

# Risultati preliminari sullo studio del decadimento

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

dell'Esperimento NA62 al CERN

Francesco Brizioli

*francesco.brizioli@cern.ch*

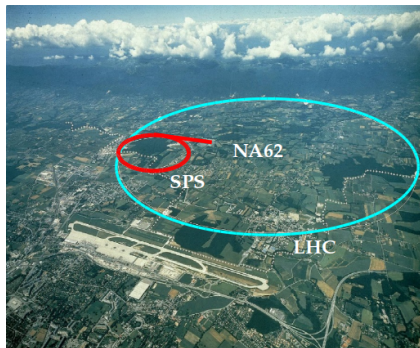
per conto della Collaborazione NA62

IFAE - Milano, 4 aprile 2018



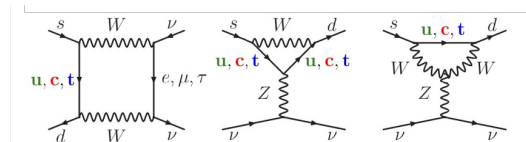
# Fisica del mesone $K^+$ con NA62

- Installazione terminata nel 2016.
- Prima presa dati di fisica nel 2016.
- Dati del 2016 già analizzati (risultati in questa presentazione).
- Dati del 2017 ancora da analizzare (statistica attesa circa 20 volte superiore rispetto al 2016).
- Ulteriore anno di presa dati: inizio il 9 aprile 2018 (218 giorni programmati).



Esperimento installato nell' *Area Nord* del CERN, lungo una linea di fascio estratta dall'acceleratore SPS.

# Il decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ : precisione della teoria



- Transizione  $\bar{s} \rightarrow \bar{d}$ : processo *in corrente carica con cambiamento di sapore* fortemente soppresso (CKM e GIM).
- Previsione teorica molto precisa: contributi a corto raggio e piccola incertezza dovuta a processi adronici.

## Frazione di Decadimento: previsione del Modello Standard

$$BR^{SM}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (0.84 \pm 0.10) \cdot 10^{-10}$$

[Buras. et. al., JHEP11(2015)033]

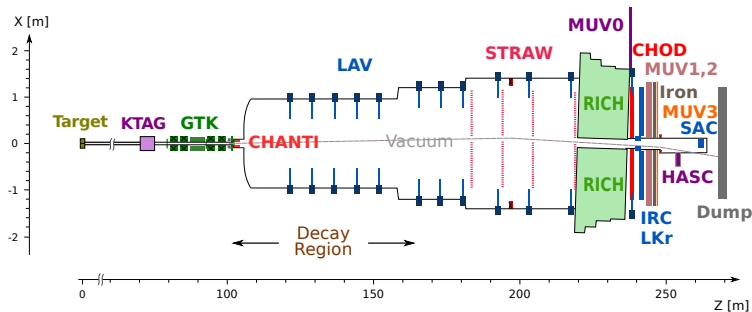
## Frazione di Decadimento: precedente misura sperimentale (BNL)

$$BR^{BNL}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (1.73_{-1.05}^{+1.15}) \cdot 10^{-10}$$

[Phys. Rev. D 77, 052003 (2008)] - [Phys. Rev. D 79, 092004 (2009)]

Tecnica utilizzata: decadimento a riposo

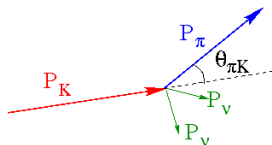
# Rivelatore e fascio di NA62



- Fascio di adroni (pioni 70%, protoni 24%, kaoni 6%) con impulso pari a 75 GeV/c, ottenuto da collisioni di protoni di impulso di 400 GeV/c con bersaglio fisso di berillio.
- Frequenza del fascio adronico (GTK): 750 MHz.
- Frequenza media di decadimenti di  $K^+$  : 5 MHz.

# Strategia sperimentale

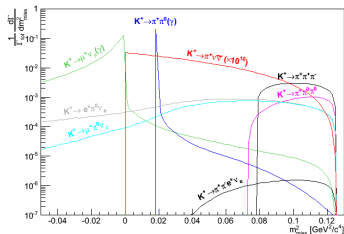
- Nuova tecnica: **decadimento in volo**
- analisi cinematica
- identificazione di particelle cariche
- reiezione di muoni e fotoni
- intervallo di  $P_\pi$  considerato: [15; 35] GeV/c
- regioni di segnale e di controllo (cinematica) *oscurate durante l'analisi*



- coincidenza temporale:  $O(100 \text{ ps})$
- reiezione cinematica:  $O(10^4)$
- reiezione di muoni:  $> 10^7$
- reiezione di  $\pi^0$ :  $> 10^7$

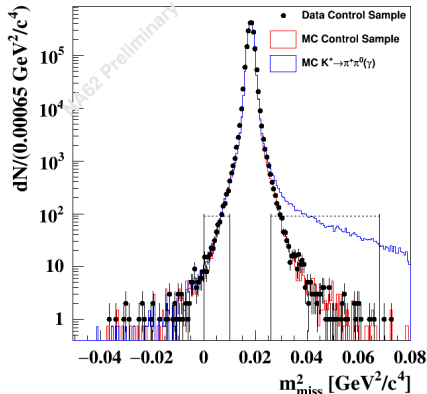
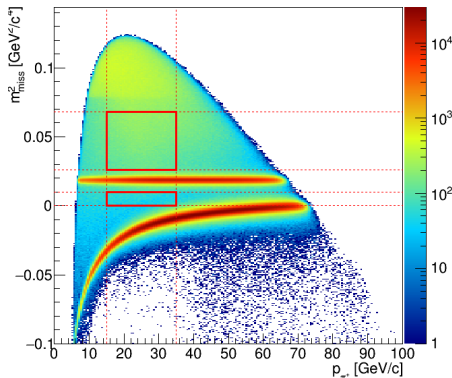
## Massa mancante

$$m_{miss}^2 = (P_K - P_\pi)^2$$



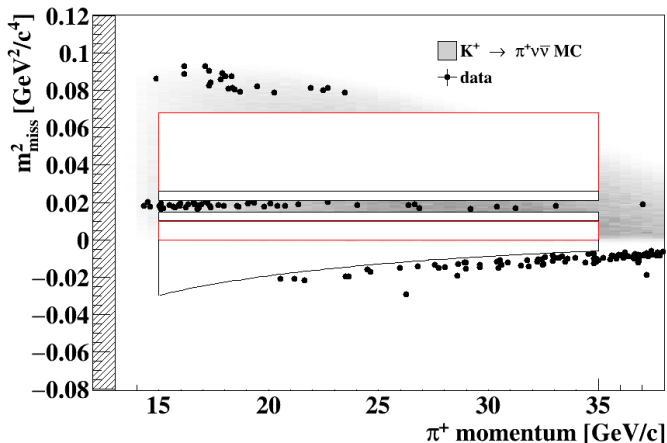
Processo	Frazione di Decadimento
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(20.67 \pm 0.08) \cdot 10^{-2}$
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$	$(63.56 \pm 0.11) \cdot 10^{-2}$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$(5.583 \pm 0.024) \cdot 10^{-2}$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$	$(4.247 \pm 0.024) \cdot 10^{-5}$

# Definizione regioni di segnale e di controllo



- Due regioni di segnale definite attraverso la cinematica (oscurate durante l'analisi)
- Fondo stimato estrapolando le code delle distribuzioni degli eventi nelle regioni di segnale
- *Regioni di controllo (oscurate)* definite per validare le estrapolazioni degli eventi di fondo

# Definizione regioni di segnale e di controllo



- regione degli eventi di fondo  $K_{3\pi}$
- regione degli eventi di fondo  $K_{2\pi}$
- regione degli eventi di fondo  $K_{\mu 2}$

- due regioni di segnale (oscurate)
- due regioni di controllo  $K_{2\pi}$  (oscurate)
- regione di controllo  $K_{\mu 2}$  (oscurata)

# Flusso di $K^+$ e Sensibilità di Singolo Evento

$K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$  scelto come **canale di normalizzazione**

## Selezione del canale di normalizzazione

Stessi criteri della selezione del segnale tranne:

- reiezione su fotoni e numero di particelle cariche non applicata
- tagli sulla massa mancante modificati

## Flusso di Kaoni

$$N_K = \frac{N_{\pi\pi} \cdot R}{A_{\pi\pi} \cdot BR_{\pi\pi}}$$

- $N_K$  : numero di decadimenti del  $K^+$
- $N_{\pi\pi}$  : numero di eventi  $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$  osservati
- $R$  : fattore di Riduzione applicato al trigger di controllo
- $A_{\pi\pi}$  : accettazione del canale di normalizzazione (Monte Carlo)
- $BR_{\pi\pi}$  : Frazione di Decadimento del canale di normalizzazione

## Sensibilità di Singolo Evento

$$SES = \frac{1}{N_K \cdot \sum_j (A_{\pi\nu\nu}^j \cdot \epsilon_{trig}^j \cdot \epsilon_{RV}^j)}$$

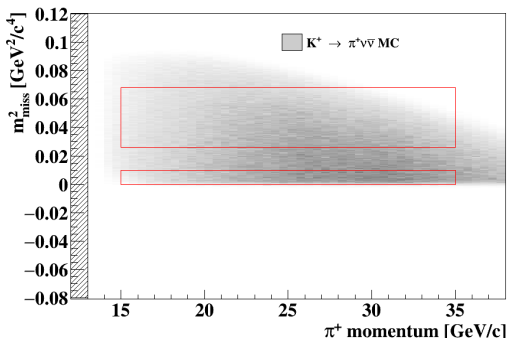
- $SES$  : sensibilità di singolo evento
- $N_K$  : numero di decadimenti del  $K^+$
- $A_{\pi\nu\nu}$  : accettazione del segnale (Monte Carlo)
- $\epsilon_{trig}$  : efficienza di trigger
- $\epsilon_{RV}$  : efficienza dovuta alla reiezione casuale di eventi
- $j$  : indice dell'intervallo di impulso considerato



# Sensibilità di Singolo Evento e numero di eventi attesi

$$N_K = (1.21 \pm 0.02) \cdot 10^{11}$$

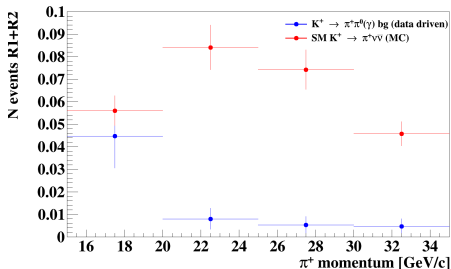
$$A_{\pi\nu\nu} \simeq 4\% \rightarrow (1\% + 3\%)$$



$$SES = (3.15 \pm 0.01_{\text{stat}} \pm 0.24_{\text{sist}}) \cdot 10^{-10}$$

$$N_{\pi\nu\nu}^{\text{attesi}}(SM) = \frac{BR_{\pi\nu\nu}(SM)}{SES} = (0.267 \pm 0.001_{\text{stat}} \pm 0.020_{\text{sist}} \pm 0.032_{\text{est}})$$

# Fondo atteso di eventi $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0(\gamma)$



## Validazione stime in regioni di controllo

Eventi attesi nelle regioni di controllo:

$$N_{\pi^+\pi^0(\gamma)}^{\text{attesi}}(RC\ 1) = (0.52 \pm 0.08_{\text{stat}} \pm 0.03_{\text{sist}})$$

$$N_{\pi^+\pi^0(\gamma)}^{\text{attesi}}(RC\ 2) = (0.94 \pm 0.14_{\text{stat}} \pm 0.05_{\text{sist}})$$

Eventi osservati nelle regioni di controllo:

$$N_{\pi^+\pi^0(\gamma)}^{\text{oss}}(RC\ 1) : 0$$

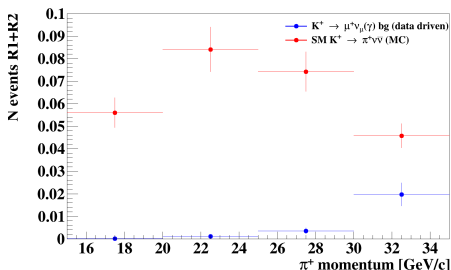
$$N_{\pi^+\pi^0(\gamma)}^{\text{oss}}(RC\ 2) : 1$$

## Fondo atteso in regioni di segnale

$$N_{\pi^+\pi^0(\gamma)}^{\text{attesi}}(RS\ 1\ e\ 2) = (0.064 \pm 0.007_{\text{stat}} \pm 0.006_{\text{sist}})$$

Stima derivata dai dati

# Fondo atteso di eventi $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu(\gamma)$



## Validazione stime in regione di controllo

Eventi attesi nella regione di controllo:

$$N_{\mu^+ \nu(\gamma)}^{\text{attesi}}(RC) = (1.02 \pm 0.16_{\text{stat}})$$

Eventi osservati nella regione di controllo:

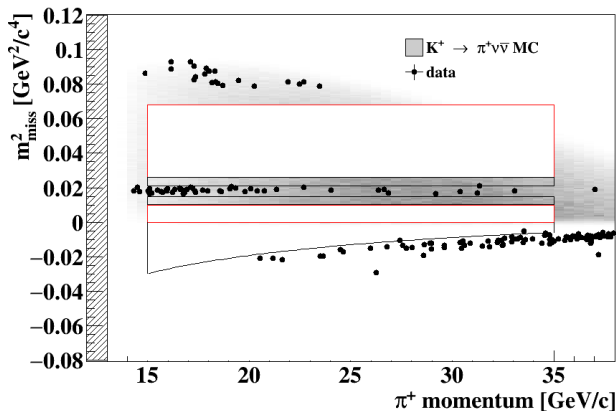
$$N_{\mu^+ \nu(\gamma)}^{\text{oss}}(RC) : 2$$

## Fondo atteso in regioni di segnale

$$N_{\mu^+ \nu(\gamma)}^{\text{attesi}}(RS 1 e 2) = (0.020 \pm 0.003_{\text{stat}} \pm 0.003_{\text{sist}})$$

Stima derivata dai dati

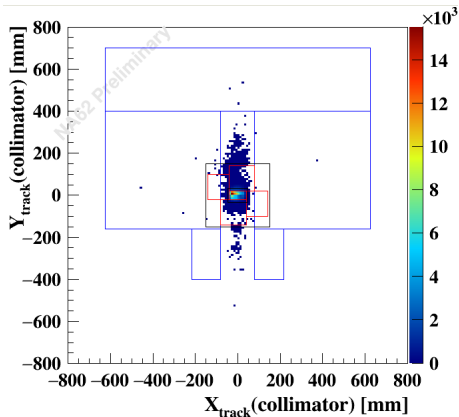
# Validazione stime eventi di fondo



- regione degli eventi di fondo  $K_{3\pi}$
- regione degli eventi di fondo  $K_{2\pi}$
- regione degli eventi di fondo  $K_{\mu 2}$

- due regioni di segnale (oscurate)
- regioni di controllo 1  $K_{2\pi}$ : 0 eventi
- regioni di controllo 2  $K_{2\pi}$ : 1 evento
- regione di controllo  $K_{\mu 2}$ : 2 eventi

# Fondo di eventi *dal fascio*



## Possibili cause

- decadimenti lungo la linea del fascio
- interazioni con il materiale del tubo a vuoto o del GTK
- accoppiamento accidentale tra le tracce di  $K^+$  e  $\pi^+$

## Fondo atteso in regioni di segnale

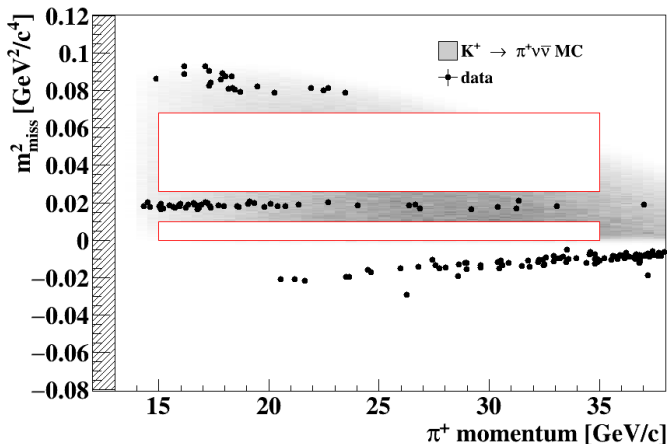
$$N_{\text{fondo-fascio}}^{\text{attesi}}(RS\ 1\ e\ 2) = 0.050^{+0.090}_{-0.030}$$

Stima derivata dai dati

# Riepilogo eventi di segnale e di fondo attesi

Processo	Eventi attesi nelle regioni di segnale
$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ (SM)	$0.267 \pm 0.001_{stat} \pm 0.020_{sist} \pm 0.032_{est}$
Totale fondo	$0.15 \pm 0.09_{stat} \pm 0.01_{sist}$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0(\gamma)$	$0.064 \pm 0.007_{stat} \pm 0.006_{sist}$
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu(\gamma)$	$0.020 \pm 0.003_{stat} \pm 0.003_{sist}$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$0.002 \pm 0.001_{stat} \pm 0.002_{sist}$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$	$0.018^{+0.024}_{-0.017}  _{stat} \pm 0.009_{sist}$
fondo <i>dal fascio</i>	$0.050^{+0.090}_{-0.030}  _{stat}$

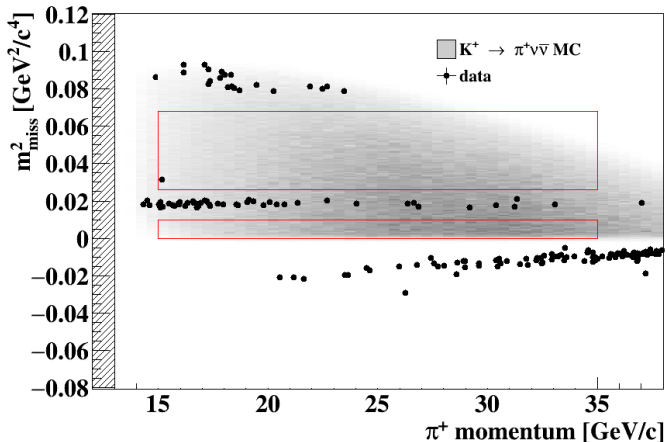
## Regioni di segnale oscurate



Eventi di segnale attesi (SM)  
 $0.267 \pm 0.001_{\text{stat}} \pm 0.020_{\text{sist}} \pm 0.032_{\text{est}}$

Eventi di fondo attesi  
 $0.15 \pm 0.09_{\text{stat}} \pm 0.01_{\text{sist}}$

## 1 evento osservato



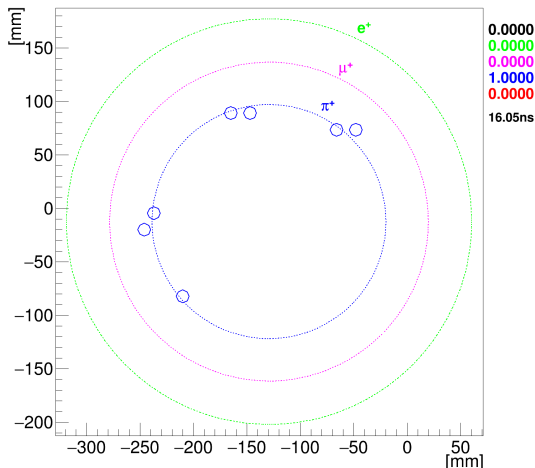
Eventi di segnale attesi (SM)  
 $0.267 \pm 0.001_{\text{stat}} \pm 0.020_{\text{sist}} \pm 0.032_{\text{est}}$

Eventi di fondo attesi  
 $0.15 \pm 0.09_{\text{stat}} \pm 0.01_{\text{sist}}$



# Evento di segnale nel RICH

Run 6646, Burst 953, Event 543854, Track 1



# Risultati preliminari dai dati 2016

Candidati $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ osservati	1
SES (sensibilità di singolo evento)	$(3.15 \pm 0.01_{stat} \pm 0.24_{sist}) \cdot 10^{-10}$
Fondo atteso	$0.15 \pm 0.09_{stat} \pm 0.01_{sist}$

## Misure della Frazione di Decadimento - limiti superiori

$$BR^{NA62\text{-preliminare}}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) < 11 \cdot 10^{-10} @ 90\% CL$$

$$BR^{NA62\text{-preliminare}}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) < 14 \cdot 10^{-10} @ 95\% CL$$

## Limite superiore atteso

$$BR^{\text{atteso}}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) < 10 \cdot 10^{-10} @ 95\% CL$$

## Previsione SM

$$BR^{SM}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (0.84 \pm 0.10) \cdot 10^{-10}$$

- La tecnica di studio del decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  *in volo* funziona.
- Un evento di segnale osservato nei dati raccolti nel 2016.
- I dati raccolti nel 2017 sono in fase di studio.
- La presa dati 2018 è in preparazione (inizio il 9 aprile).
- Dai dati 2017 e 2018 si attende:
  - una riduzione del fondo;
  - un aumento dell'accettanza del segnale;
  - circa 20 eventi di segnale (Modello Standard).