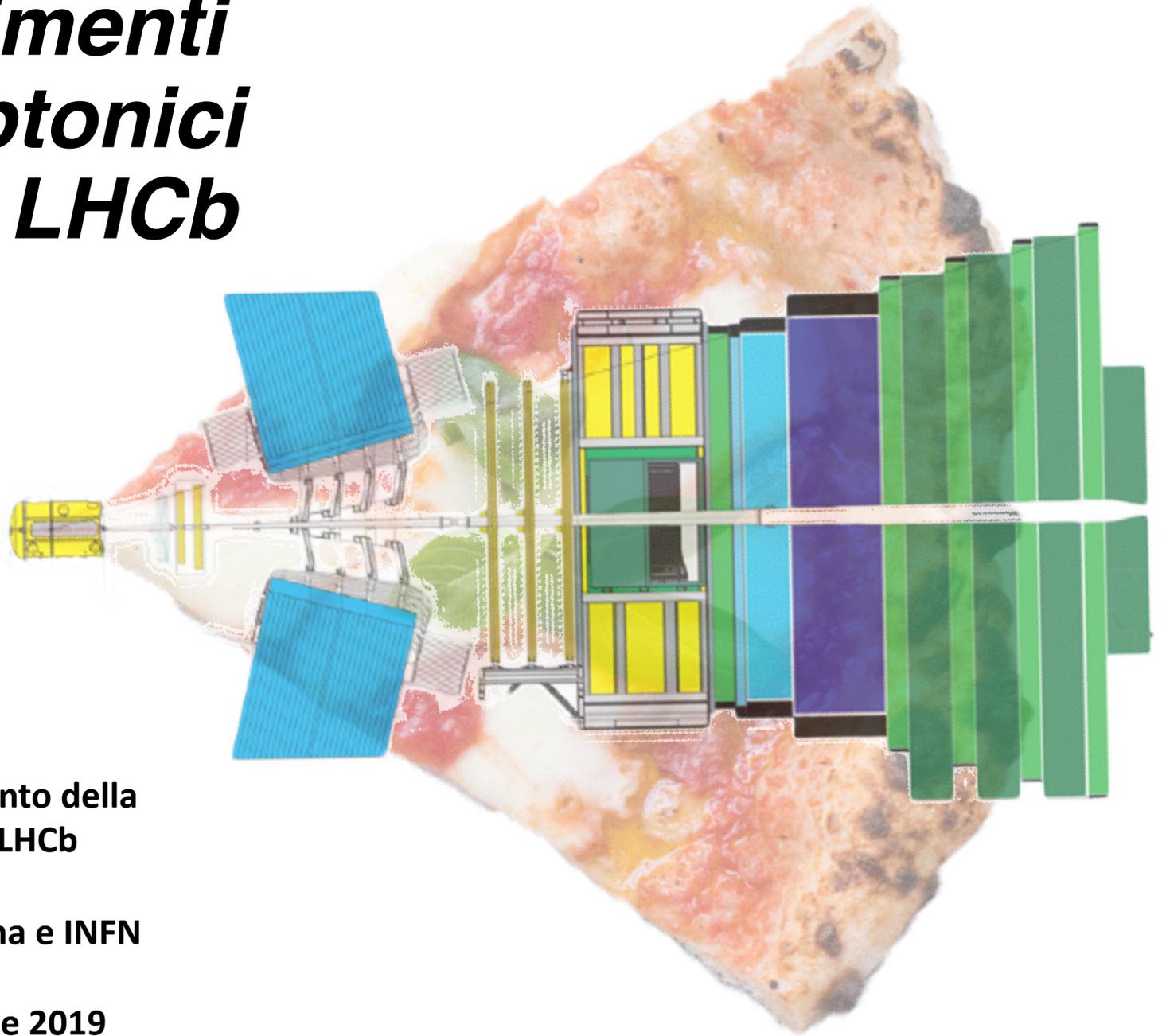


# ***Decadimenti semileptonici del B a LHCb***



**Fabio Ferrari per conto della  
Collaborazione LHCb**

**Università di Bologna e INFN  
IFAE 2019**

**Napoli, 8-10 Aprile 2019**

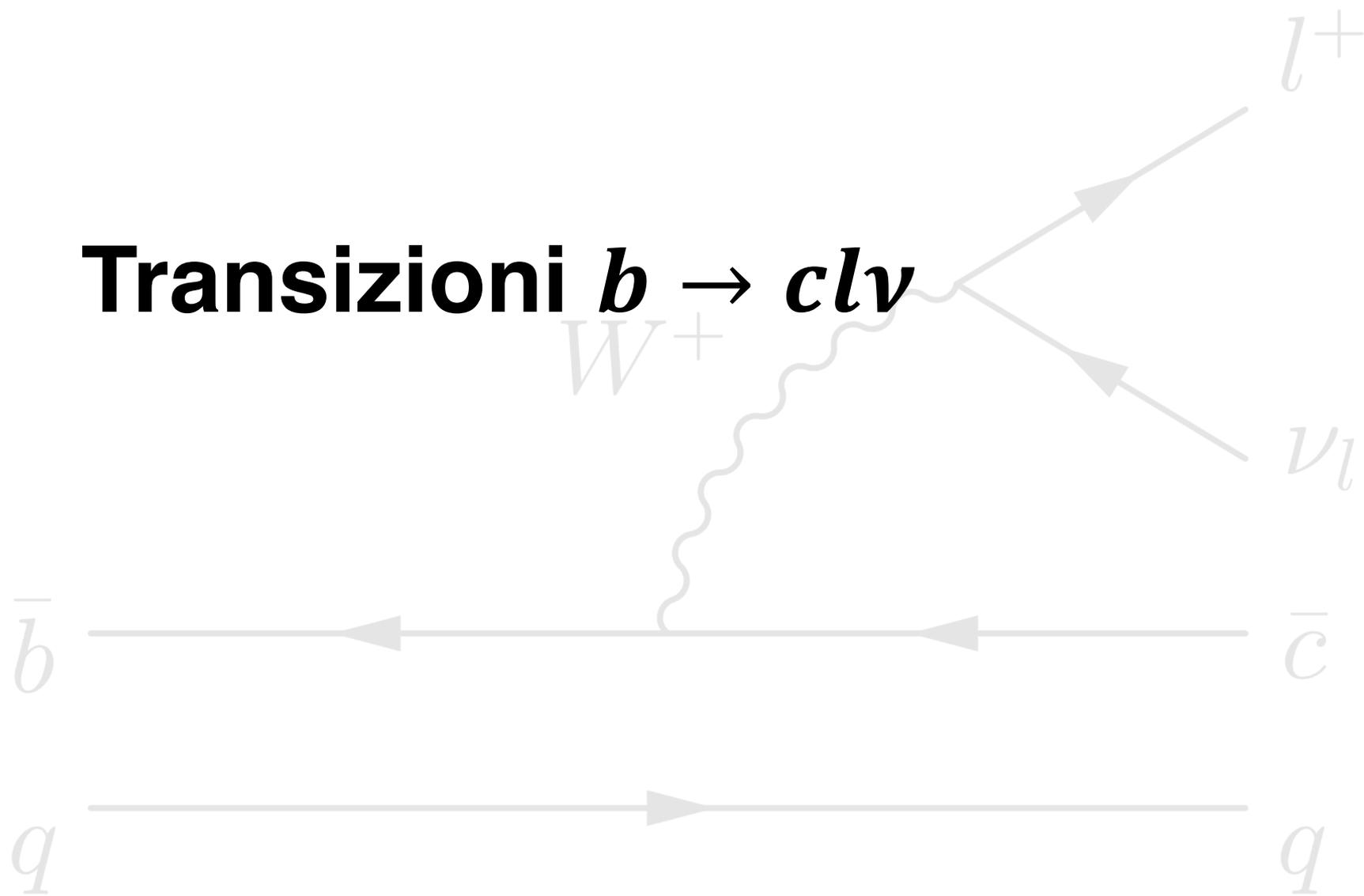
# Le regole del gioco

(1)Vedi poster di Carmen  
Giugliano e Simone Meloni

- ✓ Possibili misure di alta precisione
  - Decine di milioni di decadimenti semileptonici di adroni B ricostruiti durante Run 1 e Run 2 del LHC
- ✓ Previsioni teoriche molto più precise rispetto ai decadimenti adronici
- ✓ Possibilità di studiare possibili violazioni dell'universalità leptonica nelle transizioni  $b \rightarrow cl\nu^{(1)}$
- ✗ (Almeno) un neutrino presente  $\rightarrow$  no ricostruzione della massa invariante e di altre quantità cinematiche
  - Necessario l'impiego di tecniche approssimate
- ✗ Necessari grandi campioni di eventi simulati per calcolare efficienze ed ottenere forme da utilizzare negli adattamenti ai dati



# Transizioni $b \rightarrow cl\nu$



# Ouverture

- Nel Modello Standard gli accoppiamenti elettrodeboli dei leptoni carichi sono identici → **universalità leptonica**
- Test: il rapporto delle frazioni di diramazione di stati finali che differiscono solo per il sapore del leptone

$$R(X_b) = \frac{BR(X_b \rightarrow X_c \tau^+ \nu_\tau)}{BR(X_b \rightarrow X_c \mu^+ \nu_\mu)}$$

- In questa presentazione

- **$R(D^*)$  adronico:**  $B^0 \rightarrow D^{*-} l^+ \nu$ , con  $\tau^+ \rightarrow 3\pi^\pm (\pi^0) \bar{\nu}_\tau$  <sup>(1)</sup>

- **$R(D^*)$  muonico:**  $B^0 \rightarrow D^{*-} l^+ \nu$ , con  $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$  <sup>(2)</sup>

- **$R(J/\psi)$ :**  $B_c^+ \rightarrow J/\psi l^+ \nu$ , con  $\tau^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau$  <sup>(3)</sup>

- Nuove idee...

**Run1 (3 fb<sup>-1</sup>)**

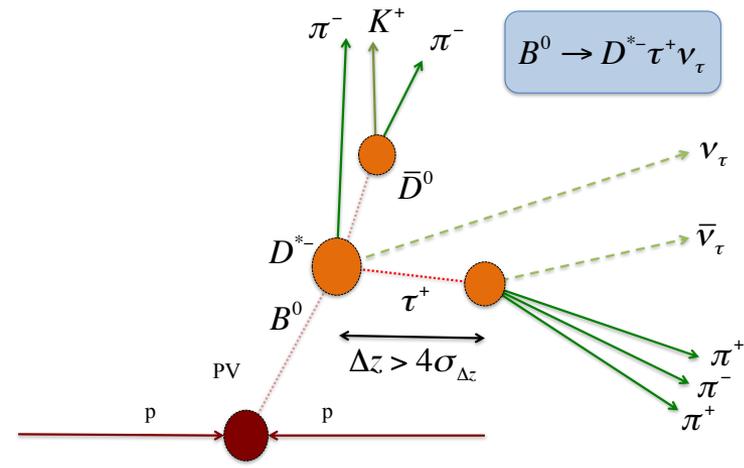
- Strategie complementari → differenti sfide sperimentali ed incertezze sistematiche

# $R(D^*)$ adronico

- Canale di normalizzazione:  
 $B^0 \rightarrow D^{*-} 3\pi^\pm$ 
  - Stesso stato finale visibile
- Quantità da misurare

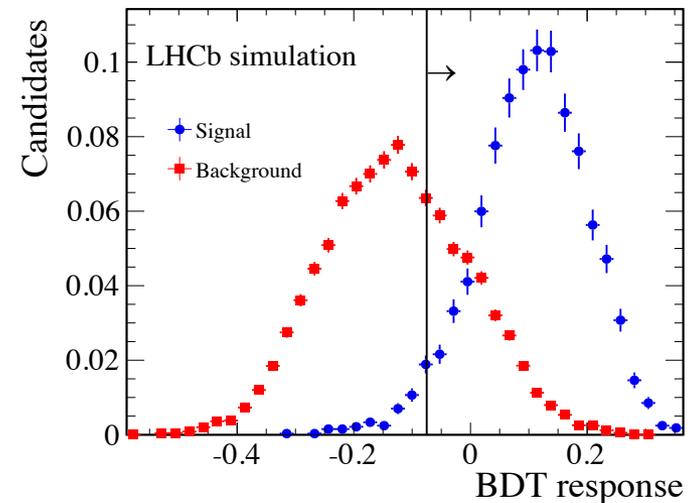
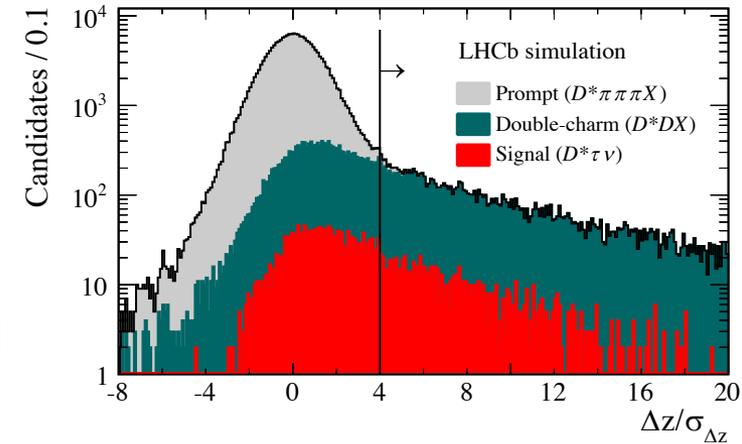
$$K(D^*) \equiv \frac{BR(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau)}{BR(B^0 \rightarrow D^{*-} 3\pi^\pm)} = \frac{\epsilon_{norm}}{\epsilon_{sig}} \frac{N_{sig}}{N_{norm}} \frac{1}{BR(\tau^+ \rightarrow 3\pi^\pm \pi^0 \bar{\nu}_\tau)}$$

- $N_{sig}$  ottenuto da un adattamento 3D ai dati ( $q^2$ , vita media del  $\tau$ , risposta classificatore multivariato)
- $N_{norm}$  ottenuto da un adattamento alla massa invariante  $D^{*-} 3\pi^\pm$
- Distanza di volo del  $\tau$  sfruttata per rigettare il fondo



# $R(D^*)$ adronico

- Fondo principale:  $X_b \rightarrow D^{*\mp} 3\pi^\pm X$ 
  - Circa 100 volte più abbondante del segnale
  - Soppressione: il vertice di decadimento del  $\tau$  deve essere almeno  $4\sigma_{\Delta z}$  a valle del vertice del  $B$
- Fondi rimanenti: decadimenti con doppio charm:  $X_b \rightarrow D^* D_s^\pm X, X_b \rightarrow D^* D^\pm X, X_b \rightarrow D^* D^0 X$ 
  - informazione sulla struttura risonante nel sistema  $3\pi^\pm \rightarrow$  classificatore multivariato



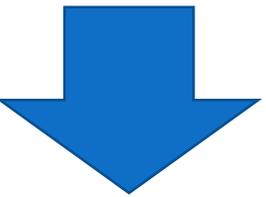
# $R(D^*)$ adronico

$$N_{sig} = 1296 \pm 86$$

$$N_{norm} = 17660 \pm 158$$



$$K(D^*) = 1.97 \pm 0.13 \pm 0.18$$

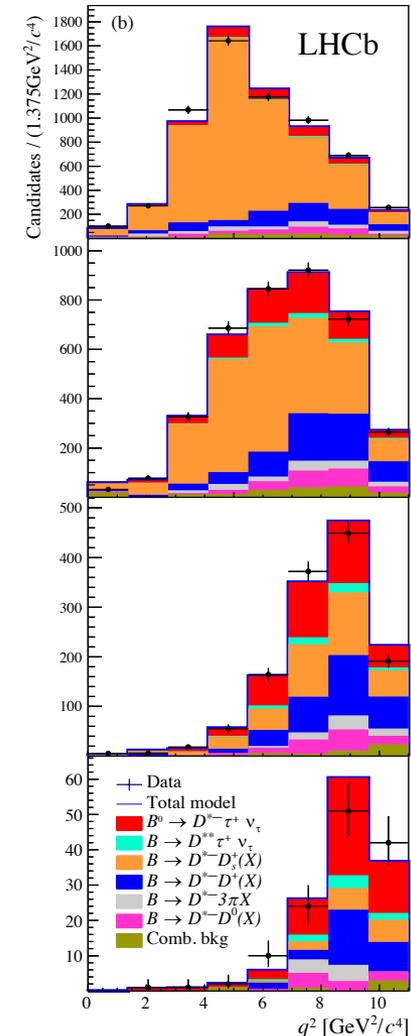
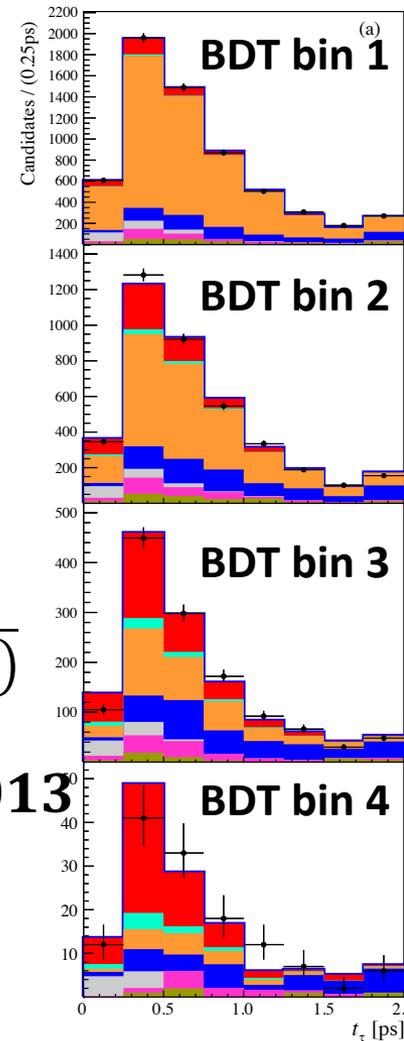


$$R(D^*) = K(D^*) \frac{BR(B^0 \rightarrow D^{*-} 3\pi^{\pm})}{BR(B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_{\mu})}$$

$$R(D^*) = 0.291 \pm 0.019 \pm 0.026 \pm 0.013$$

Previsione teorica :  $0.258 \pm 0.005^{(1)}$

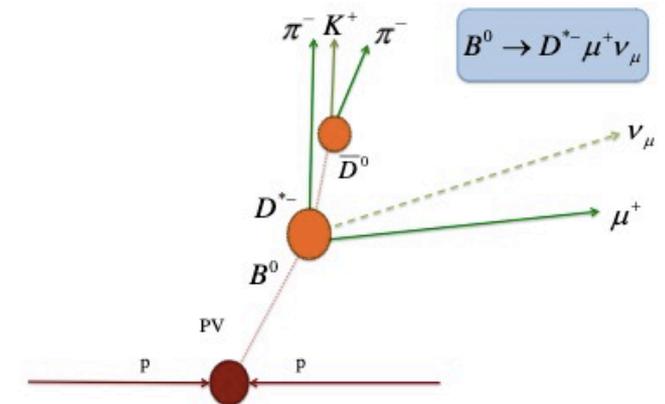
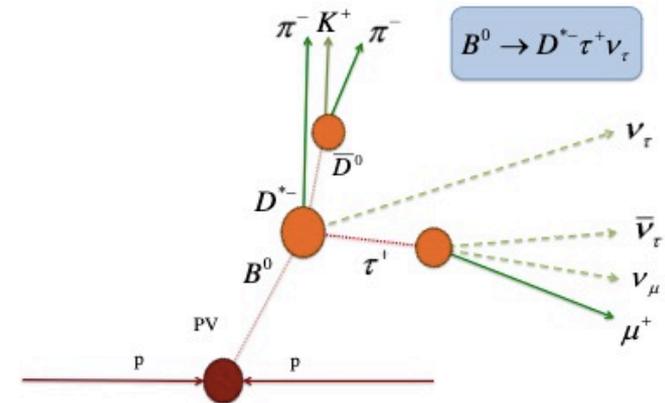
**$0.9\sigma$  al di sopra del Modello Standard**

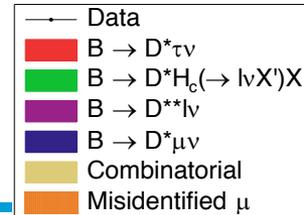


# $R(D^*)$ muonico

- Stesso stato finale visibile ( $D^* \mu$ )
- Impulso del  $B$  ottenuto scalando l'impulso longitudinale visibile per  $m(B^0)/m(D^* \mu)$
- Adattamento ai dati 3D ( $q^2, m_{miss}^2, E_\mu^*$ ) per estrarre il numero di eventi di segnale

$$R(D^*) = \frac{BR(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_\tau)}{BR(B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_\mu)}$$





# $R(D^*)$ muonico

- $N(B^0 \rightarrow D^{*-} \mu^+ \nu_{\mu}) = 363k$
- $N(B^0 \rightarrow D^{*-} \tau^+ \nu_{\tau}) = 16k$
- Considerando anche il rapporto tra le efficienze dei due canali si ottiene

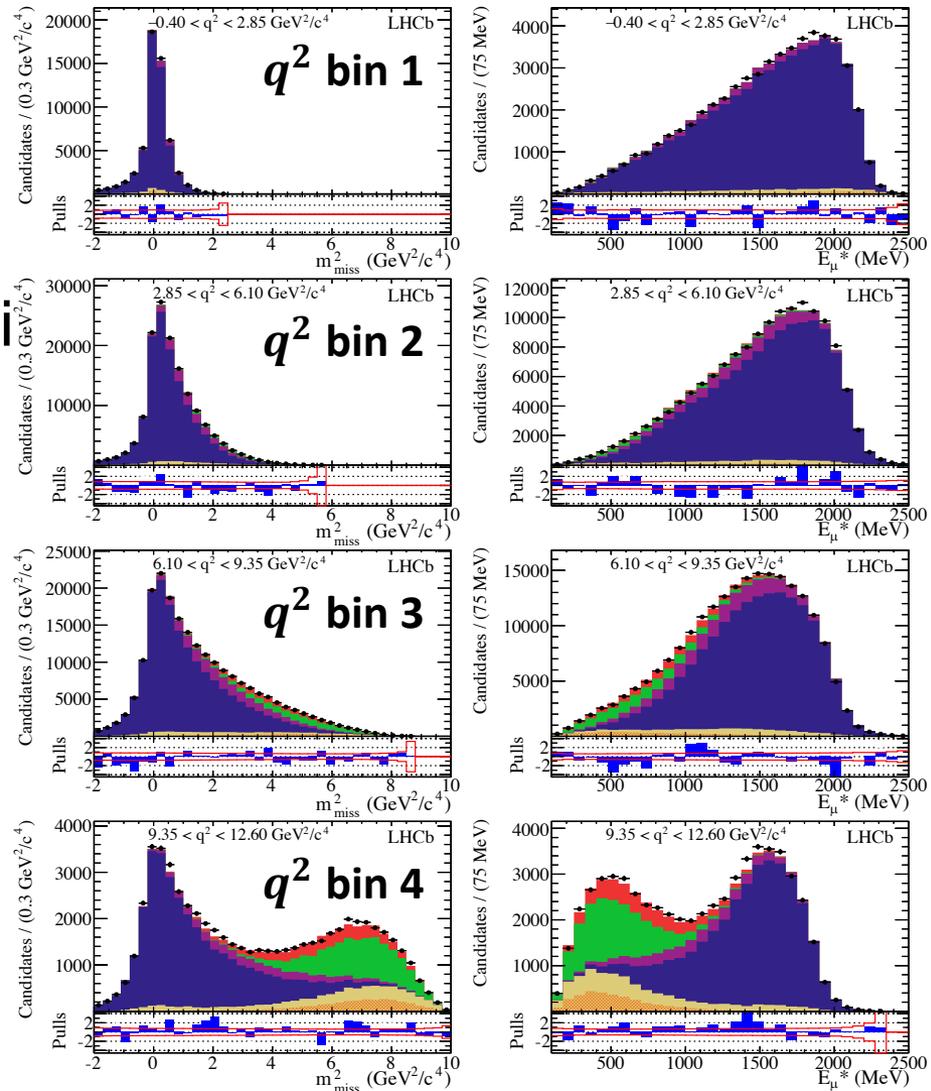
$$R(D^*) = 0.336 \pm 0.034$$

Previsione teorica :

$$0.258 \pm 0.005^{(1)}$$

**$2.3\sigma$  al di sopra del Modello Standard**

**Compatibile con  $R(D^*)$  adronico a  $< 1\sigma$**



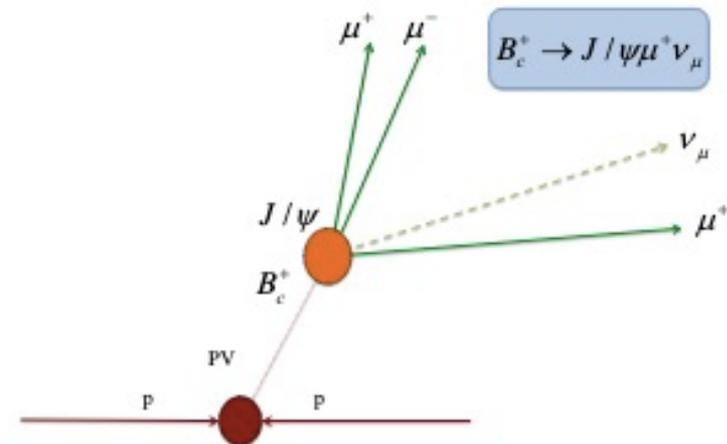
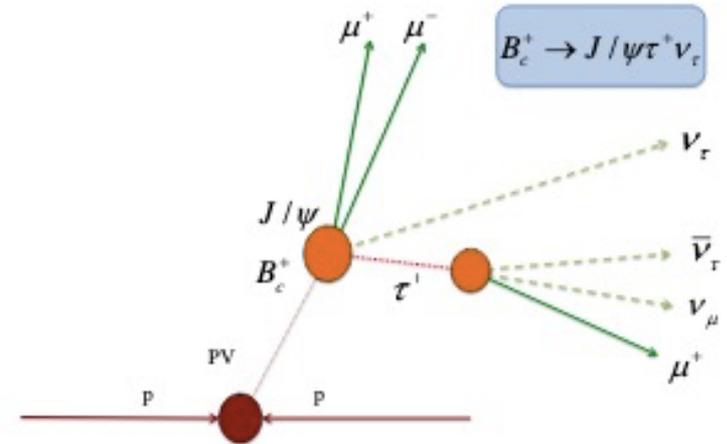
# $R(J/\psi)$

$$R(J/\psi) = \frac{BR(B_c^+ \rightarrow J/\psi \tau^+ \nu_\tau)}{BR(B_c^+ \rightarrow J/\psi \mu^+ \nu_\mu)}$$

- ✓ Stesso stato finale visibile  $J/\psi \mu$
- ✓ Piccolo rateo di produzione del mesone  $B_c^+$ , ma nessun fondo dovuto ai mesoni  $D$

✗ Fattori di forma conosciuti con scarsa precisione

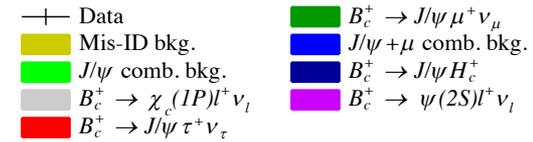
- Adattamento ai dati 3D ( $m_{miss}^2$ , vita media  $B_c^+$ , istogramma 2D contenente  $q^2$  e  $E_\mu^*$ ) per estrarre il numero di eventi di segnale



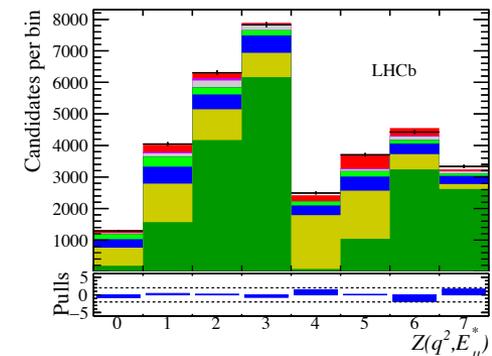
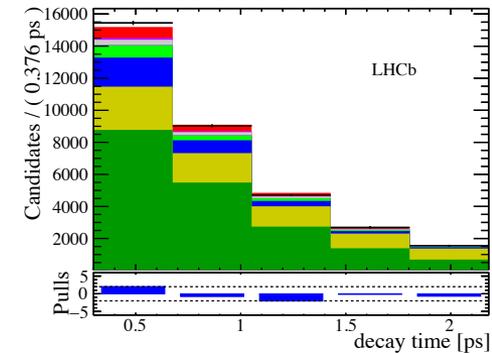
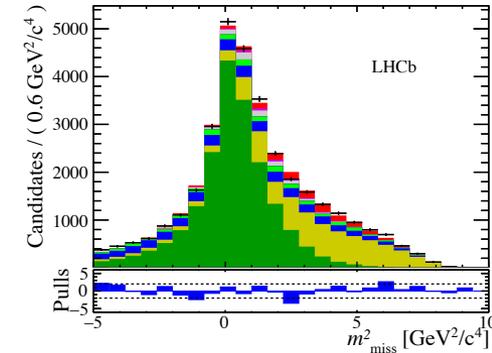
# $R(J/\psi)$

(1) PLB 452 (1999) 129–136

(1) Phys. Rev. D **73**, 054024



- Fondo principale
  - $X_b \rightarrow J/\psi h$ , dove  $h$  è un adrone mal identificato  $\rightarrow$  soppresso con tagli sulle variabili di identificazione delle particelle
- $N(B_c^+ \rightarrow J/\psi \mu^+ \nu_\mu) = 19140 \pm 340$
- $N(B_c^+ \rightarrow J/\psi \tau^+ \nu_\tau) = 1400 \pm 300$ 
  - Prima evidenza** di questo decadimento



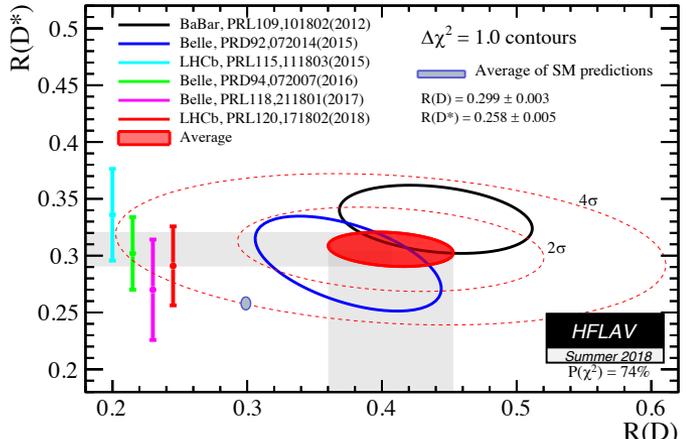
$$R(J/\psi) = 0.71 \pm 0.17 \pm 0.18$$

Previsione teorica :  $[0.25, 0.28]^{(1)}$

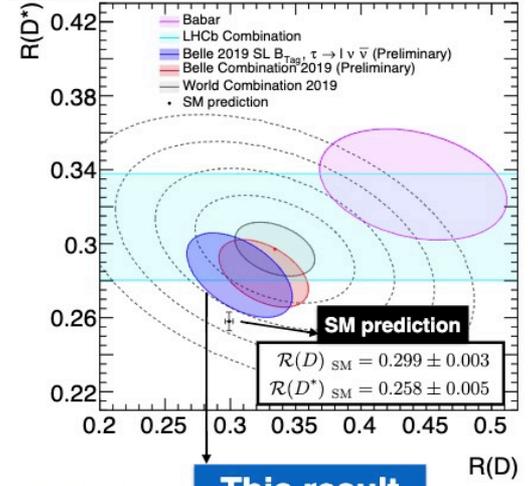
**$2\sigma$  al di sopra del Modello Standard**

# La caccia continua...

- Tensione col Modello Standard nel piano  $R(D^*) - R(D)$  a  $\sim 3.7\sigma$ 
  - Nuovo risultato preliminare di Belle  $\rightarrow$  tensione a  $\sim 3.1\sigma$
- Le analisi sui dati dei Run 2 stanno procedendo e aiuteranno a rendere la situazione più chiara
- È possibile utilizzare altri canali di decadimento per testare sistemi dinamici diversi?



Nuova misura di Belle con canale  $\tau \rightarrow l \bar{\nu} \nu$  (Moriond EW 2019)



**This result**

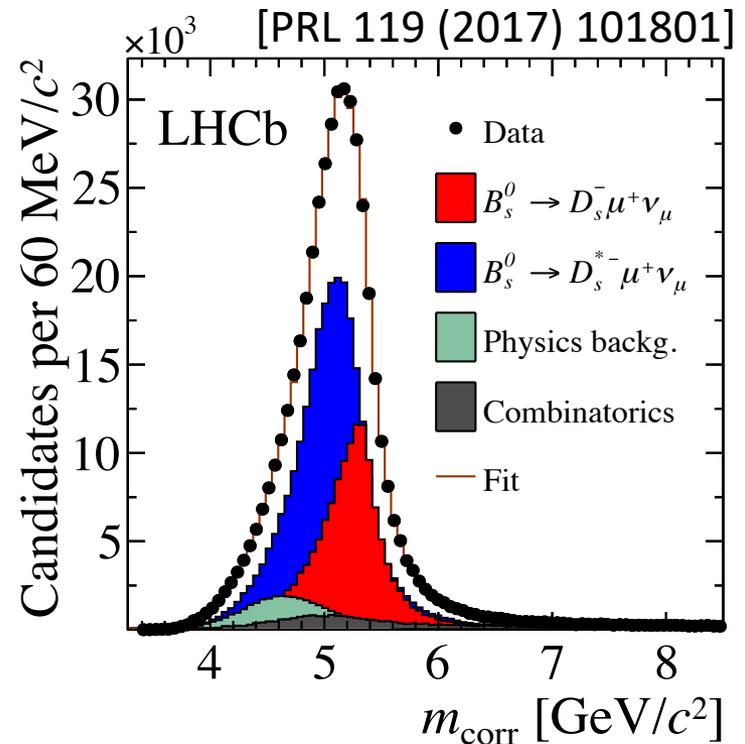
$R(D) = 0.307 \pm 0.037 \pm 0.016$   
 $R(D^*) = 0.283 \pm 0.018 \pm 0.014$



**Nuove idee**

# $R(D_s^{(*)})$

- Misura vita media del mesone  $B_s^0$  ad LHCb  
 → possibile separare il contributo dei decadimenti  $B_s^0 \rightarrow D_s^- \mu^+ \nu_\mu$  e  $B_s^0 \rightarrow D_s^{*-} \mu^+ \nu_\mu$
- Misura dei rapporti di diramazione di questi canali e dei fattori di forma (FF) del  $D_s^{(*)} \rightarrow$   
**grande importanza**
  - Test delle predizioni teoriche della QCD su reticolo
  - Test della simmetria SU(3) rispetto ai decadimenti  $B^0 \rightarrow D^{(*)-} \mu^+ \nu_\mu$
  - Quantità **fondamentali** per la determinazione di  $R(D_s^{(*)})$
- Due approcci
  - Misura dei FF del  $D_s^{*-}$  con decadimenti  $B_s^0 \rightarrow D_s^{*-} (\rightarrow D_s^- \gamma) \mu^+ \nu_\mu$
  - Misura dei FF e rapporti di diramazione del  $D_s^{(*)-}$  con decadimenti  $B_s^0 \rightarrow D_s^{(*)-} \mu^+ \nu_\mu$

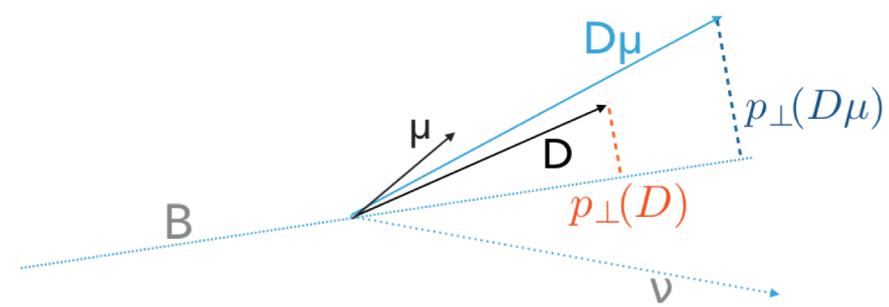
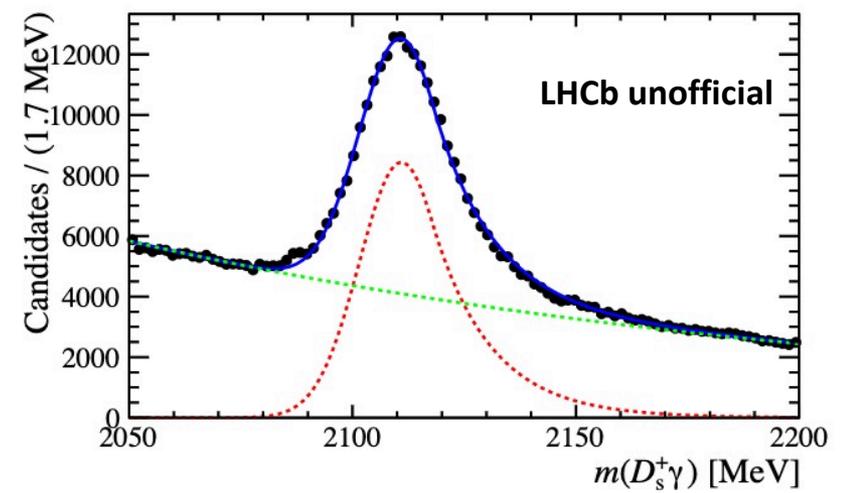


$$B_S^0 \rightarrow D_S^{*-} (\rightarrow D_S^- \gamma) \mu^+ \nu_\mu$$

## • Strategia

- Adattamento alla massa invariante  $D_S^- \gamma$  per sottrarre il fondo
- Neutrino mancante  $\rightarrow$  ricostruzione del  $q^2$  impedita
  - Algoritmo di regressione per determinare il  $q^2$
- Adattamento alla massa corretta in intervalli di  $q^2$

$$m_{corr} \equiv \sqrt{m^2(D\mu) + p_\perp^2(D\mu) + p_\perp(D\mu)}$$



$$B_S^0 \rightarrow D_S^{*-} (\rightarrow D_S^- \gamma) \mu^+ \nu_\mu$$

- Il rateo di decadimento differenziale dipende dai FF
  - Parametrizzazione di Caprini-Lellouch-Neubert (CLN)
 
$$\frac{d\Gamma}{dq^2} \propto K \cdot (1 - 8\rho^2 z + (53\rho^2 - 15)z^2 - (231\rho^2 - 91)z^3), \text{ dove } z = f(q^2)$$
  - Estrazione del FF dalla distribuzione del numero di eventi di segnale in funzione di  $q^2$

- Risultati preliminari

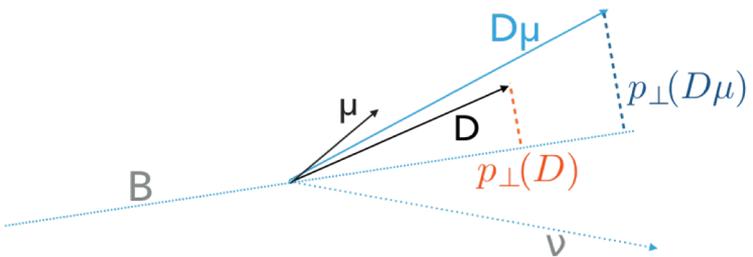
$$\rho^2 = x.xx \pm 0.06 \pm 0.04$$

- Prossimi passi

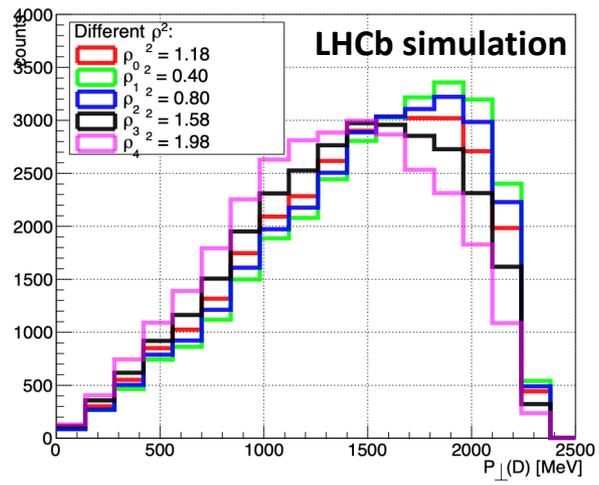
- Studio del canale  $B_S^0 \rightarrow D_S^{*-} \tau^+ \nu_\tau$  per misurare  $R(D_S^*)$

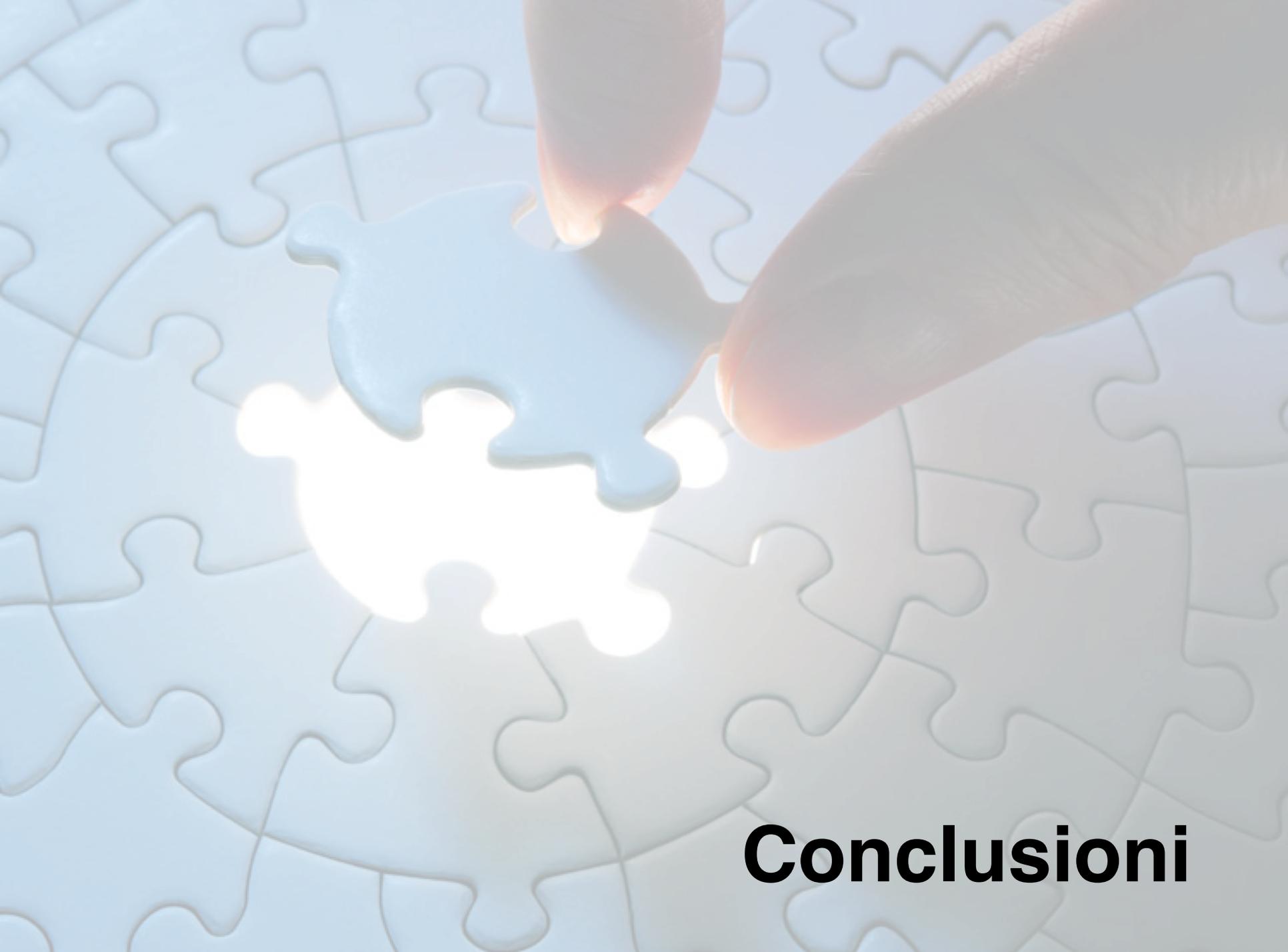
$$B^0_S \rightarrow D^{\left(\ast\right)-}_S \mu^+ \nu_\mu$$

- Neutrino mancante → ricostruzione del  $q^2$  impedita
  - Utilizzo di una variabile correlata al  $q^2$  che sia sensibile al FF →  $p_\perp(D)$
- Adattamento 2D ( $m_{corr}, p_\perp(D)$ ) per la determinazione dei FF e dei rapporti di diramazione
  - Canale di normalizzazione:  $B^0 \rightarrow D(\rightarrow KK\pi)\mu\nu X$
- Validazione strategia:  $B^0 \rightarrow D(\rightarrow K\pi\pi)\mu\nu X$  (statistica ~ 20 volte maggiore)
- Analisi in stato avanzato



$P_\perp(D)$  for different  $\rho^2$





**Conclusioni**

Nuova Fisica

LHCb

Decadimenti  
semileptonici  
del B

Analisi dati Run 2

Grazie per l'attenzione

**Backup**

# Tutto possibile grazie a...

J. Instrum. 3 (2008) S08005

