

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA “LA SAPIENZA”
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI
DIPARTIMENTO DI FISICA

Decadimenti charmless del B a CDF

Shervin Nourbakhsh

Priscilla Pani

Tutor: dott. Stefano Giagu

Decadimenti senza charm

Il quark b è stato per la prima volta osservato al Fermilab nel 1977.

I $B(\bar{B}^0)$ sono mesoni pseudoscalari (spin 0)

$$\begin{array}{ll}
 B_d^0 = \begin{pmatrix} \bar{b} \\ d \end{pmatrix} & B_s^0 = \begin{pmatrix} \bar{b} \\ s \end{pmatrix} & m_{B_d^0} = 5.280 \text{ GeV} & \tau_{B_d^0} = 1.53 \text{ ps} \\
 & & m_{B_s^0} = 5.370 \text{ GeV} & \tau_{B_s^0} = 1.47 \text{ ps}
 \end{array}$$

Canale di decadimento dominante: $B^0 \rightarrow D + \textit{anything} \simeq 80 - 85\%$

Verranno presentati i risultati dello studio dei decadimenti dei B_d^0 e B_s^0 a CDF in canali di decadimento che non coinvolgono il quark c .

Importanza:

- studio del mixing dei quark e dei coefficienti della CKM (violazione di CP)
- sensibilità a Nuova Fisica

Mescolamento dei quark

Teoria elettrodebole \implies teoria chirale $(SU(2)_L \times U(1)_Y) \implies$

$$Q_L = \left(\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L \right) \quad U_R = \begin{pmatrix} u_R & c_R & t_R \\ d_R & s_R & b_R \end{pmatrix}$$

Nel modello standard la massa viene data tramite il meccanismo di Higgs. Dato il numero di famiglie G si ha:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_Y &= - \sum_{ji}^G \left[\hat{y}_{ij}^d \bar{Q}_L^i \phi D_R^j + h.c. + \hat{y}_{ij}^u \bar{Q}_L^i \tilde{\phi} U_R^j + h.c. \right] = \\ &= D_L^i \tilde{M}_{ij}^D D_R^j + U_L^i \tilde{M}_{ij}^U U_R^j + h.c. \end{aligned}$$

Le matrici di massa \tilde{M}_{ij}^U e \tilde{M}_{ij}^D sono in generale non diagonali, ma possono essere diagonalizzate mediante una trasformazione unitaria:

$M_{ij} = V^\dagger \tilde{M}_{ij} V$ sostituendo nella Lagrangiana ottengo

$$D_L^i \tilde{M}_{ij}^D D_R^j = D_L^i V^\dagger \tilde{M}_{ij} V D_R^j = D_L'^i M_{ij}^D D_R'^j$$

Introduzione

Violazione CP

● Mescolamento dei quark

● La fase ineliminabile della CKM

● CKM

● Triangolo di unitarietà

● CPV

● mixing

● diretta

● interferenza

● Decadimenti charmless

● Decadimenti barionici

● Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

La fase ineliminabile della CKM

Gli autostati di massa D'^i U'^i sono legati agli autostati di sapore dalla matrice V (CKM): $D'^i = V D^i$

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

Nella Lagrangiana di interazione debole (\mathcal{L}_W) interviene quindi la matrice V . Si ha che

$$\hat{C}\hat{P}\mathcal{L}_W = \mathcal{L}_W \Leftrightarrow V \text{ è ortogonale (reale).}$$

N^2	-	$\frac{N(N-1)}{2}$	=	$\frac{N(N+1)}{2}$	>	$2N - 1$
unitarietà		ortogonalità		parametri da eli- minare		fasi di CP

Se $N=3$ V non può essere resa ortogonale \Rightarrow resta 1 fase ineliminabile che genera la violazione di CP.

Introduzione

Violazione CP

● Mescolamento dei quark

● La fase ineliminabile della CKM

● CKM

● Triangolo di unitarietà

● CPV

● mixing

● diretta

● interferenza

● Decadimenti charmless

● Decadimenti barionici

● Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

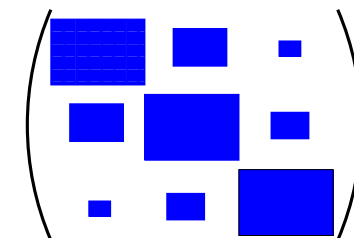
CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

La parametrizzazione di Wolfenstein della matrice CKM:



$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & \mathbf{V_{ub}} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} + O(\lambda^4) =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & \mathbf{A\lambda^3(\rho - i\eta)} \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4)$$

$$\lambda = \sin(\theta_C) \simeq 0.22$$

Il termine V_{ub} è di ordine λ^3 e quindi fortemente Cabibbo soppresso e può presentare una fase complessa ineliminabile che comporta la violazione di CP.

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM

● CKM

- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

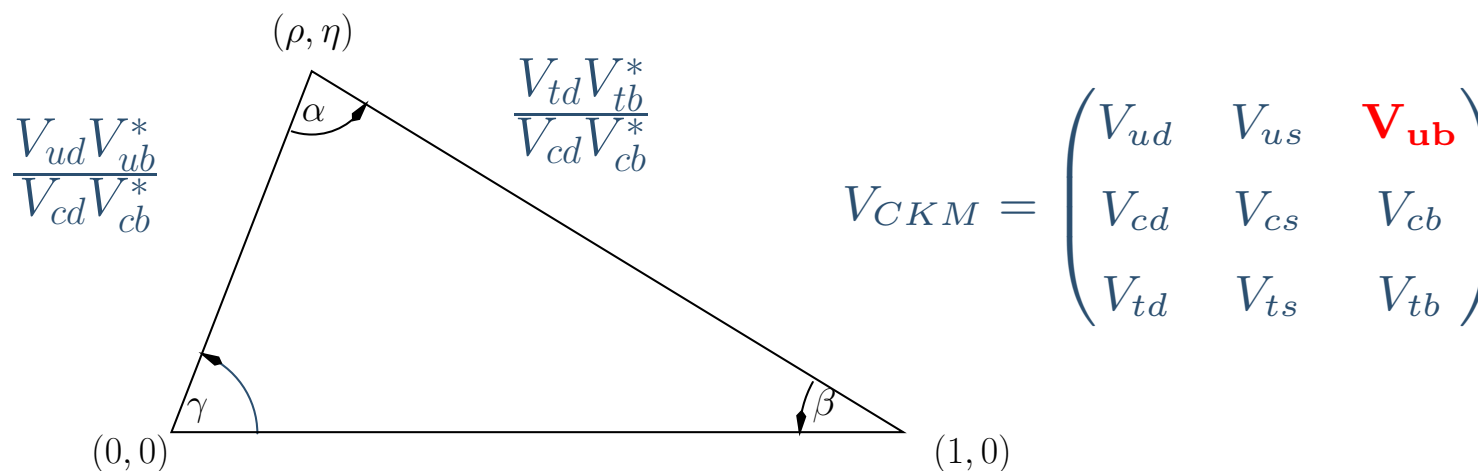
Incertezze sperimentali

Triangolo di unitarietà

Per l'unitarietà della matrice CKM è possibile ricavare le seguenti relazioni tra gli elementi della matrice:

$$B_d^0 \quad \alpha = \arg \left[-\frac{V_{td}V_{tb}^*}{V_{ud}V_{ub}^*} \right] \quad \beta = \arg \left[-\frac{V_{cd}V_{cb}^*}{V_{td}V_{tb}^*} \right] \quad \gamma = \arg \left[-\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{V_{cd}V_{cb}^*} \right]$$

$$B_s^0 \quad \alpha_s = \arg \left[-\frac{V_{ts}V_{tb}^*}{V_{us}V_{ub}^*} \right] \quad \beta_s = \arg \left[-\frac{V_{ts}V_{tb}^*}{V_{cs}V_{cb}^*} \right] \quad \gamma_s = \arg \left[-\frac{V_{us}V_{ub}^*}{V_{cs}V_{cb}^*} \right]$$



Area \propto violazione di CP

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Tipi di violazioni di CP

Nel modello standard (SM) la violazione di CP e di sapore emergono solo dalla matrice CKM. Asimmetrie di CP che presentino valori non predetti dal SM sarebbero indice di altri meccanismi di violazione oltre alla matrice CKM (Nuova Fisica).

Le violazioni di CP possono essere distinte in tre tipologie:

- violazione in mixing
- **violazione diretta**
- violazione per interferenza

Tutte le osservabili di violazione di CP dei decadimenti degli stati iniziali $|P\rangle$ e $|\bar{P}\rangle$ negli stati finali $|f\rangle$ e $|\bar{f}\rangle$ possono essere espresse come combinazioni indipendenti da convenzioni di fase delle ampiezze di transizione $A_f, \bar{A}_f, A_{\bar{f}}, \bar{A}_{\bar{f}}$

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

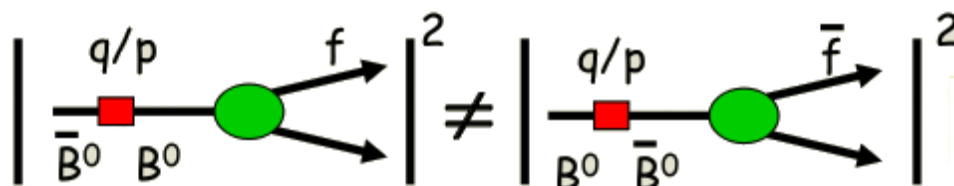
Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Violazione in mixing

Violazione in mixing $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$

$$\left| \frac{q}{p} \right| \neq 1$$



$$\begin{cases} |B_L\rangle = p|B^0\rangle + q|\bar{B}^0\rangle \\ |B_H\rangle = p|B^0\rangle - q|\bar{B}^0\rangle \end{cases}$$

Se $[\hat{H}_{weak}, \hat{C}\hat{P}] = 0 \Rightarrow$ Autostati di massa \equiv Autostati di CP

$$|p| = |q| \Leftrightarrow \text{CP si conserva.}$$

Mesoni carichi non sono affetti da questo tipo di asimmetria di CP.

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- **mixing**
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

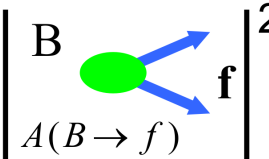
Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Violazione diretta

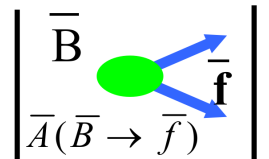
Diretta

$$\left| \frac{\bar{A}_f}{A_f} \right| \neq 1$$



A Feynman diagram showing a green circle representing a vertex. Two blue arrows originate from the circle: one points up and to the right, the other points down and to the right. The label 'B' is above the vertex, and 'f' is to the right of the arrows. Below the vertex is the label 'A(B → f)'.

$$\left| \frac{B}{A(B \rightarrow f)} \right|^2 \neq$$



A Feynman diagram showing a green circle representing a vertex. Two blue arrows originate from the circle: one points up and to the right, the other points down and to the right. The label 'B' is above the vertex, and 'f' is to the right of the arrows. Below the vertex is the label 'A(B → f)'.

$$\left| \frac{\bar{B}}{\bar{A}(\bar{B} \rightarrow \bar{f})} \right|^2$$

$$A_f = \langle f | H_W | B^0 \rangle = \sum |a_i| e^{-i\phi_W - i\phi_S}$$

$$\bar{A}_{\bar{f}} = \langle \bar{f} | H_W | \bar{B}^0 \rangle = \sum |a_i| e^{+i\phi_W - i\phi_S}$$

ϕ_W fase debole data dai parametri complessi nella lagrangiana (CKM); viene coniugata sotto CP

ϕ_S fase forte dovuta a rescattering con stati *on-shell* dato da interazioni forti; non varia sotto CP

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- **diretta**
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Violazione diretta

Introduzione

Violazione CP

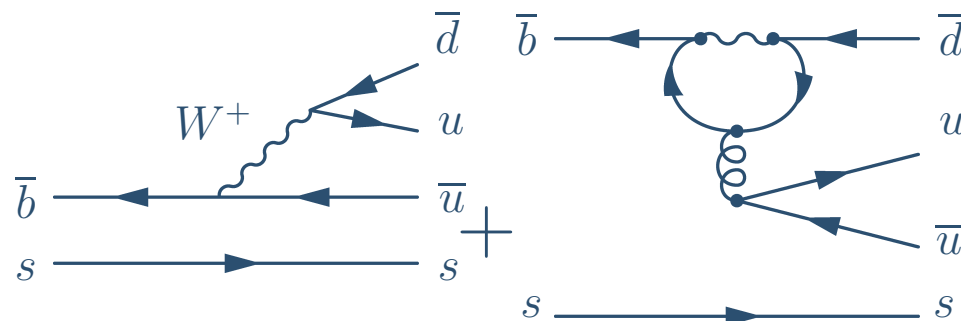
- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

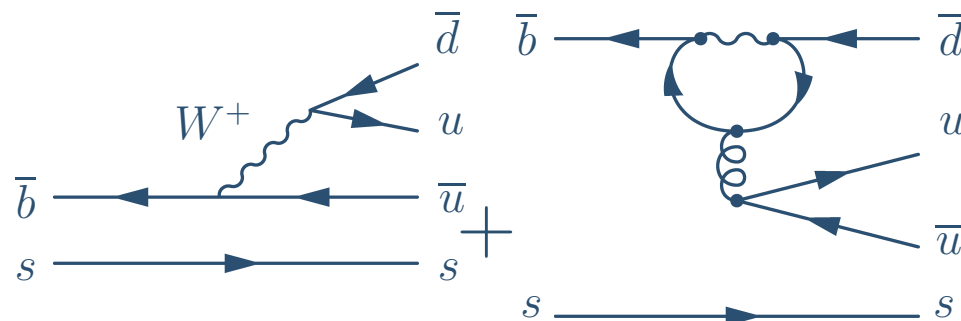
Distinzione π e K

Incertezze sperimentali



$$A_f = a_1 e^{-i\phi_w^1} e^{-i\phi_s^1} + a_2 e^{-i\phi_w^2} e^{-i\phi_s^2}$$

Violazione diretta



$$A_f = a_1 e^{-i\phi_w^1} e^{-i\phi_s^1} + a_2 e^{-i\phi_w^2} e^{-i\phi_s^2}$$

$$|A_f|^2 = |a^1|^2 + |a^2|^2 + 2|a^1||a^2| \operatorname{Re}(e^{-i\Delta\phi_w} e^{-i\Delta\phi_s})$$

$$\Rightarrow A_{CP} \propto |A_f|^2 - |\bar{A}_f|^2 = \cos(+\Delta\phi_w + \Delta\phi_s) - \cos(-\Delta\phi_w + \Delta\phi_s)$$

$$= -2\sin(\Delta\phi_w)\sin(\Delta\phi_s)$$

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

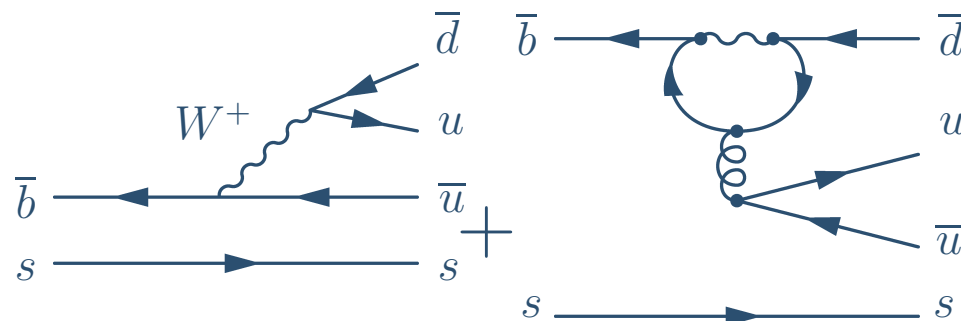
CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Violazione diretta



$$A_f = a_1 e^{-i\phi_w^1} e^{-i\phi_s^1} + a^2 e^{-i\phi_w^2} e^{-i\phi_s^2}$$

$$|A_f|^2 = |a^1|^2 + |a^2|^2 + 2|a^1||a^2| \operatorname{Re}(e^{-i\Delta\phi_w} e^{-i\Delta\phi_s})$$

$$\Rightarrow A_{CP} \propto |A_f|^2 - |\bar{A}_f|^2 = \cos(+\Delta\phi_w + \Delta\phi_s) - \cos(-\Delta\phi_w + \Delta\phi_s)$$

$$= -2\sin(\Delta\phi_w)\sin(\Delta\phi_s)$$

Definiamo quindi:

$$A_{CP} = \frac{\Gamma(B \rightarrow f) - \Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{f})}{\Gamma(B \rightarrow f) + \Gamma(\bar{B} \rightarrow \bar{f})} \propto \sin(\Delta\phi_w)\sin(\Delta\phi_s)$$

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

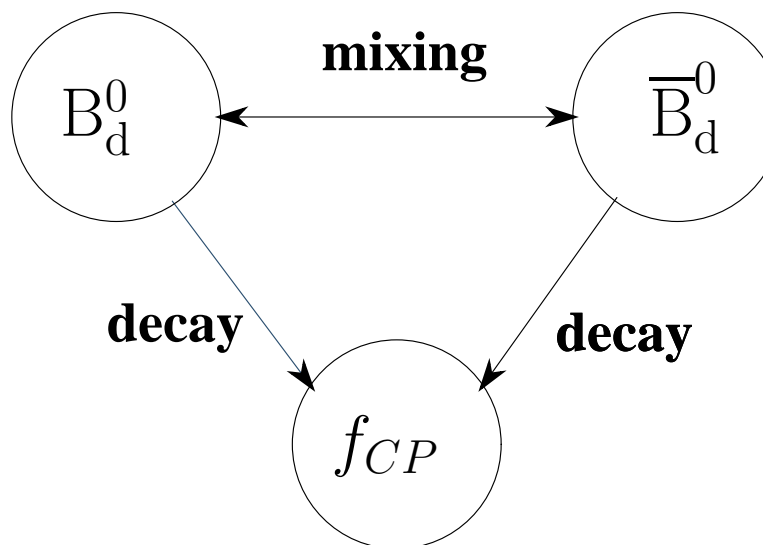
Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Violazione in interferenza

Interferenza $\lambda = \frac{q}{p} \frac{\bar{A}_f}{A_f} \neq \pm 1$

λ è un parametro conveniente per descrivere l'interferenza tra la violazione diretta e la violazione di CP dovuta all'oscillazione.



Ne sono soggetti i mesoni neutri che presentano mixing.

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

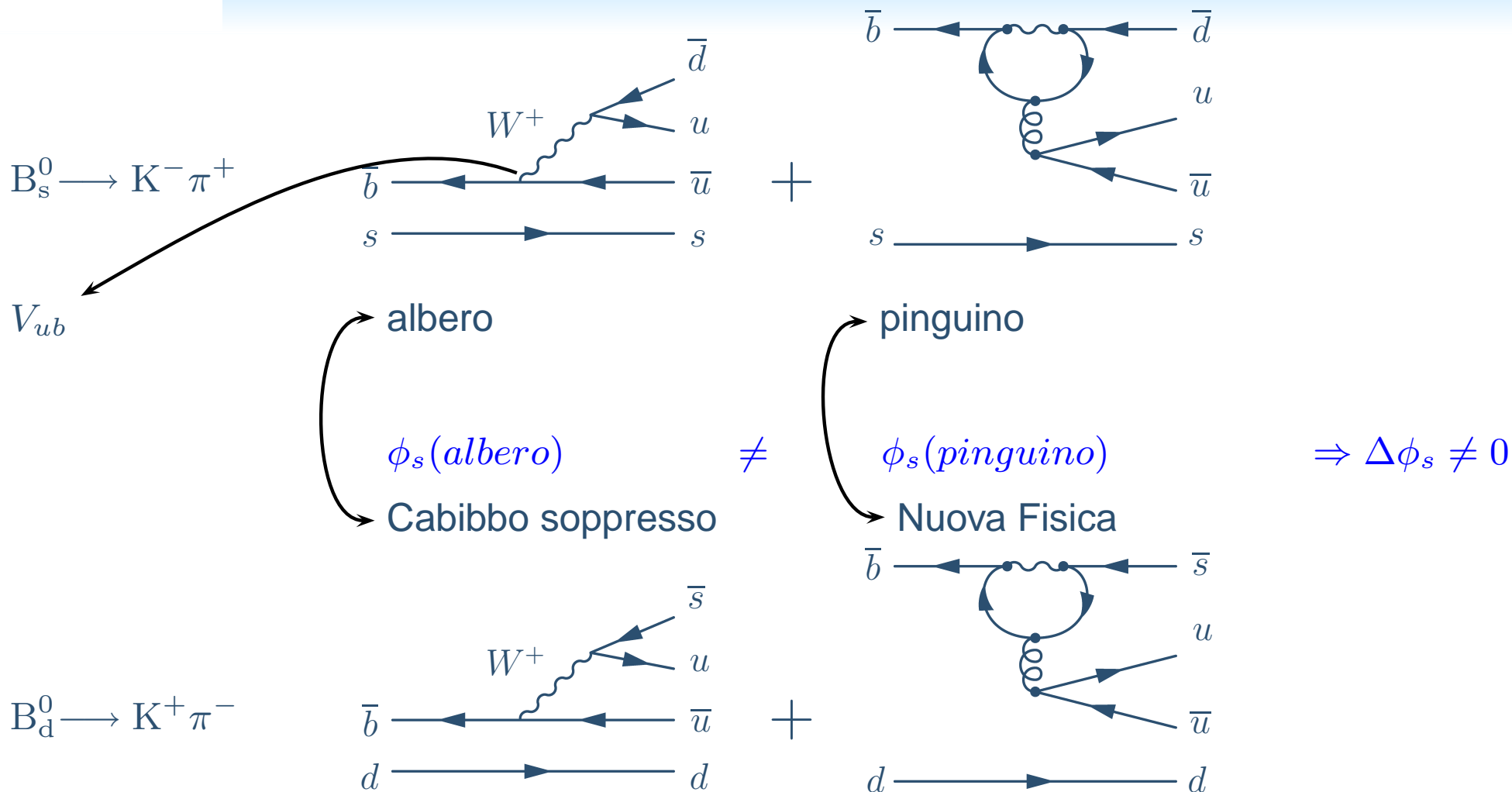
CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Decadimenti charmless



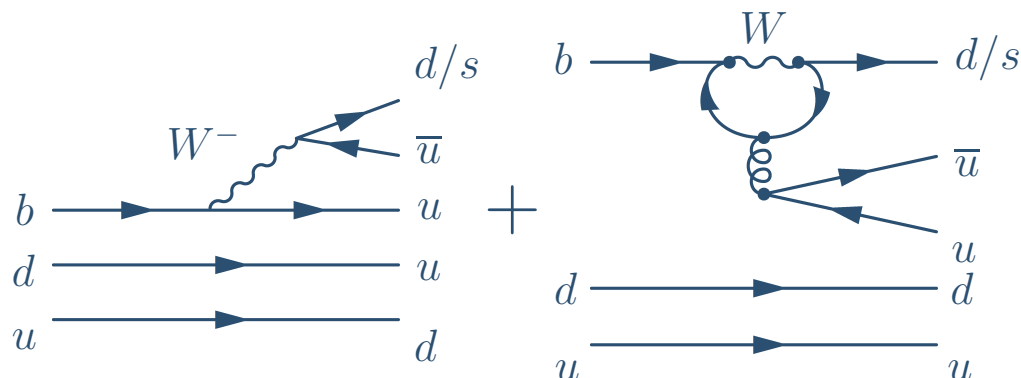
I decadimenti Cabibbo soppressi permettono di studiare la matrice di mescolamento (CKM)

Se nel loop rientrano nuove particelle, non predette dal Modello Standard si misura un incremento del BR rispetto a quello previsto

Decadimenti barionici

$$M_{\Lambda_b^0} = 5620.2 \pm 1.6 \text{ MeV} \quad \tau_{\Lambda_b^0} = 1.383_{-0.048}^{+0.049} \cdot 10^{-12} \text{ s}$$

$$\Lambda_b^0 = \begin{pmatrix} u \\ d \\ b \end{pmatrix}$$



decadimento	albero	pinguino
$\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi^-$	$V_{ub} \cdot V_{ud}^* \simeq A\lambda^3(\rho - \eta)$ (dominante)	$V_{tb} \cdot V_{td}^* \simeq A\lambda^3(1 - \rho + i\eta)$
$\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-$	$V_{ub} \cdot V_{us}^* \simeq A\lambda^4(\rho - \eta)$	$V_{tb} \cdot V_{ts}^* \simeq -A\lambda^2$ (dominante)

Importanza: sono simili ai decadimenti $B^0 \rightarrow \pi K$ ma non sono soggette al mixing!

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

Introduzione

Violazione CP

- Mescolamento dei quark
- La fase ineliminabile della CKM
- CKM
- Triangolo di unitarietà
- CPV
- mixing
- diretta
- interferenza
- Decadimenti charmless
- Decadimenti barionici
- Tabella riassuntiva dei decadimenti studiati

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

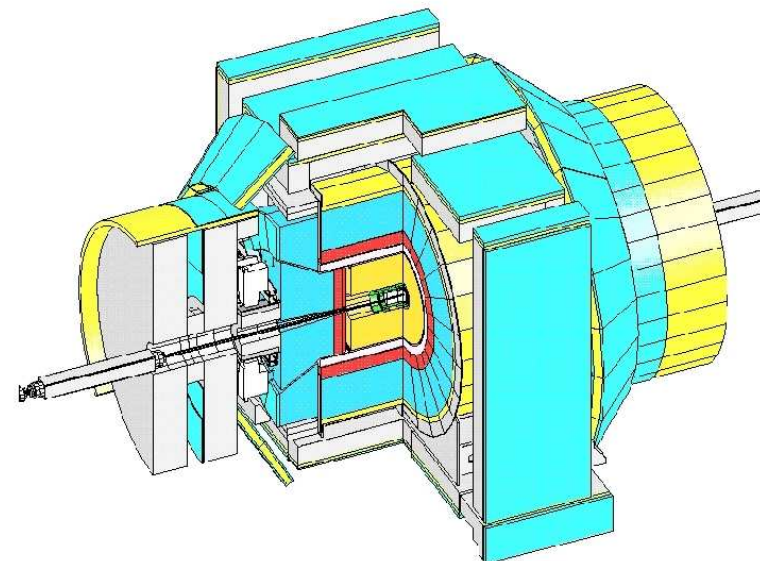
Canale di decadimento	\mathcal{BR} assoluto (10^{-6})
$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-)$	19.5 ± 0.6
$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$	$5.1 \pm 0.2 \pm 0.2$
$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K^+ K^-)$	$33 \pm 6 \pm 7$
$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+)$	4.9
$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \pi^- \pi^+)$	< 1
$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ K^-)$	< 1
$\mathcal{B}(\Lambda_b^0 \rightarrow p \pi^-)$	0.85
$\mathcal{B}(\Lambda_b^0 \rightarrow p K^-)$	1.38

CDF: Collider Detector at Fermilab

Collider adronico di CDF



Rivelatore run II



Collider $p\bar{p}$ $\sqrt{s} = 1.96$ TeV

$\int L dt = 2 \text{ fb}^{-1}$ per anno

$L_{peak} = 200 \mu\text{b}^{-1} \text{ s}^{-1}$

$\sigma_{tot}^{adronica} = 75 \text{ mb}$

$\sigma_{b\bar{b}} = 100 \mu\text{b}$

Produzione $b\bar{b} = 20000 \text{ s}^{-1}$

SVX silicon vertex detector

COT camera a fili

calorimetro e.m.

calorimetro adronico

spettrometro per muoni

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

- CDF
- SVX
- Camera a fili
- Trigger
- selezione online

Analisi offline

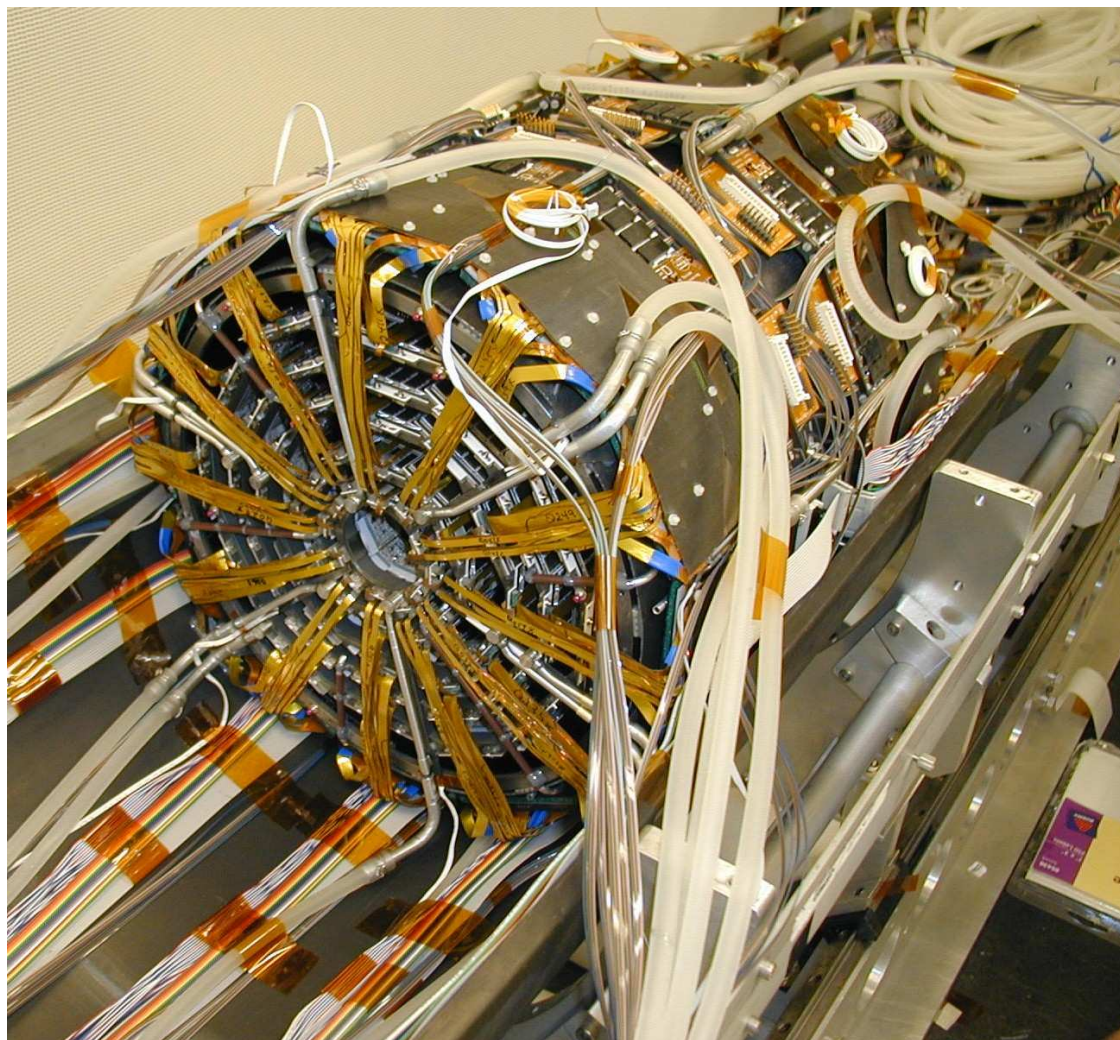
Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

Conclusioni

SVX: Tracciatore al silicio



Layer 00

- copertura radiale:
 $1.35 \div 1.65$ cm
- ris sing pt:
 $6\mu m$
- canali: 13 824

SVX (Run II)

- copertura radiale:
 $2.4 \div 10.7$ cm
- ris sing pt:
 $12\mu m$
- canali: 423 900

[Introduzione](#)

[Violazione CP](#)

[CDF detector](#)

● CDF

● SVX

● Camera a fili

● Trigger

● selezione online

[Analisi offline](#)

[Distinzione \$\pi\$ e K](#)

[Incertezze sperimentali](#)

[Risultati sperimentali](#)

[Conclusioni](#)

Camera a fili (COT)

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

- CDF
- SVX
- Camera a fili
- Trigger
- selezione online

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

Conclusioni



Copertura
radiale:
 $44 \div 132$ cm

Campo
magnetico:
 $B = 1.5$ T

Risoluzione
impulso:
 $\frac{\sigma_{p_t}}{p_t} = 0.1\%$

Numero di fili: 30 240 Ris sing punto: $180\mu m$ Pt per traccia: 96

Il trigger per decadimenti adronici

È composto di 3 livelli:

Livello 1	10^4 eventi/s	XFT: puramente hardware e basato sulla misura delle tracce cariche in COT
Livello 2	900 eventi/s	SVT: richiede un hit in 4 dei 5 layer dell'SVX (incluso il primo) e confronta le tracce con quelle dell'XFT/COT per ricostruire i parametri d'impatto
Livello 3	150 eventi/s	riproduce con migliore granularità e risoluzione gli algoritmi applicati al Livello 2

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

- CDF
- SVX
- Camera a fili
- Trigger
- selezione online

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

Conclusioni

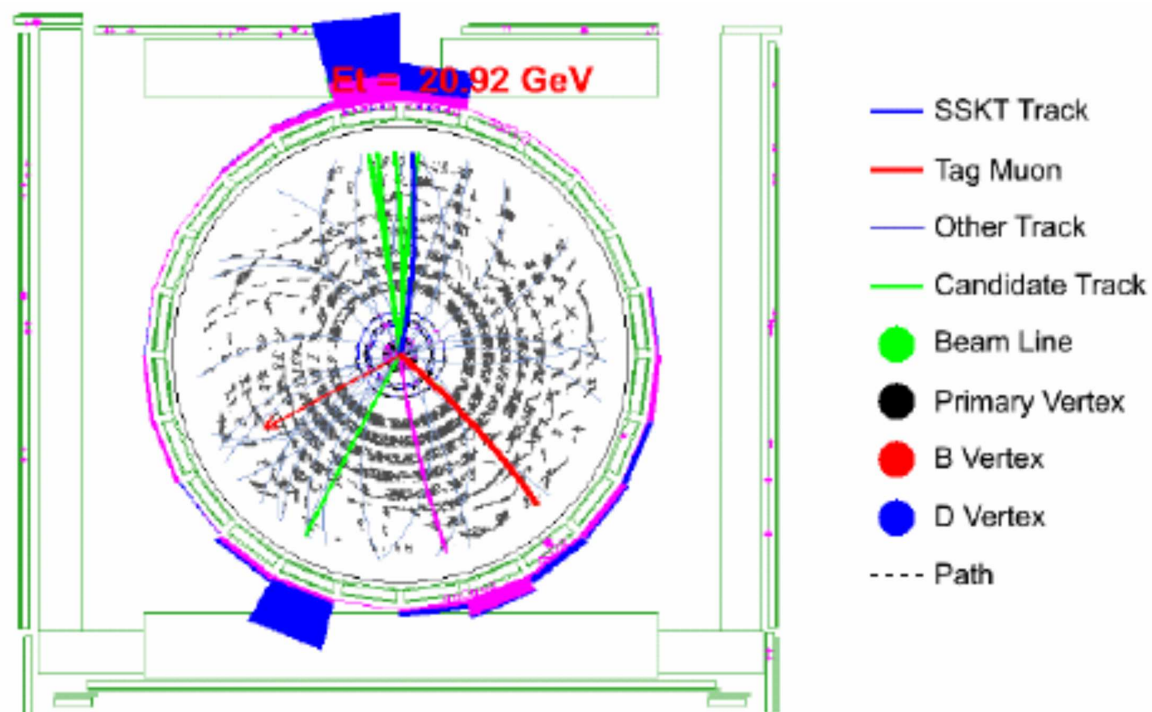


Luciano Ristori



Trigger: selezione online

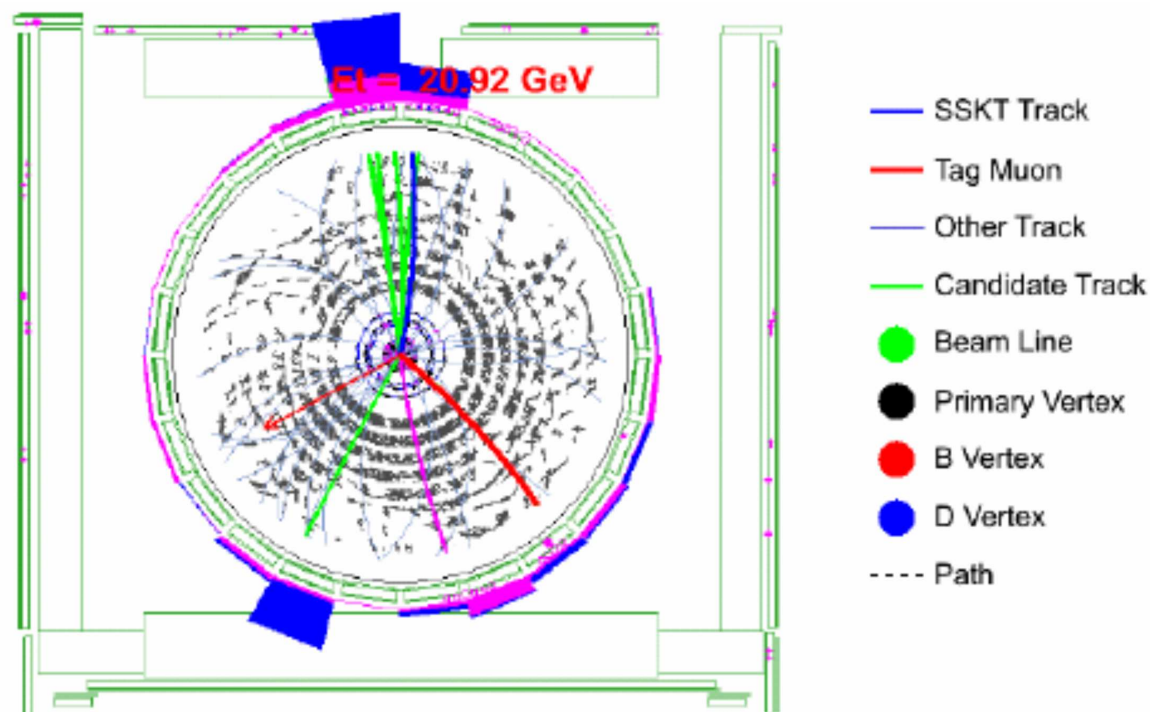
■ Selezione eventi (COT):



Il trigger sfrutta informazioni ad una risoluzione confrontabile con quella della ricostruzione offline

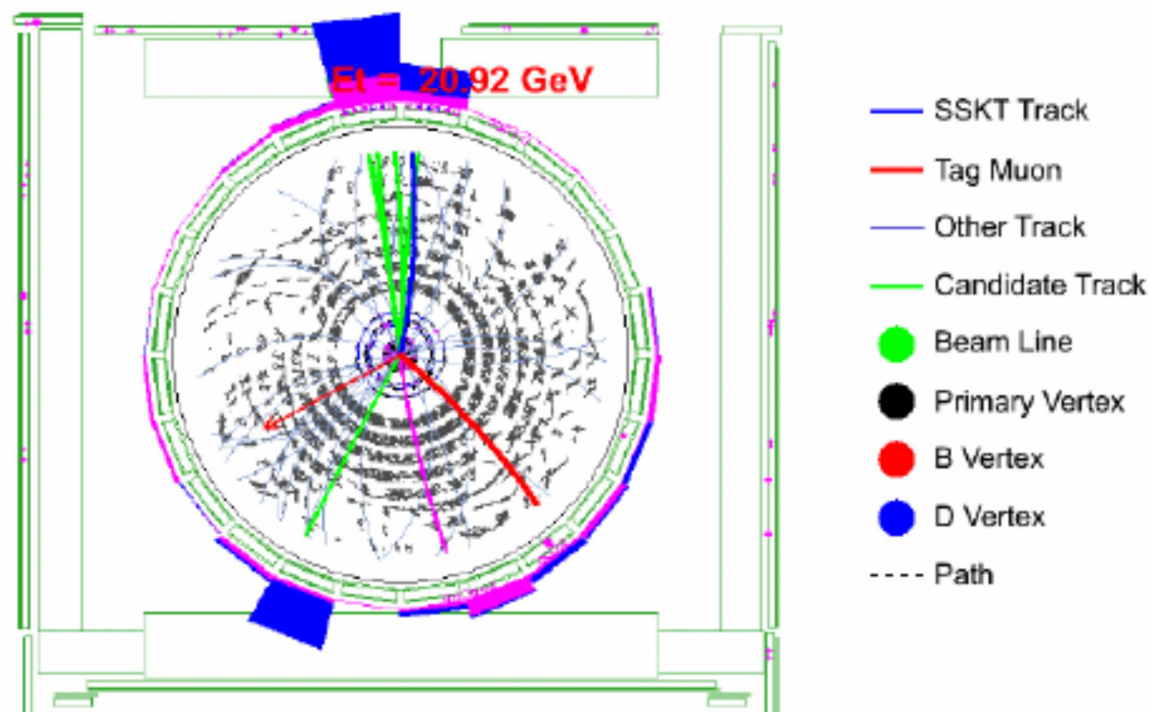
Trigger: selezione online

- Selezione eventi (COT):
 - ◆ coppie di tracce con
 - $p_t > 2 \text{ GeV}/c$
 - $p_t(1) + p_t(2) > 5.5 \text{ GeV}/c$



Il trigger sfrutta informazioni ad una risoluzione confrontabile con quella della ricostruzione offline

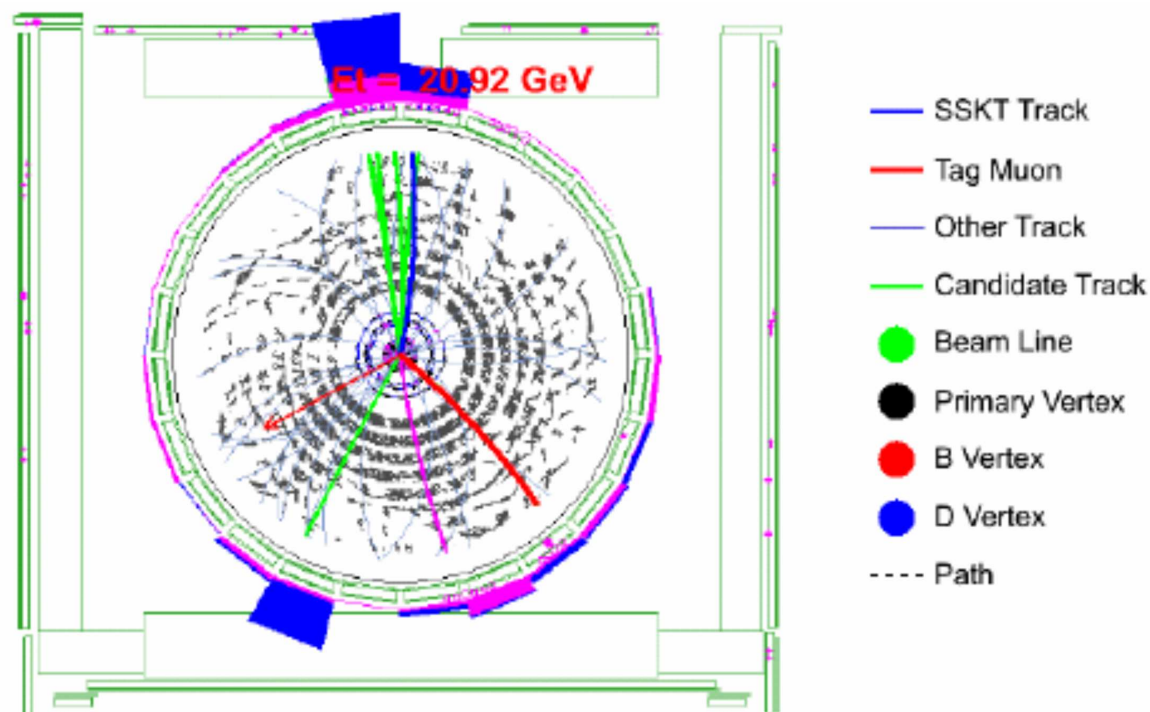
- Selezione eventi (COT):
 - ◆ coppie di tracce con
 - $p_t > 2 \text{ GeV}/c$
 - $p_t(1) + p_t(2) > 5.5 \text{ GeV}/c$
 - ◆ angolo tra le tracce
 $20^\circ < \Delta\phi < 135^\circ$



Il trigger sfrutta informazioni ad una risoluzione confrontabile con quella della ricostruzione offline

Trigger: selezione online

- Selezione eventi (COT):
 - ◆ coppie di tracce con
 - $p_t > 2 \text{ GeV}/c$
 - $p_t(1) + p_t(2) > 5.5 \text{ GeV}/c$
 - ◆ angolo tra le tracce
 $20^\circ < \Delta\phi < 135^\circ$
- Selezione eventi (COT e SVT):

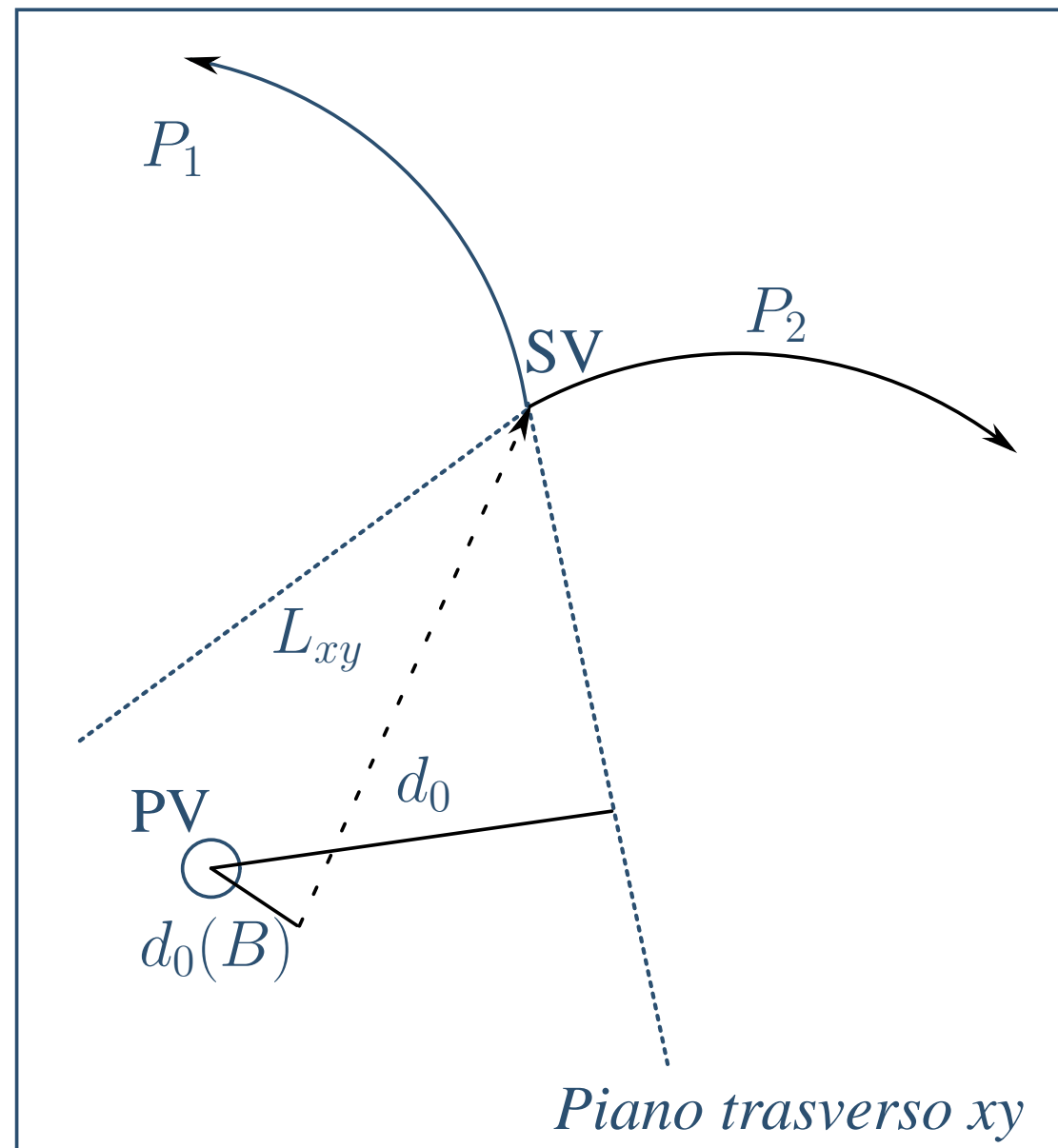


Il trigger sfrutta informazioni ad una risoluzione confrontabile con quella della ricostruzione offline

Trigger: selezione online

- Selezione eventi (COT):
 - ◆ coppie di tracce con
 - $p_t > 2 \text{ GeV}/c$
 - $p_t(1) + p_t(2) > 5.5 \text{ GeV}/c$
 - ◆ angolo tra le tracce
 $20^\circ < \Delta\phi < 135^\circ$
- Selezione eventi (COT e SVT):
 - ◆ parametro di impatto delle tracce rispetto al PV
 $100 \mu\text{m} < d_0 < 1 \text{ mm}$

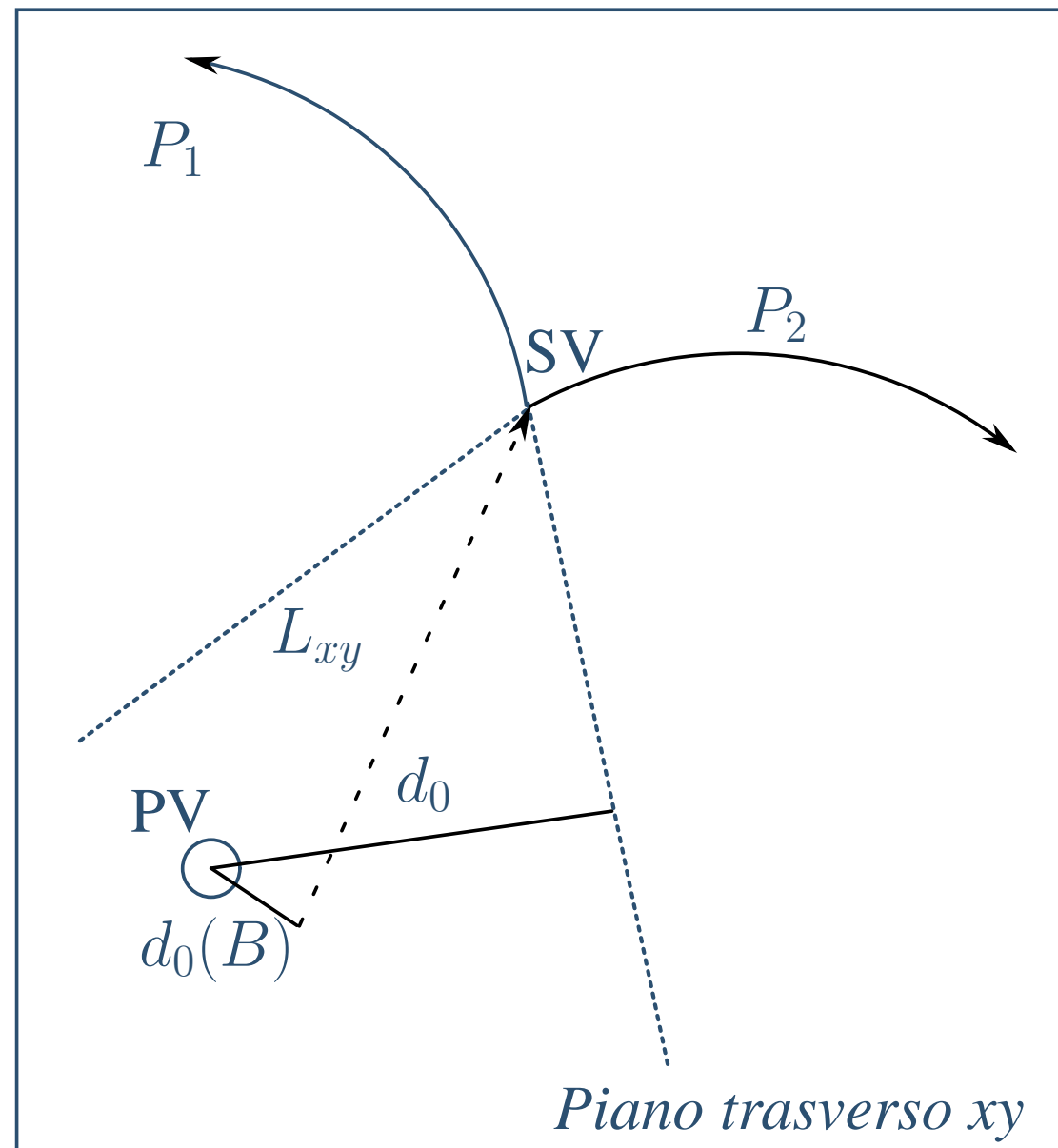
Il trigger sfrutta informazioni ad una risoluzione confrontabile con quella della ricostruzione offline



Trigger: selezione online

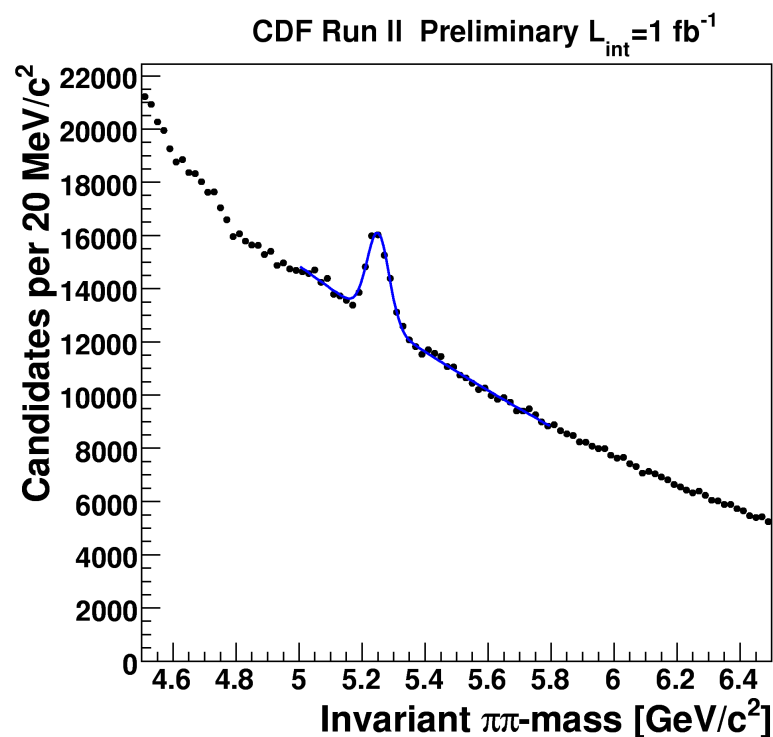
- Selezione eventi (COT):
 - ◆ coppie di tracce con
 - $p_t > 2 \text{ GeV}/c$
 - $p_t(1) + p_t(2) > 5.5 \text{ GeV}/c$
 - ◆ angolo tra le tracce
 $20^\circ < \Delta\phi < 135^\circ$
- Selezione eventi (COT e SVT):
 - ◆ parametro di impatto delle tracce rispetto al PV
 $100 \mu\text{m} < d_0 < 1 \text{ mm}$
 - ◆ parametro di impatto del B^0
 $d_0 < 140 \mu\text{m}$

Il trigger sfrutta informazioni ad una risoluzione confrontabile con quella della ricostruzione offline



Conferma offline del trigger

Sono stati raccolti dati pari a 1 fb^{-1} di luminosità integrata ($\int L dt$) per un totale di 14500 eventi di segnale di $B^0 \rightarrow h^+ h'^-$.



È stata eseguita una analisi offline di conferma del trigger imponendo le medesime restrizioni (l'analisi offline permette di sfruttare tutte le informazioni del rivelatore alla loro massima risoluzione).

$$d_0(B) \leq 140 \mu\text{m}$$

$$L_{xy}(B) \geq 200 \mu\text{m}$$

$$4\text{GeV}/c^2 \leq M_{\pi\pi} \leq 7\text{GeV}/c^2$$

È stato così ottenuto un rapporto segnale rumore (SNR) di circa 0.2

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

● conferma trigger

● SNR

● ottimizzazione

● Tagli ottimizzati

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

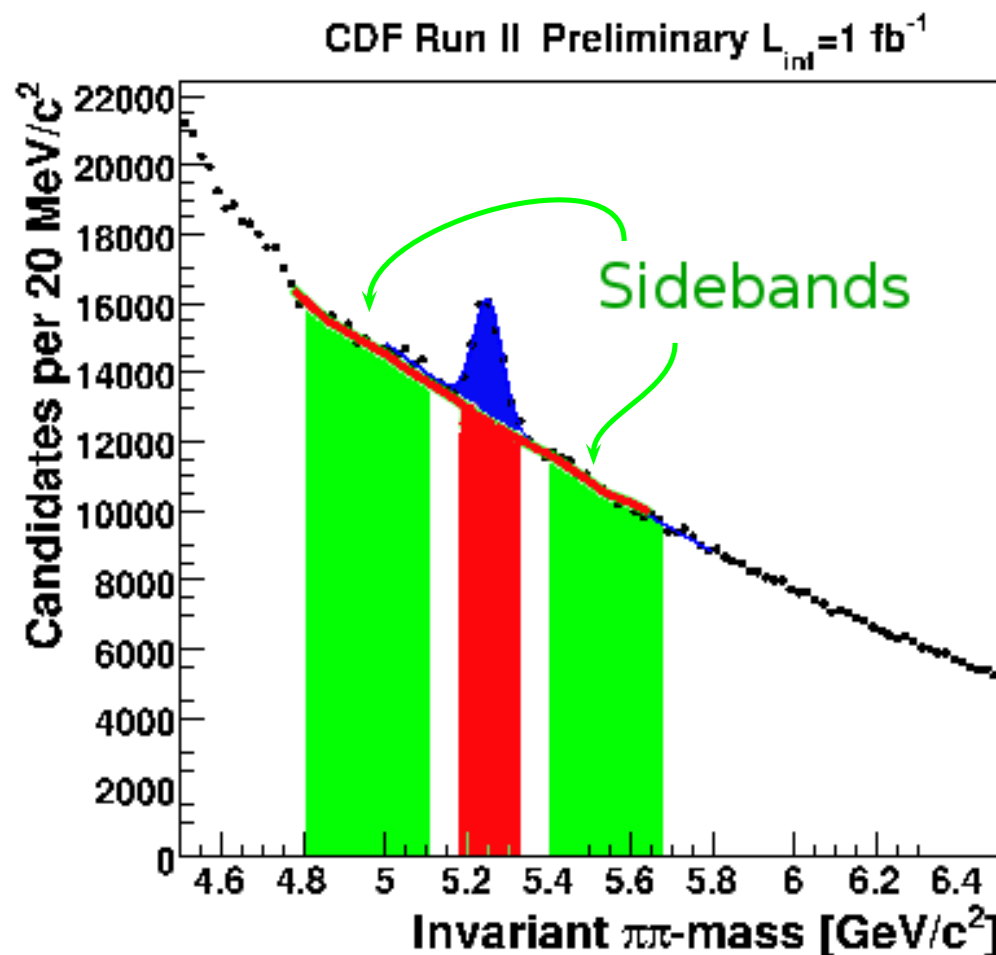
Risultati sperimentali

Conclusioni

Rapporto segnale rumore

Il fondo si stima dalla zona intorno al segnale, a qualche σ di distanza dal picco, detta *sideband*. Viene stimato il rumore presente al disotto del picco A_{fondo} e confrontato con i conteggi del segnale $A_{segnale}$:

$$SNR = \frac{A_{segnale}}{A_{fondo}} = 0.2$$



Ottimizzazione dei tagli offline

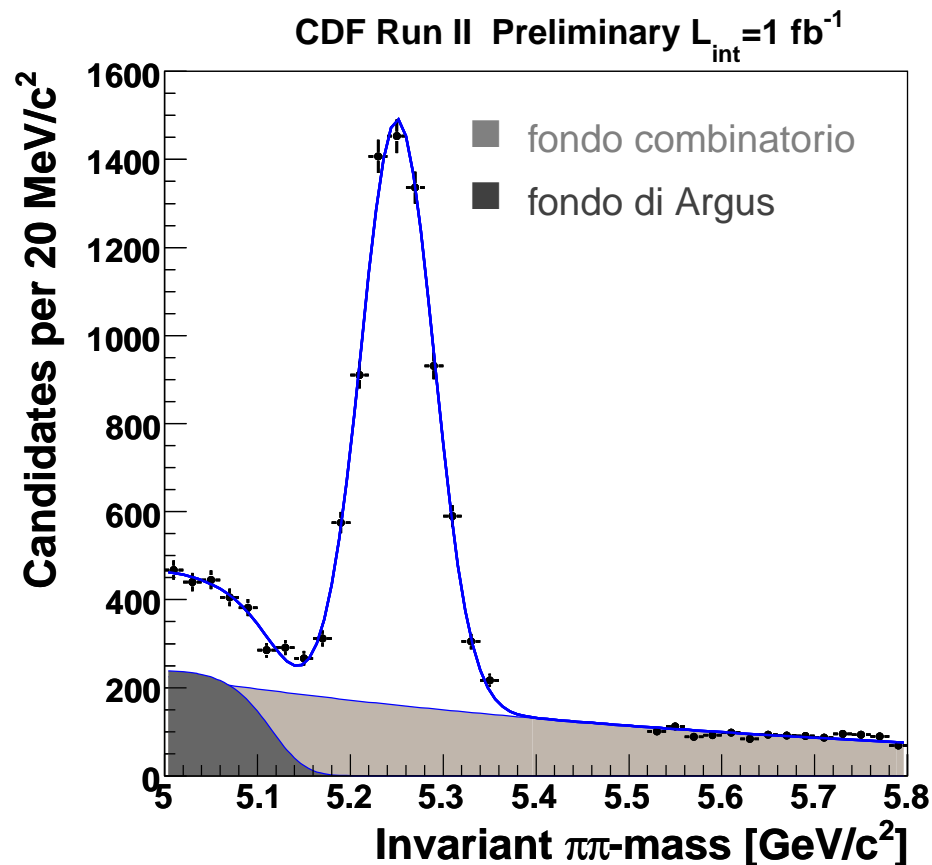
La selezione *offline* è stata ottimizzata a seconda del tipo di misura effettuata.

Vengono scelte delle figure di merito appropriate nelle quali si ottimizza il rapporto Segnale-Rumore.

S → Segnale: il set di dati utilizzato per l'ottimizzazione viene da una simulazione Monte Carlo.

B → Rumore: viene stimato in un intervallo di massa invariante alla destra ed alla sinistra del picco di segnale, le cosiddette *sidebands*

Figura di merito	ottimizzazione	utilizzo
$\frac{S}{\sqrt{S+B}}$	statistica	BR e A_{CP}
$\frac{efficienza(S)}{1.5+\sqrt{B}}$	segnali piccoli	BR molto rari

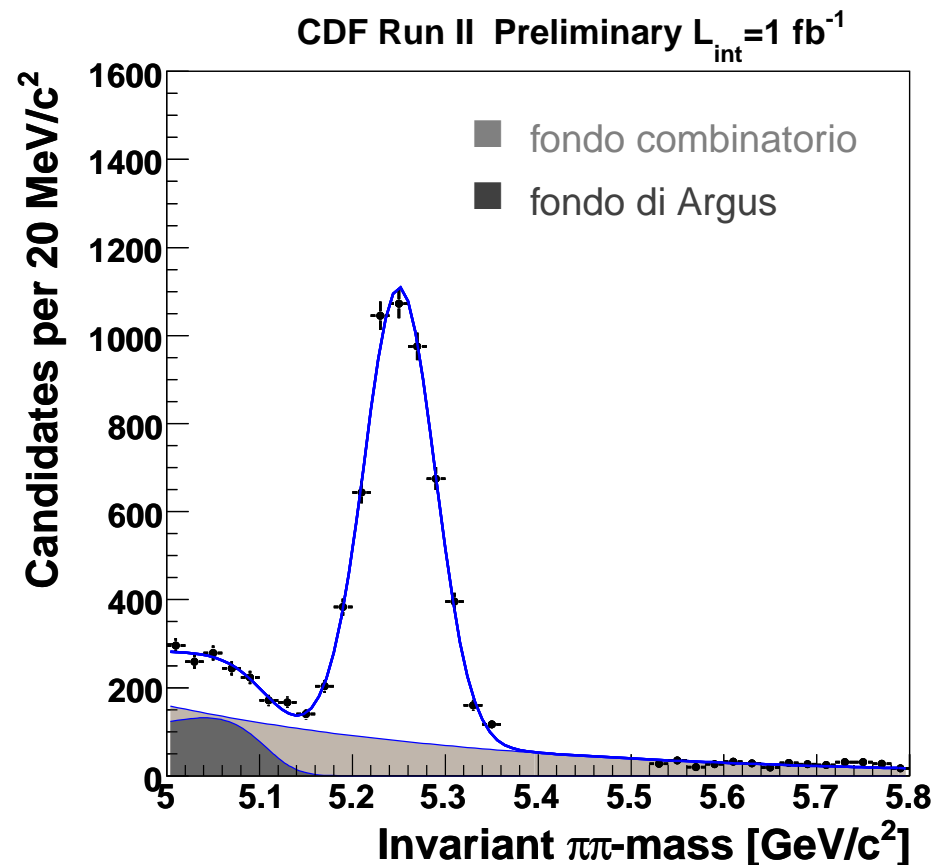


Ottimizzazione per asimmetria di CP:

$$|d_0(B) \leq 60 \mu\text{m}|$$

$$L_{xy} \geq 300 \mu\text{m}$$

$$I_{R=1}(B) \geq 0.5: \text{isolamento}$$



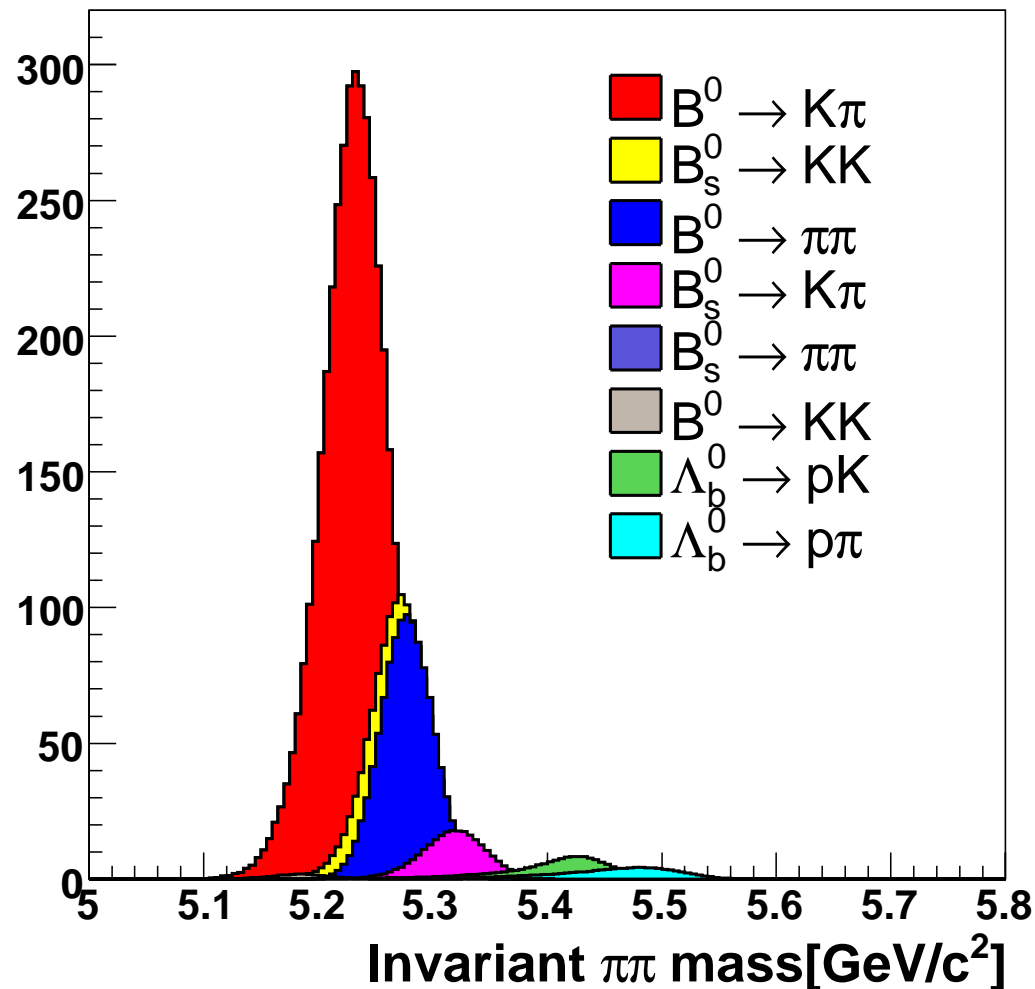
Ottimizzazione eventi rari:

$$|d_0(B) \leq 80 \mu\text{m}|$$

$$L_{xy} \geq 350 \mu\text{m}$$

$$I_{R=1}(B) \geq 0.525: \text{isolamento}$$

CDF Run II Monte Carlo



Non è possibile distinguere i canali di decadimento che danno contributi che si sovrappongono nel fit del segnale raccolto.

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

● riconoscimento

● variabili cinematiche

● PID

● Capacità risolutiva della PID

● Fit multivariato

● risultati sperimentali

Incertezze sperimentali

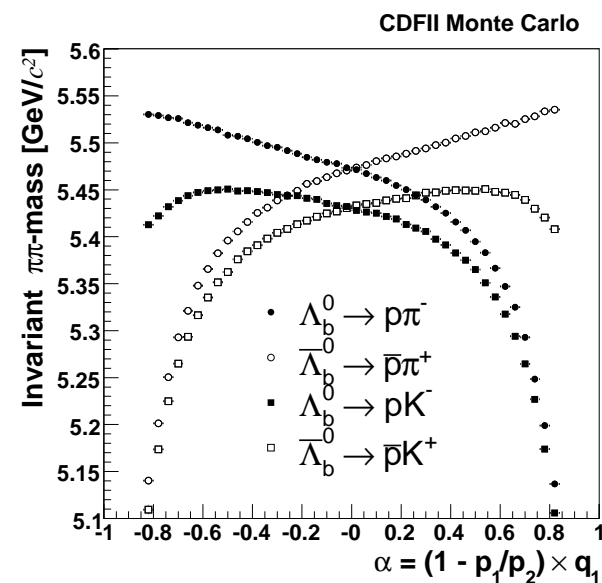
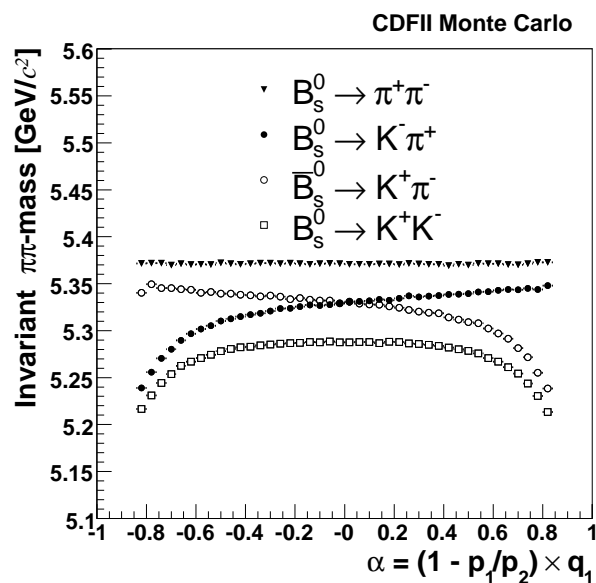
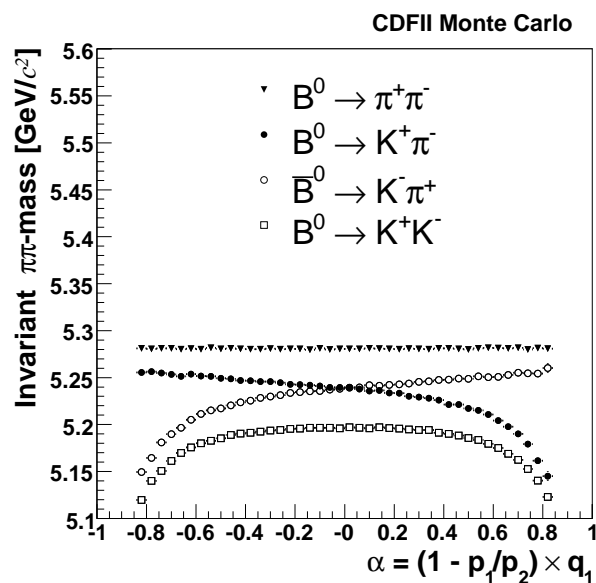
Risultati sperimentali

Conclusioni

Distinzione canali: variabili cinematiche

La distinzione dei canali di decadimento viene effettuato utilizzando tre variabili cinematiche:

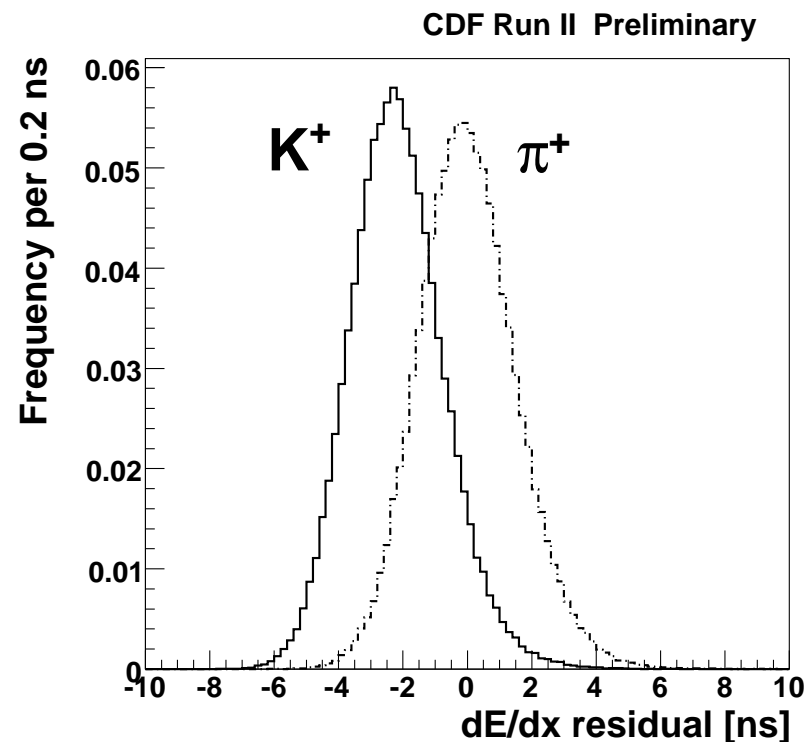
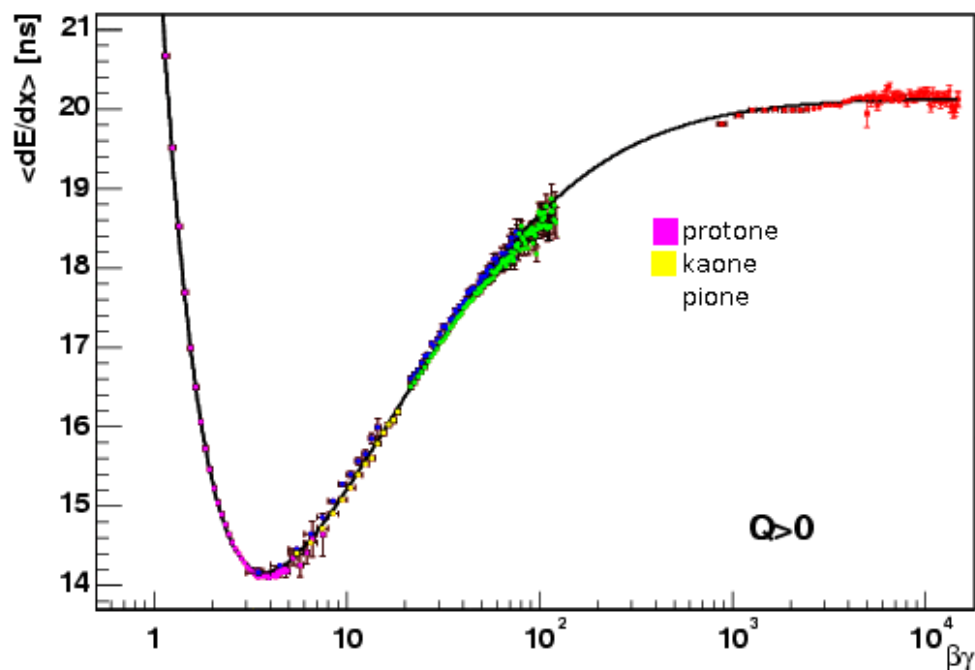
- $M_{\pi\pi}$: massa invariante calcolata assegnando ad entrambe le particelle la massa del pione
- $\alpha = q_1(1 - \frac{p_1}{p_2})$: squilibrio di impulso
- $p_{tot} = p_1 + p_2$: somma scalare degli impulsi



Distinzione canali: PID

Oltre alle variabili cinematiche vengono utilizzate le PID: una ulteriore variabile è chiamata ID:

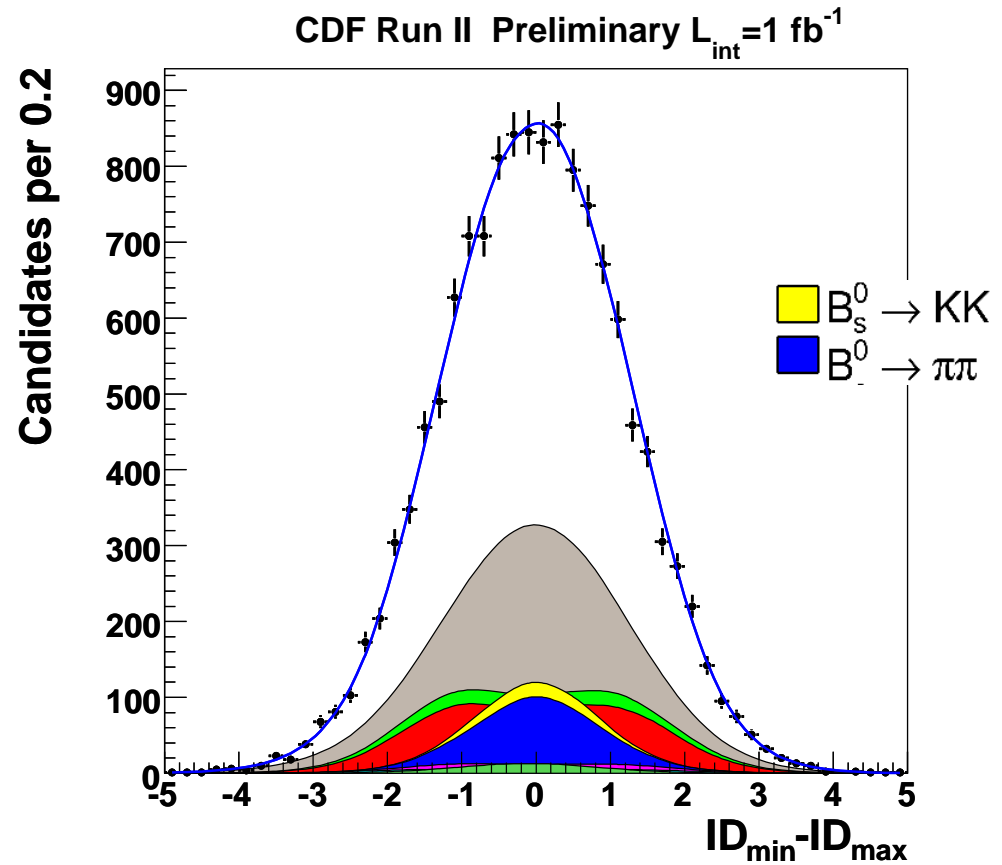
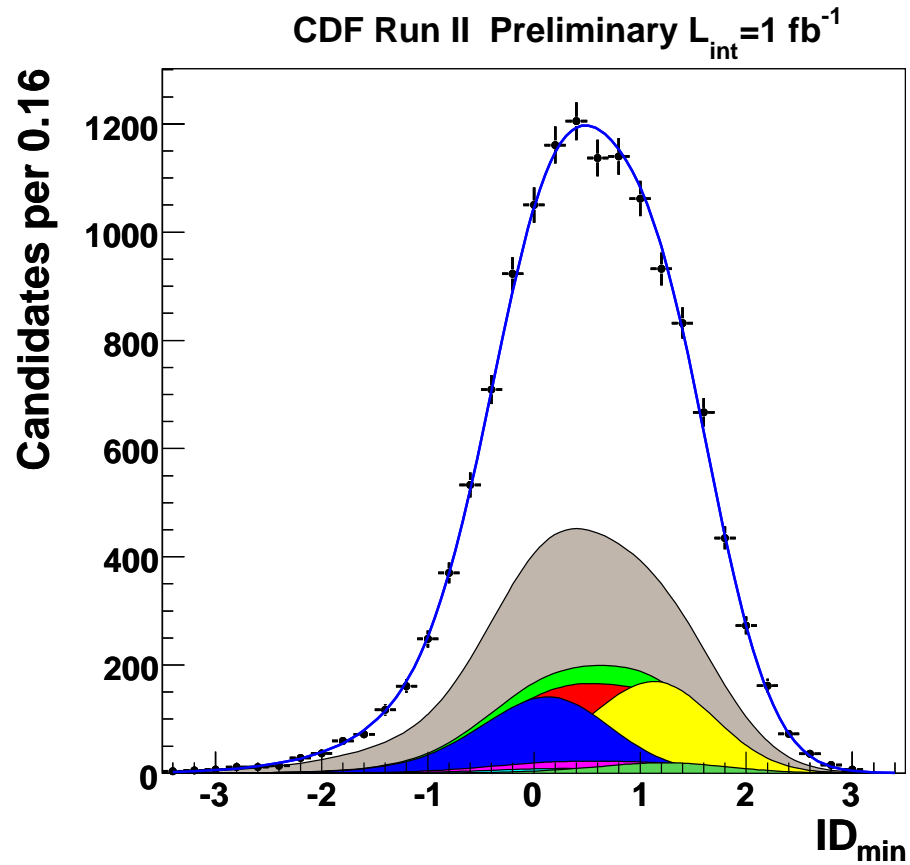
$$ID(tr) = \frac{\frac{dE}{dx} \Big|_{mis}(tr) - \frac{dE}{dx} \Big|_{\pi}(tr)}{\frac{dE}{dx} \Big|_K(tr) + \frac{dE}{dx} \Big|_{\pi}(tr)}$$



Le due distribuzioni sono separate a 1.4σ

La perdita di energia viene misurata nella camera a fili (COT)

Capacità risolutiva della PID



Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

- riconoscimento
- variabili cinematiche
- PID
- Capacità risolutiva della PID
- **Fit multivariato**
- risultati sperimentali

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

Conclusioni

Nessuna delle singole variabili permette una netta discriminazione tra i canali di decadimento, ma è possibile combinare l'informazione di ciascuna variabile mediante un fit multidimensionale. Le variabili usate sono:

■ Variabili cinematiche

- ◆ $M_{\pi\pi}$: massa invariante calcolata assegnando ad entrambe le particelle la massa del pione
- ◆ $\alpha = q_1(1 - \frac{p_1}{p_2})$: squilibrio di impulso
- ◆ $p_{tot} = p_1 + p_2$: somma scalare degli impulsi

■ PID (“Particle identification”)

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

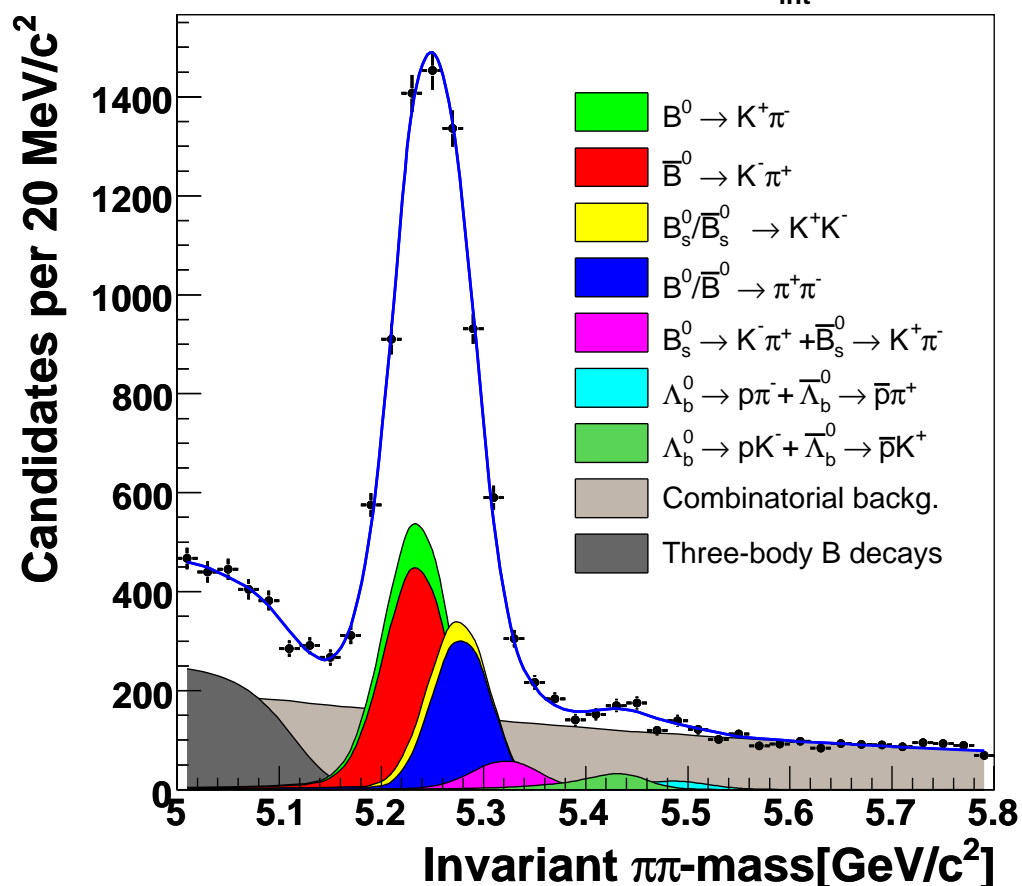
- riconoscimento
- variabili cinematiche
- PID
- Capacità risolutiva della PID
- Fit multivariato
- risultati sperimentali

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

Conclusioni

CDF Run II Preliminary $L_{\text{int}}=1 \text{ fb}^{-1}$



conteggi \pm inc.statistica \pm inc.sistematica

$$\mathcal{N}(\Lambda_b^0 \rightarrow p \pi^-) = 156 \pm 20 \pm 11$$

$$\mathcal{N}(\Lambda_b^0 \rightarrow p K^-) = 110 \pm 18 \pm 16$$

$$\mathcal{N}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+) = 230 \pm 34 \pm 16$$

$$\mathcal{N}(B_d^0 \rightarrow K^+ K^-) = 61 \pm 25 \pm 35$$

$$\mathcal{N}(B_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = 26 \pm 16 \pm 14$$

$$\mathcal{N}(B_s^0 \rightarrow K^+ K^-) = 1307 \pm 64$$

$$\mathcal{N}(B_d^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = 1121 \pm 63$$

$$\mathcal{N}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-) = 4045 \pm 84$$

Errori sistematici

Le principali fonti di errore sistematico derivano da:

- **incertezza statistica sull'efficienza di isolamento (canali B_s^0)**
è l'incertezza dominante per i canali del B_s^0 eccetto
 $A_{CP}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+)$
- **incertezza sulla calibrazione e parametrizzazione del $\frac{dE}{dx}$**
il fit multivariato è molto sensibile al dato di PID
- **incertezza sulla modellizzazione del fondo combinatoriale**
il fondo combinatoriale è stimato tramite un esponenziale ed è stato controllato con fit polinomiale. Ne sono affetti soprattutto i modi rari

Altre incertezze minori sono date da:

- Scala di massa
- Valori delle masse in input
- Asimmetrie nelle *p.d.f.* (funzioni di densità di probabilità)
- Modello dell'impulso del fondo

Decadimenti non osservati

$$B_d^0 \longrightarrow K^+ K^-$$

$$\mathcal{BF} = \frac{\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ K^-)}{\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-)} = 0.020_{\pm 0.008 \pm 0.006}$$

$$\mathcal{BR} = \mathcal{BF} \cdot \mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-)$$

$$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-) = (19.5 \pm 0.6) \cdot 10^{-6} \text{ (misurato alle B-Factories)}$$

$$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ K^-) = (0.39_{\pm 0.16 \pm 0.12}) \cdot 10^{-6}$$

Che permette di porre un limite superiore pari a $0.7 \cdot 10^{-6}$ al 90% di Confidence Level (CL)

Analogamente per

$$B_s^0 \longrightarrow \pi^+ \pi^-$$

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (0.52_{\pm 0.29 \pm 0.38}) \cdot 10^{-6} \text{ ovvero } < 1.3 \cdot 10^{-6} \text{ @90\%CL}$$

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

- Decadimenti non osservati
- Decadimenti molto rari
- Risultati di \mathcal{BR}
- A_{CP} diretta

Conclusioni

Decadimenti molto rari

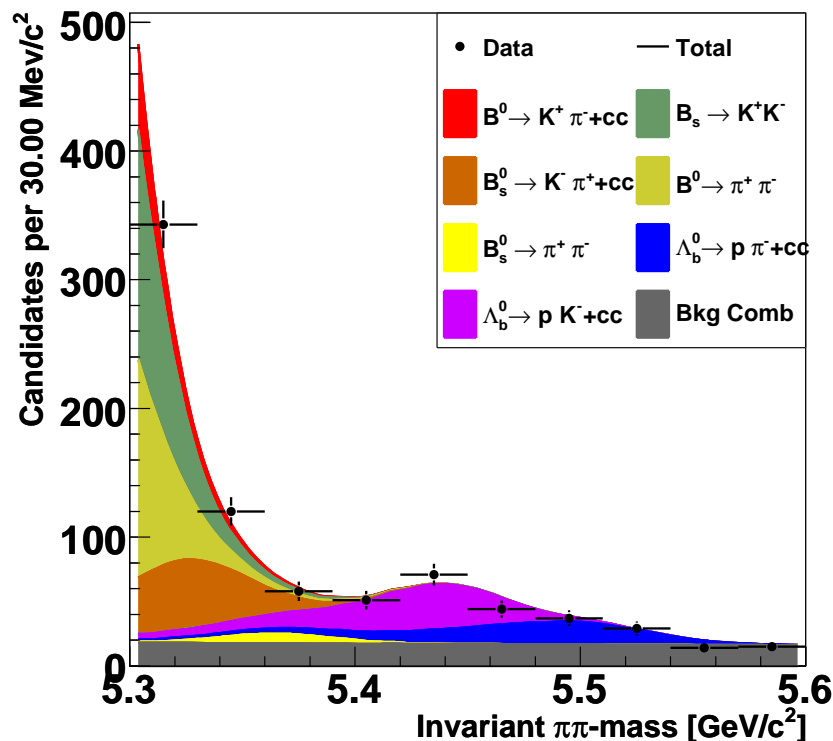
Sono stati osservati 3 nuovi decadimenti:

$$\mathcal{N}(\Lambda_b^0 \rightarrow p \pi^-) = 156 \pm 20 \pm 11 \quad 6\sigma! \quad > 3\sigma \rightarrow \text{EVIDENZA}$$

$$\mathcal{N}(\Lambda_b^0 \rightarrow p K^-) = 110 \pm 18 \pm 16 \quad 11\sigma! \quad > 5\sigma \rightarrow \text{OSSERVAZIONE}$$

$$\mathcal{N}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+) = 230 \pm 34 \pm 16 \quad 8\sigma!$$

CDF Run II Preliminary $L_{\text{int}} = 1 \text{ fb}^{-1}$



Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

- Decadimenti non osservati
- Decadimenti molto rari
- Risultati di \mathcal{BR}
- A_{CP} diretta

Conclusioni

Risultati di \mathcal{BR}

I valori di \mathcal{BR} per i decadimenti del B_s^0 sono stati ricavati dal \mathcal{BF} :

$$\frac{f_s}{f_d} \frac{\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+)}{\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-)} = 0.071_{\pm 0.010 \pm 0.007}$$

con le frazioni di produzione di B_s e B_d (dal PDG):

$$f_s = (11.0 \pm 1.2)\% \qquad f_d = (39.9 \pm 1.1)\%$$

Canale di decadimento	\mathcal{BR} assoluto (10^{-6})	Valore di confronto (10^{-6})
$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$	$5.02_{\pm 0.33 \pm 0.35}$	$5.1_{\pm 0.2 \pm 0.2}$ [Belle]
$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K^+ K^-)$	$25.8_{\pm 1.5 \pm 3.9}$	$33_{\pm 6 \pm 7}$ [old CDF]
$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+)$	$5.27_{\pm 0.74 \pm 0.90}$	4.9 [Zupan]
$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \pi^- \pi^+)$	$< 1.3@90\% \text{ CL}$	
$\mathcal{B}(B_d^0 \rightarrow K^+ K^-)$	$< 0.7@90\% \text{ CL}$	
$\mathcal{B}(\Lambda_b^0 \rightarrow p \pi^-)$	$1.4_{\pm 0.3}^{+0.9}_{-0.5}$	0.85 [R.Mohanta]
$\mathcal{B}(\Lambda_b^0 \rightarrow p K^-)$	$2.2_{\pm 0.3}^{+1.4}_{-0.8}$	1.38 [R.Mohanta]

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

- Decadimenti non osservati
- Decadimenti molto rari
- Risultati di \mathcal{BR}
- A_{CP} diretta

Conclusioni

Misura dell' asimmetria di CP diretta

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

- Decadimenti non osservati
- Decadimenti molto rari
- Risultati di \mathcal{BR}
- A_{CP} diretta

Conclusioni

	Misura CDF	valore di confronto
$A_{CP}(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-)$	$-0.086 \pm 0.023 \pm 0.009$	$-0.094 \pm 0.018 \pm 0.008$ [Belle]
$A_{CP}(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+)$	$0.39 \pm 0.15 \pm 0.08$	$\approx 0.37 \dagger$
$\frac{\Gamma(\overline{B}_d^0 \rightarrow K^- \pi^+) - \Gamma(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-)}{\Gamma(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+) - \Gamma(\overline{B}_s^0 \rightarrow K^+ \pi^-)}$	$0.78 \pm 0.39 \pm 0.12$	$1 \dagger$
$A_{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow p \pi^-)$	$0.03 \pm 0.17 \pm 0.05$	$0-0.1$
$A_{CP}(\Lambda_b^0 \rightarrow p K^-)$	$0.37 \pm 0.17 \pm 0.03$	$0.1-0.4$

\dagger Test di confronto del Modello Standard [Lipkin]

$$\Gamma(\overline{B}_d^0 \rightarrow K^- \pi^+) - \Gamma(B_d^0 \rightarrow K^+ \pi^-) = \Gamma(B_s^0 \rightarrow K^- \pi^+) - \Gamma(\overline{B}_s^0 \rightarrow K^+ \pi^-)$$

$$A_{CP}(B_s^0) = \frac{\Gamma(\overline{B}_s^0) - \Gamma(B_s^0)}{\Gamma(\overline{B}_s^0) + \Gamma(B_s^0)} = -A_{CP}(B_d^0) \frac{\Gamma(\overline{B}_d^0) + \Gamma(B_d^0)}{\Gamma(\overline{B}_s^0) + \Gamma(B_s^0)} =$$

$$-A_{CP}(B_d^0) \frac{\mathcal{B}(B_d^0) + \mathcal{B}(\overline{B}_d^0)}{\mathcal{B}(B_s^0) + \mathcal{B}(\overline{B}_s^0)} \frac{\Gamma_{tot}(B_d^0)}{\Gamma_{tot}(B_s^0)} = 0.37$$

Introduzione

Violazione CP

CDF detector

Analisi offline

Distinzione π e K

Incertezze sperimentali

Risultati sperimentali

Conclusioni

● Conclusioni

- I dati di CDF hanno fornito informazioni rilevanti sulla fisica del B_s^0 e sono competitivi, in alcuni casi, con le misure delle B-Factories sul B_d^0 .
- Le misure non hanno mostrato, entro la statistica analizzata, evidenti segnali di Nuova Fisica, essendo in buon accordo con il modello standard.
- I risultati ottenuti possono fornire notevoli informazioni per la stima dei contributi dei diagrammi di feynmann.

L'esperimento LHCb al collider LHC potrà studiare i decadimenti charmless a due copri del B_d^0 , B_s^0 e Λ_b^0 con una statistica di un ordine di grandezza in più.

Luminosità

Luminosità di picco $2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Collider Run II Integrated Luminosity

