Dal calcolo di  $\Delta A/A$  e  $\Delta\varepsilon/\varepsilon$  si evince che essi sono trascurabili

Per il processo  $\pi\pi\gamma$

$$\Delta\sigma_{\pi\pi\gamma}/\sigma_{\pi\pi\gamma} = \sqrt{(1\%)^2 + (2\%)^2} = 0.022$$

$$\Delta\sigma_{\pi\pi\gamma} = 0.022 \cdot 45.1 \text{ nb} = 1.0 \text{ nb}$$

Per il processo  $\mu\mu\gamma$

$$\Delta\sigma_{\mu\mu\gamma}/\sigma_{\mu\mu\gamma} = \sqrt{(2\%)^2 + (2\%)^2} = 0.028$$

$$\Delta\sigma_{\mu\mu\gamma} = 0.028 \cdot 28.04 \text{ nb} = 0.8 \text{ nb}$$

# Risultati e conclusioni

Le misurazioni finali sono le seguenti:

$$\sigma_{\pi\pi\gamma} = (45.1 \pm 1.0) \text{ nb}$$

$$\sigma_{\mu\mu\gamma} = (28.1 \pm 0.8) \text{ nb}$$

La sezione d'urto del processo  $\pi\pi\gamma$  è maggiore rispetto a quella del  $\mu\mu\gamma$  poiché le particelle  $\pi$  non sono “elementari” come le particelle  $\mu$  ma sono formate da una coppia di quarks e dunque possono essere prodotte attraverso la combinazione di più possibilità



07/20/08