Stato dell'analisi dell'esperimento NA48 sulla violazione diretta di CP nel decadimento dei K

Massimo Lenti
INFN Firenze

Roma
22 Marzo 1999

✥ **La Collaborazione NA48 è composta da**:
Cagliari-Cambridge-CERN-Dubna-Edinburgh-Ferrara-Firenze-Mainz-Orsay-Perugia-Pisa-Saclay-Siegen-Torino-Vienna-Warsaw

Indice

- L'esperimento NA48
  - Metodo
  - Fasci
  - Rivelatore
  - Triggers
- Stato dell'analisi dei dati 97 (preliminare)
  - Tagging dei $\mathrm{K_S}$
  - $K_{\mathrm{L,S}} \rightarrow \pi^+\pi^-$ selezione e fondi
  - $K_{\mathrm{L,S}} \rightarrow \pi^0\pi^0$ selezione e fondi
  - Pesatura dei K_{L} con il tempo proprio di decadimento e definizione del volume fiduciale
  - Scala di energia
- Presa dati del 1998
  - Miglioramenti
  - Risultati
  - $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$
- Prospettive e conclusioni

Introduzione

Scopo di NA48: Determinare il parametro di violazione diretta di CP $\mathrm{Re}(\varepsilon'/\varepsilon)$ nel sistema dei K
$\rightarrow$ raggiungere una precisione di 2×10^{-4}

Le misure precedenti sono:

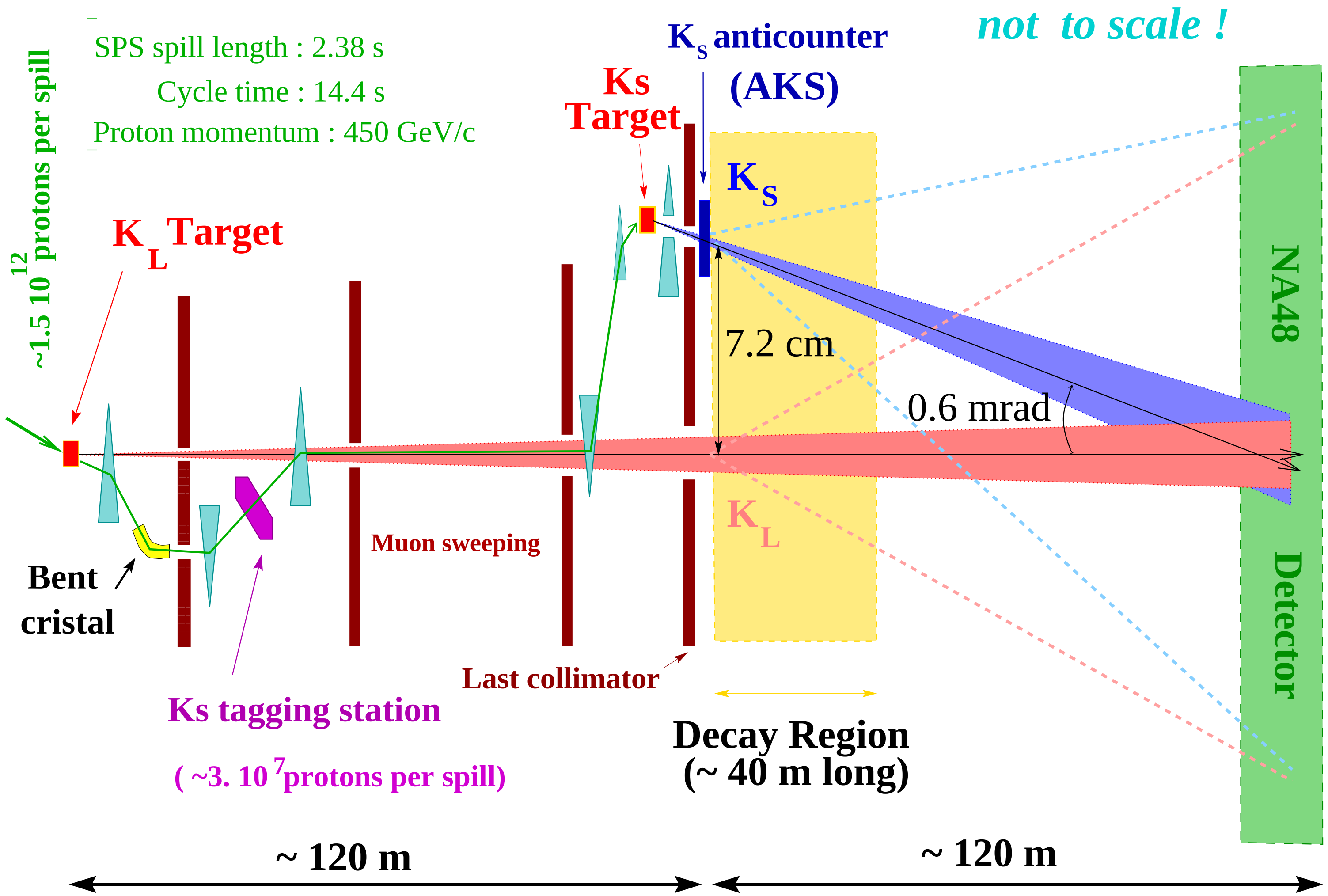
NA31	$(23 \pm 6.5) \cdot 10^{-4}$
E731	$(7.4 \pm 5.9) \cdot 10^{-4}$
KTeV (Preliminare)	$(28.0 \pm 4.1) \cdot 10^{-4}$

Tecnica del Doppio Rapporto:

$$\mathrm{R} = \frac{\Gamma(\mathrm{K_L} \rightarrow \pi^0\pi^0)}{\Gamma(\mathrm{K_S} \rightarrow \pi^0\pi^0)} \Big/ \frac{\Gamma(\mathrm{K_L} \rightarrow \pi^+\pi^-)}{\Gamma(\mathrm{K_S} \rightarrow \pi^+\pi^-)} \approx 1 - 6 \times \mathrm{Re}(\varepsilon'/\varepsilon)$$

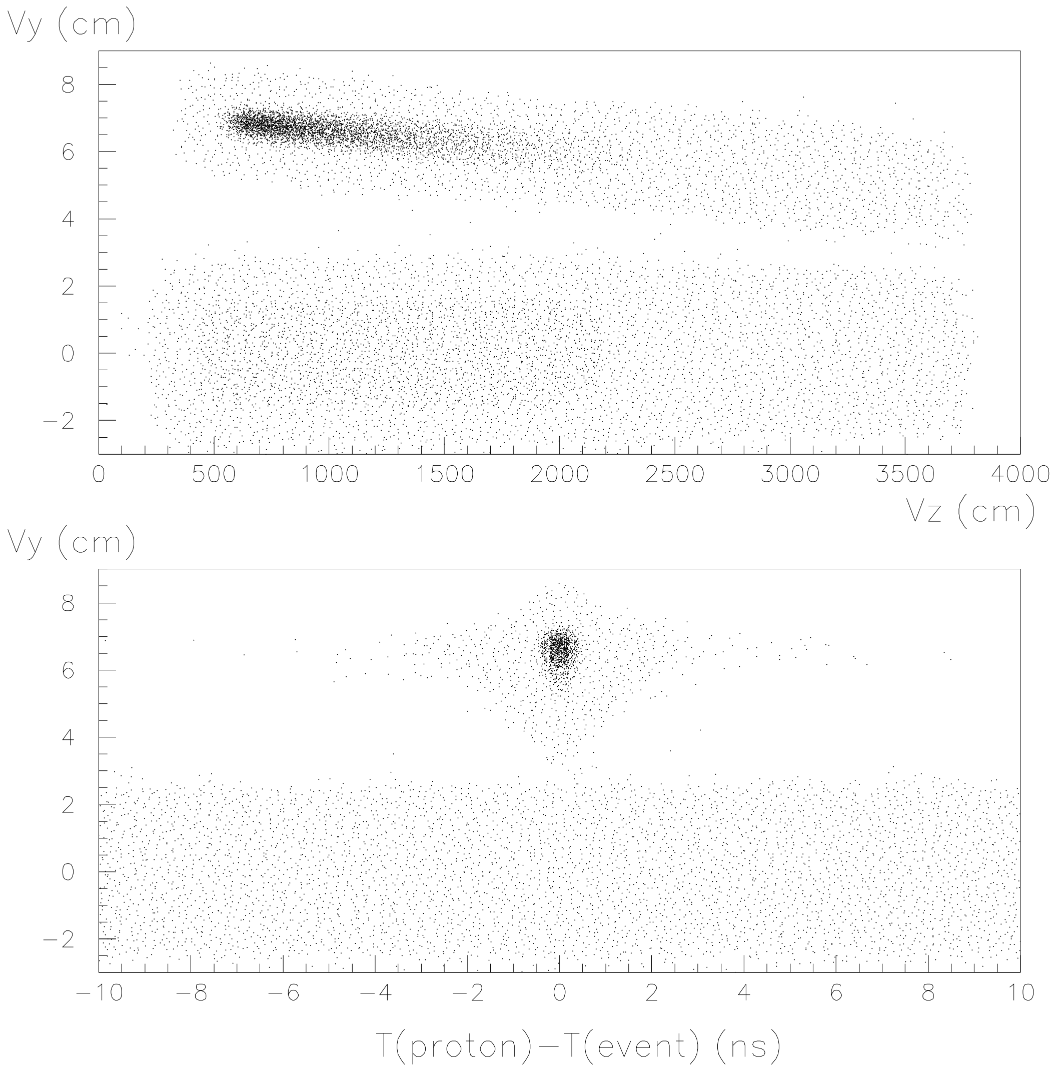
- Occorre raccogliere *diversi* 10^6 $\mathrm{K_L} \rightarrow \pi^0\pi^0$ (decadimento più raro)
- Minime correzioni $\rightarrow$ i 4 modi sono misurati
  - Simultaneamente
  - Nello stesso volume fiduciale : usando la pesatura con il tempo proprio di decadimento dei K_L per rendere identiche le distribuzioni in Z dei vertici per K_S e K_L
  - Con uno spettrometro magnetico per il decadimento in $\pi^+\pi^-$ e un calorimetro omogeneo a Krypton liquido per il decadimento in $\pi^0\pi^0$ (per ottenere buone risoluzioni e bassi livelli di fondo)

I Fasci Simultanei di K_S e K_L

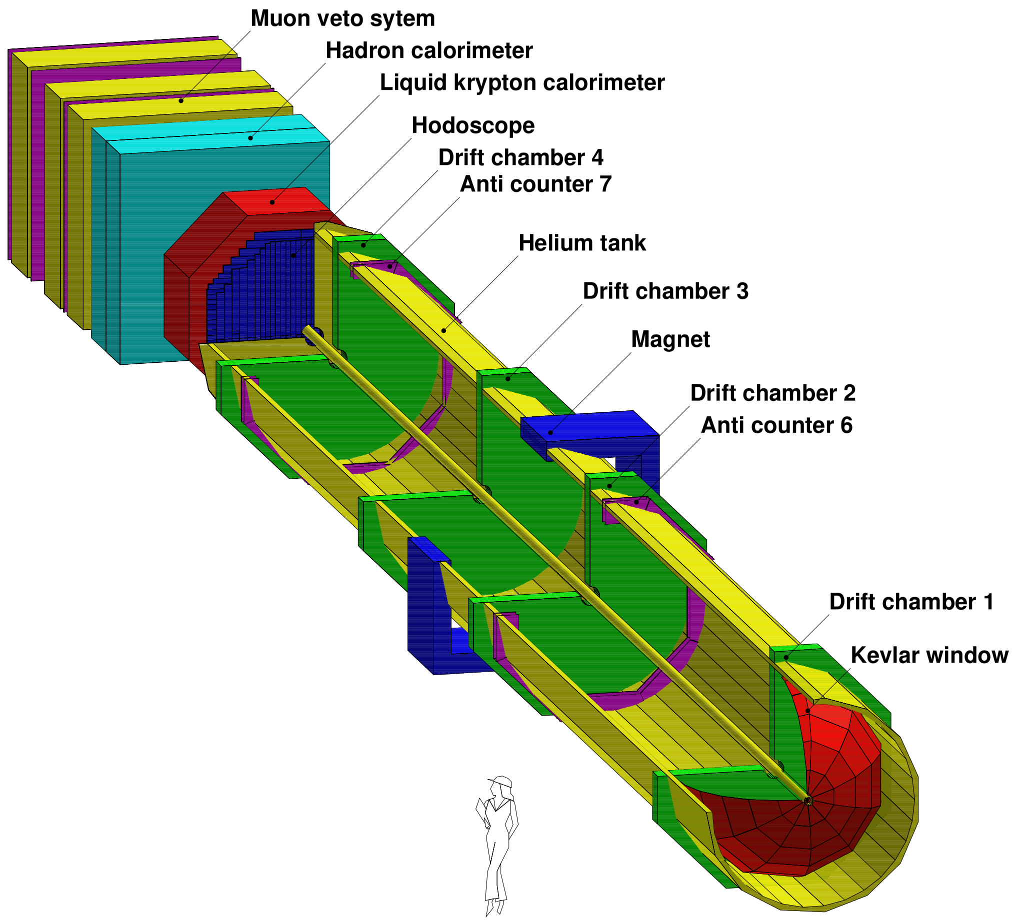


I K_S sono distinti dai K_L identificando (tagging) i protoni prima che arrivino sulla targhetta K_S

I Fasci Simultanei di K_S e K_L : i dati

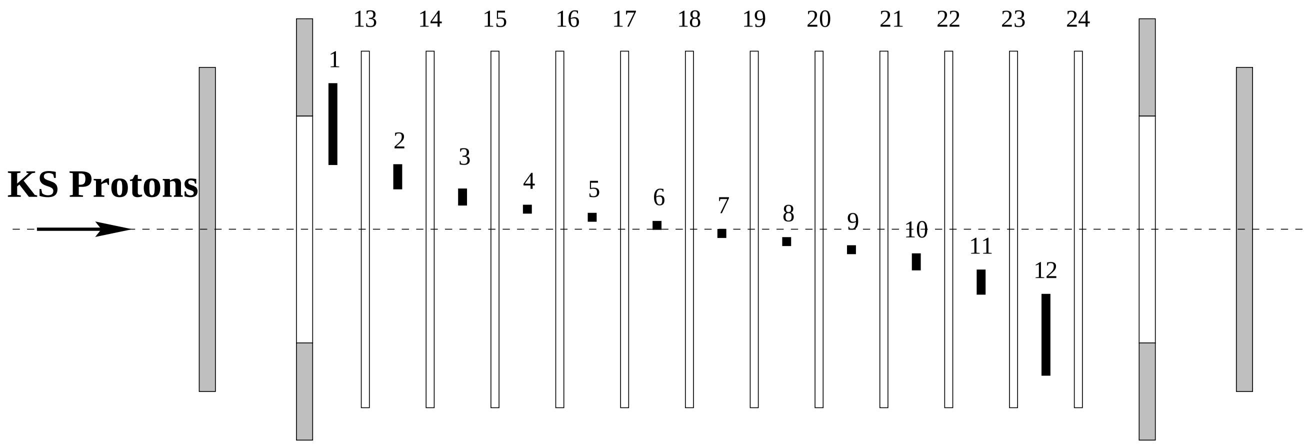


Il Rivelatore



- $K_{\mathrm{L,S}} \to \pi^+\pi^-$
  - spettrometro magnetico ($\mathrm{P}_\perp{}^{kick} \sim 256MeV/c$)
  - il tempo dell'evento è misurato con un odoscopio di scintillatori
- $K_{\mathrm{L,S}} \to \pi^0\pi^0$
  - calorimetro e.m. quasi-omogeneo a Krypton liquido :
    - alta granularità (13212 celle $2 \times 2\,cm^2$)
    - geometria proiettiva
- contatori per muoni per il fondo $\mathrm{K}_{\mu 3}$ ai $\mathrm{K_L} \to \pi^+\pi^-$

Il Tagger

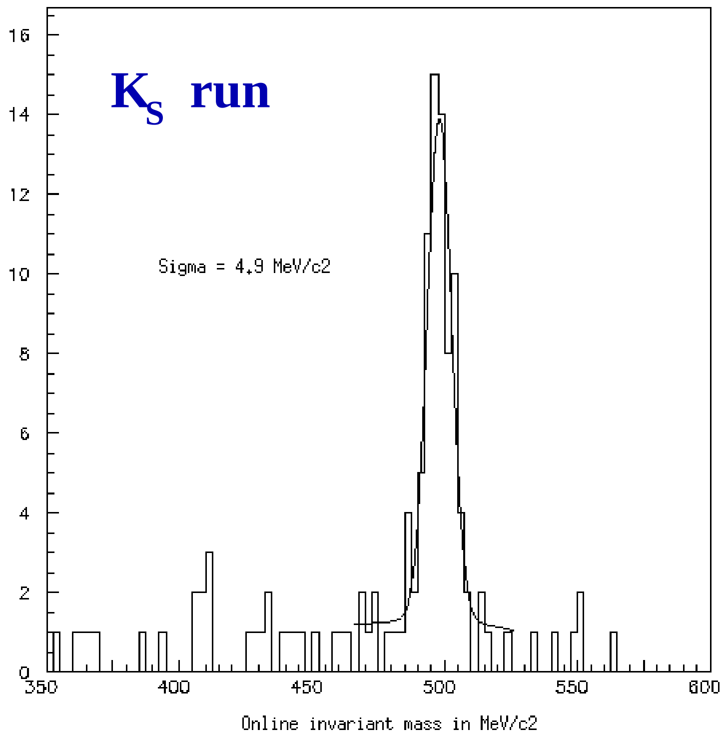


Il Tagger è formato da due “scalette”, una orizzontale ed una verticale, ciascuna composta da 12 scintillatori

- Almeno 2 hits per protone (uno nella scaletta verticale ed uno in quella orizzontale)
- Spessore dei contatori: variabile (200-3000 μm) in modo da seguire il profilo del fascio, per equalizzare i conteggi sui contatori (1-2 MHz)
- Readout con FADC ad 8 bit e ad 1 GHz
- Prestazioni:
  - Risoluzione sul singolo contatore: $\approx$ 140 ps
  - Risoluzione di 2 hits vicini sullo stesso contatore: fino a 4-5 ns

Trigger Carico

- Livello 1 : Odoscopio ed Energia Totale nei calorimetri
- Livello 2 : tracking veloce nello spettrometro
  hardware coordinate builder
  farm di processori : ricostruzione del vertice e della massa invariante



Run '97

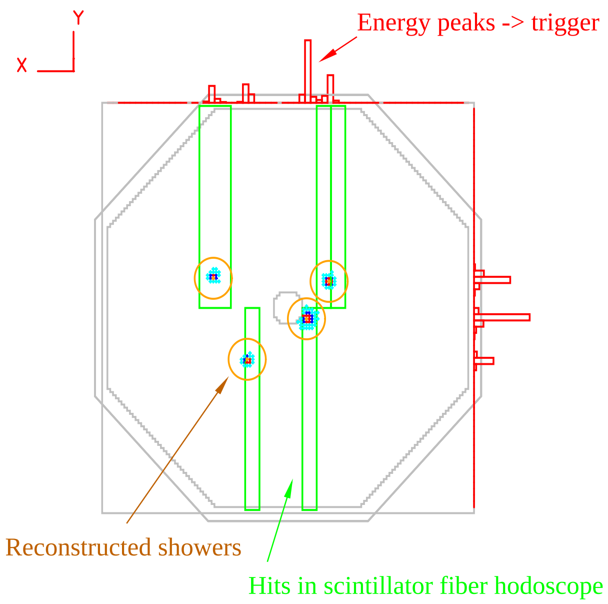
- Rates tipici del Livello 2
  - rate di decadimenti dei K_L nel rivelatore : $\sim$ 500 kHz
  - output dal Livello 1 : $\sim$ 70 KHz
  - Fattore di reiezione del Livello 2 :$\sim$ 50
  - Tempo morto $\sim$ 1 % (applicato ai neutri)
- Efficienza combinata di $L1 \cdot L2$:
  - K_S : $(90.61 \pm 0.08)\%$
  - K_L : $(90.66 \pm 0.10)\%$

Trigger Neutro

Trigger basato sulle informazioni delle celle del calorimetro.

- ✥ Riduce l'informazione del calorimetro a 64 proiezioni verticali e 64 orizzontali.

- ✥ Sono calcolati :
  - Il numero di clusters in tempo in ogni proiezione
  - L'energia totale nel calorimetro
  - La posizione del vertice di decadimento



Run '97 :

Input rate $\sim$ 500 kHz di decadimenti K_L nel rivelatore.

Output rate $\sim$ 2 kHz

Efficienza $\approx$ 99.9 %

Il Run 1997

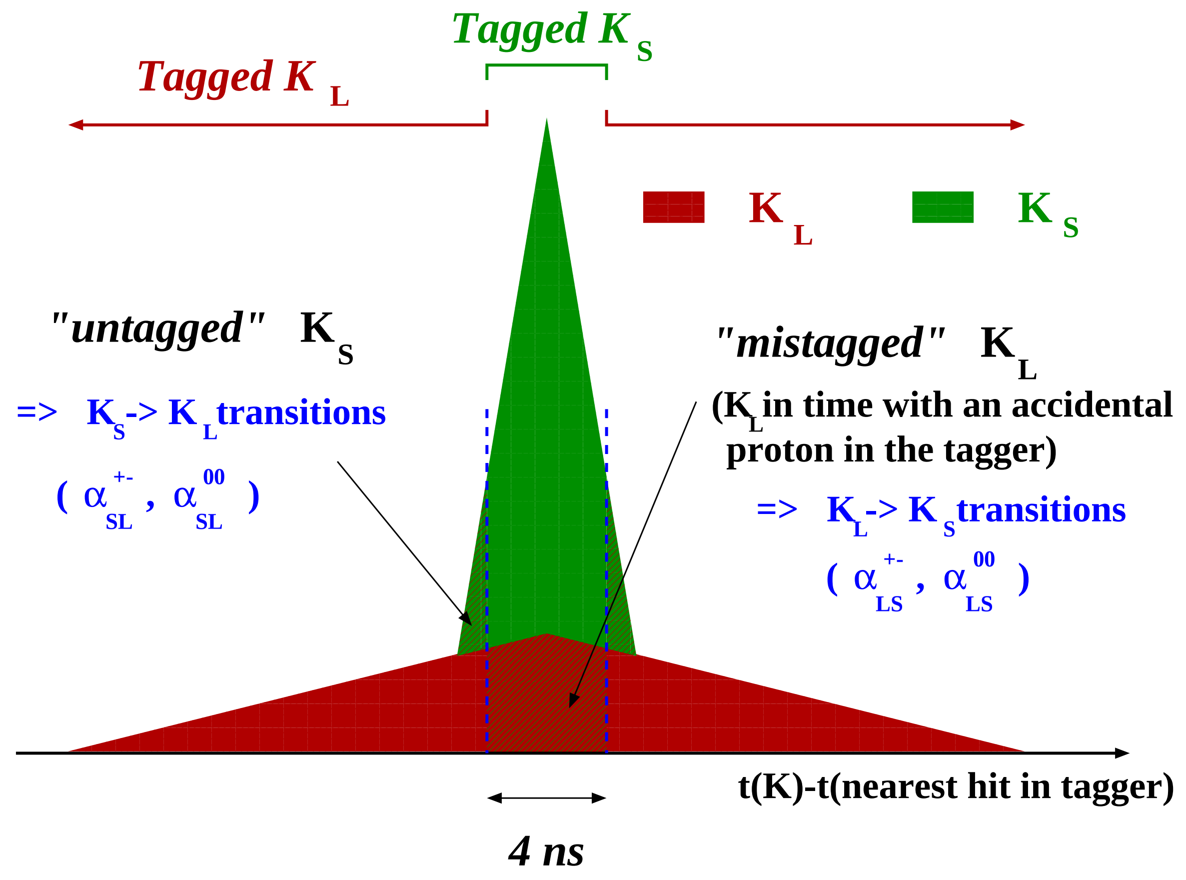
Settembre/Ottobre 1997 : primo run per Re(ε'/ε)

- Istallazione e messa in funzione dell'intero Read-out del LKr

- 2/3 dell'intensità nominale dei fasci
- 42 giorni di presa dati
- 25 Tbytes di dati scritti su nastro
  - Read-out 80 Mbytes/s
  - $\sim$ 12 K eventi registrati per spill

$\Rightarrow \sim 650\,000\ \mathrm{K_L} \rightarrow \pi^0\pi^0$ con $\begin{cases} 70\,GeV < E_K < 170\,GeV \\ 0 < \tau < 4.0\tau_S \end{cases}$

Il Tagging

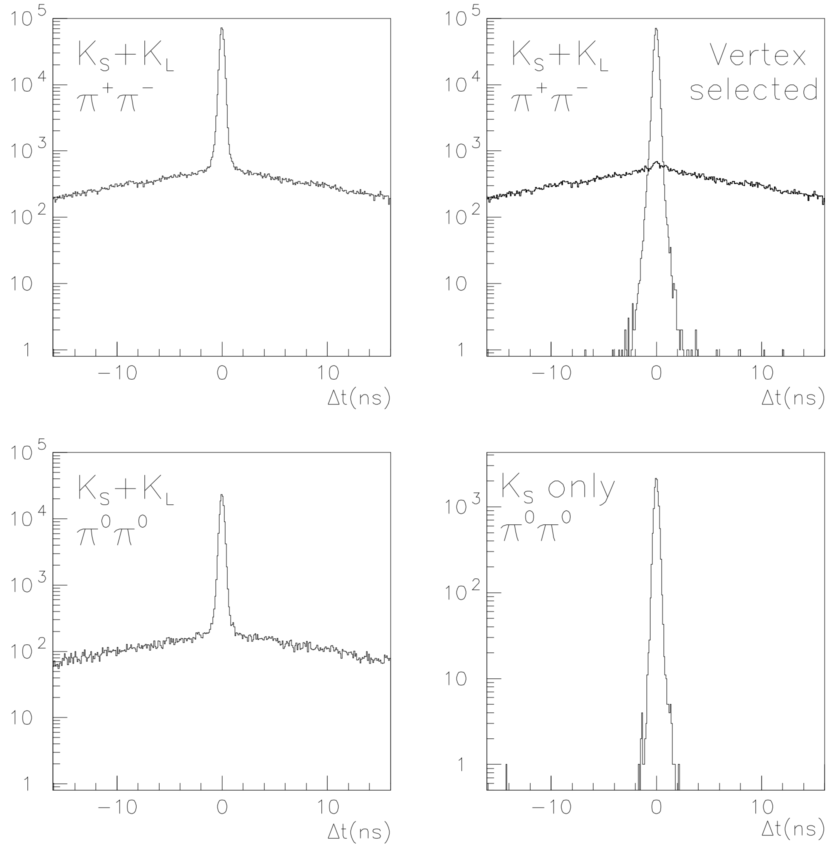


- Le transizioni $\mathrm{K_L} \rightarrow \mathrm{K_S}$ “diluiscono” il valore di R

- Vi sono errori significativi sul doppio rapporto R solo se vi sono grandi differenze tra i decadimenti carichi e neutri

$$\Delta({\alpha_{LS}}^{00} - {\alpha_{LS}}^{+-}) = 5 \times 10^{-4} \Rightarrow \Delta(\mathrm{Re}(\varepsilon'/\varepsilon)\ ) \simeq 1.5 \times 10^{-4}$$

Il Tagging : continua



✦ Decadimenti Carichi : K_L e K_S sono distinti con precisione dalla posizione del vertice ricostruito.

$$\alpha_{SL}{}^{+-} \sim (1.4 \pm 0.1) \times 10^{-4}$$
$$\alpha_{LS}{}^{+-} \sim (11.20 \pm 0.03)\ \%$$

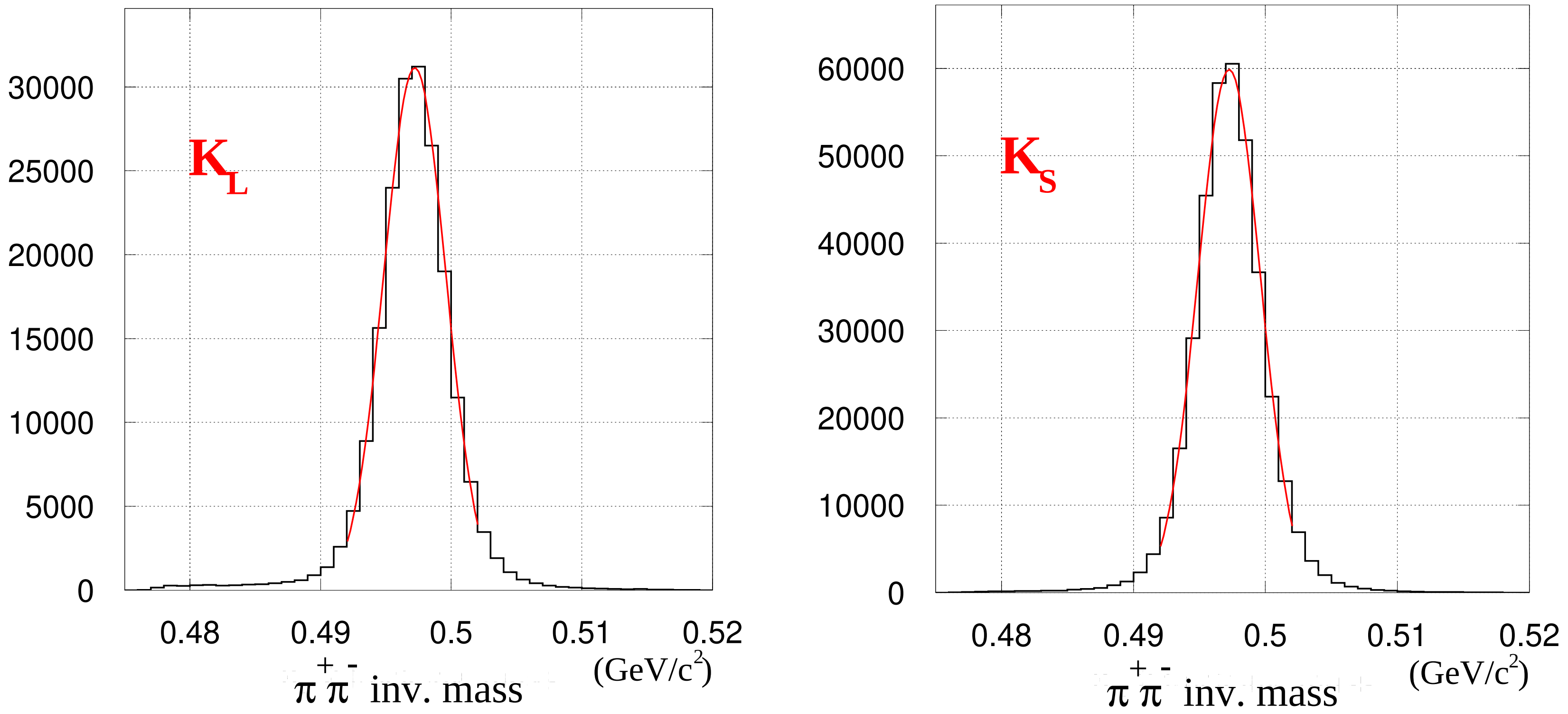
✦ $(\alpha_{LS}{}^{00} - \alpha_{LS}{}^{+-})$ è misurato con una precisione di 5.10^{-4} usando le finestre temporali ai lati della finestra di tagging.
Come controllo sono anche usati i decadimenti in $3\pi^0$.

✦ $\alpha_{SL}{}^{00}$ è misurata usando $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^- \gamma$ e conversioni dei γ

✦ L'errore totale dovuto al tagging su $\mathrm{Re}(\varepsilon'/\varepsilon) \lesssim 2.10^{-4}$ (dominato dalla statistica dei dati usati per controllare le prestazioni del tagger)

$K_{\mathrm{L,S}} \to \pi^+\pi^-$: **prestazioni dello spettrometro**

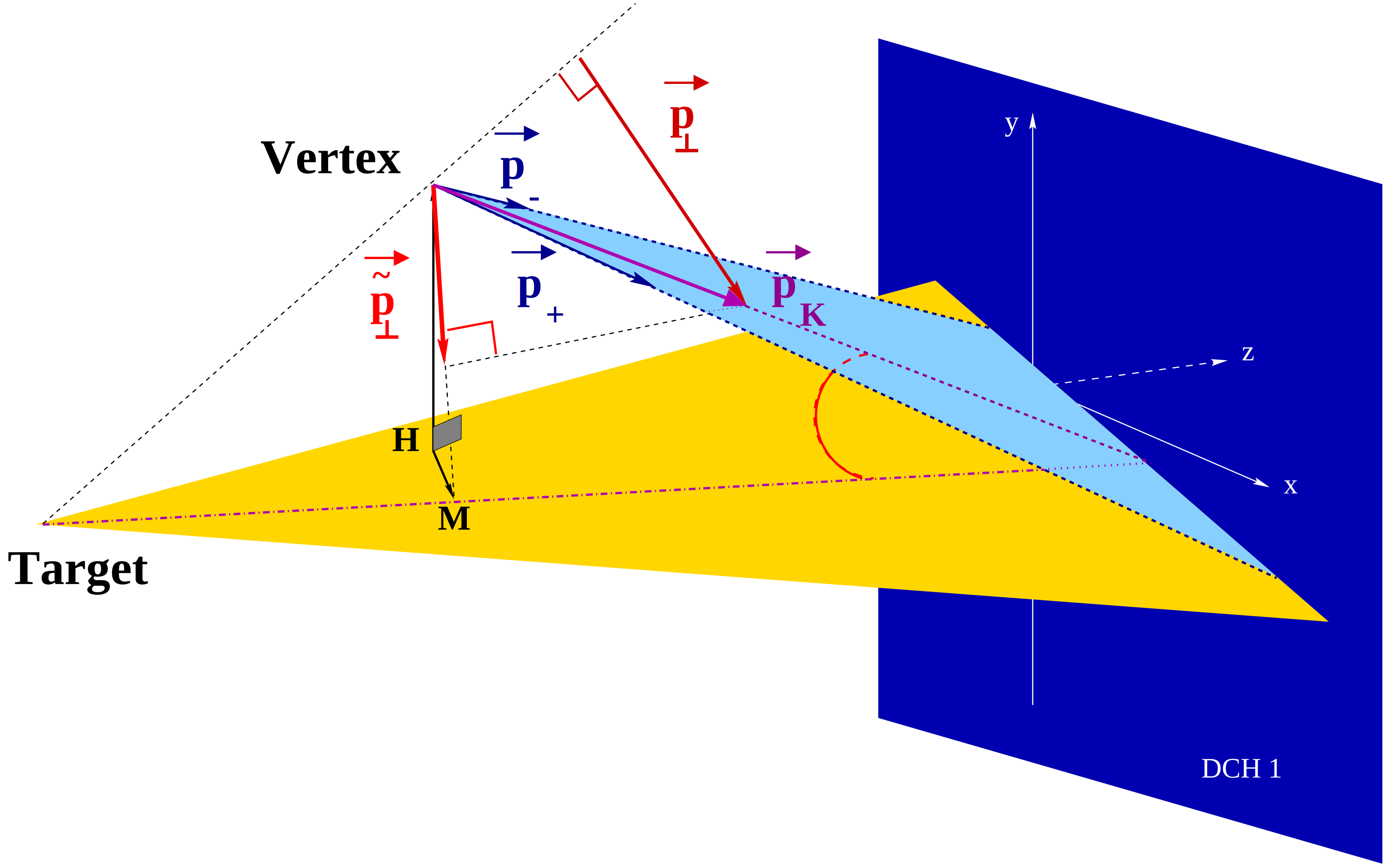
Risoluzione sulla massa invariante : $\sim 2.5\ \mathrm{MeV/c^2}$



$$\frac{\sigma(\mathrm{P})}{\mathrm{P}} = 0.48\ \% \oplus 0.009\ \mathrm{P[GeV/c^2]}\ \%$$

(dallo scan di e^- a 25 e 100 GeV)

Fondo nei carichi : $P_{\perp}{}^2$



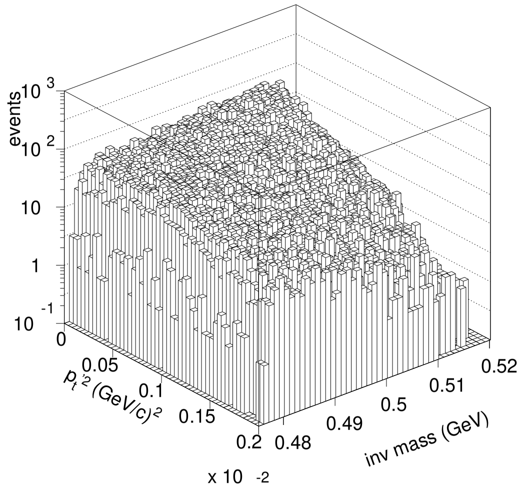
A causa della posizione differente delle targhette, $P_{\perp}{}^2$ è molto diverso per K_S e K_L .
$\tilde{P}_{\perp}{}^2$: è una variabile più adatta

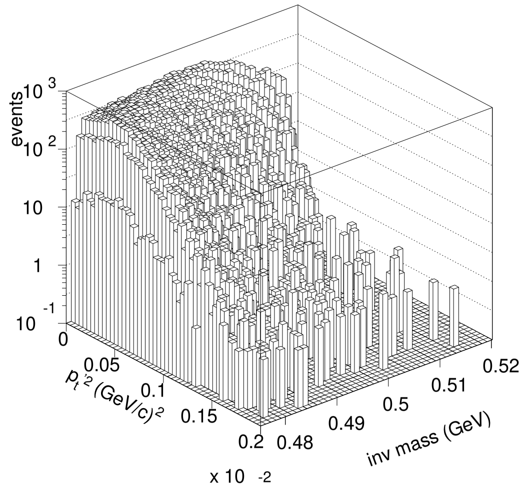
Fondi nei Carichi : $P_\perp{}^2$ vs Massa Invariante

K_{e3} & $K_{\mu3}$ sono $\sim 10^2$ volte più frequenti di $K_L \to \pi^+\pi^-$

I K_{e3} sono identificati dall'(E/P)

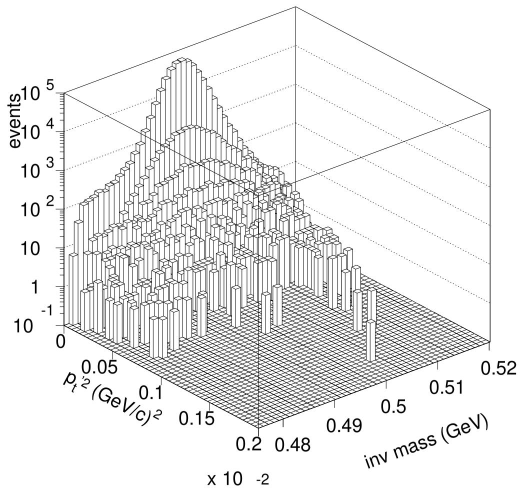
I $K_{\mu3}$ sono identificati dai contatori per muoni



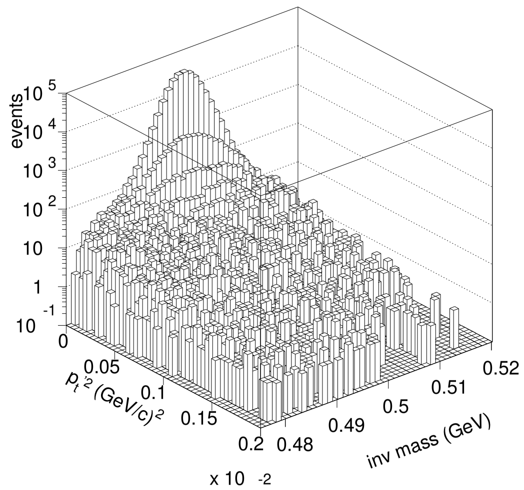


L'aspetto dei fondi è stimato nel piano massa invariante verso $P_\perp{}^2$ con campioni selezionati di K_{e3} e $K_{\mu3}$.

$K_S \to \pi^+\pi^-$

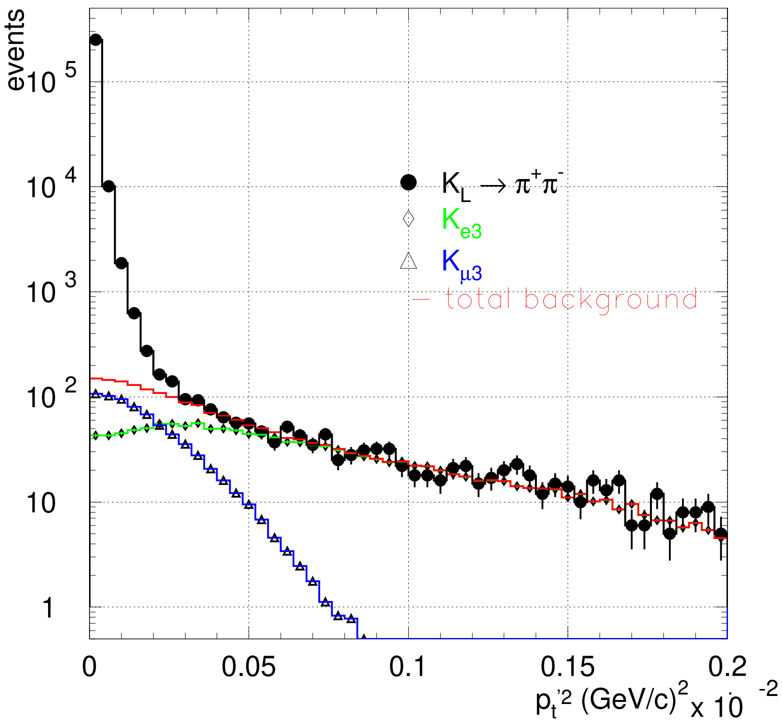


$K_L \to \pi^+\pi^-$
(+ fondo)



La quantità di fondi K_{e3} e $K_{\mu3}$ è quindi stimata nelle regioni di controllo ed estrapolata nella regione di segnale.

Fondi nei Carichi : Stima

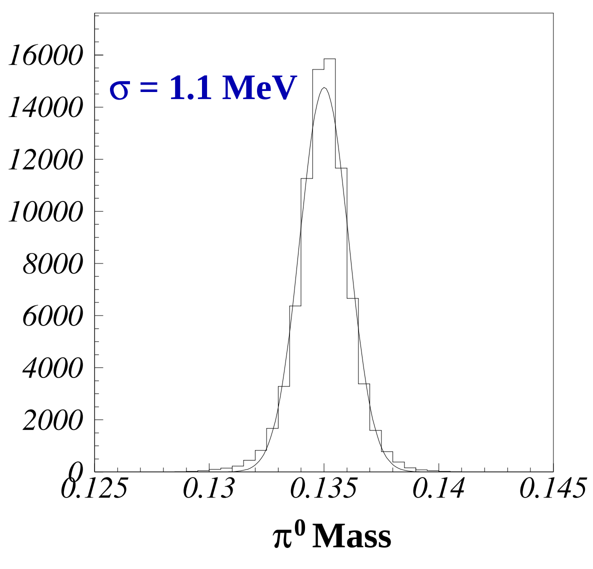


Il fondo nei carichi è al livello $\lesssim 0.3\%$

Il Calorimetro e.m.

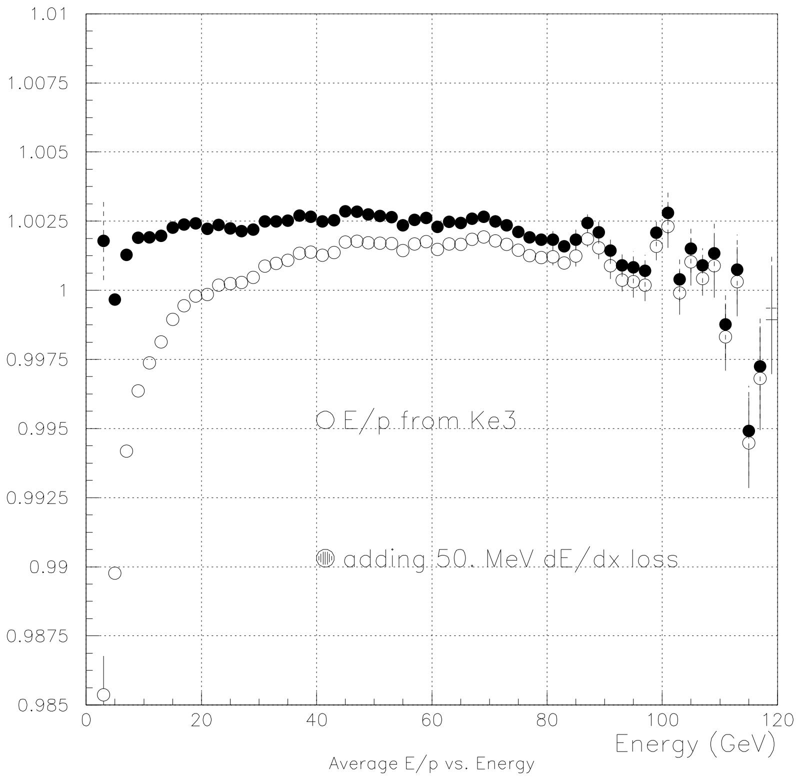
- Funzionamento :
  - L'HV (1.5 kV) è stata ridotta a causa di un problema con i condensatori
    - $\Rightarrow$ aumento di circa il 20% nel rumore elettronico
    - $\Rightarrow$ piccolo effetto di carica spaziale ($< 0.5\%$)
  - Una colonna (larga 4 cm) è risultata non connessa all'HV
- Calibrazione :
  - Il guadagno elettronico è stato controllato regolarmente
  - È stato applicato un fattore di correzione per cella basato sui K_{e3} per migliorare la risoluzione
- Ricostruzione

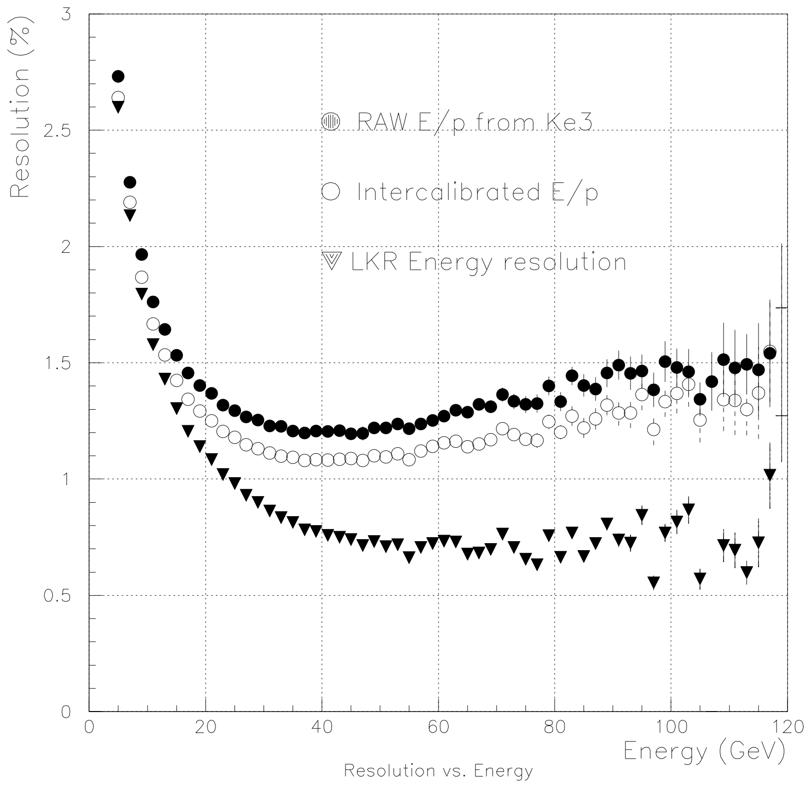
  $K_{L,S} \rightarrow 2\pi^0 \rightarrow 4\gamma$
  - La posizione del vertice è ricostruita imponendo la massa del K
  - I fotoni sono accoppiati per ottenere la migliore combinazione per i π^0



Linearità e Risoluzione

Con gli elettroni dai K_{e3}



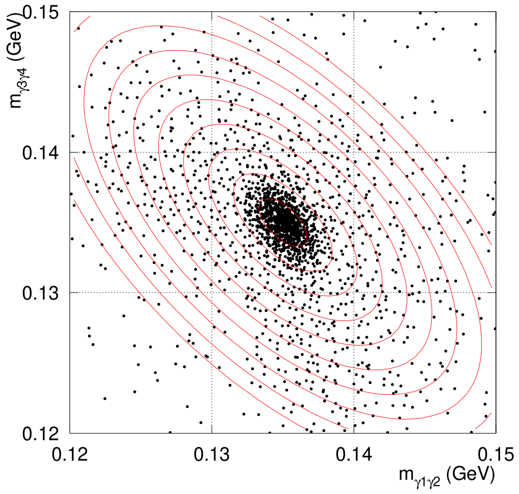


$5 \rightarrow 100$ GeV : lineare entro ~ 0.2 %.

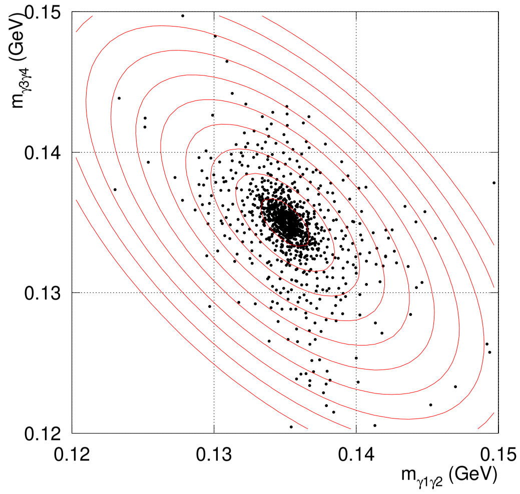
$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{3.5\%}{\sqrt{E}} \oplus \frac{110 MeV}{E} \oplus 0.6\%$$

Fondo nei Neutri

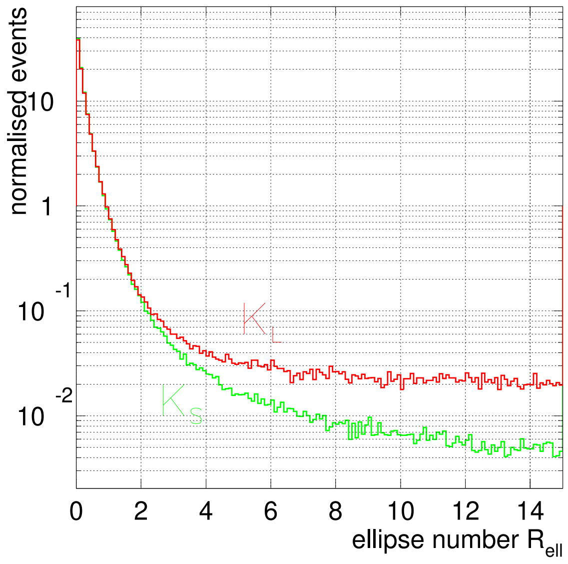
K_L



K_S



$$R_{ell} \equiv \frac{1}{9}\left\{\left(\frac{\frac{m_1+m_2}{2}-m_{\pi^0}}{\sigma_{\frac{m_1+m_2}{2}}}\right)^2+\left(\frac{\frac{m_1-m_2}{2}}{\sigma_{\frac{m_1-m_2}{2}}}\right)^2\right\}$$



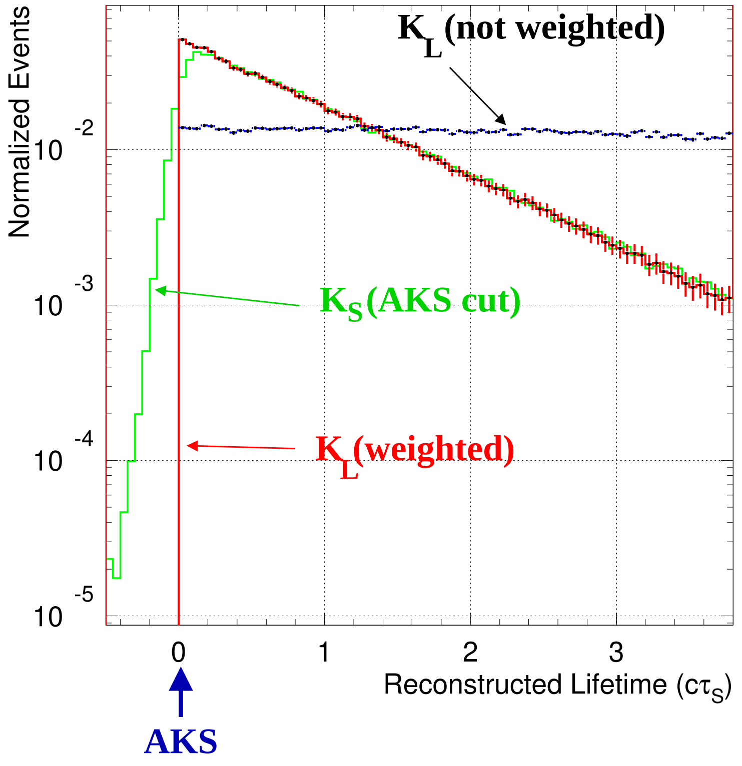
Regione segnale: $R_{ell} < 1.5$

Livello Fondo

non pesato $\sim 3.10^{-3}$

pesato $\lesssim 1.10^{-3}$

Pesatura dei K_L con il tempo proprio



- Pesatura $\Rightarrow$ le distributioni in z dei vertici K_S e K_L divengono simili
  - riduce le correzioni di accettanza a meno del .5 %
  - prezzo : aumenta l'errore statistico (fino al 40 % con $c\tau < 4\, c\tau_S$)

- L'uso del contatore di veto AKS consente una determinazione accurata dell'inizio del volume fiduciale per i decadimenti K_S

$\Rightarrow$ riduce significativamente la sensibilità del doppio rapporto alla scala delle distanze

Scala di Energia

- Scala di Energia Neutra $\Leftrightarrow$ Scala della Distanza (imponendo la massa del K)

- Per assicurare che non vi sia alcun effetto sul doppio rapporto, la scala neutra media delle distanze deve essere conosciuta a $\approx$ pochi 10^{-4}

- La scala di energia può essere aggiustata nei dati fittando la posizione nota dell'AKS che definisce l'inizio della regione di decadimento dei K_S indipendentemente dalle energie ricostruite.

- La stabilità della scala di energia con il tempo è $\approx \pm 5.10^{-4}$ picco-picco (le variazioni possono essere corrette usando il metodo suddetto).

- Runs speciali (con fasci di π^- su una targhetta sottile producono π^0 e η di origine nota) sono usati per controllare la scala di energia e gli effetti sistematici.

Altre sorgenti di sistematiche

- Attività accidentale differente per $\mathrm{K_L}$ e $\mathrm{K_S}$

– studiata sovrapponendo eventi buoni con eventi “random”

- Correzioni di accettanza (piccole differenze nella forma dei fasci $\mathrm{K_L}$ e $\mathrm{K_S}$) :

– usando simulazioni MC

Conclusioni dai dati ’97

- L’analisi di ε'/ε non è ancora finita.
- Ci si aspetta un valore di ε'/ε dai dati ’97 con una precisione paragonabile a quella degli esperimenti della generazione precedente

Il Run 1998

Miglioramenti

- sostituzione di tutti i condensatori di blocco del calorimetro a LKr

$\Rightarrow$ funzionamento stabile a 3 kV

- Nuova beam pipe in fibra di carbonio

$\Rightarrow$ riduzione del $\sim$ 30 % della corrente nelle drift chambers

- Miglioramento del trigger carico di Livello 2 : processori a 200 MHz

$\Rightarrow$ input rates più alti

$\Rightarrow$ algoritmo più complesso (vi e' anche un trigger per 4 tracce)

- Nuovo sistema di DAQ : Event-builder PC farm

$\Rightarrow$ sopporta un transfer rate di 20 Mbytes/s

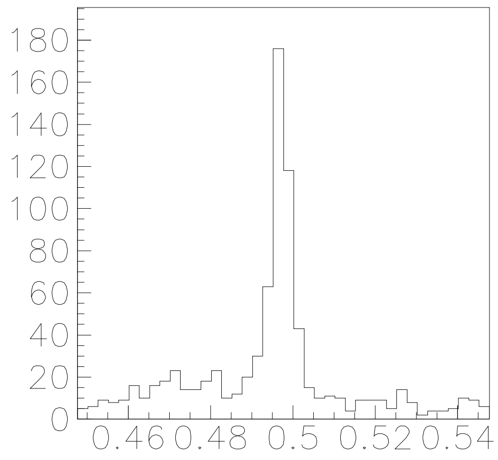
$\Rightarrow$ il trigger rate è aumentato del $\sim$ 30 %

Risultati

- la presa dati è durata da metà Maggio fino a Settembre
- $\sim 2\ 10^6\ K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$
- 75 Tbytes di dati registrati e già riprocessati
- l'analisi dei dati 98 è iniziata

$K_L \to \pi^+\pi^-e^+e^-$

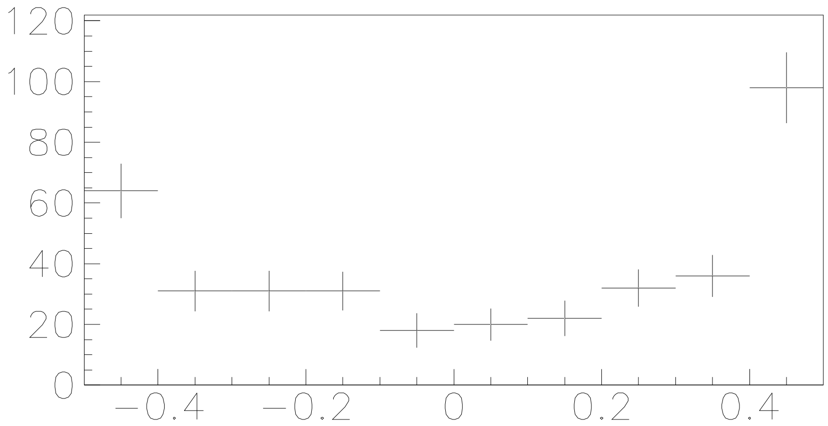
- Ci si aspetta una grande ($\approx$ 14%) asimmetria nell'angolo tra il piano (π^+,π^-) e quello (e^+,e^-), con violazione di CP e T (violazione indiretta di CP $\Leftrightarrow \epsilon$), già osservata da KTeV
- Nel 98, sono stati presi dati con un trigger a 4 tracce per studiare questo decadimento
- Il fondo principale è $K_{\mathrm{L}} \to \pi^+\pi^-\pi^0{}_D$ con un γ mancante



$M_{\pi^+\pi^-\mathrm{e}^+\mathrm{e}^-}(GeV)$

$\approx \frac{2}{3}$ della statistica 98 $\to \approx$ 380 eventi di segnale con un fondo di $\approx$ 70 eventi.
BR (Preliminare) $= (3.13 \pm 0.23(stat)) \times 10^{-7}$
(la stima dell'errore sistematico è allo studio)

$K_L \to \pi^+\pi^-e^+e^-$



cos(ϕ)sin(ϕ)

- Distribuzione di cos(ϕ)sin(ϕ)
- ϕ è l'angolo tra i piani di decadimento di $(\pi^+ - \pi^-)$ e $(e^+ - e^-)$
- La distribuzione mostrata non è corretta per l'accettanza

Conclusioni

- L'analisi di ε'/ε sui dati 97 non è ancora finita.

- ≈ 3 volte più dati sono stati raccolti nel 98, l'analisi sta iniziando

- La presa dati per ε'/ε continuerà nel 1999 e nel 2000 (~ 120 giorni/anno) per raggiungere una precisione di 2×10^{-4}