

Congressino di Sezione
INFN Torino, 8 gennaio 2004

NA48/2 - Misure di precisione dei
parametri di decadimento dei Kaoni
carichi

Cristina Biino

NA48 (Pisa, Settembre, 2003)



The NA48 collaboration: Cambridge, CERN, Chicago, Dubna, Edinburgh, Ferrara, Firenze, Mainz, Northwestern, Perugia, Pisa, Saclay, Siegen, Torino, Wien

Sommario

- Introduzione - fisica e situazione sperimentale
- Strategia della misura
- Set-up sperimentale: fasci e rivelatore
- Presa dati
- Stato dell'analisi dell'asimmetria
- Esempi di analisi di alcuni decadimenti rari, decadimenti semileptonici, ...
- Conclusioni

Il programma di fisica di NA48/2

➤ **Violazione di CP Diretta**

in $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$, $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$

$$A_g = \frac{g^+ - g^-}{g^+ + g^-}$$

dove g è un parametro caratteristico della distribuzione di Dalitz

$\delta(A_g) \approx 10^{-4}$ (limitato dall'errore **statistico**)

Teoria: predizioni per A_g fra 10^{-6} e 10^{-4}

Richieste all'esperimento:

- *alta statistica* ($> 2 \cdot 10^9$ decadimenti)
- *stabilità temporale del fascio e del rivelatore*
- *simmetria del set-up sperimentale*

Dalitz Plot per $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$

$$|M(u,v)|^2 \propto 1 + g \cdot u + h \cdot u^2 + k \cdot v^2$$

Elemento di matrice del decadimento

Usando gli impulsi misurati,
si definiscono gli invarianti

$$s_i = (P_K - P_{\pi_i})^2; \quad (s_3 = \pi \text{ dispari})$$

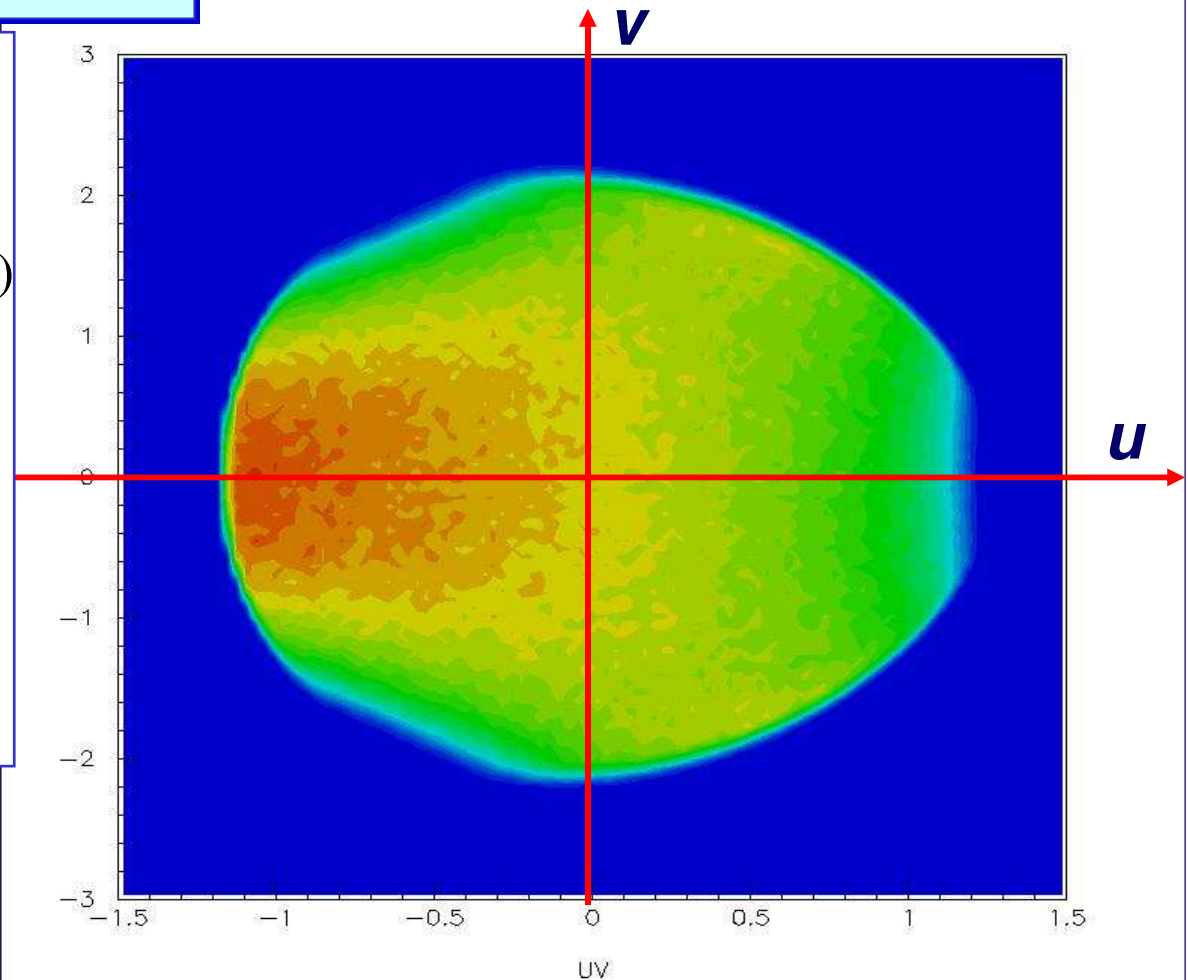
$$s_0 = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{3};$$

e quindi le variabili di Dalitz

$$u = (s_3 - s_0) / m_\pi^2$$

$$v = (s_1 - s_2) / m_\pi^2$$

$$A_g = \frac{g^+ - g^-}{g^+ + g^-}$$



Definizione di asimmetria nel decadimento $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$

$$\frac{N^+(u)}{N^-(u)} \propto \frac{a^+(u) (1 + g^+ \cdot u)}{a^-(u) (1 + g^- \cdot u)}$$

$$A_g = \frac{g^+ - g^-}{g^+ + g^-}$$

se $a^+(u) = a^-(u)$ l'accettanza si semplifica

slope

$$R(u) = N^+(u) / N^-(u) \sim 1 + \Delta g \cdot u$$

$$\Delta g = (g^+ - g^-) \approx 2g \cdot A_g$$

$$R(0) = 1 \quad \text{normalizzazione}$$

$$g \approx -0.2$$

$$-1.170 < u < 1.267$$

Situazione sperimentale

A_g

$K^\pm \rightarrow (3\pi)^\pm$ BR $(5.576 \pm 0.031) \%$

- Ford (1970) -0.0070 ± 0.0053 (80% stat., 3M eventi)
- FNAL E871 (2000, unpubl., 54M eventi) $(2.2 \pm 1.5 \pm 3.7) 10^{-3}$
- KLOE 2000-2002: 400 pb^{-1} con 10^6 $K^- K^+$ per pb^{-1}
- NA48/2 primo esperimento con fasci K^\pm simultanei: goal 10^9 eventi
→ $\delta(A_g) \approx 10^{-4}$

A_g^0

$K^\pm \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^\pm$ BR $(1.73 \pm 0.04) \%$

- PDG 0.03 ± 0.05
- Protvino prel. $(0.3 \pm 2.5 \pm 1.5) 10^{-3}$ $< 0.5 \text{ M}$ eventi
- KLOE 2000-2002: 400 pb^{-1} con 10^6 $K^- K^+$ per pb^{-1}
- NA48/2 : goal 10^8 eventi → $\delta(A_g^0) \approx 10^{-4}$

Goals secondari

➤ K_{e4} misura della lunghezza di scattering $\pi\text{-}\pi$ $\delta(a_0^0) < 1 \cdot 10^{-2}$
statistica richiesta $> 10^6$ (430k)

➤ Decadimenti **Rari** per verificare χPT & cercare **A_{CP}**

$$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \gamma \gamma, \quad K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \gamma_{DE}$$

$$K^\pm \rightarrow \pi^\pm e^+ e^-, \quad K^\pm \rightarrow \pi^\pm \mu^+ \mu^-, K_{e2}^\pm$$

$$K^\pm \rightarrow l^\pm \nu l^+ l^-$$

$$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \gamma \gamma, \quad K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 l^+ l^-, \dots \text{etc.}$$

➤ BR dei Decadimenti **Semileptonici**: $K_{e3}^\pm, K_{\mu 3}^\pm$

per migliorare la precisione su $|V_{us}|$

& check l'unitarietà di **CKM**

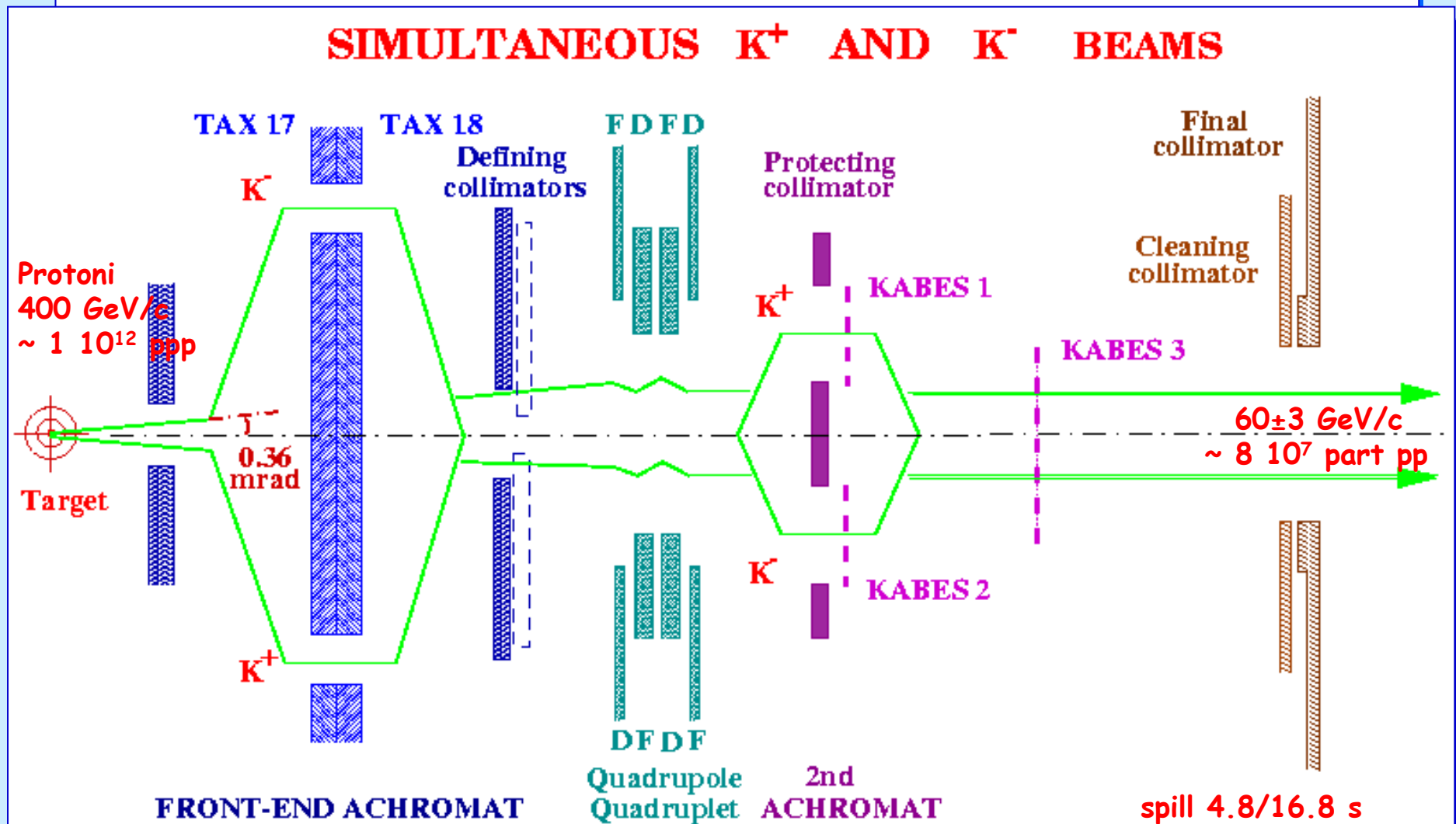
Approccio sperimentale

In caso di simmetria fra K^+ e K^- si ottengono cancellazioni di diversi effetti sistematici

- Fasci simultanei e collineari di K^+ e K^-
- Presa dati simultanea per decadimenti di K^+ e K^- provenienti dalla stessa regione di decadimento
- Focusing e steering del fascio ripetuti frequentemente
- Campo magnetico nel quadr. acromatico invertito ogni settimana
- Allineamento fascio-spettrometro
- Campo magnetico dello spettrometro invertito ogni 24 ore
- Spettrometro di alta risoluzione
- Calorimetro di alta precisione
- Spettrometro di fascio (KABES) per misurare il momento dei K e permettere la ricostruzione di eventi in cui si perde un pione
- Analisi dati in intervalli di momento del K

I Fasci della nuova beam-line

Sezione verticale : gli assi dei fasci vengono fatti coincidere entro $\sim 1\text{mm}$



Profili dei fasci alla DCH1

achromat: K^+ Down (H_D)

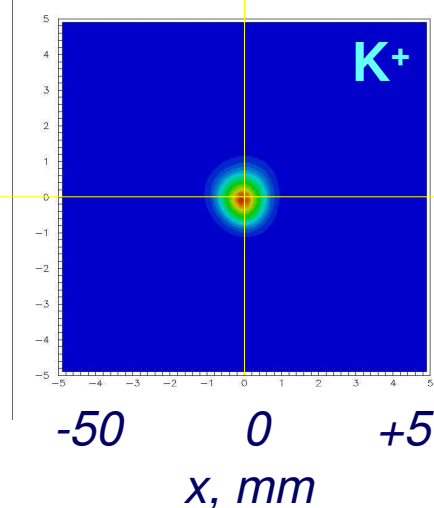
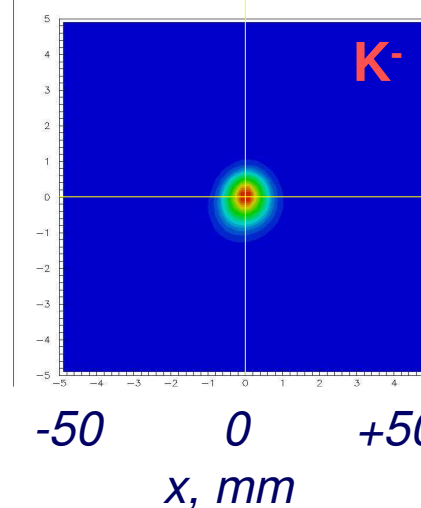
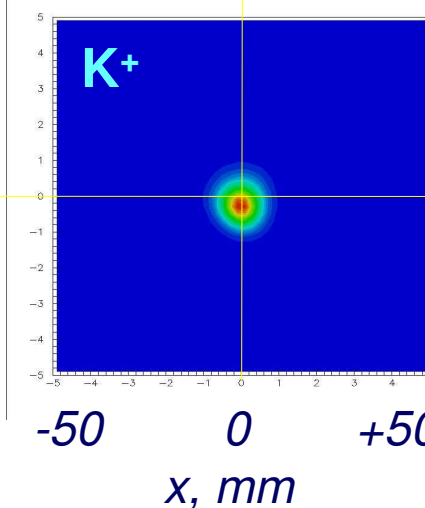
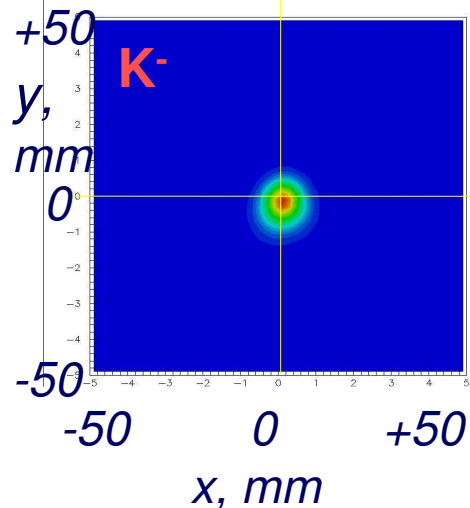
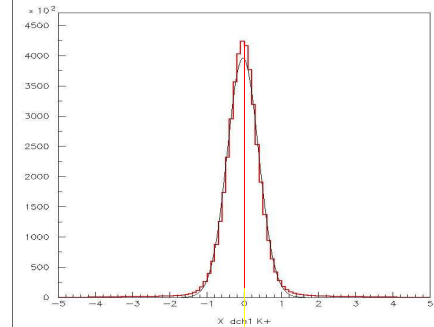
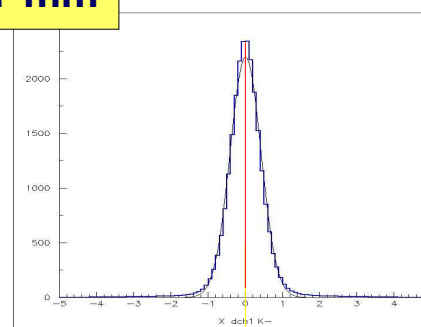
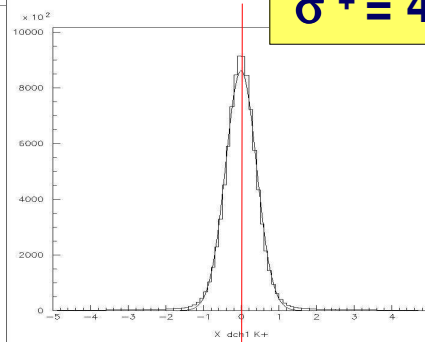
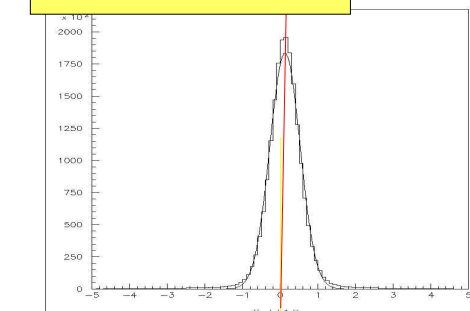
achromat: K^+ Up (H_U)

$$\langle x^- \rangle = 1.23 \pm 0.01, \text{ mm}$$

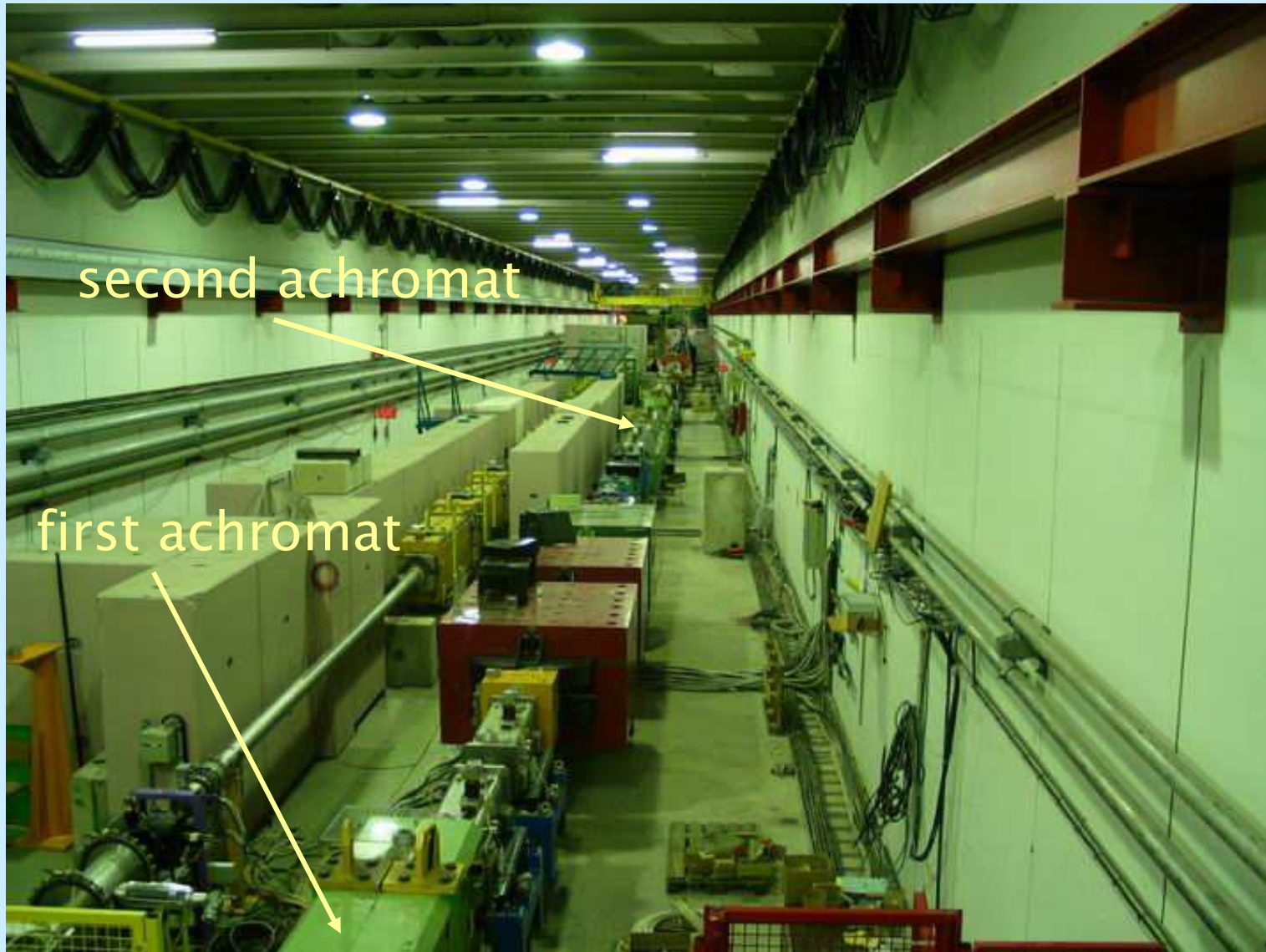
$$\langle x^+ \rangle = -0.08 \pm 0.01, \text{ mm}$$

$$\sigma^- = 4.0 \text{ mm}$$

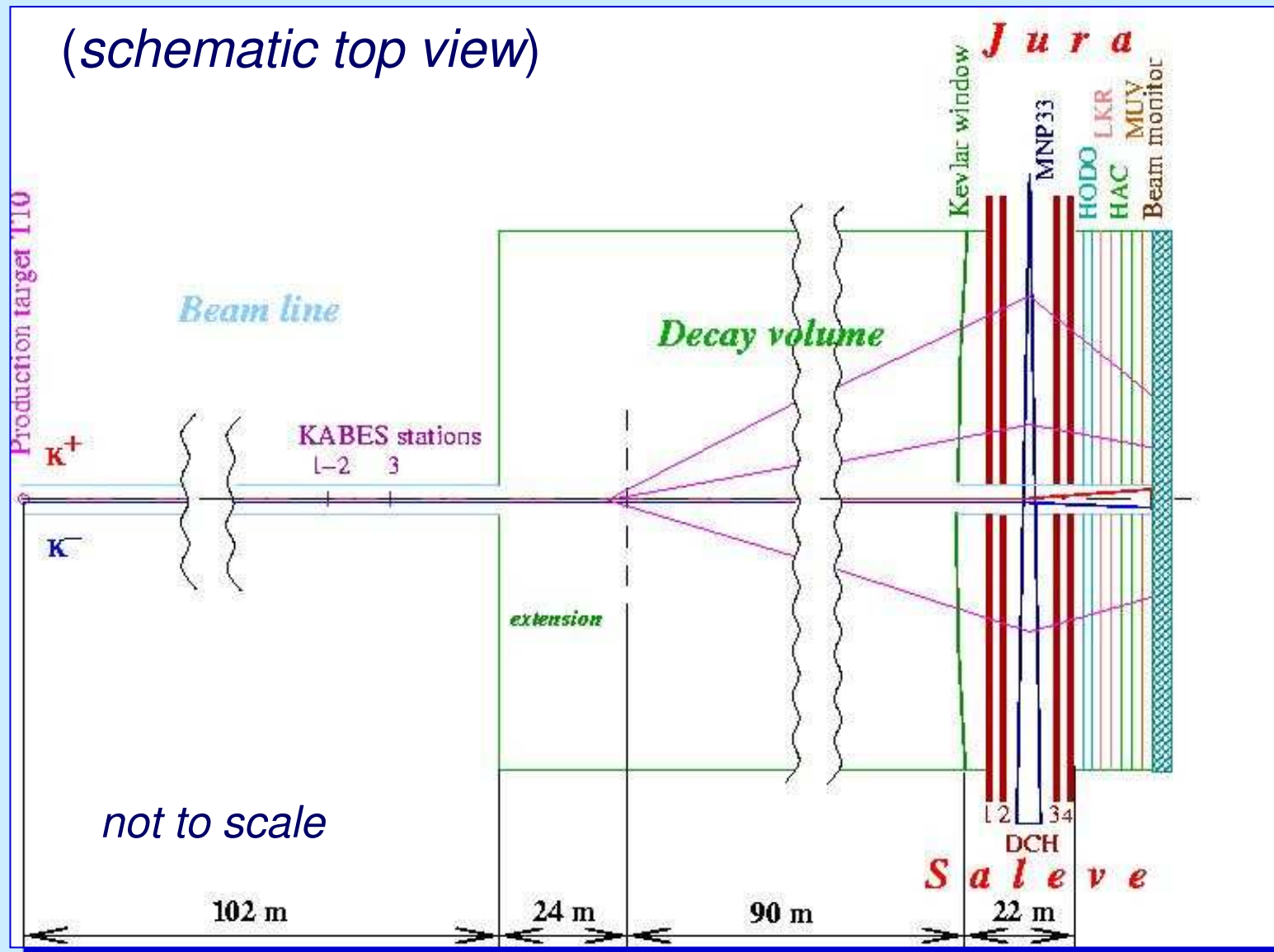
$$\sigma^+ = 4.1 \text{ mm}$$



La nuova linea dei fasci costruita per NA48/2



Upgraded NA48 set-up



KAon BEam Spectrometer

moved out by ~20 cm

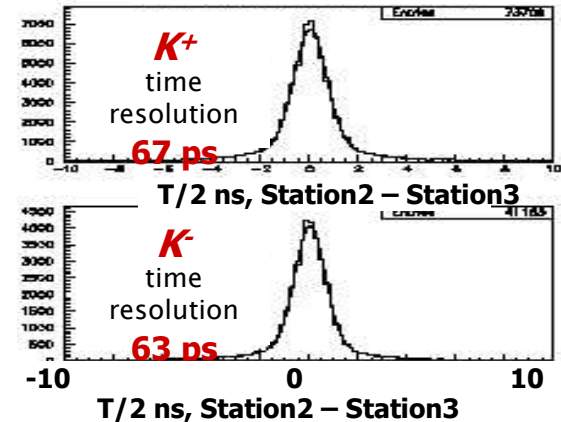


entrance window

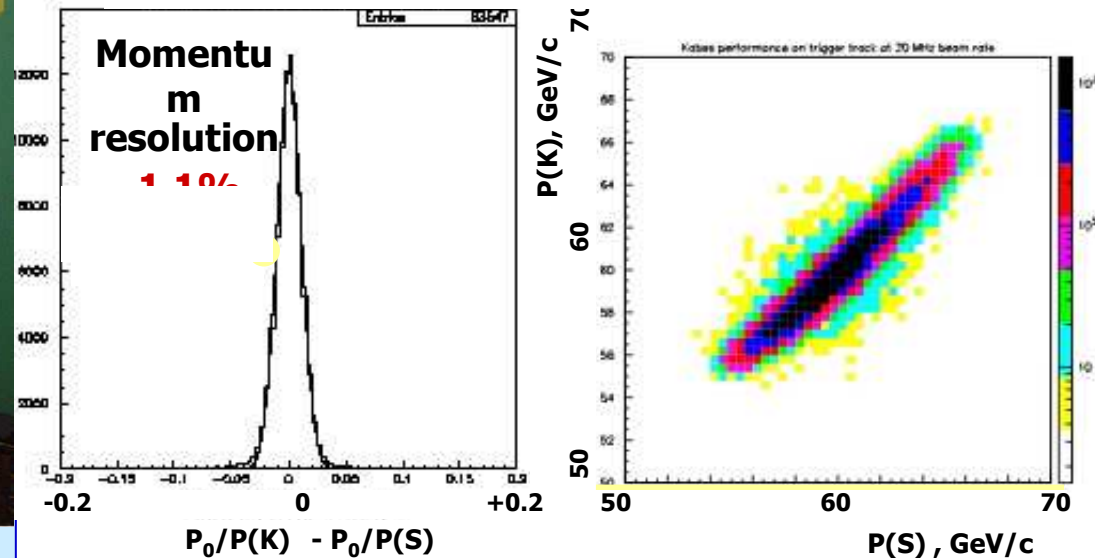
Congressino INFN Torino

K^+ , K^-
X,Y space
resolution
<100 mm

Beam rate ~20 MHz

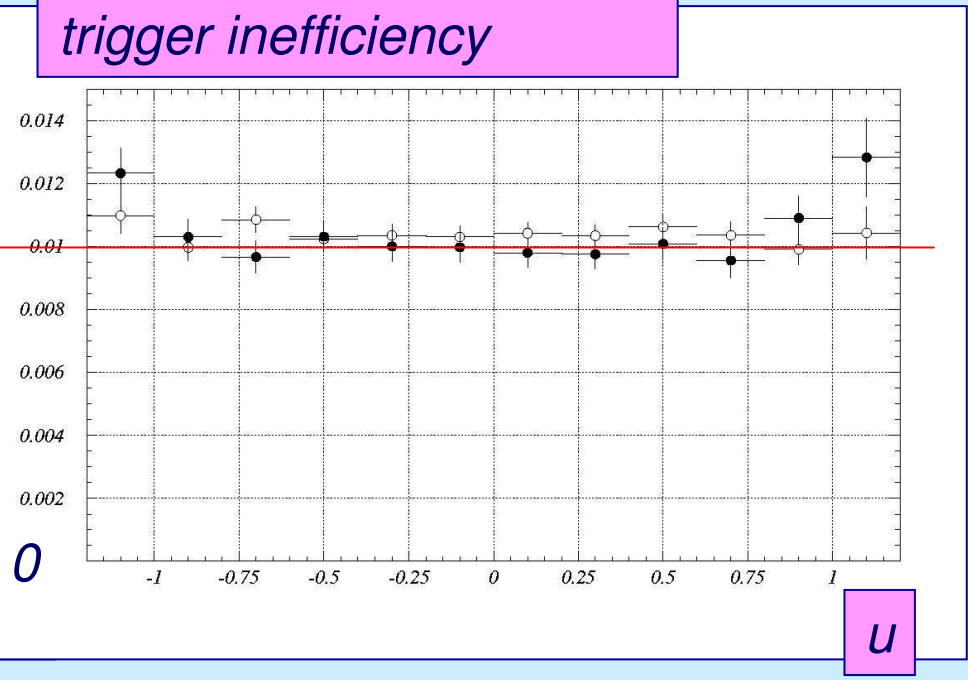
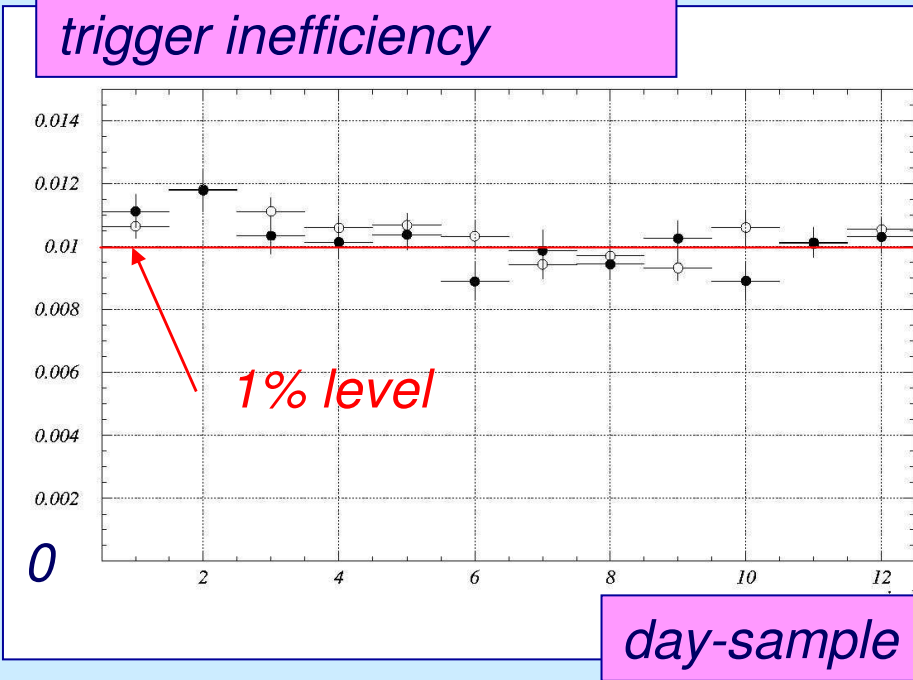


Beam rate ~20 MHz

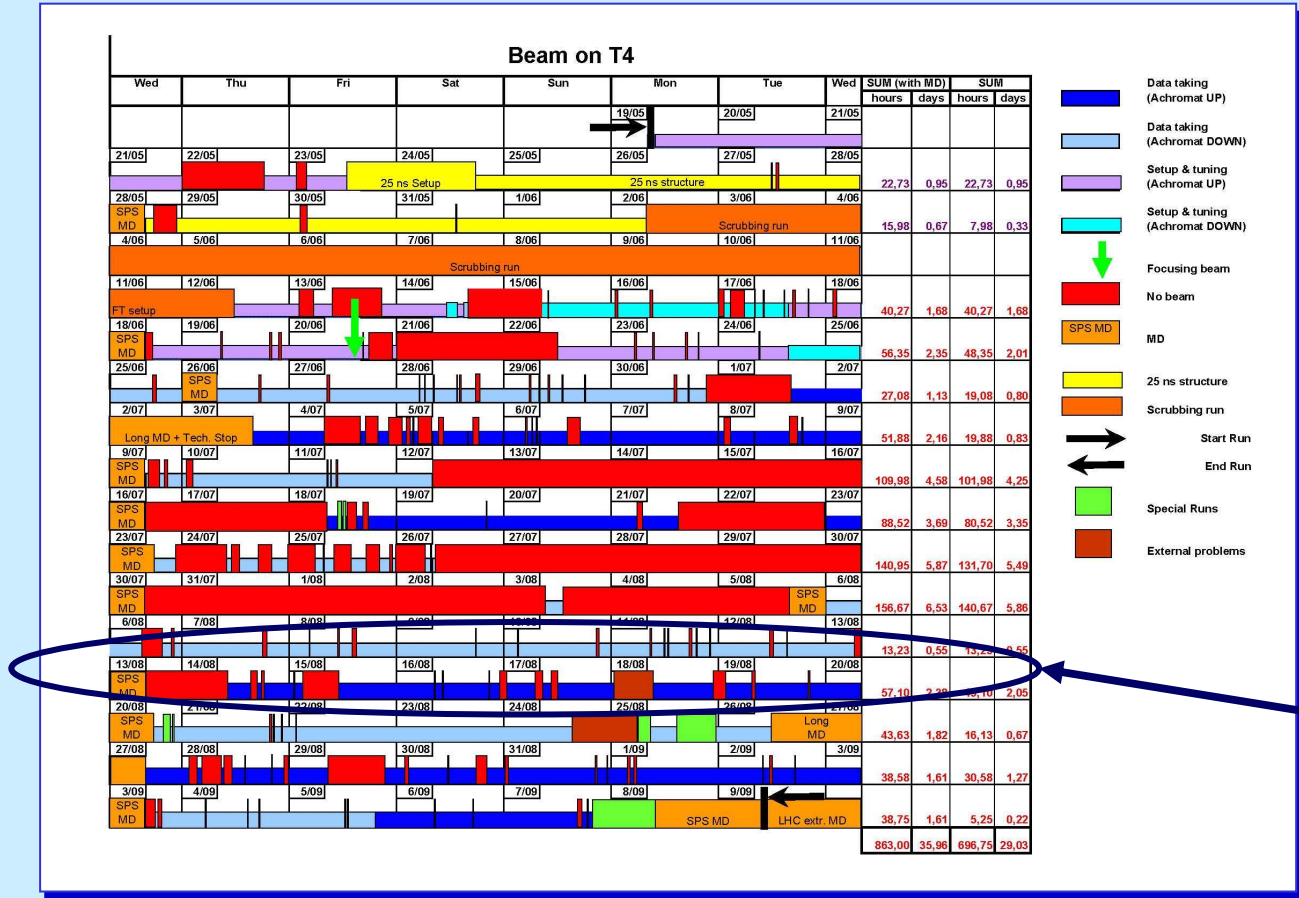


Stabilità dell'efficienza di trigger

for $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$ (\circ) & $K^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+$ (\bullet)



Efficienza acceleratore nel 2003



SS-1

Efficienza media SPS-T4 $\approx 60\%$

Statistica raccolta nella presa dati del 2003

Statistica per ciascun **supersample** in mln $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$

	1	2	3	total
$H_D B^U$	98	166	38	302
$H_D B^D$	150	58	86	294
$H_U B^U$	127	162	50	339
$H_U B^D$	130	142	60	332
totale	505	528	234	1313

Di cui ~ **450** mln di eventi $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ del **SS-1** sono stati processati rapidamente per una analisi preliminare degli effetti sistematici

Criteri di selezione dei dati

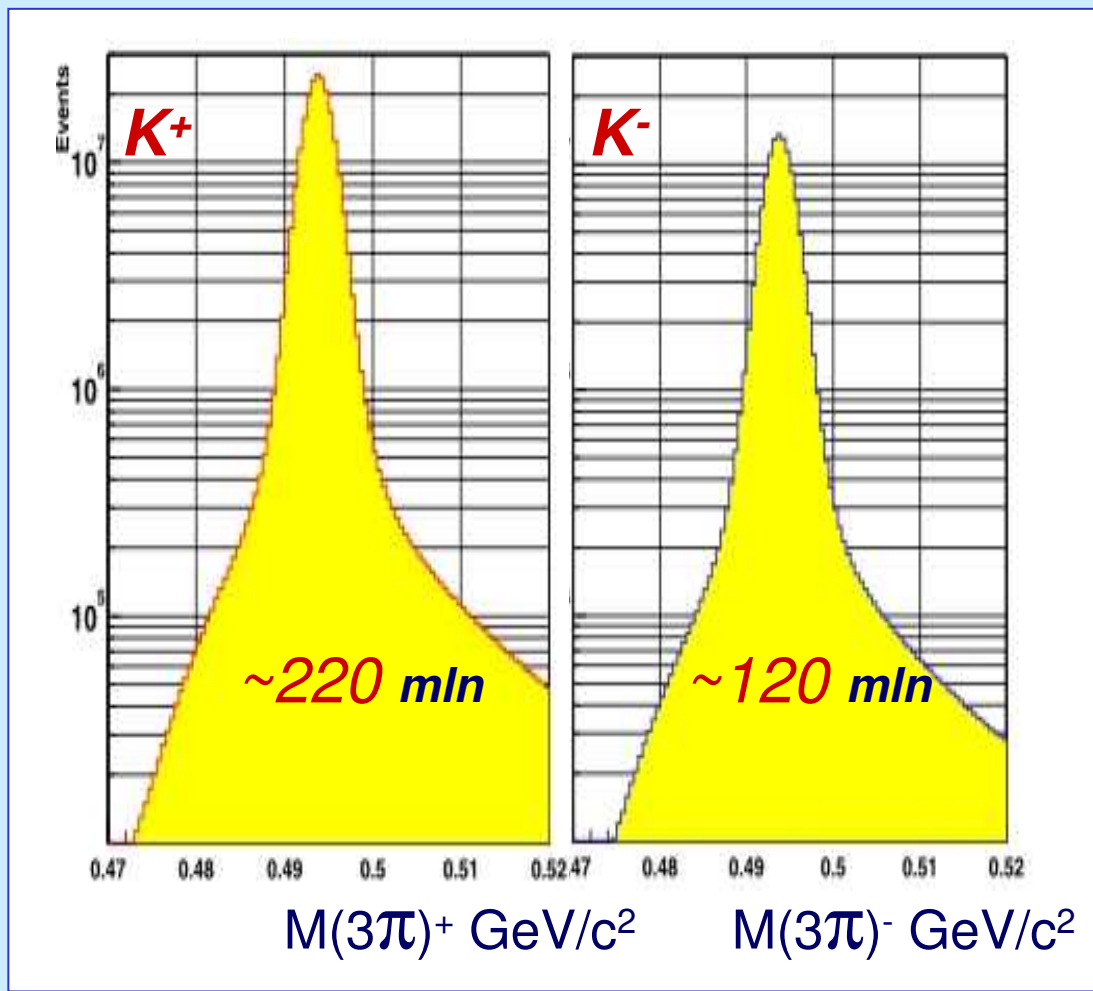
- Per simmetrizzare l'accettanza si applica un taglio radiale intorno al centro del fascio in corrispondenza delle DCH1 e DCH4
- IL COG del fascio viene definito ogni 24 ore in ciascun bin di momento per ridurre variazione nel tempo dell'accettanza

Al momento I tagli preliminari che usiamo sono molto conservativi e portano ad una perdita del 40% dei dati (dipendenza dalla stabilità del fascio)

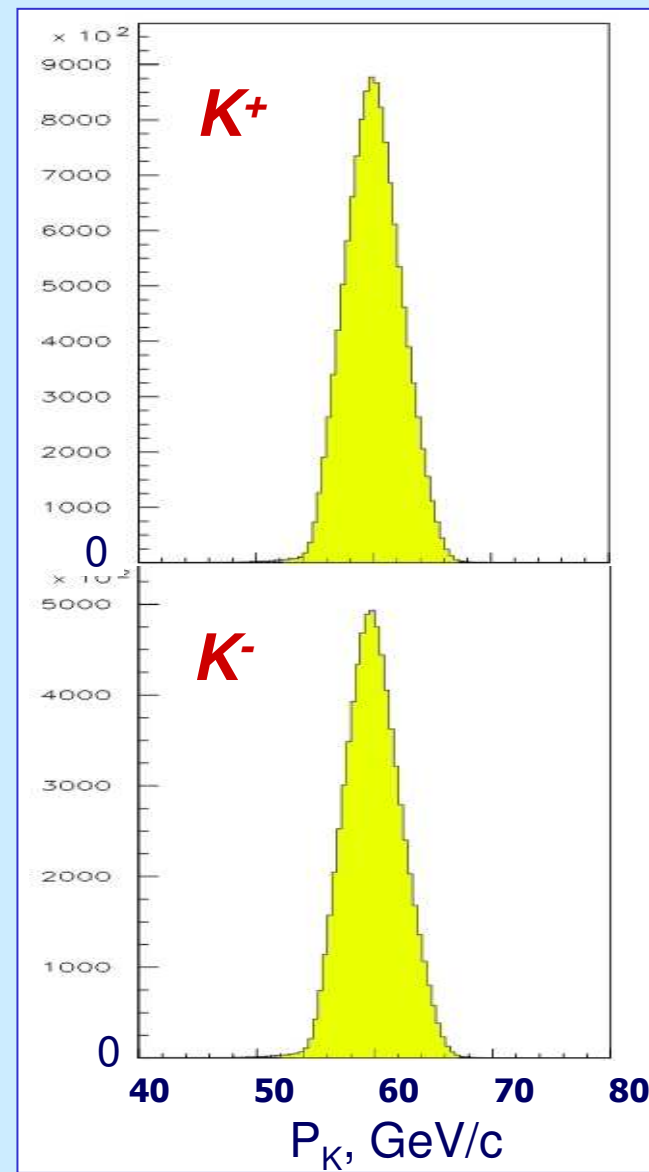
$$R(DCH1) > 11.5 \text{ cm}$$

$$R(DCH4) > 13.5 \text{ cm}$$

Ricostruzione del decadimento $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$



SS-1



Variabile u : spettri e rapporti

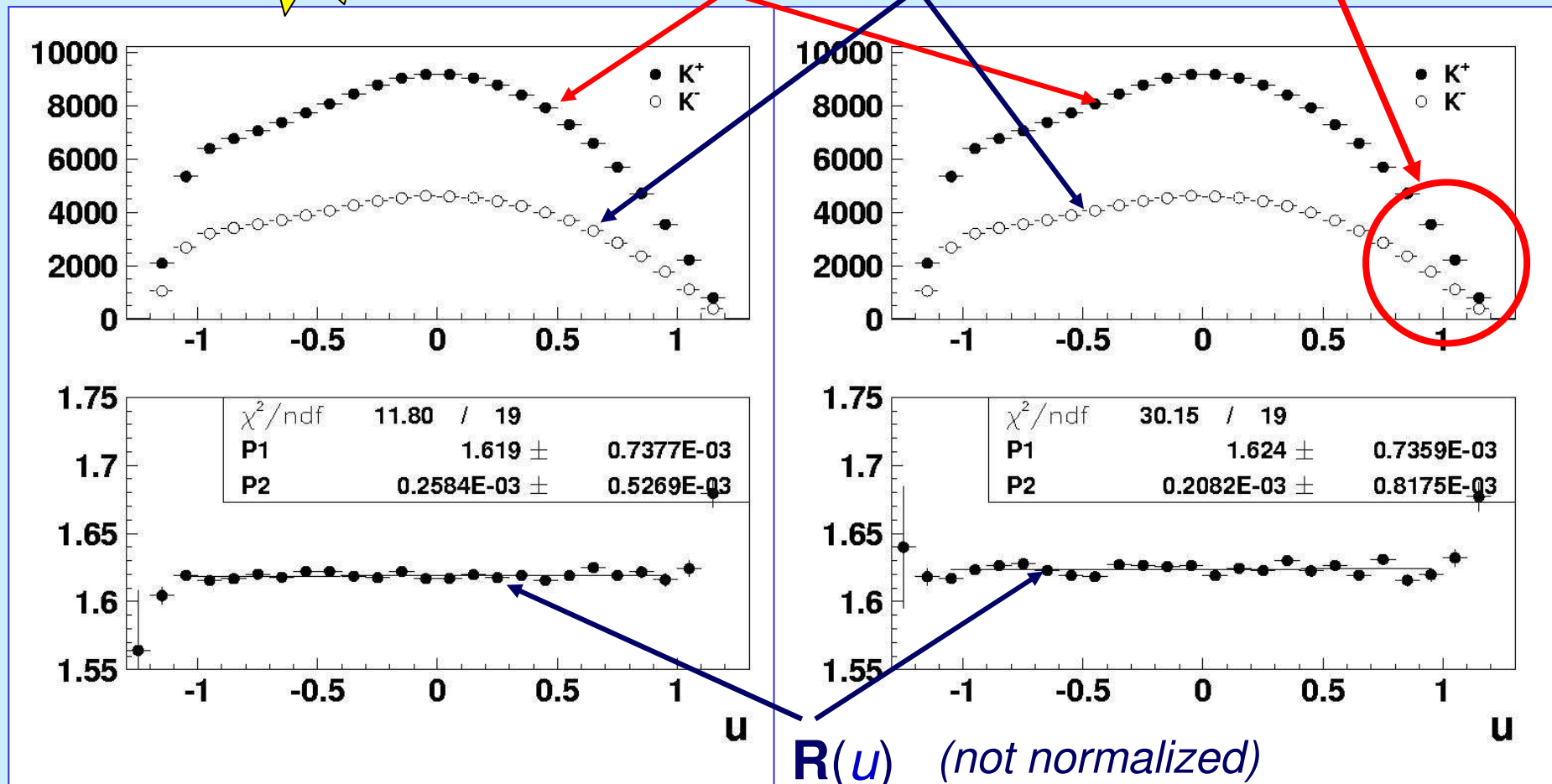
statistica **SS-1** (un plot corrisponde ad un bin in momento)

preliminare

$N^+(u)$

$N^-(u)$

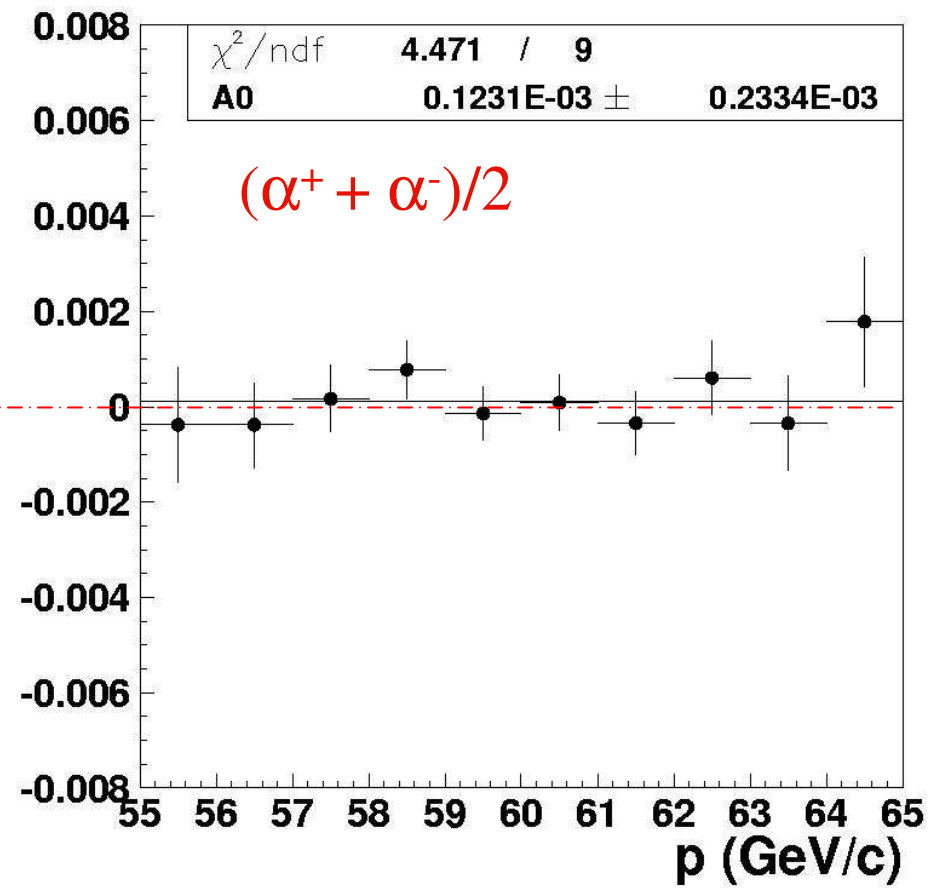
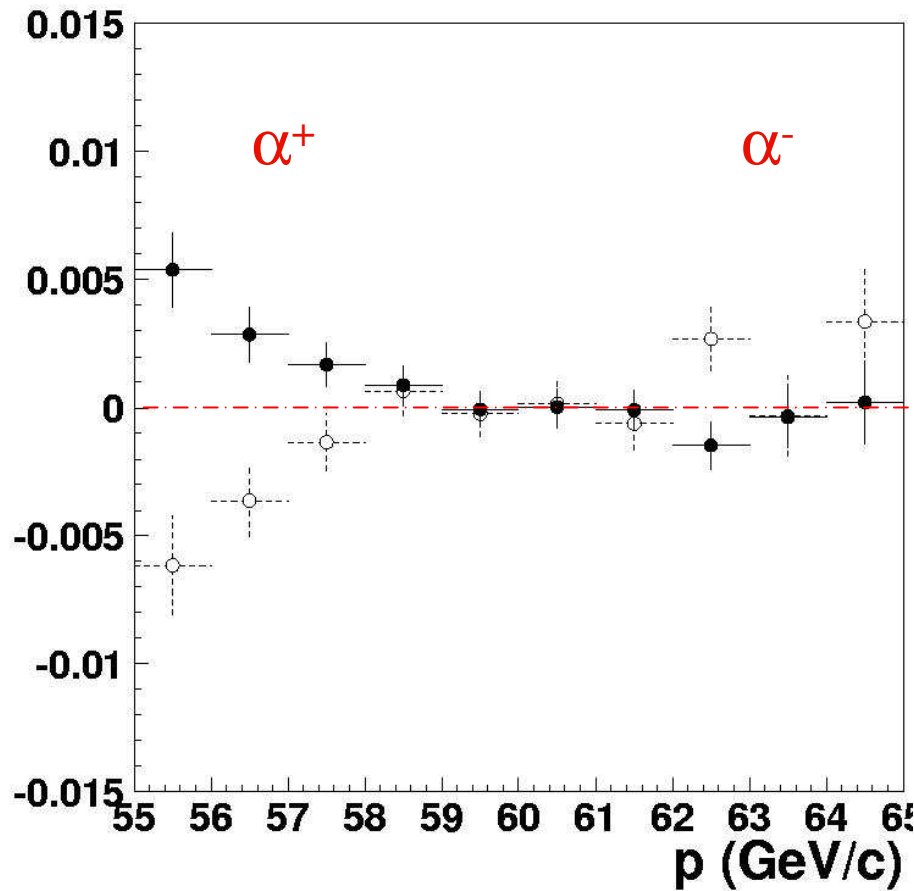
beam pipe cut



Checks: Cancellazione Accettanza

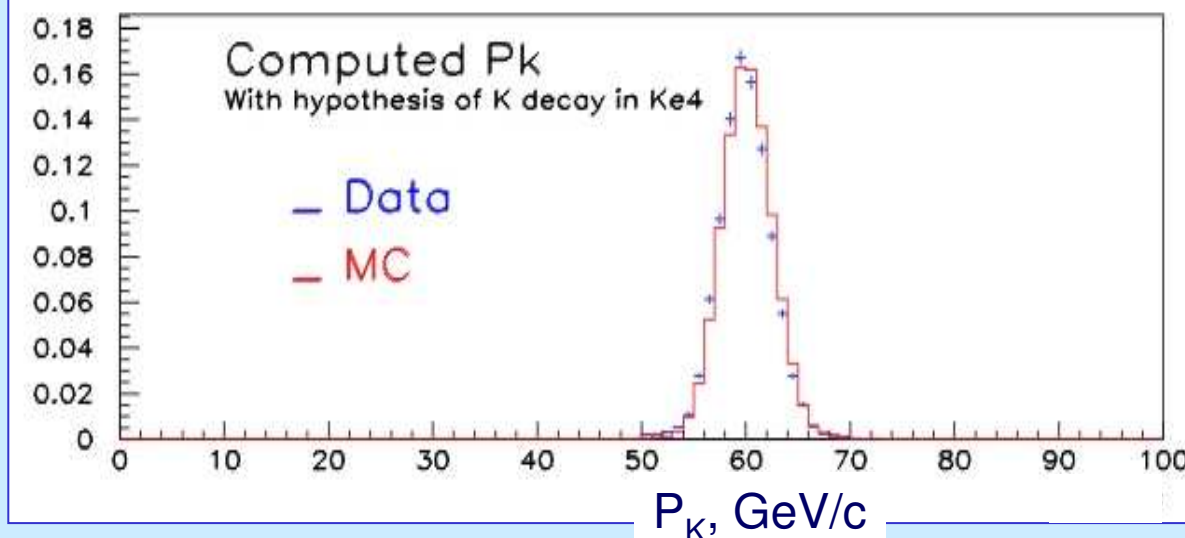
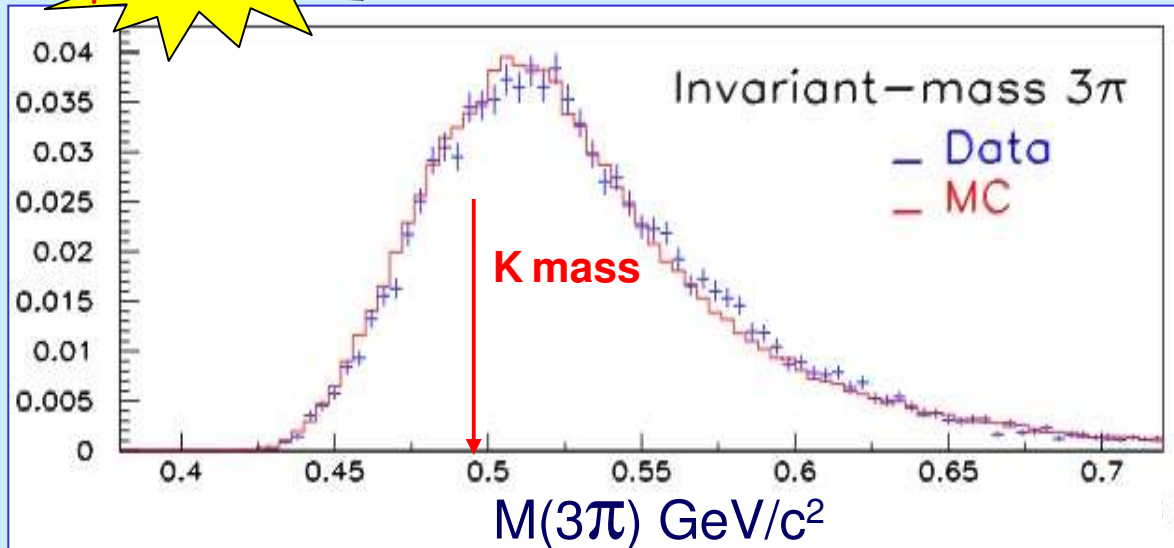
preliminare

$$\langle \alpha^\pm \rangle = (\alpha^+ + \alpha^-)/2 = (1.2 \pm 2.3) \cdot 10^{-4}$$





preliminare



15807 eventi in $SS-1 \rightarrow$
 $BR = (3.87 \pm 0.20) \cdot 10^{-5}$
 (PDG: $(4.08 \pm 0.09) \cdot 10^{-5}$)

Background

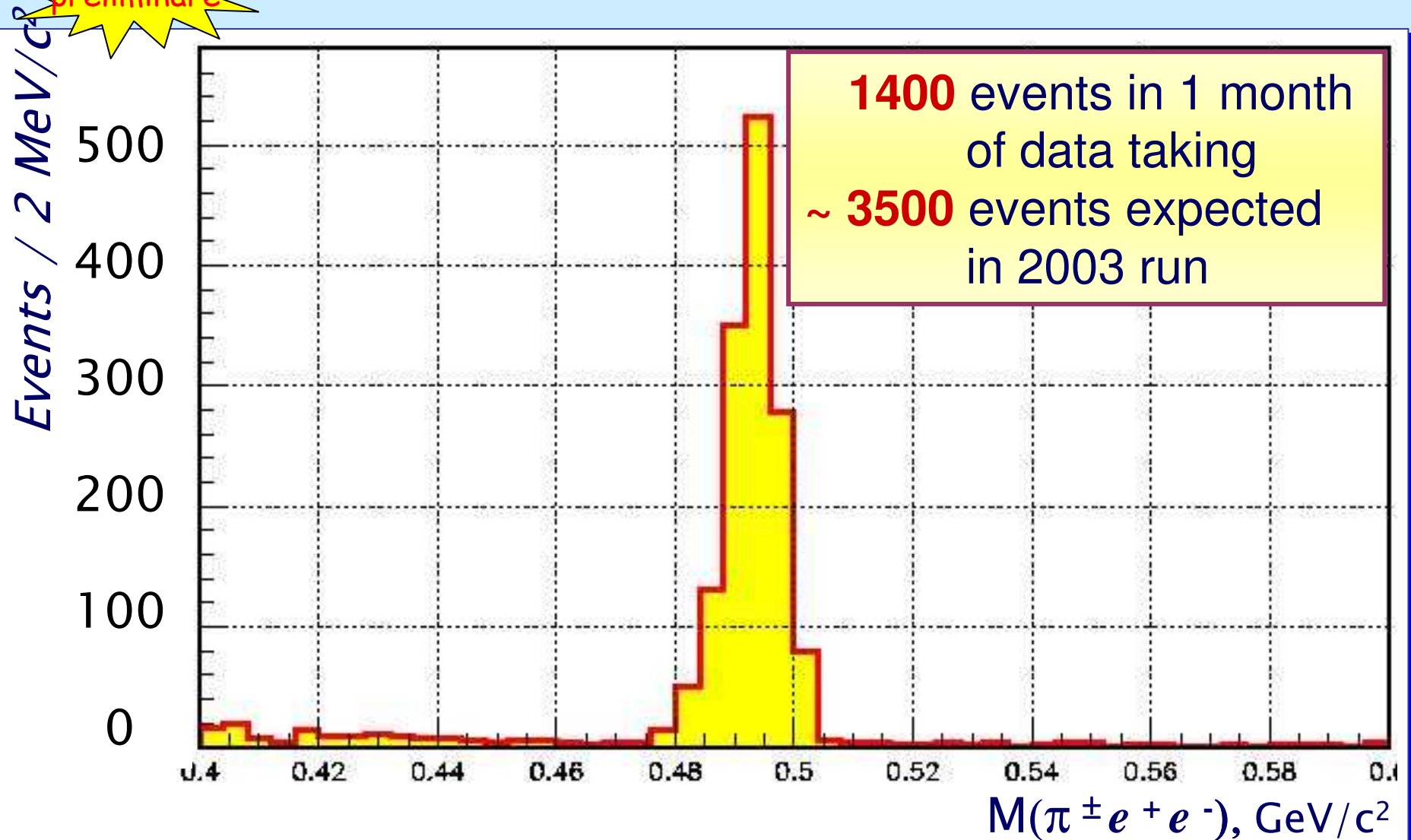
$\sim 1\%$ of K_{e4}
 from $K^{\pm} \rightarrow \pi^{+} \pi^{-} \pi^{\pm}$

$\sim 1\%$ of K_{e4}
 from $K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \pi^0 \pi^0$

$7 \cdot 10^5$ previsti
 $K^{\pm} \rightarrow \pi^{+} \pi^{-} e^{\pm} \nu$
 nei dati raccolti nel
 2003

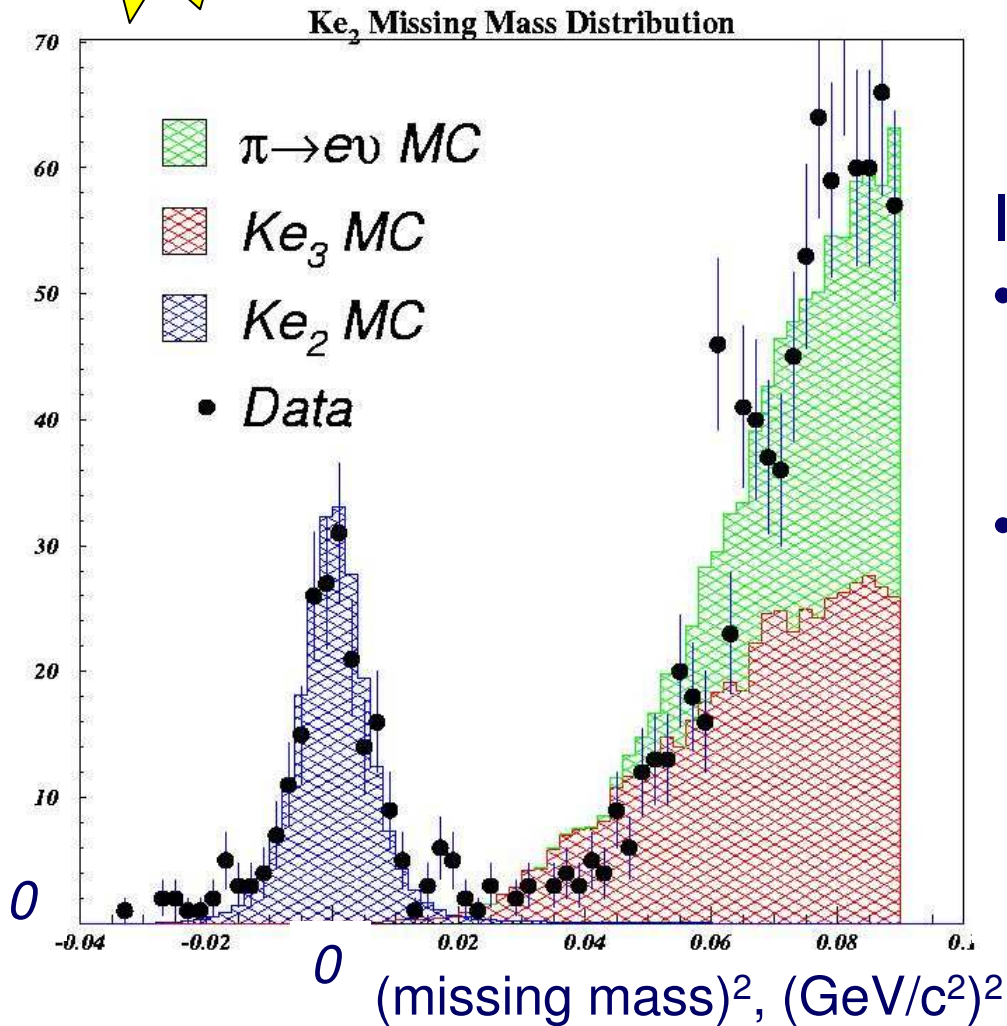
Decadimento raro $K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} e^{+} e^{-}$

preliminare



Decadimenti semileptonici

preliminare



example of $K^\pm \rightarrow e^\pm \nu$
selected from ~ 1700 bursts

In addition, all **major** modes:

- leptonic & semi..

$$K_{e2}^\pm, K_{e3}^\pm, K_{\mu2}^\pm, K_{\mu3}^\pm$$

- hadronic

$$K_{2\pi}^\pm, K_{3\pi}^\pm$$

are accumulated with

min. bias trigger



strong constraint for Br's

Sommario dello studio preliminare degli effetti sistematici

Gli effetti sistematici che dipendono da:

- Asimmetrie dell'accettazione
 - Variazioni temporali

sembrano essere sotto controllo, cioè sono più piccoli della precisione statistica.

Altri possibili effetti sistematici legati a:

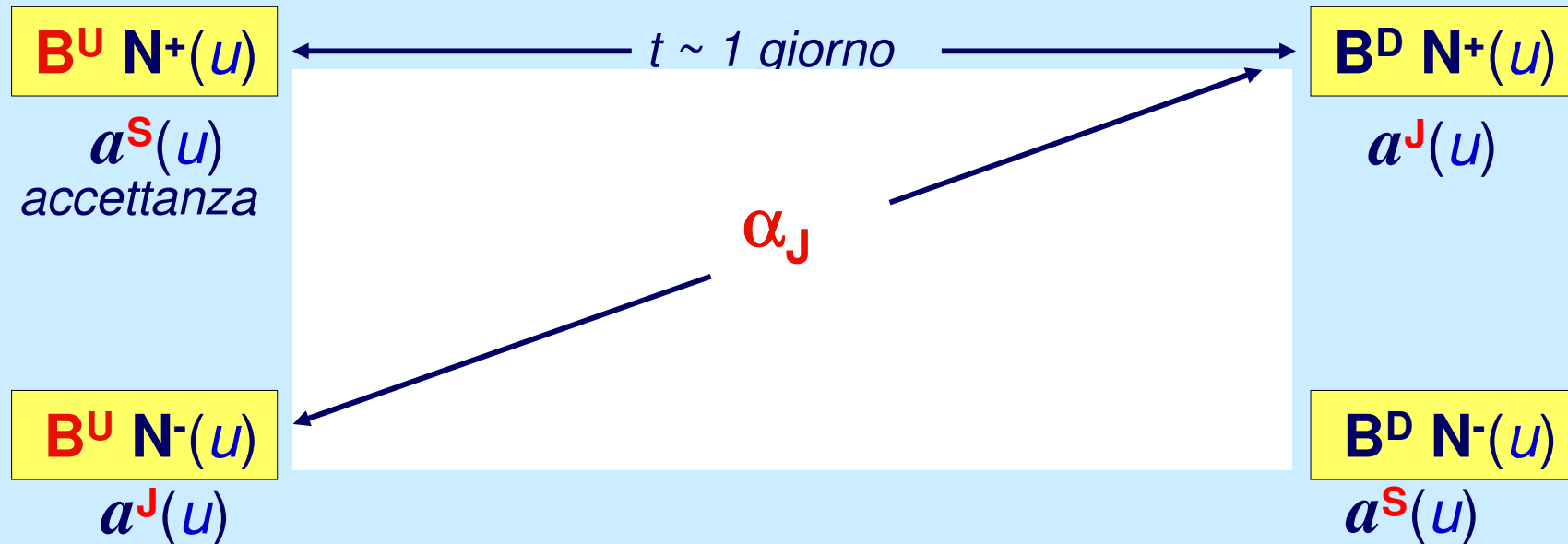
- Campi magnetici residui
- Efficienza del trigger
- Efficienza delle DCH
- Presenza di accidentali

sembrano essere molto meno significativi.

Abbiamo più statistica da analizzare e continueremo a prendere dati la prossima estate.

Osservabili α_S & α_J

$$R(u) = N^+(u) / N^-(u) = \rho (1 + \alpha u)$$



$$\alpha_S = \alpha_J \approx \Delta g$$

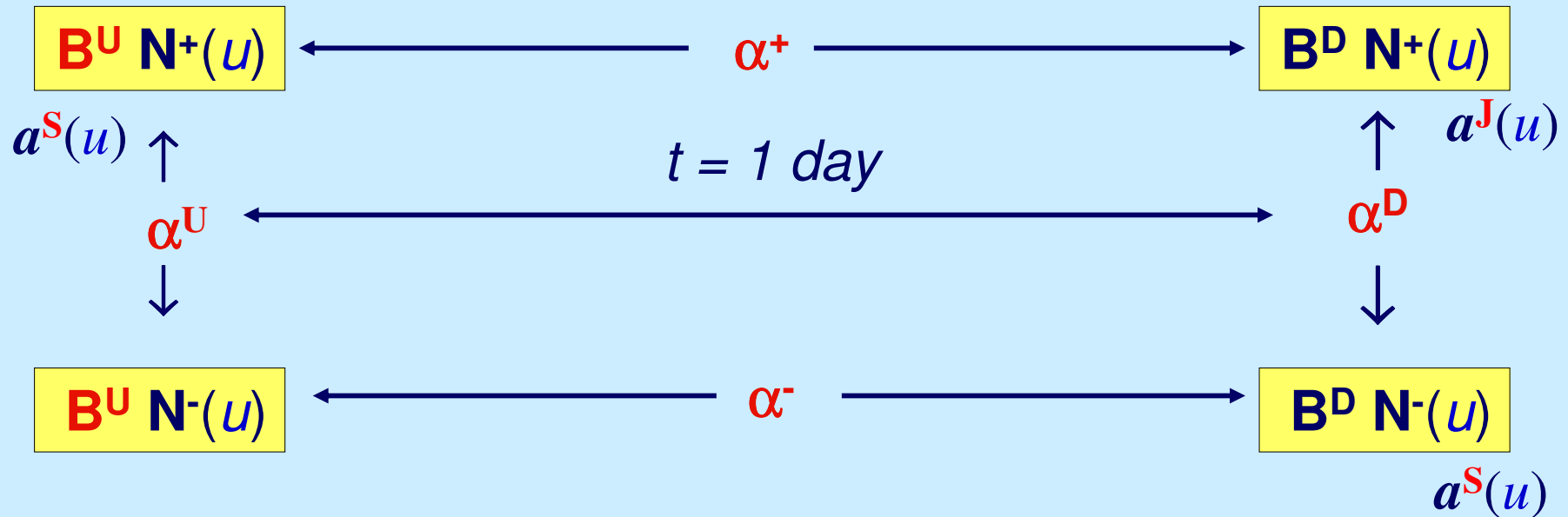
se $\alpha^S(u)$ & $\alpha^J(u)$ rimangono stabili

$$\langle \alpha \rangle = 0.5 (\alpha_S + \alpha_J) \approx \Delta g$$

se $\alpha^S(u)$ & $\alpha^J(u)$ cambiano simmetricamente

Checks sistematici di accettazione

$$\mathcal{R}^a(u) = a^S(u)/a^J(u) \approx (1 + \delta^a)u$$



$$\alpha^+ \approx \delta^a; \quad \alpha^- \approx -\delta^a; \quad (\alpha^+ + \alpha^-)/2 \approx 0$$

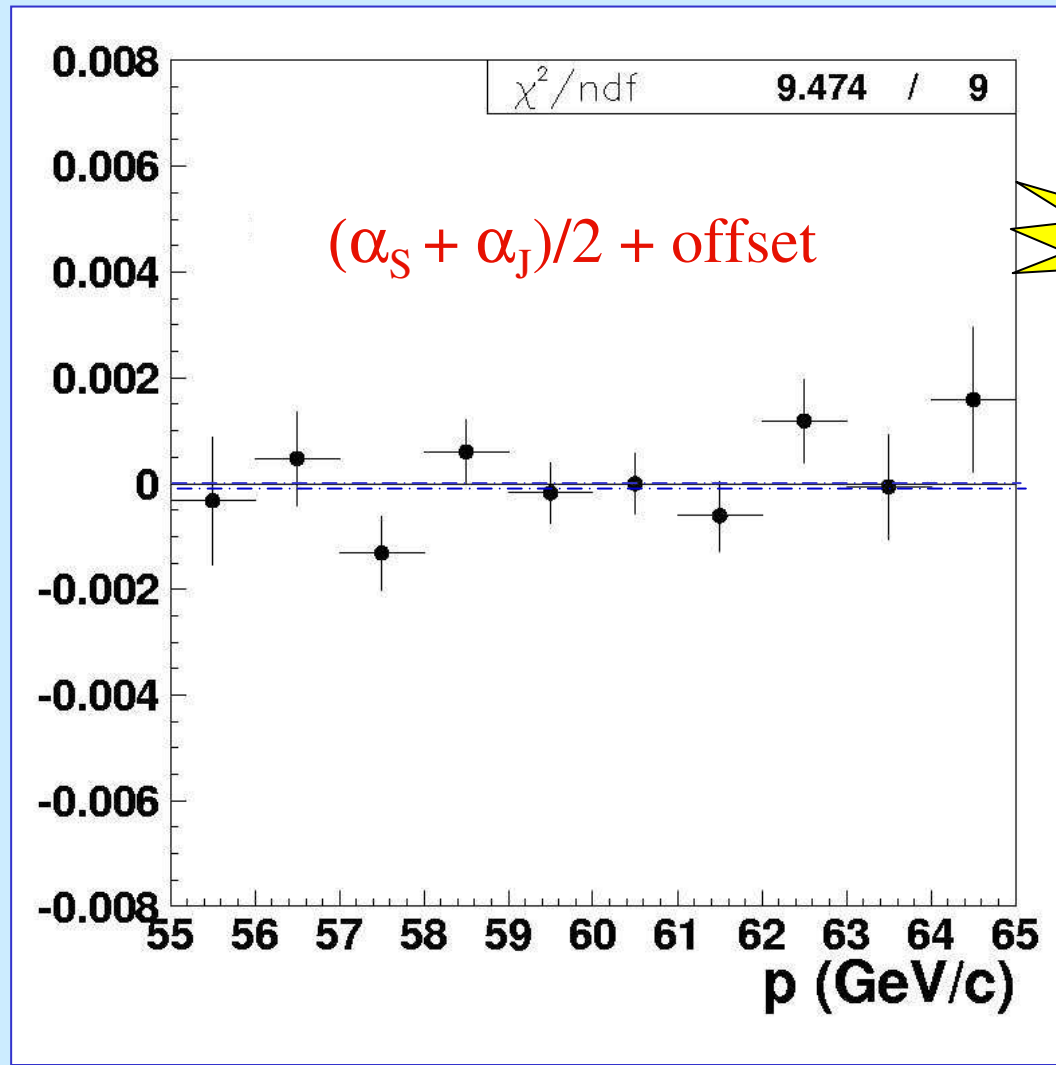
$$\alpha^U \approx \Delta g + \delta^a; \quad \alpha^D \approx \Delta g - \delta^a$$

$$(\alpha^U + \alpha^D)/2 \approx \Delta g$$

... se δ^a è stabile nel tempo ...

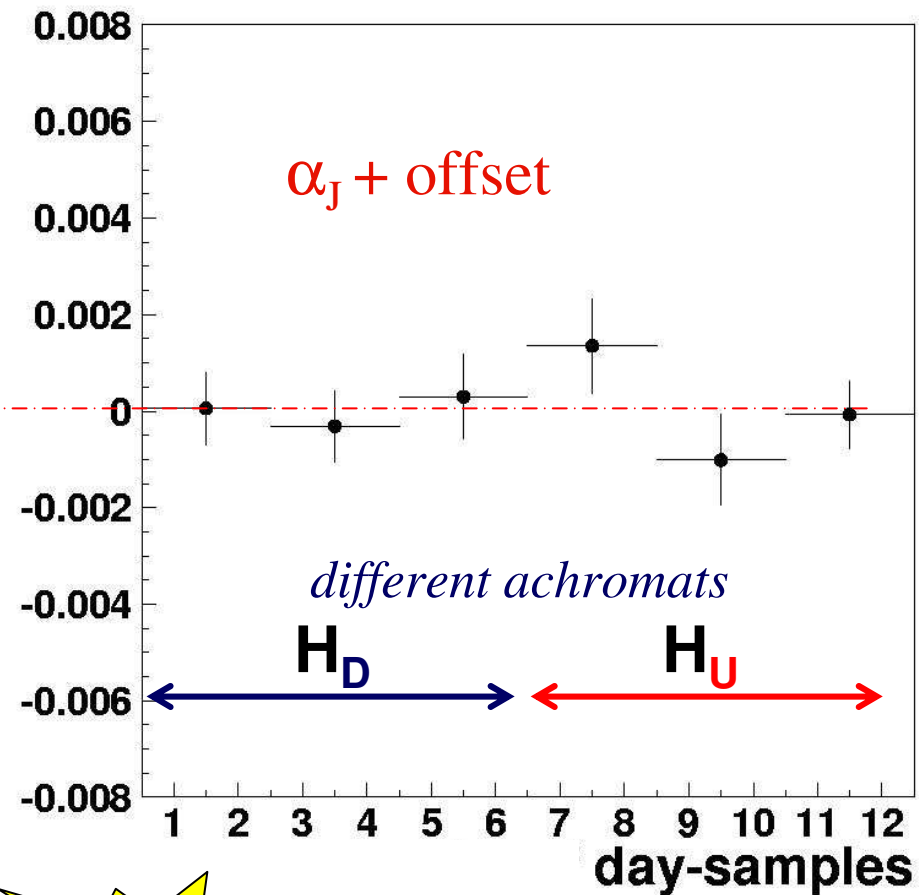
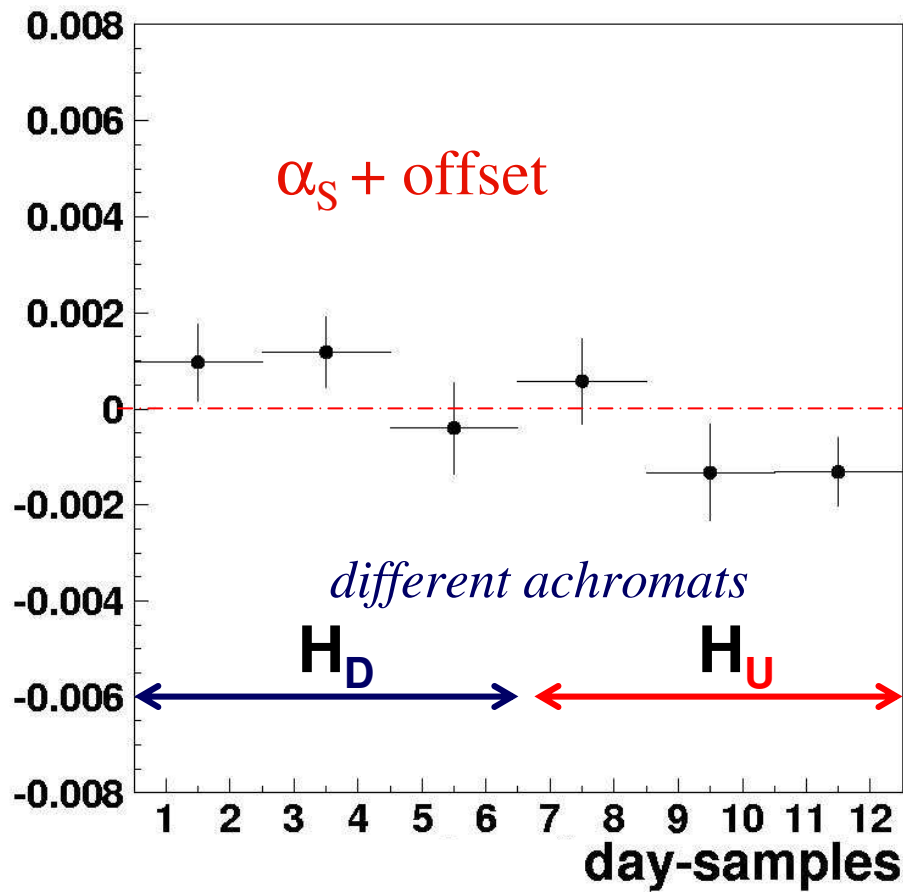


Stabilità di Δg in funzione del momento



preliminare

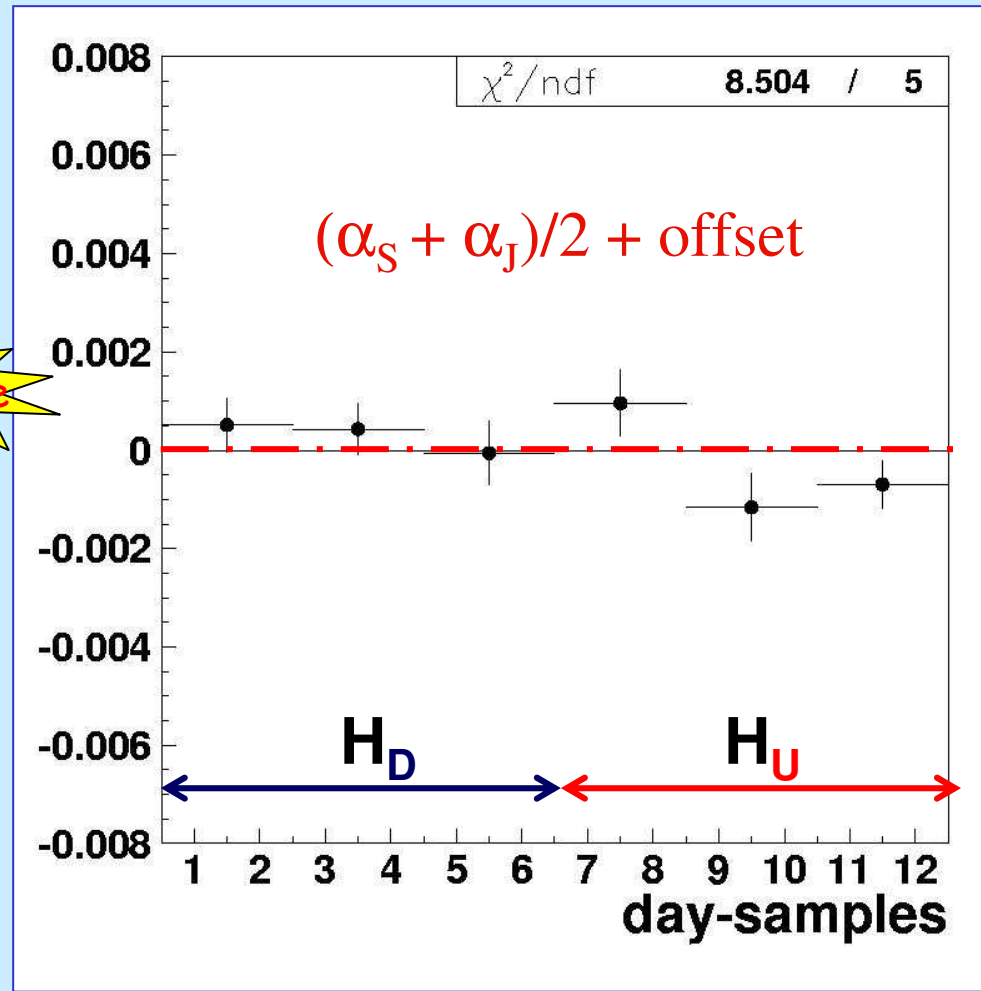
Stabilità delle accettanze in funzione del tempo



preliminare

Stabilità di Δg in funzione del tempo

preliminare



Direct CP violation in K^\pm decays

- **Data taking strategy**

$$R(u) = \frac{\int dv |M^+(u, v)|^2}{\int dv |M^-(u, v)|^2} \approx 1 + u * (g^+ - g^-)$$

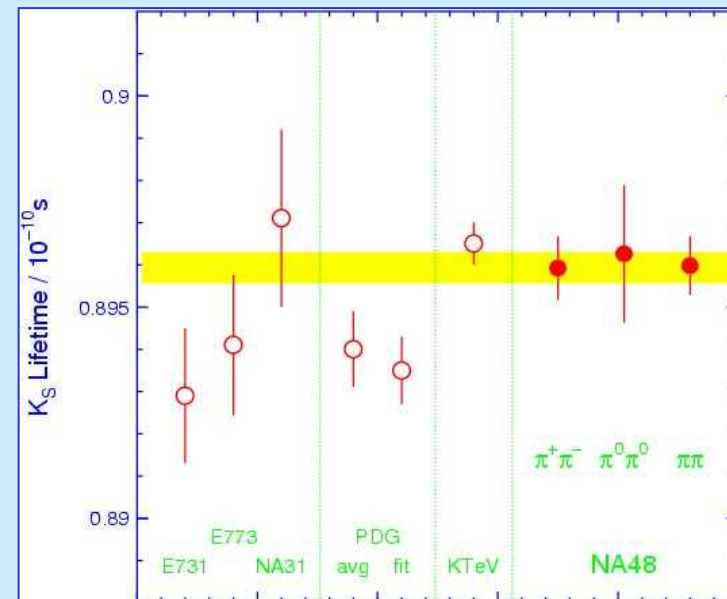
- Measure
- Data will be taken under the following conditions:
 - Simultaneous K^+ and K^- beams in the same fiducial volume
 - Alternate the spectrometer field to equalise acceptances even if the detector has localised imperfections
 - Ratios are measured in momentum bins and with opposite B polarities. Final average over P and B is independent of acceptances
- Simulation shows that total systematic error is $\leq 5 \cdot 10^{-5}$
- Precision limited by statistics

KAon BEam Spectrometer

- Purpose
 - Resolve ambiguity in K_{e4} reconstruction
 - Reconstruction of K^\pm decays where one pion escaped detection
- Requirements
 - $\delta p/p \approx 1\%$
 - $\theta_{x,y} \leq 2\text{mrad}$
 - Expected rate 40 Mhz
 - $\delta t \approx 1\text{ns}$
 - $\Delta X/X_0 \approx 10^{-3}$
 - $\delta_{x,y} \approx 0.25\text{ mm}$
- Solution
 - MicroMegas gas chambers with 60 mm drift and 1mm strips, with two coordinate measurement, placed in achromat 2 and downstream

K_S lifetime measurement

Systematics dominated by fit method and beam geometry uncertainties



Combined result (CERN-EP/2002-028 - hep-ex/0205008)

$$\tau_S = (0.89598 \pm 0.00048_{st} \pm 0.00043_{sy} \pm 0.00027_{MCst}) * 10^{-10} s$$

Other Results

Rare Kaons Decays:

- $K_{L,S} \rightarrow \pi^+ \pi^+ e^+ e^-$ submitted to CERN preprint
CPV evidence in K_L .
First measurement of the K_S BR.

CP violation:

- The direct CP violation in $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ measurement is finished with a highly significant result. The design precision was achieved.
- $\delta_L(e)$ has been measured with competitive precision
- An order of magnitude improvement in determination of η_{000} has been achieved + Improvement of the CPT test using Bell-Steinberger relation.

There is more to come:

More analysis work to be done.

NA48/2 running in this moment with simultaneous charged kaon beams.

Introduzione

Le recenti misure della Violazione di CP Diretta nel decadimento dei **kaoni neutri** da parte di NA48 al CERN e di KTeV a FNAL hanno confermato un valore relativamente alto di :

$$\text{Re}(\epsilon'/\epsilon) = (16.6 \pm 1.6) 10^{-4}$$

come già indicato nel precedente esperimento NA31 (CERN).

Il nuovo valore della media mondiale di $\text{Re}(\epsilon'/\epsilon)$ è maggiore rispetto alla maggior parte delle predizioni teoriche. Diventa quindi interessante la misura della Violazione Diretta di CP in altri decadimenti.

La Violazione Diretta di CP può essere misurata studiando il Dalitz plot nei decadimenti dei **kaoni carichi**:



L'esperimento NA48/2 è stato disegnato per ottenere una sensibilità di $\sim 10^{-4}$, limitata dall'errore statistico e non da quello sistematico, nella misura dell'asimmetria della variabile A_g .

Trigger Logic

Three stage logic for $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\pm \pi^\mu$ (satisfies K_{e4}):

- pre-trigger: **2 tracks** in *Hod* & **no** surrounding anti
- L2 processor (mass-box) **2 vertices** ($\sim 94\%$)
or **1 vertex** ($\sim 98\%$)
or **“fake track”** (excluding $\pi^\pm \pi^0$ mode) ($\sim 99.5\%$)
- L3 software flags (to simplify splits)

Logic for $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$:

- pre-trigger: *clusters in LKr Cal* ($N_x > 2$ or $N_y > 2$)
- L2 **“fake track”**
- L3 flags

+ various triggers for:

rare decays, semileptonics, efficiency study, random events, ...

Congressino di Sezione
INFN Torino, 8 gennaio 2004

NA48 - Violazione di CP nei decadimenti dei Kaoni carichi

Cristina Biino
INFN, Torino

The NA48 collaboration: Cambridge, CERN, Chicago, Dubna, Edinburgh, Ferrara,
Firenze, Mainz, Northwestern, Perugia, Pisa, Saclay, Siegen, Torino, Wien

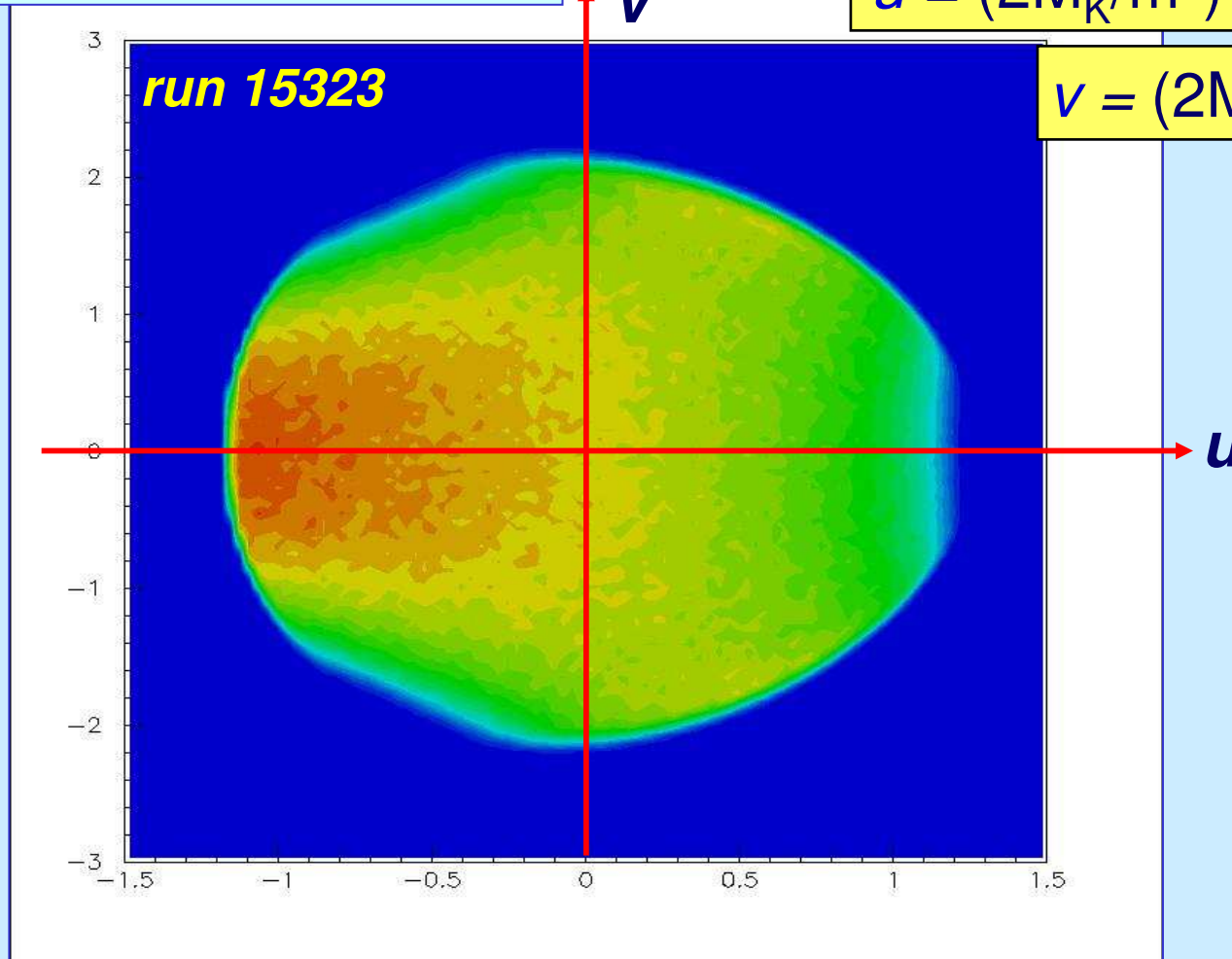
Dalitz Plot per $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$

$$|M(u,v)|^2 \propto 1 + g \cdot u + h \cdot u^2 + k \cdot v^2$$

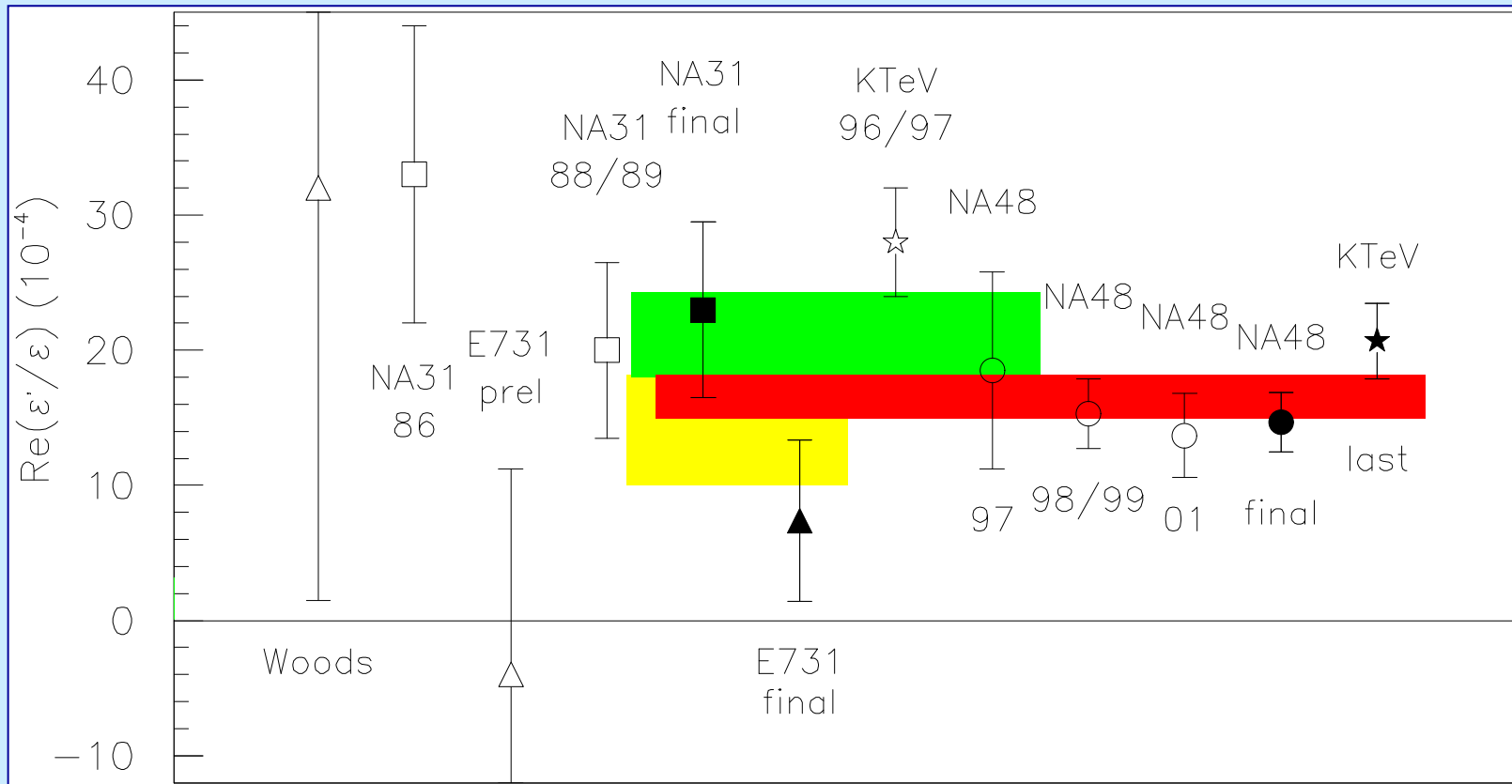
Square of matrix element

$$u = (2M_K/m^2) \cdot (M_K/3 - E_\pi^*)$$

$$v = (2M_K/m^2) \cdot \Delta E_{2\pi}^*$$



Direct CP Violation Result



Experimental observable :

$$\frac{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^0\pi^0)}{\Gamma(K_S \rightarrow \pi^0\pi^0)}$$

$$R = \frac{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^0\pi^0) / \Gamma(K_S \rightarrow \pi^0\pi^0)}{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+\pi^-) / \Gamma(K_S \rightarrow \pi^+\pi^-)} = 1 - 6 \operatorname{Re}(\epsilon'/\epsilon)$$

Final NA48 result :

$$\epsilon'/\epsilon = (14.7 \pm 2.2) 10^{-4}$$

6.7 σ away from 0

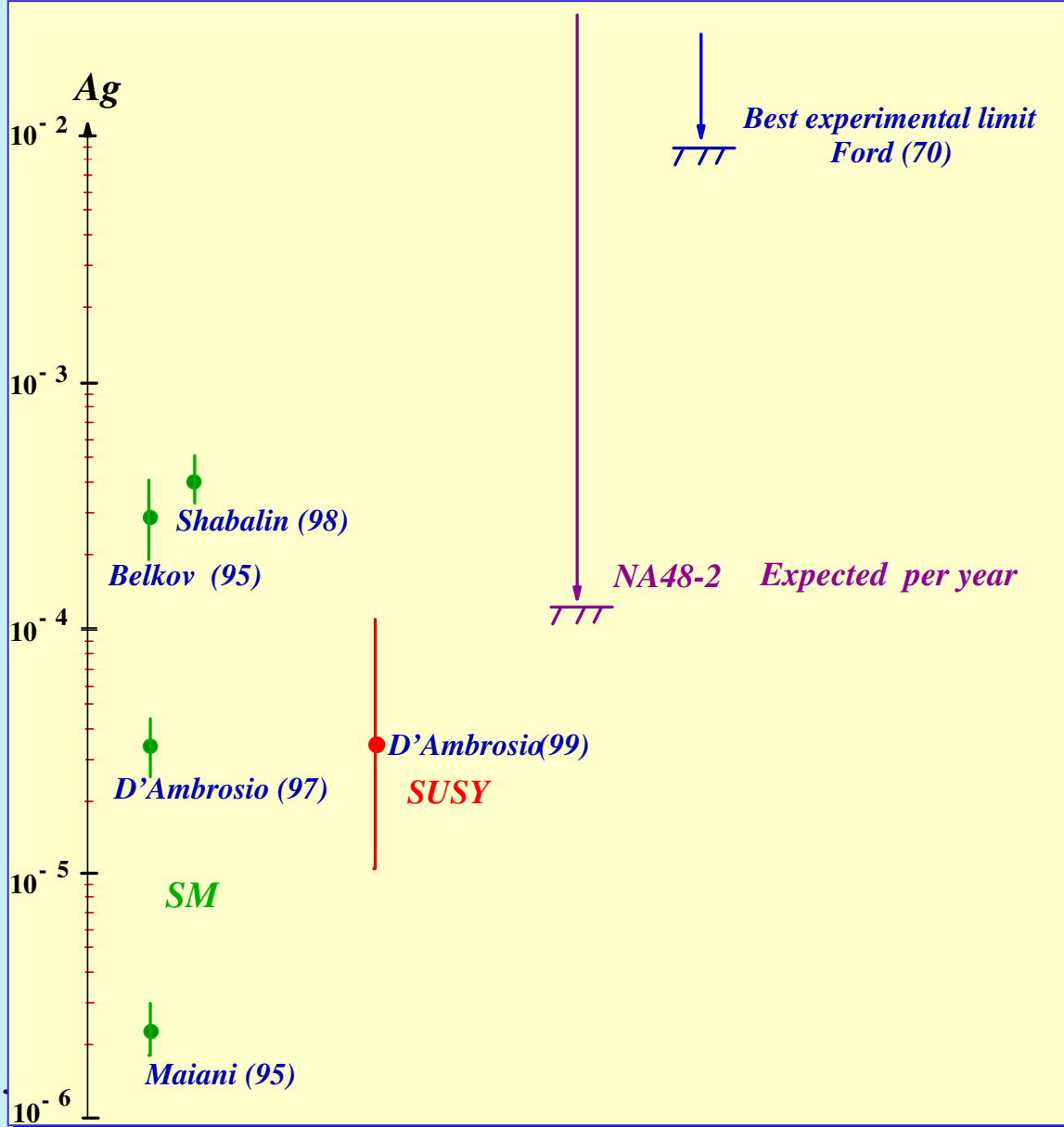
Proposed accuracy reached

NA48 - Rare Neutral Kaon Decays Results

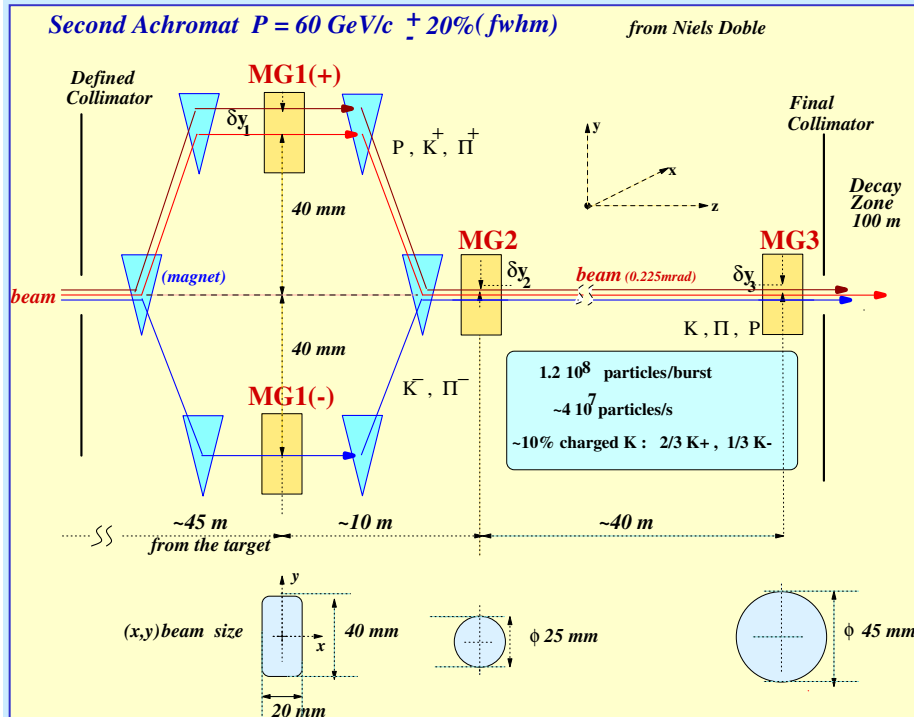
Rare Kaons Decays:

- First observation of the decay $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ has been presented. The measurement determines the mixing induced CP violating component of the decay $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$.
- Precise measurement of $K_S \rightarrow \gamma \gamma$ decay indicates a significant $O(p^6)$ contribution and provides an input for higher loop calculations of χPT .
- $\Gamma(K_L \rightarrow \gamma \gamma) / \Gamma(K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0)$ has been measured with accuracy four times better than current PDG value.
- Decay $K_S \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ was observed for the first time with BR in agreement with χPT .
- The measurement of $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ favours a value of vector-meson coupling of $a_v = -0.46$ and implies a negligible CP-conserving contribution to the direct CP-violating decay $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$.

Predizioni Teoriche per A_g



KABES



MG (Micromegas type projection chamber)

