

## MAIN GOAL: Measurement of $\text{BR}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$

### Broad physics program

- Rare  $K^+$  decays
- LNV-LFV in  $K^+$  decays
- Hidden sector particles

### Run II (2021-2025)

- Complete  $\pi^+ \nu \bar{\nu}$  measurement
- Address new physics cases:
  - LFV/LNV measurements, rare decays
  - Dump mode  $\rightarrow$  MeV-GeV mass hidden-sector
    - $\Rightarrow$  Dark Photons, Dark Scalars, Heavy Neutral Leptons, Axions/Axion-Like-Particles, etc

### Run I (2016 – 2018)

- 20 eventi candidati con 7 eventi di fondo
- Prima osservazione a  $3.4 \sigma$

$$\text{BR}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})_{\text{NA62}} \\ (10.6 (+4.0-3.4)_{\text{stat}} \pm 0.9_{\text{syst}}) \times 10^{-11}$$

[JHEP 06 (2021) 093]

Corr. authors **F.Brizioli** - R.Marchevski - G.Ruggiero

$$\text{BR}_{\text{SM}} = (8.4 \pm 1.0) \times 10^{-11}$$

**M. Pepe**

CDS INFN-Perugia 18 Luglio 2023

## Run II 2021-2025:

importanti miglioramenti sia sulla linea del fascio che sul rivelatore.

- presa dati a intensità nominale ( $\sim 33 \times 10^{11}$  ppp on T10)
- migliore riduzione dei fondi
- aumento della sensitività del segnale
- ottimizzazione dell'analisi per aumentare l'accettazione del segnale

Primo articolo  
dati RUN2

Search for Dark Photon decays to  $\mu^+\mu^-$  at NA62  
*arXiv2303.08666 submitted to JHEP*

## Hardware:

- 4<sup>a</sup> stazione GTK (**GTK0**) per migliorare l'efficienza di ricostruzione del K
- Nuovi sistemi di **VETO** upstream /downstream del collimatore finale per ridurre l'upstream background
- Sistema **ANTI-0** per identificare muoni dell'alone del fascio
- Seconda stazione di **HASC** per aumentare la reiezione dei fotoni (conversione dei fotoni nella pipe del RICH)

## NEW in 2023

- **CEDAR-H** : riduzione del materiale lungo la linea del fascio (**H<sub>2</sub> 0.7% $X_0$  vs N<sub>2</sub> 3.9  $X_0$** )
- **L0TP+** : maggiore flessibilità algoritmi di trigger e aumento bandwidth di output

## Run 2023:

150 giorni (25-30% in meno del 2022 e del previsto per ridurre costo energia)

## Kaon Physics

- $\pi\nu\nu$  a intensità nominale
- in parallelo trigger per rare decays e neutrini taggati
- ottimizzazione del downscaling dei trigger non- $\pi\nu\nu$  grazie a CEDAR-H e L0TP+

## Dump mode

- circa 2 settimane di presa dati a fine luglio 2023
- x1.5 intensità nominale
- configurazione come nel 2021:  
rimozione delle targhetta, chiusura della Tax, muon sweapers

### In parallelo studi di fattibilità e R&D per HIKE:

possibile esperimento con fasci di K a altissima intensità al SPS:

$K^+ - K_L - \text{Dump}$

(LoI [CERN-SPSC-2022-031 / SPSC-I-257](#) 07/11/2022)



ANAGRAFICA NA62 2024		%	LHCB	ALTRO
Anzivino	Prof. Associato	70	30	
Brizioli	Ricercatore	0	0	Fellow al Cern dal 1/6/23 al 30/6/24
Cenci	Dir. Ricerca	70	30	
Duk	Ricercatore	30	70	
Falaleev	Ric. Straniero Senior	0	0	non contato nelle richieste finanziarie
Lubrano	Dir. Ricerca	50	0	27% CSN2, 20% INTERTWIN, 3% PNRR
Pepe	Dir. Ricerca	70	30	
Piccini	Primo Ricercatore	30	70	
<b>TOTALE FTE</b>		<b>3,2</b>	<b>4,3</b>	

Anche per il 2024 Brizioli non è incluso nelle richieste perché non entra nella «foto di luglio 2023»

**TOTALE NA62 3.2 FTE**

**The NA62/LHCb-PG Family**



NA62 - M. Pepe

CDS 18/07/23



## RESPONSABILITA' DI COLLABORAZIONE

- Project Leader CHOD ([Brizioli-Duk](#))
- Co-Project Leader RICH ([Piccini](#))
- Run Coordinator ([Duk](#))
- Co-Convener **analisi  $\pi\nu\nu$**  ([Brizioli](#))
- Co-Convener **Data Quality/Data Preparation** ([Brizioli](#))
- Co-responsabilità DCS ([Falaleev](#))
- Membro Editorial Board ([Brizioli](#))

### **NB:**

Le responsabilità di Francesco sono mantenute durante il Fellow al CERN

**RUN 2023: 22 settimane di presa dati (1/5 – 27/9)**

**RUN 2024: 26 settimane di presa dati previste**

## RIVELATORI:

- Co-responsabilità (con gruppo di Firenze) del mantenimento/funzionamento **RICH**
- Responsabilità del mantenimento e del funzionamento del **CHOD**
- Coordinamento misure di purezza del Krypton per il **Calorimetro e.m. LKr**
- Link person per il sistema criogenico del **Calorimetro e.m. LKr**

## PRESA DATI

- Run coordinator (**Duk**)
- Esperti on-call per RICH e CHOD (**Anzivino, Brizioli, Cenci, Duk, Pepe, Piccini**)
- Esperto on-call per calorimetro a LKr (**Brizioli**)
- Detector Data Quality expert RICH e CHOD (**Anzivino, Brizioli, Cenci, Duk, Pepe, Piccini**)
- Physics Data Quality expert (**Brizioli, Lubrano**)
- DCS intero esperimento (**Falaleev**)
- DCS di RICH e CHOD (**Duk**)
- Turni di presa dati (**tutti**)

## SOFTWARE:

- Responsabilità MC, Software Problem-Solving, Calibrazioni CHOD ([Piccini](#))
- Responsabilità MC del RICH ([Piccini](#))
- Co-responsabilità della ricostruzione del RICH ([Brizioli](#))
- Allineamento degli specchi del RICH ([Duk](#))
- Data Quality e data preparation di tutto l'esperimento ([Brizioli](#))

**Attività legate ai ruoli di Convener del DQ o Project leader di rivelatore**

## ANALISI DATI:

- Analisi  $\pi\nu\nu$  dati Run2: ([Brizioli](#))
- Sensibilità  $\pi\nu\nu$  in HIKE PHASE-1 ([Brizioli](#))
- Finalizzazione analisi ricerca di Light Scalar nel decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ S$  con  $S \rightarrow \mu^+ \mu^-$  ([Duk](#))  
→ Nota interna [NA62-23-03](#) e articolo in preparazione
- Finalizzazione analisi BR e violazione di T in  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu \gamma$  ( $Ke3\gamma$ ) ([Brizioli](#))  
→ Articolo sottomesso a JHEP [[arXiv: 2304.12271 \[hep-ex\]](#)] (2023)

Nuove analisi nel 2024 una volta pubblicate quelle in corso, oltre agli studi di ottimizzazione dell'analisi del canale principale.

## ALTRE ATTIVITA'

- **Brizioli** : membro del Comitato Scientifico del Workshop Italiano WIFAI sulla Fisica ad Alta Intensità
- **Pepe** : membro CERN-LHC Resources Scrutiny Group (2022-2023, rinnovato 2024-2025)

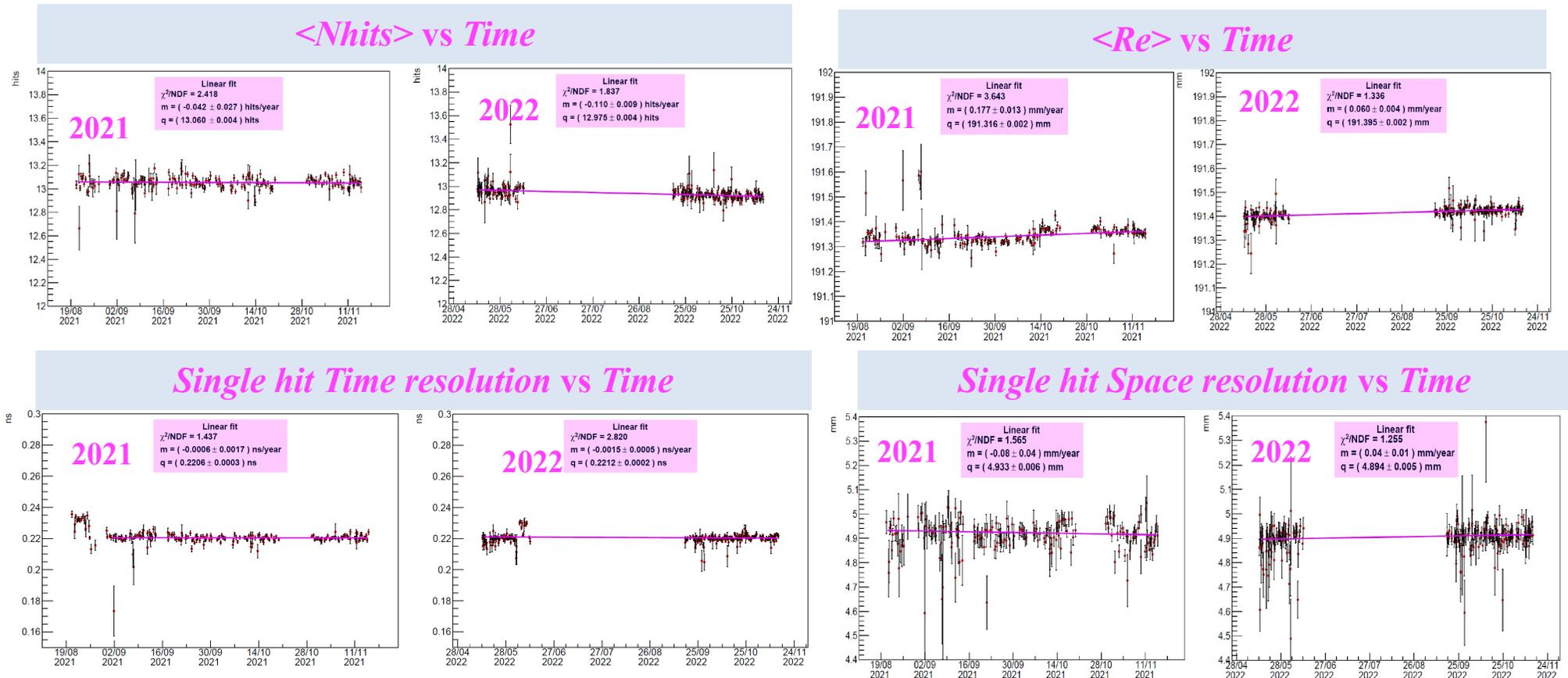
## PRESENTAZIONI a CONFERENZE

- LHCP 2023: **Duk**
- LP 2023: **Brizioli**
- Rencontres du Vietnam 2023: **Pepe**
- Organizzazione Workshop WIFAI (Roma Tre a Novembre) **Brizioli**
- IEEE : abstract accettato "**High level performance of the NA62 RICH detector in RUN2**"
- .....

## Tesi Triennali 2023:

- **Chiara Silvia Codovini** (relatori **G. Anzivino** e **F. Brizioli**)  
*Identificazione di  $K^+$  con il RICH di NA62*  
(Febbraio 2023)

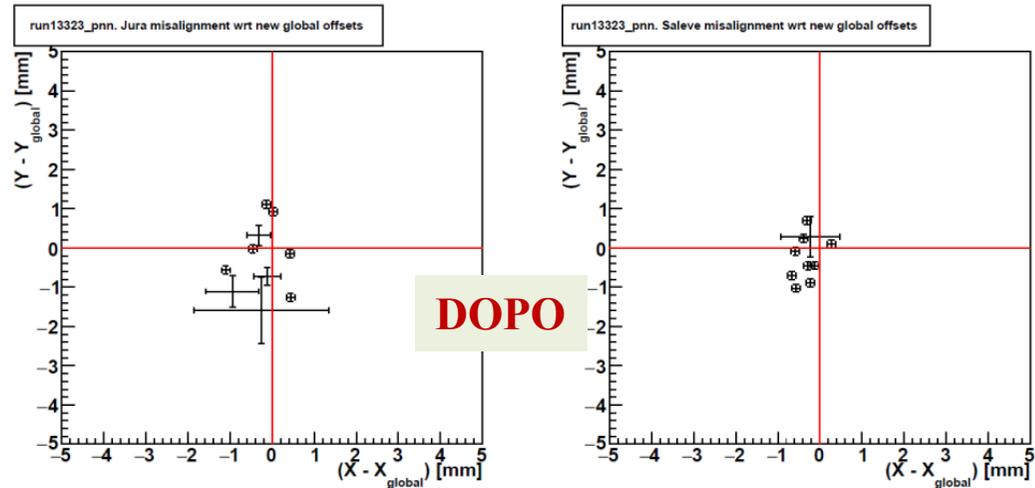
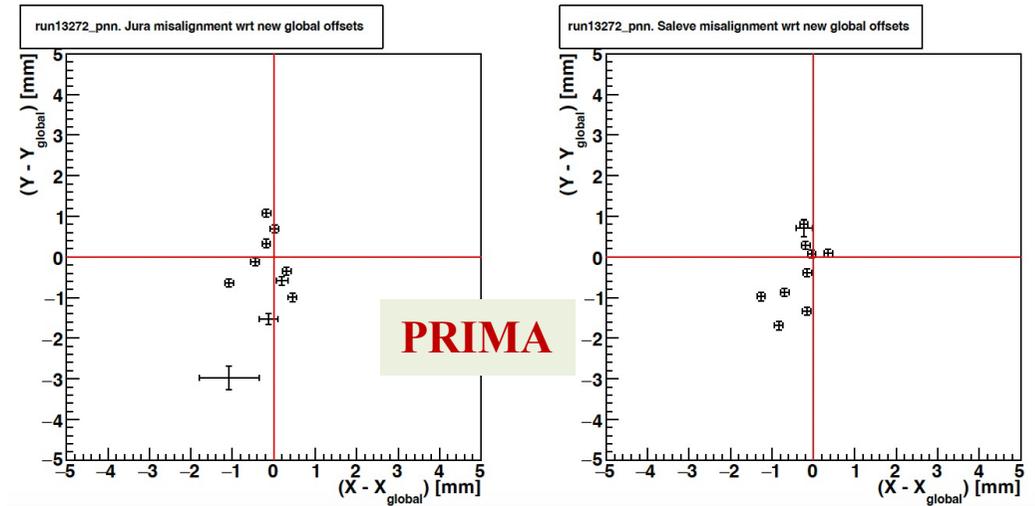
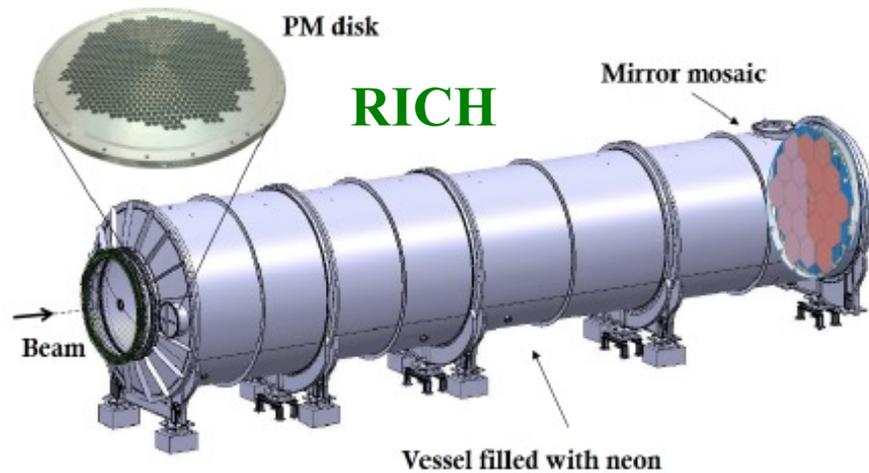
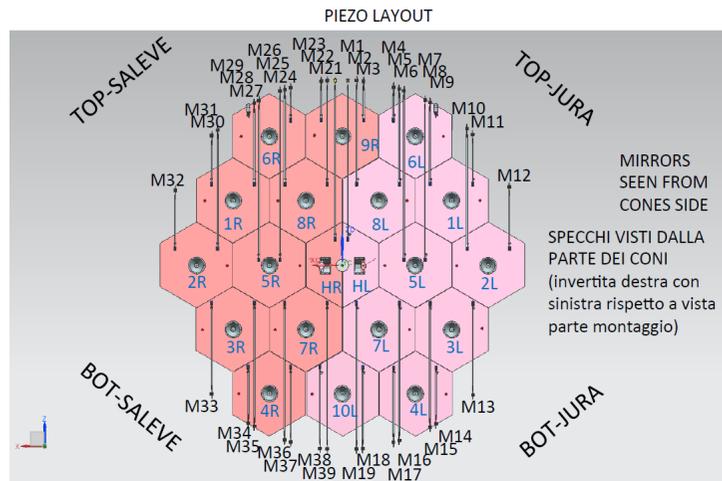
## RICH: Prestazioni di base in RUN2 (2021-2022):



➤ **Stabile** → la dipendenza dei principali parametri che misurano le prestazioni di base del RICH in funzione del tempo è in linea con gli andamenti misurati negli anni di RUN1

## RICH: Allineamento degli specchi nel Run 2023 (V. Duk):

- Sei specchi mossi nel 2023 per migliorare la risoluzione nell'angolo Cerenkov:

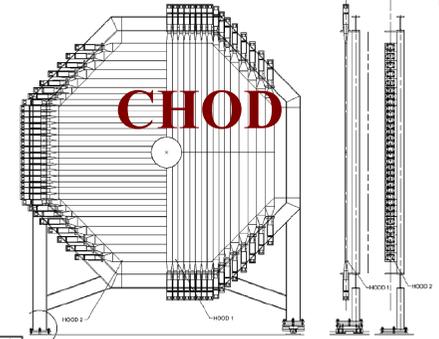


**Nota:** risoluzione spaziale (4.7 mm) dominata dalla dimensione dei PM

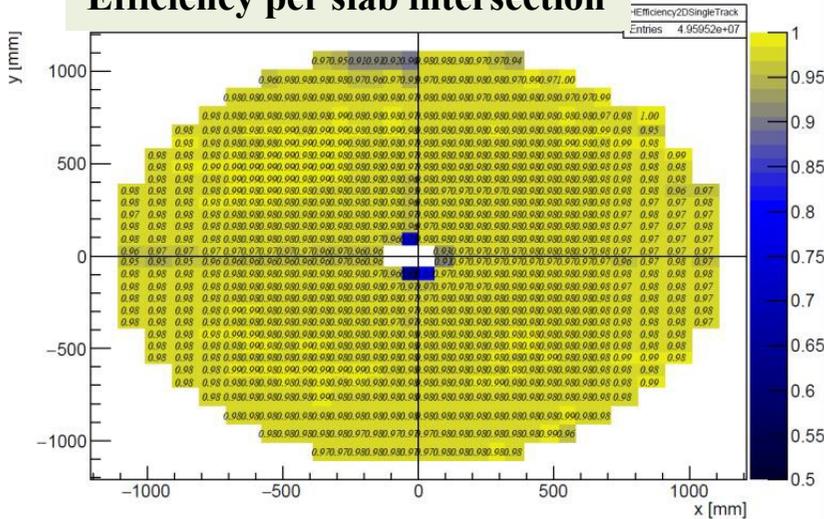
**RISULTATO**

- Specchi allineati entro 1.5 mm
- Non sarà necessario ulteriore allineamento

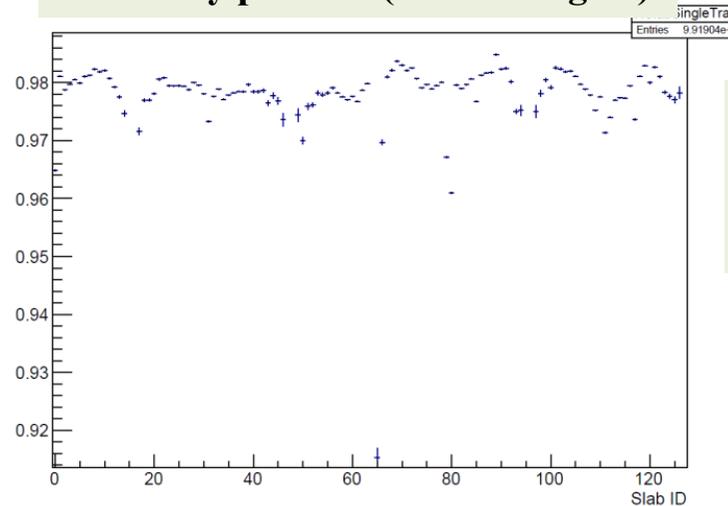
- 2 piani di scintillatori (V e H), 64 slabs per piano
- Misura del tempo delle tracce
- Minimum bias trigger



Efficiency per slab intersection

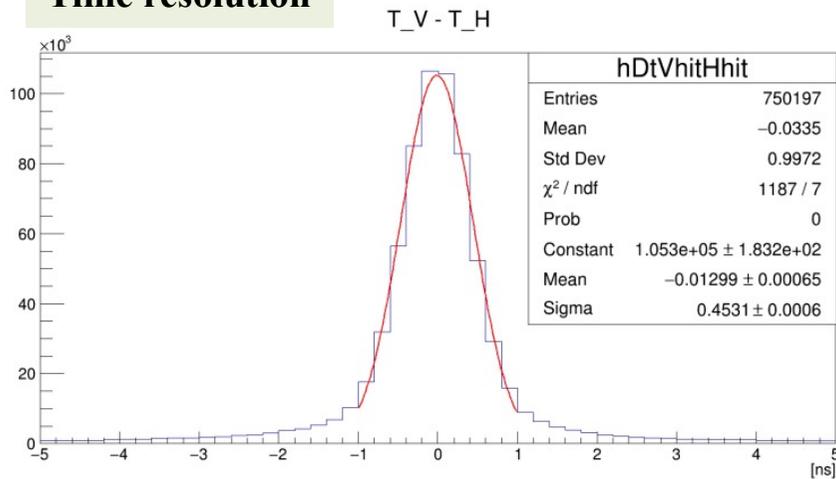


Efficiency per slab (traccia singola)



$\epsilon = 97-98\%$   
Uniforme su tutto il rivelatore

Time resolution



$$\sigma_t^{CHOD} = \frac{\sigma_{(t_V - t_H)}}{2} \simeq \frac{453 \text{ ps}}{2} \simeq 230 \text{ ps}$$

- Misure standalone
- $T_V$  e  $T_H$  : tempo di ogni hit
- Correzioni temporali a  $T_V$ ,  $T_H$ : posizione, slewing
- $T_{CHOD} = 0.5 * (T_V + T_H)$

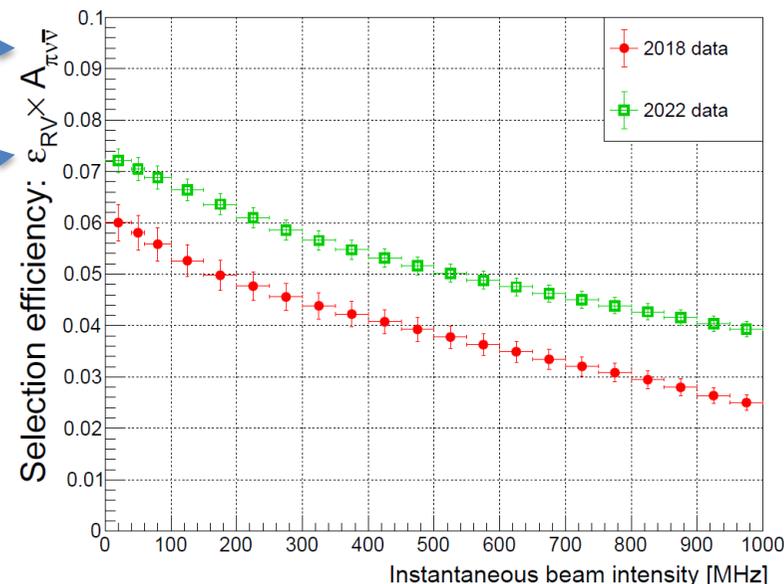
➤ **Ottimizzazione della selezione:**

aumento accettazione segnale wrt 2018 ( $\times 1.2$ )

➤ **Miglioramento reiezione Random Veto:**

Compensazione degli effetti della maggiore intensità

L'aumento di intensità wrt 2018 porta a una diminuzione delle efficienze di ricostruzione ( $\times 0.95$ ) e di trigger ( $\times 0.9$ )



**Aumento di ~47% di  $\pi\nu\bar{\nu}$ /burst wrt 2018**

**$1.45 \times 1.2 \times 0.95 \times 0.9 = 1.49$**

↗

↗

↑

↖

Intensità   Selezione   Ricostruzione   Trigger

**Numero di eventi attesi nella regione di segnale**

PROCESS	2022	2018	
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$0.82 \pm 0.03$	$0.75 \pm 0.05$	} Data - driven
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$	$0.74 \pm 0.06$	$0.64 \pm 0.08$	
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$0.09 \pm 0.02$	$0.22 \pm 0.08$	→ Data + MC
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$	$0.31 \pm 0.16$	$0.51 \pm 0.10$	→ MC
Upstream	WIP	$3.30^{+0.98}_{-0.73}$	
$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$	$8.0 \pm 1.1$	$7.58 \pm 0.85$	

- Normalizzazione:  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$
- Efficienza di Trigger  $\sim 0.9$
- Errore:
  - sist. da norm. e trigger
  - parametrico da BR dello SM
- Signal / Kaon bkg =  $4.0 \pm 0.5$   
( $3.6 \pm 0.4$  nel 2018)

## Analisi coordinata da F. Brizioli

- Ulteriore ottimizzazione della selezione
- Test e eventuale implementazione di nuovo algoritmo di PID basato su NN
- Studio della variazione dell'upstream background con l'intensità
- Completamento dell'implementazione del VETO counter (fondamentale per U.B.)
- Procedura di stima dell'upstream background
- Studi con simulazioni dell'upstream background
  
- Inclusione dei dati 2021



**Nuovo risultato da dati 2021+2022 sperabilmente a fine 2023  
o nei primi mesi del 2024 per le winter conferences**

## Physics case (ChPT)

- misura del BR e parametro di T-Violation (T-odd observable  $\xi$ )

[arXiv:2304.12271](https://arxiv.org/abs/2304.12271) submitted to JHEP

F. Brizioli *corresponding author*

$$R_j = \frac{\mathcal{B}(K_{e3\gamma^j})}{\mathcal{B}(K_{e3})} = \frac{\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu \gamma | E_\gamma^j, \theta_{e\gamma}^j)}{\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu(\gamma))} \quad \xi = \frac{\vec{p}_\gamma \cdot (\vec{p}_e \times \vec{p}_\pi)}{(M_K \cdot c)^3}, \quad A_\xi = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$$

## NA62 (dati 2017-2018)

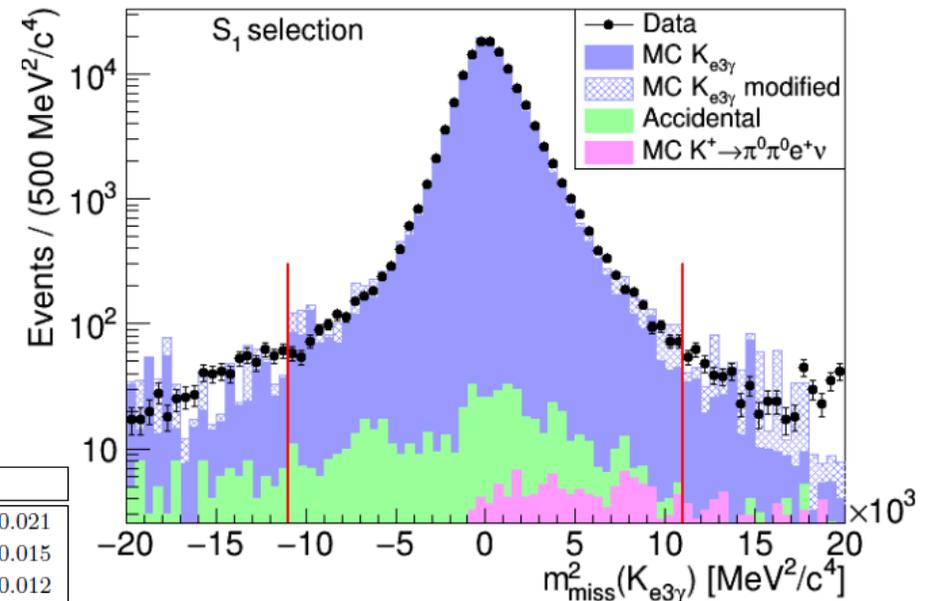
$$R_1 \times 10^2 = 1.715 \pm 0.005_{\text{stat}} \pm 0.010_{\text{syst}} = 1.715 \pm 0.011,$$

$$R_2 \times 10^2 = 0.609 \pm 0.003_{\text{stat}} \pm 0.006_{\text{syst}} = 0.609 \pm 0.006,$$

$$R_3 \times 10^2 = 0.533 \pm 0.003_{\text{stat}} \pm 0.004_{\text{syst}} = 0.533 \pm 0.004.$$

## Stato dell'arte:

	$E_\gamma^j, \theta_{e\gamma}^j$	ChPT	ISTRA+	OKA
$R_1 \times 10^2$	$E_\gamma > 10 \text{ MeV}, \theta_{e\gamma} > 10^\circ$	$1.804 \pm 0.021$	$1.81 \pm 0.03 \pm 0.07$	$1.990 \pm 0.017 \pm 0.021$
$R_2 \times 10^2$	$E_\gamma > 30 \text{ MeV}, \theta_{e\gamma} > 20^\circ$	$0.640 \pm 0.008$	$0.63 \pm 0.02 \pm 0.03$	$0.587 \pm 0.010 \pm 0.015$
$R_3 \times 10^2$	$E_\gamma > 10 \text{ MeV}, 0.6 < \cos \theta_{e\gamma} < 0.9$	$0.559 \pm 0.006$	$0.47 \pm 0.02 \pm 0.03$	$0.532 \pm 0.010 \pm 0.012$



**$1.3 \times 10^5$  candidati segnale con contaminazione di fondo  $< 1\%$**

- Precisione relativa su  $R_j \leq 1\%$
- Miglioramento di un fattore  $> 2$  su misure precedenti
- Discrepanza  $O(3\sigma)$  dalle previsioni

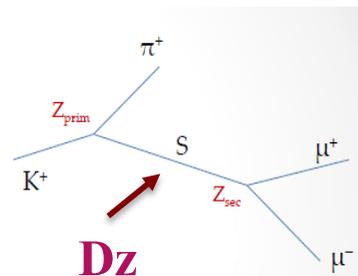
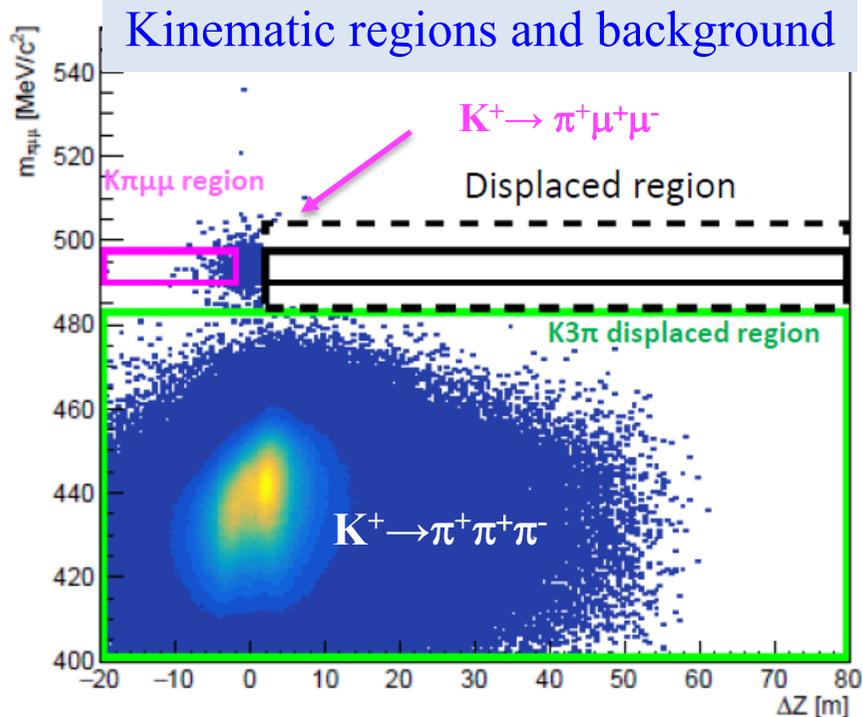
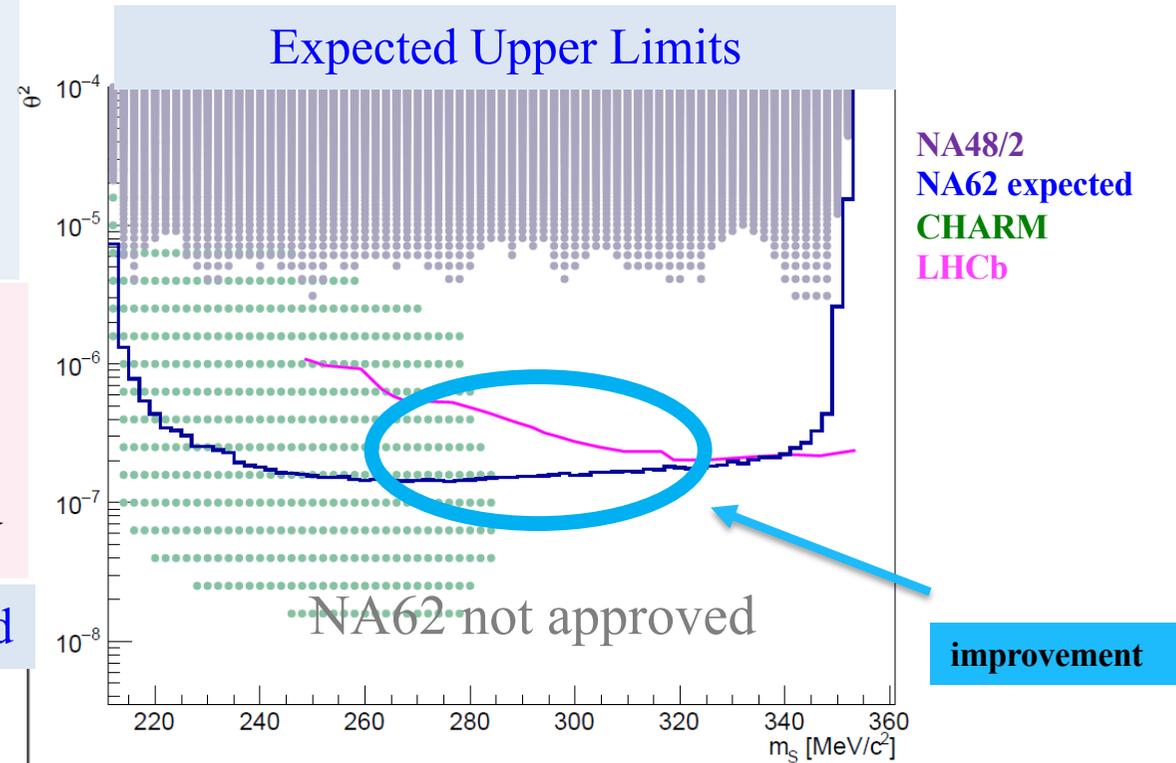
- Misura più precisa di  $\xi$  compatibile con l'assenza di T-asymmetry

		$S_1$	$S_2$	$S_3$
$A_\xi^{\text{Data}} \times 10^3$		$1.9 \pm 2.8_{\text{stat}}$	$1.3 \pm 4.3_{\text{stat}}$	$-6.2 \pm 5.1_{\text{stat}}$
$A_\xi^{\text{MC}} \times 10^3$		$3.1 \pm 1.9_{\text{syst}}$	$4.8 \pm 3.0_{\text{syst}}$	$3.0 \pm 3.5_{\text{syst}}$
$A_\xi^{\text{NA62}} \times 10^3$		$-1.2 \pm 2.8_{\text{stat}} \pm 1.9_{\text{syst}}$	$-3.4 \pm 4.3_{\text{stat}} \pm 3.0_{\text{syst}}$	$-9.1 \pm 5.1_{\text{stat}} \pm 3.5_{\text{syst}}$
$A_\xi^{\text{OKA}} \times 10^3$		$-0.1 \pm 3.9_{\text{stat}} \pm 1.7_{\text{syst}}$	$7.0 \pm 8.1_{\text{stat}} \pm 1.5_{\text{syst}}$	$-4.4 \pm 7.9_{\text{stat}} \pm 1.9_{\text{syst}}$

## GOALS

- Limiti model-independent per varie  $m_s \tau_s$  su  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ S) \times (S \rightarrow \mu^+ \mu^-)$
- Regioni di esclusione model-dependent nel piano  $(\theta^2, m)$

- Prompt + Displaced vertex approach;
  - ➔ Completa copertura di lifetime
- regione Displaced quasi background-free
- Analisi BLIND in :
  - $Dz > 2000$  mm ;  $484 < M(\pi\mu\mu) < 504$  MeV



## NA62 dati 2016-2018

- Miglioramento nel range di massa 285-340 MeV
- Nota interna NA62-23-03
- Discussione in corso con referees per pubblicazione articolo

In stretta sinergia con le attività per l'upgrade del RICH di LHCb

## Test in laboratorio:

- Utilizzo di Oscilloscopio di Sezione e Laser acquistato a fine 2022 (con anticipi del 2023).
- I campioni di SiPM e nuovi fototubi attualmente a disposizione del gruppo sono sufficienti per i test di risoluzione temporale previsti nel 2023.



Stiamo valutando se acquistare con l'assegnato 2023 elettronica di alimentazione per SiPM o un nuovo sensore con eccellente risoluzione temporale (**Planacon di Photonis**)

## ➤ **Richieste finanziarie 2024 (sigla RD\_FLAVOUR)**

### **3 kE per acquisto serie di sensori SiPM (Consumo):**

nuovi campioni SiPM e la relativa elettronica di alimentazione/lettura per assemblare un piccolo array che permetta di avviare studi di risoluzione spaziale e cross-talk

## ➤ Richieste a **Servizi di Elettronica e Meccanica** → **vedi LHCb**

CAPITOLO	NOTE	RICHIESTA (k€)
<b>MISSIONI</b>	Missioni Interne (metabolismo 1k€*3.2 FTE)	3
	Missioni Estere (metabolismo riunioni Cern: 1m.u.*3.2 FTE) . 1 m.u.=3.95k€	13
	M.E. Run attività pre-run e post-run (2 persone x 2 settimane, 1 pre-run e 1 fine run = 1 m.u.)	4
<b>1 m.u. 3.95 k€</b>	M.E. Run 26 settimane: 62 turni da fair share ridotti a 10.4 "turni efficaci scalati per turni fatti da expert" (4turni a settimana = 2.6 settimane)	2,5
	M.E. Run 26 settimane: turni esperto on-call (RICH: 50%=13 sett., CHOD: 100%=26 sett.)	38,5
	M.E. Run coordinator (1 persona x 4 settimane = 1 m.u.)	4
	M.E. attività extra run (1 m.u. controllo e manutenzione apparato: TDAQ RICH+CHOD, HV+FE CHOD, 2 settimane CHOD e 1 RICH)	3
	M.E. Co-Project Leader CHOD (Duk 0.5 m.u.)	2
	M.E. Co-Project Leader RICH (Piccini 0.5 m.u.)	2
<b>TOT MISSIONI</b>		<b>72</b>
<b>CONSUMO</b>	Metabolismo (metabolismo 1.5k€*3.2 FTE)	5
	Consumo per manutenzione RICH-TDAQ	3
	Serie di sensori SIPM + elettronica relativa per R&D RICH upgrade	3
<b>TOT CONSUMO</b>		<b>11</b>
<b>TOTALE RICHIESTE</b>		<b>83</b>

## Richieste per 3.2 FTE

Richieste uniformi per tutti i gruppi italiani di NA62 seguendo schema concordato con il RN e i Referees

**Riunione NA62-Italia e Referees il 28 luglio**

### Richieste in Dot.1

M.Pepe membro RRB Scrutiny Group (rinnovo per biennio 2024-2025)

**Nessuna richiesta Servizi**

**Nessuna richiesta risorse**

**Dalla presentazione al SPSC di Maggio 2023:**

## RUN 2

- ❖ Feebly interacting particles searches

## RUN 1

- ❖ Precision measurements: LFUV, Chiral parameters
- ❖ NP direct search: forbidden LNV, LFV kaon decays



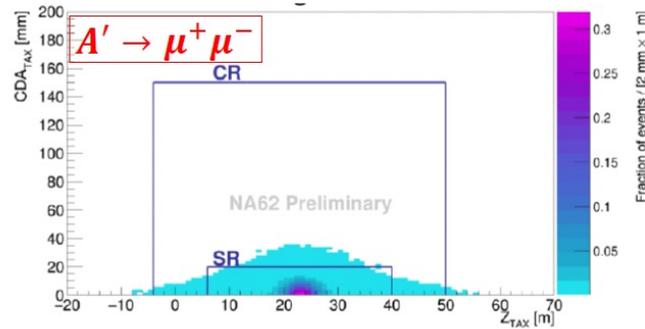
## Dark Photon Search $A' \rightarrow l^+ l^-$ (RUN2)

**Theory:** SM extension in the framework of feebly interacting particle models (FIPs)

**NA62:** Data taken in dump mode in **2021**, exploitation of beam optimization and ANTI0  $\Rightarrow (1.4 \pm 0.3) \times 10^{17}$  PoT

**Analysis:** 2 channels  $\mu^+ \mu^-$ ,  $e^+ e^-$ ; reconstructed  $A'$  compatible with production in dump; blind procedure

### Expected Signal

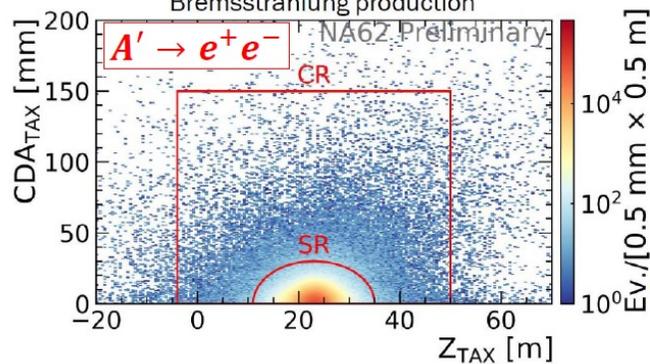


### Expected background

Random time superposition of two uncorrelated muons; data-driven estimation

$$0.016 \pm 0.002$$

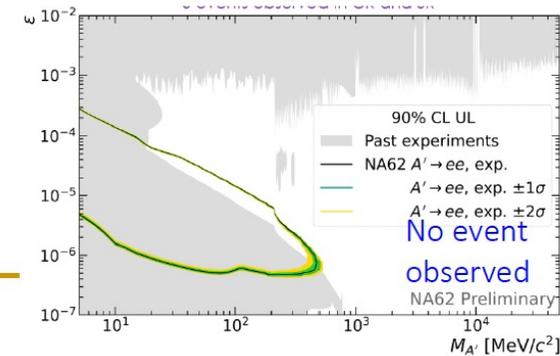
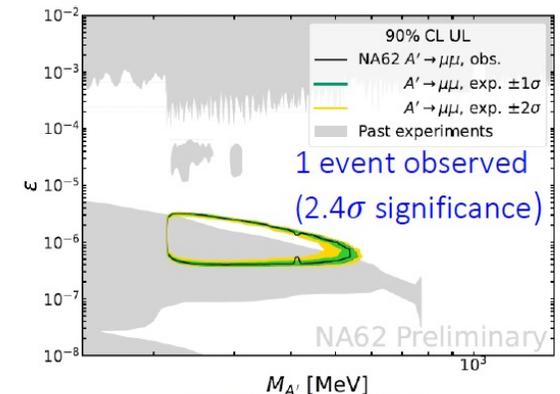
### Bremsstrahlung production



Secondaries of particle's interactions with traversed material ("prompt"); MC-data estimation

$$0.0094^{+0.049}_{-0.009} @ 90\% \text{ CL}$$

### Result



Search for Dark Photon decays to  $\mu^+ \mu^-$  at NA62 arXiv2303.08666 submitted to JHEP

## $K^+ \rightarrow \pi^+ l^+ l^-$ Precision measurement

Form factors (FF)

**Theory:**  $d\Gamma/dz \propto G_F M_K^2 (a + bz) + W^{\pi\pi}(z)$  [ $z = m(l^+l^-)^2/M_K^2$ ] Lepton universality: same  $a, b$  for  $l = e, \mu$

**Goal:** Measurement of FF and  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-)$

**Analysis:** Data RUN 1, almost background-free selection  
normalization  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$   
 $a, b$  from fit  $d\Gamma/dz$

$N_{obs} = 27679$

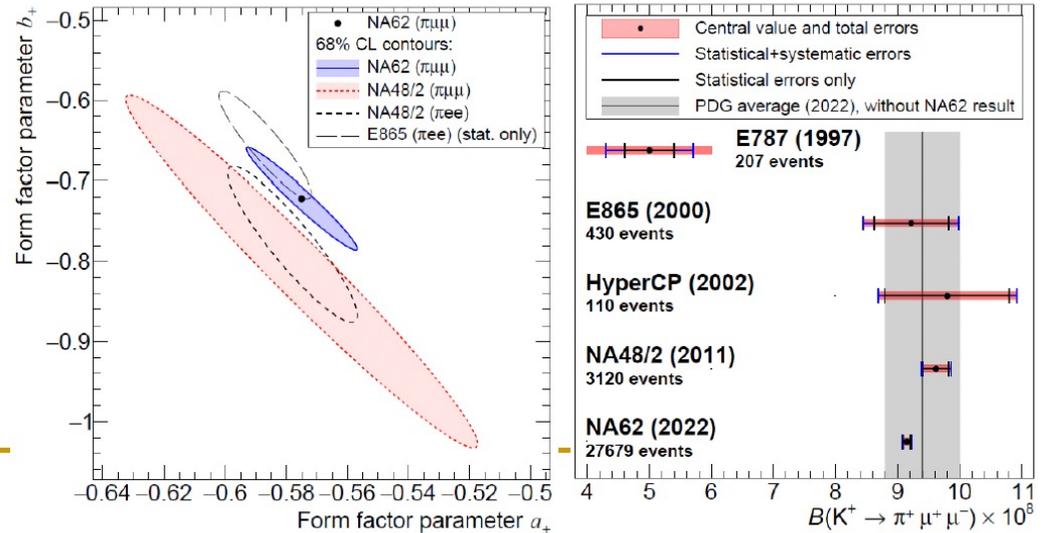
JHEP11(2022)011

$a_+ = -0.575 \pm 0.013$

$b_+ = -0.722 \pm 0.043$

$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \mu^+ \mu^-) = (9.15 \pm 0.08) \times 10^{-8}$

	$\delta a_+$	$\delta b_+$	$\delta \mathcal{B}_{\pi\mu\mu} \times 10^8$
<b>Statistical uncertainty</b>	0.012	0.040	0.06
Trigger efficiency	0.002	0.008	0.02
Reconstruction and particle identification	0.002	0.007	0.02
Size of the simulated $K_{\pi\mu\mu}$ sample	0.002	0.007	0.01
Beam and accidental activity simulation	0.001	0.002	0.01
Background	0.001	0.001	—
<b>Total systematic uncertainty</b>	0.003	0.013	0.03
$K_{3\pi}$ branching fraction	0.001	0.003	0.04
$K_{\pi\mu\mu}$ radiative corrections	0.003	0.009	0.01
Parameters $\alpha_+$ and $\beta_+$	0.001	0.006	—
<b>Total external uncertainty</b>	0.003	0.011	0.04



10/05/2023

## $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ Precision measurement

**Theory:** Test of Chiral Perturbation Theory,  $d\Gamma/(dydz)$  depends on the chiral parameter  $\hat{c}$  [  $z = m(\gamma\gamma)^2/M_K^2$   
[  $y = p_K(p_{\gamma 1} - p_{\gamma 2})/M_K^2$  ]

**Goal:** Measurement of  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma)$  and  $\hat{c}$

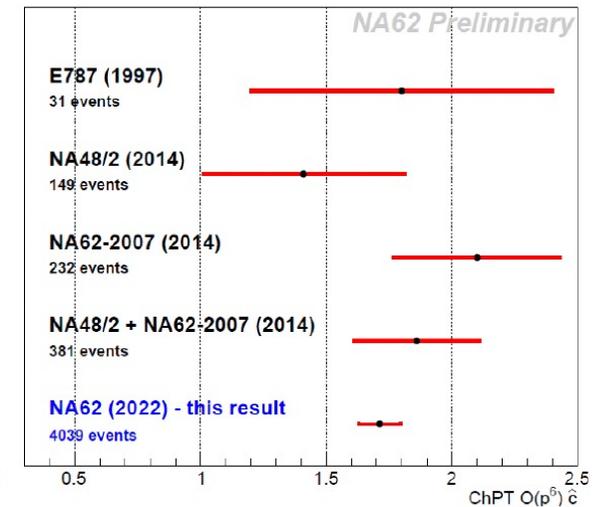
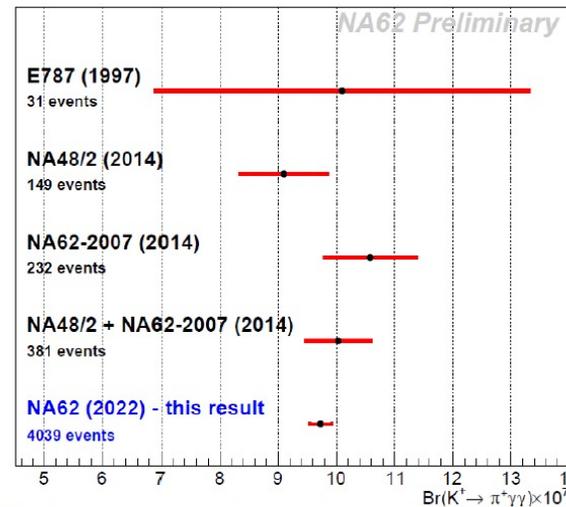
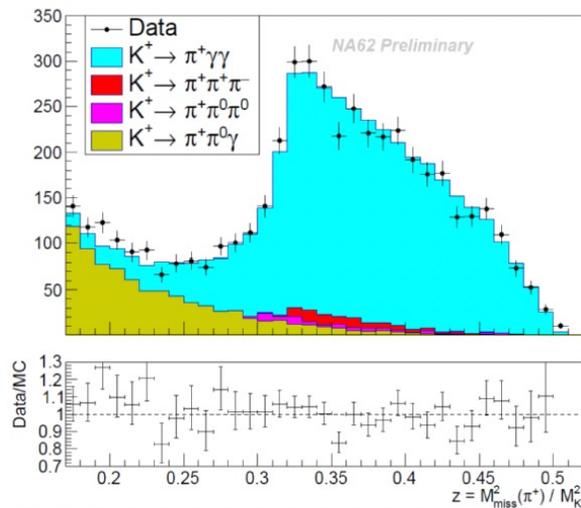
**Analysis:** Data RUN 1,  $\sim 10\%$  background  
normalization  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$   
 $\hat{c}$  from  $d\Gamma/(dydz)$

KAON2022

$$N_{obs} = 4039 \quad N_{bkg} = 393 \pm 20$$

$$\hat{c} = 1.713 \pm 0.075_{stat} \pm 0.037_{syst}$$

$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma) = (9.73 \pm 0.17_{stat} \pm 0.08_{syst}) \times 10^{-7}$$



## LNV and LFV decays in RUN1

**Theory:** decays forbidden by SM because violate Lepton number and/or flavour  
direct search of NP: Majorana neutrino (LNV), Leptonquark (LFV)

**NA62:** Run1 data; several channels studied

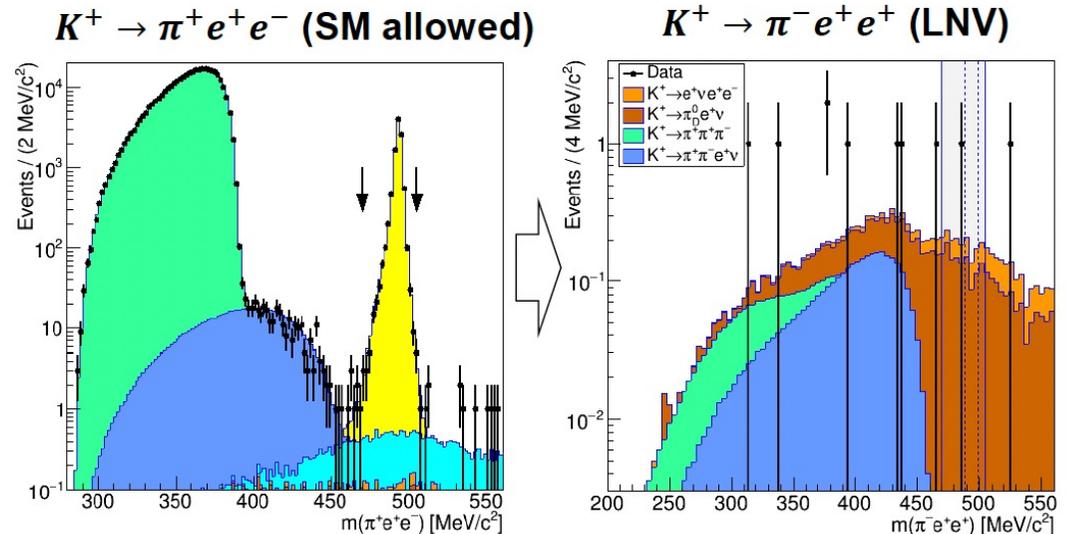
**Analysis:** Most recent results (90% CL)

- $K^+ \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^+$
- $K^+ \rightarrow \mu^- \nu e^+ e^+$
- $K^+ \rightarrow \pi^- e^+ e^+$
- $K^+ \rightarrow \pi^- \pi^0 e^+ e^+$
- $K^+ \rightarrow \pi^\mp \mu^\pm e^+$
- $\pi^0 \rightarrow \mu^- e^+$

$BR(K^+ \rightarrow \mu^- \nu e^+ e^+) < 8.1 \times 10^{-11}$  ( $\times 4$  better)  
PLB838(2022)137679

$BR(K^+ \rightarrow \pi^- e^+ e^+) < 5.3 \times 10^{-11}$  ( $\times 200$  better)  
PLB830(2022)137172

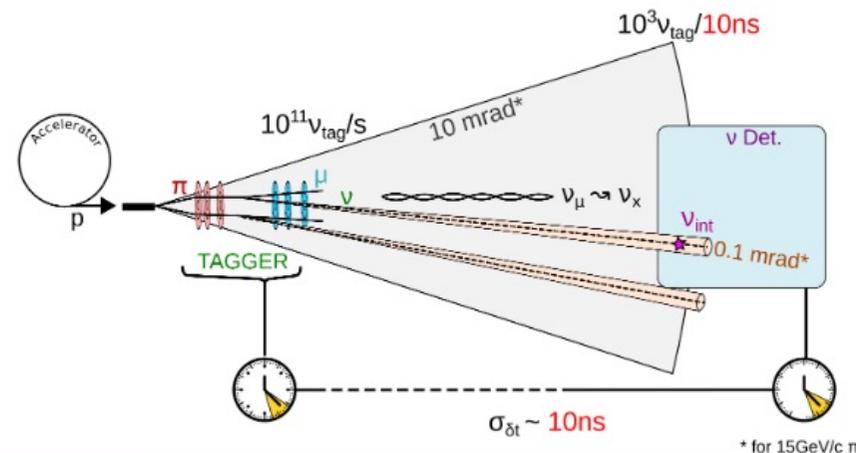
$BR(K^+ \rightarrow \pi^- \pi^0 e^+ e^+) < 8.5 \times 10^{-11}$  (first search)  
PLB830(2022)137172



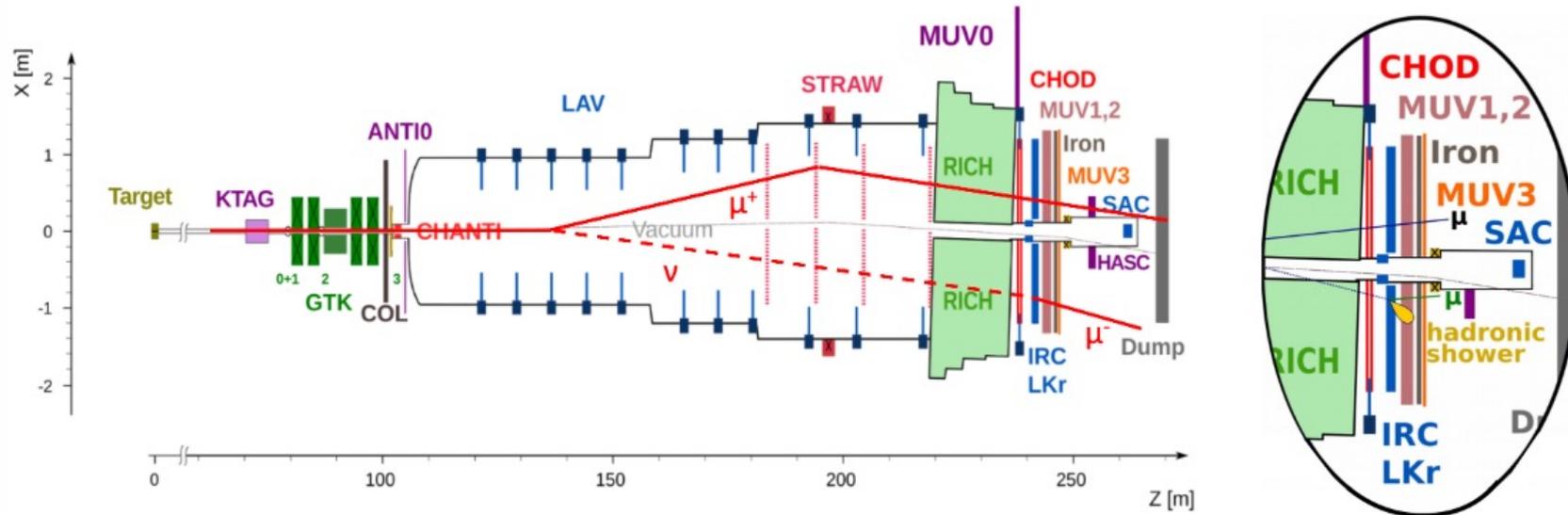
# SPARES

# Context: neutrino tagging

- Neutrino Tagging: method for **accelerator based neutrino experiments** that consists in instrumenting a beam line with silicon trackers
- each neutrino originating from a  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  decay can be reconstructed based on simple kinematic relations from the decay incoming and outgoing charged particles
- The neutrinos interacting in the neutrino detector can be unambiguously matched with one neutrino reconstructed by the tracker based on time and angular associations
- Main advantages:
  - improved energy resolution: one order of magnitude better than reconstruction based on neutrino interaction (DUNE, T2HK)
  - improved beam knowledge
- → reduce the systematic uncertainties in neutrino oscillation studies



# Feasibility study at NA62



- NA62 data can be used to demonstrate the feasibility of this technique
- Goal: search for  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$  with the neutrino interacting in the calorimeters
- The neutrino interacts via a Charged Current interaction, that creates:
  - a second muon
  - an hadronic shower
- Trigger line deployed in 2018, refined in 2021 and 2022