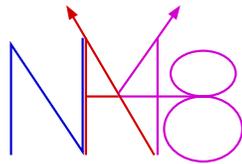


Oltre ϵ'/ϵ con NA48

P. Cenci - INFN Perugia

23-24 aprile 2001

II Congressino della Sezione INFN di Perugia



- ◆ Dicembre 1999: due proposte di estensione di NA48 vengono sottoposte all' SPSC:
 - ⇒ NA48/I: *studio ad alta sensibilità di decadimenti di K_S ed iperoni neutri (presa dati: 2002)*;
 - ⇒ NA48/II: *misure di precisione di parametri di decadimento dei K^\pm (presa dati: 2003)*.
- ◆ Novembre 23, 2000: entrambe le proposte vengono approvate dal Research Board del CERN.
- ◆ Il rivelatore usato sarà quello di NA48, con qualche modifica e miglioramento.
- ◆ Entrambi gli esperimenti richiedono modifiche della **linea di fascio** ed avranno quindi luogo al termine del programma per la misura di ϵ'/ϵ (2001).

Addenda alla proposta di NA48: scopo

Il programma scientifico è molto vasto. In NA48, in parallelo all'analisi di $\text{Re}(\varepsilon'/\varepsilon)$, altre analisi dei dati hanno portato a risultati pubblicati e presentati a conferenze su argomenti quali, ad es.:

- Decadimenti rari di K_L e K_S :

$K_S \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$ prima osservazione

$K_S \rightarrow \pi^0e^+e^-$ limite sul Br

$K_S \rightarrow \gamma\gamma$ misura del Br

$K_L \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$ misura del Br

$K_L \rightarrow \pi^+\pi^-e^+e^-$ asimmetria e Br

- Studi di iperoni neutri:

migliore misura della massa di Ξ^0

misura di $M(\Xi^-) - M(\Xi^0)$

Br dei decadimenti radiativi di Ξ^0

polarizzazione trasversa di Λ^0

- Molti altri canali in studio...

K_S ad alta intensità in NA48: breve storia

- ❖ Breve **test** durante il run **1999**: fascio primario dei protoni direttamente inviato sul bersaglio dei K_S , intensità del fascio K_S di NA48 aumentata di un fattore 160, fascio K_L spento:
 - ⇒ campione pulito di decadimenti dei K_S ;
 - ⇒ maggiore statistica per studi di iperoni.
- ❖ **Fase 1**: nel **2000** (no spettrometro) 50 giorni di K_S ad alta intensità con protoni a 450 GeV/c (5×10^9 ppp), duty cycle allungato (2.5 s/14.4 s), per lo studio di decadimenti rari neutri;
- ❖ **Fase 2**: chiesti 120 giorni di run K_S nel **2002**, con protoni a 400 GeV/c (10^{10} ppp), duty cycle ottimizzato (5.0 s/19.2 s), piccole modifiche alla stazione di produzione di K_S , rimozione di K_L :
 - ⇒ fascio di K_S con $40 \leq p \leq 240$ GeV/c ($\langle p \rangle \sim 110$ GeV/c) e intensità fino a 500 volte maggiore di quella attuale;
 - ⇒ 3×10^{10} decadimenti all'anno (120 giorni di run con efficienza del 50%)
 - ⇒ $SES \sim 3 \cdot 10^{-11} / \alpha$ con α : accettazione per il decadimento dopo i tagli di analisi.
 - ⇒ ulteriore **fattore 2 sulla SES** dal miglioramento previsto del sistema di readout/acquisizione.

Fisica dei K_S ad alta intensità: $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$

❖ La misura del Br di questo decadimento è essenzialmente una misura del processo

$K_1 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ con $CP = +1$ (conserva CP):

⇒ permette di limitare il contributo che viola indirettamente CP del processo $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$, l'ampiezza del quale è costituita da tre termini:

- A_1 : conserva CP ed è legato al processo $K_2 \rightarrow \pi^0 \gamma^* \gamma^* \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ con $CP = -1$, determinabile da $K_L \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$;
- A_2 : viola indirettamente CP per la frazione ϵ di K_1 in K_L e verifica:

$$Br(K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)_{ind} = |\epsilon|^2 \frac{\tau_L}{\tau_S} Br(K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-)$$

- A_3 : viola direttamente CP.

⇒ permette la misura del parametro a_s della χ PT, atteso $a_s \sim 1$, e legato al Br da:

$$Br(K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-) \sim 5.2 \times 10^{-9} \times |a_s|^2$$

❖ $SES \sim 6 \times 10^{-10}$ (un anno di run, accettazione $\alpha \sim 5\%$, calcolata con MC) corrispondente a: *7 eventi* per un $Br(K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-) = 5 \times 10^{-9}$, *fondo totale < 3 eventi/anno* (previsione MC).

Fisica dei K_S ad alta intensità: $K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$

- Si tratta di un decadimento che viola CP, mai osservato:

$$|K_S \rangle \simeq |K_1 \rangle + \epsilon_S |K_2 \rangle$$

$$\text{CP}(|K_1 \rangle) = +1 \quad \text{CP}(|K_2 \rangle) = -1 \quad \text{CP}(\pi^0 \pi^0 \pi^0) = -1$$

$$\Rightarrow \text{Violazione di CP in } K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0: \eta_{000} = \frac{A(K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0)}{A(K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0)}$$

- $\Re(\eta_{000}) = \Re(\epsilon) \sim 1.6 \times 10^{-3}$ è predetto dalla violazione di CP nel mixing $K^0 - \bar{K}^0$, e la parte immaginaria è sensibile alla violazione diretta di CP nell'ampiezza di decadimento.

Situazione sperimentale attuale:

Esperimento	$\Re(\eta_{000})$	$\Im(\eta_{000})$	BR($K_S \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$)
Barmin et. al	-0.08 ± 0.27	-0.05 ± 0.27	$< 3.7 \times 10^{-5}$ 90 % CL
CPLEAR	0.18 ± 0.15	0.15 ± 0.20	$< 1.9 \times 10^{-5}$ 90% CL
SND			$< 1.4 \times 10^{-5}$ 95% CL

Proposta NA48: ridurre l'errore su $\Re(\eta_{000})$ e $\Im(\eta_{000})$ di un fattore 10 misurando l'interferenza $K_S - K_L$ vicino al bersaglio di produzione

Fisica dei K_S ad alta intensità: iperoni neutri

Il bersaglio dei K_S è anche sorgente di iperoni: grazie al fascio di K_S ad alta intensità, molti studi di iperoni neutri potranno essere approfonditi, e confrontati con le previsioni dei modelli teorici:

- **Splitting em della massa:** errore su $M(\Xi^-) - M(\Xi^0)$ ridotto a $0.1 \text{ MeV}/c^2$ (fattore 2.5 migliore):
 - ⇒ NA48 (1997): $\Delta M = 6.5 \pm 0.25 \text{ MeV}$
 - ⇒ teoria (reticolo): $\Delta M = 5.68 \pm 0.24 \text{ MeV}$.
- **Decadimenti radiativi:** $\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 \gamma, \Sigma^0 \gamma$
 - ⇒ attesi parecchie migliaia di eventi (PDG: ~ 100 eventi): indeterminazione sistematica sulle misure migliorata di un fattore 2, raggiungibile una precisione globale del 5%;
 - ⇒ confronto con modelli SU(3) e SU(6).
- **Decadimenti β :** $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \bar{\nu}$
 - ⇒ attesi fino a 25000 eventi;
 - ⇒ verifica della simmetria SU(3) e del modello di Cabibbo per gli iperoni.
- **Decadimenti $\Delta S = 2$:** ricerca di $\Xi^0 \rightarrow p \pi^-$
 - ⇒ soppresso nello SM;
 - ⇒ limite sperimentale attuale ($\leq 4 \times 10^{-5}$ al 90% CL) migliorabile di un fattore 500.
- **Fisica dei Σ :** ancora inesplorata, accessibile attraverso i decadimenti $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^0 \gamma, \Sigma^+ e^- \bar{\nu}$.

Fisica dei K_S ad alta intensità: competizione

- Fisica dei K_S :

- La competizione al progetto NA48 è costituita dall'esperimento **KLOE** di Frascati. Tuttavia, anche alla luminosità di disegno di **DAΦNE** di $5 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, la sensibilità per anno per il processo $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ è più bassa di quella di questa proposta.
- L'impossibilità di NA48 di etichettare i K_S , come invece può fare KLOE, rende i due esperimenti complementari per lo studio di questa fisica.

- Fisica degli iperoni neutri:

- La competizione alla proposta di NA48 è costituita dall'esperimento **KTEV** a Fermilab, che raccoglie iperoni neutri dal fascio nel vuoto. Nella regione fiduciale in uso decadono solo iperoni ad energia molto alta. Questa perdita è parzialmente compensata dalla capacità di tracciare il barione principale nel fascio, per l'assenza di fori nel rivelatore che misura le tracce cariche.
- Questa proposta è globalmente migliore di KTEV di un ordine di grandezza.

Fisica dei K^\pm : proposta

❖ Questo programma richiede una modifica sostanziale del fascio nella zona del bersaglio dei K_L , da effettuare tra il 2002 e il 2003.

❖ Viene proposto lo studio ad alta statistica di specifiche proprietà di decadimento dei K^\pm , con lo scopo principale di **misurare la violazione diretta di CP nei decadimenti $K^\pm \rightarrow 3\pi^\pm$** attraverso la misura della asimmetria A_g dei parametri di slope g^+ e g^- degli elementi di matrice di decadimento:

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

⇒ ogni differenza tra i decadimenti di K^+ e K^- è evidenza di violazione diretta di CP;

⇒ è una misura indipendente di violazione diretta di CP senza le complicazioni dovute al mixing come nei K neutri;

❖ **Previsioni teoriche:** ampio range di valori:

Autore	previsione per A_g
A. Belkov et al.	$(2-4) \cdot 10^{-4}$
E. Shabalin	$4 \cdot 10^{-4}$
D'Ambrosio	$4 \cdot 10^{-5}$
L.Maiani, N.Paver	$(2.3 \pm 0.6) \cdot 10^{-6}$
D'Ambrosio et al.	$\approx 10^{-4}$

Fisica dei K^\pm : programma sperimentale

Principio della misura di A_g :

- uso di fasci K^+ e K^- simultanei, ovvero sovrapposti in spazio e tempo, e in una stretta banda di impulso (i.e. $60 \pm 6 \text{ GeV}/c$) per minimizzare le sistematiche della misura;
- dati raccolti alternando il segno del campo magnetico nello spettrometro per rendere uguali le accettanze per K^+ e K^- ;
- misura della asimmetria in bin di energia per compensare differenze tra le distribuzioni in energia di K^+ e K^- .

Ulteriore fisica interessante accessibile:

- misura del valore di $q\bar{q}$ (quark condensate) previsto dalla ChPT nel decadimento K_{e4} ;
- rivelazione di deviazioni da V-A e dallo SM;
- misure di decadimenti rari dei K carichi con fotoni e/o coppie e^+e^- nello stato finale.

Principali modifiche del rivelatore:

- nuovo TRD aggiunto per migliorare la identificazione di elettroni e la riduzione π/e ;
- spettrometro di fascio addizionale per migliorare le risoluzioni nelle misure di posizione ed impulso dei K^\pm (migliore definizione della cinematica).

Fisica dei K^\pm : misura e precisione su A_g

- La misura di A_g equivale al rapporto del numero di eventi nei due canali $K^\pm \rightarrow 3\pi^\pm$;
- La precisione sulla misura di A_g è sostanzialmente limitata dalla statistica; in un anno di presa dati si aspetta:
 $\sim 2 \times 10^9 K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^\mp \pi^\pm \Rightarrow$ **precisione statistica 1.7×10^{-4}**
- Effetti sistematici possono indurre differenze fittizie tra g^+ e g^- :
 \Rightarrow asimmetrie nei fasci;
 \Rightarrow asimmetrie nella rivelazione dei processi;
 \Rightarrow diverse interazioni di π^+ e π^- nel materiale del rivelatore.
- **Incertezza sistematica globale $< 7.5 \times 10^{-5}$ (stima di MC).**

Stato sperimentale della misura e previsioni per NA48:

Esperimento	Decadimento	Statistica	δA_g
HyperCP (terminato)	$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$	1.6×10^8	$\approx 7 \times 10^{-4}$
KLOE (1 anno)	$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$	1.5×10^8	$\approx 4.4 \times 10^{-4}$
	$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$	0.6×10^8	$\approx 6.3 \times 10^{-4}$
NA48 (1 anno)	$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$	2.0×10^9	$\approx 1.7 \times 10^{-4}$
	$K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \pi^0$	1.2×10^8	$\approx 3.1 \times 10^{-4}$

Conclusioni

- Due nuovi esperimenti estensioni di NA48 avranno luogo al CERN al termine del programma per la misura di $\text{Re}(\varepsilon'/\varepsilon)$:
 - *NA48/I: linea di fascio e rivelatore NA48 attuali (modifiche minori) per lo studio dei decadimenti di K_S e iperoni neutri ad una intensità di fascio 400 volte superiore a quella presente (2002).*
 - *NA48/II: sistema di fasci simultanei $K^+ - K^-$ e rivelatore NA48 potenziato, per lo studio della violazione diretta di CP nel decadimento $K^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ (2003).*
- Il gruppo di Perugia di NA48 ha aderito ai due progetti mantenendo la responsabilità su funzionamento e manutenzione di parti di rivelatore delle quali è responsabile in NA48.
- Le persone coinvolte sono, con piccole variazioni, quelle che partecipano ad NA48:
 - *NA48/I: G. Anzivino, P. Cenci, E. Imbergamo, P. Lubrano, A. Mestvirishvili, A. Nappi, M. Pepe, M. Piccini, M. Valdata*
 - *NA48/II: G. Anzivino, P. Cenci, E. Imbergamo, A. Mestvirishvili, A. Nappi, M. Pepe, M. Piccini, M. Valdata*

Responsabilità di Perugia in NA48/I e NA48/II:

- *odoscopio di trigger e pretrigger (P. Cenci);*
- *odoscopio neutro (G. Anzivino);*
- *sistema di lettura PMB (A. Mestvirishvili);*
- *presa dati ed analisi: tutti, con particolare contributo di studenti di dottorato (M. Piccini) e laureandi: interessanti argomenti per nuove tesi.*

Impegno percentuale dei partecipanti:

- suddiviso tra estensioni di NA48 (2002-03) e attività in progetti futuri (vd. Kopio);
- vincolato a responsabilità e attività individuali nei vari progetti;
- connesso alla variazione temporale della consistenza degli impegni assunti per progetti in chiusura e in partenza.

Impatto sui servizi di Sezione e di Dipartimento:

- lavoro ordinario di mantenimento di sistemi, come in NA48, che coinvolge Servizio di Elettronica ed Officina Meccanica;
 - eventuali contributi inattesi verranno discussi collettivamente caso per caso, come già fatto in passato;
- ⇒ contributo qualificante di Perugia ai progetti post-NA48, ed impegnativo sforzo collettivo.