



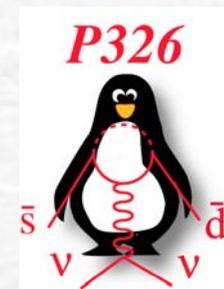
Il futuro della fisica dei K al CERN

*Incontri di Fisica delle Alte Energie
(IFAE 2007)*

Napoli, 11/13 Aprile



Gianluca Lamanna
Università & INFN di Pisa



Outline

- Introduzione
- **NA48/2+P326**: misura del rapporto $K_{e2}/K_{\mu2}$
 - Analisi dei dati 2003 e 2004
 - Prospettive di miglioramento nel Run speciale 2007
- **P326**: misura del $BR(K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \nu \bar{\nu})$
 - Layout e caratteristiche del nuovo rivelatore
 - Stato dell'R&D
- Conclusioni

Introduzione

Year	Exp	Beam	Physics goal
1997	NA48	$K_L + K_S$	ϵ'/ϵ
1998	NA48	$K_L + K_S$	ϵ'/ϵ , rare KL decay
1999	NA48	$K_L + K_S$	ϵ'/ϵ , rare KL decay
		K_L	Ke3/ $K\mu 3$
	NA48/1	Hi K_S	K_S /hyperons decays
2000	NA48	K_L	ϵ'/ϵ checks, rare neu KL decays
		η	ϵ'/ϵ checks, η mass
	NA48/1	Hi K_S	K_S /hyperons decays, η_{000}
2001	NA48	$K_L + K_S$	ϵ'/ϵ , rare KL decay
2002	NA48/1	Hi K_S	K_S /hyperons decays, η_{000}
2003	NA48/2	$K^+ + K^-$	Direct CP violation in $K^+ \rightarrow 3\pi$ decays and rare K^{+-} decays
2004	NA48/2	$K^+ + K^-$	

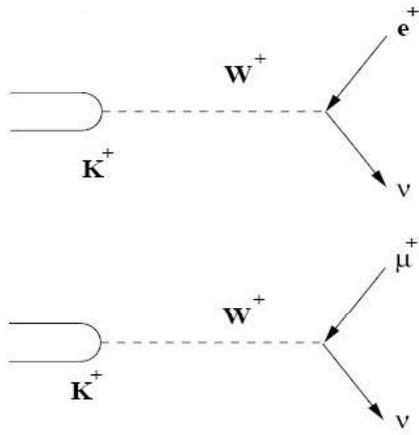
2006	P326	$K^+ + K^-$	LKr ineff. and SAC test
2007	NA48/2 – P326	$K^+ + K^-$	Ke2 Run, STRAW and RICH test
>2008	P326	$K^+ + K^-$	$K^- \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$

2 proposte:

- Misura del rapporto $Ke2/K\mu 2$ (approvata per il 2007)
- Misura del $BR(K^- \rightarrow \pi \nu \bar{\nu})$ (ancora non approvata, ma ...)

Nuova collaborazione rinforzata e motivata:
 CERN, Dubna, Ferrara, Florence, **Frascati**, Mainz, **Merced**, **Moscow**, **Naples**, Perugia, Protvino, Pisa, **Rome I**, **Rome II**, Saclay, **San Luis Potosi**, **Sofia**, **TRIUMF**, Turin.

Ke2: Nel SM...



$$R_K = \frac{\Gamma(K^\pm \rightarrow e^\pm \nu)}{\Gamma(K^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu)}$$

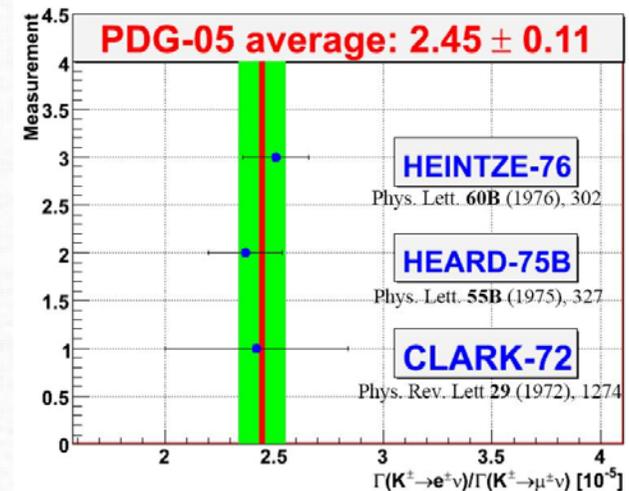
- La cancellazione in RK delle incertezze adroniche permette una misura precisa della struttura V-A e dell'universalità leptonica

- Previsione nel modello standard molto precisa

$$R_K(SM) = (2.472 \pm 0.001) \times 10^{-5}$$

... Buon test del modello standard

- La precisione sperimentale è lontana dalla precisione teorica
- Risultato ottenuto con ~1000 eventi (totale di 3 esperimenti)

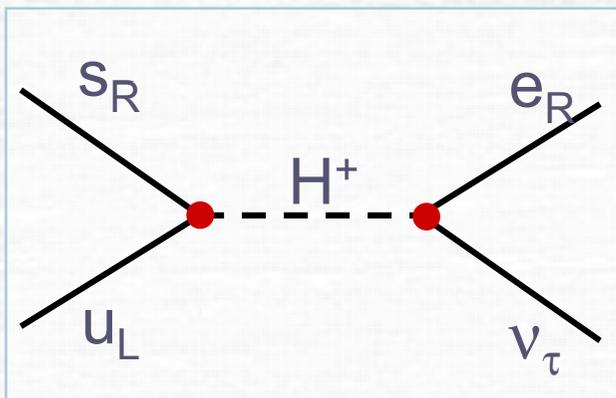


Ke2: ...oltre il SM

Oltre il SM: Masiero, Paradisi, Petronzio Phys. Rev. D74 (2006) 011701:

Variazioni dell'ordine del % rispetto allo SM potrebbero essere introdotte dalla violazione del sapore leptonic dovuto allo scambio di particelle SUSY virtuali

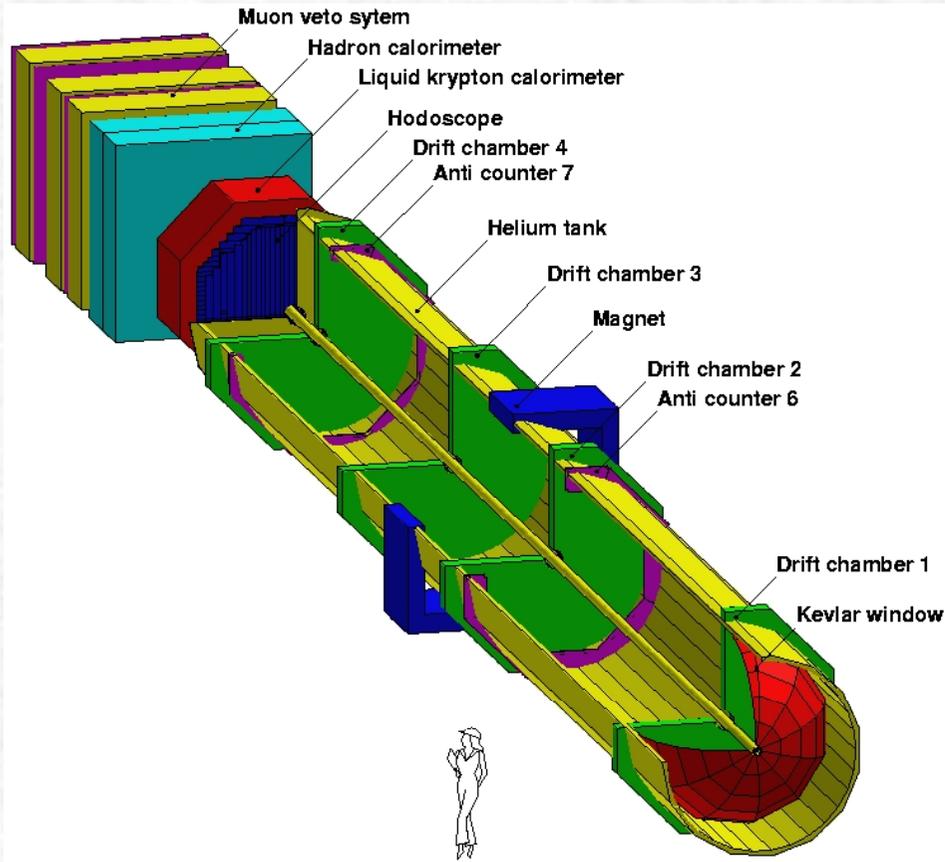
$$R_K^{LFV} = \frac{\Gamma_{SM}(K \rightarrow e\nu_e) + \Gamma(K \rightarrow e\nu_\mu) + \Gamma(K \rightarrow e\nu_\tau)}{\Gamma_{SM}(K \rightarrow \mu\nu_\mu) + \Gamma(K \rightarrow \mu\nu_e) + \Gamma(K \rightarrow \mu\nu_\tau)}$$



- L'effetto dipende dal valore dei parametri della SUSY (in particolare da $(\tan\beta)^6$ e M_H^{-4})
- Per particolari (e possibili) valori dei parametri ($\tan\beta=40$ e $M_H=500$ GeV), la variazione rispetto allo SM e' di **$\sim 3.2\%$**

talk **P.Paradisi** per maggiori dettagli

Ke2: rivelatore



- Fasci simultanei di K^+ e K^-

- **Spettrometro**

$$\sigma_p/p = 1.0\% + 0.044\% p \quad [p \text{ in } \text{GeV}/c]$$

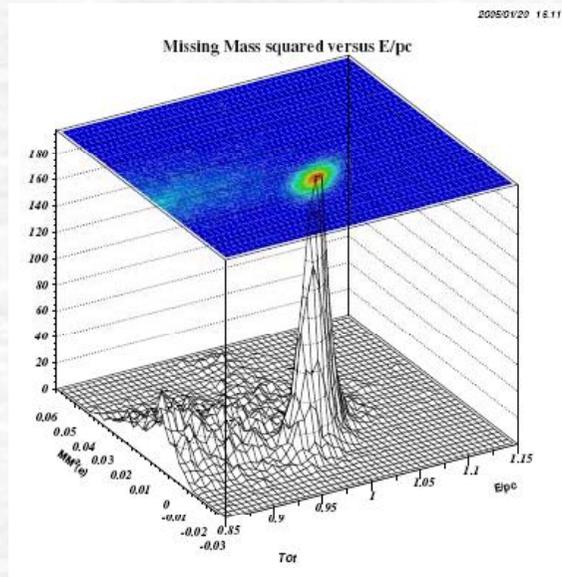
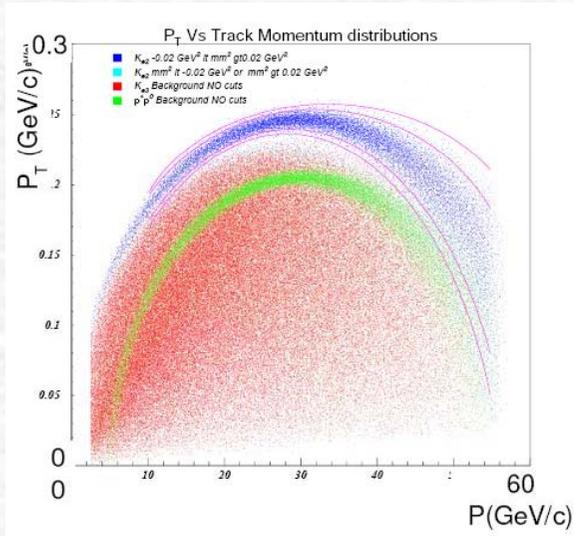
- **LKr**

$$\sigma_E/E = 3.2\%/\sqrt{E} + 0.09/E + 0.0042 \quad [E \text{ in } \text{GeV}/c]$$

- PID confrontando l'energia nello spettrometro e nel calorimetro (E/p)

- Odoscopio per trigger L1

Ke2: Analisi 2003



- Trigger **non ottimizzato** per Ke2 (pochi trigger di controllo, grande downscaling,...)
- Presa dati contemporanea alla misura principale
- Fondo principale: $K\mu 2$ che rilasciano molta energia nel LKr **simulando un elettrone** (E/p alto)
- Sistematica principale: eff. di trigger e sottrazione del fondo
- **~ 4000** eventi selezionati

Principali criteri di selezione di Ke2:

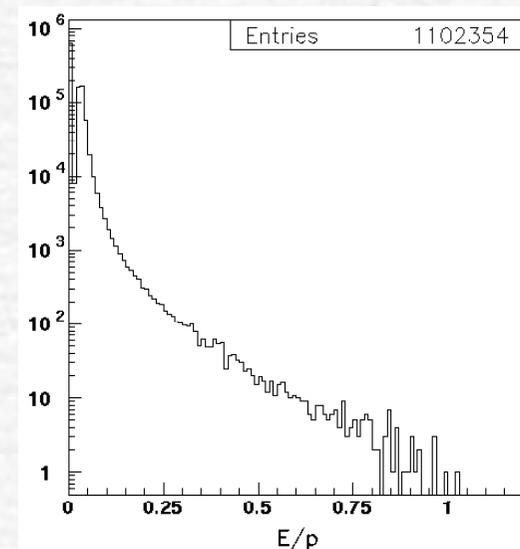
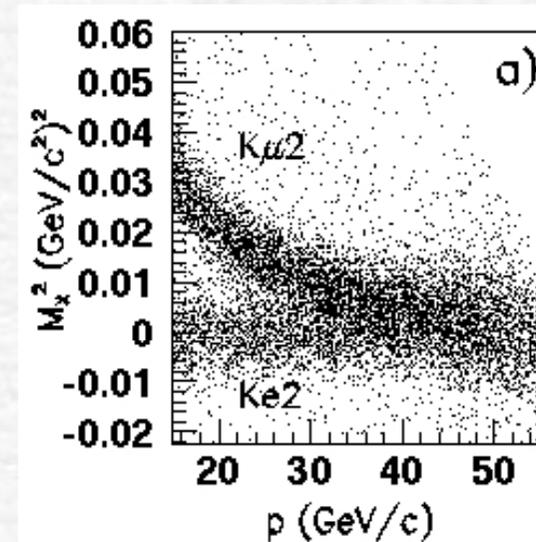
- **M_x** consistente con 0
- **$0.95 < E/p < 1.05$** (elettrone)

Risultato preliminare presentato da *L.Fiorini* a HEP2005:

$$R_K = (2.416 \pm 0.043 \pm 0.024) \times 10^{-5}$$

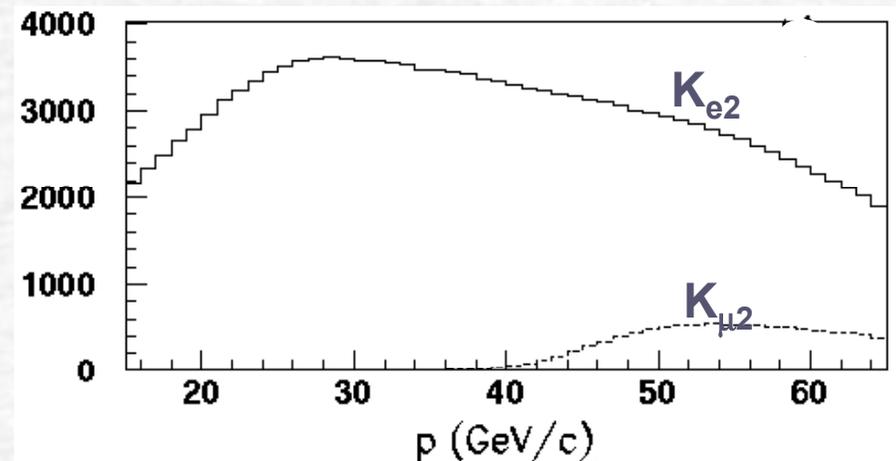
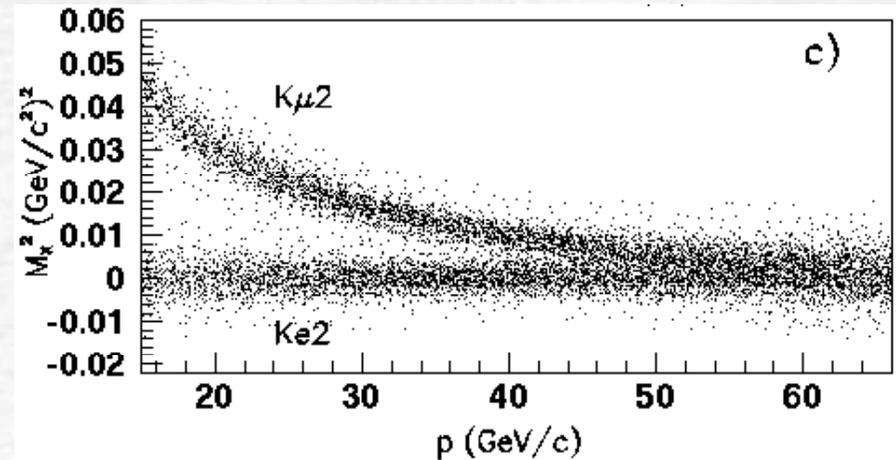
Ke2: Analisi 2004

- Run speciale (MB2004) (56 h) con trigger $Q1 \cdot E(\text{LKr}) > 10$ e triggers di controllo
- ~4000 eventi selezionati
- Per $P < 25 \text{ GeV}$ separazione cinematica tra Ke2 e $K\mu 2$
- La contaminazione di $K\mu 2$ nel Ke2 è estrapolata dalla misura per $P < 25 \text{ GeV}$ $\approx 5 \times 10^{-6}$
- La dipendenza dall'energia di E/p dei muoni è sconosciuta
- Analisi in corso, risultato compatibile con quello del 2003



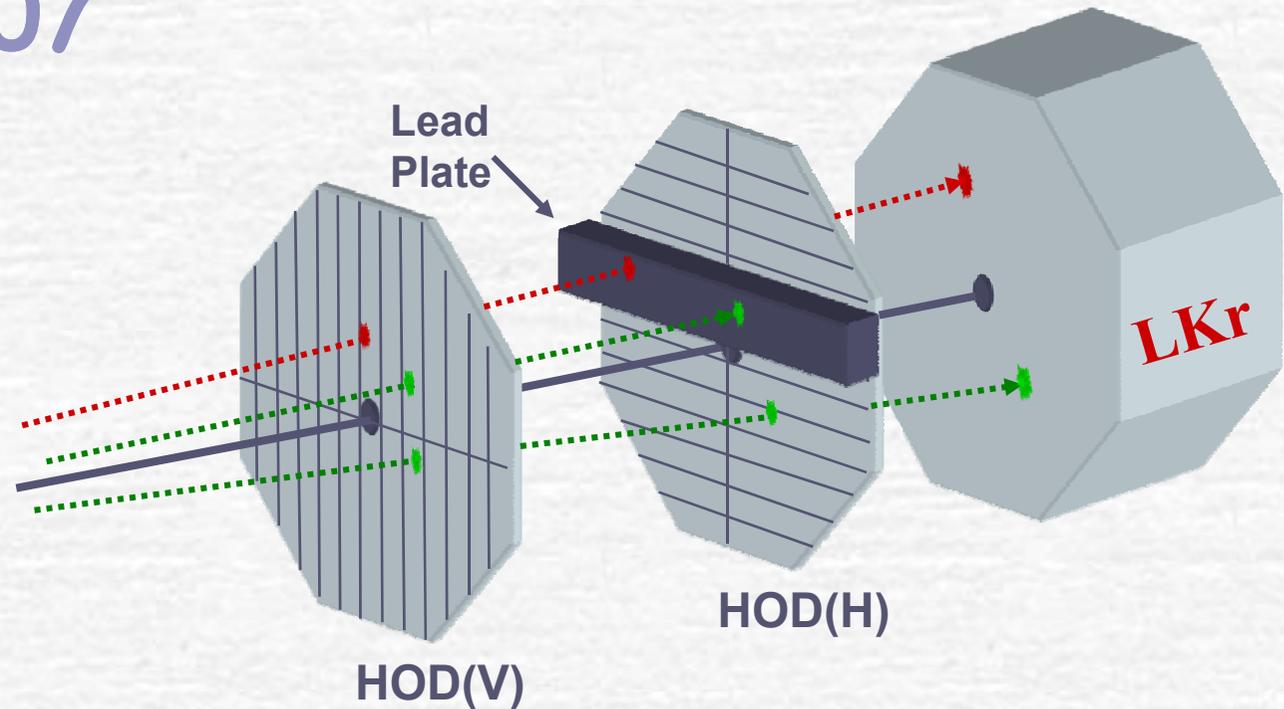
Ke2: Run 2007

- Migliore separazione cinematica con **75 GeV/c** e $dP/P=1.8\%$
- Migliore risoluzione con aumento Pt_{kick} del magnete (120 \rightarrow 263 MeV/c)
- Richiesti **120 giorni** di Run (60% di efficienza dell'SPS): $\sim 1.6 \cdot 10^5$ spills (39.6/9.6 s)
- Con stesso trigger del MB 2004 attesi **~ 150.000** Ke2
- Miglioramenti nel trigger possibili usando condizioni sulla distribuzione dell'energia nel LKr e/o sulla presenza di tracce nello spettrometro



Ke2: Run 2007

- No fondo per $P < 35 \text{ GeV}$ ($\sim 43\%$ del segnale): separazione cinematica
- Per $P > 35 \text{ GeV}$ il $K\mu 2$ è il $\sim 15\%$ del Ke2
- Lastra di piombo di 5 cm tra i due odoscopi
- Solo i muoni (identificati con dE/dx nell'HOD) arrivano al LKr nella regione dove è posta la lastra
- Misura diretta dell'E/p dei muoni con $P > 35 \text{ GeV}$
- Precisa sottrazione del fondo

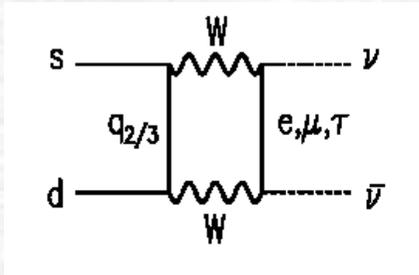
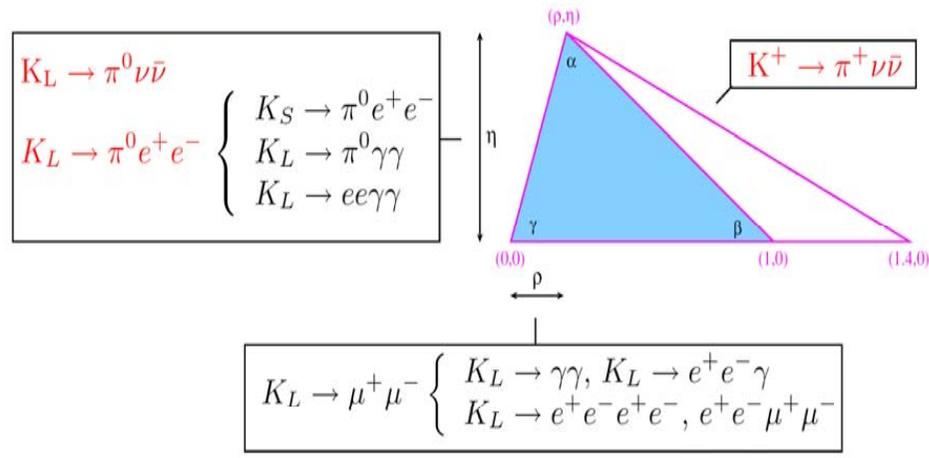


- Errore (statistico+trigger+sottrazione del fondo) su $R_K \sim 0.34\%$
- Piccolo contributo da altre sistematiche
- Ottima opportunità di osservare eventuali effetti di SUSY (per favorevoli valori dei parametri)



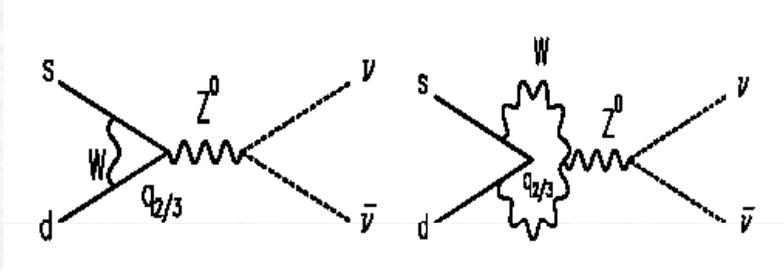
Motivazioni teoriche nello SM

- I K permettono test quantitativi della matrice CKM indipendentemente dai B
- I decadimenti $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ sono **golden mode** perchè poco influenzati da incertezze adroniche
- Decadimenti molto rari



$$Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = K^+ \cdot \left[\left(\frac{\text{Im } \lambda_t}{\lambda^5} X(x_t) \right)^2 + \left(\frac{\text{Re } \lambda_t}{\lambda^5} X(x_t) + \frac{\text{Re } \lambda_c}{\lambda} P_c(x) \right)^2 \right]$$

Top
Charm
 $\lambda_t = V_{ts}^* V_{td}$
 $\lambda_c = V_{cs}^* V_{cd}$



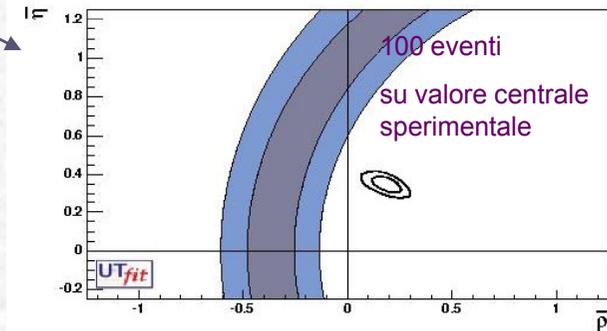
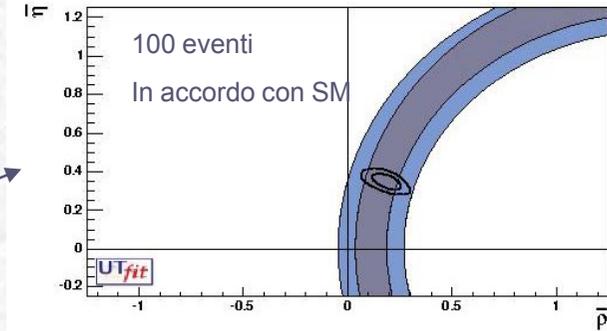
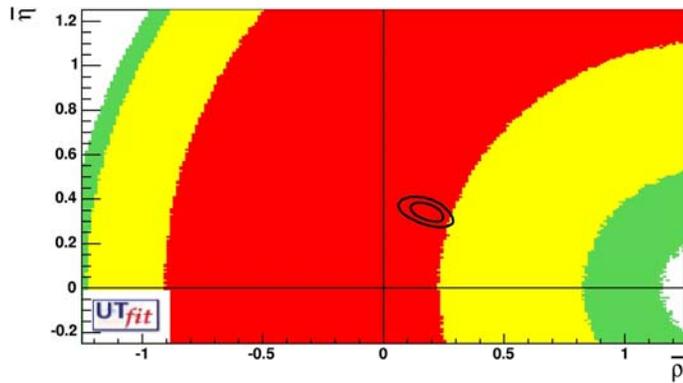
$Br(K^\pm \rightarrow \pi^\pm \nu \bar{\nu}) \rightarrow (8.0 \pm 1.1) \cdot 10^{-11}$

L'errore teorico è influenzato soprattutto dall'incertezza nella parte del charm



Motivazioni teoriche oltre lo SM

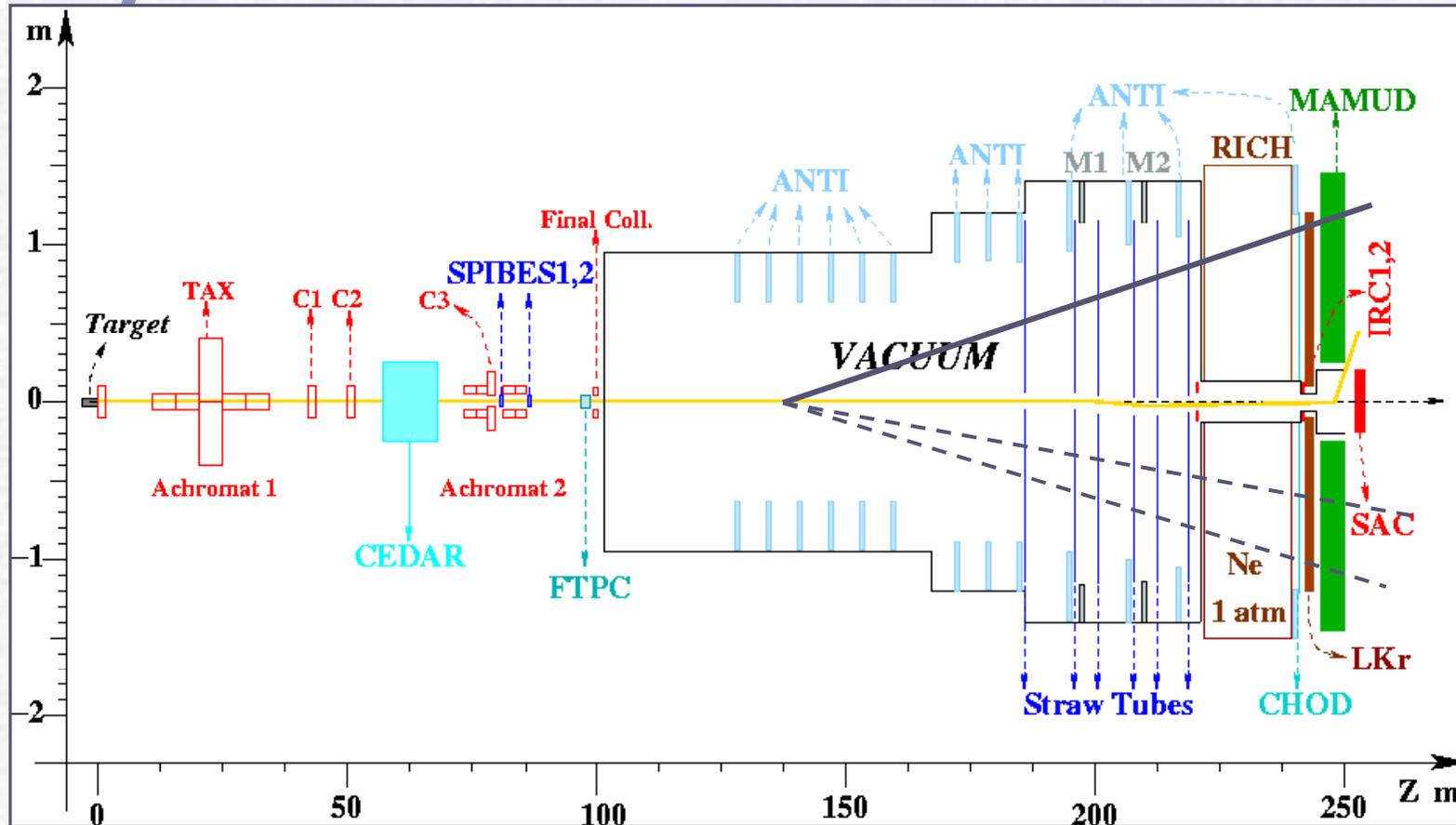
E787/E949: $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu\bar{\nu}) = 1.47^{+1.30}_{-0.89} \times 10^{-10}$ (3 eventi)



SM	8.0 ± 1.1
MFV hep-ph/0310208	19.1
EEWP NP B697 133	7.5 ± 2.1
EDSQ hep-ph/0407021	15
MSSM hep-ph/0408142	40



Layout del detector

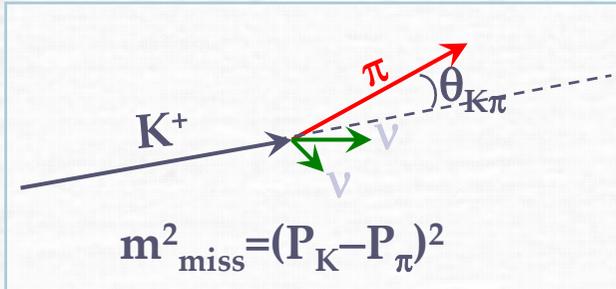


- Fascio molto intenso di K (non separato 800 MHz)
- Misura della cinematica del K e del π

- Sistema di veto ermetico per fotoni
- Efficiente PID



Background



Fondo cinematicamente costretto: **~92%**



Misura del 4-impulso del K e del π

Fondo non cinematicamente costretto: **~8%**

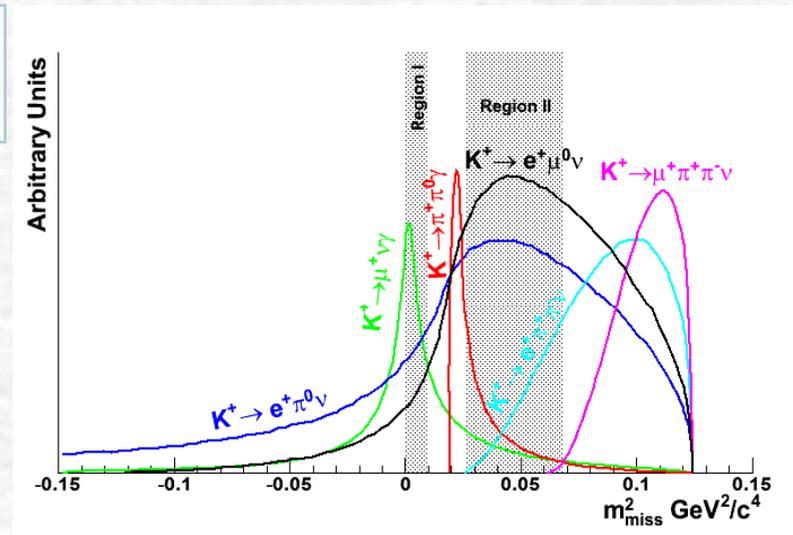
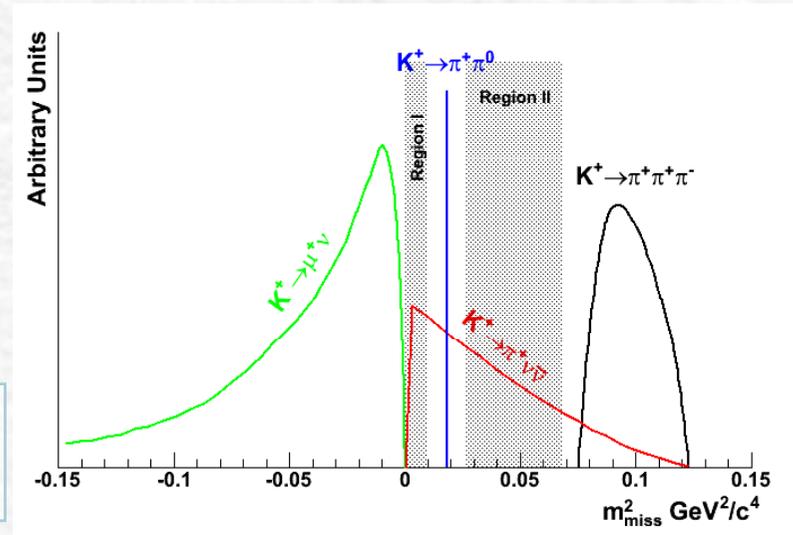


Efficiente sistema di veto e di PID

La presenza del fondo definisce due regioni per il segnale:

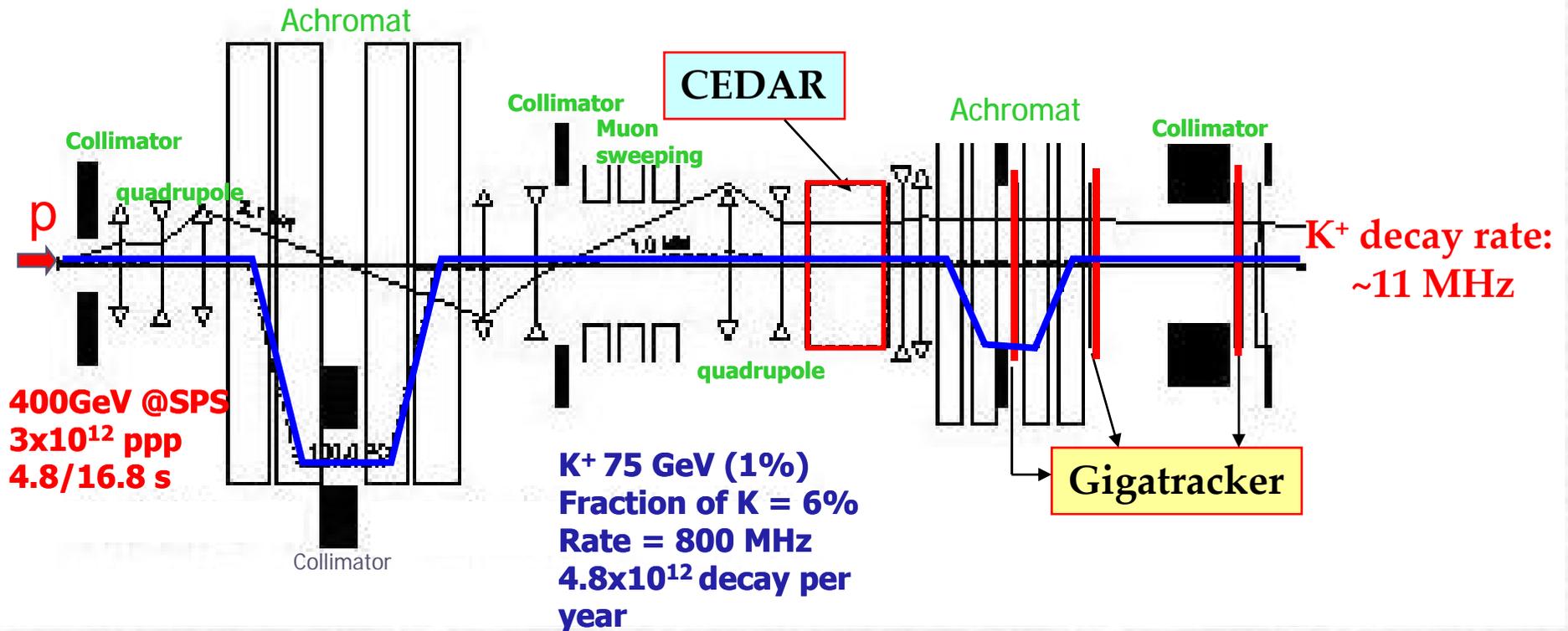
Region I: $0 < m^2_{\text{miss}} < 0.01 \text{ (GeV/c}^2\text{)}^2$

Region II: $0.026 < m^2_{\text{miss}} < 0.068 \text{ (GeV/c}^2\text{)}^2$





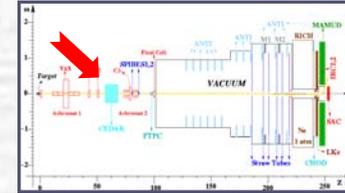
Il fascio



- **~80 eventi (SM)** in due anni di presa dati (accettanza **~10%**)



CEDAR



Richieste:

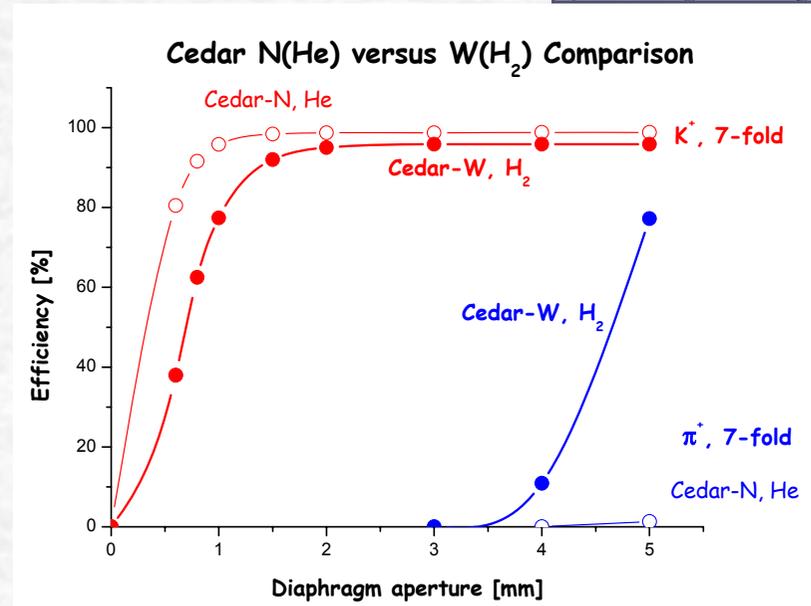
- Buona risoluzione temporale (**100 ps**)
- Poco materiale sul fascio
- Buona discriminazione **K/π**

CEDAR:

- Detector Cerenkov già esistente
- Riempito con H₂

R&D:

- Test sul fascio (in H8) nel *novembre 2006*
- Studio per la sostituzione dei PM





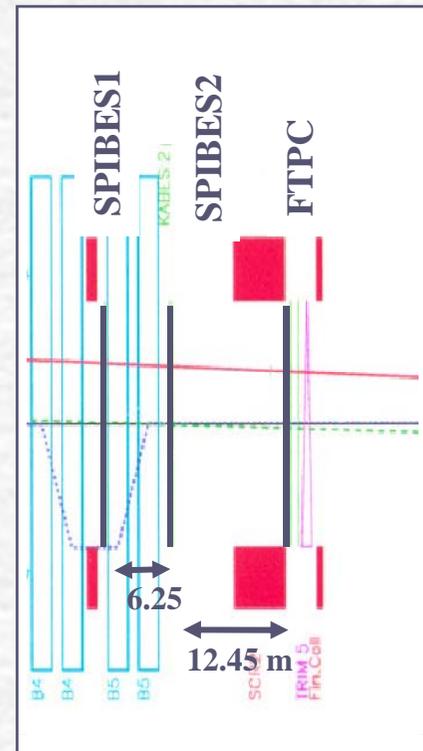
Gigatracker

Richieste:

- Ottima risoluzione in impulso ($<0.5\%$) e angolo (<17 urad)
- Ottima risoluzione temporale (<150 ps per stazione)
- Poco materiale $\ll 1 X0$
- Fascio di 1 GHz (60 MHz per cm²)

GIGATRACKER:

- Detector ibrido (SPIBES+FTPC)
- **Spibes**: $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ pixel silicio. Readout direttamente sul sensore (tecnologia a $0.13 \mu\text{m}$). Spessore: $200\mu\text{m}$ (sensore)+ $100 \mu\text{m}$ (chip di lettura) ($0.4 X0$)
- **FTPC**: Micromegas TPC simile a KABES. Gap di $25 \mu\text{m}$. Lettura con FADC a 1GHz .

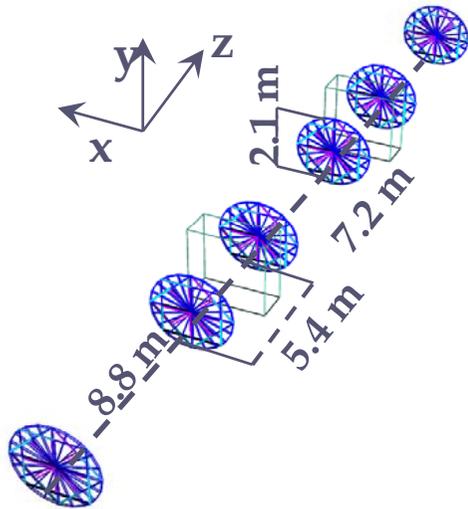


R&D:

- Costruzione di un prototipo del sensore e del chip
- Test di resistenza alle radiazioni
- Disegno del sistema di raffreddamento e della meccanica

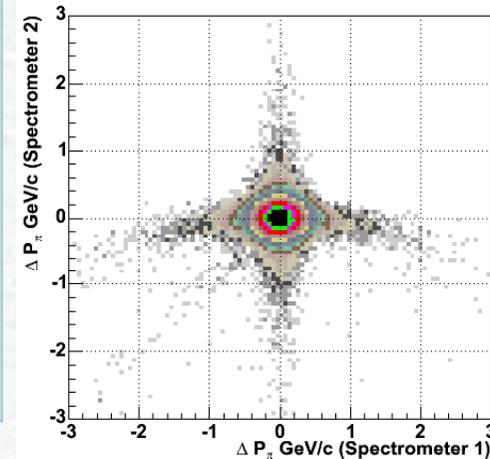
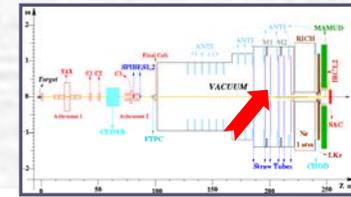


Doppio spettrometro



Richieste:

- Poco materiale
- Buona risoluzione spaziale
- Misura ridondante dell'impulso
- Veto per particelle cariche



R&D:

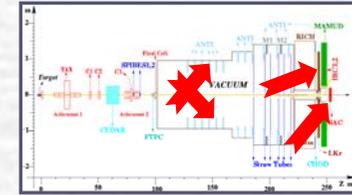
- Test su leakage
- Test meccanici nel vuoto
- Alla fine del Run 2007 test su fascio di un prototipo

STRAW-TRACKER:

- 6 camere di straw tubes (4 layers), 2 magneti di 360 e 270 MeV di P_{kick}
- Nel vuoto
- Risoluzione spaziale: 130 μm
- Disposizione non collineare per vetare particelle cariche lungo la linea del fascio (ex. Ke4)
- Straw tubes: Mylar, 9.6 mm \varnothing , L=2.1 m, Gas $\text{CF}_4\text{-CO}_2\text{-isoC}_4\text{H}_{10}$



Veti per fotoni

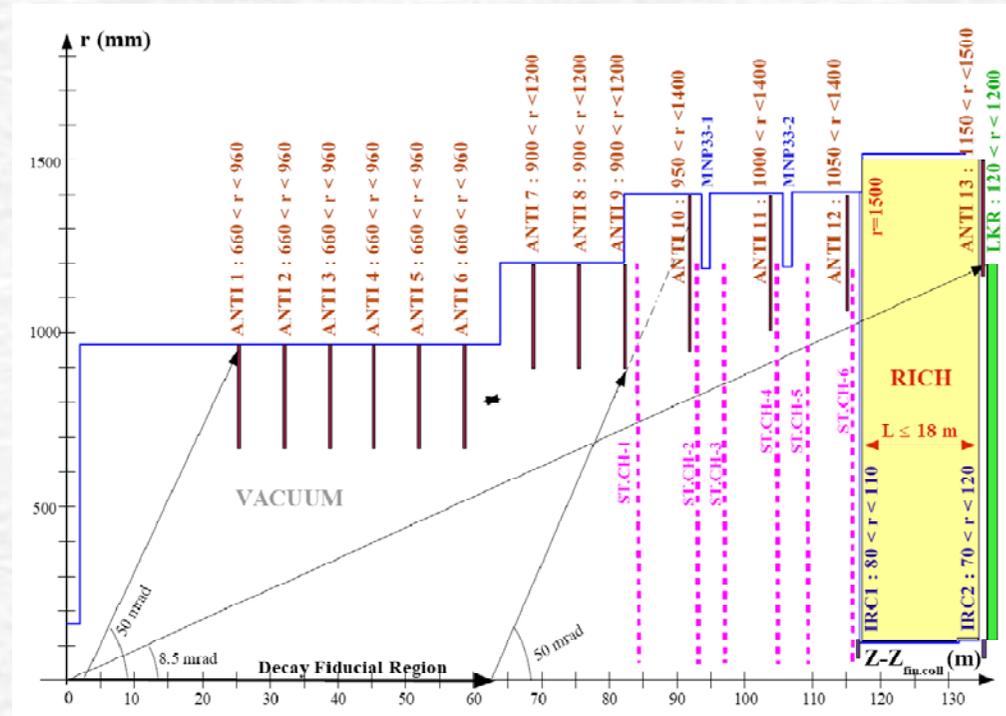


Richieste:

- Copertura ermetica (da 1 a 50 mrad)
- Alta efficienza di veto su fotoni >1 GeV
- Veti nel vuoto
- Alto rate di muoni

ANTI:

- 13 anelli intorno alla regione di decadimento (10 a 50 mrad)
- LKr per fotoni in avanti
- SAC per fotoni a piccolo angolo
- IRC, ANTIO, ... In zone particolari



ANTI (large)

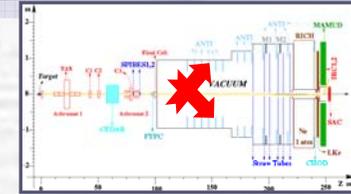
E_γ (GeV)	I_{eff}
< 0.05	1
0.05 to 1	10^{-4}
> 1	10^{-5}

LKr

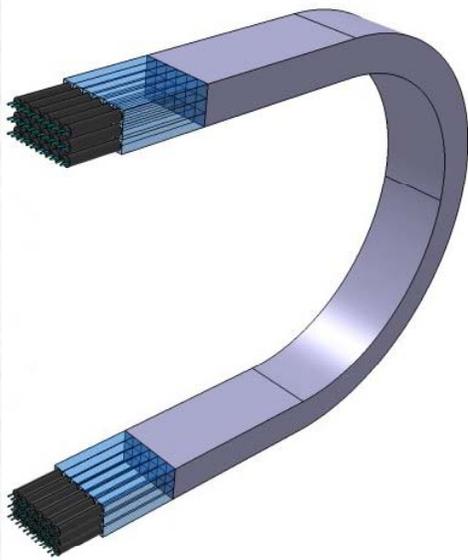
E_γ (GeV)	I_{eff}
< 1	1
1 to 3	10^{-4}
3 to 5	$10^{-4}, 10^{-5}$
> 5	10^{-5}



Veti a grande angolo

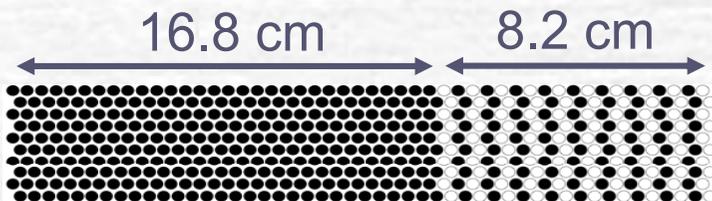
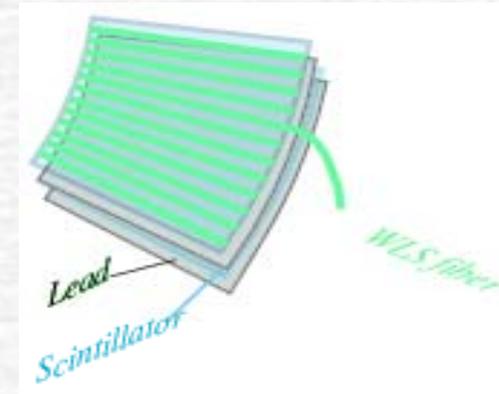


- Due soluzioni prese in considerazione: Lead+fibers (à la KLOE) e tiles lead+scintillator (à la CKM)



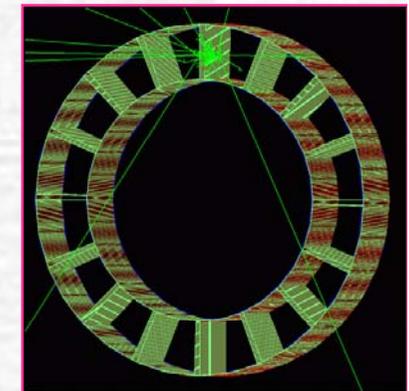
à la KLOE:

- Prototipo costruito a LNF (99 lastre di piombo da 0.5 mm, fibre da 1 mm)
- ~8X0 di fibre scintillanti, ~9X0 alternato fibre e fili di piombo
- Lettura da due lati con guide di luce (18x2 canali)
- Test di efficienza su elettroni e fotoni taggati alla BTF di LNF



à la CKM:

- 1mm PB+5mm scintillatore
- Lettura con fibre di WLS
- Prototipo costruito a FNAL attualmente a LNF per essere testato alla BTF





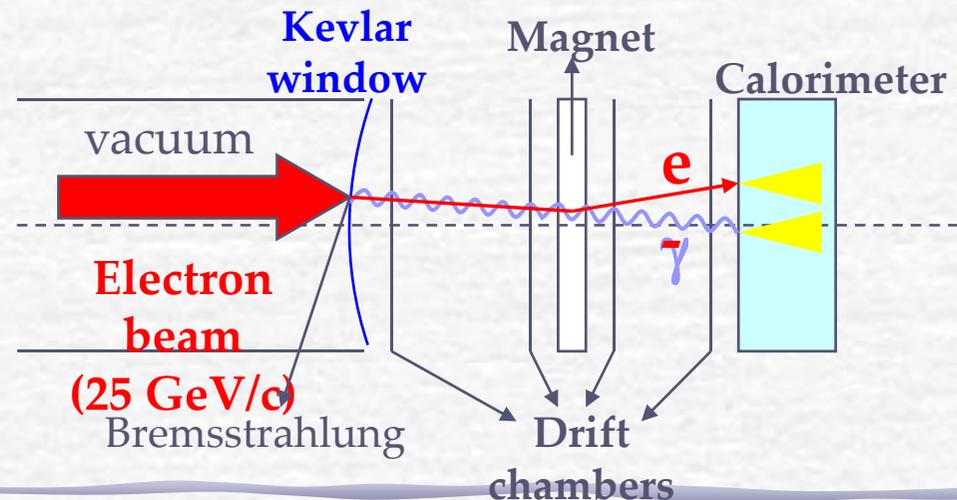
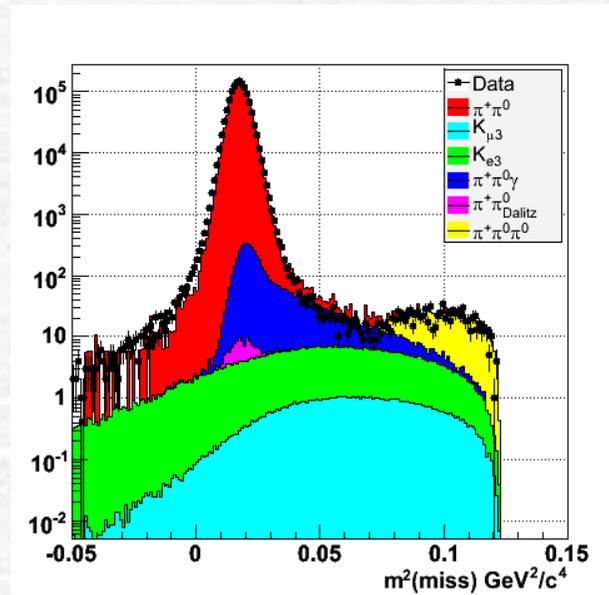
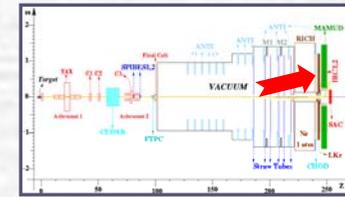
Veto in avanti: LKr

LKr:

- Camera a ionizzazione quasi-omogenea a Krypton liquido
- Ottima risoluzione in energia
- Rivelatore già esistente, upgrade del readout

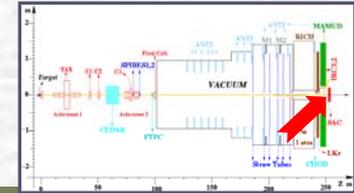
Estensivi studi sull'efficienza di veto per fotoni:

- $E > 10 \text{ GeV}$: efficienza su γ provenienti dal decadimento $K \rightarrow \pi\pi^0$
- $E < 10 \text{ GeV}$: run speciale in ottobre 2006 con fotoni provenienti dal **bremstrahlung** di un fascio di elettroni a 25 GeV
- Il LKr soddisfa le richieste di efficienza come veto di γ (preliminary)



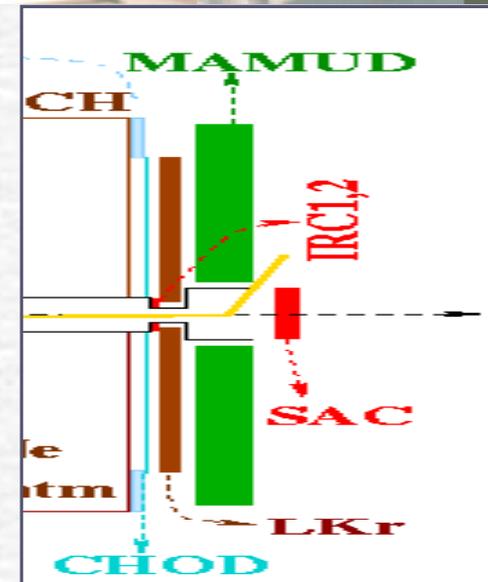


veto a piccolo angolo:SAC



SAC:

- Rivelatore per fotoni sulla linea di fascio
- Il fascio carico è spostato dall'asse principale dal MAMUD
- calorimetro shashlyk (1.5 mm di piombo + 1.5 mm di scintillatore)
- Lettura con WLS
- Prototipo costruito e testato nell'ottobre 2006
- Inefficienza raw $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ (very very preliminary)

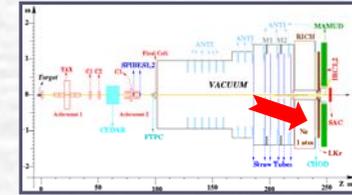


R&D:

- Analisi dei risultati del test beam
- Stessa tecnologia per IRC

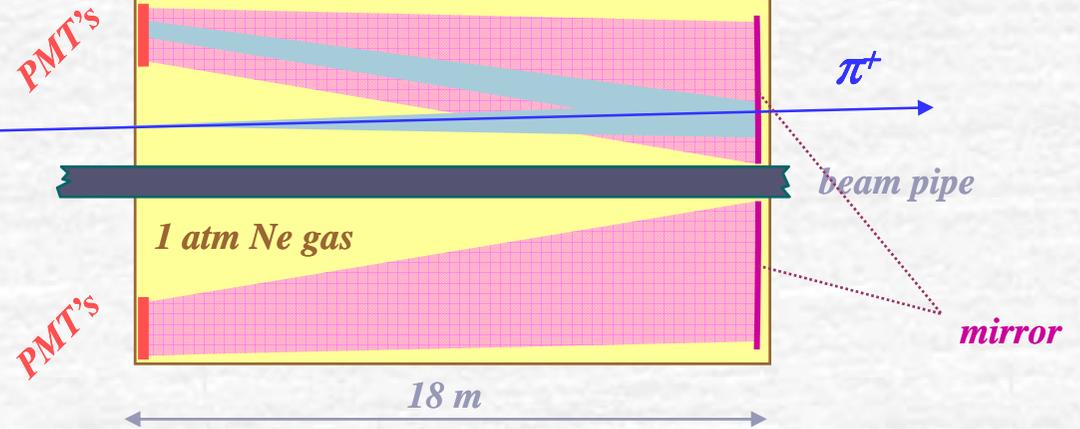


particle ID: RICH



Richieste:

- Veto per il decadimento $K \rightarrow \mu \nu$
- Identificazione di π e μ a $>3\sigma$ a 35 GeV
- Risoluzione temporale di 100 ps
- Possibilità di utilizzo nel trigger
- Utilizzo come spettrometro (di velocità) come misura ridondante dell'impulso dei π



RICH:

- 18m con Neon (1 Atm)
- 2000 PM di 18 mm \varnothing (Hamamtsu 7400-U03)

R&D:

- Nel run 2007 sarà testato un prototipo in scala 1:1 con 32 PMT per capire la risoluzione sull'angolo di cherenkov, il numero di fotoelettroni e la risoluzione temporale





Particle ID: MAMUD

Richieste:

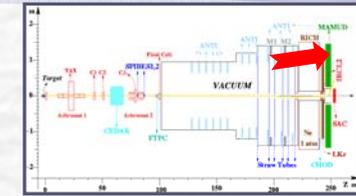
- Inefficienza su muoni 10^{-5}
- Campo magnetico per deviare il fascio carico lontano dal SAC

MAMUD:

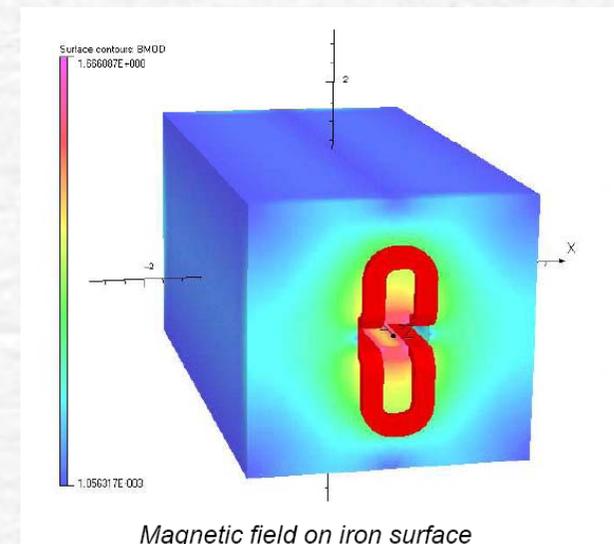
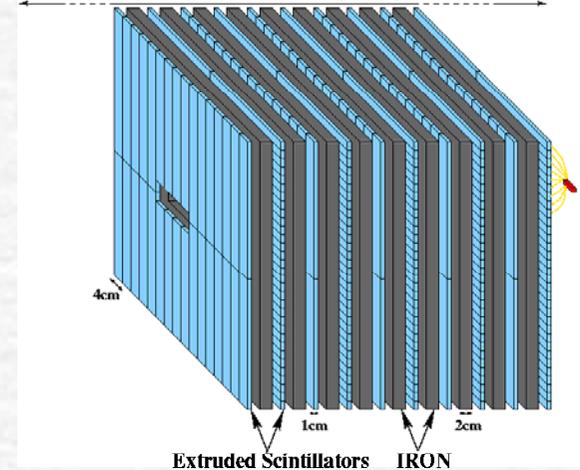
- ~150 lastre di ferro (260cmX260cm) da 2 cm di spessore, strips di scintillatore (4cmX130cm) da 1 cm lette da WLS
- Campo magnetico da 0.9 T

R&D:

- Progetto e simulazione della sezione magnetica
- Studio iniziato sul rivelatore



1 Section = 18/19 Iron Planes : $20 X_0$, $2\lambda_0$, 8 Sections in total



Conclusioni

- Dopo aver contribuito in modo essenziale alla fisica delle particelle i K hanno ancora qualcosa da dire.
- Le accurate previsioni teoriche possibili per alcuni modi di decadimento costituiscono da un lato un **buon test per la validità dello SM** e dall'altro un buona opportunità per osservare **effetti di nuova fisica**.
- La collaborazione **P326**, sfruttando le infrastrutture e parte del detector di **NA48/2**, contribuirà a questo programma con due misure:
 - ☞ **Misura del rapporto R_K con un errore $<1\%$ (approvato in presa dati dal 18/6 al 12/11)**
 - ☞ **Misura del BR di $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ con circa **80 eventi** (in attesa di approvazione per run nel 2009-2010)**

Sparees

Fondi principali

<i>Events/year</i>	Total	Region I	Region II
Signal (<i>acc=17%</i>)	65	16	49
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	2.7	1.7	1.0
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$	1.2	1.1	<0.1
$K^+ \rightarrow e^+ \pi^+ \pi^- \nu$	~2	negligible	~2
Other 3 – track decays	~1	negligible	~1
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \gamma$	1.3	negligible	1.3
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \gamma$	0.5	0.2	0.2
$K^+ \rightarrow e^+ (\mu^+) \pi^0 \nu$, others	negligible	–	–
Total bckg.	9	3.0	6

Altre opportunità

- Il flusso di K sarà circa 100 volte quello di NA48/2
- Altri possibili studi:
 - Cusp – like effects:
 - ✓ $K^+ \rightarrow \pi^0 \pi^0 e^+ \nu$
 - Lepton – flavour violation:
 - ✓ $K_{e2}/K_{\mu2}, K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ e^-, K^+ \rightarrow \pi^- \mu^+ e^+$
 - Ricerca di nuove particelle:
 - ✓ $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 X$
 - ✓ $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 P$ (*pseudoscalar sGoldstino*)
 - Misura di decadimenti rari radiativi

Rates

ANTI: ~ 4 MHz (μ) + ~ 0.5 MHz (γ) (OR of 13 ANTI's)

LKr: Rate ~ 7 MHz (μ) + ~ 4 MHz (γ) + ~ 3 MHz (π)

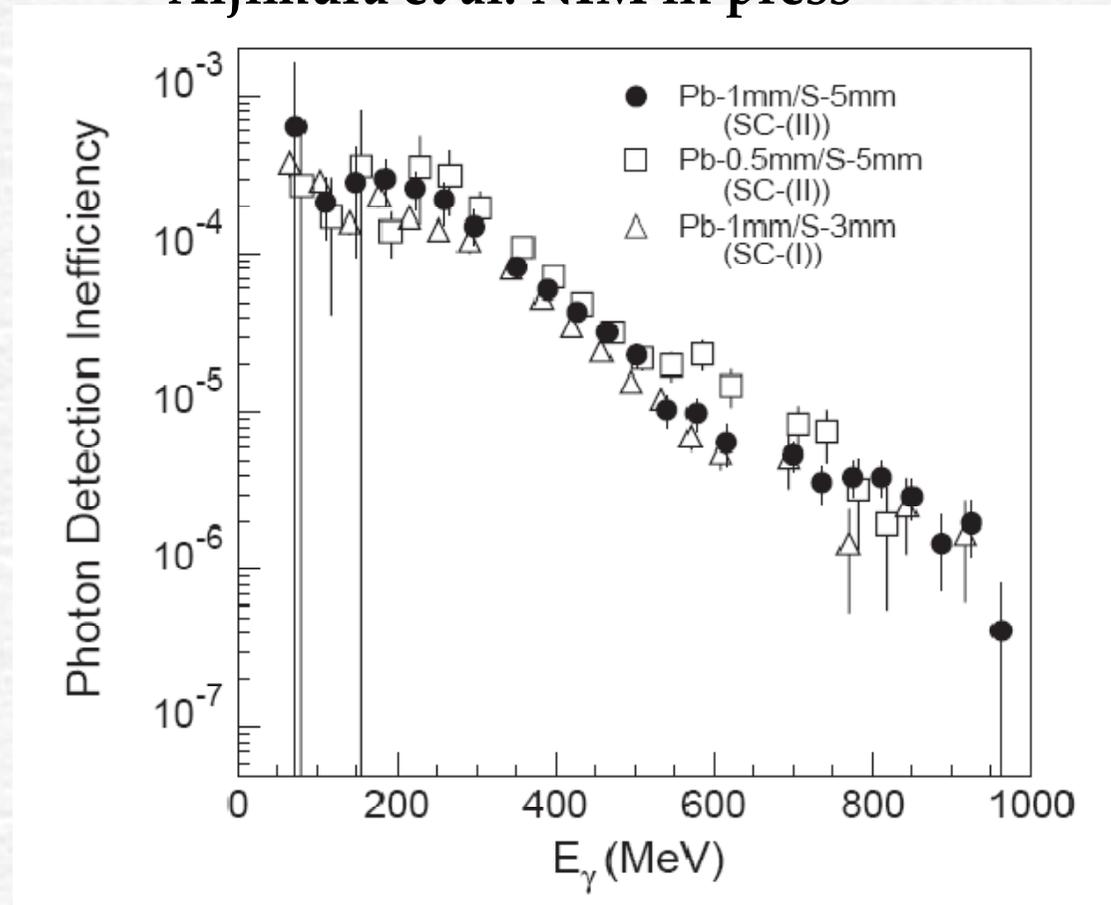
MAMUD: Rate: ~ 7 MHz (μ) + ~ 3 MHz (π)

STRAW: Rate: ~ 45 KHz per tube (max 0.5 MHz) ($\mu + \pi$)

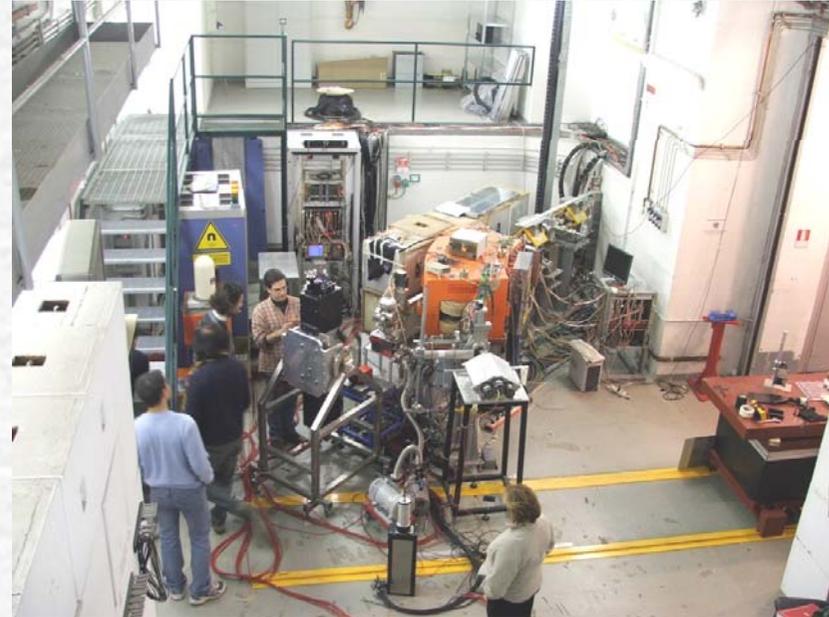
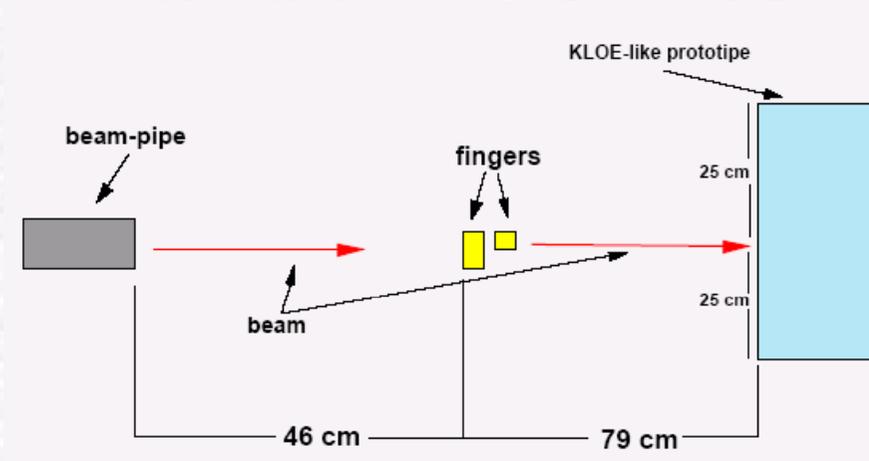
GIGATRACKER: Rate: 800 MHz (charged particles) ~ 50 MHz/cm²

Misura di eff. di fotoni

Aijimura et al. NIM in press



BTF



- Prossimo test dal 16/4
- Problemi con fondo diffuso di γ provenienti dalla linea di trasporto del fascio

Prototipo KLOE-like

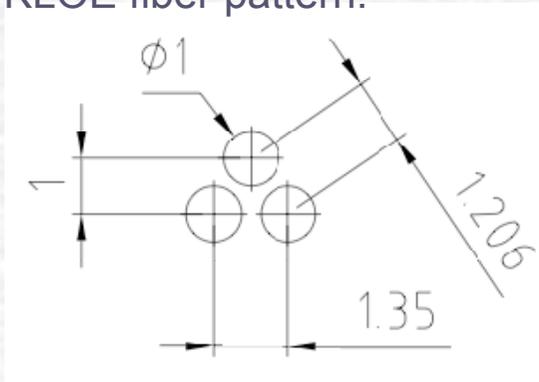


Fibre scintillanti da 1-mm di diametro
Foglio di Piombo di 0.5-mm di spessore
Inner/outer radius: 60 cm - 72.5 cm
Inner/outer length: 309.5 cm - 348.8 cm
Readout : 18 celle, 4.2 x 4.2 cm²
Profondità: 25 cm, segmentato (~17 X0)

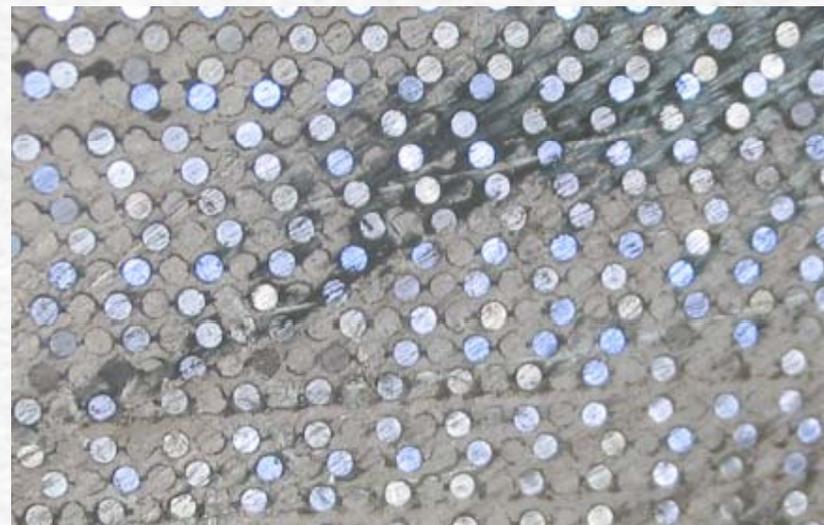
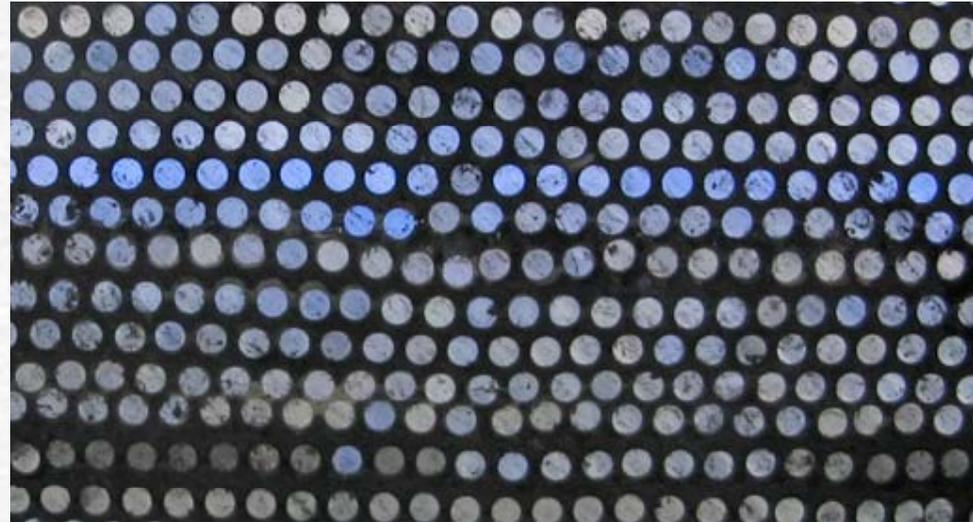


Disposizione fibre

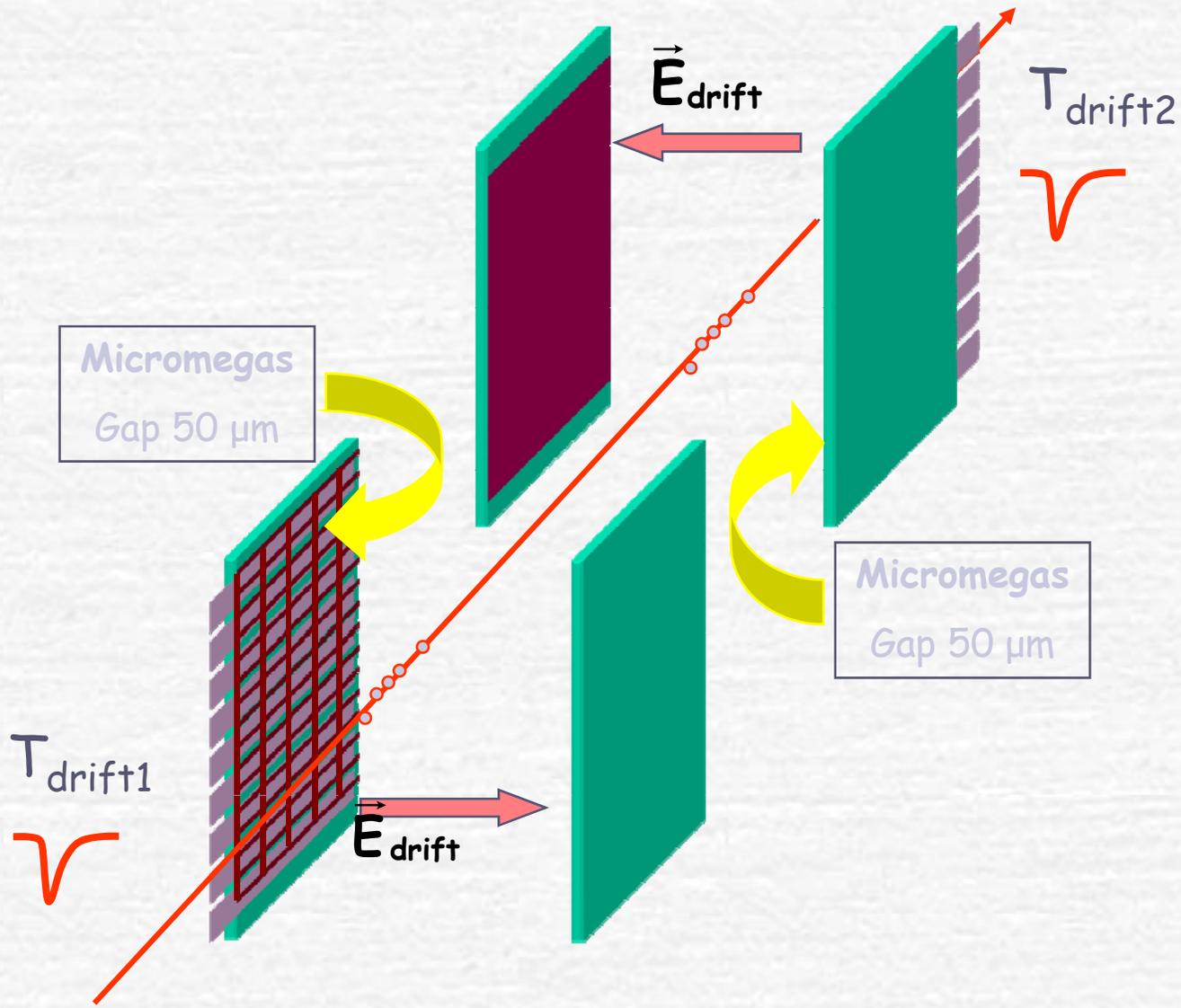
KLOE fiber pattern:



Lead: fiber: glue = 42:48:10% vol.



FTPC

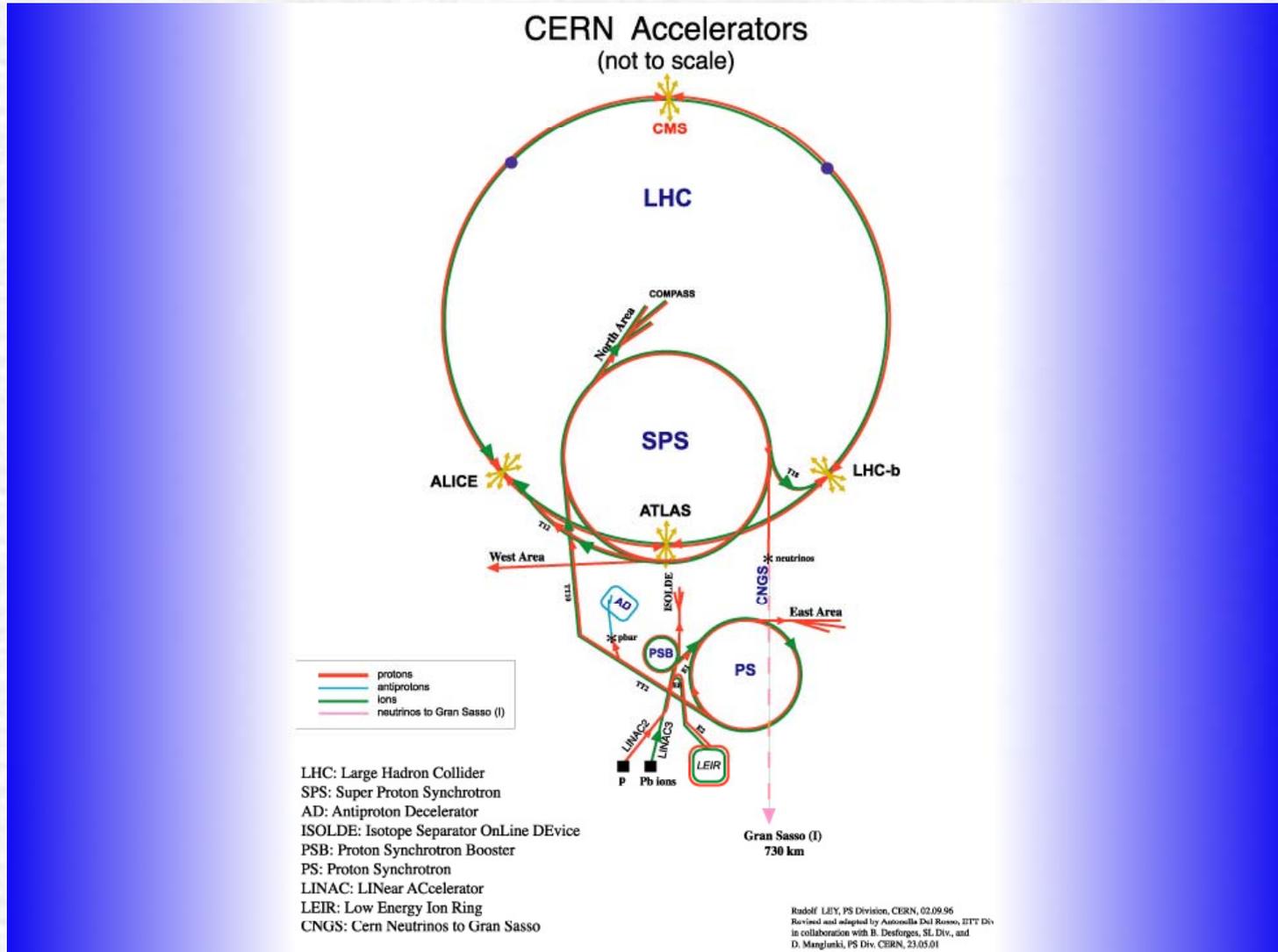


LKr



- Quasi Homogeneous **ionization chamber**
- $\sim 10 \text{ m}^3$ **Liquid Krypton**
- **13248** projective cells, $2 \times 2 \text{ cm}^2$
- Accordion geometry
- 27 radiation lengths
- **Energy** resolution (E in GeV):
$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{0.032}{\sqrt{E}} \oplus \frac{0.09}{E} \oplus 0.0042$$
- **Space** resolution (E in GeV):
$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{0.42}{\sqrt{E}} \oplus 0.06 \text{ cm}$$
- **Time** resolution: 500 ps

Schema acceleratori CERN



STRAWS

2006-2007:

1. Procurement of anode wire, mylar, glues, o-rings, alignment sensors and so on ... *August 06*
2. Mylar metallization (Al) *September 06*
3. Production set of ~100 straws at Dubna *October 06*
4. Ultrasonic tooling preparation and development *Oct-Dec 06*
5. Production straw end-plugs, wire support plugs, twistors, end-plates and so on.... *Nov-Dec 06*
6. Prototype frame assembling and adjustment, 3-D geometry check *January 07*
7. Straw gas leakage test *February 07*
8. Prototype assembling *March-April 07*
9. Cosmic test at Dubna facility *May 07*
10. Beam test inside the NA48 blue tube (?) *Sept.-Oct. 07*

