

# Prima osservazione del decadimento $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ con l'esperimento NA62

Ilaria Rosa, Scuola Superiore Meridionale (a nome della collaborazione NA62)

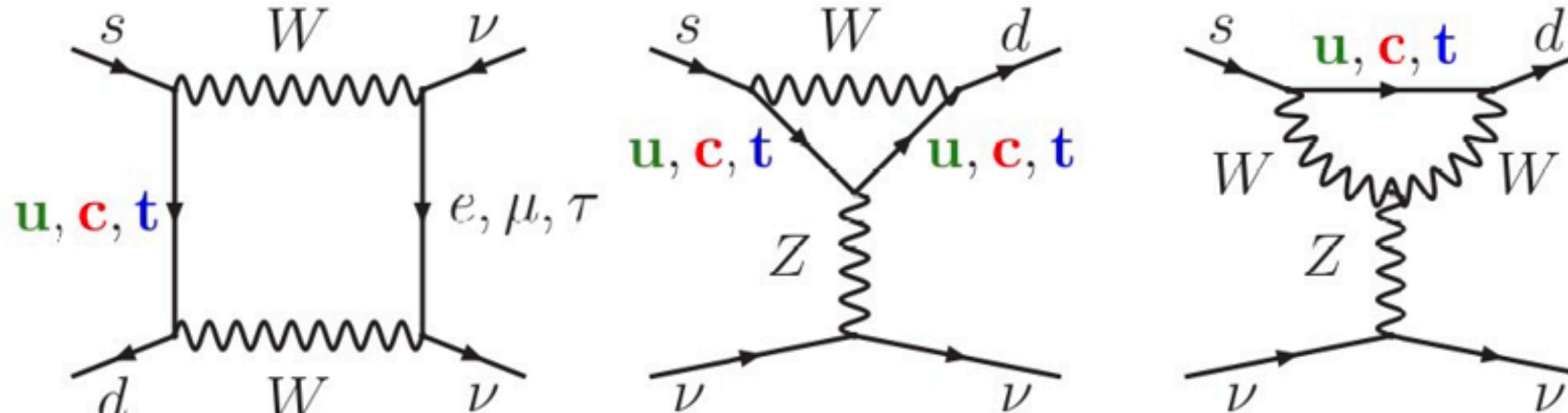
11 aprile 2025

IFAE 2025, Cagliari



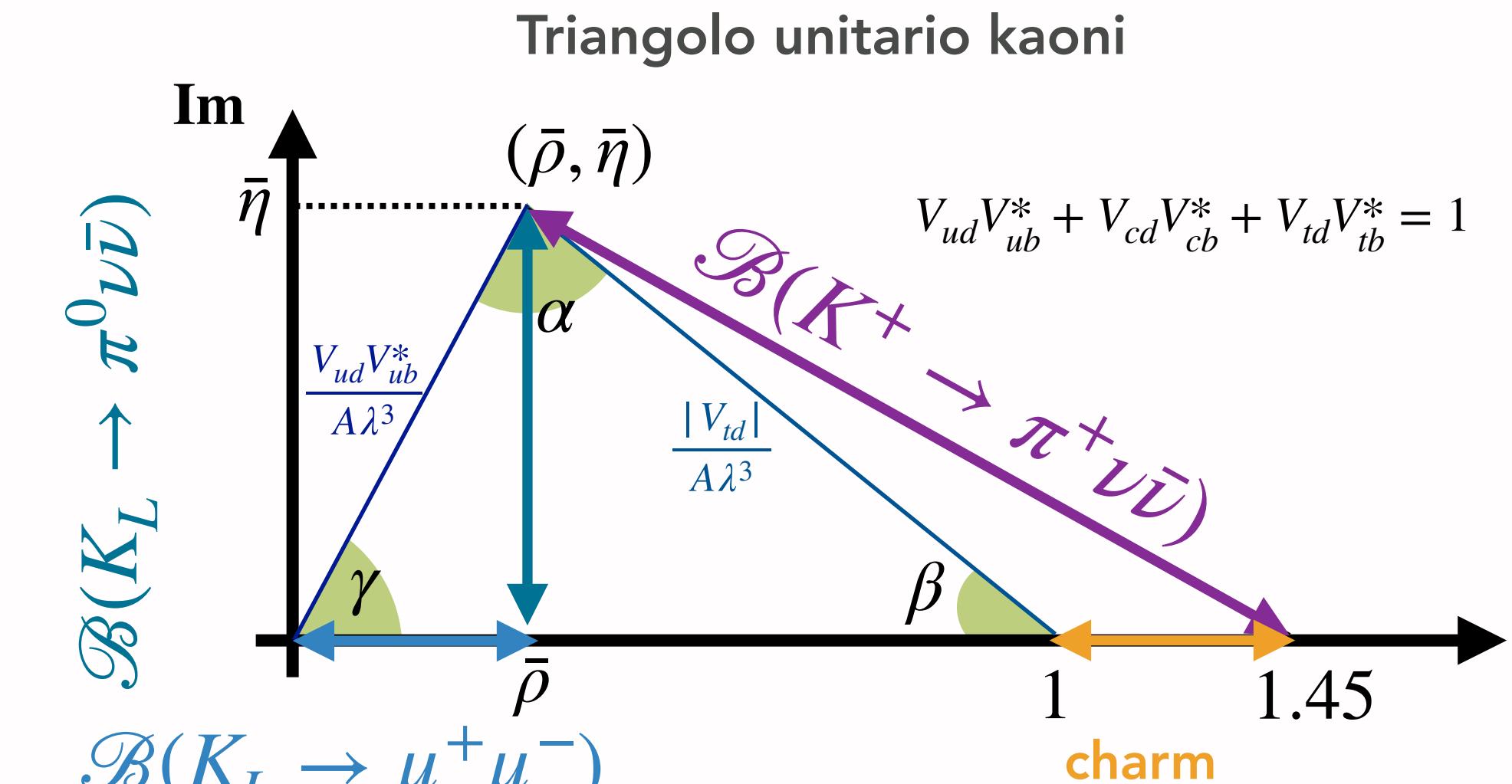
# $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ come test del Modello Standard

SM: diagrammi Z-penguin & box



- $\mathcal{B}(K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu})$  altamente soppresso nel SM
  - Meccanismo GIM & soppressione CKM (transizione  $s \rightarrow d$ ):  $\sim \frac{m_t}{m_W} |V_{ts}^* V_{td}|$

- Teoria molto pulita  $\Rightarrow$  predizioni SM altamente precise:
  - Dominato da contributi a corta distanza.
  - Elementi matrice adronica estratti dai decadimenti  $\mathcal{B}(K \rightarrow \pi^0 \ell^+ \nu_\ell)$  attraverso una rotazione di isospin.

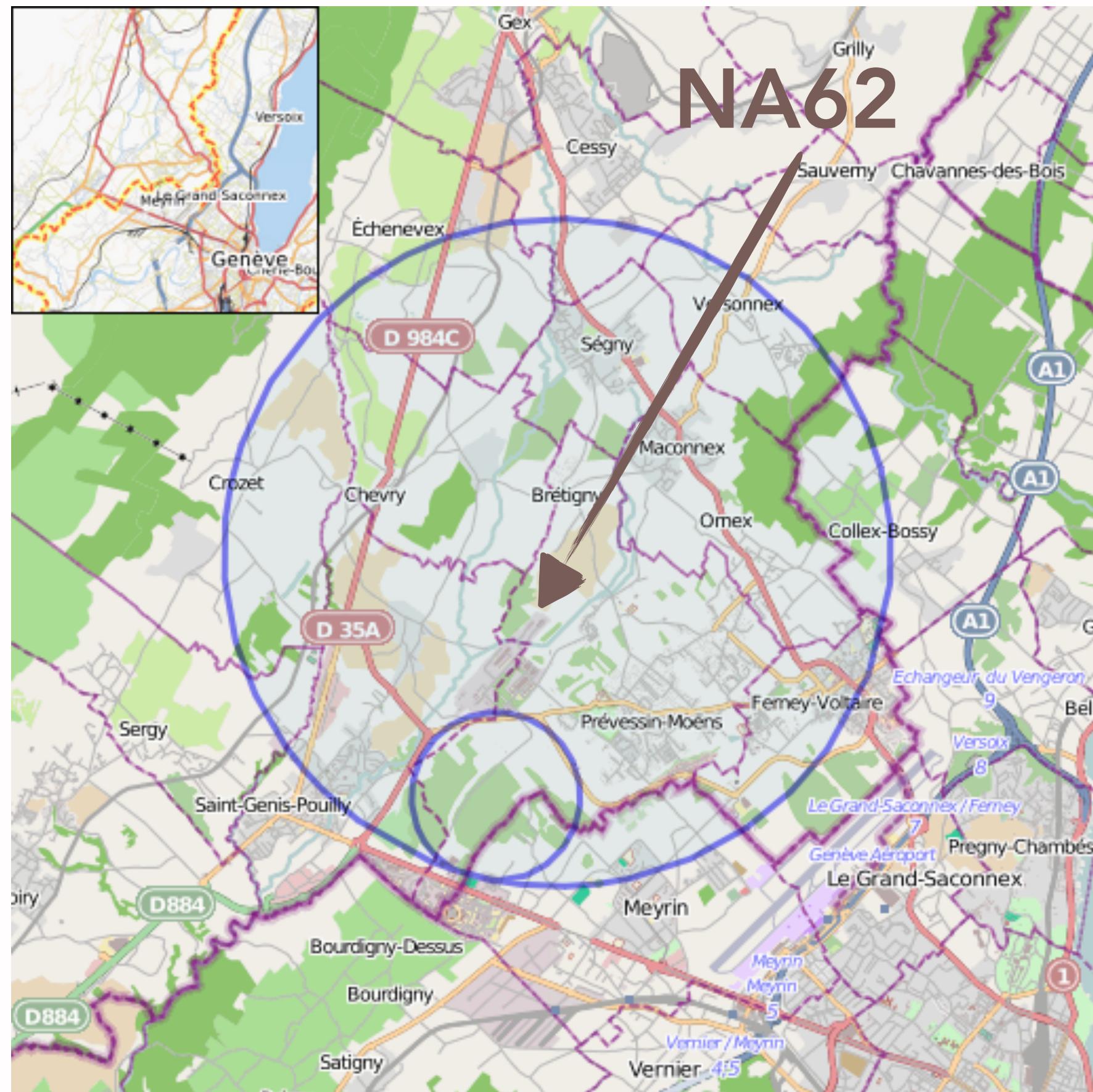


Decadimento	SM Branching Ratio [1]	SM Branching Ratio [2]	Stato dell'arte sperimentale
$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$	$(8.60 \pm 0.42) \times 10^{-11}$	$(7.86 \pm 0.61) \times 10^{-11}$	$(10.6 \pm 4.0) \times 10^{-11}$ NA62 16-18
$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$	$(2.94 \pm 0.15) \times 10^{-11}$	$(2.68 \pm 0.30) \times 10^{-11}$	$< 2 \times 10^{-9}$ KOTO (2021 data)

Recent SM calculations [1:[Buras et al. EPJC 82 \(2022\) 7, 615](#)] [2:[D'Ambrosio et al. JHEP 09 \(2022\) 148](#)]

(Differences in SM calculations from choice of CKM parameters: see [[Eur.Phys.J.C 84 \(2024\) 4, 377](#)])

# Una fabbrica di kaoni al CERN



- ▶ Fascio dal SPS: **protoni a 400 GeV/c** su bersaglio di Be
- ▶ 75 GeV/c fascio secondario di adroni (70%  $\pi$ , 24%  $p$  e **6%  $K$** )
- ▶ **Decadimento in volo:** decadimenti dei kaoni in una regione lunga 60 m

Lo scopo principale di NA62 è studiare il processo FCNC  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

**Teoria**  
[arXiv:2109.11032]

$$\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (8.60 \pm 0.42) \times 10^{-11}$$

**NA62**  
[JHEP06(2021)093]  
[JHEP02(2025)191]

$$\mathcal{B}_{2016-2022}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (13.0_{-2.7}^{+3.0} |_{stat} {}^{+1.3}_{-1.3} |_{syst}) \times 10^{-11}$$

Scala temporale esperimento NA62:

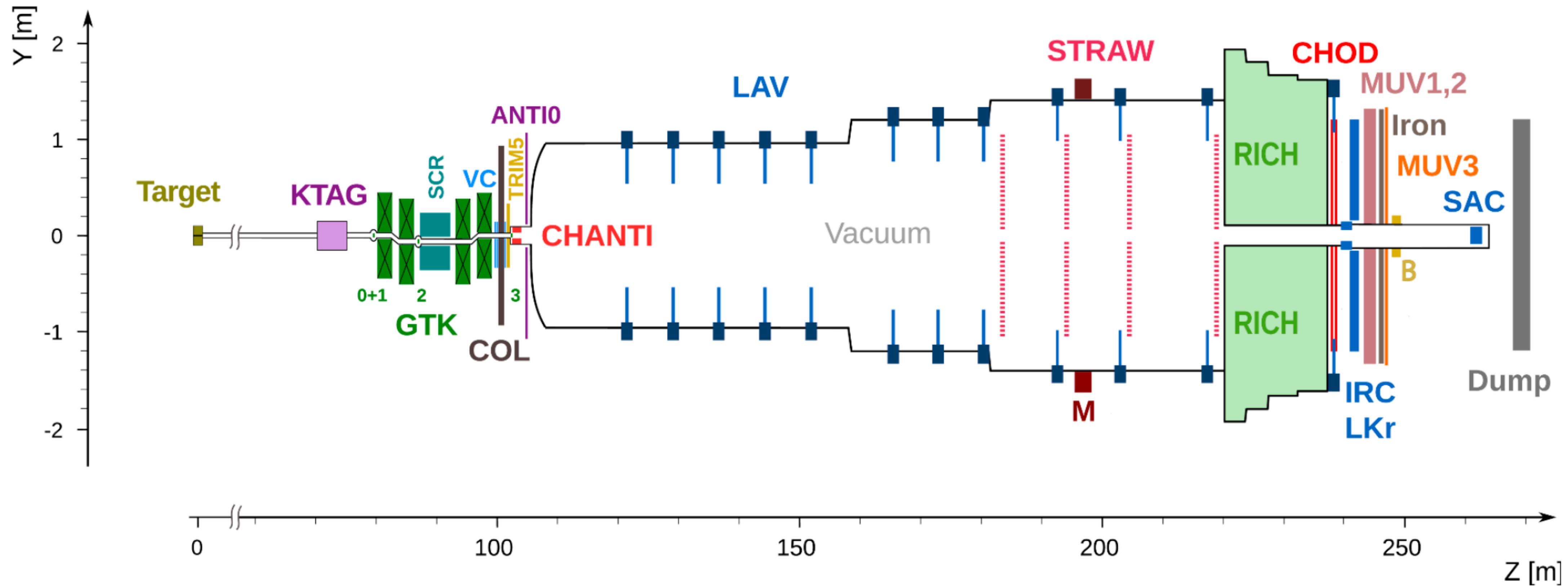
2009-2014  
R&D del detector  
Installazione

2016-2018  
Run1

2019-2021  
LS2 upgrade

2021-2026  
Run 2

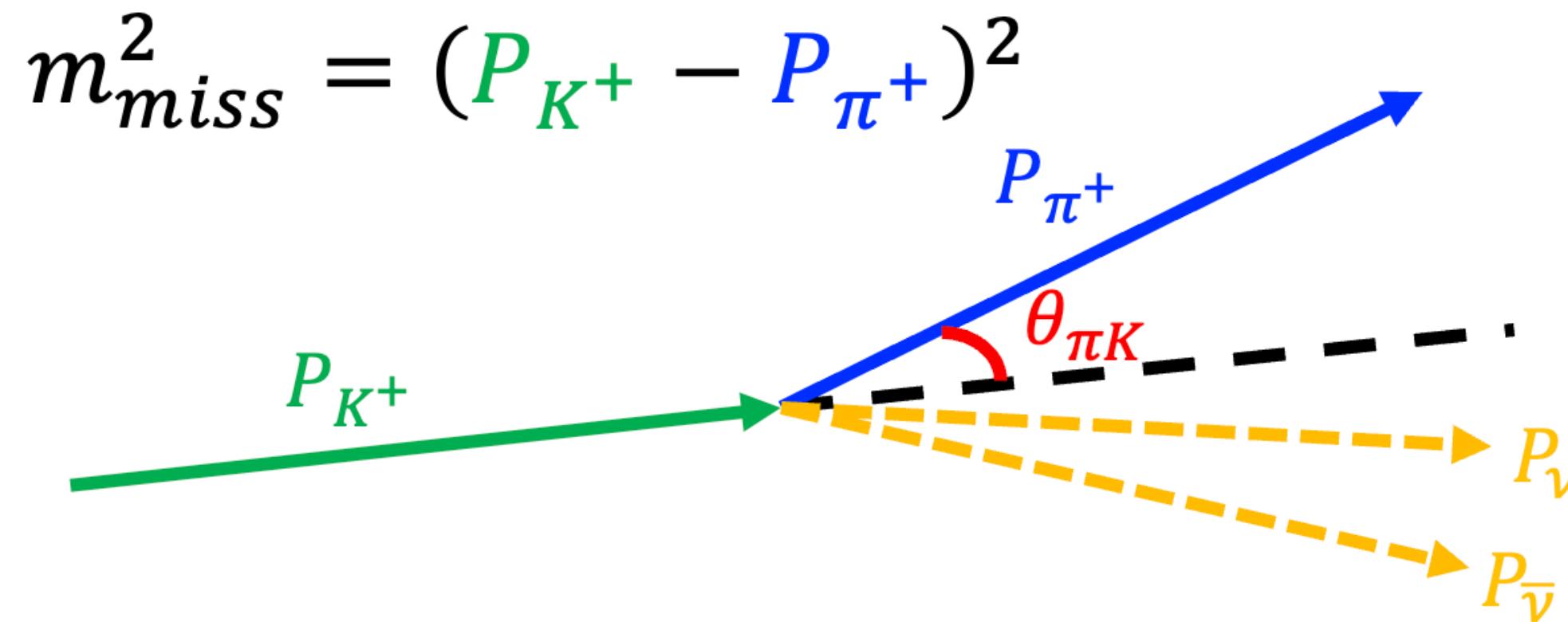
# Panoramica del detector



→ Disegnato & ottimizzato per lo studio del decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ :

- **Tracciamento delle particelle:** particelle del fascio (GTK) & tracce downstream (STRAW)
- **PID:**  $K^+$  - KTAG,  $\pi^+$  - RICH, Calorimetri (LKr, MUV1,2), MUV3 ( $\mu$  detector)
- **Sistemi di veto:** CHANTI (interazioni con il fascio), LAV,LKr,IRC,SAC ( $\gamma$ )

# $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ con l'esperimento NA62



## Punti chiave della performance di NA62

- $\mathcal{O}(100)$  ps timing tra rivelatori
- $\mathcal{O}(10^4)$  soppressione cinematica dei fondi
- $> 10^7$  reiezione di muoni
- $> 10^7$  reiezione di  $\pi^0$  da decadimenti  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$

## Strategia NA62

- Tag  $K^+$  e misura impulso.
- Identificazione  $\pi^+$  e misura impulso.
- Match  $K^+$  e  $\pi^+$  temporale e formazione vertice.
  - Determinazione  $m_{miss}^2 = (P_K - P_\pi)^2$
- Reiezione di qualunque attività extra.

Decay mode	Branching Ratio [PDG]
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$	$(63.56 \pm 0.11)\%$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$(20.67 \pm 0.08)\%$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$(5.583 \pm 0.024)\%$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu_e$	$(4.247 \pm 0.024) \times 10^{-5}$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu} \quad (8.60 \pm 0.42) \times 10^{-11} \quad [\text{SM}]$$

Buras et al. EPJC 82 (2022) 7, 615

# Signal sensitivity

## Numero efficace di decadimenti $K^+$ , $N_K$

Canale di normalizzazione:  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ , range di impulso  $p \in [15,45] \text{ GeV}/c$ .

$$N_K = \frac{N_{\pi\pi} D_0}{\mathcal{B}_{\pi\pi} A_{\pi\pi}}$$

Diagramma che mostra le variabili che influenzano il numero efficace di decadimenti  $N_K$ :

- Numero di eventi di normalizzazione
- Fattore di downscaling del trigger di normalizzazione (generalmente 400)
- Branching ratio del decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$
- Accettanza della selezione di normalizzazione

## Single event sensitivity

(Branching ratio corrispondente ad un evento atteso)

$$\mathcal{B}_{SES} = \frac{1}{N_K \epsilon_{RV} \epsilon_{trig} A_{\pi\nu\bar{\nu}}}$$

Diagramma che mostra le variabili che influenzano la single event sensitivity  $\mathcal{B}_{SES}$ :

- Efficienza random veto
- Efficienza di trigger (rapporto)
- Accettanza della selezione di segnale

## Numero di eventi SM attesi

(Per comparare con il precedente risultato viene usato  $\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM} = 8.4 \times 10^{-11}$  [JHEP 11 (2015) 166], ma il risultato è indipendente da questa scelta)

$$N_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM} = \frac{\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM}}{\mathcal{B}_{SES}}$$

# Risultati della signal sensitivity

$$N_K = \frac{N_{\pi\pi} D_0}{\mathcal{B}_{\pi\pi} A_{\pi\pi}}$$

$$\mathcal{B}_{SES} = \frac{1}{N_K \epsilon_{RV} \epsilon_{trig} A_{\pi\nu\bar{\nu}}}$$

$N_{\pi\pi}$	Normalisation $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$2.0 \times 10^8$
$A_{\pi\pi}$	Normalisation acceptance	$(13.410 \pm 0.005)\%$
$N_K$	Effective $K^+$ decays	$2.9 \times 10^{12}$
$A_{\pi\nu\bar{\nu}}$	Signal acceptance	$(7.6 \pm 0.2)\%$
$\epsilon_{trig}$	Trigger efficiency	$(85.9 \pm 1.4)\%$
$\epsilon_{RV}$	Random veto efficiency	$(63.6 \pm 0.6)\%$
$\mathcal{B}_{SES}$	Single event sensitivity	$(0.84 \pm 0.03) \times 10^{-11}$

Le tabelle mostrano gli integrali (15–45 GeV/c, 2021+22).

\* Accettanze valutate a intensità 0 (dipendenza contenuta in  $\epsilon_{RV}$ )

$$N_{\pi\nu\bar{\nu}}^{exp} = \frac{\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM}}{\mathcal{B}_{SES}}$$

Assumendo  $\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM} = 8.4 \times 10^{-11}$ :

2021–22:  $N_{\pi\nu\bar{\nu}} = 10.00 \pm 0.34$

c.f. 2016–18 :  $N_{\pi\nu\bar{\nu}} = 10.01 \pm 0.42$



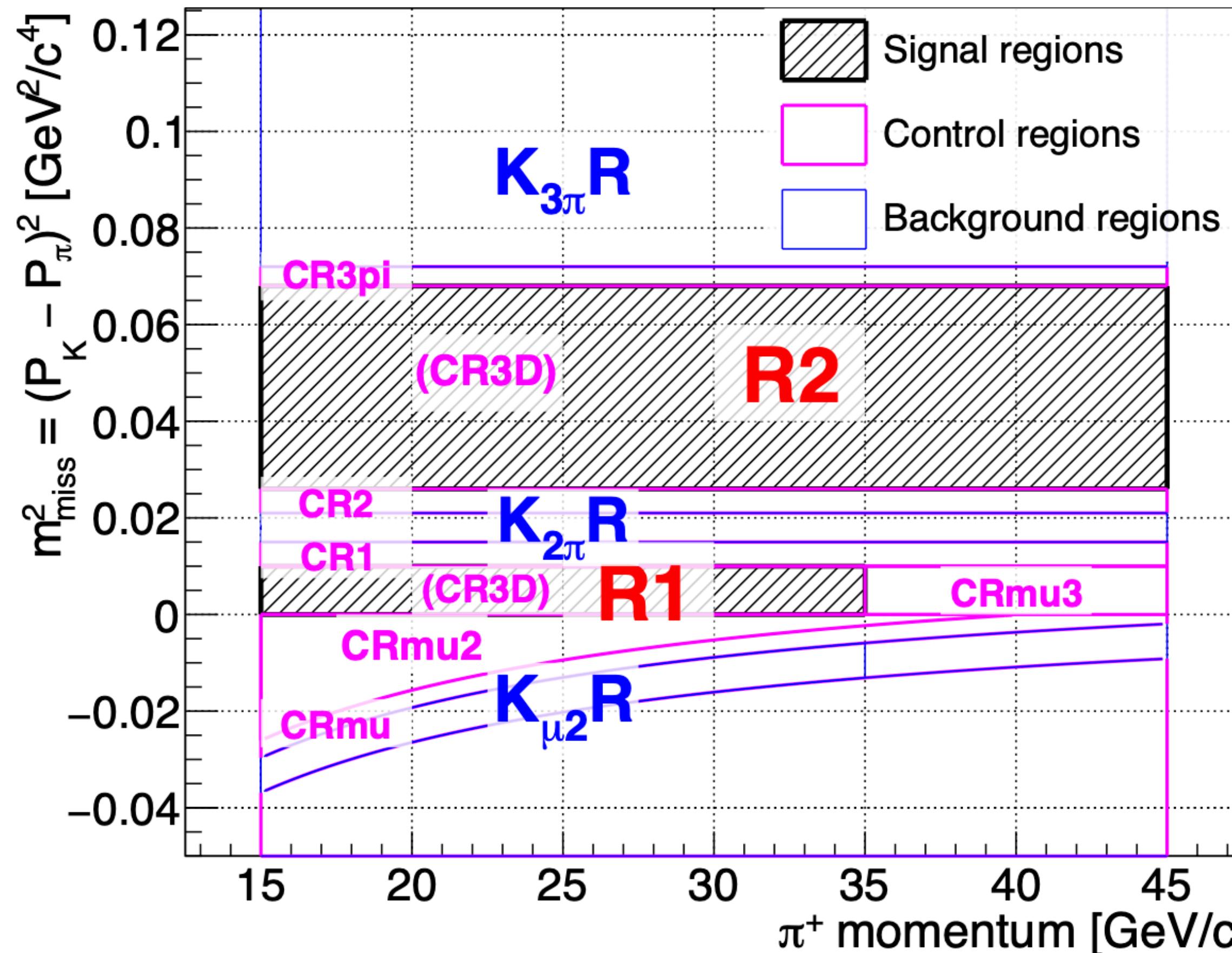
Raddoppiati gli eventi attesi  
includendo i dati 21–22.

→ Significativi miglioramenti nell'incertezza della SES:

→ vecchia: 6.3% → nuova: 3.5%. Grazie a:

- cancellazioni nell'efficienza di trigger
- miglioramenti nelle procedure per la valutazione delle accettante e di  $\epsilon_{RV}$

# Regioni di background & stime del background



Background dalle code cinematiche  
ricostruite erroneamente in  $m_{\text{miss}}^2$

Numero di eventi che passano  
la selezione di segnale nelle  
regioni di background

$$N_{bg} = N_{bkgR} \cdot f_{tail} = N_{bkgR} \cdot \frac{N_{CS}}{N_{bkgR}}$$

Kinematic tail fraction: misurata in  
campioni di controllo

Eventi di controllo nella  
regione di segnale

Eventi di controllo nella  
regione di background

$$N_{bg}(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0(\gamma)) = 0.83 \pm 0.05$$

$$N_{bg}(K^+ \rightarrow \mu^+\nu) = 0.9 \pm 0.2$$

$$N_{bg}(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-) = 0.11 \pm 0.03$$

# Valutazione upstream background

$$N_{bg} = \sum_i N_i f_{cda} P_i^{match}$$

$N$  Upstream Reference Sample:  
Selezione di segnale con taglio sul CDA  
invertito ( $CDA > 4\text{mm}$ )

$f_{cda}$  Fattore di scala: cattivo CDA → buono CDA

$P_{match}$  Probabilità di passare matching  $K^+ - \pi^+$

Calcolati usando bin (i) di  $(\Delta T_+, N_{GTK})$

[Procedura completamente data-driven]

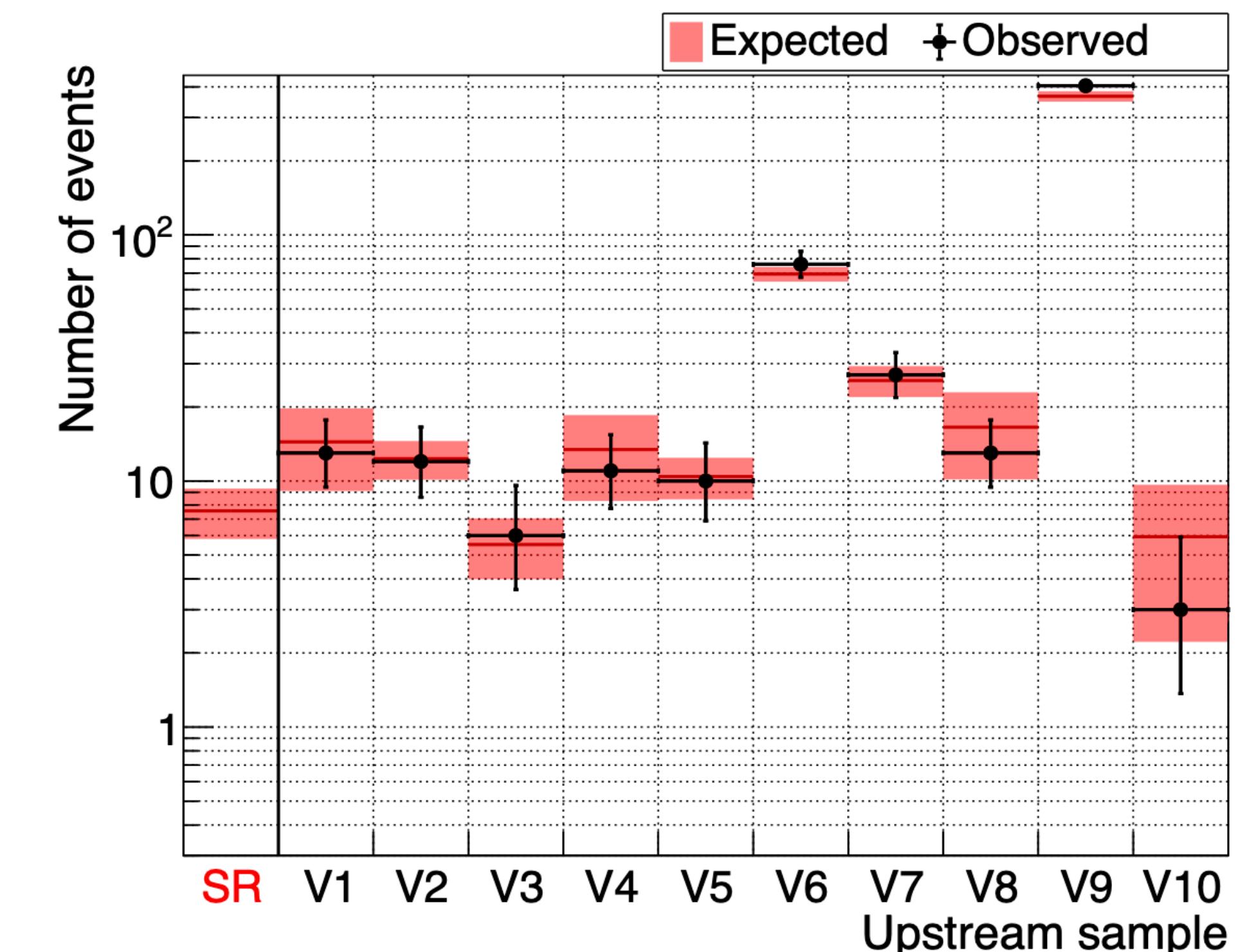
$N = 51$  fornisce la normalizzazione

$f_{CDA} = 0.20 \pm 0.03$  dipende solo dalla geometria

$\langle P_{match} \rangle = 73\%$  dipende da  $(\Delta T_+, N_{GTK})$

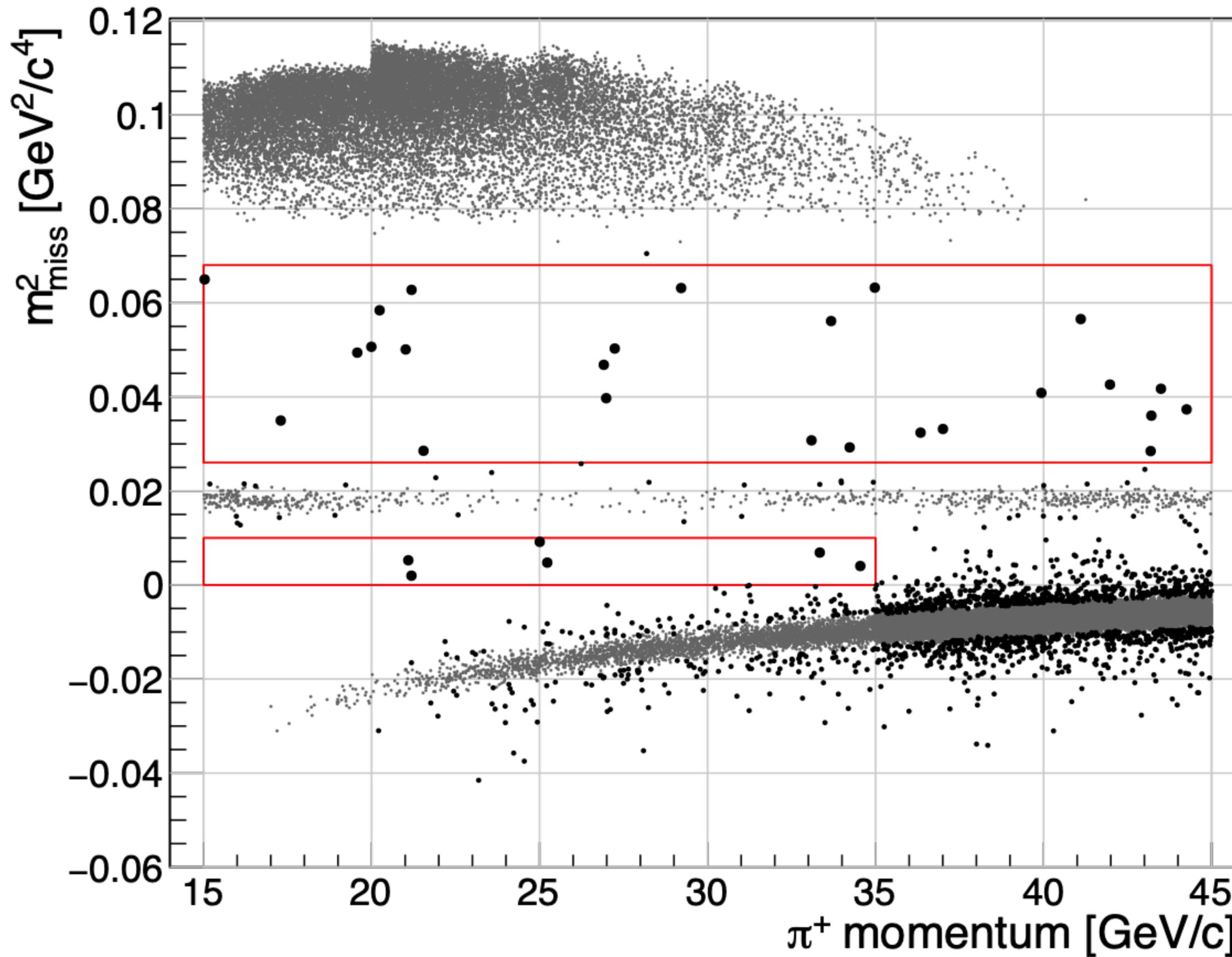
$$N_{bg}(\text{Upstream}) = 7.4^{+2.1}_{-1.8}$$

- ➡ Invertire e allentare i veto upstream per arricchire i campioni con differenti meccanismi:
  - interaction-enriched: Val1,2,7,8
  - accidental-enriched: Val3,4,5,6,9,10
  - tutti indipendenti.
- ➡ Valori attesi e osservati sono in buon accordo.



# Regioni di segnale

Dati 2021—22

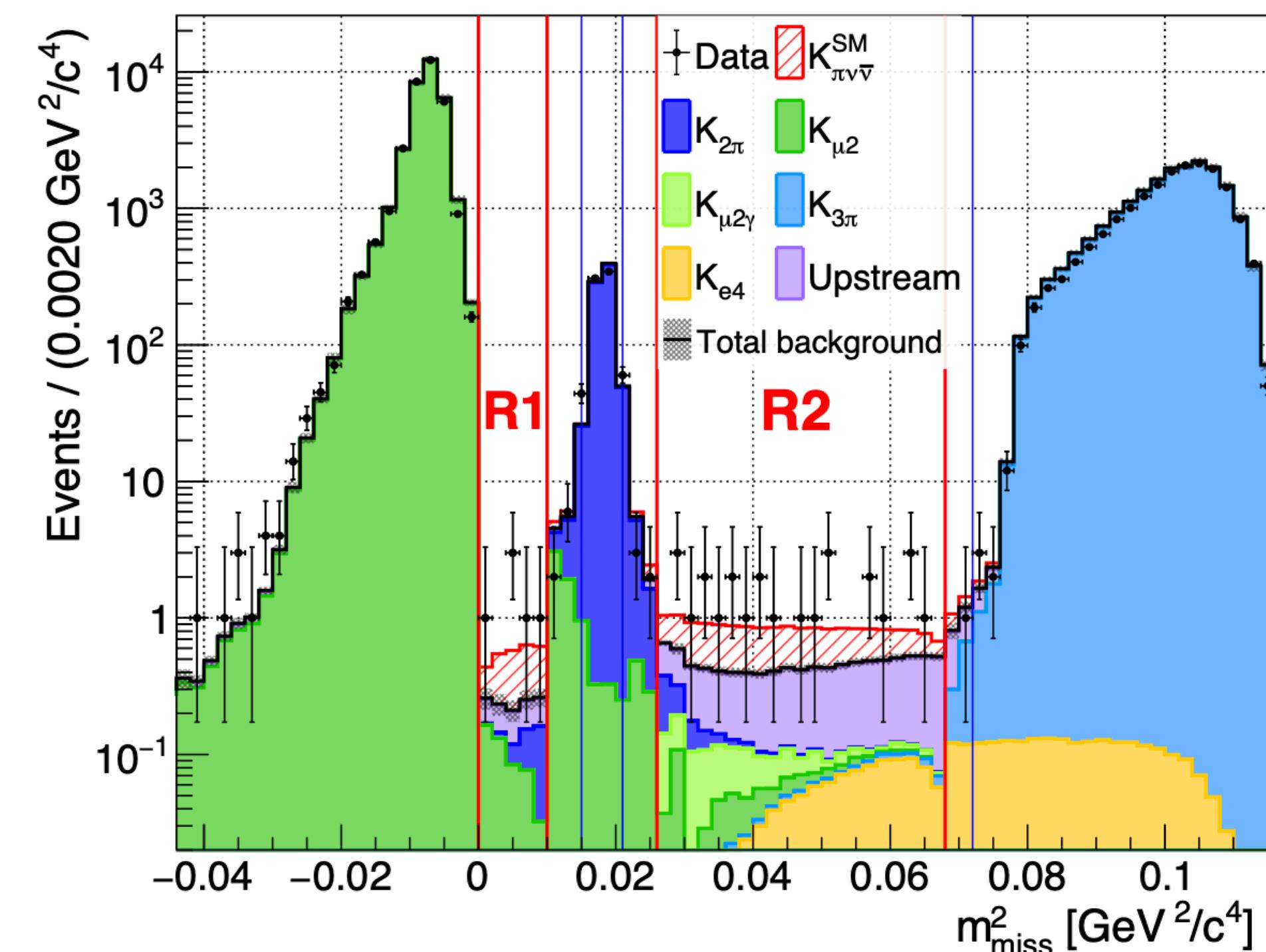


Segnali SM attesi,  $N_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM} \approx 10$

Background atteso,  $N_{bg} = 11.0^{+2.1}_{-1.9}$

Osservati,  $N_{obs} = 31$

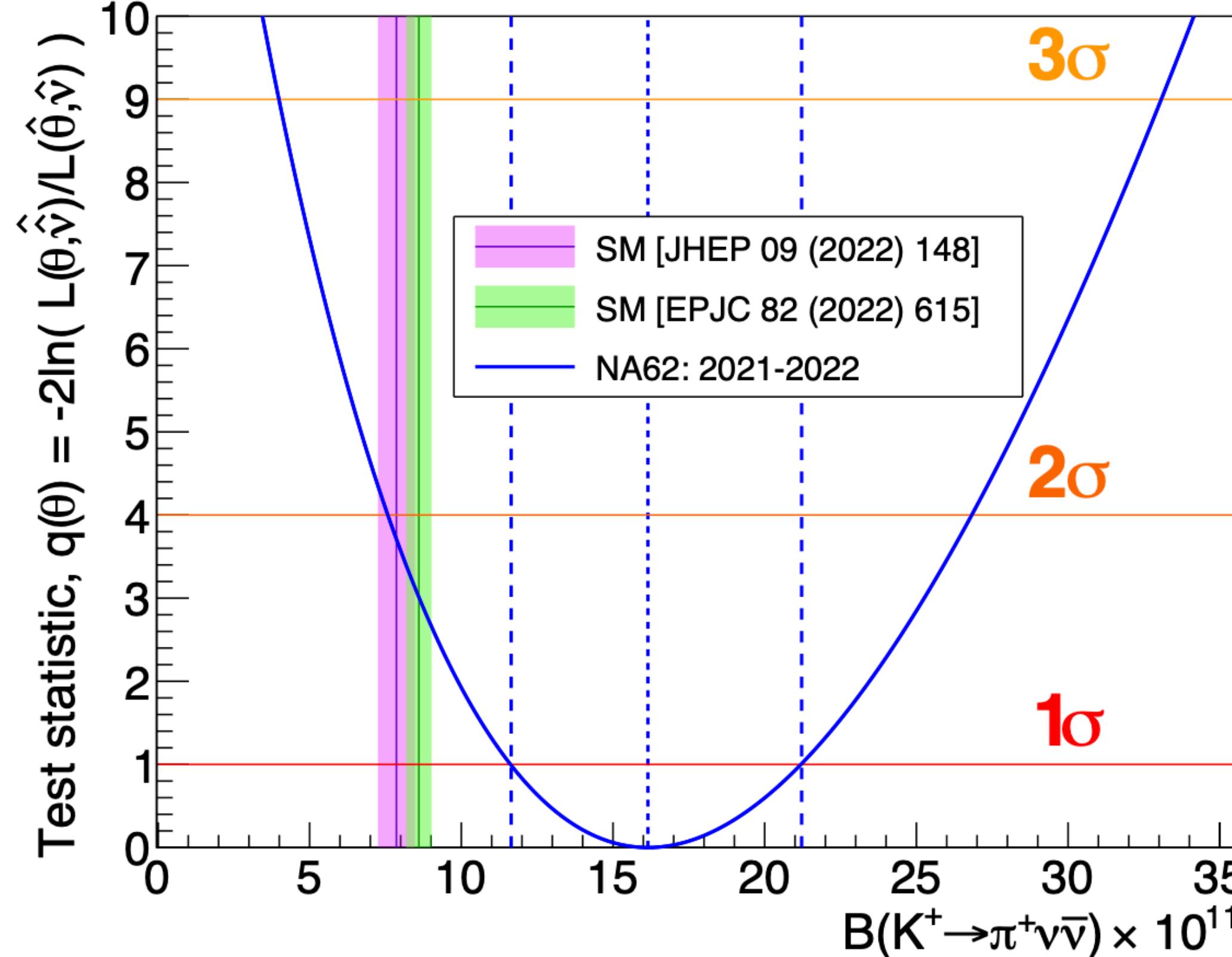
proiezione 1D differential background predictions & SM signal expectation [non è un fit]:



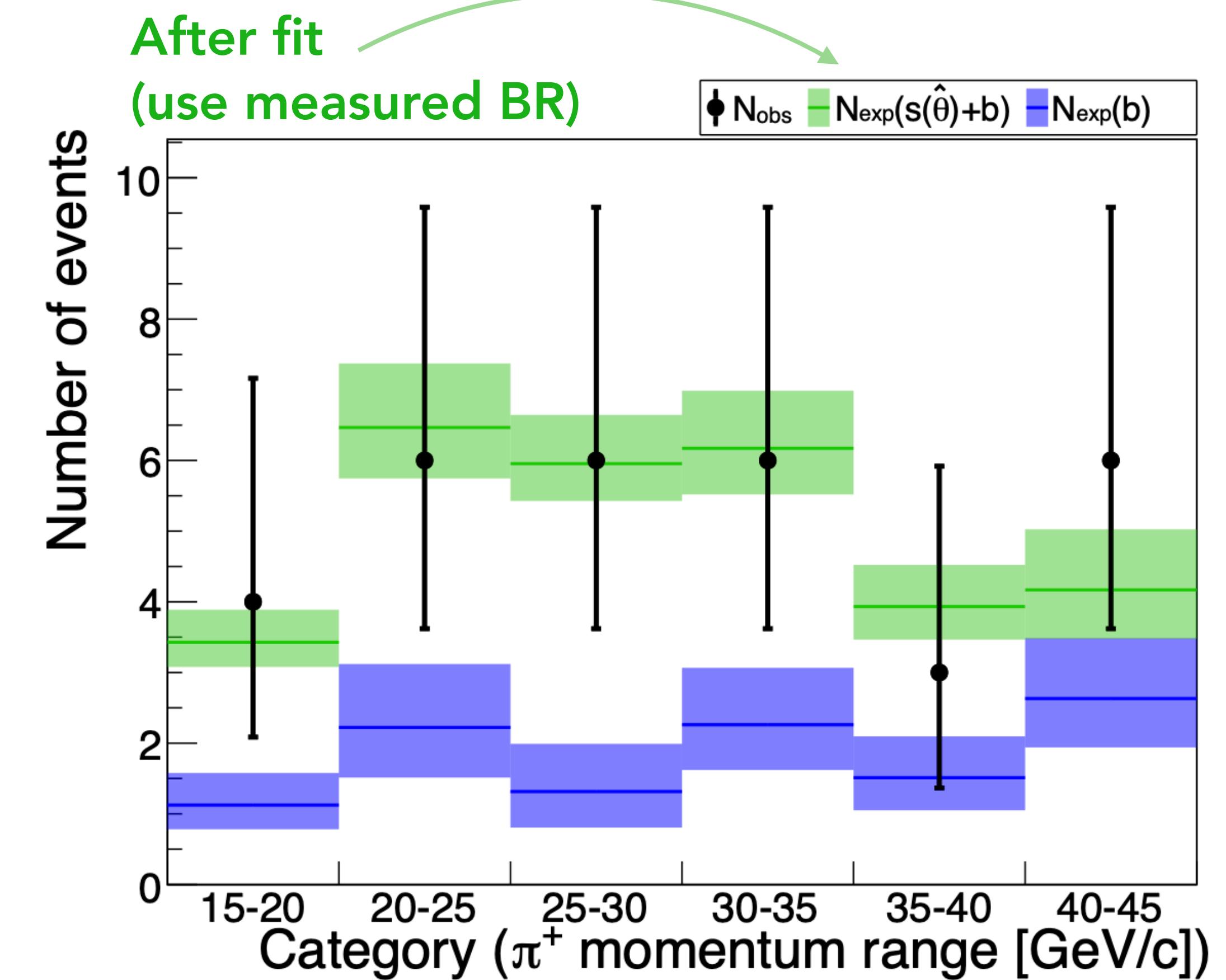
10

# Risultati: dati 2021–2022

Misura del  $\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}$  e del 68% ( $1\sigma$ ) intervallo di confidenza  
usando un test statistico profile likelihood ratio  $q(\theta)$



Uso di 6 differenti categorie di impulso



$$\mathcal{B}_{21-22}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (16.0^{+5.0}_{-4.5}) \times 10^{-11} = \left( 16.0 \left( {}^{+4.8}_{-4.2} \right)_{\text{stat}} \left[ {}^{+1.4}_{-1.3} \right]_{\text{syst}} \right) \times 10^{-11}$$

# Risultati in sintesi

Esperimento BNL E787/E949  
[Phys.Rev.D 79 (2009) 092004]

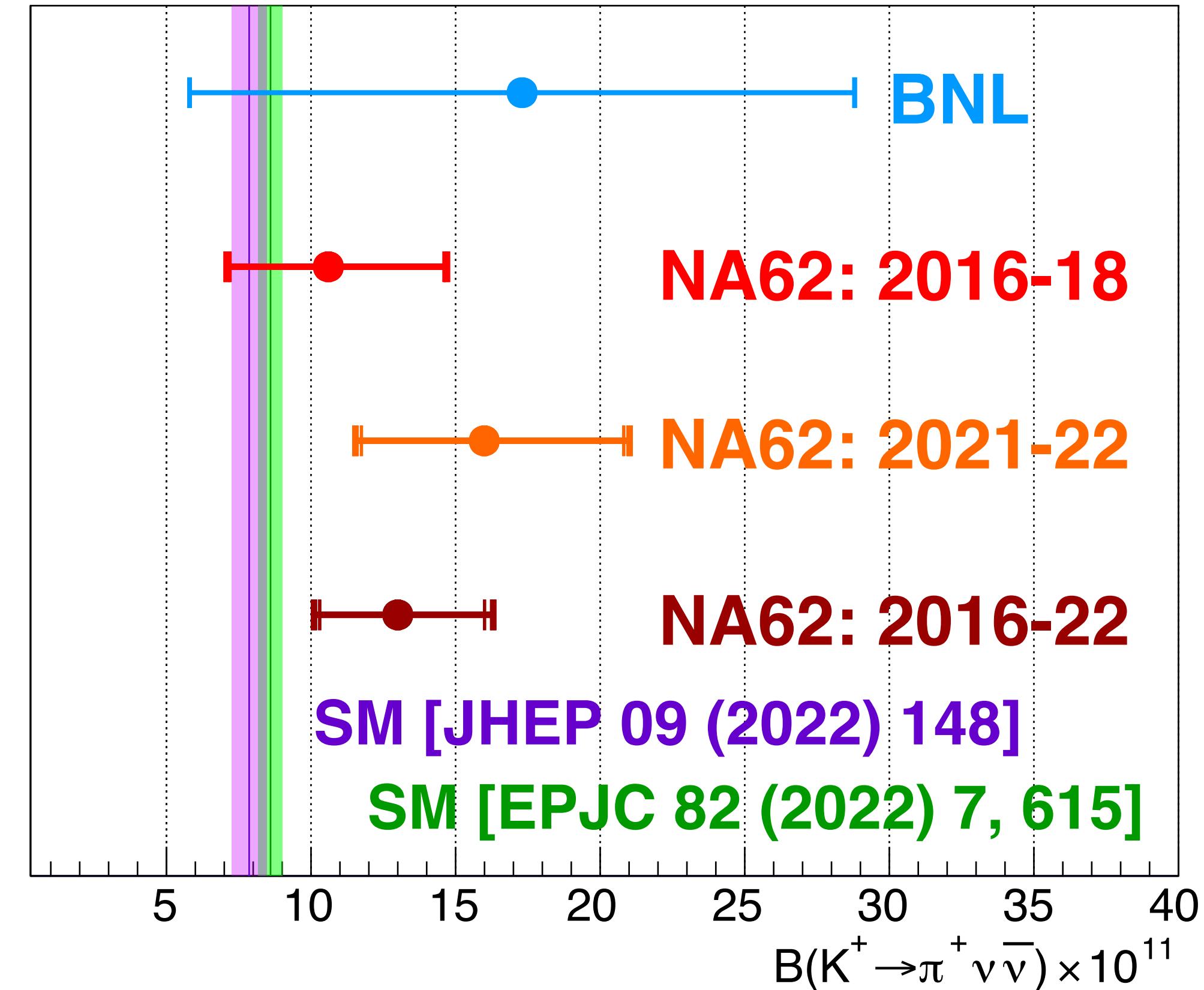
$$\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{16-18} = (10.6_{-3.5}^{+4.1}) \times 10^{-11}$$

[JHEP 06 (2021) 093]

$$\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{21-22} = (16.0_{-4.5}^{+5.0}) \times 10^{-11}$$

$$\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{16-22} = (13.0_{-2.9}^{+3.3}) \times 10^{-11}$$

- ▶ I risultati di NA62 sono consistenti
- ▶ Signal yield aumentata del 50%
- ▶ Il valore centrale è aumentato (ora  $1.5-1.7\sigma$  oltre il SM)
- ▶ Incertezza relativa diminuita: da 40% a 25%
- ▶ Ipotesi Bkg-only rigettata con una significanza **Z>5**



# Conclusioni

- ▶ Nuovo studio del decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  usando il dataset NA62 2021—22:
  - Signal yield per SPS spill migliorata del 50%.
  - $N_{bg} = 11.0^{+2.1}_{-1.9}$ ,  $N_{obs} = 31$
  - $\mathcal{B}_{21-22}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (16.0^{+5.0}_{-4.5}) \times 10^{-11} = \left( 16.0 \left( {}^{+4.8}_{-4.2} \right)_{\text{stat}} \left[ {}^{+1.4}_{-1.3} \right]_{\text{syst}} \right) \times 10^{-11}$
- ▶ Combinando con i dati 2016—18 per un risultato completo 2016—22:
  - $N_{bg} = 18^{+3}_{-2}$ ,  $N_{obs} = 51$  (usando 9+6 categories per l'estrazione del BR)
  - $\mathcal{B}_{16-22}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (13.0^{+3.3}_{-2.9}) \times 10^{-11} = \left( 13.0 \left( {}^{+3.0}_{-2.7} \right)_{\text{stat}} \left[ {}^{+1.3}_{-1.2} \right]_{\text{syst}} \right) \times 10^{-11}$
  - Ipotesi background-only rigettata con una significanza **Z>5**.
- ▶ Prima osservazione del decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ : BR consistente con le predizioni SM entro  $1.7\sigma$
- Necessaria l'analisi dell'intero data-set NA62 per chiarire l'accordo o la tensione con SM.

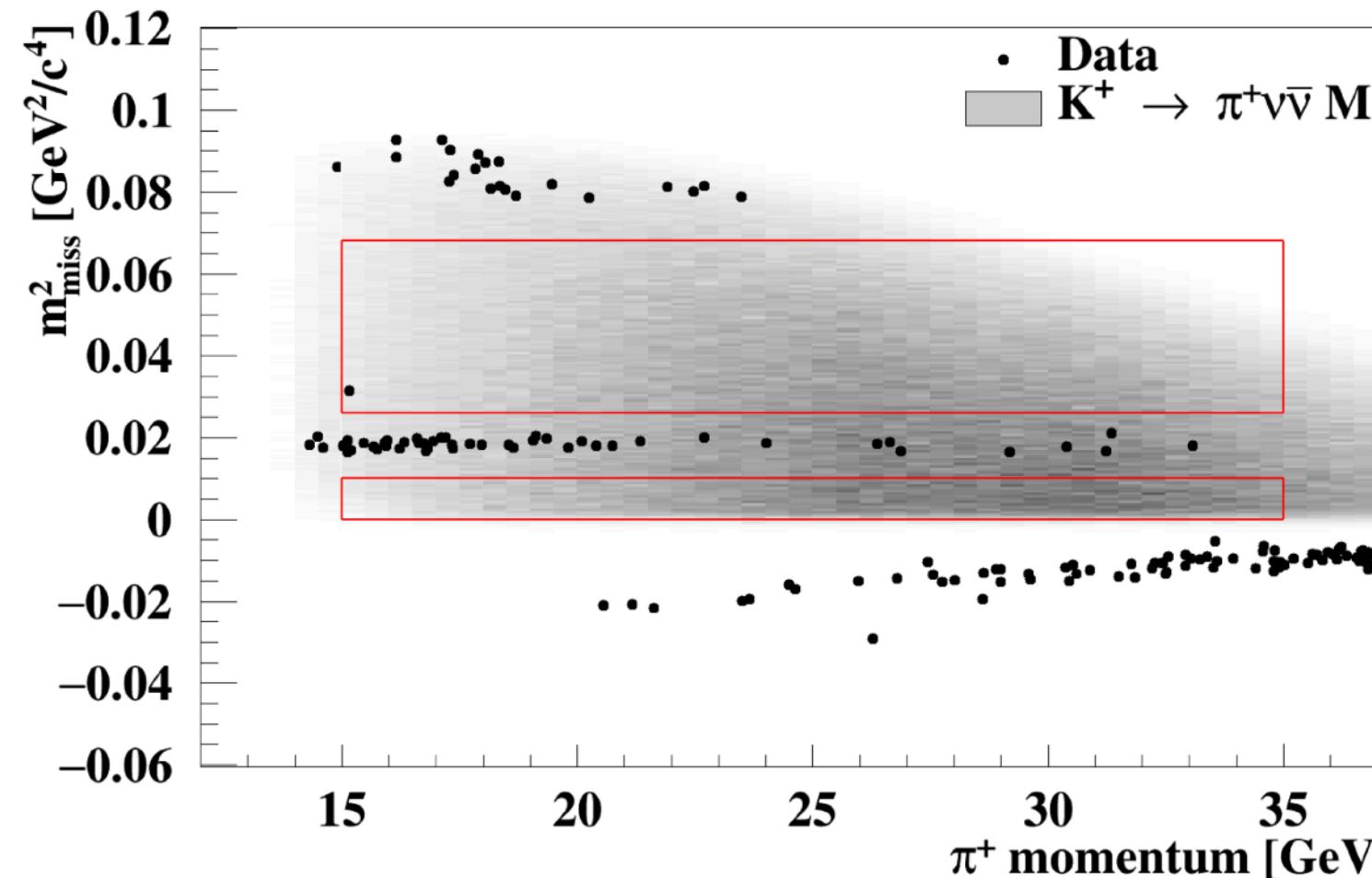
NA62 collezionerà dati fino al LS3 che saranno analizzati in futuro

# Backup

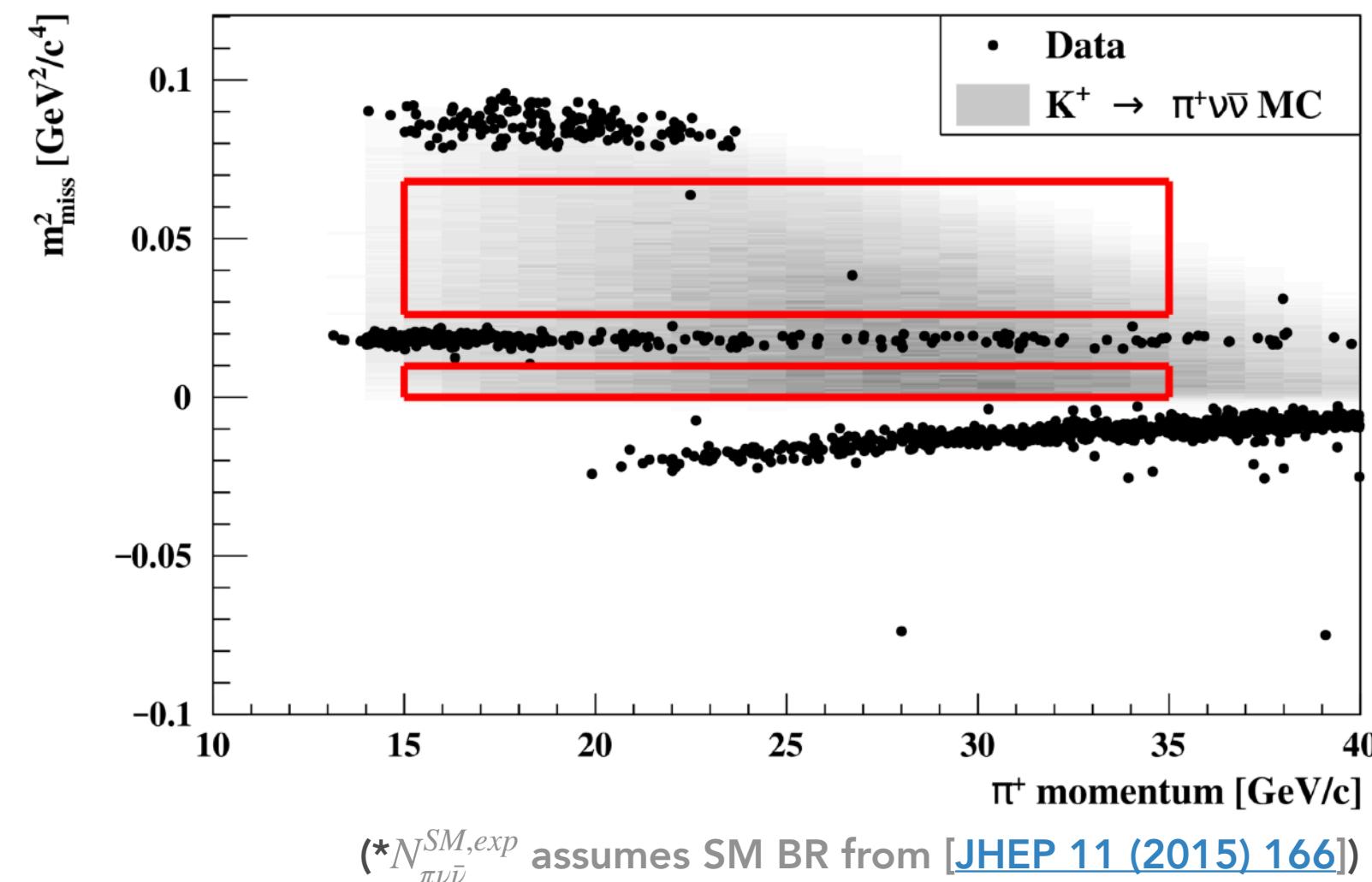


# $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ con i dati 2016–18

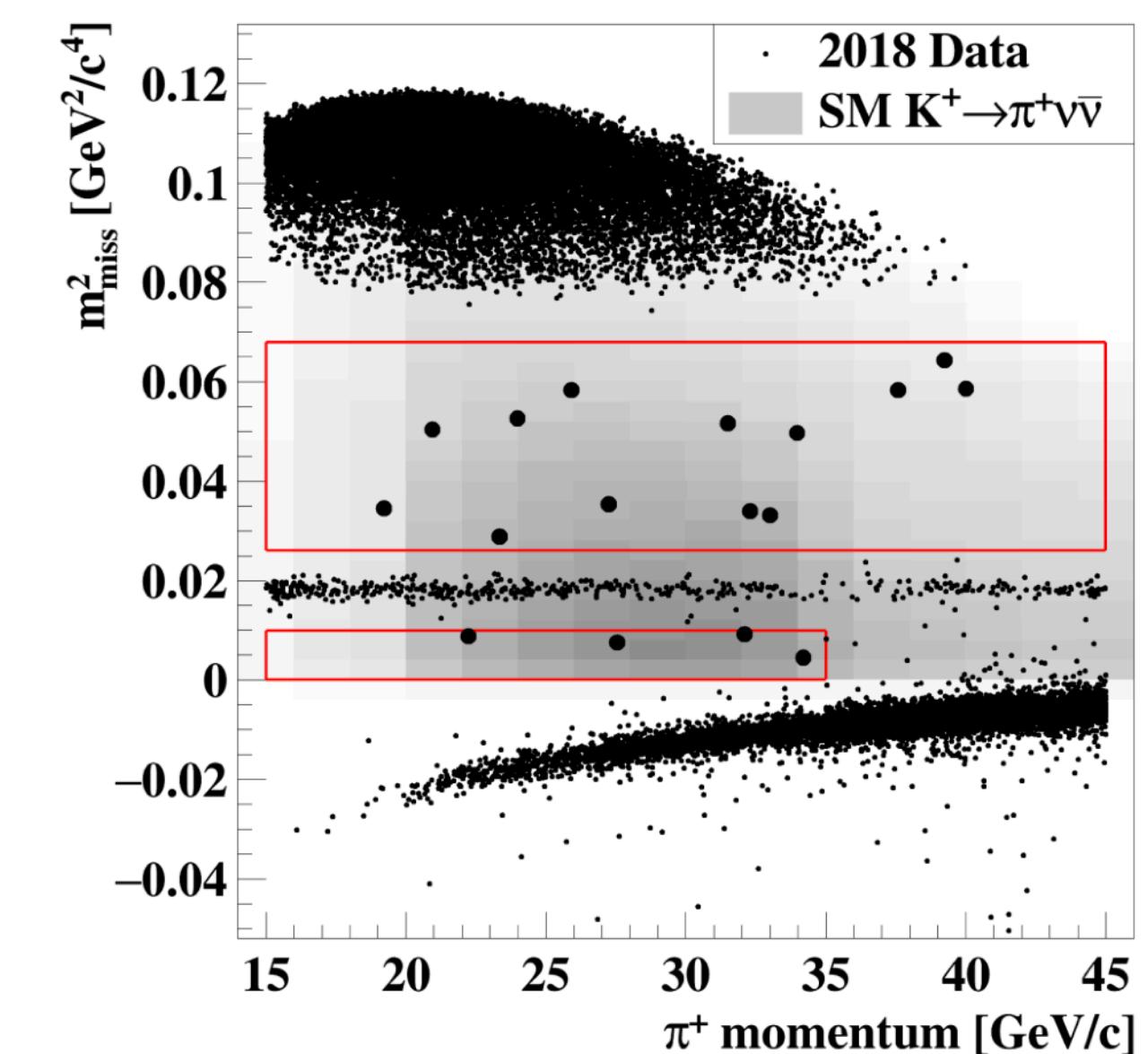
Dati 2016 [[PLB 791 \(2019\) 156](#)]



Dati 2017 [[JHEP 11 \(2020\) 042](#)]



Dati 2018 [[JHEP 06 \(2021\) 093](#)]



Data-taking year	[Reference]	$N_{bg}$	$N_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM,exp}$	$N_{obs}$
2016	[PLB 791 (2019) 156]	$0.152^{+0.093}_{-0.035}$	$0.267 \pm 0.020$	1
2017	[JHEP 11 (2020) 042]	$1.46 \pm 0.33$	$2.16 \pm 0.13$	2
2018	[JHEP 06 (2021) 093]	$5.42^{+0.99}_{-0.75}$	$7.58 \pm 0.40$	17
2016–18	[JHEP 06 (2021) 093]	$7.03^{+1.05}_{-0.82}$	$10.01 \pm 0.42$	20

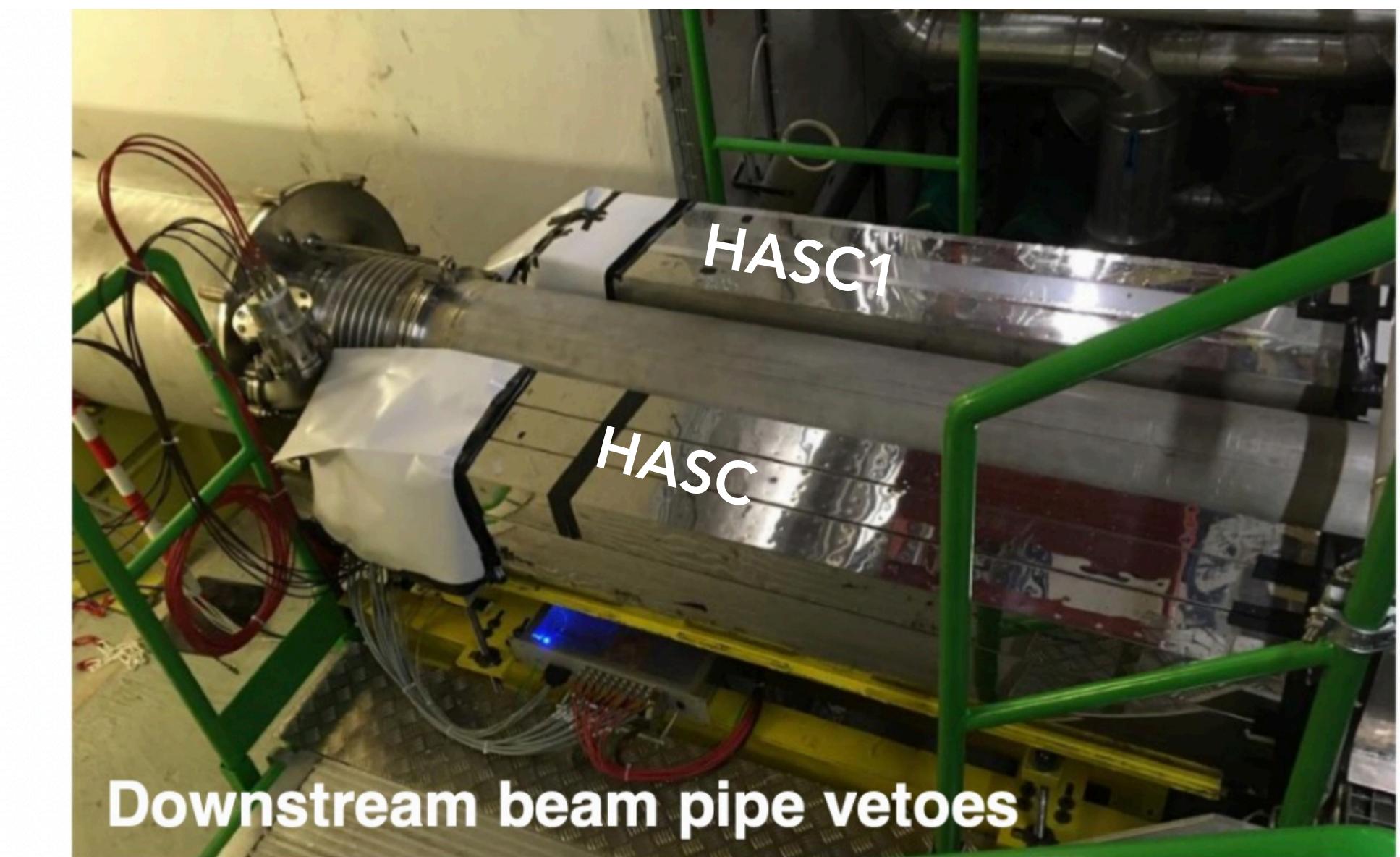
Combinazione statistica:  $\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (10.6^{+4.0}_{-3.4} \Big|_{stat} \pm 0.9_{syst}) \times 10^{-11}$  a 68 % CL

Nell'ipotesi solo background:  $p = 3.4 \times 10^{-4}$  significanza=3.4 $\sigma$ .

# Riassunto upgrade NA62

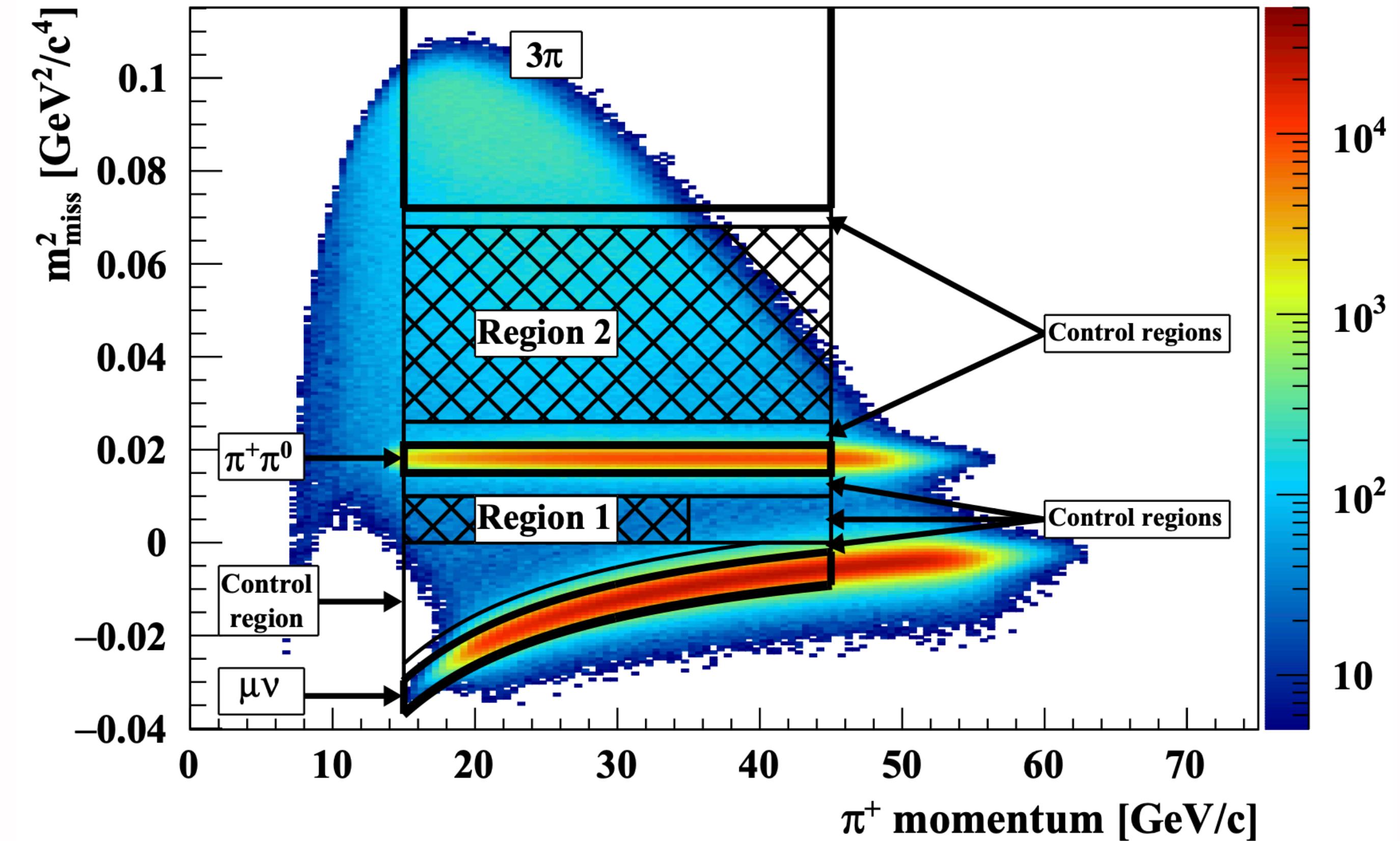
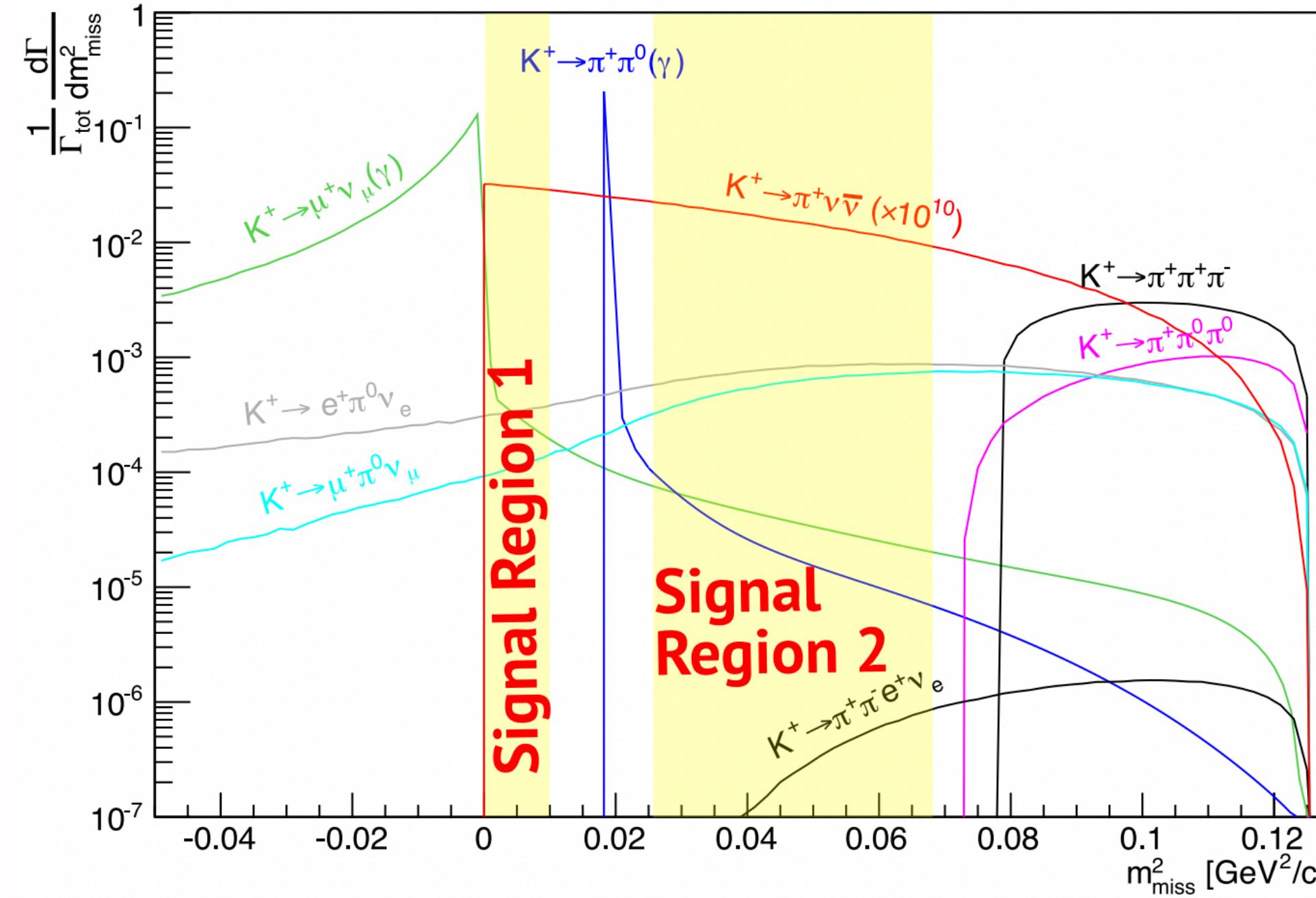
- ▶ Nuovi rivelatori (installati durante LS2):
  - ▶ **GTK3** (Kaon beam tracker) & riarrangiamento GTK achromat (GTK2 upstream rispetto allo scraper).
  - ▶ Nuovi veto upstream (**VetoCounter**) & veto hodoscope (**ANTI0**) upstream rispetto al volume fiduciale.
  - ▶ Detector di vetro addizionali (**HASC2**) alla fine della beam-line.
- ▶ Intensità aumentata del  $\sim 35\%$  rispetto al 2018 [ $450 \rightarrow 600$  MHz].
- ▶ Miglioramenti nella configurazione del trigger.

Nuovi rivelatori  
installati nel 2021



# Vincoli cinematici e regioni di segnale

[JHEP 06 (2021) 093]



$\mathcal{O}(10^4)$  soppressione cinematica dei fondi

$\pi^+$  range di impulso: 15-45 GeV/c

# Strategia dell'analisi

## Trigger

- ▶ **Minimum Bias:**  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$
- ▶ **Normalizzazione:**  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$
- ▶ **Segnale:** candidati  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

- ▶ RICH multiplicity (tempo di referenza)
- ▶ Segnale nei CHODs
- ▶ Nessun segnale nel MUV3 ( $\mu$  veto)
- ▶ Tag  $K^+$  ( $\geq 5$  settori KTAG)
- ▶  $< 40$  GeV nell'LKr ( $\pi^0/\gamma/e$  veto)
- ▶ LAV veto (downstream rispetto al vertice).

Condizioni comuni

+ aggiunta di condizioni

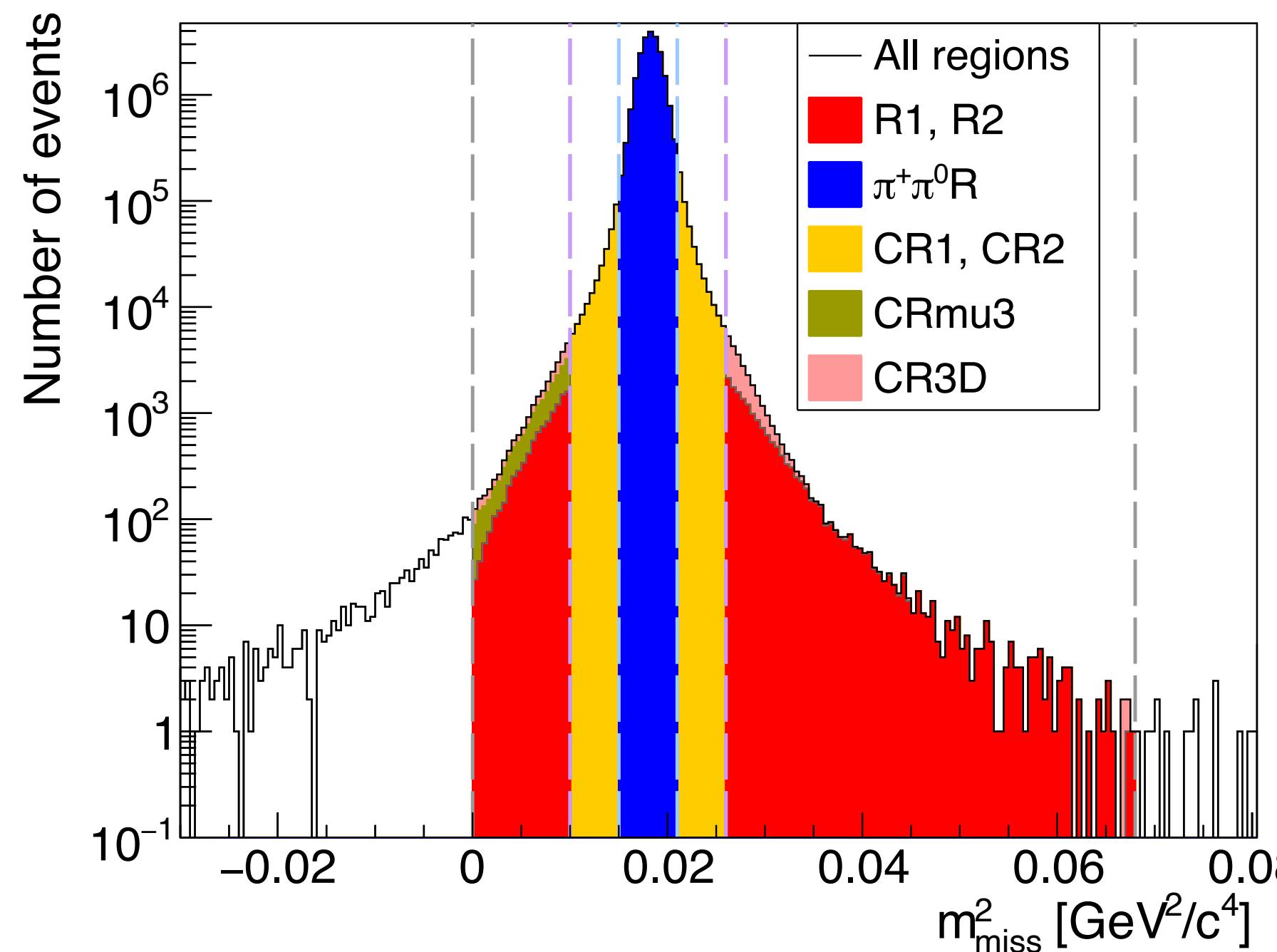
## Selezione

- **Normalizzazione**  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ : 1 sola traccia downstream; identificata come  $\pi^+$ ;  $K^+ - \pi^+$  matching (spaziale & temporale); voto upstream.
- **Segnale** candidati  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ : selezione normalizzazione + full photon and detector multiplicity cuts (rigetta tutte le extra activity).

# Fondo dalle code cinematiche

$K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0(\gamma)$

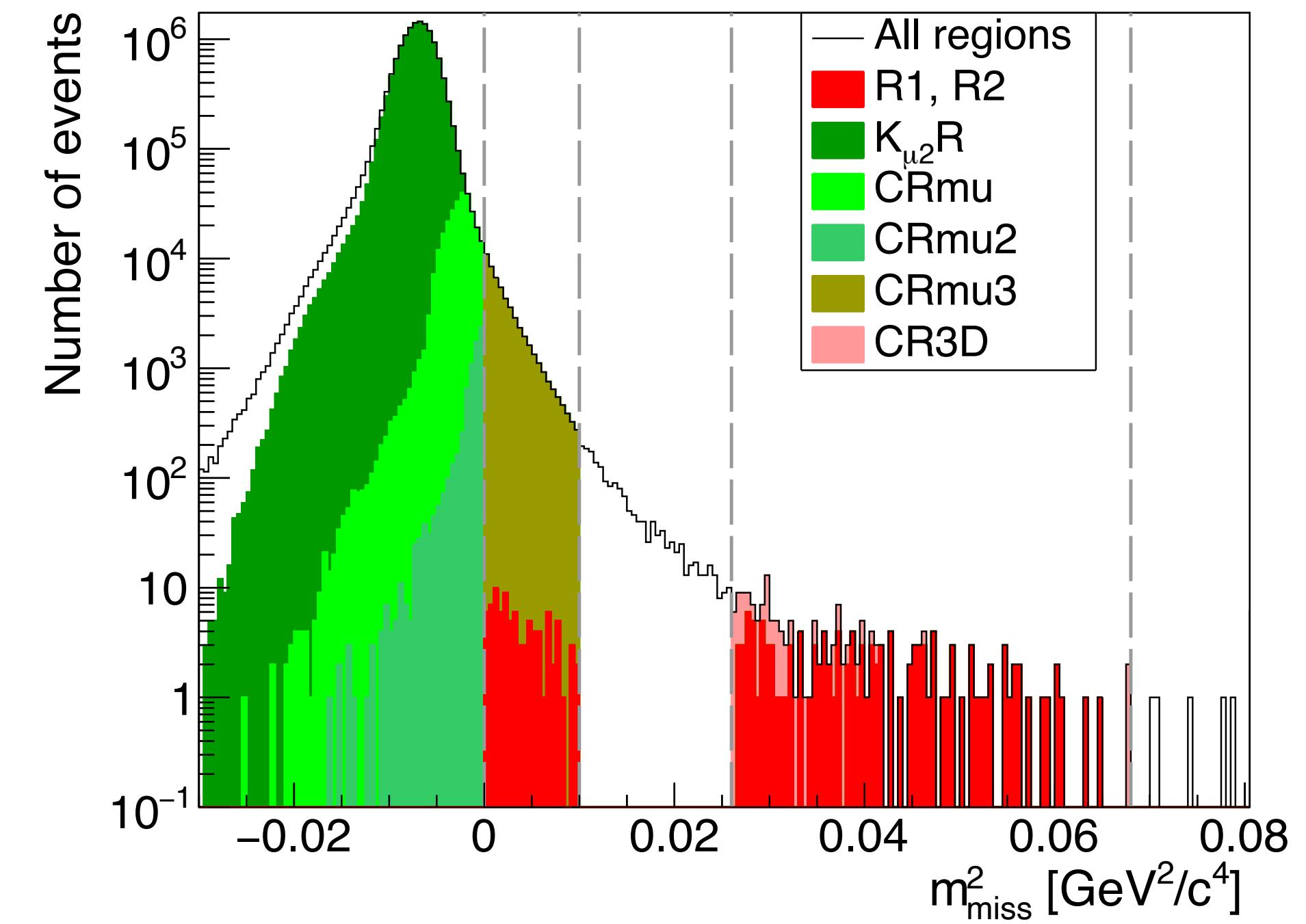
control sample of  $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$  events with  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  and 2 photons detected in LKr:



$$N_{bg}(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0(\gamma)) = 0.83 \pm 0.05$$

$K^+ \rightarrow \mu^+\nu$

control sample of  $K^+ \rightarrow \mu^+\nu$  events with RICH PID= $\pi^+$  and Calo PID= $\mu^+$ :



- <1% contribution from  $K^+ \rightarrow \mu^+\nu$  followed by  $\mu^+ \rightarrow e^+\nu\nu$ .

$$N_{bg}(K^+ \rightarrow \mu^+\nu) = 0.9 \pm 0.2$$

$K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$

Use MC to measure  $f_{tail}$

$$N_{bg}(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-) = 0.11 \pm 0.03$$

# Riassunto dei background

## Riassunto background

$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0(\gamma)$	$0.83 \pm 0.05$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$0.76 \pm 0.04$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \gamma$	$0.07 \pm 0.01$
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu(\gamma)$	$1.70 \pm 0.47$
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$	$0.87 \pm 0.19$
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \gamma$	$0.82 \pm 0.43$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	$0.11 \pm 0.03$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$	$0.89^{+0.34}_{-0.28}$
$K^+ \rightarrow \pi^0 \ell^+ \nu$	$< 0.001$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$	$0.01 \pm 0.01$
Upstream	$7.4^{+2.1}_{-1.8}$
Total	$11.0^{+2.1}_{-1.9}$

## Signal sensitivity

$$\mathcal{B}_{SES} = (0.84 \pm 0.03) \times 10^{-11}$$

Assumendo  $\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM} = 8.4 \times 10^{-11}$ :

2021–22:  $N_{\pi\nu\bar{\nu}} = 10.00 \pm 0.34$

c.f. 2016–18 :  $N_{\pi\nu\bar{\nu}} = 10.01 \pm 0.42$

$$N_{\pi\nu\bar{\nu}}^{exp} = \frac{\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM}}{\mathcal{B}_{SES}}$$

Raddoppiati gli eventi attesi includendo i dati 21–22.

►  $N_{\pi\nu\bar{\nu}}^{SM}$  per SPS spill:  $2.5 \times 10^{-5}$  nel 2022

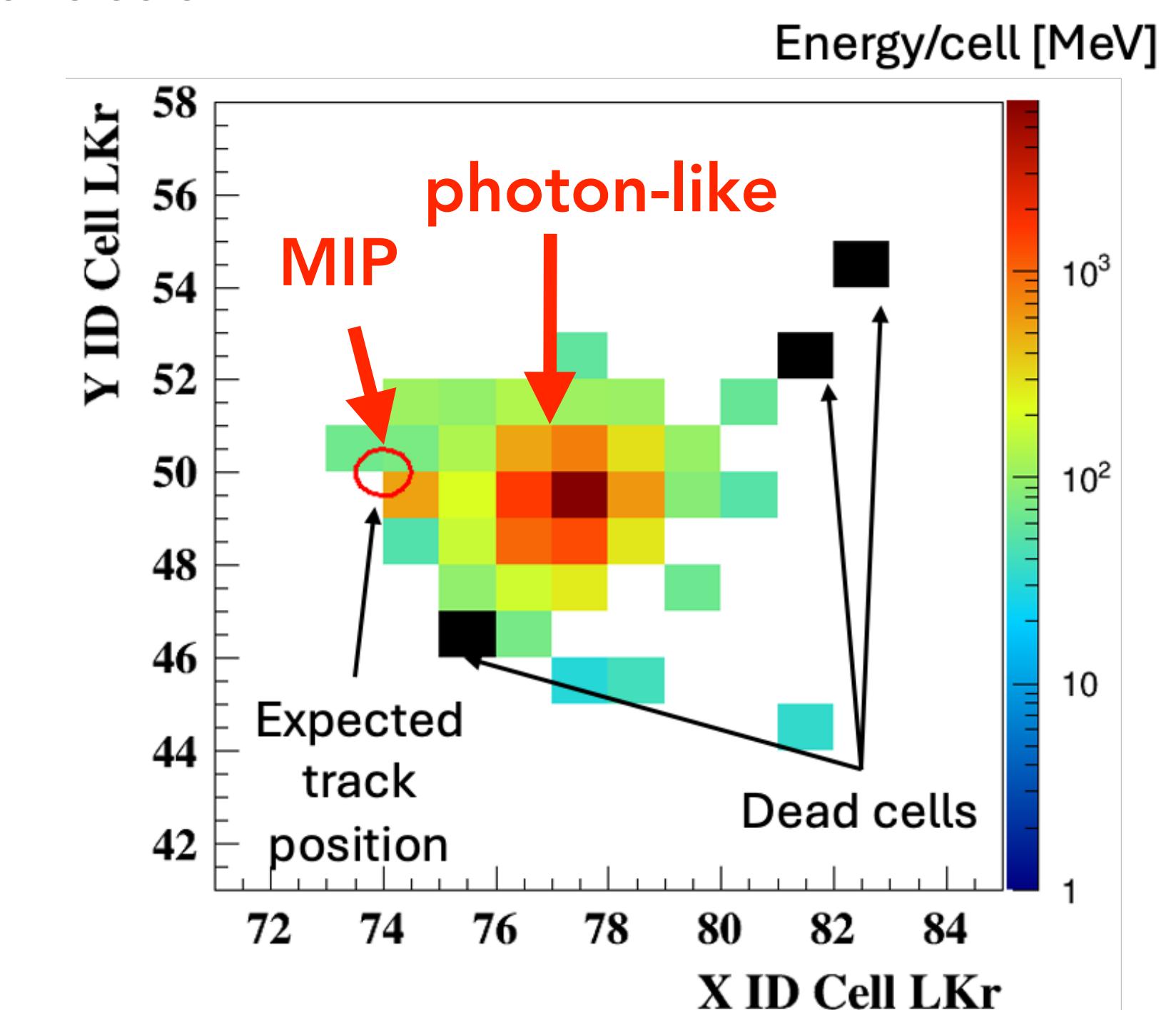
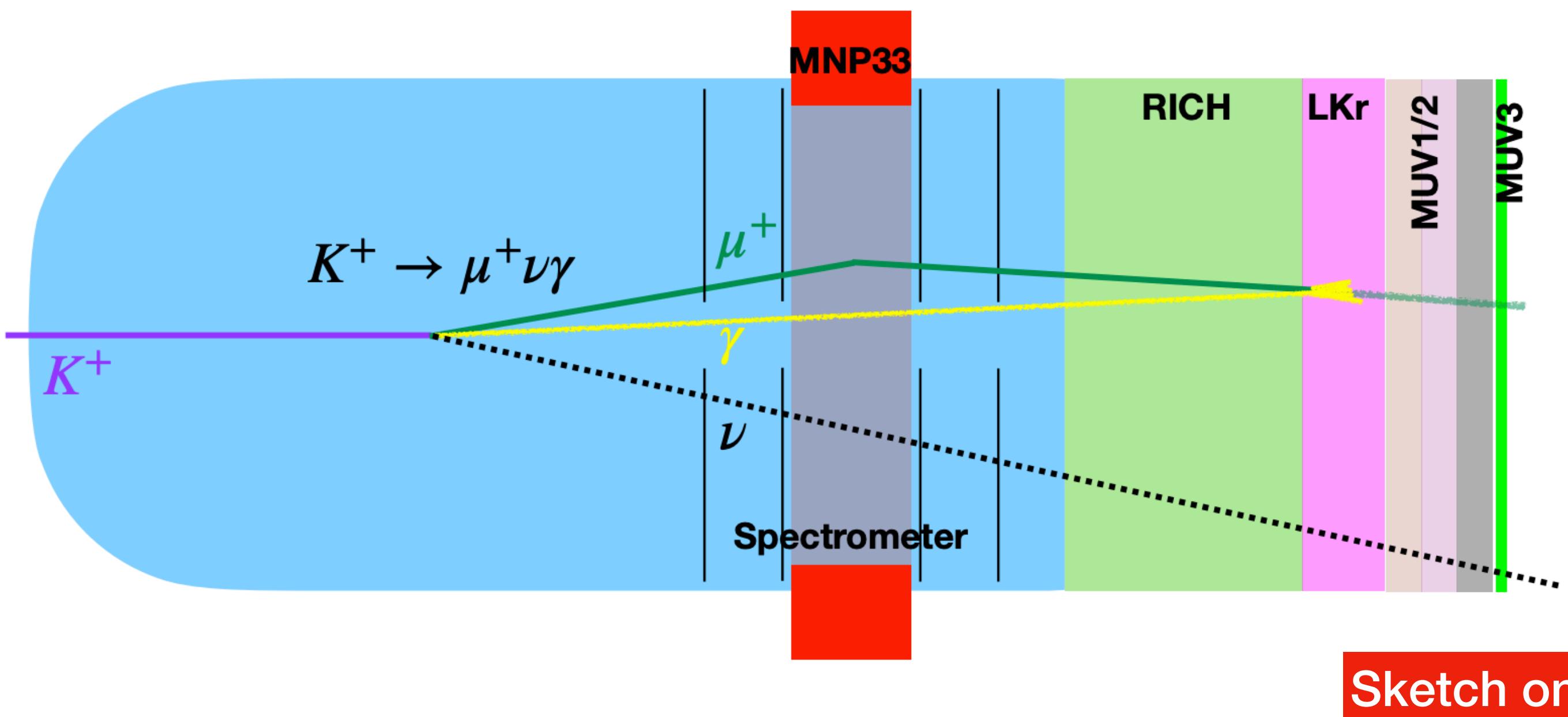
→ c.f.  $1.7 \times 10^{-5}$  in 2018. ⇒ signal yield aumentata del 50%.

► Sensitivity per BR  $\sim \sqrt{S + B}/S = 0.5$

→ Simile ma migliorata rispetto all'analisi 2018 (considerando la stessa quantità di dati).

# Decadimenti radiativi: $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma$ & $K^+ \rightarrow \mu^+\nu\gamma$

- $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma$ : included with "kinematic tails" estimation.
  - Suppression: photon vetos, rejection with additional  $\gamma$  is 30x stronger.
  - Estimation: MC + measured single photon rejection efficiency :  $N_{bg}(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma) = 0.07 \pm 0.01$
  - Validation:  $m_{miss}^2$  control regions (CR1,2 - see later)
- $K^+ \rightarrow \mu^+\nu\gamma$ : not included in "kinematic tails" estimation if  $\gamma$  overlaps  $\mu^+$  at LKr (leading to misID as  $\pi^+$ )
  - Suppression: based on  $(P_K - P_\mu - P_\gamma)^2$  and  $E_\gamma$  with  $\gamma$  = LKr cluster (mis)associated to muon.
    - Necessary for 2021—22 data, since Calorimetric PID degraded at higher intensities.
  - Estimation: min. Bias data control sample with signal in MUV3 :  $N_{bg}(K^+ \rightarrow \mu^+\nu\gamma) = 0.8 \pm 0.4$
  - Validation: data sample without  $K^+ \rightarrow \mu^+\nu\gamma$  veto and PID = "less pion-like" (Calo BDT bins below  $\pi^+$  bin).



# $K \rightarrow \pi\nu\bar{\nu}$ e fisica oltre il Modello Standard

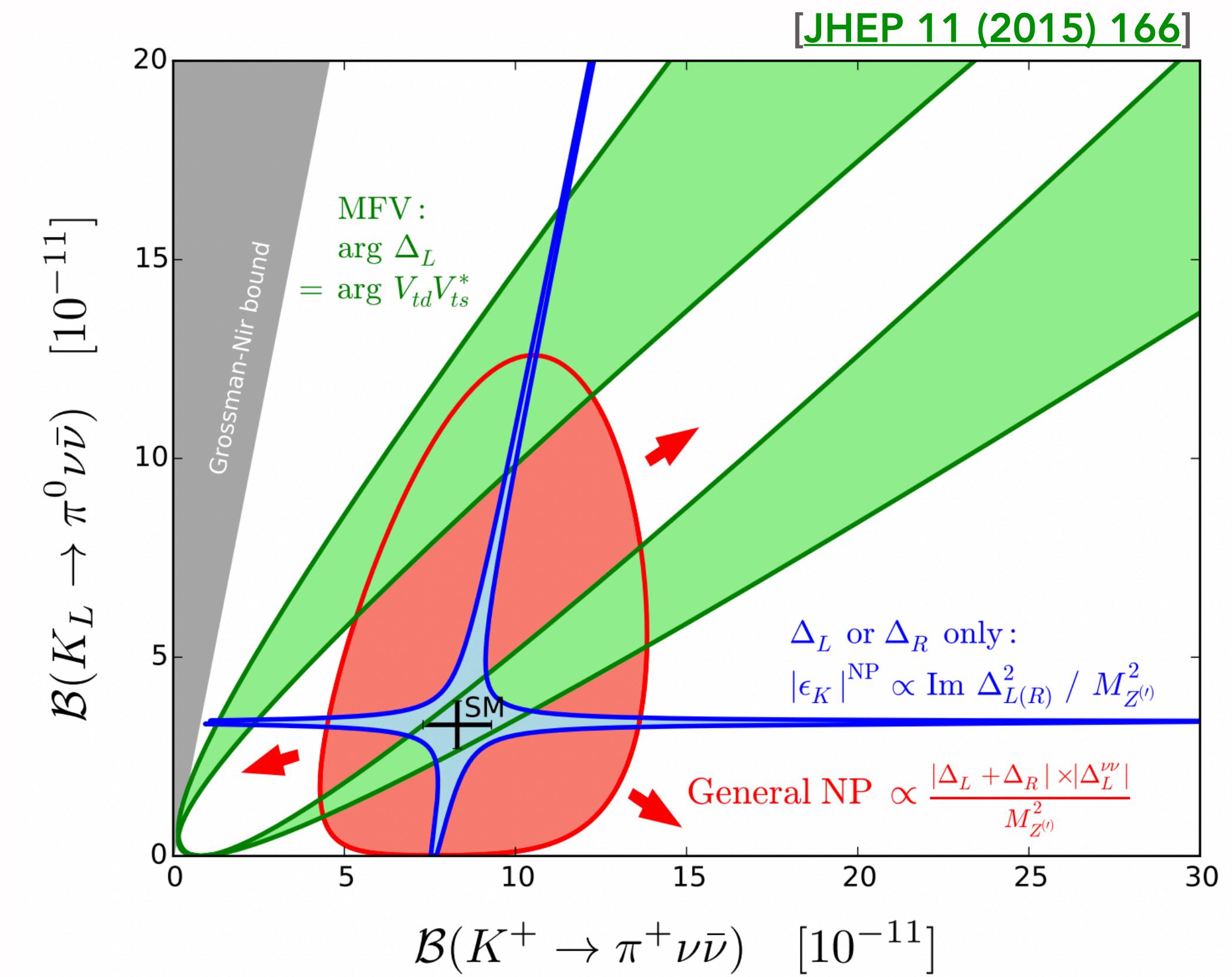
- Correlations between BSM contributions to BRs of  $K^+$  and  $K_L$  modes [[JHEP 11 \(2015\) 166](#)].
  - Must measure both to discriminate between BSM scenarios.
- Correlations with other observables ( $\epsilon'/\epsilon$ ,  $\Delta M_B$ , B-decays) [[JHEP 12 \(2020\) 097](#)][[PLB 809 \(2020\) 135769](#)].
- Leptoquarks [[EPJ.C 82 \(2022\) 4, 320](#)], Interplay between CC and FCNC [[JHEP 07 \(2023\) 029](#)], NP in neutrino sector [[EPJ.C 84 \(2024\) 7, 680](#)] and additional scalar/tensor contributions [[JHEP 12 \(2020\) 186](#)][[arXiv:2405.06742](#)]

- Green: CKM-like flavour structure
  - Models with Minimal Flavour Violation
- Blue: new flavour-violating interactions where LH or RH currents dominate
  - $Z'$  models with pure LH/RH couplings
- Red: general NP models without above constraints
- Grossman-Nir Bound: model-independent relation

[[PLB 398 \(1997\) 163-168](#)]

$$\frac{\mathcal{B}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})}{\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})} \frac{\tau_{K^+}}{\tau_{K_L}} \lesssim 1$$

$$\Rightarrow \mathcal{B}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \lesssim 4.3 \mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$$



# Risultati in sintesi

$$\mathcal{B}_{\pi\nu\bar{\nu}}^{16-22} = (13.0^{+3.3}_{-2.9}) \times 10^{-11}$$

- I risultati di NA62 sono consistenti tra loro
- Il valore centrale è aumentato (ora  $1.5-1.7\sigma$  oltre il MS)
- Incertezza relativa diminuita: da 40% a 25%
- Ipotesi Bkg-only rigettata con una significata **Z>5**

