

Incontri di Fisica delle Alte Energie 2024

---

# Stato e prospettive della fisica a bersaglio fisso nel Run 3 di LHCb

---

Fabio Davolio  
per la Collaborazione LHCb



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE



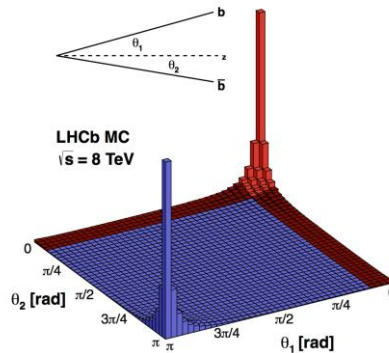
**LHCb** è uno dei quattro grandi esperimenti presenti al Large Hadron Collider (LHC) del CERN.

## Obiettivi principali nella fisica degli adroni pesanti:

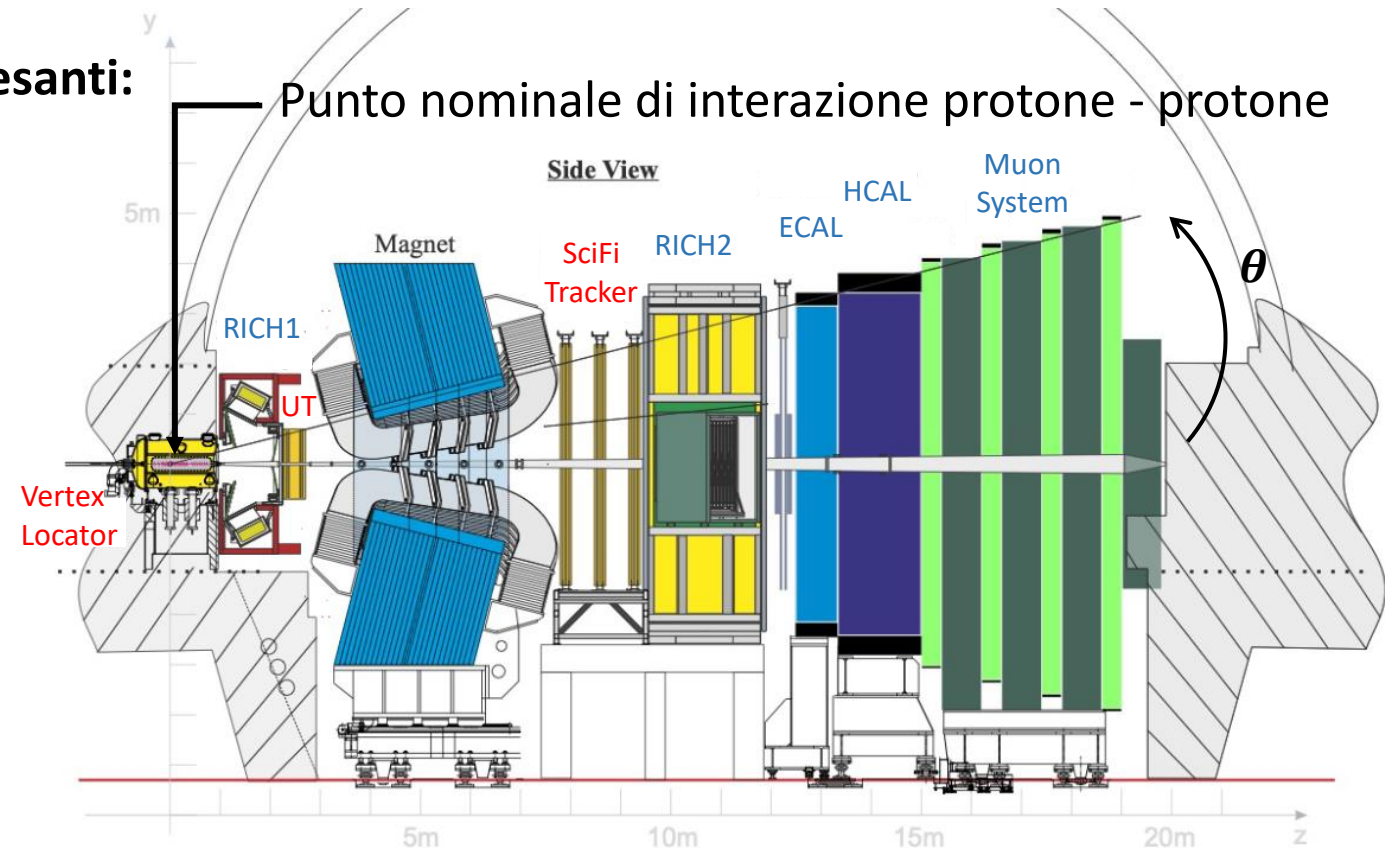
- Violazione di CP
- Decadimenti rari

## Caratteristiche:

1) Spettrometro a singolo braccio con una geometria proiettata in avanti



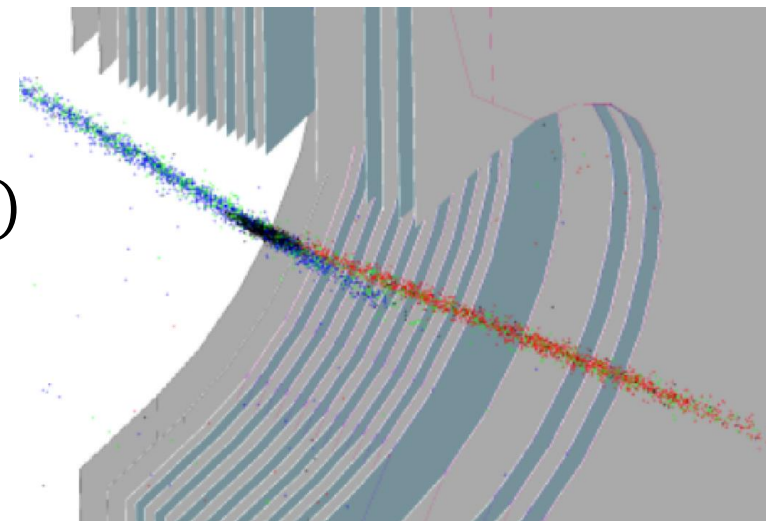
2) Diversi sotto-rivelatori per il **tracciamento** e l'**identificazione** delle particelle



3) Geometria adatta anche a collisioni in configurazione a bersaglio fisso

## **SMOG:** System for Measuring Overlap with Gas

- gas nobili (He, Ne, Ar) a bassa pressione ( $\sim 10^{-7}$  mbar)
- iniezione in regione  $\pm 20$  m attorno punto d'interazione  $pp$
- Concepito per misura profilo trasverso dei fasci da collisioni  $p$ -gas  $\longrightarrow$  minore incertezza sulla misura di luminosità di LHC



Ampia scelta del sistema di collisione

Energia di collisione  $O(100 \text{ GeV})$

regione cinematica (alto Bjorken- $x$ )

inesplorate da altri esperimenti



## **Estensione del programma di fisica**

Effetti nucleari nella produzione adronica

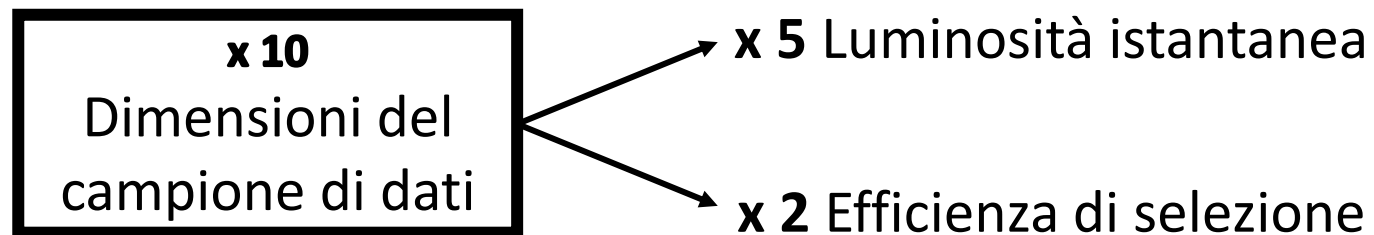
[PRL 122 132002 \(2019\)](#) [EPJC 83, 541 \(2023\)](#)

[EPJC 83, 625 \(2023\)](#) [EPJC 83, 658 \(2023\)](#)

Produzione  $\bar{p}$  per fisica raggi cosmici

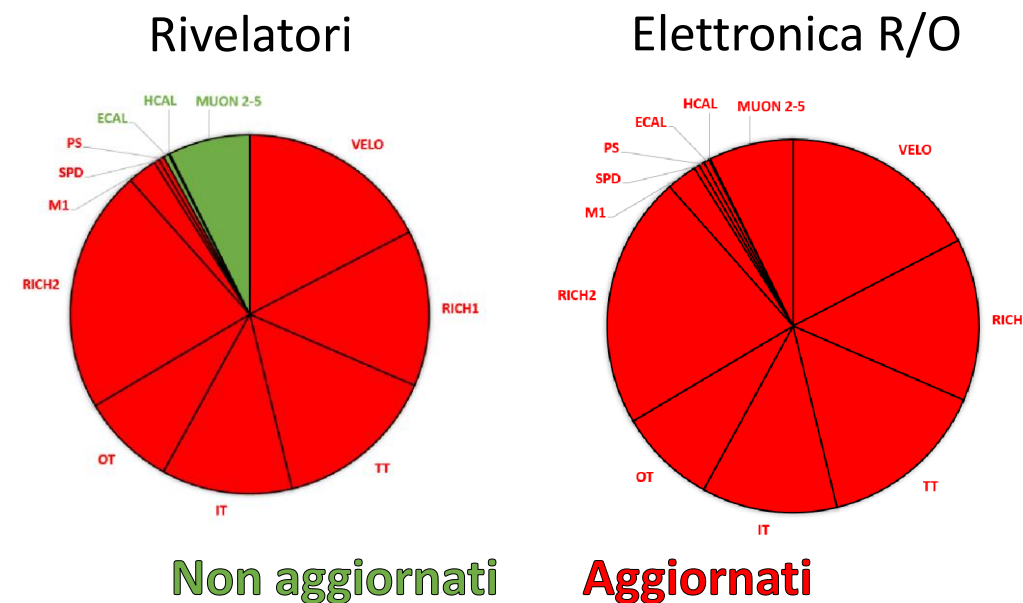
[PRL 121 222001 \(2018\)](#) [EPJC 83, 543 \(2023\)](#)

## Obiettivo



Tra il 2018 e il 2022:

- ~ 95% dei rivelatori aggiornati
- sostituzione elettronica di acquisizione
- passaggio a trigger solo software
- installazione SMOG2



## SMOG

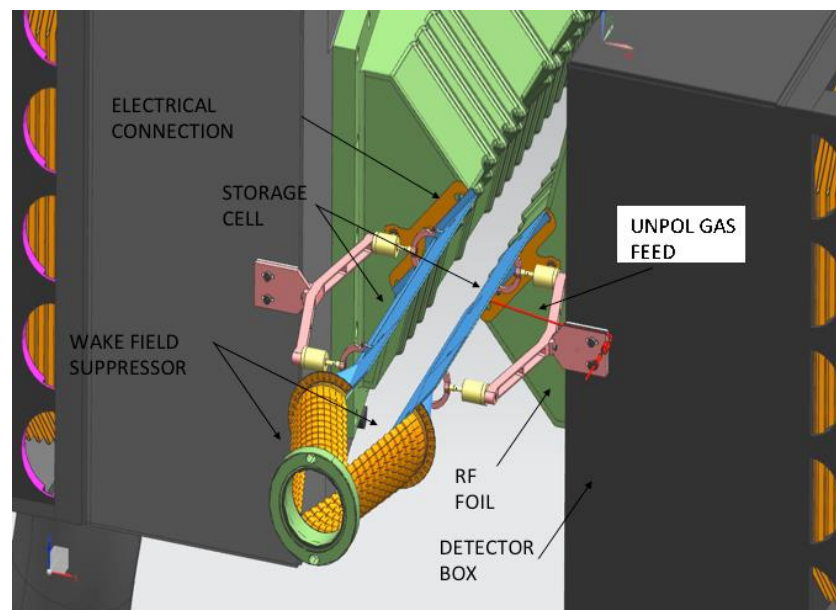
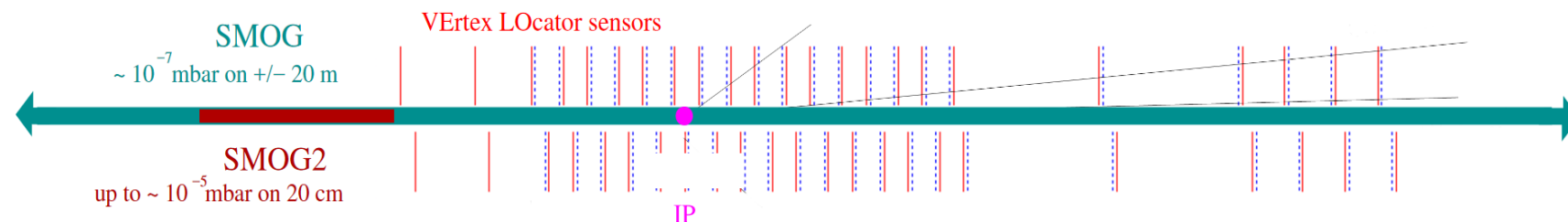
- Nessuna misura precisa della pressione del gas iniettato
- Ampia regione di iniezione: sovrapposizione regioni di interazione  $pp$  e  $p$ -gas
- Solo gas nobili: He, Ne, Ar



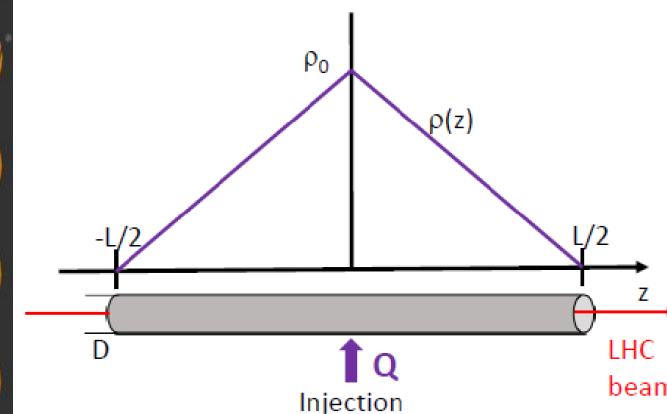
Upgrade

## SMOG2

- Iniezione in cella di 20 cm posizionata 40 cm a monte delle interazioni  $pp$
- Maggiore pressione del gas (fino a x100) a parità di flusso
- Acquisizione contemporanea  $pp$  e  $p$ -gas
- Misura precisa della luminosità  $p$ -gas
- Grande varietà di gas:  
 $H_2$ ,  $D_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ , He, Ne, Ar, Kr, Xe



Densità gas bersaglio:  
profilo triangolare



# Prospettive di fisica con SMOG2

La presa dati simultanea  $pp$  e  $p$ -gas, la maggiore varietà di gas e l'aumento di pressione aprono nuove prospettive

- Misure di precisione di **particelle charm e bottom** e di **Drell-Yan** nella regione a bassa massa
- Studio dettagliato delle **PDFs nella regione ad alto  $x$**
- Alta statistica di  $\rho$ ,  $\omega$ , charmonium e bottomonium prodotti in **collisioni ultra-periferiche con bersagli ad alto  $Z$**
- Tomografia 3D della struttura dei nucleoni
- Programma di interesse per la **fisica dei raggi cosmici**:
  - produzione di antimateria nella galassia con  $H_2$ ,  $D_2$  e He
  - studio degli sciami atmosferici con  $N_2$  e  $O_2$

	SMOG published result $pHe@87\text{ GeV}$	SMOG2 example $pAr@115\text{ GeV}$
Integrated luminosity	$7.6\text{ nb}^{-1}$	$\sim 45\text{ pb}^{-1}$
syst. error on $J/\psi$ x-sec.	7%	2 - 3 %
$J/\psi$ yield	400	15M
$D^0$ yield	2000	150M
$\Lambda_c^+$ yield	20	1.5M
$\psi(2S)$ yield	negl.	150k
$\Upsilon(1S)$ yield	negl.	7k
Low-mass Drell-Yan yield	negl.	9k

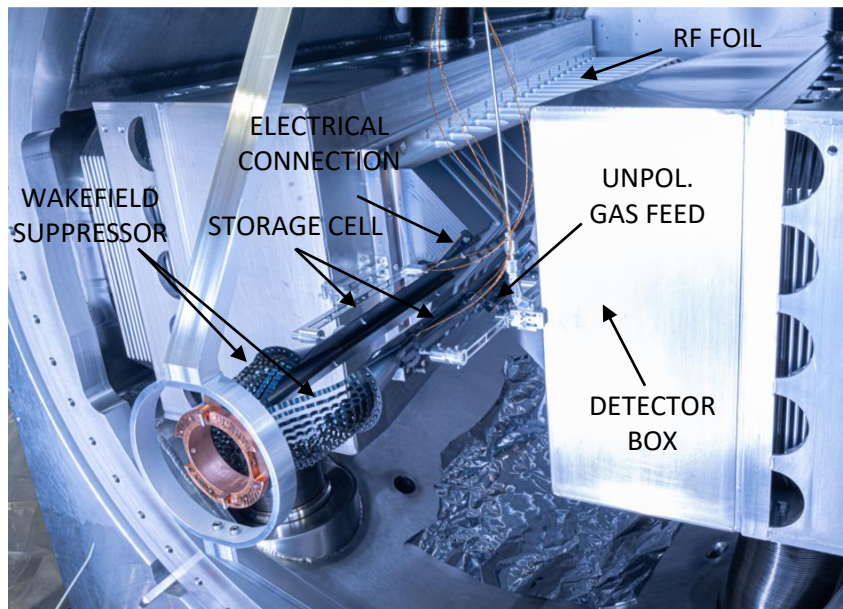
[LHCb-PUB-2018-015](#)

**Laboratorio per studi di QCD senza eguali!**



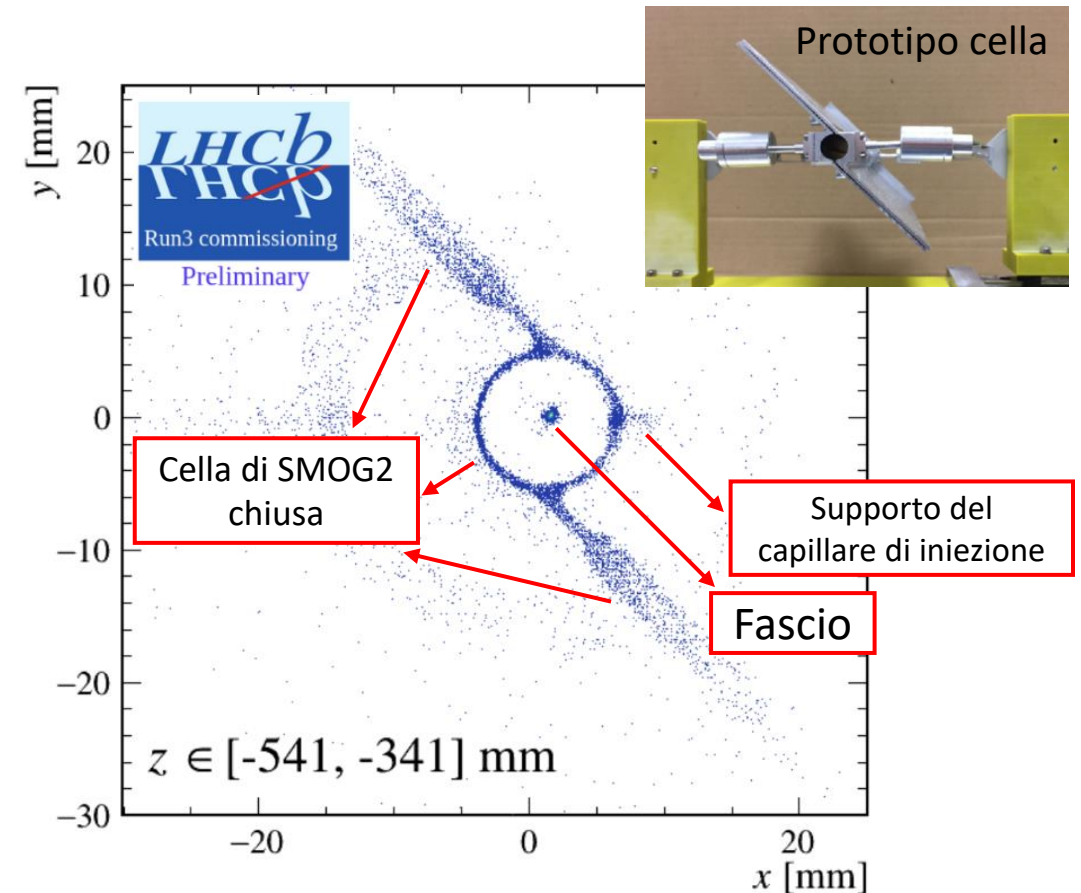
# Installazione e allineamento SMOG2

Installazione completata  
ad **Agosto 2020**



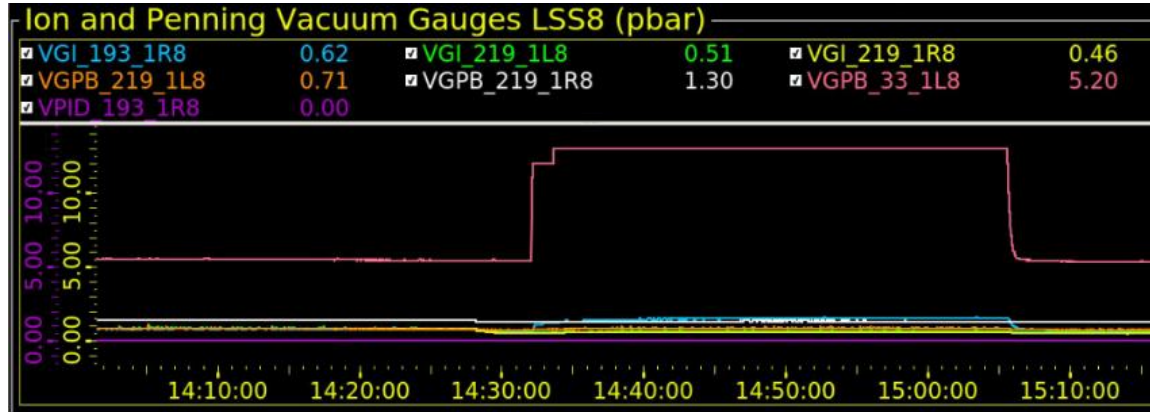
**Posizionamento e allineamento della cella  
ottenuti durante l'installazione  
sono stati verificati nei dati**

**Ottobre 2022:** tomografia della cella  
di SMOG2 ottenuta dai vertici delle interazioni  
tra fascio e materiale

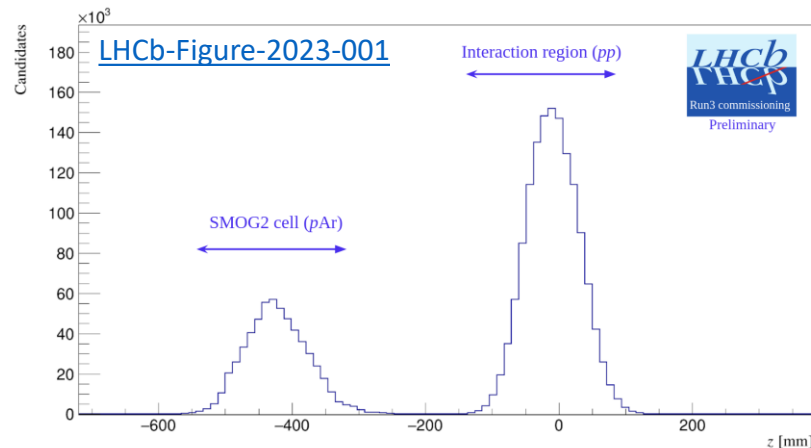


# Primi successi con SMOG2 – Novembre 2022 (1)

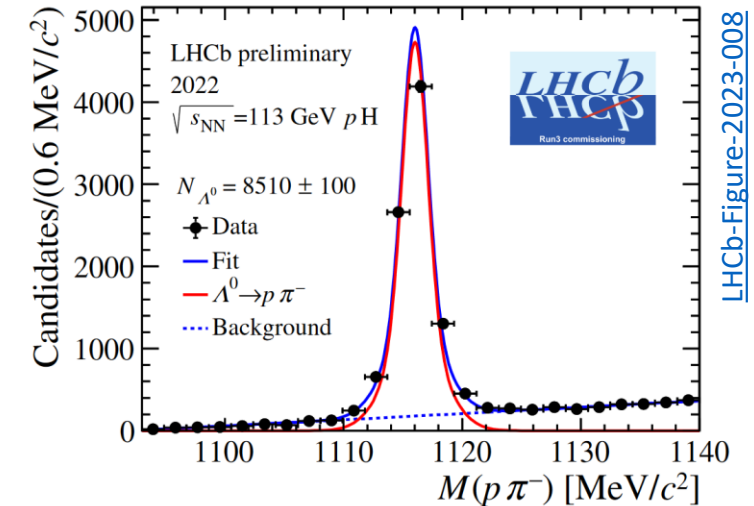
Iniezione stabile di gas all'interno della cella



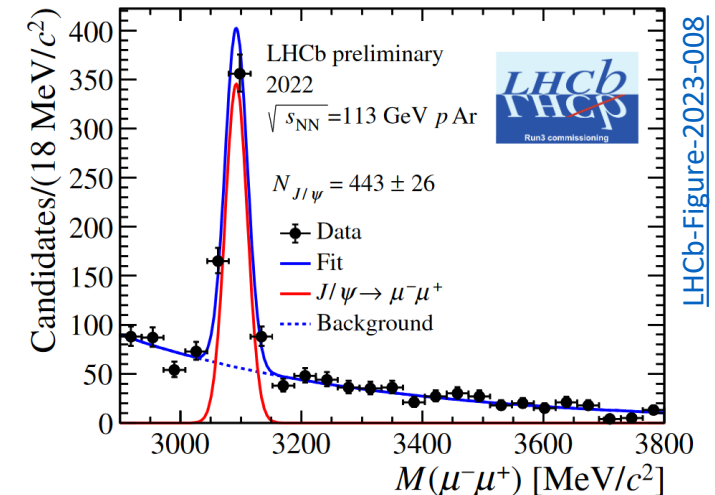
Due regioni d'interazione ( $pp$  e  $p$ -gas) distinte e simultanee



Prima iniezione di gas non nobile: Idrogeno



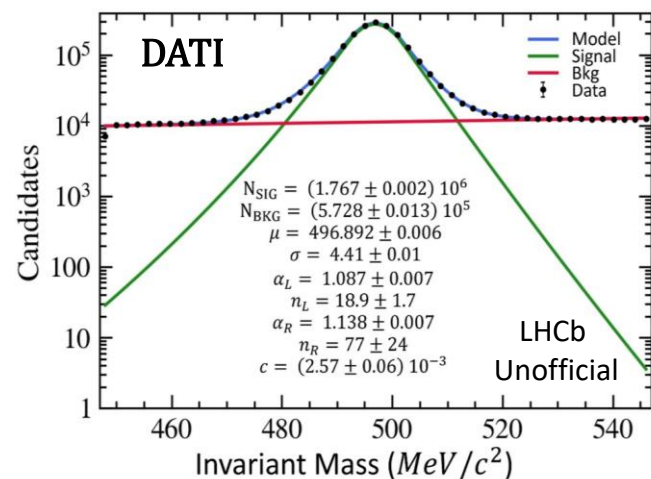
Picco  $J/\psi$  in soli ~ 18 min di acquisizione  $p$ -Ar





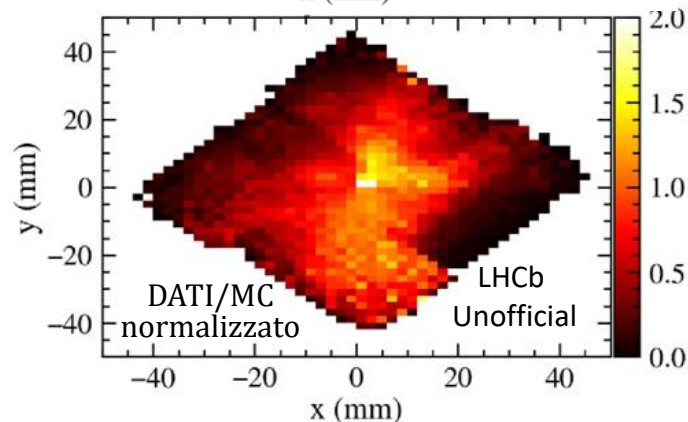
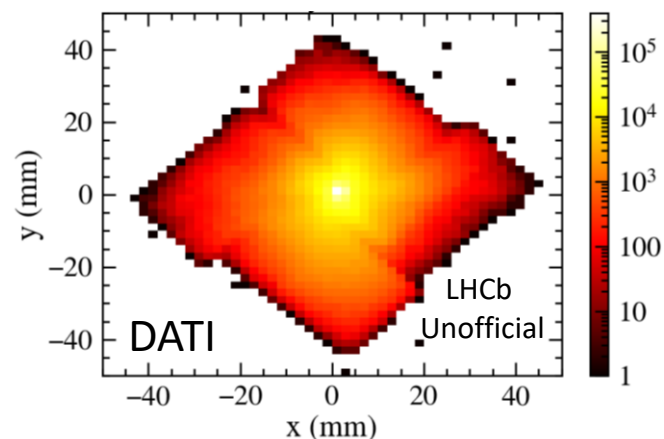
# Primi successi con SMOG2 – Novembre 2022 (2)

Studio di produzione di  $K_S$  in collisioni  $p$ -Ar con SMOG2 ( $\sim 7$  min di acquisizione)



Fit al picco di massa invariante  
 $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$

$$N_{K_S}^{SEL} \sim 1.8 \cdot 10^6$$



Distribuzione vertici secondari nel  
piano trasverso al fascio

**Stima  
pressione del bersaglio al  
centro della cella**

$$p \sim 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ mbar}$$

**e luminosità integrata**

$$\mathcal{L} \sim 0.5 \text{ nb}^{-1}$$

**sono in linea con le attese**

# Incidente VELO – Gennaio 2023

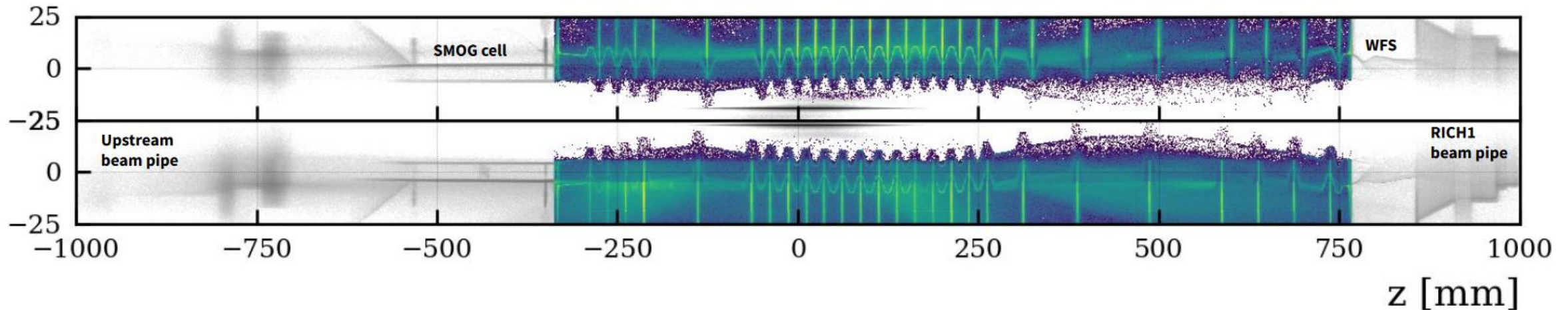
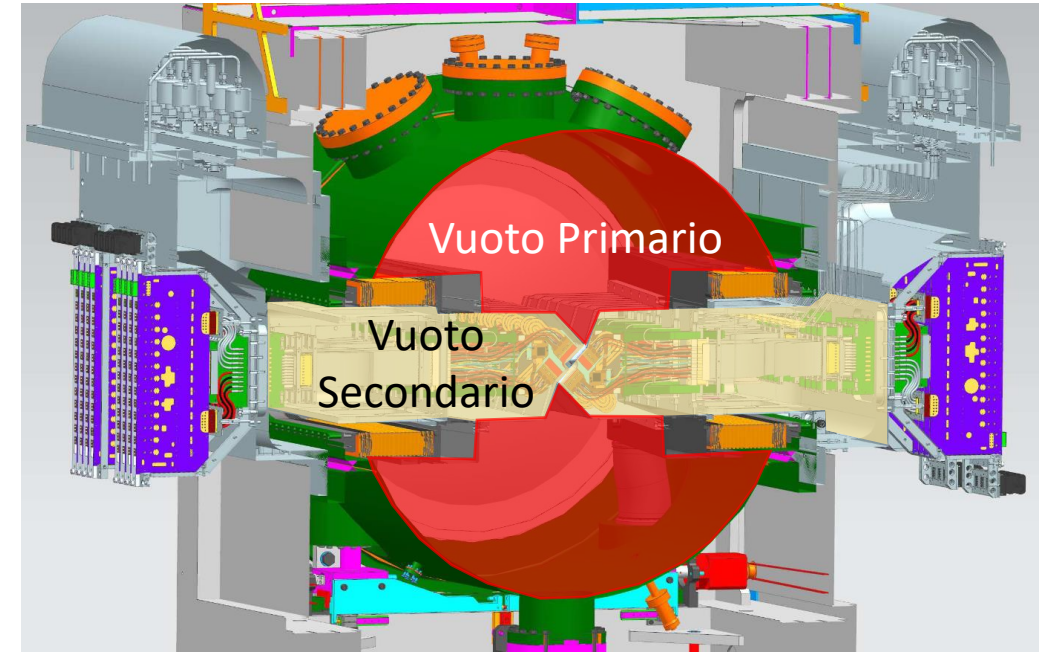
Perdita di controllo dei sistemi di protezione

$\Delta$  pressione  $\sim 200$  mbar



Deformazione plastica foil  
che ricopre rivelatore

**Non è stato possibile acquisire  
dati con SMOG2 nel 2023**

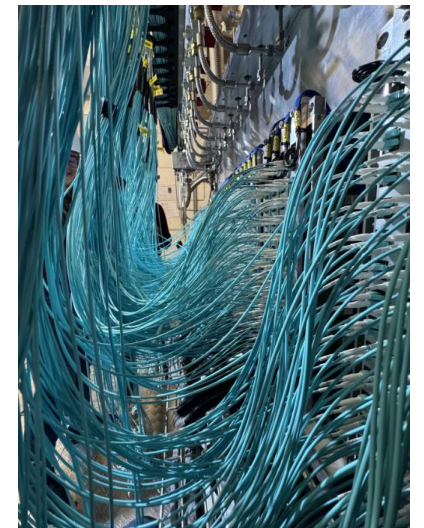
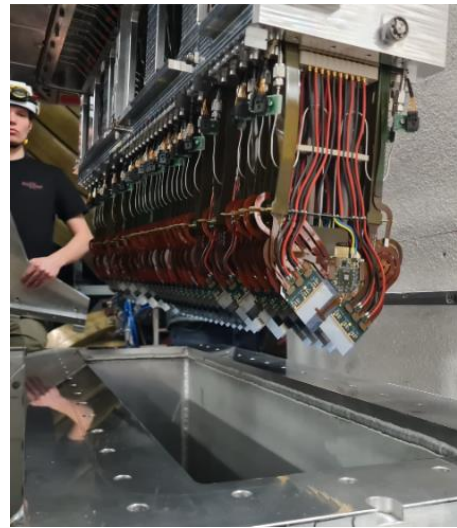


# Sostituzione RF Foil – YETS 2023/24

Rimozione del VELO e  
sostituzione del Foil danneggiato  
**13-29 Nov 2023**



Reinstallazione del VELO e di SMOG2  
e cablaggio  
**29 Gen - 6 Mar 2024**



**PRONTI PER IL 2024!**



# Conclusioni

- Dal 2015 LHCb, grazie a SMOG, è **l'unico esperimento ad LHC con fisica a bersaglio fisso**
- L'aggiornamento a SMOG2 permette di variare maggiormente i bersagli e raggiungere una **densità fino a 100 volte maggiore** a parità di flusso di gas con Run 2
- **Sistema di iniezione testato e validato** nel 2022 con He, Ne, Ar e H<sub>2</sub>
- Possibilità di **acquisire simultaneamente** collisioni tra fasci e a bersaglio fisso
- **Risolto il danno del RF Foil** che ha limitato l'attività di SMOG2 nel 2023

**Grazie per l'attenzione!**

---

# Backup

---



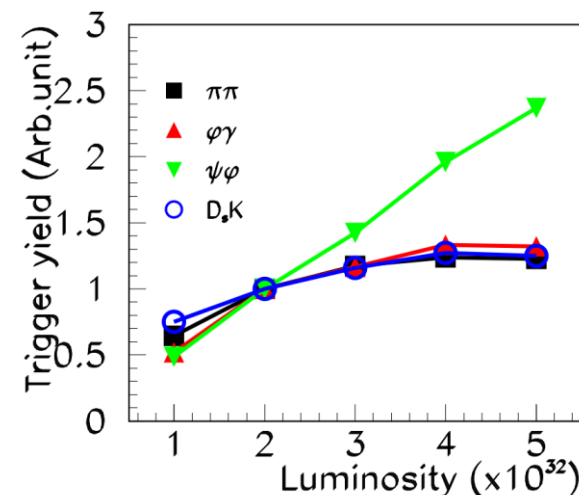
# Upgrade del trigger in LHCb

Run 1 / Run 2 → L0 (Hardware) + High Level Trigger (Software)

**Limitazione:** output L0 limitato a 1 MHz,  
trigger hardware non ottimizzabile per canali adronici



# eventi fisici interessanti costante  
all'aumentare della luminosità



Run 3 → High Level Trigger 1 e 2 (Software)

**Vantaggio:** lettura completa del rivelatore a 30 MHz  
algoritmi di selezione specifici, ricostruzione completa online

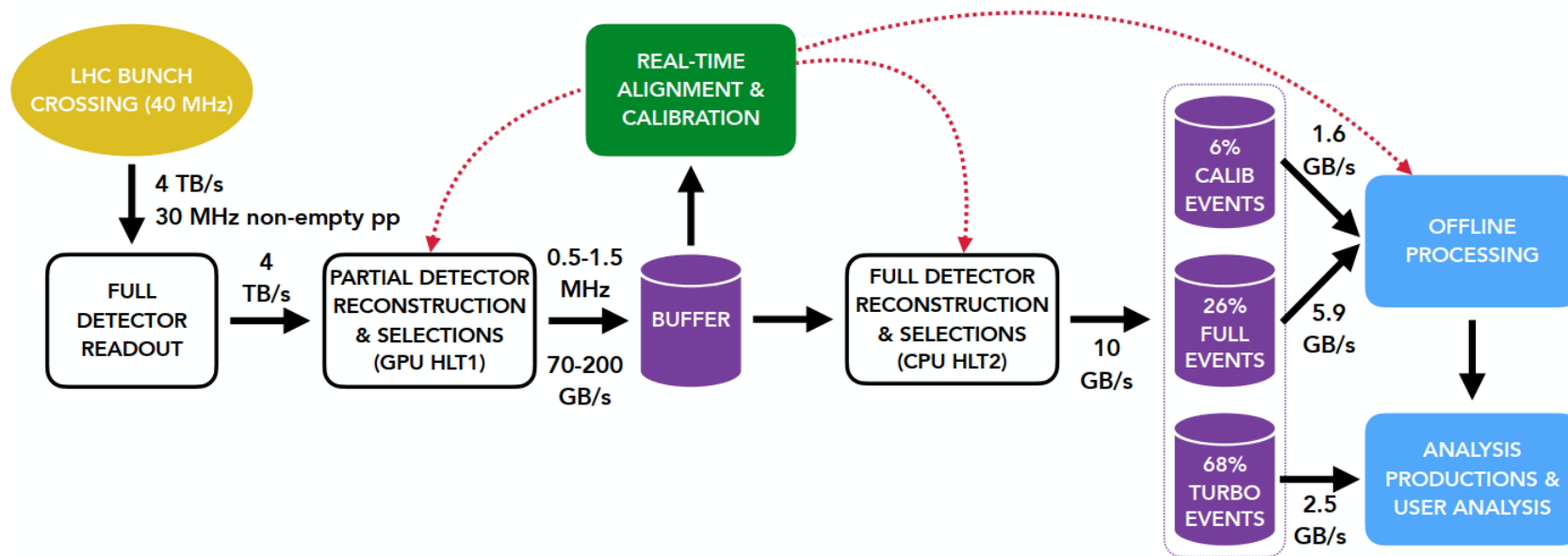
# Trigger – Upgrade I

## HLT1 (*GPU*)

- Ricostruzione di particelle cariche
- Selezione grezza

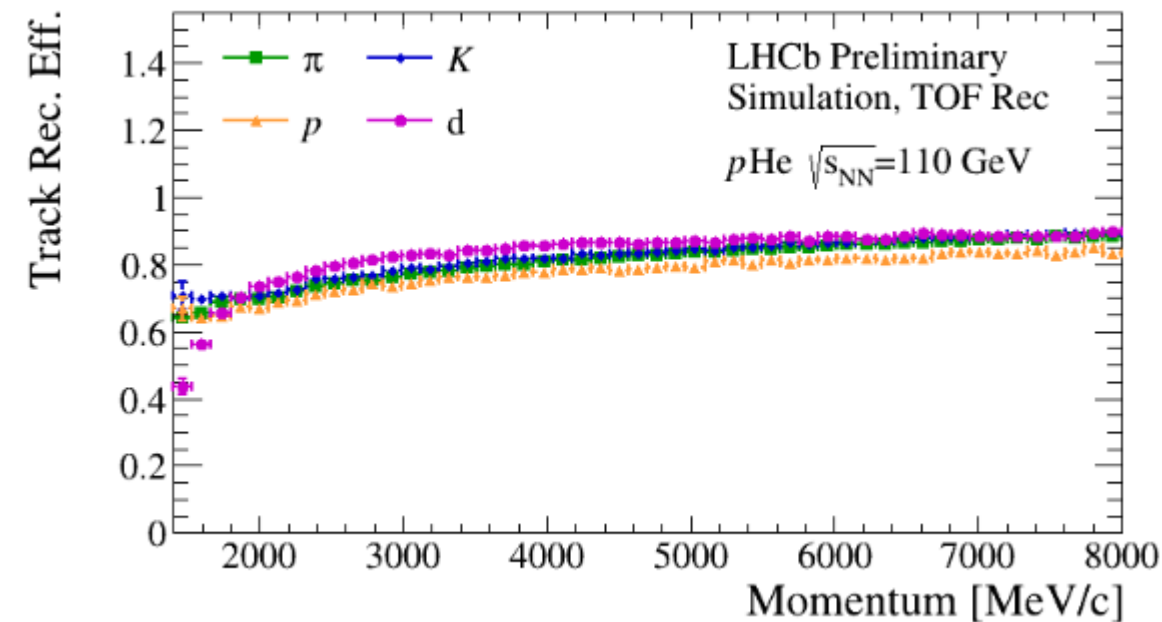
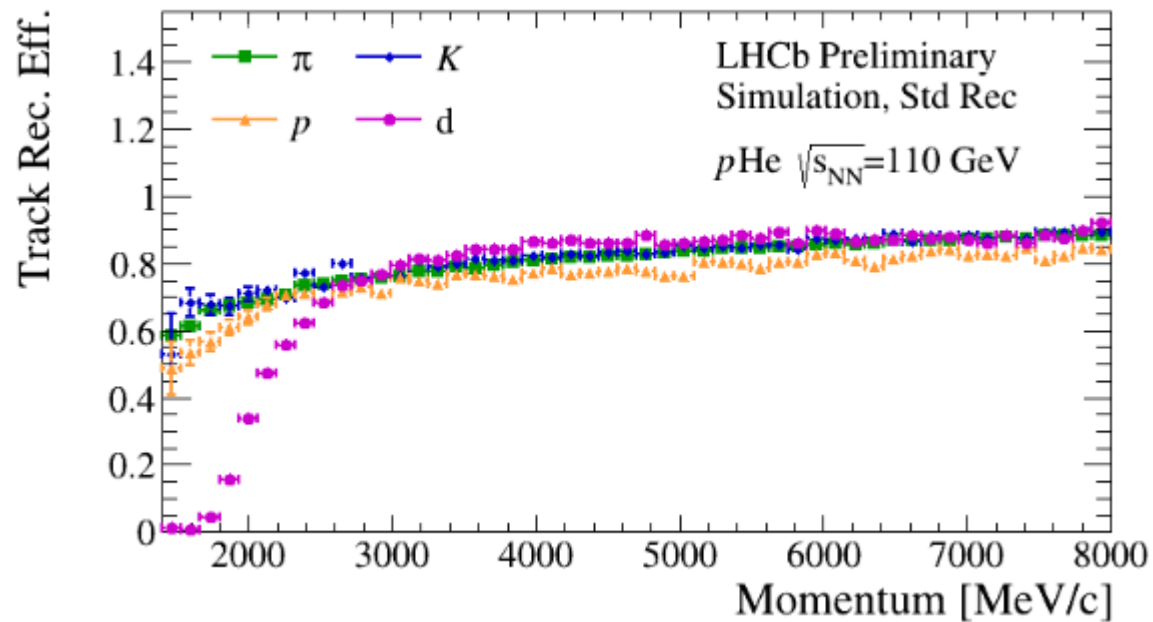
## HLT2 (*CPU*)

- Ricostruzione completa dopo allineamento e calibrazione
- Selezione raffinata



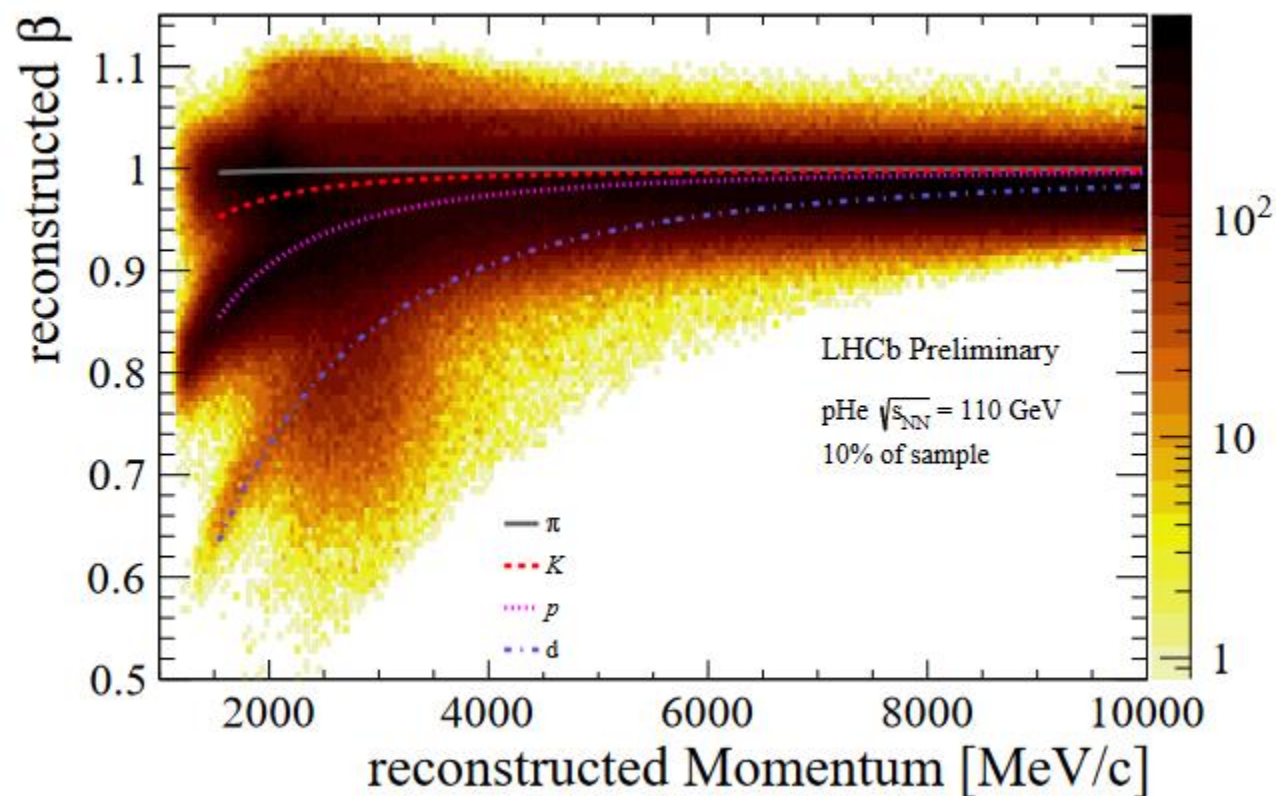
# Rivelazione di nuclei leggeri ad LHCb (1)

Efficienza di ricostruzione delle tracce con algoritmo standard e algoritmo TOF.  
Osservare il netto miglioramento nella ricostruzione dei deutoni

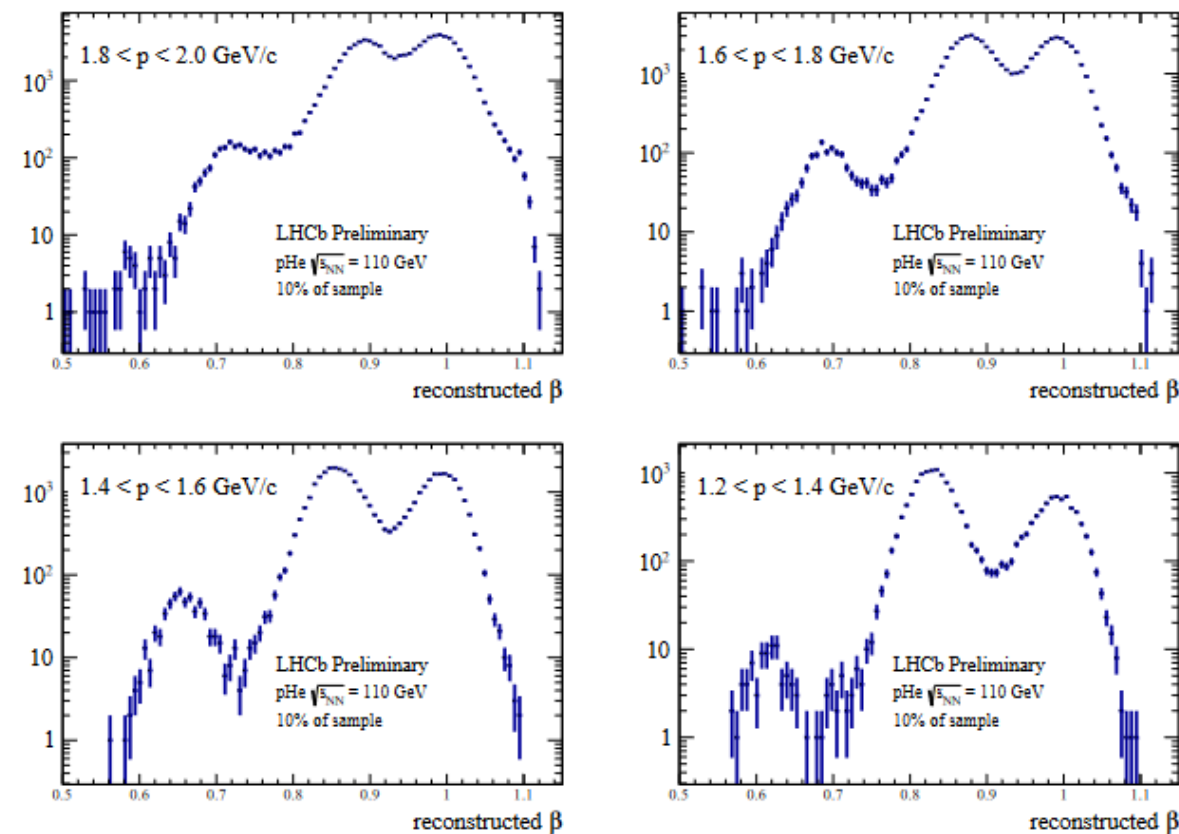


# Rivelazione di nuclei leggeri ad LHCb (2)

$\beta$  ricostruito in funzione dell'impulso



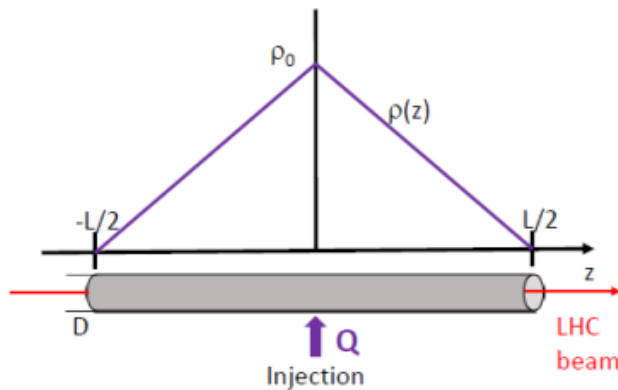
$\beta$  ricostruito in 4 intervalli di impulso



# Misura diretta di luminosità con SMOG2

Flusso di particelle del gas + Temperatura

1<sup>a</sup> misura diretta di luminosità



$$\mathcal{L} = N_p f_{\text{riv}} \theta$$

$$\theta = \frac{L}{4} \cdot \frac{\Phi}{3.81 \sqrt{\frac{T}{M}} \frac{D^3}{0.5 L + 1.33 D}}$$

$N_p$ : n° protoni per pacchetto

$f_{\text{riv}}$ : freq. di rivoluzione

$\theta$ : densità areale

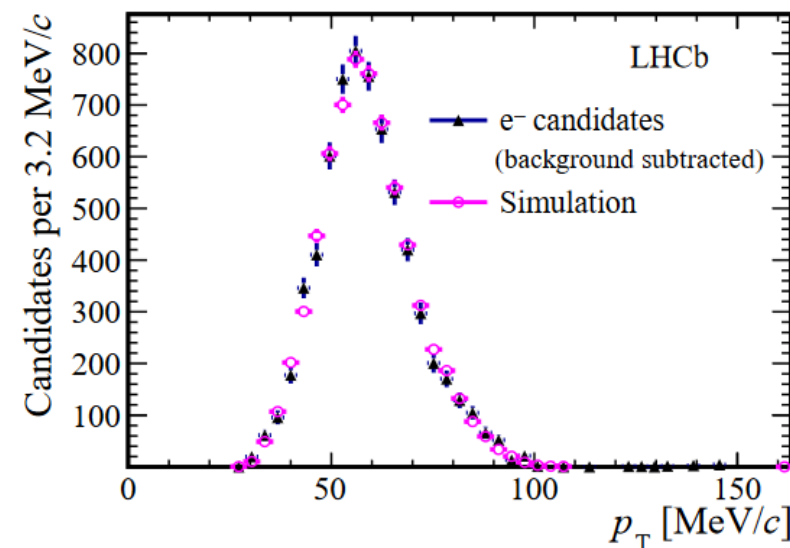
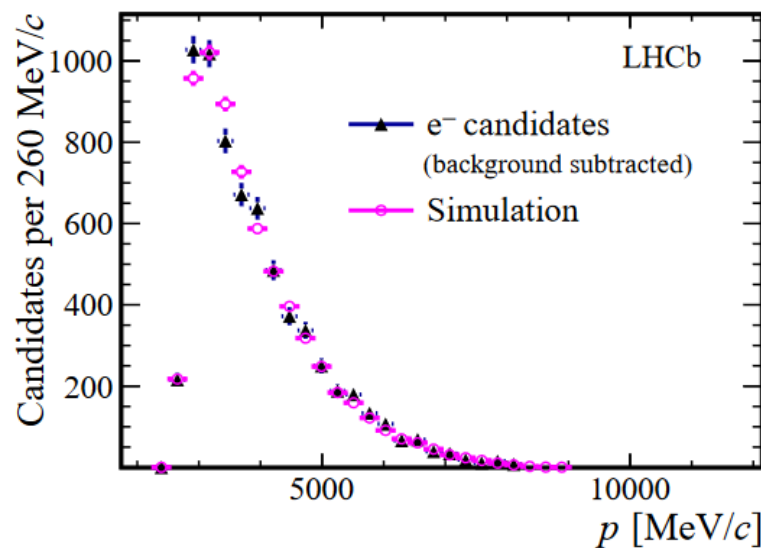
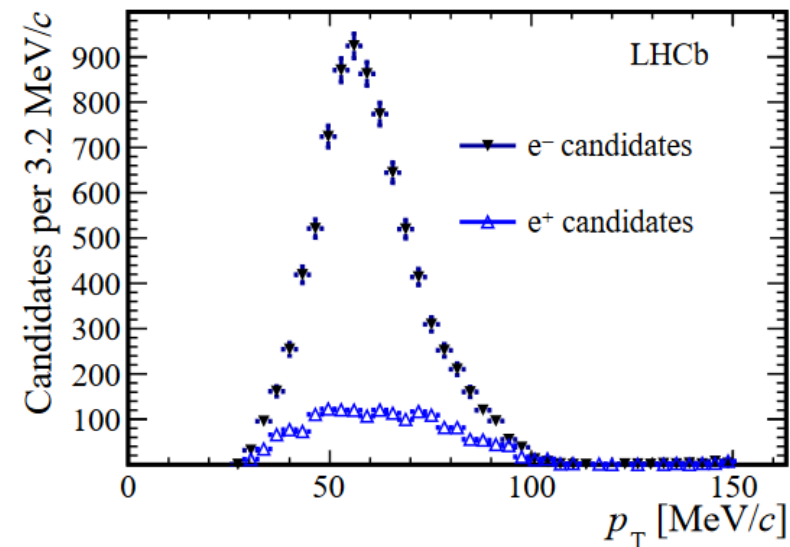
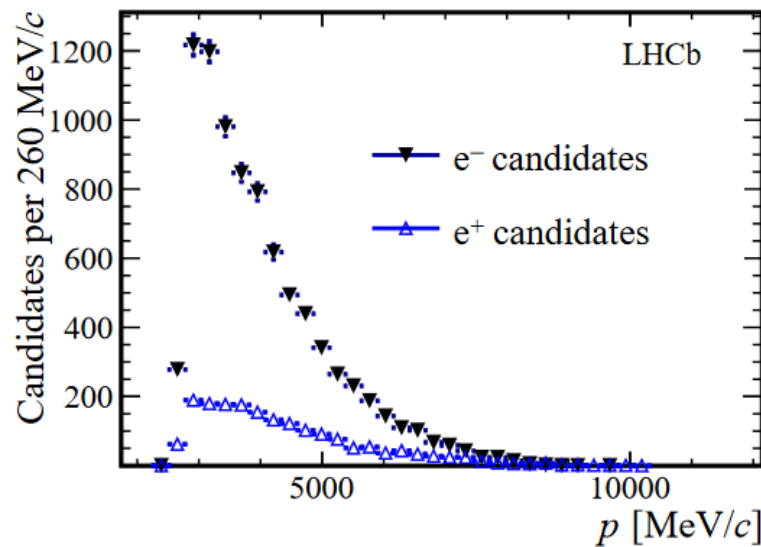
$L$ : lunghezza della cella

$D$ : diametro della cella

$M$ : massa molecolare del gas



# Misura indiretta di luminosità



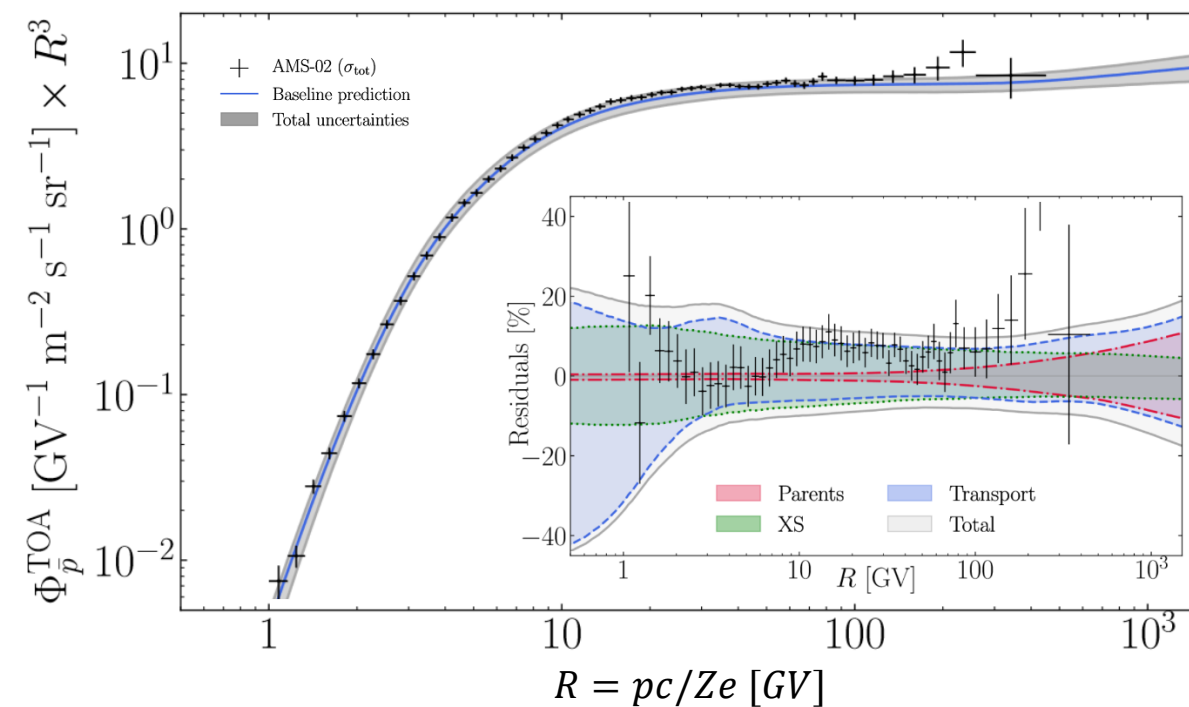
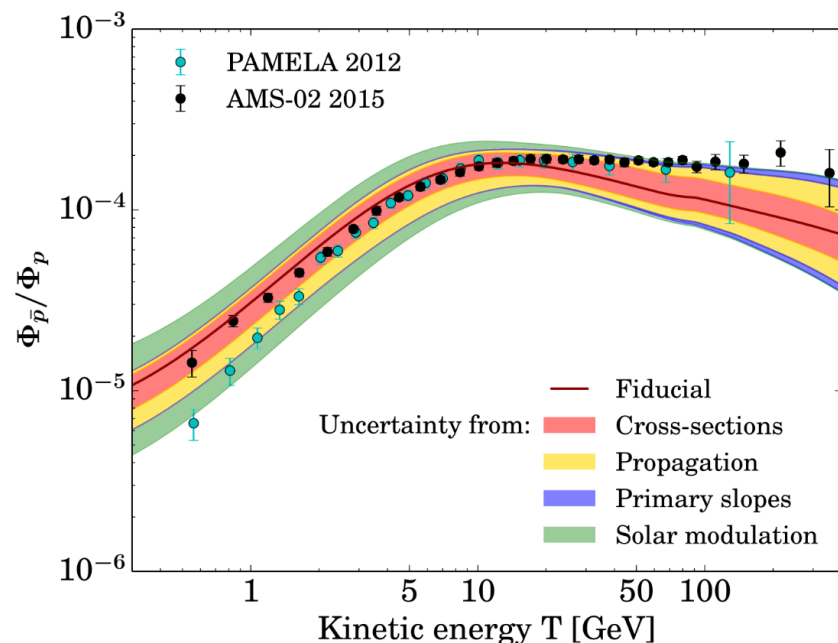
# Contributo di SMOG alla fisica dei raggi cosmici

Produzione di antimateria nei raggi cosmici

→ Collisioni tra raggi cosmici primari e mezzo interstellare

→ Sorgenti esotiche: materia oscura?

Principale incertezza: sezioni d'urto → Misura di  $\sigma(p\text{He} \rightarrow \bar{p} X)$



Incertezza sulle sezioni d'urto ancora dominante

# Contributi residui all'incertezza

1. Composizione raggi cosmici e mezzo interstellare → prevalentemente H e He

✓  $\sigma(pH_2 \rightarrow \bar{p} X)$

✓  $\sigma(pD_2 \rightarrow \bar{p} X)$

✓  $\sigma(pHe \rightarrow \bar{p} X)$

non esistono misure ad energie  
di interesse per raggi cosmici

già iniettato  
nel 2022!

misurabili con SMOG2  
 $\sqrt{s_{NN}} \sim 110$  GeV

2. Misura di produzione  $\sigma(pp \rightarrow \bar{n} X)$

✓ confrontando  $\sigma(pp \rightarrow \bar{p} X)$  e  $\sigma(pn \rightarrow \bar{p} X)$

↳ vincolo sulla violazione di isospin

misurabile con SMOG2  
iniettando  $D_2$

