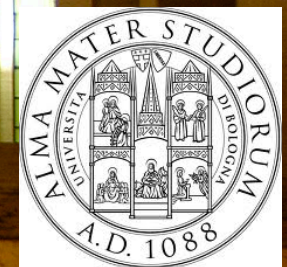


Risultati selezionati di LHCb



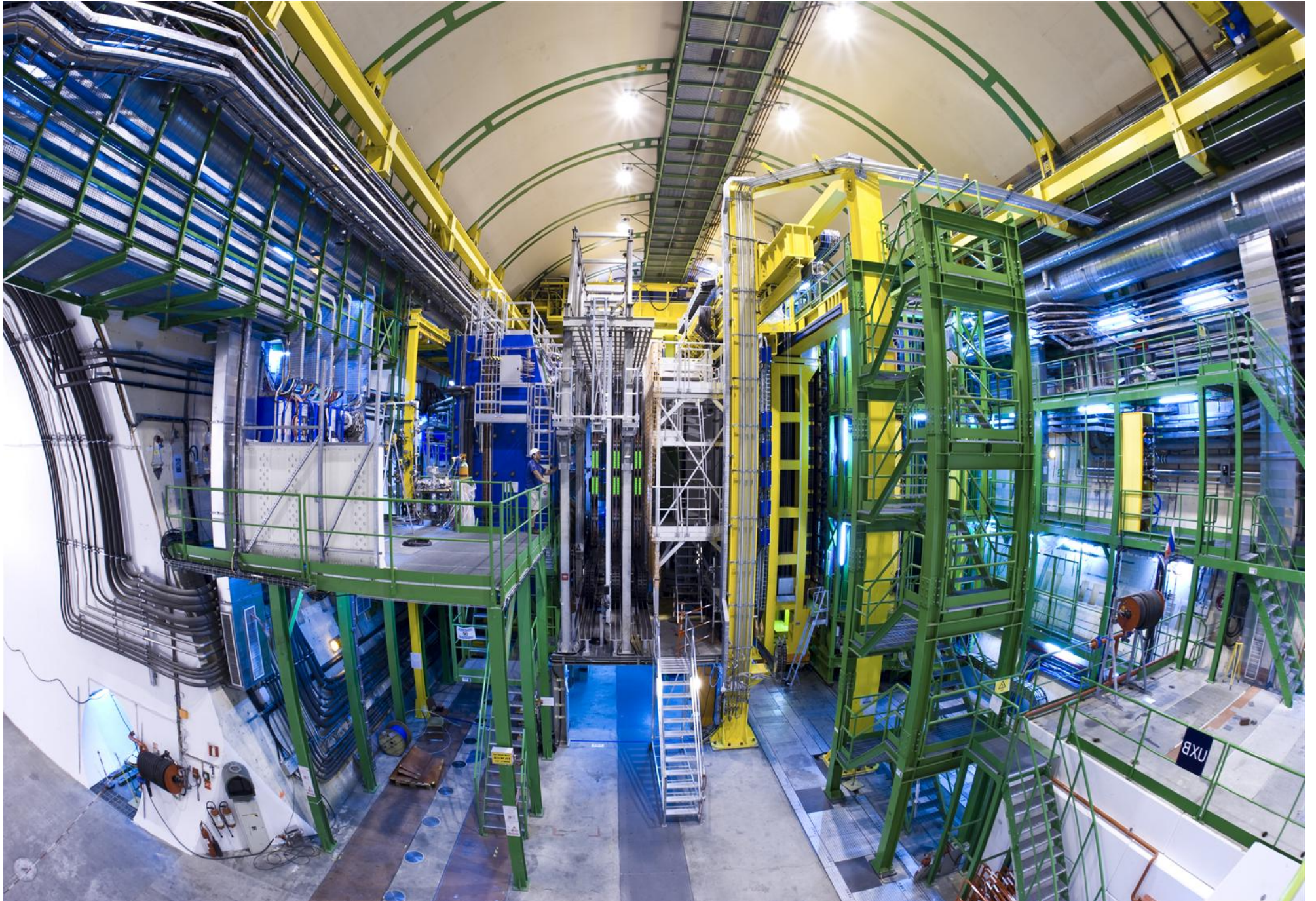
Stefano Perazzini
INFN Sezione di Bologna
Università di Bologna

101° Congresso della Società Italiana di Fisica
21-25 Settembre 2015
La Sapienza Università di Roma

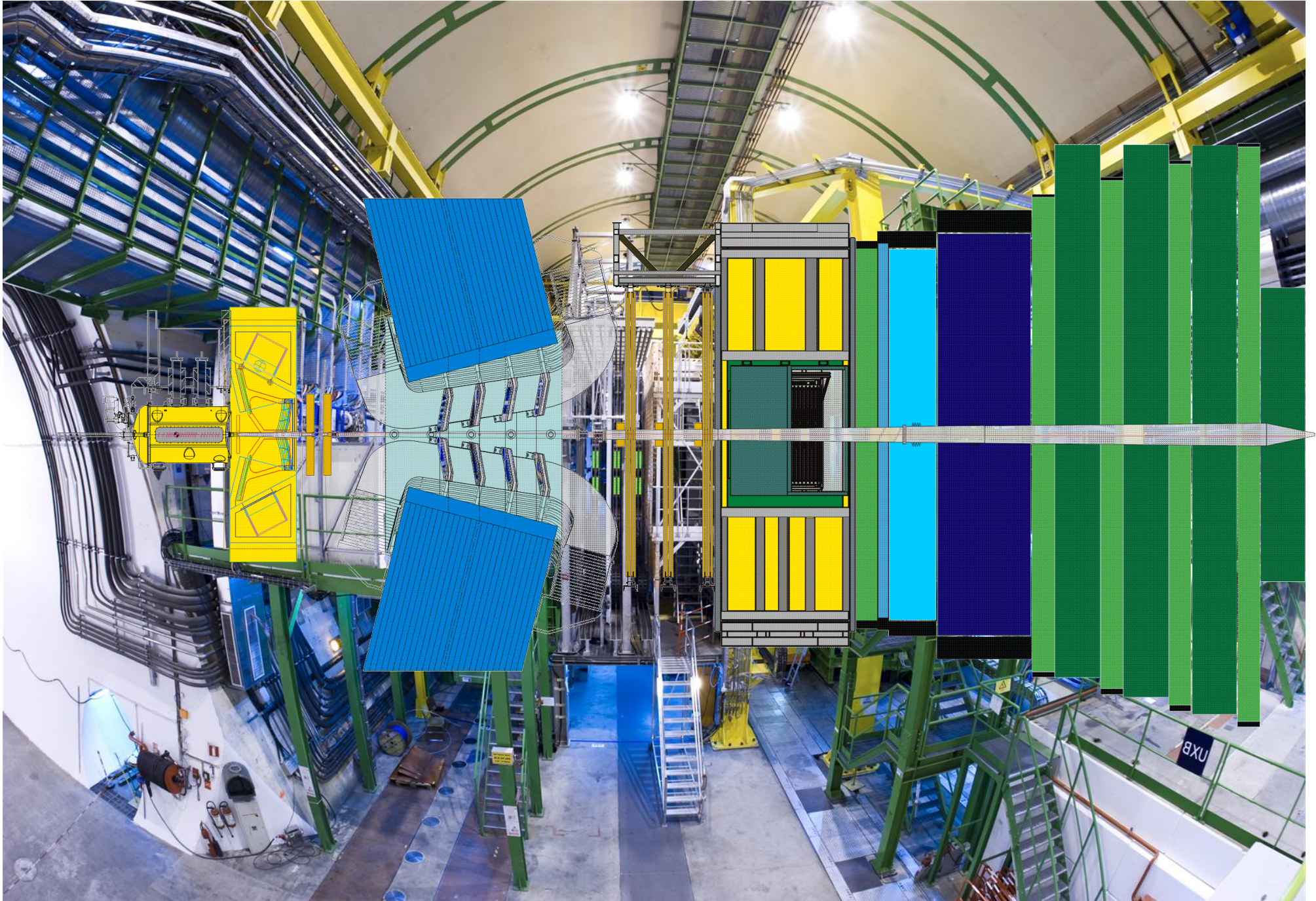
Introduzione

- Il rivelatore LHCb durante il Run1 di LHC
- Lista non completa di risultati di LHCb
 - Matrice CKM e violazione di CP
 - Decadimenti rari
 - Spettroscopia e stati esotici
 - Fisica elettrodebole e QCD nella regione in avanti
- Primi risultati del Run2 a 13 TeV
- Sommario e conclusioni

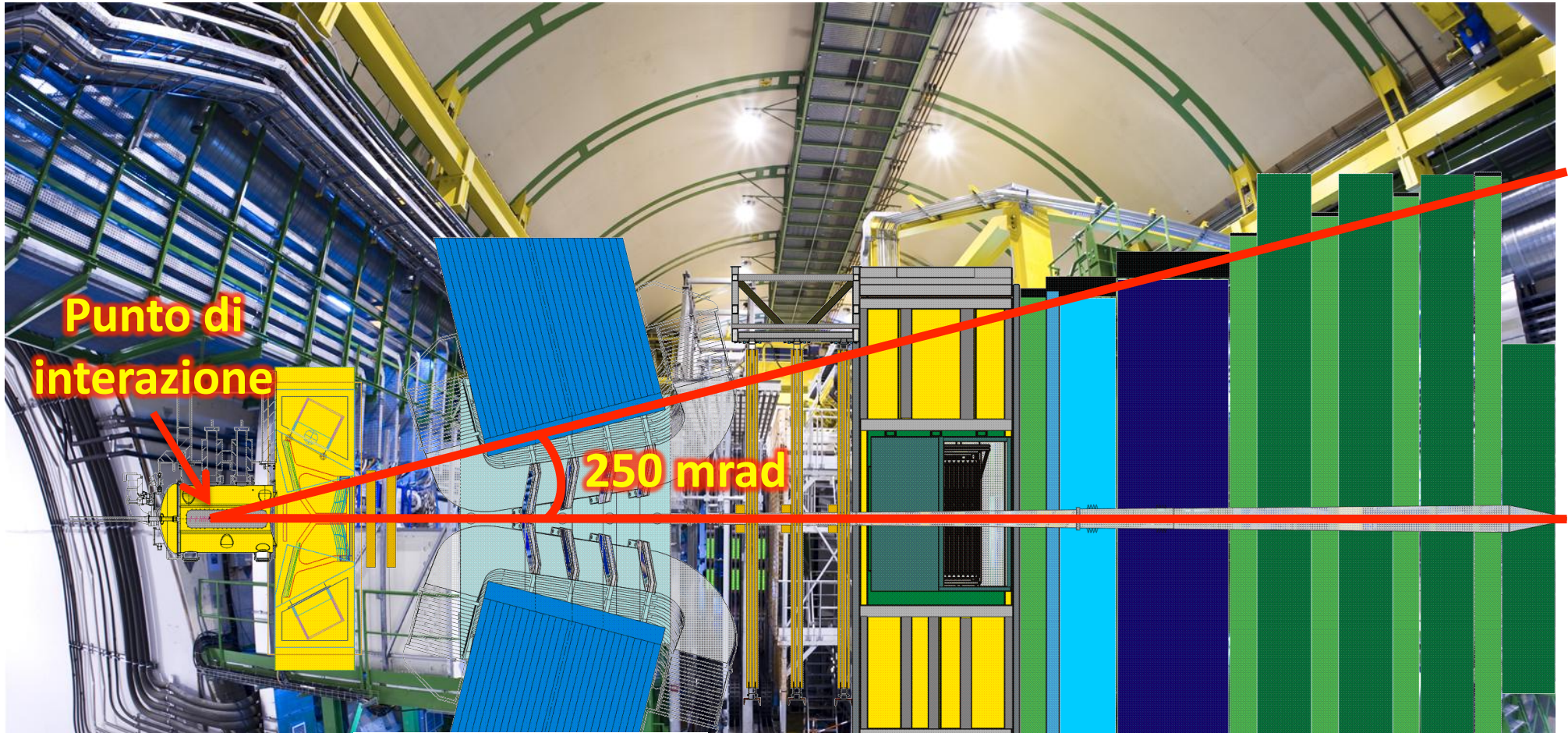
Il rivelatore LHCb



Il rivelatore LHCb

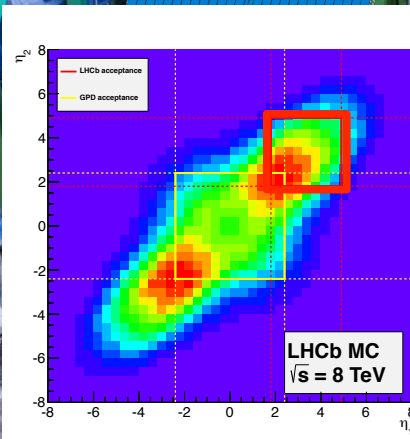
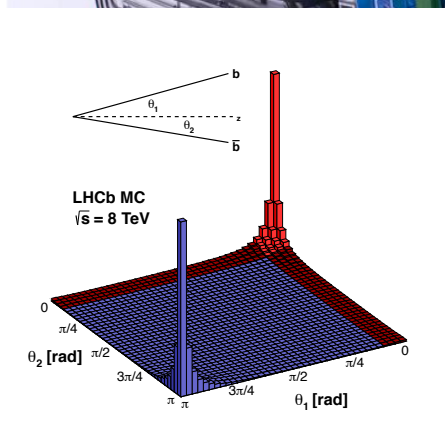


Il rivelatore LHCb



Punto di interazione

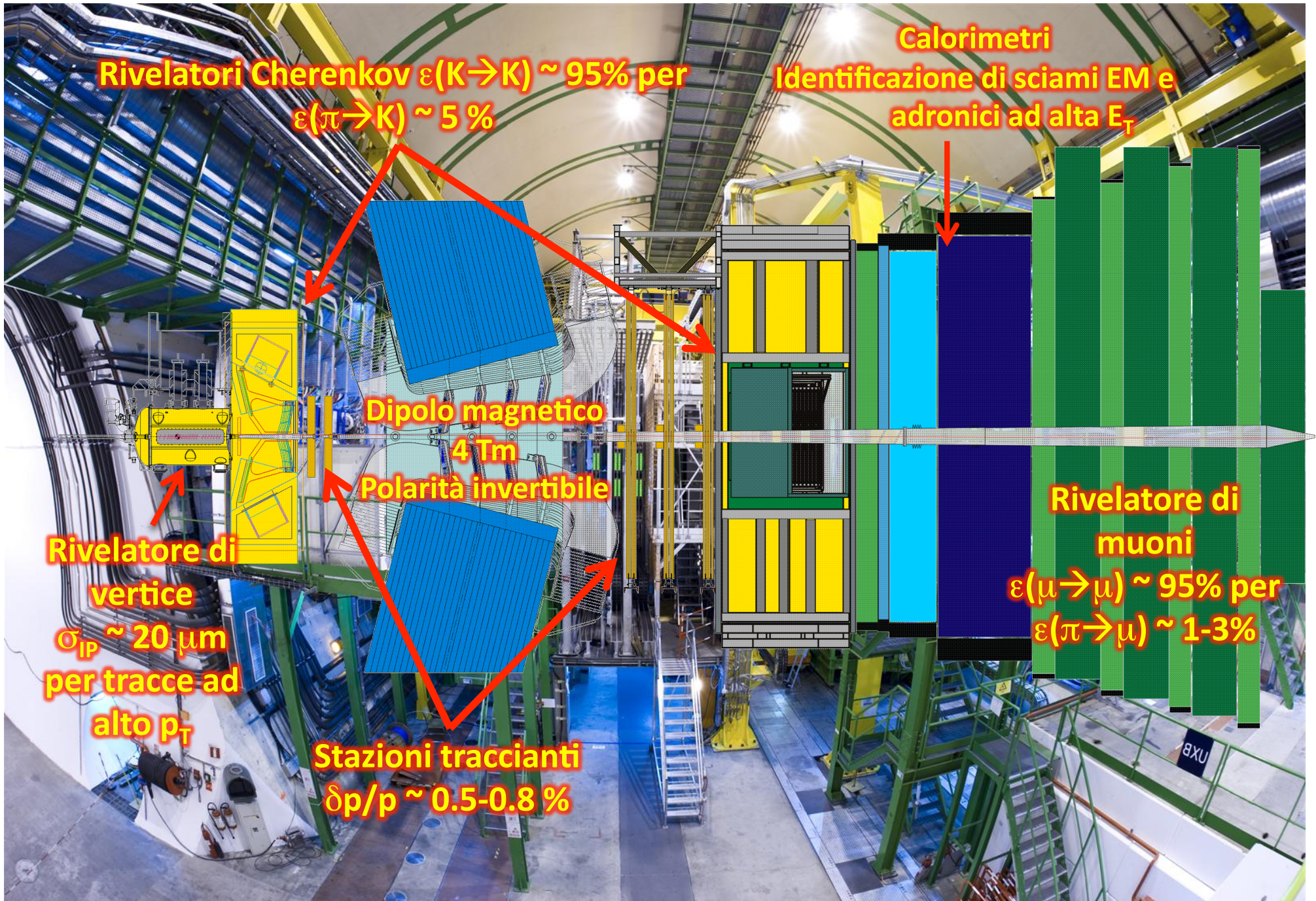
250 mrad



Elevata sezione d'urto di produzione di quark beauty e charm

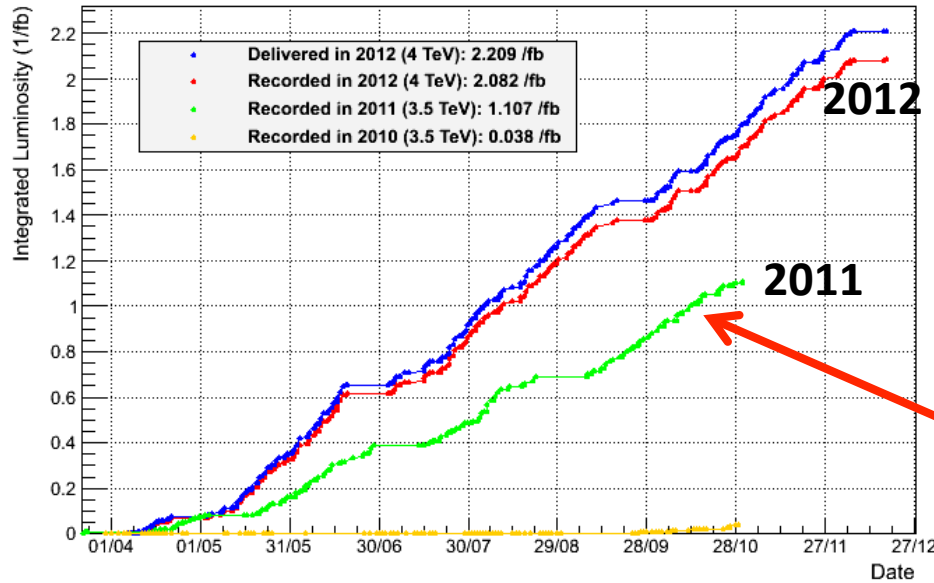
- $\sigma_{bb} = (75.3 \pm 5.4 \pm 13.0) \mu\text{b}$
[PLB 694 (2010) 209]
- $\sim \text{x20}$ nel caso di adroni con quark c
- $\sim 30\text{k}$ adroni b ogni secondo dentro LHCb

Il rivelatore LHCb



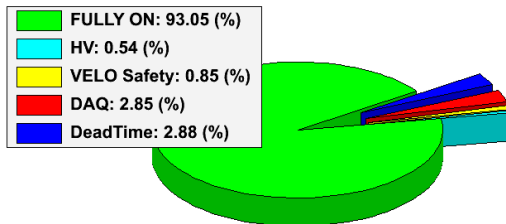
La presa dati nel Run1

LHCb Integrated Luminosity pp collisions 2010-2012

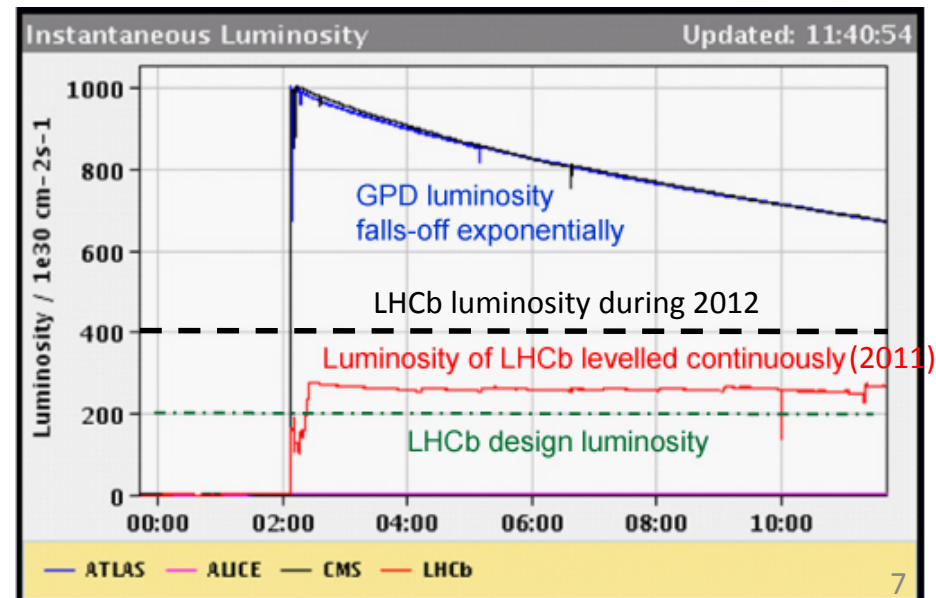


- Run 1
 - $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$ @ 7 TeV (2011)
 - $\sim 2 \text{ fb}^{-1}$ @ 8 TeV (2012)

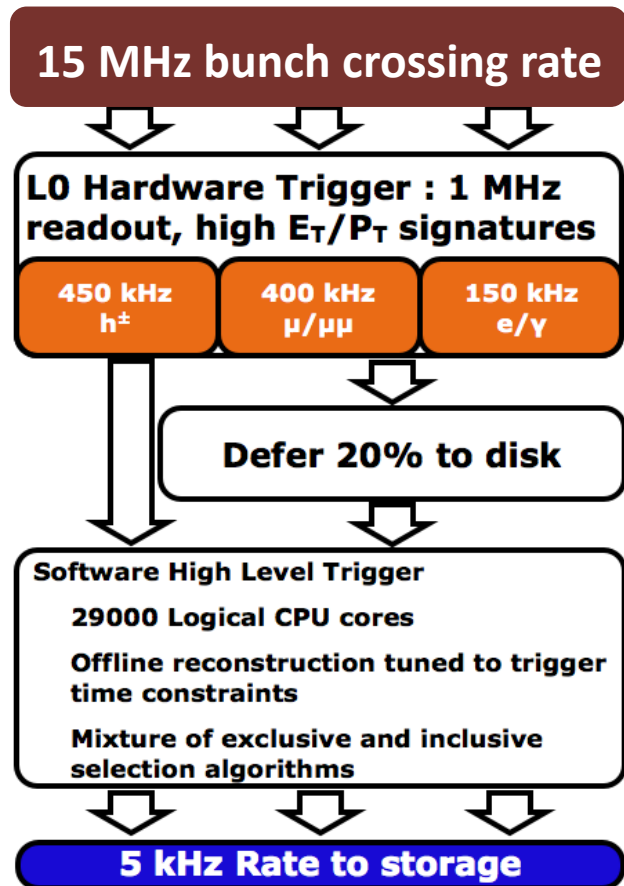
LHCb Efficiency breakdown pp collisions 2010-2012



- **Elevata efficienza del rivelatore:**
 - LHCb ha operato in condizioni di luminosità istantanea doppia rispetto alle assunzioni di progetto

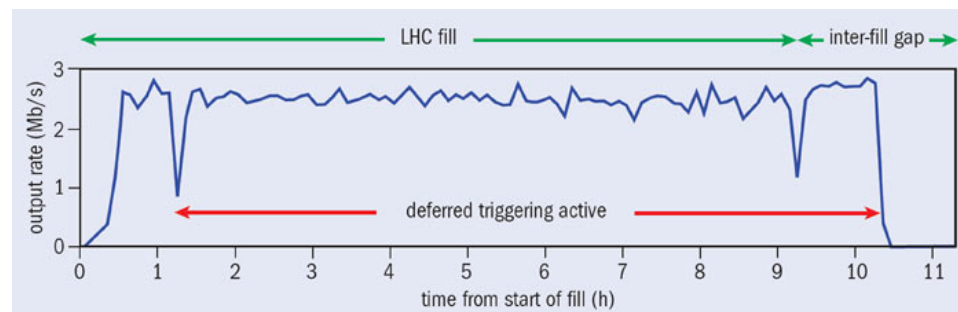


Il trigger di LHCb

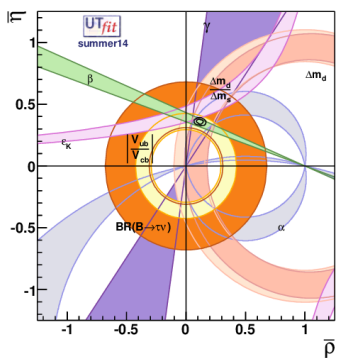


Con una media di 60 kB/evt si ha un flusso di dati in uscita dal trigger di 300 MB/s

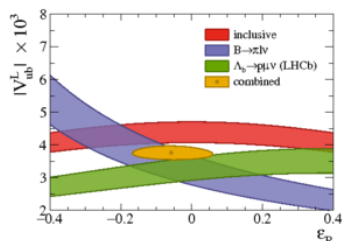
- Trigger sviluppato su diversi livelli:
 - **Livello 0**: utilizza informazioni da rivelatori veloci (calorimetri e rivelatori di muoni)
 - **Trigger software**: esegue la ricostruzione completa delle tracce nell'evento
 - **Trigger ritardato**: una frazione degli eventi è memorizzata sui dischi locali della farm online e processata durante gli intervalli tra un fill di LHC e l'altro



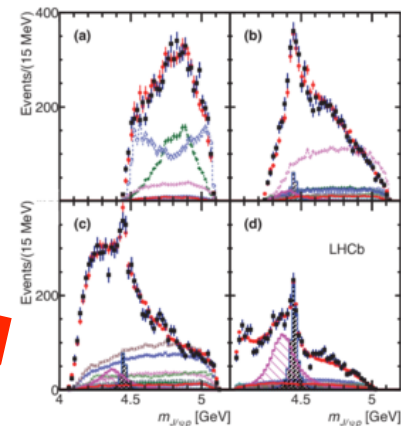
Programma di fisica



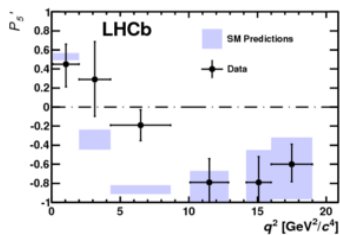
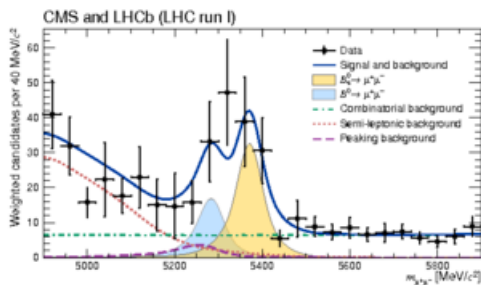
Matrice CKM e violazione di CP



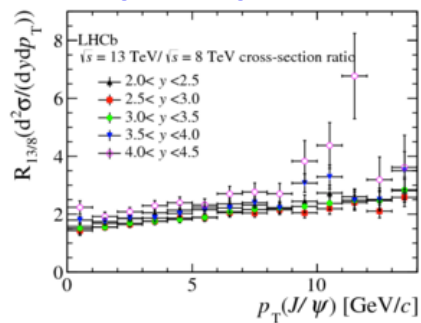
Spettroscopia



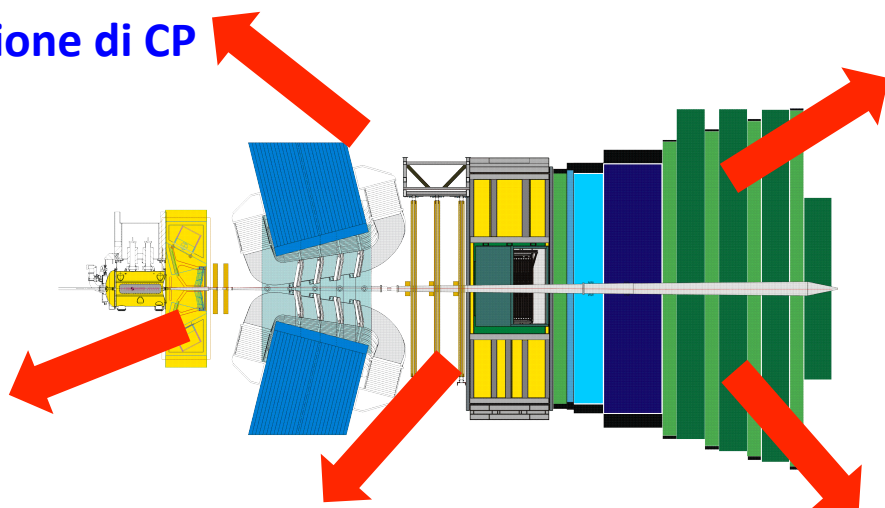
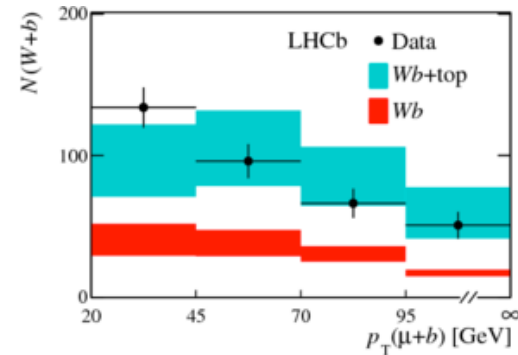
Decadimenti rari



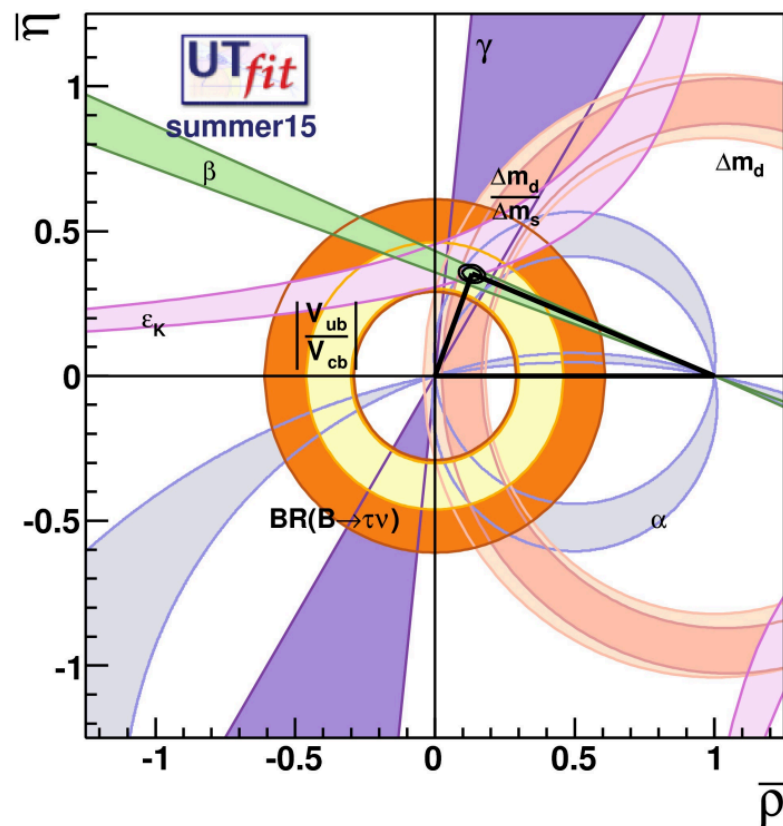
Produzione di quark pesanti



Fisica elettrodebole e QCD

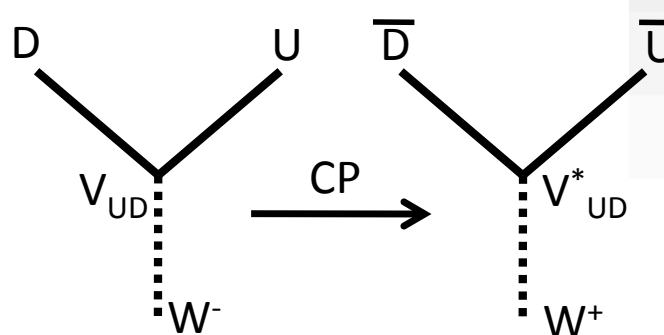


Matrice CKM e violazione di CP



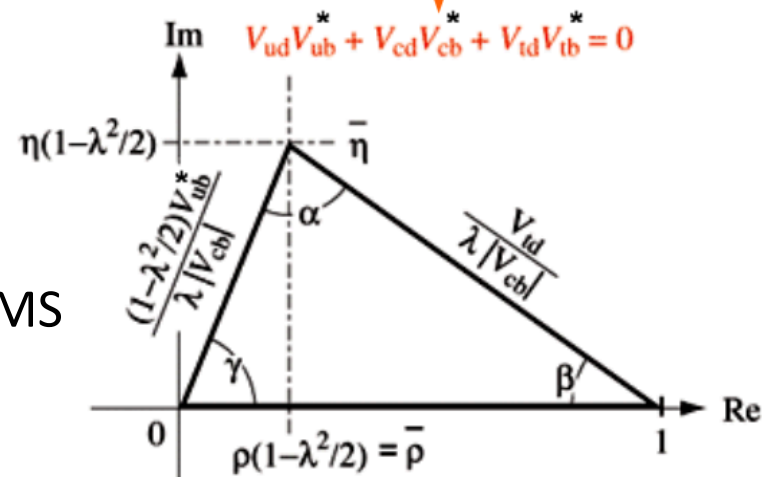
Matrice CKM e violazione di CP

- La violazione di CP è introdotta nel Modello Standard dalla matrice CKM
 - miscelamento tra gli autostati di massa e di sapore dei quarks
 - presenza di fasi complesse nelle ampiezze delle transizioni $q \rightarrow Wq'$

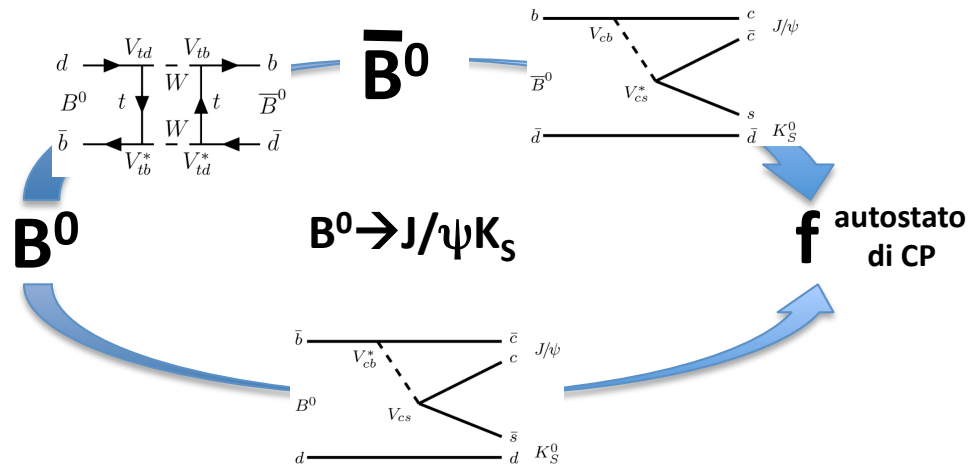
$$\begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$


Condizione di unitarietà

- Misure precise dei parametri del Triangolo Unitario rappresentano uno dei principali metodi di validazione del MS



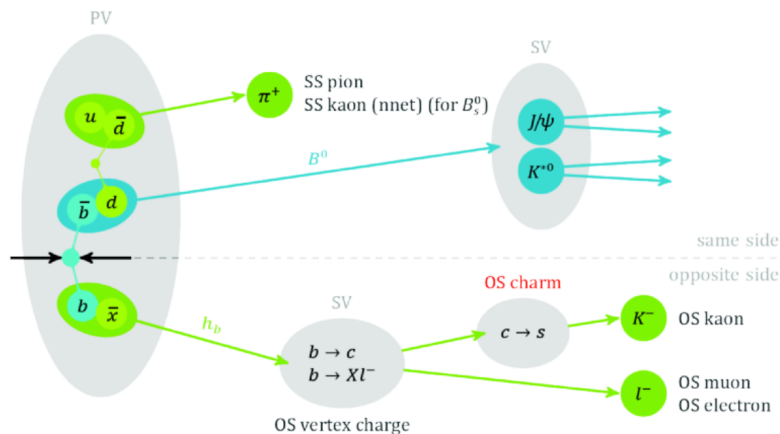
Fasi di miscelamento dei mesoni B^0 e B_s



$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma_{\bar{B} \rightarrow f}(t) - \Gamma_{B \rightarrow f}(t)}{\Gamma_{\bar{B} \rightarrow f}(t) + \Gamma_{B \rightarrow f}(t)} = \frac{-C_f \cos(\Delta m t) + S_f \sin(\Delta m t)}{\cosh\left(\frac{\Delta\Gamma}{2} t\right) + A_{\Delta\Gamma}^f \sinh\left(\frac{\Delta\Gamma}{2} t\right)}$$

Per transizioni $b \rightarrow ccs$: $C_f \approx 0$ e $S_f \approx \sin(\phi_M)$

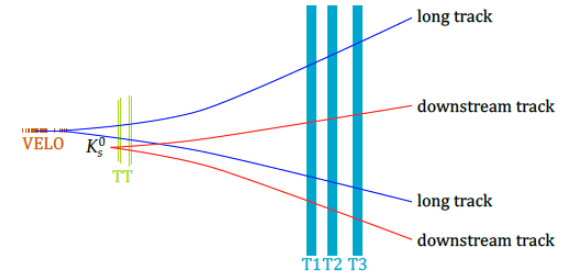
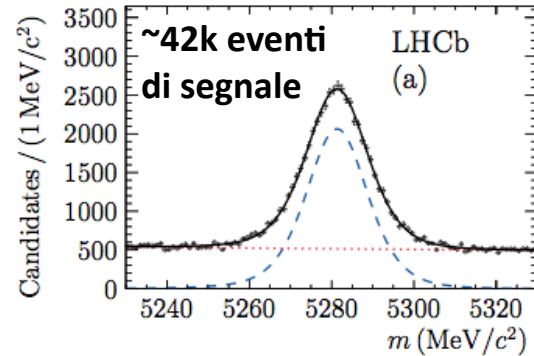
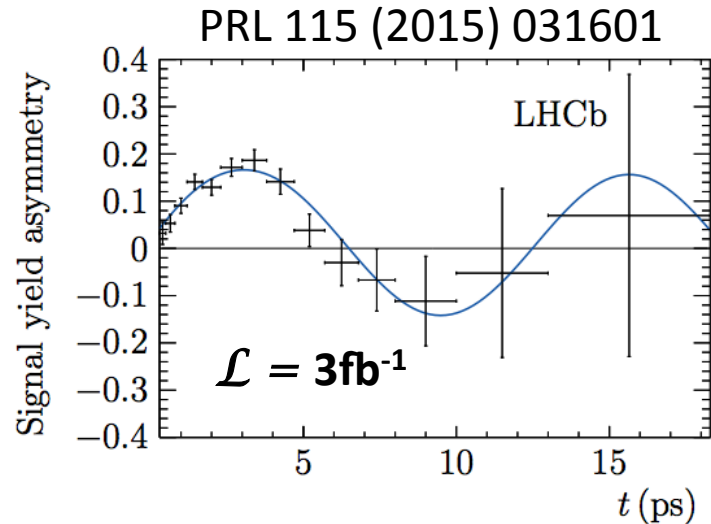
- Ingrediente fondamentale per queste misure è la determinazione dello stato di sapore iniziale dei mesoni B neutri



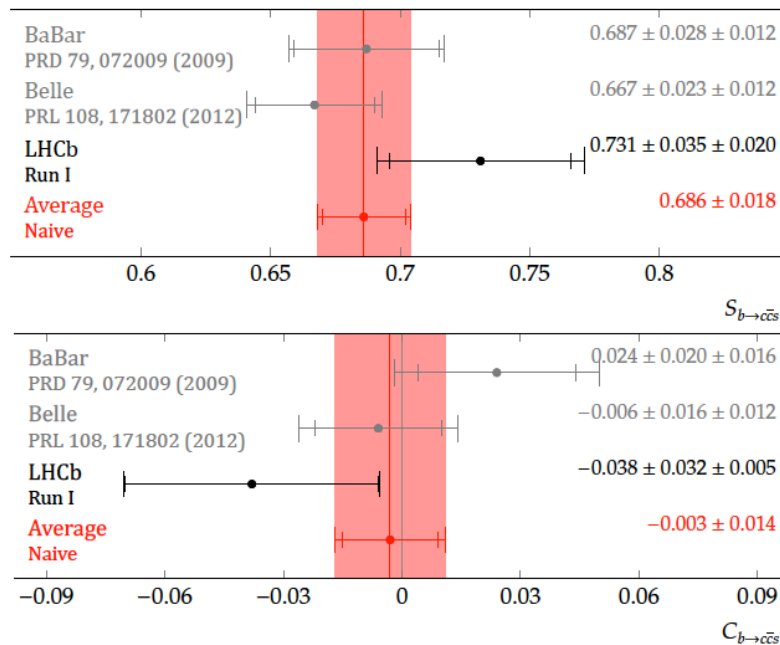
Canale	ϵD^2 (%) 2011	ϵD^2 (%) 2015	Miglioramento	Riferimento
$B_s \rightarrow \phi\phi$	3.29	5.38	+64%	PRD 90 (2014) 052011
$B_s \rightarrow D_s D_s$		5.33		PRL 113 (2014) 211801
$B_s \rightarrow D_s K$	5.07			JHEP 11 (2014) 060
$B_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$	3.13	3.73	+19%	PRL 114 (2015) 041801
$B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$	2.43	3.89	+60%	PLB 736 (2014) 186
$B^0 \rightarrow J/\psi K_S$	2.38	3.03	+27%	PRL 115 (2015) 031601

Significativo miglioramento delle prestazioni

Fase di miscelamento ϕ_d del mesone B^0



- Utilizzato il decadimento $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$
- Ricostruzione del decadimento $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ in coppie di pioni di tipo “long” e coppie di pioni di tipo “downstream”



$$S = 0.731 \pm 0.035 \text{ (stat)} \pm 0.020 \text{ (syst)}$$

$$C = -0.038 \pm 0.032 \text{ (stat)} \pm 0.005 \text{ (syst)}$$

$$\rho(S, C) = 0.483$$

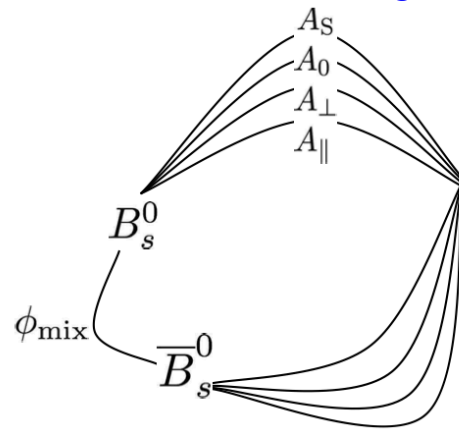
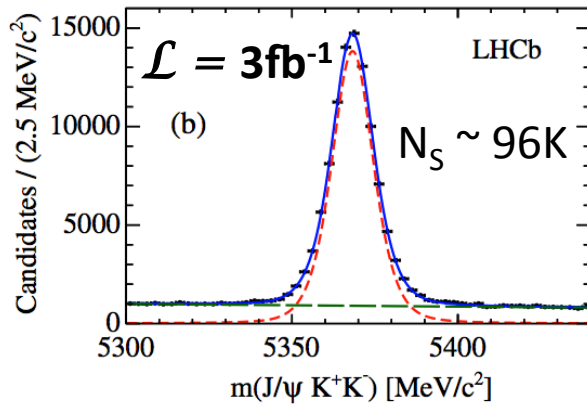
Fissando
 $C=0$

$$S = \sin(2\beta) = 0.746 \pm 0.030 \text{ (stat)}$$

Compatibile e competitivo con i risultati di BaBar e Belle

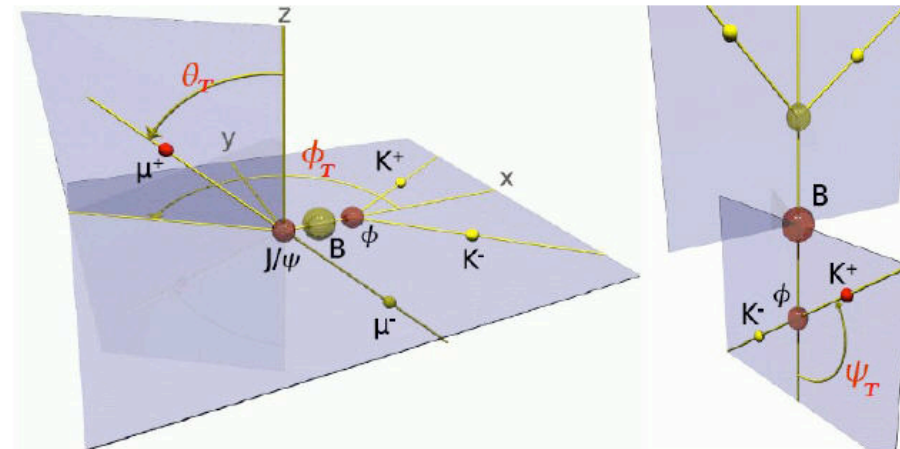
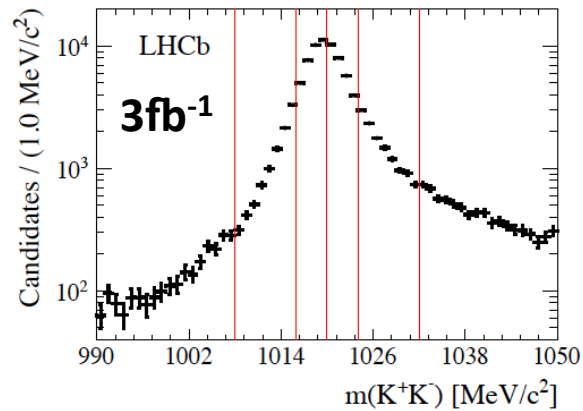
Fase di miscelamento ϕ_s del mesone B_s con decadimenti $B_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$

PRL 114 (2015) 041801



Tre stati finali di polarizzazione più una componente di onda S

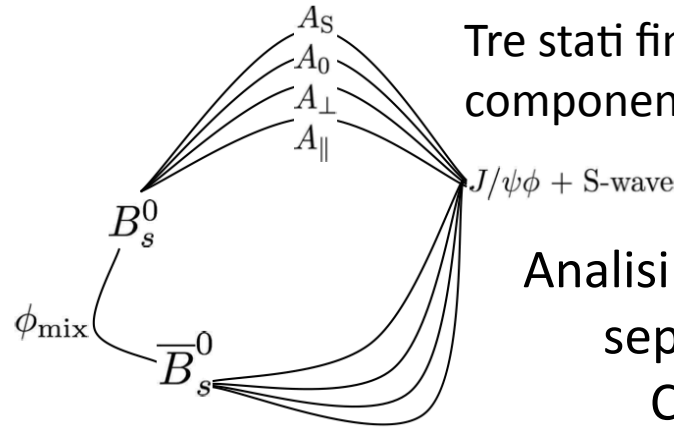
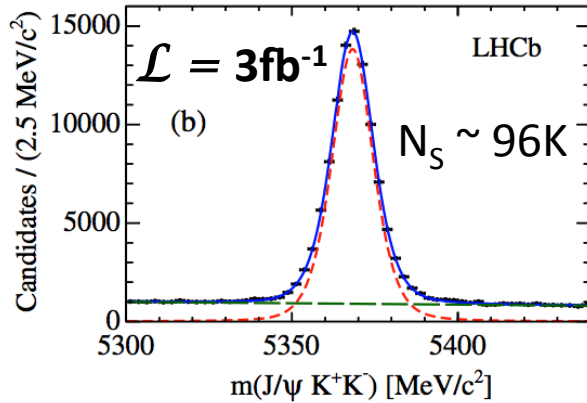
Analisi angolare necessaria per separare le componenti CP-pari e CP-dispari



Analisi effettuata in 6 intervalli di m_{KK} per determinare meglio il contributo dovuto alla componente di onda S

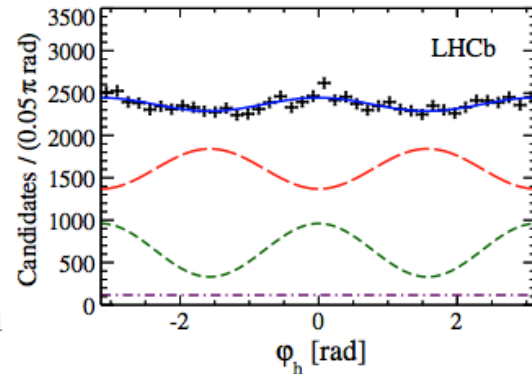
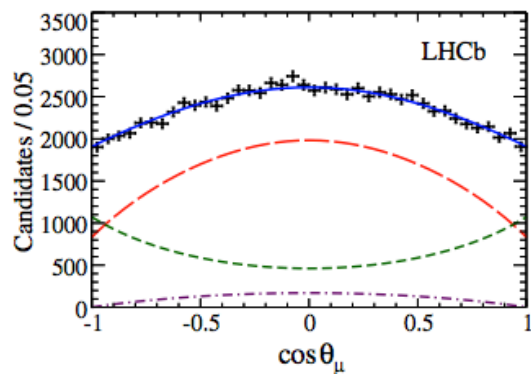
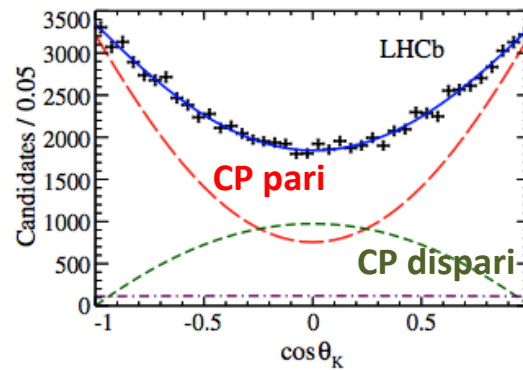
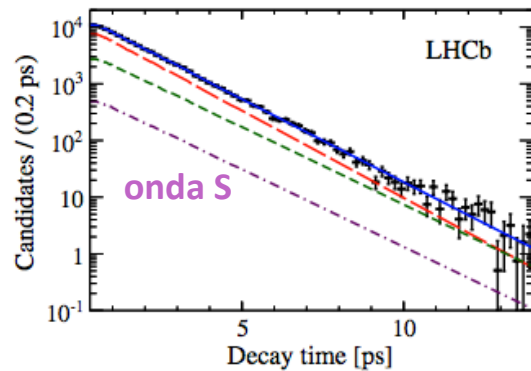
Fase di miscelamento ϕ_s del mesone B_s con decadimenti $B_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$

PRL 114 (2015) 041801



Tre stati finali di polarizzazione più una componente di onda S

Analisi angolare necessaria per separare le componenti CP-pari e CP-dispari



$$\phi_s = -58 \pm 49 \pm 6 \text{ mrad}$$

$$|\lambda_{J/\psi\phi}| = 0.964 \pm 0.019 \pm 0.007$$

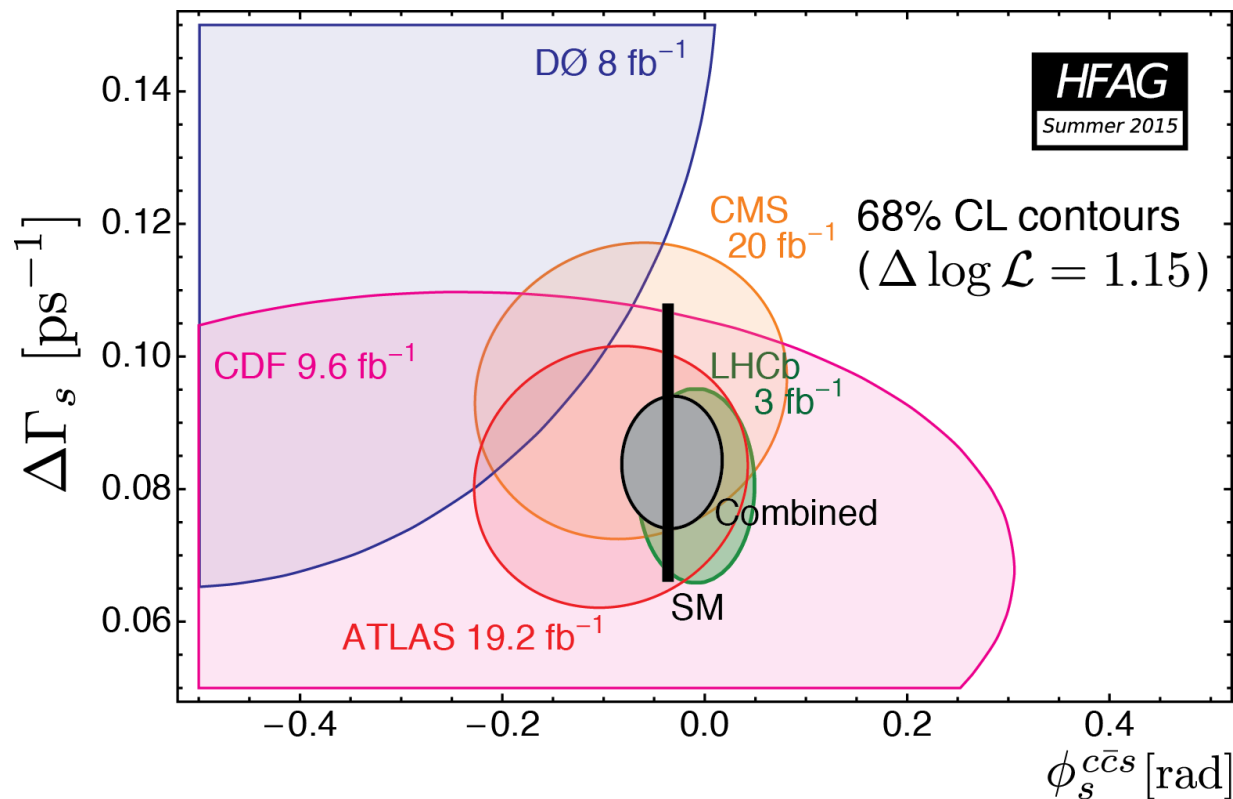
$$\Gamma_s = 0.6603 \pm 0.0027 \pm 0.0015 \text{ ps}^{-1}$$

$$\Delta\Gamma_s = 0.0805 \pm 0.0091 \pm 0.0032 \text{ ps}^{-1}$$

Migliore misura al mondo ancora dominata dall'errore statistico

Fase di miscelamento del mesone B_s^0

- Combinazione delle analisi $B_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$, $B_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ e $B_s \rightarrow D_s D_s$:
 - Solo LHCb: $\phi_s = -10 \pm 39$ mrad
 - Media mondiale: $\phi_s = -34 \pm 33$ mrad, $\Delta\Gamma_s = 0.082 \pm 0.006$ ps⁻¹
 - Media mondiale dominata da LHCb ma contributi anche dagli altri esperimenti LHC
 - Previsione del MS: $\phi_s = -37.5 \pm 1.5$ mrad

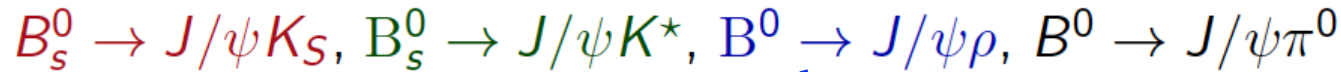


Contaminazione dei diagrammi a pinguino nelle transizioni $b \rightarrow c\bar{c}s$

- Il contributo dei diagrammi “a pinguino” nelle transizioni $b \rightarrow c\bar{c}s$ è piccolo
- Utilizzare la simmetria SU(3) per vincolarne l'effetto

$$|A(b \rightarrow c\bar{c}s)|^2 = \left| \text{tree} + \epsilon \text{penguin} + \dots \right|^2$$

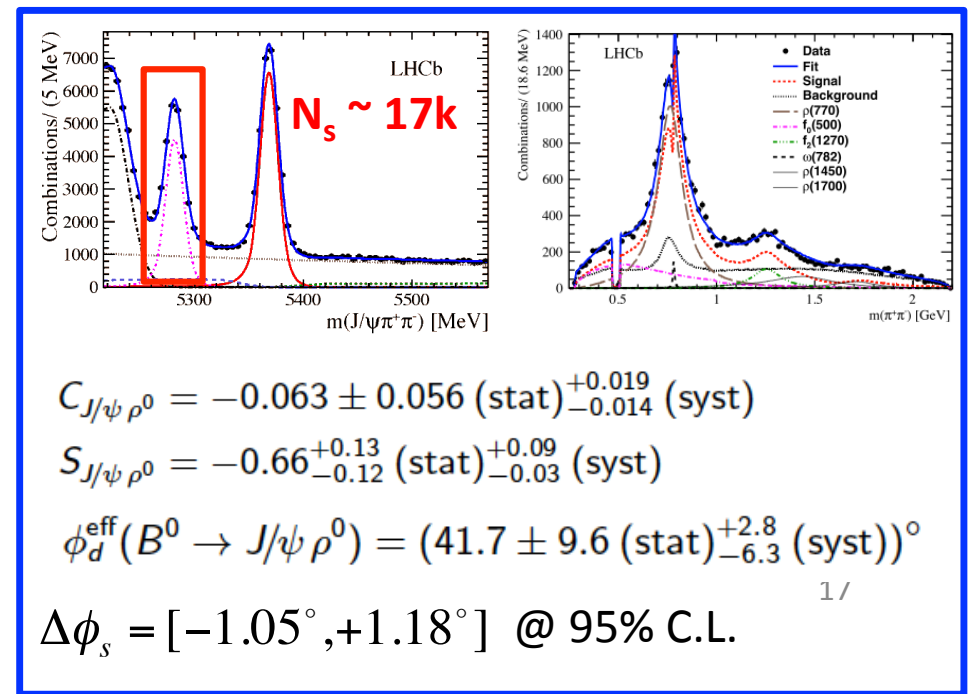
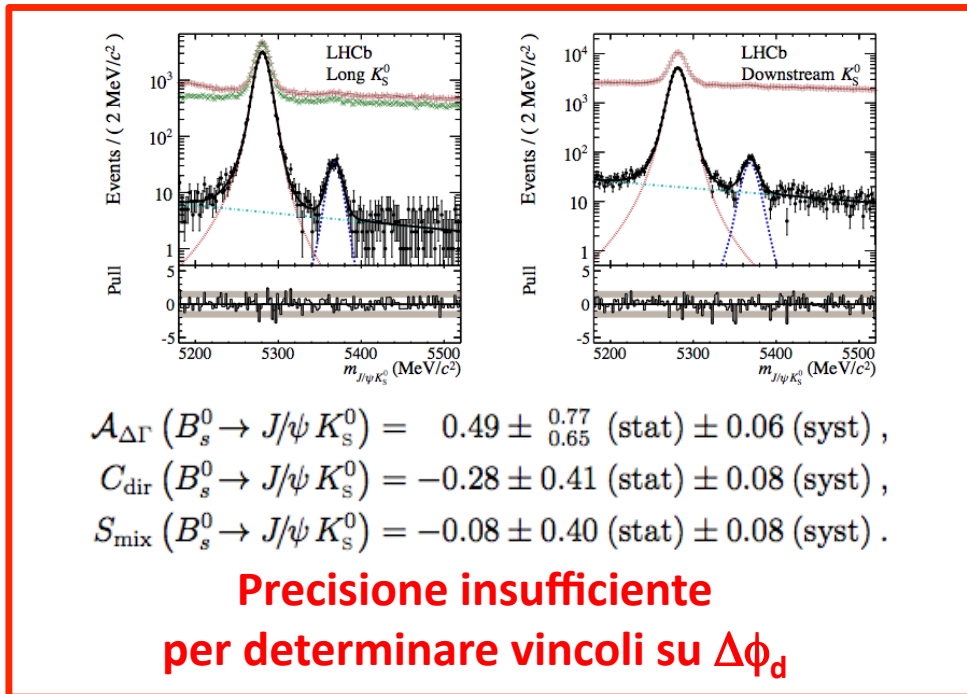
– ad esempio: R. Fleischer, Eur. Phys. J. C 10, 299 (1999), $\phi_{d,s}^{eff} = \phi_{d,s} + \Delta\phi_{d,s}$
 De Bruyn e Fleischer JHEP 1503 (2015) 145



JHEP 06 (2015) 131

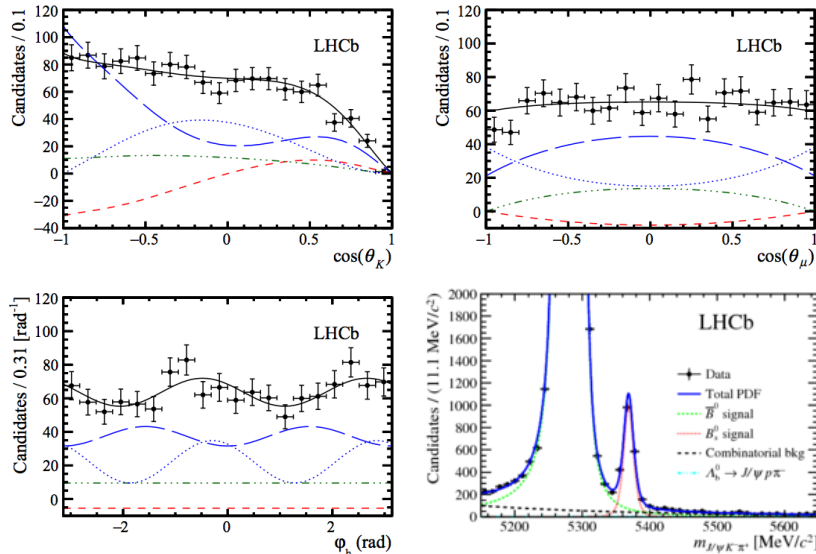
$\mathcal{L} = 3\text{fb}^{-1}$

Phys. Lett. B742 (2015) 38 $\mathcal{L} = 3\text{fb}^{-1}$



Analisi del decadimento $B_s \rightarrow J/\psi K^*$

LHCb-PAPER-2015-034 $\mathcal{L} = 3\text{fb}^{-1}$



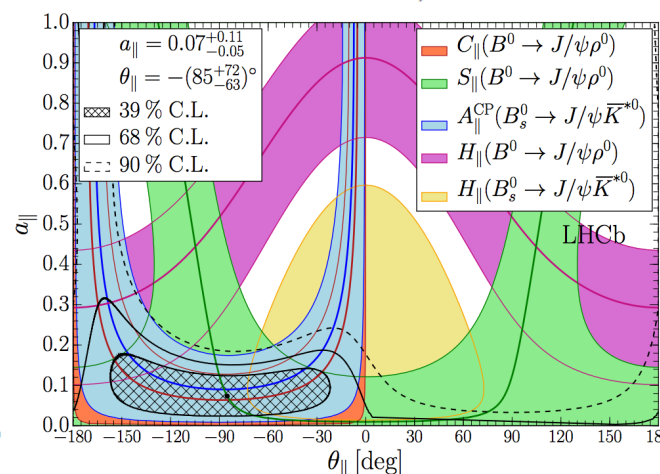
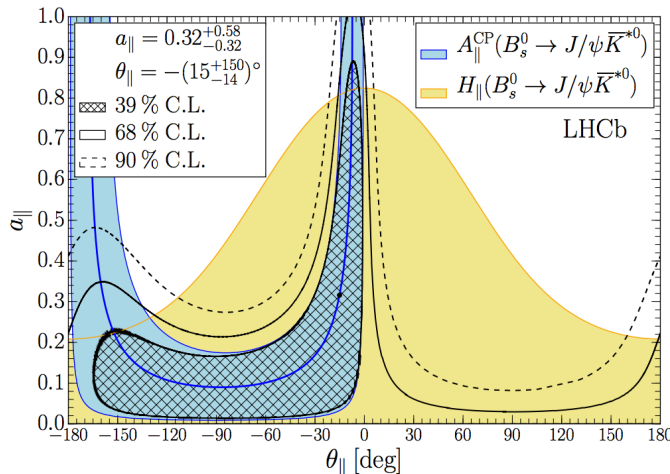
$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}) = (4.17 \pm 0.18(\text{stat}) \pm 0.26(\text{syst}) \pm 0.24(f_d/f_s)) \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} f_0 &= 0.497 \pm 0.025 (\text{stat}) \pm 0.025 (\text{syst}) \\ f_{\parallel} &= 0.179 \pm 0.027 (\text{stat}) \pm 0.013 (\text{syst}) \\ A_0^{CP}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}) &= -0.048 \pm 0.057 (\text{stat}) \pm 0.020 (\text{syst}) \\ A_{\parallel}^{CP}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}) &= 0.171 \pm 0.152 (\text{stat}) \pm 0.028 (\text{syst}) \\ A_{\perp}^{CP}(B_s^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}) &= -0.049 \pm 0.096 (\text{stat}) \pm 0.025 (\text{syst}). \end{aligned}$$

Analisi angolare utilizzata per misurare le asimmetrie di CP e le frazioni di polarizzazione

Includendo le misure $B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$

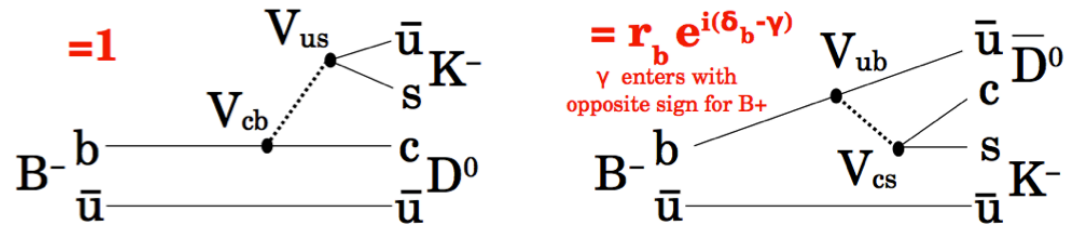
$$\begin{aligned} \Delta\phi_{s,0}^{J/\psi\phi} &= 0.000_{-0.011}^{+0.009} (\text{stat}) \quad +0.004_{-0.009} (\text{syst}) \text{ rad}, \\ \Delta\phi_{s,\parallel}^{J/\psi\phi} &= 0.001_{-0.014}^{+0.010} (\text{stat}) \pm 0.008 (\text{syst}) \text{ rad}, \\ \Delta\phi_{s,\perp}^{J/\psi\phi} &= 0.003_{-0.014}^{+0.010} (\text{stat}) \pm 0.008 (\text{syst}) \text{ rad}. \end{aligned}$$



$\Delta\phi_s < 19 \text{ mrad}$
rispetto a 39 mrad di errore statistico

Misura dell'angolo γ da decadimenti $B^\pm \rightarrow D^0 h^\pm$

- Sfruttare l'interferenza tra le ampiezze delle transizioni $b \rightarrow u$ e $b \rightarrow c$



- determinazione di γ priva di incertezze teoriche

$$\delta\gamma/\gamma = O(10^{-7}) \quad \text{Brod \& Zupan} \\ \text{JHEP 1401 (2014) 051}$$

- Combinazione di diversi decadimenti dei mesoni D^0
 - **Metodo GLW**: decadimenti dei mesoni D^0 in autostati di CP (K^+K^- , $\pi^+\pi^-$,...)
 - **Metodo ADS**: decadimenti dei mesoni D^0 in stati CF e CS ($K\pi$, $K\pi\pi\pi$,...)
 - **Metodo GGSZ**: analisi di Dalitz dei decadimenti $D^0 \rightarrow K_S \pi^+ \pi^-$ e $D^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$

Combinazione di γ 2014

- Estesa serie di misure
 - $B^+ \rightarrow D^0 h^+$, $D^0 \rightarrow hh$, GLW/ADS 1 fb⁻¹ [PLB 712 \(2012\) 203](#); [PLB 713 \(2012\) 351](#)
 - $B^+ \rightarrow D^0 h^+$, $D^0 \rightarrow K\pi\pi\pi$, ADS, 1 fb⁻¹ [PLB 723 \(2013\) 44](#)
 - $B^+ \rightarrow D^0 K^+$, $D^0 \rightarrow K_S hh$, GGSZ, 3 fb⁻¹ [NPB 888 \(2014\) 169](#)
 - $B^+ \rightarrow D^0 K^+$, $D^0 \rightarrow K_S K\pi$, GLW, 3 fb⁻¹ [PLB 733 \(2014\) 36](#)
 - $B^0 \rightarrow D^0 K^{*0}$, $D^0 \rightarrow hh$, GLW/ADS, 3 fb⁻¹ [PRD 90 \(2014\) 112002](#)
 - $B_s \rightarrow D_s K$, misura dipendente dal tempo, 1 fb⁻¹ [JHEP 11 \(2014\) 060](#)
- Due combinazioni

- **Robusta**, escludendo $B \rightarrow D\pi$

$$\gamma = (73_{-10}^{+9})^\circ$$

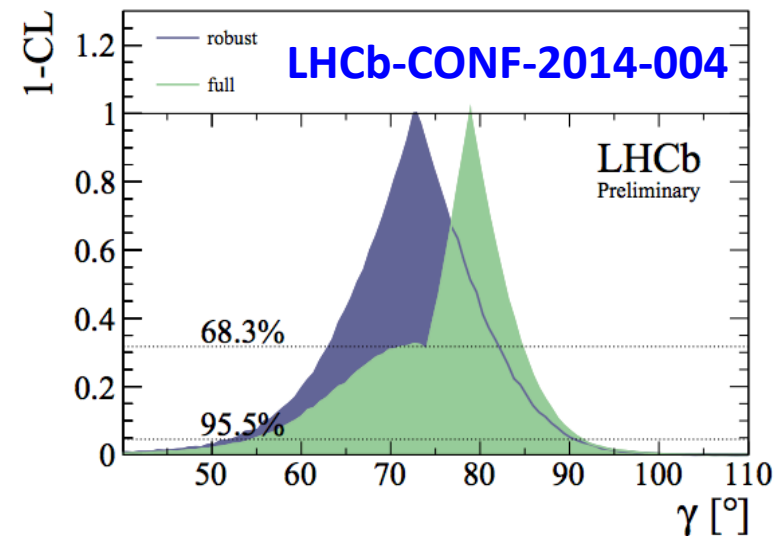
$$\gamma \in [63.0, 82.1]^\circ \quad @68\% \text{ CL}$$

$$\gamma \in [52.0, 90.5]^\circ \quad @95\% \text{ CL}$$

- **Full**, tutti i canali

$$\gamma \in [71.5, 84.7]^\circ \quad @68\% \text{ CL}$$

$$\gamma \in [54.6, 91.4]^\circ \quad @95\% \text{ CL}$$



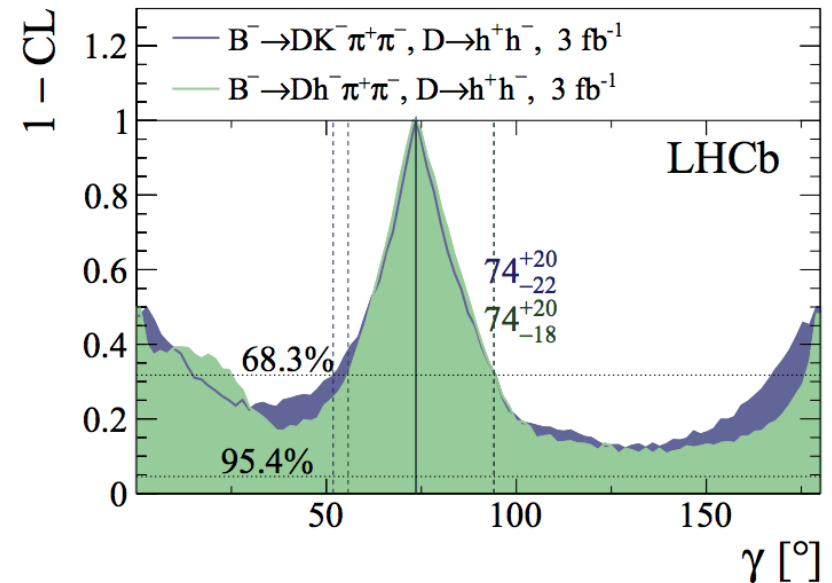
Meglio delle B-Factories

Misure di γ nel 2015

- $B^+ \rightarrow D^0 h^+ \pi^+ \pi^-$, $D^0 \rightarrow h^+ h^-$,
ADS/GLW 3 fb^{-1}

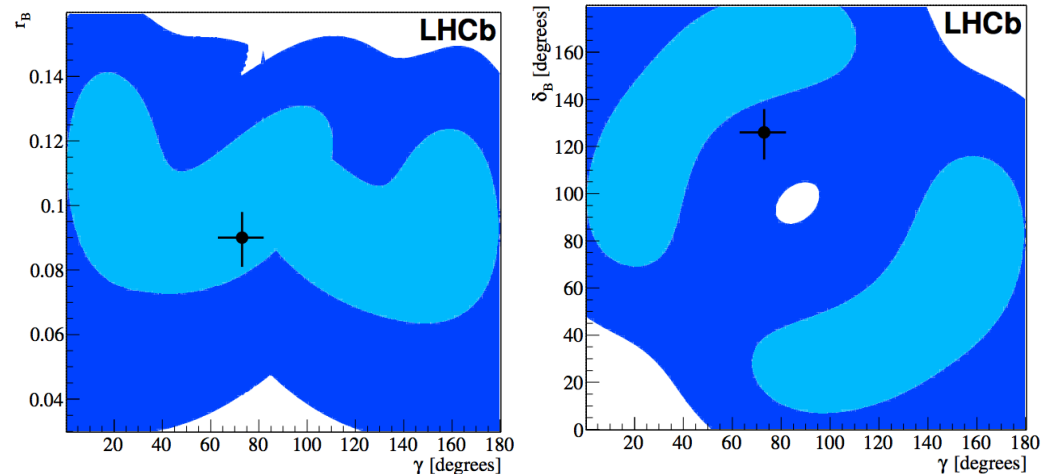
$$\gamma = (74^{+20}_{-18})^\circ$$

LHCb-PAPER-2015-020



- $B^+ \rightarrow D^0 h^+$, $D^0 \rightarrow h^+ h^- \pi^0$,
ADS/qGLW, 3 fb^{-1}
 - quasi-GLW perché $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$
è quasi un autostato
CP-pari:
 $F_+ = 0.968 \pm 0.017$
[PLB 740 (2015) 1]
 - Nessuna sensibilità su γ

PRD 91 (2015) 112014



Decadimenti semileptonici

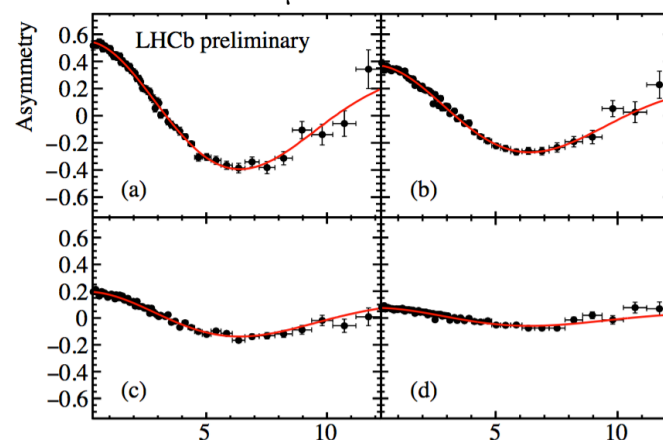
- Decadimenti molto difficili da studiare a LHCb per la presenza di neutrini
- Misura di Δm_d utilizzando decadimenti $B^0 \rightarrow D^{(*)} \mu \nu_\mu X$
 - $D^- \rightarrow K^- \pi^+ \pi^-$
 - $D^{*+} \rightarrow D^0 (K^- \pi^+) \pi^+$
 - Necessario determinare lo stato di sapore iniziale del B
 - $\epsilon_{D^2}(2011) = 2.32\%$, $\epsilon_{D^2}(2012) = 2.55\%$

$$\Delta m_d = (503.6 \pm 2.0(\text{stat.}) \pm 1.3(\text{syst.})) \text{ns}^{-1}$$

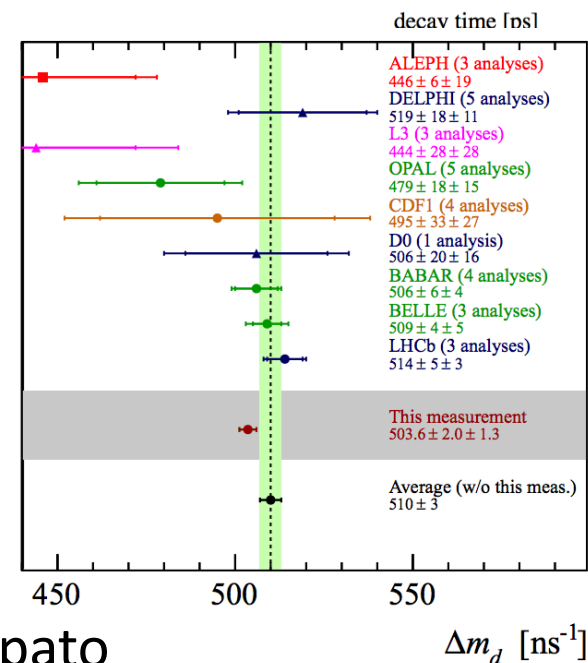
Miglior misura mondiale

- Altre misure da decadimenti semileptonici
 - $|V_{ub}|$ da $\Lambda_b \rightarrow p \mu \nu_\mu$: presentazione di A. Lupato
 - $B \rightarrow D^* \tau \nu_\tau$: presentazione di B. Siddi

$B^0 \rightarrow D^- \mu \nu_\mu X$ dai dati 2012



LHCb-CONF-2015-003



Non solo B

- LHCb può sfruttare un campione di mesoni D senza precedenti

- $\sigma_{c\bar{c}} \sim 20 \times \sigma_{b\bar{b}}$
- $\sim 2\text{kHz}$ del trigger sono dedicati al charm nel Run1

- L'ammontare di violazione di CP nel settore del charm è atteso molto piccolo, ma una predizione teorica precisa è molto difficile

Bianco et al., Riv. Nuovo Cim. 26N7 (2003) 1.
 Grossman et al., PRD 75 (2007) 036008.
 Feldmann et al., JHEP 06 (2012) 007.
 Brod et al., PRD 86 (2012) 014023.

- Alcuni esempi di misure nei decadimenti dei mesoni D utilizzando i dati del Run1

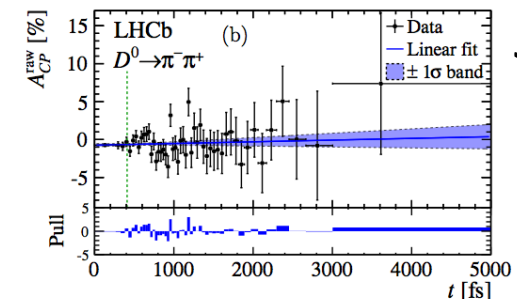
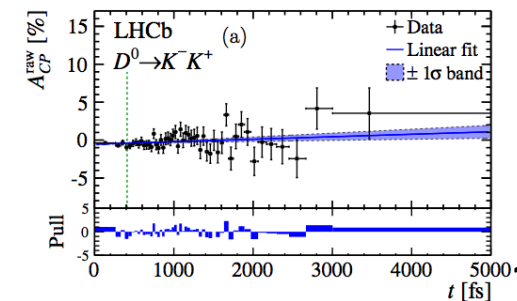
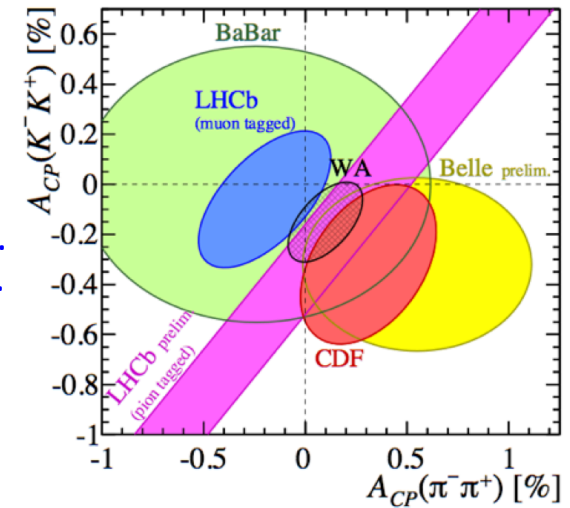
- $\Delta A_{CP} = A_{CP}(D^0 \rightarrow K^+ K^-) - A_{CP}(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$
 - utilizzando due metodi di determinazione del sapore del D: D*-prompt e B→DμνX
 - Ulteriori dettagli nella presentazione di F. Ferrari
- Misura di violazione di CP indiretta
 - A_{Γ} da decadimenti $D^0 \rightarrow K^+ K^-$ e $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

$$A_{RAW}^{CP}(t) \approx A_0 - A_{\Gamma} \frac{t}{\tau}$$

$$A_{\Gamma}(K^- K^+) = (-0.134 \pm 0.077^{+0.026}_{-0.034}) \%$$

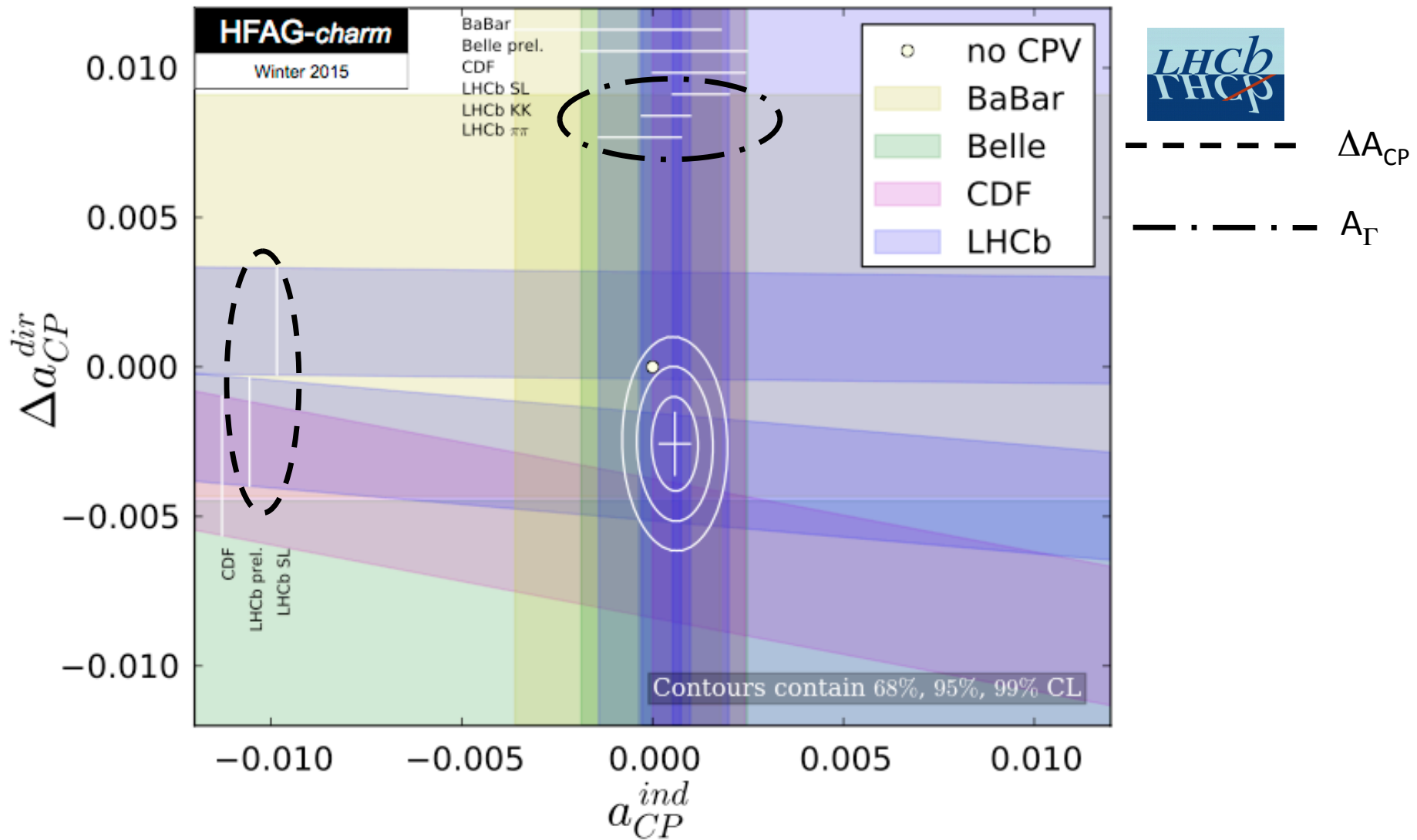
$$A_{\Gamma}(\pi^- \pi^+) = (-0.092 \pm 0.145^{+0.025}_{-0.033}) \%$$

3 fb⁻¹ B→DμνX: JHEP 07 (2014) 041
 1 fb⁻¹ D*-prompt: LHCb-CONF-2013-003



JHEP 04 (2015) 043

Violazione di CP diretta e indiretta

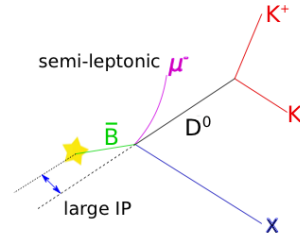


I dati sono consistenti con l'assenza di CPV al 1.8% CL

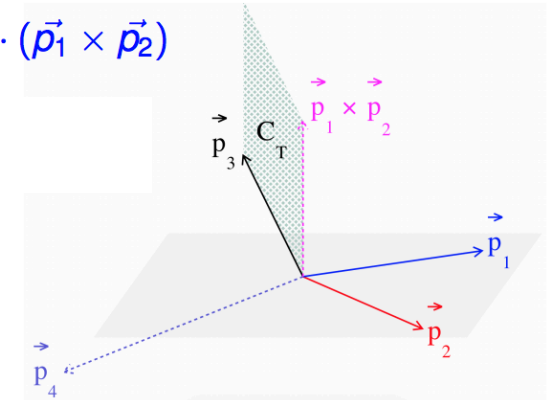
Ricerca di violazione di CP attraverso osservabili

T-dispari nei decadimenti $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^-$

- Metodo complementare di ricerca di violazione di CP



$$C_T = \vec{p}_3 \cdot (\vec{p}_1 \times \vec{p}_2)$$



$$A_{CP} \propto \sin(\delta_1 - \delta_2) \sin(\phi_1 - \phi_2)$$

$$= \sin \Delta\delta \sin \Delta\phi : \text{interferenza tra le ampiezze}$$

$$a_{CP}^{T\text{-odd}} \propto \cos(\delta_s - \delta_p) \sin(\phi_s - \phi_p)$$

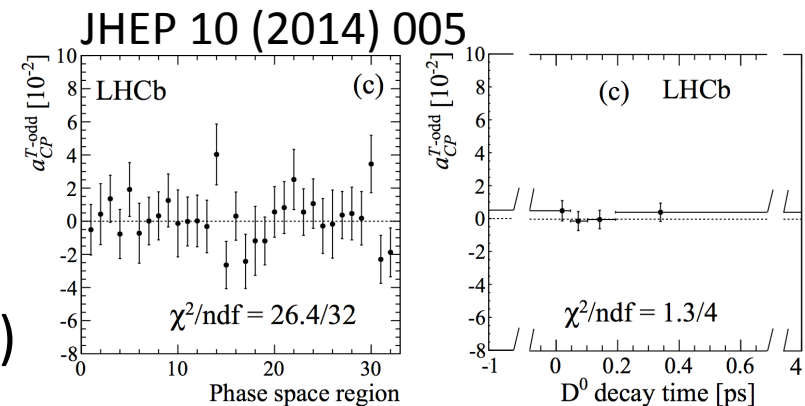
$$= \cos \Delta\delta \sin \Delta\phi : \text{interferenza tra diverse onde parziali}$$

$$A_T = \frac{\Gamma(C_T > 0) - \Gamma(C_T < 0)}{\Gamma(C_T > 0) + \Gamma(C_T < 0)}$$

$$\bar{A}_T = \frac{\Gamma(-C_T > 0) - \Gamma(-C_T < 0)}{\Gamma(-C_T > 0) + \Gamma(-C_T < 0)}$$

$$a_{CP}^{T\text{-odd}} = \frac{1}{2}(A_T - \bar{A}_T)$$

- 3 misure differenti
 - integrata nello spazio delle fasi
 - in 32 intervalli di spazio delle fasi
 - Cabibbo-Maksimowicz Phys. Rev. 137 (1965) B438
 - in intervalli di tempo proprio del D^0 (sensibile a violazione di CP indiretta)



Nessuna evidenza di violazione di CP

Decadimenti rari

$B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ e $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

- Test fondamentale per la validità del MS
- Decadimenti estremamente soppressi nel MS (10^{-9} - 10^{-10})

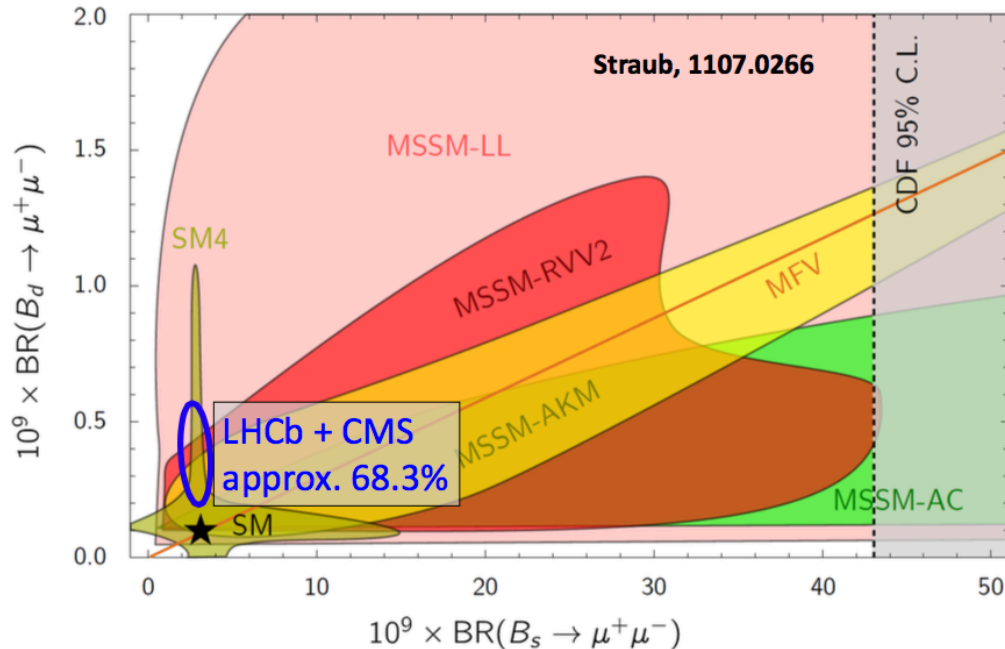
– Predizioni teoriche molto precise

$$B(B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SM} = (3.66 \pm 0.23) \times 10^{-9}$$

$$B(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-)_{SM} = (1.06 \pm 0.09) \times 10^{-10}$$

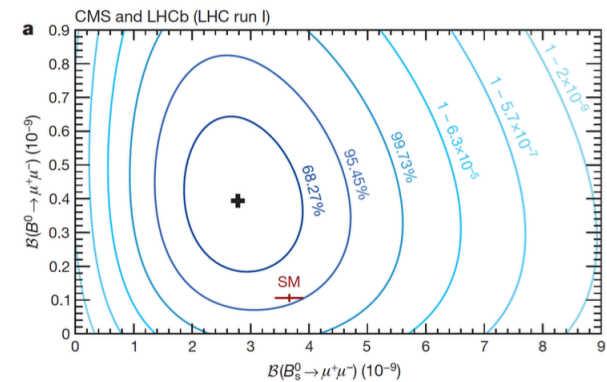
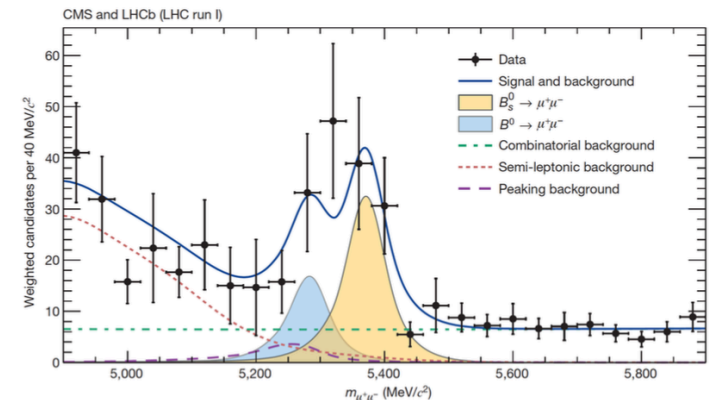
PRL 112 (2014) 101801

- Sensibili a diversi modelli di Nuova Fisica



Nature 522 (2015) 68

Combinazione Run1 LHCb + CMS

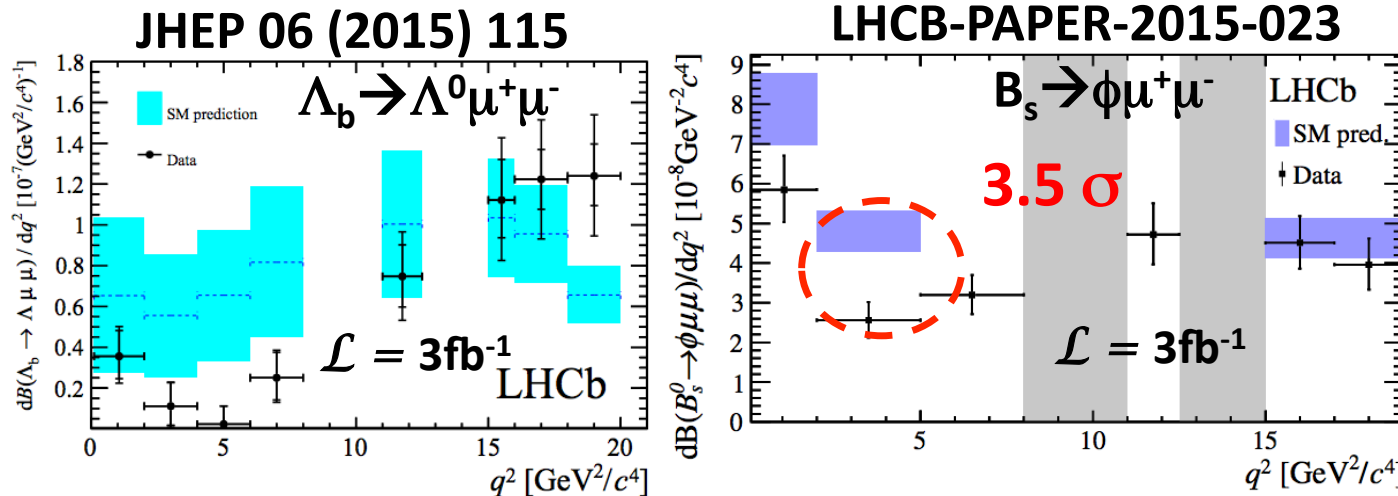
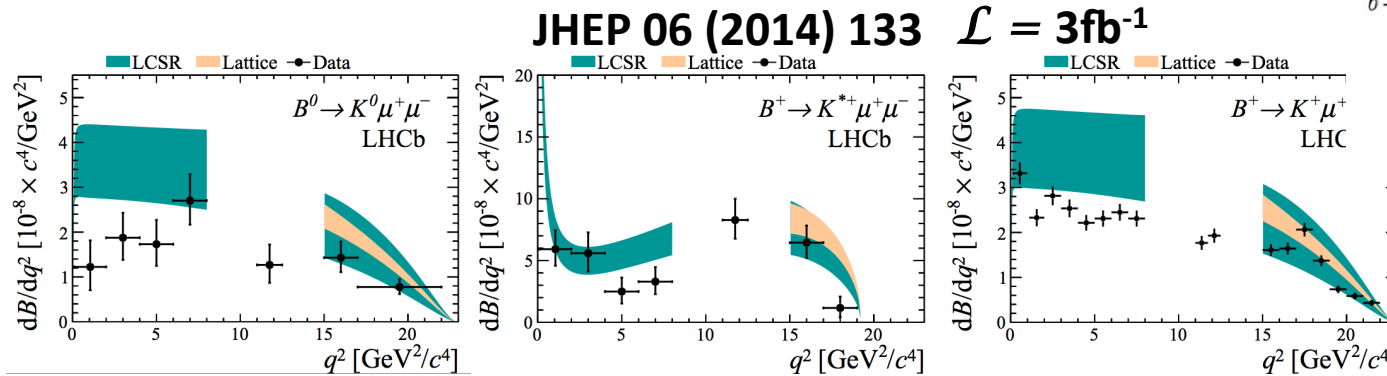
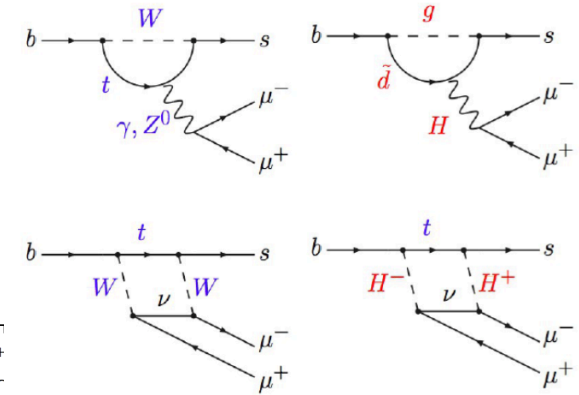


$$B(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (2.8_{-0.6}^{+0.7}) \times 10^{-9}$$

$$B(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.9_{-1.4}^{+1.6}) \times 10^{-10}$$

Decadimenti $B \rightarrow XI^+I^-$

- Decadimenti governati da processi al secondo ordine nel MS
 - FCNC proibite nei diagrammi ad albero
 - Sensibili ad effetti di Nuova Fisica

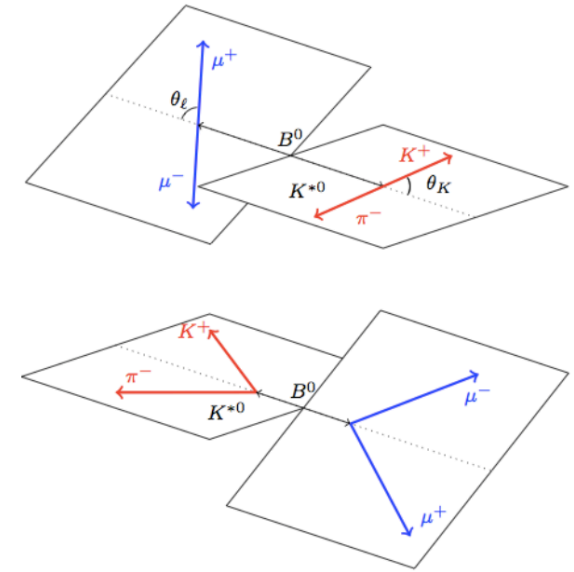


I rapporti di diramazione differenziali tendono a stare al disotto delle previsioni teoriche a bassi q^2

Analisi angolare dei decadimenti $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$

- Tramite l'analisi angolare del decadimento $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ si possono determinare i cosiddetti coefficienti P'_i

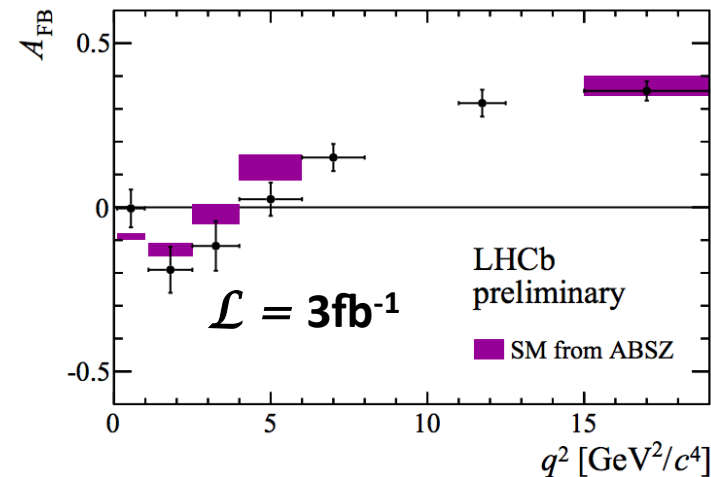
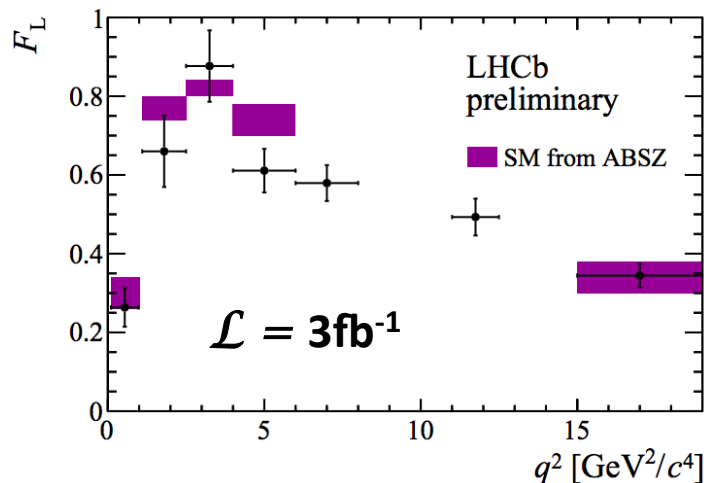
- sono funzioni dei coefficienti di Wilson e dei fattori di forma
- caratterizzati da ridotto errore teorico



$$\frac{1}{d(\Gamma + \bar{\Gamma})/dq^2} \frac{d^3(\Gamma + \bar{\Gamma})}{d\Omega} \Big|_P = \frac{9}{32\pi} \left[\frac{3}{4}(1 - F_L) \sin^2 \theta_K + F_L \cos^2 \theta_K \right. \\ \left. + \frac{1}{4}(1 - F_L) \sin^2 \theta_K \cos 2\theta_l \right. \\ \left. - F_L \cos^2 \theta_K \cos 2\theta_l + S_3 \sin^2 \theta_K \sin^2 \theta_l \cos 2\phi \right. \\ \left. + S_4 \sin 2\theta_K \sin 2\theta_l \cos \phi + S_5 \sin 2\theta_K \sin \theta_l \cos \phi \right. \\ \left. + \frac{4}{3} A_{FB} \sin^2 \theta_K \cos \theta_l + S_7 \sin 2\theta_K \sin \theta_l \sin \phi \right. \\ \left. + S_8 \sin 2\theta_K \sin 2\theta_l \sin \phi + S_9 \sin^2 \theta_K \sin^2 \theta_l \sin 2\phi \right]$$

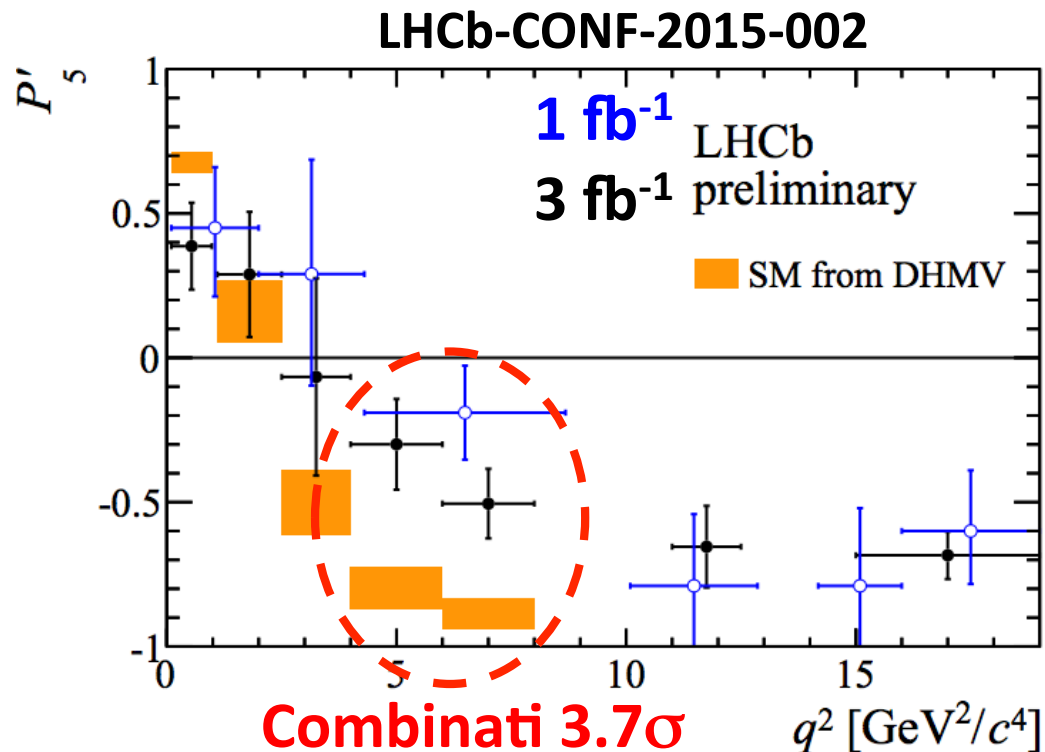
$$P'_i = \frac{S_i}{\sqrt{F_L(1 - F_L)}}$$

LHCb-CONF-2015-002



Analisi angolare dei decadimenti $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$

- La precedente misura di LHCb basata su 1 fb^{-1} mostrava in un particolare intervallo di q^2 una deviazione di 3.7σ rispetto al MS nell'osservabile P'_5
- L'analisi sul campione totale conferma la discrepanza a 3.7σ nella stessa regione di q^2

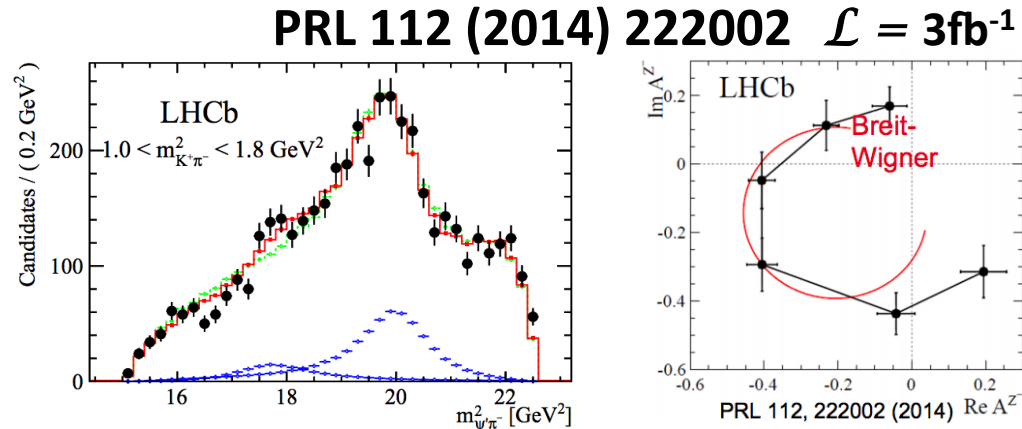
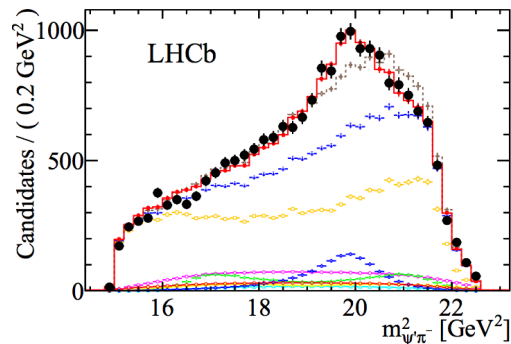
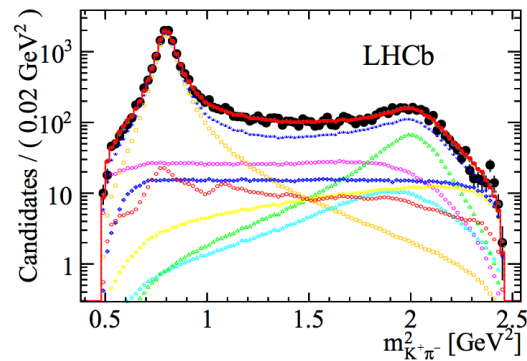


P'_5 è sensibile ad effetti di Nuova Fisica nelle correnti VV e VA (coefficiente di Wilson C_9)

Stati esotici (tetra- e penta-quark)

Tetraquark

- Diverse osservazioni di stati contenenti quark c e b e compatibili con tetraquark sono state ottenute da vari esperimenti
 - stati non compatibili con il modello a quark convenzionale
 - esempio: evidenza di tetraquark Z(4430) da Belle nel 2007
 - evidenza confermata da LHCb nel 2014

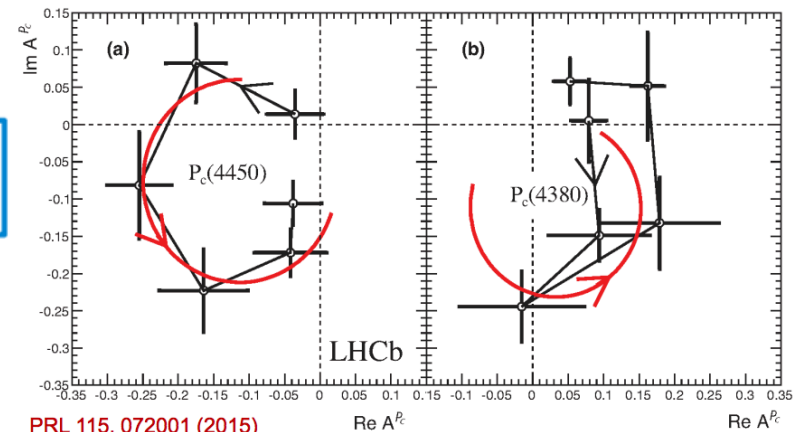
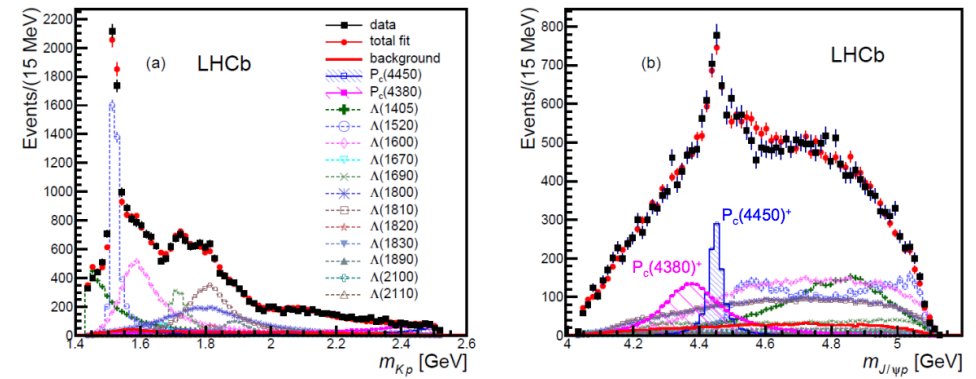


Segnale estratto tramite un'analisi delle ampiezze parziali del decadimento $B^0 \rightarrow \psi(2S)K\pi$

Pentaquark

- Due stati compatibili con pentaquark P_c^+ osservati nell'analisi delle ampiezze del decadimento $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^-$
 - modello con 14 risonanze Λ^* e 2 stati P_c^+
- L'adattamento migliore ai dati restituisce due stati P_c^+ con parità opposte
 - $J^P = (3/2^-, 5/2^+)$
 - anche $(3/2^+, 5/2^-)$ e $(5/2^+, 3/2^-)$ sono possibili

PRL 115 (2015) 072001 $\mathcal{L} = 3\text{fb}^{-1}$



$P_c^+(4380)$: $M = 4380 \pm 8 \pm 29$ MeV, $\Gamma = 205 \pm 18 \pm 86$ MeV
 $P_c^+(4450)$: $M = 4449.8 \pm 1.7 \pm 2.5$ MeV, $\Gamma = 39 \pm 5 \pm 19$ MeV

PRL 115, 072001 (2015)

Fisica elettrodebole e QCD nella regione in avanti

Sommario di fisica EW e QCD

- Principalmente sezioni d'urto

- $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ a 7 e 8 TeV

[JHEP 02 \(2013\) 106](#) [JHEP 05 \(2015\) 109](#)

- $Z^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ e $W \rightarrow \mu\nu$ a 7 TeV

[arXiv:1505.07024](#)

- Z^0 in collisioni pPb

[JHEP 09 \(2014\) 030](#)

- $Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$

[JHEP 01 \(2013\) 111](#)

- Limiti sulla produzione di Higgs nella regione in avanti

[JHEP 05 \(2013\) 132](#)

- Z^0 +jet, Z^0 +b-jet e Z^0 +D

[JHEP 01 \(2014\) 033](#) [JHEP 01 \(2015\) 064](#)

[JHEP 04 \(2014\) 091](#)

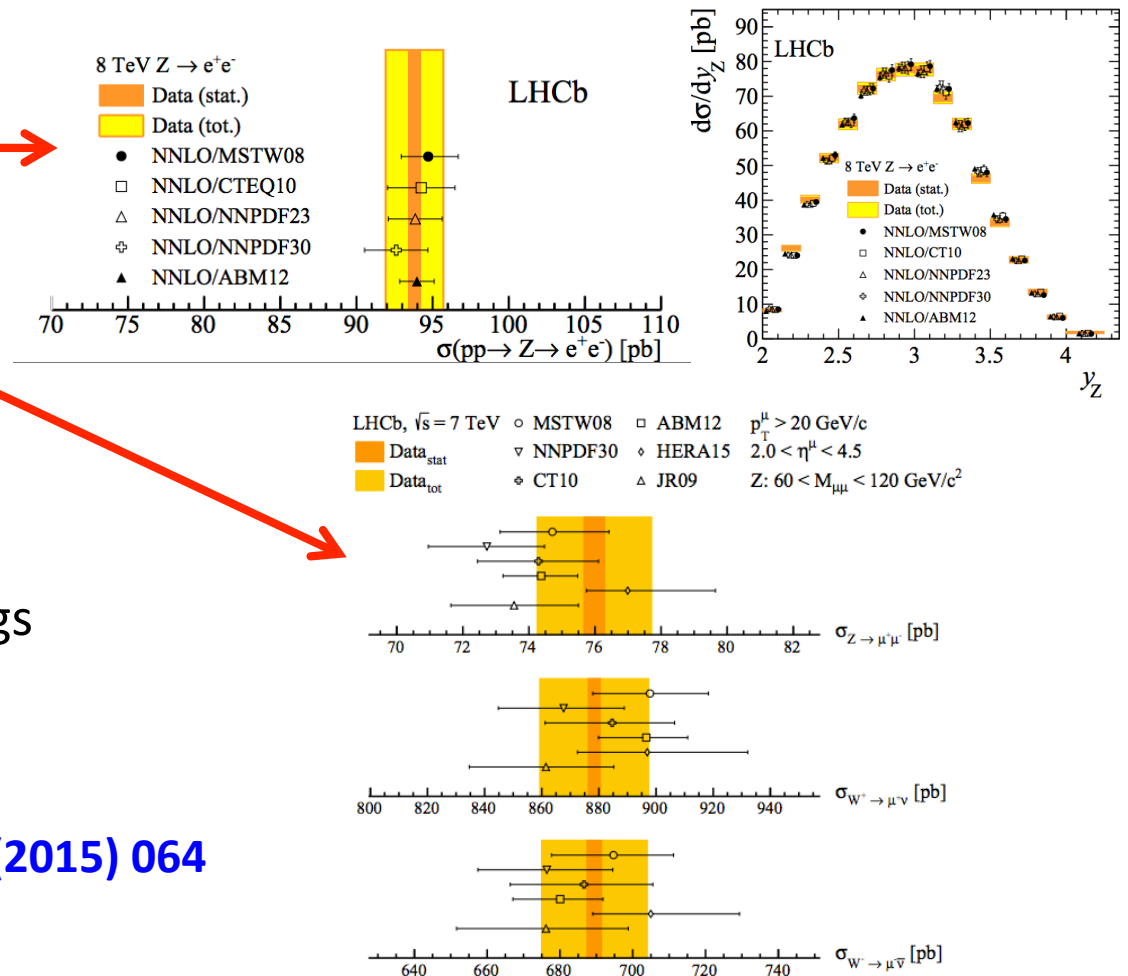
- Ulteriori misure nella presentazione di L. Sestini ed E. Michielin

- Produzione di W+b/c-jet in rapporto a Z^0 +jet e W+jet

[arXiv:1505.04051](#)

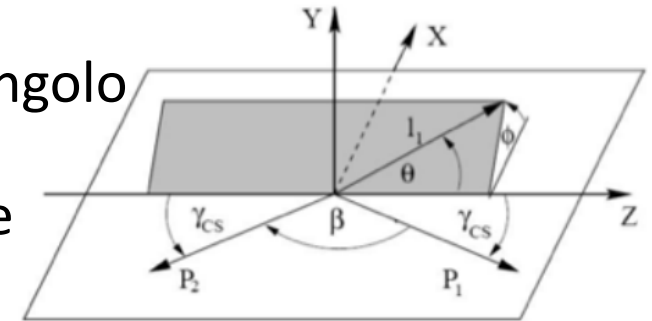
- Prima osservazione di produzione del top nella regione in avanti

[arXiv:1506.00903](#)



Misura di A_{FB} e $\sin(\theta_W)$ nei decadimenti $Z/\gamma^* \rightarrow \mu^+\mu^-$

- Nel MS l'accoppiamento del Z con fermioni destrorsi e sinistrorsi è diversa
 - introduce differenze nelle distribuzioni dell'angolo polare di μ^+/μ^- nei decadimenti $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$
 - la sezione d'urto differenziale al primo ordine

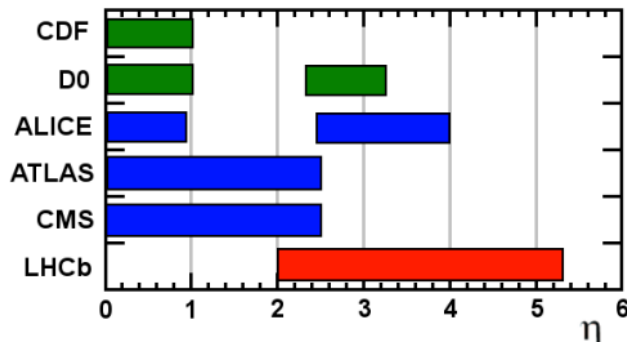


$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta^*} = A(1 + \cos^2\theta^*) + B\cos\theta^*$$

- θ^* = angolo polare del μ^+ nel sistemadi riferimento Collins-Soper [Phys. Rev. D 16 2219]

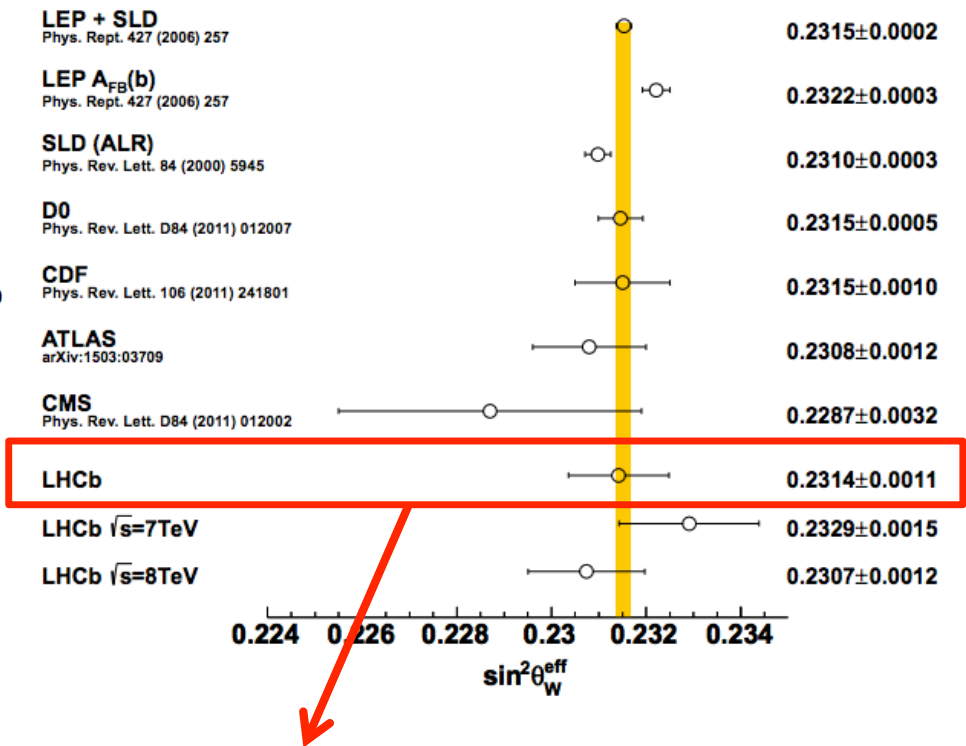
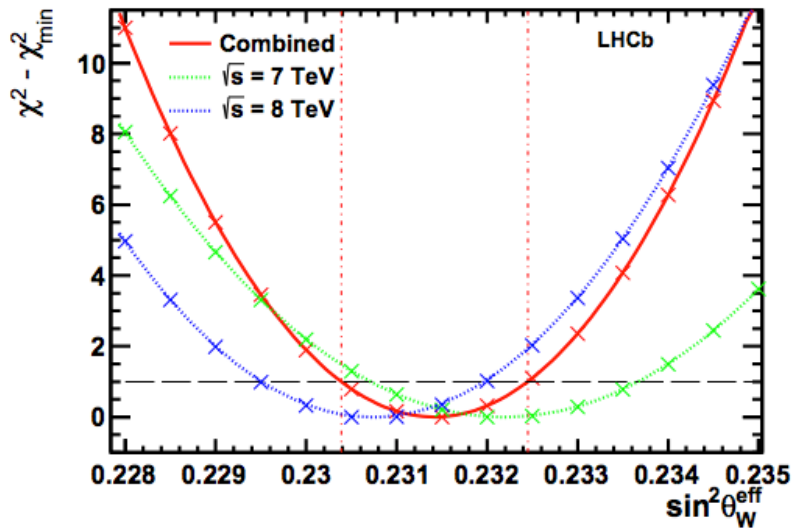
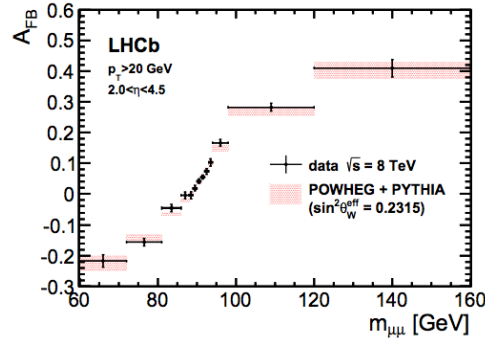
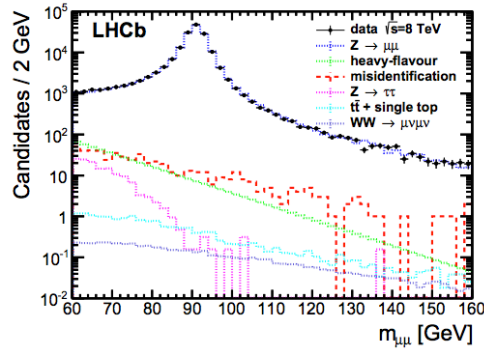
F: $\cos\theta^* > 0$
B: $\cos\theta^* < 0$

$$A_{FB} \equiv \frac{N_F - N_B}{N_F + N_B} \rightarrow \text{Dipende da } \sin(\theta_W)$$



La determinazione di $\sin(\theta_W)$ da A_{FB} è affetta da fattori di diluizione che nella regione in avanti sono ridotti

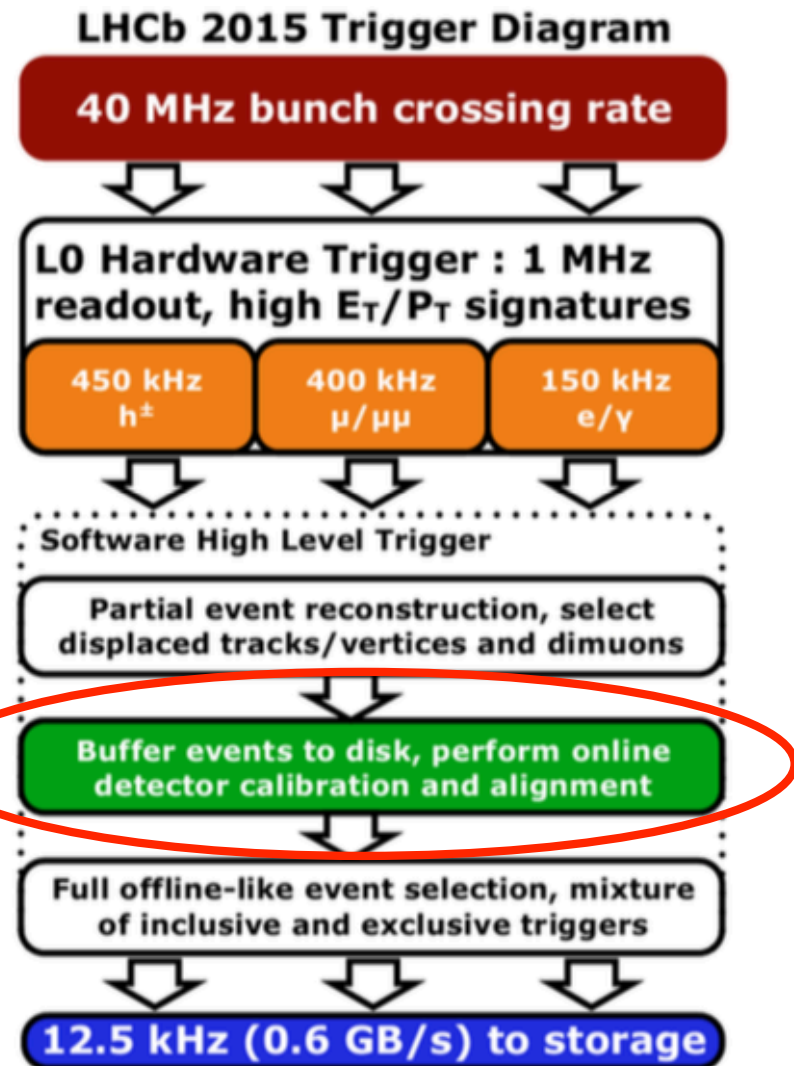
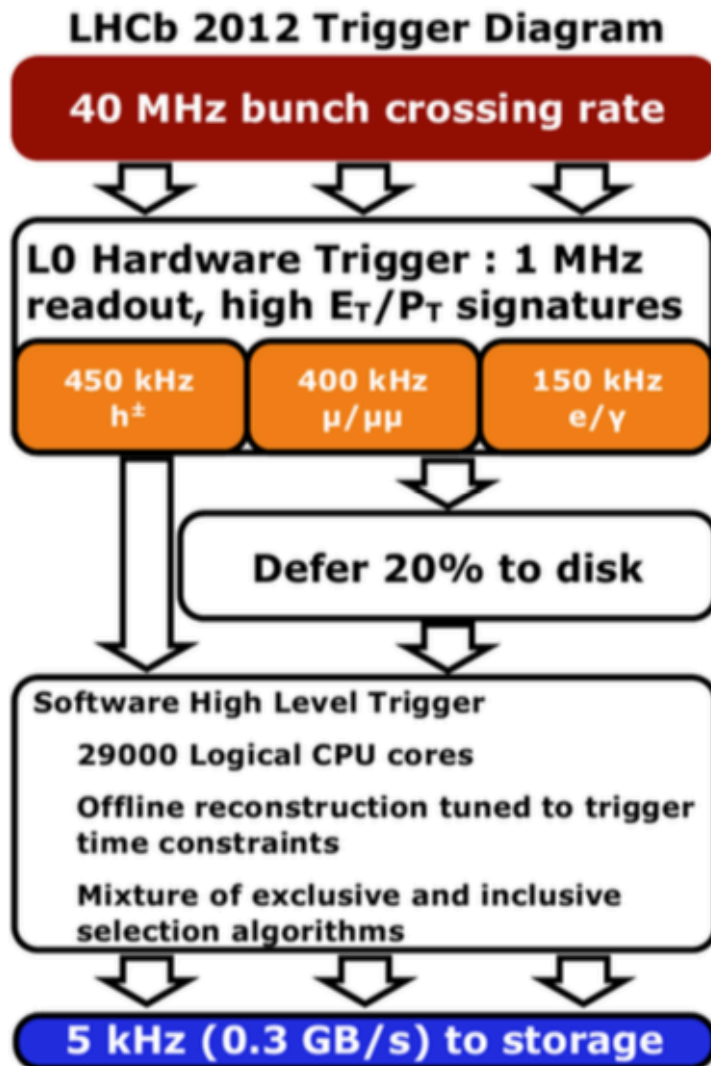
Misura di A_{FB} e $\sin(\theta_W)$ nei decadimenti $Z/\gamma^* \rightarrow \mu^+\mu^-$



Miglior misura di $\sin(\theta_W)$ a LHC

Primi risultati dal Run2

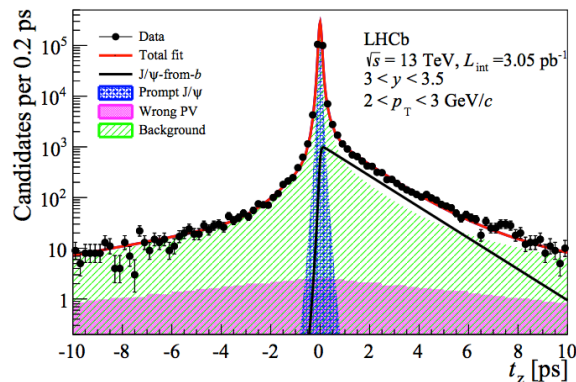
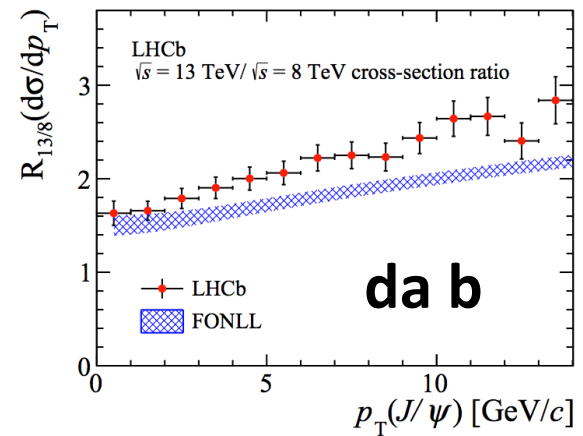
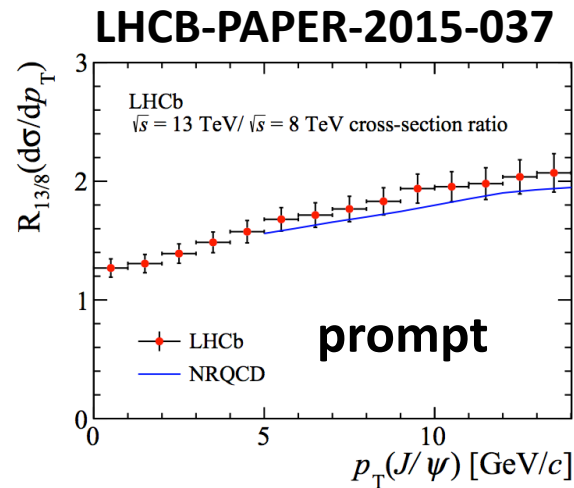
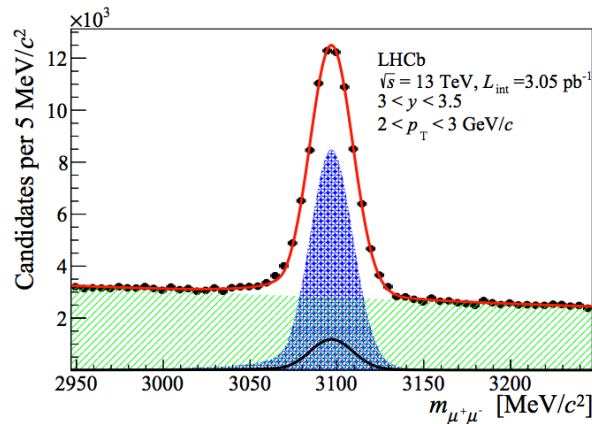
Il nuovo trigger di LHCb



- 2.5 kHz (Turbo) vengono dirottati direttamente all'analisi
- no processamento "offline"
- utilizzo dei candidati ricostruiti nel trigger

Sezione d'urto J/ψ a 13 TeV

- Utilizzati $\sim 1\text{M}$ di decadimenti $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ ricostruiti in 3 pb^{-1}
 - $p_T < 14 \text{ GeV}/c$; $2 < y < 4.5$
- Dati non processati “offline”
 - direttamente ottenuti dal trigger (Turbo)
- Misurate le sezioni d'urto a 13 TeV sia “prompt” che “da b”



$$\sigma_{J/\psi} (\text{LHCb}) = 15.35 \pm 0.03 \pm 0.85 \mu\text{b}$$

$$\sigma_{J/\psi/b} (\text{LHCb}) = 2.36 \pm 0.01 \pm 0.13 \mu\text{b}$$

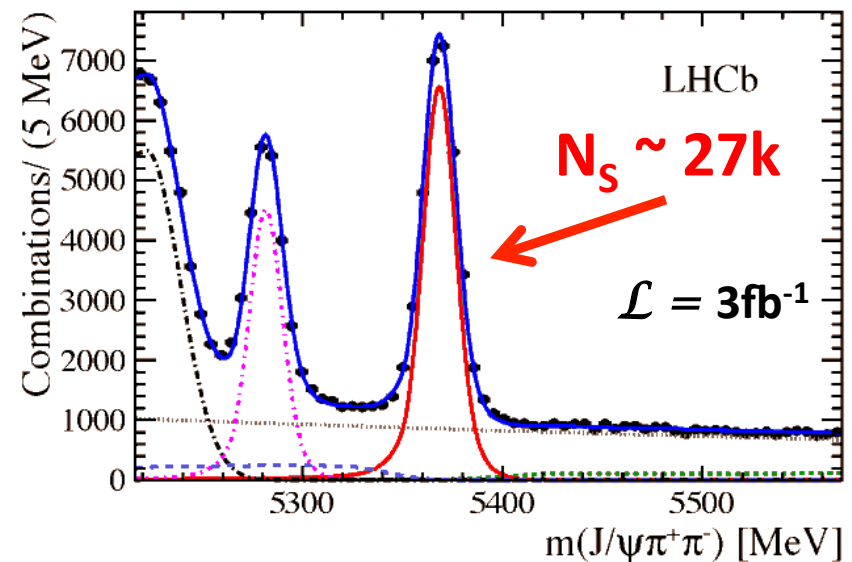
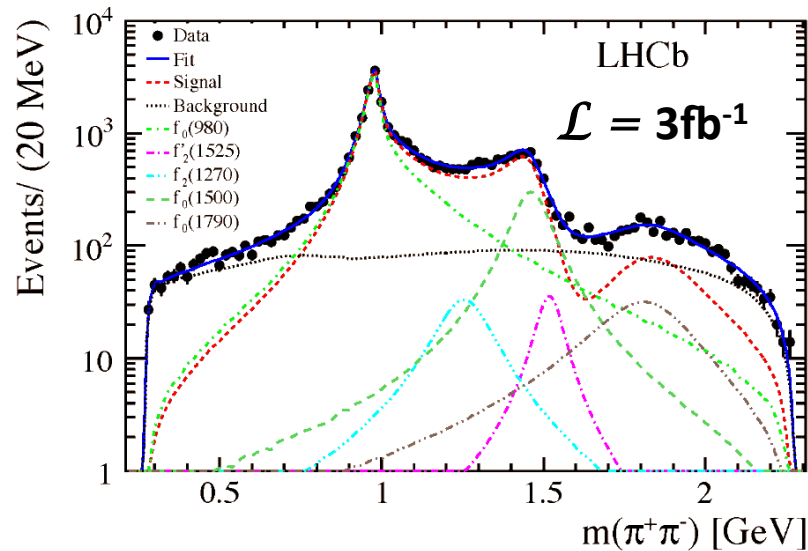
Sommario e conclusioni

- Utilizzando i dati raccolti durante il Run1 di LHC, LHCb ha prodotto una vasta serie di misure
 - matrice CKM e violazione di CP
 - nessuna discrepanza (ancora) rispetto al MS
 - decadimenti rari
 - possibili discrepanze rispetto al MS nei decadimenti $B \rightarrow XI^+I^-$
 - Osservazione di stati esotici: tetra- e penta-quark
 - Non solo fisica del sapore
 - svariate misure di fisica elettrodebole e QCD nella regione in avanti, peculiare per LHCb
 - I dati raccolti nel Run1 non sono ancora utilizzati fino in fondo
- L'inizio del Run2 è stato un successo:
 - Nuovo sistema di trigger e di calibrazione “online” del rivelatore
 - Già prodotti i primi risultati a 13 TeV
- Gli studi per l'upgrade dopo LS2 sono a buon punto
 - Maggiori dettagli nelle presentazioni di V. Cogoni e M. Fiorini

Diapositive di riserva

Fase di miscelamento nei decadimenti $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

PRD 89 (2014) 092006



- Analisi delle componenti nello spettro $\pi^+ \pi^-$ per determinare la composizione in autostati di CP dello stato finale
 - Misura basata su 3 fb^{-1}
 - 5 contributi: $f_0(980)$, $f_0(1500)$, $f_0(1790)$, $f_2(1270)$, $f_2(1525)$
 - Contributo della componente CP dispari $> 97.7\%$

Fase di miscelamento nei decadimenti $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$

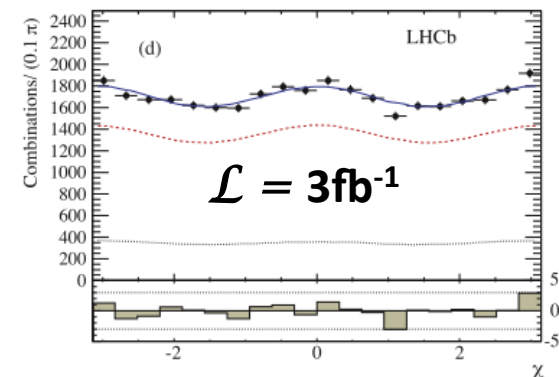
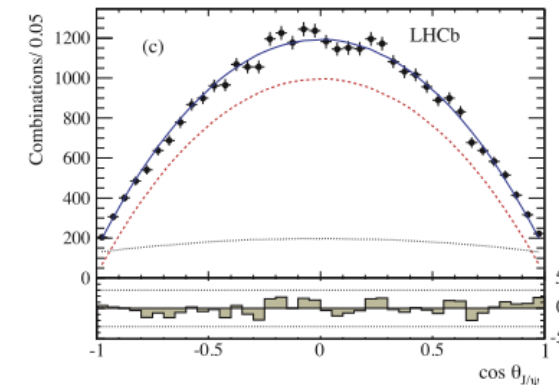
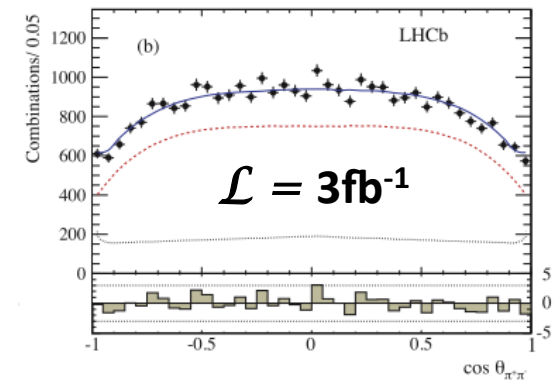
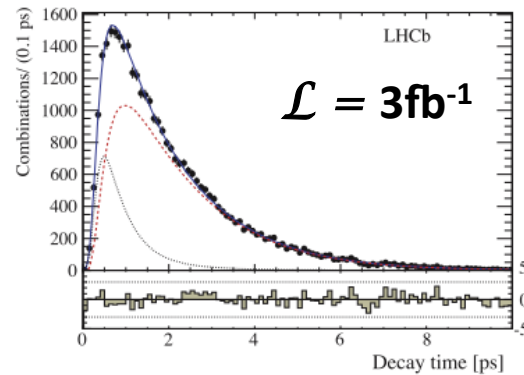
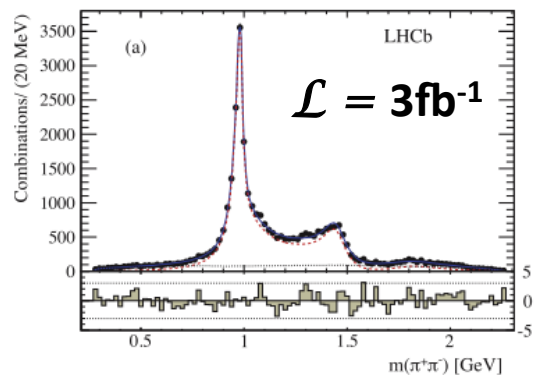
- La fase di miscelamento è determinata tramite un adattamento di massima verossimiglianza in 6 dimensioni:

- massa $J/\psi \pi^+ \pi^-$, massa $\pi^+ \pi^-$,
3 angoli di elicità e tempo proprio

$$\phi_s = 70 \pm 68 \pm 8 \text{ mrad}$$

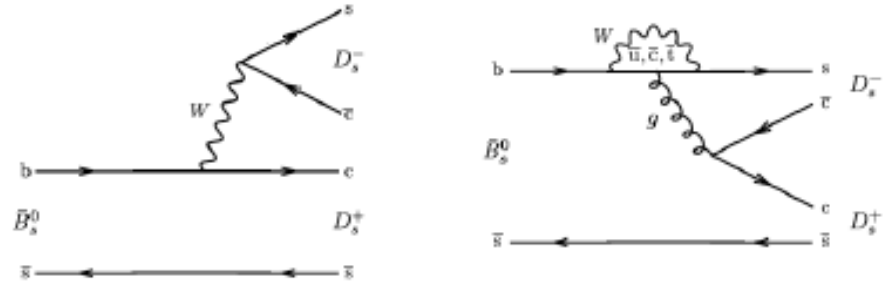
$$|\lambda| = 0.89 \pm 0.05 \pm 0.01$$

Compatibile con la misura da $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$



Fase di miscelamento nei decadimenti $B_s^0 \rightarrow D_s^+ D_s^-$

- Interessante per misurare ϕ_s in transizioni $b \rightarrow c\bar{c}s$ ma con un diverso contributo dai diagrammi “a pinguino”
- Lo stato finale $D_s^+ D_s^-$ è uno stato completamente CP-pari
 - non c'è necessità di analisi angolare

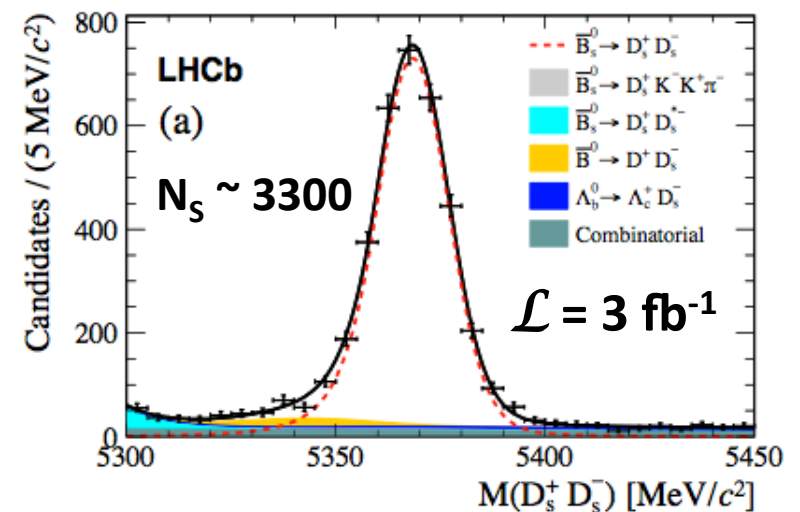


- Mesoni D_s^+ ricostruiti in 3 stati finali:
 - $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$, $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$, $D_s^+ \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+$

$$\phi_s = 20 \pm 170 \pm 0.02 \text{ mrad}$$

$$|\lambda| = 0.91_{-0.15}^{+0.18} \pm 0.02$$

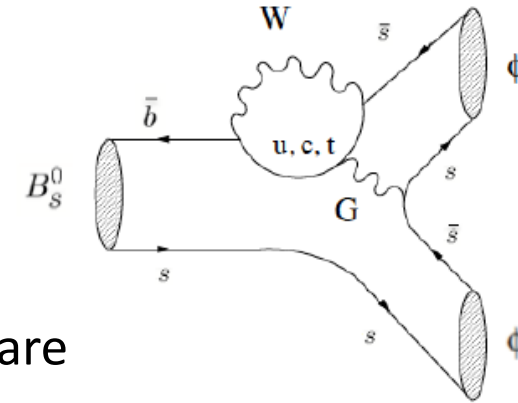
Phys. Rev. Lett. 113, 211801 (2014)



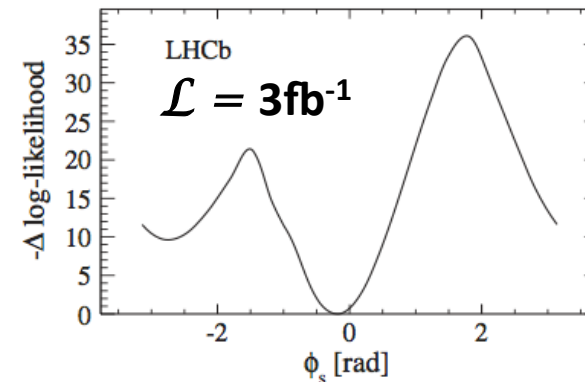
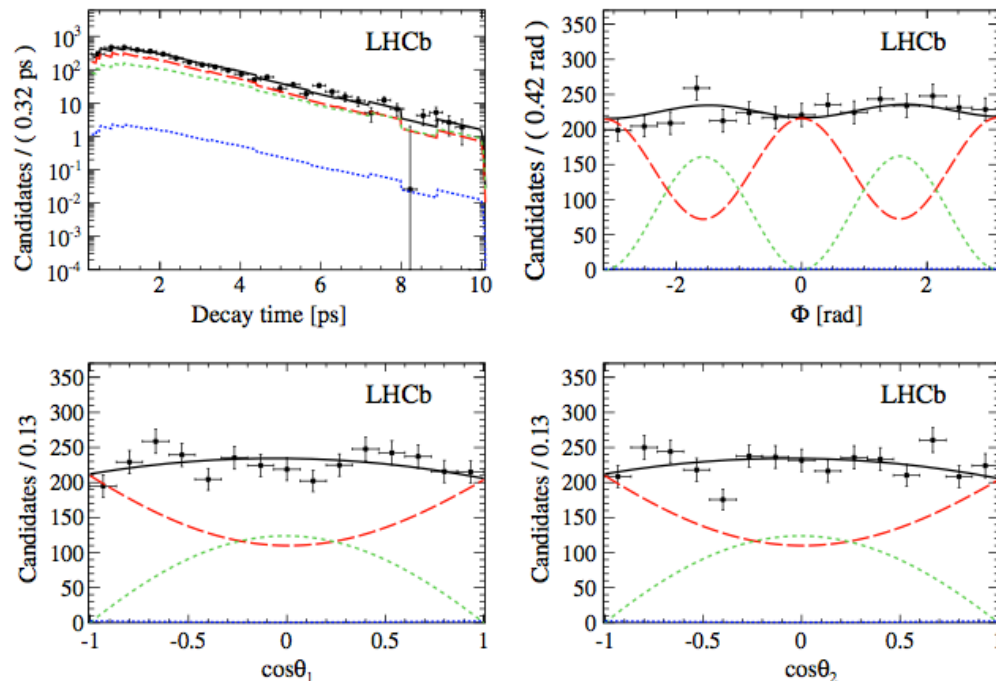
In accordo con il Modello Standard

Fase di miscelamento nel decadimento $B_s^0 \rightarrow \phi\phi$

- Le transizioni $b \rightarrow s\bar{s}s$ avvengono solo tramite diagrammi “a pinguino”
 - sensibili a Nuova Fisica
- Analisi sperimentalmente analoga a $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$:
 - Decadimento $P \rightarrow VV$ che richiede analisi angolare
 - 4000 decadimenti $B_s^0 \rightarrow \phi(K^+ K^-)\phi(K^+ K^-)$ in 3 fb^{-1}



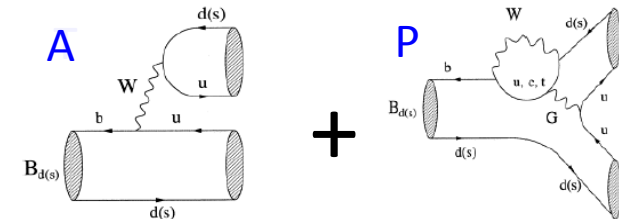
Phys. Rev. D90 (2014) 052011



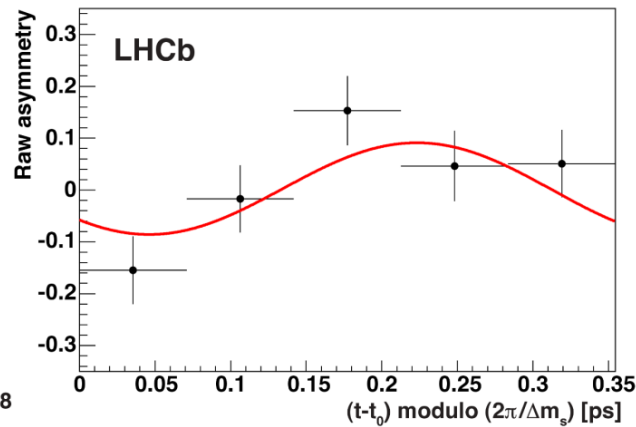
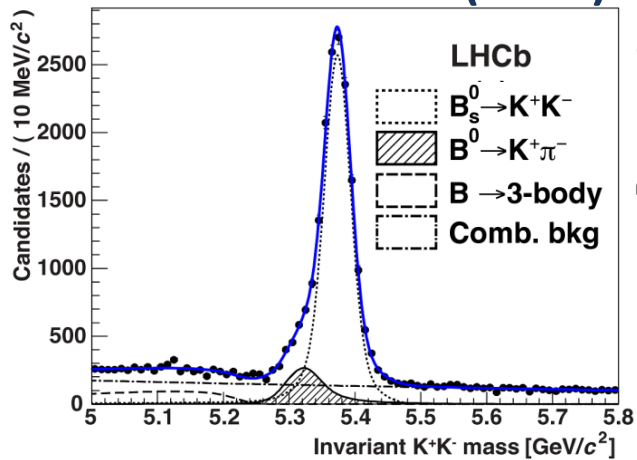
$$\phi_s = -170 \pm 150 \pm 30 \text{ mrad}$$

In accordo con il Modello Standard
e con le misure $b \rightarrow c\bar{c}s$

Fase di miscelamento ϕ_s dai decadimenti $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ e $B_s^0 \rightarrow K^+K^-$

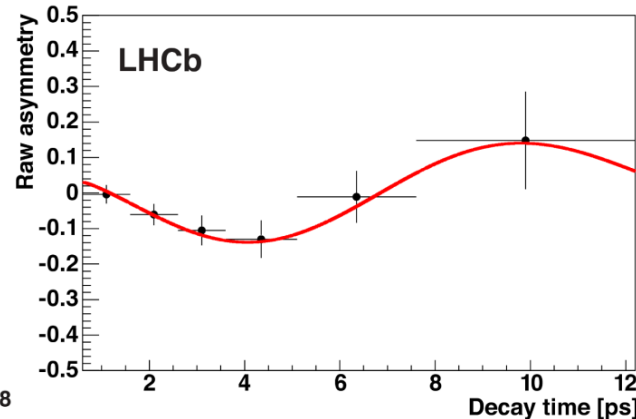
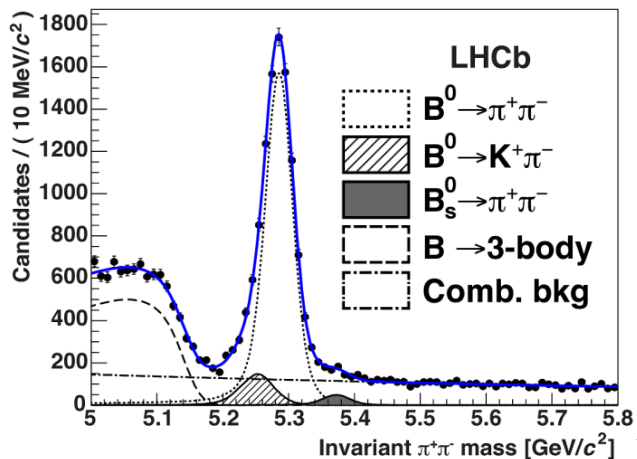


1 fb⁻¹ – JHEP 10 (2013) 183



$$C_{KK} = 0.14 \pm 0.11 \pm 0.03$$

$$S_{KK} = 0.30 \pm 0.12 \pm 0.04$$



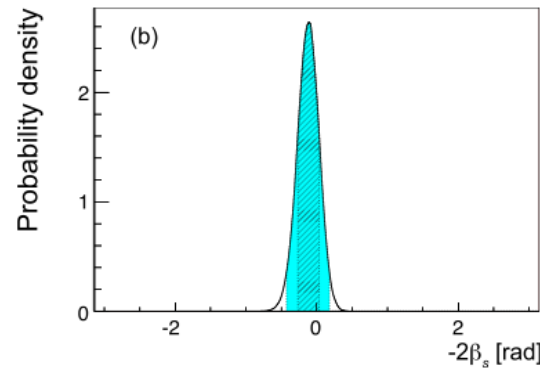
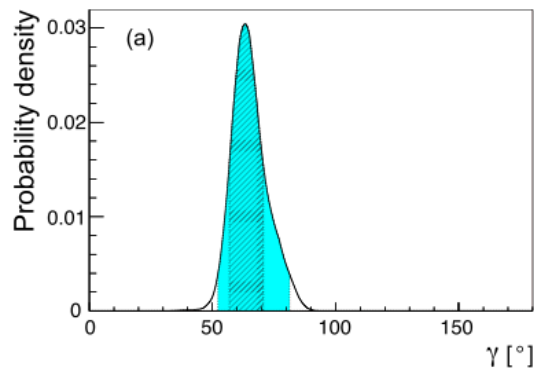
$$C_{\pi\pi} = -0.38 \pm 0.15 \pm 0.02$$

$$S_{\pi\pi} = -0.71 \pm 0.13 \pm 0.02$$

Fase di miscelamento ϕ_s dai decadimenti



- Combinando le misure di $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$, $B^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$, $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0$ e $B_s^0 \rightarrow K^+ K^-$ è possibile determinare γ e ϕ_s in funzione di CP e i rapporti di diramazione
 - metodo descritto in Phys. Lett. B459 (1999) 305 e JHEP 10 (2012) 029
 - utilizzo delle simmetrie di isospin e U-spin
 - tiene in considerazione effetti di rottura di U-spin non fattorizzabili
- Risultati pubblicati in Phys. Lett. B741 (2015) 1



Effetti non fattorizzabili dovuti alla rottura della simmetria di fino al 50% sono inclusi

$$\gamma = (63.5^{+7.2}_{-6.7})^\circ$$

$$\phi_s = -0.12^{+0.14}_{-0.16} \text{ rad}$$

Misure da aggiornare al campione completo del Run1:

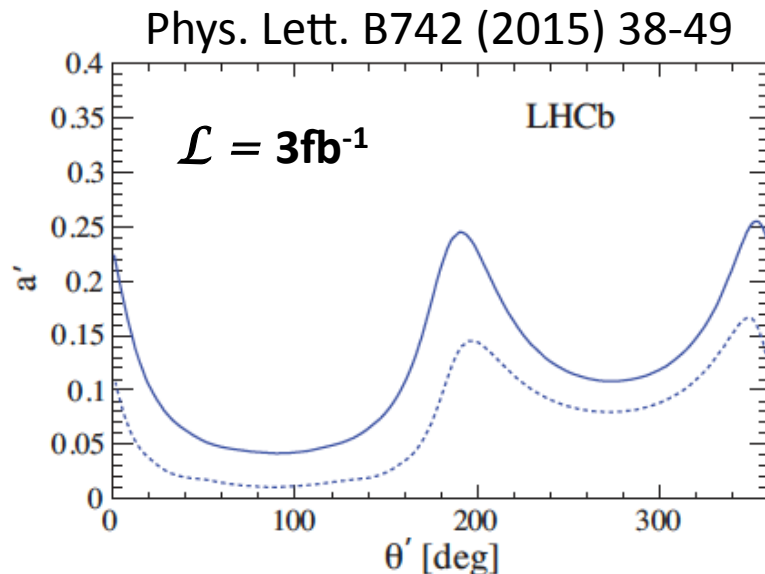
- x3 luminosità ($1 \rightarrow 3 \text{ fb}^{-1}$)
- x1.5 grazie a nuovi algoritmi di identificazione del sapore del B

Vincolo sull'effetto dei pinguini

- Le ampiezze dei decadimenti $B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0$ e $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$ possono essere parametrizzate come

$$A(B^0 \rightarrow J/\psi \rho^0) = \mathcal{N} [1 - a e^{i\theta} e^{i\gamma}] , \quad A(B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi) = \mathcal{N}' [1 + \epsilon a' e^{i\theta'} e^{i\gamma}]$$

- assumendo la simmetria di U-spin: $a=a'$ e $\theta=\theta'$



$$a' = 0.035_{-0.035}^{+0.082}$$

$$\theta' = (285_{-95}^{+69})^\circ$$

Correzione su ϕ_s dovuta ai contributi dei diagrammi a pinguino

$$\Delta\phi_s = (0.05 \pm 0.56)^\circ = [-1.05^\circ, +1.18^\circ] \text{ at } 95\% \text{ C.L.}$$

Asimmetria semileptonica a_{sl}^d

- La violazione di CP nel miscelamento $B^0-\bar{B}^0$ può essere osservata misurando l'asimmetria semileptonica

$$a_{sl}^d \equiv \frac{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow f) - \Gamma(B^0 \rightarrow \bar{f})}{\Gamma(\bar{B}^0 \rightarrow f) + \Gamma(B^0 \rightarrow \bar{f})} \approx \frac{\Delta\Gamma_d}{\Delta m_d} \tan \phi_d^{12} \quad \begin{array}{l} f = D^{(*)-} l^- \bar{\nu} X \\ \bar{f} = D^{(*)+} l^+ \nu X \end{array}$$

- Attesa piccola nel MS
[Lenz & Nierste, arXiv:1102.4274] $a_{sl}^s = (1.9 \pm 0.3) \times 10^{-5}$
 $a_{sl}^d = (-4.1 \pm 0.6) \times 10^{-4}$

- Sperimentalmente LHCb ha misurato l'asimmetria dipendente dal tempo tra i conteggi dei due stati finali

$$N(t) \propto e^{-\Gamma_d t} \left[1 + \zeta A_D + \zeta \frac{a_{sl}^d}{2} - \zeta \left(A_P + \frac{a_{sl}^d}{2} \right) \cos \Delta m_d t \right] \quad \begin{array}{l} \zeta = 1 (f) \\ \zeta = -1 (\bar{f}) \end{array}$$

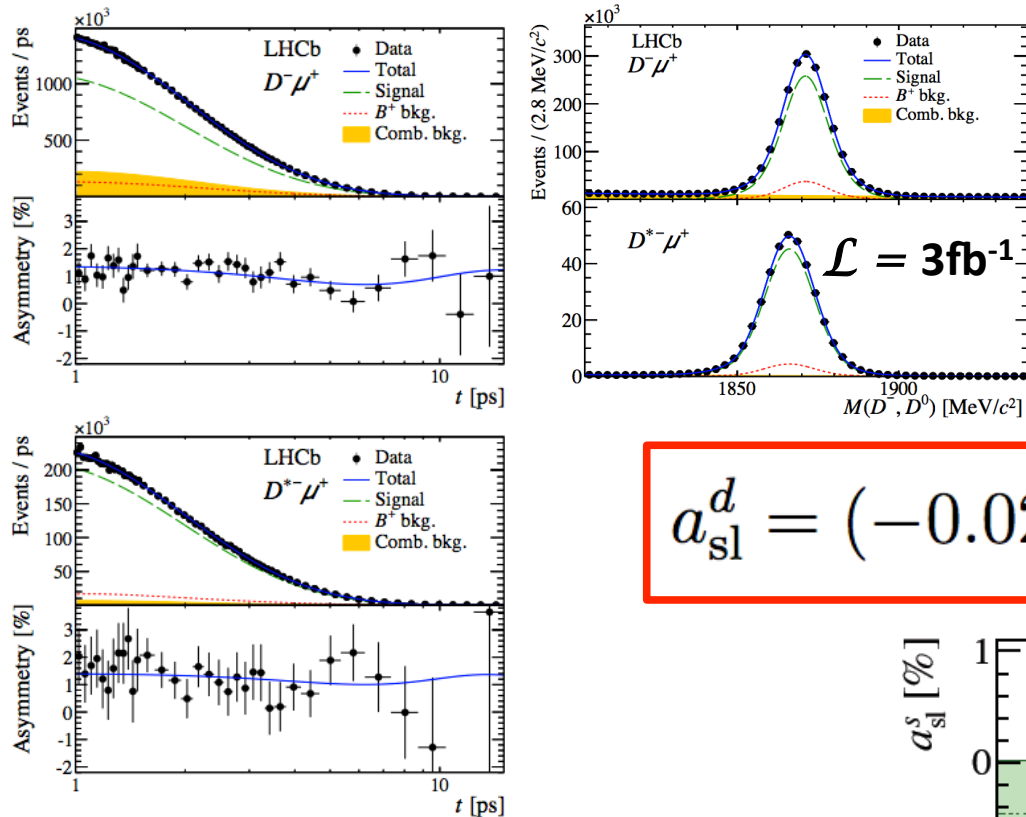
asimmetria di rivelazione degli stati finali coniugati di carica (determinata da canali di controllo)

asimmetria di produzione tra mesoni B^0 e \bar{B}^0 (determinata simultaneamente con a_{sl})

N.B.: $N(t)$ non necessita la determinazione del sapore iniziale del mesone B^0 che è molto inefficiente ai collisionatori adronici

Asimmetria semileptonica a_{sl}^d

Phys. Rev. Lett. 114 (2015) 041601



Source of uncertainty	a_{sl}^d
Detection asymmetry	0.26
B^+ background	0.13
A_b^0 background	0.07
B_s^0 background	0.03
Combinatorial D background	0.03
k -factor distribution	0.03
Decay-time acceptance	0.03
Knowledge of Δm_d	0.02
Quadratic sum	0.30

$$a_{sl}^d = (-0.02 \pm 0.19 \pm 0.30)\%$$

- a_{sl}^d e A_p sono determinate simultaneamente tramite degli adattamenti di massima verosimiglianza agli spettri di massa invariante e tempo proprio
 - $2.1 \times 10^6 B^0 \rightarrow D^{(*)} l^+ \nu X$ ricostruiti nel campione completo del Run 1 (3 fb^{-1})

