

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



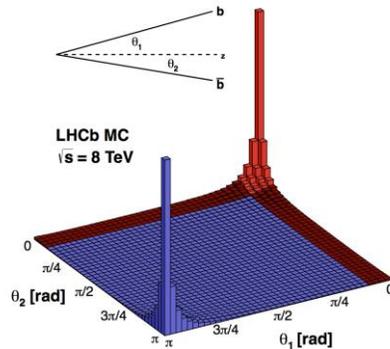
LHCb è uno dei quattro grandi esperimenti presenti al Large Hadron Collider (LHC) del CERN.

Obiettivi principali nella fisica degli adroni pesanti:

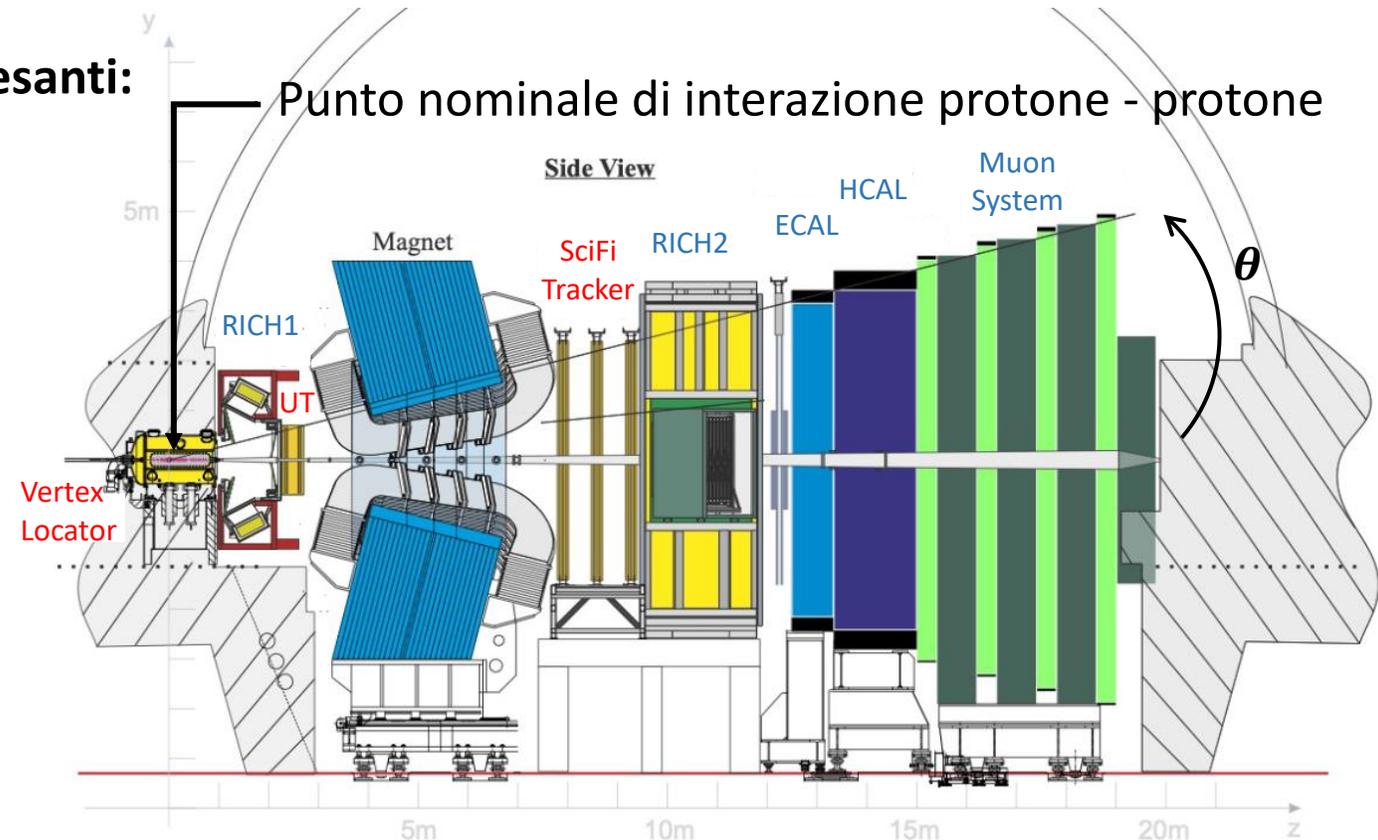
- Violazione di CP
- Decadimenti rari

Caratteristiche:

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



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

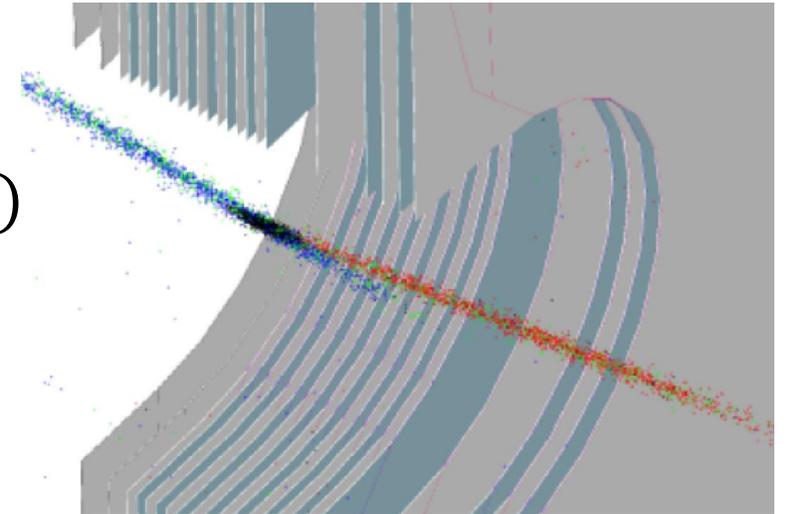


3) Geometria adatta anche a collisioni in configurazione a bersaglio fisso

LHCb 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 ± 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 $O(100$ GeV)

regione cinematica (alto Bjorken- x)

inesplorate da altri esperimenti



Estensione del programma di fisica

Effetti nucleari nella produzione adronica

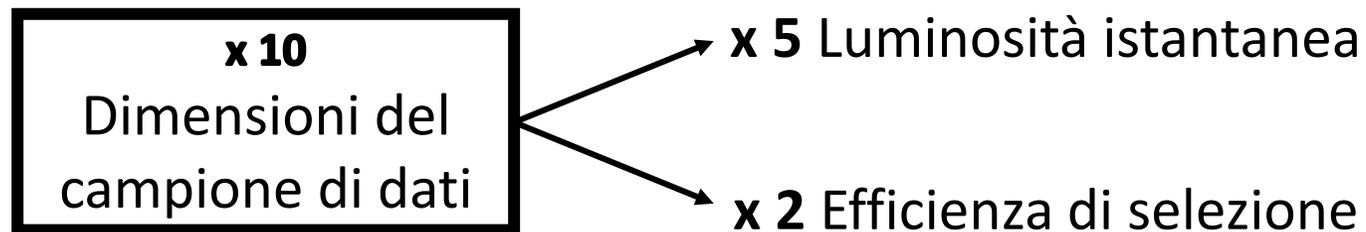
[PRL 122 132002 \(2019\)](#) [EPJC 83, 541 \(2023\)](#)

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

Produzione \bar{p} per fisica raggi cosmici

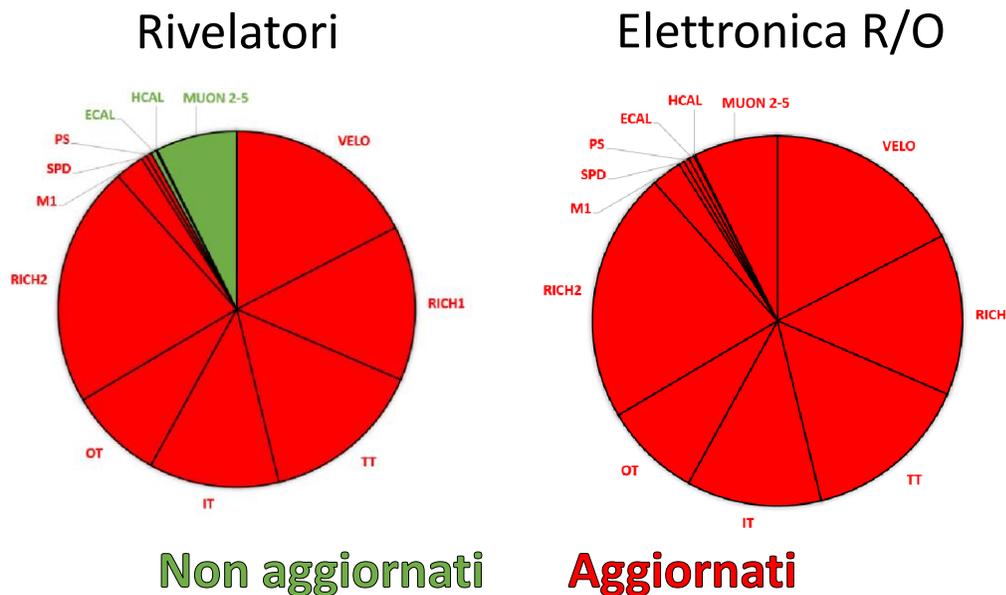
[PRL 121 222001 \(2018\)](#) [EPJC 83, 543 \(2023\)](#)

Obiettivo



Tra il 2018 e il 2022:

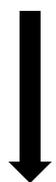
- ~ 95% dei rivelatori aggiornati
- sostituzione elettronica di acquisizione
- passaggio a trigger solo software
- installazione SMOG2



LHCb a bersaglio fisso

SMOG

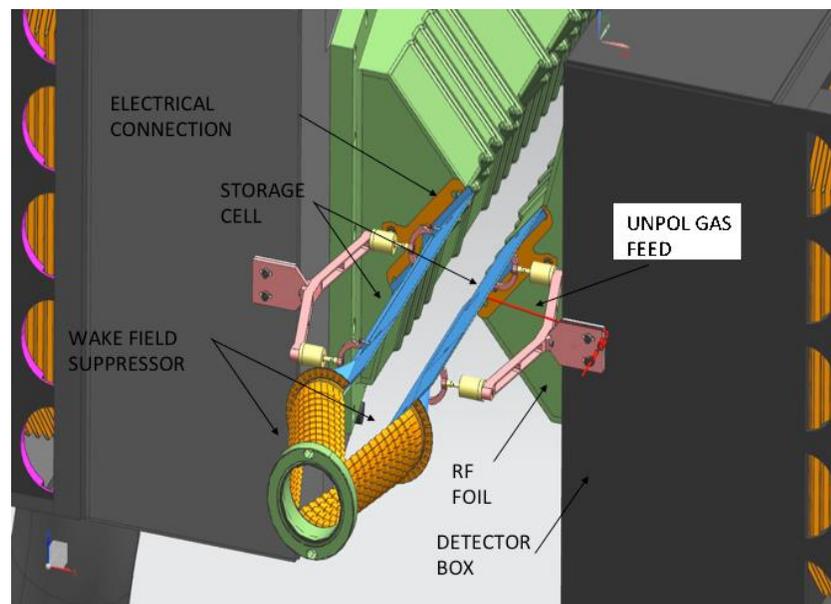
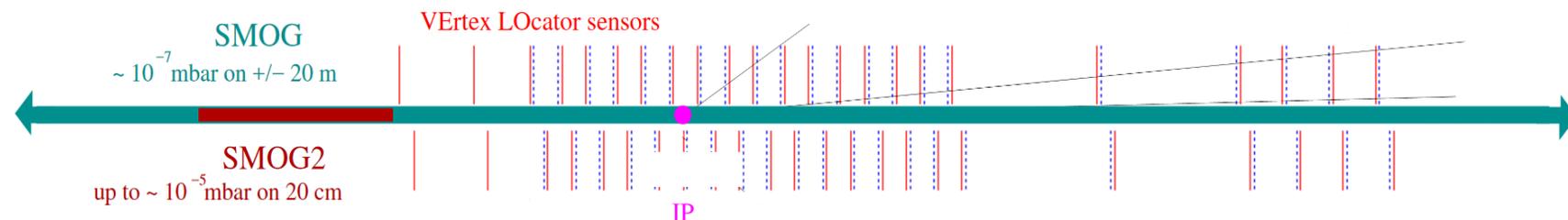
- Nessuna misura precisa della pressione del gas iniettato
- Ampia regione di iniezione: sovrapposizione regioni di interazione pp e p -gas
- Solo gas nobili: He, Ne, Ar



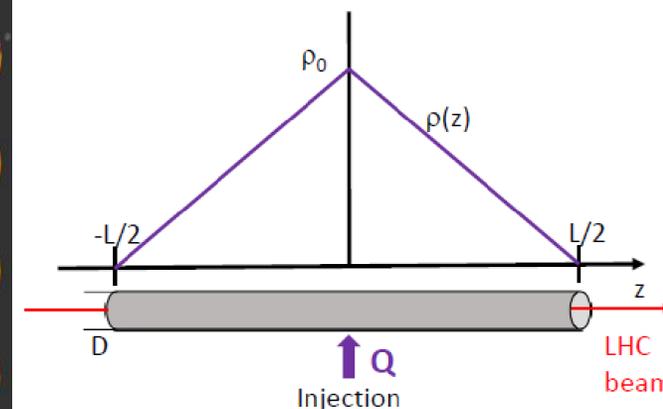
Upgrade

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 ρ , ω , 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

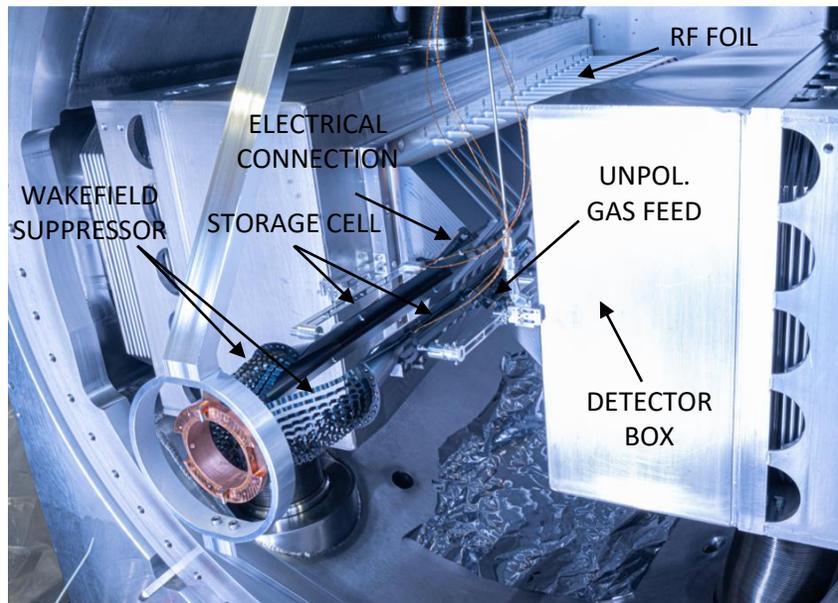
	SMOG published result $pHe@87$ GeV	SMOG2 example $pAr@115$ GeV
Integrated luminosity	7.6 nb^{-1}	$\sim 45 \text{ pb}^{-1}$
syst. error on J/ψ x-sec.	7%	2 - 3 %
J/ψ yield	400	15M
D^0 yield	2000	150M
Λ_c^+ yield	20	1.5M
$\psi(2S)$ yield	negl.	150k
$\Upsilon(1S)$ yield	negl.	7k
Low-mass Drell-Yan yield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

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

Laboratorio per studi di QCD senza eguali!

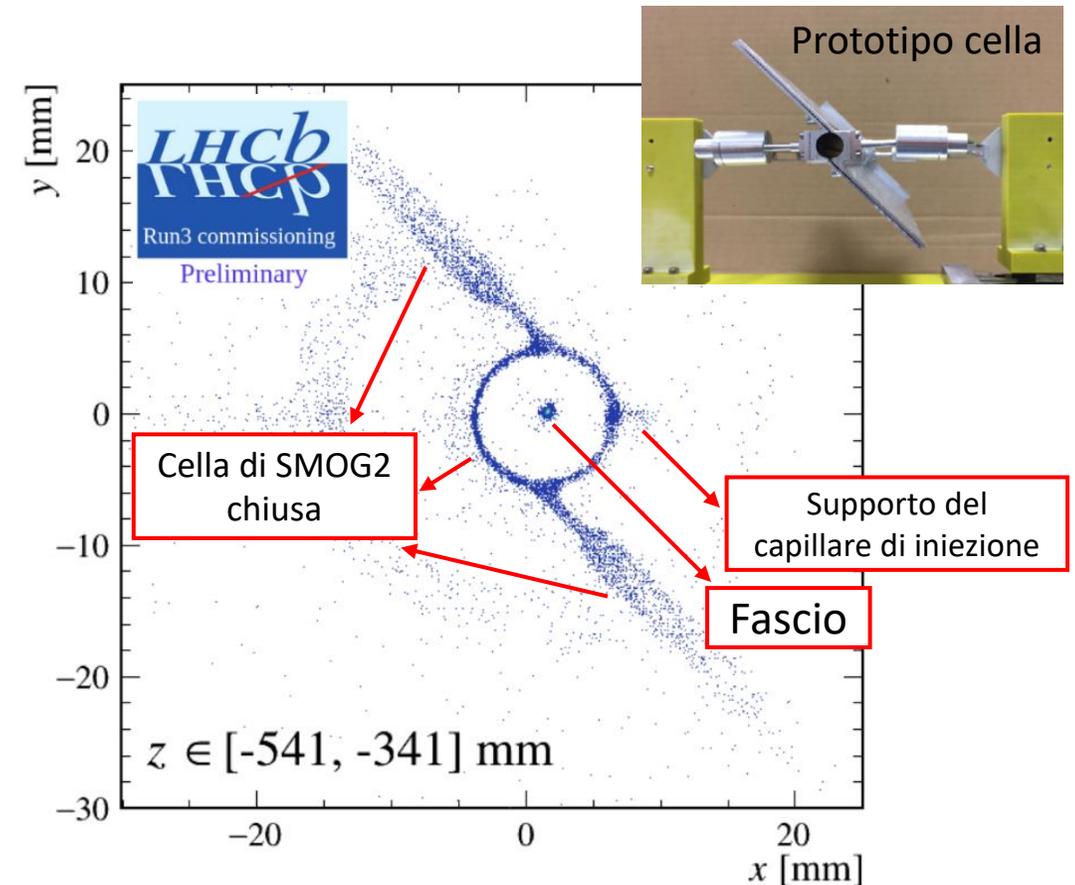
Installazione e allineamento SMOG2

Installazione completata
ad **Agosto 2020**



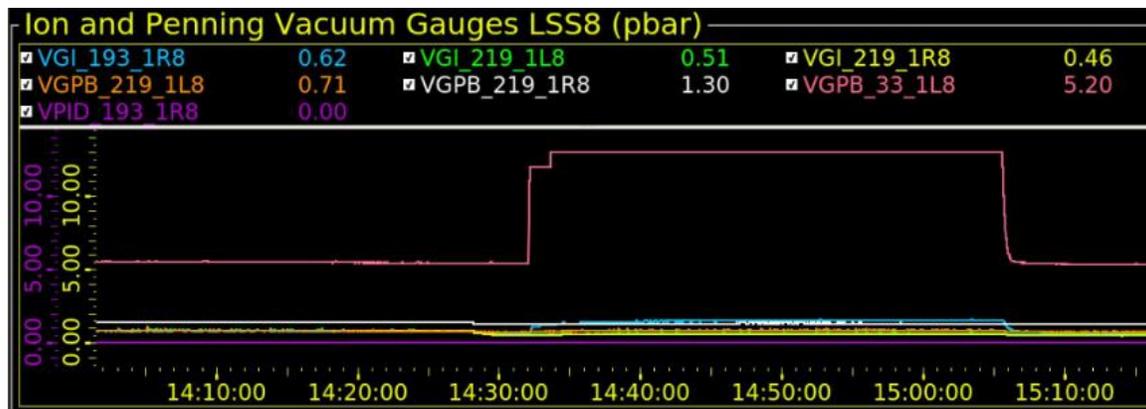
**Posizionamento e allineamento della cella
ottenuti durante l'installazione
sono stati verificati nei dati**

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

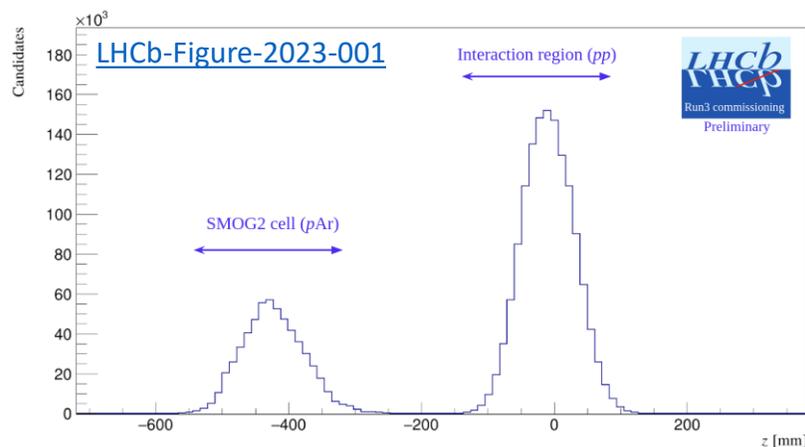


Primi successi con SMOG2 – Novembre 2022 (1)

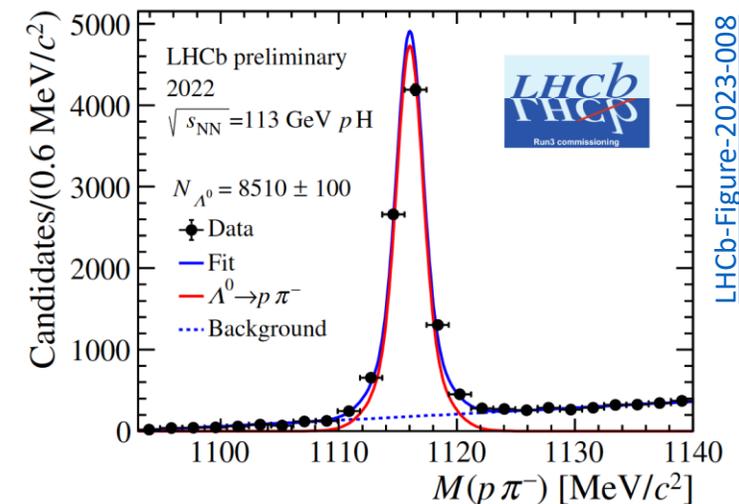
Iniezione stabile di gas all'interno della cella



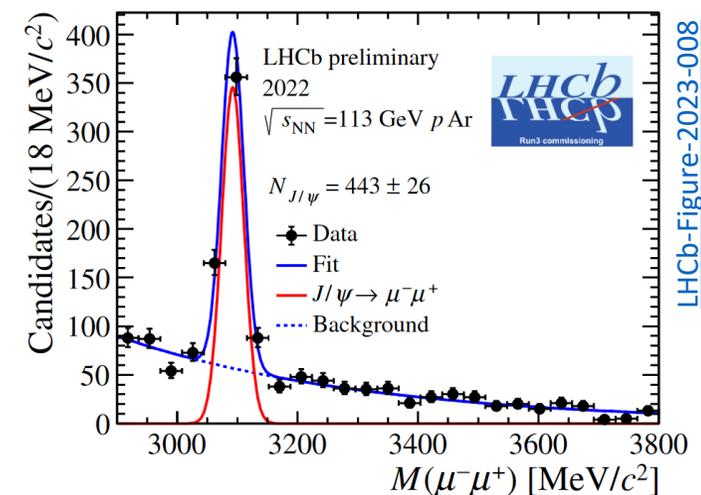
Due regioni d'interazione (pp e p -gas) distinte e simultanee



Prima iniezione di gas non nobile: Idrogeno

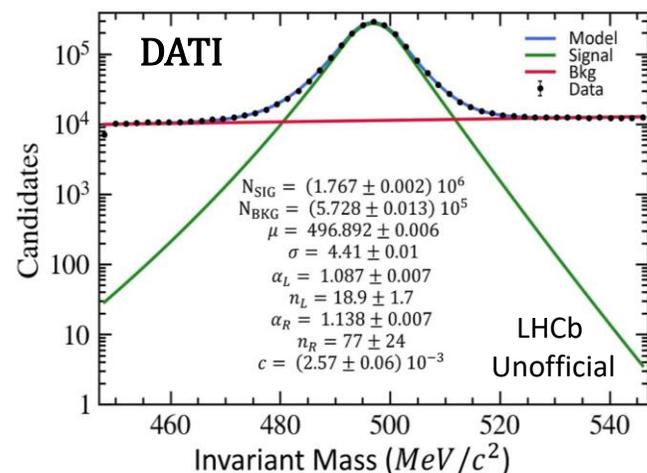


Picco J/ψ in soli ~ 18 min di acquisizione p -Ar



Primi successi con SMOG2 – Novembre 2022 (2)

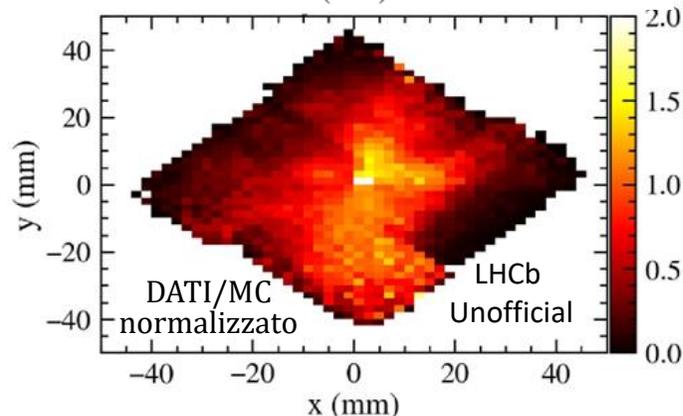
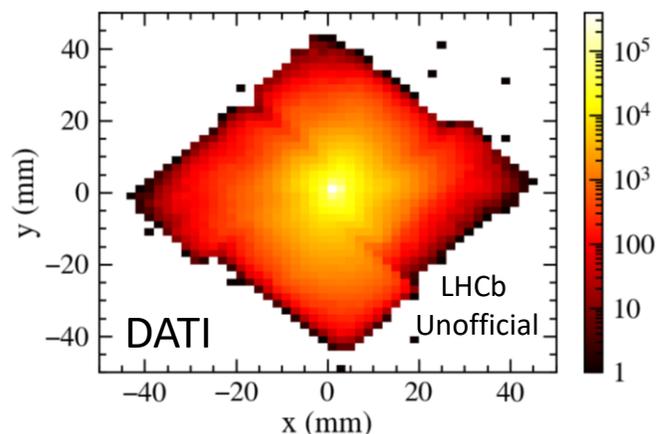
Studio di produzione di K_S in collisioni p -Ar con SMOG2 (~ 7 min di acquisizione)



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

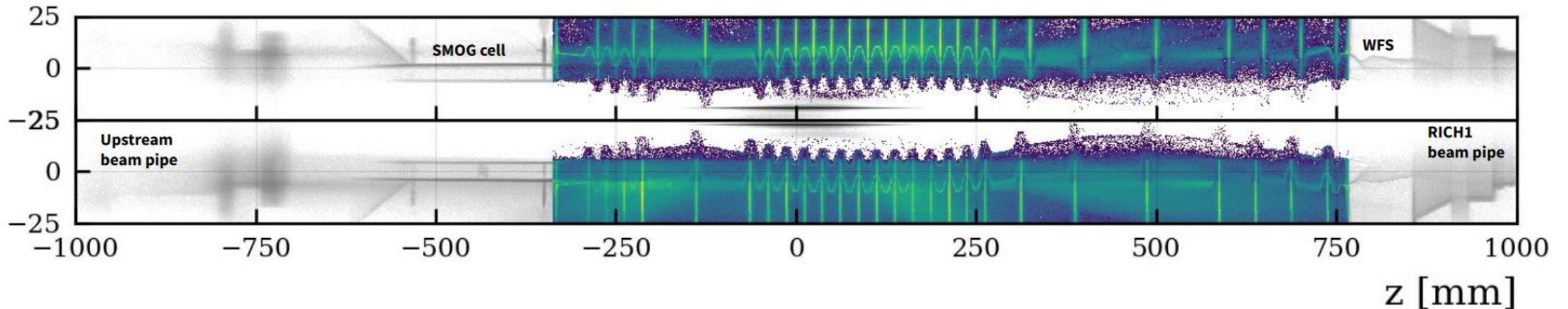
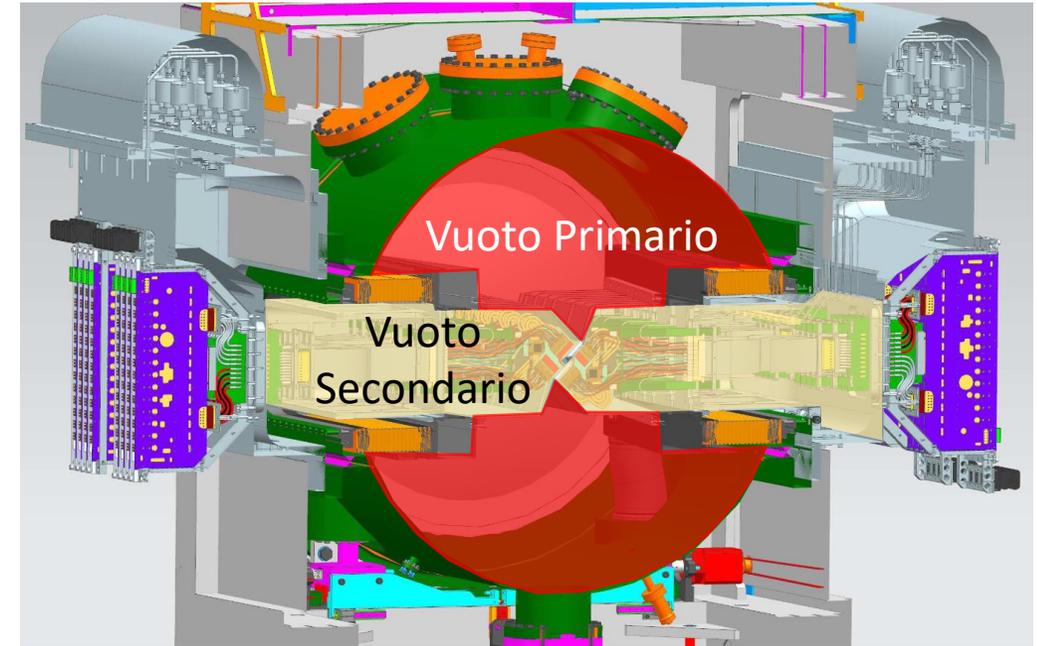
Perdita di controllo dei sistemi di protezione

Δ pressione ~ 200 mbar



Deformazione plastica foil
che ricopre rivelatore

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

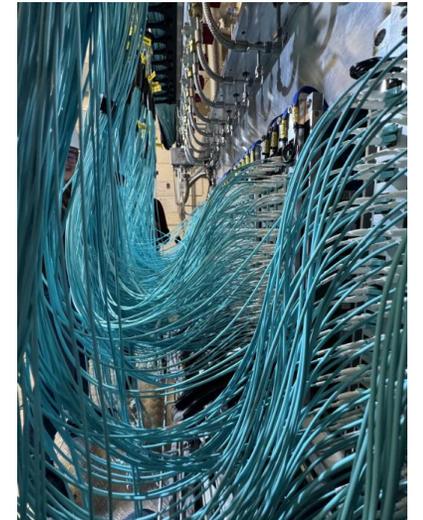
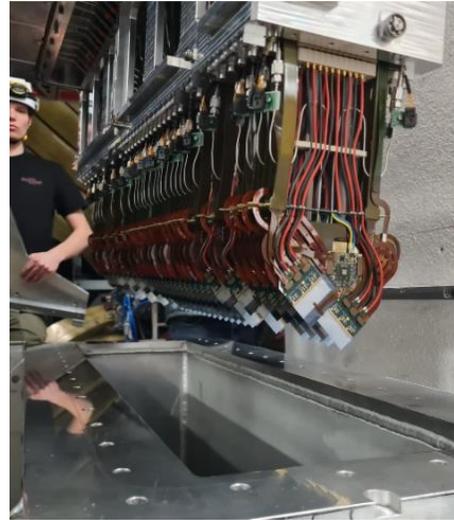


Sostituzione RF Foil – YETS 2023/24

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 H₂
- 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

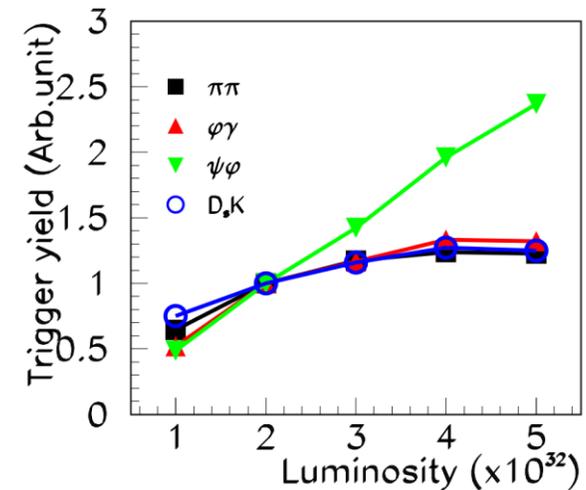
Upgrade del trigger in LHCb

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

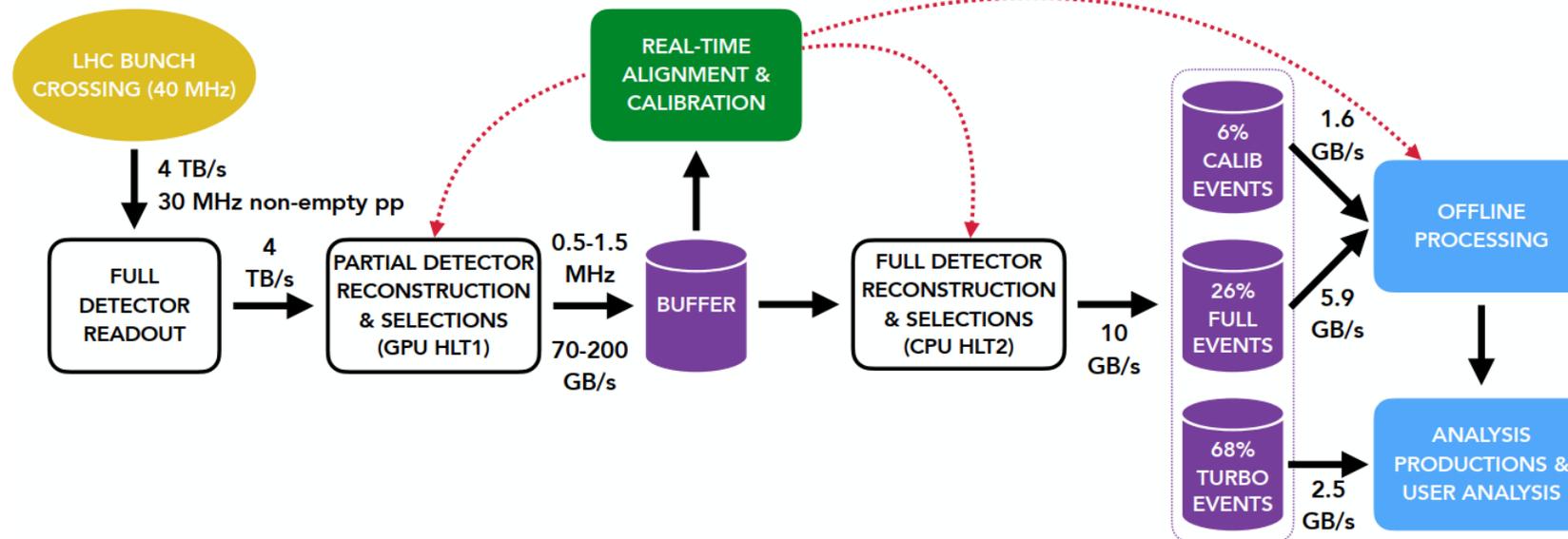
Trigger – Upgrade I

HLT1 (GPU)

- Ricostruzione di particelle cariche
- Selezione grezza

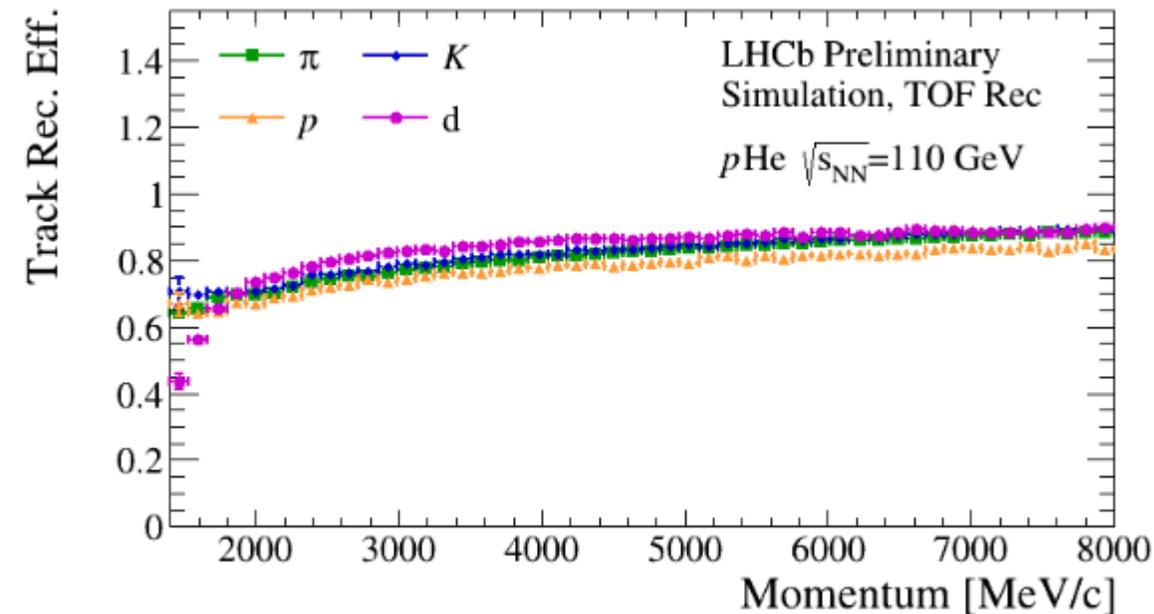
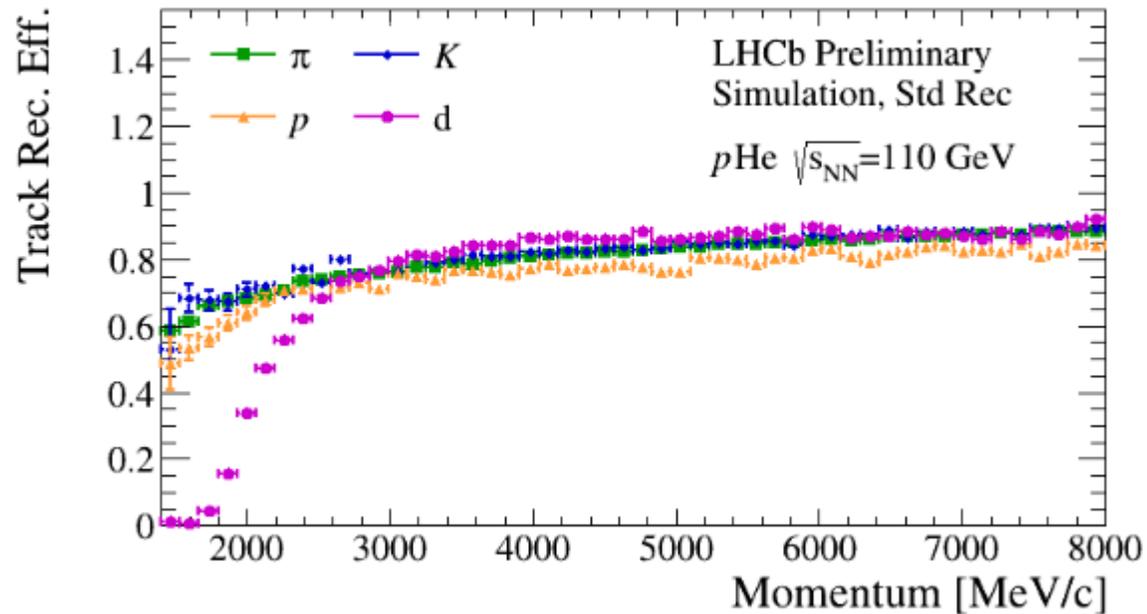
HLT2 (CPU)

- Ricostruzione completa dopo allineamento e calibrazione
- Selezione raffinata



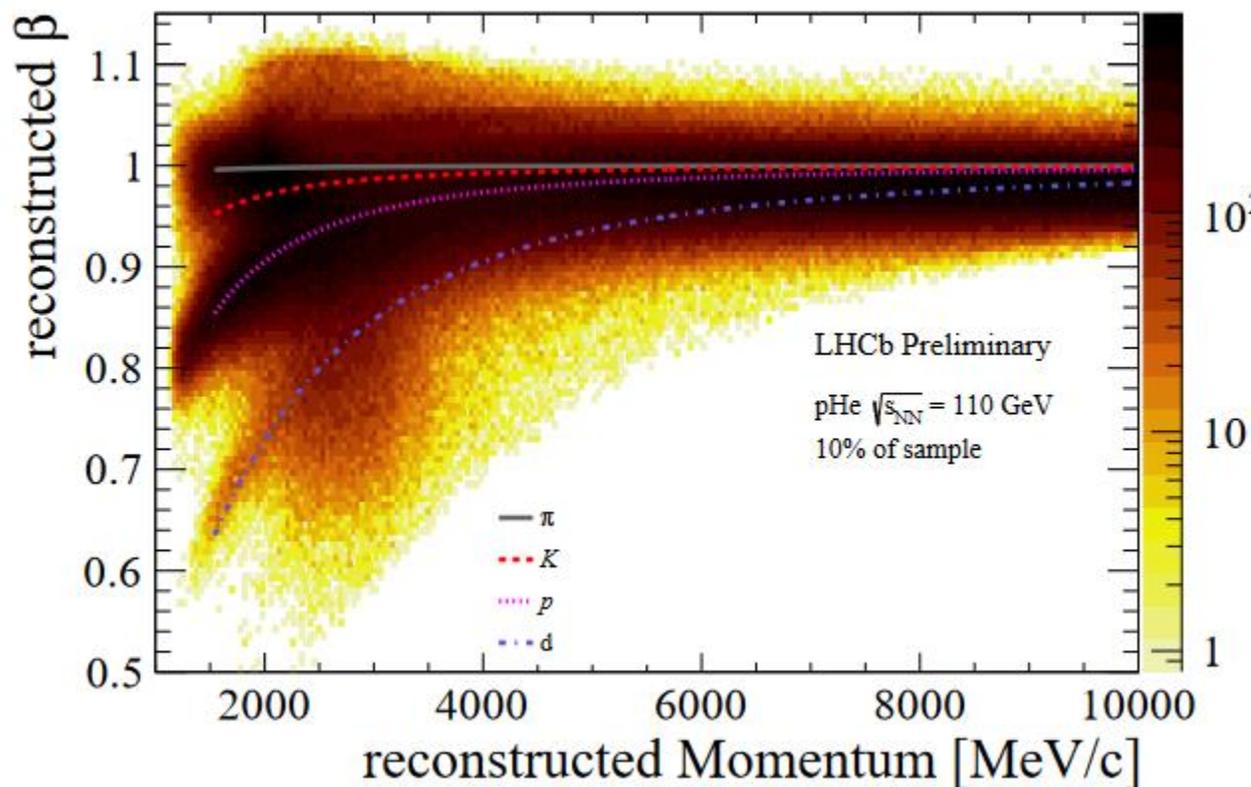
Rivelazione di nuclei leggeri ad LHCb (1)

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

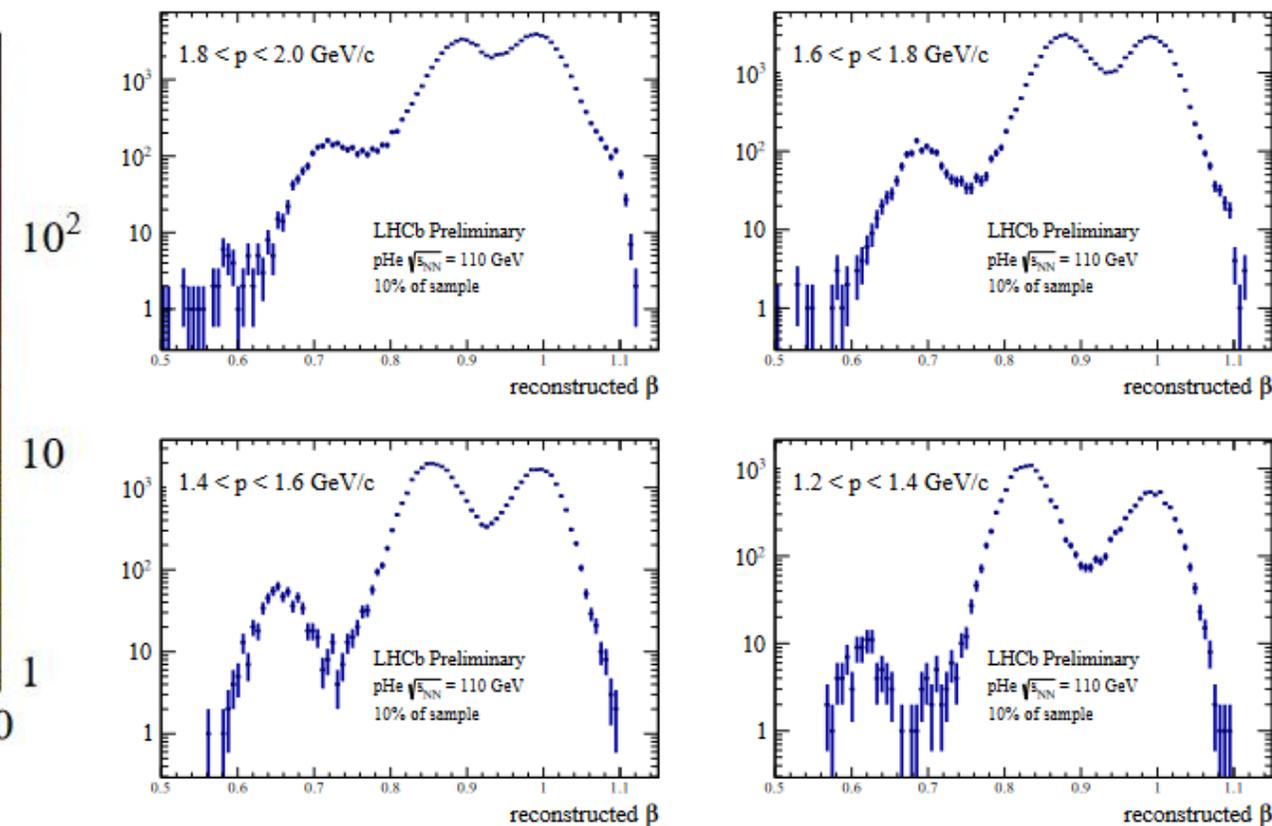


Rivelazione di nuclei leggeri ad LHCb (2)

β ricostruito in funzione dell'impulso



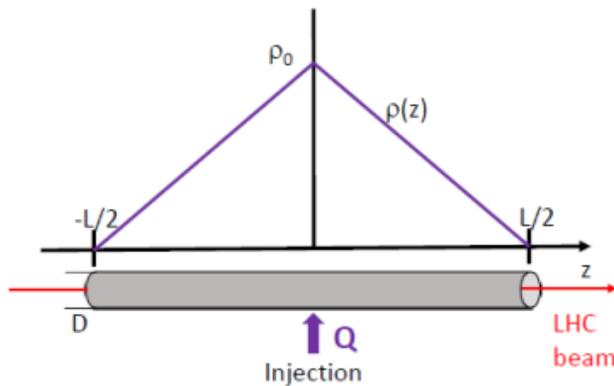
β ricostruito in 4 intervalli di impulso



Misura diretta di luminosità con SMOG2

Flusso di particelle del gas + Temperatura

1^a 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_{riv} : freq. di rivoluzione

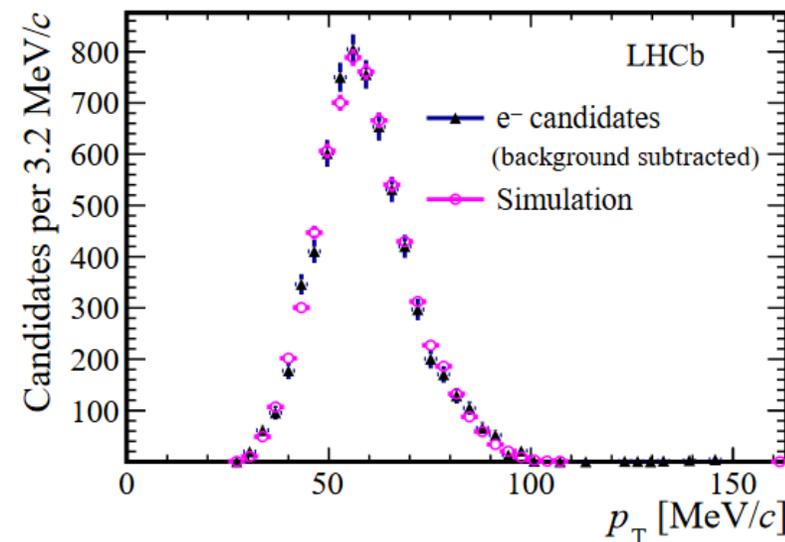
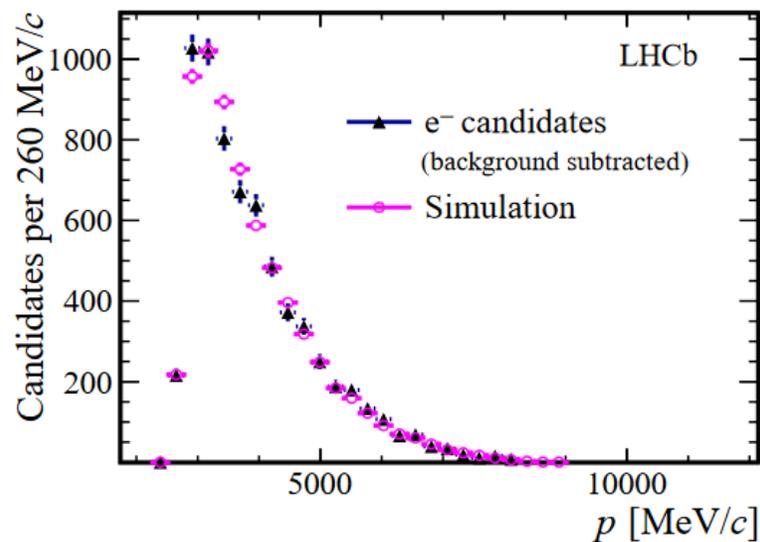
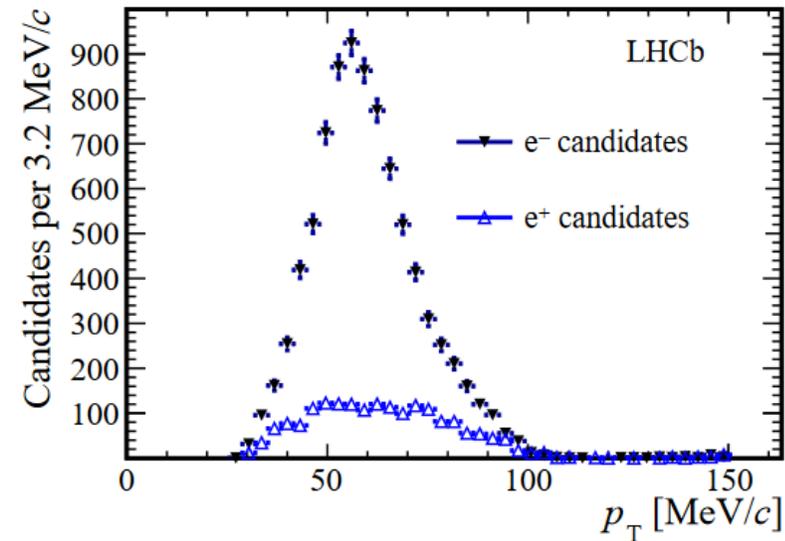
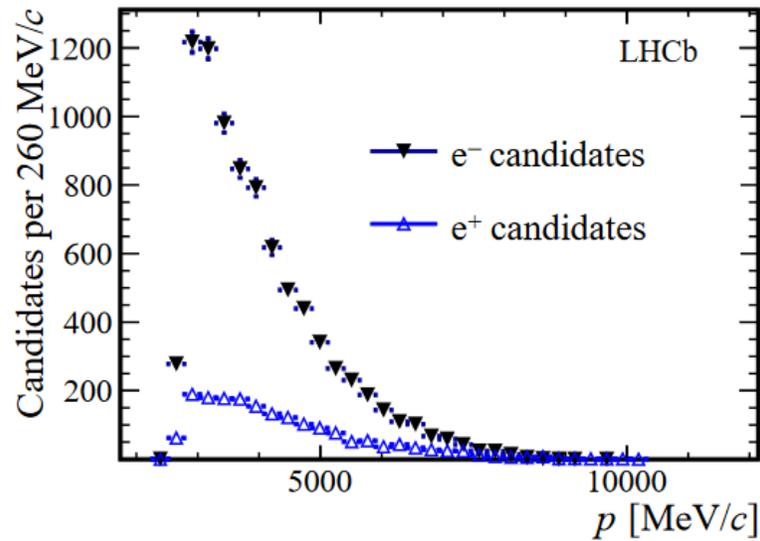
θ : densità areale

L : lunghezza della cella

D : diametro della cella

M : massa molecolare del gas

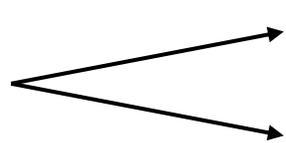
Misura indiretta di luminosità



Contributo di SMOG alla fisica dei raggi cosmici

Produzione di antimateria nei raggi cosmici

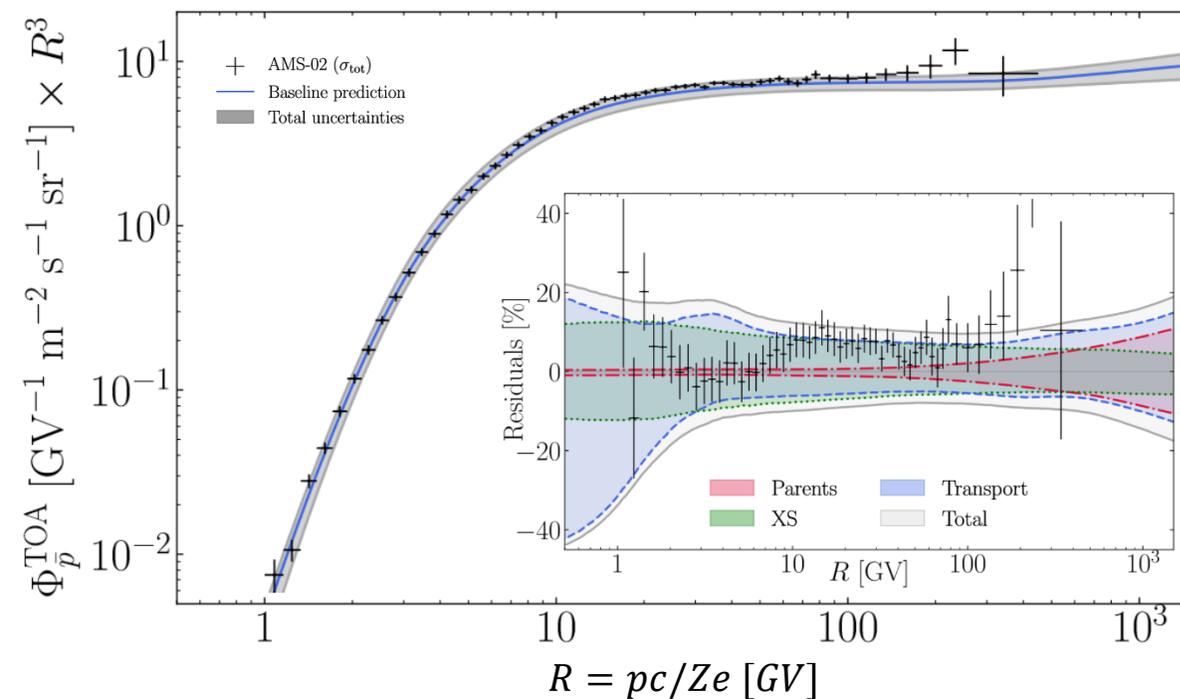
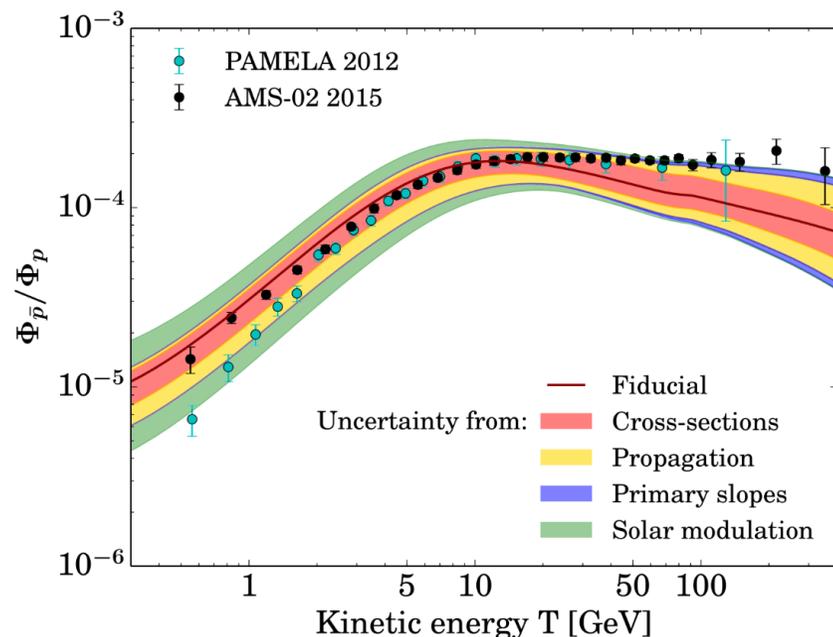
Collisioni tra raggi cosmici primari e mezzo interstellare
Sorgenti esotiche: materia oscura?



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
 $\sqrt{s_{NN}} \sim 110 \text{ GeV}$

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

