

Attività gruppo LHCb Bologna

Stefano Perazzini

Assemblea di Sezione – Bologna, 20 Febbraio 2020

Composizione del gruppo

- Ricercatori INFN
 - Umberto Marconi 100%
 - Vincenzo Vagnoni 100%
 - Cindolo Federico 20%
 - Stefano Perazzini 100%
 - Gianni Valenti 0% Senior
- UniBo
 - Angelo Carbone 100%
 - Domenico Galli 100%
 - Claudia Patrignani 100%
 - Stefano Zucchelli 60%
- Dottorandi
 - Daniele Manuzzi 100%
 - Serena Maccolini 100%
 - Flavio Pisani 100%
- Post-doc
 - Fabio Ferrari 100%
 - Federico Betti 100%
 - Lorenzo Capriotti 100%
- Tecnici INFN
 - Gabriele Balbi 30%
 - Daniela Bortolotti 20%
 - Gianluca Peco 40%

Tot. FTE (esclusi tecnici) 12.8

Responsabilità del gruppo in LHCb

- Serena Maccolini → Liaison simulazione charm WG
- Fabio Ferrari → Convener charm CPV & Mixing
- Federico Betti → Convener charm CPV & Mixing
- Lorenzo Capriotti → Convener B-hadron and quarkonia
- Stefano Perazzini → Responsabile Nazionale Calcolo
- Vincenzo Vagnoni → Upgrade-2 planning group

Attività del gruppo

Analisi dati

- Pubblicazioni con contributo diretto di Bologna **2018/2019**
 - 2 Phys.Rev.Lett.
 - 3 Phys.Rev.D
 - 1 Phys.Lett.B
 - 1 EPJC
- Di cui 6 come contact author

Computing/DAQ

- **LHCb upgrade**
- Sviluppo del software per l'event builder (DAQ)
- Trasferimento dati dal detector alla **farm di trigger**
- Data Quality Monitoring per il RICH

R&D

- **Timespot**
- Sensori silicio 3D per la misura spazio-temporale di tracce
- Simulazione veloce del rivelatore di vertice LHCb
- Ricostruzione realtime di segmenti di traccia su **FPGA**

Terza missione

- Masterclass
- LHCb-Starterkit
- Notte dei ricercatori
- Pint-of-Science
- Vari seminari divulgativi
- Unijunior e Alternanza Scuola Lavoro (ASL)

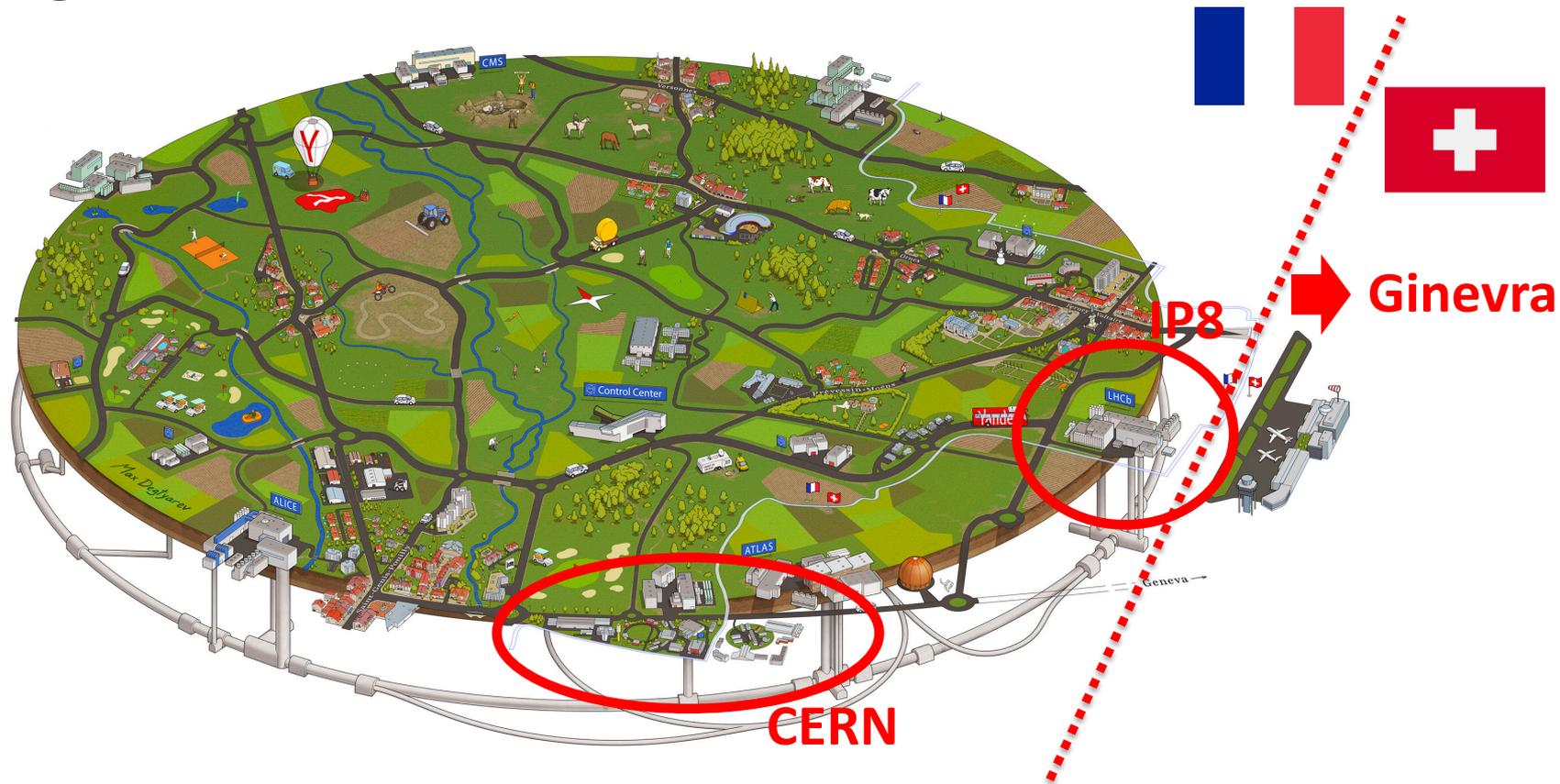
Non solo LHCb

Attività di R&D per l'esperimento MuONE

- **Calorimetria**
- Partecipazione allo sviluppo di un calorimetro con misura temporale per Upgrade-2 di LHCb

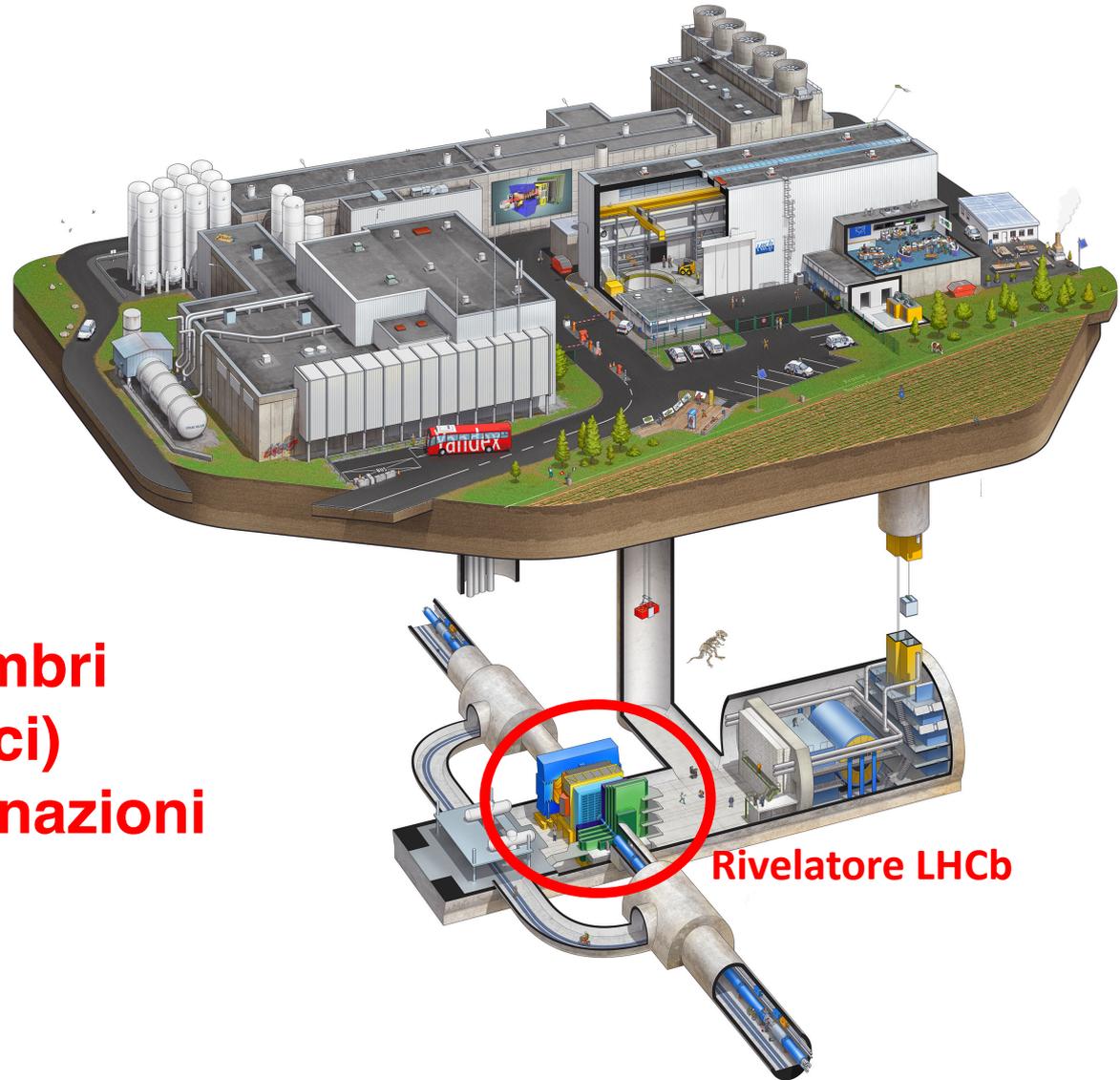
L'esperimento LHCb

- LHCb è uno dei 4 esperimenti principali del Large Hadron Collider



<https://www.behance.net/gallery/67661801/The-incident-at-the-Large-Hadron-Collider-experiment>

L'esperimento LHCb

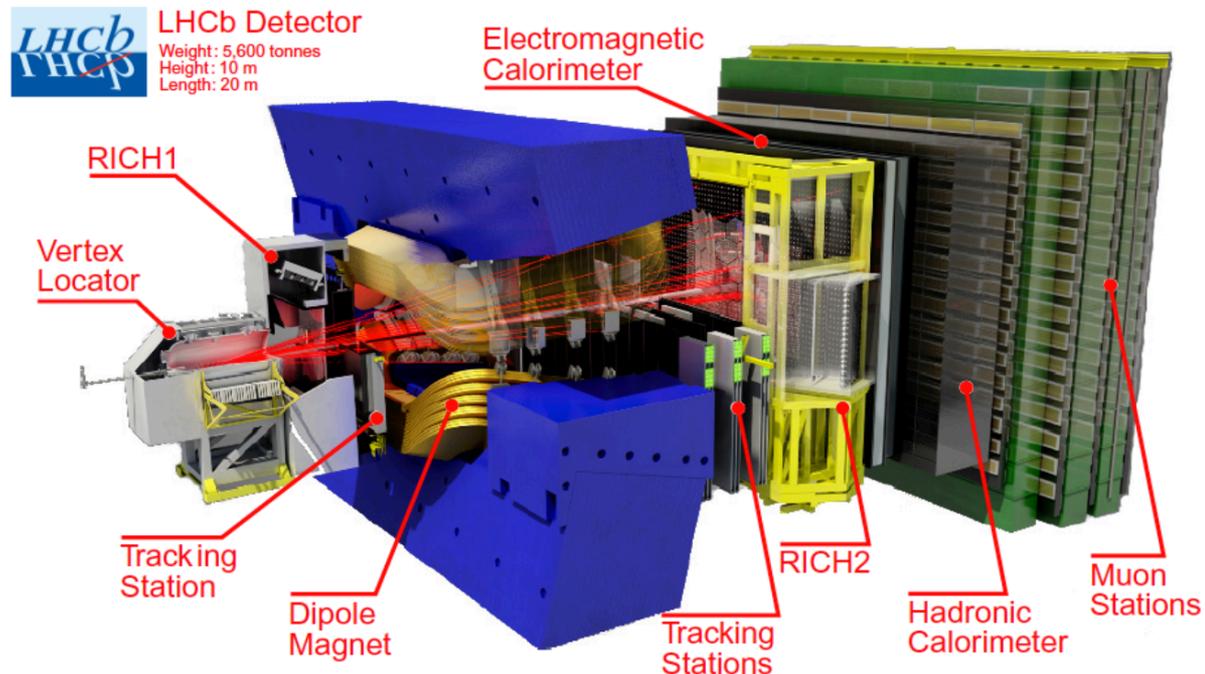
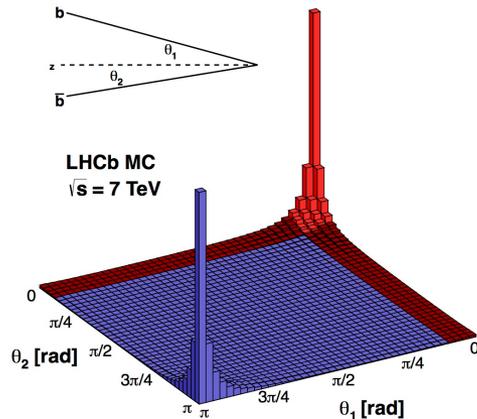


**Circa 1300 membri
(non solo fisici)
da 80 istituti in 18 nazioni**

Rivelatore LHCb

L'esperimento LHCb

- Il rivelatore LHCb è uno spettrometro a singolo braccio in avanti
 - Accettanza geometrica ottimizzata per sfruttare le sezioni d'urto di produzione in avanti di adroni con quark beauty e charm
 - $\sigma_{bb} = 144 \pm 1 \pm 21 \mu\text{b}$ in accettazione [PRL 118(2017)052002]
 - $\sigma_{cc} \sim 20 \times \sigma_{bb}$

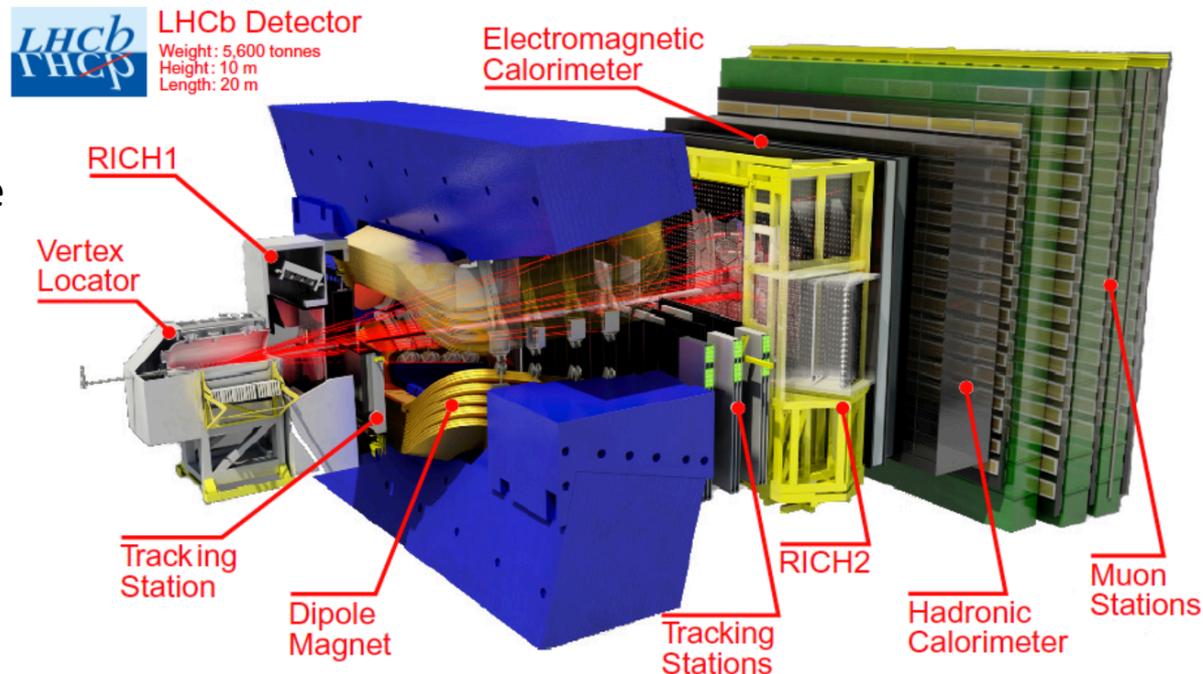


L'esperimento LHCb

- Il rivelatore LHCb è uno spettrometro a singolo braccio in avanti
 - Accettanza geometrica ottimizzata per sfruttare le sezioni d'urto di produzione in avanti di adroni con quark beauty e charm
 - $\sigma_{bb} = 144 \pm 1 \pm 21 \mu\text{b}$ in accettanza [PRL 118(2017)052002]
 - $\sigma_{cc} \sim 20 \times \sigma_{bb}$

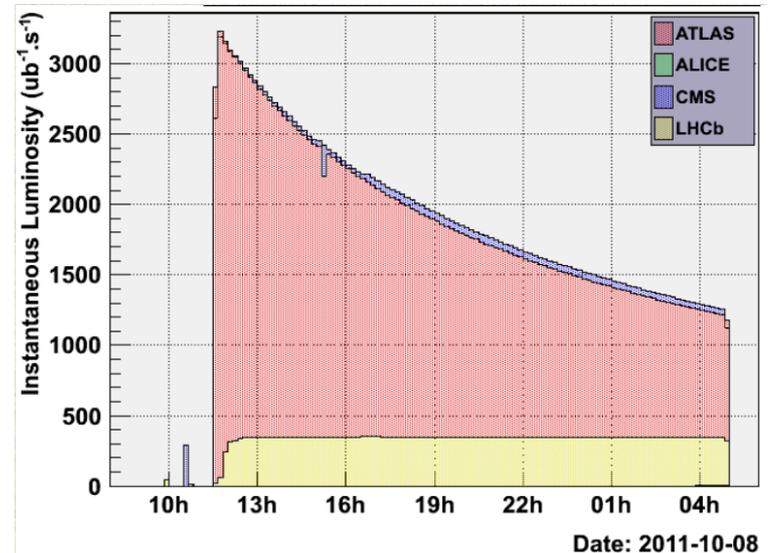
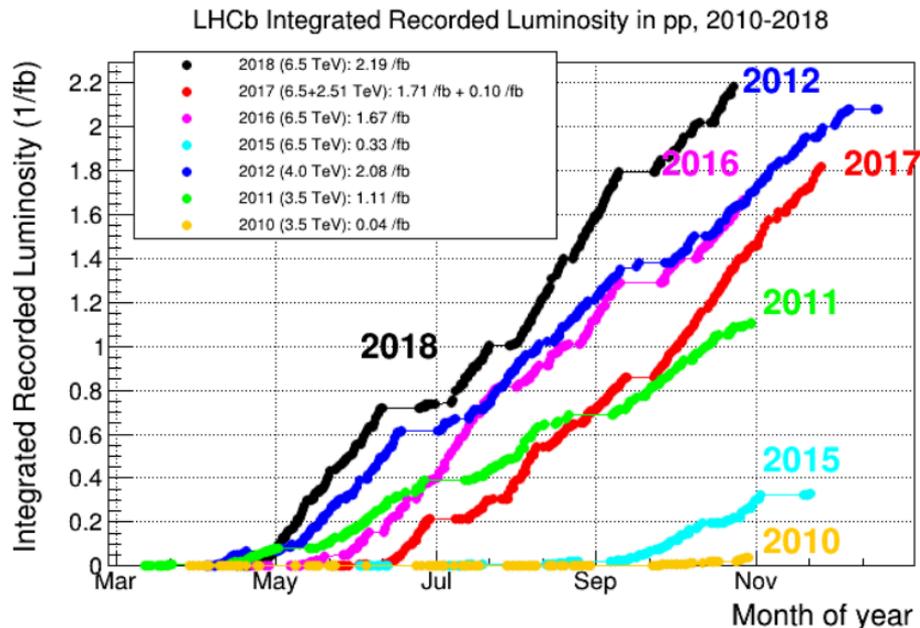
- Caratteristiche fondamentali del rivelatore

- Ottima risoluzione spaziale dei vertici primari e secondari
 - $\sigma_z \sim 100 \mu\text{m}$
- Ottima risoluzione in impulso
 - $\delta p/p \sim 0.4-0.6 \%$
- Eccellente identificazione delle particelle cariche



L'esperimento LHCb

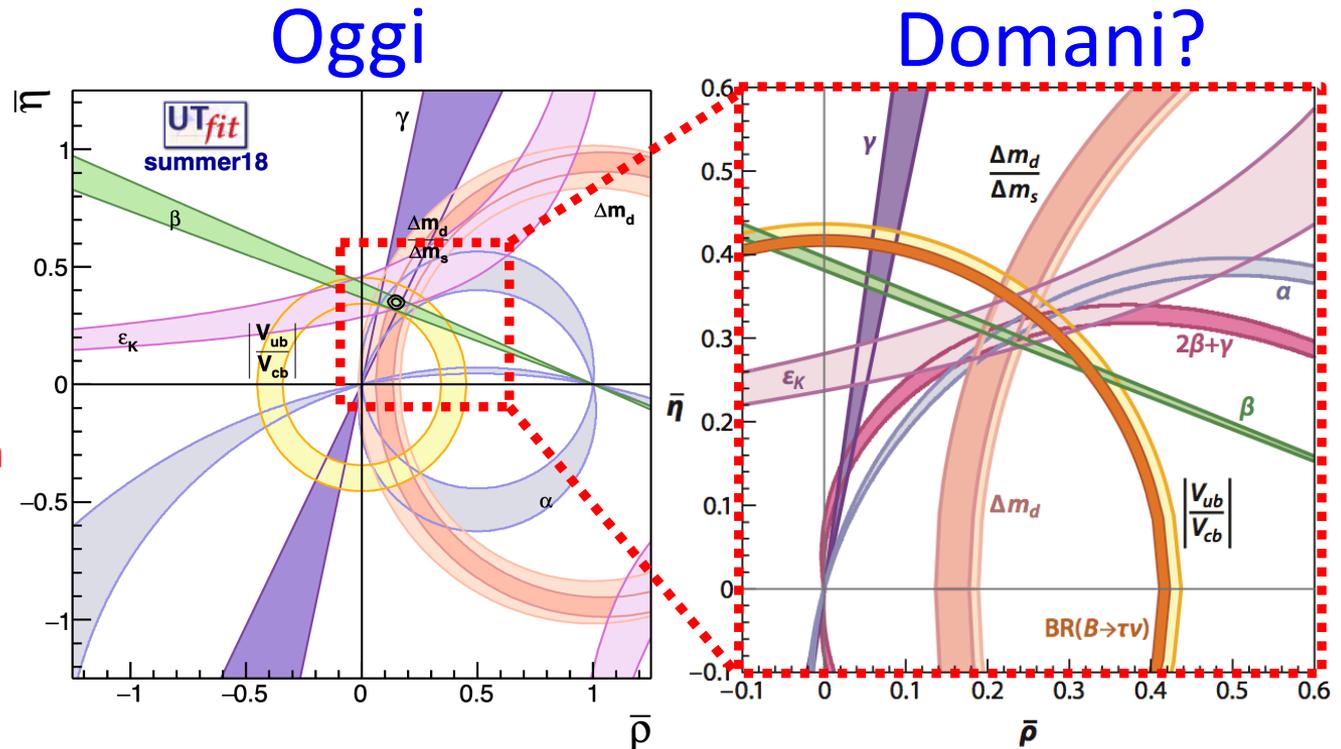
- Integrati circa 9 fb^{-1} a varie energie fino al 2018
- LHCb ha operato in condizioni di $\mathcal{L} = 4 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - Luminosità livellata
 - Circa $\times 2 \mathcal{L}$ di progetto



L'obiettivo di LHCb

- Osservare in maniera indiretta nuove particelle o nuove interazioni non previste nel Modello Standard:
 - Approccio complementare rispetto agli altri esperimenti di LHC
 - Invece di cercare nuove particelle prodotte direttamente nello scontro tra protoni o ioni si effettuano misure di precisione delle proprietà delle particelle note

Ogni banda colorata è la misura di un particolare parametro della matrice CKM ottenuto studiando le proprietà dei decadimenti di adroni con quark strange, charm e beauty



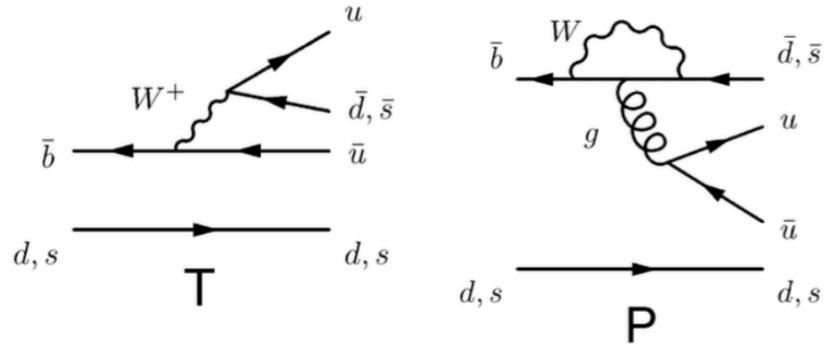
Attività di analisi dati

(Studio decadimenti di adroni B)

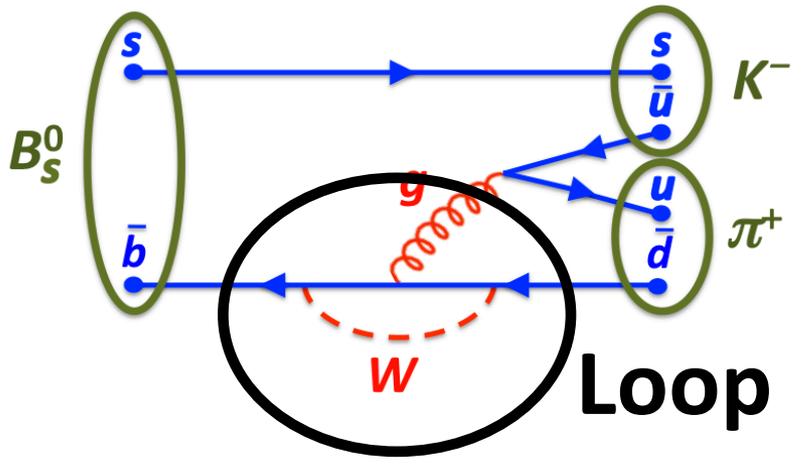
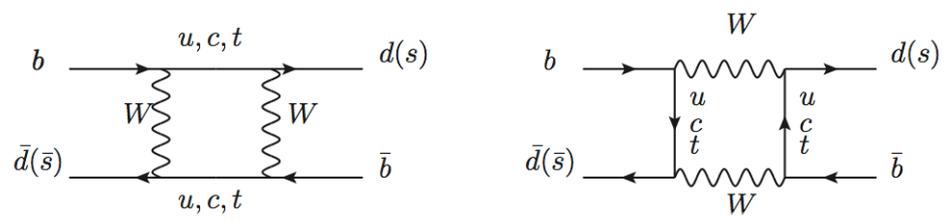
Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Famiglia dei decadimenti di B^0 , B_S^0 e Λ_b^0 in due adroni carichi (π , K e p)
- Parametri di violazione di CP sensibili a diversi elementi della matrice CKM e a contributi di nuova fisica
 - Opportunità unica di confronto con le stesse quantità misurate da decadimenti privi di contributi da “loop”

Principali diagrammi di decadimento



Miscelamento dei mesoni B neutri



**All'interno dei loop è possibile violare la conservazione dell'energia
Possono comparire nuove particelle molto pesanti**

Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna
 - Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti
 - 8 articoli dal 2012

Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna

- Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti

- 8 articoli dal 2012
- Asimmetrie dirette di CP

Prima osservazione di violazione di CP nel mesone B_s

CP violation observed in the decays of B_s^0 mesons

In March 2012, the LHCb collaboration reported an observation of CP violation in charged B-meson decays, $B^+ \rightarrow DK^+$. Now, just over a year later, the collaboration has announced a similar observation in the decays in another B meson, in this case the B_s^0 meson composed of a beauty antiquark b bound with a strange quark s. This first observation of CP violation in the decays $B_s^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ with a significance of more than 5σ marks the first time that CP violation has been found in the decays of B_s^0 mesons – only the fourth type of meson where this effect has been seen. It is an important milestone for LHCb because the precise study of B_s^0 decays is sensitive to possible physics beyond the Standard Model.

The study of CP violation in charmless charged two-body B decays provides stringent tests of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa picture of CP violation in the Standard Model. However, the presence of hadronic contributions means that several

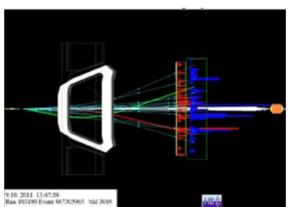


Fig. 1. The analysis studied the decays of B^0 and B_s^0 mesons into K and π mesons. In this event a decay produces a negative K (red track) and a positive π (green track).

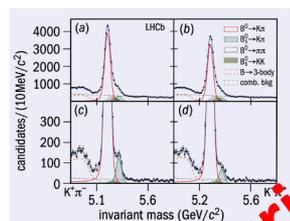
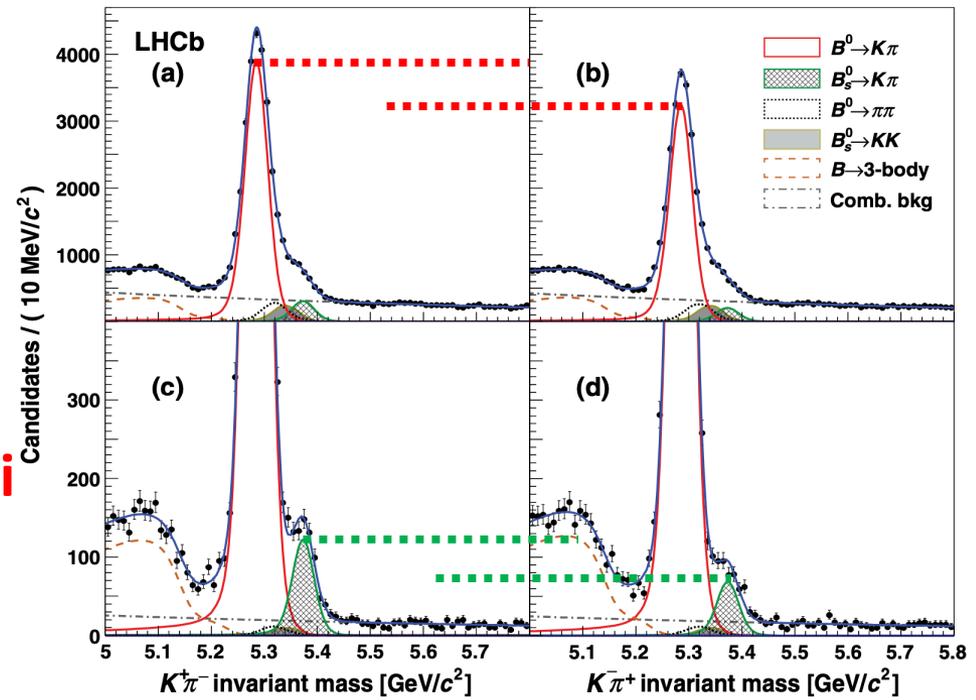
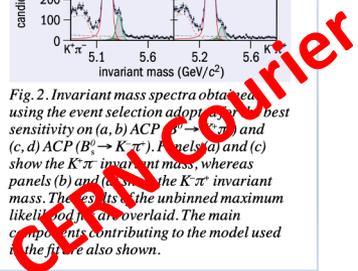


Fig. 2. Invariant mass spectra obtained using the event selection adopted for best sensitivity on (a, b) ACP ($B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$) and (c, d) ACP ($B_s^0 \rightarrow K^+ \pi^-$). Panels (a) and (c) show the $K^+ \pi^-$ invariant mass, whereas panels (b) and (d) show the $K^+ \pi^-$ invariant mass. The results of the unbinned maximum likelihood fit are overlaid. The main components contributing to the model used in the fit are also shown.



[Phys. Rev. Lett. 110 \(2013\) 221601](https://arxiv.org/abs/1207.3164)



Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna

- Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti

- 8 articoli dal 2012
- Asimmetrie dirette di CP

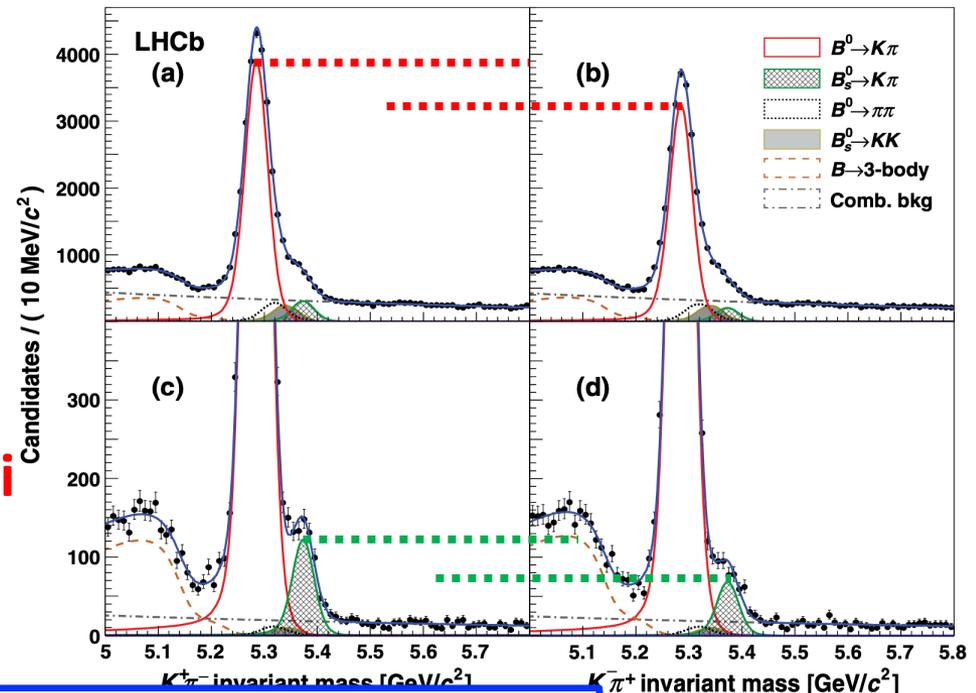
Prima osservazione di violazione di CP nel mesone B_s

CP violation observed in the decays of B_s^0 mesons

LHCb
 In March 2012, the LHCb collaboration reported an observation of CP violation in charged B-meson decays, $B^+ \rightarrow DK^+$. Now, just over a year later, the collaboration has announced a similar observation in the decays in another B meson, in this case the B^0 meson composed



PDG review on CP violation



meson transitions to CP eigenstates like $J/\psi K_S$ is about 0.7 [2, 3]. These effects are related to $K^0-\bar{K}^0$ and $B^0-\bar{B}^0$ mixing, but CP violation arising solely from decay amplitudes has also been observed, first in $K \rightarrow \pi\pi$ decays [4-6], subsequently in B^0 [7,8], B^+ [9-11], and B_s^0 [12] decays, and

charged two-body B decays provides stringent tests of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa picture of CP violation in the Standard Model. However, the presence of hadronic contributions means that several

Tevatron, CP violation had until now not been seen in $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ with a significance exceeding 5σ . Using a data sample corresponding to an integrated luminosity of 1.0 fb^{-1}

mass. The results show the unbinned maximum likelihood fit is overlaid. The main components contributing to the model used in the fit are also shown.

Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna

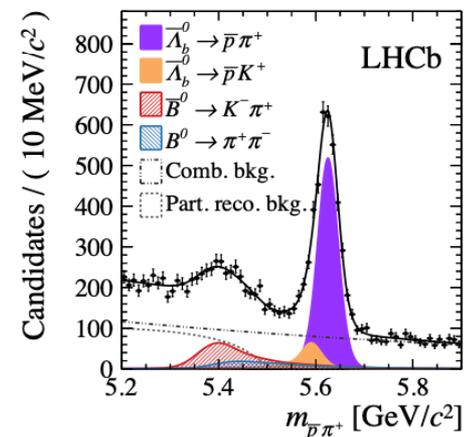
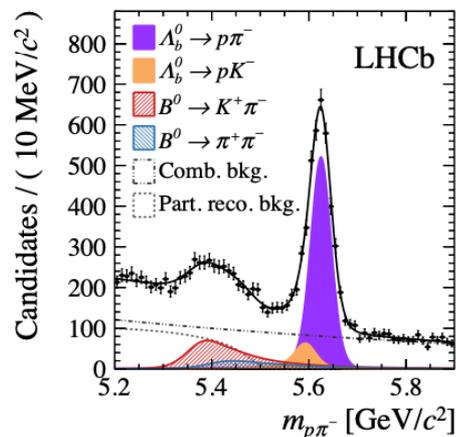
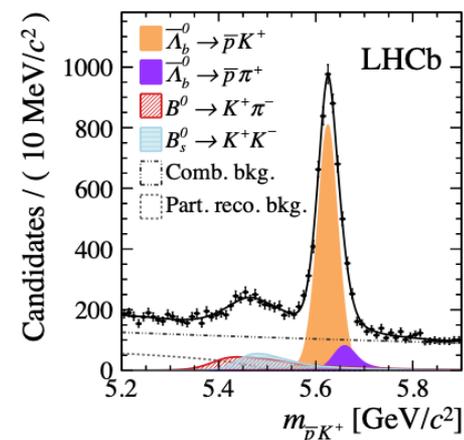
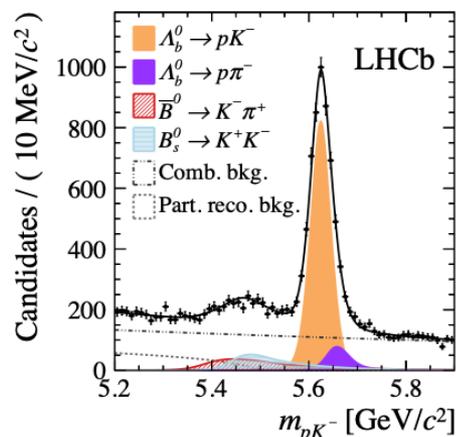
– Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti

- 8 articoli dal 2012
- Asimmetrie dirette di CP

$$A_{CP}^{pK^-} = -0.020 \pm 0.013 \pm 0.019,$$

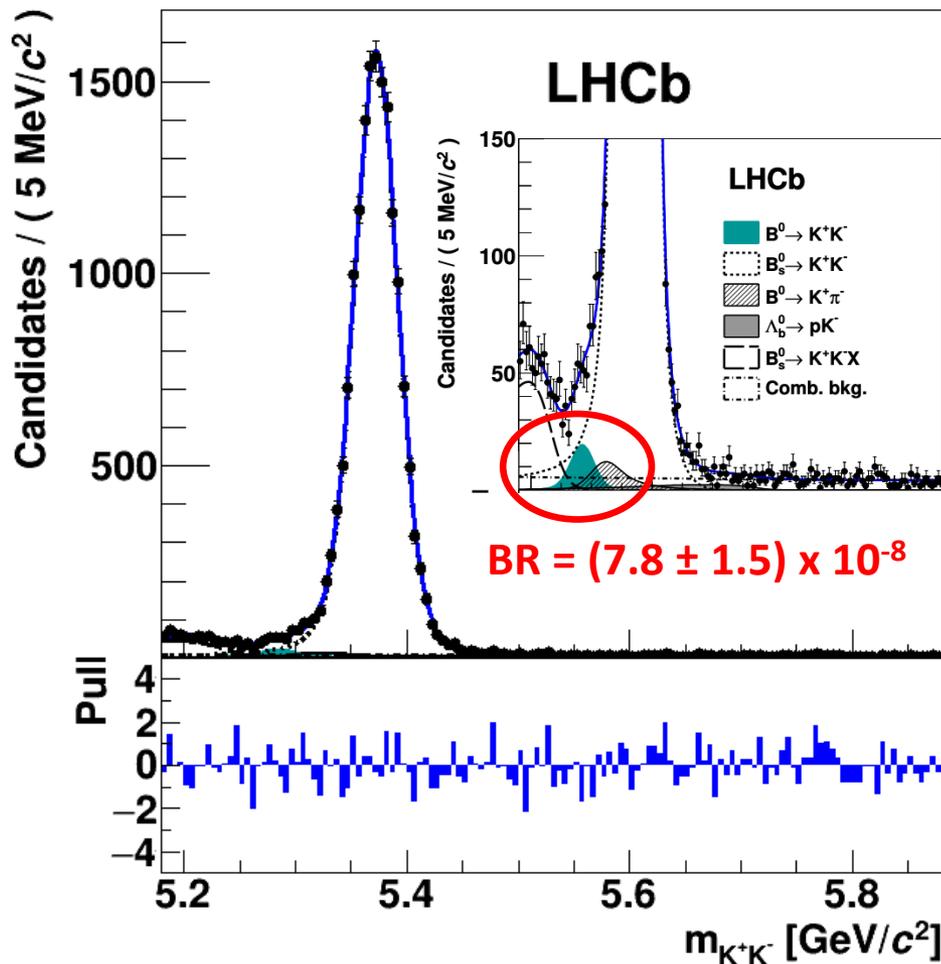
$$A_{CP}^{p\pi^-} = -0.035 \pm 0.017 \pm 0.020,$$

$$\Delta A_{CP} = 0.014 \pm 0.022 \pm 0.010$$



Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

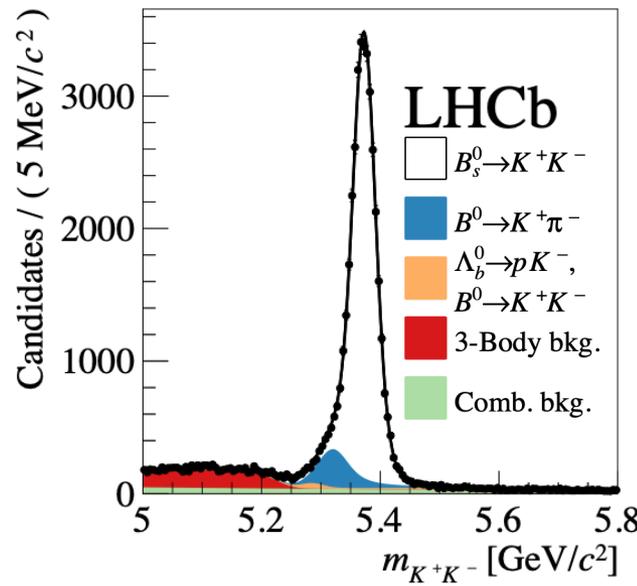
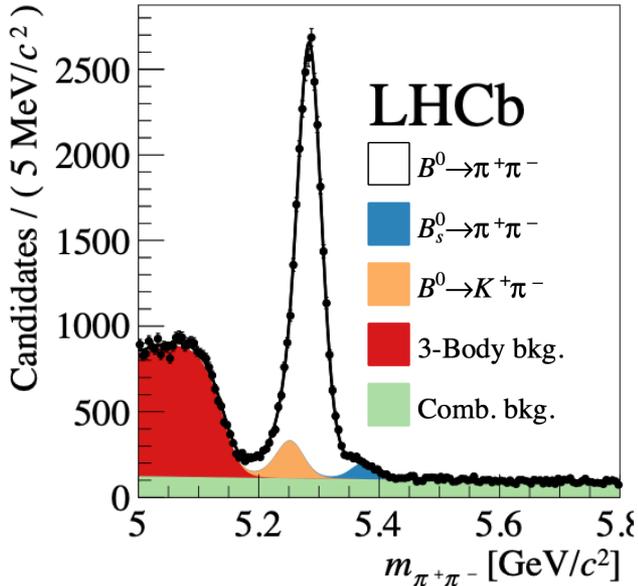
- Responsabilità storica del gruppo di Bologna
 - Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti
 - 8 articoli dal 2012
 - Misure di BR e canali rari



Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna
 - Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti
 - 8 articoli dal 2012
 - Asimmetrie di CP dipendenti dal tempo

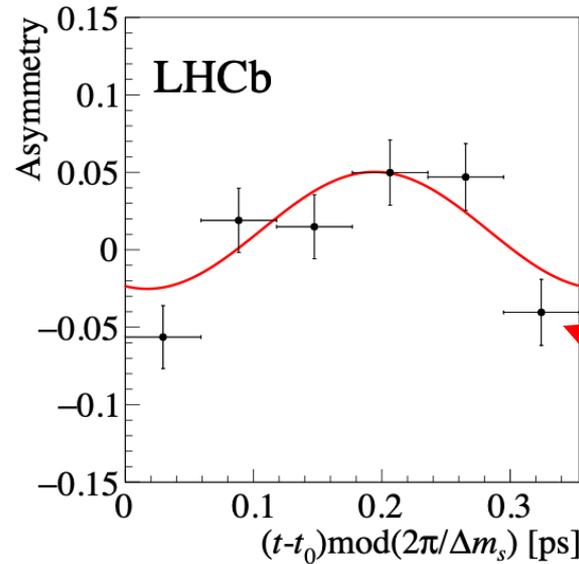
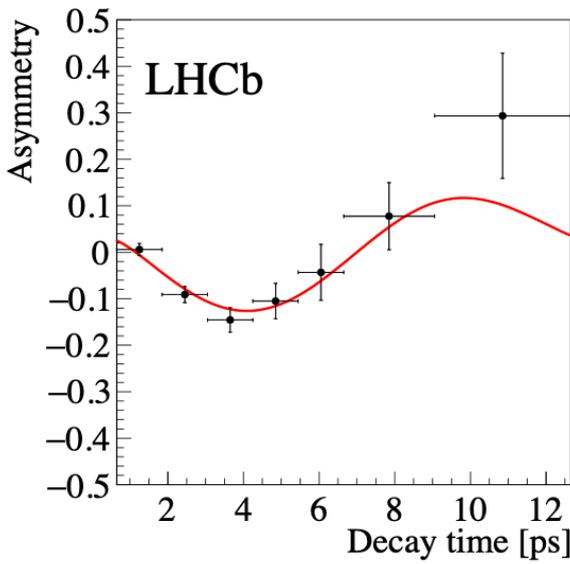
Phys. Rev. D98 (2018) 032004



Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna
 - Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti
 - 8 articoli dal 2012
 - Asimmetrie di CP dipendenti dal tempo

Phys. Rev. D98 (2018) 032004



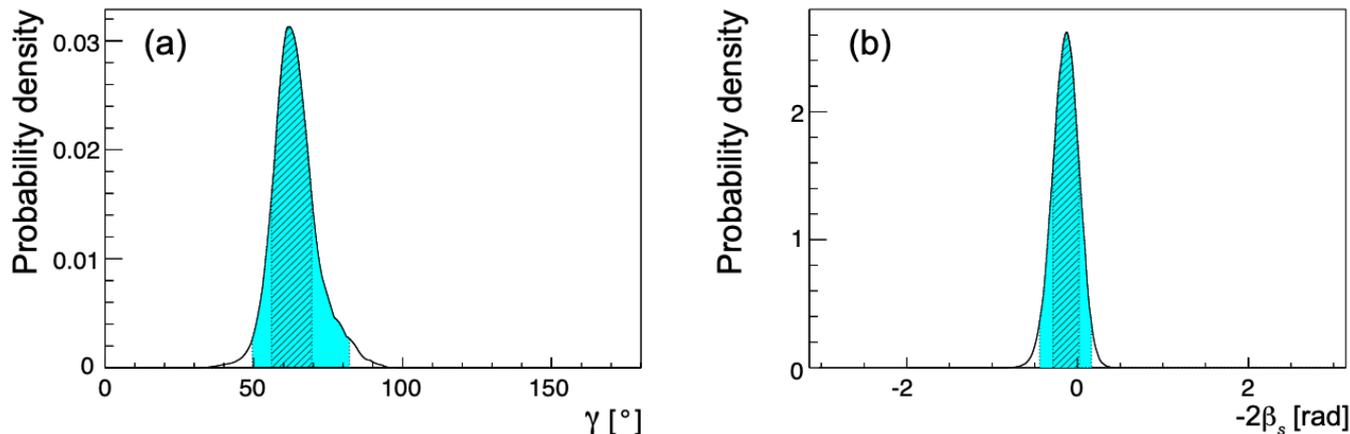
$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma_{\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f}(t) - \Gamma_{B_{(s)}^0 \rightarrow f}(t)}{\Gamma_{\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f}(t) + \Gamma_{B_{(s)}^0 \rightarrow f}(t)}$$

Evidenza di violazione di CP nell'interferenza tra miscelamento e decadimento del mesone $B_s \sim 4\sigma$

Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+ h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna
 - Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti
 - 8 articoli dal 2012
 - Asimmetrie di CP dipendenti dal tempo

[Phys. Lett. B741 \(2015\) 1](#)

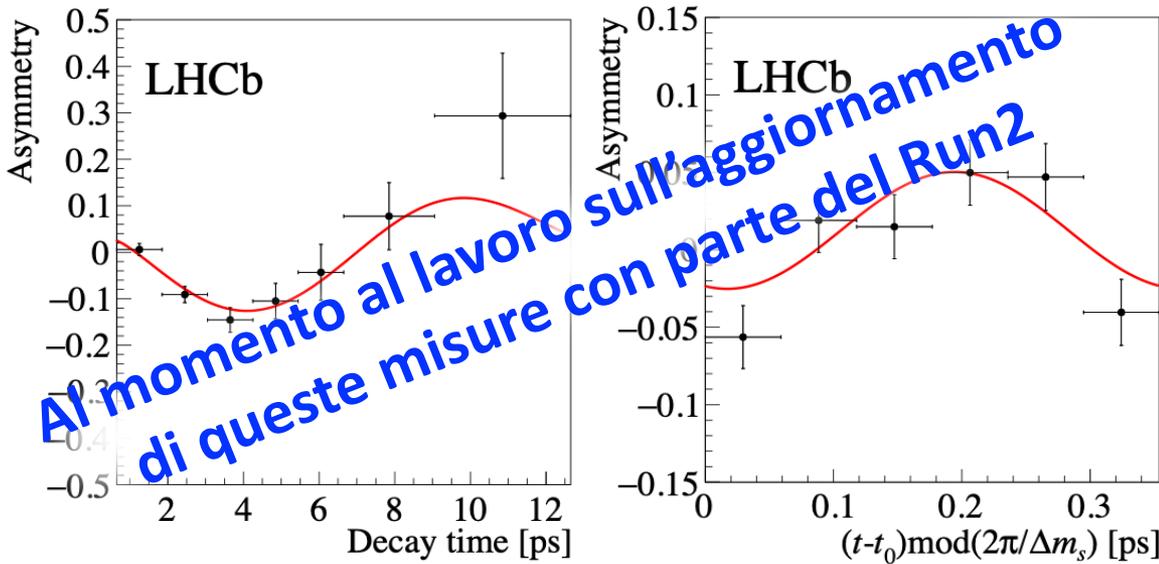


Articolo fenomenologico sulla determinazione dei parametri della matrice CKM γ e $-2\beta_s$ da queste misure

Violazione di CP nei decadimenti $H_b \rightarrow h^+h'^-$

- Responsabilità storica del gruppo di Bologna
 - Tante misure di tipo diverso con questi decadimenti
 - 8 articoli dal 2012
 - Asimmetrie di CP dipendenti dal tempo

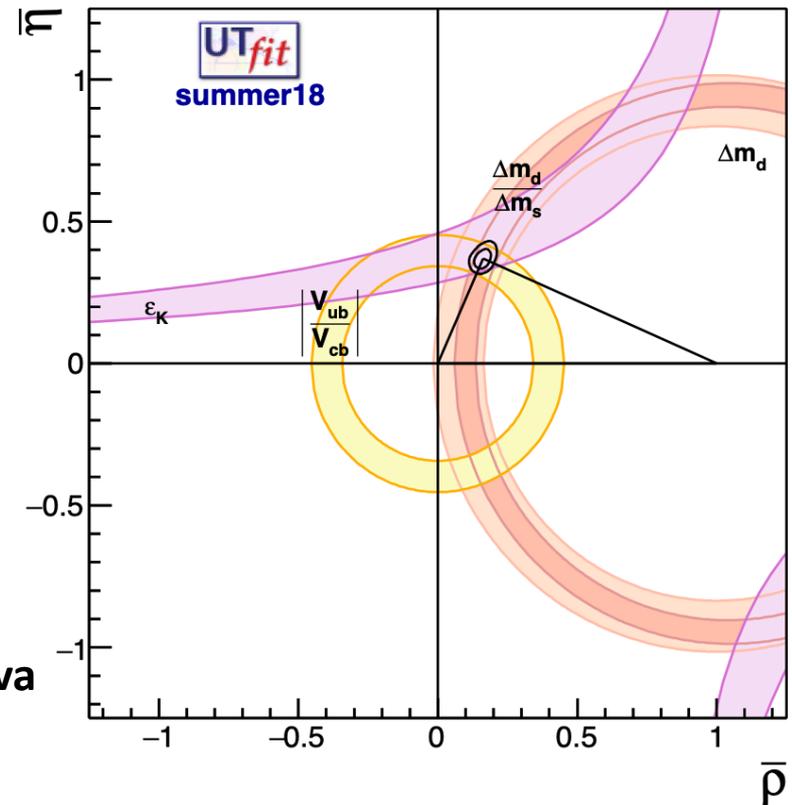
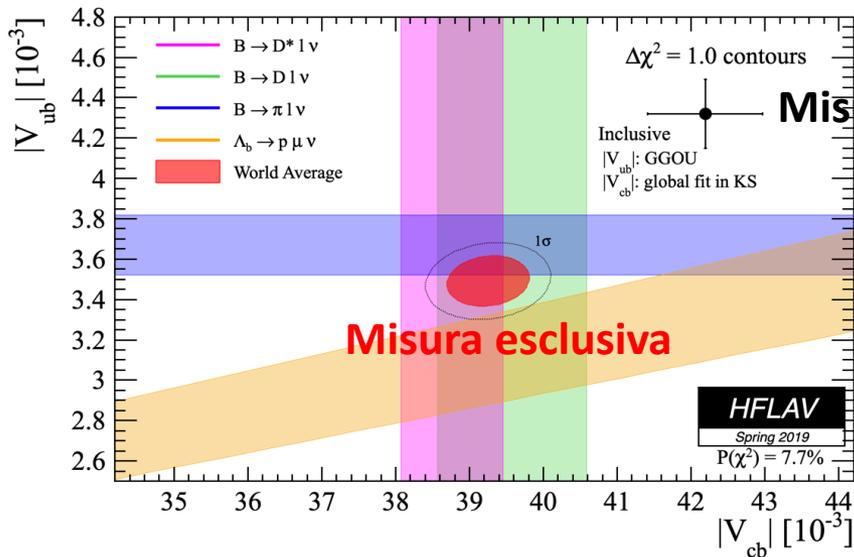
Phys. Rev. D98 (2018) 032004



$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma_{\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f}(t) - \Gamma_{B_{(s)}^0 \rightarrow f}(t)}{\Gamma_{\bar{B}_{(s)}^0 \rightarrow f}(t) + \Gamma_{B_{(s)}^0 \rightarrow f}(t)}$$

Misura di $|V_{cb}|$ con decadimenti semileptonici del B_S^0

- $|V_{cb}|$ è uno dei parametri fondamentali per costringere il triangolo unitario e verificare l'unitarietà della matrice CKM
- Storica discrepanza tra la determinazione inclusiva ed esclusiva di $|V_{cb}|$

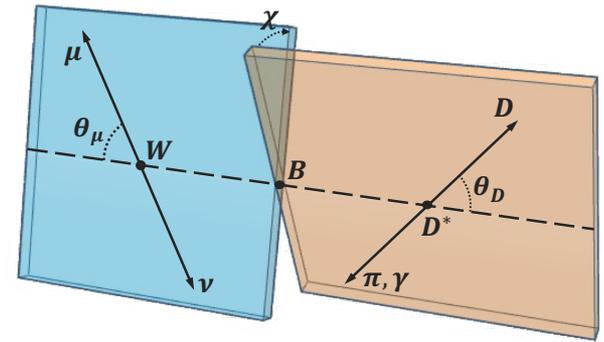


Misura di $|V_{cb}|$ con decadimenti semileptonici del B_s^0

- Analisi iniziata per misurare i fattori di forma dei decadimenti $B_s \rightarrow D_s^{(*)} \mu \nu$

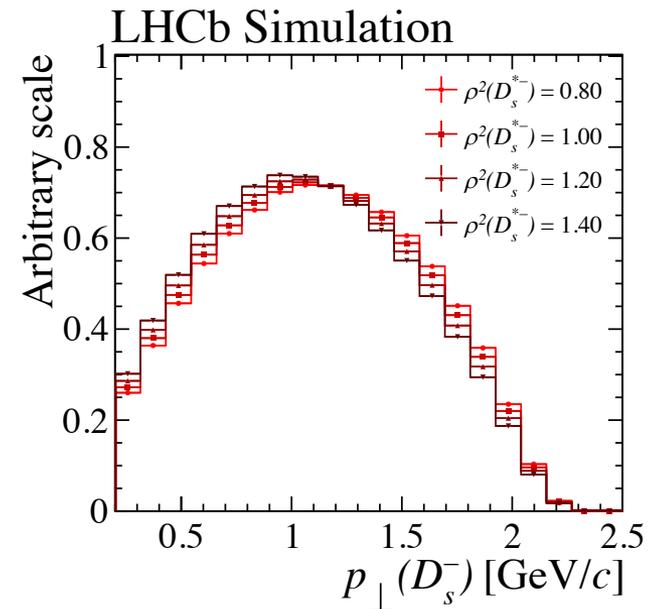
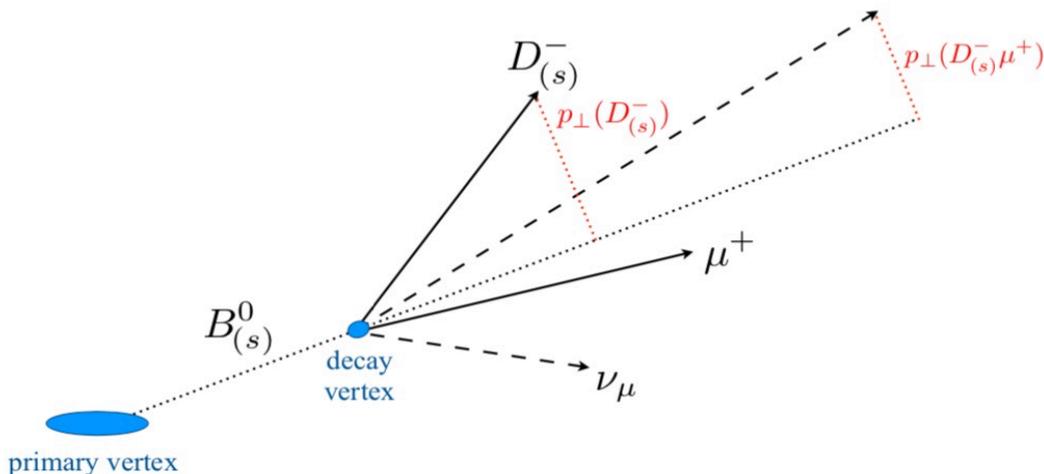
$$\frac{d^4\Gamma(B \rightarrow D^* \mu \nu)}{dw d\cos\theta_\mu d\cos\theta_D d\chi} = \frac{3m_B^3 m_{D^*}^2 G_F^2}{16(4\pi)^4} \eta_{EW}^2 |V_{cb}|^2 \mathcal{A}(w, \theta_\mu, \theta_D, \chi)^2$$

$$\frac{d\Gamma(B \rightarrow D \mu \nu)}{dw} = \frac{G_F^2 m_D^3}{48\pi^3} (m_B + m_D)^2 \eta_{EW}^2 |V_{cb}|^2 (w^2 - 1)^{3/2} |\mathcal{G}(w)|^2$$



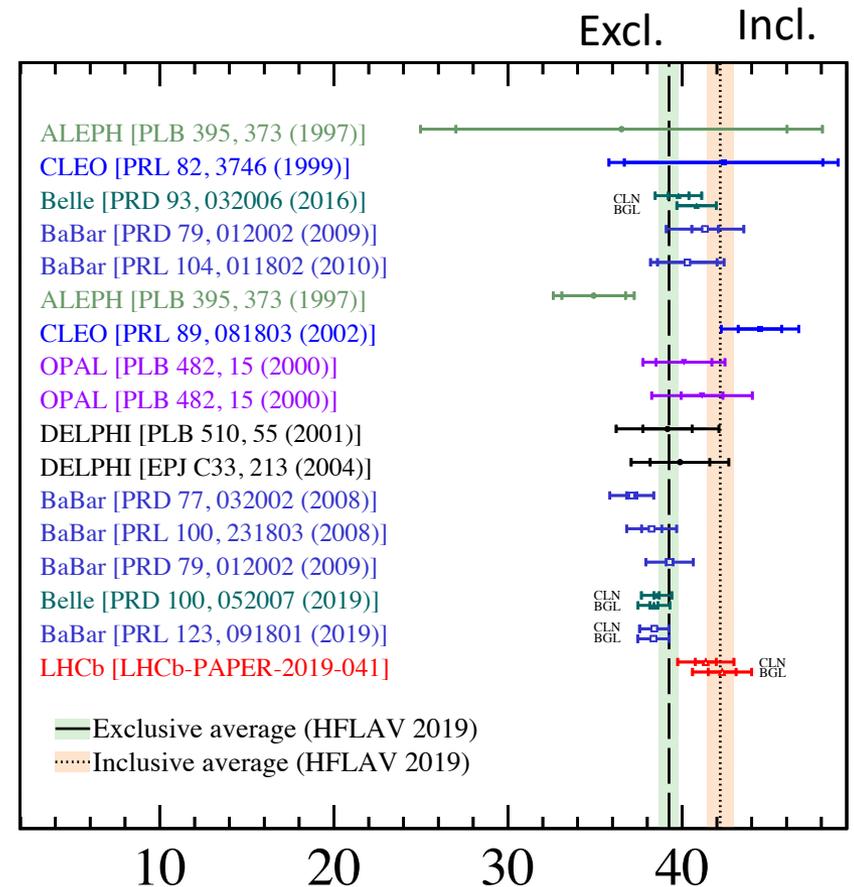
[Articolo sottomesso a PRD](#)

- Utilizzo di una tecnica innovativa per ovviare alla non ricostruzione del neutrino



Misura di $|V_{cb}|$ con decadimenti semileptonici del B_S^0

- Prima misura di $|V_{cb}|$ ad un collisionatore adronico e prima misura che utilizza decadimenti del B_S^0



[Articolo inviato a PRD](#)

$$|V_{cb}|_{\text{CLN}} = (41.4 \pm 0.6 (\text{stat}) \pm 0.9 (\text{syst}) \pm 1.2 (\text{ext})) \times 10^{-3}$$

$$|V_{cb}|_{\text{BGL}} = (42.3 \pm 0.8 (\text{stat}) \pm 0.9 (\text{syst}) \pm 1.2 (\text{ext})) \times 10^{-3}$$

$|V_{cb}| [10^{-3}]$

Misura di $|V_{cb}|$ con decadimenti semileptonici del B_S^0

- Prima misura di $|V_{cb}|$ ad un collisionatore adronico e prima misura che utilizza decadimenti del B_S^0

CERN Courier Jan 2020



$$|V_{cb}|_{CLN} = 39.25 \pm 0.8 \text{ (stat)} \pm 0.9 \text{ (syst)} \pm 1.2 \text{ (ext)} \times 10^{-3}$$

$$|V_{cb}|_{BGL} = 42.19 \pm 0.8 \text{ (stat)} \pm 0.9 \text{ (syst)} \pm 1.2 \text{ (ext)} \times 10^{-3}$$

$|V_{cb}| [10^{-3}]$

Attività di analisi dati

(Studio decadimenti di adroni charm)

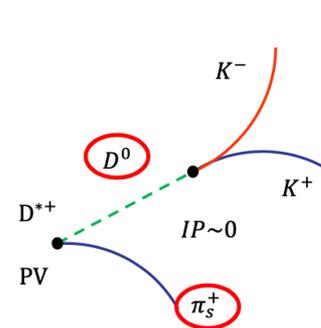
Prima osservazione di violazione di CP nel charm

- Nel Modello Standard la violazione di CP nel charm è molto piccola
 - Necessità di altissima statistica
 - Necessità di utilizzare osservabili robuste rispetto ad errori sistematici e effetti sperimentali che possano mimare violazione di CP
- Misurare la differenza tra le asimmetrie di CP dei decadimenti $D^0 \rightarrow K^+K^-$ e $D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$

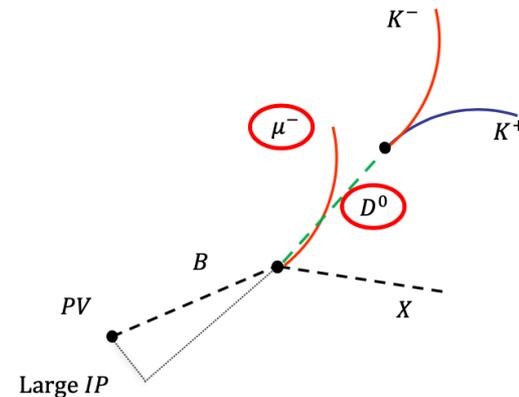
$$\Delta A_{CP} \equiv A_{CP}(KK) - A_{CP}(\pi\pi) \quad A_{CP}(f) = \frac{\Gamma(D^0 \rightarrow f) - \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}{\Gamma(D^0 \rightarrow f) + \Gamma(\bar{D}^0 \rightarrow f)}$$

- Due metodi per separare D^0 e \bar{D}^0

$$A_{raw}(f) = \frac{N(D^0 \rightarrow f) - N(\bar{D}^0 \rightarrow f)}{N(D^0 \rightarrow f) + N(\bar{D}^0 \rightarrow f)}$$



Pion tagging using $D^* \rightarrow D^0 \pi$ decays



Muon tagging using $B \rightarrow D^0 \mu \nu X$ decays

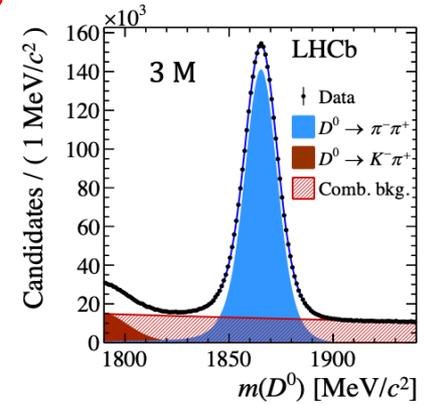
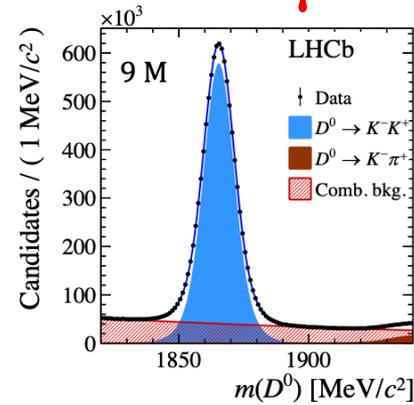
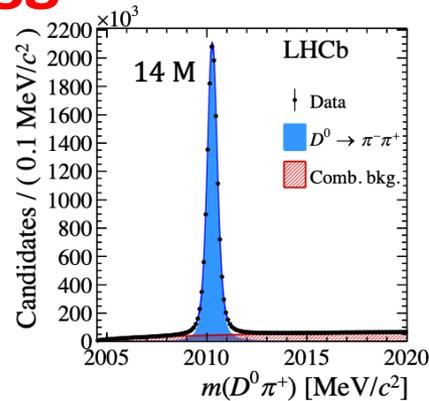
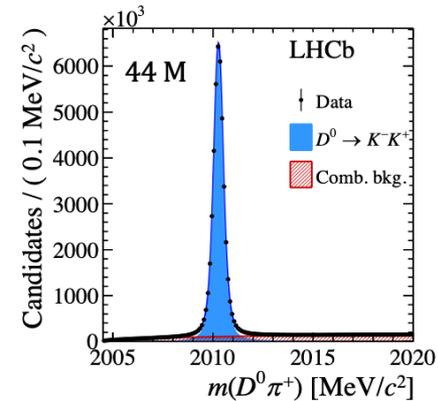
$$A_{raw}(f) = A_{CP}(f) + \underbrace{A_{tag} + A_{prod}}_{\text{Si cancellano nella differenza}}$$

Si cancellano nella differenza

Prima osservazione di violazione di CP nel charm

D*-tagged

μ -tagged



Run-2 data (6 fb⁻¹)

Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

$$\Delta A_{CP}^{\pi\text{-tagged}} = [-18.2 \pm 3.2 \text{ (stat.)} \pm 0.9 \text{ (syst.)}] \times 10^{-4}$$

$$\Delta A_{CP}^{\mu\text{-tagged}} = [-9 \pm 8 \text{ (stat.)} \pm 5 \text{ (syst.)}] \times 10^{-4}$$

Combinazione con il risultato Run1

$$\Delta A_{CP} = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$$

Osservazione di violazione di CP con una
significatività di 5.3 σ

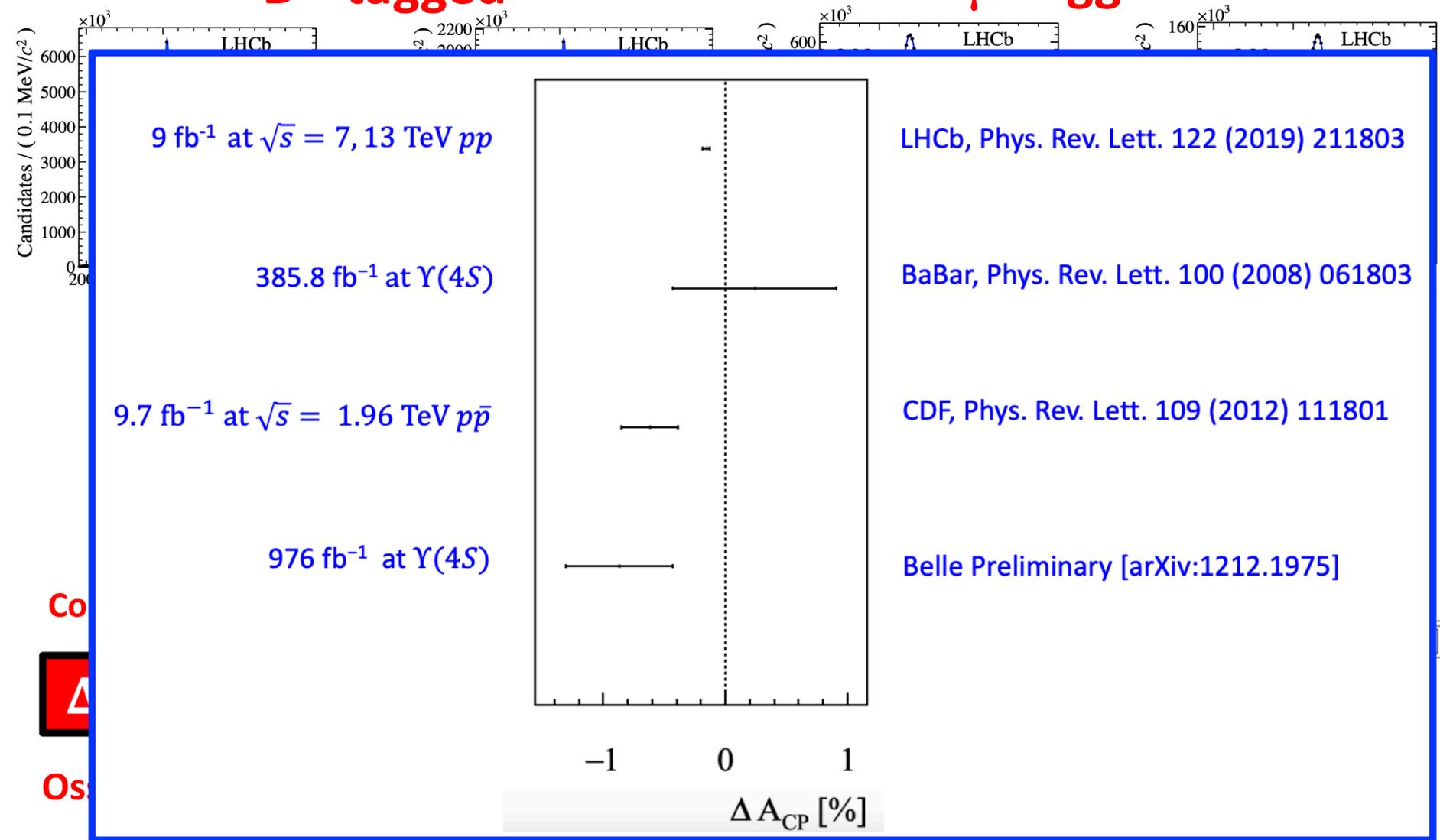
Incertezze sistematiche

Source	π -tagged [10 ⁻⁴]	μ -tagged [10 ⁻⁴]
Fit model	0.6	2
Mistag	–	4
Weighting	0.2	1
Secondary decays	0.3	–
B^0 fraction	–	1
B reco. efficiency	–	2
Peaking background	0.5	–
Total	0.9	5

Prima osservazione di violazione di CP nel charm

D*-tagged

μ -tagged



Co

Os

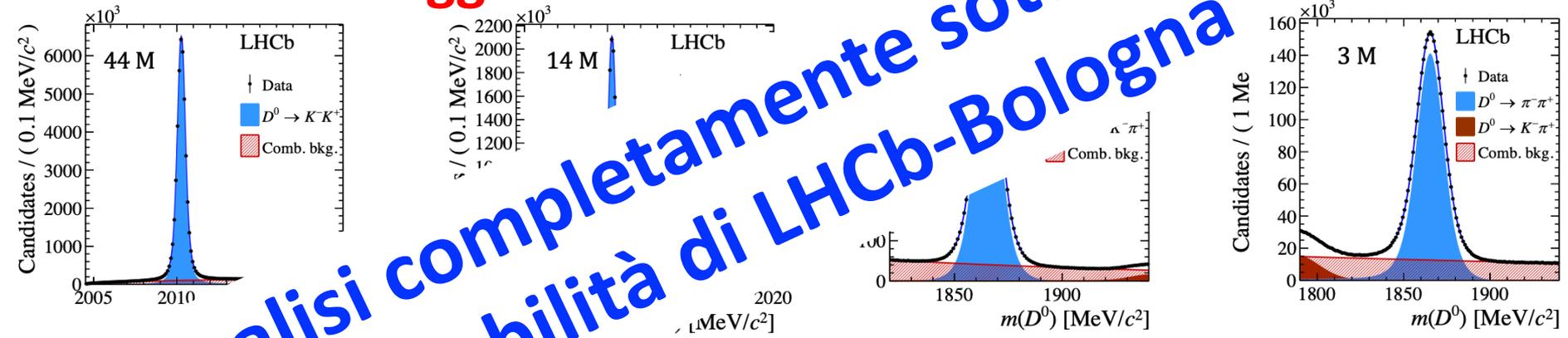
significativa al 5.00%

Peaking background	0.5	–
Total	0.9	5

Prima osservazione di violazione di CP nel charm

D*-tagged

d



Analisi completamente sotto la responsabilità di LHCb-Bologna

Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 211803

Run-2

$$\Delta A_{CP}^{\pi^-} = [-18.2 \pm 3.2 \text{ (stat.)} \pm 0.9 \text{ (syst.)}] \times 10^{-4}$$

$$\Delta A_{CP}^{\mu^- \text{tagged}} = [-9 \pm 8 \text{ (stat.)} \pm 5 \text{ (syst.)}] \times 10^{-4}$$

Combinazione con il risultato Run1

$$\Delta A_{CP} = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$$

Osservazione di violazione di CP con una significatività di 5.3σ

Incertezze sistematiche

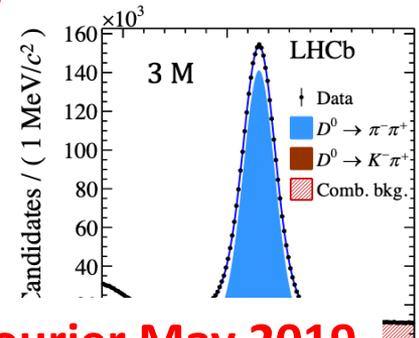
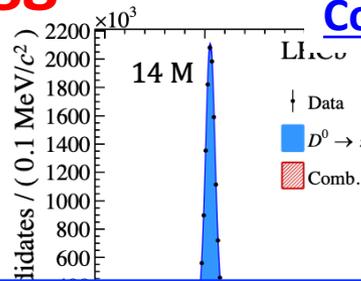
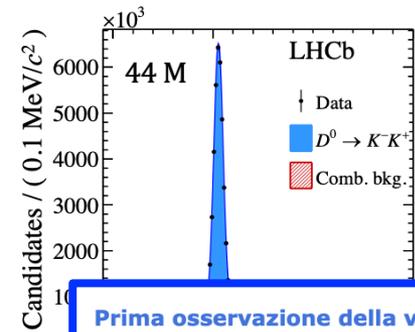
Source	π -tagged [10^{-4}]	μ -tagged [10^{-4}]
Fit model	0.6	2
Mistag	–	4
Weighting	0.2	1
Secondary decays	0.3	–
B^0 fraction	–	1
B reco. efficiency	–	2
Peaking background	0.5	–
Total	0.9	5

Prima osservazione di violazione di CP nel charm

D*-tagged

μ -tagged

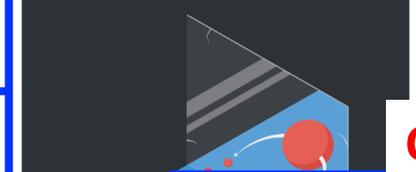
Comunicato stampa CERN



LHCb sees a new flavour of matter-antimatter asymmetry

The LHCb collaboration has observed a phenomenon known as CP violation in the decays of a particle known as a D0 meson for the first time

21 MARCH, 2019



CERN Courier May 2019

Prima osservazione della violazione di CP nel charm

Sito di sezione

Publicato Venerdì, 22 Marzo 2019



Novità sul fronte della comprensione della violazione di CP, ingrediente fondamentale per spiegare l'asimmetria materia-antimateria presente nell'universo. L'esperimento LHCb, uno dei quattro grandi rivelatori installati presso il tunnel sotterraneo dell'acceleratore LHC del CERN, ha effettuato una misura che, a detta del Direttore della Ricerca del CERN, Eckhard Elsen, in un comunicato stampa diramato stamane dai laboratori di Ginevra, rappresenta una pietra miliare nella storia della fisica delle particelle.

L'analisi dei dati è stata realizzata dal gruppo di Bologna dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), che fa parte della collaborazione internazionale LHCb. Per la prima volta, è stata osservata nei decadimenti delle particelle charm (ossia particelle che contengono un quark c) un'asimmetria di comportamento rispetto alle rispettive antiparticelle. Questo fenomeno, denominato in gergo tecnico *violazione della simmetria CP*, è stato identificato studiando i decadimenti dei mesoni D^0 , composti in particolare da un quark c (charm) e un quark u (up). Il risultato, che ha una significatività statistica di 5.3 sigma è stato presentato oggi, 21 marzo, alla conferenza Rencontres de Moriond EW e in un seminario al CERN trasmesso in webcast, dai ricercatori della Sezione INFN e dell'Università di Bologna Federico Betti e Angelo Carbone.

CP VIOLATION

LHCb observes CP violation in charm decays

On the morning of 21 March, at the 2019 Rencontres de Moriond in La Thuile, Italy, the LHCb collaboration announced the discovery of charge-parity (CP) violation in the charm system. Met with an impromptu champagne celebration, the result represents a milestone in particle physics and opens a new area of investigation in the charm sector.

CP violation, which results in differences in the properties of matter and antimatter, was first observed in the decays of K mesons (which contain strange quarks) in 1964, by James Cronin and Val Fitch.



in December being prepared for upgrades.

9 (syst)

± 5

COMUNICATI STAMPA 2019

Comunicato stampa INFN

ASIMMETRIA MATERIA-ANTIMATERIA: OSSERVATA PER LA PRIMA VOLTA LA VIOLAZIONE DI CP NELLE PARTICELLE CHARM



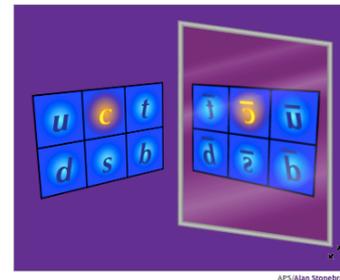
Si scosta un altro po' il velo calato sul mistero dell'asimmetria tra materia e antimateria: un'asimmetria minuscola ma sufficiente a far sì che il nostro universo esista e sia fatto esclusivamente di materia. È stata, infatti, scoperta nei decadimenti delle particelle charm (ossia particelle che contengono un quark c, che ha carica elettrica +2/3 rispetto a quella dell'elettrone) un'asimmetria di comportamento rispetto alle loro antiparticelle, chiamata violazione di CP (cioè di carica e di parità). In particolare, la violazione di CP è stata osservata nei mesoni D^0 . La misura è stata ottenuta dall'esperimento LHCb, uno dei quattro enormi rivelatori dislocati lungo l'anello sotterraneo di 27 km dell'acceleratore LHC del CERN, ed è stata coordinata dal gruppo di Bologna dell'INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare che fa parte della collaborazione scientifica LHCb.

Nazionale di Fisica Nucleare che fa parte della collaborazione scientifica LHCb.

Viewpoint: Charm Reflects Poorly on Anticharm

Hiroaki Aihara, Department of Physics, University of Tokyo, Tokyo, Japan
May 29, 2019 • Physics 12, 52

A study of particles containing charm quarks has uncovered a violation of so-called CP symmetry, which could help in understanding why matter dominates antimatter in the Universe.



significatività di 5.3σ

10⁻⁴

una

[10⁻⁴] μ -tagged [10⁻⁴]

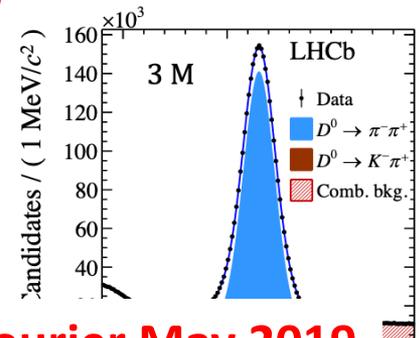
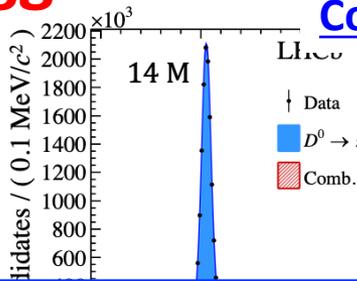
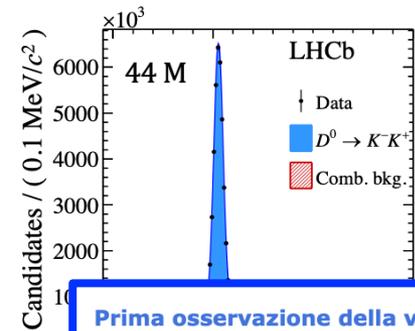
- 2
- 4
- 1
-
- 1
- 2
-
- 5

Prima osservazione di violazione di CP nel charm

D*-tagged

μ -tagged

Comunicato stampa CERN



CERN Courier May 2019

Prima osservazione della violazione di CP nel charm

Sito di sezione

Publicato Venerdì, 22 Marzo 2019



Novità sul fronte della comprensione della violazione di CP, ingrediente fondamentale per spiegare l'asimmetria materia-antimateria. I fisici della collaborazione LHCb, che ha effettuato una misura di precisione della violazione di CP in un comunicato stampa diramato venerdì 22 marzo 2019, hanno millare nella storia della fisica.

L'analisi dei dati è stata realizzata dal gruppo di Bologna dell'INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), che fa parte della collaborazione scientifica LHCb.

PDG review on CP violation

LHCb observes CP violation in charm decays



meson transitions to CP eigenstates like $J/\psi K_S$ is about 0.7 [2, 3]. These effects are related to $K^0-\bar{K}^0$ and $B^0-\bar{B}^0$ mixing, but CP violation arising solely from decay amplitudes has also been observed, first in $K \rightarrow \pi\pi$ decays [4–6], subsequently in B^0 [7,8], B^+ [9–11], and B_s^0 [12] decays, and most recently in **charm decays** [13]. Similar effects could also occur in decays of baryons, but have

DI CP NELLE PARTICELLE CHARM

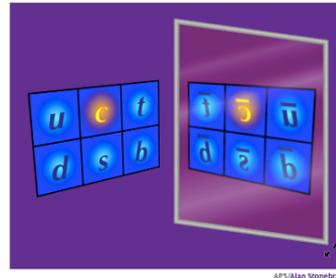


Si scosta un altro po' il velo calato sul mistero dell'asimmetria tra materia e antimateria: un'asimmetria minuscola ma sufficiente a far sì che il nostro universo esista e sia fatto esclusivamente di materia. È stata, infatti, scoperta nei decadimenti delle particelle charm (ossia particelle che contengono un quark c, che ha carica elettrica +2/3 rispetto a quella dell'elettrone) un'asimmetria di comportamento rispetto alle loro antiparticelle, chiamata violazione di CP (cioè di carica e di parità). In particolare, la violazione di CP è stata osservata nei mesoni D^0 . La misura è stata ottenuta dall'esperimento LHCb, uno dei quattro enormi rivelatori dislocati lungo l'anello sotterraneo di 27 km dell'acceleratore LHC del CERN, ed è stata coordinata dal gruppo di Bologna dell'INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare che fa parte della collaborazione scientifica LHCb.

Hiroaki Aihara, Department of Physics, University of Tokyo, Tokyo, Japan

May 29, 2019 • Physics 12, 52

A study of particles containing charm quarks has uncovered a violation of so-called CP symmetry, which could help in understanding why matter dominates antimatter in the Universe.



$[10^{-4}]$ μ -tagged $[10^{-4}]$

- 2
- 4
- 1
-
- 1
- 2
-
- 5

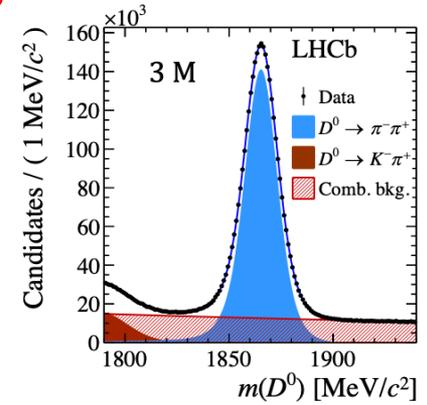
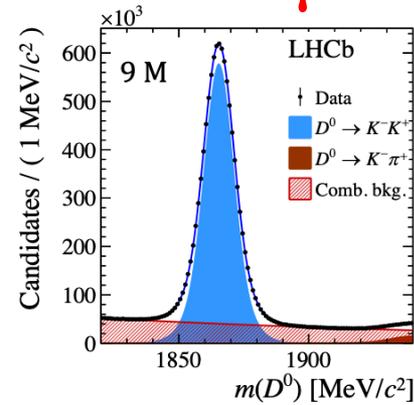
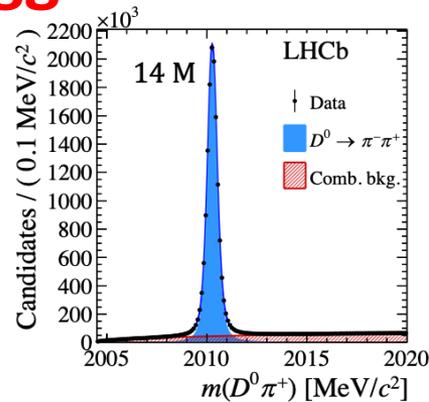
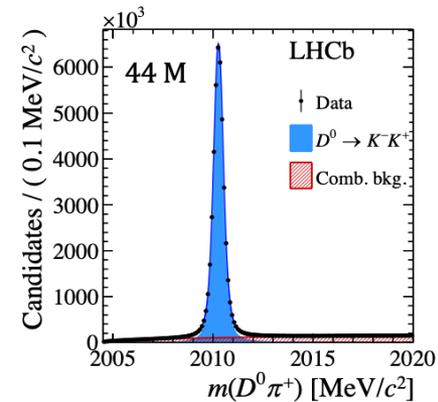
significatività di 5.3σ

10⁻⁴
n una

Prima osservazione di violazione di CP nel charm

D*-tagged

μ -tagged



Run- **Al momento al lavoro sulla misura delle due asimmetrie separate $A_{CP}(K^+K^-)$ e $A_{CP}(\pi^+\pi^-)$**

ΔA_{CP}

$$\Delta A_{CP}^{\pi\pi} = [-9 \pm 8 \text{ (stat.)} \pm 5 \text{ (syst.)}] \times 10^{-4}$$

Combinazione con il risultato Run1

$$\Delta A_{CP} = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$$

Osservazione di violazione di CP con una significatività di 5.3σ

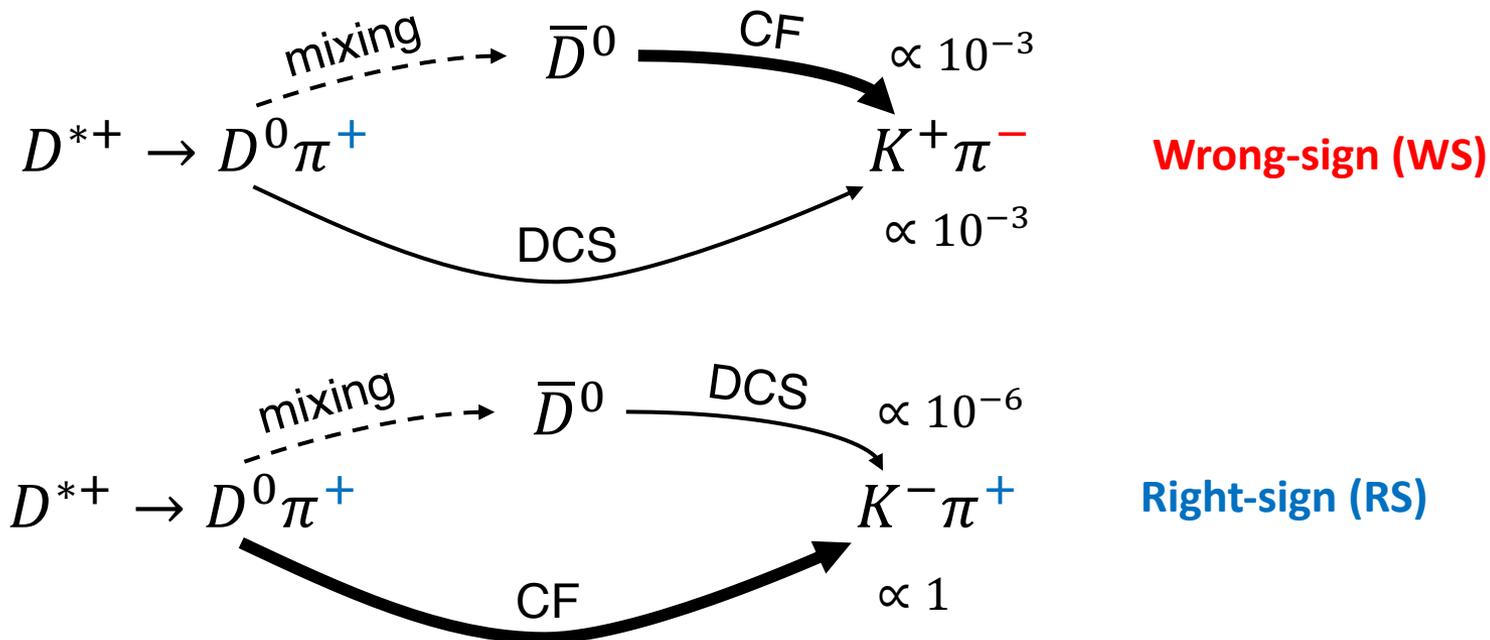
Incertezze sistematiche

Source	π -tagged [10^{-4}]	μ -tagged [10^{-4}]
Fit model	0.6	2
Mistag	–	4
Weighting	0.2	1
Secondary decays	0.3	–
B^0 fraction	–	1
B reco. efficiency	–	2
Peaking background	0.5	–
Total	0.9	5

Misura del miscelamento dei mesoni D^0

- Sfruttare l'interferenza tra il miscelamento e il decadimento per misurare il rapporto WS/RS in funzione del tempo

$$R(t) = \frac{N_{WS}(t)}{N_{RS}(t)} = R_D + \sqrt{R_D} y' t + \frac{x'^2 + y'^2}{4} t$$



Misura del miscelamento dei mesoni D^0

- Sfruttare l'interferenza tra il miscelamento e il decadimento per misurare il rapporto WS/RS in funzione del tempo

$$R(t) = \frac{N_{WS}(t)}{N_{RS}(t)} = R_D + \sqrt{R_D} y' t + \frac{x'^2 + y'^2}{4} t$$

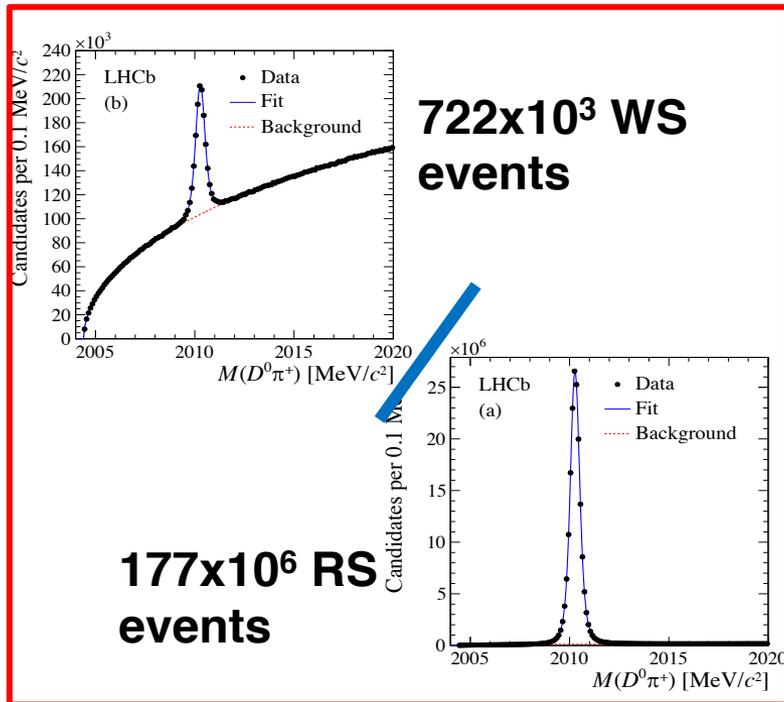
- Misurando il rapporto separatamente per D^0 (R_D^+ , x'^+ , y'^+) and \bar{D}^0 (R_D^- , x'^- , y'^-) è possibile misurare violazione di CP
 - $R_D^+ \neq R_D^- \Rightarrow$ violazione di CP diretta
 - $(x'^{2+}, y'^+) \neq (x'^{2-}, y'^-) \Rightarrow$ violazione di CP indotta dal miscelamento

Misura del miscelamento dei mesoni D^0

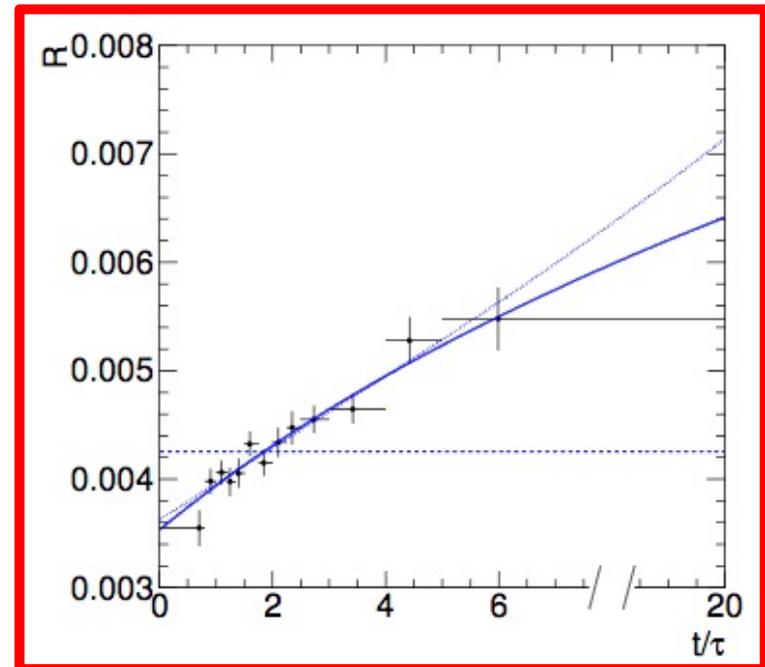
- Sfruttare l'interferenza tra il miscelamento e il decadimento per misurare il rapporto WS/RS in funzione del tempo

$$R(t) = \frac{N_{WS}(t)}{N_{RS}(t)} = R_D + \sqrt{R_D} y' t + \frac{x'^2 + y'^2}{4} t$$

[Phys. Rev. D97 \(2018\) 031101](#)



=

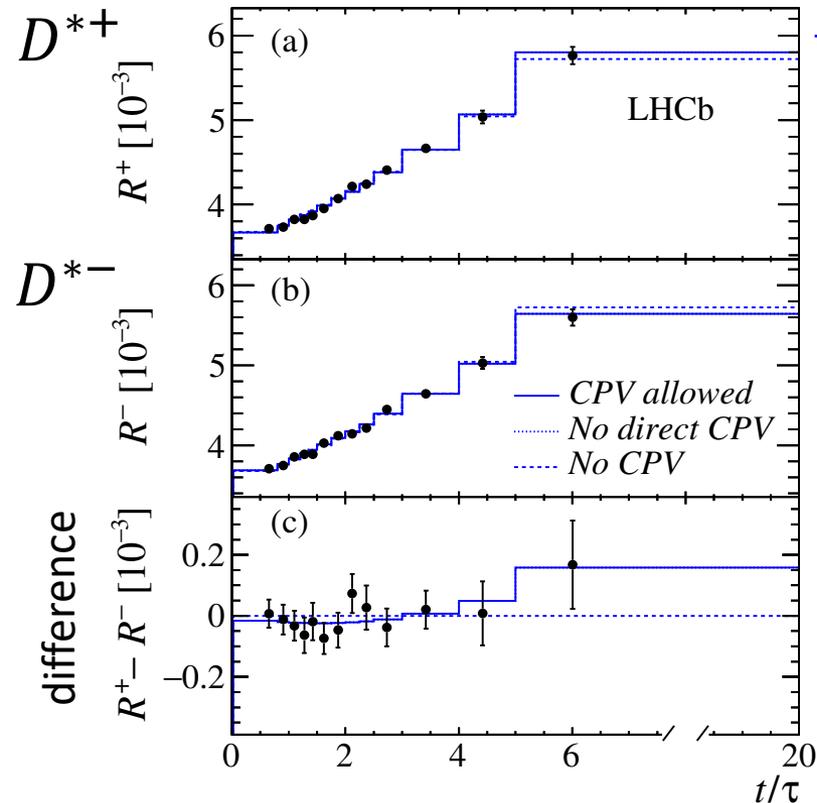


Misura del miscelamento dei mesoni D^0

- Sfruttare l'interferenza tra il miscelamento e il decadimento per misurare il rapporto in funzione del tempo

$$R(t) = \frac{N_{WS}(t)}{N_{RS}(t)} = R_D + \sqrt{R_D} y' t + \frac{x'^2 + y'^2}{4} t$$

[Phys. Rev. D97 \(2018\) 031101](#)



	$R_D (10^{-3})$	$y' (10^{-3})$	$x'^2 (10^{-3})$
CDF ¹	3.51 ± 0.35	4.3 ± 4.3	0.08 ± 0.18
Belle ²	3.53 ± 0.13	4.6 ± 3.4	0.09 ± 0.22
BaBar ³	3.03 ± 0.19	9.7 ± 5.4	-0.22 ± 0.37
LHCb Run 1+2 ⁴	3.454 ± 0.031	5.28 ± 0.52	0.039 ± 0.027

**LHCb domina completamente
la media mondiale**

Misura di CPV nei decadimenti

$D_s \rightarrow K_S \pi^+$, $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$ e $D^+ \rightarrow \phi \pi^+$

- Misura delle asimmetrie di CP nei decadimenti CS
 - Asimmetrie sperimentali eliminate facendo la differenza di A_{raw} con i decadimenti CF
 - Assunzione $A_{CP}(CF) \approx 0$

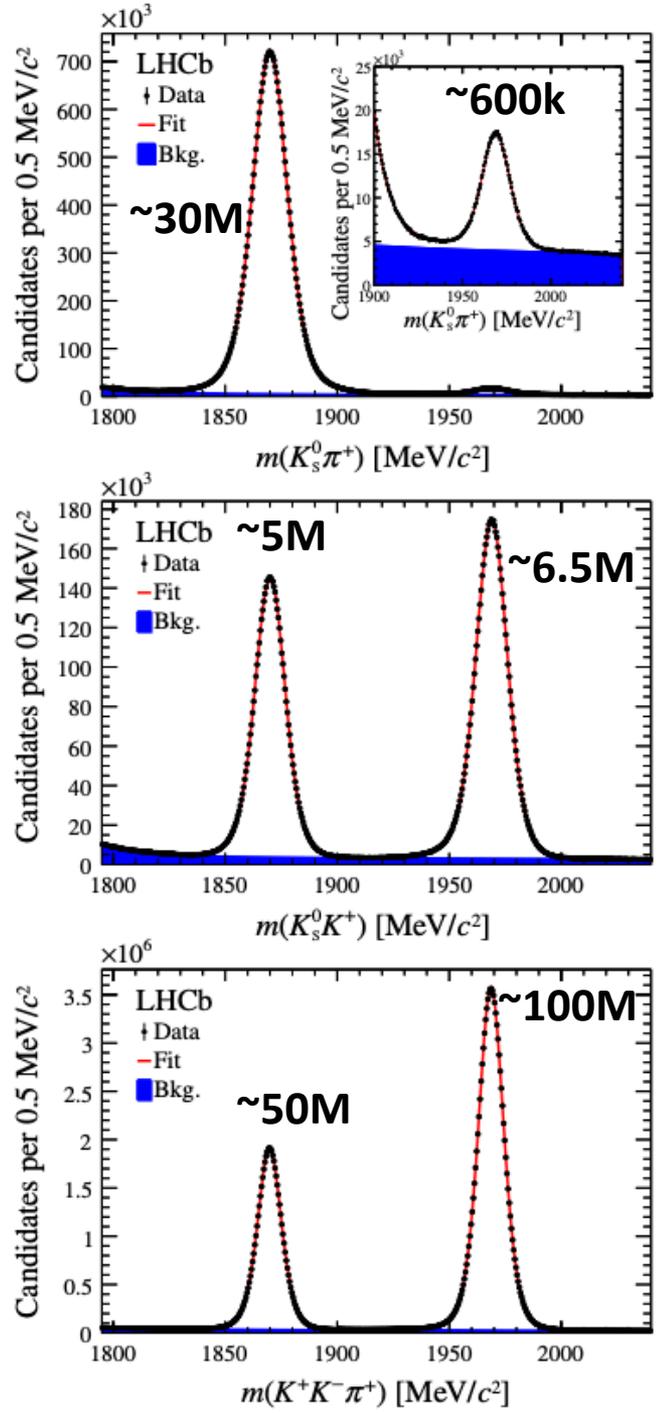
$$A_{CP}(D_s^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+) = (1.6 \pm 1.7 \text{ (stat)} \pm 0.5 \text{ (syst)}) \times 10^{-3},$$

$$A_{CP}(D^+ \rightarrow K_S^0 K^+) = (-0.04 \pm 0.61 \text{ (stat)} \pm 0.45 \text{ (syst)}) \times 10^{-3},$$

$$A_{CP}(D^+ \rightarrow \phi \pi^+) = (0.03 \pm 0.40 \text{ (stat)} \pm 0.29 \text{ (syst)}) \times 10^{-3}.$$

Compatibile con assenza di violazione di CP

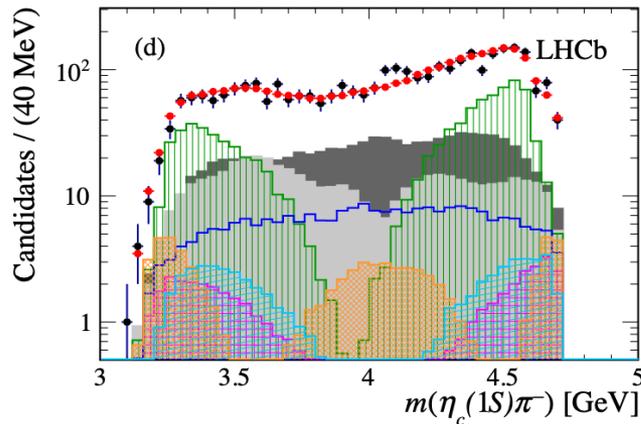
Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 191803



Altre attività di analisi

- Spettroscopia e ricerca di stati esotici
 - Evidenza di una risonanza $\eta_c(1S)\pi$ nei decadimenti $B^0 \rightarrow \eta_c(1S)K^+\pi^-$

[Eur. Phys. J. C78 \(2018\) 1019](#)



—• Data

■ Combinatorial bkg

■ $B^0 \rightarrow p\bar{p}K^+\pi^-$ (NR) bkg

—• Total PDF

—• $K^*(892)^0$

—• $K^+\pi^-$ S-wave

—• $K^*(1680)^0$

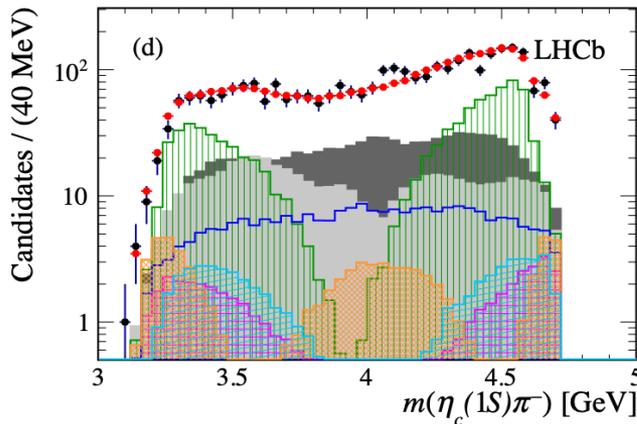
—• $K^*(1410)^0$

—• $K_2^*(1430)^0$

Altre attività di analisi

- Spettroscopia e ricerca di stati esotici
 - Evidenza di una risonanza $\eta_c(1S)\pi$ nei decadimenti $B^0 \rightarrow \eta_c(1S)K^+\pi^-$

Eur. Phys. J. C78 (2018) 1019



— Data

Combinatorial bkg

$B^0 \rightarrow p\bar{p}K^+\pi^-$ (NR) bkg

— Total PDF

$K^*(892)^0$

$K^+\pi^-$ S-wave

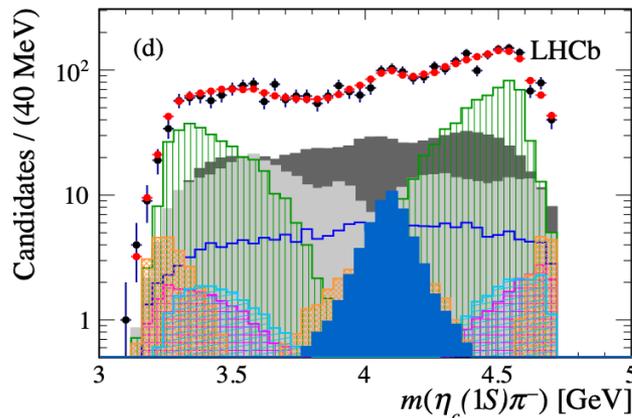
$Z_c(4100)^-$

$K^*(1680)^0$

$K^*(1410)^0$

$K_2^*(1430)^0$

Significatività $> 3\sigma$

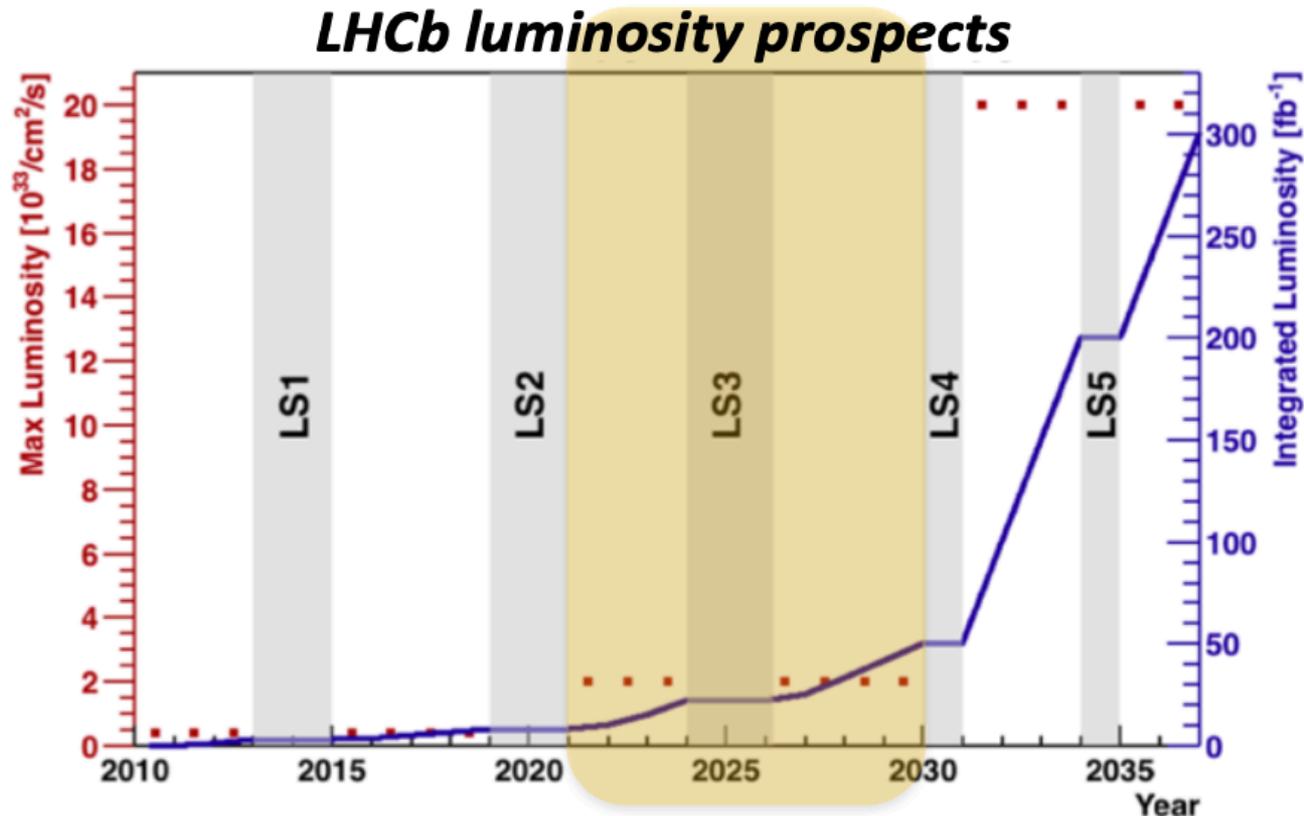


Altre analisi di spettroscopia e ricerca di stati esotici sono in corso

Attività DAQ per LHCb Upgrade1

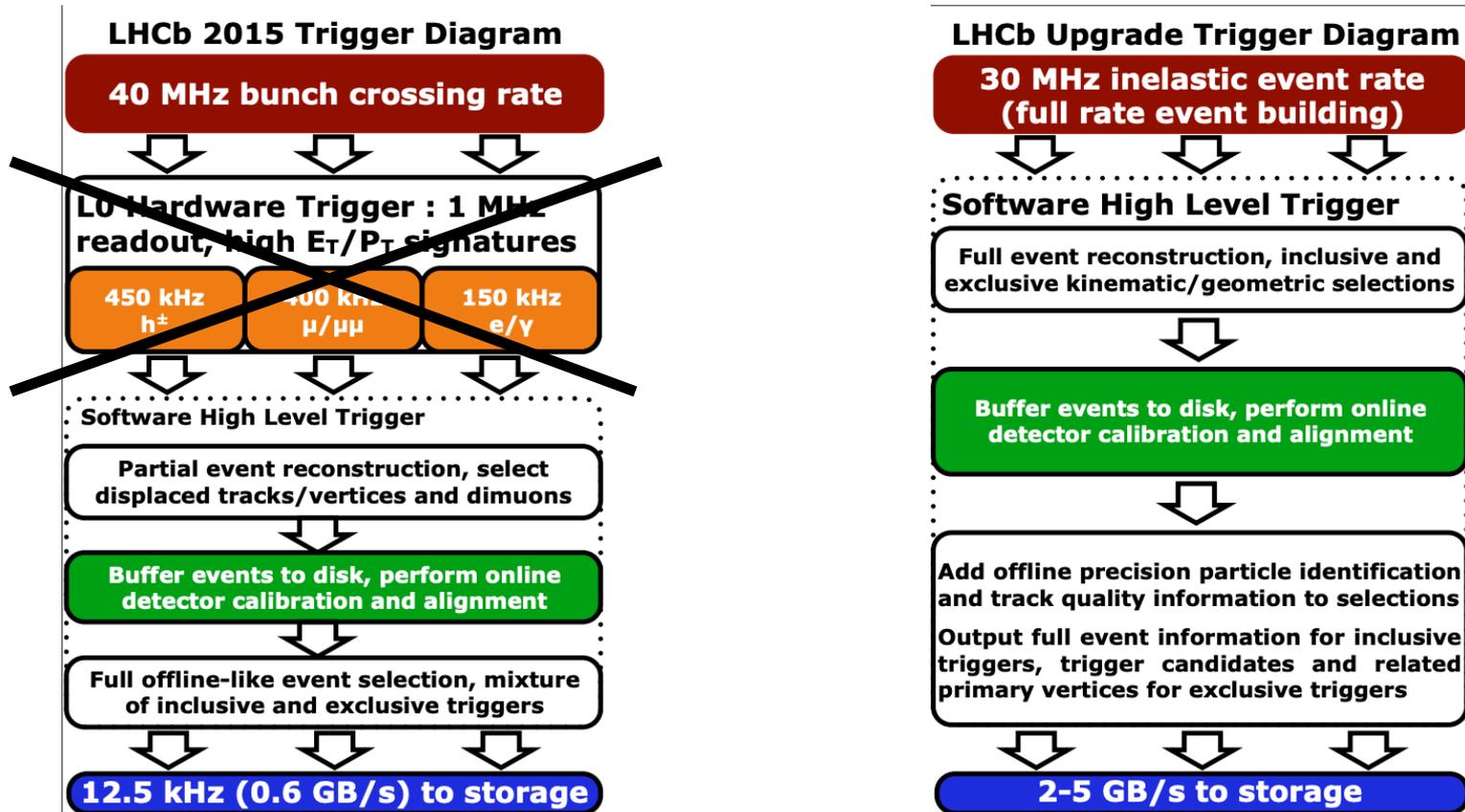
L'Upgrade di LHCb

- Quasi un nuovo esperimento
 - Diversi sottorivelatori sono stati riprogettati quasi completamente per operare a luminosità istantanee x5 rispetto a Run1 e Run2



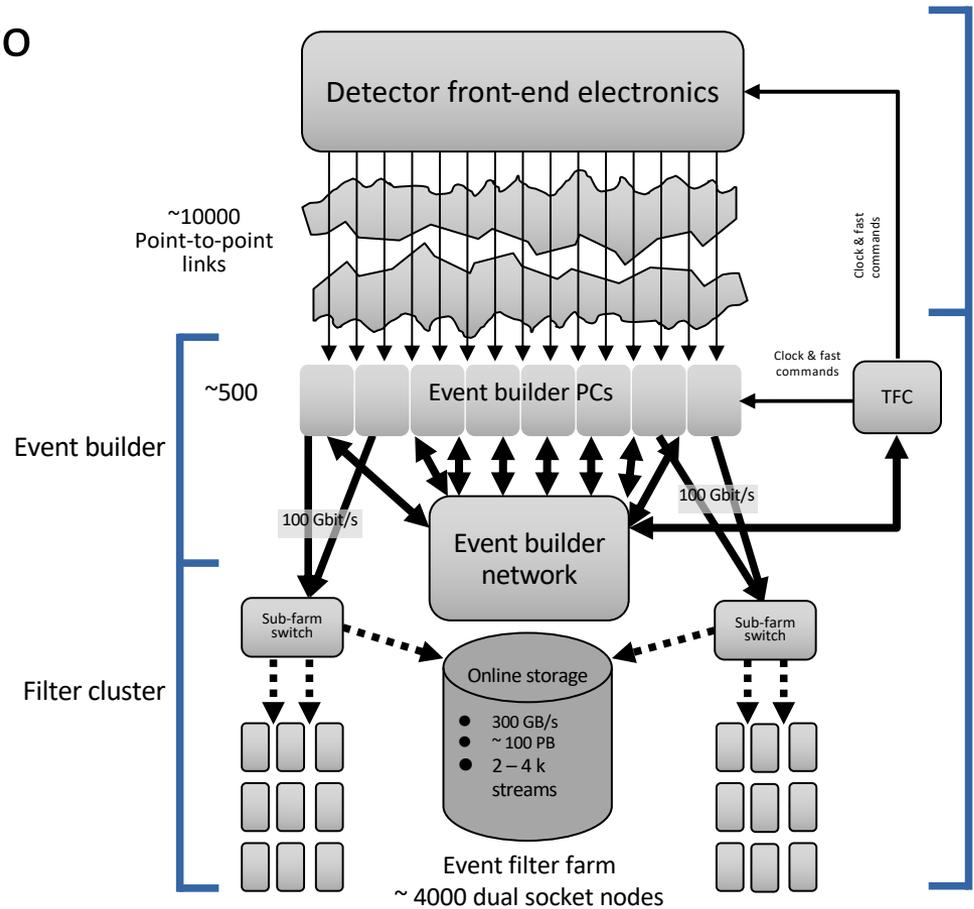
L'Upgrade di LHCb

- Quasi un nuovo esperimento
 - Diversi sottorivelatori sono stati riprogettati quasi completamente per operare a luminosità istantanee $\sim x5$ rispetto a Run1 e Run2
 - Al fine di ottimizzare il trigger si è deciso di eliminare il livello hardware



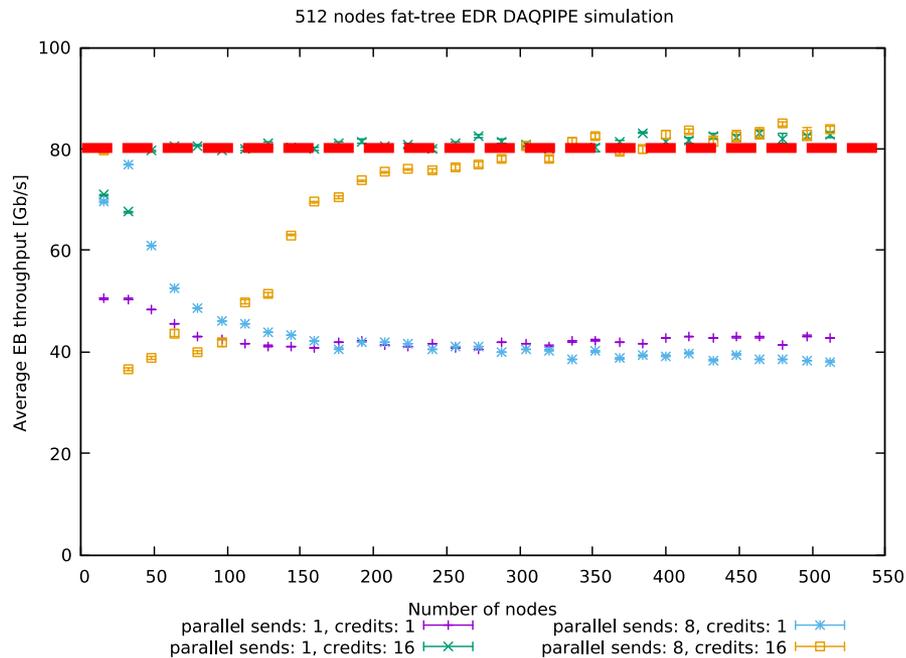
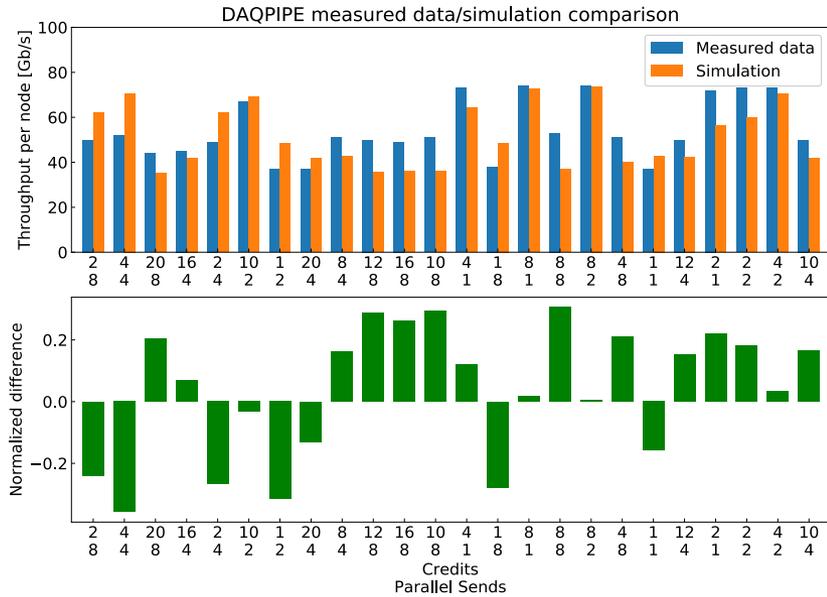
DAQ per LHCb Upgrade

- Event building e trasferimento a farm trigger a 30 MHz
- Due reti separate
 - Event building
 - 500 port @ 80 Gb/s IN/OUT
 - Filter farm
 - 500 ports @ 80 Gb/s OUT
 - 2000 ports @ 20 Gb/s IN
- Soluzione proposta per rete EB
 - Mellanox InfiniBand (EDR/HDR)
- Soluzione proposta per rete EFF
 - 25/50/100/Gb/s Ethernet



DAQ per LHCb Upgrade

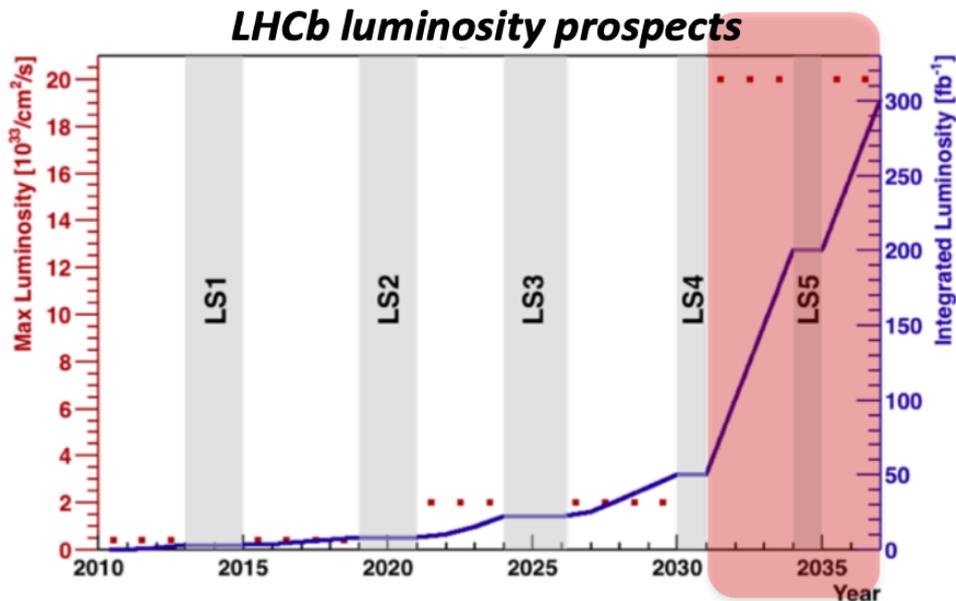
- Sviluppo e simulazione delle soluzioni di rete
 - Confronto del modello con dati reali provenienti da cluster HPC
 - Verificato il raggiungimento delle prestazioni necessarie



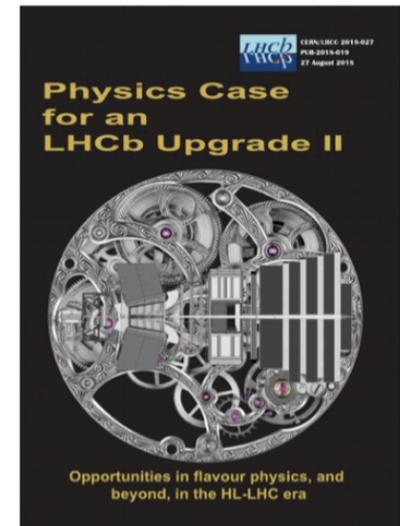
Attività di R&D su rivelatori

R&D su rivelatori

- Attività incentrata sulla ricerca di soluzioni per la fase di Upgrade2 di LHCb
 - Aumento di luminosità istantanea a $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ → x10 luminosità istantanea Upgrade1



CERN-LHCC-2017-003



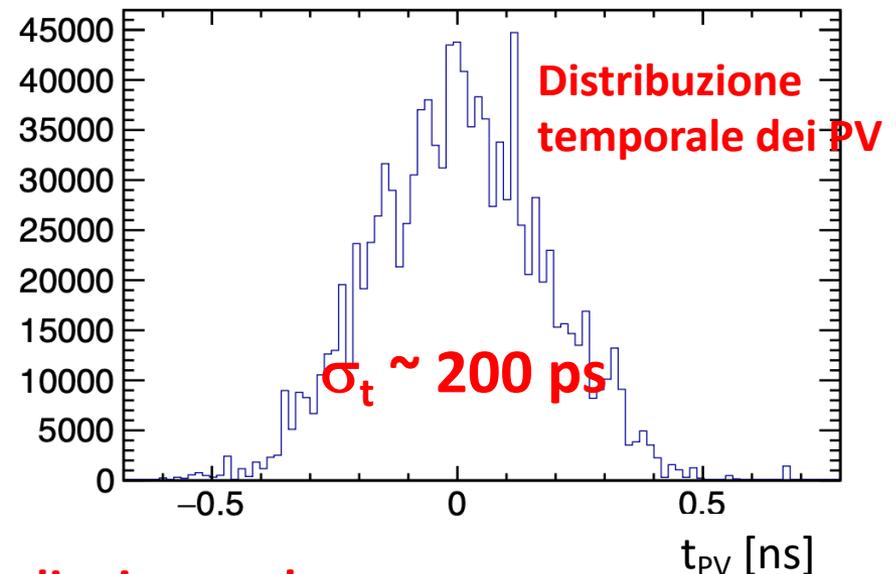
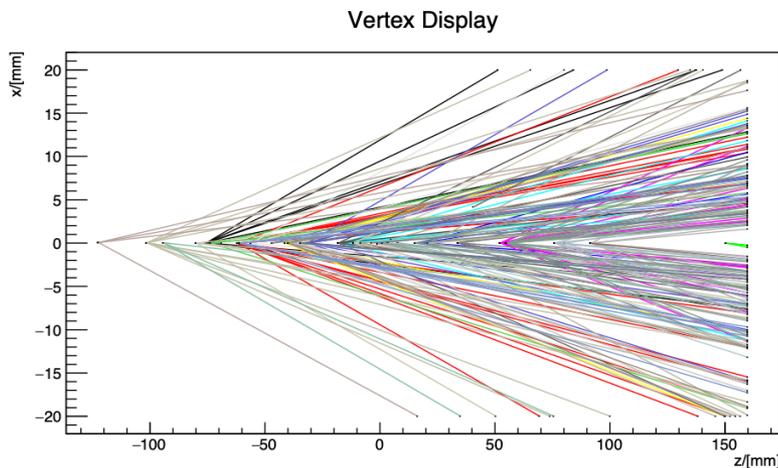
CERN-LHCC-2018-027

arXiv:1808.08865

R&D su rivelatori

- Attività incentrata sulla ricerca di soluzioni per la fase di Upgrade2 di LHCb
 - Aumento di luminosità istantanea a $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ → x10 luminosità istantanea Upgrade1

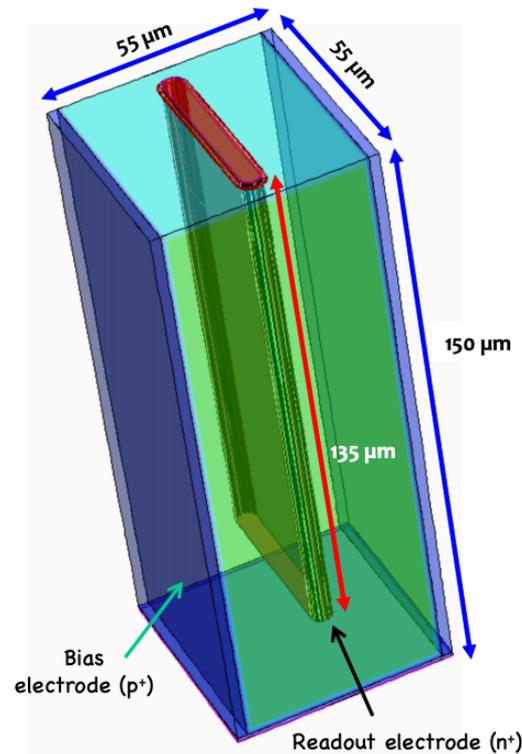
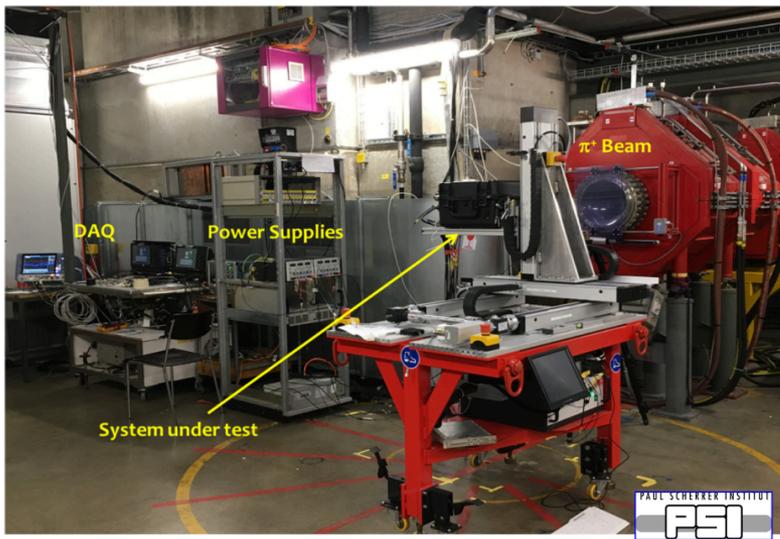
Circa 50 vertici primari per collisione



Costruire rivelatori in grado di misurare la componente temporale per risolvere il pile-up

TIMESPOT

- Progetto INFN finanziato da CSN5 per realizzare un prototipo di apparato tracciante con $\sim 10^3$ canali di lettura di pixel
 - 55 μm di larghezza del pixel
 - Resistenza alla radiazione: 10^{16} - 10^{17} $n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ (sensore), $> 1\text{Grad}$ (elettronica)
 - Risoluzione temporale < 50 ps
 - Ricostruzione delle tracce in tempo reale (throughput $> 1\text{TB/s}$)



[Link](#)



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Bologna, Cagliari,
Genova, Ferrara,
Firenze, Milano,
Padova, Perugia,
Torino, TIFPA

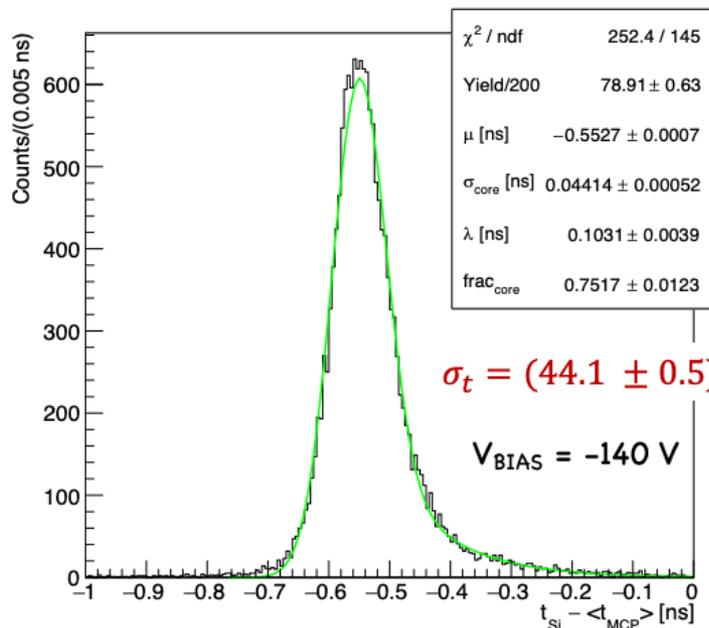
Risultati di un primo test beam mostrati martedì da M. M. Obertino ([link](#))

TIMESPOT



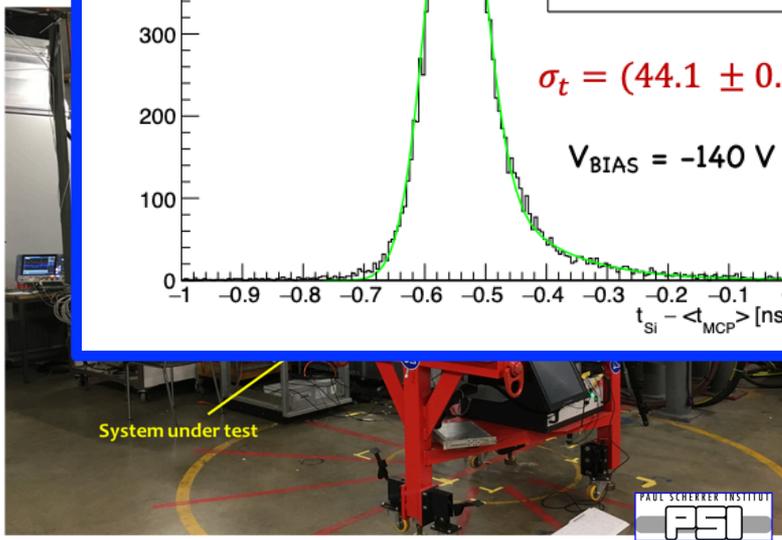
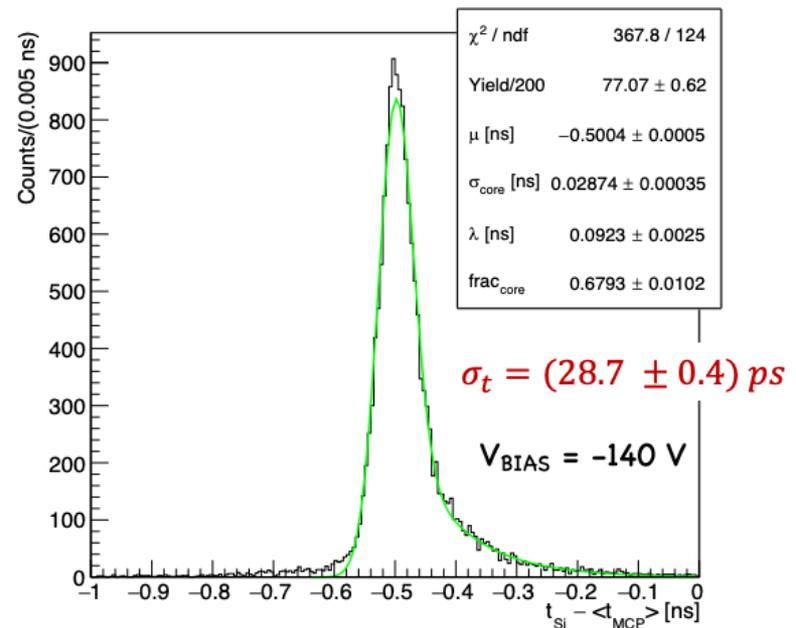
- Progetto INFN finanziato da CSN5 per realizzare un prototipo di apparato tracciante con $\sim 10^3$ canali di lettura di pixel

☞ ToA: numerical leading edge discriminator with a fixed threshold $Th=5mV$ (no TOT correction)



☞ Numerical filters to reduce high frequency noise applied

☞ ToA: Numerical CFD with a 35% threshold



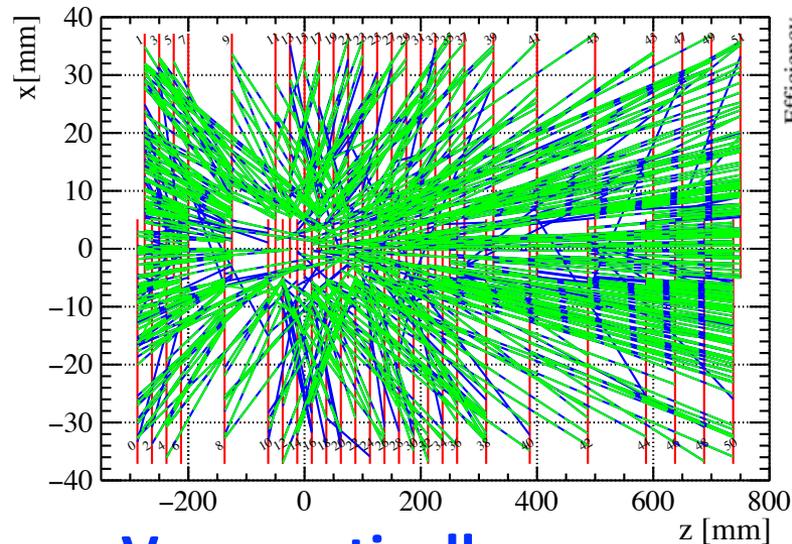
Readout electrode (n^+)

Risultati di un primo test beam mostrati martedì da M. M. Obertino ([link](#))

TIMESPOT

- Contributo LHCb-Bologna
 - Dimostrare la fattibilità dell'utilizzo di TIMESPOT come soluzione tecnologica per il rivelatore di vertice di LHCb Upgrade2
 - Realizzato un primo modello di simulazione veloce basata su condizioni di LHCb-Upgrade1
 - Verificata la compatibilità simulazione parametrica \leftrightarrow simulazione completa
 - Procedere con lo studio nelle condizioni di Upgrade2
 - Studiare la possibilità di portare algoritmi di ricostruzione su FPGA

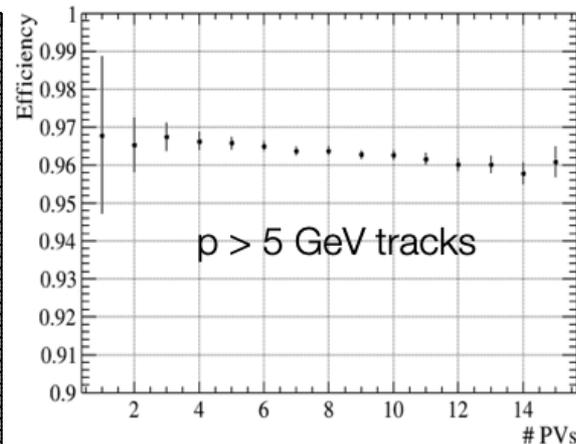
Esempio di event display



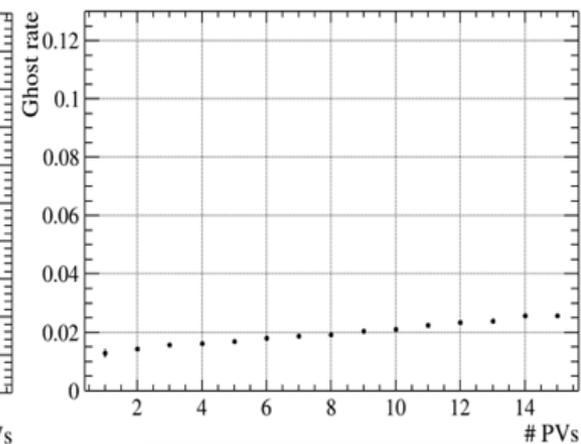
Vere particelle

Tracce ricostruite

Efficienza di ricostruzione



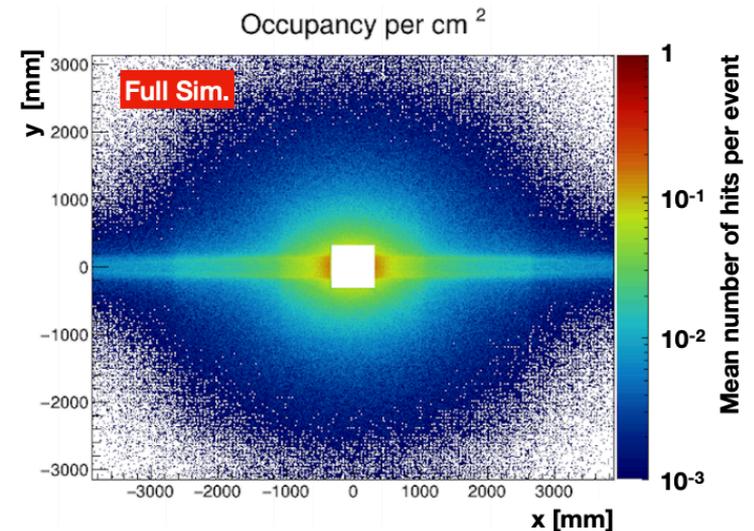
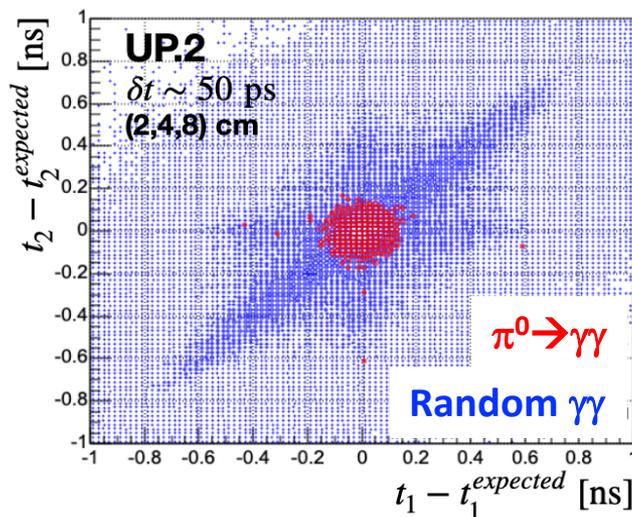
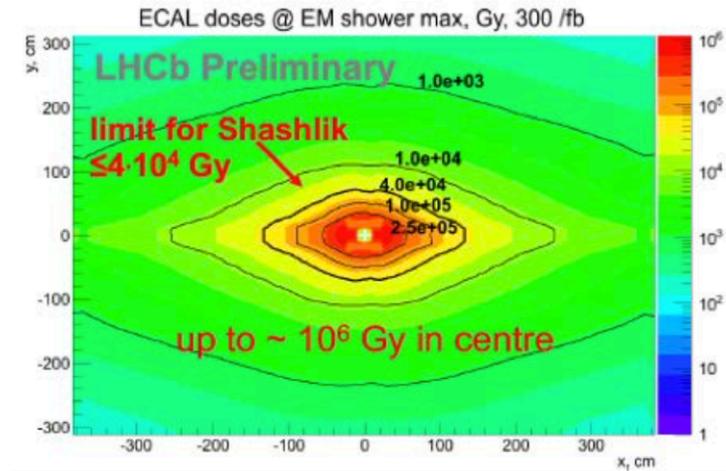
Rateo di false tracce



R&D per ECAL LHCb-U2

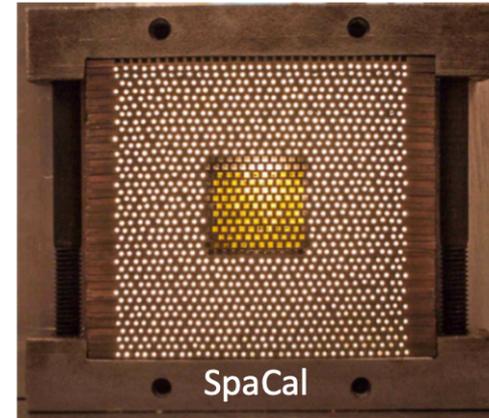
- Caratteristiche per il calorimetro EM in LHCb-Upgrade2
 - Resistenza alla radiazione $\sim 1\text{MGy}$
 - Mantenere una buona risoluzione in energia

$$\frac{\sigma(E)}{E} \approx \frac{10\%}{\sqrt{E}} + 1\%$$
 - Incrementare la granularità delle regioni più interne
 - Risoluzione temporale $O(10)$ ps per risolvere i vertici primari

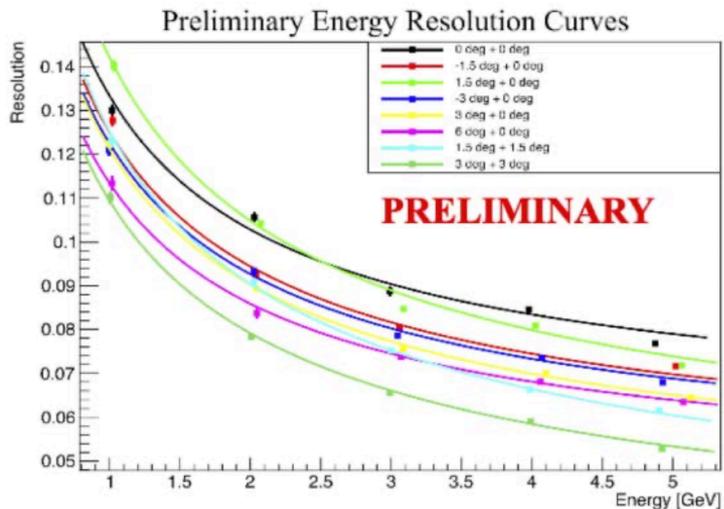


R&D per ECAL LHCb-U2

- Opzioni tecnologiche
 - Shashlik: tecnologia nota, ma inadatta alle zone a più alta radiazione
 - SPACAL: ottimo dal punto di vista della resistenza alla radiazione e della ottimizzazione della granularità

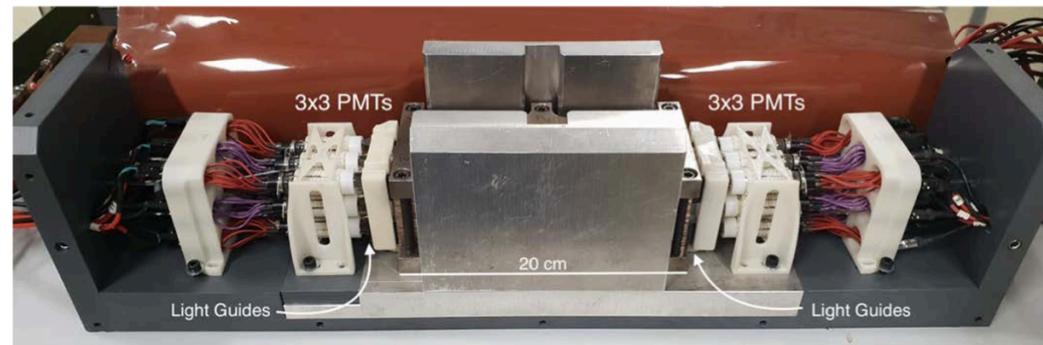


SPACAL Test beam al DESY (2019)



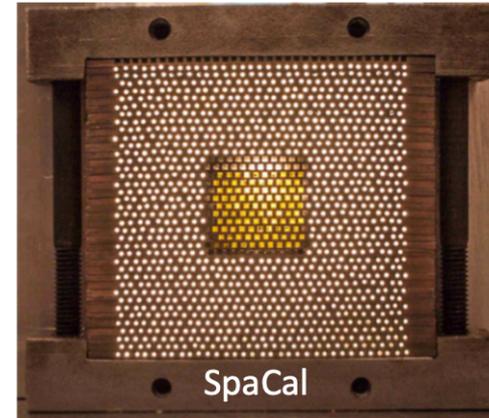
Risoluzione energetica
già ragionevolmente buona

Prototipo SPACAL



R&D per ECAL LHCb-U2

- Opzioni tecnologiche
 - Shashlik: tecnologia nota, ma inadatta alle zone a più alta radiazione
 - SPACAL: ottimo dal punto di vista della resistenza alla radiazione e della ottimizzazione della granularità



**Risoluzione temporale ancora non ottimale
(migliorabile)**

Prototype	Bias [V]	Time Res. [ps]
SpaCal	630	85 [◇]
	730	78 [◇]
Shashlik	800	69
Small Shashlik	1000	66 [†]
	1000	177 ^{◇ †}

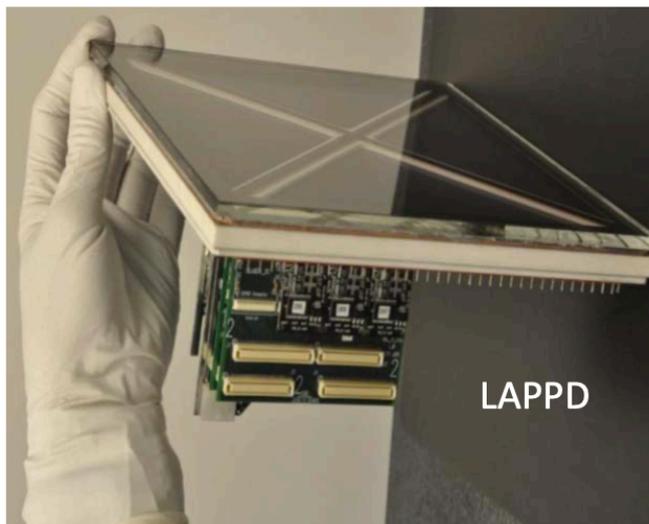
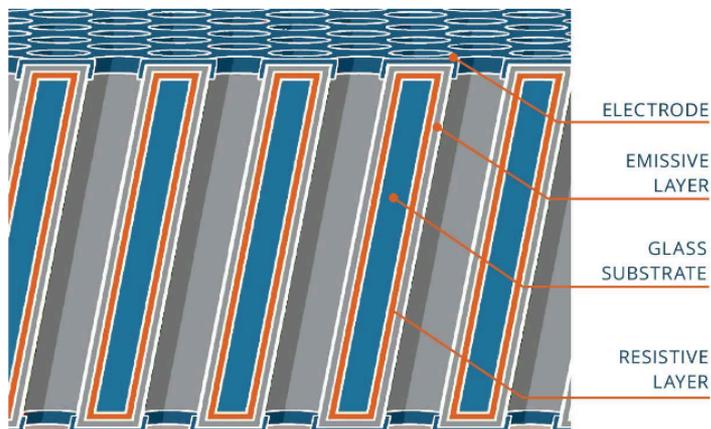
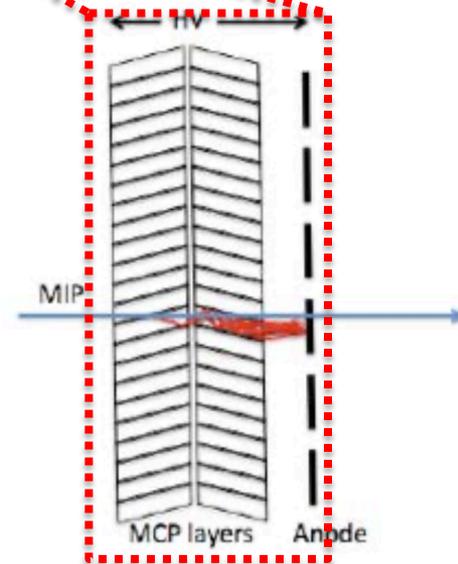
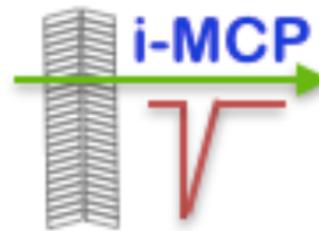
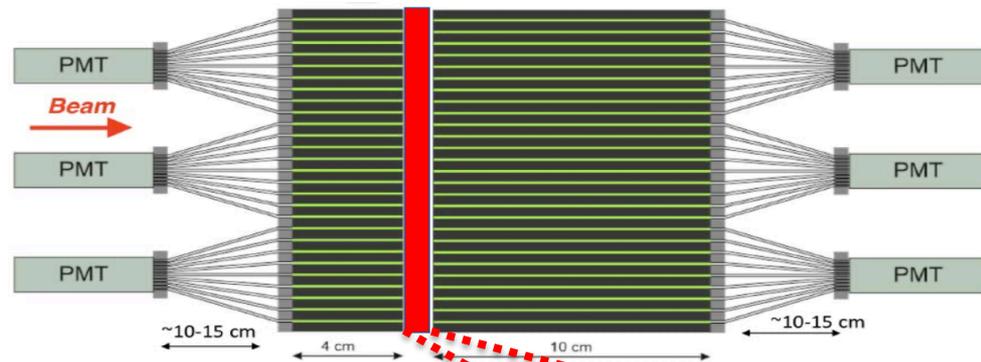
- **LHCb Bologna**

- Studi con simulazioni veloci per stabilire i parametri necessari in termini di granularità e risoluzione temporale
- Risoluzioni temporali dell'ordine di 10-20 ps sembrano necessarie per ridurre il fondo combinatorio a livello di Run1

[◇] Beam entering from the PMTs' side. [†] Noisy PMTs.

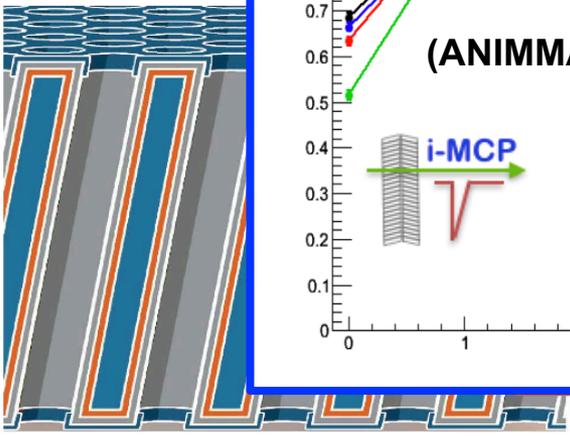
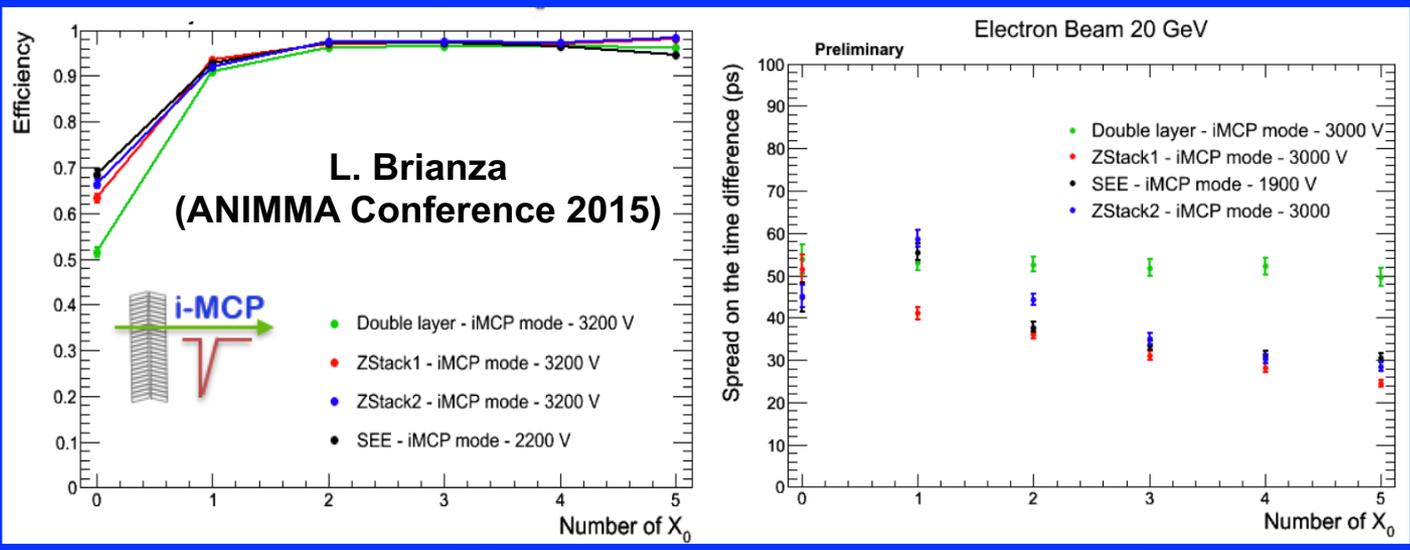
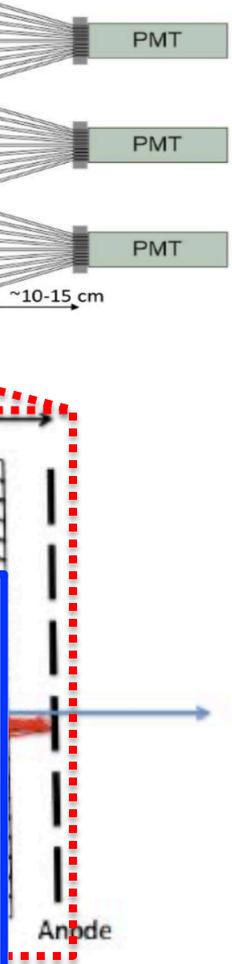
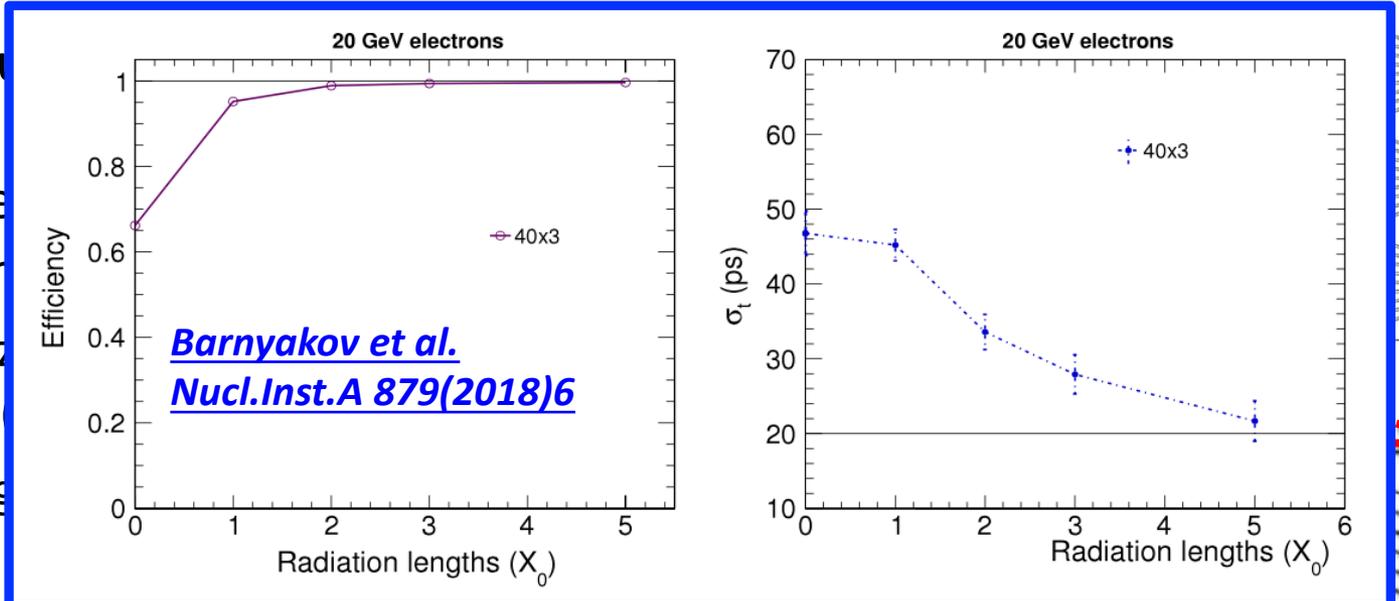
R&D per ECAL LHCb-U2

- Inserire un timing layer in grado di misurare il tempo di arrivo delle particelle con precisioni di $\sim 10\text{-}20$ ps
 - Utilizzare rivelatori MCP (microchannel plate)
 - Idea già investigata in passato all'interno dell'INFN con il progetto di CSN5 i-MCP per Phase-2 HL-LHC

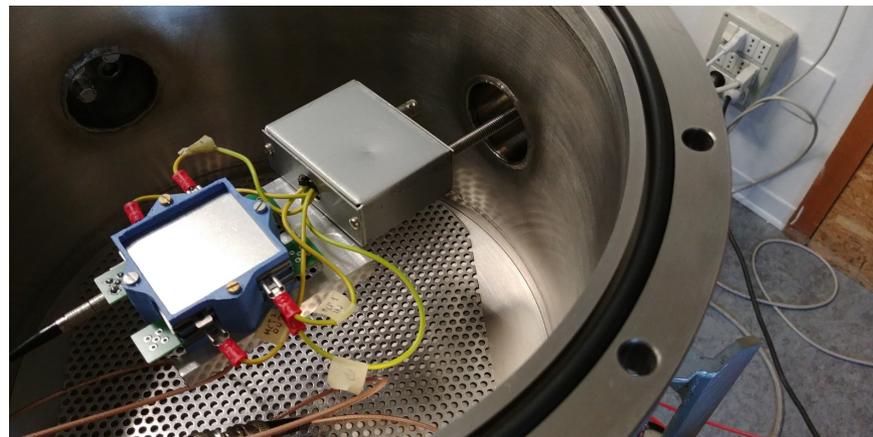
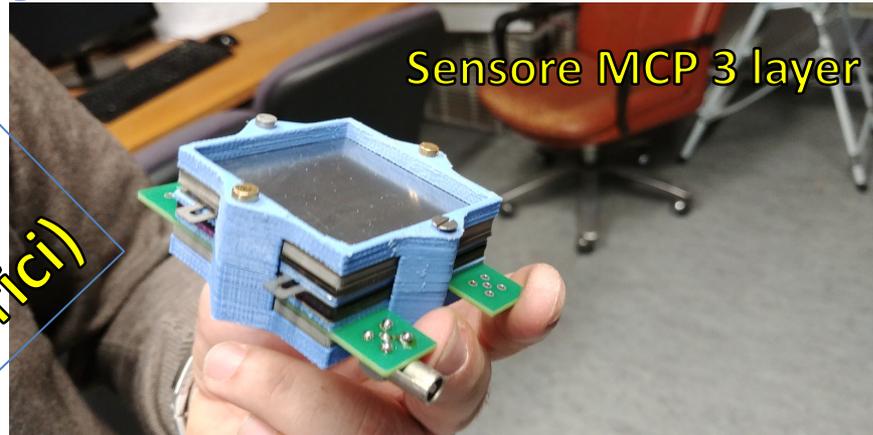


R&D per ECAL LHCb-U2

- Inserire il grado di arrivo de precisione
 - Utilizzare MCP
 - Idea generale con il Phas



R&D per ECAL LHCb-U2



- Supporti e flange realizzati dall'officina meccanica
- Voltage divider e PCB anodici dal servizio di elettronica

MUonE

Measurement of the leading hadronic contribution to $(g-2)_\mu$ with μe elastic scattering at CERN with the M2 muon beam



Collaborazione internazionale

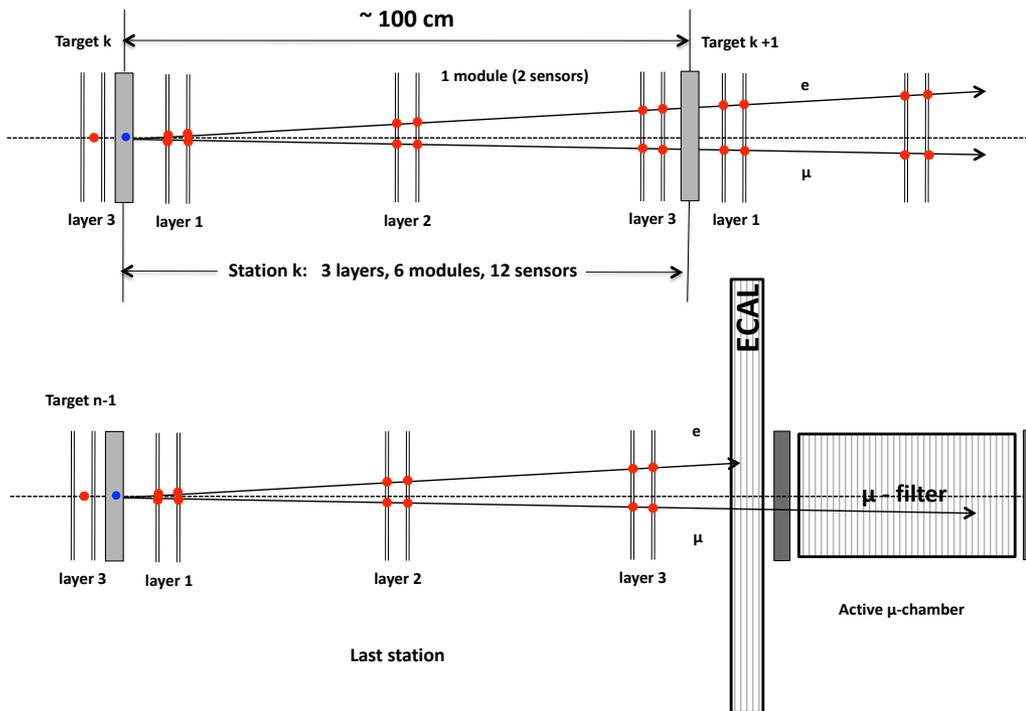
Istituti italiani: Bologna, Firenze, Milano, Padova, Pavia, Pisa, Trieste

[Letter of Intent](#)

[G.Abbiendi](#), [D.Galli](#), [U.Marconi](#), [C.Patrignani](#)

MUonE

- Misura indipendente e complementare del contributo adronico al running di α e a $(g-2)_\mu$
 - Approccio standard ha raggiunto il proprio limite di precisione
 - MUonE mira ad ottenere una precisione su tali contributi simile o migliore
 - Contributo fondamentale alla precisione teorica sulla predizione di $(g-2)_\mu$



F. Jegerlehner, [arXiv1804.07409]

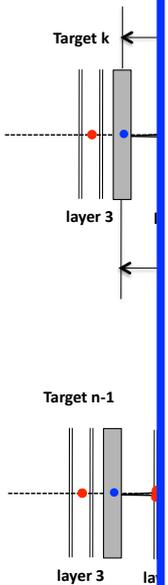
“the very different Euclidean approaches, lattice QCD and the proposed alternative direct measurements of the hadronic shift $\Delta\alpha(-Q^2)$ [MUonE], in the long term will be indispensable as complementary cross-checks.”

MUonE

- Misura indipendente e complementare del contributo adronico al running di α e a $(g-2)_\mu$.

- Ap
- M
- Co

- **2016 September:** “Physics Beyond Colliders” CERN Workshop
Eur.Phys.J. C(2017)77 doi:10.1140/epjc/s10052-017-4633-z
- **2017 May:** MUonE presented to the CSN1
- **2017** Test Beam at CERN (setup UA9).
JINST. 15 (2020) P01017
- **2018 Test Beam at CERN (North Area)**
- **2019 May:** INFN referees assigned
- **2019 June:** Letter of Intent, CERN-SPSC-2019-026 , SPSC-I-252
<http://cds.cern.ch/record/2677471>
- **2019 October:** INFN CSN1 funded the Pilot Run planned at the end of 2021. 105 kEuro for 2020.
- **2019 October:** 1st Meeting with the CERN’s referees
- **2020 January:** 2nd Meeting with the CERN’s referees
- **2020 January:** SPSC open section presentation
- **2020 January:** SPSC approval



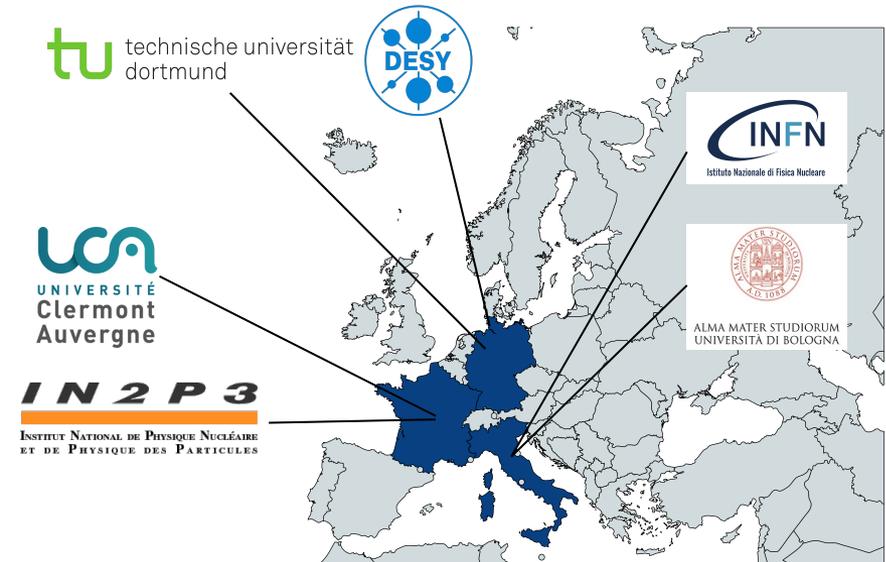
iore
 $2)_\mu$
] roaches,
ernative
onic shift
n will be
cross-



Attività di terza missione

Progetto europeo dedicato all'insegnamento della fisica

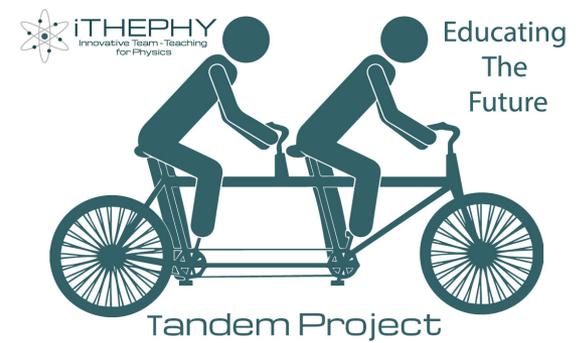
- Progetto finanziato da EC / AGENZIA NAZIONALE INDIRE
- Budget: **~370k euro**
 - INFN come partner: **~ 40k euro**
- Istituto coordinatore: **UNIBO**
- PI: Angelo Carbone
 - Collaborazione con colleghi di altri gruppi di Bologna e Università straniere
- Il progetto finanzia
 - Summer schools
 - Piattaforma di e-learning implementata con il contributo del CCL-INFN di Bologna



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Tandem project

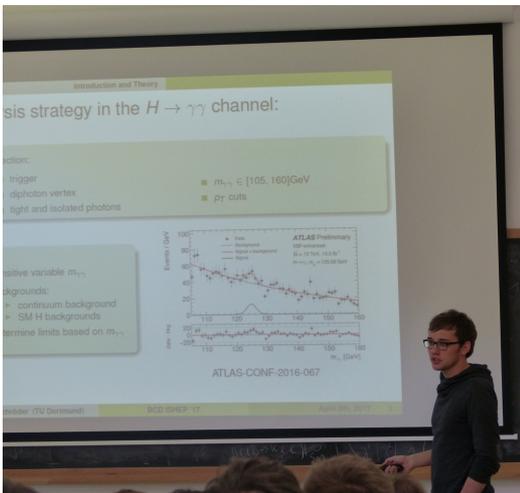


- Affiancamento di studenti con ricercatori per fare attività di ricerca
 - 16 studenti UNIBO
 - 3 studenti non-EU: Bogotà, Mosca, Melbourne
 - 11 Progetti
 - 6 ECTS riconosciuti da UNIBO
 - Supervisor di Bologna: Carbone A., Capriotti L., Franchini M., Maltoni F., Negrini M., Sioli M., Perazzini S.

	Students	Supervisors		Students	Supervisors
TP-1	Celeste Ottaviani (UNIBO)	J. Erdmann (TUD)	TP-7	Erik Kamlyk (HSE)	S. Perazzini (UNIBO)
	Elaf Musa (UCA)	M. Negrini (UNIBO)		Jude Fleurime (UCA)	U. Egede (MONASH)
TP-2	Gianluca Bianco (UNIBO)	O. Nackenhorst (TUD)	TP-8	Tommaso Fulghesu (UNIBO)	L. Capriotti (UNIBO)
	Irene Cagnoli (UNIBO)	M. Franchini (UNIBO)		Mattia Paladino (UNIBO)	G. Cavallero (CERN)
	Florian Mausolf (TUD)	J. Albrecht (TUD)		Lars Kolk (TUD)	
	Aaron Vandergraaf (TUD)			Tom Magorsch (TUD)	
TP-3	Valentina Diolaiti (UNIBO)	K. Kröninger (TUD)	TP-9	Linamaria Ortizparra (UNIBO)	A. Carbone (UNIBO)
	Carmine Fedele (UNIBO)	S. Monteil (UNIBO)		Eugenia Spedicato (UNIBO)	
	Nicole Schulte (TUD)			Jonah Blank (TUD)	
TP-4	Giacomo Levrini (UNIBO)	J. Erdmann (TUD)	TP-10	Matteo Maranzano (UNIBO)	F. Maltoni (UNIBO)
	Lars Roehrig (TUD)	M. Franchini (UNIBO)		Veronika Fedotova (UNIBO)	K. Kröninger (TUD)
	Ja Speer (TUD)			Michele Mazzoni (UNIBO)	
				Janlukas Spaeh (TUD)	
TP-5	Marco Lorusso (UNIBO)	J. Albrecht (TUD)	TP-11	Gianfranco Ingrassia (UNIBO)	G. Hiller (TUD)
	Fabian Koch (TUD)	A. Carbone (UNIBO)		Francesco Filippini (UNIBO)	J. Orloff (UCA)
	Michael Windau (TUD)	D. Milanés (UNAL)		Janina Nicolini (TUD)	
	Maria C. D. Sanchez (UNAL)				
TP-6	Marcel Hohmann (UME)	F. Scutti (UME)			
	Hendrik Boekenkamp (TUD)	M. Sioli (UNIBO)			

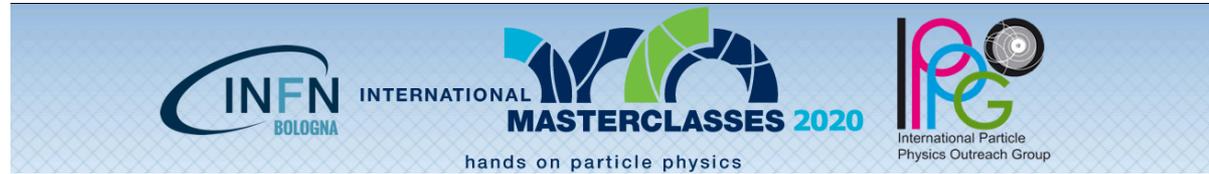
Spring/Summer school di Cargese

VI edizione 4-8 Maggio 2020



Altre attività di terza missione

Con colleghi di CMS, ATLAS e ALICE
B. Poli, S. Marcellini,
S. Biondi,
F. Noferini, P. Antonioli



FESTIVAL DELLA SCIENZA DI CENTO

<p>VENERDI 10 GENNAIO ORE 20:45</p> <p>CHI HA PAURA DELLA CRISPR?</p> <p>Conosciamo la nuova, rivoluzionaria, tecnica di editing genetico CRISPR-CAS9, che permette di riscrivere parti del DNA.</p> <p>VISIONE DEL DOCUMENTARIO DI CINEAGENZIA, APPARTENENTE ALLA RASSEGNA MONTEVISIONI, FILM DI INTERNAZIONALE A CENTO</p> <p>Human Nature intervento di Alessandro Tavecchio Biologo e giornalista scientifico che da quasi dieci anni si occupa di comunicazione della Scienza</p>	<p>VENERDI 17 GENNAIO ORE 20:45</p> <p>CERN: LA SCOPERTA DEL FUTURO</p> <p>Il ritratto di una città ideale, sperimentale, democratica, e di una comunità umana in perenne costruzione</p> <p>Almost Nothing intervento di Silvia Biondi e Lorenzo Capriotti Ricercatori presso il Dipartimento di</p> <p>Biologa in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Sezione di Bologna) e collaboratori con il CERN di Ginevra</p>	<p>VENERDI 24 GENNAIO ORE 20:45</p> <p>A PIEDI NUDI NEL COSMO</p> <p>Un viaggio tra le pieghe dell'astronomia</p> <p>Alan Zamboni, pianoforte e voce Daniela Fusha, violino Massimo Moruzzi, chitarra</p> <p>Uno spettacolo che alterna musiche, immagini, racconti e aneddoti su una scienza tra le più affascinanti ed incomplete di sempre, che costringe l'essere umano a porsi di fronte alla sua precarietà ed alla sua sete di sapere. Con Alan Zamboni, divulgatore scientifico per il canale Curious.</p>
---	---	---

FINE