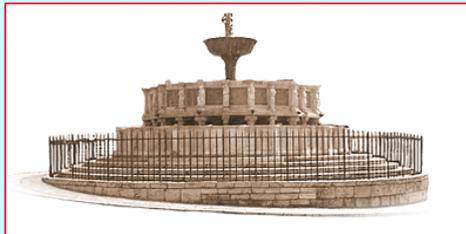


Una nuova proposta per misurare il decadimento raro $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ al CERN

Patrizia Cenci

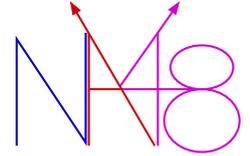
Consiglio della Sezione INFN di Perugia

Perugia, 11 maggio 2005



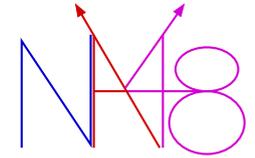
G. Anzivino, P. Cenci, M. Pepe, M. Piccini, M. Raggi

Argomenti



- ❖ La storia di NA48
- ❖ Verso un nuovo esperimento di fisica dei K al CERN per la misura del decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$
 - *La Lettera di intenzioni I229*
 - *La Proposta di esperimento P326*
 - *Attività a Perugia*

Storia di NA48



Il passato

1997
 ϵ'/ϵ
 $K_L + K_S$

1999
 ϵ'/ϵ
 $K_L + K_S$

2000
 ϵ'/ϵ checks
 K_L only, η run

**K_S HI
 NA48/1
 Fase 1**

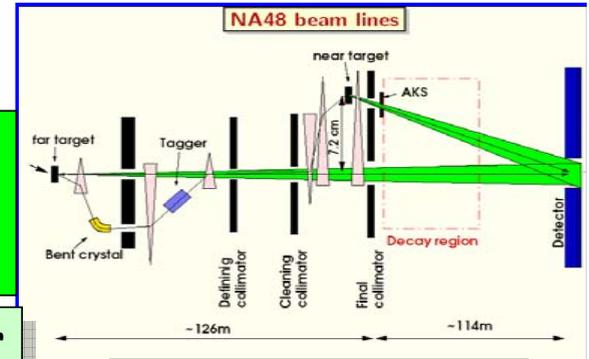
1998
 ϵ'/ϵ
 $K_L + K_S$

K_L
 only
 run

K_S
 HI
 test

2001
 ϵ'/ϵ
 $K_L + K_S$

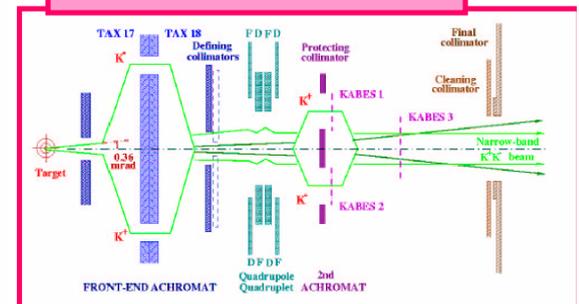
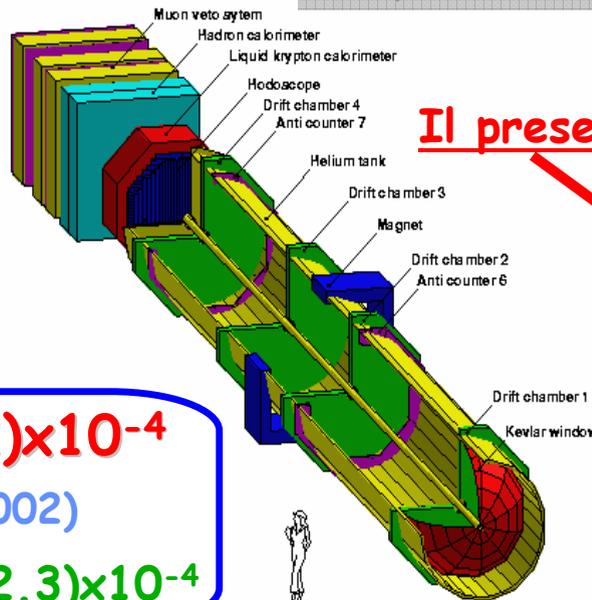
No spectrometer



2002
NA48/1 Fase 2
 K_S High Intensity

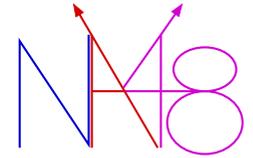
Il presente

2003-2004
NA48/2
 $K^+ + K^-$



$\epsilon'/\epsilon = (14.7 \pm 2.2) \times 10^{-4}$
 PL B544 97 (2002)
 NWA: $\epsilon'/\epsilon = (16.7 \pm 2.3) \times 10^{-4}$

Il rivelatore NA48

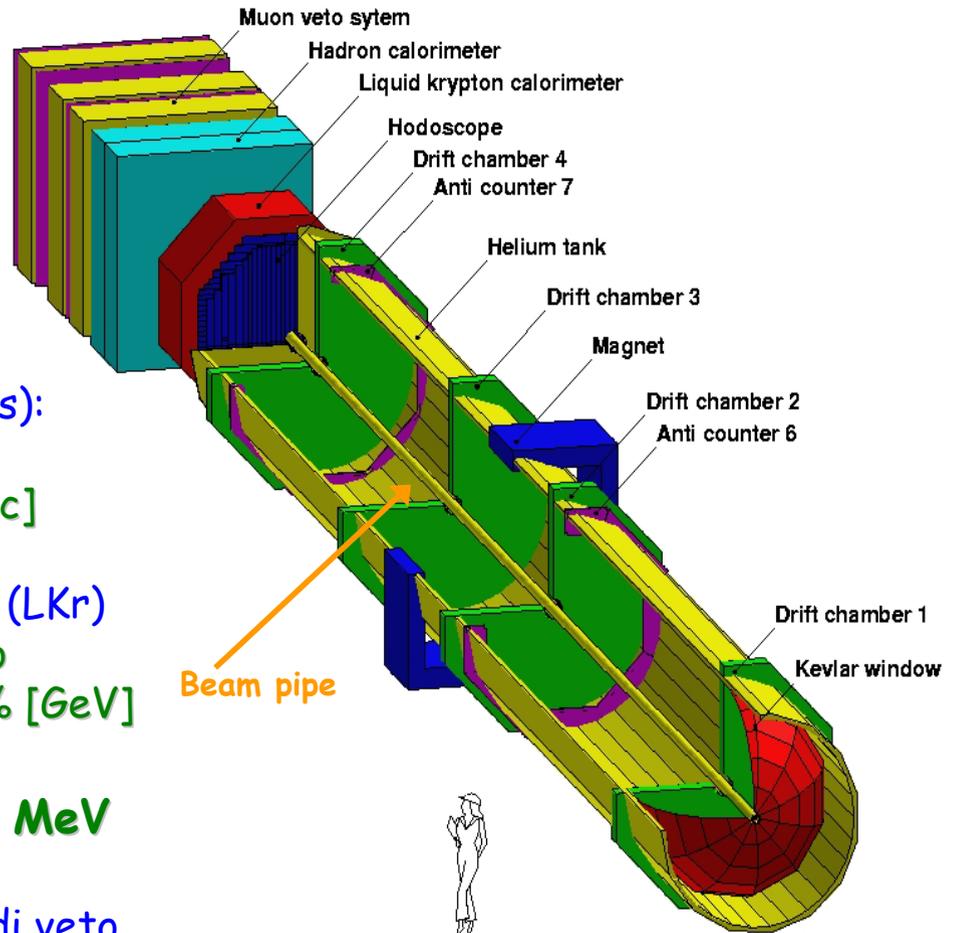


Parti principali del rivelatore:

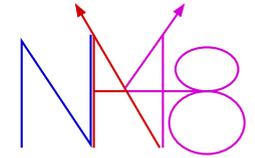
- Odoscopio di trigger
 trigger veloce
 misura di tempo precisa (150ps)
- Spettrometro magnetico (4 DCHs):
 ridondanza \Rightarrow alta efficienza
 $\Delta p/p = 1.0\% + 0.044\% \times p$ [GeV/c]
- Calorimetro EM a Liquid Krypton (LKr)
 Alta granularità, quasi-omogeneo
 $\Delta E/E = 3.2\%/\sqrt{E} + 9\%/E + 0.42\%$ [GeV]

$$\sigma_M(\pi^0\pi^0) \sim \sigma_M(\pi^+\pi^-) \sim 2.5 \text{ MeV}$$

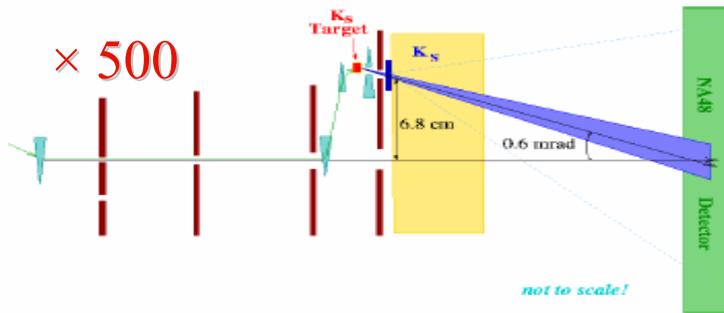
- Calorimetro adronico, contatori di veto per muoni, contatori di veto per fotoni



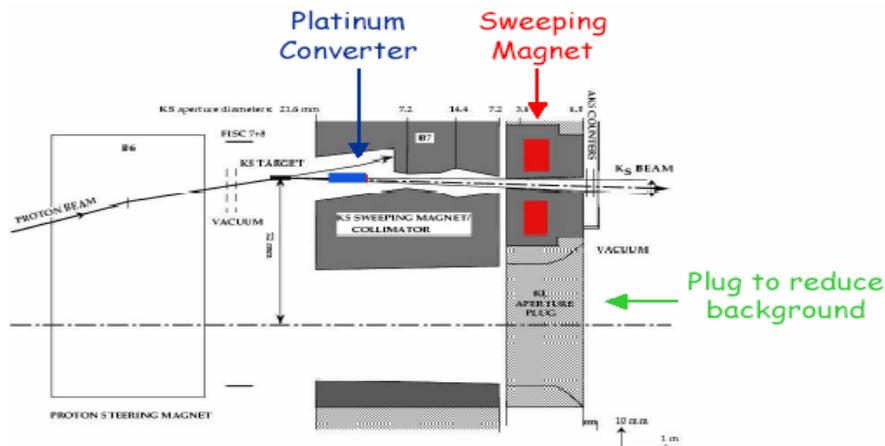
Il programma NA48/1



Studio e misura di decadimenti di K_S e di iperoni neutri con un fascio K_S ad alta intensità (2000+2002)



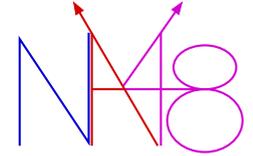
Run 2002: linea di fascio e bersaglio di produzione dei K_S



- ❖ No fascio K_L
- ❖ Linea di fascio K_S modificata, alta intensità di p (5×10^{10} ppp)
- ❖ Sistemi di readout e di daq potenziati ($\approx 2 \times 10^5$ K_S /spill)
- ❖ Campione di dati: ≈ 40 KHz K_S
 $\approx 6 \times 10^{10}$ decadimenti K_S nel volume fiduciale ($> \times 10$ della statistica mondiale attuale)

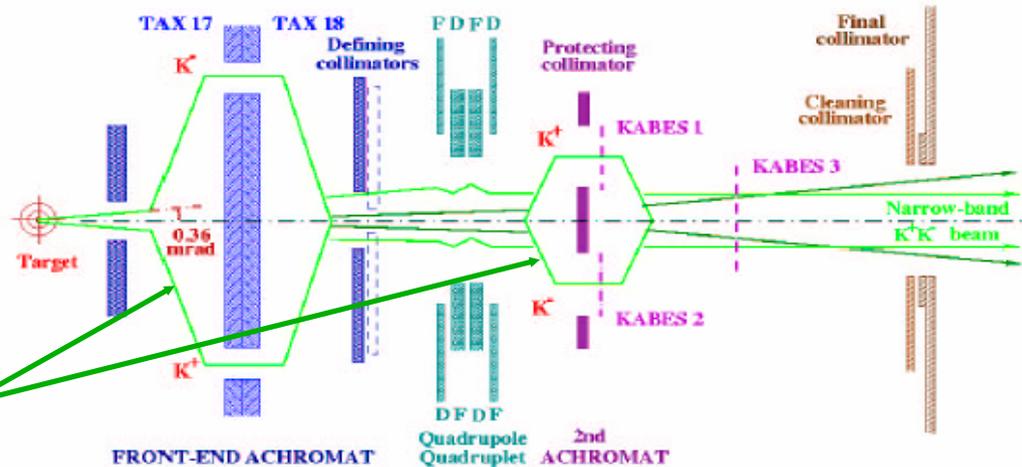
**➡ SES $\approx 3 \times 10^{-10}$
 (accettanza del 5%)**

Il programma NA48/2



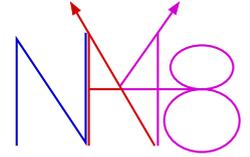
**Run 2003-04:
 fasci K^+ e K^-
 simultanei**

**Achromat: selezione
 in impulso dei fasci
 $P_k = (60 \pm 3) \text{ GeV}$**



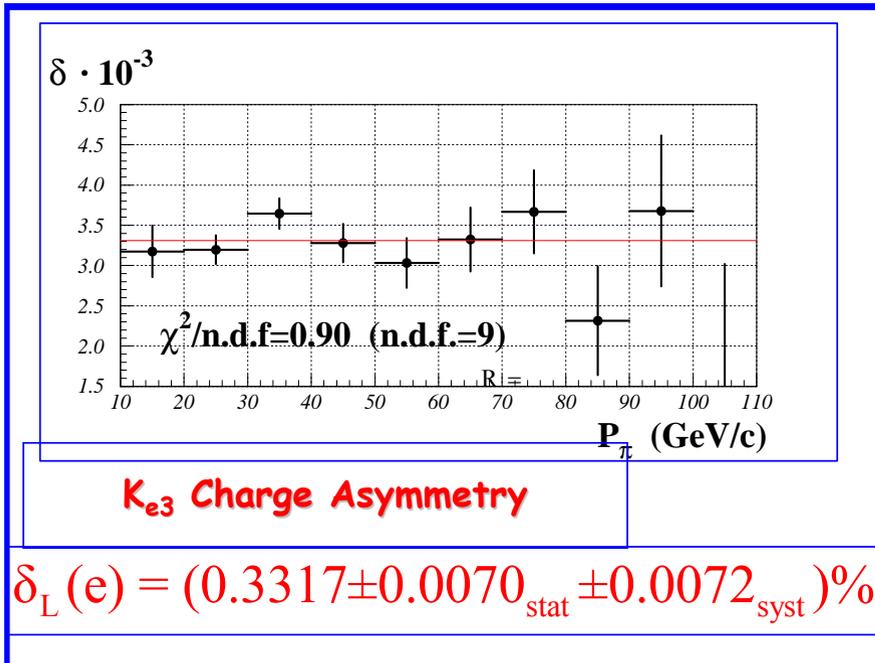
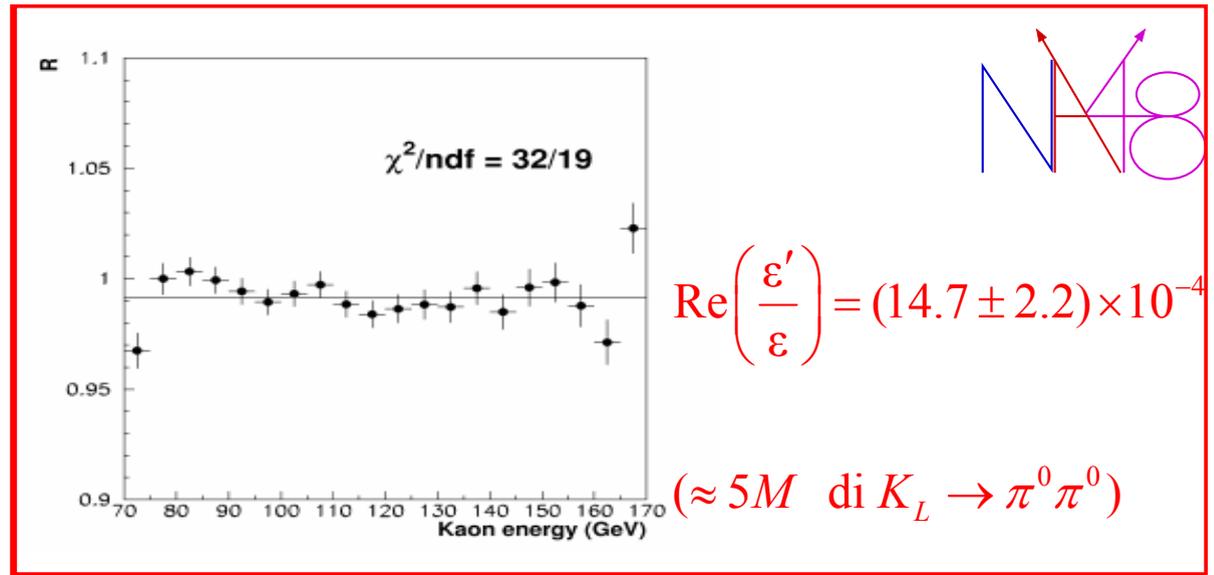
- ❖ Nuova linea di fascio: K^+/K^- simultanei, $P_k = (60 \pm 3) \text{ GeV}$, 10^{12} protoni da 400 GeV per spill ($\sim 5\text{s}/16\text{s}$)
- ❖ Potenziamento rivelatore: nuovo spettrometro di fascio (Kabes) e beam monitor (scintillatori); potenziato sistema di trigger (CPU trigger carico) e readout (DCH3)
- ❖ Motivazione principale: misura della asimmetria del parametro di slope del Dalitz Plot nei decadimenti $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ e $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$ (misura di CPV Diretta)

Alcuni risultati dal progetto NA48: la violazione di CP



- ❖ NA48: misura di ε'/ε ed asimmetria di carica in K_{Le3}
- ❖ NA48/1: $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ e $K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$
- ❖ NA48/2: Asimmetria di slope in $K_{3\pi}^\pm$

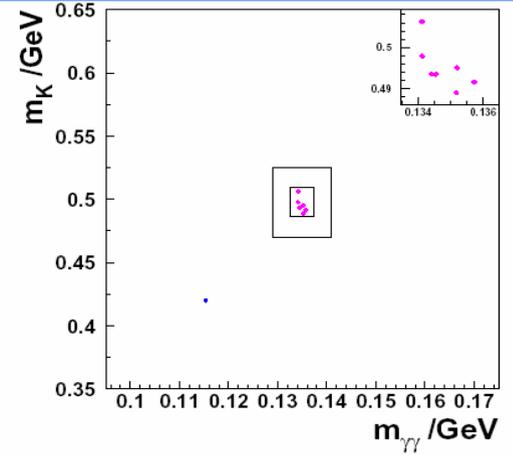
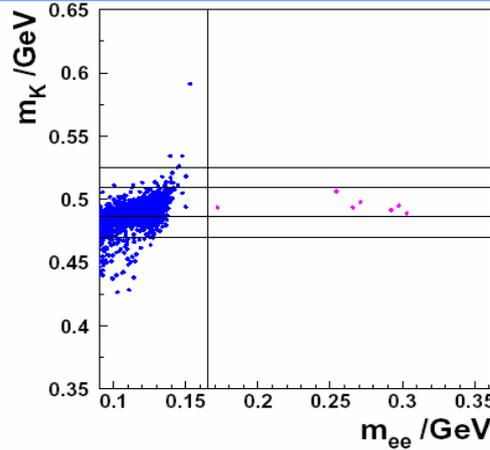
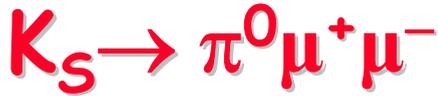
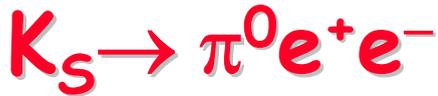
NA48: violazione di CP



$$\delta_L(e) = \frac{\Gamma(K_L \rightarrow e^+ \pi^- \nu) - \Gamma(K_L \rightarrow e^- \pi^+ \bar{\nu})}{\Gamma(K_L \rightarrow e^+ \pi^- \nu) + \Gamma(K_L \rightarrow e^- \pi^+ \bar{\nu})}$$

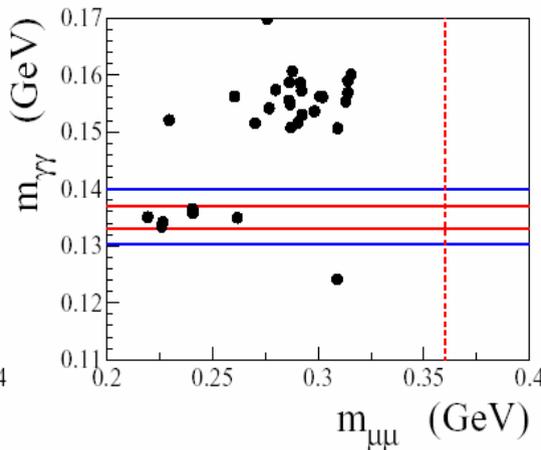
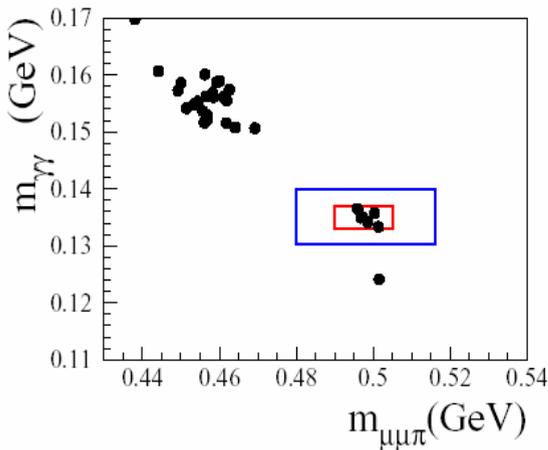
... basato su $\approx 210 \times 10^6$
 decadimenti K_{e3} osservati !

NA48/1:



7 events found in the signal region with a background $0.15^{+0.05}_{-0.04}$

$$BR(K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-) = (5.8^{+2.8}_{-2.3}(\text{stat}) \pm 0.3(\text{syst}) \pm 0.8(\text{theor})) \times 10^{-9}$$



6 events found in the signal region with a background of $0.22^{+0.19}_{-0.12}$

$$BR(K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-) = (2.9^{+1.5}_{-1.2}(\text{stat}) \pm 0.2(\text{syst})) \times 10^{-9}$$

$$BR(K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-) =$$

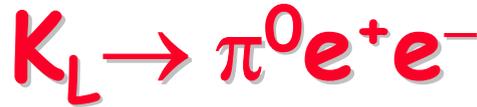
$$5.2 \times 10^{-9} a_s^2$$

$$\Rightarrow |a_s| = 1.06^{+0.26}_{-0.21} \pm 0.07$$

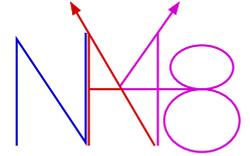


$$|a_s| = 1.55^{+0.38}_{-0.32} \pm 0.05$$

$CP \approx -1 \Rightarrow$



$\Leftarrow CP \approx +1$



La χ PT prevede che questo decadimento abbia origine da tre diverse ampiezze:

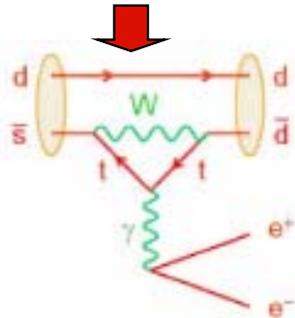
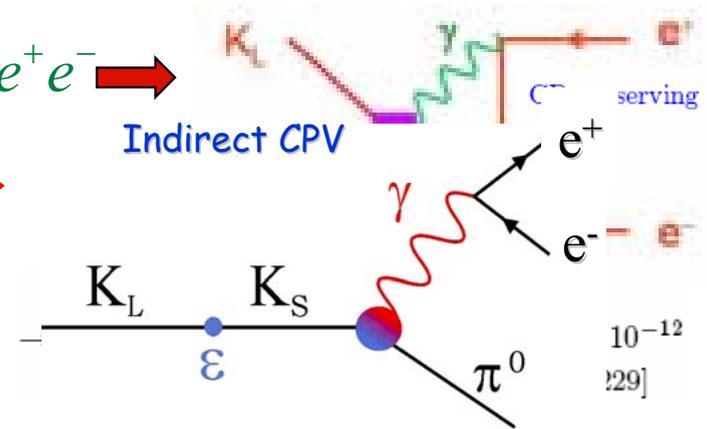
$A_1(CPC)$



$A_2(CPVind)$



$A_3(CPVdir)$



direct CP violating

Proportional to η or $Im(\lambda_t)$

$Im(\lambda_t) = \eta A^2 \lambda^5 \quad \lambda_t = V_{ts}^* V_{td}$

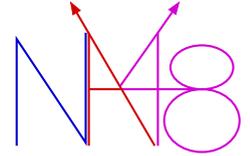
$\rightarrow BR(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)_{dir} \sim few \times 10^{-12}$

$|A_2 + A_3|^2 \rightarrow BR \cdot 10^{12} = 15.3(a_s)^2$
 $-6.8(a_s) \{10^4 Im(\lambda_t)\} + 2.8 \{10^4 Im(\lambda_t)\}^2$

$BR_{CPV} \approx (17.2 \pm 9.4 + 4.7) \times 10^{-12}$

PDG2004

NA48/2: CPV diretta in $K^\pm 3\pi$



$$\text{BR}(K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-) = 5.57\%$$

"charged"

$$\text{BR}(K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0) = 1.73\%$$

"neutral"

❖ Variabili cinematiche

Invarianti di Lorentz:

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

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

$$s_i = (P_K - P_{\pi_i})^2, \quad i=1,2,3 \quad (3=\text{odd } \pi);$$

$$s_0 = (s_1 + s_2 + s_3) / 3 = 1/3 M^2 + m^2$$

Nel centro di massa:

$$u = 2m_K \cdot (m_K/3 - E_{\text{odd}}) / m_\pi^2$$

$$v = 2m_K \cdot (E_1 - E_2) / m_\pi^2$$

Elementi di matrice

$$|M(u,v)|^2 \sim 1 + gu + kv^2$$

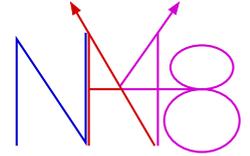
La quantità misurata,
 sensibile alla violazione
 diretta di CP, è



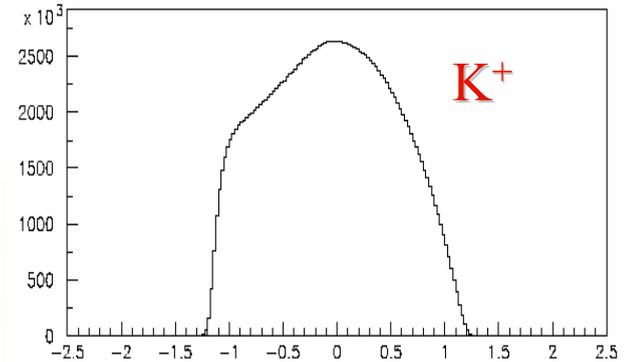
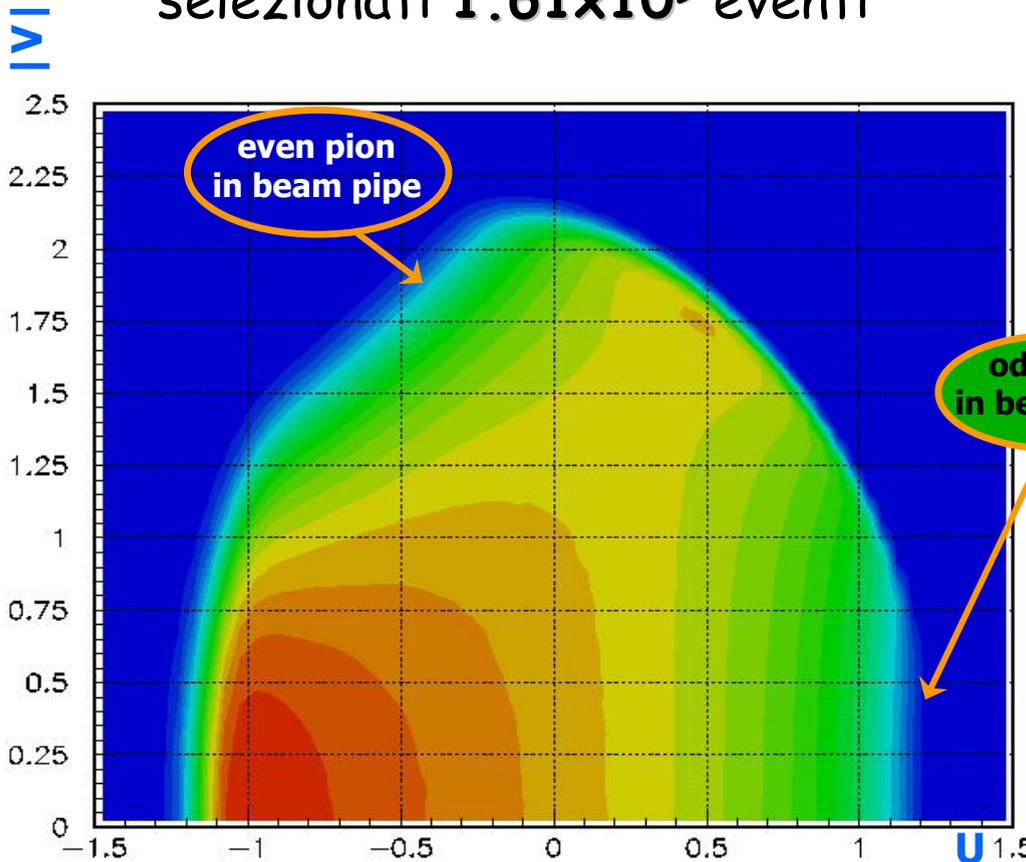
La asimmetria di slope:

$$A_g = (g_+ - g_-) / (g_+ + g_-) \neq 0$$

NA48/2: dalitz plot per $K^\pm 3\pi$

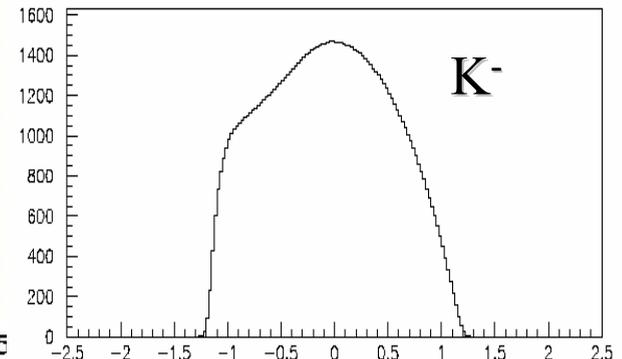


Dati raccolti nel 2003:
 selezionati 1.61×10^9 eventi

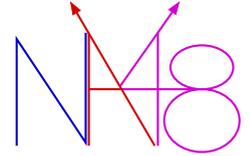


$$R = u(K^+) / u(K^-)$$

$$= r (1 + \Delta g \cdot u)$$



Risultato preliminare dati 2003



Differenza dei parametri di slope:

$$\begin{aligned}\Delta g &= (-0.2 \pm 1.4_{\text{stat}} \pm 0.9_{\text{syst.}}) \times 10^{-4} \\ &= (-0.2 \pm 1.7) \times 10^{-4}\end{aligned}$$

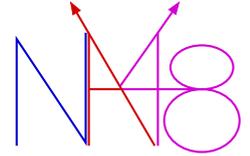
Asimmetria di slope:

$$\begin{aligned}A_g &= (0.5 \pm 3.1_{\text{stat.}} \pm 2.1_{\text{syst.}}) \times 10^{-4} \\ &= (0.5 \pm 3.8) \times 10^{-4}\end{aligned}$$

Errore statistico 2003+2004 estrapolato:

$$\delta A_g \approx 2 \times 10^{-4}$$

Il futuro prossimo



- ❖ Studio di decadimenti rari dei mesoni K al CERN: misura di $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

Il contesto: la matrice CKM

CKM: matrice unitaria che lega i quark autostati deboli ai quark autostati di massa

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

Parametrizzazione di Wolfenstein:

- serie di potenze di $\lambda = |V_{us}|$
- 4 parametri: $\lambda, A=V_{cb}/\lambda^2, \rho, \eta$
- 3 parametri reali, 1 fase

$$\begin{pmatrix} 1-\lambda^2/2 & \lambda^2 & A\lambda^3(\rho-i\eta) \\ -\lambda^2 & 1-\lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

$\lambda = \sin(\theta_{\text{Cabibbo}}) \sim 0.220; A \sim \rho \sim \eta \sim 1$
 \Rightarrow la parte immaginaria η viola CP

L'unitarietà implica:

$$V_{CKM} V_{CKM}^\dagger = V_{CKM}^\dagger V_{CKM} = 1$$

i.e. righe e colonne verificano:

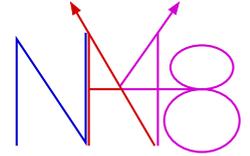
$$\sum_{i=1,3} V_{ij}^2 = \sum_{j=1,3} V_{ji}^2 = 1$$

$$\sum_{i=1,3} V_{ji} V_{ki}^\dagger = \sum_{j=1,3} V_{ij} V_{jk}^\dagger = 0$$

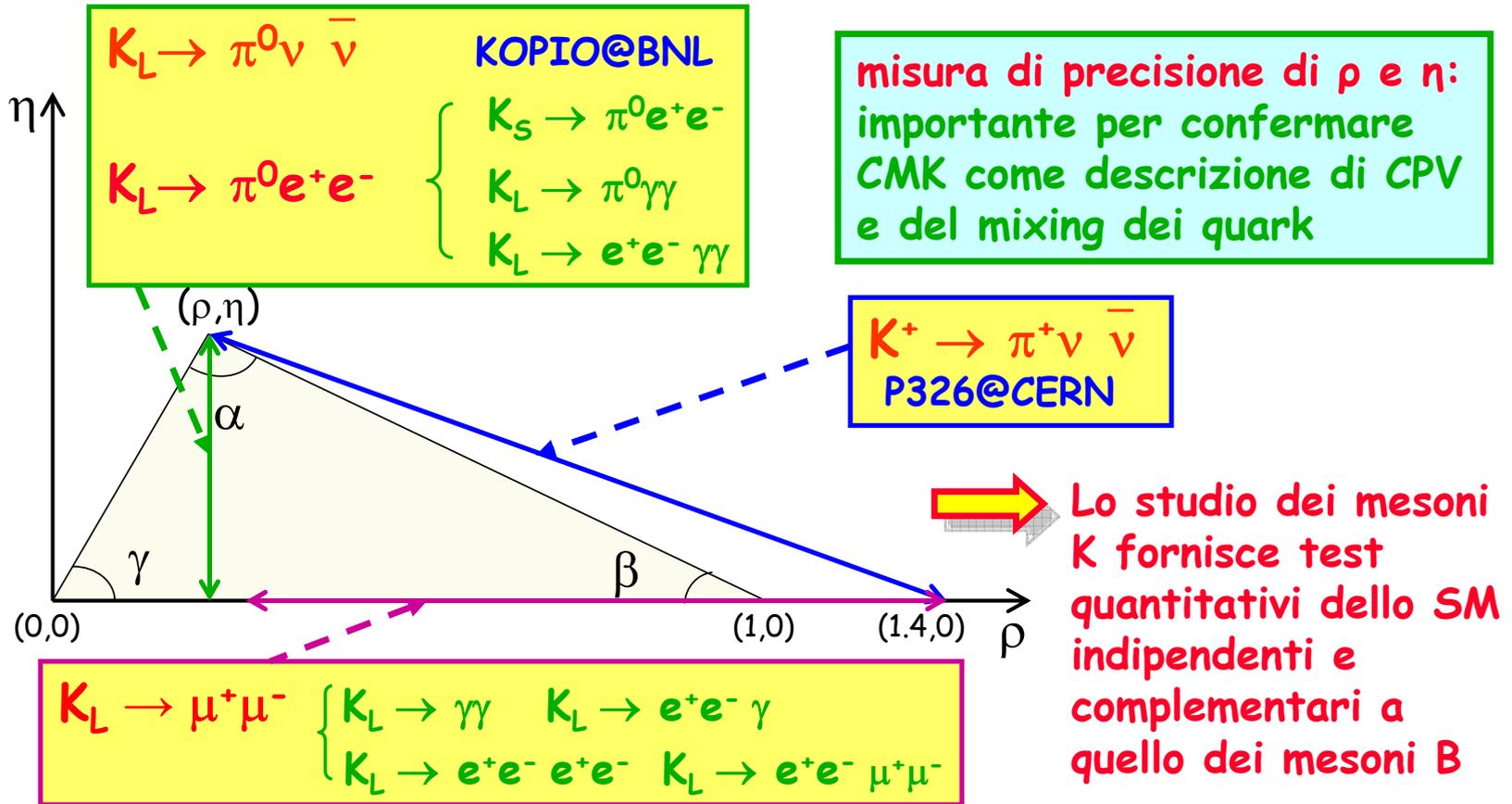
Rappresentazione geometrica come sei triangoli nel piano complesso (ρ, η):

- stessa area pari a $A^2 \lambda^6 \eta$
- lati dati da probabilità di decadimento
- angoli dati da asimmetrie di CP

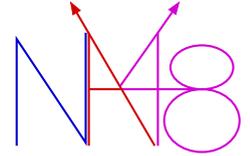
CPV nel sistema dei K



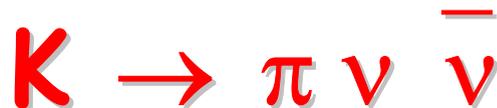
Triangolo di Unitarietà: $V_{ud} V_{ub}^* + V_{cd} V_{cb}^* + V_{td} V_{tb}^* = 0$



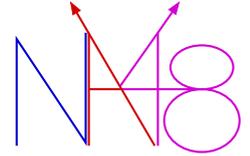
Prospettive future nella fisica dei mesoni K



- ❖ Le misure di decadimenti rari dei mesoni K permettono test quantitativi ad alta precisione del Modello Standard nel settore descritto dal formalismo CKM e possono evidenziare fisica BSM
- ❖ Alcuni processi in particolare possono fornire limiti stringenti alle variabili della matrice CKM e costituire ulteriori test di CPV: sono i c.d. "golden decays"



$K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ nello SM



Struttura CKM dei processi $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$

K_L : CPV diretta

Nota con precisione $\sim 2\%$

$$B(K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = k B(K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu) \left[\text{Im}(V_{ts}^* V_{td}) X\left(\frac{m_t^2}{m_W^2}\right) \right]^2 = k' \eta^2 \approx 3 \times 10^{-11}$$

K^+ : conserva CP

Piccola incertezza
 addizionale da m_c

$$B(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = k B(K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu) \left| V_{cs}^* V_{cd} X\left(\frac{m_c^2}{m_W^2}\right) + V_{ts}^* V_{td} X\left(\frac{m_t^2}{m_W^2}\right) \right|^2 \propto [(1.4 - \rho)^2 + \eta^2] \approx 8 \times 10^{-11}$$

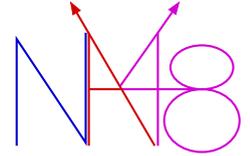
Misura teoricamente ben definita di $\lambda_t = V_{ts}^* V_{td}$

Limiti su η, ρ

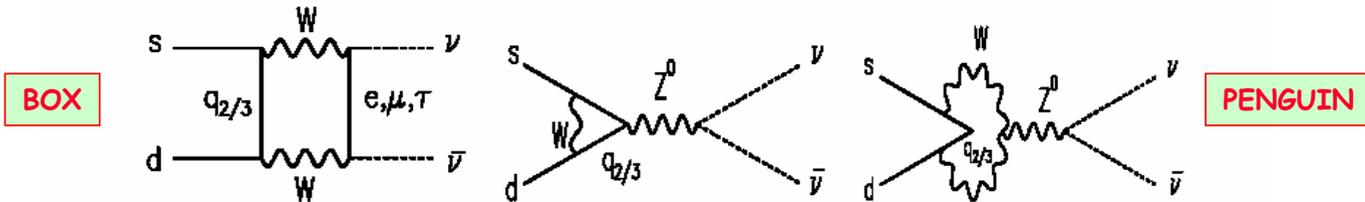
Progetti sperimentalmente difficili

- ❖ BR $\sim 10^{-10} - 10^{-11}$, cinematica non chiusa (ν)
- ❖ eventi di fondo da processi con probabilità di decadimento molto maggiori

Il decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$



- ❖ L' elemento di matrice adronico può essere estratto dal ben misurato decadimento K_{e3} : $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$
- ❖ Non ci sono contributi a lunga distanza all'ampiezza
- ❖ Ampiezza dominata da diagrammi ad anello singolo

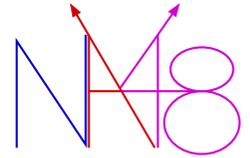


$$B_{SD}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = \frac{\kappa_+ \alpha^2 B(K_{e3})}{2\pi^2 \sin^4 \theta_W |V_{us}|^2} \sum_l |X_t \lambda_t + X_c \lambda_c|^2 = 8.9 \times 10^{-11} A^4 [(\rho_0 - \bar{\rho})^2 + \bar{\eta}^2]$$

QCD NLO
 Buchalla,
 Buras 1999

Predizione (CKM Workshop): $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = 8.0 \pm 1.1 \times 10^{-11}$

Misura sperimentale del decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu}\nu$



Caratteristiche:

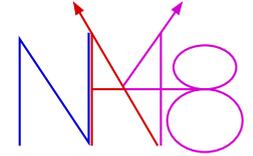
- ❖ Decadimento a 3 corpi con 2 particelle mancanti (ν)
 → cinematica non chiusa
- ❖ Alto livello di fondo (BR fino a 10^{10} volte maggiori)
- ❖ Strumenti per il controllo del fondo: cinematica (ridondanza di misure), veto ermetici per γ e per carichi, identificazione di particelle
- ❖ Principali eventi di fondo →
- ❖ BR previsto dallo SM:

$$\text{BR} = (0.80 \pm 0.11) \times 10^{-10}$$

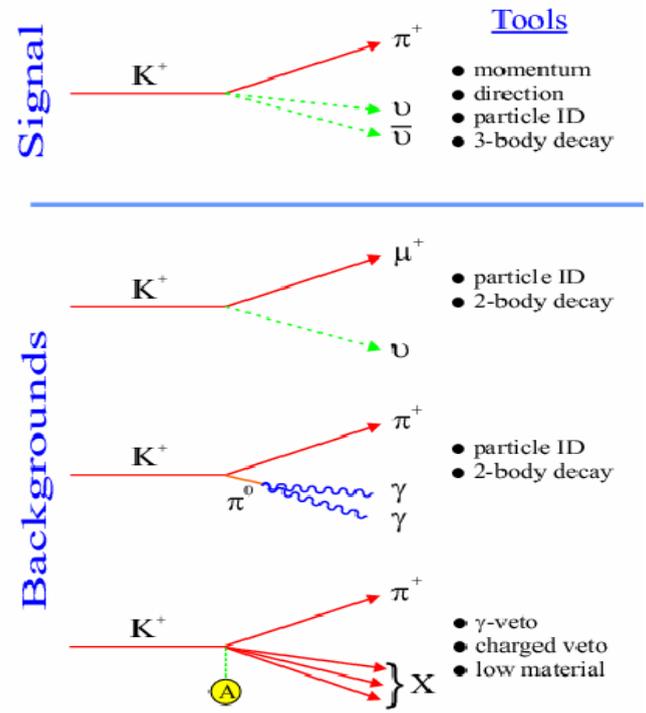
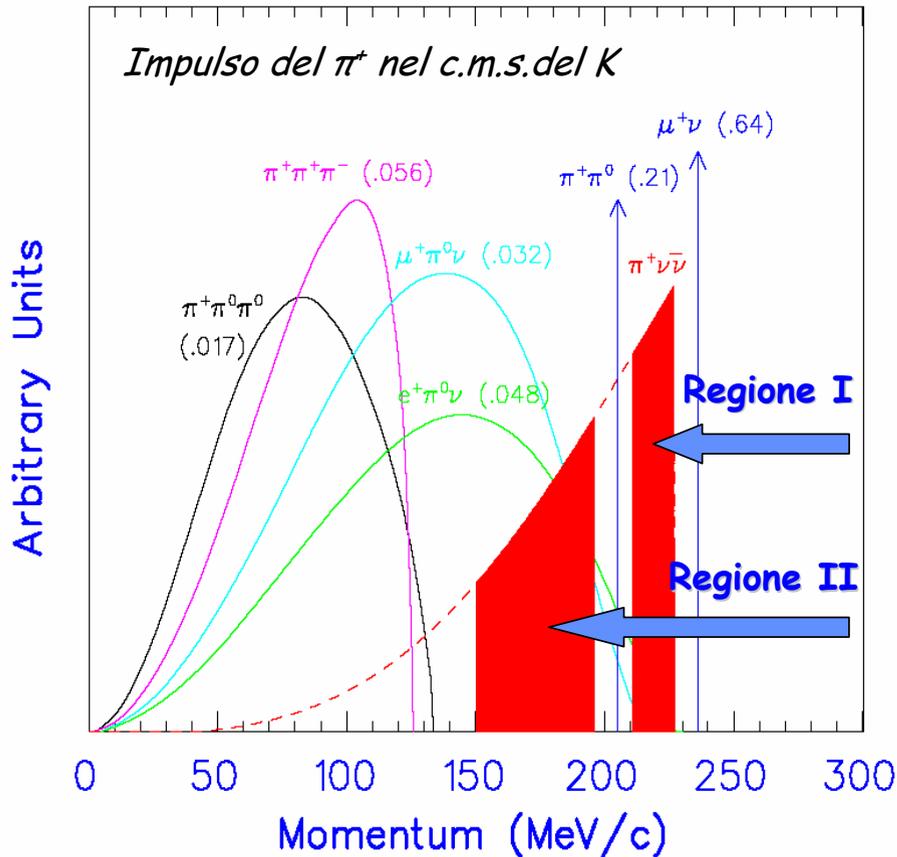
(CKM Workshop)

Decadimento	BR
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	0.21
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$	0.63
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \gamma$	$5 \cdot 10^{-3}$
$K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu$	0.032
$K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$	0.048
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$	0.056

Il segnale e il fondo

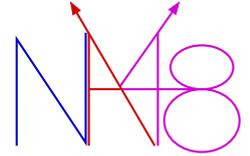


Cinematica del segnale e del fondo: i π^+ con impulso superiore a 210 MeV/c sono sostanzialmente dovuti a $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ (Regione I)



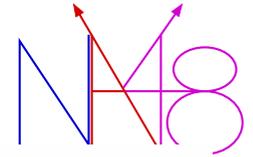
Metodo di riduzione dei principali eventi di fondo

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$: stato del programma sperimentale

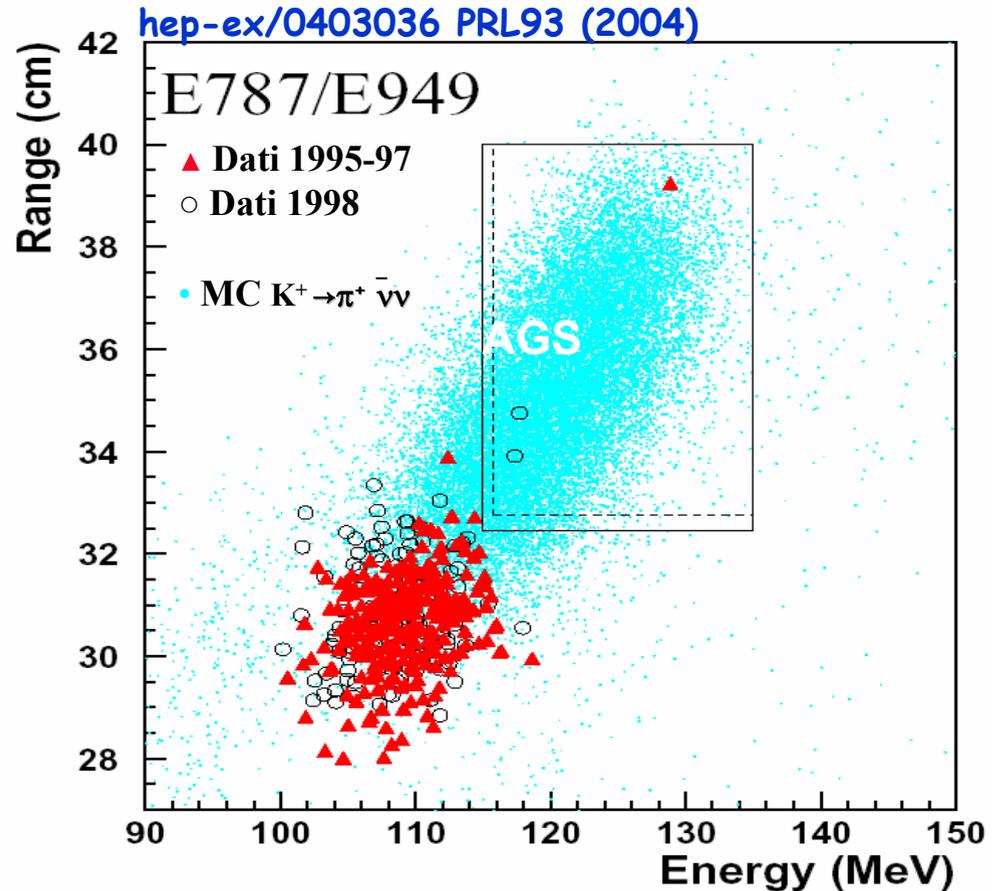


- ❖ **BNL E787** completato, analizzati $\sim 6 \times 10^{12}$ decadimenti del K^+ in quiete
(hep-ex/0403036 PRL93 2004)
 - 2 + 1 candidati, fondo misurato: 0.15 ± 0.05 , 0.7 ± 0.2 eventi
 - $BR = (1.47^{+1.30}_{-0.89}) \times 10^{-10}$
- ❖ **BNL E949** upgrade of E787:
 - attesi 40×10^{12} decadimenti del K^+ in quiete, corrispondenti a 5-10 eventi SM
 - rivelatore completo, approvata presa dati di 60 settimane
 - run per 12 settimane nel 2002, poi fermato
- ❖ **Fermilab CKM** (Charged Kaons at the Main injector)
 - approvato nel 2001, HEPAP-P5 non ratifica nel 2003, chiesta revisione dei costi, presentato nuovo progetto (no fasci separati), non approvato
 - *Tecnica di misura: decadimento del K in volo*
 - *Attesi 100 eventi SM contro 10 eventi di fondo*
 - *Incertezza sperimentale paragonabile a quella teorica*
- ❖ **JPARC**: LOI per progetto à la E949 (> 2008)

La misura di $K^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu} \nu$



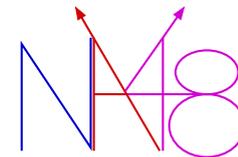
Misura effettuata
 con decadimenti del
 K in quiete,
 accettazione $\sim 0.1\%$



$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = 1.47^{+1.30}_{-0.89} \times 10^{-10}$$

Valore doppio rispetto alla attesa dello SM, basato su 3 eventi

La lettera di intenzioni al CERN: I229

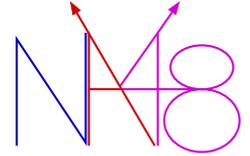


John Dainton
Villars 2004
October 7th 2004
CERN seminar

SPSC

- new rare decay frontier in K physics at CERN
 - new experiments planned for $K \rightarrow \pi \nu \nu$ important
 - support R&D now for $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ results ≤ 2010
- no competition ... yet!
- longer term opportunity for $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \nu$

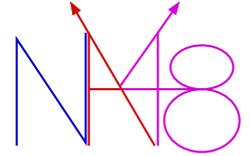
Antefatto



❖ "CERN Director General Outlines Seven-point Strategy for European Laboratory" - 18.6.2004 , Official CERN Press Release

Geneva 18 June 2004. At the 128th session of CERN Council, held today under the chairmanship of Professor Enzo Iarocci, CERN Director General, Robert Aymar, outlined a seven-point scientific strategy for the Organization. Top of the list was completion of the Large Hadron Collider (LHC) project with start-up on schedule in 2007. This was followed by consolidation of existing infrastructure at CERN to guarantee reliable operation of the LHC, with the third priority being an examination of a possible future experimental programme apart from the LHC.

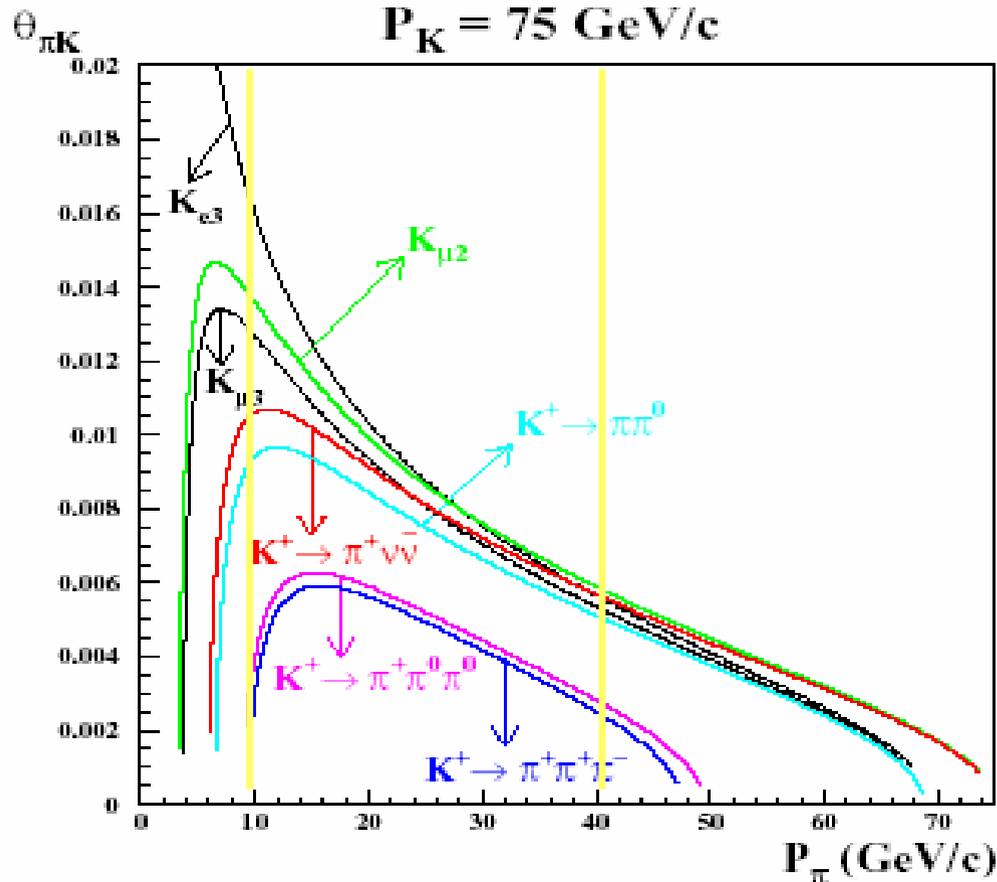
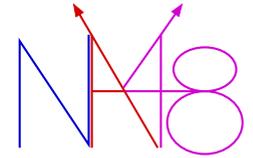
Il contesto



- ❖ **Fino ad ora lo studio del processo $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ è avvenuto attraverso decadimenti dei K in quiete**
 - Statistica limitata a qualche evento per le basse accettanze
- ❖ **Lo studio di K ad alta energia ($P_K=75 \text{ GeV}/c$) ha alcuni vantaggi:**
 - Il numero di protoni non costituisce un limite al fascio
 - Maggior numero di K nel fascio grazie a sezioni d'urto più grandi ($K^+ > K^-$)
 - Eliminazione più semplice del fondo $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ grazie all'elevato deposito di energia EM nei veto per γ (qualche decina di GeV)
 - Minore fondo accidentale: possibile distinguere K da adroni anche senza fasci separati
 - Il valore $P_K = 75 \text{ GeV}/c$ massimizza il rapporto K/ π e la frazione di K accettati rispetto al flusso totale, ottimizzando la linea di fascio convenzionale esistente e assumendo 3×10^{12} ppp primari a 400 GeV
- ❖ **2/3 dello stato è invisibile:**
 - Misure ridondanti delle variabili cinematiche di K e π per tenere sotto controllo gli eventi di fondo
 - Essenziale l'identificazione dei μ e la soppressione di γ e particelle cariche (veto)

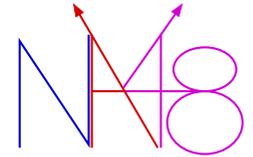
Proposta: ~ 80 eventi con S/B=10 in 2 anni (2009-10)

Cinematica a confronto

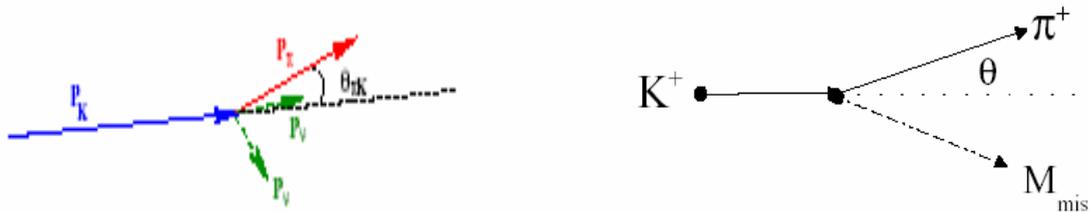


**Relazione tra angolo polare e impulso della traccia carica per i
 decadimenti più frequenti del K^+ e per $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$
 Nel caso di decadimenti a 3 corpi la curva indica il limite cinematico**

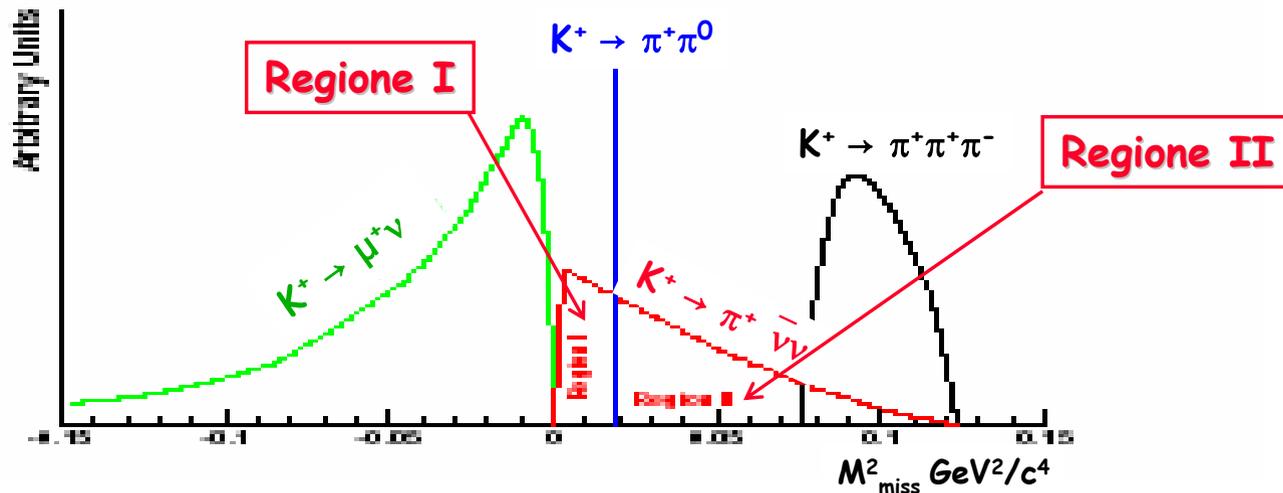
Strategia per la misura del decadimento in volo del K^+



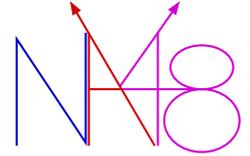
I principali processi di fondo $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$, $K^+ \rightarrow \mu^+\nu$ e $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$ hanno una ben definita massa mancante M_{miss}



$$M_{miss}^2 = M_K^2(1 - p_\pi/p_K) + M_\pi^2(1 - p_K/p_\pi) - p_\pi p_K \vartheta^2$$

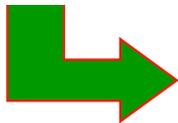


Competizione fondo-segnale



$$K^+ \rightarrow \pi^+ \bar{\nu} \nu \quad (\text{BR} \approx 8.0 \times 10^{-11})$$

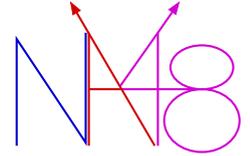
	<u>BR</u>	Veto	cinematica	acc.%	fondo
$\mu^+ \nu$	63 %	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	30	8 (<1)
$\pi^+ \pi^0$	21 %	$3 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$	20	~1
$\pi^+ \pi^+ \pi^-$	6 %	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-5}$	15	~1
$\pi^+ \pi^0 \pi^0$	2 %	$< 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-5}$	15	$\ll 1$
$\pi^0 \mu^+ \nu$	3 %	nessun problema			$\ll 1$
$\pi^0 e^+ \nu$	5 %	se $e/\pi < 10^{-3}$			$\ll 1$



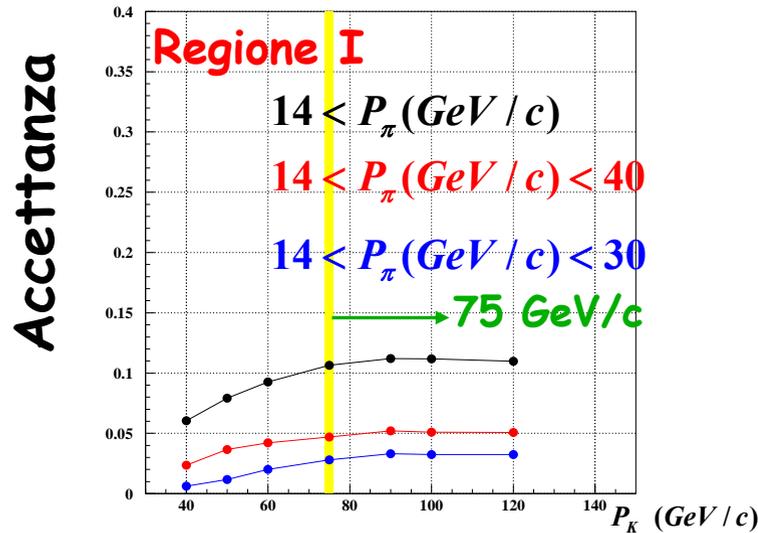
Veti il più possibile ermetici e misure ridondanti sono una necessità assoluta !

... comunque, l'alta energia dei K li semplifica ...

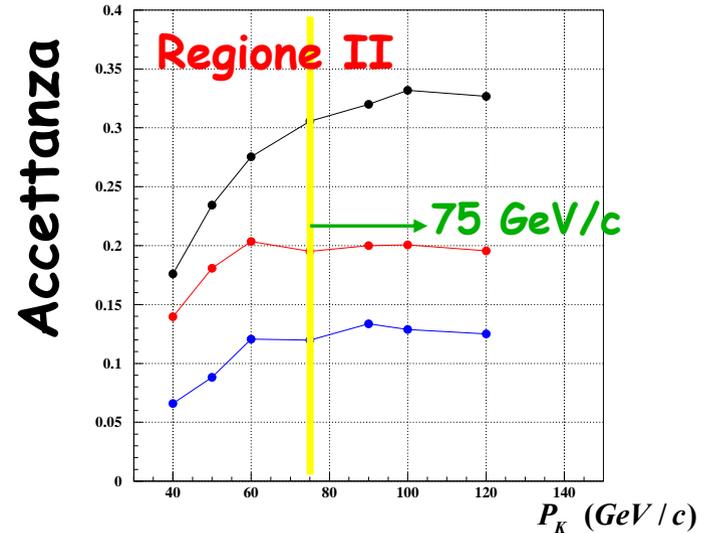
Accettanza



$$0 < m_{miss}^2 < 0.01 \text{ (GeV/c}^2\text{)}^2$$



$$0.026 < m_{miss}^2 < 0.068 \text{ (GeV/c}^2\text{)}^2$$



❖ Accettanza per un impulso del K^+ pari a $(75.0 \pm 0.8) \text{ GeV/c}$

	Regione I	Regione II
$P_{\pi} = [15 - 35] \text{ GeV/c}$	$(2.78 \pm 0.02) \times 10^{-2}$	$(14.8 \pm 0.1) \times 10^{-2}$
$P_{\pi} = [10 - 40] \text{ GeV/c}$	$(3.92 \pm 0.02) \times 10^{-2}$	$(21.7 \pm 0.1) \times 10^{-2}$

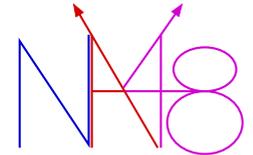
Assumendo:
 $4 \times 10^{12} \text{ dec/anno}$
 @ $BR = 10^{-10}$



16 eventi/anno

80 eventi/anno
 MA: popolata da
 decadimenti a 3 corpi

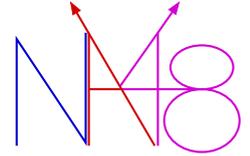
Il Fascio



Parametri di un possibile nuovo fascio di K^+ ad alta intensità Al CERN per 'NA48/3' ($K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$)

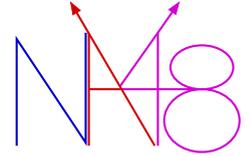
Beam:	Present K12 (NA48/2)	New HI K^+ > 2006	Factor wrt 2004
SPS protons per pulse	1×10^{12}	3×10^{12}	3.0
Duty cycle (s./s.)	4.8 / 16.8		1.0
Solid angle (μ sterad)	≈ 0.40	≈ 16	40
Av. K^+ momentum $\langle p_K \rangle$ (GeV/c)	60	75	Total : 1.35
Mom. band RMS: ($\Delta p/p$ in %)	≈ 4	≈ 1	~ 0.25
Area at KABES (cm^2)	≈ 7.0	≈ 20	≈ 2.8
Total beam per pulse ($\times 10^7$)	5.5	250	~ 45 (~ 27)
per Effective spill length (MHz)	18	800	~ 45 (~ 27)
/ ... / cm^2 (KABES) (MHz)	2.5	40	~ 16 (~ 10)
Eff. running time / yr (pulses)	3.1×10^5	3.1×10^5	1.0
K^+ decays per year	1.0×10^{11}	4×10^{12}	≈ 40

I sottorivelatori

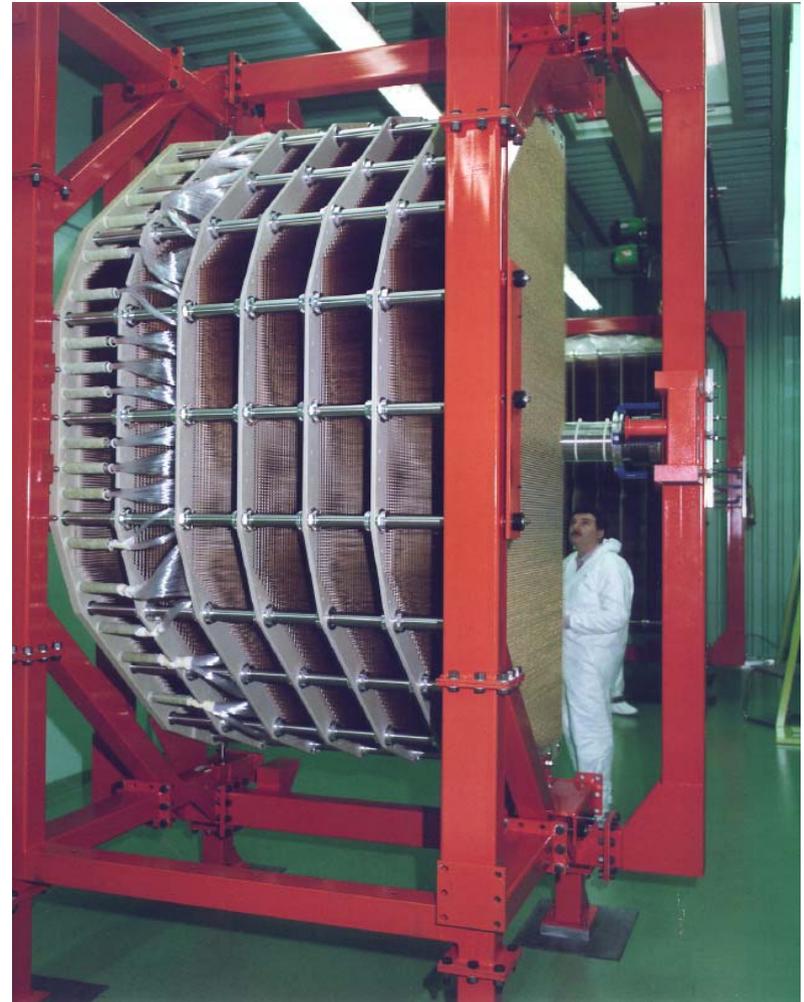


- ❖ **CEDAR**
 - Identificazione (tag) del K positivo
- ❖ **GIGATRACKER**
 - Tracciamento del fascio secondario a monte della regione di decadimento
- ❖ **ANTICOUNTERS**
 - Veto per fotoni attorno alla camera di decadimento
- ❖ **STRAW Tracker**
 - Camere di tubi straw per tracciare i prodotti di decadimento del K
- ❖ **RICH**
 - Ring image Cerenkov, per contribuire a distinguere muoni da pioni
- ❖ **CHOD**
 - Odoscopio veloce per coincidenza K-pione ad alta precisione + trigger
- ❖ **LKR**
 - Veto per fotoni e calorimetro e.m.
- ❖ **MAMUD**
 - Calorimetro adronico, veto per muoni e magnete deflettore
- ❖ **SAC and CHV**
 - Veto a piccolo angolo per fotoni e particelle cariche

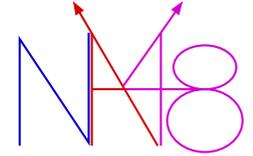
Il calorimetro a LKr



- ❖ Si tratta del calorimetro a Krypton Liquido di NA48
- ❖ Deve raggiungere un'inefficienza $<10^{-5}$ nella rivelazione di fotoni sopra al GeV
- ❖ Vantaggi:
 - Esiste
 - Calorimetro omogeneo a ionizzazione (non "sampling")
 - Ottima granularità ($\sim 2 \times 2 \text{ cm}^2$)
 - Read-out veloce (corrente iniziale, FWHM $\sim 70 \text{ ns}$)
 - Ottima risoluzione in energia ($\sim 1\%$) tempo ($\sim 300 \text{ ps}$) e posizione ($\sim 1 \text{ mm}$)
- ❖ Svantaggi:
 - $0.5 X_0$ di materiale passivo davanti al LKr attivo
 - Il sistema di controllo epr la criogenia deve esser rinnovato
 - L'elettronica di readout deve esser rinnovata



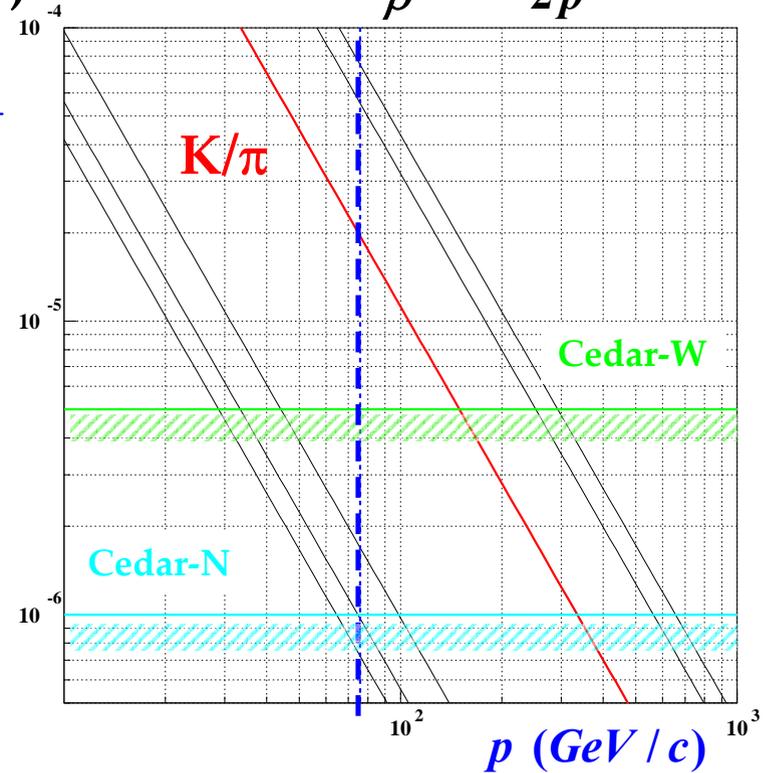
Cedar



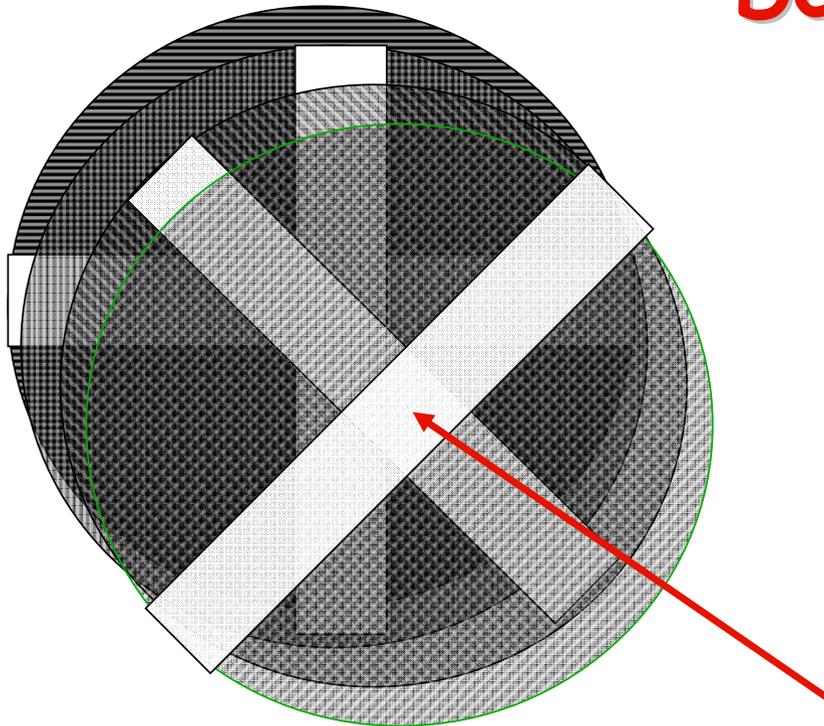
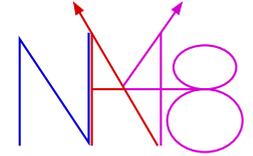
- ✓ Contatore Cerenkov differenziale
- ✓ Risoluzioni tipiche $O(10^{-4}-10^{-6})$

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{m_1^2 - m_2^2}{2p^2}$$

$$\frac{\Delta\beta}{\beta}$$



Drift Chambers



**DCH a straw tubes,
in vuoto**

No Beam pipe !!!

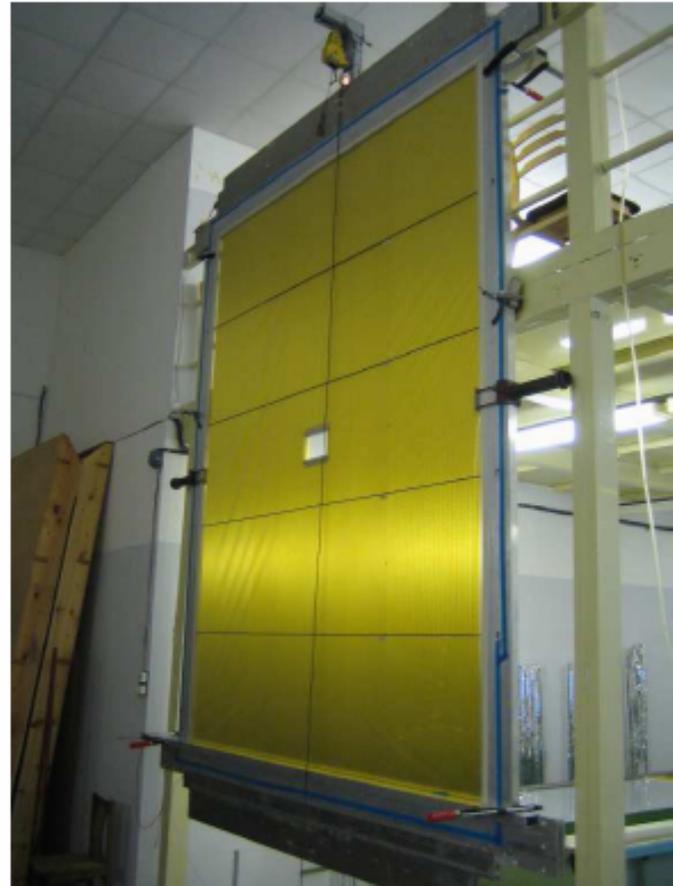
**Quattro viste
X,Y,U,V
per camera**

beam

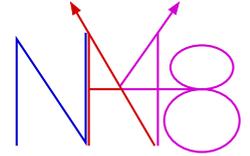
Compass Straw Chamber Design

Compass Straw Chambers:

- Built at JINR Dubna in collaboration with LMU München.
- Design not far away from NA48/3 requirements.
- 15 double layers, dimensions $3.2 \times 2.5 \text{ m}^2$.
- 10 mm & 6 mm straw diameter.



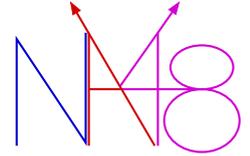
Anticounters



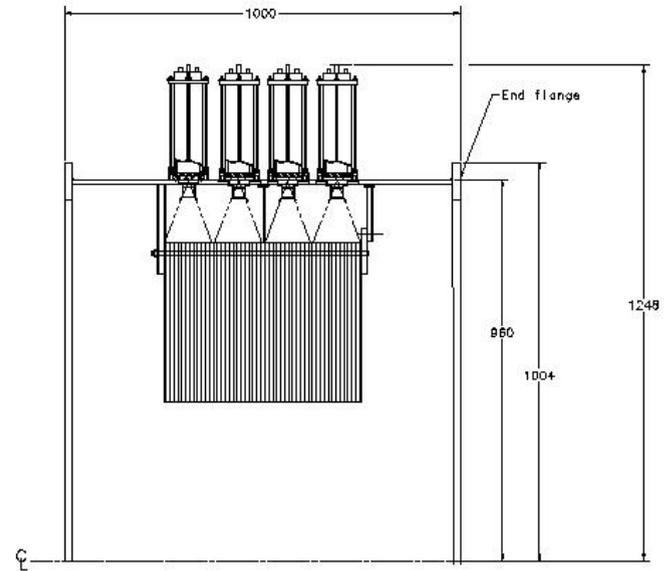
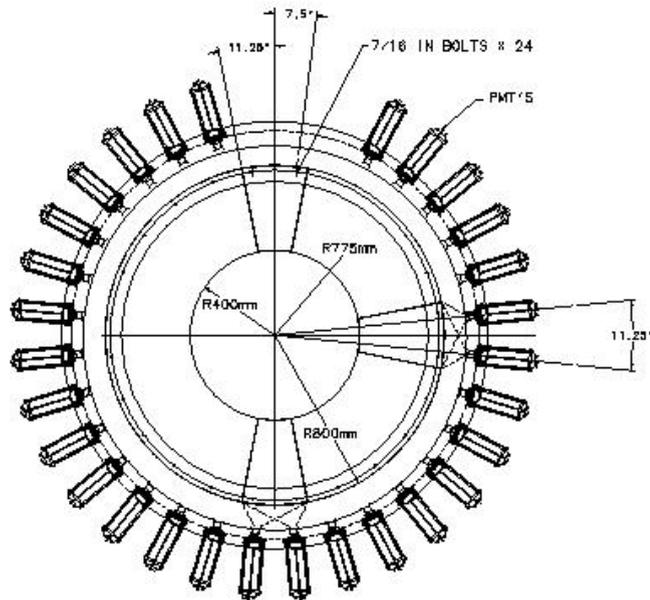
Soluzione alla CKM

- ❖ 1 mm Pb/5 mm scintillatore
- ❖ 15 corone circolari
- ❖ Superficie totale vista dai fotoni: 27 m²
- ❖ Superficie totale di Pb e Sci: 2222 m²
- ❖ Lunghezza delle fibre per la raccolta di luce: 240 Km
- ❖ 960 fototubi
- ❖ Montaggio tra due sezioni del tubo a vuoto

Anticounters

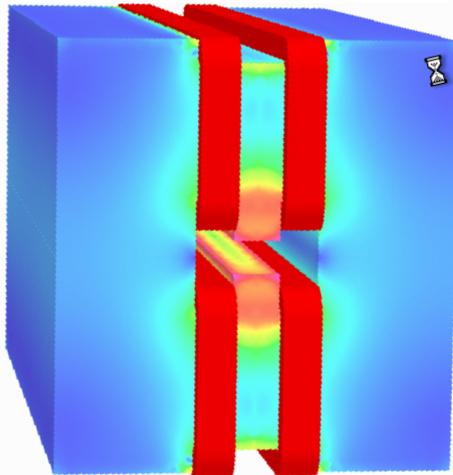
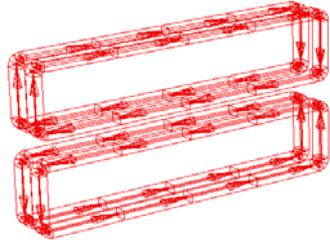
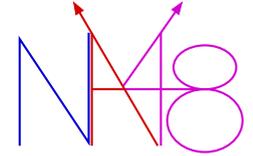


Geometria



ALL DIMENSIONS IN MM

Mamud



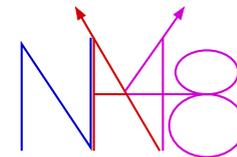
- ❖ **Separazione pioni/muone e deflessione magnetica**
 - Il ferro è diviso in 150 piatti di spessore 2 cm ($260 \times 260 \text{ cm}^2$)
- ❖ **Quattro bobine magnetizzano i piatti di ferro e forniscono un campo magnetico a dipolo di 0.9 nella regione del fascio**
 - $\rightarrow 4.8 \text{ T m}$ di "bending power"
- ❖ **Rivelatore attivo:**
 - Strisce di scintillatore in polistirene estruso ($1 \times 4 \times 130 \text{ cm}^3$)
 - La luce è raccolta con fibre WLS di diametro 1.2 mm

Pole gap is 11 cm V x 30 cm H

974E-003

Coils cross section 15cm x 25cm

Gigatracker



❖ Specifiche:

- Risoluzione in impulso $\sim 0.5 \%$
- Risoluzione angolare $\sim 10 \mu\text{rad}$
- Risoluzione temporale $\sim 100 \text{ ps}$
- Minima quantità di materiale
- Le prestazioni di cui sopra sono raggiunte in
 - *Fascio adronico a 800 MHz, 40 MHz / cm²*

❖ Rivelatore Ibrido:

- SPIBES (Fast Si micro-pixels)
 - *Misura in impulso*
 - *Facilita la ricostruzione dell'evento nel successivo FTPC*
 - *Coincidenza temporale con il Fast Hodoscope (CHOD)*
- FTPC (Fast Time Projection Chamber): tecnologia KABES à la NA48/2 con FADC r/o
 - *Direzione della traccia*

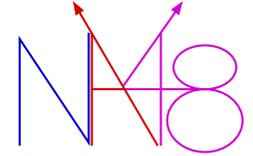
L'odoscopio veloce di trigger

L'idea è quella di usare **Glass Multigap RPCs**, sullo stile di quanto realizzato in **ALICE**

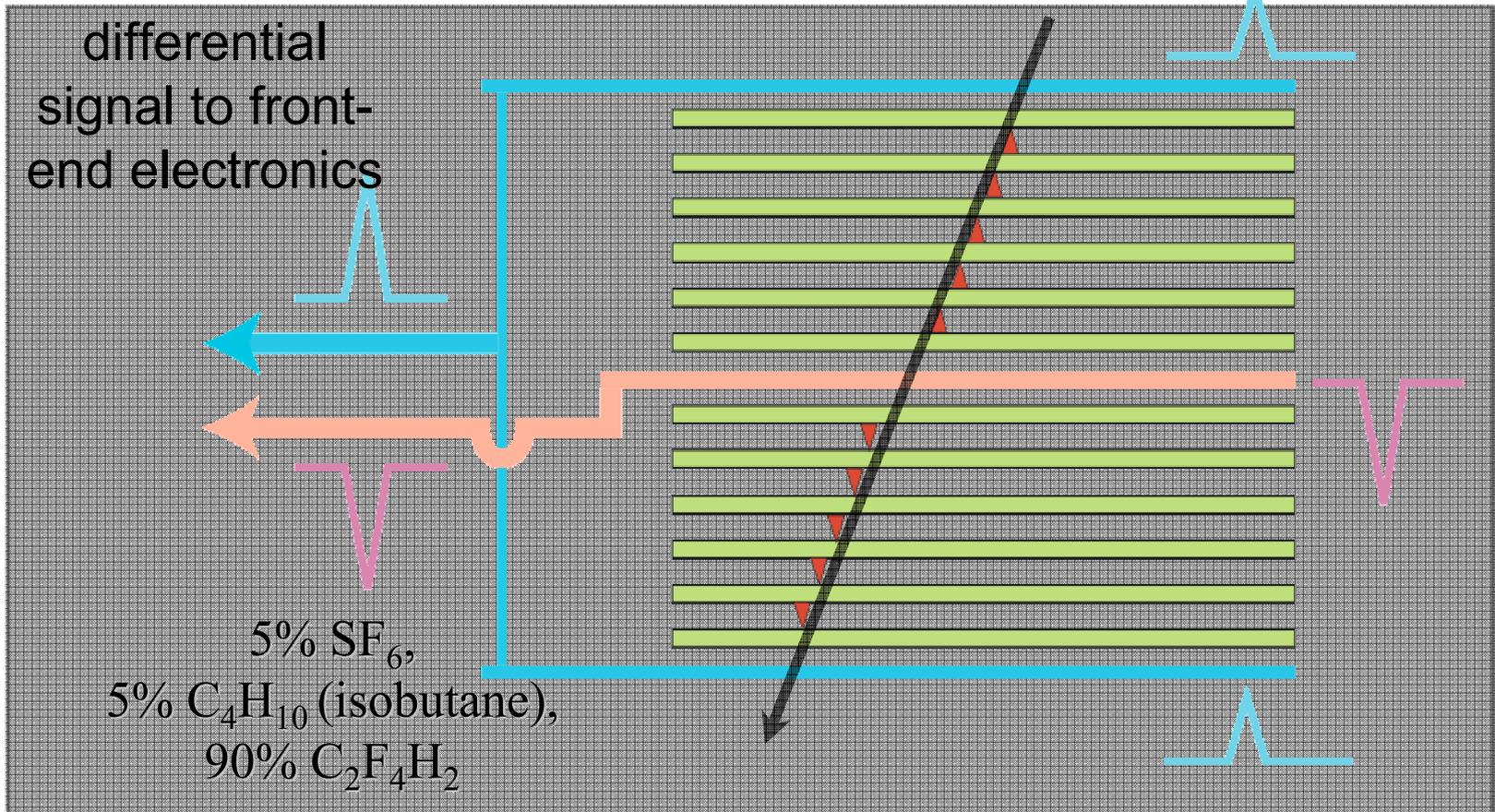
A questo rivelatore infatti è richiesto di essere **efficiente (>99%)** e di avere un'ottima **risoluzione temporale (50ps)** - in modo da ridurre al massimo la possibilità di associazioni accidentali fra il pione di decadimento ed il K che lo origina

Il progetto è proposto e svolto in collaborazione tra i gruppi INFN di Perugia e di Firenze

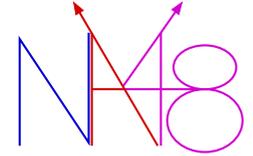
MRPC di Alice - I



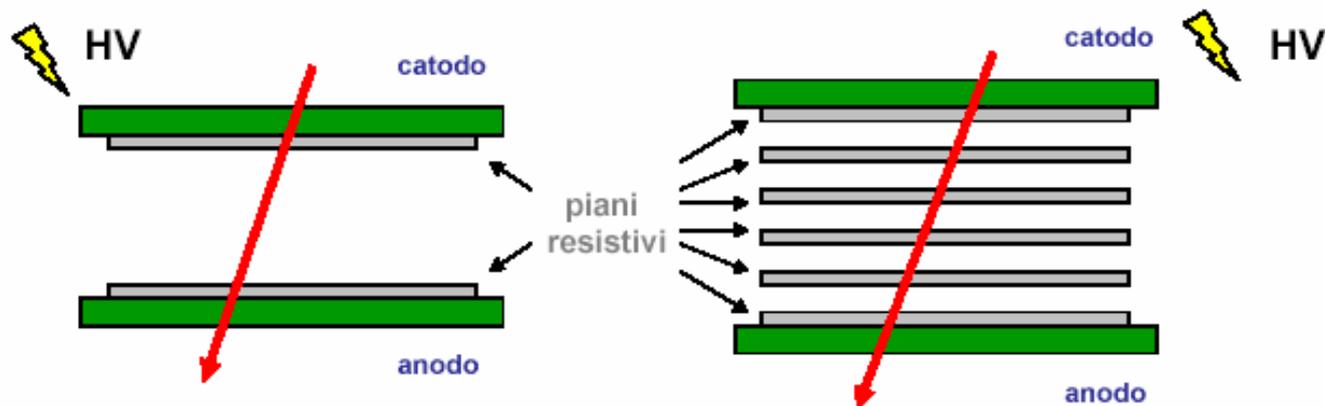
Alice usa un disegno a doppio "stack" (10 gap di gas di spessore 250 μm) sotto forma di lastre con area attiva pari a $120 \times 7 \text{cm}^2$, lette da 96 pads ciascuna di dimensione $2.5 \times 3.5 \text{cm}^2$



Perché un MRPC



- Per avere elevata efficienza occorre uno spesso strato di gas.
- Per migliorare la risoluzione temporale un sottile strato di gas:
- **Nuova idea: camera multistrati** 1996 A.Zichichi et al NIM a374

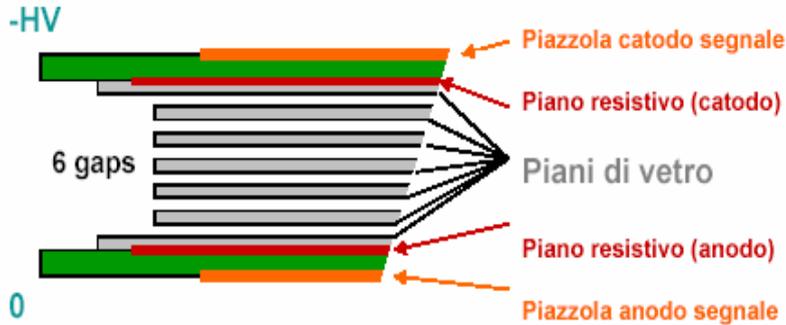
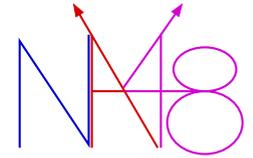


Limiti:

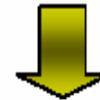
Tensioni molto più alte.

Aumenta l'impronta lasciata dalla carica sul pad di lettura.

Perché un MRPC a doppio strato

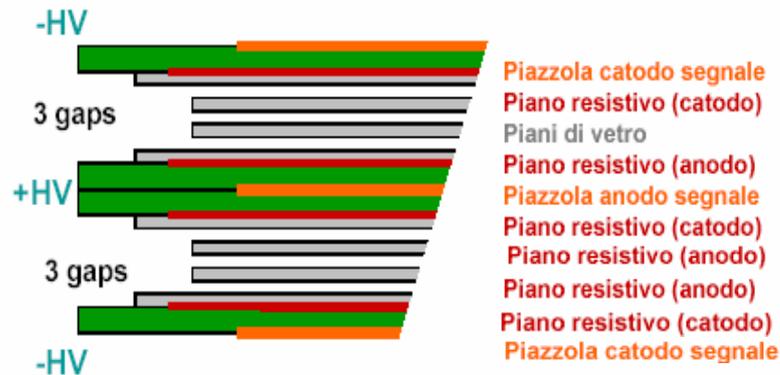


Soluzione:
MRPC a doppio stack

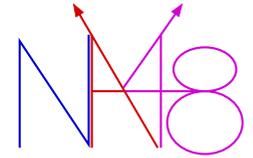


VANTAGGI:

- Numero maggiore di gaps
- Tensione di lavoro bassa
- Segnale più ampio di un fattore 2
- Impronta lasciata dalla carica sul pad più concentrata

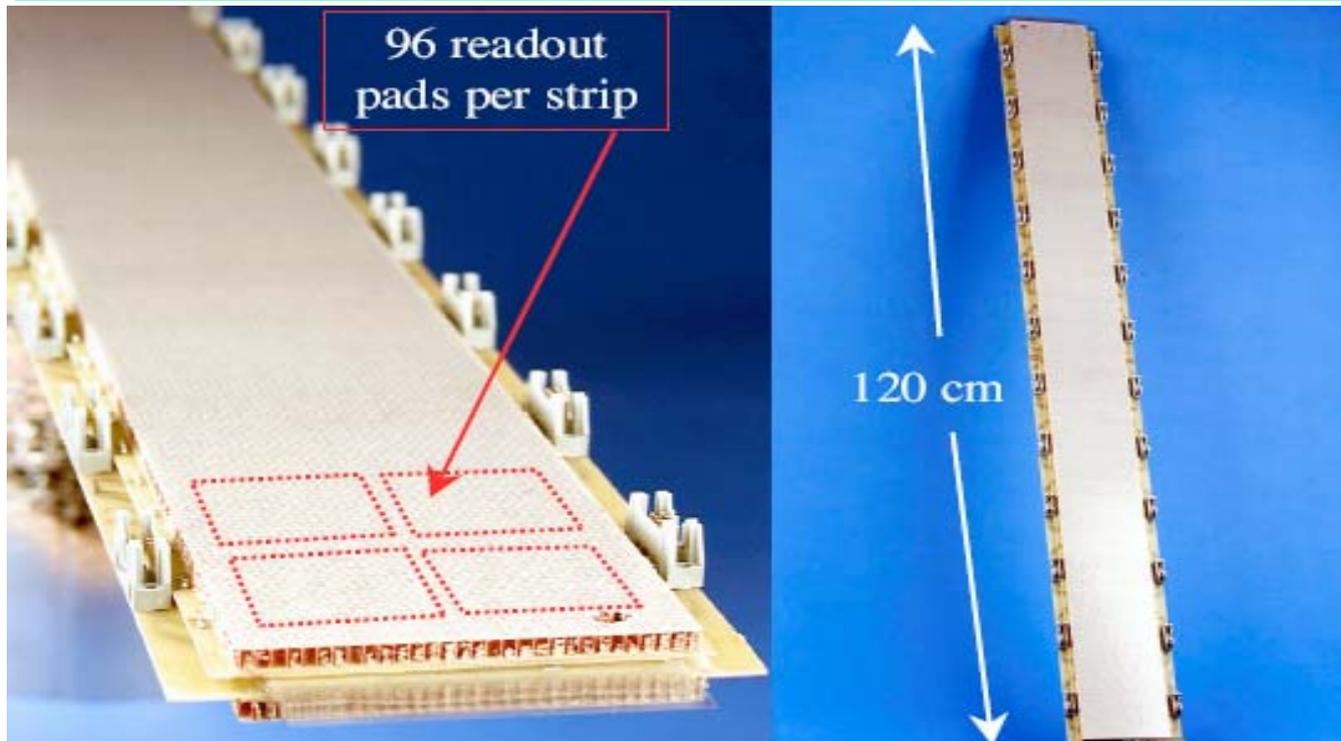


MRPC di Alice - II

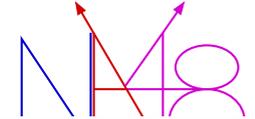


I MRPC progettati per il TOF hanno le seguenti caratteristiche:

- Ogni strip è composta da 96 pads disposti su due file di 48 ciascuna.
- Le dimensioni di ogni pad sono 37x25mm e coprono un'area attiva di 1200x74mm.
- Come spaziatore tra vetri si usa filo di nylon da 250 μ m.
- Il gas utilizzato è C₂H₂F₄ 90%, C₄H₁₀ 5%, SF₆ 5%.



MPRC di Alice - III



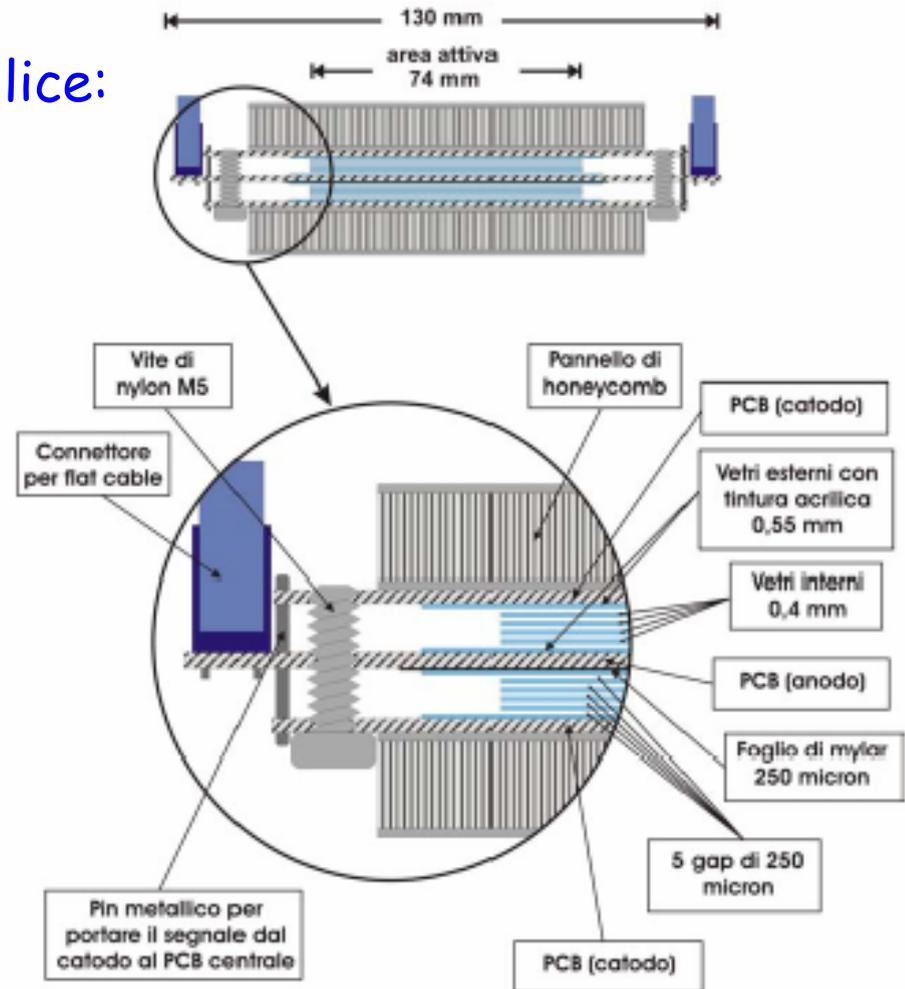
Sezione di una camera di Alice:

- ❖ Doppio stack: ogni stack ha 5 gaps (i.e. 10 gaps in totale) da 250 μm , spaziate con filo da pesca
- ❖ Piatti resistivi commerciali (vetro soda-lime)
- ❖ Rivestimento resistivo: 50M Ω /square
- ❖ Spessore vetro esterno: 550 μm
- ❖ Spessore vetro interno: 400 μm

Gas: 90% $\text{C}_2\text{F}_4\text{H}_2$

5% SF_4 5% C_4H_{10}

a pressione atmosferica



MRPC di Alice - IV

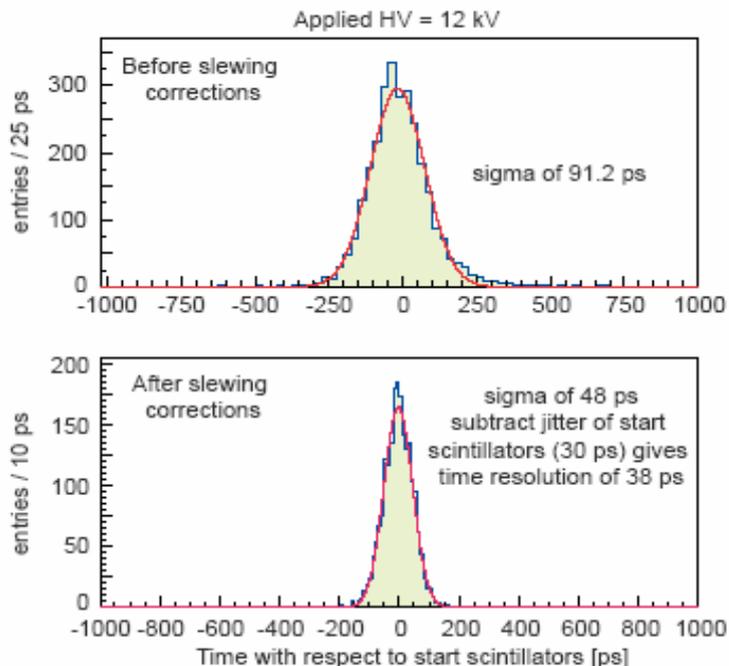
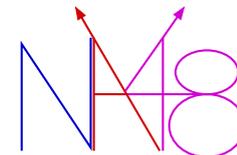


Fig. 3. Time distribution of MRPC before and after slewing corrections.

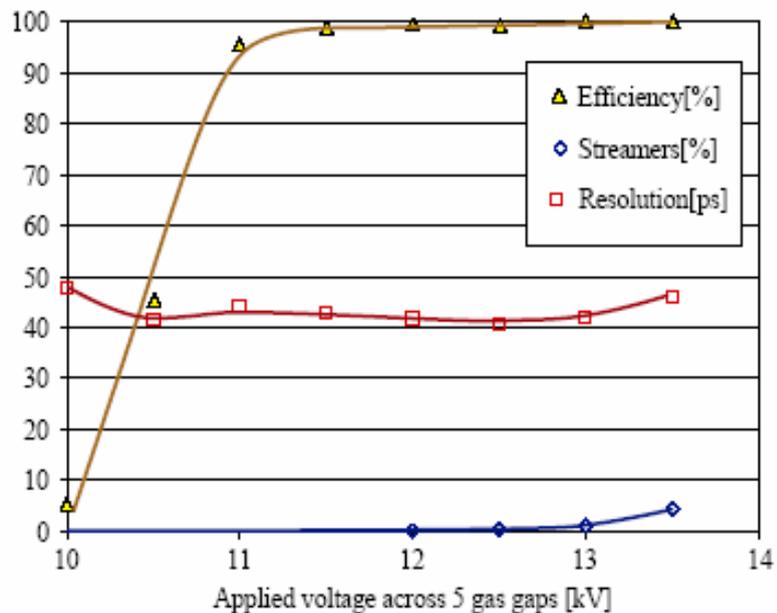
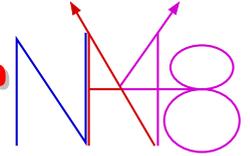


Fig. 2. Efficiency, time resolution and streamer probability of MRPC versus applied voltage.

MRPC: risultati ottenuti da Alice - NIM 533A,74 (2004)

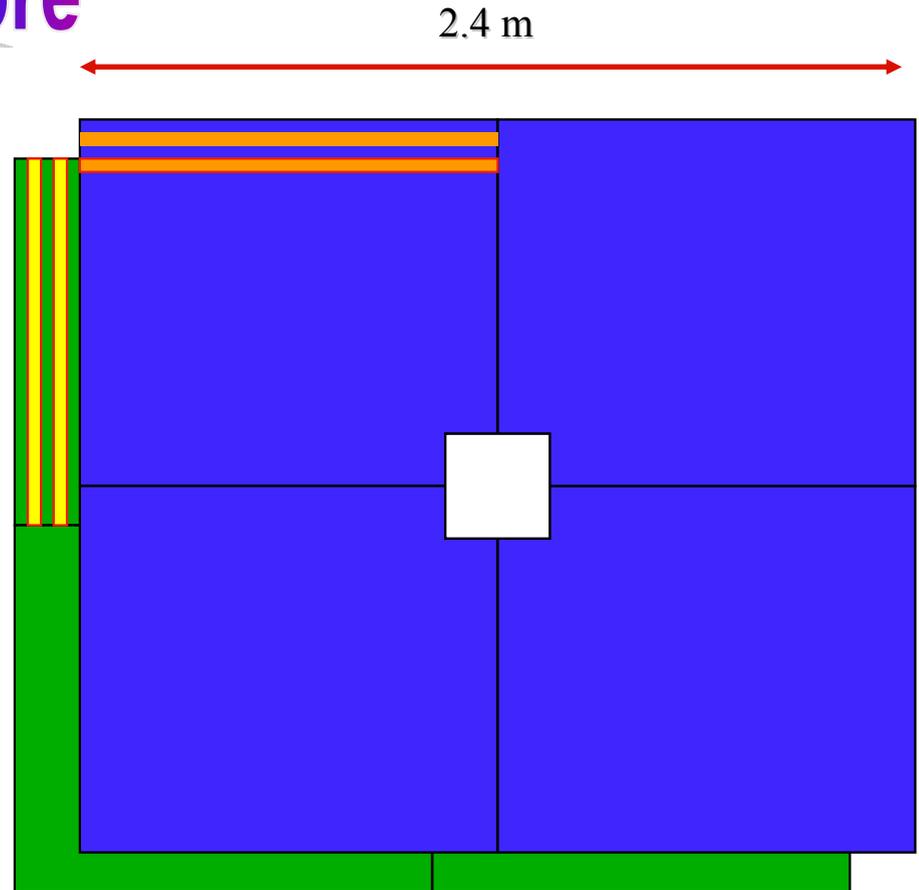


Disegno del rivelatore

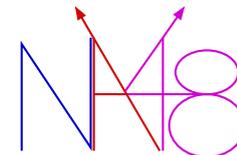
4x2 moduli, con lettura
a strips orizzontali
e verticali

Assumendo strips di
circa $20 \times 1200 \text{ mm}^2$
i canali di lettura sono
 $64 \times 4 \times 2 = 512$

$\approx 0.15 X_0$
Possibilità di self-trigger



La proposta P326



CERN-SPSC-2005-013

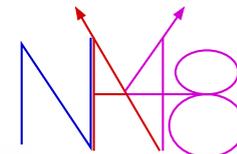
SPSC-P-326

DRAFT 1.2 30.4.2005

Proposal to Measure
the Rare Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ at the CERN SPS

CERN, Dubna, Ferrara, Firenze, Frascati,
Mainz, Merced, Moscow, Napoli, Perugia,
Protvino, Pisa, Roma, Saclay, Sofia, Torino

Le persone (preliminare!)



G. Anelli, A. Cecucci*, V. Falashev, F. Farmenti, A. Gontchar, B. Hallgren,
P. Jarron, A. Kluge, M. Losasso, A. Nuriou, A. Piazza, P. Riedler, C. Ruggiero, C. Stefanini
CERN

S. Balov, S. Bayler, P. Frabetti, E. Goudzovski, D. Gurev, V. Kekelidze,
D. Madhupratna, N. Molokanova, R. Pismenny, Y. Potrobanikov, A. Zinchenko
Dubna

W. Bakhni, A. Cotta Ramusino, P. Dalpiaz, C. Damiani, M. Fortini,
A. Gianoli, M. Martini, F. Petrucci, M. Scorté, M. Scarpa, H. Wahl
Ferrara

A. Bizzi, E. Iacopini, M. Lenti
Firenze

A. Antonelli, M. Moulson, T. Spadaro
Frascati

S. Gninenko, E. Gushtin
INR, Moscow

K. Kleinknecht, B. Rank, R. Wanke
Munich

R. Winston
Merced

F. Ambrosino, C. Di Donato, M. Napolitano, G. Saracino
Napoli

G. Anzivino, P. Cenci, M. Papa, M. Piccini
Perugia

A. Bigli, R. Casal, G. Collazuol, F. Costantini, L. Di Lella, N. Doble,
R. Fantschi, S. Giudice, I. Mannelli, A. Michetti,
C.M. Pierazzini, M. Sostri
Pisa

O. Yushchenko
Pratvino

N. Cabibbo, G. D'Agostini, E. Leonardi, M. Serra, P. Valente
Roma 1

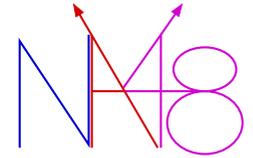
B. Peyaud, J. Derré
Saclay

C. Cheshtov, P. Hrastov, V. Koshchiarov, L. Litov, S. Stoynev
Sofia

C. Bino, F. Marchetto, C. Mazza, A. Rivetti
Torino

*Contact Person, email address: augusto.cecucci@cern.ch

Scala dei tempi



❖ 2005

- Partite le attività relative ai nuovi detectors (WG)
- Effettuare i test di vuoto ($<10^{-7}$ mbar) nel tubo di decadimento e verificarne la compatibilità con le camere a straw
- Effettuare una stima realistica dei costi
- Potenziare la Collaborazione quanto possibile
- Sottomettere la proposta al SPSC (maggio 2005)
- Sottomettere la proposta alle funding Agencies coinvolte

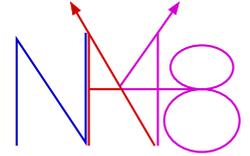
❖ 2006-2008

- Test, Costruzione, Installazione

❖ 2009-2010

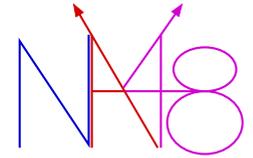
- Data Taking

Persone interessate a Perugia (INFN e Dipartimento di Fisica)



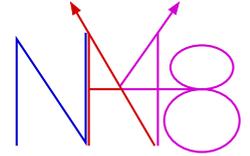
- ❖ Giuseppina Anzivino (professore associato)
- ❖ Patrizia Cenci (I ricercatore INFN)
- ❖ Monica Pepe (ricercatore INFN)
- ❖ Mauro Piccini (assegno di ricerca INFN)
- ❖ Mauro Raggi (dottorando)

Attività del gruppo di Perugia (2005-2006)



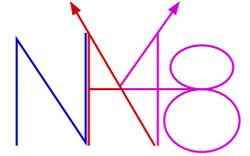
- ❖ R&D per adattare il disegno delle MRPC di Alice alle necessità del progetto (test in laboratorio - CERN, Pg - e su fascio - CERN)
 - *disegno a strips vs disegno a pads*
 - *funzionamento ad alto rate*
 - *invecchiamento*
- ❖ MC (Geant4) per ottimizzare i parametri del disegno del rivelatore
- ❖ Sottomesso PRIN per R&D (2005-6)
- ❖ Contributo al disegno del SAC

Servizi di Sezione



- ❖ Servizio di Elettronica (A. Papi, M. Bizzarri)
 - Adattamento del disegno del rivelatore MRPC
 - *Circuiti stampati per anodi e catodi (strip vs pad)*
 - *Circuito stampato per la meccanica*
 - *Studio della elettronica di frontend e readout (TDC) sviluppata per Alice e riadattamento*
 - *Trigger*
- ❖ Officina Meccanica (D. Aisa, S.Aisa, E. Babucci, L.M. Farnesini, A. Piluso):
 - R&D meccanica del prototipo di MRPC
- ❖ Servizio di Calcolo e Amministrazione INFN

Conclusioni

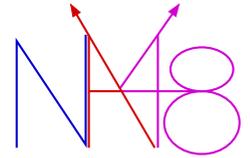


- ❖ Siamo di fronte alla fortunata combinazione di un caso di fisica importante che può essere affrontato con un acceleratore già esistente, usando le infrastrutture (i.e. civil engineering, hardware, ...) di un esperimento in chiusura

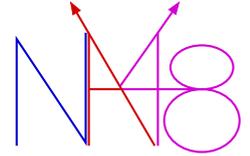
Questa iniziativa NON è una mera continuazione di NA48, bensì un **NUOVO PROGETTO** che rinasce da quelle ceneri



Spare slides



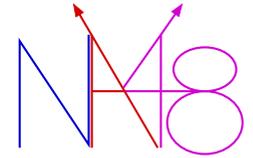
Letter of Intent to Measure the Rare Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ at the CERN SPS



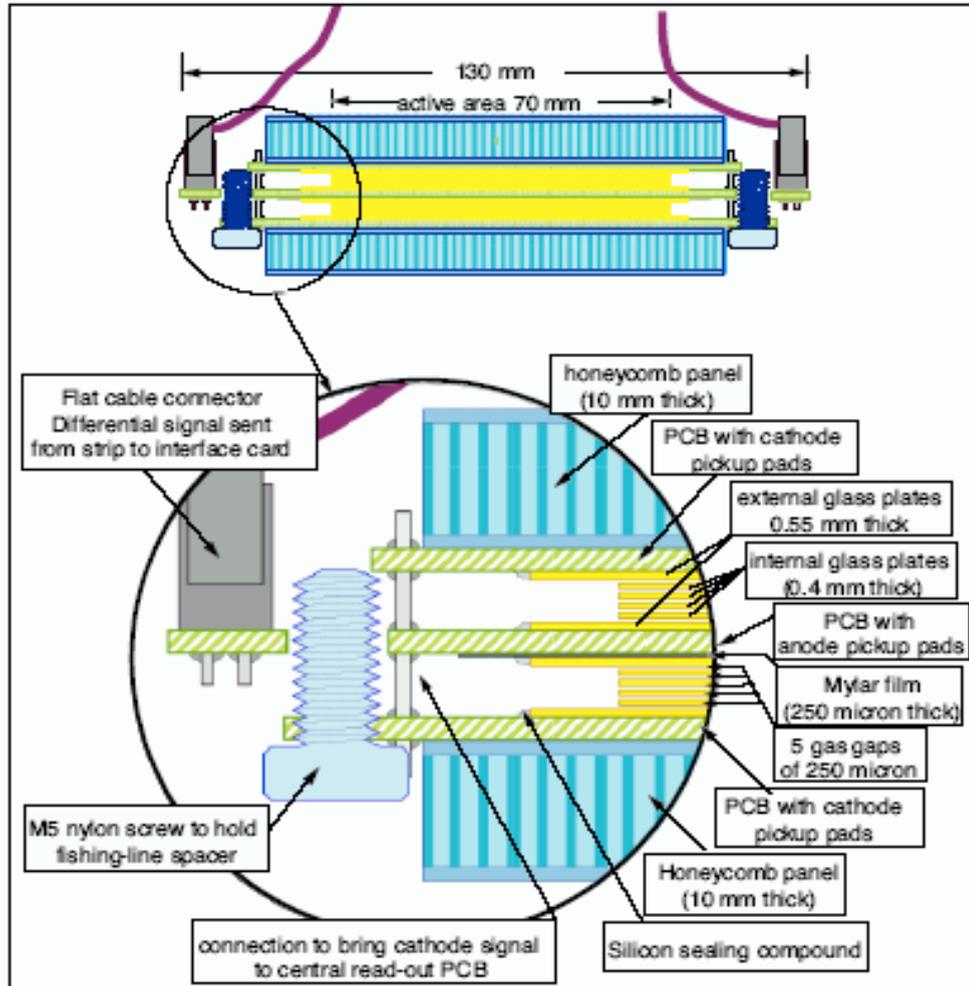
- ❖ **Cambridge:** D. Munday;
- ❖ **CERN:** N. Cabibbo, A. Ceccucci*, V. Falaleev, F. Formenti, B. Hallgren, A. Gonidec, P. Jarron, M. Losasso, A. Norton, P. Riedler G. Stefanini;
- ❖ **Dubna:** S. Balev, S. Bazylev, P. Frabetti, E. Goudzovski, D. Gurev, V. Kekelidze, D. Madigozhin, N. Molokanova, R. Pismenny, Y. Potrebenikov, A. Zinchenko;
- ❖ **Ferrara:** W. Baldini, A. Cotta Ramusino, P. Dalpiaz, C. Damiani, M. Fiorini, A. Gianoli, M. Martini, F. Petrucci, M. Savrie', M. Scarpa, H. Wahl;
- ❖ **Firenze:** E. Iacopini, M. Lenti, G. Ruggiero;
- ❖ **Mainz:** K. Kleinknecht, B. Renk, R. Wanke;
- ❖ **UC Merced:** R. Winston;
- ❖ **Perugia:** P. Cenci, M. Piccini;
- ❖ **Pisa:** A. Bigi, R. Casali, G. Collazuol, F. Costantini, L. Di Lella, N. Doble, R. Fantechi, S. Giudici, I. Mannelli, A. Michetti, G.M. Pierazzini, M. Sozzi;
- ❖ **Saclay:** B. Peyaud, J. Derre;
- ❖ **Sofia:** V. Kozhuharov, L. Litov, S. Stoynev;
- ❖ **Torino:** C. Biino, F. Marchetto

*contact person

MRPC di Alice - III



Cross section of double-stack MRPC - ALICE TOF



Double stack
 - each stack has 5 gaps
 (i.e. 10 gaps in total)

250 micron gaps with spacers
 made from fishing line

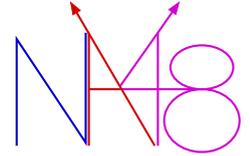
Resistive plates 'off-the-
 shelf' soda lime glass

400 micron internal glass
 550 micron external glass

Resistive coating
 5 M Ω /square

Gas: 90% C₂F₄H₂
 5% SF₄ 5% C₄H₁₀
 a pressione atmosferica

MRPC di Alice Elettronica di FrontEnd

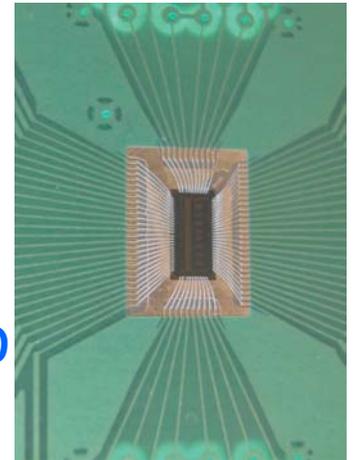


ALICE has developed for this precise purpose a low-power (45mW/ch), fast (1ns peaking time) front-end amplifier/discriminator (NINO).

The input is low impedance (40-75 ohms), differential and the output standard is an open-collector LVDS (Low Voltage Differential Signal), able to drive a 100 ohm line.

The output width goes from 2 to about 20ns, according to the input charge (+10ns, if needed): the width is used for off-line slewing correction.

NINO can respond to another signal immediately (few ns) after the end of a previous signal (almost no dead time).



The NINO ASIC
bonded to the
PCB