

NA62: strategia di analisi dati



Francesco Brizioli (INFN Perugia)

francesco.brizioli@pg.infn.it

Riunione Referees NA62

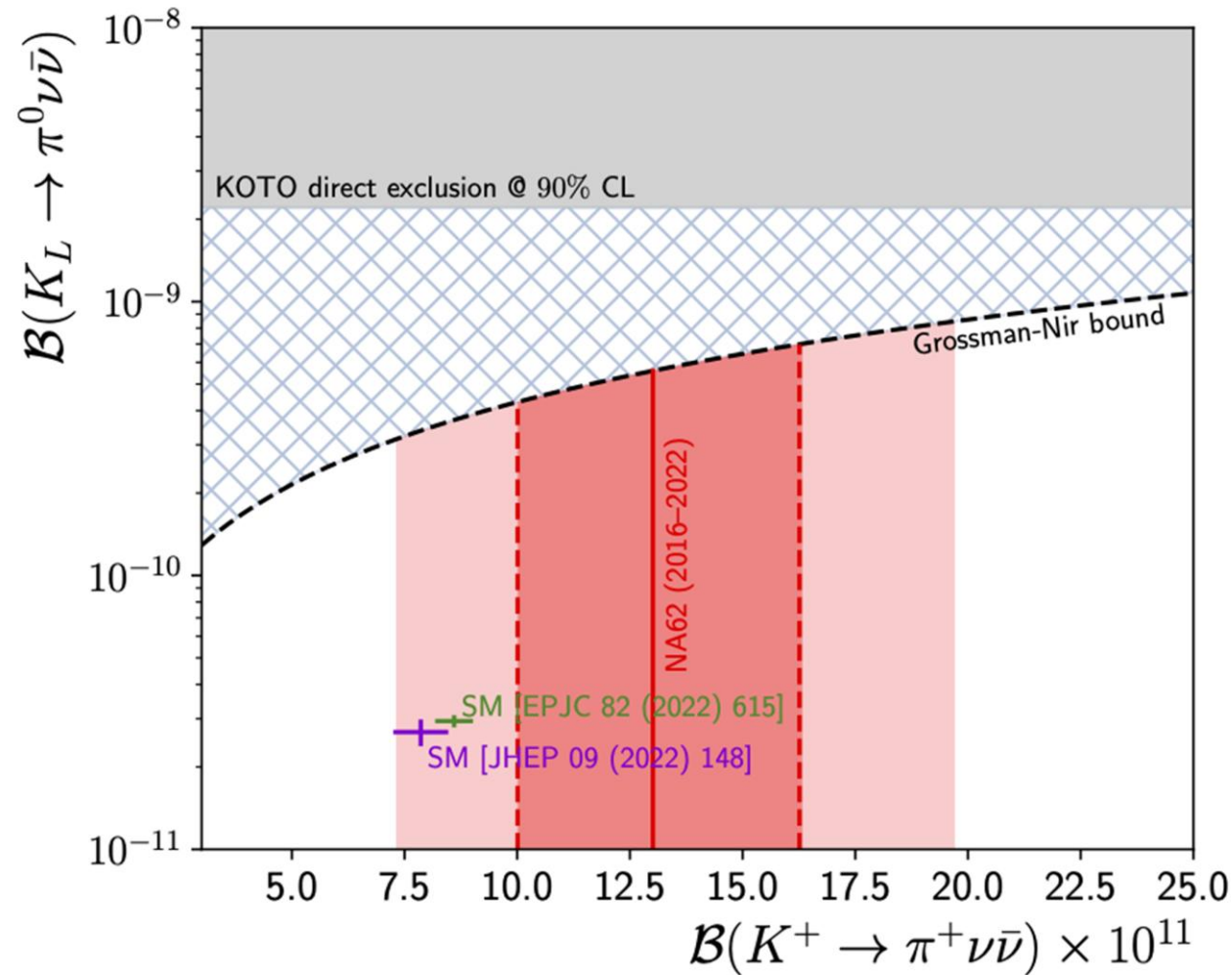
18 luglio 2025

Struttura gruppi di analisi in NA62

- $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ analysis -- Conveners INFN: F. Brizioli (PG), J. Swallow (LNF)
- Rare and forbidden decays:
 - LFV/LNV
 - HNL
 - Dark sector
 - SM searches «statistically dominated»
- Precision measurements:
 - K^+ decays
 - π^0 decays
 - K^+ decays in «low intensity» data
- Exotic searches -- Convener INFN: T. Spadaro (LNF):
 - Analysis of beam-dump data

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ analysis: dati 2016-2022

- Risultato dati 2016-2022 pubblicato [[JHEP 02 \(2025\) 191](#)]



$$\mathcal{B}_{\pi \nu \bar{\nu}}^{16-22} = (13.0_{-3.0}^{+3.3}) \times 10^{-11}$$

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ analysis: dati 2023-2024

- Risultato dati 2016-2022 pubblicato [[JHEP 02 \(2025\) 191](#)]
- Sensitività attesa dati 2023-2024 mostrata a [SPSC](#) e conferenze
- Risultato preliminare dati 2023-2024 previsto nel 2026

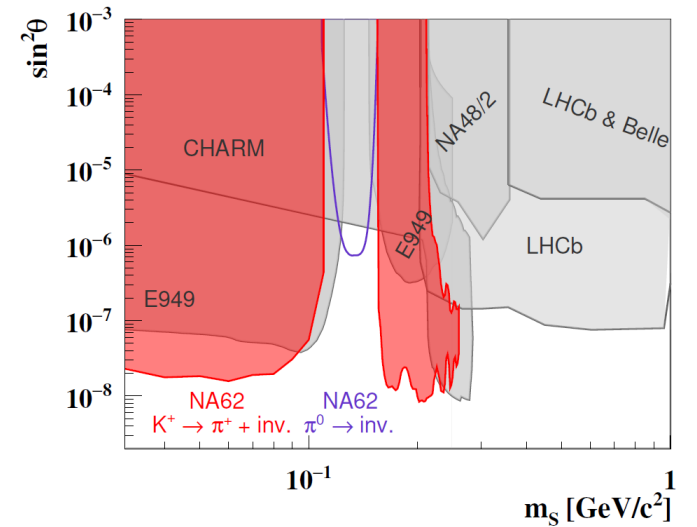
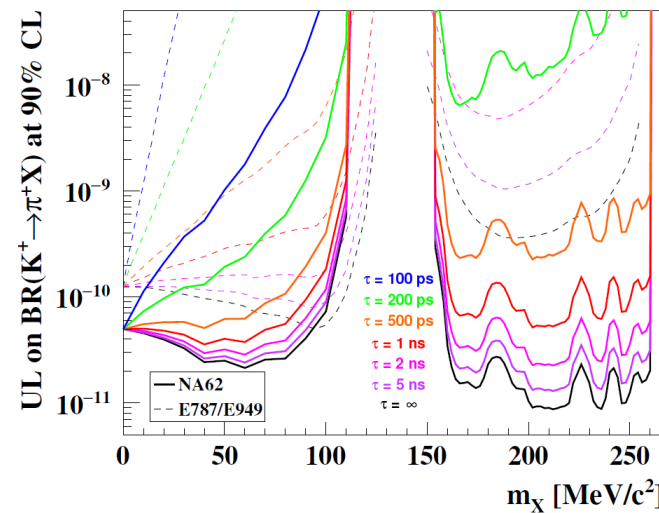
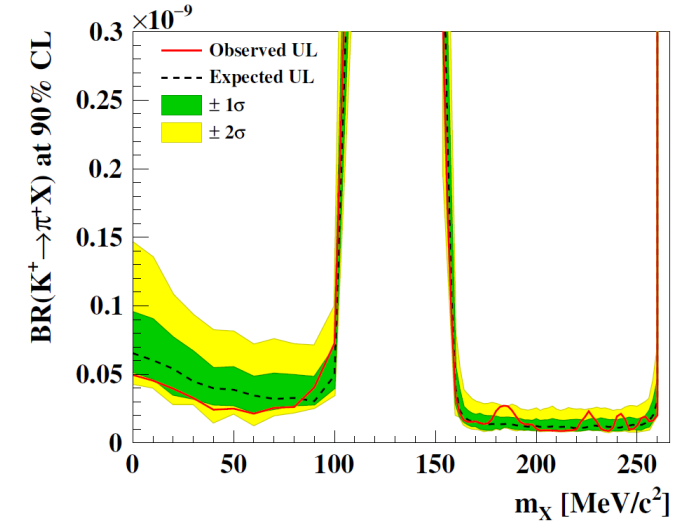
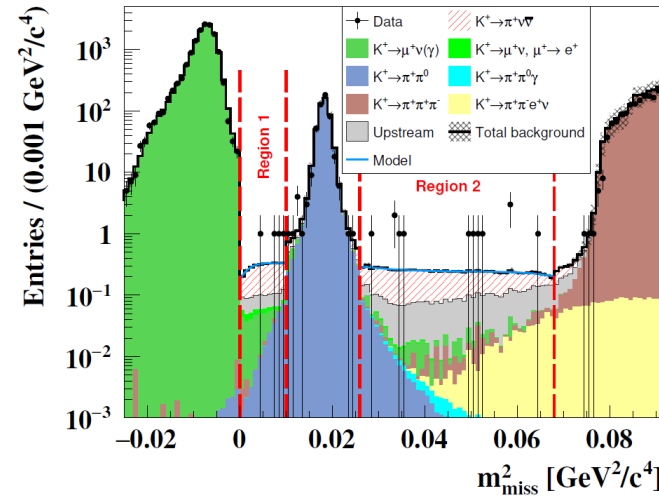
Dataset	2022	2023	2024
Number of spills [10^3]	326	363	519
< Beam intensity > [GHz]	0.57	0.48	0.41
< $N_{\pi\pi}$ /spill > [10^2]	4.9	4.7	4.4
N_K [10^{12}]	2.3	2.5	3.3
ε_{RV}	0.63	0.68	0.73
$N_{\pi\nu\nu}$	8	9	13
$N_{\pi\nu\nu}$ /spill [10^{-5}]	2.5	2.5	2.6
$B_{\text{total}}/N_{\pi\nu\nu}$	1.1	1.1	1.0

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ analysis: legacy

- Risultato dati 2016-2022 pubblicato [[JHEP 02 \(2025\) 191](#)]
- Sensitività attesa dati 2023-2024 mostrata a [SPSC](#) e conferenze
- Risultato preliminare dati 2023-2024 previsto nel 2026
- Risultato «legacy analysis» dati 2016-2026 prevista nel 2028-2029
- Precisione finale prevista sulla misura di BR: **15-20%** dominata da incertezza statistica
- Speculazione:
assumendo l'attuale valore centrale, potremmo ottenere come risultato finale $BR = (13 \pm 2) \times 10^{-11}$, rispetto alla previsione SM (8×10^{-11}).
La probabilità di raggiungere 3σ di tensione non è così bassa!

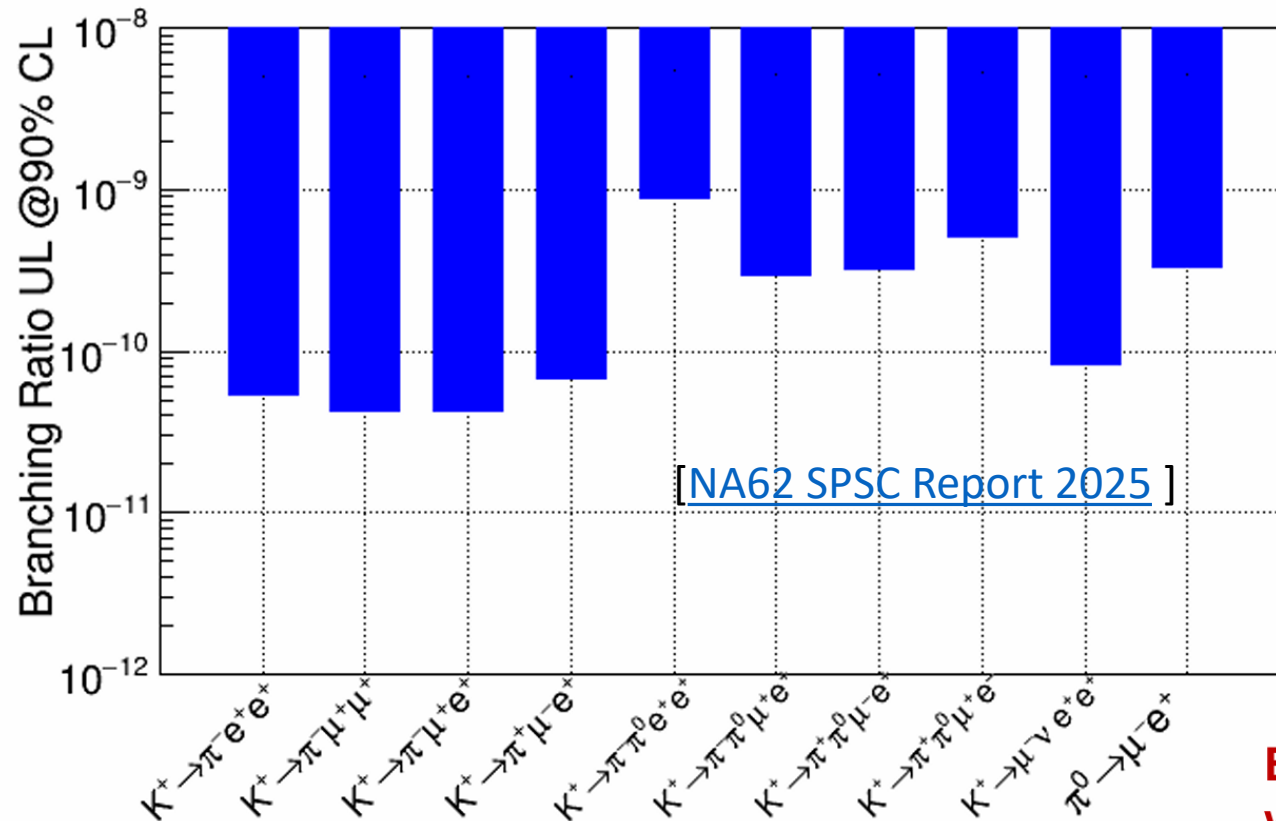
$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ analysis: interpretazione in $K^+ \rightarrow \pi^+ X$

- Interpretazione su dati 2016-2018 pubblicata
[[JHEP 06 \(2021\) 093](#)]
- Interpretazione su dati 2016-2022 in preparazione (entro agosto: articolo in *arXiv* e sottomesso a rivista)
- Ad ogni risultato $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ seguirà «naturalmente» l'interpretazione $K^+ \rightarrow \pi^+ X$



Rare and forbidden decays – LFV/LNV

- Maggior parte dei canali già pubblicati con dati 2016-2018.
- Le analisi saranno «facilmente» estese all'intero dataset.



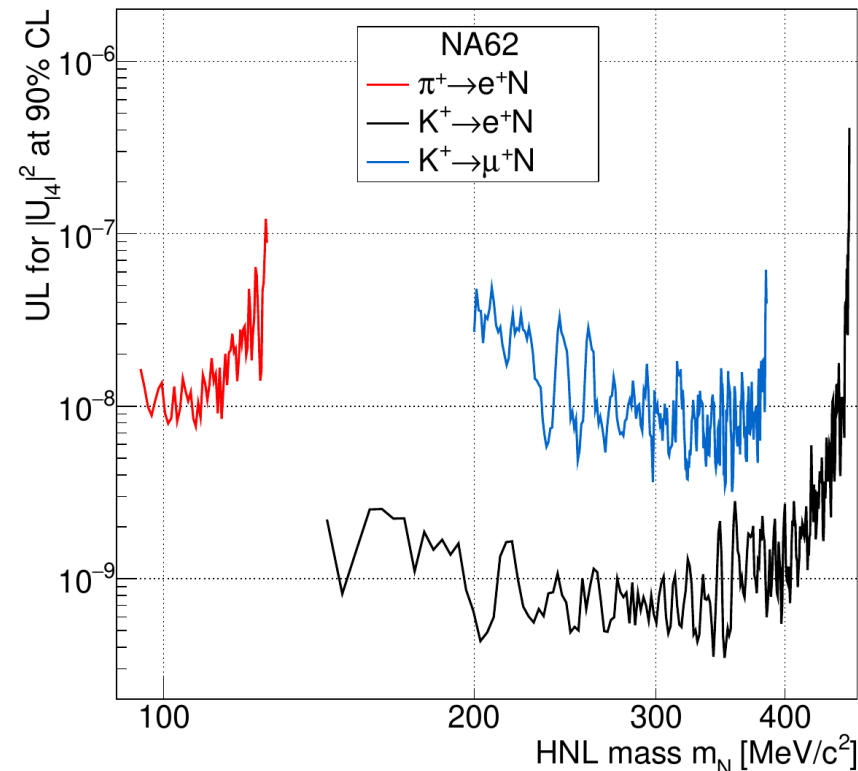
- RUN1 data only
- Factor 3 – 10 improvement over existing limits, plus first ever limits
- With RUN2 data significant improvements: increase of statistics also thanks to trigger improvements

Expected UL decrease of 1 order of magnitude with full data set

Rare and forbidden decays – HNL

- $K^+ \rightarrow l^+ N$ ($l = e, \mu$): risultati pubblicati con dati 2017-2018.
- Le analisi saranno «facilmente» estese all'intero dataset.
- $\pi^+ \rightarrow e^+ N$: risultato recentemente pubblicato con dati 2017-2024.

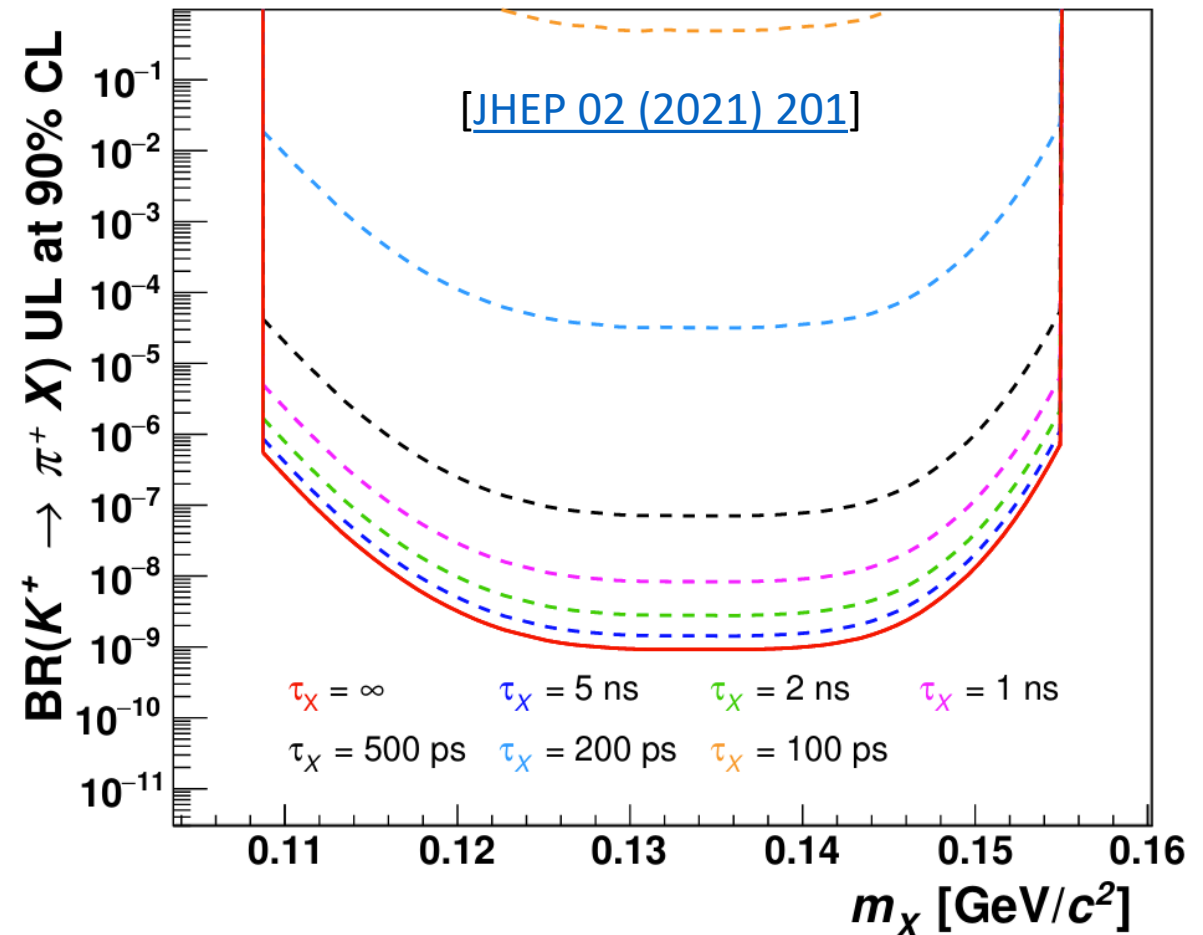
[[arXiv: 2507.07345](https://arxiv.org/abs/2507.07345)]



Rare and forbidden decays – dark sector

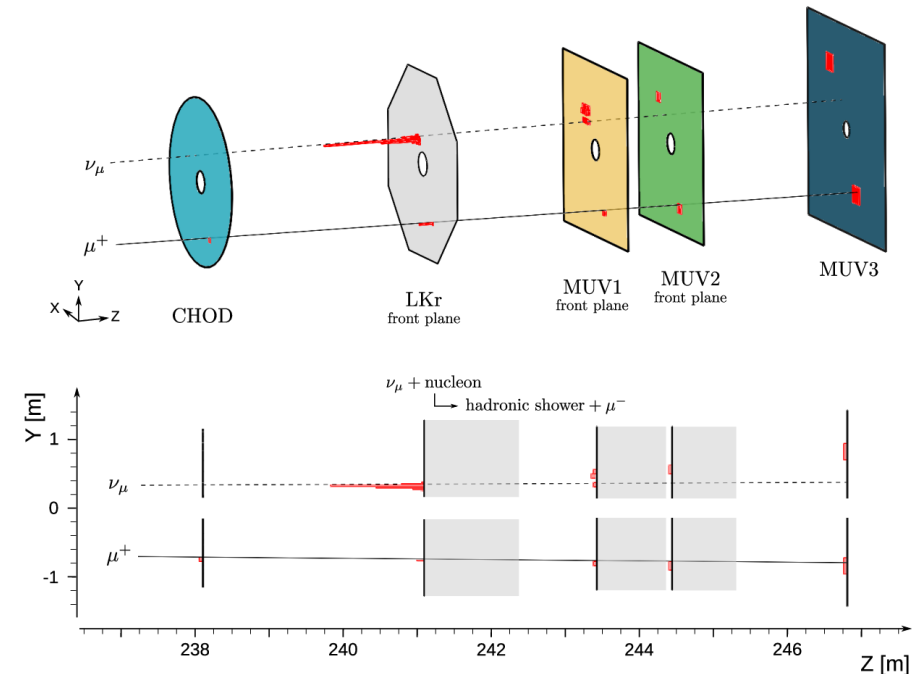
- $\pi^0 \rightarrow A' \gamma$ e $\pi^0 \rightarrow \text{invisible}$: risultati pubblicati con dati 2017
- $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 A'$: analisi in corso per tesi di dottorato, risultato preliminare atteso entro il prossimo anno
- $K^+ \rightarrow \pi^+ S, S \rightarrow \mu^+ \mu^-$: analisi in corso, risultato preliminare atteso entro il prossimo anno
- $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu X, X \rightarrow \gamma \gamma$: analisi in corso per tesi di dottorato terminata, risultato preliminare atteso entro il prossimo anno

Estensione delle presenti analisi all'intero dataset **non** banale



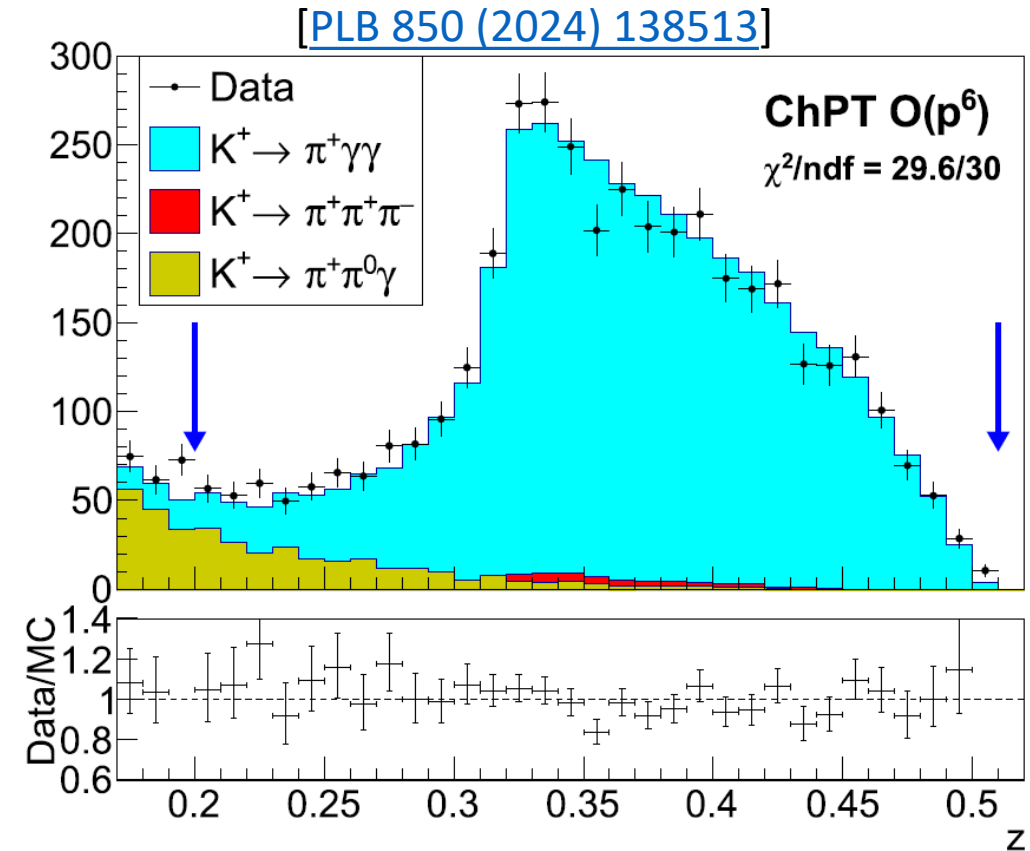
Rare and forbidden decays – SM searches

- $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^- e^+ e^-$ upper limit pubblicato [[PLB 846 \(2023\) 138193](#)]
- Tagged neutrino in $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ decays: primo evento pubblicato [[PLB 863 \(2025\) 139345](#)]
- $K^+ \rightarrow l^+ \nu l'^+ l'^- (l = e, \mu, l' = e, \mu)$: analisi in corso.
 - Il canale con tre μ in stato avanzato, iniziato con tesi di M. Boretto (TO), vincitore Premio Conversi, pubblicazione prevista nel 2026.
 - Canali con $l' = e$ oggetto di tesi di dottorato da terminare nel 2026 (risultato preliminare)



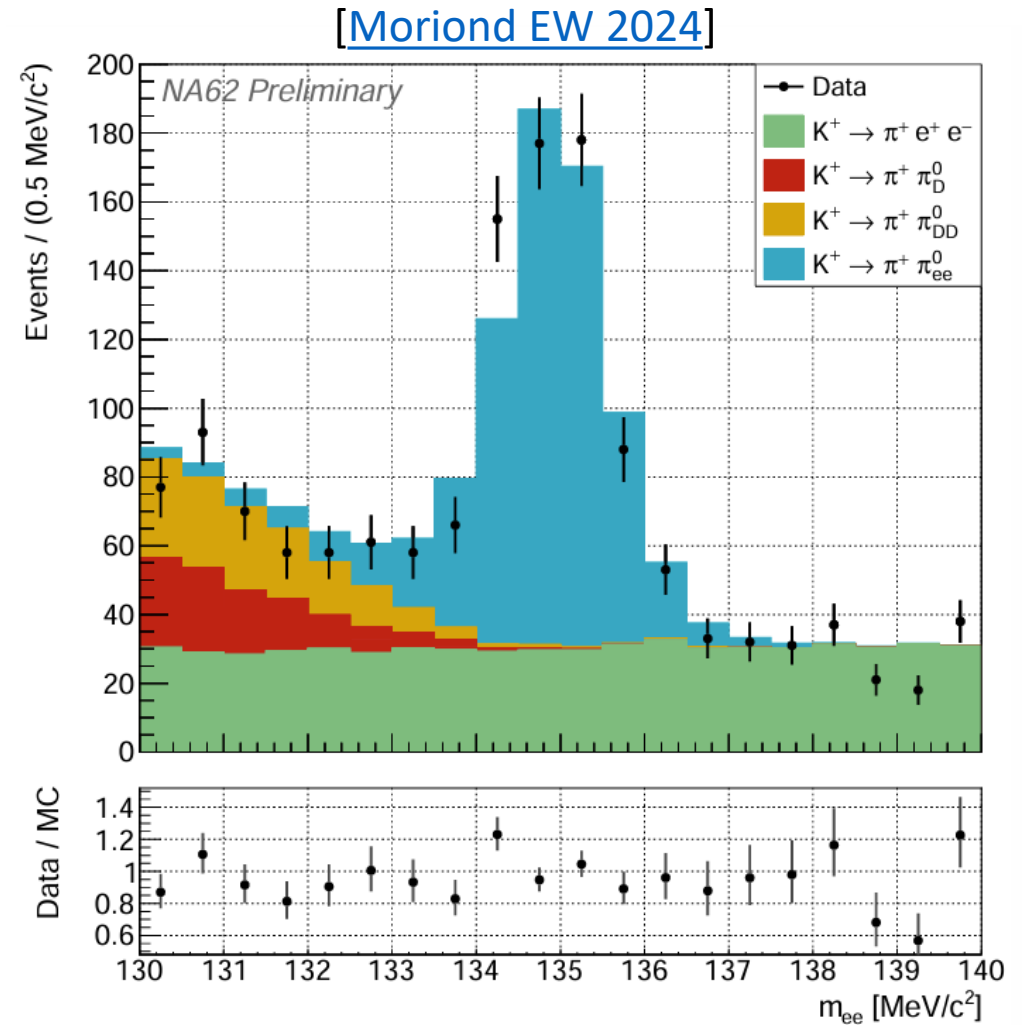
Precision measurements: kaon decays

- Misure già pubblicate: $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$,
 $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu \gamma$, $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$
- In molte delle misure domina l'incertezza sistematica
- Utilizzo dell'intero dataset non necessariamente vantaggioso
- Qualche anno necessario per il completamento, probabilmente sarà la parte del programma di fisica più a lungo termine per NA62
- Analisi avanzate, da completare:
 - $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \gamma$
 - $R_K = \Gamma(K^+ \rightarrow e^+ \nu) / \Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu)$
 - $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$
 - $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^-$ (iniziata recentemente)



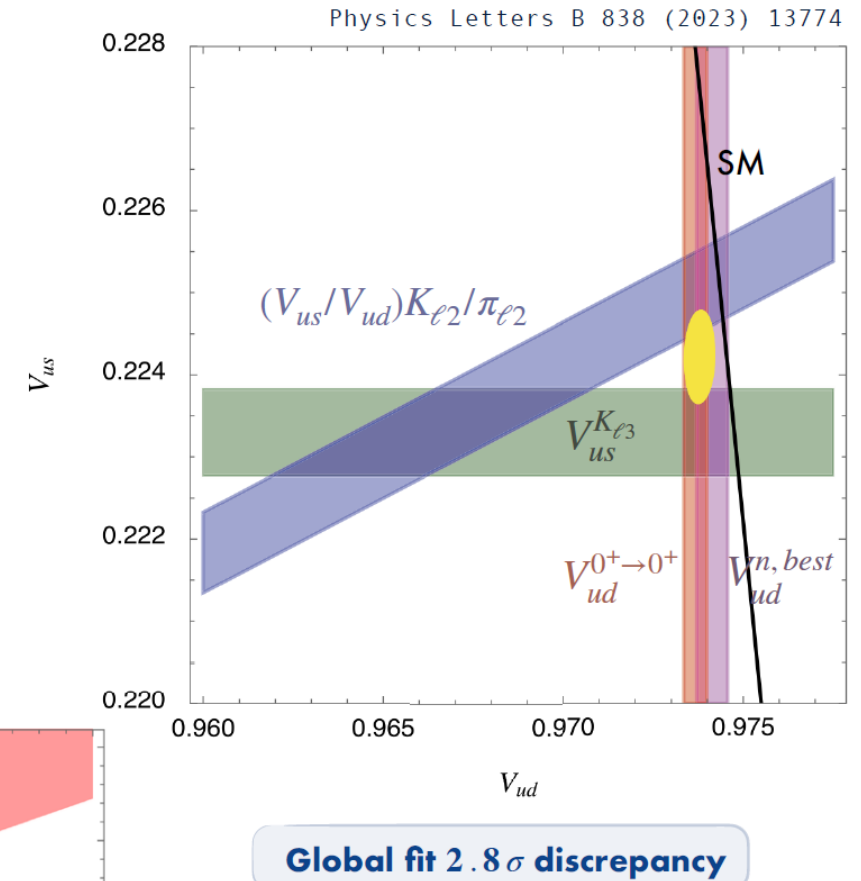
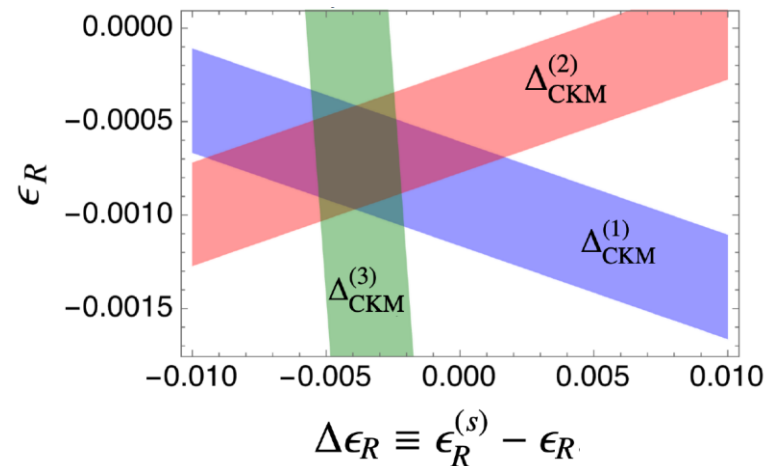
Precision measurements: π^0 decays

- In molte delle misure domina l'incertezza sistematica
- Utilizzo dell'intero dataset non necessariamente vantaggioso
- Qualche anno necessario per il completamento, probabilmente sarà la parte del programma di fisica più a lungo termine per NA62
- Analisi avanzate, da completare:
 - $\pi^0 \rightarrow e^+ e^-$ (preliminare mostrato a conferenze)
 - $\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$
 - $\pi^0 \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$ (iniziata recentemente)



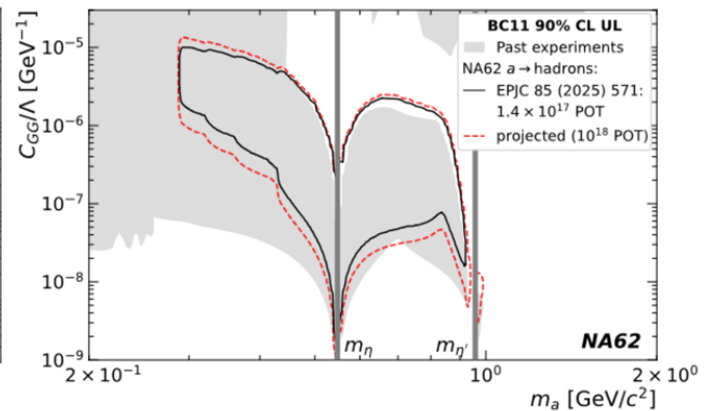
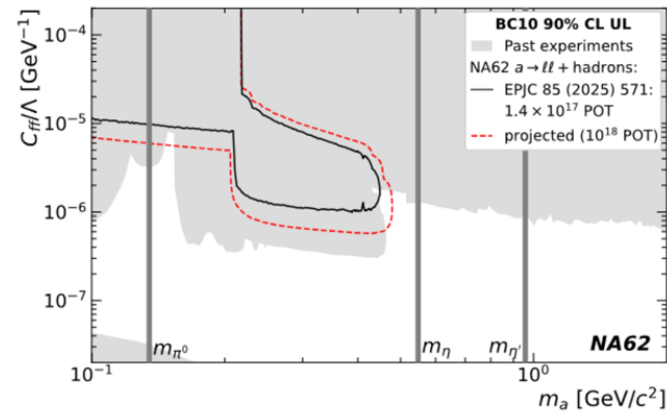
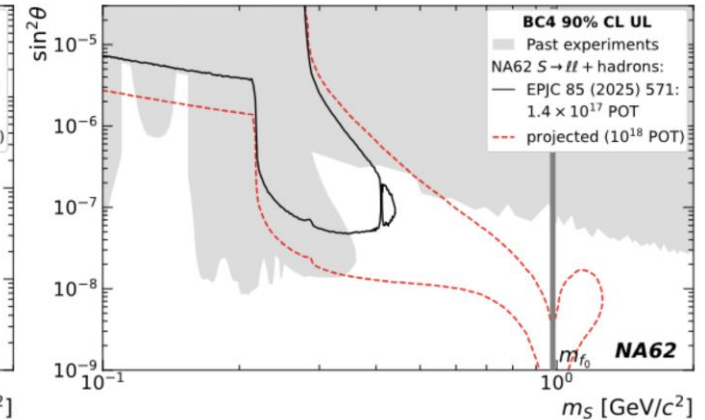
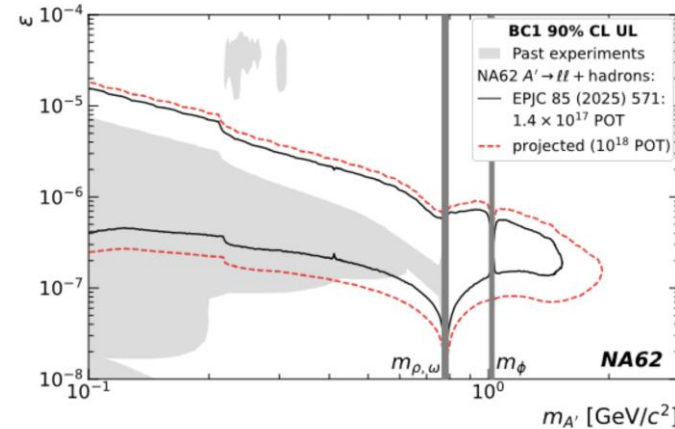
Precision measurements: «low intensity» data

- Presa-dati dedicata a $\sim 1\%$ intensità nominale, con trigger minimum bias
- Misure di precisione ($< 0.5\%$) di elementi matrice CKM:
 - $\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu) / \Gamma(\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu) \rightarrow V_{us} / V_{ud}$
 - $\Gamma(K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu) / \Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu) \rightarrow \Delta\epsilon_R$
 - $K^+ \rightarrow \pi^0 l^+ \nu$ (semileptonic form factors)
- Qualche anno necessario per il completamento

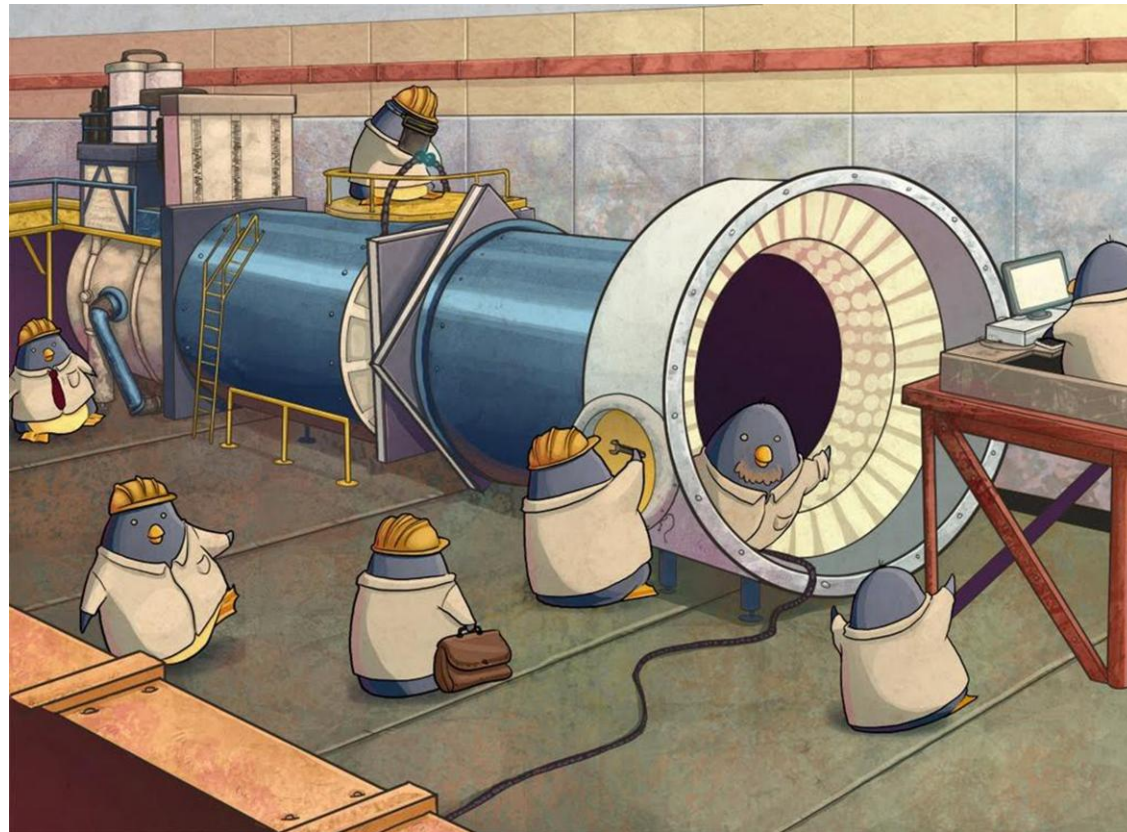


Search for exotic production/decay

- Production from protons dumped in the TAX, blind-analysis search for decays in the NA62 decay volume >80 m downstream
- Results from $1.4(3) \times 10^{17}$ dumped protons (POT) with final states:
 - $\mu+\mu^-$ [[JHEP 09 \(2023\) 035](#)]
 - $e+e^-$ [[PRL 133 \(2024\) 11](#)]
 - hadrons [[EPJC 85 \(2025\) 5](#)]
- **Aim to update using 10^{18} POT**, [[NA62-PUB-2025-01](#)] -- will include semileptonic decays for heavy-neutral leptons

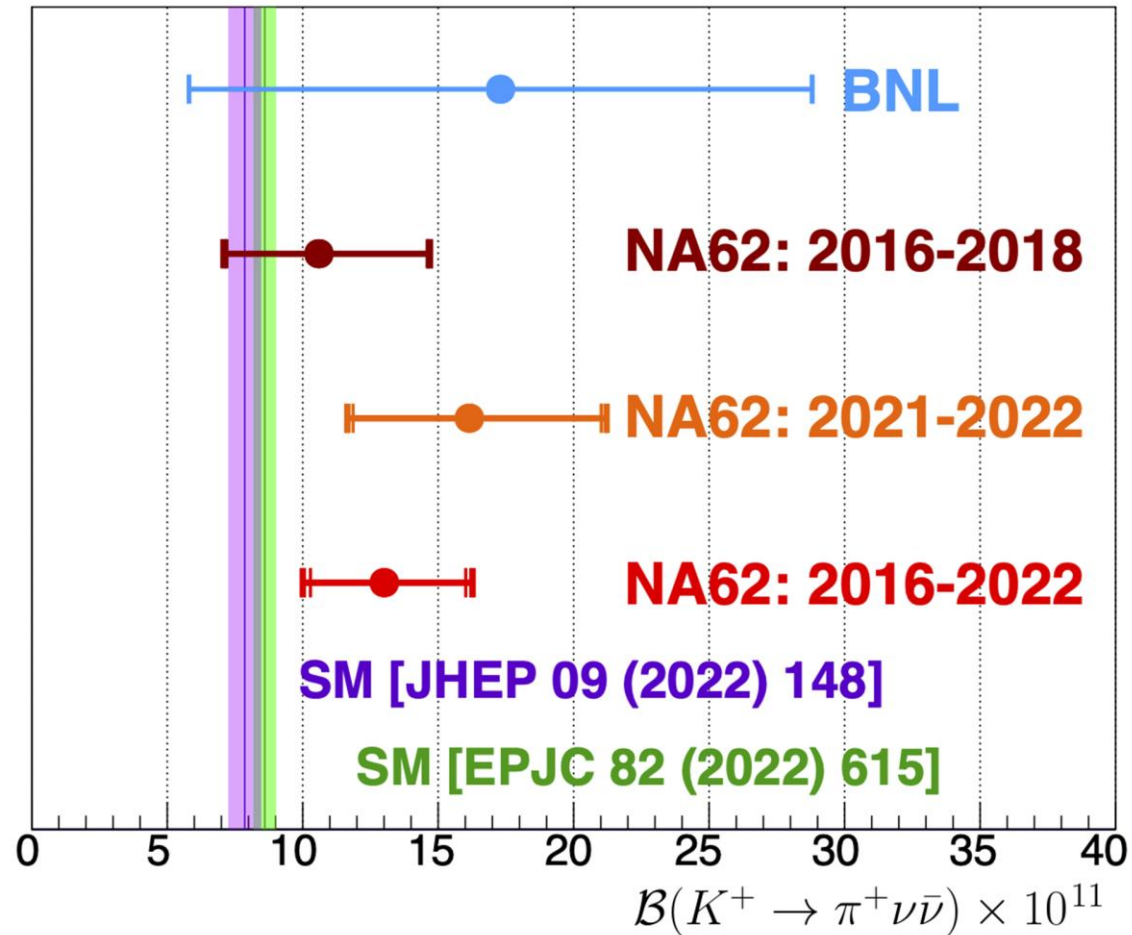


SPARES



$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ analysis: le misure di NA62

- Risultato dati 2016-2022 pubblicato [[JHEP 02 \(2025\) 191](#)]

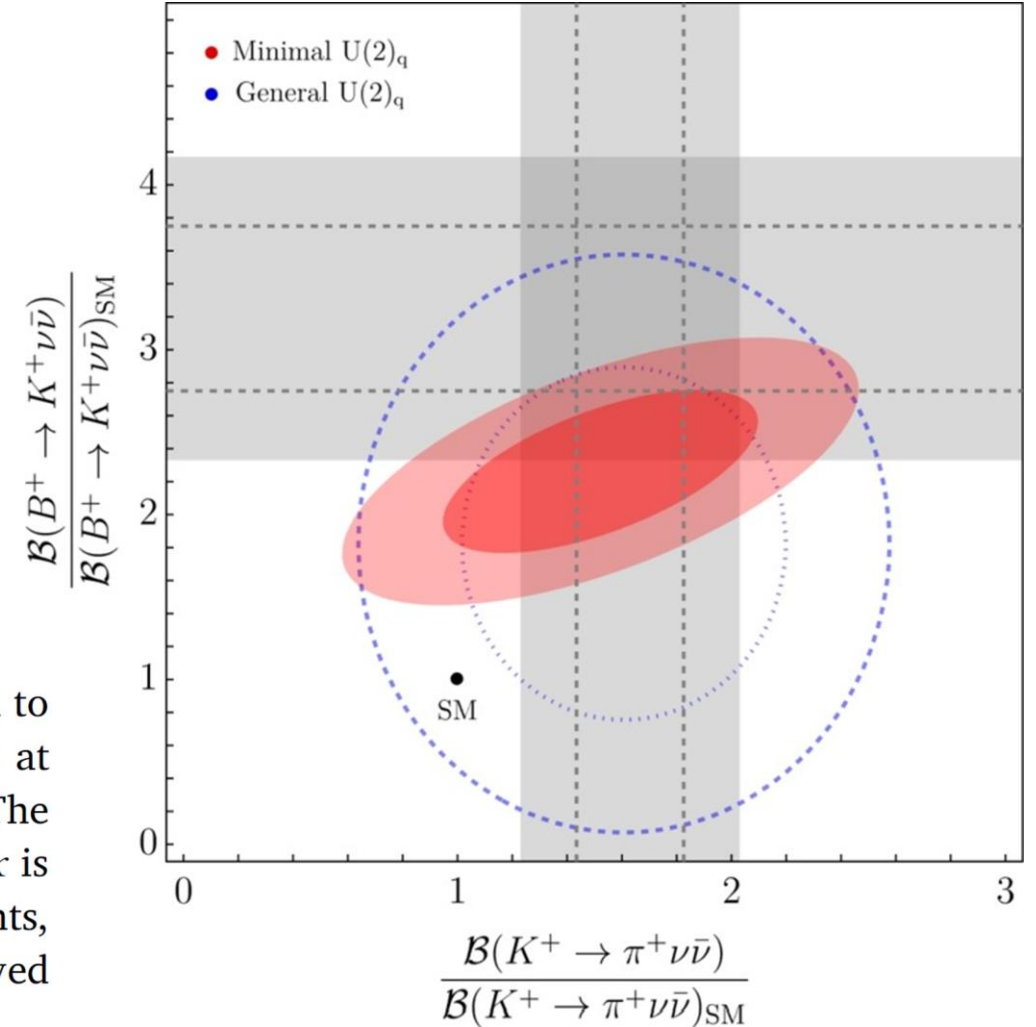


$$\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{16-22} = (13.0^{+3.3}_{-3.0}) \times 10^{-11}$$

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$: correlazione con $B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu}$

- Risultato dati 2016-2022 pubblicato [[JHEP 02 \(2025\) 191](#)]
- Interessanti correlazioni con altri decadimenti di mesoni, e.g. [[PLB 861 \(2025\) 139295](#)]

Fig. 6. Correlation between $\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ \nu \bar{\nu})$ and $\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$, normalized to their SM predictions. The red areas denote the parameter regions favored at 1σ and 2σ from a global fit in the limit of minimal $U(2)_q$ breaking ($\kappa = 1$). The dashed and dotted blue curves are 1σ and 2σ regions from a global fit where κ is a free parameter. The gray bands indicate the current experimental constraints, while the dashed gray lines highlight near-future projections assuming halved experimental uncertainties.



The NA62 published results (2022-2025)

1. Search for heavy neutral leptons in π^+ decays to positrons, arXiv: 2507.07345
2. Search for hadronic decays of feebly-interacting particles at NA62, EPJC 85 (2025) 571.
3. First detection of a tagged neutrino in the NA62 experiment, Phys. Lett. B 863 (2025) 139345.
4. Observation of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ decay and measurement of its branching ratio, JHEP 02 (2025) 191.
5. First search for $K^+ \rightarrow \pi^0 \pi^+ \mu^-$ decays, Phys. Lett. B 859 (2024) 139122.
6. Search for leptonic decays of the dark photon at NA62, Phys. Rev. Lett. 133 (2024) 111802.
7. Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ decay, Phys. Lett. B 850 (2024) 138513.
8. Search for K^+ decays into the $\pi^+ e^+ e^- e^-$ final state, Phys. Lett. B 846 (2023) 138193.
9. A study of the $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu \gamma$ decay, JHEP 09 (2023) 040.
10. Search for dark photon decays to $\mu^+ \mu^-$ at NA62, JHEP 09 (2023) 035.
11. A search for the $K^+ \rightarrow \mu^- \nu e^+ e^+$ decay, Phys. Lett. B 838 (2023) 137679.
12. A measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-$ decay, JHEP 11 (2022) 011.
13. Searches for lepton number violating $K^+ \rightarrow \pi^- (\pi^0) e^+ e^+$ decays, Phys. Lett. B 830 (2022) 137172.

The NA62 published results (2018-2021)

1. Search for Lepton Number and Flavor Violation in K^+ and π^0 Decays, Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 131802.
2. Measurement of the very rare $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ decay, JHEP 06 (2021) 093.
3. Search for K^+ decays to a muon and invisible particles, Phys. Lett. B 816 (2021) 136259.
4. Search for a feebly interacting particle X in the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ X$, JHEP 03, (2021) 058.
5. Search for π^0 decays to invisible particles, JHEP 02, (2021) 201.
6. An investigation of the very rare $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ decay, JHEP 11 (2020) 042.
7. Search for heavy neutral lepton production in K^+ decays to positrons, Phys. Lett. B 807 (2020) 135599.
8. Searches for lepton number violating K^+ decays, Phys. Lett. B 797 (2019) 134794.
9. Search for production of an invisible dark photon in π^0 decays, JHEP 1905 (2019) 182.
10. First search of $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ using the decay-in-flight technique, Phys. Lett. B 791 (2019) 156.
11. Search for heavy neutral lepton production in K^+ decays, Phys. Lett. B 778 (2018) 137.