

Ricerca di processi esotici con l'esperimento NA62



Riccardo Lollini

Università degli Studi di Perugia e INFN

per conto della Collaborazione NA62



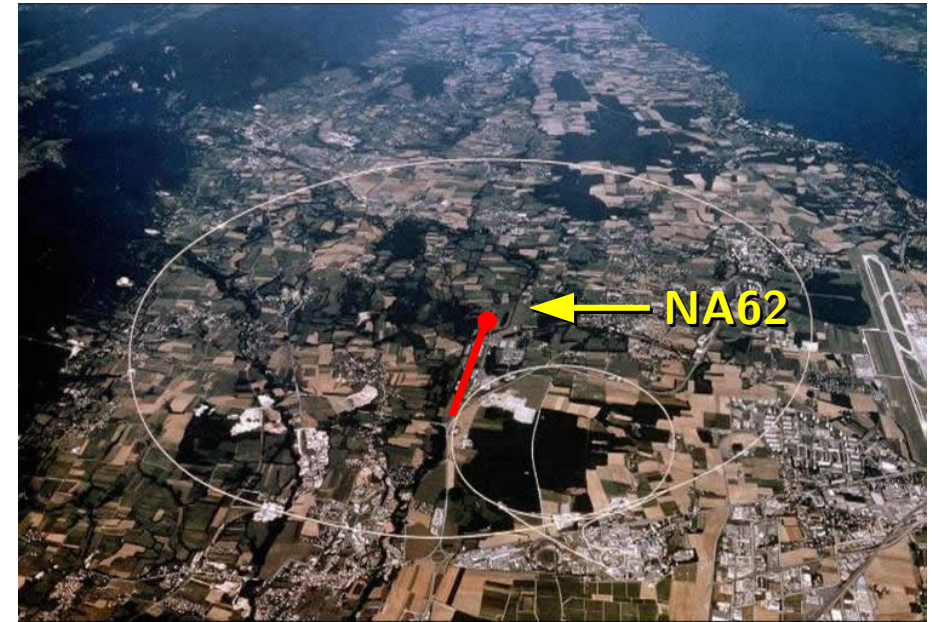
4 aprile 2018



- L'esperimento NA62
 - Apparato sperimentale
- Oltre il Modello Standard con NA62
 - Leptoni neutri pesanti
 - Particelle di tipo assione
 - Fotone oscuro
- Conclusioni

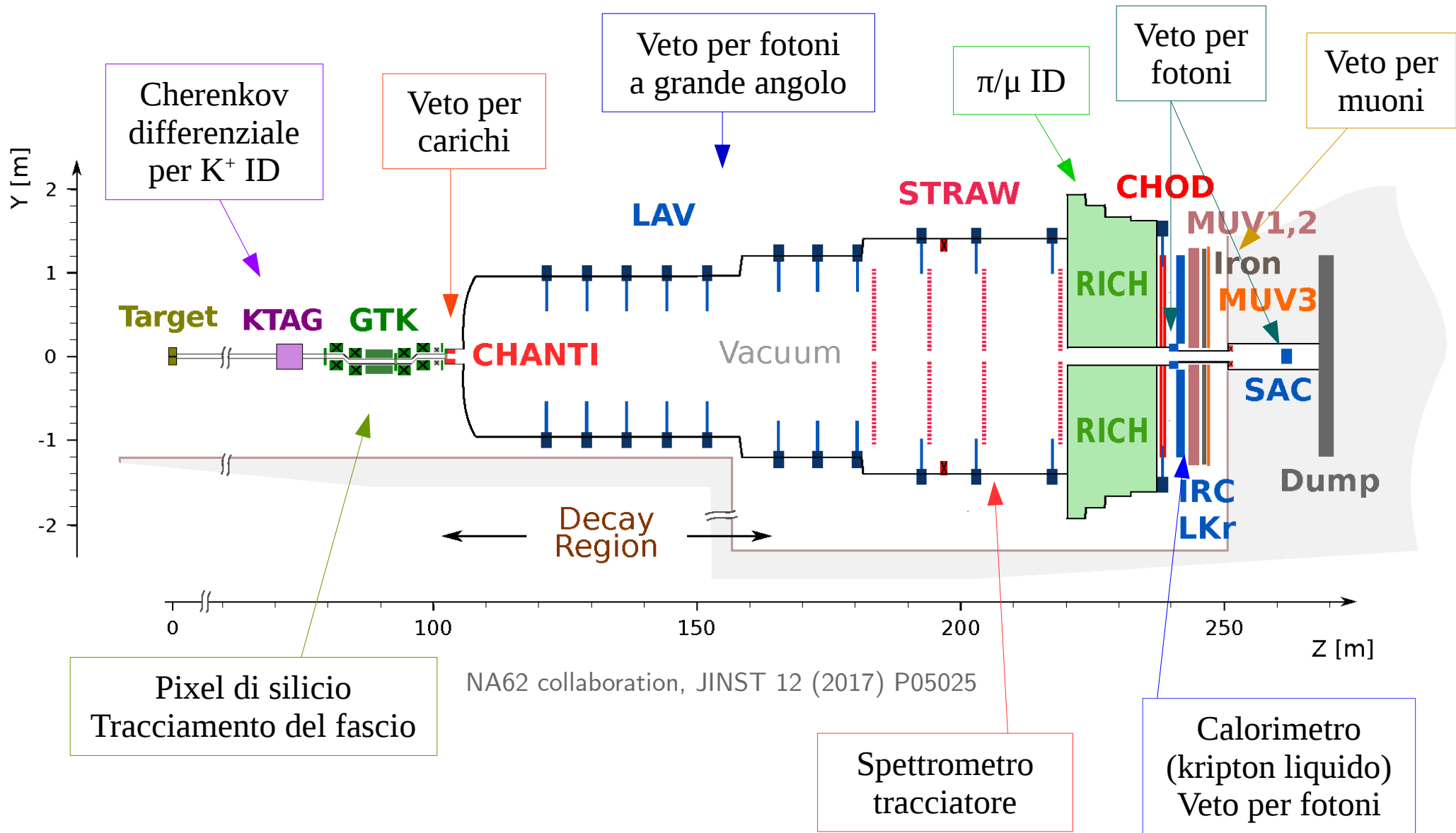
L'esperimento NA62

- Obiettivo principale: $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$.
- $BR_{th}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (8.4 \pm 1.0) \times 10^{-11}$
[Buras et al., JHEP11(2015)033]
- $BR_{exp}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = 17.3_{-10.5}^{+11.5} \times 10^{-11}$
[Phys. Rev D 79, 092004 (2009)]
- Fascio primario di protoni a $400 \text{ GeV}/c$ dall'SPS.
- Fascio secondario di particelle cariche positivamente a $75 \text{ GeV}/c$:
 - 70% π
 - 23% p
 - 6% K
 - 0.7% μ
- Primi risultati dell'analisi $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ dei dati del 2016 (presentazione di F. Brizioli)

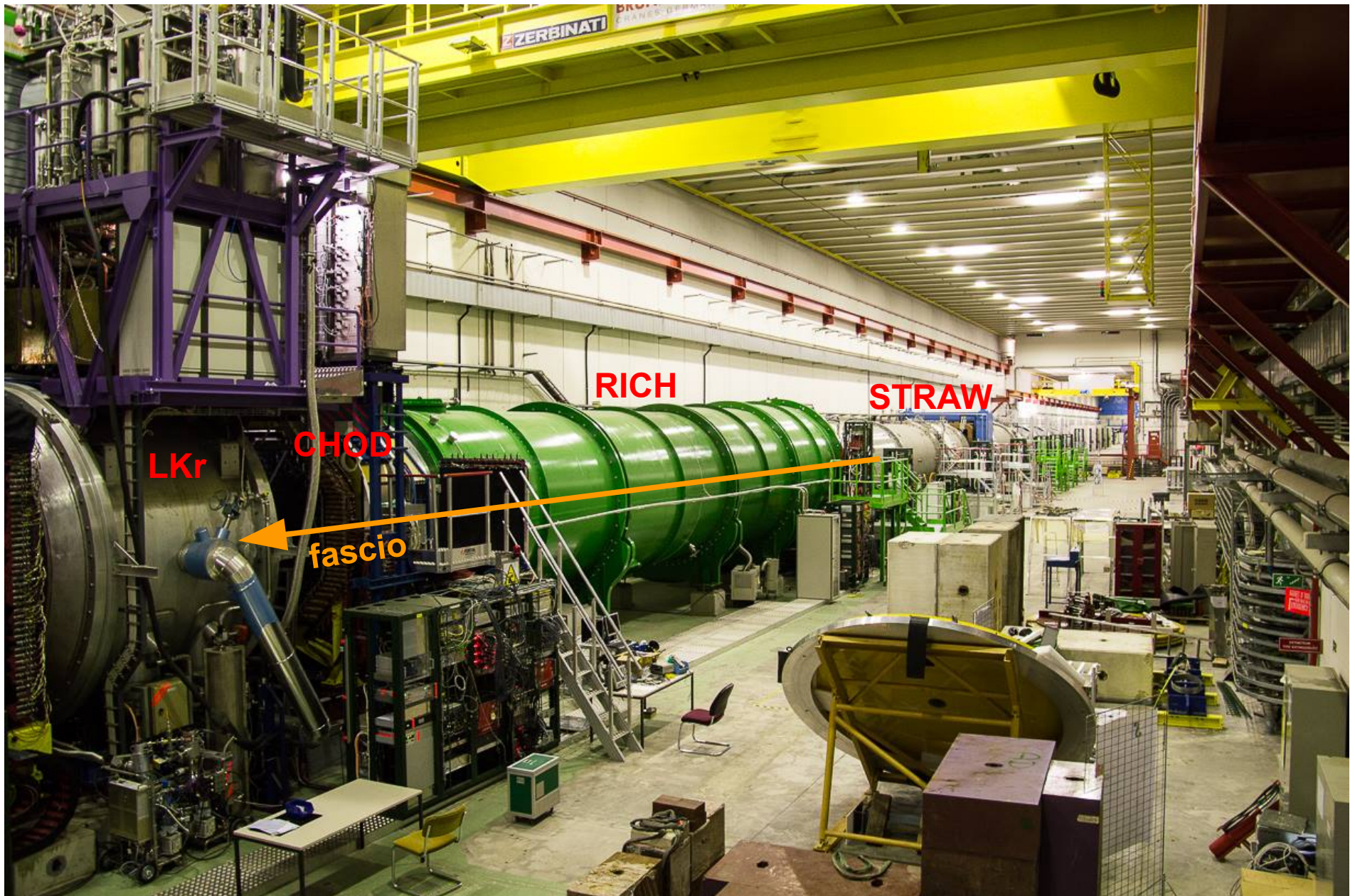


2009-2014 2014 2015 2016-2018
Costruzione e installazione run tecnici run di fisica

Apparato sperimentale



Apparato sperimentale



Oltre il Modello Standard con NA62

- NA62 è particolarmente adatto a ricerche di Nuova Fisica:
 - Fascio ad **alta intensità**;
 - Flessibilità del sistema di **trigger**;
 - **Tracciamento** delle particelle del fascio a flussi molto elevati
 - **Ridondanza** della capacità di **identificazione** delle particelle
 - Ermeticità del **veto per fotoni**

- Analisi di Nuova Fisica attualmente in corso in NA62:
 - Leptoni neutri pesanti (**HNLs**)
 - Particelle di tipo assione (**ALPs**)
 - Bosone vettore invisibile (**fotoni oscuri**)
 - Violazione del numero e del sapore leptonico (**LNV, LFV**)

Leptoni neutri pesanti

- Oscillazioni di sapore dei neutrini $\rightarrow m_\nu \neq 0$.
- Il Modello Standard non può spiegare la massa dei neutrini, la materia oscura fredda e l'asimmetria barionica dell'universo.
- Il **ν MSM** (Neutrino Minimal Standard Model) risolve questi problemi ed è consistente con le osservazioni. [Asaka et al., Phys Lett B 620 (2005) 17]
- **3 neutrini sterili pesanti** N_i che si accoppiano ai neutrini del MS.
 - N_1 : $m_1 \sim O(10 \text{ keV}/c^2) \rightarrow$ candidato di materia oscura
 - $N_{2,3}$: $m_{2,3} \sim O(1 \text{ GeV}/c^2) \rightarrow$ extra-CPV: asimmetria barionica, $m_\nu \neq 0$ (seesaw)
- Produzione nei decadimenti di mesoni, tra cui $K^+ \rightarrow l^+ N$ ($l = e, \mu$).

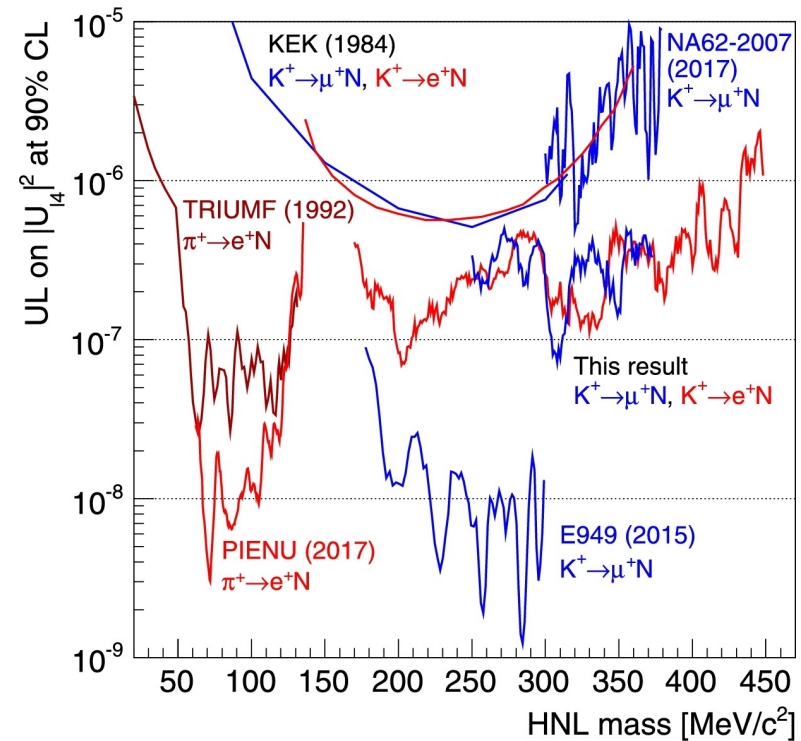
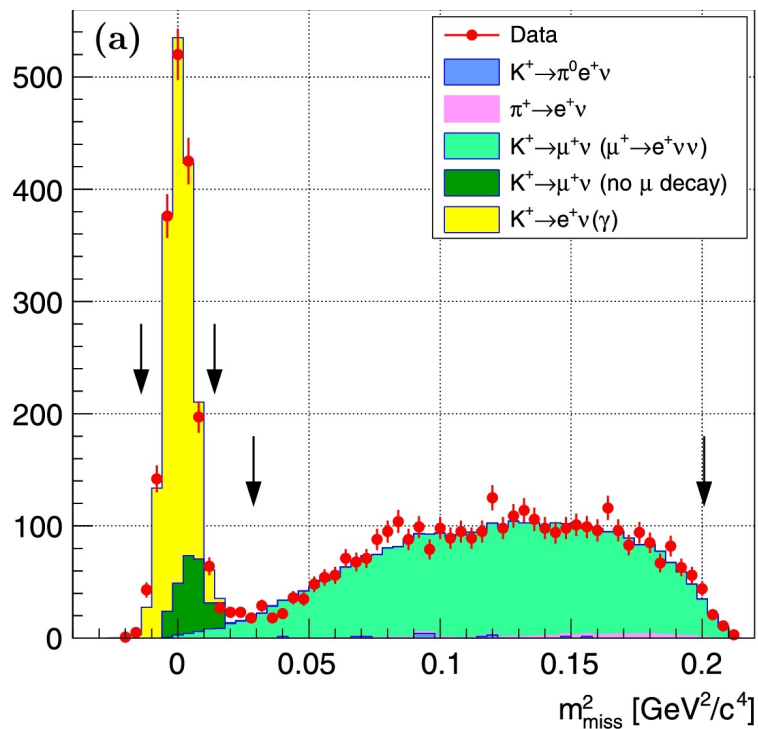
$$\text{BR}(K^+ \rightarrow l^+ N) = \text{BR}(K^+ \rightarrow l^+ \nu) \cdot \rho_l(m_N) \cdot |U_{l4}^2|$$

fattore cinematico

accoppiamento ai neutrini MS

Leptoni neutri pesanti

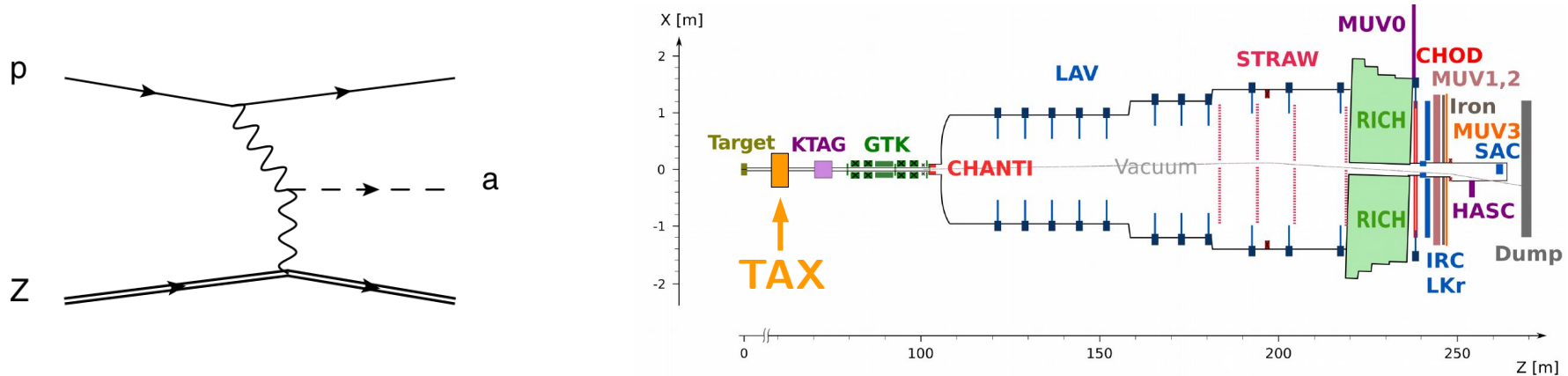
- Dati del 2007: $\sim 10^7$ $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ [NA62 collaboration, Phys Lett B 772 (2017) 712]
- Dati del 2015: $\sim 3 \times 10^8$ decadimenti del K^+ [NA62 collaboration, Phys Lett B 778 (2018) 137]



- Nessun segnale osservato
- Posti limiti superiori su $|U_{e4}|^2$ in 170-448 MeV/c^2 e $|U_{\mu 4}|^2$ in 250-373 MeV/c^2
- In attesa dell'analisi sui dati del 2016

Particelle di tipo assione

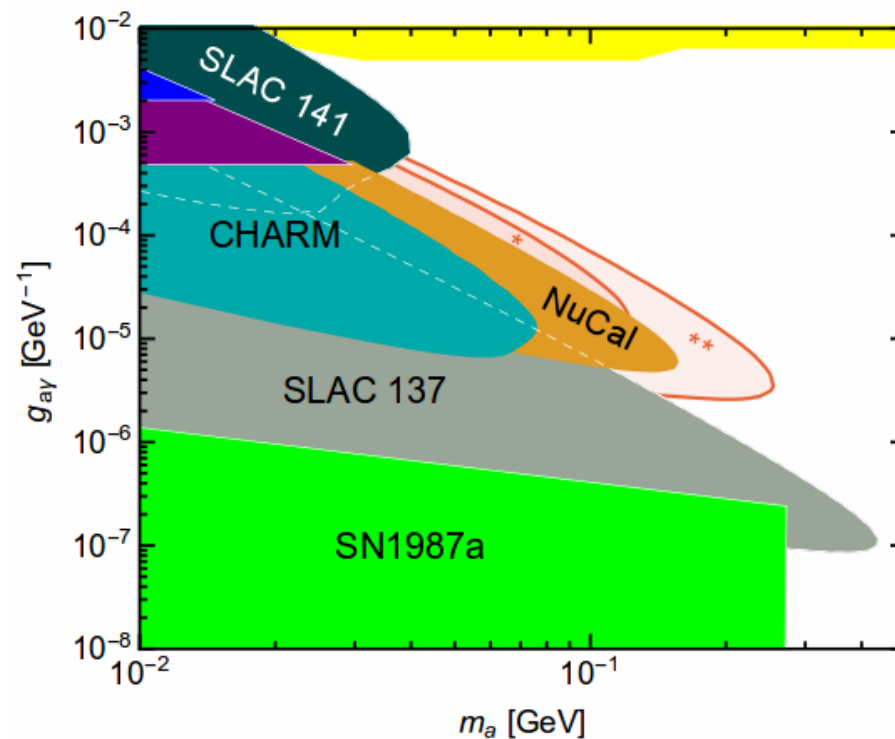
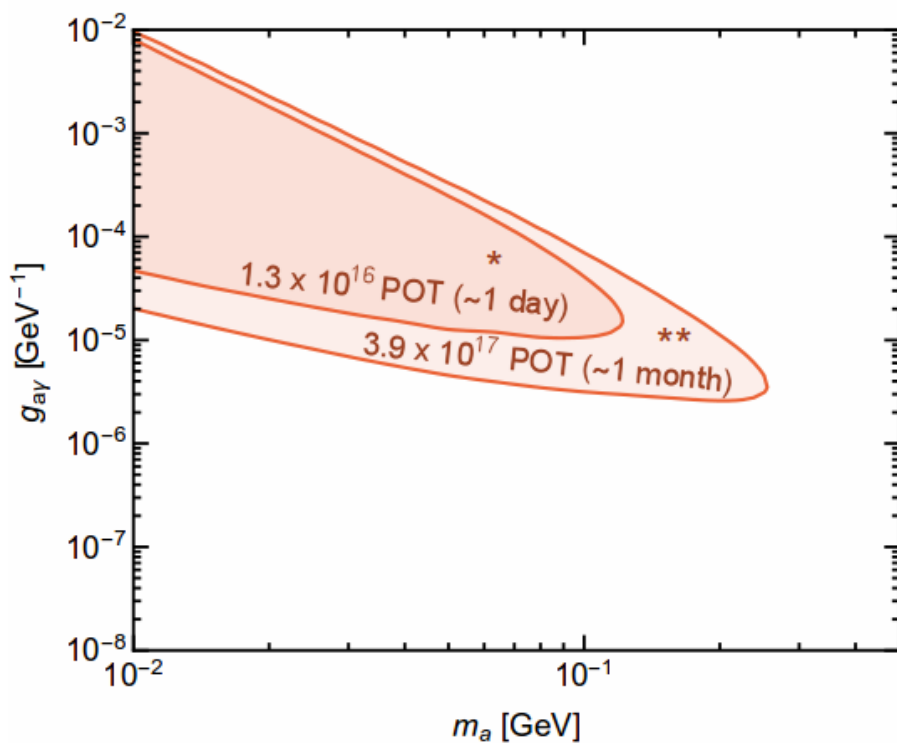
- Eccellenti candidati per la materia oscura fredda.
- **NA62** ha potenzialità per indagare masse di ALP dal **MeV** al **GeV**. [JHEP 1602 (2016) 018]
 - I π^0 costituiscono un fondo importante per il $K \rightarrow \pi\nu\nu$, dunque è essenziale l'ermeticità del veto per fotoni: ricerca di **ALP** $\rightarrow \gamma\gamma$.



- Produzione **Primakoff** di ALP per interazione del fascio di protoni con le TAX, 2 collimatori di rame (~ 1.6 m ognuno).
 - Con le TAX chiuse, solo μ e ν raggiungono la regione di decadimento.
 - ALP con basso momento trasverso, anche un piccolo rivelatore posto a grande distanza può avere una grande accettazione

Particelle di tipo assione

- Ci si aspettano risultati significativi già con un giorno di presa dati ($\sim 1.3 \times 10^{16}$ POT).
- Analisi dei dati del 2017 in corso ($\sim 5 \times 10^{15}$ POT)



- Simmetria **U(1)** extra per spiegare:
 - eccesso di e^+ nei raggi cosmici;
 - anomalia nel $(g-2)$ dei muoni.
- Bosone di gauge vettore che interagisce con il settore visibile tramite:

$$\mathcal{L}_{\text{mix}} = \frac{\epsilon}{2} F_{\mu\nu} F'^{\mu\nu}$$

- Rottura spontanea della simmetria elettrodebole \rightarrow interazione tra fermioni e fotone oscuro:

$$\mathcal{L} \sim \epsilon e \bar{\psi} \gamma^\mu \psi A'_\mu$$

$$\Gamma_{A' \rightarrow l^+ l^-} = \frac{1}{3} \alpha \epsilon^2 M_{A'} \sqrt{1 - \frac{4m_l^2}{M_{A'}^2}} \left(1 + \frac{2m_l^2}{M_{A'}^2} \right)$$

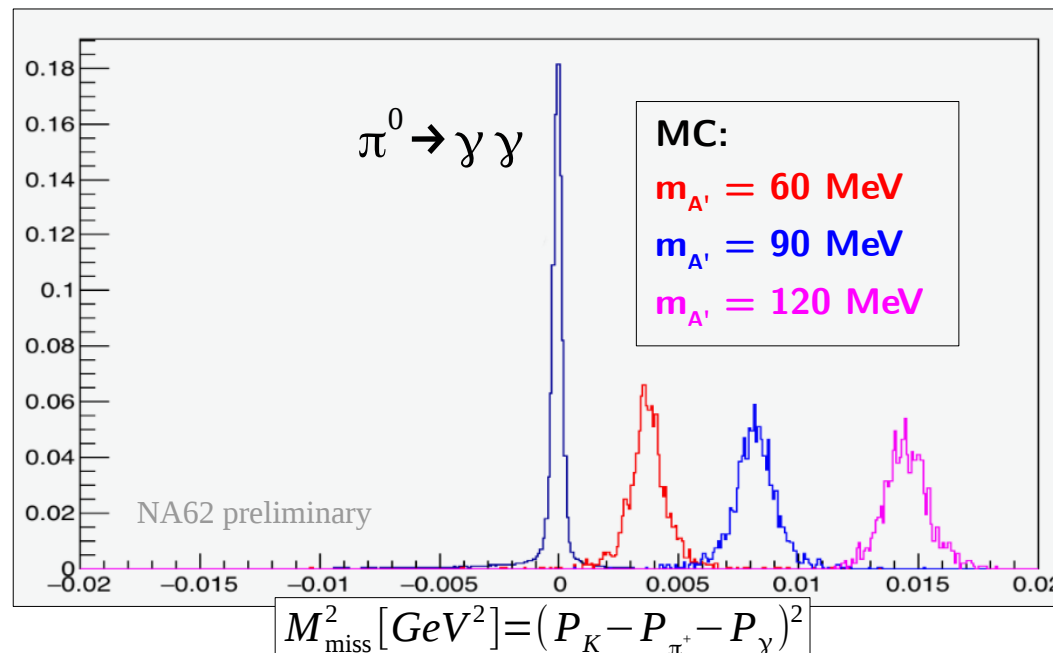
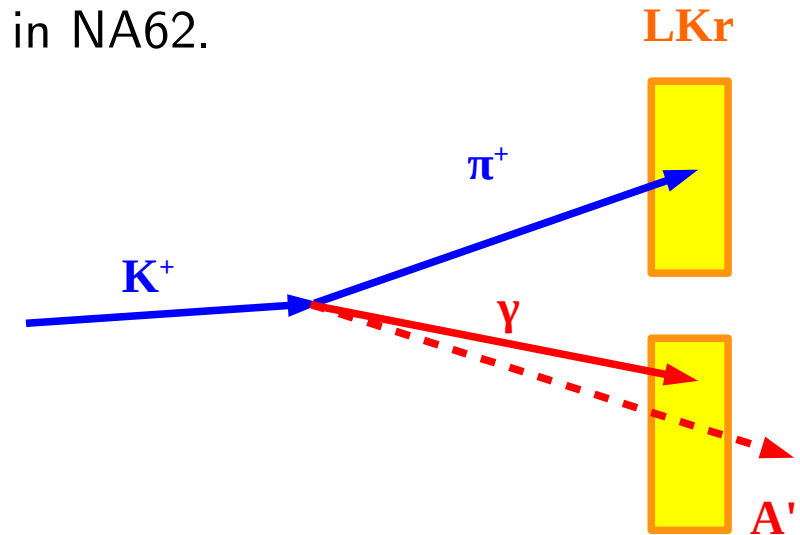
Fotone oscuro

Ricerca del decadimento **invisibile** del fotone oscuro in NA62.

- $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$, $\pi^0 \rightarrow A' \gamma$, $A' \rightarrow$ invisibile
 $K^+ \rightarrow \pi^+ A'$ (sottoprodotto di $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$)

- $$\text{BR}(\pi^0 \rightarrow A' \gamma) = 2 \epsilon^2 \left(1 - \frac{m_{A'}^2}{m_{\pi^0}^2} \right)^3 \times \text{BR}(\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma)$$

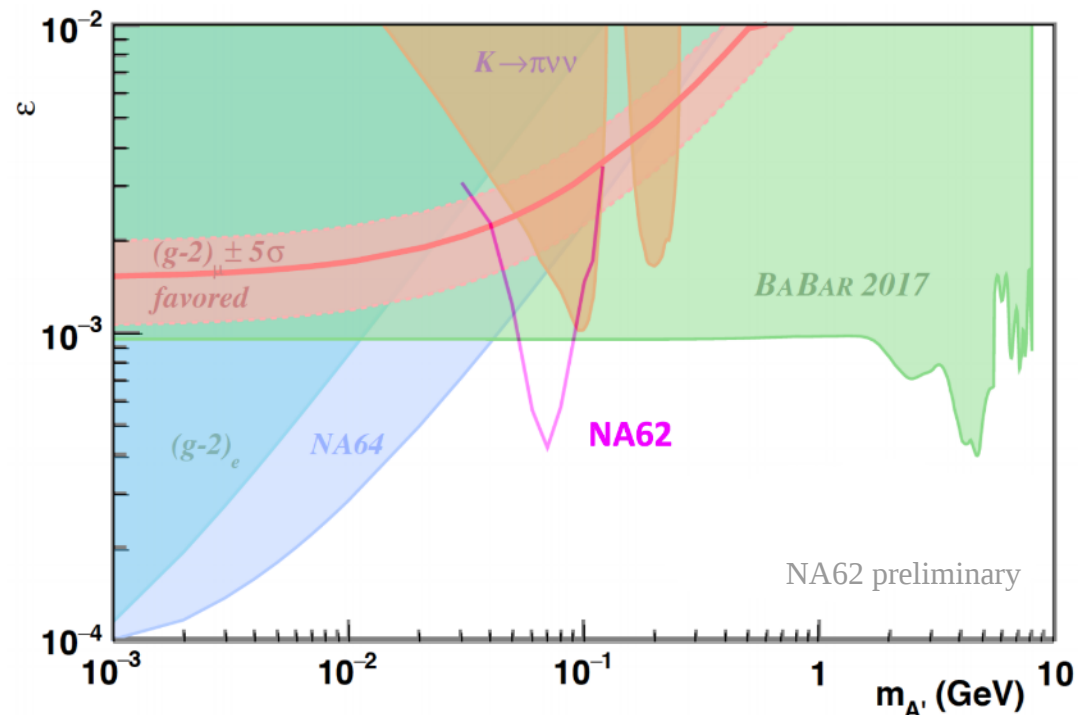
- Ricerca di un picco intorno a $m_{A'}$, fondo principale da $\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$, con un fotone non rivelato.



Fotone oscuro

Ricerca del decadimento **invisibile** del fotone oscuro in NA62.

- La larghezza del picco di fondo è dovuta a effetti di risoluzione, che sono simmetrici, perciò è possibile stimare il fondo atteso a partire dai dati, utilizzando la coda negativa in M_{miss}^2 .
- Analisi sui dati del 2016 con $\sim 1.5 \times 10^{10}$ decadimenti del K^+ ($\sim 4\%$ dati del 2016).
- Nessun segnale osservato, posti nuovi limiti superiori al livello di confidenza del 90% nel piano $(\epsilon, m_{A'})$.

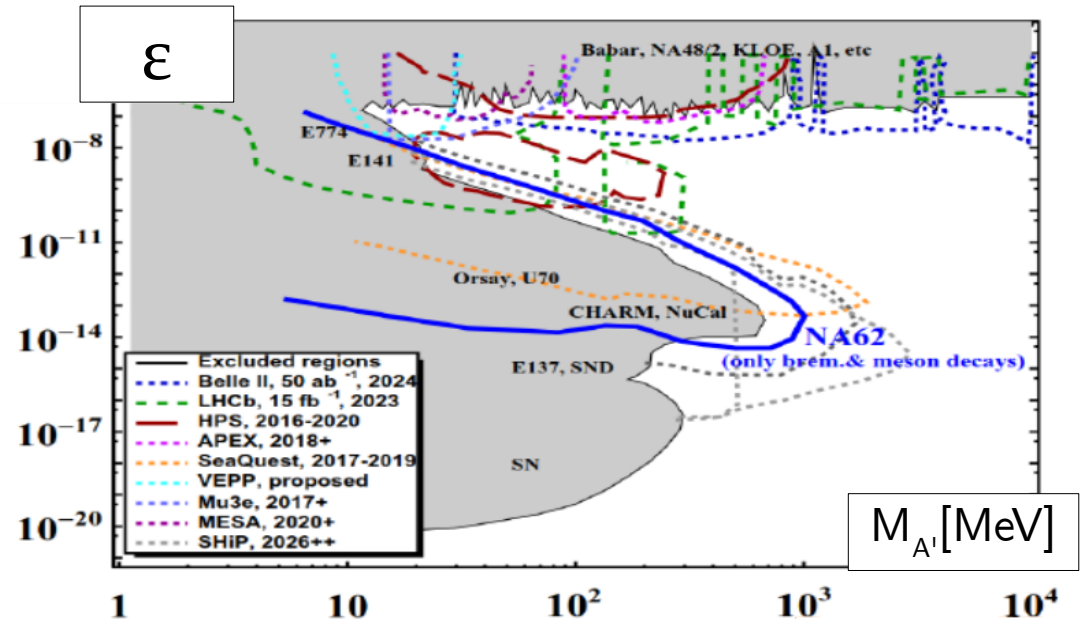


Fotone oscuro

Ricerca del decadimento **visibile** del fotone oscuro in NA62.

- $pN \rightarrow X\pi^0$, $\pi^0 \rightarrow A'\gamma$, $A' \rightarrow l^+l^-$
 $pN \rightarrow XA'$, $A' \rightarrow l^+l^-$

- Si assumono 10^{18} POT a 400 GeV.
- A' prodotto dall'interazione con il bersaglio (bremsstrahlung e decadimenti di mesoni).
- Grafico di esclusione, limite di confidenza al 90%, assumendo zero fondo.



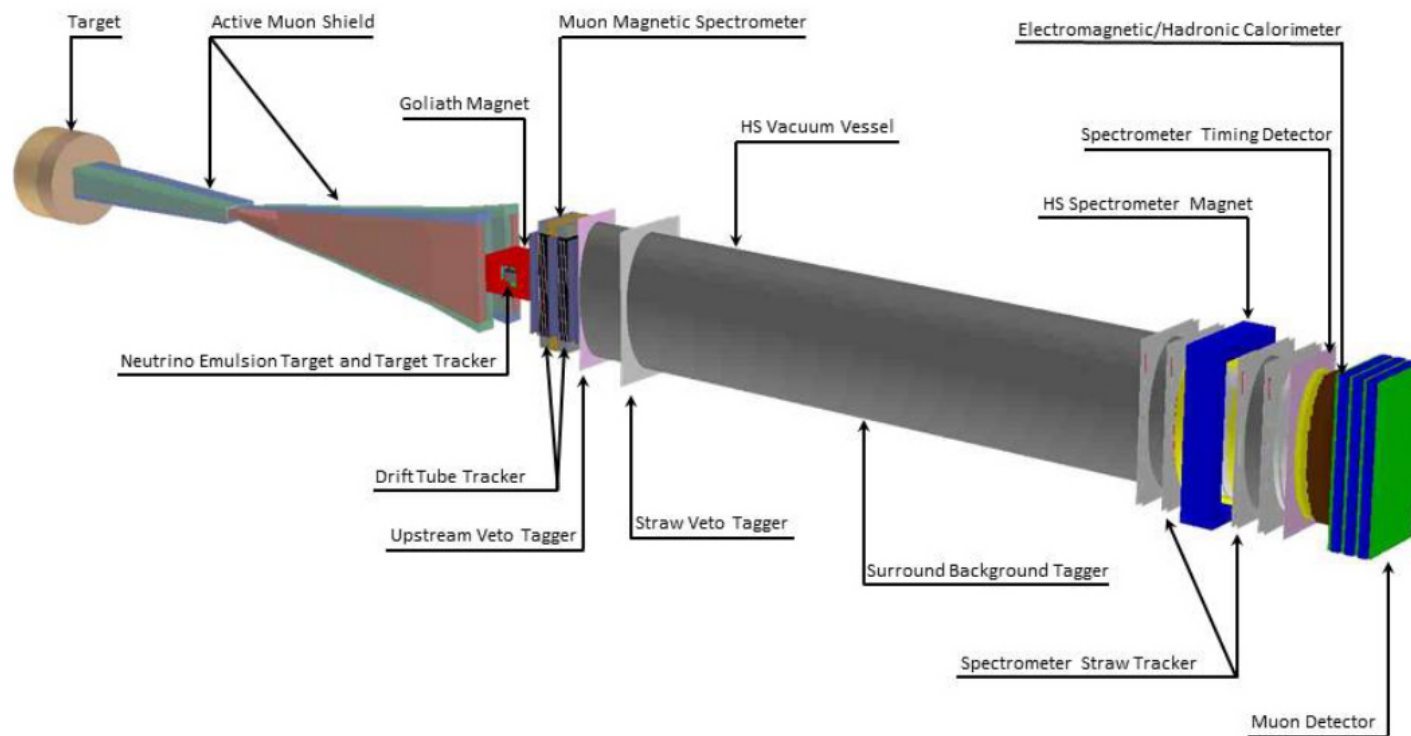
- Attesa una sensibilità maggiore, una volta inclusa la produzione QCD di A' e la produzione nelle TAX chiuse (per ora produzione solo nel bersaglio)
- 3×10^{17} POT raccolti nel 2016/2017 con il trigger di- μ , 5×10^{16} con il trigger ee.

Conclusioni

- NA62 continuerà a prendere dati fino al LS2 (**2018**) per misurare il $\text{BR}(\text{K}^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$ con maggior precisione.
- **Leptoni neutri pesanti**: nuovi limiti nel piano $(|U_{e4}|^2, m_{\text{HNL}})$ e $(|U_{\mu 4}|^2, m_{\text{HNL}})$.
 - In corso l'analisi dei dati del 2016.
- **Fotone oscuro**: nuovi limiti nel piano $(\epsilon, m_{A'})$ utilizzando il 4% dei dati del 2016.
 - In attesa di nuovi risultati con maggiore statistica.
- **Particelle di tipo assione**: analisi in corso.
- Possibilità di un **Run3** per NA62
 - Migliorare la misura $\pi\nu\nu$;
 - Aumentare notevolmente la sensibilità per ricerche di LFV/LNV;
 - Possibilità di run con assorbimento totale del fascio (TAX chiuse) per ricerche di candidati di nuova fisica nell'intervallo di massa MeV-GeV: leptoni neutri pesanti, fotoni oscuri, particelle di tipo assione, ...

SLIDE DI RISERVA

L'esperimento SHIP



- 2×10^{20} POT in 5 anni.
- Bersaglio più vicino al rivelatore: accettazione fino a 20 mrad.
 - In NA62 l'accettazione del calorimetro LKr va da 1 a 8.5 mrad.
- Bersaglio di molibdeno ($Z = 42$).
 - In NA62, bersaglio (TAX) di rame ($Z = 29$)