IFAE 2007

11-13 Aprile, Napoli

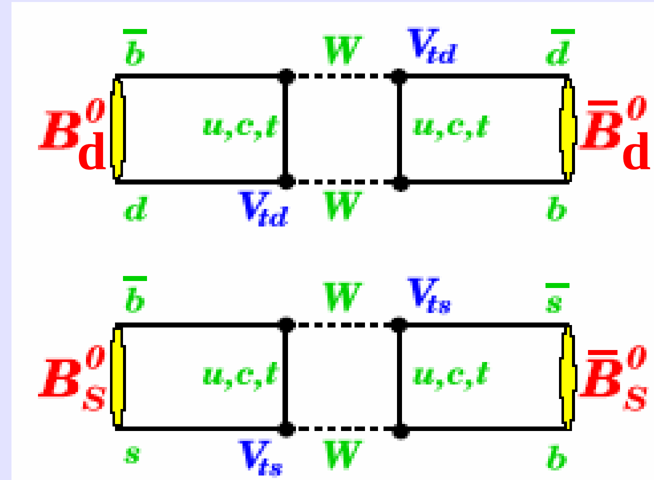
B-Mesoni:

- **Differenze di Massa:** $\Delta m_d, \Delta m_s$
- **Vite Medie:** $\tau(B^+)/\tau(B_d)$, $\tau(B_s)/\tau(B_d)$, $\tau(\Lambda_b)/\tau(B_d)$
- **Differenze di Larghezza:** $\Delta\Gamma_d, \Delta\Gamma_s$
- **Asimmetrie Semileptoniche:** A_{SL}^d, A_{SL}^s

Cecilia Tarantino

Technical University Munich

Sistemi $B_q^0 - \overline{B}_q^{\,0}$ (q=d,s)



$$\hat{H} = \hat{M} - \frac{i}{2}\hat{\Gamma}$$

$$\hat{M} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{12}^{*} & M_{11} \end{pmatrix} \qquad \hat{\Gamma} = \begin{pmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} \\ \Gamma_{12}^{*} & \Gamma_{11} \end{pmatrix}$$

Oscillazione — Decadimento

Autostati:

$$\left|B_q^{L,H}\right\rangle = p_q\left|B_q^0\right\rangle \pm q_q\left|\overline{B}_q^{\,0}\right\rangle$$

Osservabili Fisiche:

$$\Delta m_q = 2\left|M_{12}^q\right| \qquad \Delta\Gamma_q = -2\left|M_{12}^q\right| \mathrm{Re}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)$$

$$\tau_{B_q}^{-1} = \Gamma_{B_q} = \Gamma_{11}^q \qquad A_{SL}^q = -2\left(\left|q/p\right|_q - 1\right) = \mathrm{Im}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)$$

Oscillazioni

Valori sperimentali:

Δm_d=0.508(4)/ps [HFAG, 2006]

Δm_s=17.77(12)/ps [CDF+D0, 2006]

Predizioni teoriche:

$$\Delta m_d = \frac{G_F^2 m_W^2}{6\pi^2} m_{B_d} |V_{td}|^2 \eta_B S_0(x_t) \frac{\hat{B}_{B_s} f_{Bs}^2}{\xi^2}$$

$$\xi^2 = \left(\frac{\hat{B}_{B_s} f_{B_s}^2}{\hat{B}_{B_d} f_{B_d}^2} \right)$$

$$\Delta m_s = \frac{G_F^2 m_W^2}{6\pi^2} m_{B_s} |V_{ts}|^2 \eta_B S_0(x_t) \hat{B}_{B_s} f_{Bs}^2$$

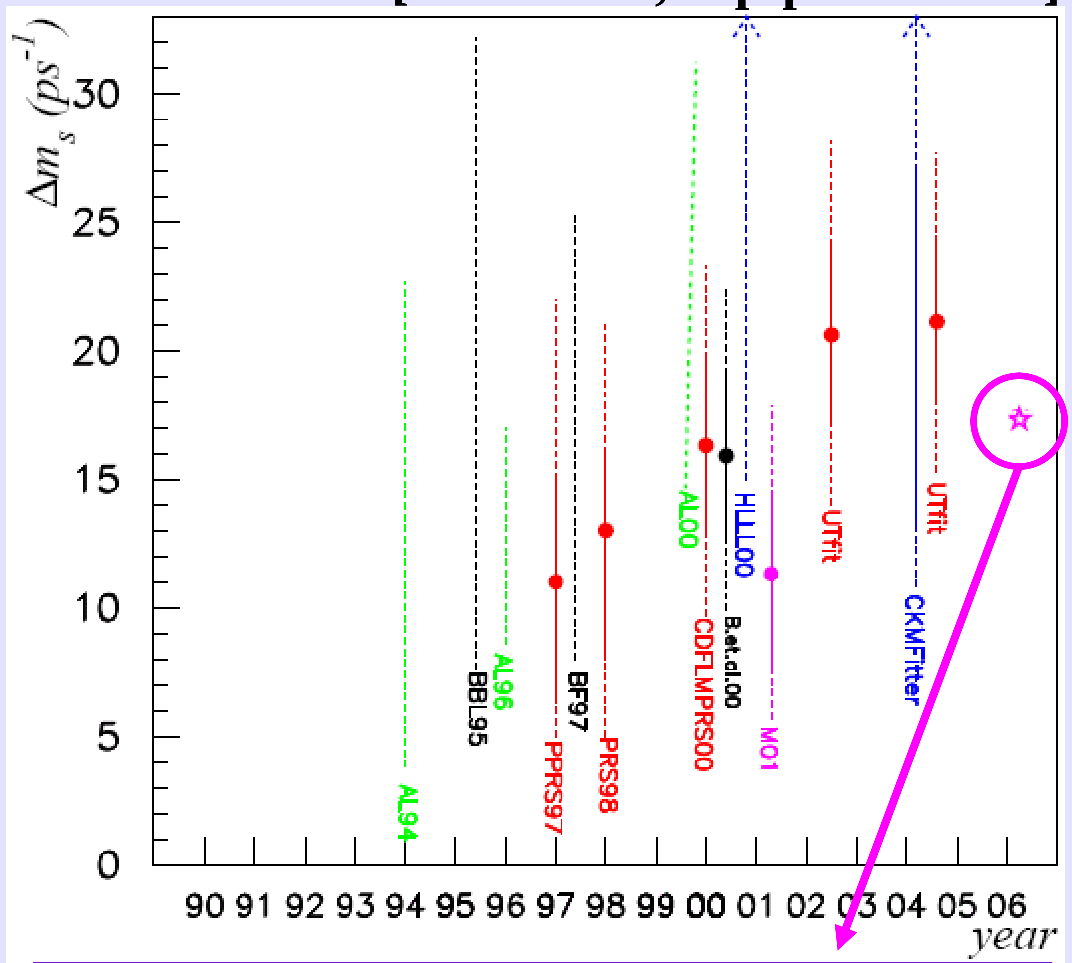
- OPE $(m_t \to \infty, m_W \to \infty)$
- Contributo del top dominante

- $\eta_B S_0(x_t)$: fisica di corta-distanza, dalla teoria delle perturbazioni (2%) [al NLO, Buras et al.: Nucl.Phys.B347 (1990)]

- $\hat{B}_{B_s} f_{B_s}^2, \xi^2$: effetti di QCD non-perturbativa, dal Reticolo [vd. talk di Nazario] $\Rightarrow$ principale fonte di incertezza

Evoluzione temporale della determinazione indiretta di Δm_s

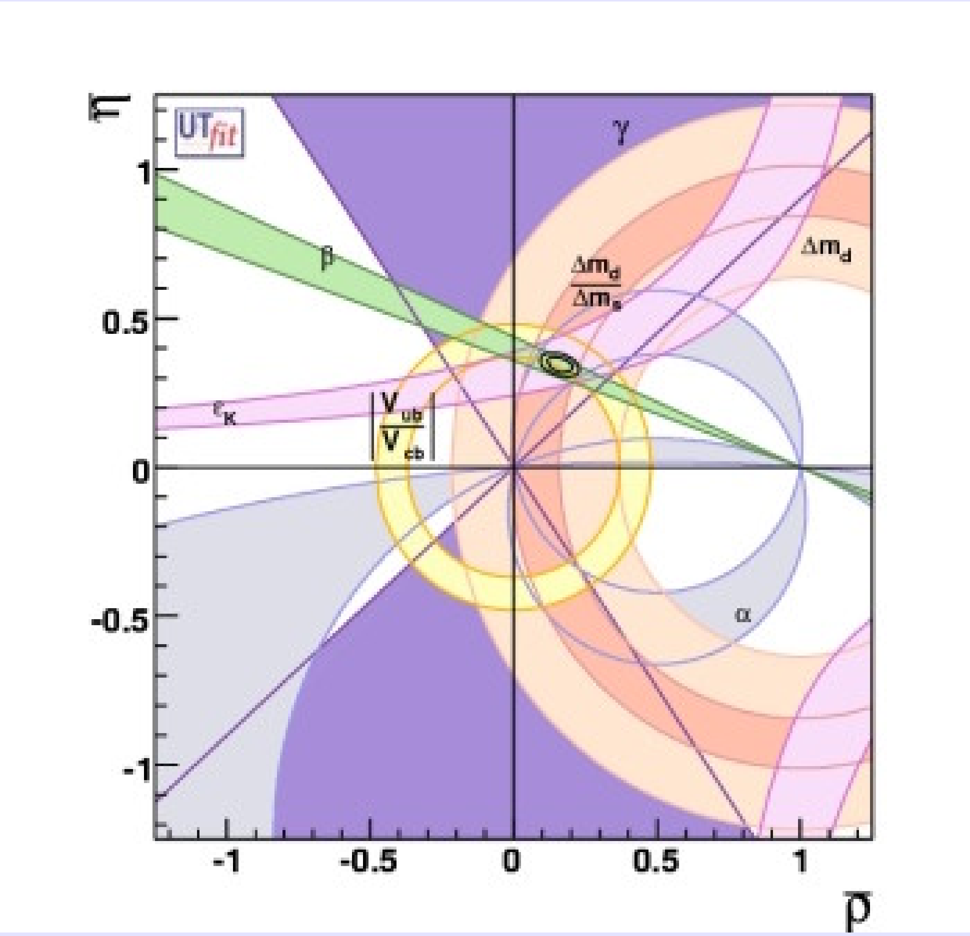
[UTfit Coll., hep-ph/0606167]



La nuova misura sperimentale ha un ruolo fondamentale:

- **nell´ analisi del Triangolo Unitario**
- **per testare la QCD sul reticolo**
- **per vincolare Nuova Fisica**

Analisi del Triangolo Unitario (assumendo lo SM)



[UTfit Coll., http://utfit.roma1.infn.it]

- Determinazione di $\bar{\rho}$ e $\bar{\eta}$ dai vincoli su lati e angoli
- Δm_s riduce l´incertezza di ~10%
- $|V_{ub}|$ inclusivo e´ piu´ grande di 2.5σ rispetto alla determinazione indiretta

Assumendo lo SM,
i vincoli sperimentali su lati e angoli permettono di determinare ``sperimentalmente´´ alcuni parametri adronici

[UTfit Coll., http://utfit.roma1.infn.it]

	$\hat{B}_K$	$f_{Bs}\,\hat{B}_{Bs}^{1/2}$ (MeV)	ξ	f_{Bd} (MeV)	f_{Bs} (MeV)
UT fit	0.75 ± 0.09	261 ± 6	1.24 ± 0.08	187 ± 13	231 ± 9
LQCD	$0.79 \pm 0.04 \pm 0.08$	262 ± 35	1.23 ± 0.06	189 ± 27	230 ± 30

[Hashimoto@Lattice]

Grazie alla misura di Δm_s, i B-parametri e le costanti di decadimento dei B_q risultano fortemente vincolati

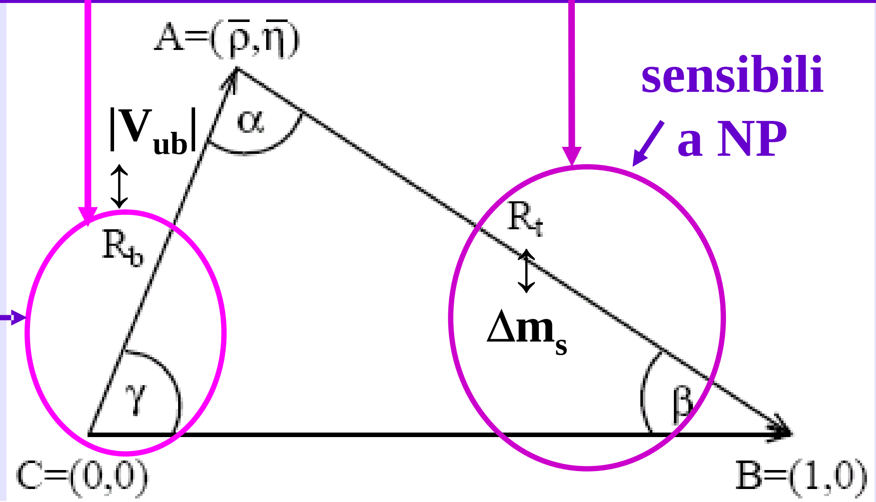
Per un confronto significativo sono necessari nuovi calcoli sul reticolo (unquenched)

Oltre lo SM:

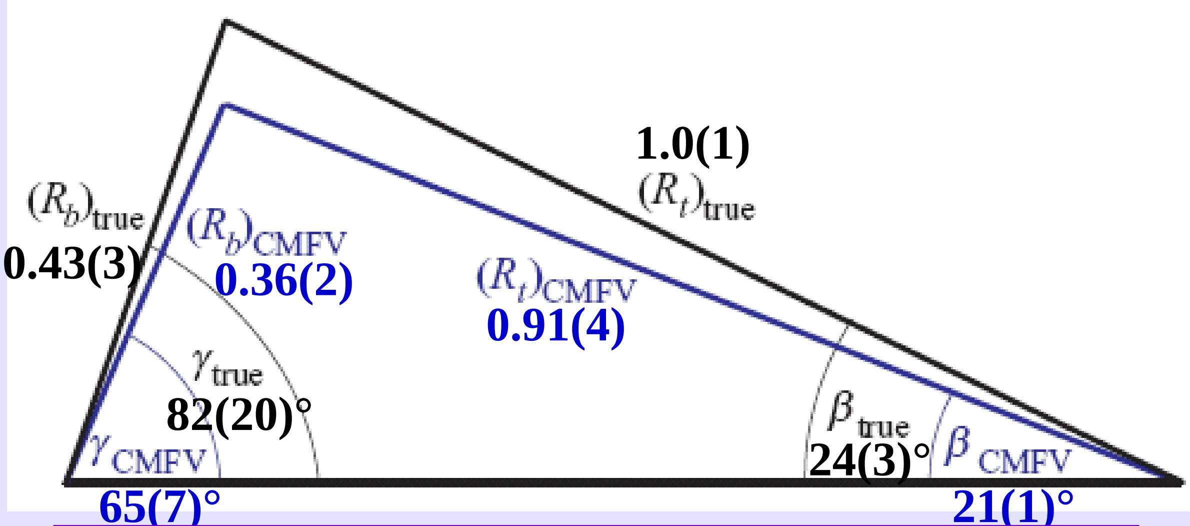
La misura di Δm_s permette di testare la constrained Minimal Flavour Violation (CMFV) dal confronto tra i triangoli ``true´´ ($R_b,\gamma$) e ``CMFV´´ (R_t,β)

[M.Blanke,A.J.Buras,D.Guadagnoli,C.T., hep-ph/0604057]

decadimenti tree-level



sensibili a NP



La differenza deriva da $|V_{ub}|$ inclusivo

…e altri studi oltre lo SM:

Ciuchini,Silvestrini
Isidori,Paradisi
Endo,Mishima
Foster,Okumura,Roszkowski
Cheung at al.
Baek
He,Valencia
Blanke,Buras
Altmannshofer,Buras,Guadagnoli
…

Matrice di Decadimento

$$\hat{\Gamma} = \begin{pmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} \\ \Gamma_{12}^{*} & \Gamma_{11} \end{pmatrix}$$

$$\Downarrow$$

$$\Gamma_{11}^{q} \quad (\Delta B = 0)$$

•**Vite Medie:** $\Gamma_{B_q} = \Gamma_{11}^{q}$

$$\Gamma_{12}^{q} \quad (\Delta B = 2)$$

•**Differenze di Larghezza:** $\Delta\Gamma_q = \Gamma_{B_L^q} - \Gamma_{B_H^q} \leftrightarrow \Gamma_{12}^{q}$

•**Asimmetrie semileptoniche:** $A_{SL}^{q} = -2\left(\left|\frac{q}{p}\right|_q - 1\right) \leftrightarrow \Gamma_{12}^{q}$

V_{CKM} diverso

HQE $(m_b >> \Lambda_{QCD})$

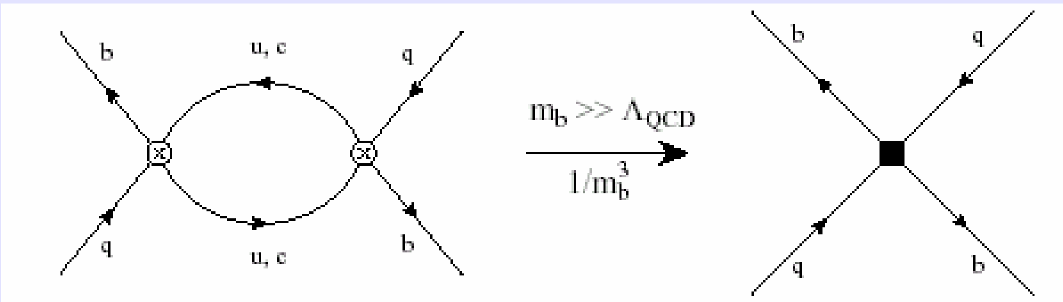
$$\Gamma_{12}^{q} = \sum_{k} \frac{\vec{c}_k^{\,q}(\mu)}{m_b^k} \left\langle B_q^0 \middle| \vec{O}_k^{q\,\Delta B=2}(\mu) \middle| \overline{B}_q^0 \right\rangle$$

Separazione di Scale

- $\vec{c}_k^{\,q}(\mu)$: corta-distanza (perturbativi)
- $\left\langle B_q^0 \middle| \vec{O}_k^{q\,\Delta B=2}(\mu) \middle| \overline{B}_q^0 \right\rangle$: lunga-distanza (non-perturbativi)

Coefficienti di Wilson

Grande rilascio di energia $\Longleftrightarrow$ **Interazione locale**

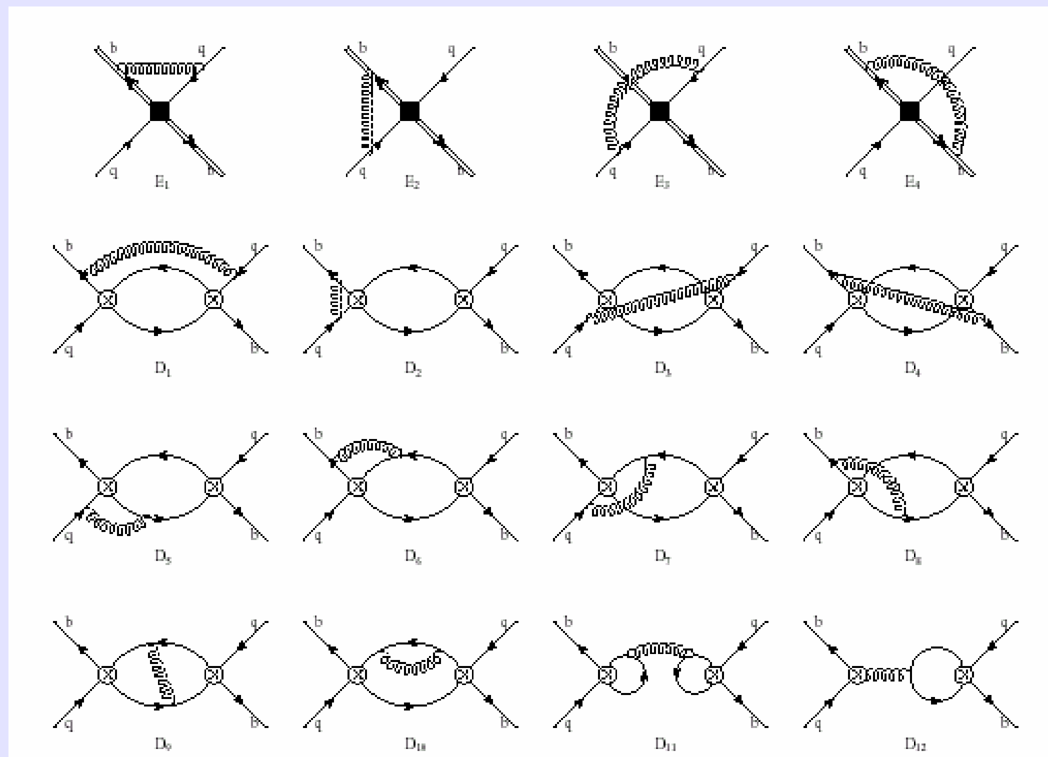


EFFETTI SPETTATORE

Matching al NLO in QCD e $O(1/m_b)$ nella HQE

Diagrammi NLO

$\Delta B = 2 (\Delta B = 0)$



•Vite Medie

$$\Gamma_{11}^{q} = \frac{G_F^2 |V_{cb}|^2 m_b^5}{192\pi^3 (2M_{B_q})}\left[c^{(3)}\langle \bar{b}b\rangle + c^{(5)}\frac{g_s}{m_b^2}\langle \bar{b}\sigma_{\mu\nu}G^{\mu\nu}b\rangle + \frac{96\pi^2}{m_b^3}\sum_k \left(c_k^{(6)}\langle O_k^{(6)}\rangle + \frac{c_k^{(7)}}{m_b}\langle O_k^{(7)}\rangle\right)\right]$$

$O(1)$ **(1996)** **[M. Neubert e C.T. Sachrajda]**

$O(\alpha_s)$ **(2002)**

•**[E. Franco, V. Lubicz, F. Mescia e C.T.]**

•**[M. Beneke, G. Buchalla, C. Greub, A. Lenz e U. Nierste]**

Gli Effetti Spettatore, responsabili delle diverse vite medie, appaiono all´$O(1/m_b^3)$

$O(1/m_b)$ **(2004)**

•**[F. Gabbiani, A. I. Onishchenko e A. A. Petrov]**

•$\Delta\Gamma_q$ e A^q_{SL}

$$\Gamma_{12}^{s} = -\frac{G_F^2 m_b^2}{12\pi(2M_{B_s})}(V_{cs}^* V_{cb})^2\left[C_1\langle O_1^s\rangle + C_2\langle O_2^s\rangle + \delta_{1/m_b}\right]$$

$O(\alpha_s)$ **(2003)**

•**[M. Ciuchini, E. Franco, V. Lubicz, F. Mescia e C.T.]**

•**[M. Beneke, G. Buchalla, A. Lenz e U. Nierste]**

Il contributo dominante nella HQE e´ di $O(1/m_b^3)$

$O(1/m_b)$ **(1996)**

•**[M. Beneke, G. Buchalla e I. Dunietz]**

+ cambio di base conveniente (2006)

•**[A. Lenz e U. Nierste]**

Elementi di Matrice: Operatori con $\Delta B=0$

Contributo dominante degli effetti spettatore: $O(1/m_b^3)$

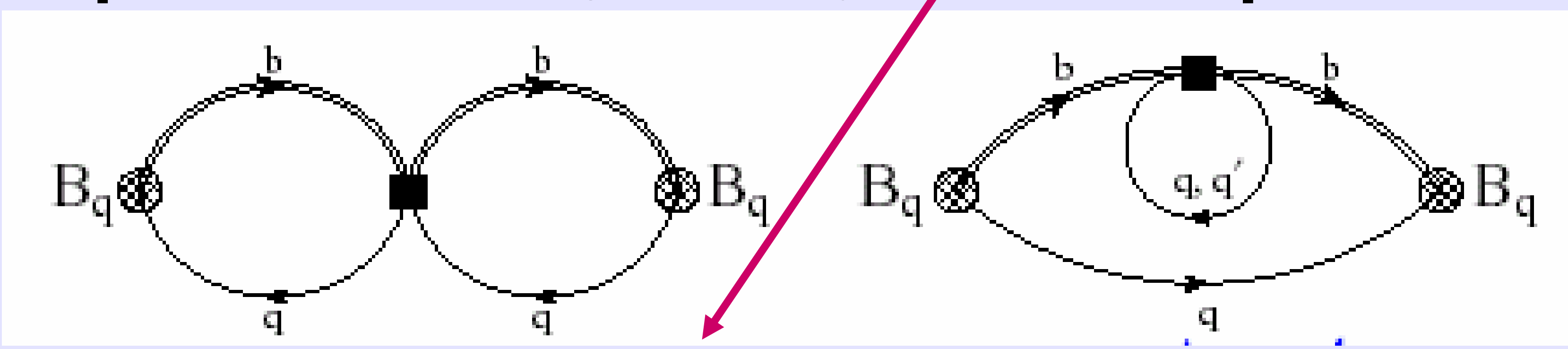
$$O_1^q = (\bar{b}q)_{V-A}(\bar{q}b)_{V-A} \leftrightarrow B_1^q, \qquad O_2^q = (\bar{b}q)_{S-P}(\bar{q}b)_{S+P} \leftrightarrow B_2^q,$$

$$O_3^q = (\bar{b}T^a q)_{V-A}(\bar{q}T^a b)_{V-A} \leftrightarrow \varepsilon_1^q, \qquad O_4^q = (\bar{b}T^a q)_{S-P}(\bar{q}T^a b)_{S+P} \leftrightarrow \varepsilon_2^q,$$

$$O_P = (\bar{b}T^a b)_V \sum_{q=u,d,s,c} (\bar{q}T^a q)_V$$

Non calcolato

$$\left[(\bar{q}q)_{V-A} = \bar{q}\gamma_L^\mu q, \quad (\bar{q}q)_{S\pm P} = \bar{q}(1\pm\gamma_5)q, \quad (\bar{q}q)_V = \bar{q}\gamma^\mu q\right]$$



Ci si aspetta che questi contributi siano:

- trascurabili in $\tau(B^+)/\tau(B_d)$ [effetto $S\cancel{U}(2)$]
- piccoli in $\tau(B_s)/\tau(B_d)$ [effetto $S\cancel{U}(3)$]
- significativi in $\tau(\Lambda_b)/\tau(B_d)$

Non calcolati

M.Ciuchini, E.Franco, V.Lubicz, F.Mescia, 2001]

B-parametri:

Barione Λ_b

- Solo un calcolo sul reticolo, in HQET ($m_b \to \infty$), evoluto at LO

[M. Di Pierro, C.T. Sachrajda, C. Michael (UKQCD Collaboration), 1999]

Mesoni (B_d,B_s,B^+)

- HQET sul reticolo ($m_b \to \infty$)

$$B_1^d = 1.06 \pm 0.08, \quad B_2^d = 1.01 \pm 0.07,$$
$$\varepsilon_1^d = -0.01 \pm 0.03, \quad \varepsilon_2^d = -0.03 \pm 0.02.$$

[M. Di Pierro e C.T. Sachrajda, 1998]

- QCD sul reticolo ($m_c \le m_Q < m_b$, $m_Q \to m_b$)

$$B_1^d = 1.2 \pm 0.2, \quad B_2^d = 0.9 \pm 0.1,$$
$$\varepsilon_1^d = 0.04 \pm 0.01, \quad \varepsilon_2^d = 0.04 \pm 0.01.$$

[APE (D. Becirevic et al.), 2001]

- Regole di Somma, in HQET

$$B_1^d = 1.01 \pm 0.01, \quad B_2^d = 0.99 \pm 0.01,$$
$$\varepsilon_1^d = -0.08 \pm 0.02, \quad \varepsilon_2^d = -0.01 \pm 0.03.$$

[M.S. Baek et al., 1998]

Contributo sotto-dominante degli effetti spettatore: $O(1/m_b^4)$

8 operatori, dalla VSA (B-mesoni) o dal quark-diquark model (barione)

Elementi di Matrice: Operatori con $\Delta B=2$

Contributo dominante: $O(1/m_b^3)$

$$O_1^q = (\bar{b}q)_{V-A}(\bar{b}q)_{V-A} \leftrightarrow B_1^q, \qquad O_2^q = (\bar{b}q)_{S-P}(\bar{b}q)_{S-P} \leftrightarrow B_2^q,$$

B-parametri:

Dalle Regole di Somma in QCD [J.G. Korner et al., 2003] e

Reticolo:

- HQET ($m_b \to \infty$)

$B_1^s = 0.83(5)(6), \quad B_2^s = 0.81(2)(10)$ — [V. Gimenez e J. Reyes, 2000]

- NRQCD ($O(1/m_b)$)

$B_1^s = 0.85(3)(11), \quad B_2^s = 0.82(2)(11)$ — [Hi-KEK (S. Hashimoto et al.), 2000]

- Unquenched NRQCD ($n_f=2$)

$B_1^s = 0.85(2)(6), \quad B_2^s = 0.84(6)(8)$ — [JLQCD (S. Aoki et al.), 2001-2003]

- QCD ($m_c \leq m_Q < m_b$, $m_Q \to m_b$)

$B_1^s = 0.91(3)^{+0}_{-6}, \quad B_2^s = 0.86(2)^{+2}_{-3}$ — [APE (D. Becirevic et al.), 2000]

- QCD +HQET

I risultati di QCD (relativistici) e HQET (statici) sono combinati

$B_1^s = 0.87(2)(5), \quad B_2^s = 0.84(2)(4)$ — [APE (D. Becirevic et al.), 2001]

Un nuovo studio in NRQCD
con nf=2+1(staggered)
trova risultati compatibili

$B_1^s = 0.76(11), \quad B_2^s = 0.84(13)$

[HPQCD (E.Dalgic et al.), 2006]

Contributo sotto-dominante: $O(1/m_b^4)$

4 Operatori $\{R_1^q, R_2^q, R_3^q, R_4^q\}$:

- R_1^q, R_4^q sono legati ad operatori calcolati sul reticolo, tramite identita´ di Fierz ed equazioni del moto
- R_2^q, R_3^q sono stimati nella Vacuum Saturation Approximation

Un calcolo con le regole di somma in QCD
e´ in corso di svolgimento

[A.A. Pivovarov, comunicazione privata]

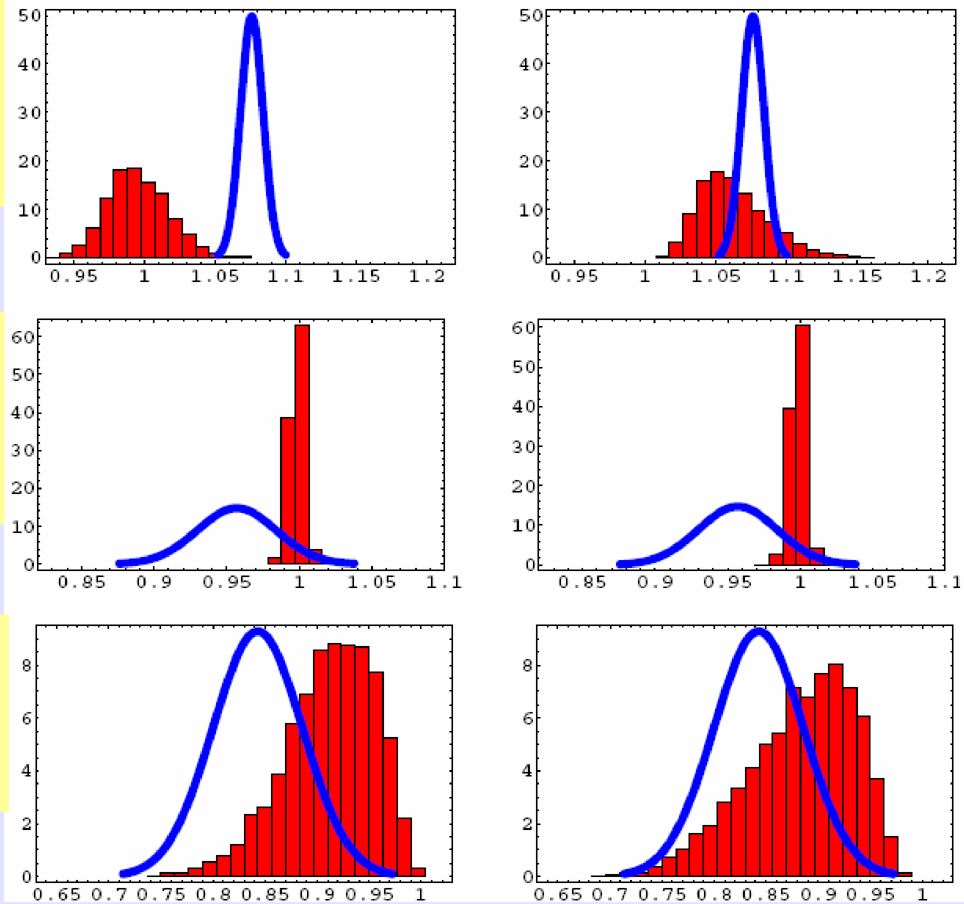
Rapporti di Vite Medie

LO | NLO

$$\frac{\tau(B^+)}{\tau(B_d)}$$

$$\frac{\tau(B_s)}{\tau(B_d)}$$

$$\frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)}$$



	$\frac{\tau(B^+)}{\tau(B_d)}$	$\frac{\tau(B_s)}{\tau(B_d)}$	$\frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)}$
LO	**1.01(3)**	**1.00(1)**	**0.93(4)**
NLO	**1.06(3)**	**1.00(1)**	**0.90(5)**
NLO+ $O(1/m_b^4)$	**1.06(2)**	**1.00(1)**	**0.88(5)**

Predizioni teoriche al NLO + contributo di $O(1/m_b^4)$:

$$\frac{\tau(B^+)}{\tau(B_d)} = 1.06 \pm 0.02, \quad \frac{\tau(B_s)}{\tau(B_d)} = 1.00 \pm 0.01, \quad \frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)} = 0.88 \pm 0.05$$

[E.Franco, V.Lubicz, F.Mescia, C.T., 2002-2004]

Medie Sperimentali:

$$\frac{\tau(B^+)}{\tau(B_d)} = 1.076 \pm 0.008, \quad \frac{\tau(B_s)}{\tau(B_d)} = 0.957 \pm 0.027, \quad \frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)} = 0.84 \pm 0.05$$

[HFAG, 2006]

…prima delle nuove misure del Tevatron…

CDF

$$\frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)} = 1.018 \pm 0.062 \pm 0.007$$

[CDF (J.Reid Mumford talk@CKM06), 2006]

D0 [PRELIMINARE]

$$\frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)} = 0.870 \pm 0.102 \pm 0.041$$

[D0 (B.Quinn talk@CKM06), 2006]

- **differisce dalla media mondiale di 2.3 σ**
- **misura singola piu´ precisa, da $\Lambda_b \to \Lambda^0 J_\psi$ (fully reconstructed)**
- **Si tratta di un ``Λ_b –puzzle´´? Troppo presto per rispondere!**

Differenze di larghezza e Asimmetrie Semileptoniche

$$\frac{\Delta\Gamma_q}{\Gamma_q} = -\frac{\Delta m_q}{\Gamma_q} \mathrm{Re}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)$$

$$A_{SL}^q = \mathrm{Im}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)$$

Dopo la misura di Δm_s [CDF]
le incertezze non-perturbative
sono contenute solo nei B-parametri

$\Gamma_{12}{}^q$ descrive il decadimento (solo in particelle dello SM) $\Rightarrow$ Insensibile a NP

$M_{12}{}^q$ descrive l´oscillazione tramite i diagrammi a box $\Rightarrow$ Sensibile a NP $\Rightarrow$ $M_{12}^q = \left(M_{12}^q\right)_{SM} C_{B_q} e^{2i\varphi_{B_q}}$

$$\frac{\Delta\Gamma_q}{\Gamma_q} = -\left(\frac{\Delta m_q}{\Gamma_q}\right)^{exp}\left[\mathrm{Re}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)^{SM}\frac{\cos 2\varphi_{B_q}}{C_{B_q}} - \mathrm{Im}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)^{SM}\frac{\sin 2\varphi_{B_q}}{C_{B_q}}\right]$$

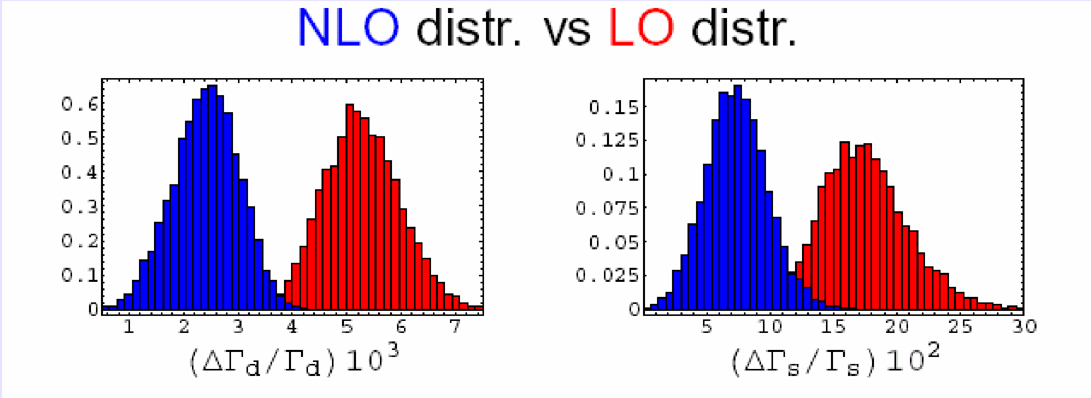
$$A_{SL}^q = \left[\mathrm{Im}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)^{SM}\frac{\cos 2\varphi_{B_q}}{C_{B_q}} - \mathrm{Re}\left(\frac{\Gamma_{12}^q}{M_{12}^q}\right)^{SM}\frac{\sin 2\varphi_{B_q}}{C_{B_q}}\right]$$

In particulare
Re>>Im in B_s

$\Downarrow$

anche una piccola φ_{B_s}
puo´essere vista in A^s_{SL}

Differenze di Larghezza



Medie sperimentali:

$$\frac{\Delta\Gamma_d}{\Gamma_d} = (9 \pm 37)\cdot 10^{-3}, \quad \frac{\Delta\Gamma_s}{\Gamma_s} = (14 \pm 6)\cdot 10^{-2}$$

[HFAG, 2006]

[Media mondiale inufficiale, talk di R.Van Kooten@FP&CP2006]

Predizioni teoriche al NLO + contributo di $O(1/m_b^4)$:

$$\frac{\Delta\Gamma_d}{\Gamma_d} = (2.3 \pm 0.8)\cdot 10^{-3}, \quad \frac{\Delta\Gamma_s}{\Gamma_s} = (7 \pm 3)\cdot 10^{-2}$$

[M.Ciuchini, E.Franco, V.Lubicz, F.Mescia, C.T., 2003]

Incertezze grandi per essere predizioni al NLO e $O(1/m_b^4)$:

Sono dovute ai contributi significativi al NLO e $O(1/m_b^4)$ che inducono cancellazioni

Idea di A.Lenz e U.Nierste: Cambio di Base!

[A.Lenz e U. Nierste, hep-ph/0612167]

$$O_1^q=(\bar{b}_i q_i)_{V-A}(\bar{b}_j q_j)_{V-A}\leftrightarrow B_1^q,\quad O_2^q=(\bar{b}_i q_i)_{S-P}(\bar{b}_j q_j)_{S-P}\leftrightarrow B_2^q,\quad O_3^q=(\bar{b}_i q_j)_{S-P}(\bar{b}_j q_i)_{S-P}\leftrightarrow B_3^q,$$

$$\{O_1^q,O_2^q\}\to\{O_1^q,O_3^q\}$$

Base vecchia $\to$ Base nuova

Usando la relazione al NLO e $O(1/m_b)$:

$$O_2^q+\alpha_1 O_3^q+\frac{\alpha_2}{2}O_1^q=R_0^q$$

$$\mathrm{Re}\left(\frac{\Gamma_{12}^s}{M_{12}^s}\right)^{OLD}=(\underbrace{-0.46}_{O(1)}+\underbrace{0.23}_{O(\alpha_s)})+(\underbrace{-10.4}_{O(1)}+\underbrace{3.9}_{O(\alpha_s)})\frac{B_2^s}{B_1^s}+\underbrace{4.0}_{O(1/m_b)}$$

$$\mathrm{Re}\left(\frac{\Gamma_{12}^s}{M_{12}^s}\right)^{NEW}=(-5.9+1.4)+(-2.1+0.2)\frac{B_3^s}{B_1^s}+1.6$$

- La serie si comporta meglio in α_s e in $1/m_b$
- Il contributo privo di incertezze adroniche ($\leftrightarrow O^q_1$) e´piu´ grande

	Base vecchia	Base nuova
$\frac{\Delta\Gamma_d}{\Gamma_d}$	$2.3(8)10^{-3}$	$4.1(6)10^{-3}$
$\frac{\Delta\Gamma_s}{\Gamma_s}$	$7(3)10^{-2}$	$13(2)10^{-2}$

Predizione teoriche aggiornate: Media basi vecchia e nuova + incertezza stimata dallo shift

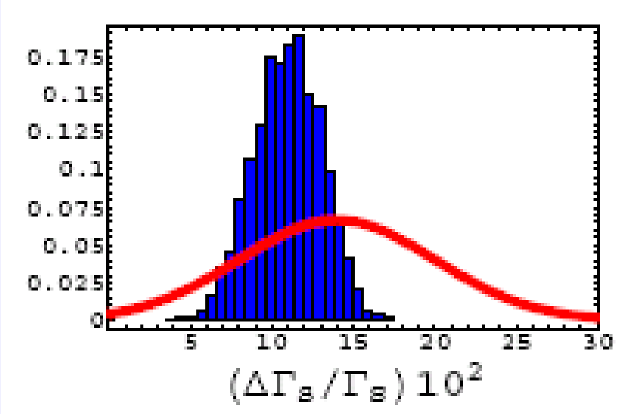
$$\frac{\Delta\Gamma_d}{\Gamma_d} = (3.6 \pm 1.0)\cdot 10^{-3}, \quad \frac{\Delta\Gamma_s}{\Gamma_s} = (11 \pm 4)\cdot 10^{-2}$$

[C.T.,hep-ph/0702235]

Lenz e Nierste trovano $(12.7\pm2.4)\bullet10^{-2}$: Ottimo accordo!

Le incertezze non-perturbative hanno un impatto minore nella nuova base

th. vs exp.

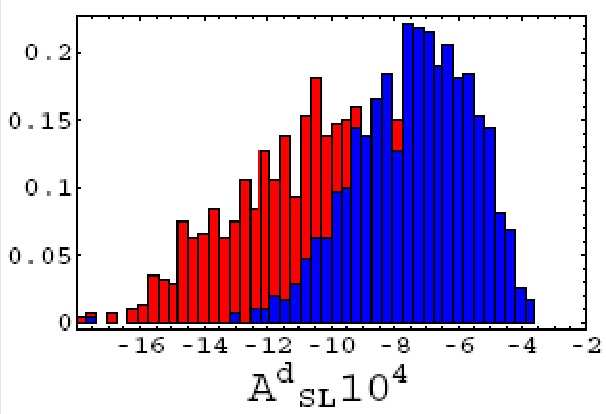


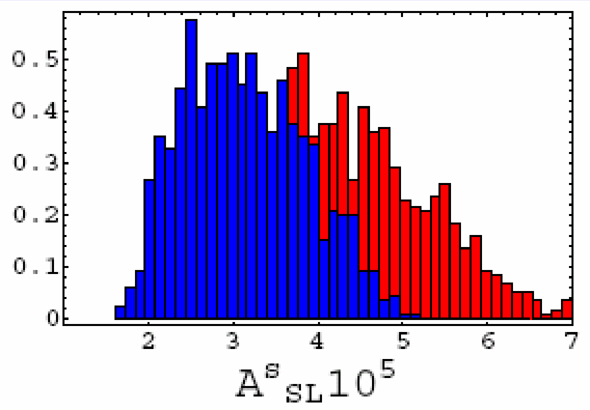
MA

Lo shift dei valori centrali segnala correzioni di $O(\alpha_s^2)$ e $O(\alpha_s/m_b)$ importanti (non calcolate)

Asimmetrie Semileptoniche

Distr. NLO
vs
Distr. LO





Medie sperimentali:

$$A^d_{SL} = -(30 \pm 78) \cdot 10^{-4}, \quad A^s_{SL} = (2450 \pm 1930(\text{stat.}) \pm 350(\text{syst.})) \cdot 10^{-5}$$

[HFAG, 2006] [D0, 2006]

Predizioni teoriche al NLO + contributo di $O(1/m_b^4)$:

$$A^d_{SL} = -(6.4 \pm 1.6) \cdot 10^{-4}, \quad A^s_{SL} = (2.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-5}$$

[M.Ciuchini, E.Franco, V.Lubicz, F.Mescia, C.T., 2003]

Nelle combinazioni di coefficienti di Wilson che intervengono qui, il cambio di base non aiuta

	Base vecchia	Base nuova
A^d_{SL}	$-6.4(16)10^{-4}$	$-6.6(17)10^{-4}$
A^s_{SL}	$2.7(6)10^{-5}$	$2.8(6)10^{-5}$

Prospettive future

Aggiornamento dei valori sperimentali di:

$$\frac{\tau(\Lambda_b)}{\tau(B_d)} \qquad \frac{\Delta\Gamma_s}{\Gamma_s}$$

Prime misure accurate di:

$$\frac{\Delta\Gamma_d}{\Gamma_d} \qquad A_{SL}^{d} \qquad A_{SL}^{s}$$

Sul piano teorico:

- **Nuovi studi (unquenched) sul reticolo delle costanti di decadimento e dei B-parametri ($\Delta B=2$) [D.Becirevic et al,…]**

- **Risultati per gli operatori sotto-dominanti (in $\Delta\Gamma_q$ e A_{SL}^{q}) con le regole di somma in QCD [A.A.Pivarov et al.]**

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.