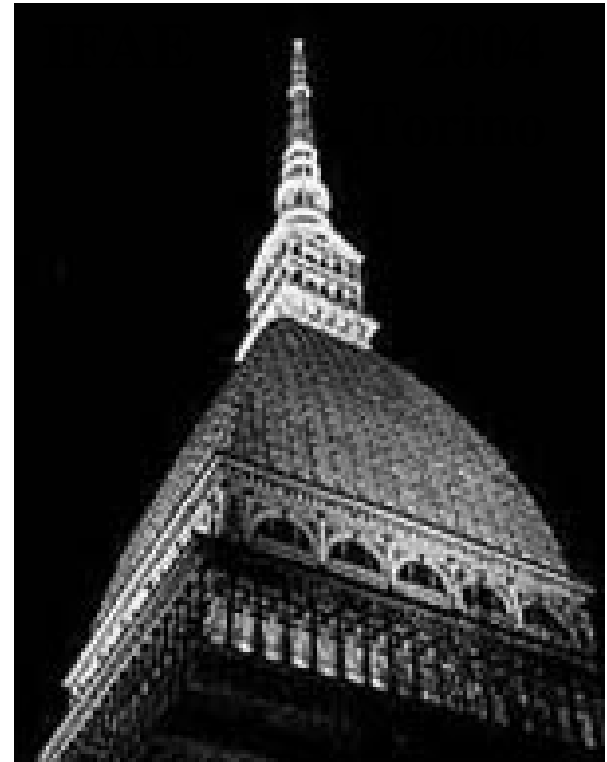


L'inestinguibile efficacia della fisica con i K

Suite per orchestra e soli

Marco S. Sozzi

Scuola Normale
Superiore
e INFN - Pisa



Programma

- *Allemanda* : "Cosa stiamo imparando oggi dai K ?"
 - *La violazione diretta di CP*
 - *I decadimenti rari (K_L , K_S , K^\pm)*
- *Corrente* : "Fisica a tutto spettro"
 - *Questioni aperte ed opportunita' varie*
- *Sarabanda* : "Una finestra unica sulla fisica del sapore"
 - *$K @ pII$: perche' e come*
- *Giga* : "Progetti ed obiettivi futuri"
- *Ciaccona* ?



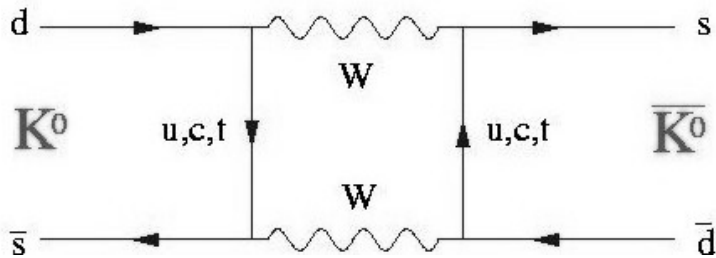
"Cosa stiamo imparando oggi dai K ?"

Il sistema dei mesoni K e' stato determinante nel creare il Modello Standard: sapore, violazione di P, violazione di CP, charm, limiti LFV e CPT

E' un sistema "semplice": fasci, fondi, BR,...

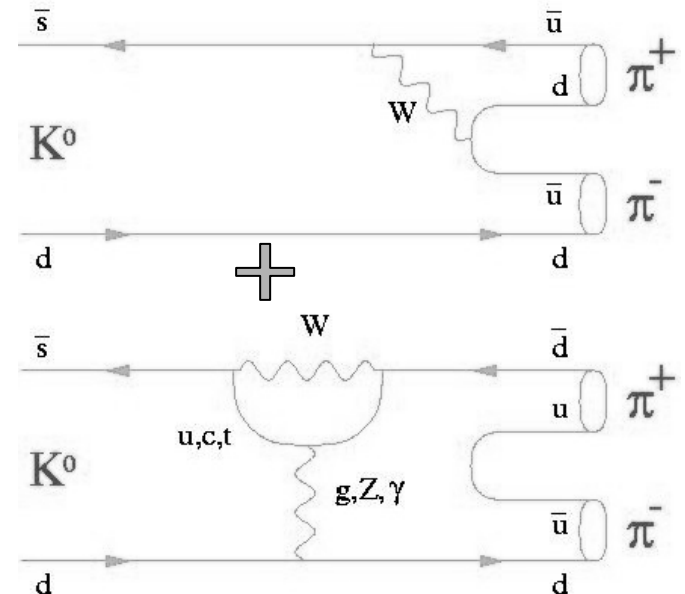
Questo sistema ha ormai fatto il suo tempo?
O ha ancora qualcosa da insegnarci?

La ricerca della violazione diretta di CP



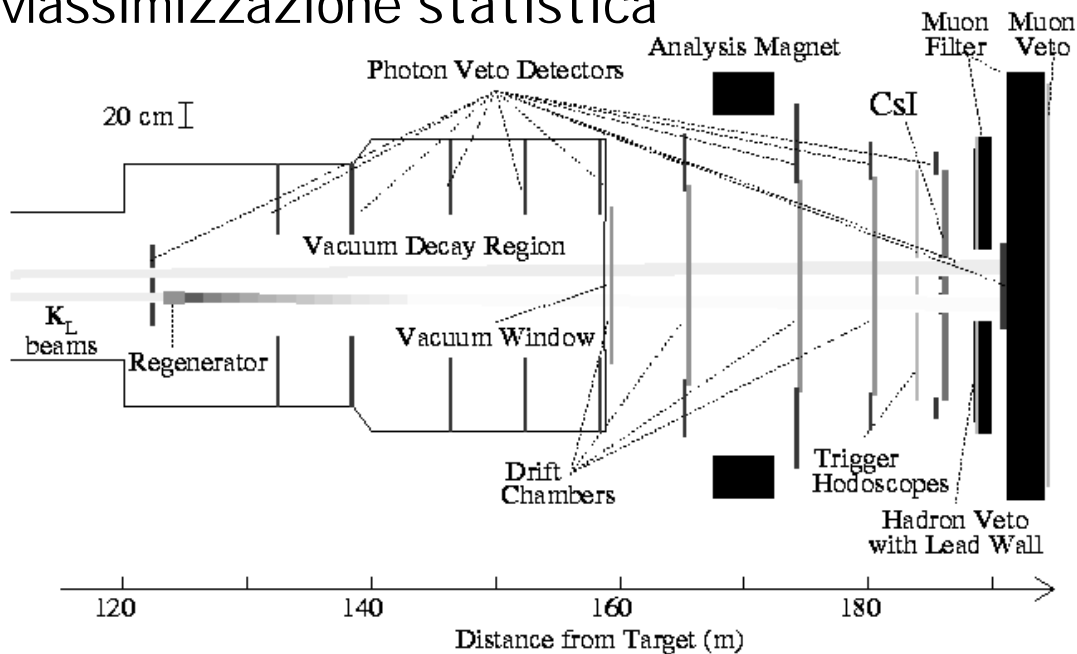
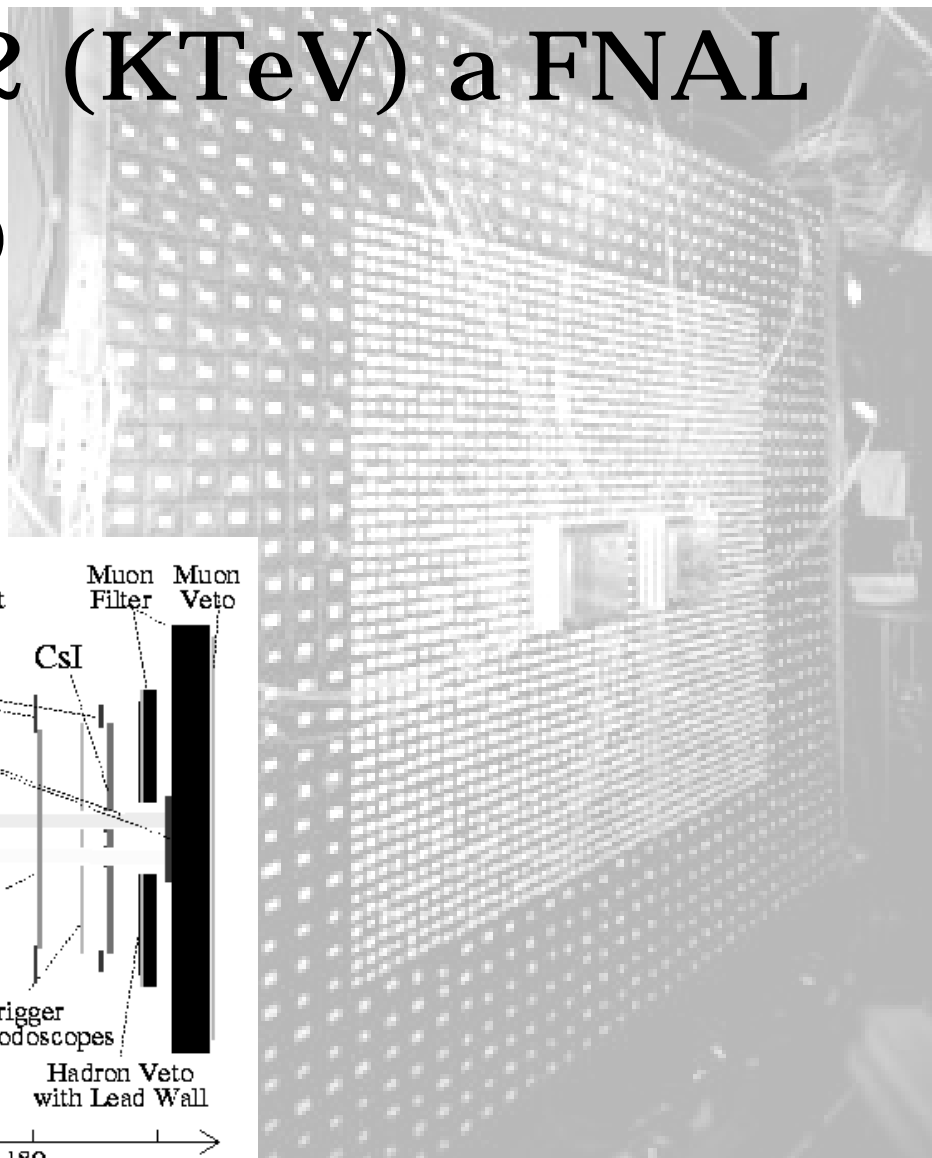
Violazione di CP *indiretta*
(mescolamento): ϵ

Violazione di CP *diretta*
(decadimento): ϵ'



Un'affascinante ricerca durata 30
anni: "La violazione di CP violation e'
una peculiarita' dei mesoni K?
E' indotta da una nuova interazione
superdebole?"

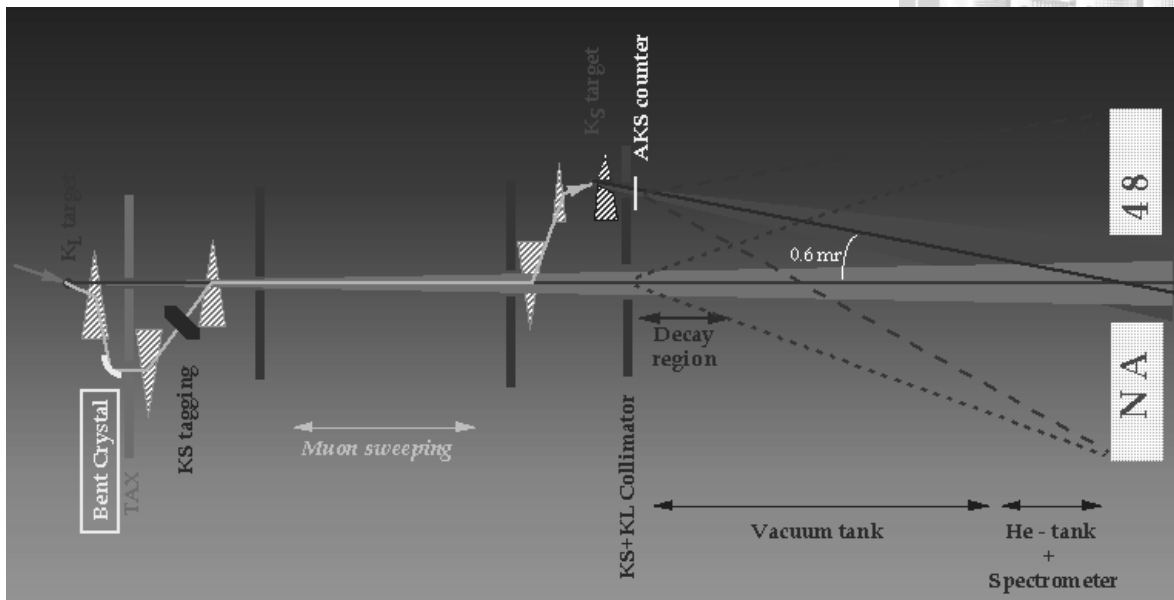
- Doppio fascio di K_L ($\langle p \rangle = 70 \text{ GeV}/c$)
- K_S da rigenerazione
- Calorimetro di CsI puro
- Tagging da posizione evento
- Correzione MC per accettazione
- Massimizzazione statistica





NA48 al CERN

Doppi fasci simultanei
Fasci convergenti ($\langle p \rangle = 100 \text{ GeV}/c$)
Calorimetro a Kr liquido
Tagging da tempo di volo
Pesatura in tempo proprio per
minimizzare correzione di accettazione



Violazione diretta di CP: ϵ'/ϵ

Violazione di CP diretta scoperta (dopo 36 anni!) a $>7\sigma$

$$\text{Re}(\epsilon'/\epsilon) = (16.7 \pm 2.3) \cdot 10^{-4}$$

Esperimenti:

NA48 (1997-2001): risultato finale

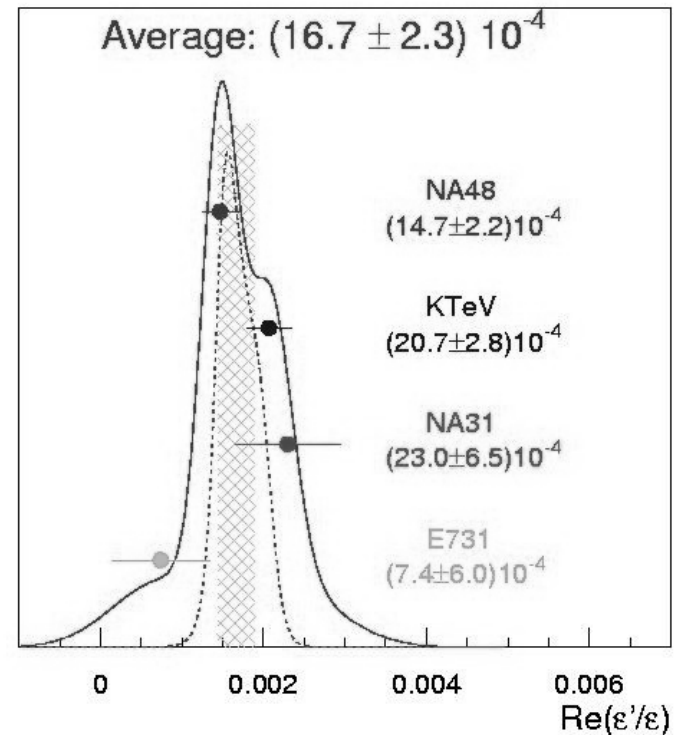
KTeV (1997-1999): $\frac{1}{2}$ statistica (1997)

KLOE: al lavoro (interferometria?)

$\chi^2 = 6.2/3$, consistenza 10%

C'è spazio per miglioramento (ma non per nuovi esperimenti...)

$$\frac{\Gamma(K^0 \rightarrow p^+ p^-) - \Gamma(\bar{K}^0 \rightarrow p^+ p^-)}{\Gamma(K^0 \rightarrow p^+ p^-) + \Gamma(\bar{K}^0 \rightarrow p^+ p^-)} = (5.04 \pm 0.82) \times 10^{-6}$$



ϵ'/ϵ perche' ?

L'importanza *qualitativa* di ϵ'/ϵ ? *0* trascende le difficoltà teoriche di calcolare tale parametro nel MS:

- Violazione di CP non descrivibile con un *singolo* numero
- E' proprietà delle *interazioni deboli* (no superweak)
- Non e' una peculiarità dei mesoni K (cfr. B-factories)
- Conferma del *paradigma CKM*

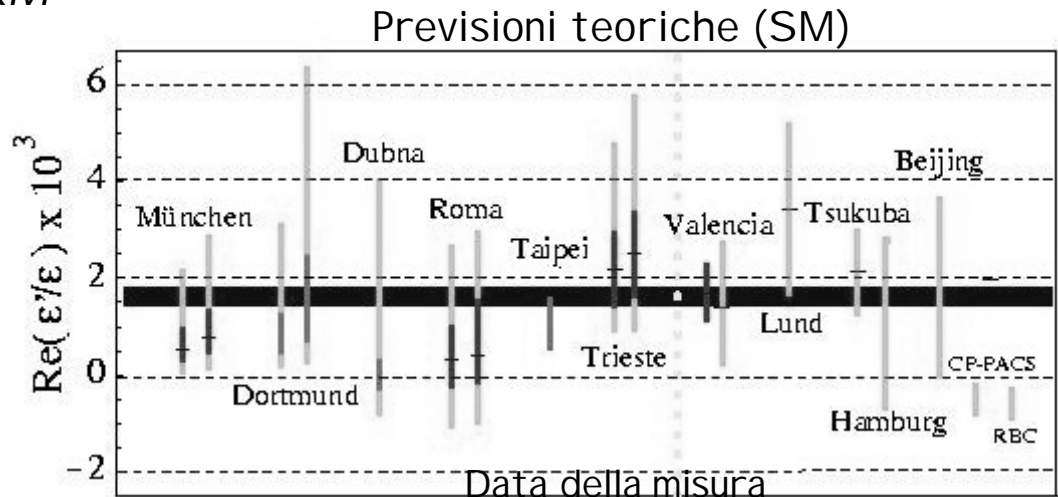
Teoria:

Consistente con SM?

No! Si! Non so...

SM e' *accidentalmente* quasi superdebole.

Si attende il reticolo (?):
 ϵ'/ϵ deve diventare un test quantitativo di SM.



Decadimenti di K_L

Asimmetria di carica semileptonica (violazione di *CP indiretta*):

$2 \div 3 \cdot 10^8$ eventi (KTeV, NA48):

$$\delta_L(e) = (3.32 \pm 0.07) \times 10^{-3}$$

Misura e (difficilmente calcolabile, *input* a teoria), limite sistematico

Ricerche di decadimenti rari, test di χ PT (KTeV, NA48): ad es.

$$\text{BR}(K_L \rightarrow e^+e^-\gamma) = (10.13 \pm 0.04 \pm 0.06 \pm 0.29_{\text{norm}}) \times 10^{-6}$$

$$\text{BR}(K_L \rightarrow e^+e^-e^+e^-) = (4.07 \pm 0.12 \pm 0.11 \pm 0.16_{\text{norm}}) \times 10^{-8}$$

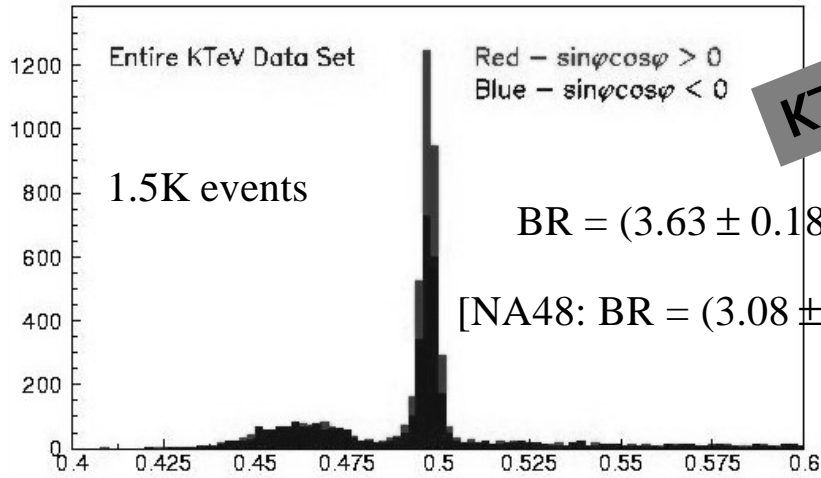
$$\text{BR}(K_L \rightarrow e^+e^-\mu^+\mu^-) = (2.69 \pm 0.24 \pm 0.12) \times 10^{-9}$$

Altri risultati attesi da analisi in corso.

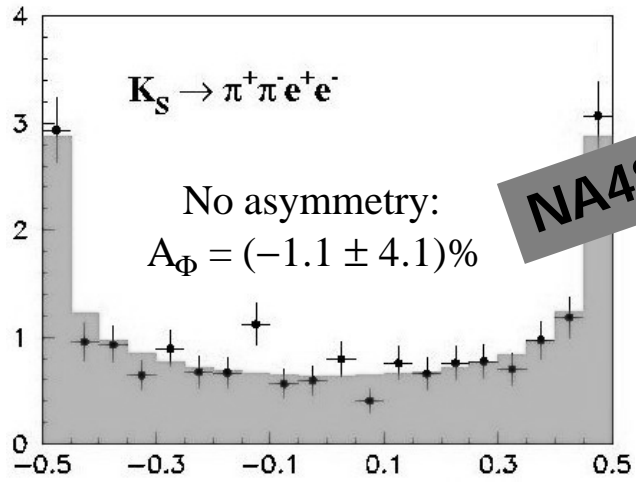
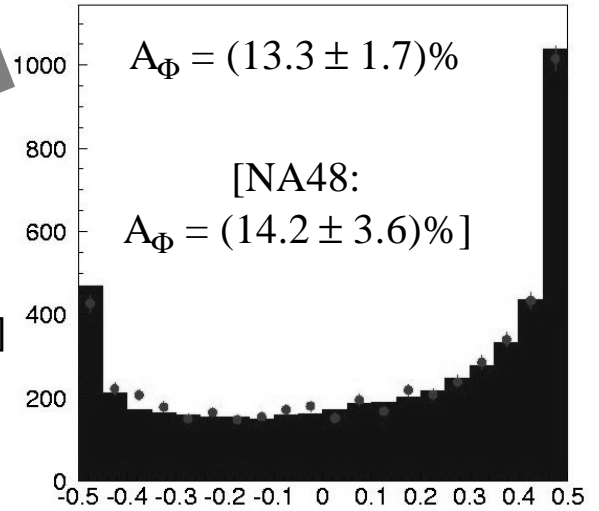
Violazione di *CP indiretta* in K_L \otimes $p^+p^-e^+e^-$ (KTeV, NA48):

$$\text{BR} \sim 3.5 \cdot 10^{-7} \quad A \sim 14\%$$

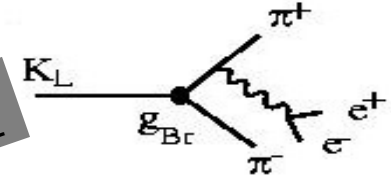
$K_{L,S} \text{ @ } p^+p^-e^+e^-$



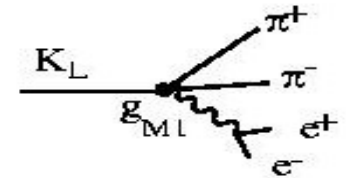
KTeV: K_L



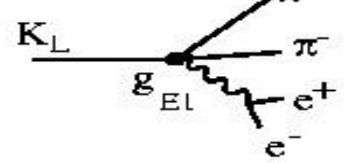
NA48: K_S, K_L



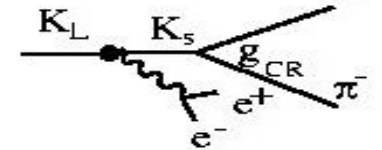
CPV inner bremsstrahlung



CPC direct emission



CPV direct emission



Charge radius

Decadimenti di K_S : CPV

Ricerca di $K_S \rightarrow 3\pi^0$: interf. K_L - K_S a macchine adroniche o F factories

$$\text{BR}(K_S \rightarrow 3\pi^0) < 1.4 \times 10^{-6} \quad (90\% \text{ CL}) \quad (\text{NA48/1 prel.})$$

$$\text{BR}(K_S \rightarrow 3\pi^0) < 2.1 \times 10^{-7} \quad (90\% \text{ CL}) \quad (\text{KLOE prel. } 450 \text{ pb}^{-1})$$

Non ancora raggiunto il livello di CPV *indiretta*

Termine dominante per migliorare i limiti su violazione indiretta di CPT (1 m d):

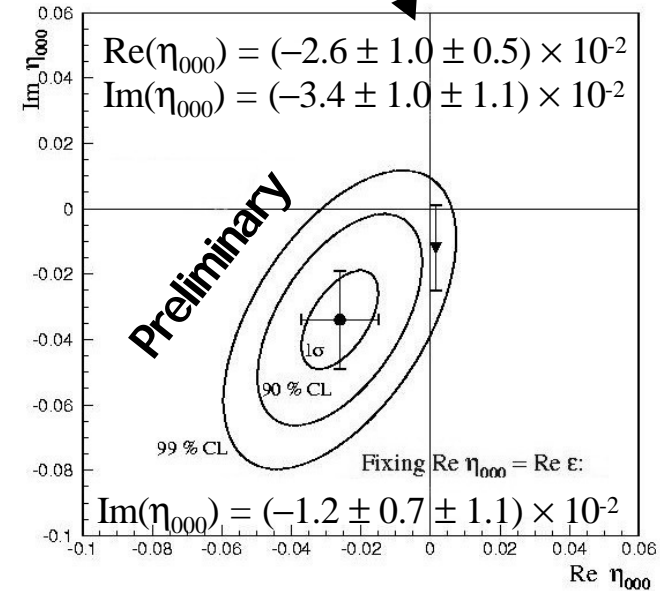
$$m(K^0) - m(\bar{K}^0) = (-1.7 \pm 4.2) \times 10^{-19} \text{ GeV}/c^2$$

K_S semileptonici (KLOE prel. 170 pb^{-1}):

$$\text{BR}(K_S \rightarrow \pi e?) = (7.09 \pm 0.07 \pm 0.08) \times 10^{-4}$$

Asimmetria di carica K_S (KLOE prel.):

$$\delta_S = (-2 \pm 9 \pm 6) \times 10^{-3} \quad (\rightarrow \pm 4 \times 10^{-3}, \text{ lontani da test di CPT})$$





KLOE a DAFNE

Buone prospettive per decadimenti K_S , interferometria.

Nuova regione di interazione, miglioramenti costanti della macchina.

Luminosità di picco:

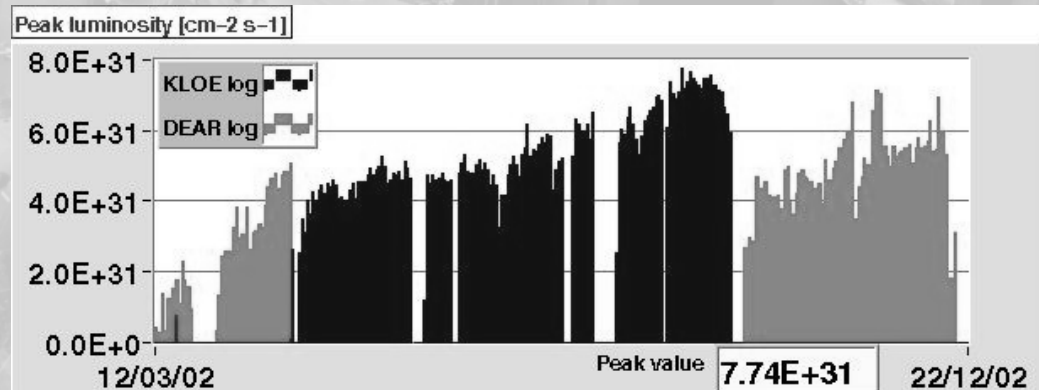
$8 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nel 2002

Obiettivo: $5 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

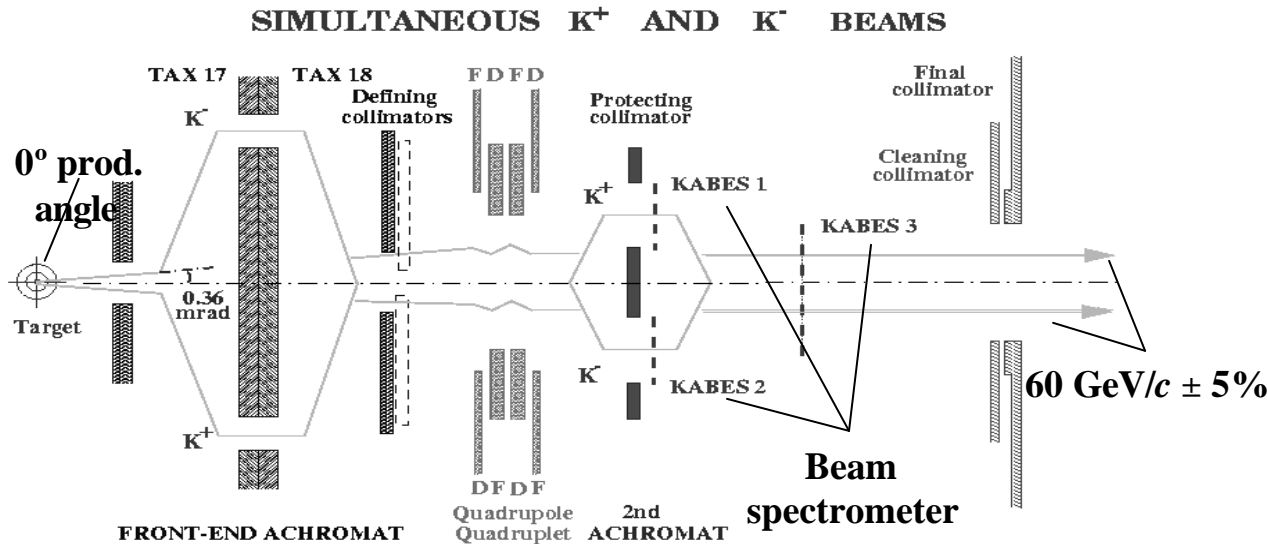
500 pb^{-1} ($1.5 \cdot 10^9 \phi$)

raccolti finora.

Nuovo run.



Decadimenti di K^\pm : NA48/2



Run in 2003

Richiesto ed
approvato
ulteriore
run 2004

Fasci simultanei K^+ e K^- a banda stretta,
spettrometro di fascio (10^7 p/s) con MICROMEGAs

10^{11} decadimenti K^\pm

Asimmetrie di carica nel Dalitz plot per $K^\pm \rightarrow 3\pi$ a $O(10^{-4})$ (SUSY, SM:
da 10^{-4} a 10^{-6}) + misura $Ke4$ + molta altra fisica

NA48/2

Nuova linea di fascio installata,
spettrometro di fascio OK

Cancellazione sistematiche al
prim'ordine mediante fasci
simultanei ed inversione
frequente dei campi magnetici

Performance non ottimale
dell'SPS nel 2003

$10^9 K^\pm \rightarrow p^\pm p^+ p^-$ disponibili
 $5 \cdot 10^7 K^\pm \rightarrow p^\pm p^0 p^0$

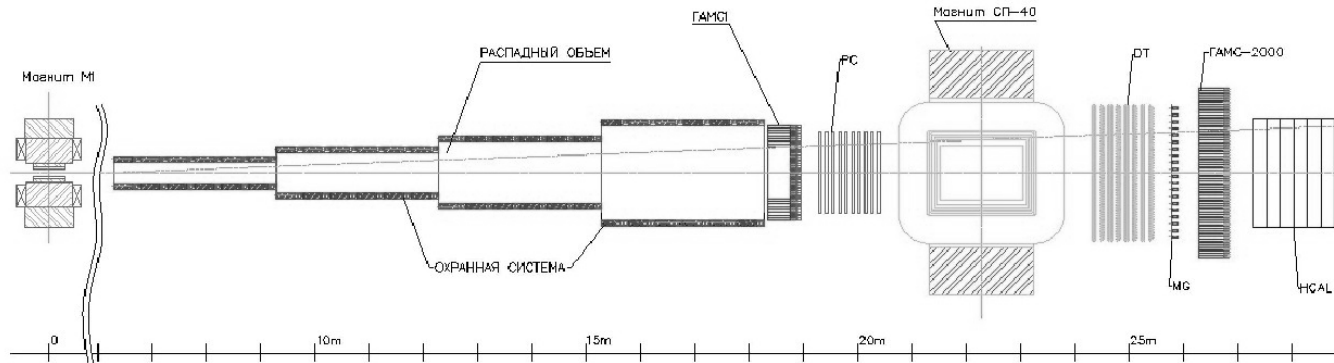
Analisi preliminare: nessun limite
sistematico sul campione

Analisi dati in corso



Nuovo run 2004 con ottimizzazione
migliore di cancellazioni temporali.

Decadimenti di K^\pm : OKA @ Protvino



Fascio RF-separato a U-70 PS in costruzione.

15 GeV/c K^+ or K^- alternati, rivelatore da I STRA+, GAMS.

Asimmetrie delle pendenze del Dalitz plot nei 3π @ 1×10^{-4}
correlazioni T-odd, ricerca di Nuova Fisica in decadimenti K_{l2}

2003: 1/2 beam line, criogenia, estrazione 1.3×10^{13} ppp

Primo run di fisica 2005

Corrente

“Fisica a tutto spettro”

Moltissima altra fisica fondamentale con i K
come sottoprodotto: non si tratta mai
di esperimenti a risultato singolo.

Il paradigma puo' cambiare anche drasticamente (*in meglio*) come conseguenza di scoperte “inattese”



Young's Law:

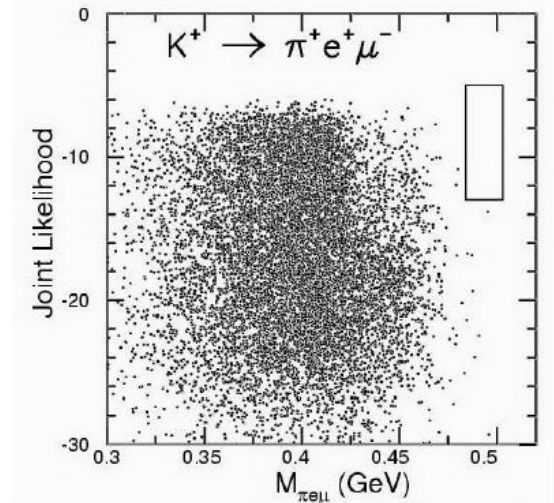
“All great discoveries are made by mistake”.

Lepton-Flavour Violation

Intensa attivita' ha portato a limiti superiori molto spinti.

Problemi di flusso ma soprattutto di fondo.

Oggi difficilmente competitivo con μ , nessun progetto *dedicato* nuovo.



Canale	Limite BR (90% CL)
$K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ e^-$	2.8×10^{-11}
$K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^- e^+$	5.2×10^{-10}
$K^+ \rightarrow \pi e^+ e^+$	6.4×10^{-10}
$K^+ \rightarrow \pi \mu^+ \mu^+$	3.0×10^{-9}
$K^+ \rightarrow \pi \mu^+ e^+$	5.0×10^{-10}

Come sottoprodotto: limiti a LFV, particelle esotiche, SUSY, Higgs.

Continueranno risultati come sottoprodotto di esperimenti su K ad alto flusso.

Decadimenti adronici 2p, 3p

$K \rightarrow 2\pi, 3\pi$ ricalcolati 2002 a NLO (p^4) in ChPT (Bijnens et al.), includendo parzialmente effetti di rottura di isospin: buon accordo delle pendenze del plot di Dalitz con l'esperimento.

Modo	Param.	Esp. (PDG)	Scala	Fit ChPT
$p^+p^+p^-$	g	-0.2154 ± 0.035	1.4	- 0.216
	h	0.012 ± 0.008	1.4	0.012
	k	-0.0101 ± 0.0034	2.1	- 0.0052
$p^\pm p^0 p^0$	g	0.652 ± 0.031	2.7	0.638
	h	0.057 ± 0.018	1.4	0.074
	k	0.0197 ± 0.0054		0.0045

Violazione di CP diretta: asimmetrie K_+/K_- ?

Nuove misure (prel.) di KLOE su $\pi^\pm \pi^0 \pi^0$ riducono errori di $\frac{1}{2}$ (teoria?).

NA48/2 e OKA a $O(10^{-4})$ in $\pi^+ \pi^+ \pi^-$ e $\pi^\pm \pi^0 \pi^0$ (previsioni SM $\sim 10^{-5}$ *non pulite*)

Asimmetrie piu' elevate in altri canali con BR minore (es. $\pi^\pm \pi^0 \gamma$): statistica...

V_{us} : l'angolo di Cabibbo

$$|V_{us}| = 0.2196 \pm 0.0023 \text{ (PDG2002)}$$

$$1 - \sum_i |V_{ui}|^2 = 0.0032 \pm 0.0014$$

(violazione di unitarieta' a 2.2σ)

Errore: 50% V_{ud} (arrivera' a 10^{-4}) e
50% $V_{us} \rightarrow$ Misurare V_{us} a 10^{-3}

Con K^+_{e3} (1 fattore di forma):

BR: 0.9%, τ : 0.1%, $f_+(0)$: 0.8%, λ_+ : 0.4%

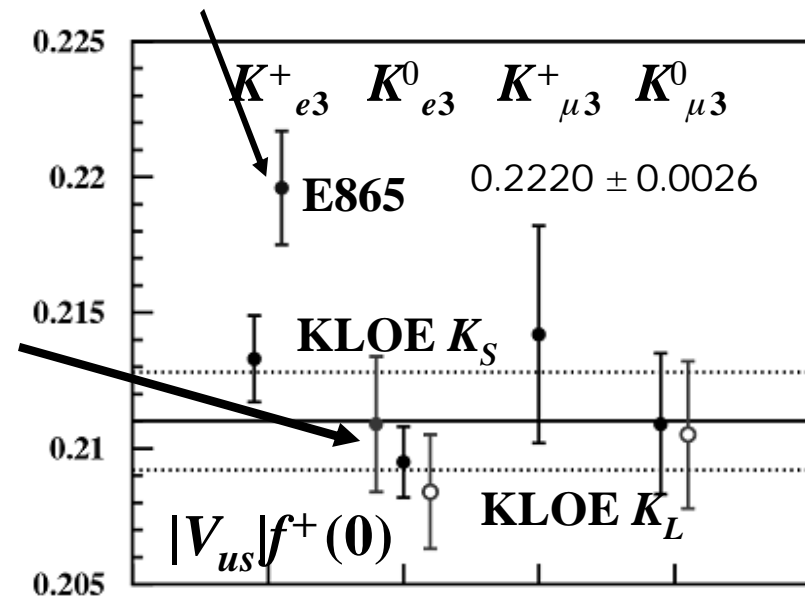
KLOE prel. ($170 \text{ pb}^{-1} K_S$, $78 \text{ pb}^{-1} K_L$) in
accordo con misure precedenti.

Errore statistico $\sim 1\%$ (0.5% su V_{us})

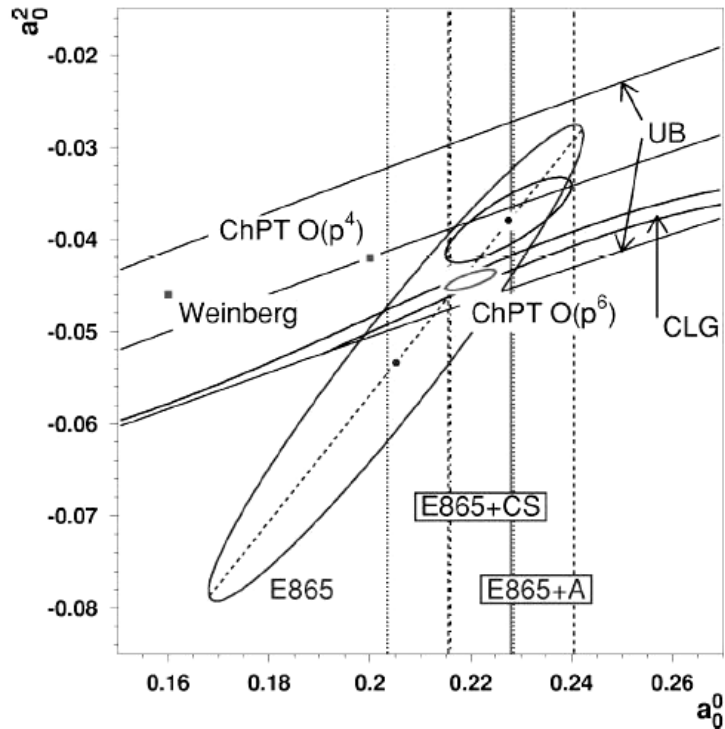
*Situazione non chiara, sara' risolta da
KLOE, NA48, KTeV*

BNL E865

Run a bassa intensita' 1 sett.,
70K eventi, ric. π^0_D parziale,
corr. radiative, 2.5% bkg:
($5.13 \pm 0.02 \pm 0.09 \pm 0.04$)%
in accordo con unitarieta'



Interazioni pp e QCD



- Decadimenti Ke4 permettono lo studio della dinamica $\pi\pi$.
- Asimmetria tra piani del di-pione e del di-leptone sensibile alle fasi forti.
- Parametro QCD predetto con maggiore precisione (ChPT a 2 loop):
 $a_0^0 = 0.220 \pm 0.005$
- BNL E865: 400K eventi
 $a_0^0 = 0.216 \pm 0.013 \pm 0.003$
- Obiettivo NA48/2: >1M events
- Obiettivo DI RAC: $|a_0 - a_2|$ a 6%

Non si raggiunge ancora il livello della teoria!

Violazione di T

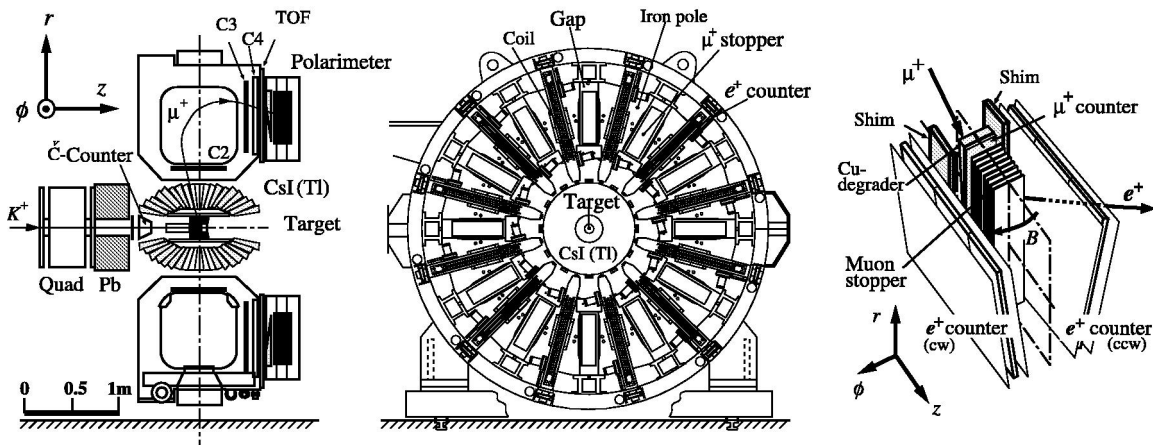
$P_T(\mu)$ ortogonale al piano di decadimento in decadimenti a 3 corpi
(correlazione dispari per T).

Piccole FSI (EM) in SM: sensibile a Nuova Fisica

Modo	BR	P_T (KEK-E246)	P_T (SM)
$p^0 m^+ n$	3.3%	$(-1.12 \pm 2.17 \pm 0.90) \times 10^{-3}$	$< 10^{-5}$
$m^+ n g$	0.6%	$(-0.64 \pm 1.85 \pm 0.10) \times 10^{-2}$	$< 10^{-3}$

- Relazione tra i due discrimina modelli di Nuova Fisica.
- Esperimenti con K a riposo: sistematiche da mis-allineamento rivelatore, asimmetrie dei campi magnetici e (grande) polarizzazione lungo il piano.
- Altro approccio: decadimenti a 4 corpi senza misura polarizzazione (NA48/2, OKA)

KEK E246



K^+ 660 MeV/c fermati in assorbitore.
 Risultato combinato da 8.3M decadimenti $\pi^0\mu^+\nu$
 (1996-2000):

$$P_T(\mu) = (-1.12 \pm 2.17 \pm 0.9) \times 10^{-3}$$

Esperimento concluso: sensibilita' finale attesa

$$\delta P_T(\mu) \sim 1.5 \times 10^{-3} \quad (0.6 \times 10^{-2} \text{ su } 1 \text{ m } \xi).$$

Anche 10^5 decadimenti $\mu^+\nu\gamma$ (grande fondo) in 1996-98.



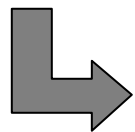
“Una finestra unica sulla fisica del sapore”

**Vincoli a CKM da correnti cariche (*tree*) o ? F=2 (*mixing*).
Fisica in ? F=1 ha in generale sensibilita' diversa
(ad es. a Nuova Fisica)
e in alcuni casi non ha grandi errori teorici irriducibili.**

**Decadimenti rari FCNC: $q_i \rightarrow q_j + (g, l+l^-, ??)$
soppressi in SM (GIM, CKM): 2° ordine (*loop*)**

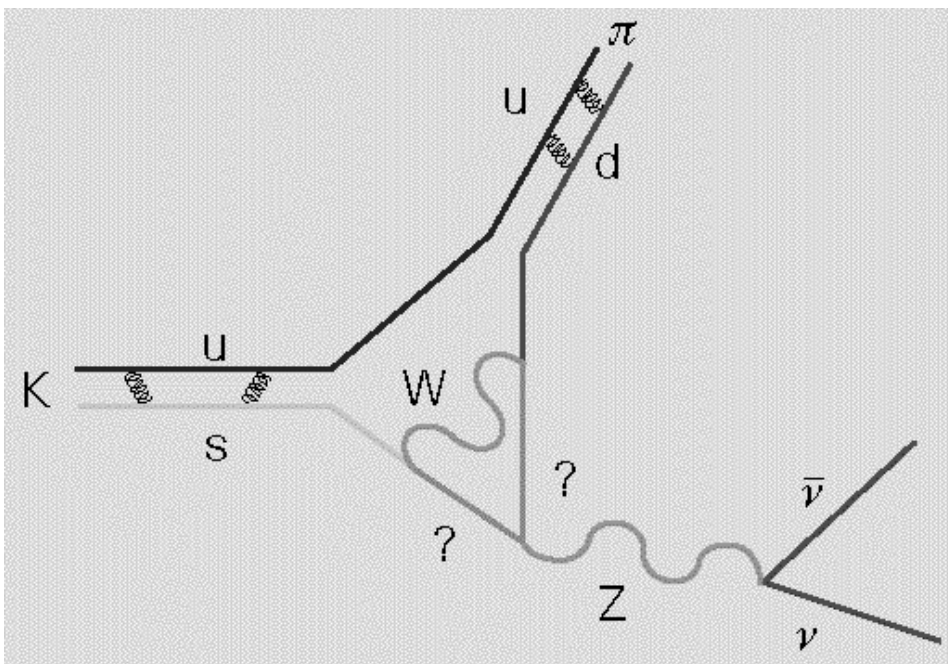
Obiettivo principale: $K \rightarrow \pi l \bar{l}$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

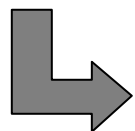
Ovvero: "Che cosa fanno calcolare i teorici?"



La fisica "pulita" domina quella "sporca" si elimina

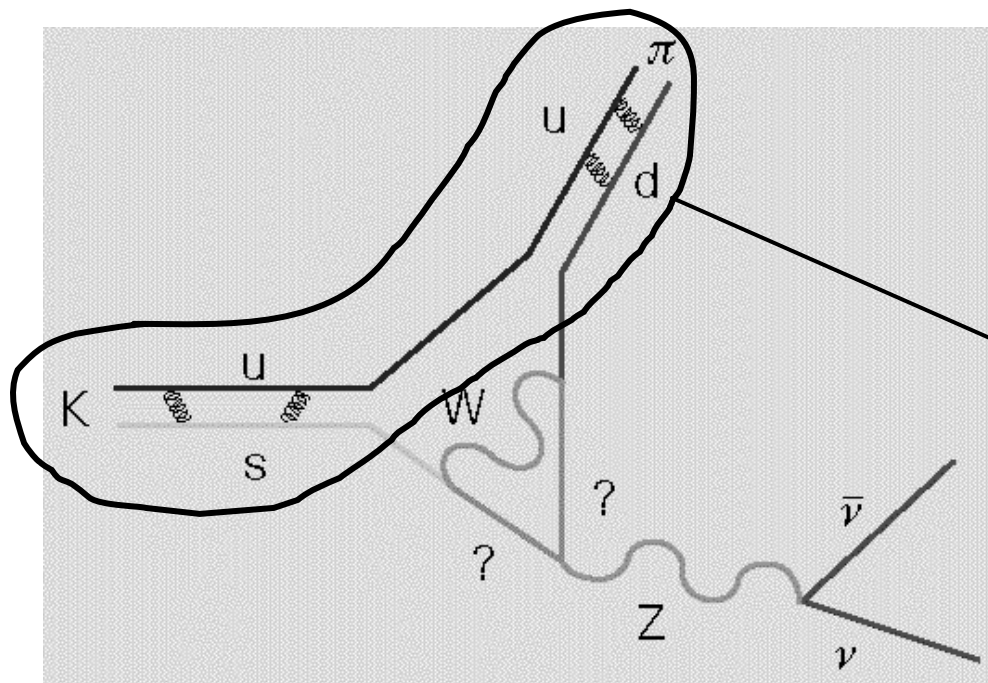
Obiettivo principale: $K \rightarrow \pi l \bar{l}$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

Ovvero: "Che cosa sanno calcolare i teorici?"

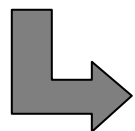


La fisica "pulita" domina quella "sporca" si elimina

Semileptonico: singolo operatore adronico
Elemento di matrice NP da K_{e3} (isospin)

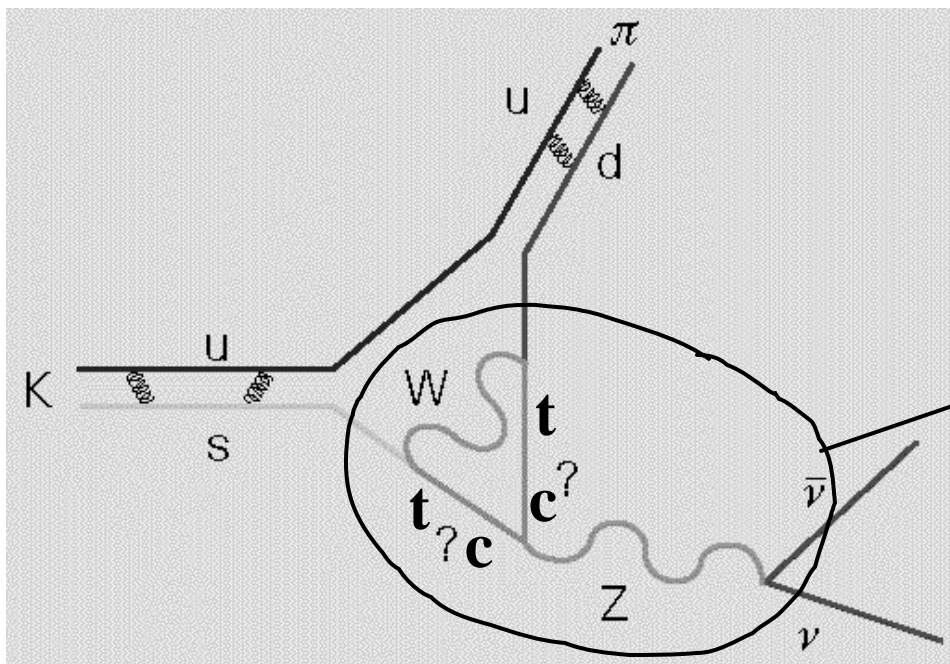
Obiettivo principale: $K \rightarrow \pi l \bar{l}$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

Ovvero: "Che cosa sanno calcolare i teorici?"

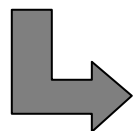


La fisica "pulita" domina quella "sporca" si elimina

Fisica a brevissime distanze domina (GIM): perturbativa, sotto controllo NLO.

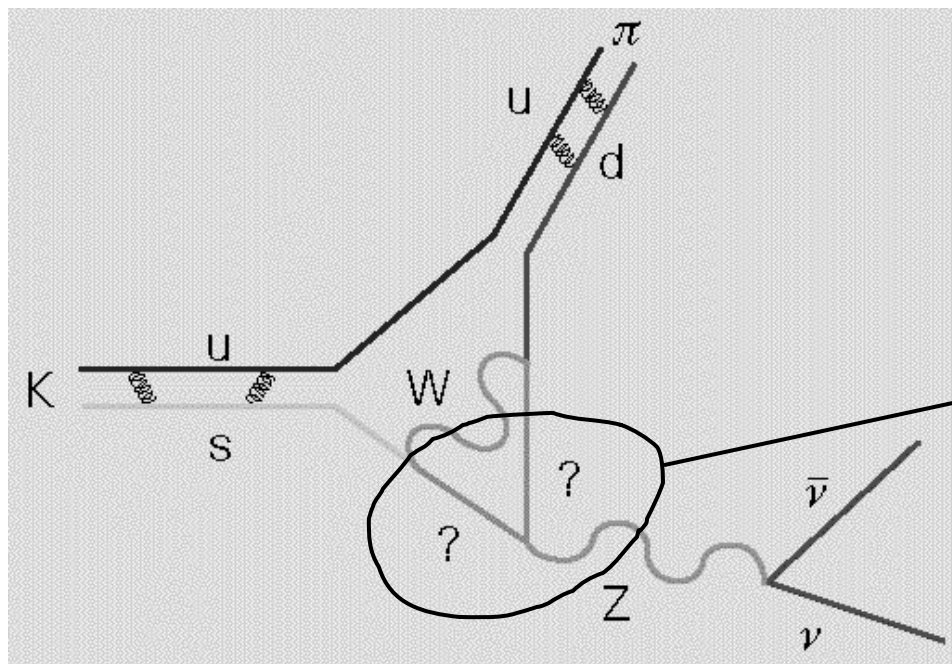
Obiettivo principale: $K \rightarrow \pi l \bar{l}$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

Ovvero: "Che cosa sanno calcolare i teorici?"

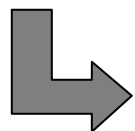


La fisica "pulita" domina quella "sporca" si elimina

Sensibile a loop con particelle pesanti da Nuova Fisica.

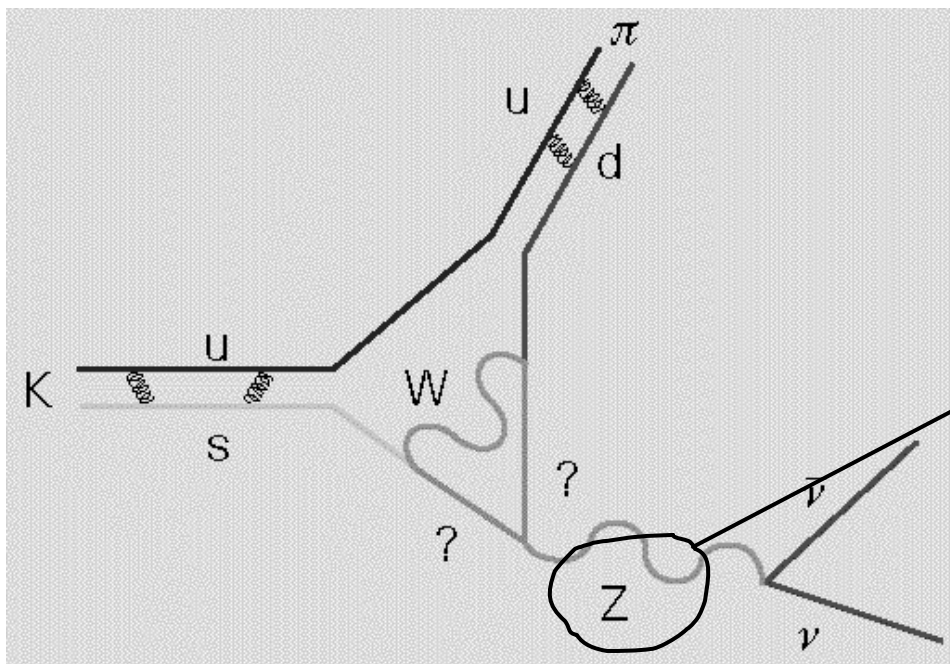
Obiettivo principale: $K \rightarrow \pi l l$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

Ovvero: "Che cosa sanno calcolare i teorici?"

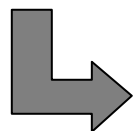


La fisica "pulita" domina quella "sporca" si elimina

Se $I = ?$ non c'è contributo a lunga distanza da fotoni.

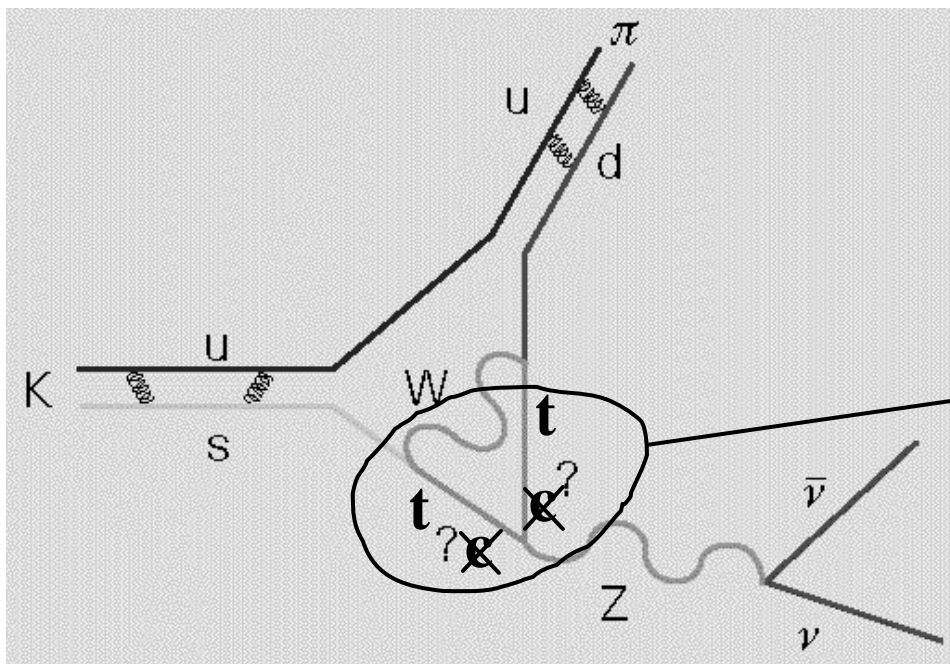
Obiettivo principale: $K \rightarrow \pi l l$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

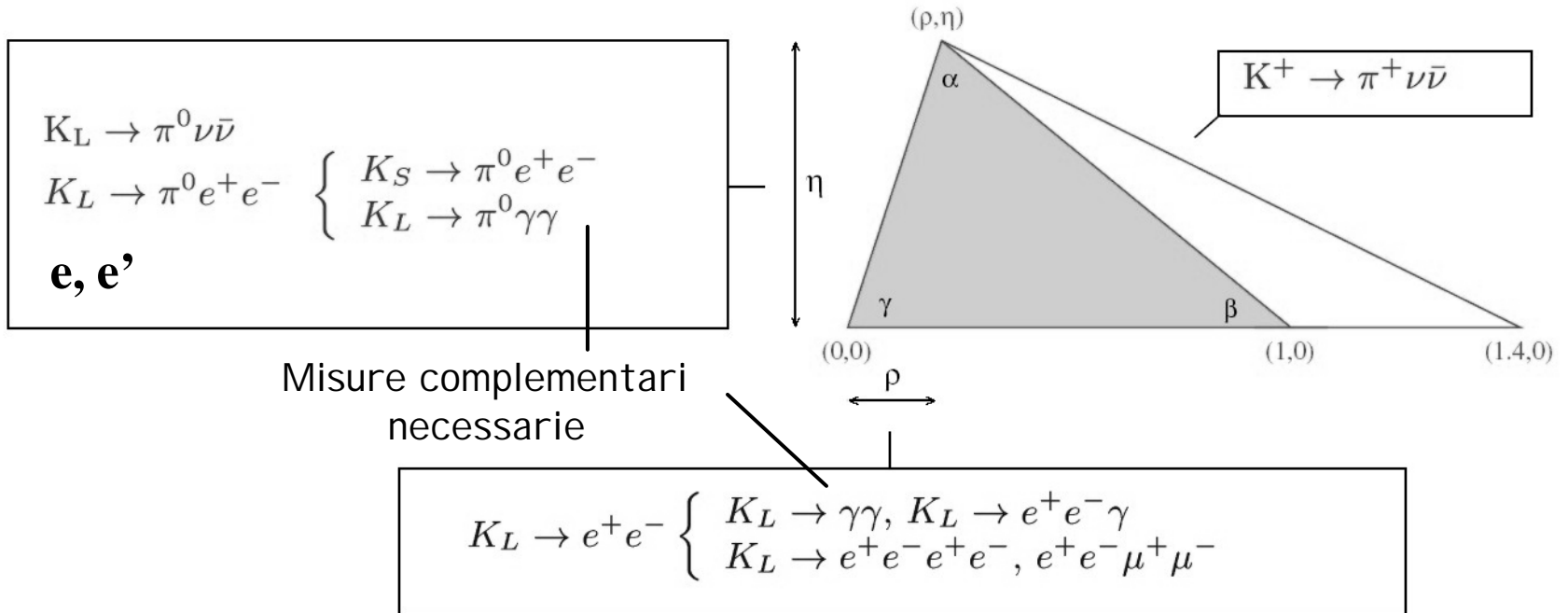
Ovvero: "Che cosa sanno calcolare i teorici?"



La fisica "pulita" domina quella "sporca" si elimina

Nel caso di K neutro la transizione viola CP e solo il t contribuisce

Triangolo di unitarieta' dai K

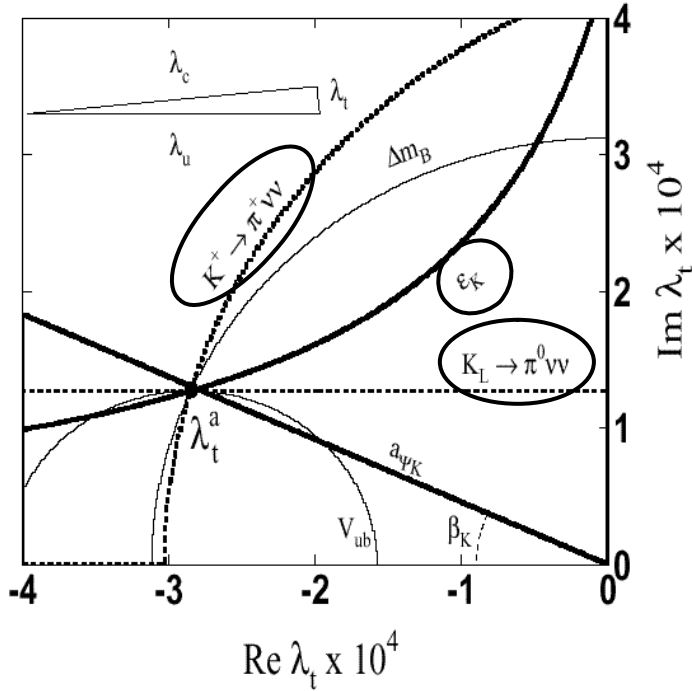


$$\underbrace{V_{us}^* V_{ud}}_{\text{Ke3}} V_{cs}^* V_{cd} + \underbrace{V_{ts}^* V_{td}}_{K^+ \text{ @ } p+n\bar{n}} = ?_u + ?_c + ?_t = 0$$

Altezza $\text{Im}(?_t)$

$K_L \text{ @ } p^0 n \bar{n}$

K e B a confronto



Confronto con vincoli dalla fisica del B (misura 10% di BR):

- Errori su ρ , V_{td} : meglio dai B
- Errori su η , $\sin 2\beta$: simili a B-factories
- Errore su λ_t : meglio dai K

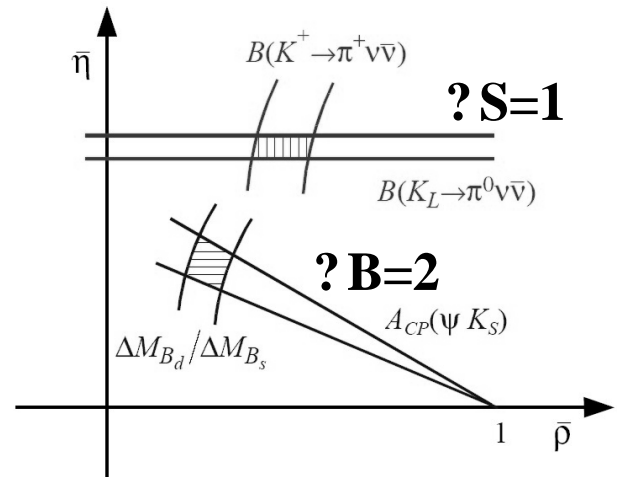
A. Buras, hep-ph/9905437

$\text{Re } \lambda_t \times 10^4$

Confronto V_{td} da $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ e da

? $M(B_d)$ / ? $M(B_s)$

Confronto β da $\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) / \text{BR}$
 $\text{BR}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$ e $A(B_d \rightarrow J / ? K^0)$



Nell'epoca di LHC...

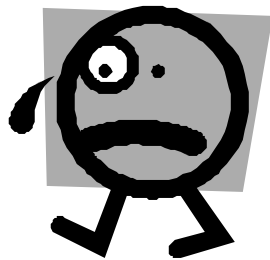
Avendo trovato Nuova Fisica, i decadimenti rari FCNC permetteranno di studiarne gli accoppiamenti, dinamica del sapore.



La Nuova Fisica ha mescolamento di sapore diverso da SM?

No: effetti 10-30% (anche in presenza di vincoli di LEP).

Si: effetti in generale molto grandi, particolarmente nei processi FCNC dei K, fortemente soppressi nel SM.



Non avendo trovato Nuova Fisica, i decadimenti ultra-rari possono essere una sonda unica per scale molto elevate.

$K \rightarrow p l \bar{l}$

Naturalmente:

BR $\approx 10^{-11}$, scarsita' (o assenza) di vincoli cinematici,
fondi con BR $\times 10^7$

$K_L \rightarrow p^0 e^+ e^-$	10^{-11} (CPVdir $5 \cdot 10^{-12}$)	$< 2.8 \cdot 10^{-10}$ (FNAL KTeV)	CPC, CPV ind, CPV dir Fondo QED ee??
$K_L \rightarrow p^0 \mu^+ \mu^-$	10^{-11} (CPVdir $1 \cdot 10^{-12}$)	$< 3.8 \cdot 10^{-10}$ (FNAL KTeV)	CPC, CPV ind, CPV dir
$K^+ \rightarrow p^+ n \bar{n}$	$7.2 \cdot 10^{-11}$ (al 5%)	$1.47^{+1.30}_{-0.89} \cdot 10^{-10}$ (BNL E787+E949)	Primi esp. dedicati 3 eventi (bkg. 0.45)
$K_L \rightarrow p^0 n \bar{n}$	$3 \cdot 10^{-11}$ (all'1%)	$< 5.9 \cdot 10^{-7}$ (KTeV, con dec. Dalitz)	CPV dir "Nothing to nothing"

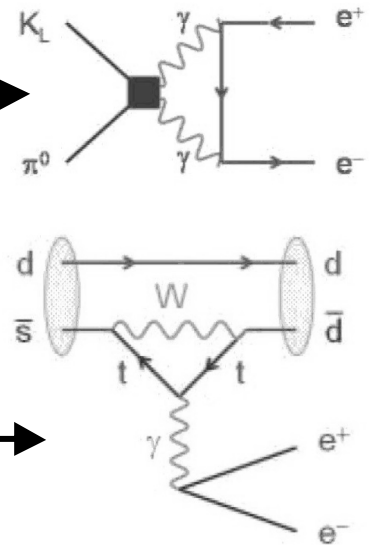
Necessari esperimenti dedicati

$K_L \text{ (R) } p^0 | + | -$

Limiti da KTeV (90% CL): $BR(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-) < 2.8 \times 10^{-10}$
 $BR(K_L \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-) < 3.8 \times 10^{-10}$

Questi decadimenti ricevono 3 contributi:

- **CP-permesso:** non calcolabile, derivabile da $K_L \rightarrow \pi^0??$ (NA48/KTeV)
- **Violazione di CP indiretta:** non calcolabile, misurabile da $K_S \rightarrow \pi^0 | + | -$ (NA48/1)
- **Violazione di CP diretta:** calcolabile e proporzionale alla fase CKM

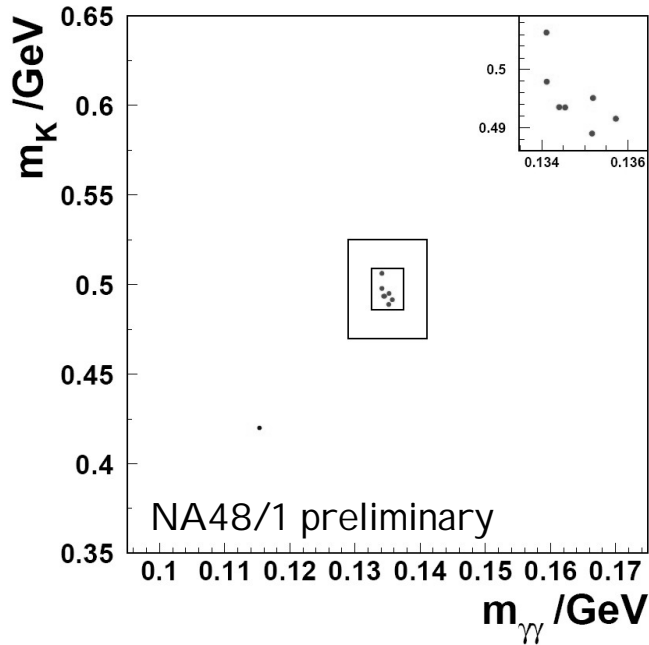


$$BR(K_L \rightarrow p^0 e^+ e^-)_{CPV} \approx 10^{-12} \left[15.3 a_S^2 - 6.8 a_S \text{Im}(I_t) \times 10^{-4} + 2.8 \text{Im}(I_t)^2 \times 10^{-8} \right]$$

$$I_t = V_{ts}^* V_{td} \quad |a_S| \approx 1 \div 1.5 \quad \text{misurato da } K_S \text{ (segno?)}$$

NA48/1: $K_S \rightarrow p^0 l^+ l^-$

$K_S \rightarrow p^0 e^+ e^-$

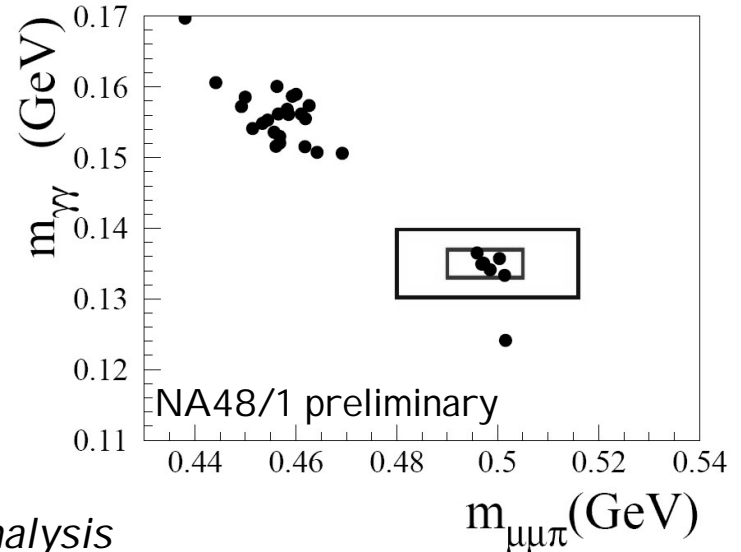


Prima misura: 7 eventi

Fondo $0.15^{+0.10}_{-0.04}$ ($K_L \rightarrow e e \gamma \gamma$ e accid.)

$BR = (5.8^{+2.8}_{-2.3} \pm 0.8) \times 10^{-9}$

$K_S \rightarrow p^0 \mu^+ \mu^-$



Blind analysis
Background-free

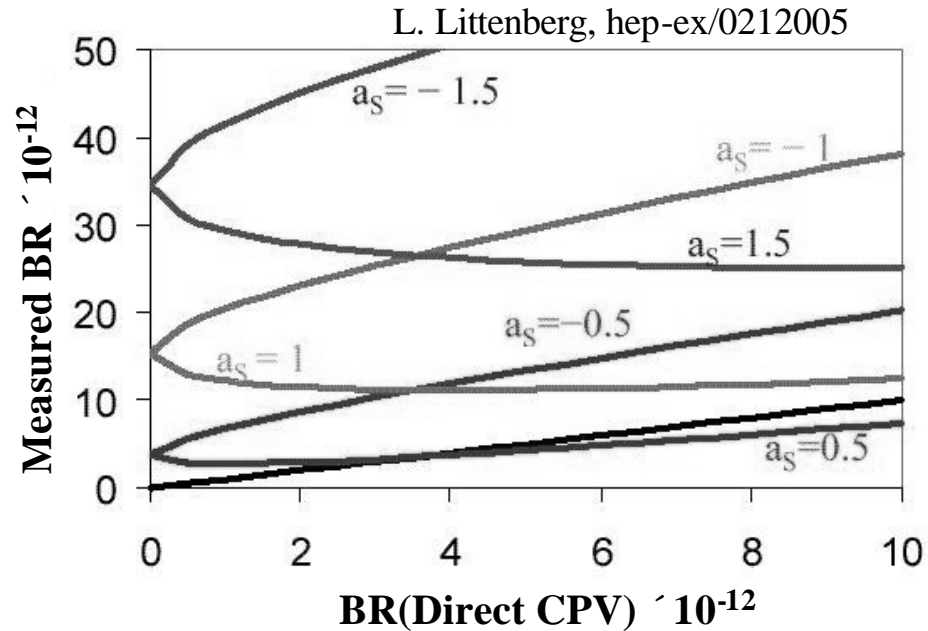
Prima misura: 6 eventi

Fondo $0.22^{+0.19}_{-0.12}$ (accid.)

$BR = (2.9^{+1.4}_{-1.2} \pm 0.2) \times 10^{-9}$

$K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$

- Misure di K_L : il contributo che conserva CP e' *piccolo*.
- Misure di K_S : il contributo di violazione indiretta di CP e' *dominante*.
- Sensibilita' del BR alla fase di CKM dipende dal *segno relativo* (non misurabile) dei due contributi che violano CP. Predizioni teoriche: interferenza *costruttiva*.



$$\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)_{\text{CPV}} \times 10^{12} \sim 17 \text{ (ind)} \pm 9 \text{ (interf)} + 5 \text{ (dir)}$$

$$\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-)_{\text{CPV}} \times 10^{12} \sim 9 \text{ (ind)} \pm 6 \text{ (interf)} + 1 \text{ (dir)}$$

$K^+ \textcircled{R} p^+ n \bar{n}$

Non viola CP

BR(SM) $\sim 10^{-10}$

Incertezza teorica \sim **5-7%**

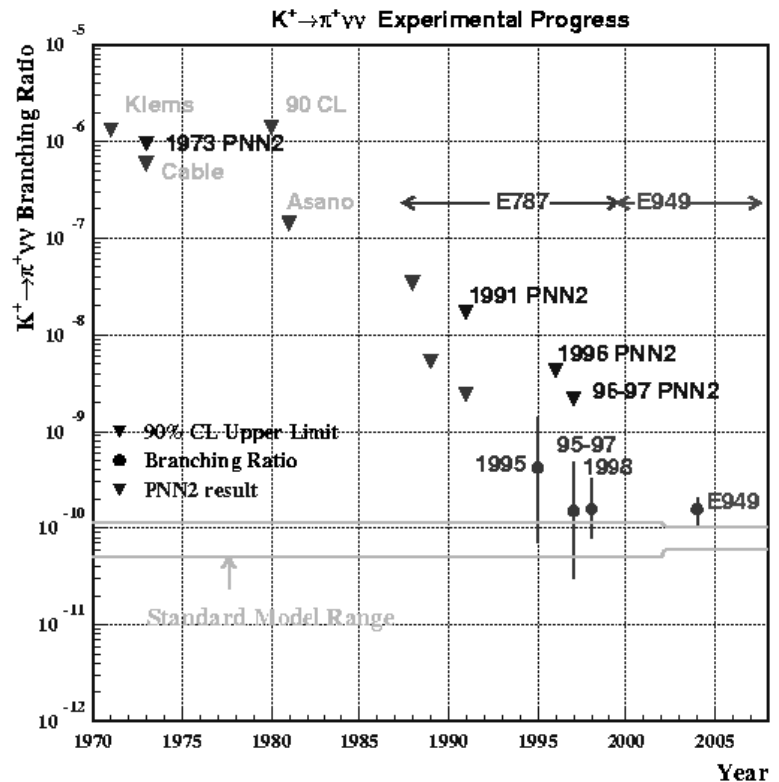
Fondo da decadimenti di K:
 μ^+ ? (0.63), e $\pi^+\pi^0$ (0.21),
 diffusione fascio, scambio
 carica + KI 3 ed interazioni
 nucleari dei pioni.

Assenza di vincoli cinematici.

VETO !!!

Soppressione fondi 10^{11} :
 ridondanza essenziale.

Misurato.



BNL E787: $K^+ \text{ @ } p^+ n \bar{n}$

Run 1989-1998

K^+ 800 MeV/c DC-separati

($K/p \sim 3$), $5 \cdot 10^5 K/10^{12} p$

Kaon ID: C, MWPC, dE/dx

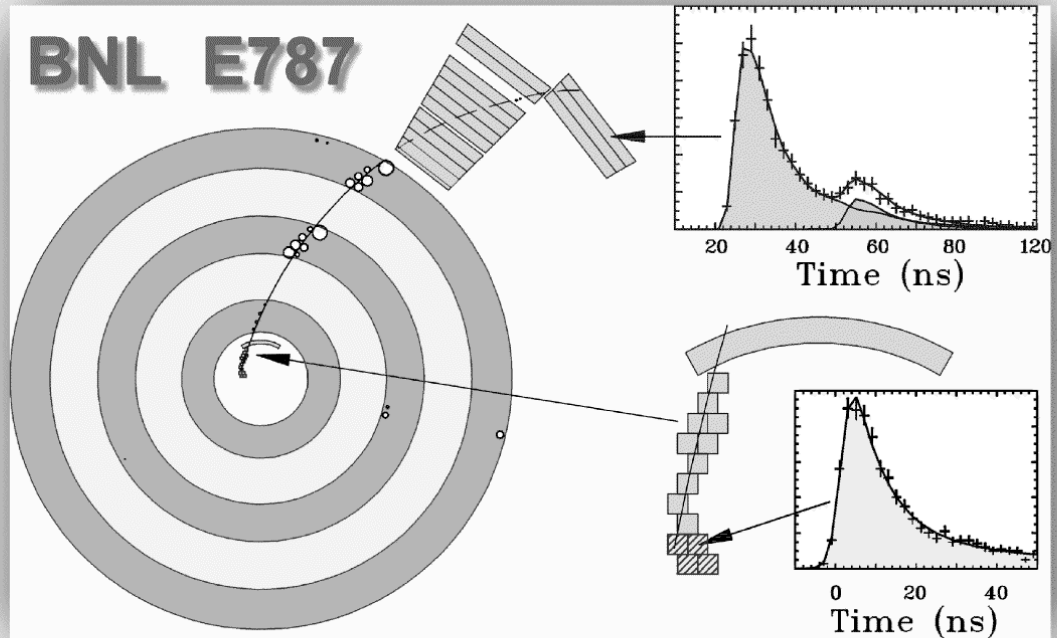
Decadimenti a riposo

Ridondanza misure

Identificazione $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$

Accettanza 0.2%

Regione di impulso tra i picchi di $\pi\pi$ e $\mu\nu$ (0.136)



Risultato finale: 2 eventi (0.15 bkg.)

$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = 1.56^{+1.75}_{-0.82} \times 10^{-10}$$

(valore centrale = 2 x SM)

Regione sopra il picco $\pi\pi$

$$N_K = 5.9 \cdot 10^{12}$$

BNL E949

Upgrade di E787

Run 20 ore/giorno durante RHI C.

Aumento flusso ($3 \cdot 10^6$ K/spill),
diminuzione impulso.

K^+ da 700 MeV/c ($K/\pi \sim 4$).

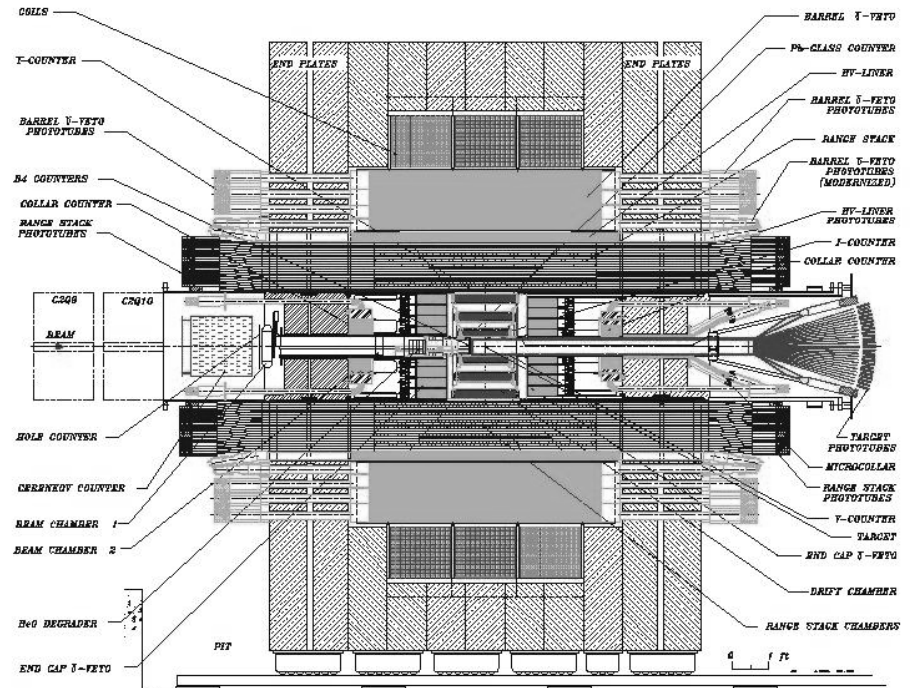
Migliorati veti, contatori di fascio,
range stack, calorimetro, trigger,
DAQ.

Obiettivo: 10 eventi SM
in 2 anni (SES $1.7 \cdot 10^{-11}$).

11 settimane di run in 2002 (1/5):
sensibilita' \sim E787.

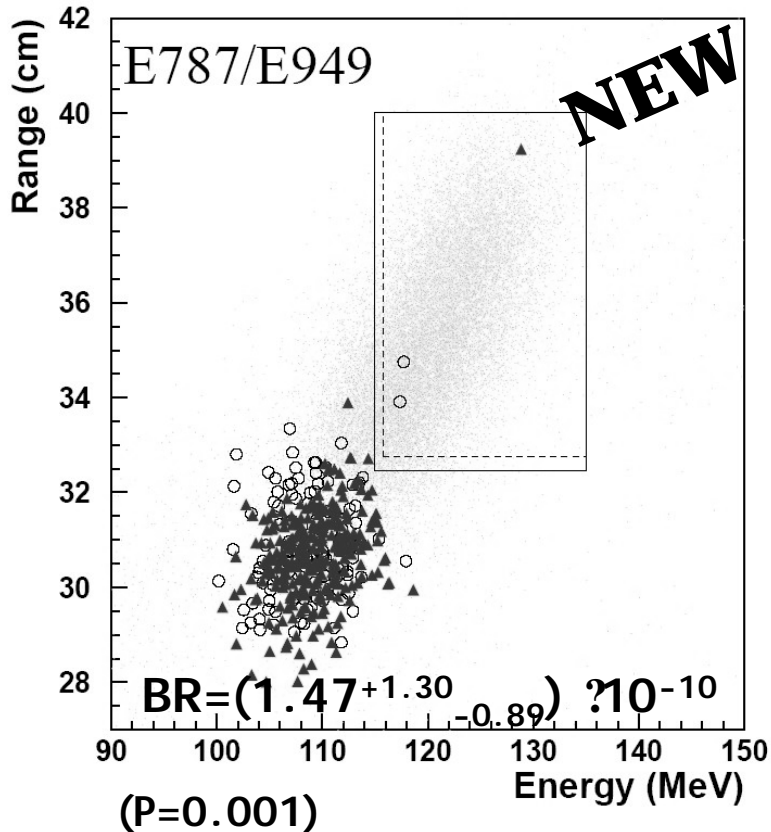
$N_K = 1.8 \cdot 10^{12}$

Nuovo run ?

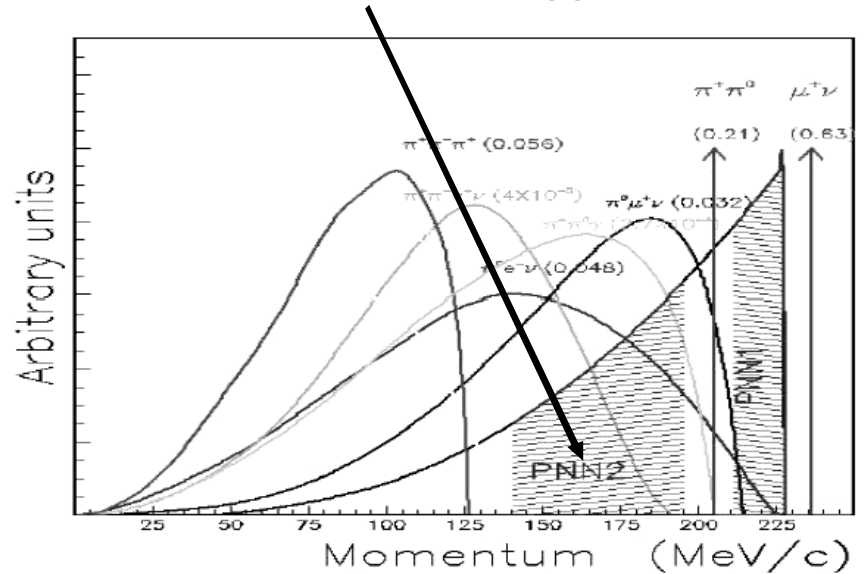


E787-E949: dati

Regione tra i due picchi monocromatici (fondo minore):



Studio della regione sotto il picco $\pi^+\pi^0$: maggior fondo (int. nucleari p): S/B = 20 volte peggiore



E787: 1 evento (1.22 fondo)
BR < $2.2 \cdot 10^{-9}$ (90% CL)



“Progetti ed obiettivi futuri”

**Rinnovato interesse nei decadimenti ultra-rari dei K:
pulizia, fattibilita', sensibilita', complementarieta' a B.**



$K^+ \textcircled{R} p^+ n \bar{n}$ CKM a FNAL MI

Nuovo approccio : misura in volo
Fascio K^+ RF-separato ($K/p \sim 4$) da
22 GeV/c (50 MHz)

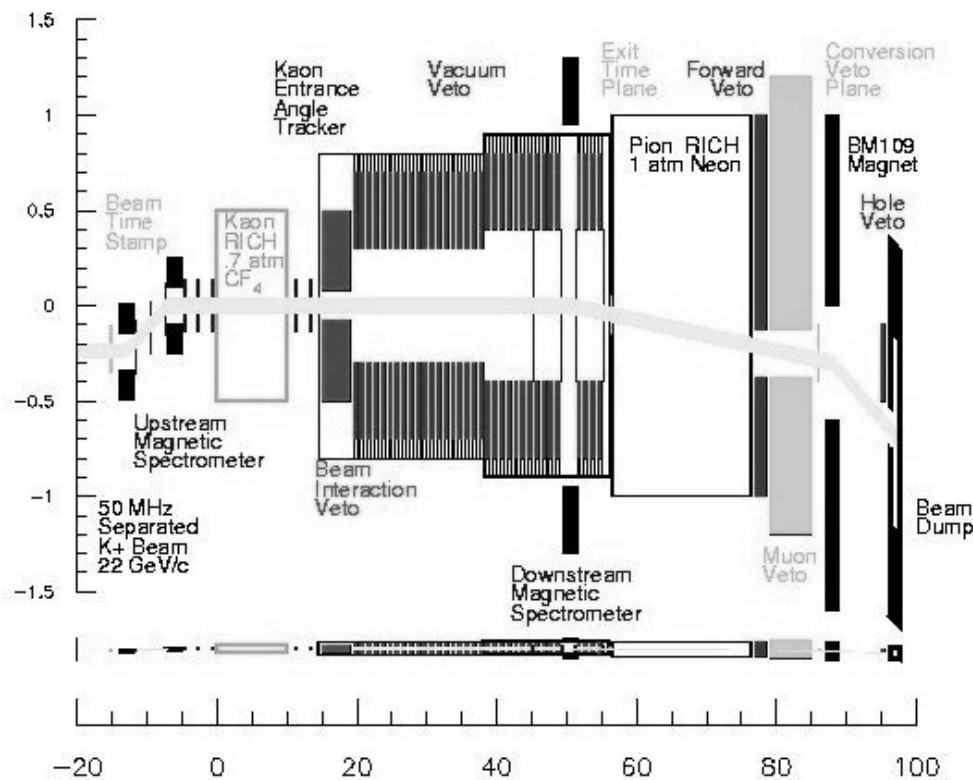
$5 \cdot 10^{12}$ ppp (15% di MI), $3 \cdot 10^7$ K/spill

Misure ridondanti (due RICH e due
spettrometri)

.Pb/Sci + CsI calo (KTeV), veti per ?
fino a 10 MeV (ineff. $10^{-5} \div 10^{-7}$),
accettanza 1.6%

R&D su cavita' (SC)RF, veti per
fotoni (ineff. $5 \cdot 10^{-6}$ a 1 GeV), *straws*
nel vuoto (10^{-6} Torr).

Obiettivo: 100 eventi SM in
2 anni ($S/B \approx 10$) dal 2007.



Ottobre 2003: CKM non ratificato da P5

"CKM is an elegant world-class experiment which would be able to produce important physics results. [...] BTeV has a much broader physics program at a comparable cost [100 MUSD]. [...] this plan is likely to be too ambitious..."

CKM-2 (?) (cfr. NA48/3)

Fascio non separato, impulso piu' elevato (37-53 GeV): beam pipe (decadimenti p), vetri piu' rilassati

Problema : tracking in fascio di 250 MHz (KABES a la NA48/2 ?)

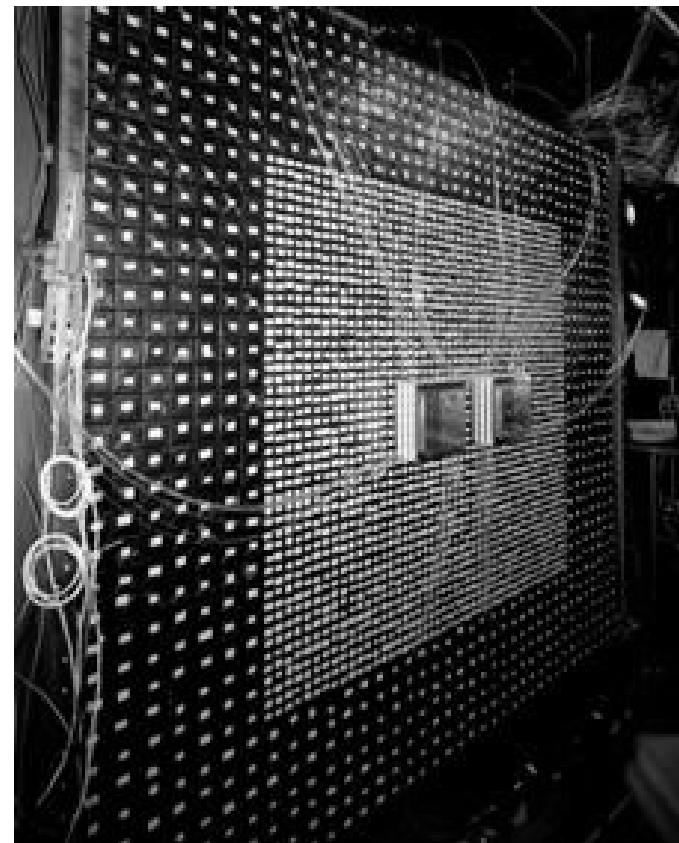
1/2 K decadimenti ed eventi

40 eventi (regione 1) +

60 eventi (regione 2)

Costo ridotto al 50%

Stato non chiaro?



NA48/3 ?

Studio di programma per decadimenti ultra-rari dei K al CERN.

- $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ (non limitato da protoni dell'SPS) per Villars
- Decadimento in volo ad alta energia (75 GeV): *yield*, risoluzioni
- Fascio non separato: tracciatura ed identificazione K a 1 GHz
- Doppio spettrometro, veti ermetici
- Nuovo esperimento con riutilizzazione di parti di NA48
- 50 eventi (S/B ~ 10) in 2 anni (> 2006)?
- Test in 2004.

Super-Da? ne?

Workshop on e^+e^- in the 1-2 GeV range (Alghero, Sett. 2003)

(1) Convenzionale @ 0.5 GeV (rivelatore 4p)

(2) Grande angolo di crossing @ 1 GeV (rivelatore in avanti)

Nuovo rivelatore necessario

Luminosità necessaria per entrambi p??: $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Upgrade macchina (5 anni) estrapolando da quanto si sa fare:
da 10^{33} a 10^{34}

$K_L \rightarrow p^0 n \bar{n}$

Viola CP (diretta, o LF).

BR $\sim 3 \cdot 10^{-11}$

Incertezza teorica \sim **1-2%**

Fondo neutro da $\pi^0 \pi^0$ (BR 0.1%)

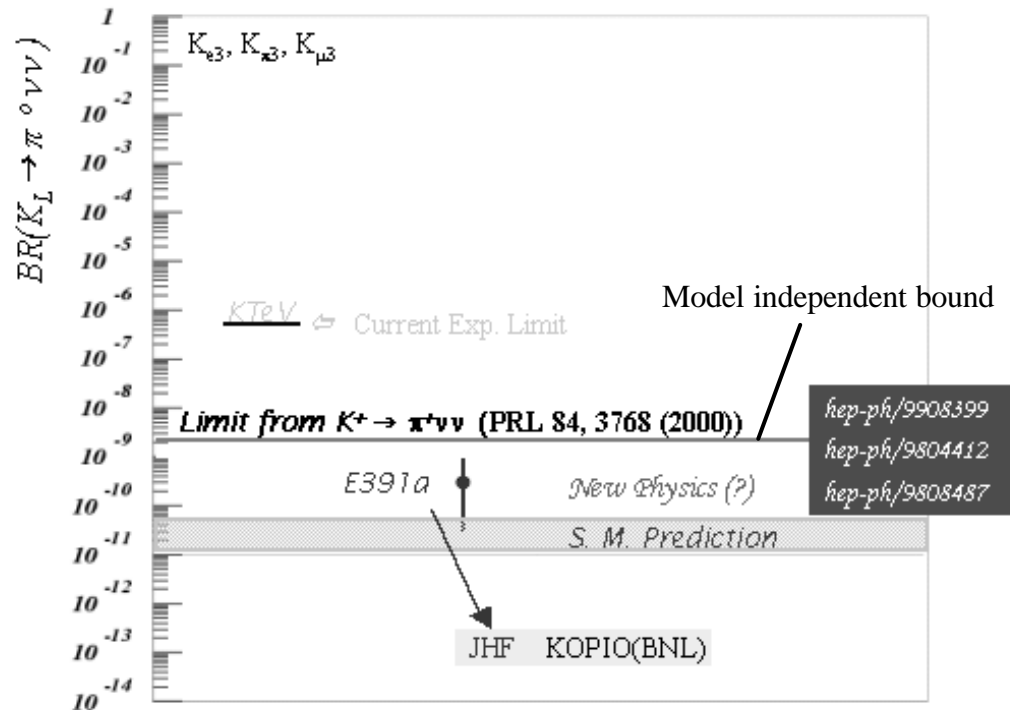
Taglio p_T mancante, VETO!!!

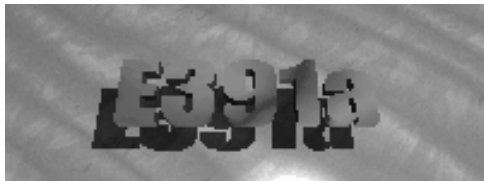
Limite KTeV: 10^{-7} con dec.

Dalitz del π^0 . 1/2-day run 1996
in modo $\gamma\gamma$ (*pencil beam*): 1
evento (interazione n).

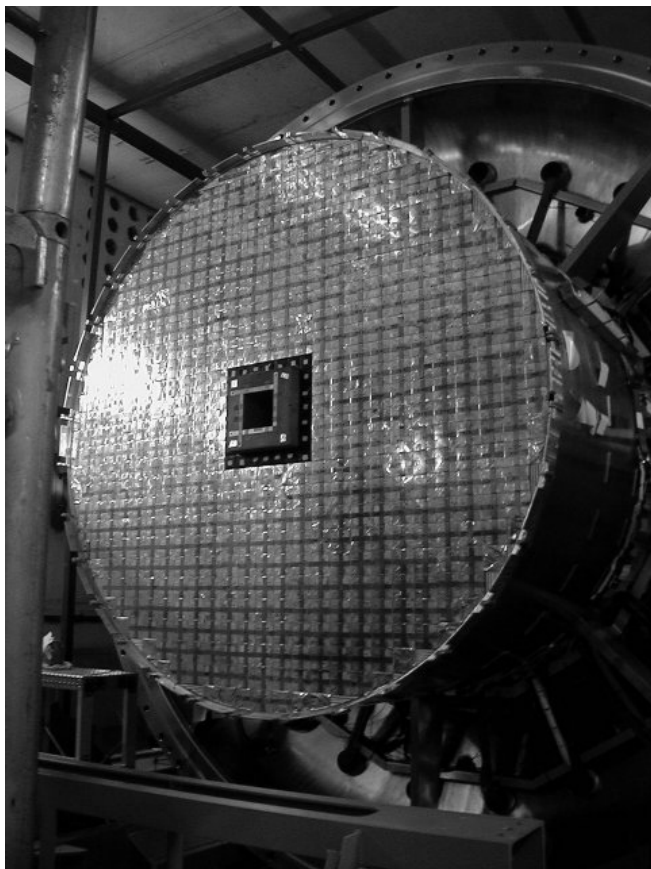
Approccio "forza bruta":

KAMI a FNAL (evoluzione
KTeV) con K_L 10 GeV/c, acc. 6%,
SES $2.3 \cdot 10^{-13}$ in 3 anni, 100
eventi SM: non approvato

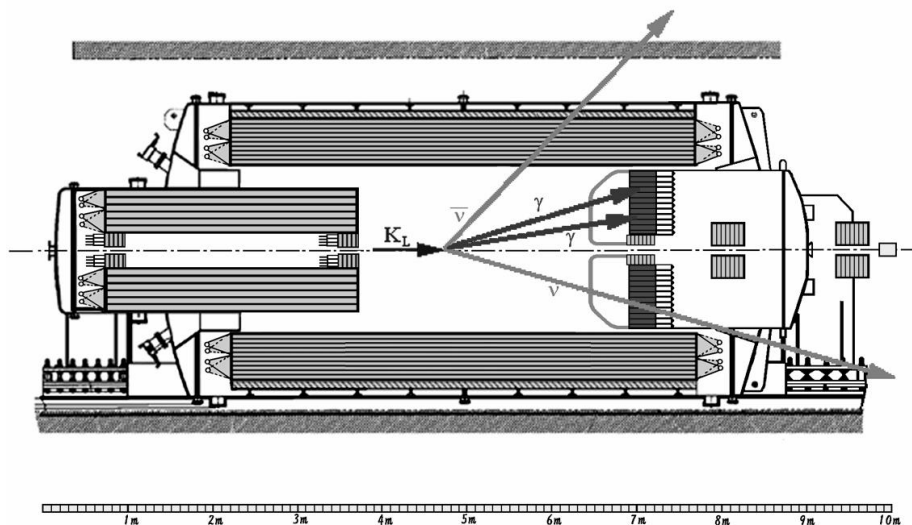




KEK E391a



Progetto pilota a KEK-PS ($2 \cdot 10^{12}$ ppp)
Fascio collimato 2 GeV/c : K/p $\sim 1/10$
 $2.6 \cdot 10^4$ dec./s, taglio in P_T per rigettare $\pi^0 \pi^0$ e
ridurre richiesta sui veto ad inefficienza 10^{-4}
Doppia camera di decadimento, accettazione 10%
CsI e DAQ recuperati, nuovi veto Pb/Sci (modulari).
"Engineering run" in 2002
In presa dati (Feb-Giu 2004): Obiettivo SES $3 \cdot 10^{-10}$



J-PARC @ Tokai

Materials and Life Science
Experimental Facility

Hadron
Experimental Facility

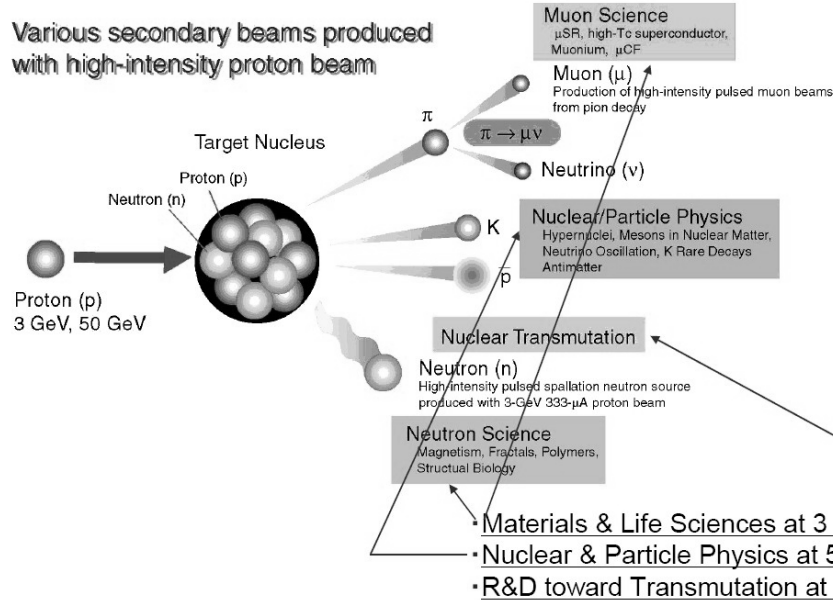
Energy Research Institute

Nuclear
Transmutation

Three Goals at this Facility

Tokai-village

Various secondary beams produced
with high-intensity proton beam



T.Kobayashi (KEK)

La Thuile 2004

Feb. 29~Mar.6, 2004

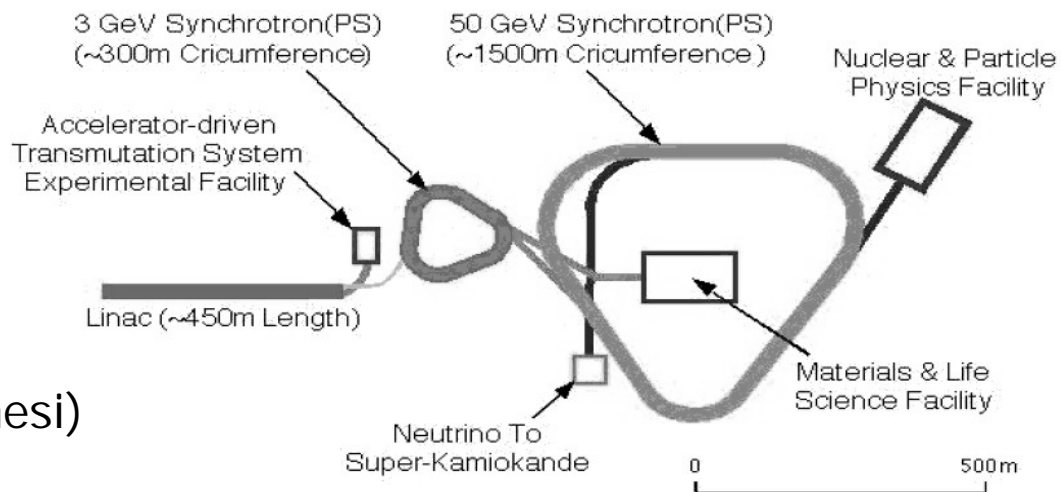
7

J-PARC

50 GeV (30 GeV in fase I)
15 μA , 0.75 MW, 2×10^{14} p/spill
0.7s/3.42 s (DC 20% !)

Fase II: 4 MW

Inizio fisica 2008 (ritardo 6 mesi)



Il programma di fisica con i K e' **centrale**: 5 Lol
 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$, $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$, violazione di T, BR(K^+), K_{e3}
2 linee primarie nella K-hall:
0.8 - 1.1 GeV K^+ e 2 GeV/c K_L (?)

K^+ \otimes $p+n\bar{n}$ a J-PARC

Tecnica degli esperimenti di BNL

Fascio bassa energia (600-800 MeV/c), DC-separato ($K/p > 3$)

Decadimenti a riposo ($>25\%$ stop): 10^7 K^+ /s (1×10^{14} p/spill)

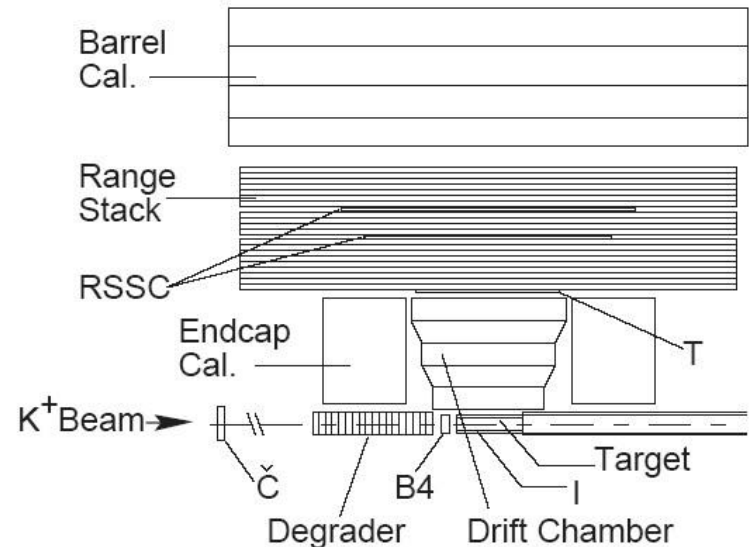
Upgrade incrementale (x4): bersaglio, *stack*, *digitizer*, calorimetri SciFi + cristalli 2p

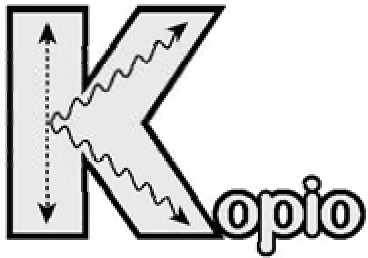
Spettrometro solenoidale 2p a 2T ?

30-50 persone, 15 MUSD

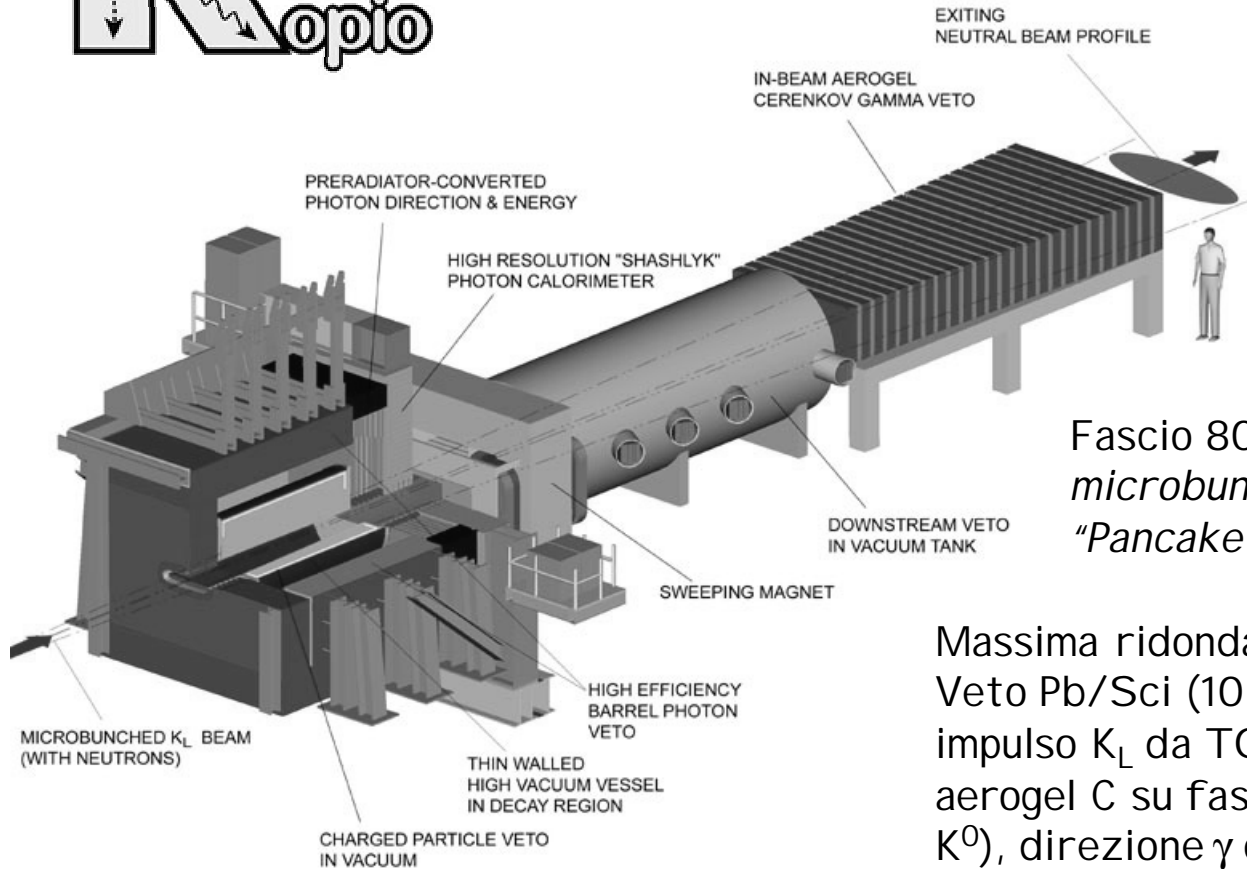
Obiettivo: >50 eventi SM in 3 anni
(SES 2×10^{-12} : E949/5)

"Day 1" experiment





K_L [®] $p^0 n \bar{n}$: KOPIO a BNL



Fascio 800 MeV/c con
microbunching 200 ps/40 ns,
"Pancake" beam

Massima ridondanza:
Veto Pb/Sci (10^{-4}) complementato da:
impulso K_L da TOF,
aerogel C su fascio (insensibile a n ,
 K^0), direzione γ da pre-radiatore ($2 X_0$
Sci+MWPC), Shashlyk calo. ($18 X_0$)



KOPIO at BNL

R&D in corso:

Microbunching (280 ps)

Risoluzione pre-radiatore 25 mrad

Efficienza di veto

Finanziamento 2004: 6/2 MUSD da NSF:

30/2 MUSD in 2005

Profilo: 150/2 MUSD 2005-2009

Milestones: fasci e installazione 2007

engineering run 2009

presa dati 2010

Obiettivo: 40 eventi SM ($S/B \approx 2$)

Fisica con i K: stato di salute

CERN: NA48 (K_L) NA48/1 (K_S) analisi, NA48/2 (K^\pm) run, programma futuro (NA48/3) in discussione

FNAL: KTeV (K_L) and HyperCP (K^\pm) analisi, KAMI cancellato, CKM (K^+) in preparazione (?)

Frascati: KLOE ($K_{L,S}$, K^\pm) run, *upgrades* ?

BNL: E949 (K^+) analisi, presa dati (?), KOPI O (K_L) finanziato

KEK: E246 (K^+) analisi, E391a (K_L) run

Protvino: OKA (K^\pm) in preparazione

J-PARC: 5 Lol su fisica con i K a 2 beam lines

Protvino: OKA (K^\pm) in preparazione

- I CFA workshop Alghero (Sett. 2003)
- Diversi workshops su fisica con i K
- Topical KAON conference 2005
- Programma a bersaglio fisso al CERN ?
- Discussione macchine ad alta intensita'?

Alive and kicking!

Macchine future ?

Un PS ad alta intensita' ($>10^{14}$ ppp) sarebbe di grande interesse per la fisica con i K. Sinergia con la fisica dei neutrini?

10% di un Rapid Cycling Synchrotron a 24 GeV darebbe 3x flusso di K dell'AGS.

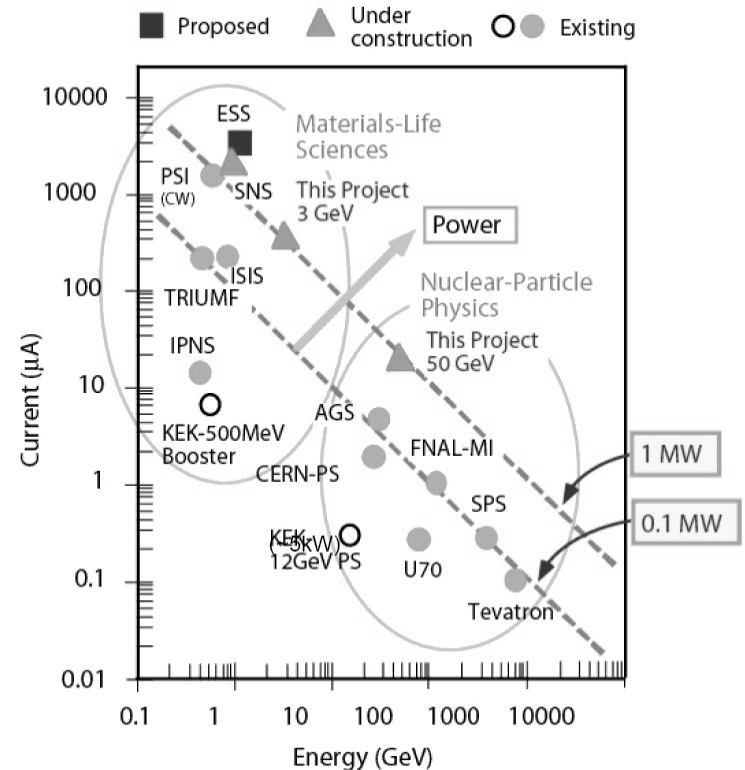
Energia di alcune decine di GeV, slow extraction (DC elevato)

Fascio K^+ intenso: asimmetrie CP K^\pm

Fascio K^+ RF-separato: $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$

Fascio K^+ con struttura temporale (produzione K^0): test di CPT alla scala di Planck (fasi $K \rightarrow \pi\pi$ a 0.03°)

Fascio K_L intenso: $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$, $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$, $K_L \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$ e loro struttura temporale



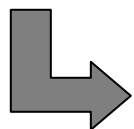


**la danza piu' maestosa...
potrebbe essere ancora da scrivere !**

Spare slides

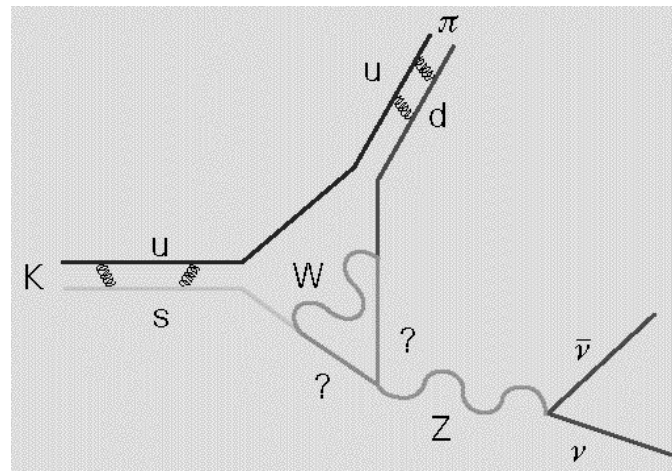
Obiettivo principale: $K \rightarrow p \pi$

QUALITATIVO



QUANTITATIVO

Ovvero: "Che cosa sanno calcolare i teorici?"



La fisica "pulita" domina quella "sporca" si puo' eliminare

	Correzioni QCD/EW	Incertezza teorica/EW
$G(K_L \rightarrow p \pi \pi)$	<10%	<3%
$G(B \rightarrow X_s \gamma)$	300%	10-15%
$(g-2)_\mu$	4000%	50-100%

"Pulizia" teorica:

© G. Isidori

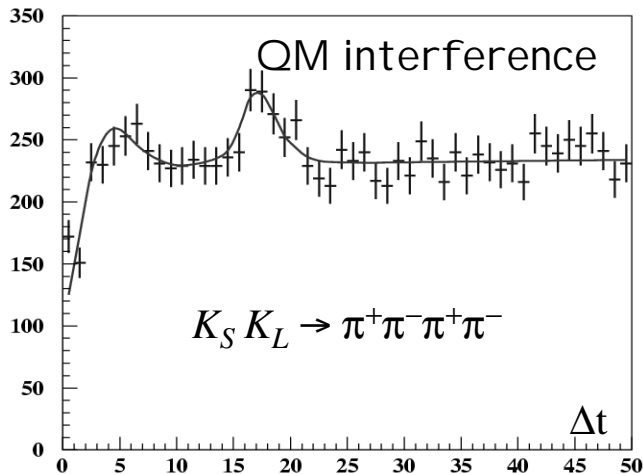
Altri risultati da KLOE

$$\Gamma(K_S \rightarrow \pi^+\pi^-(\gamma))/\Gamma(K_S \rightarrow \pi^0\pi^0) = (2.236 \pm 0.003 \pm 0.015)$$

da cui $\delta_0 - \delta_2 \cong (48 \pm 3)^\circ$

$$\text{BR}(K^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^0\pi^0) = (1.810 \pm 0.013 \pm 0.017)\% \quad (\text{prel. } 440 \text{ pb}^{-1})$$

$$\text{BR}(K^\pm \rightarrow \pi^0\pi^0e^\pm?) = (2.43 \pm 0.20 \pm 0.22) \times 10^{-5} \quad (\text{prel. } 440 \text{ pb}^{-1})$$



Prima misura di interferenza quantistica con coppie di K neutri.
In principio permette test di MQ, misure di CP (ind. e dir.), T, CPT, ? S=? Q

Altri risultati da NA48

$$\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^\pm \pi^0 e^\pm \gamma) = (5.21 \pm 0.07 \pm 0.09) \cdot 10^{-5} \quad (\text{NA48 prel.})$$

5464 eventi (62 fondo)

$$\text{BR}(K_L \rightarrow \pi^\pm e^\pm \gamma, E_\gamma^* > 30 \text{ MeV}, \theta_{e\gamma} > 20^\circ) = (0.962 \pm 0.007^{+0.012}_{-0.011})\%$$

18000 eventi. In accordo con ChPT O(p4) e in disaccordo con la misura di KTeV (NA48 prel.)

NA48/1

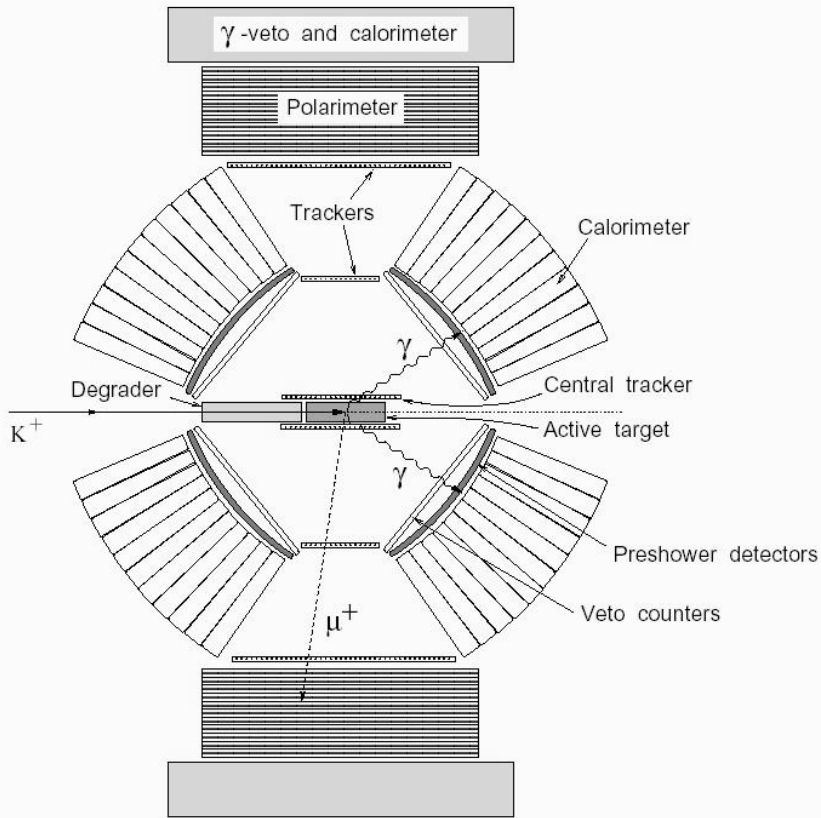
Run 2002 ad "alta" intensita' ($5 \cdot 10^{10}$ ppp su bersaglio vicino): $2 \cdot 10^5$ decadimenti KS in volume 120m (impulso medio 120 GeV)

Blind analysis, regione di controllo per validazione della determinazione del fondo

K: il presente

- Completamento misura CPV diretta: KTeV, KLOE
- Decadimenti rari del K_L (LFV, CPV, test ?PT): KTeV, NA48
- Misure di CKM: KLOE, NA48
- Decadimenti rari del K_S (CPV, CPT, test ?PT, complemento a K_L): NA48/1, KLOE
- Decadimenti medio-rari dei K carichi (CPV diretta, violazione di T, test ?PT, QCD): NA48/2
- Decadimenti ultra-rari dei K carichi (paradigma CKM): E949

Violazione di T a J-PARC



- 10^7 K^+ /s, 600-700 MeV/c \pm 2%, separato a 2 stadi $K/p > 1$
- Miglioramento calorimetria
- Polarimetro attivo segmentato: fondi minori e miglior definizione del piano di decadimento
- Sistema di veto: riduzione fondi
- Obiettivo $< 10^{-4}$ su P_T
- Nessuna competizione

Altra fisica con i K a J-PARC

- Misura di V_{us} da misura $BR(K_{e3})$ a 0.5%
Rivelatore E162 senza bersaglio e con upgrades (Si TOF)
 K^+ di bassa energia ($660 \text{ MeV}/c \pm 2\%$),
 10^5 K/s separato ($K/p > 1$)

- Misura precisa di tutti i BR dei K^+
Rivelatore per la misura di violazione di T con upgrade per tracking particelle negative
 10^9 decadimenti a riposo

