# Studio di decadimenti rari a LHG

#### Ricardo Vazquez Gomez (LNF-INFN) IFAE 2015

Roma, 8-10 Aprile 2015

# <u>Indice</u>

- Decadimenti rari
- Osservazione del B→µ+µ-
- Misura dell'Universalità leptonica in  $B^+ \rightarrow K^+ I^+ I^-$
- Analisi angolari
  - B<sub>d</sub>→K\*e+e-
  - B<sub>d</sub>→K\*μ+μ-
  - $\Lambda_b \rightarrow \Lambda \mu^+ \mu^-$
- Conclusioni

## Decadimenti rari

- La ricerca di nuova fisica avviene tramite:
  - Misure dirette
    - Con le alte energie si creano nuove particelle "reali". Scoperte tramite i loro prodotti di decadimento.
  - Misure indirette
    - Misure di precisione. Particelle "virtuali" possono apparire in processi a loop. i.e: Flavour Changing Neutral Current (FCNC).
- Le due ricerche sono complementari.
- Tutte le analisi presentate sono state fatte con il campione completo di dati del run I, ovvero 3fb<sup>-1</sup>

## <u>FCNC</u>

- Questi processi sono vietati nel Modello Standard a livello albero → possono avvenire soltanto tramite loop, quindi sono altamente soppressi (rari).
  - i.e.: Diagrammi del Modello Standard per i processi b→sµ+µ-



• Il contributo di nuova fisica è una correzione al Modello Standard.



$$A = A_0 \left( \frac{c_{SM}}{m_W^2} + \frac{c_{NP}}{\Lambda_{NP}^2} \right)$$

Qual'è la scala di  $\Lambda_{NP}$ ? Qual'è l'accoppiamento  $c_{NP}$ ?

# FCNC nella teoria di campo efficace

• L'Hamiltoniana efficace per le transizioni b→s, si può scrivere come

$$\mathcal{H}_{\text{eff}} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}} V_{tb} V_{ts}^* \sum_i (C_i \mathcal{O}_i + C_i' \mathcal{O}_i')$$

- dove i possibili effetti di nuova fisica vengono descritti come
  - variazioni nei coefficienti di Wilson Ci
  - Nuovi operatori locali O<sub>i</sub>



#### <u>Osservazione $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ </u>

[LHCb - Phys. Rev. Lett. 111, 101805 (2013)]

[CMS - Phys. Rev. Lett. 111, 101804 (2013)]



- Il decadimento  $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$  dipende dagli operatori  $C_{10}$ ,  $C_S$ ,  $C_P$
- Predizione accurata del Modello Standard→ decadimento completamente leptonico, soppresso per elicità.
- Evidenza con i dati di run I sia in LHCb che in CMS.
- Analisi combinata delle due misure.

#### Combinazione LHCb+CMS



- Compatibili con il Modello Standard entro 2.2 $\sigma$  per il B<sub>d</sub> e 1.2 $\sigma$  per il B<sub>s</sub>.
- Prima osservazione (6.2σ) del decadimento B<sub>s</sub>→µ+µ-, prima evidenza (3.0σ) del decadimento B<sub>d</sub>→µ+µ- (calcolato usando il metodo di Feldman-Cousins)



- Misura del rapporto delle frazioni di decadimento  $\mathcal{R}=0.14^{+0.08}_{-0.06}$
- Compatibile entro 2.3 $\sigma$  con la predizione del SM  $\mathcal{R} = 0.0295^{+0.0028}_{-0.0025}$

 $10^{3}$ 

 $10^{2}$ 

10

5600

## <u>Universalità leptonica in B+→K+I+I-</u>

Il rapporto di BR tra BR(B+ $\rightarrow$ K+e+e-)/BR(B+ $\rightarrow$ K+µ+µ-) è un test dell'universalità leptonica.

$$R_{K} = \frac{\int_{q_{min}^{2}}^{q_{max}^{2}} \frac{d\Gamma[\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}\mu^{+}\mu^{-})]}{dq^{2}} dq^{2}}{\int_{q_{min}^{2}}^{q_{max}^{2}} \frac{d\Gamma[\mathcal{B}(B^{+} \to K^{+}e^{+}e^{-})]}{dq^{2}} dq^{2}} = \left(\frac{N_{K\mu\mu}}{N_{Kee}}\right) \left(\frac{N_{J/\psi(ee)K}}{N_{J/\psi(\mu\mu)K}}\right) \left(\frac{\varepsilon_{Kee}}{\varepsilon_{K\mu\mu}}\right) \left(\frac{\varepsilon_{J/\psi(ee)K}}{\varepsilon_{J/\psi(\mu\mu)K}}\right)$$

- Nel Modello Standard R<sub>K</sub>=1 con incertezza di O(10<sup>-3</sup>).
- Misura relativa ai modi risonanti B→J/ΨK nella regione 1<q<sup>2</sup><6 GeV<sup>2</sup>/c<sup>4</sup>  $\bullet$



#### <u>Universalità leptonica in B+→K+I+I-</u>



## Analisi angolare $B_d \rightarrow K^*I^+I^-$

- Transizione b→s con un mesone vettore nello stato finale. Descritta da q<sup>2</sup> = m<sup>2</sup><sub>II</sub> e tre angoli Ω = (θ<sub>I</sub>, θ<sub>K</sub>, φ).
- **F**<sub>L</sub>, **A**<sub>FB</sub>, **S**<sub>i</sub>, sono sensibili a C<sup>(')</sup><sub>7</sub>, C<sup>(')</sup><sub>9</sub>, C<sup>(')</sup><sub>10</sub>



$$\frac{1}{\mathrm{d}(\Gamma+\bar{\Gamma})/\mathrm{d}q^2} \frac{\mathrm{d}^3(\Gamma+\bar{\Gamma})}{\mathrm{d}\bar{\Omega}} = \frac{9}{32\pi} \left[ \frac{3}{4} (1-F_\mathrm{L}) \sin^2 \theta_K + F_\mathrm{L} \cos^2 \theta_K + \frac{1}{4} (1-F_\mathrm{L}) \sin^2 \theta_K \cos 2\theta_\ell \right]$$
$$-F_\mathrm{L} \cos^2 \theta_K \cos 2\theta_\ell + S_3 \sin^2 \theta_K \sin^2 \theta_\ell \cos 2\phi$$
$$+S_4 \sin 2\theta_K \sin 2\theta_\ell \cos \phi + S_5 \sin 2\theta_K \sin \theta_\ell \cos \phi$$
$$+\frac{4}{3} A_{\mathrm{FB}} \sin^2 \theta_K \cos \theta_\ell + S_7 \sin 2\theta_K \sin \theta_\ell \sin \phi$$
$$+S_8 \sin 2\theta_K \sin 2\theta_\ell \sin \phi + S_9 \sin^2 \theta_K \sin^2 \theta_\ell \sin 2\phi_\ell \sin 2\phi_\ell \sin 2\phi_\ell$$

## Analisi angolare $B_d \rightarrow K^*e^+e^-$

• Permette d'indagare bassi valori di q<sup>2</sup> ∈ [0.002 - 1.120] GeV<sup>2</sup>/c<sup>4</sup>



# Analisi angolare $B_d \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

- Campione più abbondante di segnale equivalente a ~2400 eventi.
  - Descrizione angolare completa: determinazione simultanea degli osservabili CPmediati.
  - Fit simultaneo della massa e degli osservabili angolari in intervalli di q<sup>2</sup>



usando lo stesso metodo rispetto all'analisi con 1fb<sup>-1</sup> [JHEP 08 (2013) 131]

#### Analisi angolare $B_d \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$

 L'analisi degli osservabili indipendenti dei fattori di forma conferma la discrepanza in locale in P'<sub>5</sub> nella regione 4.0<q<sup>2</sup><8.0 GeV<sup>2</sup>/c<sup>4</sup>



#### <u>Analisi angolare $\Lambda_b \rightarrow \Lambda \mu^+ \mu^-$ </u>

- Transizione  $b \rightarrow s$  con barioni nello stato iniziale e finale.
- Λ<sub>b</sub> ha spin diverso da zero → migliore comprensione della struttura di elicità dell'hamiltoniana.
- Le incertezze teoriche sono più elevate rispetto a decadimenti con mesoni dovuto alle alte incertezze nei fattori di forma della lambda.



[Modello Standard da PRD 87 (2013) 074502]

Prima evidenza di segnale nella regione  $q^2 \in [0.1-2]$  GeV<sup>2</sup>/c<sup>4</sup> e tra le risonanze del charmonio.

Non si osserva segnale significativo nella regione  $q^2 \in [1.1-6]$  GeV<sup>2</sup>/c<sup>4</sup>

Osservazione del segnale nella regione  $q^2 \in [15.0-20.0]$  GeV<sup>2</sup>/c<sup>4</sup> (>8 $\sigma$ )

 $\theta_{z}$ 

 $\Lambda_{b}^{0}$ 

 $J/\psi$ 

## Analisi angolare $\Lambda_{b} \rightarrow \Lambda \mu^{+} \mu^{-}$

- Misura dell'asimmetria forward-backward nel sistema leptonico e adronico.
  - A<sub>FB</sub><sup>I</sup> è compatibile entro 2σ con il Modello Standard
  - A<sub>FB</sub><sup>h</sup> è completamente compatibile.



## Interpretazione dei risultati I

- Includendo i nuovi risultati di LHCb, si realizza un fit globale ai coefficienti di Wilson (88 misure da 76 osservabili fatte prodotte da 6 esperimenti) [arXiv:1503.06199].
- Il fit migliore ai dati induce una deviazione negativa in C9
- Le discrepanze sono compatibile anche con effetti adronici. Se è dovuto al Modello Standard:
  - Non si deve violare l'universalità leptonica → servono più dati.
  - Non necessariamente devono avere la stessa struttura in q<sup>2</sup> della nuova fisica.



 $C_9$  indipendente di q<sup>2</sup> compatibile entro  $1\sigma$ 

# Interpretazione dei risultati II

- Se esiste violazione dell'universalià leptonica, deve essere associata con la violazione del sapore leptonico [PRL 114 (2015) 091801].
  - Le frazioni di decadimento per B→K<sup>(\*)</sup>µe o B→K<sup>(\*)</sup>µτ, devono essere molto maggiori di quelle dovute alla massa dei neutrini nel Modello Standard.
- In un modello con una interazione di un Z' pesante, si ha la tripla correlazione:

$$R_K \cong \frac{\mathcal{B}(B^+ \to K^+ \mu^+ \mu^-)_{exp}}{\mathcal{B}(B^+ \to K^+ \mu^+ \mu^-)_{SM}} \cong \frac{\mathcal{B}(B_s \to \mu^+ \mu^-)_{exp}}{\mathcal{B}(B_s \to \mu^+ \mu^-)_{SM}}$$

Sperimentalmente si trova:

0.745±0.090(stat)±0.036(syst)

0.68±0.18



# <u>Conclusioni</u>

- I decadimenti rari sono eccellenti laboratori per cercare fisica oltre il Modello Standard.
- I risultati di LHCb con 3fb<sup>-1</sup> sono in generale in accordo con il Modello Standard.
- Si osservano discrepanze in alcuni osservabili.
  - Cominciano a emergere descrizioni coerente di tutte le deviazioni. Sia in termini di nuova fisica sia in effetti non controllati di QCD.
  - La riduzione degli errori teorici è fondamentale.
- I dati del run II ridurranno gli errori esperimenti e contribuiranno a completare il panorama.