



# FISICA DEL CHARM A CMS

V. Mariani

- Introduzione sul quark charm e gli stati di adronizzazione
- Produzione del quark charm agli acceleratori
- Descrizione della misura eseguita con il rivelatore CMS
- Presentazione dei risultati e comparazione con misure condotte da altri esperimenti ad LHC
- Prospettive future

# INTRODUZIONE AL QUARK CHARM

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluon	<b>H</b> Higgs boson
<b>QUARKS</b>	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>Z</b> Z boson	
<b>LEPTONS</b>	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	$\pm 1$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>W</b> W boson	
				<b>GAUGE BOSONS</b>	





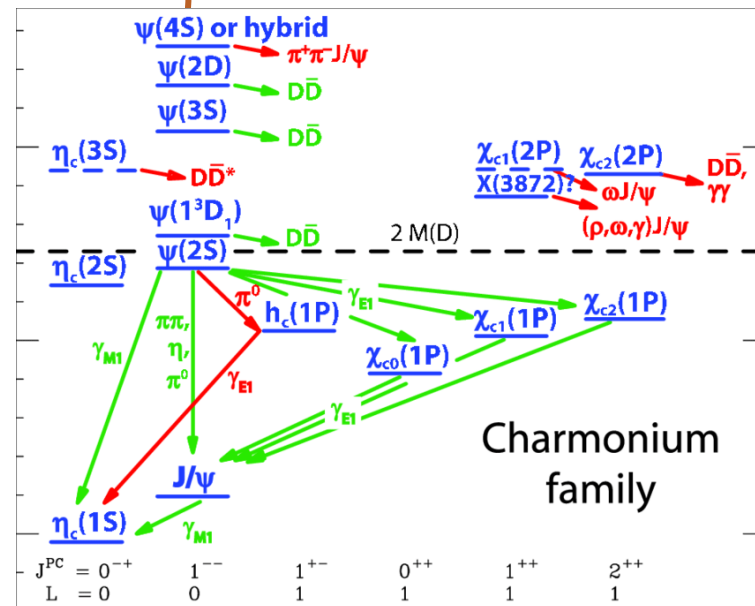
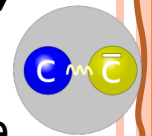
## Mesoni/Barioni "Open charm"

contenenti almeno un quark charm e almeno un quark di diverso sapore

$D^*, D^0, D^+, D_{S1}, \Lambda_{c1}, \Sigma_{c1}, \Omega_c \dots$

## Stati "charmonio"

stati legati di coppie charm/anti-charm



La particolarità del quark charm sta nei suoi **decadimenti**

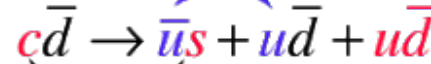
-> può decadere solo in maniera **debole**, con mediazione di un bosone W, in un quark strange o down

$$\bar{D}^0 \rightarrow K^+ + \pi^-$$



weak  
interaction

$$\bar{D}^+ \rightarrow K^- + \pi^+ + \pi^+$$



weak  
interaction

Unica eccezione: lo stato fondamentale del charmonio decade attraverso l'annichilazione dei quark charm/anti-charm

**Le particelle open-charm sono le sole che permettono di studiare i decadimenti deboli di un quark up in uno stato legato.**

- o 1971: possibile prima osservazione di un decadimento di mesone open charm in uno shower di raggi cosmici [1]

[1] Prog.Theor.Phys. 46 (1971) 1644–1646

[2] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1406–1408

[3] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1404–1406

[4] Phys.Rev.Lett. 90 (2003) 242001

[5] Phys.Rev. D68 (2003) 032002

[6] Phys.Rev.Lett. 92 (2004) 012002

[7] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211803

[8] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211802

[9] Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

- 1971: possibile prima osservazione di un decadimento di mesone open charm in uno shower di raggi cosmici [1]
- 1974: Scoperta della  $J/\psi$   $\sim$  in contemporanea a SLAC (Richter) [2] e BNL (Ting) [3] -> conferma dell'esistenza di un quarto quark  $c$

[1] Prog.Theor.Phys. 46 (1971) 1644–1646

[2] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1406–1408

[3] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1404–1406

[4] Phys.Rev.Lett. 90 (2003) 242001

[5] Phys.Rev. D68 (2003) 032002

[6] Phys.Rev.Lett. 92 (2004) 012002

[7] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211803

[8] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211802

[9] Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803



- 1971: possibile prima osservazione di un decadimento di mesone open charm in uno shower di raggi cosmici [1]
- 1974: Scoperta della  $J/\psi$   $\sim$  in contemporanea a SLAC (Richter) [2] e BNL (Ting) [3] -> conferma dell'esistenza di un quarto quark  $c$
- 2003: Scoperta dello stato  $D_{sJ}$  [4,5,6] le cui proprietà non riuscivano ad essere spiegate a pieno dai modelli QCD

**Gli stati eccitati del charmonio e gli stati open charm sono un laboratorio eccellente per lo studio della QCD**

[1] Prog.Theor.Phys. 46 (1971) 1644–1646

[2] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1406–1408

[3] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1404–1406

[4] Phys.Rev.Lett. 90 (2003) 242001

[5] Phys.Rev. D68 (2003) 032002

[6] Phys.Rev.Lett. 92 (2004) 012002

[7] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211803

[8] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211802

[9] Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

- 1971: possibile prima osservazione di un decadimento di mesone open charm in uno shower di raggi cosmici [1]
- 1974: Scoperta della  $J/\psi$   $\sim$  in contemporanea a SLAC (Richter) [2] e BNL (Ting) [3] -> conferma dell'esistenza di un quarto quark  $c$
- 2003: Scoperta dello stato  $D_{sJ}$  [4,5,6] le cui proprietà non riuscivano ad essere spiegate a pieno dai modelli QCD

## **Gli stati eccitati del charmonio e gli stati open charm sono un laboratorio eccellente per lo studio della QCD**

- 2007: **prima evidenza di mixing** di un mesone charmato neutro da parte di Belle e BaBar [7,8]

[1] Prog.Theor.Phys. 46 (1971) 1644–1646

[2] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1406–1408

[3] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1404–1406

[4] Phys.Rev.Lett. 90 (2003) 242001

[5] Phys.Rev. D68 (2003) 032002

[6] Phys.Rev.Lett. 92 (2004) 012002

[7] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211803

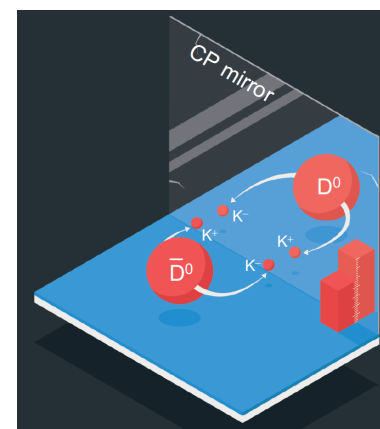
[8] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211802

[9] Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

- 1971: possibile prima osservazione di un decadimento di mesone open charm in uno shower di raggi cosmici [1]
- 1974: Scoperta della  $J/\psi \sim$  in contemporanea a SLAC (Richter) [2] e BNL (Ting) [3] -> conferma dell'esistenza di un quarto quark  $c$
- 2003: Scoperta dello stato  $D_{sJ}$  [4,5,6] le cui proprietà non riuscivano ad essere spiegate a pieno dai modelli QCD

## Gli stati eccitati del charmonio e gli stati open charm sono un laboratorio eccellente per lo studio della QCD

- 2007: **prima evidenza di mixing** di un mesone charmato neutro da parte di Belle e BaBar [7,8]
- 2019: **prima misura di violazione** di CP per il mesone  $D^0$  da LHCb [9]



[1] Prog.Theor.Phys. 46 (1971) 1644–1646

[2] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1406–1408

[3] Phys.Rev.Lett. 33 (1974) 1404–1406

[4] Phys.Rev.Lett. 90 (2003) 242001

[5] Phys.Rev. D68 (2003) 032002

[6] Phys.Rev.Lett. 92 (2004) 012002

[7] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211803

[8] Phys. Rev. Lett. 98 (2007) 211802

[9] Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

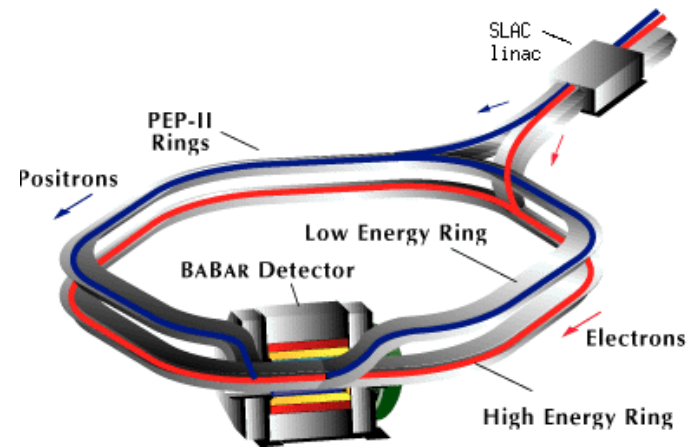
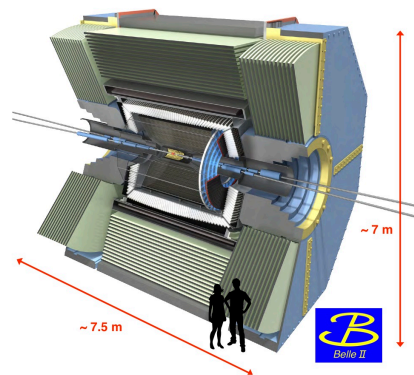
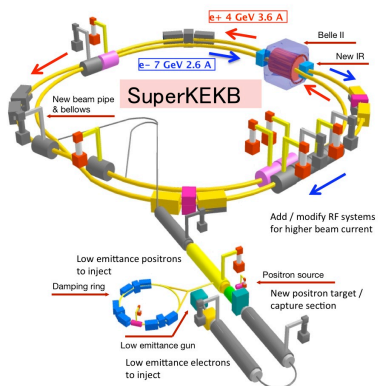
## Acceleratori $e^+e^-$

### Energia centro di massa 3770 MeV ( $\psi$ ) - MARKIII, SPEAR, CLEO, BESIII

- $\psi$  decade in  $D^0\bar{D}^0$  o  $D^+D^-$
- Possibilità di produrre solo  $D^0\bar{D}^0$  o  $D^+D^-$
- Le collisioni avvengono a riposo -> non si possono studiare le strutture del tempo di decadimento dei mesoni D
- Sezione d'urto di produzione della coppia  $D\bar{D} \sim 8$  nb

### Energia centro di massa 10 GeV $\Upsilon(4S)$ - Belle, BaBar

- $\Upsilon$  decade in  $B^0\bar{B}^0$  o  $B^+B^-$
- Possibilità di produrre tutte le specie charmate
- Sistema di collisione ha boost -> misure dipendenti dal tempo di decadimento
- Sezione d'urto di produzione di almeno un  $D^0 \sim 1,45$  nb



## Acceleratori adronici

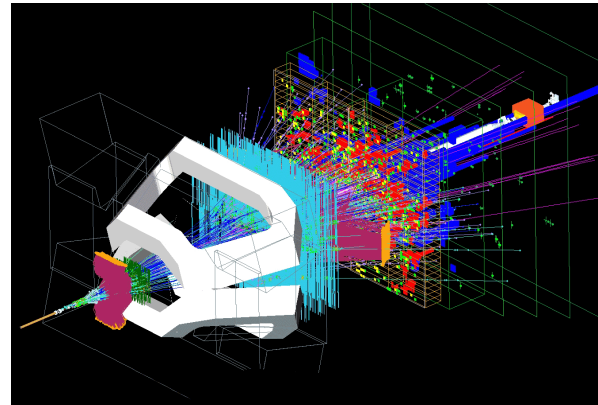
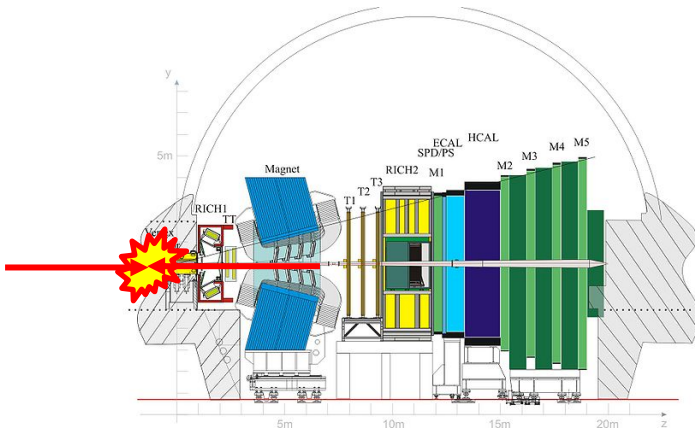
LHC ha energia di centro di massa O(TeV)

- a  $\sqrt{s}=7$  TeV sezione d'urto di produzione di  $D^0$  ad LHCb è 1.4 mb  
**(6 ordini di grandezza in più!)**

- Il quark charm in collisioni adroniche è prodotto in collisioni molto asimmetriche -> quark con boost "in avanti"
- Collisioni tra i partoni -> l'energia non è identica -> boost.

LHCb è l'esperimento ideale per fare studi dipendenti dal tempo di decadimento per il quark charm.

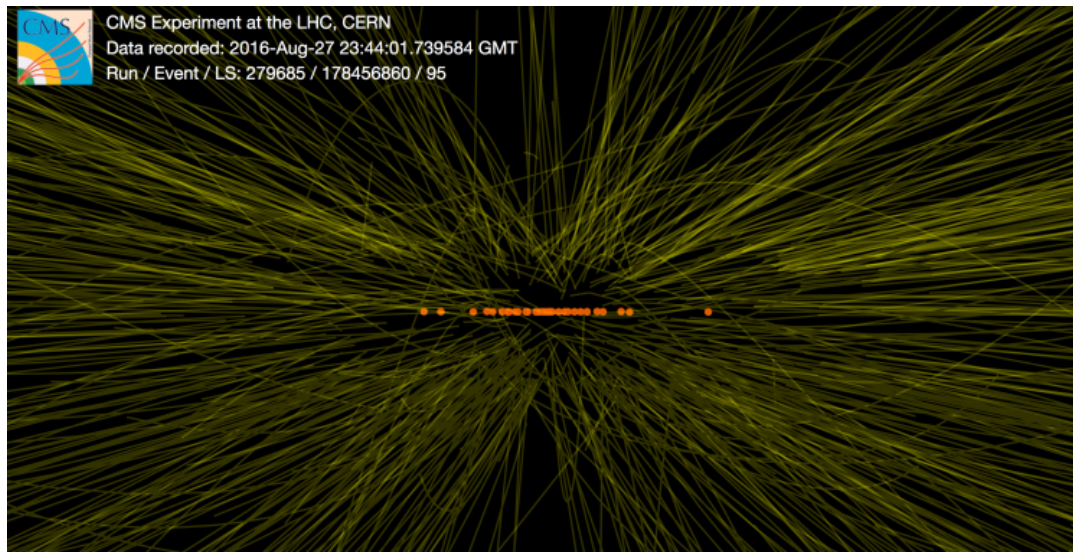
La sezione d'urto cc ad LHC è  $\sim 10\%$  del totale -> molte collisioni e poco background.



- Gli acceleratori  $e^+e^-$  fanno collidere particelle elementari, **conosciamo esattamente l'energia dello stato iniziale**
  - con esperimenti ermetici si possono rivelare anche particelle neutre
  - si possono fare studi inclusivi
- Gli acceleratori  $e^+e^-$  hanno una molteplicità di collisioni bassa -> **stato finale chiaro e pulito**

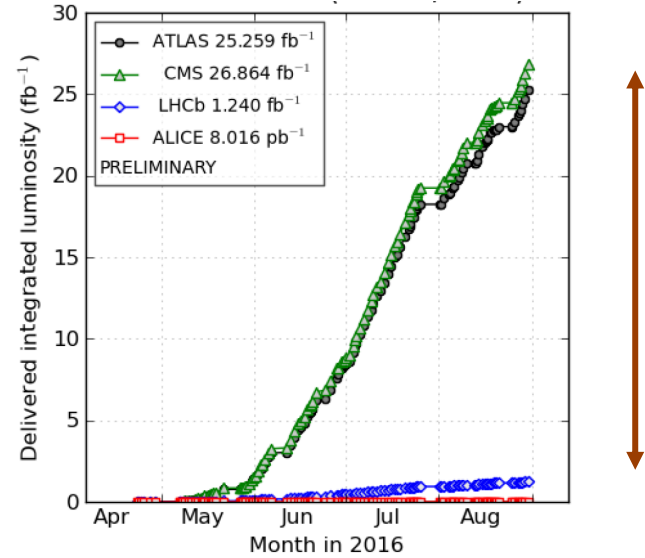
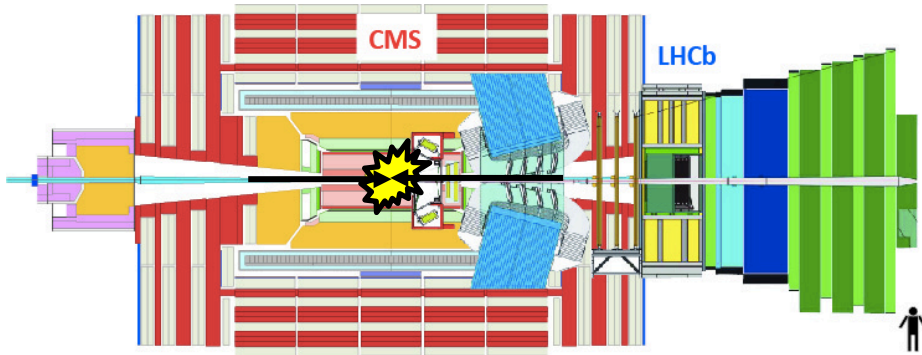


- Gli acceleratori  $e^+e^-$  fanno collidere particelle elementari, **conosciamo esattamente l'energia dello stato iniziale**
  - con esperimenti ermetici si possono rivelare anche particelle neutre
  - si possono fare studi inclusivi
- Gli acceleratori  $e^+e^-$  hanno una molteplicità di collisioni bassa -> **stato finale chiaro e pulito**
- Ad LHC avviene un bunch-crossing ogni 25ns, ogni bunch contiene  $\sim 10^{11}$  protoni



# ..AUMENTIAMO IL GRADO DI DIFFICOLTÀ

Consideriamo la luminosità di LHC  
(proporzionale al numero di collisioni)



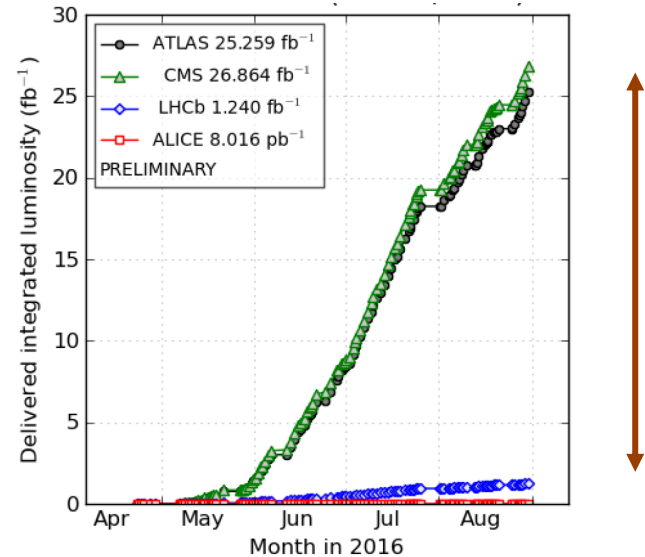
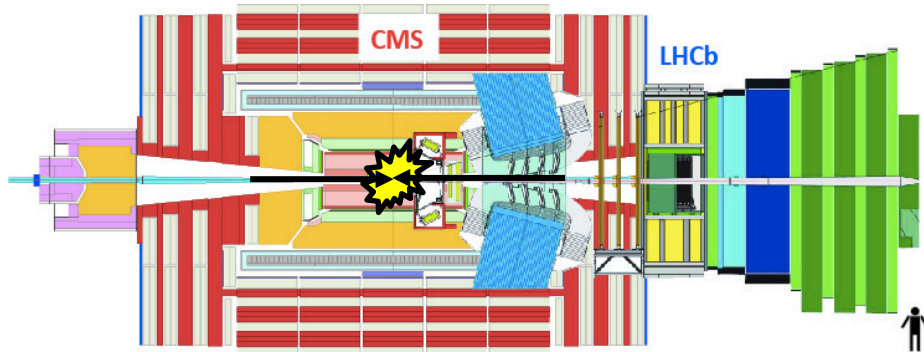
Consideriamo un esperimento  
NON proiettato in avanti  
ma ermetico

Non siamo nelle condizioni ideali per fare una misura  
sulla produzione del charm => infatti **nessuna misura era stata  
prodotta da CMS in collisioni pp** prima!



# ..AUMENTIAMO IL GRADO DI DIFFICOLTÀ

Consideriamo la luminosità di LHC  
(proporzionale al numero di collisioni)



Consideriamo un esperimento  
NON proiettato in avanti  
ma ermetico

Non siamo nelle condizioni ideali per fare una misura sulla produzione del charm => infatti **nessuna misura era stata prodotta da CMS in collisioni pp** prima!

....ma, avendo un'accettanza complementare a quella di LHCb, la misura fornisce risultati interessanti per capire l'evoluzione della sezione d'urto con la cinematica

Total weight : 14,000 tonnes  
 Overall diameter : 15.0 m  
 Overall length : 28.7 m  
 Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE  
 12,500 tonnes

SILICON TRACKERS  
 Pixel (100x150  $\mu\text{m}$ )  $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$  channels  
 Microstrips (80x180  $\mu\text{m}$ )  $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$  channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
 Niobium titanium coil carrying  $\sim 18,000\text{A}$

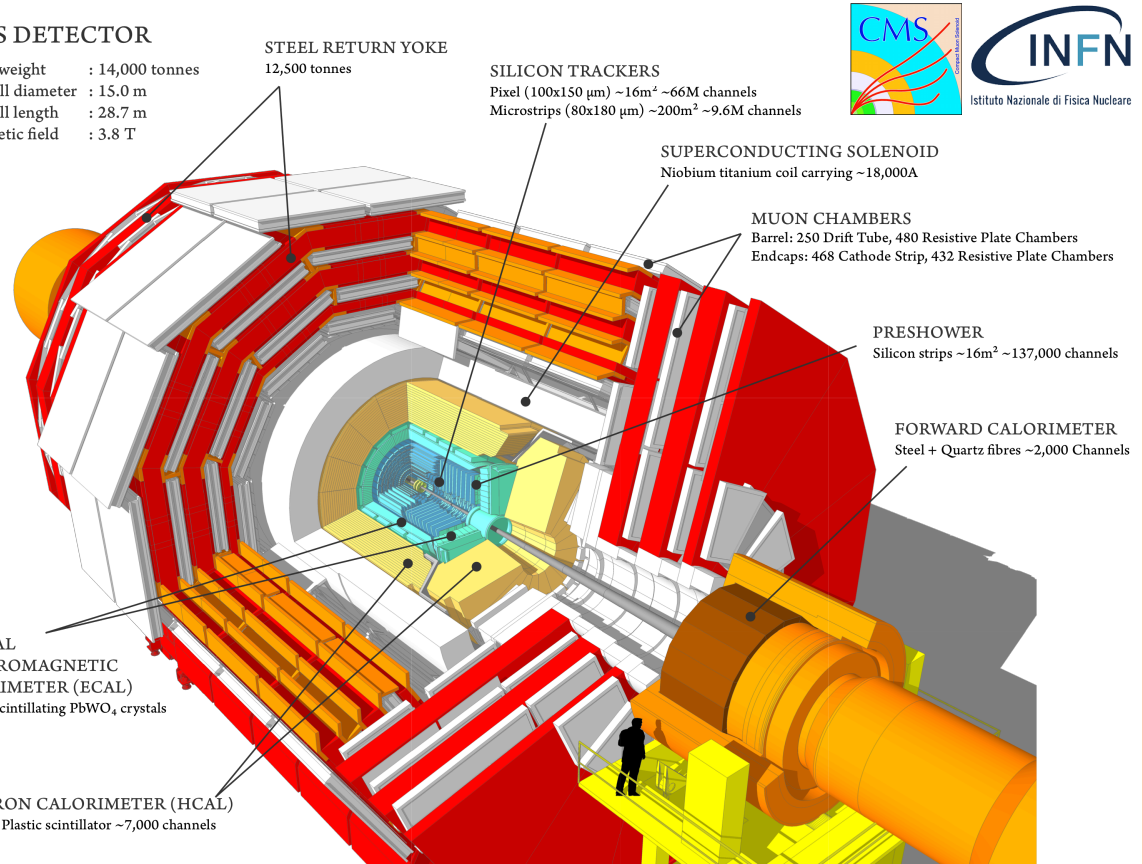
MUON CHAMBERS  
 Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
 Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
 Silicon strips  $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$  channels

FORWARD CALORIMETER  
 Steel + Quartz fibres  $\sim 2,000$  Channels

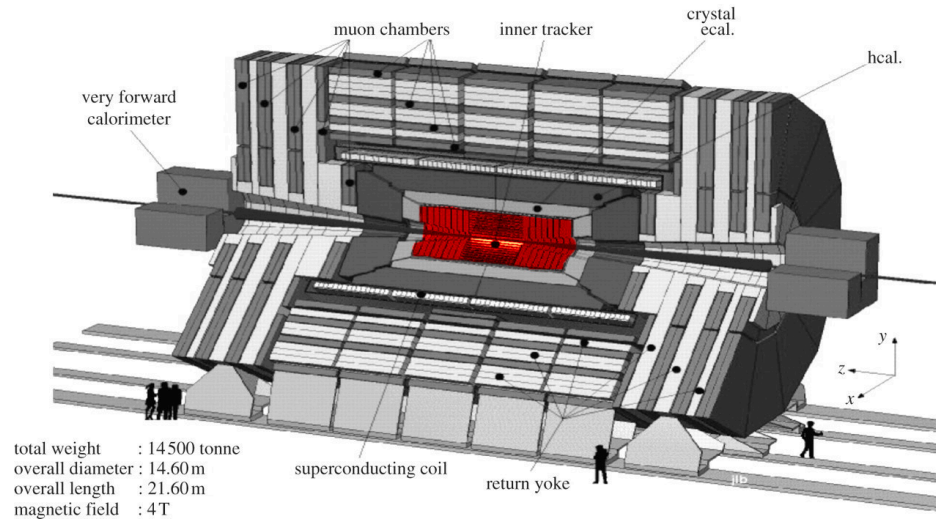
CRYSTAL  
 ELECTROMAGNETIC  
 CALORIMETER (ECAL)  
 $\sim 76,000$  scintillating  $\text{PbWO}_4$  crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)  
 Brass + Plastic scintillator  $\sim 7,000$  channels



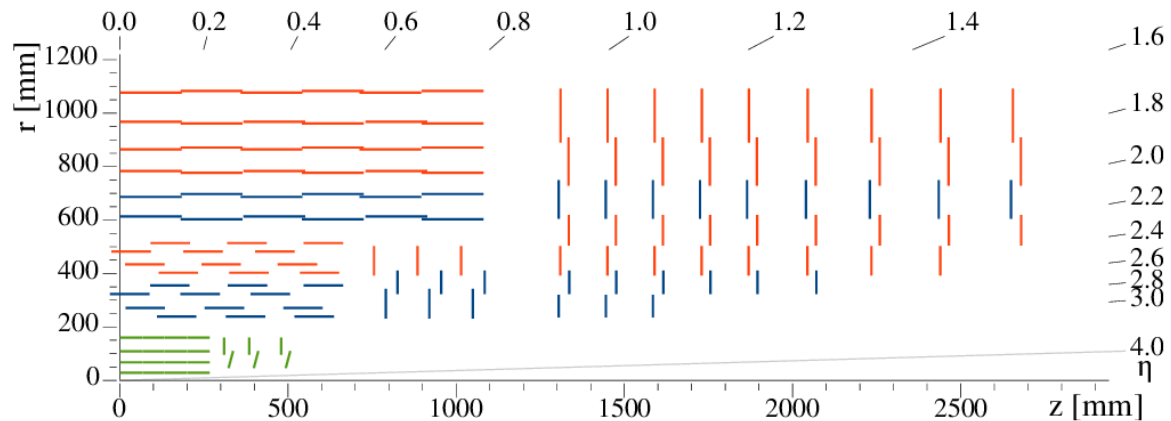
## Compact Muon Solenoid

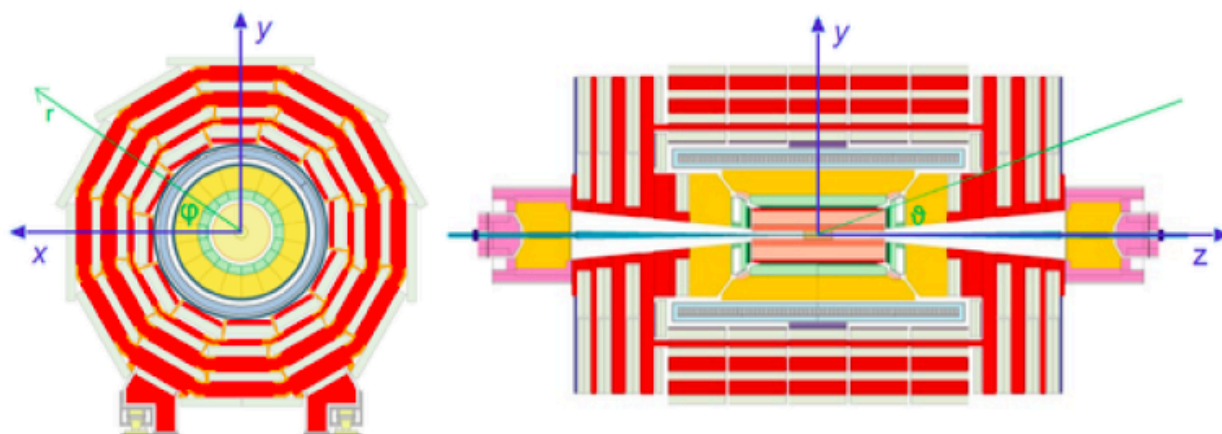
- **Compact** -> 14000 tonnellate di materiale in un volume di 15 m di diametro per 29m di lunghezza (ATLAS 7000 ton in 25x44 m)
- **Muon** -> il Sistema tracciante per i muoni assicura un'ottima efficienza e risoluzione (per ricostruire  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$ )
- **Solenoid** -> il solenoide di CMS genera un campo magnetico interno di 3.8 T (il più grande magnete superconduttore mai costruito!)



o **Tracciatore** => piani di silicio concentrici rispetto al punto di interazione. Ricostruisce le traiettorie delle particelle cariche che lo attraversano e i vertici di interazione primari e secondari.

- **Pixel detector** => maggiore granularità nella zona più interna
- **Strip detector** => informazione unidirezionale, copre area vasta 200m<sup>2</sup>





Alcune definizioni:

- $\varphi$  angolo azimutale misurato dall'asse x nel piano xy,  $r$  è la distanza radiale nello stesso piano.
- $\theta$  angolo polare misurato a partire dall'asse z
- **pseudorapidità** definita come  $\eta = \ln \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$

Osservabili fisiche:

- $\mathbf{p}_T$  e  $\mathbf{E}_T$  sono rispettivamente la quantità di moto e l'energia trasversa (piano xy perpendicolare alla direzione del fascio)
- $\mathbf{E}_T^{\text{miss}}$  è l'energia mancante nel piano trasverso (calcolata per sottrazione)

In questa misura sono stati considerati:

- $D^0$ :  $c\bar{u}$
- $D^+$ :  $c\bar{d}$
- $D^{*+}$ :  $c\bar{d}$
- + c.c.

Production and decay chain	Branching fraction
$pp \rightarrow D^{*+}X \rightarrow D^0 \pi_{slow}^+ X \rightarrow K^- \pi^+ \pi_{slow}^+ X$	$BR = (2.67 \pm 0.03)\%$
$pp \rightarrow D^0 X \rightarrow K^- \pi^+ X$	$BR = (3.95 \pm 0.03)\%$
$pp \rightarrow D^+ X \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ X$	$BR = (9.38 \pm 0.16)\%$

Decadimenti adronici:

- Dati analizzati: collisioni pp a  $\sqrt{s} = 13$  TeV raccolti nel 2016
- Spazio delle fasi  $4 < p_T < 100$  GeV &&  $|\eta| < 2.1$

In questa misura sono stati considerati:

- $D^0$ :  $c\bar{u}$
- $D^+$ :  $c\bar{d}$
- $D^{*+}$ :  $c\bar{d}$
- + c.c.

Production and decay chain	Branching fraction
$pp \rightarrow D^{*+}X \rightarrow D^0 \pi_{slow}^+ X \rightarrow K^- \pi^+ \pi_{slow}^+ X$	$BR = (2.67 \pm 0.03)\%$
$pp \rightarrow D^0 X \rightarrow K^- \pi^+ X$	$BR = (3.95 \pm 0.03)\%$
$pp \rightarrow D^+ X \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+ X$	$BR = (9.38 \pm 0.16)\%$

Decadimenti adronici:

- Dati analizzati: collisioni pp a  $\sqrt{s} = 13$  TeV raccolti nel 2016
- Spazio delle fasi  $4 < p_T < 100$  GeV &&  $|\eta| < 2.1$

## ○ Misura della sezione d'urto differenziale:

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{L} \varepsilon_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$

Numero di eventi di segnale per bin valutato nei dati

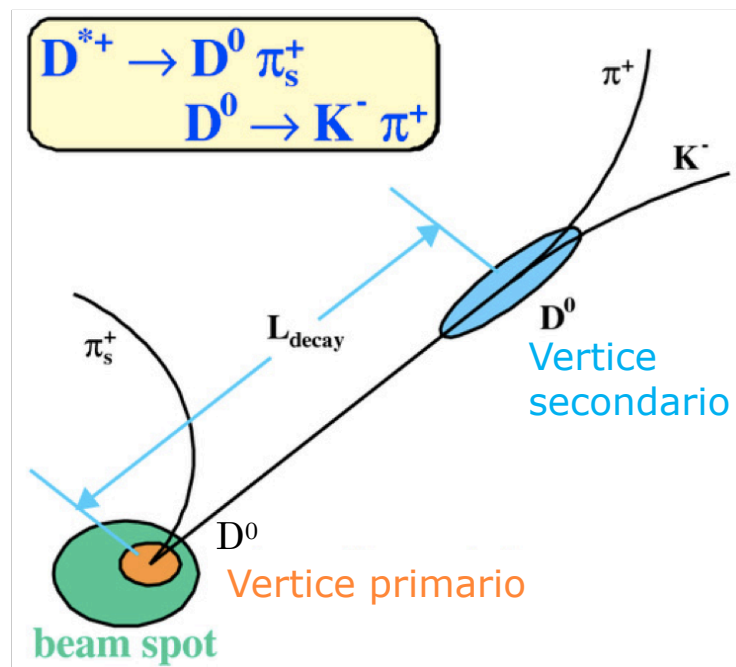
Larghezza del bin

Branching ratio di decadimento (PDG)

Luminosità integrata

Efficienza di ricostruzione totale per ogni bin valutata nel campione MC

- Mesoni prodotti “prompt” => nel punto di interazione
- lunghezza di decadimento  $D^0$ :  
 $c\tau \approx 10^{-4}m$
- Vertice di decadimento  $D^0 \neq$  vertice di generazione  $D^0$

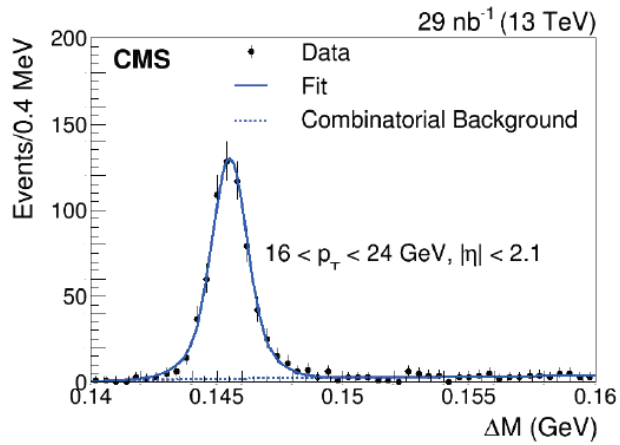


Tagli applicati:

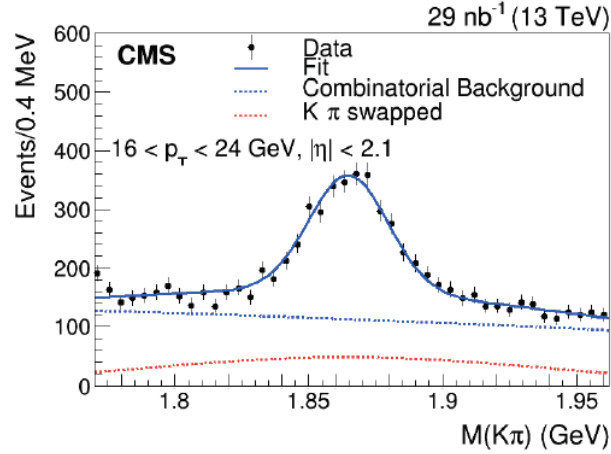
- Tracce definite “high quality”
- Vertice secondario ricostruito con  $CL > 1\%$
- Direzione del mesone parallela alla distanza PV-SV
- Taglio sulla lunghezza di decadimento

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{L} \epsilon_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$

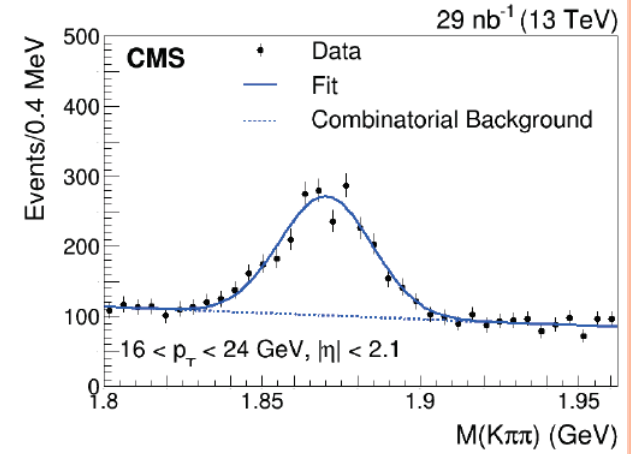
**D\***



**D<sup>0</sup>**



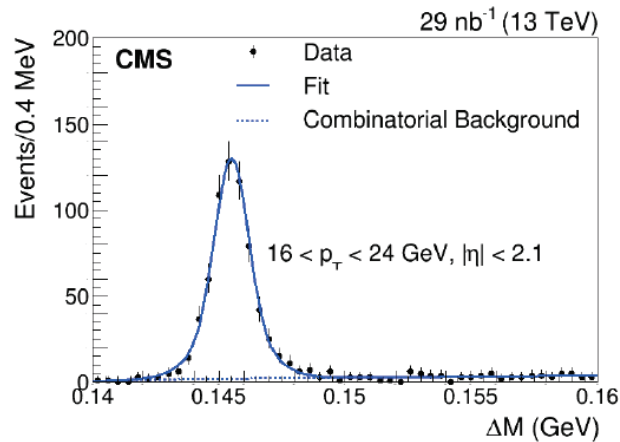
**D<sup>+</sup>**



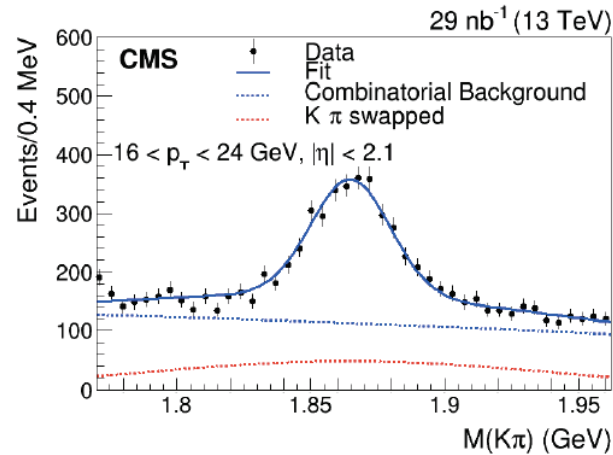


$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{L} \varepsilon_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$

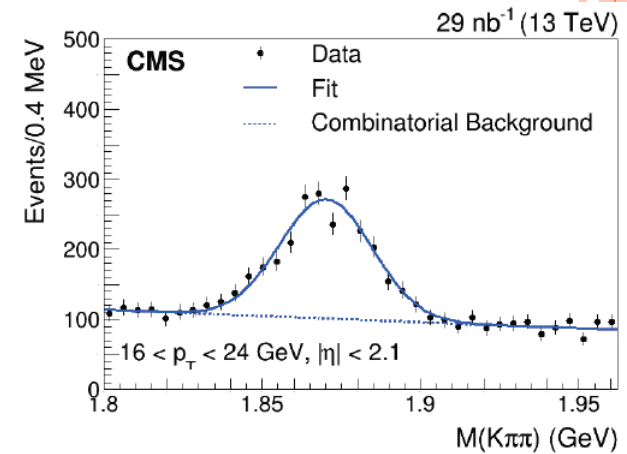
## D\*



## D<sup>0</sup>



## D<sup>+</sup>



Il numero di eventi di segnale viene estratto applicando un fit sulle distribuzioni di massa invariante ( $\Delta M$  per  $D^*$ )

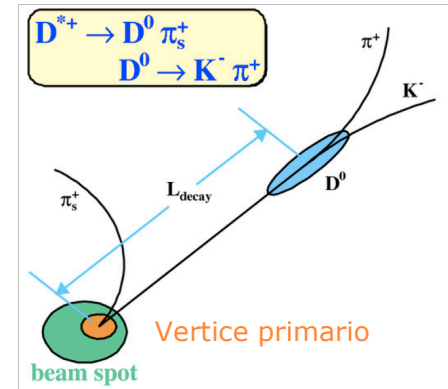
- Segnale descritto dalla somma di due gaussiane con stesso valor medio
- Background descritto da una polinomiale di 3° grado per  $D^0$  e  $D^+$  e una threshold function per la  $D^*$

$$f = \left(1 - e^{-\frac{\Delta M - m_0}{p_0}}\right) \left(\frac{\Delta M}{m_0}\right)^{p_1} + p_2 \left(\frac{\Delta M}{m_0} - 1\right)$$

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{L} \varepsilon_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$

L'obiettivo di questa analisi è misurare la sezioni d'urto di mesoni charmati "prompt" -> da PV o da stati eccitati del charm

**Contaminazione:** mesoni charm provenienti da decadimenti di mesoni B



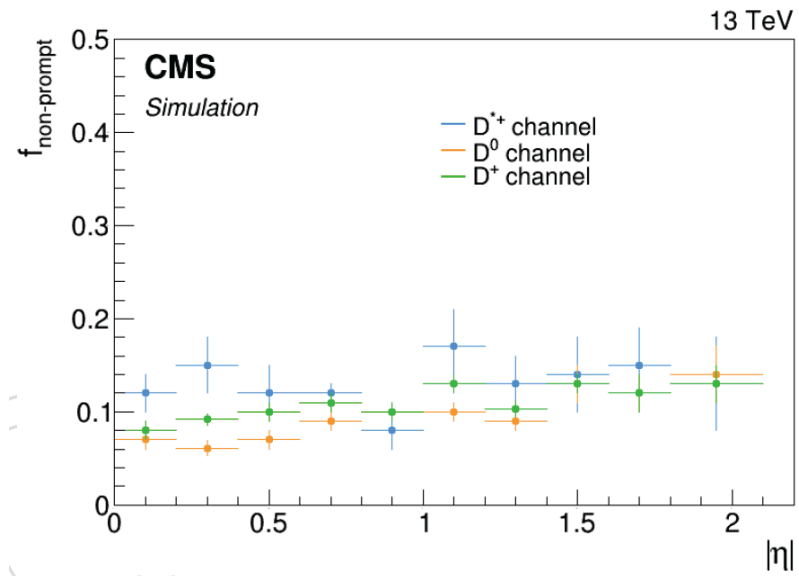
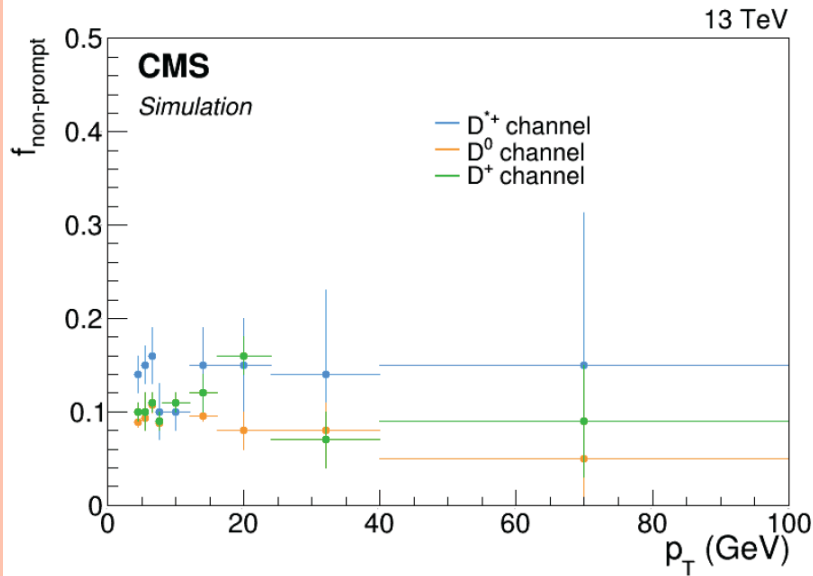
Contributo valutato su MC:

- Due sotto-campioni: mesoni charm prompt e non prompt
- Applicata la stessa strategia di ricostruzione del segnale

- Contaminazione valutata come:  $contam = \frac{N_{sec}}{N_{prompt} + N_{sec}}$

# CONTRIBUTO DA DECADIMENTI SECONDARI

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{L} \varepsilon_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$



p <sub>T</sub> range [GeV/c]	D* <sup>+</sup> contamination	D <sup>0</sup> contamination	D <sup>+</sup> contamination
[4-5]	0.14 ± 0.02	0.089 ± 0.006	0.099 ± 0.012
[5-6]	0.15 ± 0.02	0.093 ± 0.006	0.10 ± 0.02
[6-7]	0.16 ± 0.03	0.107 ± 0.008	0.106 ± 0.013
[7-8]	0.10 ± 0.03	0.088 ± 0.008	0.091 ± 0.014
[8-12]	0.10 ± 0.02	0.106 ± 0.007	0.108 ± 0.010
[12-16]	0.15 ± 0.04	0.095 ± 0.005	0.12 ± 0.02
[16-24]	0.15 ± 0.05	0.08 ± 0.02	0.16 ± 0.02
[24-40]	0.14 ± 0.09	0.08 ± 0.03	0.07 ± 0.03
[40-100]	0.15 ± 0.18	0.05 ± 0.06	0.09 ± 0.06

Questi valori saranno sottratti alla sezione d'urto "visibile" bin per bin

η  range	D* <sup>+</sup> contamination	D <sup>0</sup> contamination	D <sup>+</sup> contamination
[0-0.2]	0.12 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.084 ± 0.012
[0.2-0.4]	0.15 ± 0.03	0.061 ± 0.007	0.093 ± 0.006
[0.4-0.6]	0.12 ± 0.03	0.072 ± 0.010	0.098 ± 0.014
[0.6-0.8]	0.12 ± 0.01	0.086 ± 0.010	0.112 ± 0.013
[0.8-1]	0.08 ± 0.02	0.095 ± 0.011	0.103 ± 0.013
[1-1.2]	0.17 ± 0.04	0.10 ± 0.01	0.133 ± 0.014
[1.2-1.4]	0.13 ± 0.03	0.091 ± 0.013	0.103 ± 0.009
[1.4-1.6]	0.14 ± 0.04	0.13 ± 0.02	0.126 ± 0.014
[1.6-1.8]	0.15 ± 0.04	0.12 ± 0.02	0.12 ± 0.02
[1.8-2.1]	0.13 ± 0.05	0.14 ± 0.03	0.14 ± 0.02

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{E}_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$

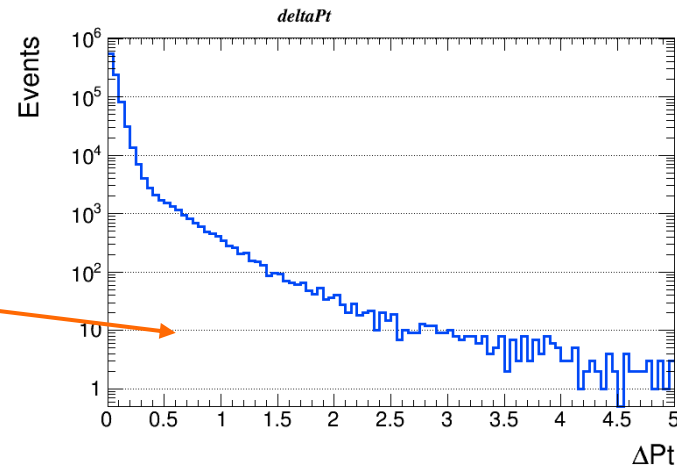
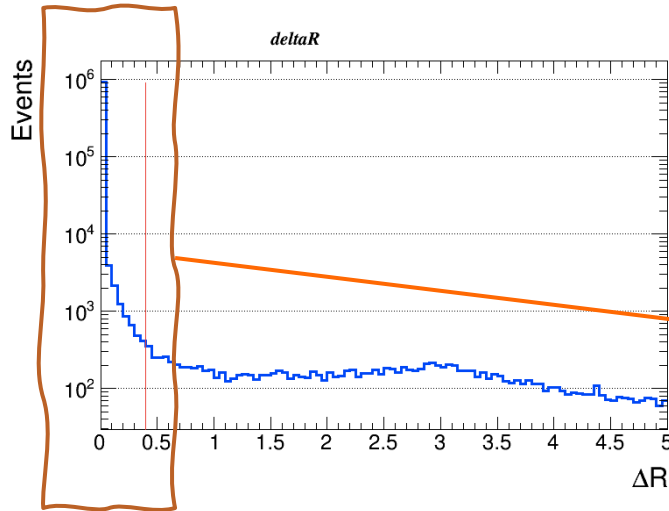


- La misura di efficienza viene fatta su un sample MC
- La catena di decadimento viene selezionata a livello generatore e poi si applicano i tagli di accettazione e la strategia di ricostruzione a questo "sotto-campione"
- Si applica un gen-reco matching:  $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{E}_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$



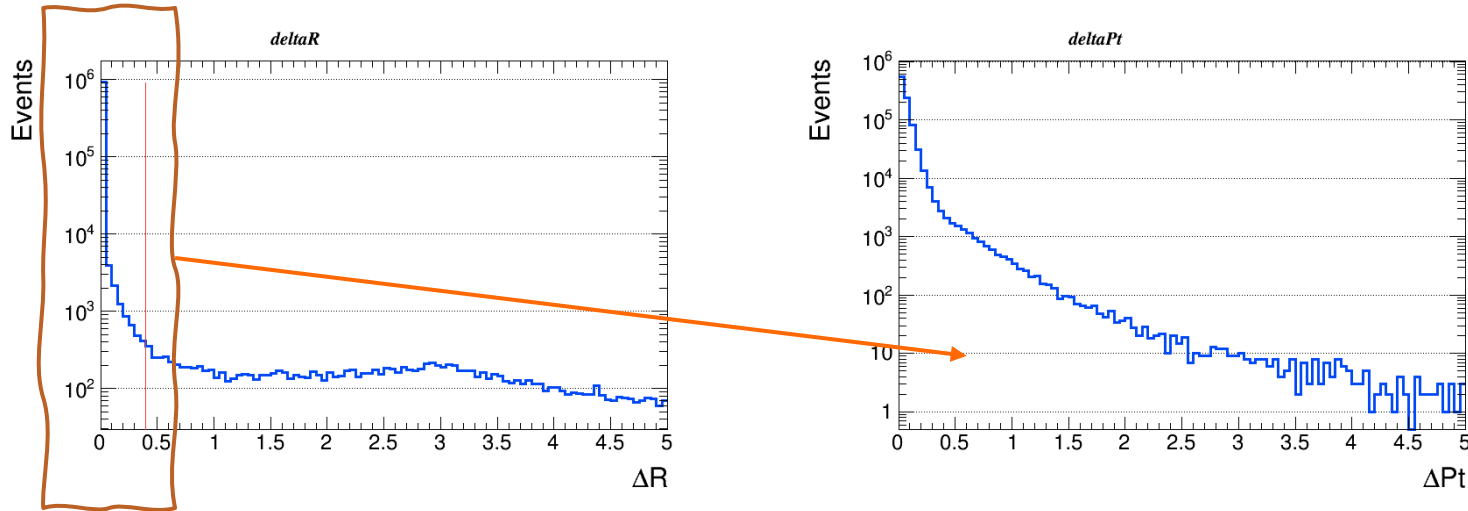
- La misura di efficienza viene fatta su un sample MC
- La catena di decadimento viene selezionata a livello generatore e poi si applicano i tagli di accettazione e la strategia di ricostruzione a questo "sotto-campione"
- Si applica un gen-reco matching:  $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$



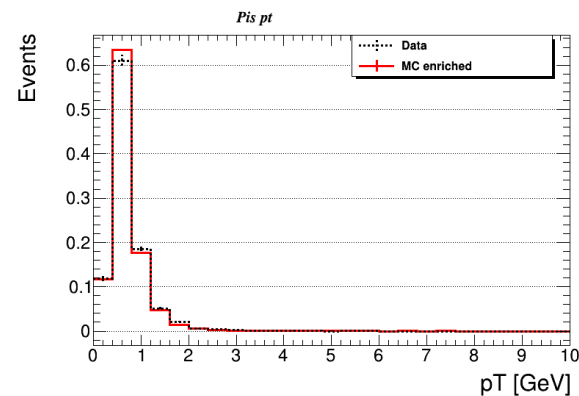
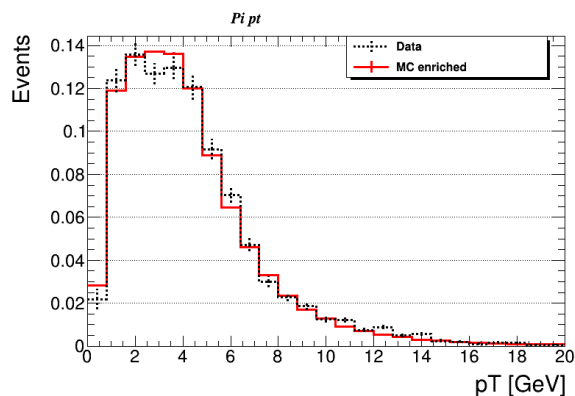
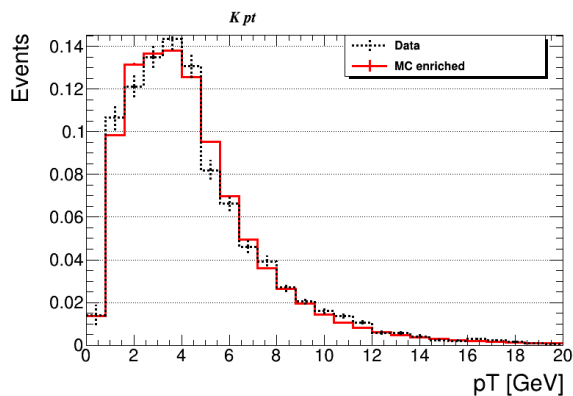
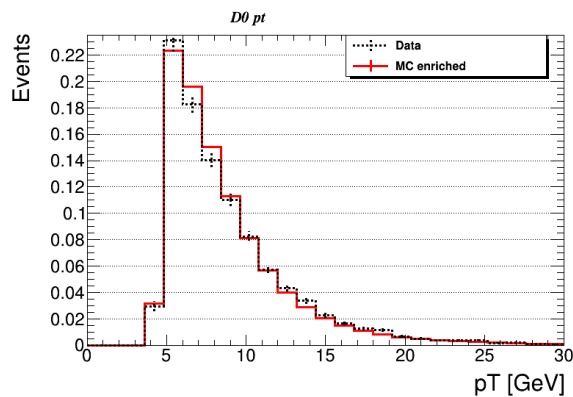
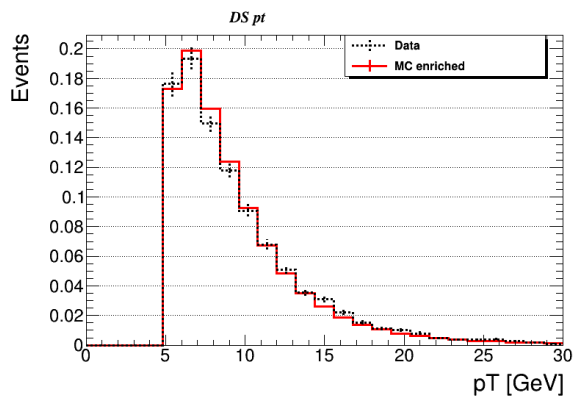
$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow DX)}{dp_T} = \frac{N_i(D \rightarrow f)}{\Delta p_T \mathcal{B}(D \rightarrow f) \mathcal{L} \varepsilon_{i,tot}(D \rightarrow f)}$$

- La misura di efficienza viene fatta su un sample MC
- La catena di decadimento viene selezionata a livello generatore e poi si applicano i tagli di accettazione e la strategia di ricostruzione a questo "sotto-campione"

- Si applica un gen-reco matching:  $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$



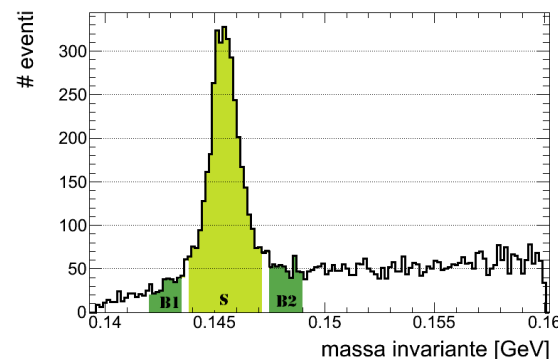
Efficienza calcolata in ogni  $p_T$  e  $\eta$  bin come:  $\varepsilon_i = \frac{N_{rec\ i}(D \rightarrow f)}{TOT_i(D \rightarrow f)}$



Visto che il calcolo dell'efficienza è totalmente basato su MC è necessario che l'accordo dati/MC sia buono.

I plot sono fatti nella regione di segnale del  $D^*$  sottraendo il bkg con il metodo delle sideband.

**=> Buon accordo dati/MC**



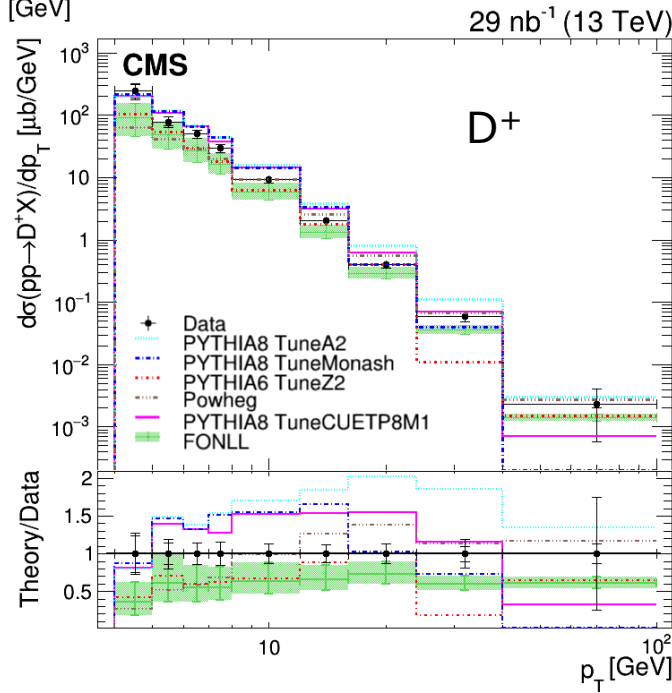
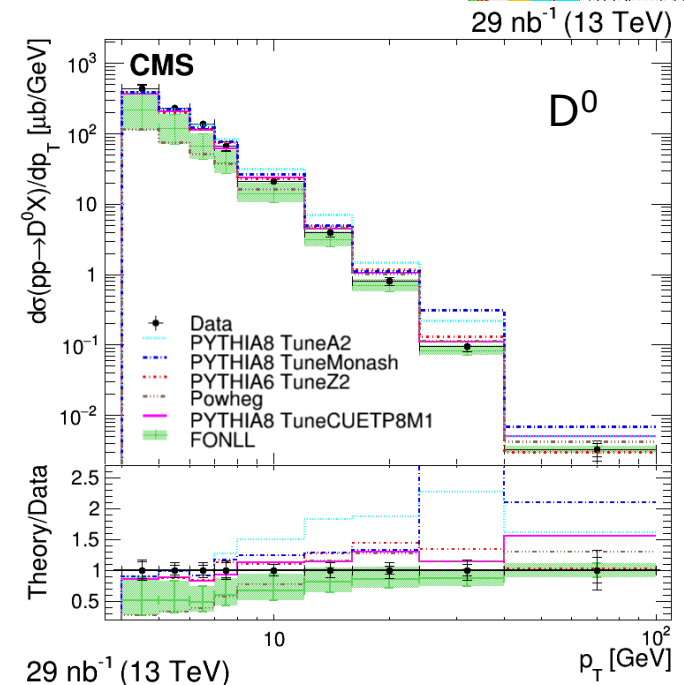
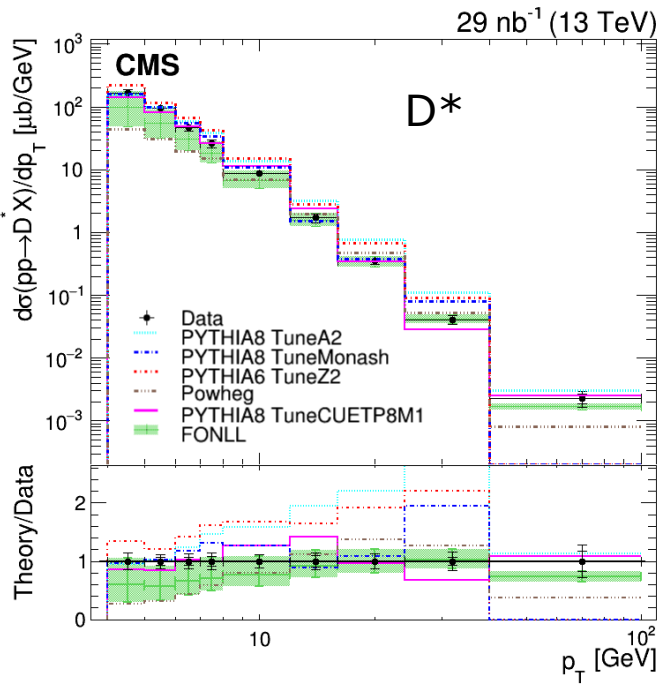
	Relative uncertainties (%)		
	D*+	D <sup>0</sup>	D+
Luminosity	2.5	2.5	2.5
Branching ratio	1.1	0.8	1.7
Tracking	9.4	4.2	6.1
Signal modelling	3.0	3.4	2.8
Background modelling	1.2	4.8	8.0
PU reweighting	1	1	2
Efficiency calculation	0.3	0.3	3.5
Contamination evaluation	2.9	0.8	1.4
PU dependency	1.4	1.4	1.4
Total	10.9	7.9	11.8

Alcuni commenti:

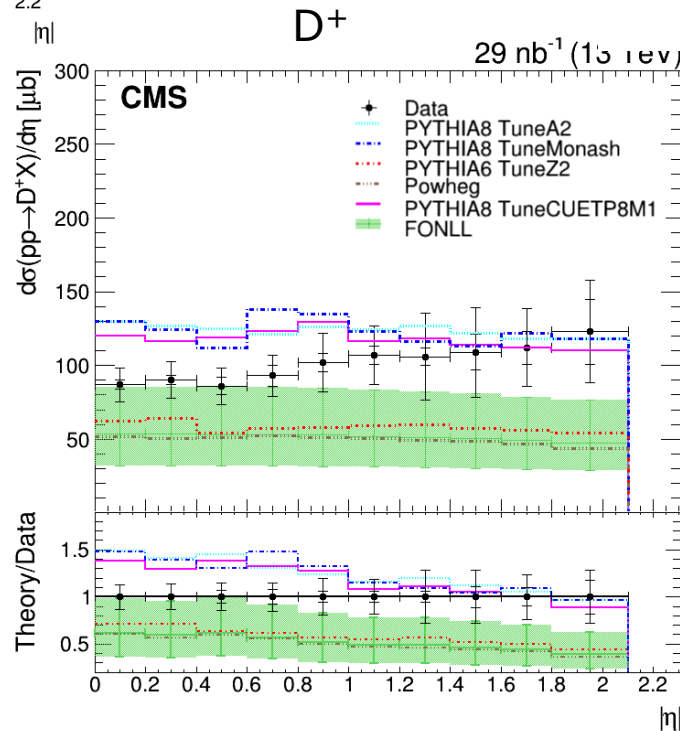
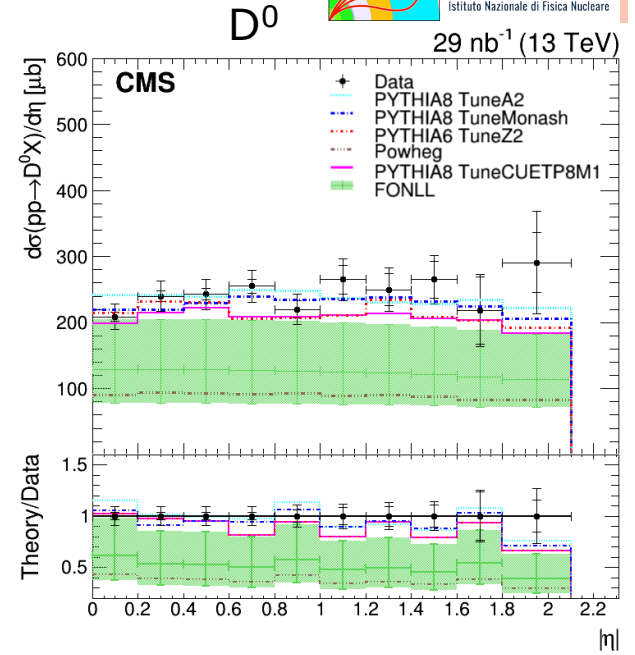
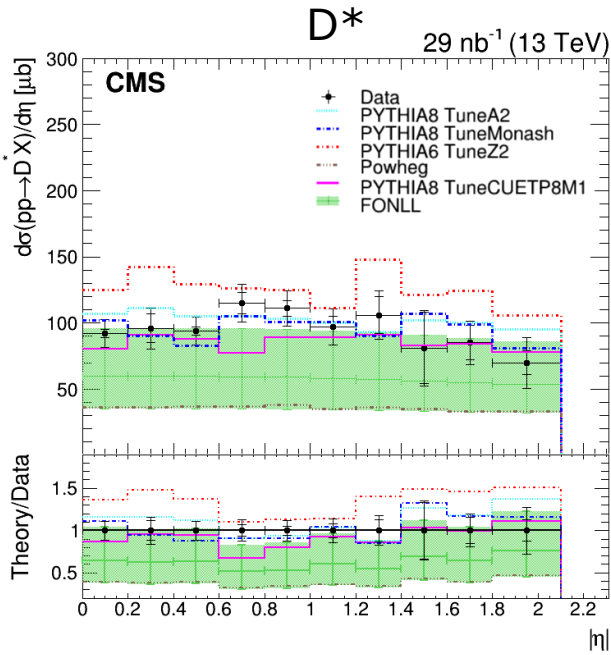
- Efficienza di tracking calcolata tramite metodo D\*
- PU reweighting applicato per avere stesso scenario dati/MC
- PU dependency -> lo yield nei dati normalizzato alla luminosità integrata non è costante durante la presa dati per inefficienze del tracciatore

Più dettagli in backup!





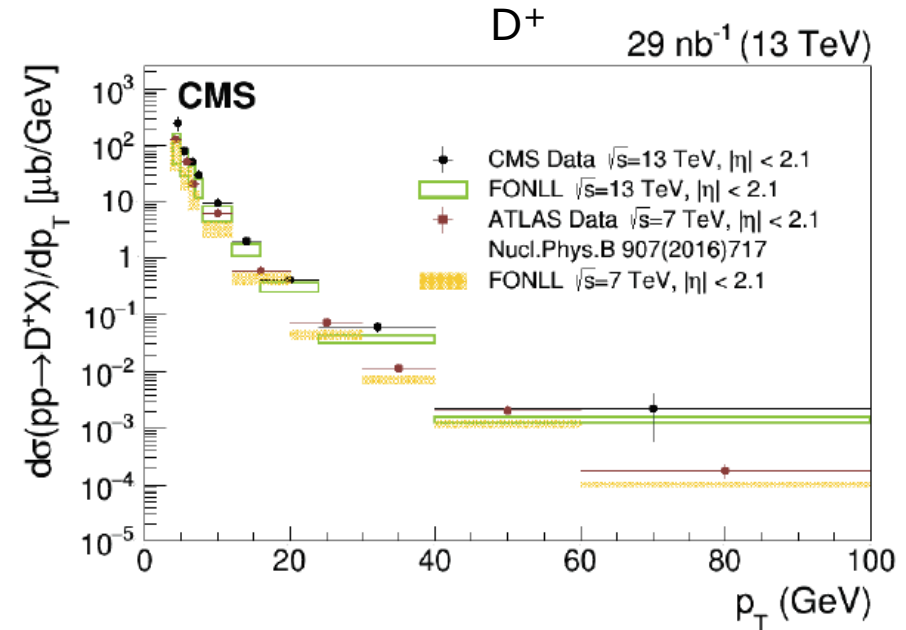
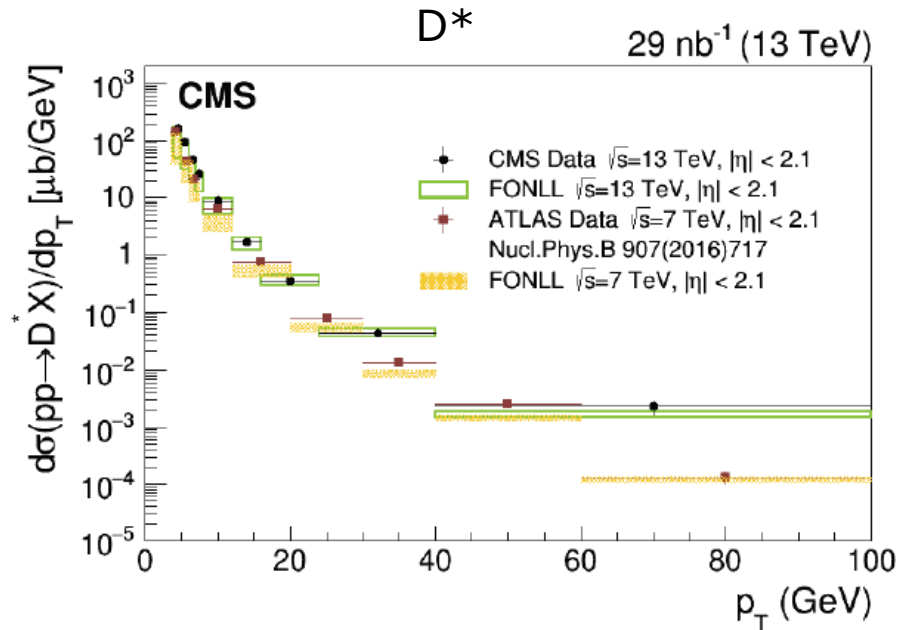
I valori misurati sono comparati con differenti MC e predizioni FONLL (fixed-order next-to-leading-logarithm)



I valori misurati sono comparati con differenti MC e predizioni FONLL (fixed-order next-to-leading-logarithm)

- Visto che questi risultati sono gli ultimi prodotti tra le collaborazioni di LHC ci sembrava importante confrontarli con le misure precedent
- In questo modo possiamo studiare come la sezione d'urto di produzione dei mesoni charmati evolve con l'energia di centro di massa e rispetto ai differenti tagli cinematici applicati
- Abbiamo usato le **predizioni FONLL** per questo confronto
  - NLO + fragmentation fraction
  - I calcoli FONLL sono sviluppati per ottenere predizioni affidabili per  $p_{T,Q} \approx m_Q$

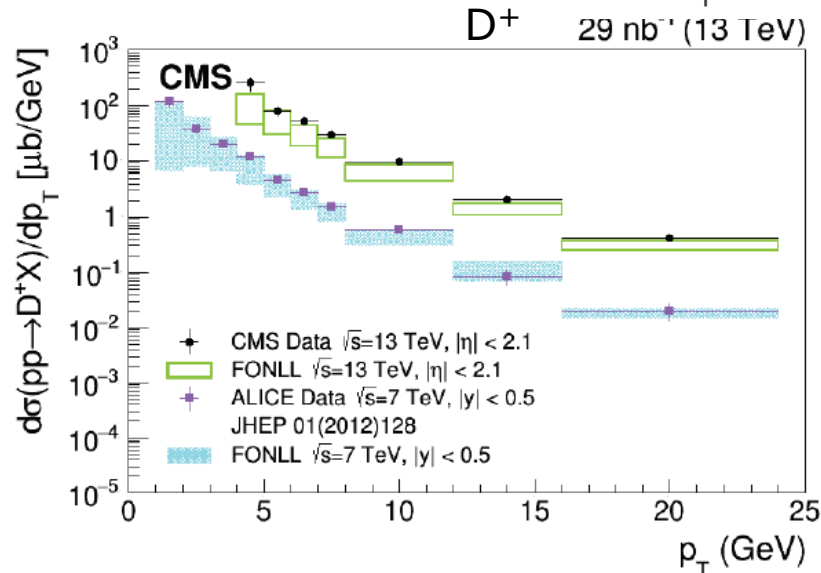
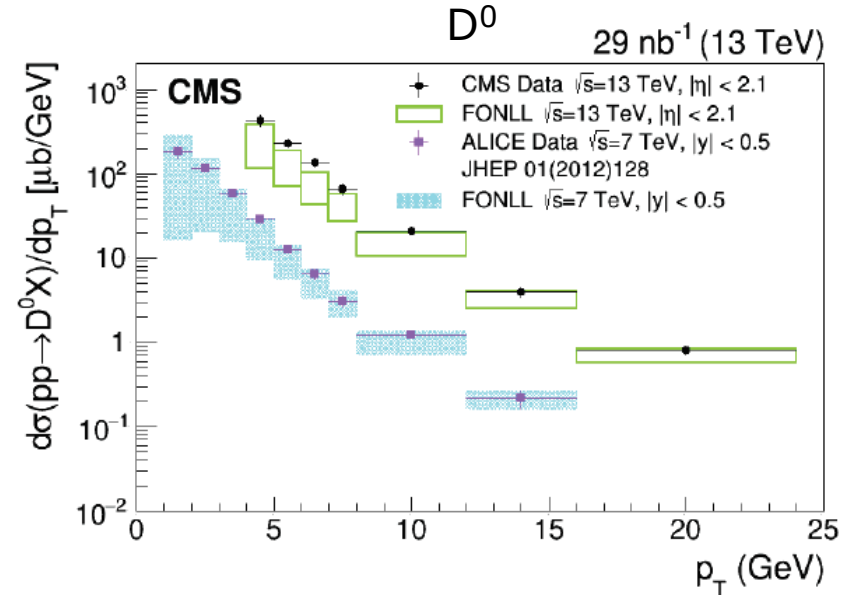
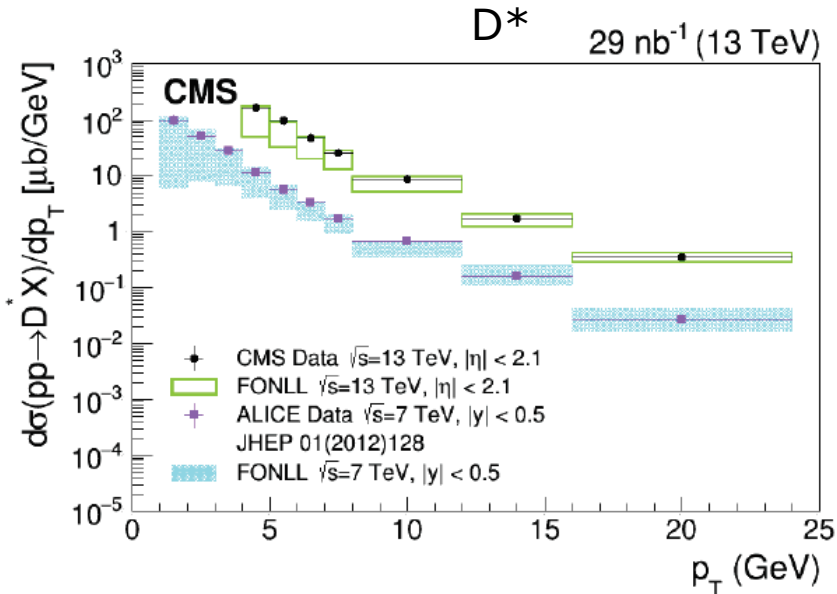
ATLAS ha effettuato la misura a  $\sqrt{s} = 7$  TeV  
 I dati sono confrontati alle previsioni FONLL



Stesso range cinematico ma differente binning.  
 Possiamo osservare direttamente come la sezione d'urto scala  
 con l'energia di centro di massa

-> **Buon accordo tra dati e teoria**

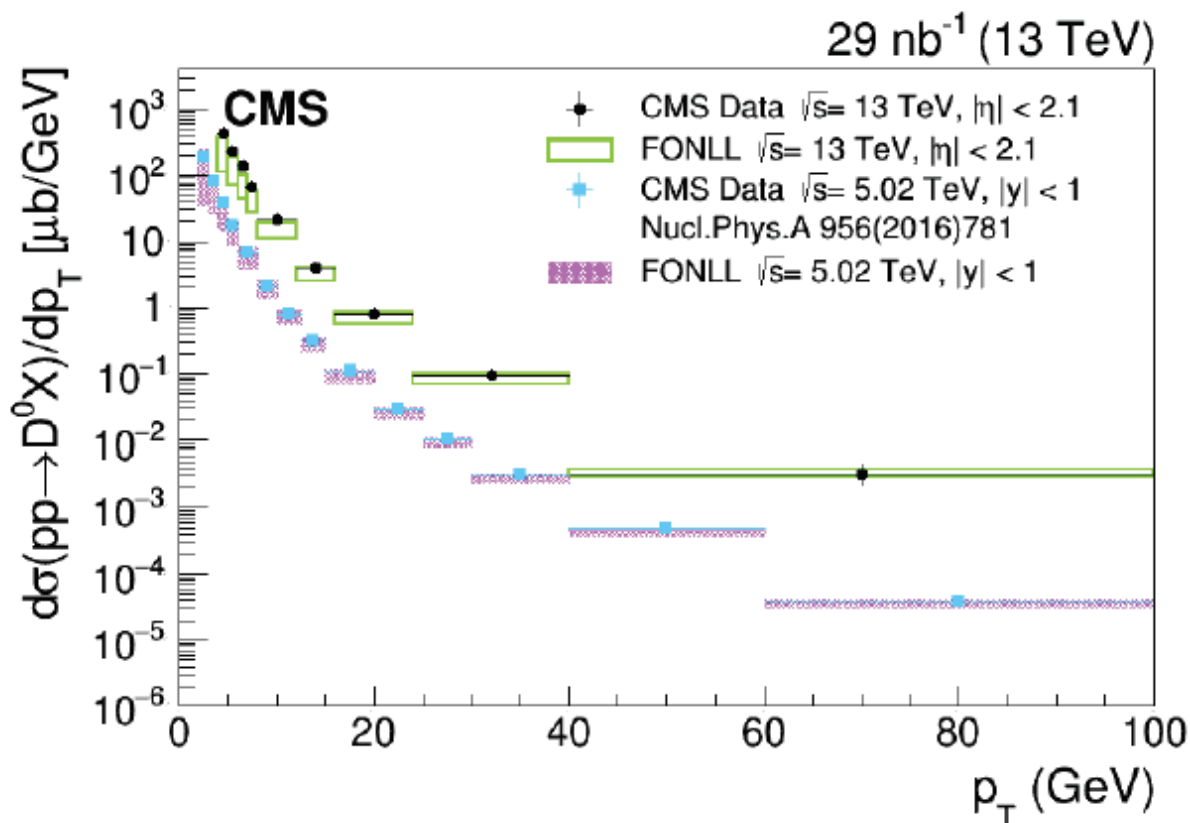
ALICE ha effettuato la misura a  $\sqrt{s} = 7$  TeV  
I dati sono confrontati alle previsioni FONLL



Range cinematico differente per  $p_T$  e  $\eta/y$  ma stesso binning.  
I dati di CMS sono riportati solo per  $p_T < 24$  GeV per migliorare il confronto.

-> **Buon accordo per tutti e 3 i mesoni.**

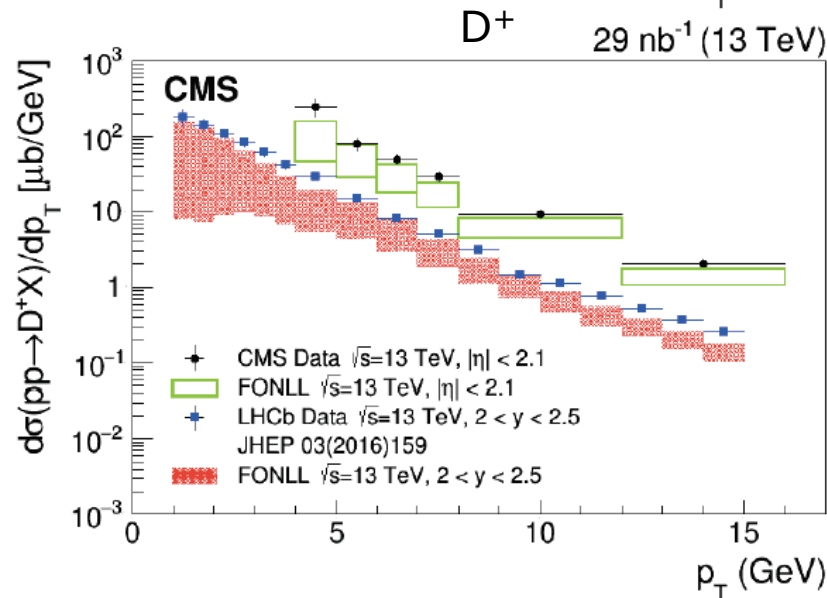
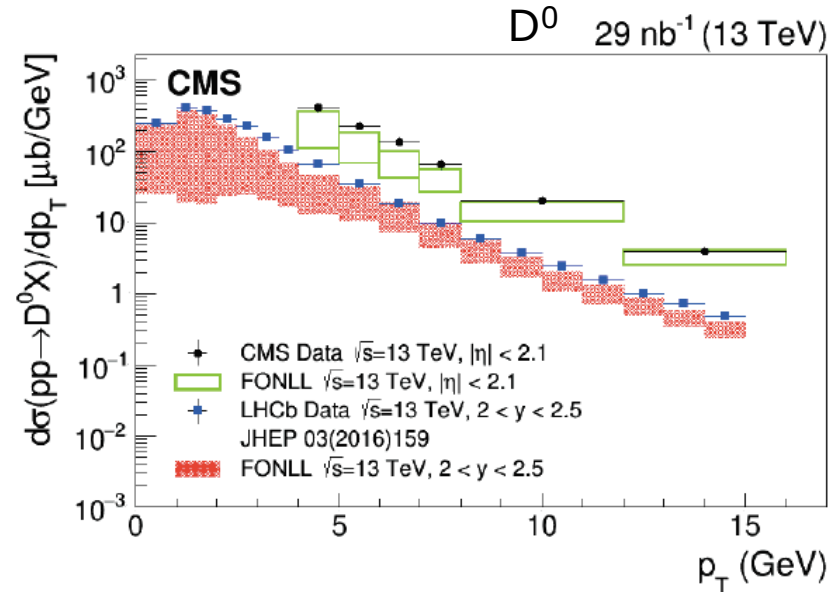
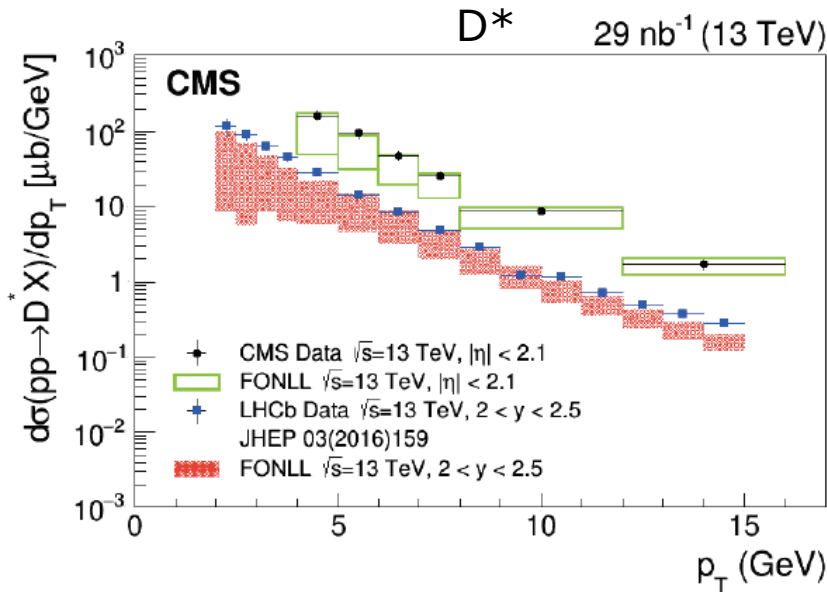
Il gruppo “heavy ion” di CMS ha effettuato la misura a  $\sqrt{s} = 5.02$  TeV  
I dati sono confrontati alle previsioni FONLL



Range cinematico differente in eta/y e differente binning.

-> **Buon accordo**

LHCb ha effettuato la misura a  $\sqrt{s} = 13$  TeV  
I dati sono confrontati alle previsioni FONLL



Range cinematico differente per  $p_T$  e  $\eta/y$   
ma stesso binning.

I dati di CMS sono riportati solo per  $p_T < 16$   
GeV per migliorare il confronto.

-> **Buon accordo per tutti e 3 i mesoni.**

- Essendo la prima misura di sezione d'urto di open charm in CMS con collisioni pp c'è **ampio spazio di miglioramento**
- Sono stati analizzati i soli dati 2016
  - la statistica di tutto il Run2 è circa un fattore x3
  - se includessimo tutti i vertici di pile up ( $\sim 40$ ) il guadagno cresce di almeno un'ordine di grandezza!
- Aumentando la statistica sarà poi necessario migliorare la valutazione delle sistematiche per non esserne limitati
- Il piano per il futuro è quindi ripetere la misura per fornire dati di **sezione d'urto doppio differenziale** (molto utili per la modellizzazione delle parton distribution function)
  - Possibile misurare anche i **fattori di forma**
  - Sarebbe molto interessante provare ad utilizzare il charm come sonda per investigare il **Double Parton Scattering**



- Ho mostrato i risultati relativi alla **prima misura di sezione d'urto di produzione di mesoni open charm in CMS**, usando collisioni pp raccolte nel 2016
- Abbiamo sviluppato una strategia di ricostruzione che ci permettesse di ricostruire questi mesoni con una chiara significanza in un ambiente "ostile" come quello di LHC
- I risultati sono stati comparati con diverse predizioni MC e modelli teorici
- **Le misure di CMS sono in accordo con quelle già pubblicate** da altri esperimenti, considerando l'evoluzione della scala di energia di centro di massa e le dipendenze cinematiche, come descritto dalle stime teoriche
- L'analisi è approvata e stiamo lavorando al paper, presenteremo i risultati a due conferenze estive (FPCP e ICHEP)

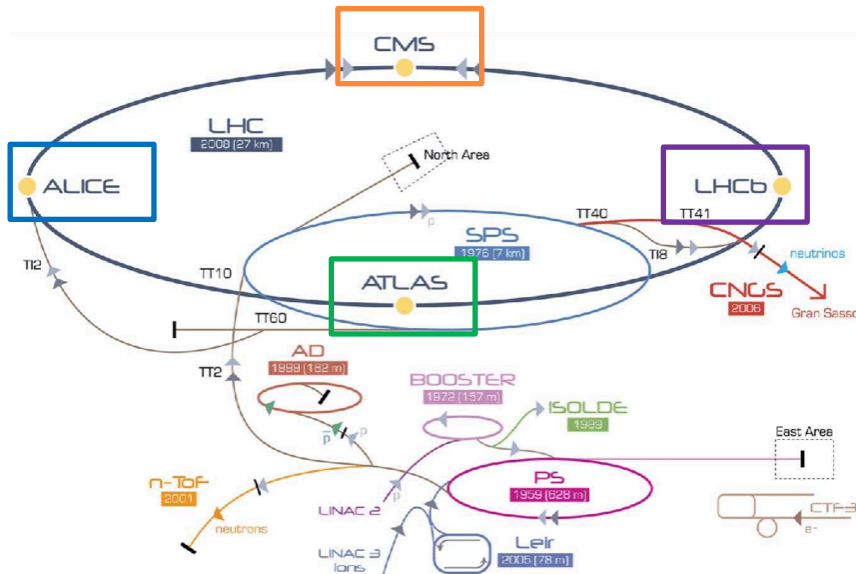
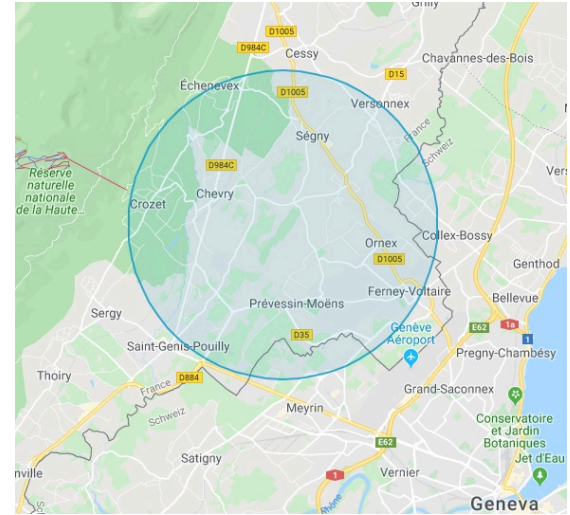
**Grazie per  
l'attenzione!**

BACKUP

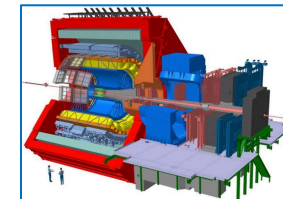
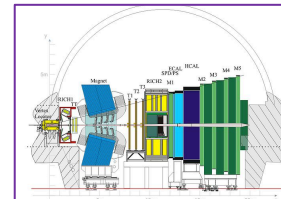
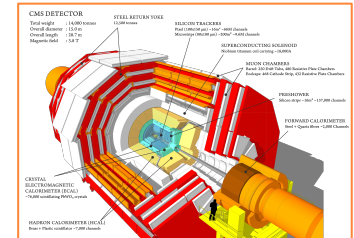
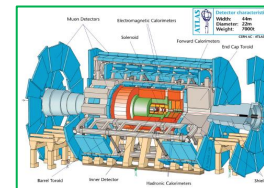
# LARGE HADRON COLLIDER

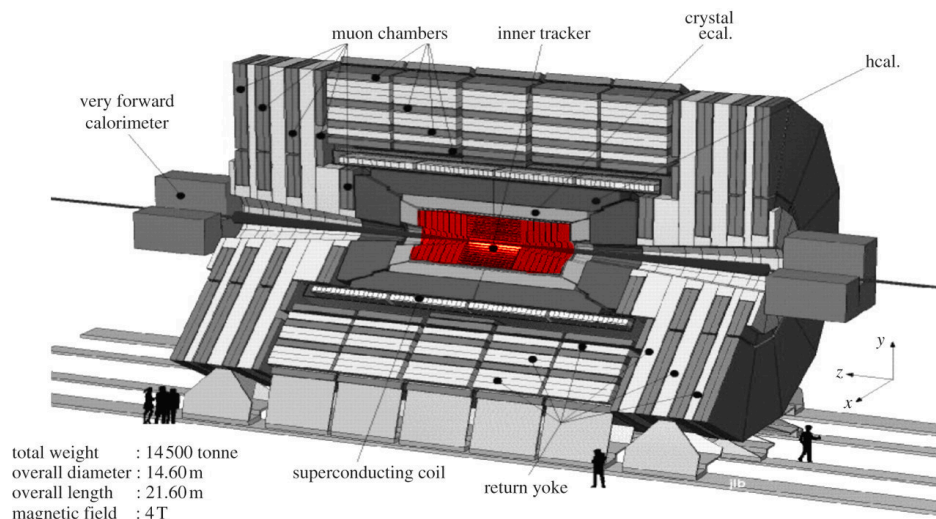
LHC è il più grande acceleratore di particelle del mondo.

Lungo 27 km e situato a ~100 m sotto il suolo al confine tra Francia e Svizzera



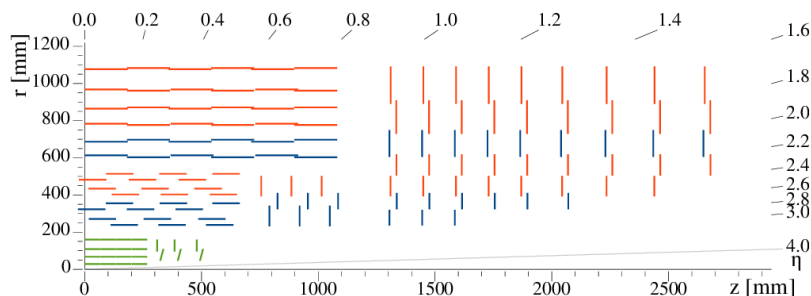
Un complesso sistema di sotto-  
acceleratori inietta protoni in LHC con  
un'energia di ~450 GeV.  
Saranno poi accelerati fino ai 7 (6.5)  
TeV nominali (attuali) e fatti scontrare  
in 4 punti.

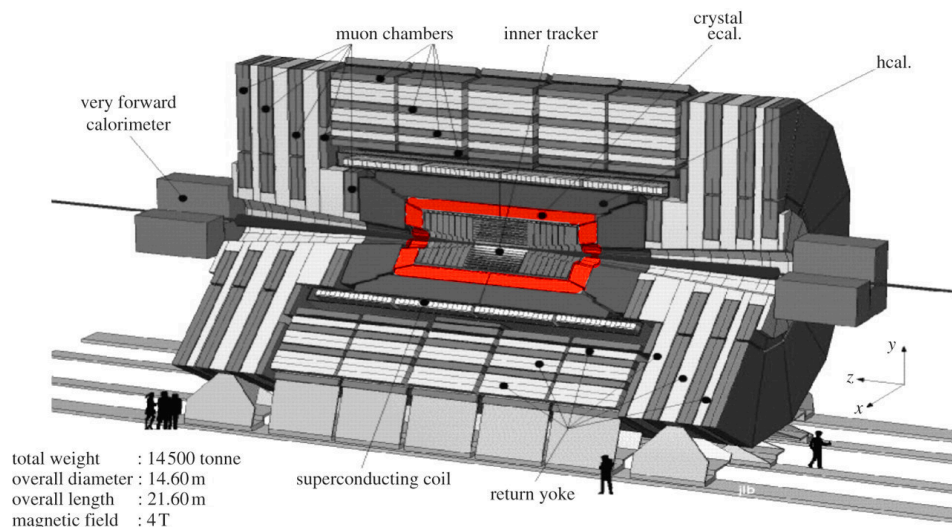




• **Tracciatore** => piani di silicio concentrici rispetto al punto di interazione. Ricostruisce le traiettorie delle particelle cariche che lo attraversano e i vertici di interazione primari e secondari.

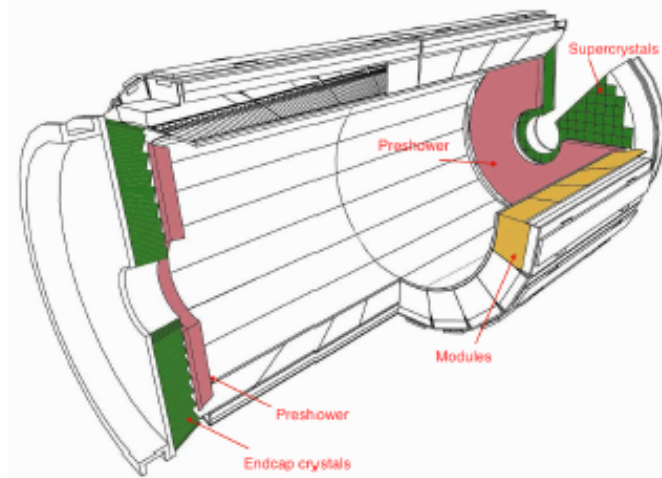
- Pixel detector => maggiore granularità nella zona più interna
- Strip detector => informazione unidirezionale, copre area vasta 200m<sup>2</sup>

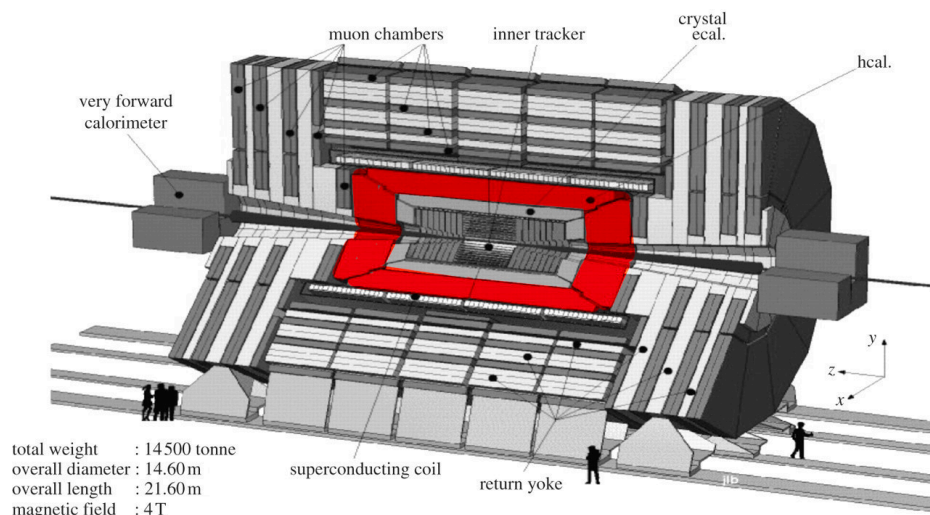




○ **Calorimetro Elettromagnetico** => misura l'energia delle particelle che interagiscono elettromagneticamente ( $e$ ,  $\gamma$ ).

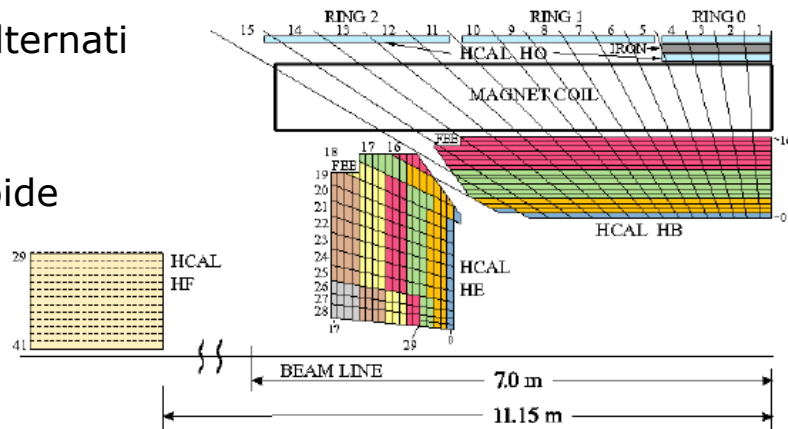
- Rivelatore omogeneo in cristalli di tungsteno di piombo ( $\text{PbWO}_4$ )
- veloce e resistente alle radiazioni

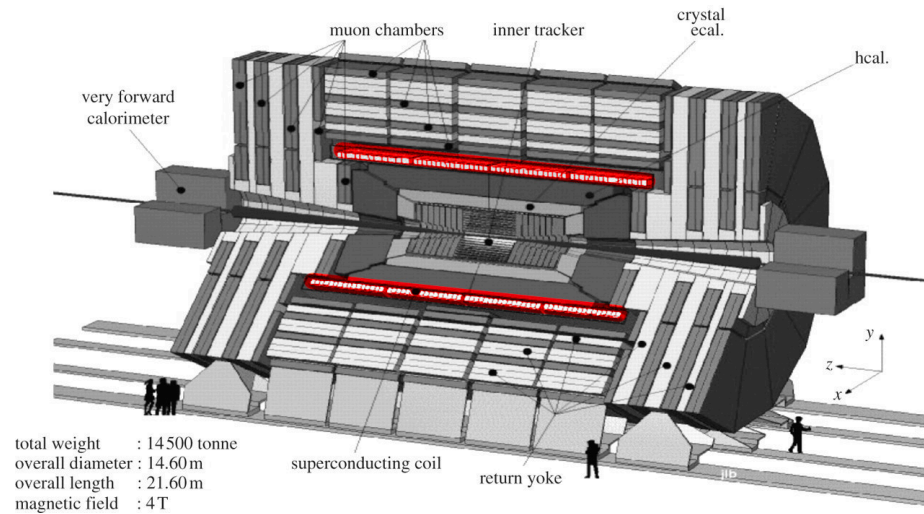




● **Calorimetro adronico** => misura l'energia degli adroni ( $p, n, \pi, k$ ).

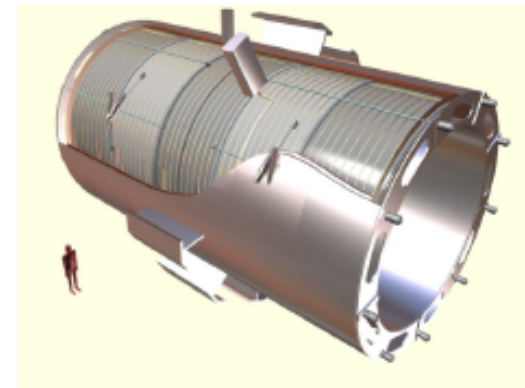
- Costituito da strati assorbenti in ottone alternati a scintillatori plastici.
- Componente aggiuntiva esterna al solenoide (HO) che usa il magnete come materiale assorbente addizionale.



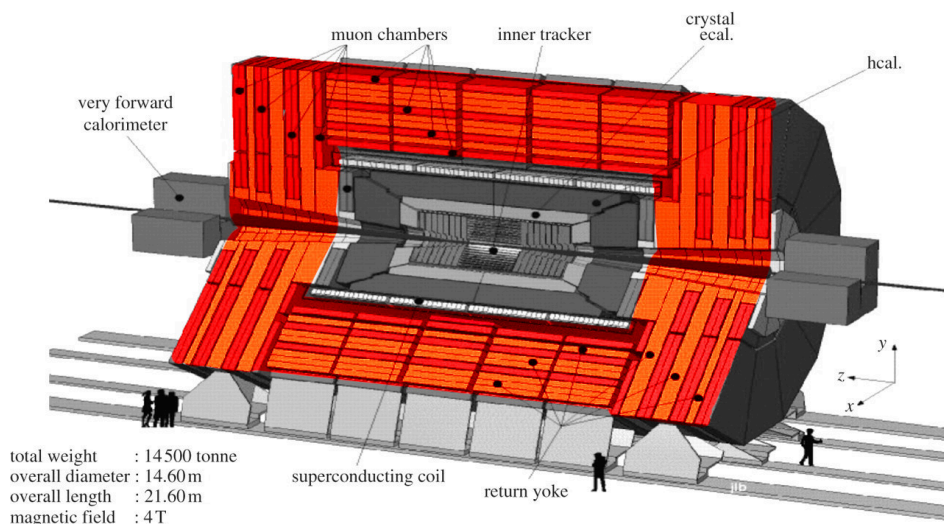


○ **Solenoid** => magnete superconduttore, genera campo magnetico di 3.8 T curvando le particelle cariche. Contiene tracciatore e calorimetri.

- Un giogo in ferro genera un campo magnetico di ritorno in modo da avere  $B = 0$  T all'esterno di CMS

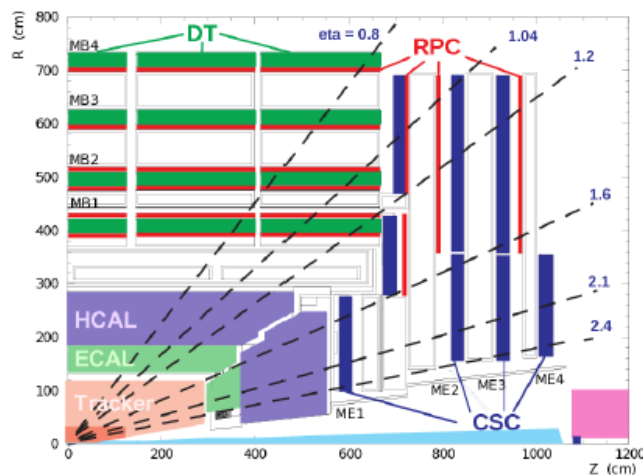






• **Camere per la rivelazione di muoni** => Sistema tracciante per i muoni posto fuori al campo magnetico (risente del campo di ritorno). Composto da 3 tipi di rivelatori tutti al gas (+ robusti e + veloci)

- **Drift Tube (DT)** usate in zone a basso rate
- **Cathode Strip Chamber (CSC)** poste nell'endcap con alto flusso di particelle, usate perche hanno risposta + veloce, maggiore granularità e sono + resistenti alle radiazioni
- **Resistive Plate Chambers (RPC)** usate come trigger per alta granularità e velocità (risoluzione temporale 1ns)



## ○ Risoluzione tracker

- PIX 10 ( 30 ) micron nel piano trasverso ( longitudinale )
- STRIP risoluzione r-phi 13-38 (18-47) micron nella regione interna (esterna)

## ○ Risoluzione ECAL

$$\frac{\sigma^2}{E} = \left( \frac{S}{\sqrt{E}} \right)^2 + \left( \frac{N}{E} \right)^2 + C^2$$

S termine stocastico

N rumore termico

C costante

S = 0.028 GeV<sup>1/2</sup>, N = 0.12 GeV, C = 0.003

## ○ Risoluzione HCAL $\frac{\sigma}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b$

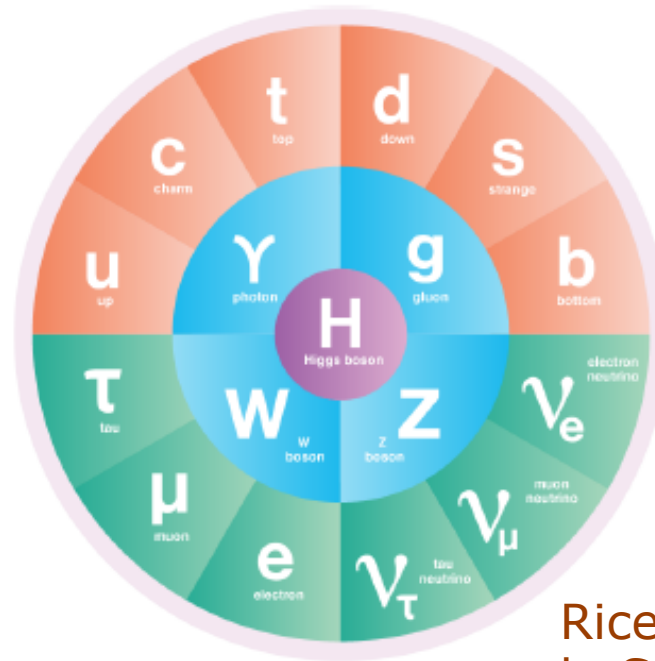
a termine stocastico

b costante

a = 0.847 ± 0.016 GeV<sup>1/2</sup>

b = 0.074 ± 0.008

## ○ Risoluzione camera mu O(100micron)



## Misure Standard Model

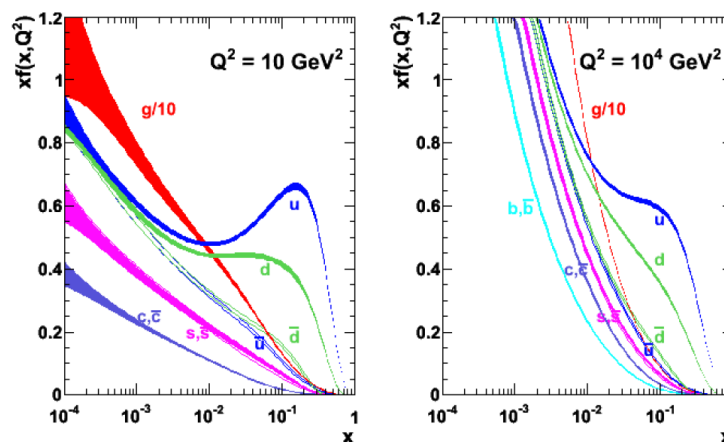
- Scoperta del Bosone di Higgs
- Misure di accoppiamenti
- Misure di branching fraction
- Misure sezione d'urto
- Fisica del sapore
- ....

## Ricerca di fisica oltre lo Standard Model

- Ricerca di particelle ad alta massa
- Ricerca di violazioni di leggi di conservazione
- Decadimenti rari
- Deviazioni dallo SM
- ....

# PERCHÈ STUDIARE IL QUARK CHARM ?

- Perché la nostra conoscenza attuale sul charm è affetta da grandi incertezze: teoriche e sperimentali
  - avere più misure sperimentali aiuta i teorici nello sviluppo dei modelli => simulazioni MC più precise
- Perché vogliamo approfondire la nostra conoscenza del charm content nella struttura protonica



D'altra parte..

- L'ambiente adronico non è ideale per la ricostruzione di particelle a basso impulso (sommersi da bkg)
- Nessuna misura pubblica ancora in CMS in collisioni pp

Analizzati dati 2016 – sample Zerobias:

- /ZeroBias/Run2016(B-G)-23Sep2016-v\*/AOD
  - /ZeroBias/Run2016H-PromptReco-v\*/AOD
- ~ 233 Million events

MonteCarlo usato per il calcolo dell'efficienza:

- /DStarToD0Pi D0KPi DStarFilter TuneCUEP8M1 13TeV-pythia8-evtgen/RunIIFall15DR76-PU25nsData2015v1 76X mcRun2 asymptotic v12-v1/AODSIM
- ~ 58 M events

Trigger:

- HLT\_ZeroBias\_v\* Prescalato -> luminosità effettiva analizzata:  
 $29 \cdot 10^3 \mu\text{b}^{-1}$

Selezione del vertice primario:

- Il primo vertice "good" (good = valido, not fake, ndof > 4,  
 $|z_{PV} - z_{BS}| < 10 \text{ cm}$ )

$p_T$ [ GeV/c ]	efficiency
[4-5]	$0.20977 \pm 0.00016$
[5-6]	$0.2786 \pm 0.0003$
[6-7]	$0.3482 \pm 0.0004$
[7-8]	$0.4188 \pm 0.0005$
[8-12]	$0.5635 \pm 0.0005$
[12-16]	$0.7756 \pm 0.0009$
[16-24]	$0.8779 \pm 0.0011$
[24-40]	$0.913 \pm 0.002$
[40-100]	$0.932 \pm 0.005$

Table 29: PV matching efficiency in  $p_T$  bins.

$ \eta $	efficiency
[0-0.2]	$0.3150 \pm 0.0004$
[0.2-0.4]	$0.3147 \pm 0.0004$
[0.4-0.6]	$0.3128 \pm 0.0004$
[0.6-0.8]	$0.3110 \pm 0.0004$
[0.8-1]	$0.3078 \pm 0.0004$
[1-1.2]	$0.3025 \pm 0.0004$
[1.2-1.4]	$0.2976 \pm 0.0004$
[1.4-1.6]	$0.2931 \pm 0.0004$
[1.6-1.8]	$0.2907 \pm 0.0004$
[1.8-2.1]	$0.2854 \pm 0.0003$

Table 30: PV matching efficiency in  $\eta$  bins.

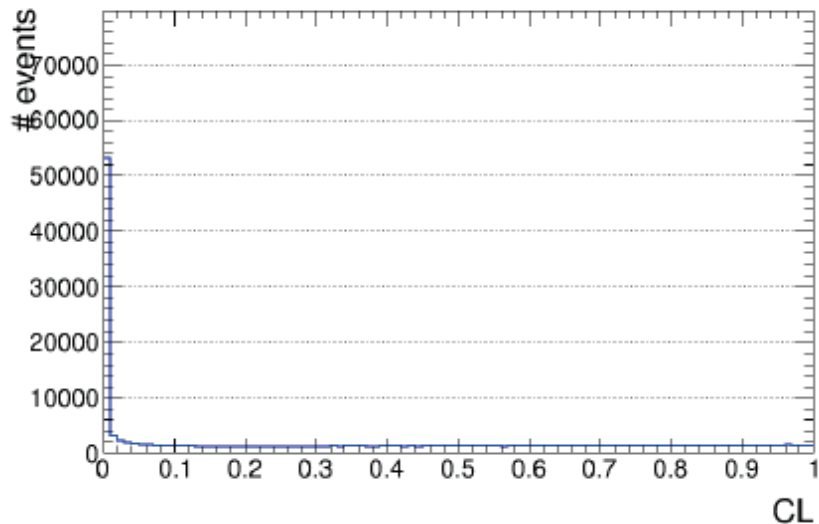
PU	efficiency
[0-10]	$0.4004 \pm 0.0002$
[10-15]	$0.2676 \pm 0.0002$
[15-20]	$0.2014 \pm 0.0003$
[20-25]	$0.1587 \pm 0.0007$
[25-30]	$0.1286 \pm 0.0015$
[30-35]	$0.107 \pm 0.004$
[35-Inf]	$0.076 \pm 0.009$

Table 31: PV matching efficiency in PU bins.

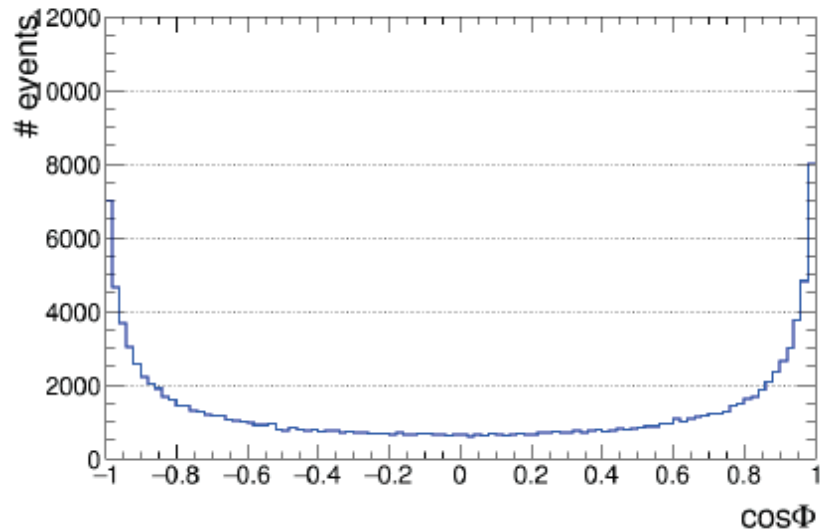
Variables	$D^{*+}$	$D^0$	$D^+$
PV selection:	valid vertex with largest $\sum p_T$ of tracks		
Tracks: $p_{T \min}$ GeV/c	0.5 (0.3 for the $\pi_{slow}$ )	0.8	0.7
Tracks: reduced $\chi^2$	< 2.5 (3 for the $\pi_{slow}$ )	< 2.5	< 2.5
Tracks: N Tracker Hits	$\geq 5$ ( $> 2$ for the $\pi_{slow}$ )	$\geq 5$	$\geq 5$
Tracks: N Pixel Hits	$\geq 2$ (none for the $\pi_{slow}$ )	$\geq 2$	$\geq 2$
Tracks: $IP_{xy}$ w.r.t. PT	< 0.1 cm (sign<3 for $\pi_{slow}$ )	< 0.1 cm	< 0.1 cm
Tracks: $IP_z$ w.r.t. PV	< 1 cm (sign<3 for $\pi_{slow}$ )	< 1 cm	< 1 cm
$ M_{D_{cand}} - M_{D_{PDG}} $ [GeV/ $c^2$ ]	< 0.023	< 0.10	< 0.10
SV Confidence Level	> 1%	> 1%	> 1%
Pointing, $\cos\Phi$	> 0.99	> 0.99	> 0.99
L significance: $L/\sigma_L$	> 3	> 5	> 10
Arbitration criteria	min $\Delta M$	min $ M_{D_{cand}^0} - M_{D_{PDG}^0} $	min $ M_{D_{cand}^+} - M_{D_{PDG}^+} $

# VARIABILI PRIMA DEL TAGLIO

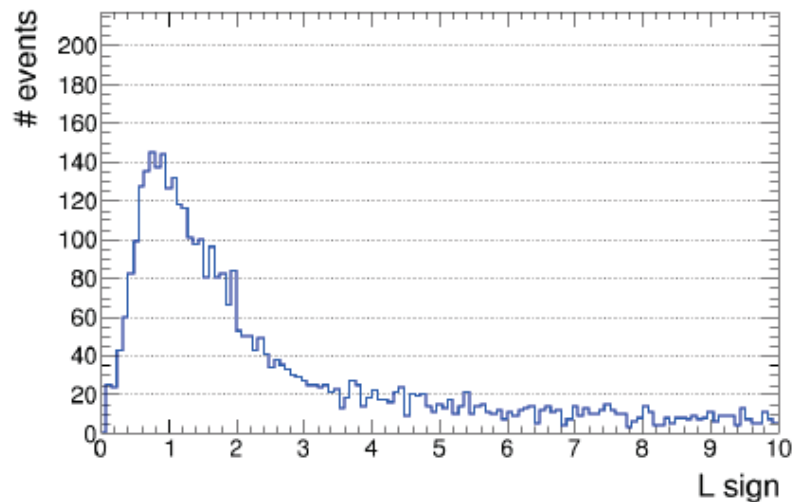
SV\_CL



cos\_phi



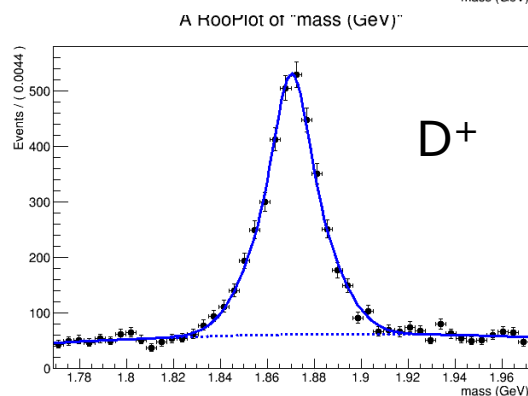
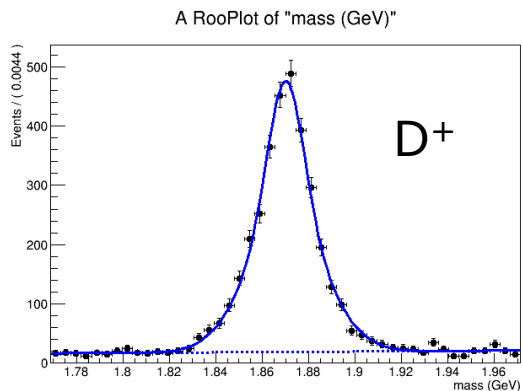
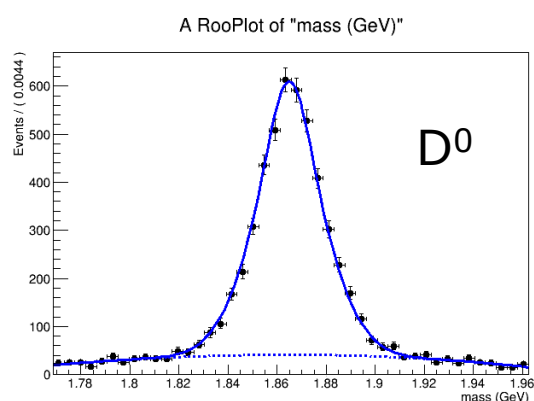
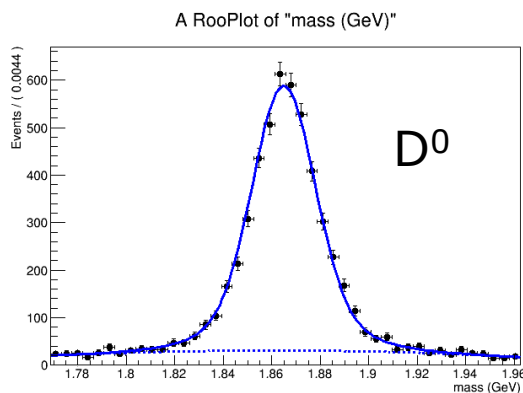
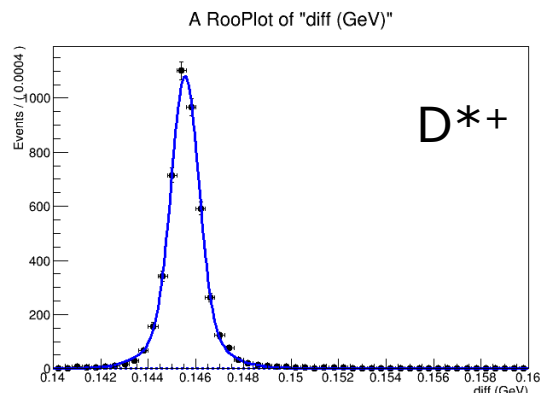
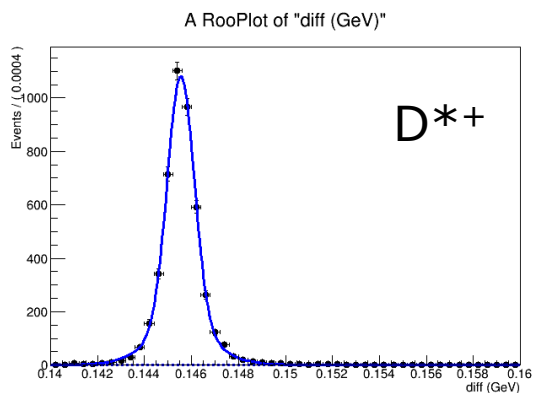
L\_over\_sigma





# STUDY OF THE ARBITRATION CRITERIA FOR THE MESON SELECTION

We compared our arbitration criteria (left) with a casual selection (right)



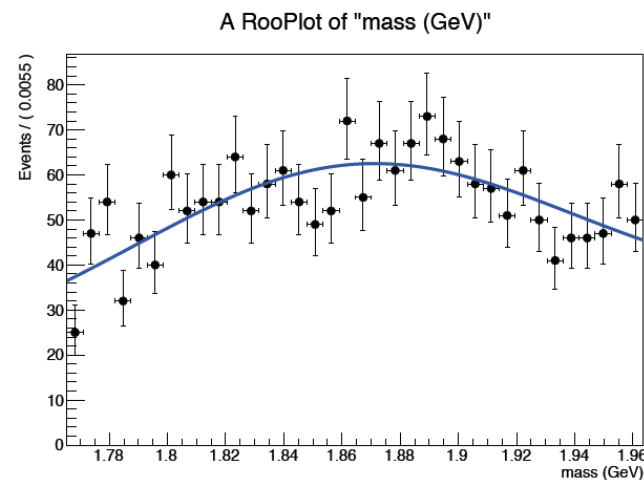
	standard selection	random selection
$D^*$	4523 +/- 68	4523 +/- 68
$D^0$	4546 +/- 242	4397 +/- 196
$D^+$	3116 +/- 64	3179 +/- 105

No differences in signal yield within the uncertainties

- Visto che CMS non ha un rivelatore di particle identification in principio non è possibile distinguere k e pi dalle informazioni del solo tracciatore
- Nella ricostruzione della  $D^0$  la massa viene assegnata manualmente alle tracce secondo il segno ( $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$  fortemente soppresso)
- La risoluzione dell'ambiguità  $D^0/\bar{D}^0$  viene fatta esplicitamente
- Il contributo proveniente da un'assegnazione di massa errata viene valutato da MC usando la verità gen level
- Contributo gaussiano ( $\sigma = 0.075 \pm 0.007$  GeV) considerato segnale.

-> Una **terza gaussiana "larga"** è stata aggiunta alla descrizione del segnale nei dati:

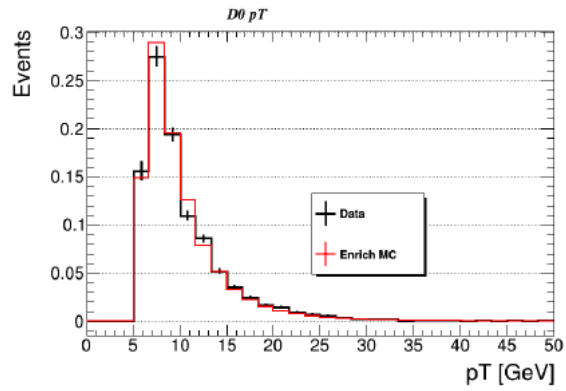
- Larghezza definite bin per bin dal MC
- Normalizzazione fissata rispetto alle altre 2 gaussiane -> per ogni bin l'integrale dei due contribute (largo e stretto) è lo stesso.



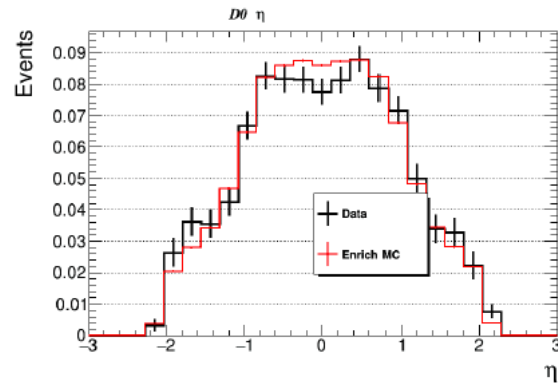
$p_T$ range [GeV]	$ \eta  < 2.1$		
	D <sup>*+</sup>	D <sup>0</sup>	D <sup>+</sup>
	Yield $\pm$ Uncert (stat.)	Yield $\pm$ Uncert (stat.)	Yield $\pm$ Uncert (stat.)
4-5	917 $\pm$ 94	5195 $\pm$ 704	5850 $\pm$ 1420
5-6	1555 $\pm$ 86	5478 $\pm$ 395	3391 $\pm$ 455
6-7	1450 $\pm$ 98	5639 $\pm$ 445	3618 $\pm$ 143
7-8	1144 $\pm$ 75	3989 $\pm$ 497	2785 $\pm$ 131
8-12	2962 $\pm$ 80	9752 $\pm$ 320	6858 $\pm$ 179
12-16	1174 $\pm$ 115	3536 $\pm$ 167	3047 $\pm$ 96
16-24	647 $\pm$ 28	2042 $\pm$ 122	1821 $\pm$ 77
24-40	180 $\pm$ 15	625 $\pm$ 58	628 $\pm$ 61
40-100	38 $\pm$ 7	91 $\pm$ 20	115 $\pm$ 14

$ \eta $ range	$4 < p_T < 100$ GeV		
	D <sup>*+</sup>	D <sup>0</sup>	D <sup>+</sup>
	Yield $\pm$ Uncert (stat.)	Yield $\pm$ Uncert (stat.)	Yield $\pm$ Uncert (stat.)
0-0.2	1227 $\pm$ 42	3636 $\pm$ 124	3202 $\pm$ 106
0.2-0.4	1337 $\pm$ 67	4146 $\pm$ 137	3062 $\pm$ 96
0.4-0.6	1276 $\pm$ 45	4281 $\pm$ 153	2906 $\pm$ 190
0.6-0.8	1540 $\pm$ 105	4588 $\pm$ 182	3204 $\pm$ 226
0.8-1	1283 $\pm$ 68	3797 $\pm$ 214	3040 $\pm$ 143
1-1.2	1026 $\pm$ 88	4269 $\pm$ 321	3183 $\pm$ 161
1.2-1.4	857 $\pm$ 113	3178 $\pm$ 303	2853 $\pm$ 89
1.4-1.6	576 $\pm$ 191	3053 $\pm$ 317	2353 $\pm$ 251
1.6-1.8	530 $\pm$ 84	2196 $\pm$ 514	2125 $\pm$ 205
1.8-2.1	539 $\pm$ 69	3772 $\pm$ 588	2779 $\pm$ 487

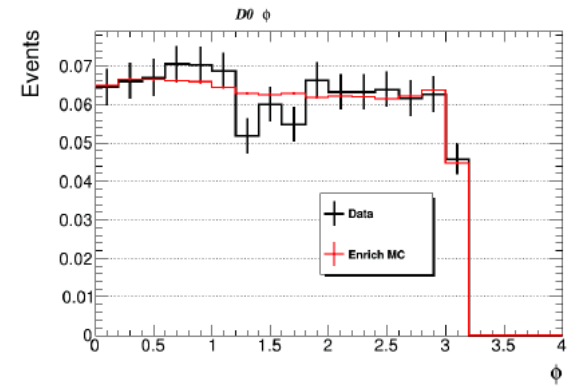
# DATA – MC AGREEMENT



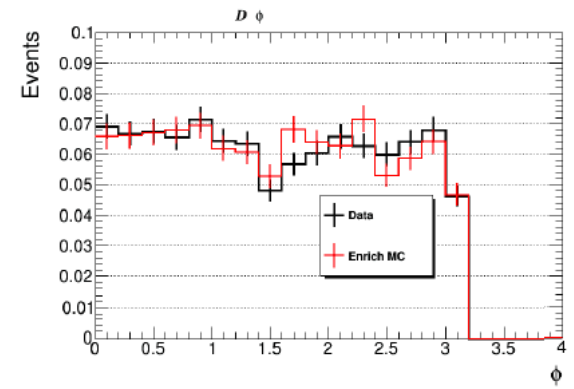
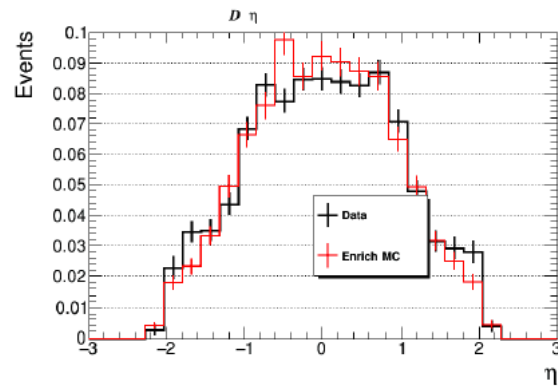
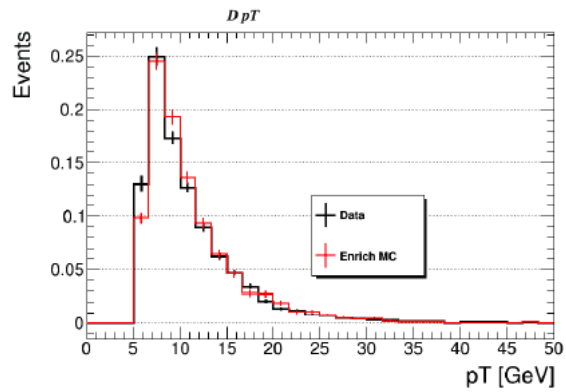
(a)



(b)



(c)



# EFFICIENCY VS PT

$p_T$ range [ GeV/c ]	$N_i(D \rightarrow f + c.c)$	$TOT_i(D \rightarrow f + c.c)$	$\epsilon_i$
[4-5]	101970 $\pm$ 344	12716660	$(8.02 \pm 0.03) \times 10^{-3}$
[5-6]	143440 $\pm$ 390	6212347	$(2.309 \pm 0.006) \times 10^{-2}$
[6-7]	137960 $\pm$ 380	3236898	$(4.262 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[7-8]	114150 $\pm$ 340	1792115	$(6.37 \pm 0.02) \times 10^{-2}$
[8-12]	264580 $\pm$ 523	2352339	$(1.125 \pm 0.002) \times 10^{-1}$
[12-16]	91664 $\pm$ 307	459560	$(1.995 \pm 0.006) \times 10^{-1}$
[16-24]	46857 $\pm$ 220	183230	$(2.557 \pm 0.010) \times 10^{-1}$
[24-40]	12331 $\pm$ 113	41488	$(2.97 \pm 0.02) \times 10^{-1}$
[40-100]	1726 $\pm$ 42	5698	$(3.03 \pm 0.06) \times 10^{-1}$

Table 14: Efficiency calculation in  $p_T$  bins for  $D^{*+}$  mesons in the pseudorapidity range  $|\eta| < 2.1$ .

$p_T$ range [ GeV/c ]	$N_i(D \rightarrow f + c.c)$	$TOT_i(D \rightarrow f + c.c)$	$\epsilon_i$
[4-5]	137110 $\pm$ 388	10884790	$(1.260 \pm 0.003) \times 10^{-2}$
[5-6]	126120 $\pm$ 380	5182344	$(2.434 \pm 0.007) \times 10^{-2}$
[6-7]	107300 $\pm$ 339	2653959	$(4.043 \pm 0.012) \times 10^{-2}$
[7-8]	85539 $\pm$ 486	1450841	$(5.90 \pm 0.02) \times 10^{-2}$
[8-12]	193280 $\pm$ 467	1876943	$(1.030 \pm 0.002) \times 10^{-1}$
[12-16]	67932 $\pm$ 282	362693	$(1.873 \pm 0.007) \times 10^{-1}$
[16-24]	36895 $\pm$ 206	143316	$(2.574 \pm 0.012) \times 10^{-1}$
[24-40]	10470 $\pm$ 116	32373	$(3.23 \pm 0.03) \times 10^{-1}$
[40-100]	1547 $\pm$ 44	4317	$(3.58 \pm 0.07) \times 10^{-1}$

Table 16: Efficiency calculation in  $p_T$  bins for  $D^0$  mesons in the pseudorapidity range  $|\eta| < 2.1$ .

$p_T$ range [ GeV/c ]	$N_i(D \rightarrow f + c.c)$	$TOT_i(D \rightarrow f + c.c)$	$\epsilon_i$
[4-5]	600 $\pm$ 26	63858	$(9.4 \pm 0.4) \times 10^{-3}$
[5-6]	655 $\pm$ 27	39977	$(1.64 \pm 0.06) \times 10^{-2}$
[6-7]	722 $\pm$ 27	25496	$(2.83 \pm 0.10) \times 10^{-2}$
[7-8]	630 $\pm$ 28	16054	$(3.92 \pm 0.15) \times 10^{-2}$
[8-12]	1851 $\pm$ 44	25705	$(7.20 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[12-16]	804 $\pm$ 34	5983	$(1.34 \pm 0.04) \times 10^{-1}$
[16-24]	546 $\pm$ 20	2680	$(2.04 \pm 0.08) \times 10^{-1}$
[24-40]	155 $\pm$ 16	629	$(2.46 \pm 0.17) \times 10^{-1}$
[40-100]	21 $\pm$ 5	99	$(2.1 \pm 0.4) \times 10^{-1}$

Table 18: Efficiency calculation in  $p_T$  bins for  $D^+$  mesons in the pseudorapidity range  $|\eta| < 2.1$ .

# EFFICIENCY VS ETA

$ \eta $ range	$N_i(D \rightarrow f + c.c)$	$TOT_i(D \rightarrow f + c.c)$	$\epsilon_i$
[0-0.2]	$114910 \pm 345$	2608159	$(4.406 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.2-0.4]	$117160 \pm 349$	2613410	$(4.483 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.4-0.6]	$118620 \pm 351$	2625104	$(4.519 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.6-0.8]	$118100 \pm 350$	2630884	$(4.489 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.8-1]	$107960 \pm 335$	2627132	$(4.109 \pm 0.012) \times 10^{-2}$
[1-1.2]	$89699 \pm 307$	2614841	$(3.430 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[1.2-1.4]	$72324 \pm 276$	2589700	$(2.793 \pm 0.010) \times 10^{-2}$
[1.4-1.6]	$60902 \pm 254$	2551391	$(2.387 \pm 0.001) \times 10^{-2}$
[1.6-1.8]	$52675 \pm 237$	2503081	$(2.104 \pm 0.009) \times 10^{-2}$
[1.8-2.1]	$63105 \pm 361$	3636635	$(1.735 \pm 0.007) \times 10^{-2}$

Table 15: Efficiency calculation in  $\eta$  bins for  $D^{*+}$  mesons with  $4 < p_T < 100$  GeV/c.

$ \eta $ range	$N_i(D \rightarrow f + c.c)$	$TOT_i(D \rightarrow f + c.c)$	$\epsilon_i$
[0-0.2]	$91376 \pm 303$	2200284	$(4.153 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.2-0.4]	$92521 \pm 307$	2203023	$(4.200 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.4-0.6]	$93690 \pm 308$	2208043	$(4.243 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.6-0.8]	$93789 \pm 310$	2208180	$(4.247 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.8-1]	$87902 \pm 270$	2201363	$(3.993 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[1-1.2]	$78014 \pm 293$	2188035	$(3.565 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[1.2-1.4]	$66781 \pm 500$	2161141	$(3.090 \pm 0.012) \times 10^{-2}$
[1.4-1.6]	$55659 \pm 255$	2125066	$(2.619 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[1.6-1.8]	$49167 \pm 100$	2080986	$(2.363 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[1.8-2.1]	$57173 \pm 316$	3015454	$(1.896 \pm 0.008) \times 10^{-2}$

Table 17: Efficiency calculation in  $\eta$  bins for  $D^0$  mesons with  $4 < p_T < 100$  GeV/c.

$ \eta $ range	$N_i(D \rightarrow f + c.c)$	$TOT_i(D \rightarrow f + c.c)$	$\epsilon_i$
[0-0.2]	$825 \pm 29$	17964	$(4.59 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[0.2-0.4]	$808 \pm 29$	17744	$(4.55 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[0.4-0.6]	$840 \pm 29$	17770	$(4.73 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[0.6-0.8]	$784 \pm 29$	17890	$(4.38 \pm 0.15) \times 10^{-2}$
[0.8-1]	$673 \pm 19$	17585	$(3.83 \pm 0.15) \times 10^{-2}$
[1-1.2]	$596 \pm 23$	17692	$(3.37 \pm 0.14) \times 10^{-2}$
[1.2-1.4]	$440 \pm 17$	17202	$(2.56 \pm 0.12) \times 10^{-2}$
[1.4-1.6]	$357 \pm 15$	16825	$(2.12 \pm 0.11) \times 10^{-2}$
[1.6-1.8]	$329 \pm 18$	16432	$(2.00 \pm 0.11) \times 10^{-2}$
[1.8-2.1]	$357 \pm 19$	23384	$(1.53 \pm 0.08) \times 10^{-2}$

Table 19: Efficiency calculation in  $\eta$  bins for  $D^+$  mesons with  $4 < p_T < 100$  GeV/c.

# STABILITY CHECK FOR THE $\Delta R$ CUT IN PT BINS

$D^{*+}$

$p_T$ [GeV/c]	$\Delta R < 0.5$			$\Delta R < 0.6$		
	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$
[4-5]	102030 $\pm$ 340	12716660	$(8.02 \pm 0.03) \times 10^{-3}$	102090 $\pm$ 340	12716660	$(8.03 \pm 0.03) \times 10^{-3}$
[5-6]	143540 $\pm$ 390	6212347	$(2.310 \pm 0.006) \times 10^{-2}$	143620 $\pm$ 388	6212347	$(2.312 \pm 0.006) \times 10^{-2}$
[6-7]	138060 $\pm$ 380	3236898	$(4.265 \pm 0.011) \times 10^{-2}$	138140 $\pm$ 378	3236898	$(4.268 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[7-8]	114220 $\pm$ 340	1792115	$(6.37 \pm 0.02) \times 10^{-2}$	114280 $\pm$ 341	1792115	$(6.38 \pm 0.02) \times 10^{-2}$
[8-12]	264730 $\pm$ 523	2352339	$(1.125 \pm 0.002) \times 10^{-1}$	264830 $\pm$ 520	2352339	$(1.126 \pm 0.002) \times 10^{-1}$
[12-16]	91711 $\pm$ 307	459560	$(1.996 \pm 0.006) \times 10^{-1}$	91744 $\pm$ 305	459560	$(1.996 \pm 0.006) \times 10^{-1}$
[16-24]	46878 $\pm$ 220	183230	$(2.558 \pm 0.010) \times 10^{-1}$	46892 $\pm$ 219	183230	$(2.559 \pm 0.010) \times 10^{-1}$
[24-40]	12332 $\pm$ 113	41488	$(2.97 \pm 0.02) \times 10^{-1}$	12338 $\pm$ 112	41488	$(2.97 \pm 0.02) \times 10^{-1}$
[40-100]	1734 $\pm$ 42	5698	$(3.04 \pm 0.06) \times 10^{-1}$	1739 $\pm$ 42	5698	$(3.05 \pm 0.06) \times 10^{-1}$

$D^0$

$p_T$ [GeV/c]	$\Delta R < 0.5$			$\Delta R < 0.6$		
	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$
[4-5]	137470 $\pm$ 408	10884790	$(1.263 \pm 0.003) \times 10^{-2}$	137660 $\pm$ 378	10884790	$(1.265 \pm 0.003) \times 10^{-2}$
[5-6]	126290 $\pm$ 380	5182344	$(2.437 \pm 0.007) \times 10^{-2}$	126760 $\pm$ 386	5182344	$(2.446 \pm 0.007) \times 10^{-2}$
[6-7]	107380 $\pm$ 240	2653959	$(4.046 \pm 0.012) \times 10^{-2}$	107390 $\pm$ 353	2653959	$(4.046 \pm 0.012) \times 10^{-2}$
[7-8]	86555 $\pm$ 312	1450841	$(5.97 \pm 0.02) \times 10^{-2}$	86576 $\pm$ 177	1450841	$(5.97 \pm 0.02) \times 10^{-2}$
[8-12]	193070 $\pm$ 540	1876943	$(1.029 \pm 0.002) \times 10^{-1}$	194710 $\pm$ 410	1876943	$(1.037 \pm 0.002) \times 10^{-1}$
[12-16]	68010 $\pm$ 281	362693	$(1.875 \pm 0.007) \times 10^{-1}$	68089 $\pm$ 284	362693	$(1.877 \pm 0.007) \times 10^{-1}$
[16-24]	36900 $\pm$ 210	143316	$(2.575 \pm 0.012) \times 10^{-1}$	36902 $\pm$ 205	143316	$(2.575 \pm 0.012) \times 10^{-1}$
[24-40]	10484 $\pm$ 117	32373	$(3.24 \pm 0.03) \times 10^{-1}$	10513 $\pm$ 110	32373	$(3.25 \pm 0.03) \times 10^{-1}$
[40-100]	1605 $\pm$ 45	4317	$(3.72 \pm 0.07) \times 10^{-1}$	1607 $\pm$ 45	4317	$(3.72 \pm 0.07) \times 10^{-1}$

$D^+$

$p_T$ [GeV/c]	$\Delta R < 0.5$			$\Delta R < 0.6$		
	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$
[4-5]	599 $\pm$ 26	63858	$(9.4 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	601 $\pm$ 26	63858	$(9.4 \pm 0.4) \times 10^{-3}$
[5-6]	655 $\pm$ 16	39977	$(1.64 \pm 0.06) \times 10^{-2}$	703 $\pm$ 24	39977	$(1.76 \pm 0.07) \times 10^{-2}$
[6-7]	727 $\pm$ 28	25496	$(2.85 \pm 0.10) \times 10^{-2}$	724 $\pm$ 34	25496	$(2.84 \pm 0.10) \times 10^{-2}$
[7-8]	670 $\pm$ 29	16054	$(4.17 \pm 0.16) \times 10^{-2}$	669 $\pm$ 26	16054	$(4.17 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[8-12]	1869 $\pm$ 44	25705	$(7.27 \pm 0.16) \times 10^{-2}$	1871 $\pm$ 46	25705	$(7.28 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[12-16]	805 $\pm$ 29	5983	$(1.34 \pm 0.04) \times 10^{-1}$	803 $\pm$ 29	5983	$(1.34 \pm 0.04) \times 10^{-1}$
[16-24]	551 $\pm$ 24	2680	$(2.06 \pm 0.08) \times 10^{-1}$	546 $\pm$ 24	2680	$(2.04 \pm 0.08) \times 10^{-1}$
[24-40]	154 $\pm$ 7	629	$(2.45 \pm 0.17) \times 10^{-1}$	160 $\pm$ 11	629	$(2.54 \pm 0.17) \times 10^{-1}$
[40-100]	22 $\pm$ 2	99	$(2.2 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	22 $\pm$ 3	99	$(2.2 \pm 0.4) \times 10^{-1}$

# STABILITY CHECK FOR THE $\Delta R$ CUT IN ETA BINS

$D^{*+}$

$ \eta $ range	$\Delta R < 0.5$			$\Delta R < 0.6$		
	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$
[0-0.2]	114990 $\pm$ 343	2608159	$(4.409 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	115070 $\pm$ 343	2608159	$(4.412 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.2-0.4]	117240 $\pm$ 347	2613410	$(4.486 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	117300 $\pm$ 347	2613410	$(4.488 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.4-0.6]	118700 $\pm$ 349	2625104	$(4.522 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	118760 $\pm$ 349	2625104	$(4.524 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.6-0.8]	118190 $\pm$ 348	2630884	$(4.492 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	118260 $\pm$ 348	2630884	$(4.495 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.8-1]	108020 $\pm$ 333	2627132	$(4.112 \pm 0.012) \times 10^{-2}$	108090 $\pm$ 333	2627132	$(4.114 \pm 0.012) \times 10^{-2}$
[1-1.2]	89749 $\pm$ 305	2614841	$(3.432 \pm 0.011) \times 10^{-2}$	89799 $\pm$ 305	2614841	$(3.434 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[1.2-1.4]	72355 $\pm$ 274	2589700	$(2.794 \pm 0.010) \times 10^{-2}$	72394 $\pm$ 277	2589700	$(2.795 \pm 0.010) \times 10^{-2}$
[1.4-1.6]	60928 $\pm$ 253	2551391	$(2.388 \pm 0.001) \times 10^{-2}$	60943 $\pm$ 253	2551391	$(2.389 \pm 0.001) \times 10^{-2}$
[1.6-1.8]	52694 $\pm$ 236	2503081	$(2.1050 \pm 0.0009) \times 10^{-2}$	52710 $\pm$ 236	2503081	$(2.1060 \pm 0.0009) \times 10^{-2}$
[1.8-2]	44713 $\pm$ 218	2441432	$(1.8310 \pm 0.0009) \times 10^{-2}$	44721 $\pm$ 218	2441432	$(1.8320 \pm 0.0009) \times 10^{-2}$
[2-2.1]	18422 $\pm$ 141	1195203	$(1.541 \pm 0.0011) \times 10^{-2}$	18424 $\pm$ 141	1195203	$(1.541 \pm 0.0011) \times 10^{-2}$

$D^0$

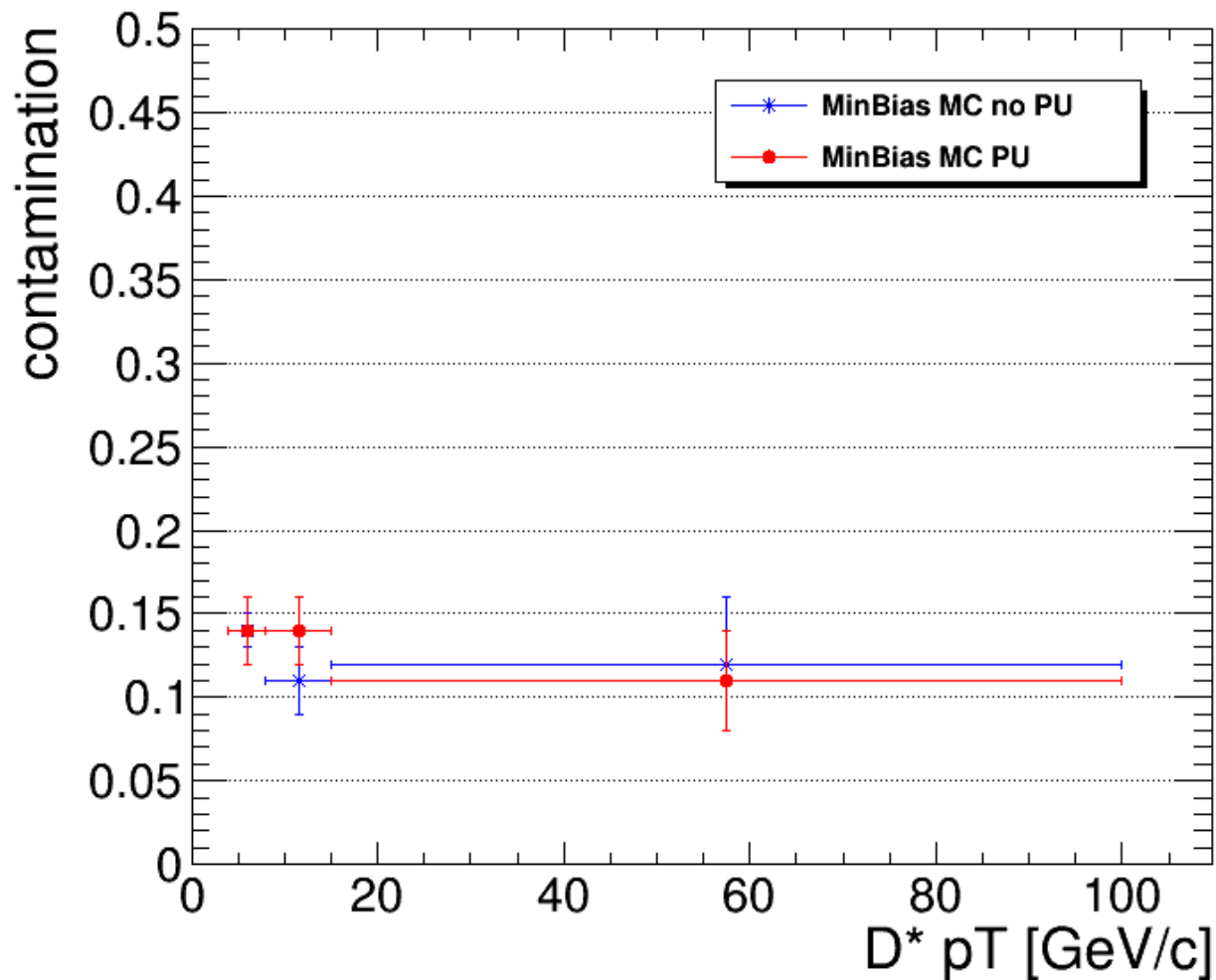
$ \eta $ range	$\Delta R < 0.5$			$\Delta R < 0.6$		
	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$
[0-0.2]	91455 $\pm$ 167	2200284	$(4.157 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	91621 $\pm$ 307	2200284	$(4.164 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[0.2-0.4]	92582 $\pm$ 162	2203023	$(4.202 \pm 0.014) \times 10^{-2}$	92615 $\pm$ 308	2203023	$(4.204 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.4-0.6]	93699 $\pm$ 311	2208043	$(4.244 \pm 0.014) \times 10^{-2}$	94056 $\pm$ 311	2208043	$(4.260 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.6-0.8]	93853 $\pm$ 312	2208180	$(4.250 \pm 0.014) \times 10^{-2}$	93884 $\pm$ 313	2208180	$(4.252 \pm 0.014) \times 10^{-2}$
[0.8-1]	87923 $\pm$ 250	2201363	$(3.994 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	88311 $\pm$ 301	2201363	$(4.012 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[1-1.2]	78445 $\pm$ 303	2188035	$(3.585 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	78848 $\pm$ 312	2188035	$(3.587 \pm 0.013) \times 10^{-2}$
[1.2-1.4]	66785 $\pm$ 288	2161141	$(3.090 \pm 0.012) \times 10^{-2}$	67136 $\pm$ 282	2161141	$(3.107 \pm 0.012) \times 10^{-2}$
[1.4-1.6]	56611 $\pm$ 299	2125066	$(2.664 \pm 0.011) \times 10^{-2}$	56679 $\pm$ 263	2125066	$(2.667 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[1.6-1.8]	49176 $\pm$ 348	2080986	$(2.363 \pm 0.011) \times 10^{-2}$	49190 $\pm$ 248	2080986	$(2.364 \pm 0.011) \times 10^{-2}$
[1.8-2]	41754 $\pm$ 239	2024836	$(2.062 \pm 0.010) \times 10^{-2}$	42107 $\pm$ 233	2024836	$(2.080 \pm 0.010) \times 10^{-2}$
[2-2.1]	17314 $\pm$ 157	990618	$(1.748 \pm 0.013) \times 10^{-2}$	17498 $\pm$ 193	990618	$(1.766 \pm 0.013) \times 10^{-2}$

$D^+$

$ \eta $ range	$\Delta R < 0.5$			$\Delta R < 0.6$		
	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$	$N_i$	$TOT_i$	$\epsilon_i$
[0-0.2]	826 $\pm$ 29	17964	$(4.60 \pm 0.16) \times 10^{-2}$	830 $\pm$ 24	17964	$(4.62 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[0.2-0.4]	810 $\pm$ 28	17744	$(4.57 \pm 0.16) \times 10^{-2}$	809 $\pm$ 29	17744	$(4.56 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[0.4-0.6]	840 $\pm$ 29	17770	$(4.73 \pm 0.16) \times 10^{-2}$	838 $\pm$ 23	17770	$(4.72 \pm 0.16) \times 10^{-2}$
[0.6-0.8]	786 $\pm$ 29	17890	$(4.39 \pm 0.15) \times 10^{-2}$	786 $\pm$ 28	17890	$(4.39 \pm 0.15) \times 10^{-2}$
[0.8-1]	678 $\pm$ 26	17585	$(3.86 \pm 0.15) \times 10^{-2}$	676 $\pm$ 29	17585	$(3.85 \pm 0.15) \times 10^{-2}$
[1-1.2]	598 $\pm$ 25	17692	$(3.38 \pm 0.14) \times 10^{-2}$	599 $\pm$ 41	17692	$(3.39 \pm 0.14) \times 10^{-2}$
[1.2-1.4]	445 $\pm$ 27	17202	$(2.59 \pm 0.12) \times 10^{-2}$	460 $\pm$ 22	17202	$(2.67 \pm 0.12) \times 10^{-2}$
[1.4-1.6]	358 $\pm$ 15	16825	$(2.13 \pm 0.11) \times 10^{-2}$	367 $\pm$ 17	16825	$(2.18 \pm 0.11) \times 10^{-2}$
[1.6-1.8]	329 $\pm$ 8	16432	$(2.00 \pm 0.11) \times 10^{-2}$	334 $\pm$ 7	16432	$(2.03 \pm 0.11) \times 10^{-2}$
[1.8-2]	240 $\pm$ 7	15687	$(1.53 \pm 0.10) \times 10^{-2}$	250 $\pm$ 9	15687	$(1.59 \pm 0.10) \times 10^{-2}$
[2-2.1]	109 $\pm$ 12	7698	$(1.41 \pm 0.14) \times 10^{-2}$	116 $\pm$ 12	7698	$(1.51 \pm 0.14) \times 10^{-2}$



# CONTAMINATION NOPU VS PU

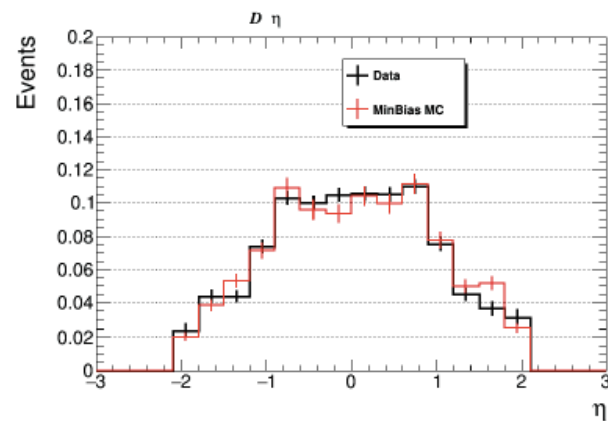
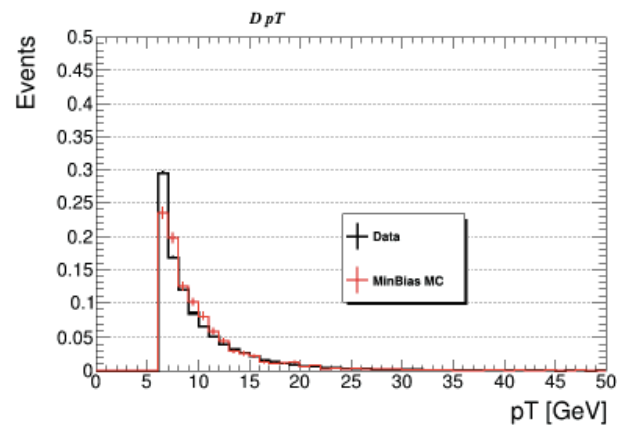
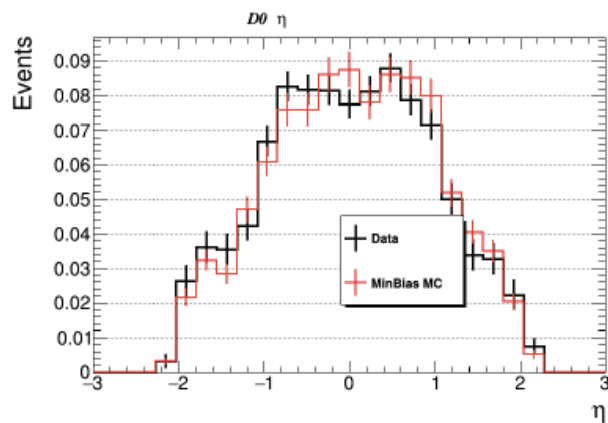
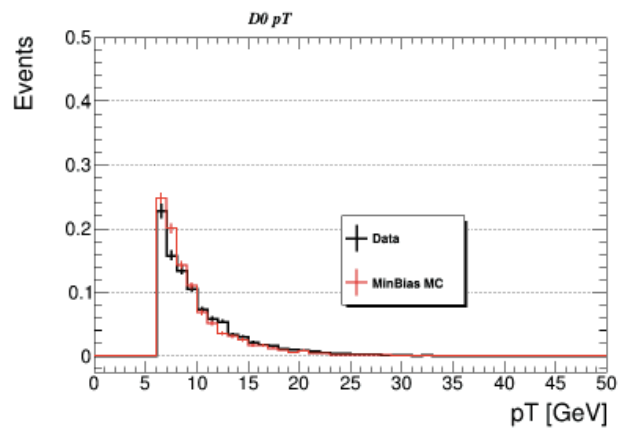
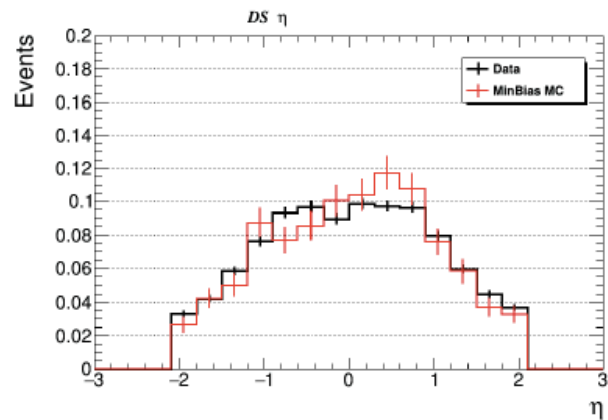
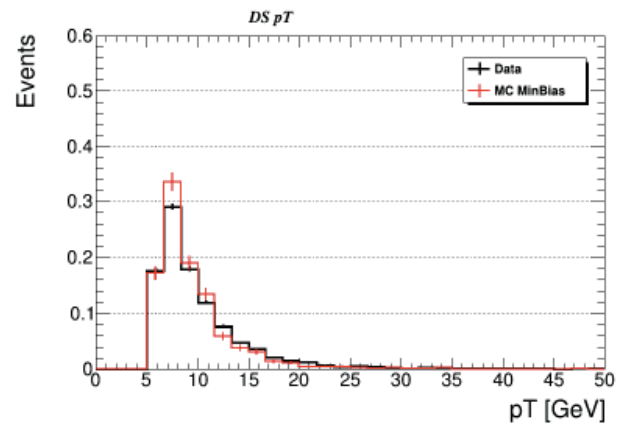


Samples with PU:

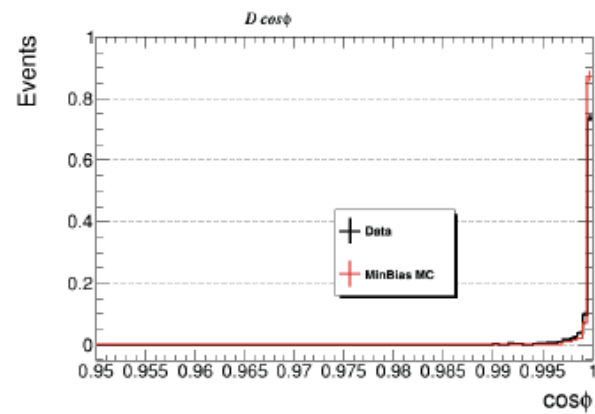
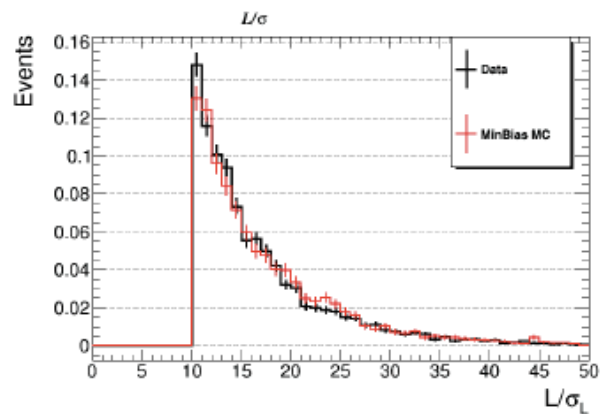
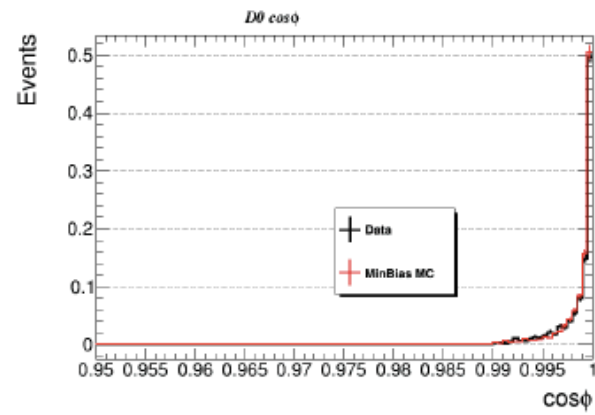
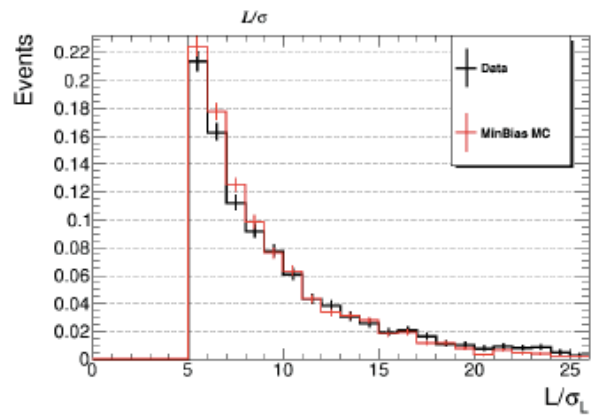
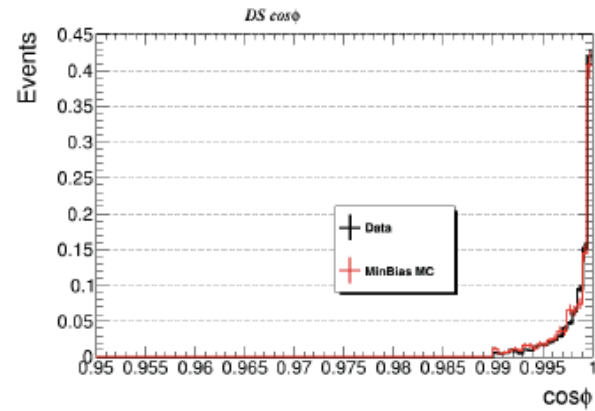
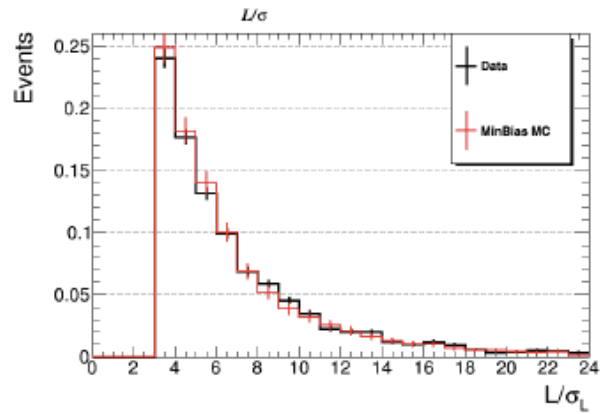
/MinBiasPt-35toInffwdJetbwdJetTuneCUETP8M113TeV-pythia8/RunIIFall15DR76-PU25nsData2015v1ca  
stor76XmcRun2asymptoticv12-v1/AODSIM

/MinBiasPt-35toInffwdJetbwdJetTuneCUETP8M113TeV-pythia8/RunIIFall15DR76-PU25nsData2015v1ca  
stor76XmcRun2asymptoticv12ext1-v1/AODSIM

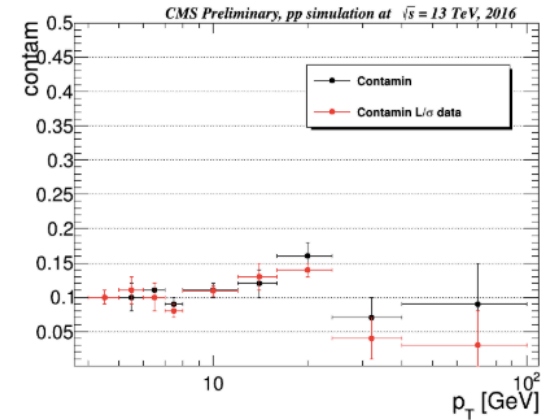
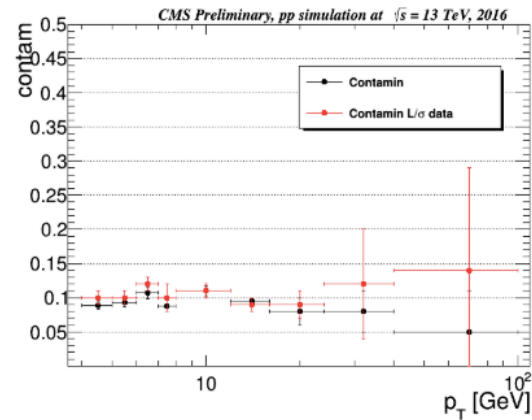
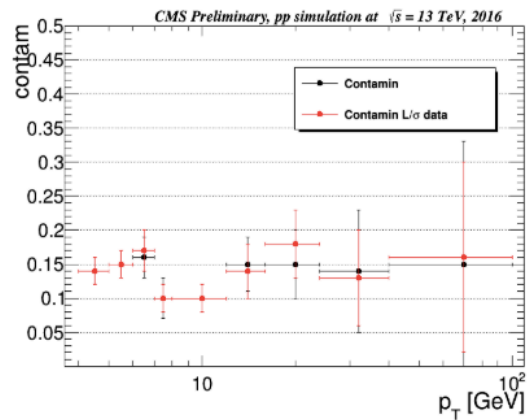
# DATA – MB MC AGREEMENT



# DATA – MB MC AGREEMENT



To cross check the data/MC agreement the contamination has been re-evaluated after a reweighting of the MC events according to the  $L/\sigma$  distribution for the three mesons



Since the comparison shows a good agreement within the statistical uncertainty, there is no need to add a systematic uncertainty other than the statistic error of the MC already taken into account.

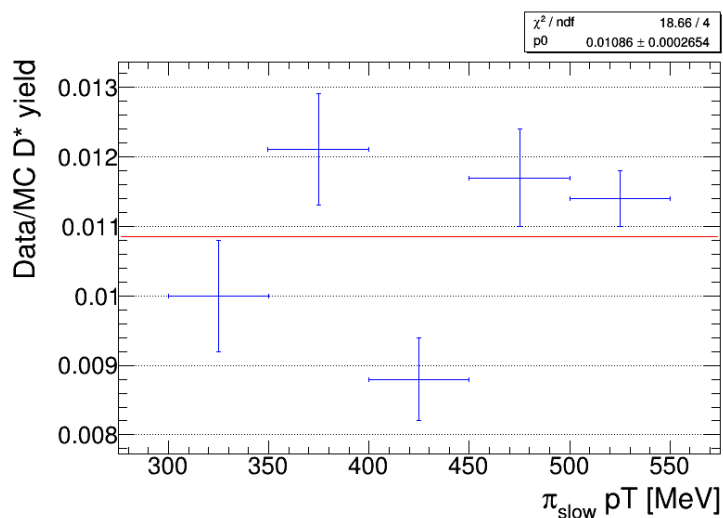
Since the tracking efficiency is measured for tracks with  $p_T > 500$  MeV and we cut softer for the slow pion ( $> 300$  MeV) we expected a lower efficiency.

No specific studies are available for that, so we compared the

$p_T \pi_{\text{slow}}$	Data yield	MC yield	ratio
$> 300$ MeV	10078 +/- 292	907820 +/- 969	0.0111 +/- 0.0003
$> 350$ MeV	9459 +/- 456	827260 +/- 924	0.0114 +/- 0.0006
$> 400$ MeV	8282 +/- 387	729050 +/- 868	0.0114 +/- 0.0005
$> 450$ MeV	7926 +/- 804	630420 +/- 805	0.0126 +/- 0.0013
$> 500$ MeV	6682 +/- 551	538490 +/- 743	0.0124 +/- 0.0010

Table 1

abs(eta) $\pi_{\text{slow}}$	Data yield	MC yield	ratio
0 - 0.5	3207 +/- 198	290080 +/- 546	0.0111 +/- 0.0007
0.5 - 1	3382 +/- 106	283520 +/- 539	0.0119 +/- 0.0004
1 - 1.5	2393 +/- 197	192490 +/- 448	0.0124 +/- 0.0010
1.5-2.1	1378 +/- 155	140200 +/- 385	0.0098 +/- 0.0011

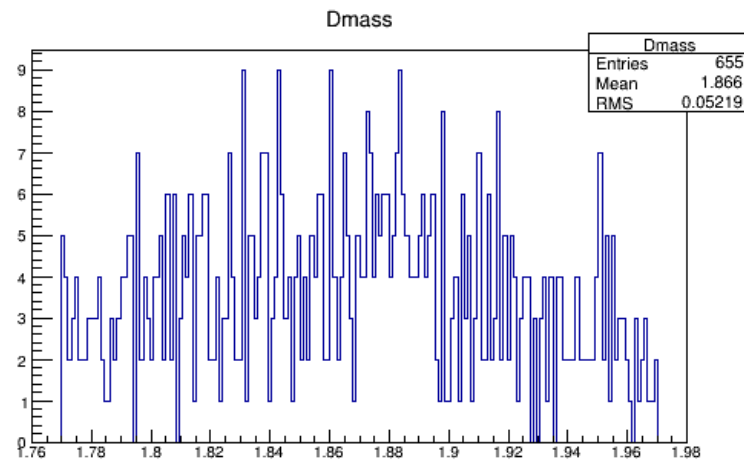
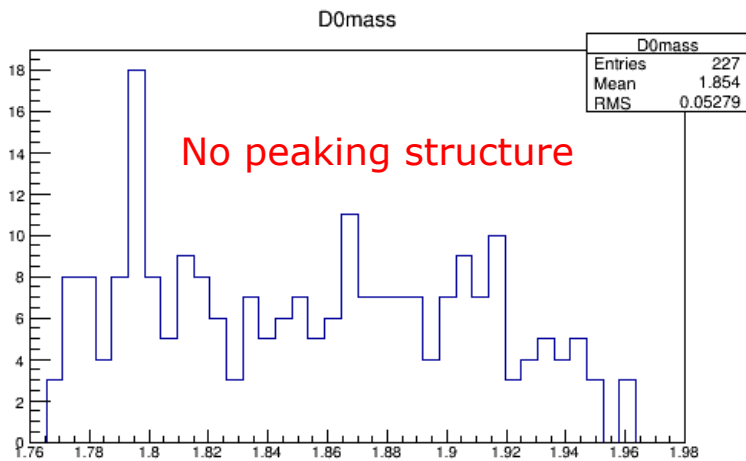


Using the S-factor method to separate the true systematic variation from the statistical fluctuations we got a systematic uncertainty of 5.2%.

Used for the slow pion instead of the 2.3%.

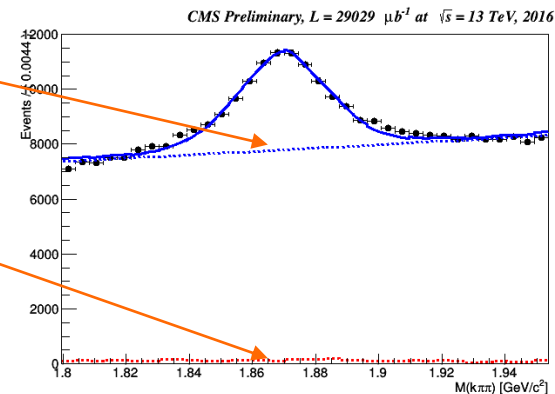
Peaking background = events that are not charm (i.e.  $D^0$  or  $D^+$ ) but peak in the signal mass region and that wrongly account as signal yield

Studied in the MinBias MC sample using the gen info as truth for both  $D^0$  and  $D^+$



Kind of peaking structure

Syst evaluation: a new pdf for the bkg description taking into account both the **combinatorial bkg** and the **"peaking background"**.  
(fraction between the two:  $fr = 9.8528e-01 \pm 9.43e-03$ )

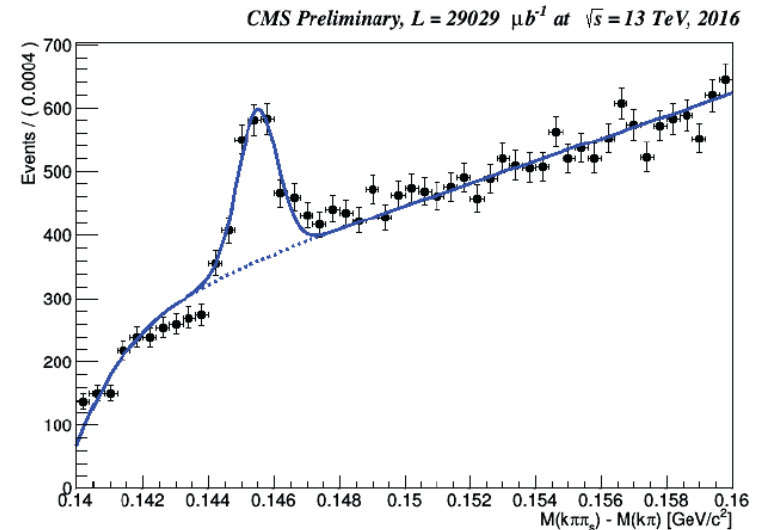


Studied bin by bin: a systematic of 8% has been assigned for  $p_T < 12$  GeV, while it is negligible at higher  $p_T$  value.

The contribution is independent on  $h$ , a systematic of 6% is added to all the bins.

The first pT bin for the  $D^*$  reconstruction is not well described by the fit

We can attribute this effect to the cut set on the pi slow pT -> at gen level in fact we see it peaks for  $pT < 0.5$  GeV but we have to cut at 0.3 GeV for reconstruction constraint.

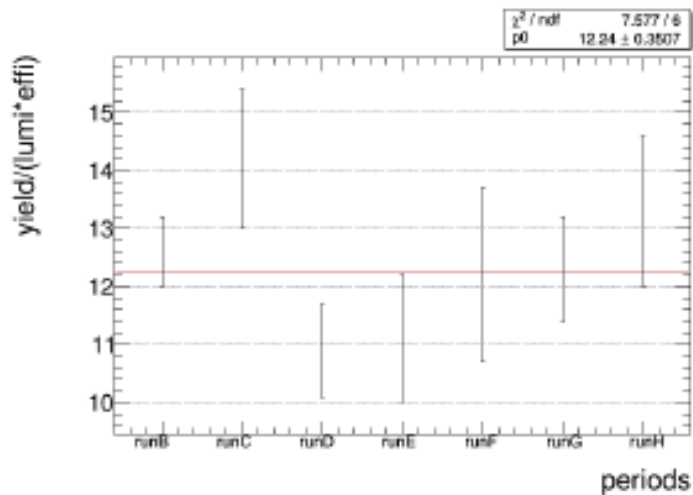


From the MC efficiency calculation in the two bins  $200 < pT$  slow pion  $< 300$  MeV and  $300 < pT$  slow pion  $< 400$  MeV a difference of 9% is measured.

Systematic added at the first pT bin of the  $D^*$  reconstruction.

The effect can't be seen in eta since it is spread on the different bins.

# YIELD INSTABILITY



Flat fit applied:

$$\frac{\chi^2}{ndf} = \frac{7.577}{6}$$

$$p0 = 12.24 \pm 0.35$$

$$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$$

Eta	< PU >	lumi [ $\mu\text{b}^{-1}$ ]	Signal Yield (N)	MC effi with PU reweighting ( $\epsilon$ )	$N/(L \cdot \epsilon)$
Run B	10	12275 $\pm$ 307	4733 $\pm$ 168	0.03056 $\pm$ 0.00004	12.6 $\pm$ 0.5
Run C	17	1267 $\pm$ 32	510 $\pm$ 39	0.02823 $\pm$ 0.00004	14.3 $\pm$ 1.2
Run D	16	1899 $\pm$ 48	594 $\pm$ 41	0.02863 $\pm$ 0.00004	10.9 $\pm$ 0.8
Run E	18	3011 $\pm$ 75	905 $\pm$ 88	0.02699 $\pm$ 0.00004	11.1 $\pm$ 1.1
Run F	14	1720 $\pm$ 43	538 $\pm$ 66	0.02563 $\pm$ 0.00004	12.2 $\pm$ 1.5
Run G	14	3166 $\pm$ 79	1050 $\pm$ 73	0.02690 $\pm$ 0.00004	12.3 $\pm$ 0.9
Run H	19	5701 $\pm$ 143	1970 $\pm$ 188	0.02602 $\pm$ 0.00004	13.3 $\pm$ 1.3

Table 25:  $D^*$  signal yield normalised to the respective luminosity for each 2016 data taking run taken at different PU conditions.

We measured the normalised (to the lumi and efficiency) yield for each run of 2016 data taking. The efficiency is calculated reweighting the MC at the corresponding PU scenario of the specific run.

A yield instability has been found most likely due to the tracker APV inefficiency, the "reference run" for the data quality is runH.

Using the S-factor method (PDG) we can separate true systematic variations from statistical fluctuations:

$$S = \sqrt{\chi^2/(N-1)}, \quad \Delta\tilde{x} = S \cdot \Delta\bar{x}, \quad \Delta x_s = \sqrt{\Delta\tilde{x}^2 - \Delta\bar{x}^2} = 0.17 \rightarrow \text{systematic uncertainty } 1.4 \%$$





# SYSTEMATIC UNCERTAINTIES BIN-BY-BIN

$p_T$ range [GeV/c]	$D^{*+} - S(\%)$				$D^0 - S(\%)$			$D^+ - S(\%)$			
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_5$	$S_1$	$S_2$	$S_5$	$S_1$	$S_2$	$S_4$	$S_5$
[4-5]	0.3	2	9	1	0.3	0.6	1	4.1	1.2	9.6	1
[5-6]	0.3	2	0	1	0.3	0.6	1	3.9	2	9.6	1
[6-7]	0.3	3	0	1	0.3	0.8	1	3.7	1.3	9.6	1
[7-8]	0.3	3	0	1	0.3	0.7	1	3.9	1	9.6	4
[8-12]	0.2	2	0	1	0.2	0.7	1	2.2	1	9.6	1
[12-16]	0.3	4	0	1	0.4	0.5	5	3.3	2	5.3	2
[16-24]	0.4	5	0	1	0.5	2	8	3.8	2	5.3	3
[24-40]	0.8	9	0	1	0.8	3	9	7.0	3	5.3	6
[40-100]	2.0	18	0	1	2.0	6	15	19	6	5.3	20

$ \eta $ range	$D^{*+}$			$D^0$			$D^+$		
	$S_1$	$S_2$	$S_5$	$S_1$	$S_2$	$S_5$	$S_1$	$S_2$	$S_5$
[0-0.2]	0.3	2	1	0.3	1	1	3.4	1.2	1
[0.2-0.4]	0.3	3	1	0.3	0.7	1	3.4	0.6	1
[0.4-0.6]	0.3	3	1	0.3	1	1	3.4	1.4	1
[0.6-0.8]	0.3	1.4	1	0.3	1	1	3.5	1.3	1
[0.8-1]	0.3	2	1	0.3	1.1	1	3.8	1.3	14
[1-1.2]	0.3	4	1	0.3	1	1	4.0	1.4	12
[1.2-1.4]	0.4	3	1	0.4	1.3	1	4.8	0.9	24
[1.4-1.6]	0.4	4	1	0.4	2	1	5.2	1.4	22
[1.6-1.8]	0.4	4	1	0.5	2	1	5.5	2	17
[1.8-2.1]	0.3	5	20	0.4	3	20	5.2	3.0	17

Legend:

S1 = MC statistics

S2 = contamination

S3 = slow pion  $p_T$  cut

S4 = bkg modelling

S5 = PU reweighting

# CROSS SECTION VALUES

$p_T$ range [GeV/c]	$D^{*\pm} d\sigma/dp_T (\mu b^{-1})$	$D^0 (\bar{D}^0) d\sigma/dp_t (\mu b^{-1})$	$D^\pm d\sigma/dp_t (\mu b^{-1})$
4-5	$166 \pm 7 \pm 23$	$430 \pm 58 \pm 38$	$250 \pm 61 \pm 33$
5-6	$96 \pm 6 \pm 10$	$230 \pm 17 \pm 21$	$79 \pm 11 \pm 11$
6-7	$47 \pm 3 \pm 5$	$136 \pm 11 \pm 12$	$50 \pm 2 \pm 7$
7-8	$25.6 \pm 1.7 \pm 2.8$	$66 \pm 8 \pm 6$	$29.5 \pm 1.4 \pm 4.2$
8-12	$8.8 \pm 0.2 \pm 1.0$	$21.0 \pm 0.7 \pm 1.9$	$9.4 \pm 0.3 \pm 1.2$
12-16	$1.69 \pm 0.17 \pm 0.19$	$3.93 \pm 0.19 \pm 0.44$	$2.05 \pm 0.13 \pm 0.24$
16-24	$(3.52 \pm 0.15 \pm 0.42) \times 10^{-1}$	$(8.1 \pm 0.5 \pm 0.9) \times 10^{-1}$	$(4.06 \pm 0.17 \pm 0.51) \times 10^{-1}$
24-40	$(4.1 \pm 0.3 \pm 0.6) \times 10^{-2}$	$(9.7 \pm 0.9 \pm 1.3) \times 10^{-2}$	$(6.0 \pm 0.6 \pm 1.0) \times 10^{-2}$
40-100	$(2.3 \pm 0.4 \pm 0.5) \times 10^{-3}$	$(3.3 \pm 0.7 \pm 0.8) \times 10^{-3}$	$(2.3 \pm 0.3 \pm 1.7) \times 10^{-3}$

$ \eta $ range	$D^{*\pm} d\sigma/d\eta (\mu b^{-1})$	$D^0 (\bar{D}^0) d\sigma/d\eta (\mu b^{-1})$	$D^\pm d\sigma/d\eta (\mu b^{-1})$
0-0.2	$92 \pm 3 \pm 10$	$210 \pm 7 \pm 18$	$87 \pm 3 \pm 11$
0.2-0.4	$96 \pm 11 \pm 11$	$240 \pm 8 \pm 21$	$90 \pm 3 \pm 12$
0.4-0.6	$94 \pm 3 \pm 10$	$243 \pm 9 \pm 21$	$86 \pm 6 \pm 11$
0.6-0.8	$115 \pm 8 \pm 12$	$255 \pm 10 \pm 22$	$93 \pm 7 \pm 12$
0.8-1	$111 \pm 6 \pm 12$	$220 \pm 13 \pm 19$	$102 \pm 5 \pm 19$
1-1.2	$97 \pm 8 \pm 11$	$265 \pm 20 \pm 23$	$107 \pm 5 \pm 19$
1.2-1.4	$106 \pm 14 \pm 12$	$250 \pm 24 \pm 22$	$106 \pm 6 \pm 29$
1.4-1.6	$81 \pm 27 \pm 9$	$265 \pm 27 \pm 24$	$109 \pm 12 \pm 28$
1.6-1.8	$85 \pm 13 \pm 10$	$218 \pm 51 \pm 20$	$112 \pm 11 \pm 24$
1.8-2.1	$70 \pm 9 \pm 17$	$291 \pm 45 \pm 64$	$142 \pm 25 \pm 27$

# CROSS SECTION RATIO

$p_T$ range [GeV/c]	$D^{*+}d\sigma/dp_T/D^0d\sigma/dp_T$	$D^{*+}d\sigma/dp_T/D^+d\sigma/dp_T$	$D^0d\sigma/dp_T/D^+d\sigma/dp_T$
[4-5]	$0.39 \pm 0.08$	$0.7 \pm 0.2$	$1.7 \pm 0.6$
[5-6]	$0.42 \pm 0.07$	$1.2 \pm 0.3$	$2.9 \pm 0.6$
[6-7]	$0.34 \pm 0.06$	$0.9 \pm 0.2$	$2.8 \pm 0.5$
[7-8]	$0.39 \pm 0.08$	$0.9 \pm 0.2$	$2.2 \pm 0.5$
[8-12]	$0.42 \pm 0.06$	$0.94 \pm 0.16$	$2.2 \pm 0.4$
[12-16]	$0.43 \pm 0.08$	$0.83 \pm 0.16$	$1.9 \pm 0.3$
[16-24]	$0.43 \pm 0.08$	$0.87 \pm 0.16$	$2.0 \pm 0.4$
[24-40]	$0.42 \pm 0.10$	$0.7 \pm 0.2$	$1.6 \pm 0.4$
[40-100]	$0.7 \pm 0.3$	$1.0 \pm 0.8$	$1.4 \pm 1.2$

Expected:

$D^*/D^0$   $0.391 \pm 0.016$

$D^*/D^+$   $1.00 \pm 0.05$

$D^0/D^+$   $2.56 \pm 0.12$

$ \eta $ range	$D^{*+}d\sigma/d\eta/D^0d\sigma/d\eta$	$D^{*+}d\sigma/d\eta/D^+d\sigma/d\eta$	$D^0d\sigma/d\eta/D^+d\sigma/d\eta$
[0-0.2]	$0.44 \pm 0.07$	$1.1 \pm 0.2$	$2.4 \pm 0.4$
[0.2-0.4]	$0.40 \pm 0.07$	$1.1 \pm 0.2$	$2.7 \pm 0.4$
[0.4-0.6]	$0.39 \pm 0.06$	$1.1 \pm 0.2$	$2.8 \pm 0.5$
[0.6-0.8]	$0.45 \pm 0.07$	$1.2 \pm 0.2$	$2.8 \pm 0.5$
[0.8-1]	$0.50 \pm 0.08$	$1.1 \pm 0.3$	$2.2 \pm 0.5$
[1-1.2]	$0.34 \pm 0.06$	$0.9 \pm 0.2$	$2.7 \pm 0.6$
[1.2-1.4]	$0.42 \pm 0.09$	$1.0 \pm 0.3$	$2.4 \pm 0.7$
[1.4-1.6]	$0.31 \pm 0.12$	$0.8 \pm 0.3$	$2.4 \pm 0.8$
[1.6-1.8]	$0.39 \pm 0.12$	$0.8 \pm 0.2$	$2.0 \pm 0.7$
[1.8-2.1]	$0.24 \pm 0.09$	$0.6 \pm 0.2$	$2.4 \pm 0.9$

The cross-section values are compared to

- FONLL predictions [1] shown as boxes representing the upper and lower limit for a given bin
  - Central values:  $m_b = 4.75$  GeV for bottom,  $m_c = 1.5$  GeV for charm,  $\mu_R = \mu_F = \mu_0 = \sqrt{m^2 + p_T^2}$   
Scales uncertainties:  $\mu_0/2 < \mu_R, \mu_F < 2\mu_0$  with  $1/2 < \mu_R/\mu_F < 2$ .  
Mass uncertainties:  $m_b = 4.5, 5.0$  GeV for bottom,  $m_c = 1.3, 1.7$  GeV for charm, summed in quadrature to scales uncertainties.  
PDFs uncertainties: calculated according to the individual PDF set recipe, and summed in quadrature to scales and mass uncertainties.  
No fragmentation fractions (unless specified above) are included for the heavy quark  $\rightarrow$  heavy hadron fragmentation. This means that all heavy quarks are hadronised as if they fragmented into the chosen heavy hadron. To construct the proper mixing, the correct fragmentation fraction (FF) must be provided and the results summed separately. The D0 and D+ already include feeddown from D\*. The correct branching ratios (BR) for decays into leptons and other hadrons are instead provided by default.
- Pythia 6 [2]
- Pythia 8 (several tunes) [3]
- Powheg [4]

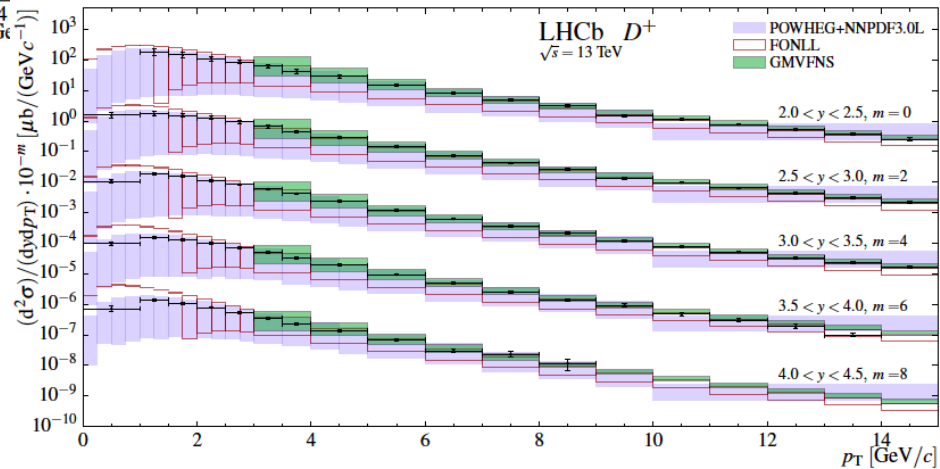
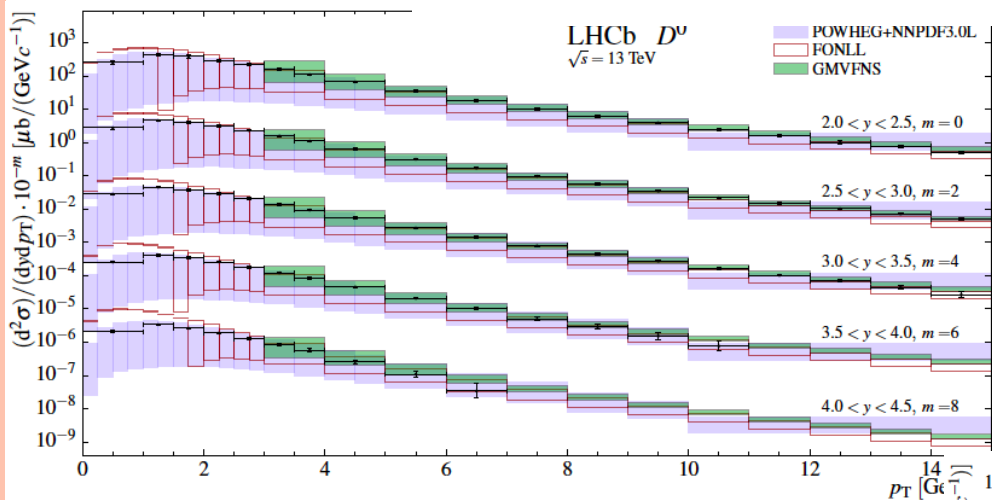
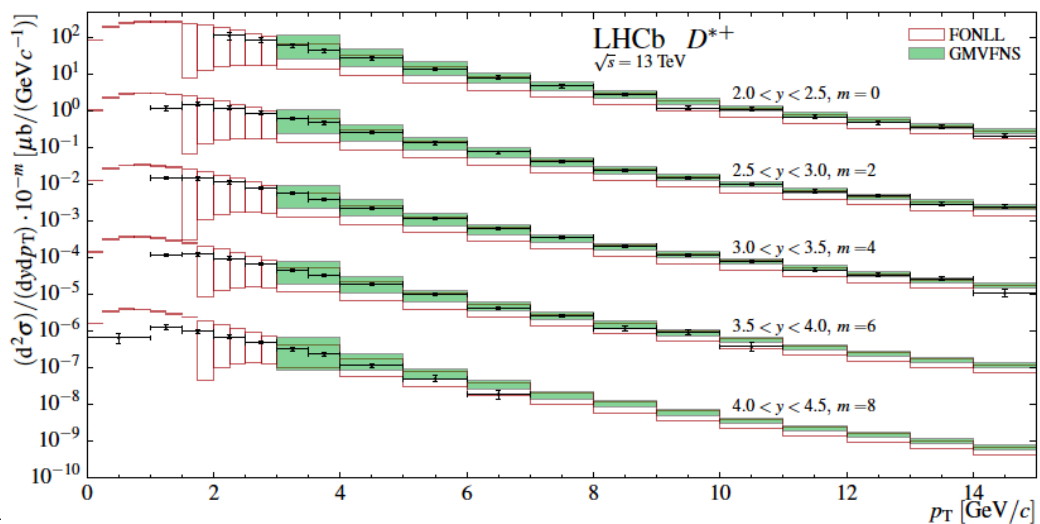
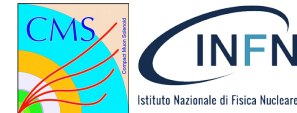
[1] The  $p_T$  spectrum in heavy-flavour hadroproduction, M.Cacciari, S.Frixione, P.Nason, JHEP (9805) (1998) 007

[2] PYTHIA 6.4 Physics and Manual, T. Sjostrand, S.Mrenna P.Skands, JHEP 0605:026,2006

[3] A Brief Introduction to PYTHIA 8.1, T. Sjostrand, S.Mrenna P.Skands, arXiv:0710.3820

[4] Jet pair production in POWHEG, S. Alioli, K. Hamilton, P. Nason, C. Oleari, E. Re, JHEP 1104 (2011) 081

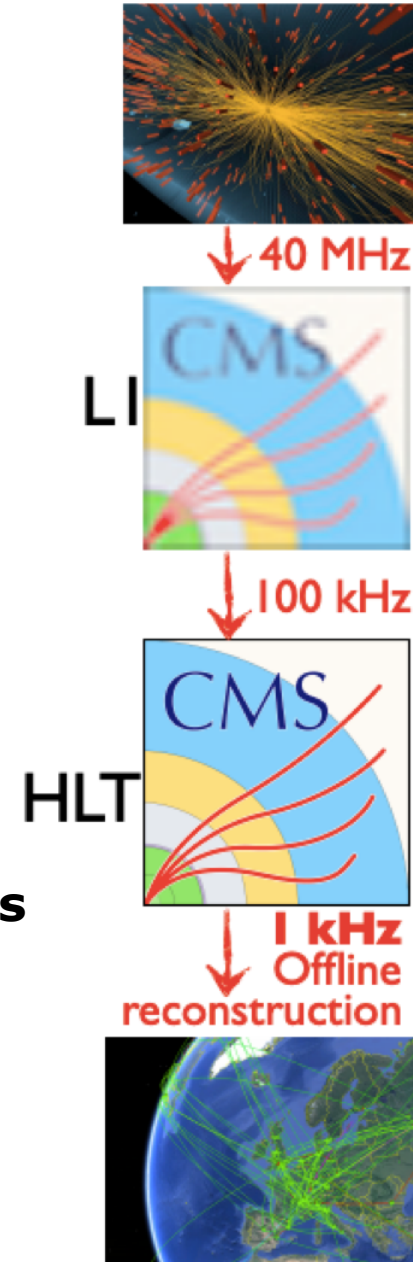
# LHCb RESULTS



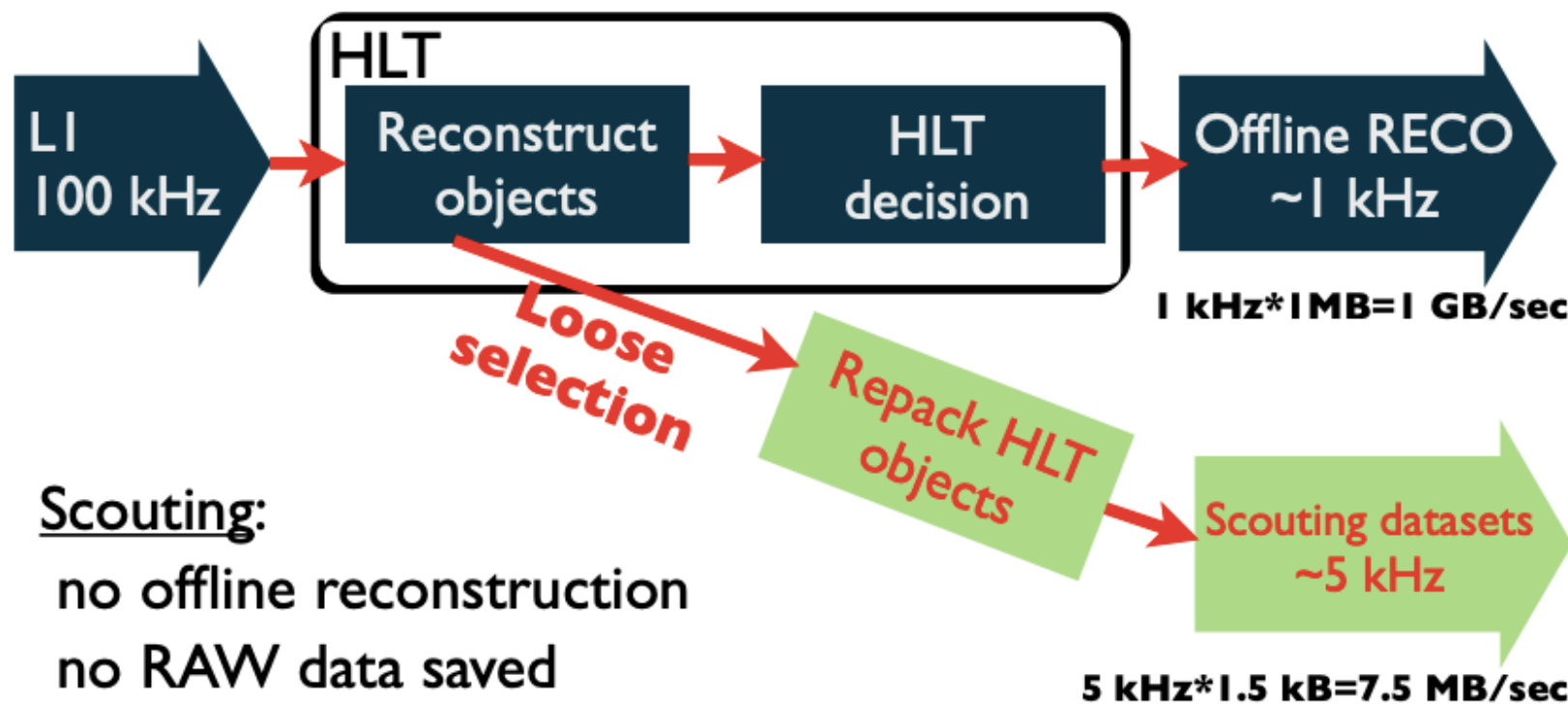
- Le collisioni ad LHC hanno frequenza di 40 MHz
- CMS raccoglie dati con 2 livelli di trigger
  - L1 => basato su hardware (basati su detector – no tracker)  
40 MHz -> 100 kHz
  - HLT => basato su software usando tutti i detector  
100 kHz -> 1 kHz
- Solo eventi che passano HLT vengono ricostruiti offline e salvati
  - Le performance di HLT sono prossime a quelle di ricostruzione, usati simili algoritmi
- Limite attuale:  
trigger bandwidth =  $\text{Event rate} \times \text{Event size} =$   
 $\sim 1\text{kHz} \times \sim 1\text{MB} = \mathbf{1\ GB/s}$

Gli eventi che non salviamo sono persi per sempre!

Solitamente si salvano oggetti prompt e ad alto pT



Dobbiamo ridurre la grandezza del singolo evento per aumentare il rate per salvare + dati utili all'analisi



### Scouting:

no offline reconstruction  
no RAW data saved

Usata in CMS dal 2011 (dijet – dimuon)

L'informazione totale dell'evento non è presente nei dati raccolti in "scouting" -> difficile fare una caratterizzazione totale di un eventuale

L'idea è "parcheggiare" parte dei dati raccolti in formato RAW  
=> senza ricostruzione offline immediata

I dati vengono ricostruiti solo dopo, senza pesare sulle risorse di computing nell'immediato

Al momento questo metodo è stato usato per collezionare eventi di heavy flavour con lo scopo di studiare le anomalie del B

**Obiettivo:** Raccogliere un ampio sample di B unbiased ( $\sim 10^{10}$  events)

**Idea:** Trigger sul muone del B (tag), e raccogliere l'altro B unbiased (probe)

