



Gli esperimenti NA62 e LHCb al CERN

Mauro Piccini,

a nome del gruppo di ricerca NA62/LHCb:
Giuseppina Anzivino, Francesco Brizioli, Patrizia
Cenci, Viacheslav Duk, Lisa Fantini, Pasquale
Lubrano, Gabriele Martelli, Monica Pepe

21-07-2025

mauro.piccini@pg.nfn.it



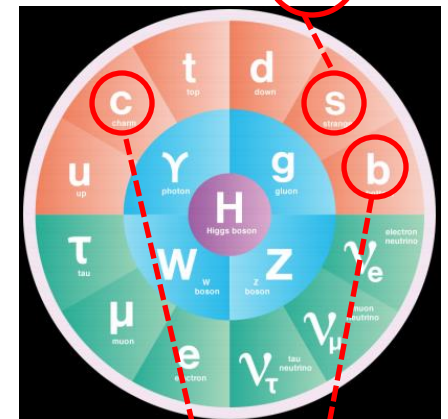
Ambito: Fisica delle Particelle elementari

Il nostro Gruppo ha storicamente lavorato ad esperimenti con fascio incidente su bersaglio fisso (NA48, NA48/I, NA48/II, **NA62**).

➡ Fisica del sapore (legata allo studio delle proprietà dei quarks) con fasci ad alta intensità e a quarks di massa 'leggera', mesoni **K**:

- Misure di precisione
- Misure di processi rari o proibiti

↓
Interesse: verifiche del Modello Standard e ricerca di Nuova Fisica
↑



Da inizio 2020 il gruppo è entrato nell'esperimento **LHCb**, sia per continuare nella fisica del sapore (in questo caso con mesoni **D** e **B**), sia per sfruttare le competenze acquisite nella costruzione di rivelatori per i futuri aggiornamenti di tale esperimento:

- Sviluppo e costruzione di sensori di radiazione
- Sviluppo di elettronica di acquisizione ad alte prestazioni

L'esperimento NA62

Fascio incidente di
protoni estratti dall'SPS,
 $p_p=400$ GeV/c



Bersaglio,
cristallo di
Berillio



Particelle
uscenti,
6% di K^+



$$E_{\text{COL}} \simeq \sqrt{2m_N p_p} \simeq 27 \text{ GeV}, m_N = \text{massa neutrone/protone}$$

K^+ {
✓ mesoni
✓ instabili
✓ “strani”

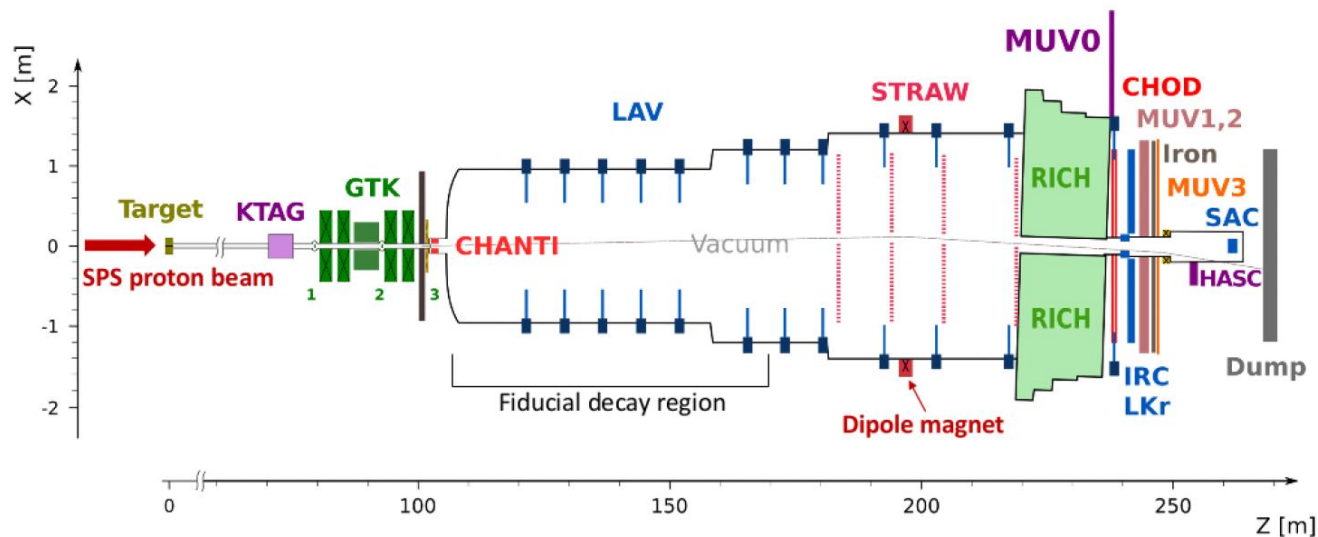
formati da una coppia quark-antiquark
decadono emettendo altri tipi di particelle
contengono il quark “strange”

Periodi di presa dati:

- 2014-2015 commissioning
- 2016-2018 RUN 1
- 2021-2025 RUN 2

NA62

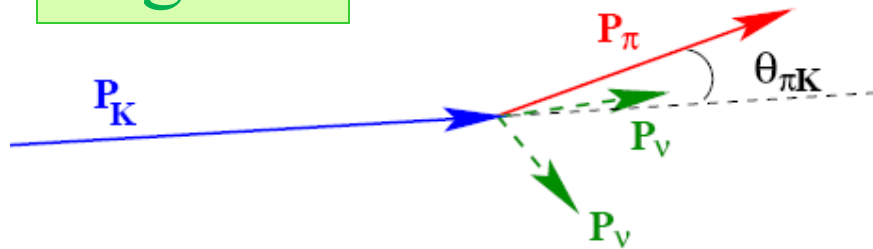
Collaborazione
internazionale
~ 30 istituzioni
~ 180 membri



NA62: Il decadimento ultra-raro $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

- $Br^{SM}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (0.84 \pm 0.10) \cdot 10^{-10}$, $Br^{SM}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = (0.34 \pm 0.06) \cdot 10^{-10}$
[Buras et al., JHEP11(2015)033]

Segnale



$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) \approx 10^{-10}$$



Fondo

$$BR(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu) = 63.5\%$$

$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0) = 20.7\%$$



sfida sperimentale ardua!

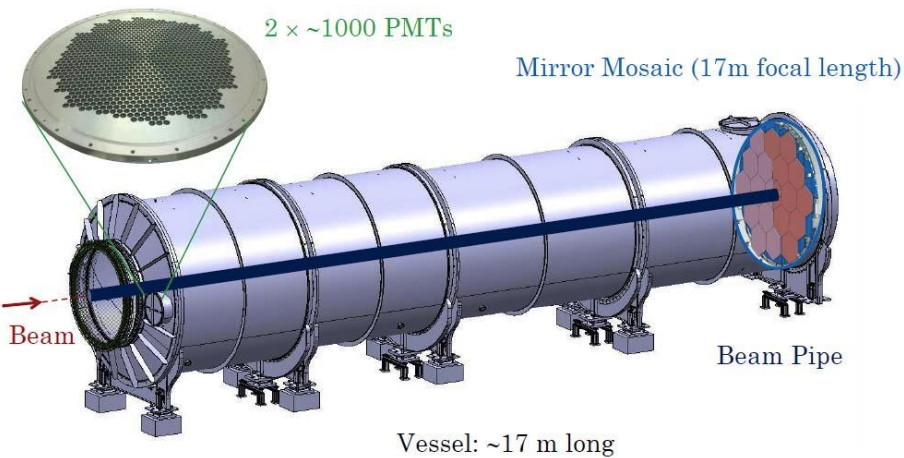
- ➔ alta intensità (tanti K^+)
- ➔ alta statistica (tanti dati)
- ➔ alta reiezione del fondo
- ➔ alta precisione e ridondanza in tutte le misure

Mezzi



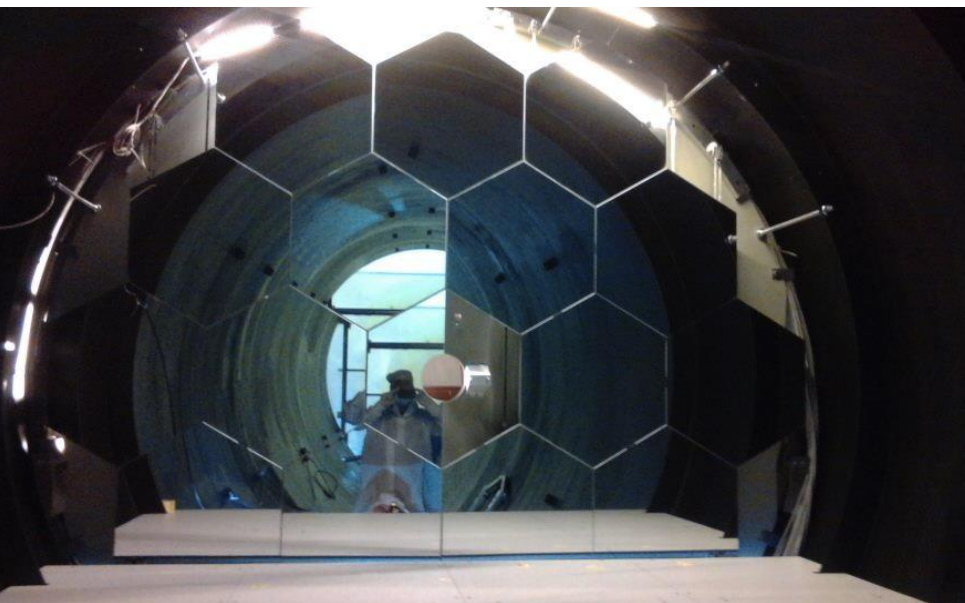
NA62 – gruppo di Perugia: contributo ai rivelatori

RICH (Ring Imaging Cherenkov Counter)
rivelatore Cherenkov per distinguere pioni da muoni



$$\cos\theta_c = \frac{1}{\beta n}$$

$$p = \mathbf{m}\gamma\beta c$$



NA62 – gruppo di Perugia: Analisi dati

Contributo fondamentale di Perugia all'analisi principale:



PUBLISHED FOR SISSA BY SPRINGER

RECEIVED: December 17, 2024

ACCEPTED: February 4, 2025

PUBLISHED: February 27, 2025

Observation of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ decay and measurement of its branching ratio

The NA62 collaboration

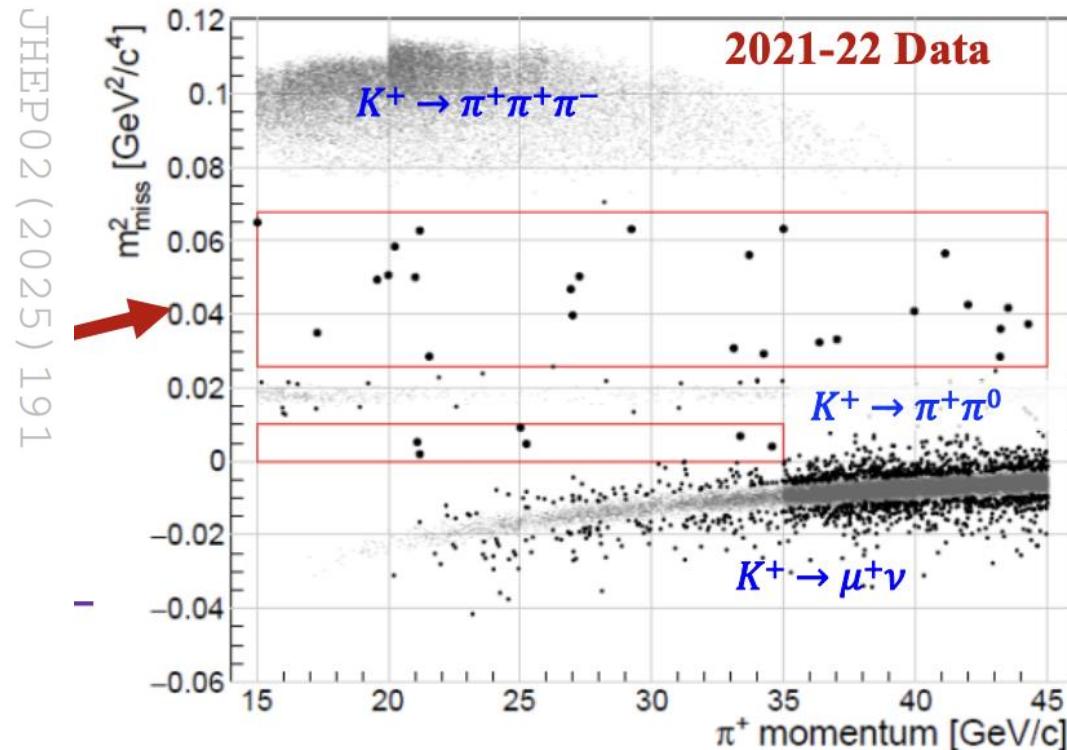
E-mail: francesco.brizioli@cern.ch, renato.fiorenza@cern.ch,
joel.christopher.swallow@cern.ch

ABSTRACT: A measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ decay by the NA62 experiment at the CERN SPS is presented, using data collected in 2021 and 2022. This dataset was recorded, after modifications to the beamline and detectors, at a higher instantaneous beam intensity with respect to the 2016–2018 data taking. Combining NA62 data collected in 2016–2022, a measurement of $\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (13.0^{+3.3}_{-3.0}) \times 10^{-11}$ is reported. With 51 signal candidates observed and an expected background of 18^{+3}_{-2} events, $\mathcal{B}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu})$ becomes the smallest branching ratio measured with a signal significance above 5σ .

KEYWORDS: Branching fraction, Rare Decay, Flavour Physics, Other Experiments

ARXIV EPRINT: [2412.12015](https://arxiv.org/abs/2412.12015)

31 eventi osservati con i dati raccolti nel 2021 e 2021



NA62 – gruppo di Perugia: Analisi dati

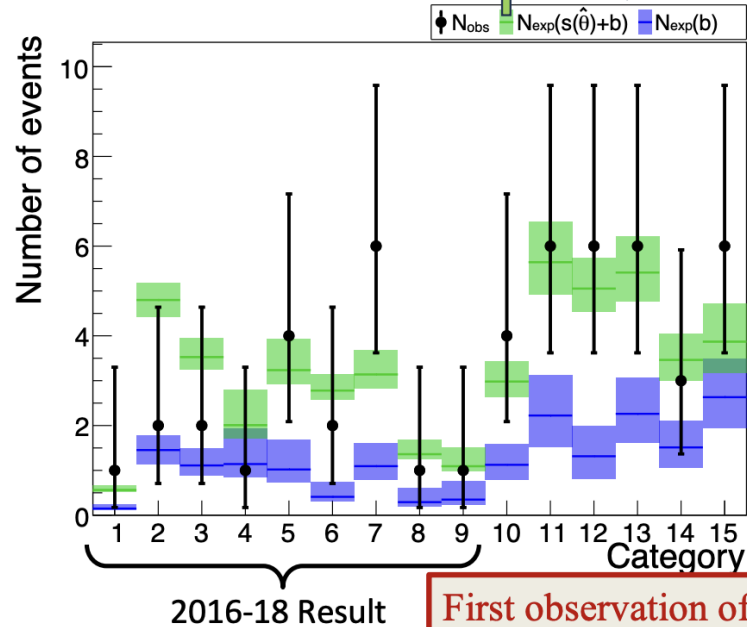
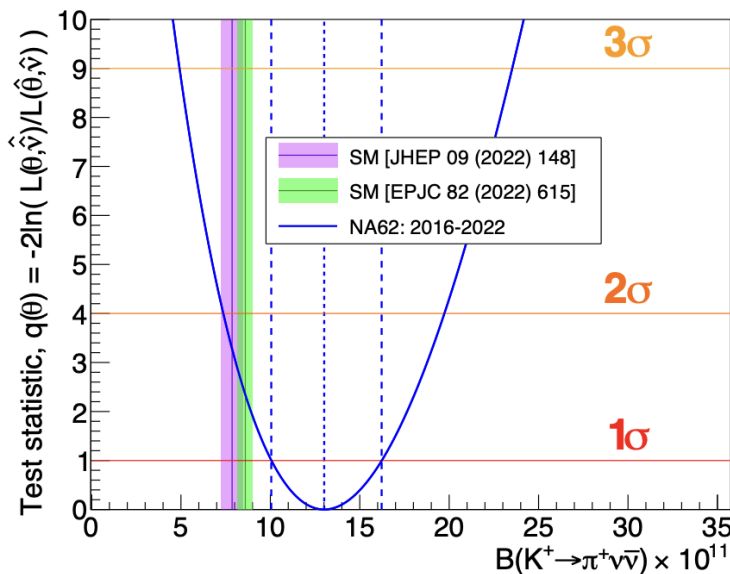
Combination: 2016-2022 Result [JHEP 02 (2025) 191]

Single Event Sensitivity	$(0.42 \pm 0.02) \times 10^{-11}$
Expected background	18^{+3}_{-2}
Observed	51

background-only hypothesis p-value = $2 \times 10^{-7} \Rightarrow$ significance: $Z > 5\sigma$

$$\mathcal{B}_{\pi\nu\nu} = \left[13.0^{(+3.0)}_{(-2.7)} \right]_{stat} \left({}^{(+1.3)}_{(-1.3)} \right)_{syst} \times 10^{-11}$$

based on measured BR



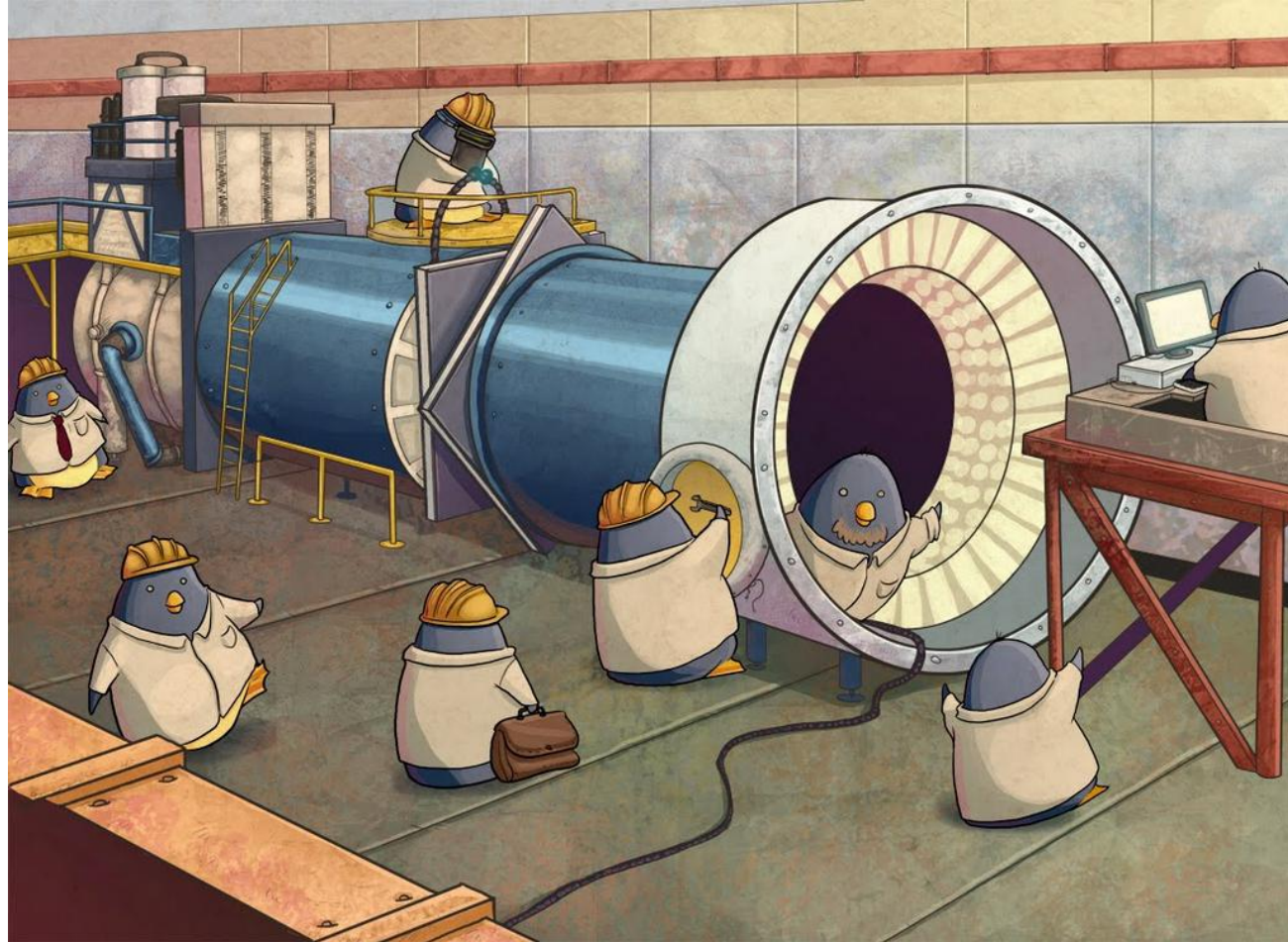
First observation of $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

Pinguini al lavoro!

La nuova analisi con i dati 2023-2024 è in fase avanzata di completamento, nuovo risultato presto in arrivo!

Le vostre guide:

- Monica Pepe (PG)
- Roberto Piandani (SLP)



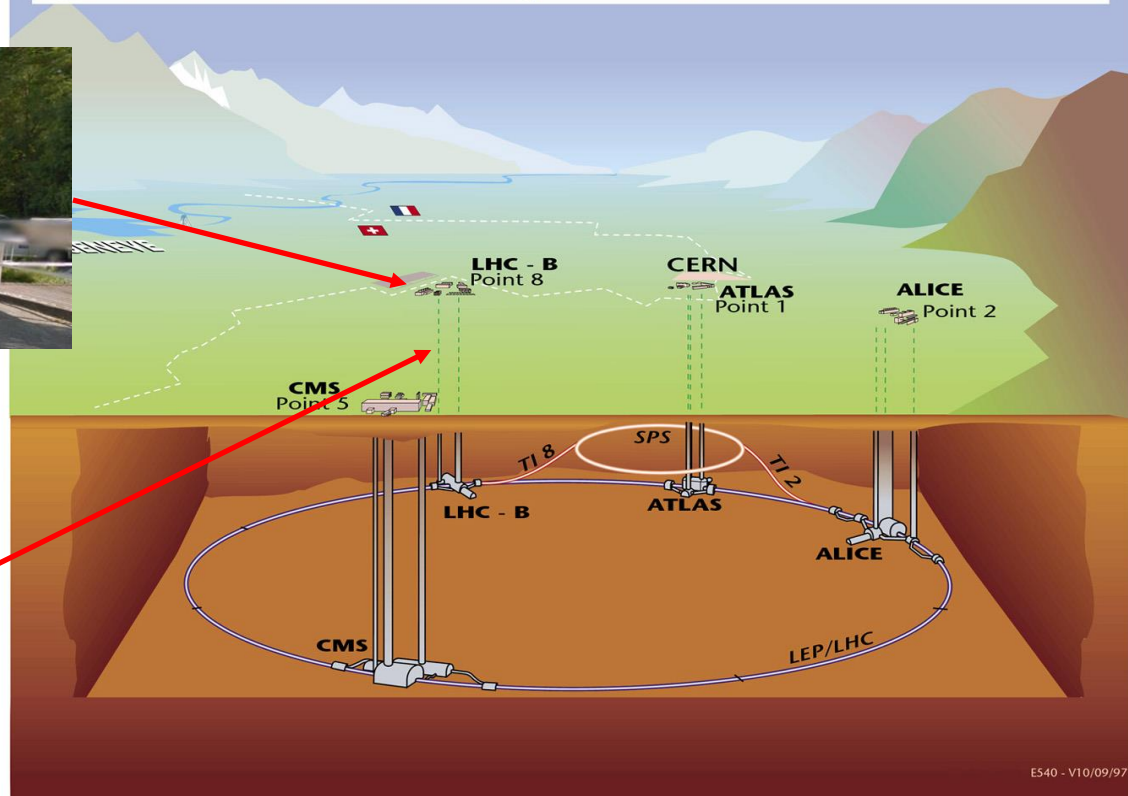
L'esperimento LHCb

Le vostre guide:

- Lisa Fantini (PG)
- Federica Borgato (PD)

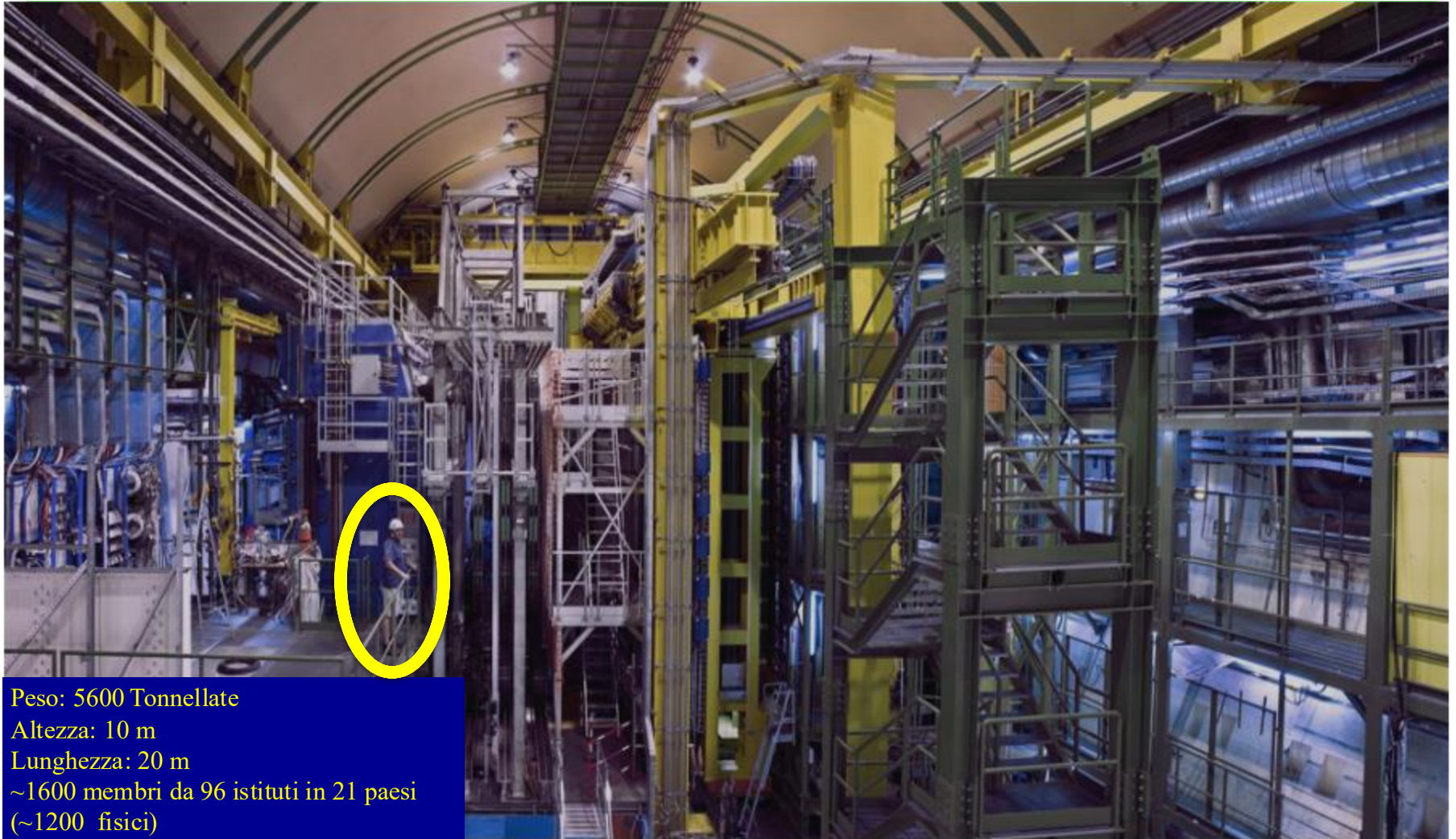


Overall view of the LHC experiments.



E540 - V10/09/97

LHCb

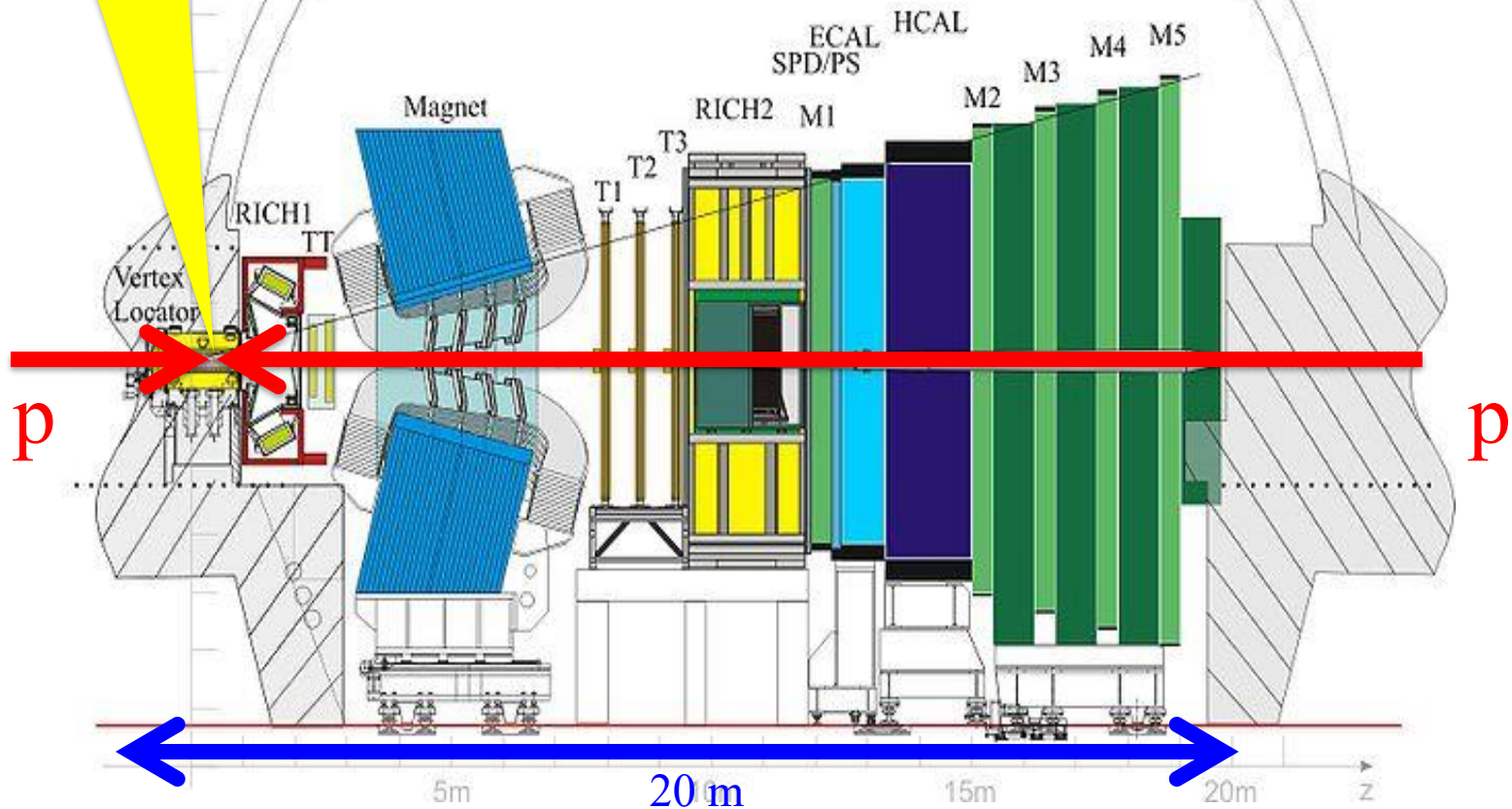


Peso: 5600 Tonnellate
Altezza: 10 m
Lunghezza: 20 m
~1600 membri da 96 istituti in 21 paesi
(~1200 fisici)

b come **Beauty** ma l'esperimento è ideale anche per rivelare particelle con quark **Charm**

LHCb: il rivelatore

Punto di collisione



LHCb: le attività di Perugia riguardo i rivelatori

LHCb ha iniziato la nuova fase di presa dati (con quasi tutti i rivelatori rinnovati) nel 2022, dopo quasi 4 anni di stop.

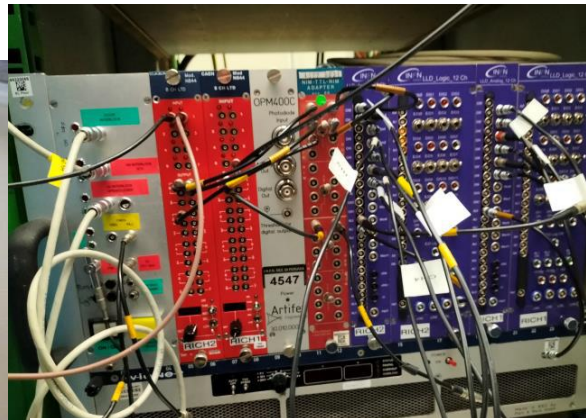
Con solo due anni a disposizione, Perugia è comunque riuscita a ritagliarsi uno spazio
→ **Light Leak Detector (LLD) dei RICH**

Rivelatori RICH: “vedono” la luce Cherenkov prodotta da particelle cariche che viaggiano più veloci della luce in un mezzo prescelto.

I sensori dei RICH sono molto sensibili alla luce; il sistema LLD controlla l'intensità luminosa e in caso di picchi anomali arresta l'alimentazione dei sensori principali prima che vengano danneggiati

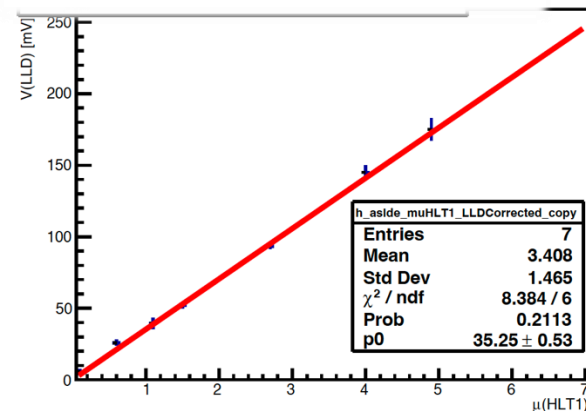


Un LLD (12 in totale)



Elettronica installata a LHCb

Segnale LLD VS LHC lumi



LHCb: le attività di Perugia riguardo l'analisi dei dati

1) Studio dei decadimenti del barione Σ^+ (quark uus), uno dei barioni più leggeri con un quark s

Misura del branching ratio del processo $\Sigma^+ \rightarrow p \mu^+ \mu^-$ e ricerca di risonanze nella coppia $\mu^+ \mu^-$

(a seguito di un'anomalia in una misura effettuata nel 2006 da un altro esperimento in USA, HyperCP)

Tesi di dottorato di G. Martelli, lavoro in fase di pubblicazione (vedi seguito)

2) Studio dei decadimenti dei mesoni B^+ (quark $u\bar{b}$) e B_c^+ (quark $c\bar{b}$)

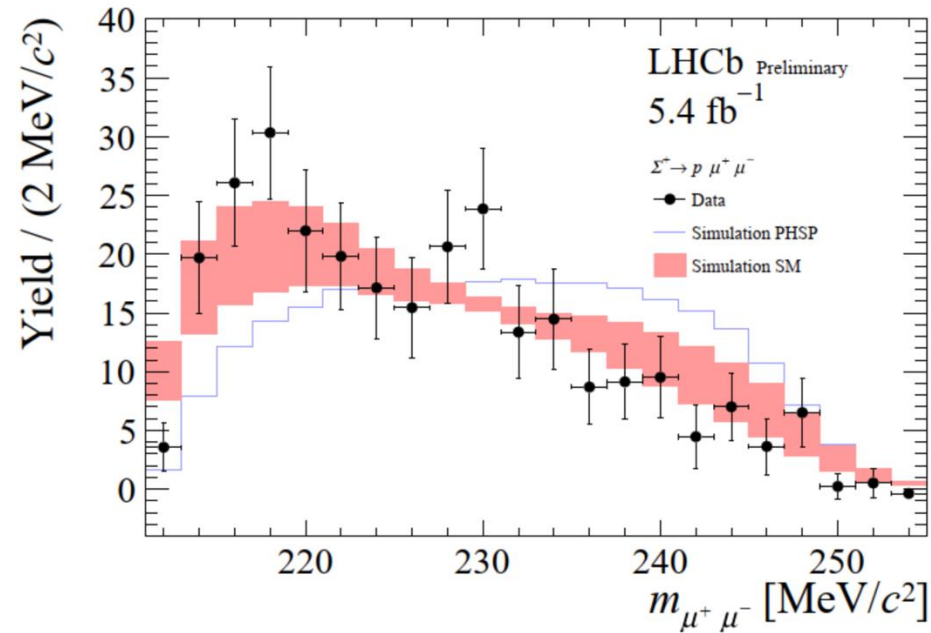
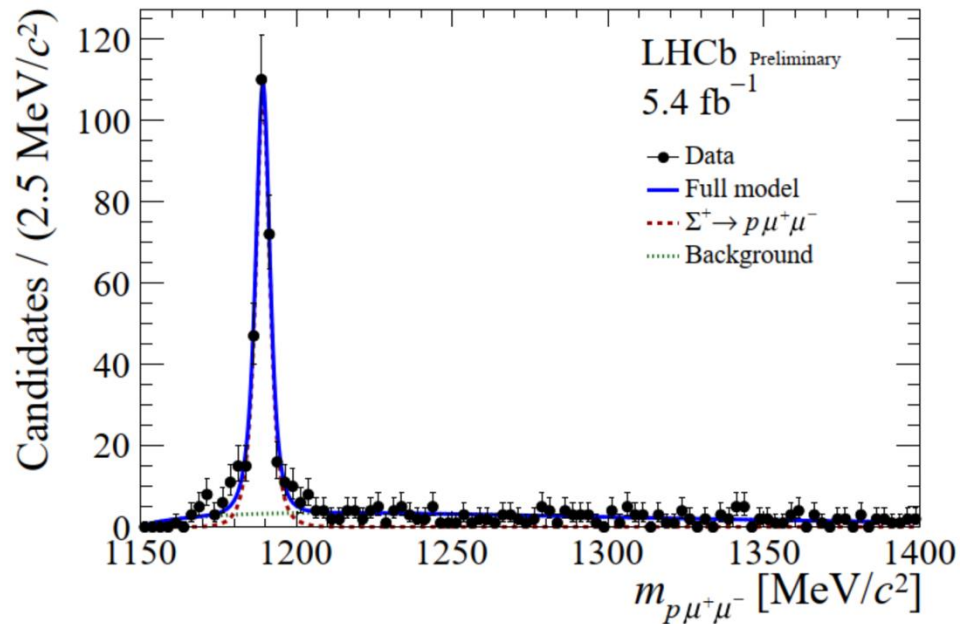
Ricerca di una nuova particella N nei decadimenti $B_{(c)} \rightarrow e N$, $N \rightarrow \mu \pi$ e $B_{(c)} \rightarrow \mu N$, $N \rightarrow e \pi$

Ricerca di neutrini di Majorana e della violazione del numero e/o del sapore leptonic

Lavoro oggetto della tesi di dottorato di L. Fantini

Il decadimento $\Sigma^+ \rightarrow p \mu^+ \mu^-$

I risultati ottenuti dall'analisi dei dati di run 2 (2016-2018) sono stati presentati da [G. Martelli](#) in anteprima mondiale alla conferenza **BEACH 2024** (Charleston, SC, USA), l'articolo sarà pubblicato da PRL il 29 Luglio 2025!

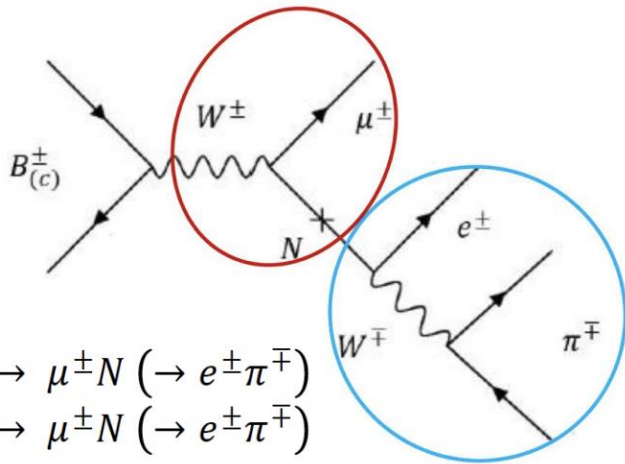


Ricerca di heavy neutral lepton

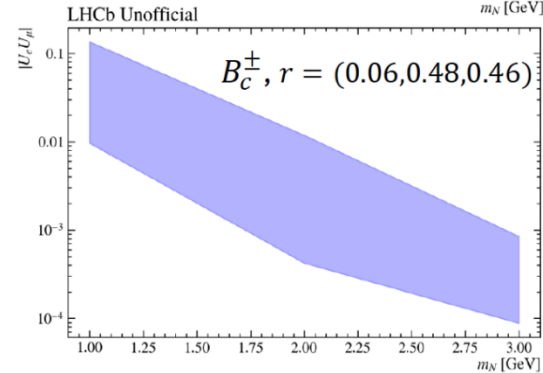
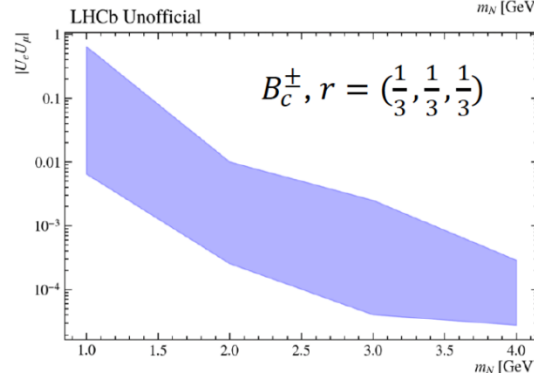
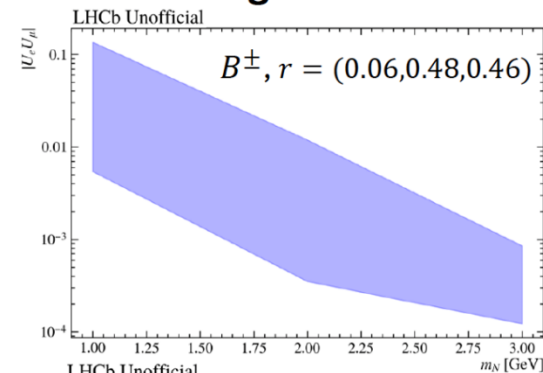
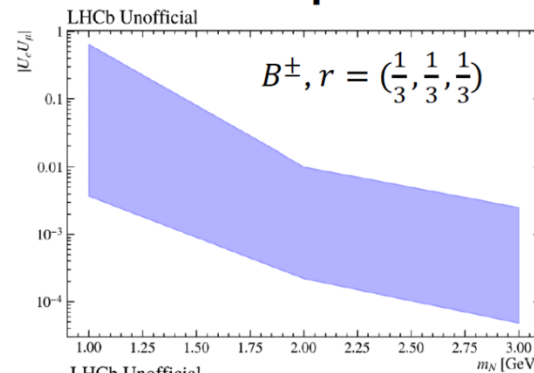
Analisi dati: Ricerca di heavy neutral lepton

L. Fantini ha difeso con successo la tesi di dottorato ad Aprile 2025, calcolati limiti attesi sui coupling in base alla distribuzione del fondo nelle side-band di massa una volta ottimizzata la selezione (con il MC)

Rimane da stimare le sistematiche e poi umblinding!



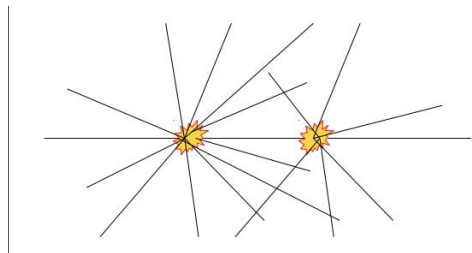
Expected median excluded region



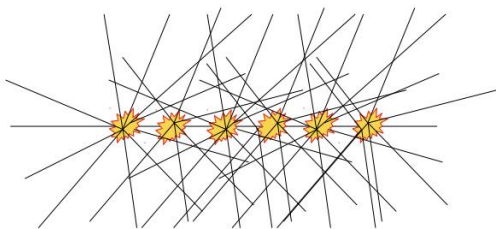
LHCb: le attività di Perugia per il futuro

Perugia partecipa attivamente al programma di ricerca e sviluppo per i futuri aggiornamenti dei RICH di LHCb (prima fase 2029, seconda fase 2035)

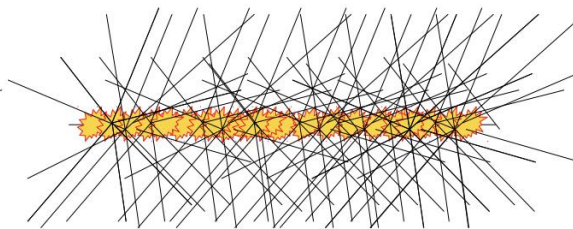
Numero di collisioni p-p per ciascun incrocio di pacchetti in LHC:



Fino al 2018



dal 2022



dal 2035

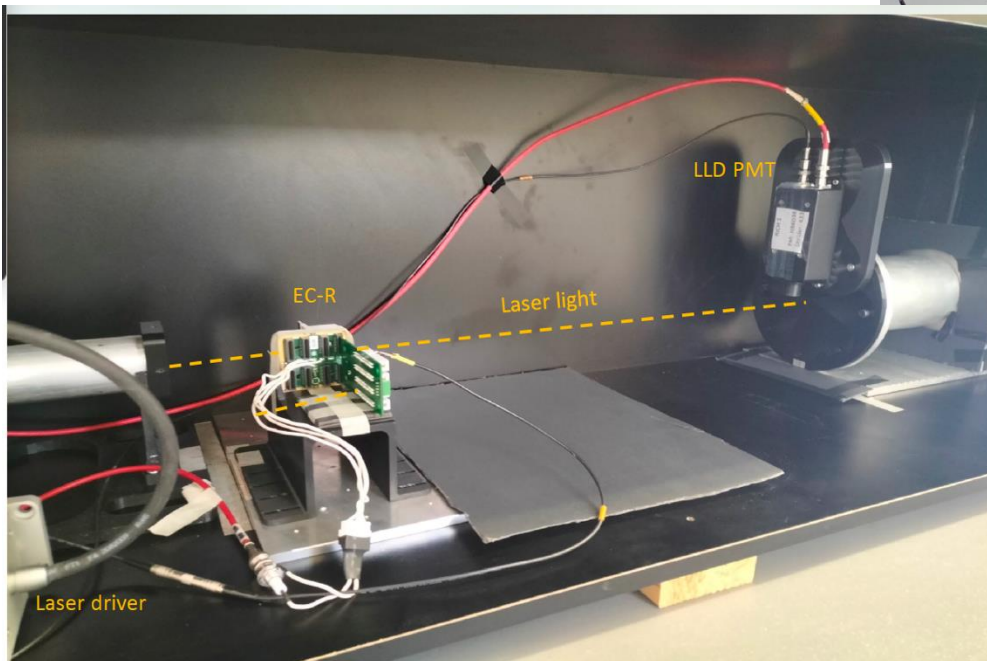
Essenziale avere dei sensori resistenti alla radiazione e con ottima risoluzione temporale, per capire a quale interazione associare ciascuna particella carica rivelata nei RICH

Perugia impegnata in 3 fronti:

- Ricerca e sviluppo per la scelta dei nuovi sensori e la loro caratterizzazione
- Sviluppo di un nuovo sistema di calibrazione dei sensori e di monitoraggio (misure di efficienza, allineamento temporale, misura di luminosità)
- Contributo all'elettronica di front-end e di acquisizione

Il laboratorio a Perugia

Molte delle attività di ricerca e sviluppo del gruppo sono portate avanti nel laboratorio al secondo piano del dipartimento



Attualmente test per nuovo sistema di calibrazione dei RICH e per nuovi sensori upgrade 2035, argomento delle tesi magistrali di A. Codovini e C. S. Codovini

Componenti del Gruppo LHCb + NA62

- Giuseppina Anzivino – Università
- Francesco Brizioli - INFN
- Patrizia Cenci – INFN
- Viacheslav Duk – INFN
- Lisa Fantini – dottoranda
- Pasquale Lubrano – INFN
- Gabriele Martelli – PosDoc INFN
- Monica Pepe - INFN
- Mauro Piccini – INFN

