

# Recenti risultati di FISICA del CHARM



**Alexis POMPILI**  
(University & I.N.F.N. of Bari)  
[per la Collaborazione  ]

Incontri sulla Fisica delle Alte Energie  
Catania – 31 marzo 2005

## Recenti risultati sperimentali di BaBar in questa rassegna

### ➤ Ricerca di Nuova Fisica

- Ricerca di **FCNC** & **LFV** in decadimenti dileptonici del  $D^0$
- Ricerca di **CPV** nel *charm* (decadimento a 3 corpi del  $D^+$ )

### ➤ Misure & Ricerche spettroscopiche

- Caratteristiche e decadimenti dei nuovi mesoni charmati  $D_{sJ}^*(2317)^+$  &  $D_{sJ}(2460)^+$
- Ricerca di un **eventuale** nuovo stato charmato  $D_{sJ}^*(2632)^+$

# Charm Physics @ PEP-II B-factory

PEP-II/BaBar e' anche una "charm-factory" :

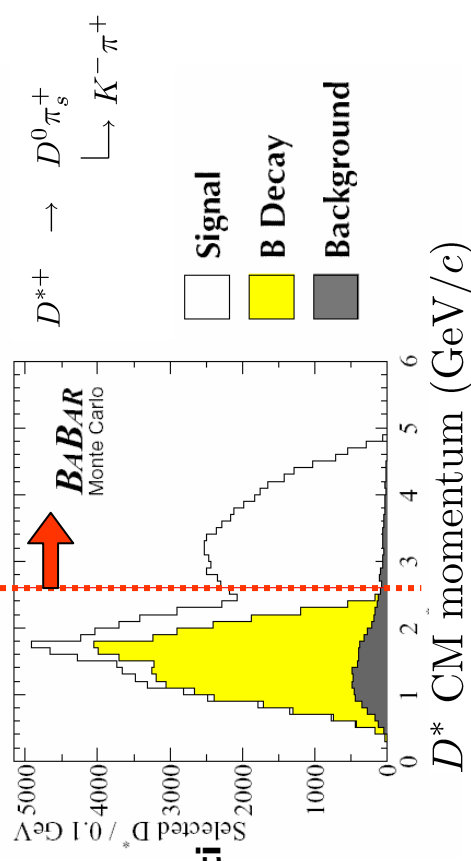
mesoni charmati sono prodotti nella frammentazione dall'interazione  $e^+e^- \rightarrow c\bar{c}$  avente sezione d'urto  $\sigma \sim 1,30nb$  [all'energia della  $Y(4S)$ ].

Per confronto:  $\sigma(e^+e^- \rightarrow b\bar{b}) \approx 1,05nb$

Tipica selezione cinematica dei mesoni charmati: si richiede un taglio sul loro momento lineare nel C.M.S. :

$$P_{D^{(*)}} > 2.5 \text{ GeV}/c$$

- ➡ Il fondo combinatorio viene fortemente ridotto
- ➡ I mesoni  $D^{(*)}$  dai decadimenti dei B sono rigettati



# PARTE 1ª : ricerca effetti di Nuova Fisica



# Ricerca di decadimenti rari del $D^0$ : $D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$ , $\ell = e, \mu$

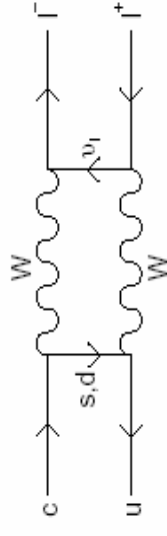
[122fb<sup>-1</sup>; Phys. Rev. Lett. 93 (2004)]

\*

## $D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$ : motivazione

➤ Nel **Modello Standard (MS)** :

➤ I decadimenti del tipo FCNC sono **soppressi** dal meccanismo GIM:



$$B(D^0 \rightarrow e^+ e^-) \sim 10^{-23}, \quad B(D^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) \sim 3 \cdot 10^{-13}$$

➤ I decadimenti del tipo LFV (come il  $D^0 \rightarrow \mu^\pm e^\mp$ ) sono **proibiti** !

➤ Alcune **estensioni del MS** possono accrescere le B.F. a livelli che cominciano ad essere sperimentalmente accessibili (\*) !

➤ P.es.: in certi modelli super-simmetrici violanti la R-parita' :

$$B(D^0 \rightarrow e^+ e^-) \leq 10^{-10}, \quad B(D^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) \leq 10^{-6}, \quad B(D^0 \rightarrow \mu^\pm e^\mp) \leq 10^{-6}$$

(\*) [Burdman & Shipsey, Ann.Rev.Nucl.Part.Sci. (2003)]

# $D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$ : metodo

- **B.F. normalizzate al  $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  avente cinematica simile** (: sistematiche ridotte).
- **I modi sono trattati, tranne la PID, in modo analogo** (selezione ottimizzata separatamente):

	Efficienza	Contaminazione da $\pi$
Identificazione e	95%	0.2%
Identificazione $\mu$	60%	2%

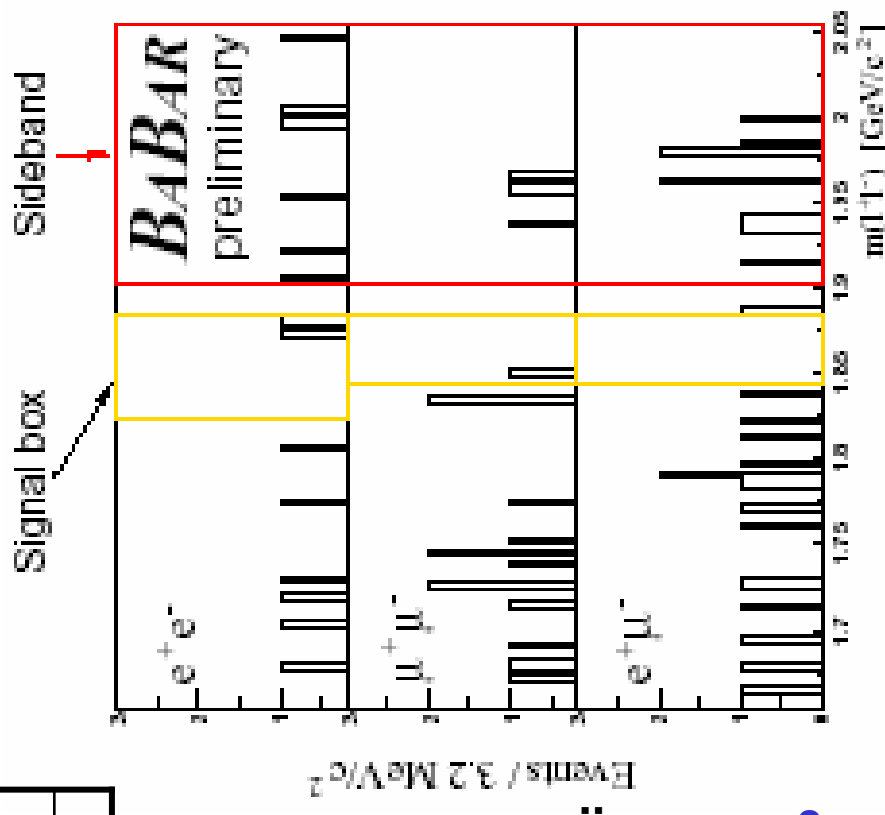
[L'efficienza di identificazione del  $\pi$  e' del 90%]

- **Sfida principale: reiezione del fondo** (cercando di non sacrificare l'efficienza)
  - fondo combinatorio
  - fondo da  $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

- Ridotto: 1) con  $p^* > 2.4 \text{ GeV}/c$ ,**  
**2) tagliando sul tempo di volo,**  
**3) selezionando mesoni  $D^0$  con  $D^{*-}$ -tag :**

$$e^+e^- \rightarrow c\bar{c} \rightarrow D^{*\pm} X ; D^{*+} \rightarrow D^0 \pi_s^+ ; D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

- **Incertezze sistematiche: PID & stima del fondo**



# $D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$ : limiti superiori [ @ 90% di C.L. ]

$$B(D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-) = S \cdot (N_{obs} - N_{bg})$$

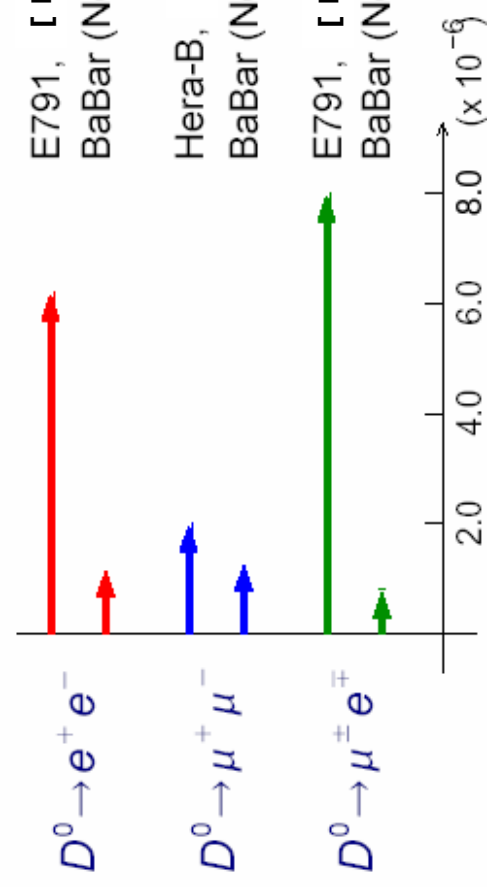
$$S \equiv B(D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) \cdot \frac{1}{N_{\pi\pi}} \cdot \frac{\epsilon_{\pi\pi}}{\epsilon_{\ell\ell}}$$

$N_{bg}$  : fondo atteso

$N_{obs}$  : candidati osservati

Con metodo di Feldman-Cousins **modificato**  
[ Conrad et al., Phys. Rev. D67 (2003) ]

	$D^0 \rightarrow e^+ e^-$	$D^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$D^0 \rightarrow e^\pm \mu^\mp$
$N_{bg}^{hh}$	0.02	$3.34 \pm 0.31$	0.21
$N_{bg}^{comb}$	$2.21 \pm 0.38$	$1.28 \pm 0.32$	$1.93 \pm 0.36$
$N_{bg}$	$2.23 \pm 0.38$	$4.63 \pm 0.45$	$2.14 \pm 0.36$
$S [10^{-7}]$	$2.25 \pm 0.12$	$4.53 \pm 0.30$	$3.27 \pm 0.20$
$N_{obs}$	3	1	0
UL obtained	$1.2 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-6}$	$8.1 \times 10^{-7}$



(Circa la LFV c'e' anche il recente limite di BaBar su  $\tau \rightarrow \mu \gamma$  [hep-ex/0502032])





# Ricerca di ~~CP~~ nel decadimento

$$D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$$

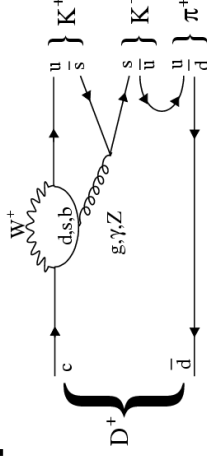
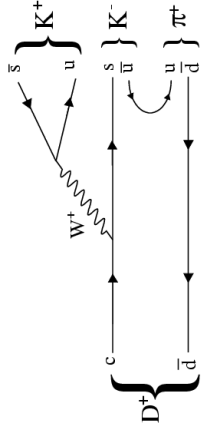
[80fb<sup>-1</sup>; hep-ex/0501075 (sottomesso a Phys. Rev. D)]

# $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ : motivazione



Il MS prevede asimmetrie di carica violanti CP dell'ordine di  $10^{-3}$  nei decadimenti Cabibbo-soppressi (CS) dei mesoni charmati.

La **CP diretta** potrebbe emergere dall'interferenza di un processo di decadimento al tree-level ... e di uno con pinguino:



**Asimmetria di CP :**

$$A_{CP} = \frac{|A|^2 - |\bar{A}|^2}{|A|^2 + |\bar{A}|^2}$$

dove  $\begin{cases} A & \text{ampiezza di decadimento } D^+ \rightarrow f \\ \bar{A} & \text{ampiezza di decadimento } D^- \rightarrow \bar{f} \end{cases}$

$A_{CP} \neq 0$  se vi sono almeno 2 differenti ampiezze di decadimento con una relativa fase debole che viola CP ed una forte, che conserva CP, dovuta a FSI.

Alcuni modelli di Nuova Fisica predicono livelli di CP dell'ordine di  $\sim 10^{-2}$ .  
I limiti sperimentali attuali sono  $\sim (2-5) \times 10^{-2}$  [risultati da FOCUS & E791]: lasciano ancora ampio spazio alla scoperta di effetti di nuova fisica.



Il MS **non** prevede violazione di CP nei decadimenti dei mesoni charmati Cabibbo-favoriti (CF) o doppio-Cabibbo-soppressi (DCS): sarebbero dominati da una sola ampiezza debole.

## $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ : metodo

➡ Se si assume che:

- ➡ le rate di decadimento totali per  $D^+$  e  $D^-$  sono uguali (dalla  $CPT$ -invarianza);
- ➡ la rate di produzione dei mesoni  $D^+$  e  $D_s^+$  e' simmetrica in carica;
- ➡ i decadimenti  $CF$ , come il  $D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ , e'  $CP$ -invariante;

...e' possibile riscrivere l'asimmetria come:

$$A_{CP} = \frac{\mathcal{B}(D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+)}{\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+)} - \frac{\mathcal{B}(D^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-)}{\mathcal{B}(D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^-)} + \frac{\mathcal{B}(D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^-)}{\mathcal{B}(D_s^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^-)} - \frac{\mathcal{B}(D^- \rightarrow K^+ K^- \pi^+)}{\mathcal{B}(D_s^- \rightarrow K^+ K^- \pi^+)}$$

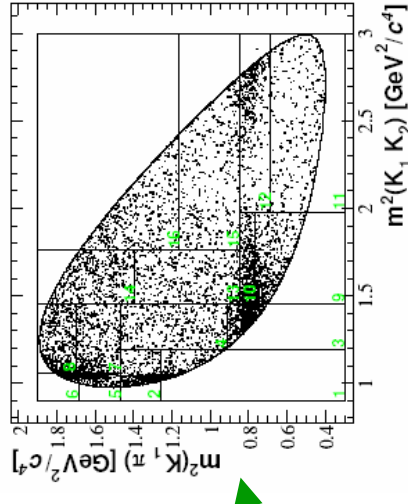
L'uso del modo  $CF$  come normalizzazione aiuta a contenere le sistematiche sperimentali associate al tracciamento ed alla identificazione di particelle.

➡ Cross checks:

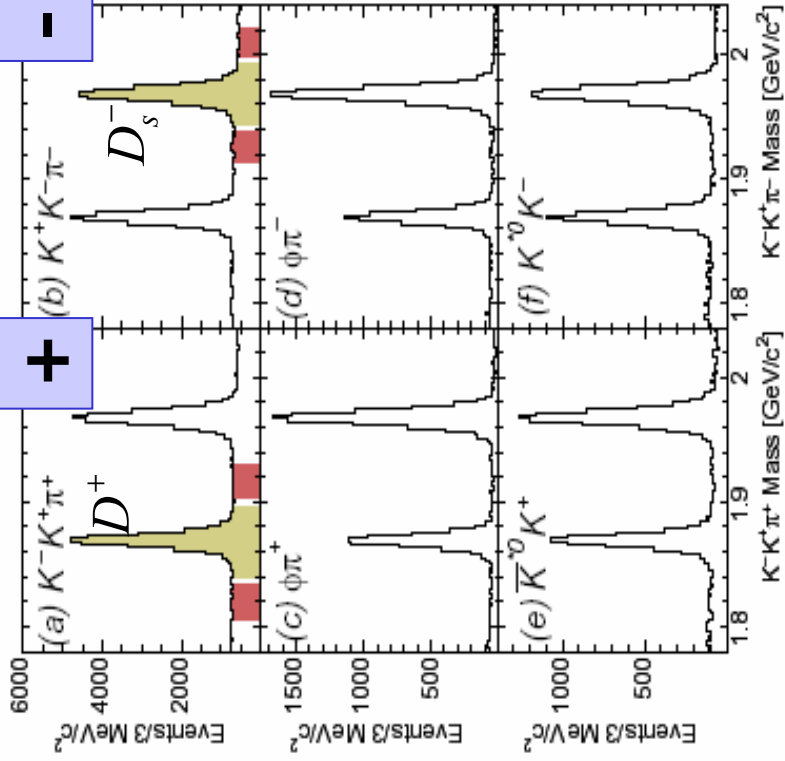
- 1) valutare  $A_{CP}$  senza canale di normalizzazione: misura consistente !
- 2) valutare  $A_{CP}$  per il canale di normalizzazione ( $CF$ ): misura compatibile con 0 !

➡ Oltre a misurare l'asimmetria totale, si misura:

- quella relativa alle regioni del Dalitz Plot ( $DP$ ) associate alle risonanze  $\phi$  e  $K^{*0}$ ,
- quelle parziali in 16 bins in cui viene diviso adattivamente il  $DP$



# $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$ : misura di $A_{CP}$



Da questi yields e con le efficienze (da MC):

Decay	$A_{CP}$ [ $10^{-2}$ ]
$K^- K^+ \pi^\pm$	$+1.4 \pm 1.0(\text{stat.}) \pm 0.8(\text{syst.})$
$\phi \pi^\pm$	$+0.2 \pm 1.5(\text{stat.}) \pm 0.6(\text{syst.})$
$\bar{K}^{*0} K^\pm$	$+0.9 \pm 1.7(\text{stat.}) \pm 0.7(\text{syst.})$

[ FOCUS ( $K^- K^+ \pi^\pm$ ):  $(+0,6 \pm 1,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$  ]

**Incertezze sistematiche: - stima del fondo  
- criteri di selezione**

➡ L'asimmetria nei 16 bins del DP e' consistente con l'essere costante (P=51%) e nulla!

➡ Si e' anche misurato il rapporto di B.F.:

$$\frac{B(D^+ \rightarrow K^- K^+ \pi^+)}{B(D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+)} = [10,7 \pm 0,1(\text{stat.}) \pm 0,2(\text{syst.})] \cdot 10^{-2}$$

[ E687:  $(9,76 \pm 0,42 \pm 0,50) \cdot 10^{-2}$  ] PID

# PARTE 2ª : spettroscopia



## Misura delle proprietà' dei

$$D_{sJ}^*(2317)^+, D_{sJ}(2460)^+$$

➔ **Approccio inclusivo:**  $D_{sJ}$  prodotti in decadimenti  $c\bar{c}$

[125fb<sup>-1</sup>; analisi preliminare @ hep-ex/0408067 ]

MASSE,  
LARGHEZZE

➔ **Approccio esclusivo:**  $D_{sJ}$  prodotti in decadimenti  
completamente ricostruiti dei  $B$

[113fb<sup>-1</sup>; Phys. Rev. Lett. 93 (2004)]

SPIN

# $D_{sJ}^*(2317)^+$ , $D_{sJ}(2460)^+$ : motivazione

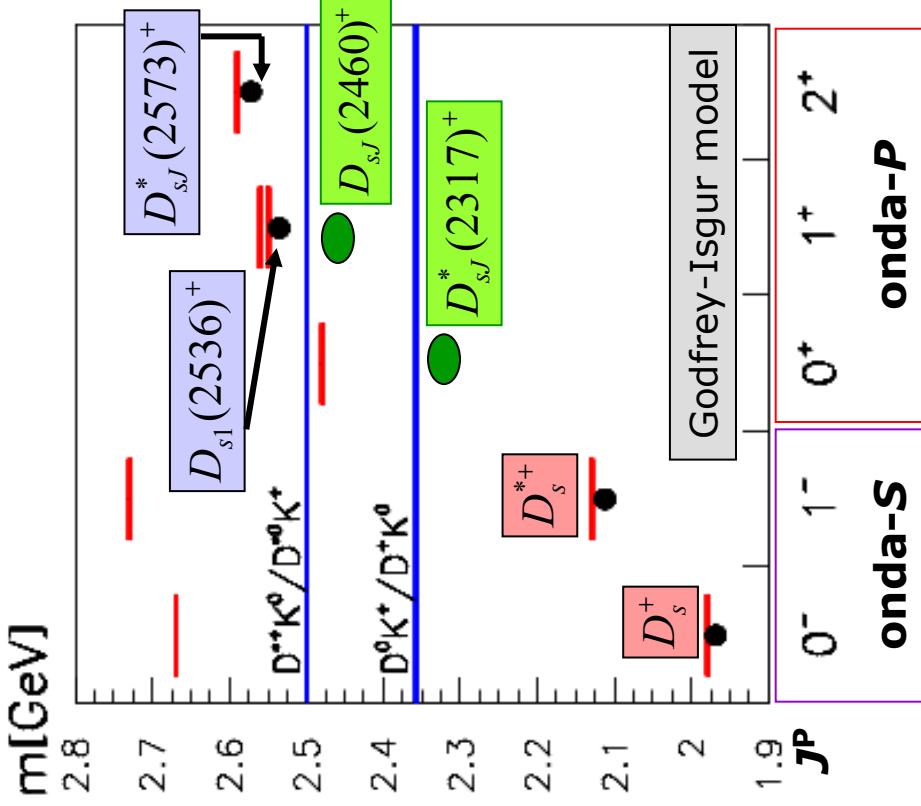
➔ I 2 stati stretti scoperti da BaBar & CLEO, sono oggetto di studio estensivo a BaBar & Belle.

Sono consistenti con l'essere gli stati  $c\bar{s}$  di onda-P "mancanti", ma altre interpretazioni non sono finora state escluse.

➔ Sono interessanti perché:

- hanno masse inaspettatamente basse (sotto le soglie  $DK[D^*K]$  !);
- sono stretti con larghezze ( $\Gamma < 10\text{MeV}$ ) consistenti con la risoluzione sperimentale;
- se interpretati come stati  $c\bar{s}$ , essi decadono principalmente via emissione di  $\pi$  che viola la conservazione dell'isospin, così spiegando l'essere stati "stretti".

➔ Ulteriori studi sono necessari per una piena comprensione della loro natura.



➔ Nel piu' recente studio vi sono misure dettagliate delle masse e delle varie B.F. relative [fra queste sono nuove quelle dei decadimenti, radiativo ed in 3 corpi, del  $D_{sJ}(2460)$ ].

Queste misure sono effettuate *fittando* gli spettri di massa inclusivi nelle seguenti combinazioni:  $D_s^+\pi^0, D_s^+\pi^\pm, D_s^+\gamma, D_s^+\pi^0\gamma, D_s^+\pi^+\pi^-$

# Spettro inclusivo

$$D_s^+ \pi^0$$

## Ricostruzione:

- $D_s^+ \rightarrow K^* K^-, \phi \pi^+$   $\rightarrow p^*(D_s^+ \gamma) > 3,2 \text{ GeV}/c^2$
- $p(\pi^0) > 400 \text{ MeV}/c$  [segnale del  $D_s^{*+}$  eliminato]

## Riflessioni/contributi (modellati nell'U.M.L.fit):

Riflessione dal  $D_s^*(2112)$ :  $D_{sJ}^*(2112)^+ (\rightarrow D_s^+ \gamma) + \gamma[\text{random}]$

Riflessione dal  $D_{sJ}(2460)$ :  $D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 \gamma$

Per **coincidenza cinematica** tale riflessione ha una massa media  $\simeq 2317$ . La shape e' asimmetrica a causa della variazione di efficienza sullo spazio delle fasi del  $D_{sJ}(2460)$ .

Fondo combinatorio

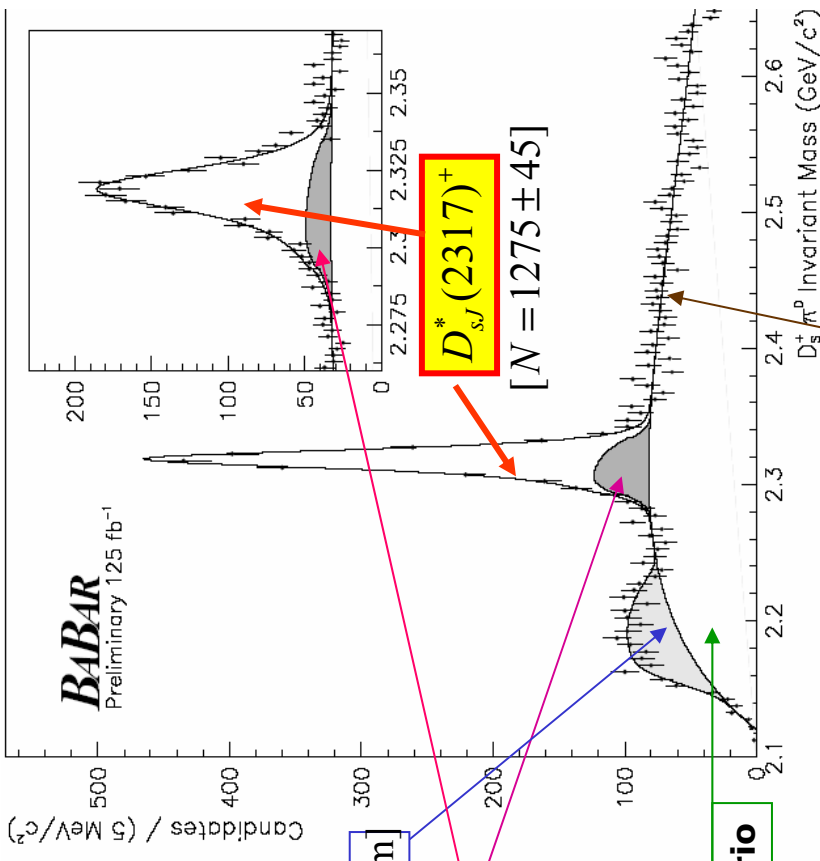
$$m[D_{sJ}^*(2317)^+] = [2318,9 \pm 0,3(\text{stat.}) \pm 0,9(\text{syst.})] \text{ MeV}/c^2$$

**Nessuna evidenza di  $D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0$**

**Limite sup. (95% C.L.):**  $B(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0)/B(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 \gamma) < 0.002$

Eventuale segnale di  $D_{sJ}(2460)$

proibito se  $1^+$



$[N = 3 \pm 26]$



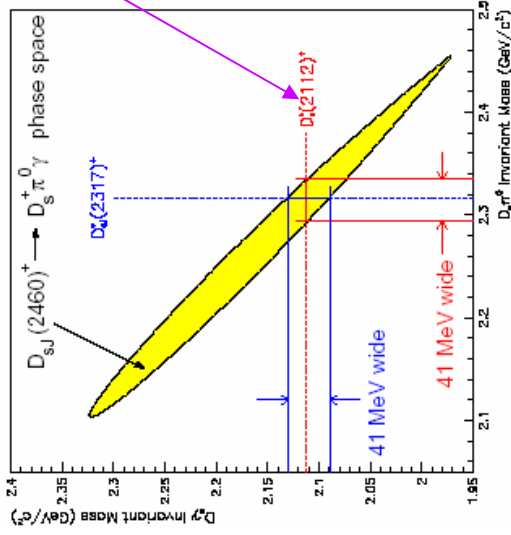
# Spettro inclusivo $D_s^+ \pi^0 \gamma$

Per tale decadimento a 3 corpi bisogna considerare a priori i 2 possibili stati intermedi:

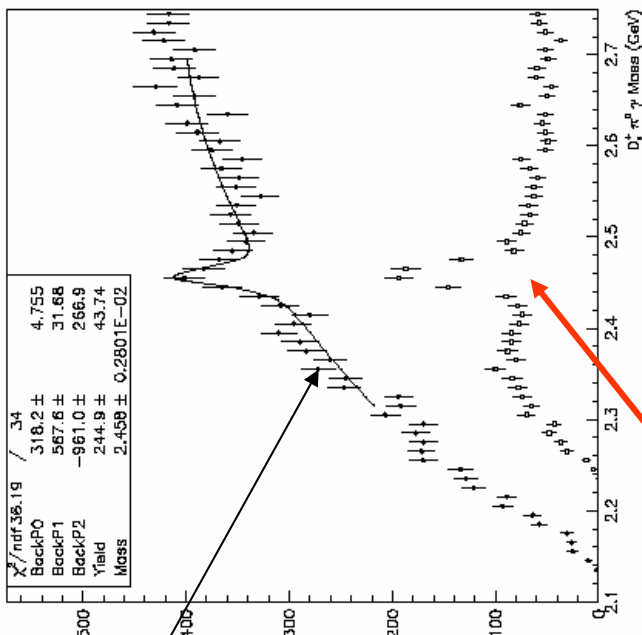
## Ricostruzione:

- ➔  $p^*(D_s^+ \gamma) > 2,7 \text{ GeV}/c^2$
- ➔  $E(\gamma) > 135 \text{ MeV}$

- ➔  $D_s^+ \rightarrow K^+ K^-, \phi \pi^+$
- ➔  $p(\pi^0) > 400 \text{ MeV}/c$
- ➔  $\gamma$  con  $\pi^0$ -veto



Dallo spazio delle fasi permesso: entrambi i sotto-decadimenti sono limitati ad una massa  $D_s \gamma$  vicina a quella del  $D_s^*$  !



E' possibile isolare il segnale del  $D_{sJ}(2460)$  selezionando la regione di segnale del  $D_s^*$ : il fondo si riduce decisamente ma una qualche forma di fondo che picca e' stata introdotta!

Lo studio delle componenti del fondo va fatto guardando lo spettro di massa anche nelle bande laterali del  $D_s^*$ .



### Riflessioni/contributi

(modellati nei 3 U.M.L.fit indipendenti):

Riflessione dal  $D_{sJ}^*(2317)$ :  
 $D_{sJ}^*(2317)^+ (\rightarrow D_s^+ \pi^0) + \gamma[\text{random}]$

Riflessione dal  $D_s^*(2112)$ :  
 $D_{sJ}^*(2112)^+ (\rightarrow D_s^+ \gamma) + 2\gamma[\text{random}]$

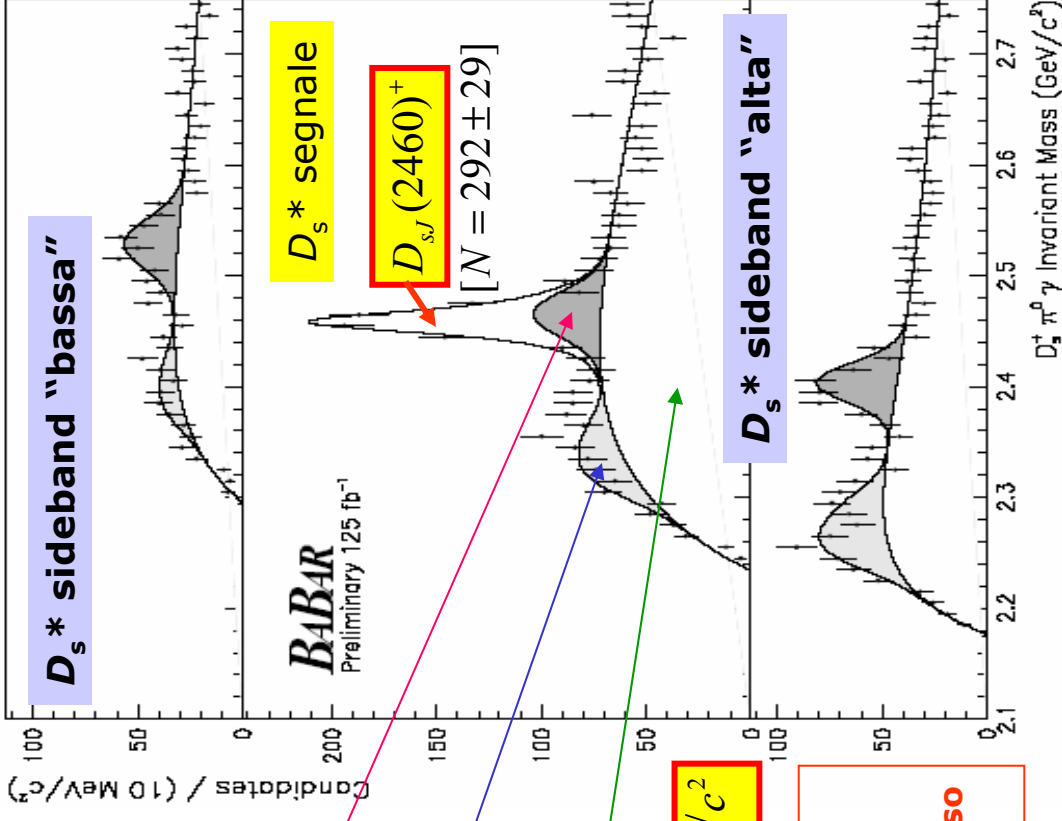
Fondo combinatorio



$m[D_{sJ}(2460)^+] |_{D_s \pi^0 \gamma} = [2459,1 \pm 1,3(\text{stat.}) \pm 1,2(\text{syst.})] \text{MeV}/c^2$



Per distinguere il contributo dei 2 sottodecadimenti si effettua un U.L.fit in 2D applicato alle distribuzioni di massa  $D_s \pi^0$  e  $D_s \gamma$ .  
Risulta che il decadimento procede al  $\sim 100\%$  attraverso il  $D_s^* \pi^0$  [266±38] a scapito del  $D_{sJ}^*(2317)\gamma$  [-11±37] !



Limite sup. (95% C.L.):  $B(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_{sJ}^*(2317)^+ \gamma) / B(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 \gamma) < 0.23$

La soppressione del decadimento  $D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_{sJ}^*(2317)^+ \gamma$  indica che il meccanismo del decadimento elettro-magnetico non compete con un processo forte, ma violante isospin, che risulterebbe da un meccanismo di  $\eta$ - $\pi^0$  mixing.

# Spettro inclusivo $D_s^+ \gamma$

## Ricostruzione:

- $D_s^+ \rightarrow K^* K^-, \phi \pi^+$   $\rightarrow p^*(D_s^+ \gamma) > 3,2 \text{ GeV}/c^2$
- $E(\gamma) > 500 \text{ MeV}$   $\rightarrow \gamma$  con  $\pi^0$ -veto

## Riflessioni/contributi (modellati nell'U.M.L.fit):

Riflessione dal  $D_{sJ}(2460)$ :  $D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 (\rightarrow X + \gamma)$

Riflessione dal  $D_{sJ}^*(2317)$ :  $D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 (\rightarrow X + \gamma)$

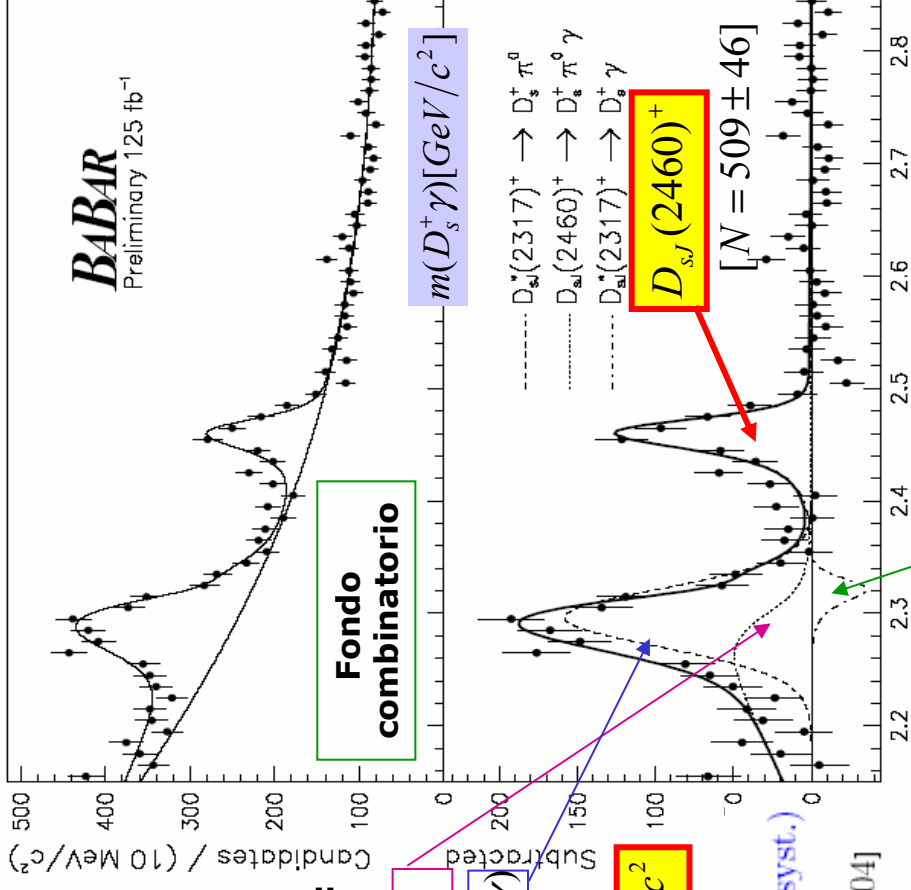
$$m[D_{sJ}(2460)^+]_{D_s \gamma} = [2457, 2 \pm 1, 6(\text{stat.}) \pm 1, 3(\text{syst.})] \text{ MeV}/c^2$$

$$\frac{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \gamma)}{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 \gamma)} = 0.375 \pm 0.054 (\text{stat.}) \pm 0.057 (\text{syst.})$$

[BELLE:  $0.55 \pm 0.13 \pm 0.08, 0.38 \pm 0.11 \pm 0.04$ ]

Nessuna evidenza di  $D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+ \gamma$

Limite sup. (95% C.L.):  $\mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+ \gamma) / \mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0) < 0.17$

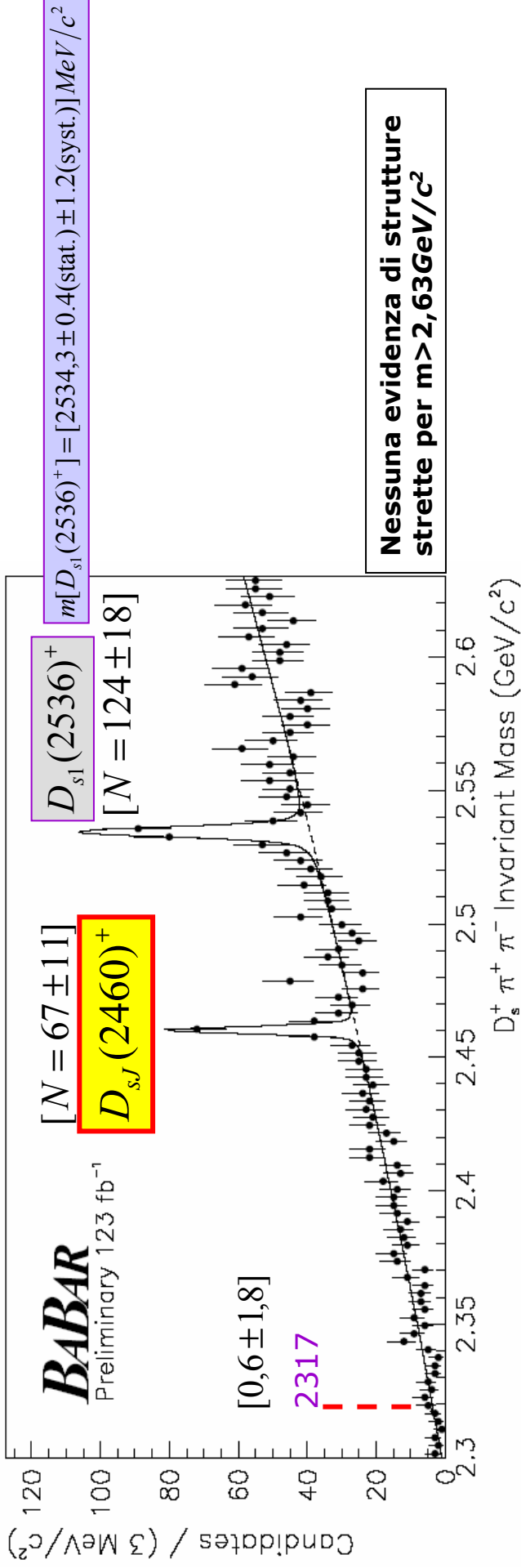


Eventuale segnale di  $D_{sJ}^*(2317)$   $[N = -107 \pm 84]$

proibito  
se  $0^+$

# Spettro inclusivo

$D_s^+ \pi^+ \pi^+$



$m[D_{sJ}(2460)^+]|_{D_s\pi\pi} = [2460,1 \pm 0.3(\text{stat.}) \pm 1.2(\text{syst.})] \text{ MeV}/c^2$

$\frac{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^+ \pi^-)}{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0 \gamma)} = 0.082 \pm 0.018 (\text{stat.}) \pm 0.011 (\text{syst.})$

[BELLE:  $0.14 \pm 0.04 \pm 0.02$ ; CLEO:  $< 0.08$  @ 90% CL]

Combinando  $m[D_{sJ}(2460)^+]|_{D_s\pi^0}$ ,  $m[D_{sJ}(2460)^+]|_{D_s\pi\pi}$  si ha:

$m[D_{sJ}(2460)^+] = [2459,4 \pm 0,3(\text{stat.}) \pm 1,0(\text{syst.})] \text{ MeV}/c^2$

**No evidenza di  $D_{sJ}^*(2317)^+$**

**Limite sup. (95% C.L.):**  $\mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^+ \pi^-) / \mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+ \pi^0) < 0.11$

**proibito se  $0^+$**

# Spettro inclusivo

$$D_s^+ \pi^\pm$$

➔ Secondo alcune congetture teoriche il  $D_{sJ}^*(2317)^+$  può essere uno stato a 4 quark ibrido [Barnes et al., Phys.Rev. D68 (2003); Lipkin, Phys.Lett. B580 (2004); Browder et al., Phys.Lett. B578 (2004)]

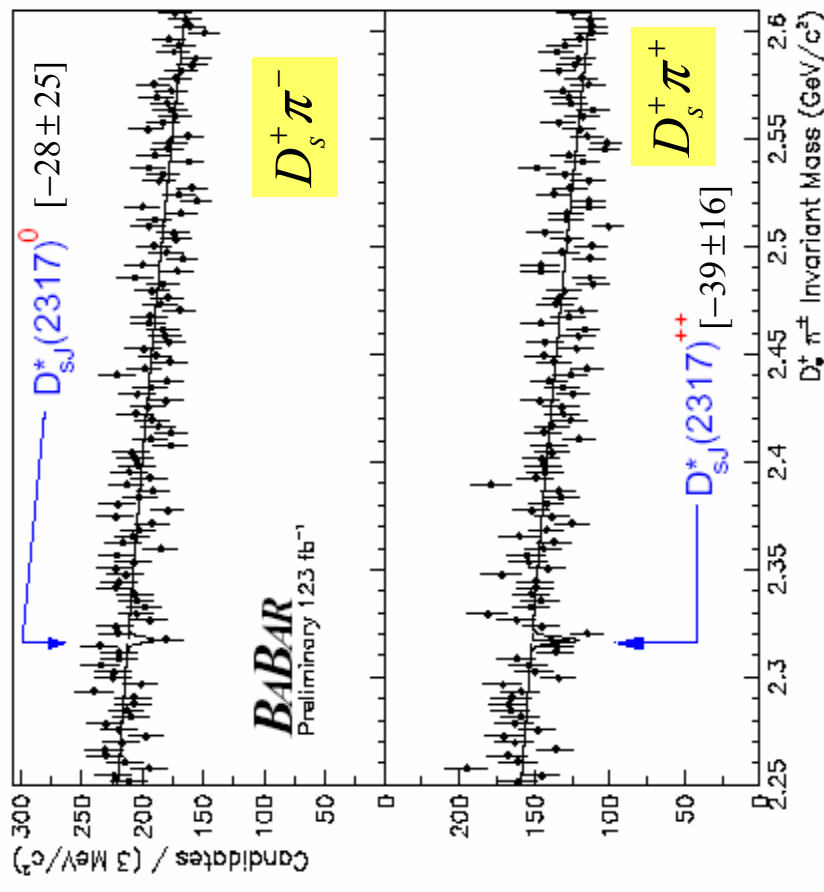
➔ Per verificare se lo stato carico osservato faccia parte di un isotripletto di tetraquark si cercano gli eventuali partner (neutro & doppio-carico) con massa simile:

Il modello nel likelihood fit assume ipotetici  $D_{sJ}^*(2317)^0$ ,  $D_{sJ}^*(2317)^{++}$ , con la stessa massa del  $D_{sJ}^*(2317)^+$ .

Nessuna struttura osservata

Isospin favorito:  $I[D_{sJ}^*(2317)^+] = 0$

Conferma l'analisi di CLEO (a bassa statistica)



$$D_{sJ}^*(2317)^+, D_{sJ}(2460)^+$$

: **Spin-Parita'**

$$D_{sJ}^*(2317)^+$$

- Decade in mesoni  $J^P=0^-$  ➔ **permessa solo spin-parita' naturale**  $[0^+, 1^-, 2^+, \dots]$
- **$J^P=0^+$**  suggerito da: 1) **bassa massa** rispetto a  $D_{s1}(2535)$  &  $D_{sJ}^*(2573)$   
2) **assenza** decadimento in  $D_s^+\gamma$  (non permesso se  $J^P=0^+$ )  
3) **assenza** decadimento in  $D_s^+\pi^+\pi^-$   
(: decadimento in 3 pseudoscalari non permesso se  $J^P=0^+$ )

$$D_{sJ}(2460)^+$$

- Una **spin-parita' non-naturale e' piu' probabile** (mancanza di decadimenti in DK)
- $D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\gamma \Rightarrow J \neq 0$
- Il **decadimento in  $D_s^+\pi^+\pi^-$  e' permesso da  $J^P=1^+$**  (e' forte: conserva l'isospin; ma e' OZI-soppresso)
- L' **analisi di elicità'** dai decadimenti esclusivi del **B favorisce  $J=1$**  (v.oltre)

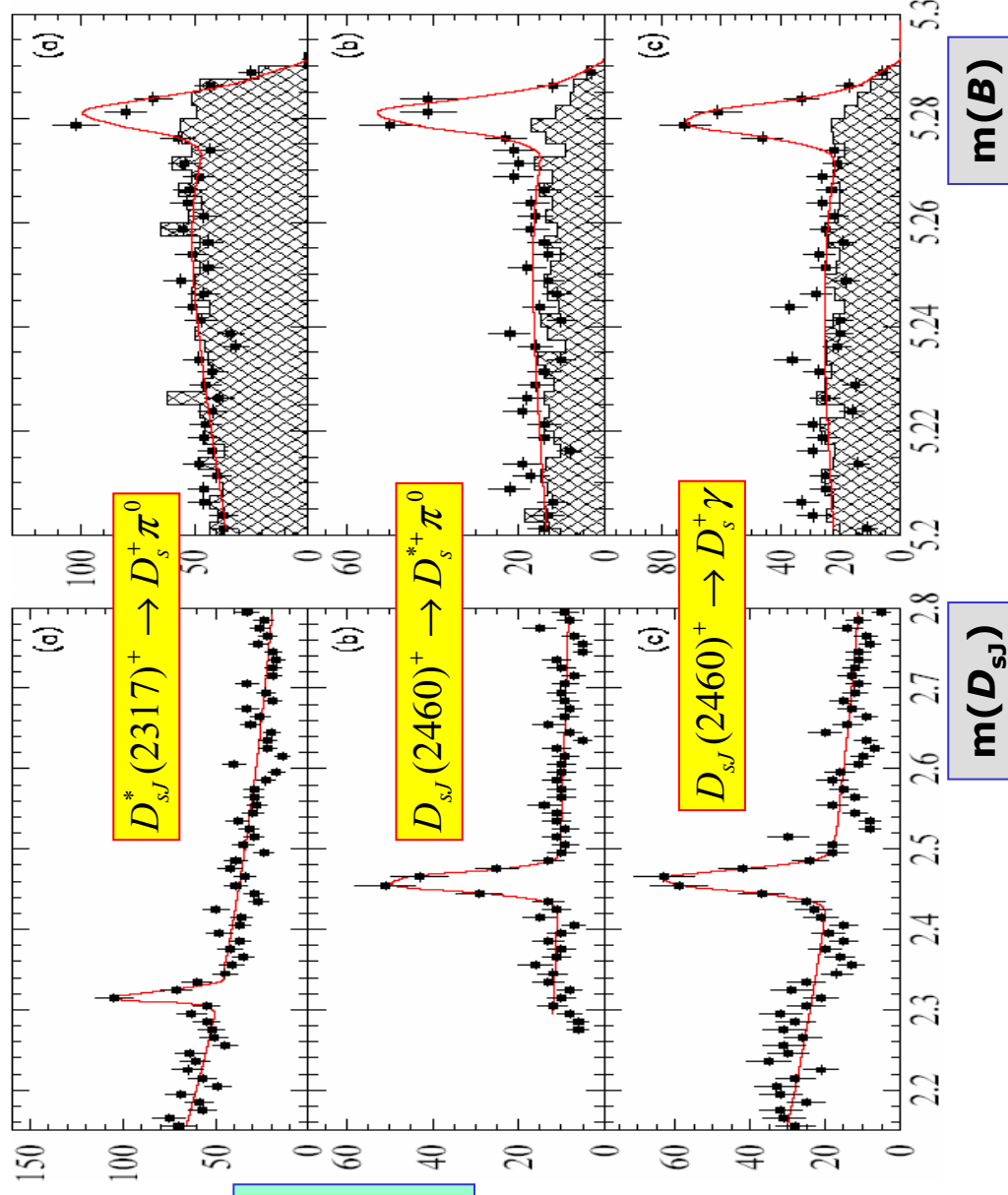
# $D_{sJ}^{(*)+}$ dai decadimenti esclusivi del B [ $B \rightarrow D_{sJ}^{(*)+} \bar{D}^{(*)-}$ ]

➤ I mesoni  $D_{sJ}^{(*)}$  sono stati ricostruiti esclusivamente, dai decadimenti dei mesoni B:

$$\begin{cases} B^+ \rightarrow D_{sJ}^{(*)+} \bar{D}^{(*)0} \\ B^0 \rightarrow D_{sJ}^{(*)+} D^{(*)-} \end{cases}$$

➤ I modi con il  $\bar{D}^*$  sono stati osservati per la prima volta.

➤ Le B.F. misurate per i modi col  $\bar{D}$  sono in accordo con Belle.



$$\frac{B(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \gamma)}{B(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^{*+} \pi^0)} = 0.274 \pm 0.045(\text{stat.}) \pm 0.020(\text{syst.})$$

Compatible con la misura dal  $c\bar{c}$ !



# Analisi di elicità' del

$D_{sJ}(2460)^+$



Per lo studio dello spin e' necessaria una **analisi angolare** che richiede una **ricostruzione esclusiva** (dai B) [seppur con meno statistica rispetto alla ricostruzione inclusiva].



Si scelgono dei modi **puliti** pur se a **bassa** statistica:

$$B \rightarrow D_{sJ}(2460)^+ \bar{D}, D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+ \gamma$$

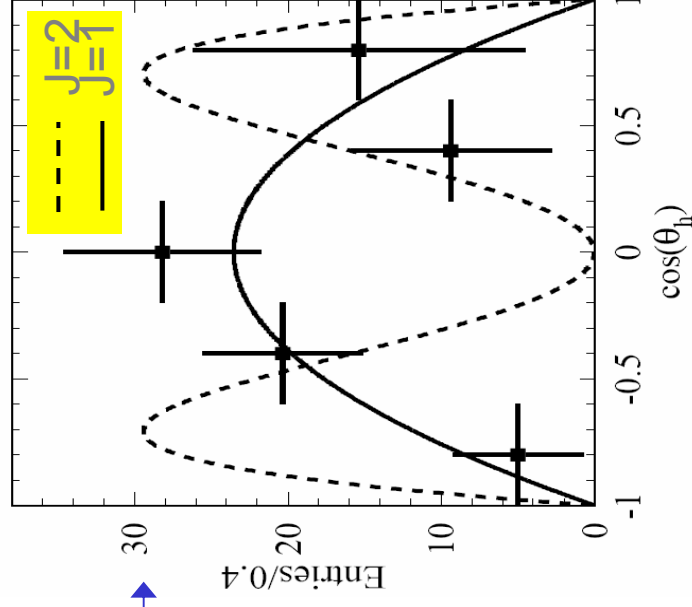


**Angolo di elicità' ( $\theta_h$ )** = angolo fra ...

- il vettore  $p(D_{sJ})$  nel sistema di riferimento del B
- il vettore  $p(D_s)$  nel sistema di riferimento del  $D_{sJ}$



Si estraggono i numeri di candidati  $D_{sJ}$  in **bin separati di  $\cos(\theta_h)$** .



**Qualita' del fit alla distribuzione di  $\cos(\theta_h)$  a seconda del modello atteso per un certo valore di spin:**

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{J=1 \ preferito} : [\chi^2_{fit} \cong 4/4] \\ \mathbf{J=2 \ sfavorito} : [\chi^2_{fit} \cong 36/4] \end{array} \right.$$



# Ricerca dello stato

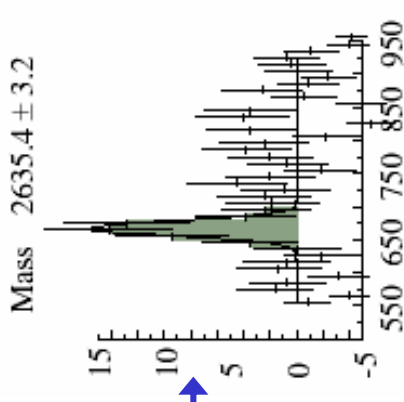
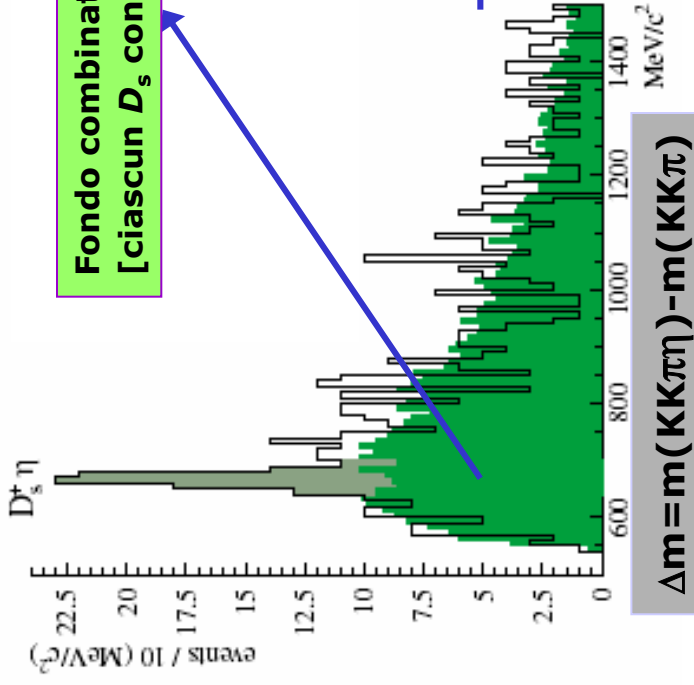
$$D_{sJ}^*(2632)^+$$

[125fb<sup>-1</sup>; analisi preliminare @ hep-ex/0408087 ]



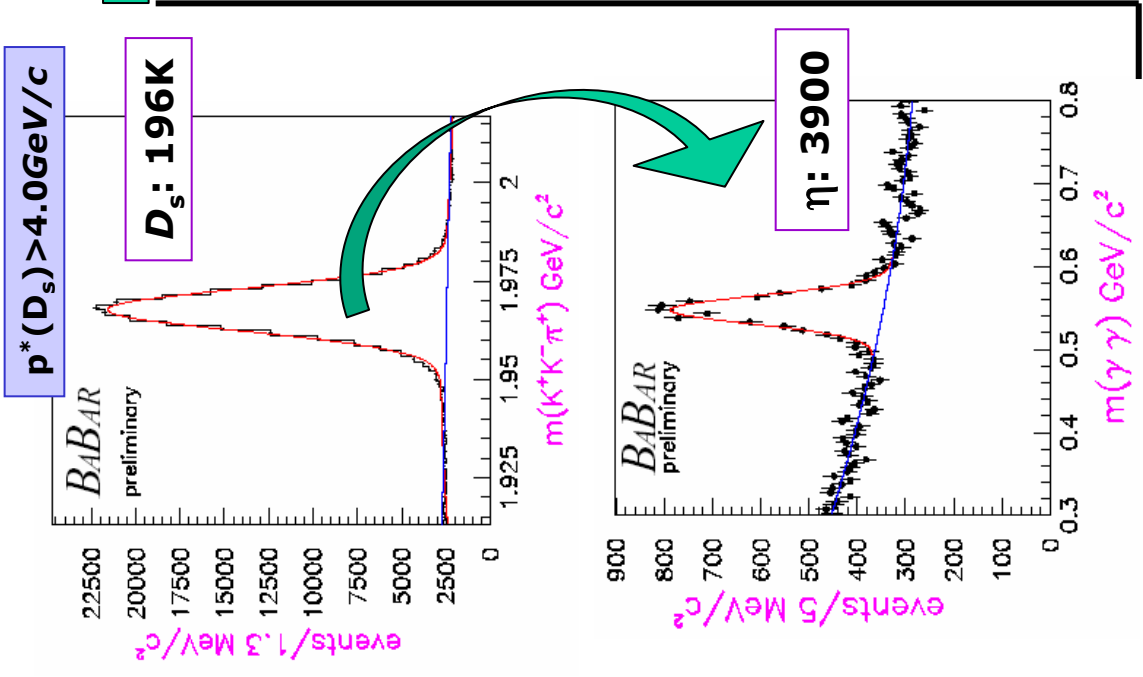
# $D_{sJ}^*(2632)^+$ : motivazione

SELEX(E781) [adro-produzione di mesoni charmati (con fascio di  $\Sigma^-(e\pi^-)$  @ 600GeV/c su bersaglio)] annuncia [hep-ex/0406045, poi Phys.Rev.Lett. 93 (2004)] l'**osservazione** di un **nuovo** mesone carico charmato che decadrebbe in  $D_s\eta$  (con significavita' statistica  $\sim 6.2\sigma$ ) ed in  $D^0K$  (significavita'  $\sim 5.3\sigma$ ).

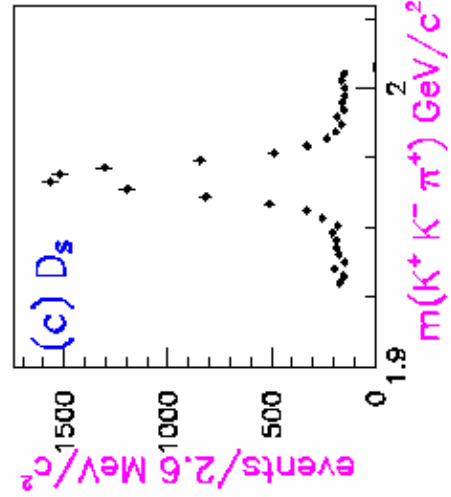
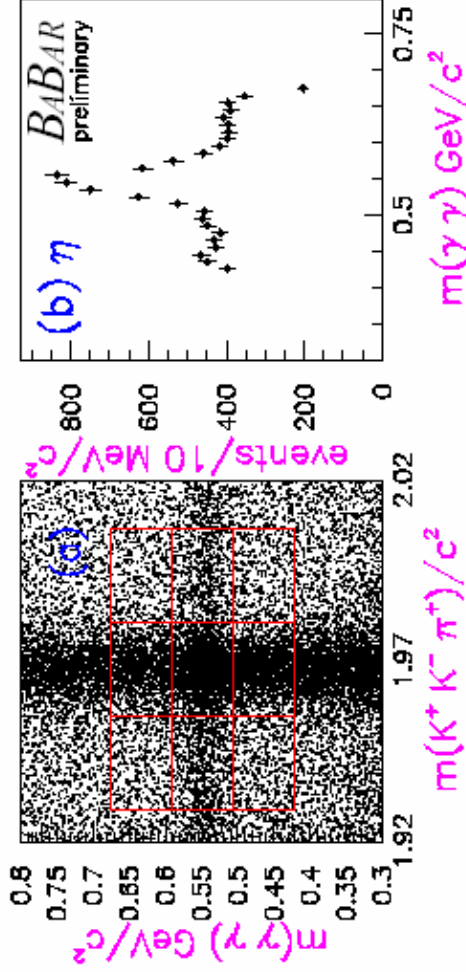


# $D_{sJ}^*(2632)^+$

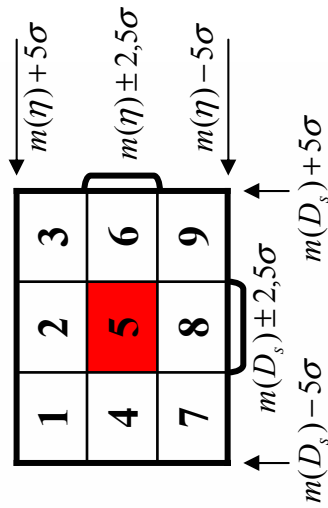
## : metodo della ricerca



Vi e' del fondo sotto entrambi i segnali; per studiarne l'eventuale correlazione in produzione, bisogna valutare l'eventuale eccesso nella regione d'intersezione [5]:



$p^*(D_s\eta) > 2.5 \text{ GeV}/c$

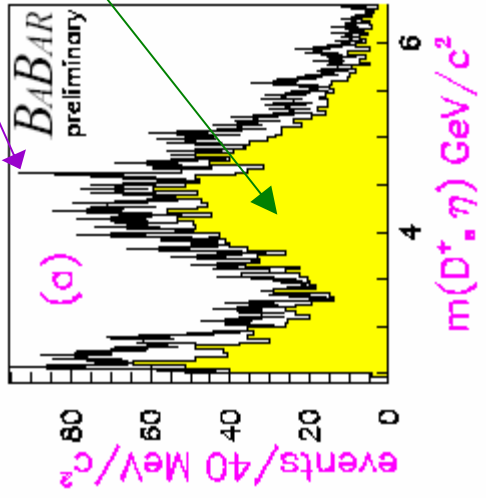
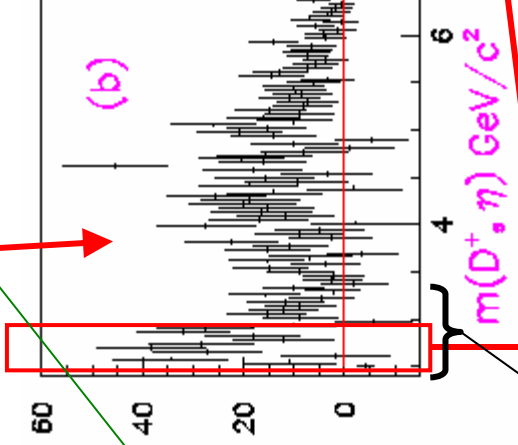
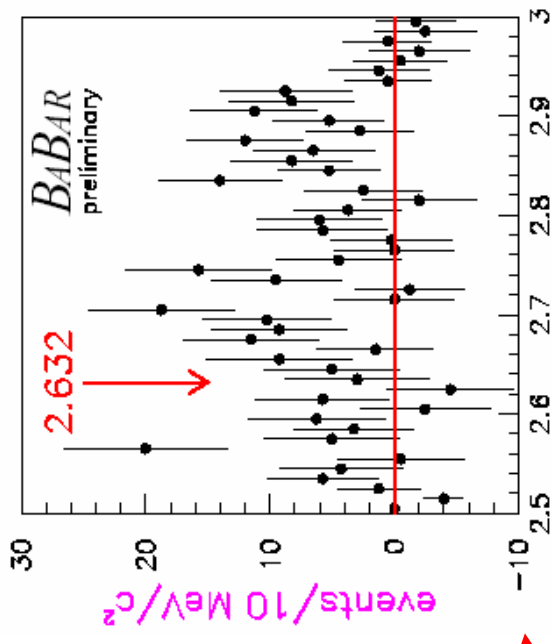


# $D_{sJ}^*(2632)^+$ : sottrazione del fondo

1	2	3
4	5	6
7	8	9

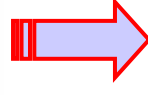
**Eccesso (segnale di correlazione):**

$$S = N_5 - B_5 = N_5 - \left[ \frac{1}{2}(N_2 + N_4 + N_6 + N_8) - \frac{1}{4}(N_1 + N_3 + N_7 + N_9) \right]$$



Regione in cui  $D_s$  ed  $\eta$  ... appartengono allo stesso "jet"

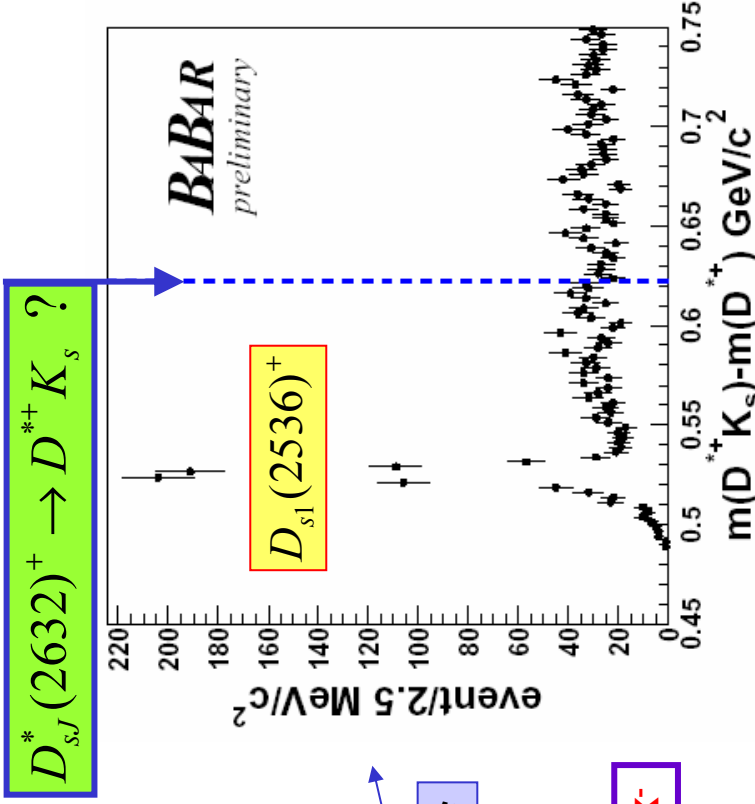
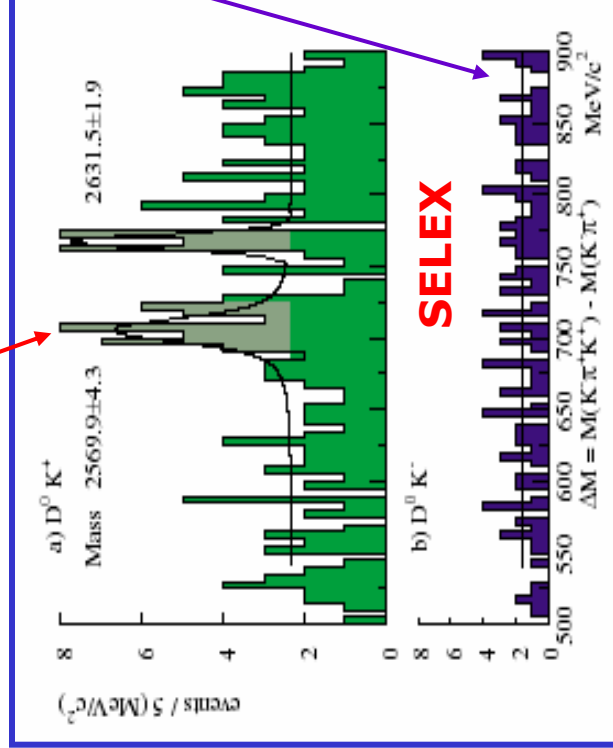
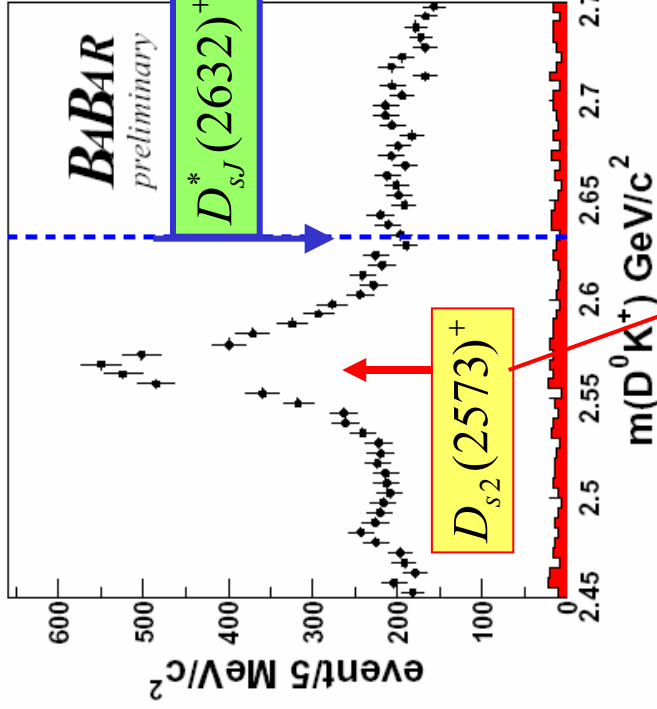
$m(D_s^+ \eta)$  GeV/c<sup>2</sup>



**Nessuna evidenza di segnale !**

$D_{sJ}^*(2632)^+$

: altri 2 risultati negativi



Il fatto che BaBar osservi così chiaramente il  $D_{s2}^*(2573)$  e non il  $D_{sJ}^*(2632)$ , e' argomentabile (*ad hoc*) ipotizzando che questo stato abbia elevato valore di spin ( $J \geq 3$ ), la cui produzione in  $e^+e^-$  tenderebbe ad essere soppressa.

# CONCLUSIONI



## Sommario & prospettive

Limiti superiori per le B.F. dei decadimenti  $D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$  migliorati di un fattore 2-10, con sensibilità sperimentale  $\sim 10^{-6}$ .

Misure di asimmetria di CP relativa al decadimento CS  $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$  compatibili con zero, con sensibilità sperimentale prossima al %.

Varie misure (queste due & quelle di charm-mixing) hanno raggiunto le sensibilità sperimentali necessarie per la ricerca di segnali di nuova fisica e devono esplorare le regioni di valori "accessibili" nell'ambito di estensioni del MS.

Cio' richiede tanta statistica e tanto contemporaneo lavoro sulle sistematiche.

Nuove misure delle masse dei mesoni charmati  $D_{sJ}^*(2317)^+$ ,  $D_{sJ}(2460)^+$ . Studio completo dei possibili decadimenti con nuove misure di rapporti di B.F. e limiti superiori.

Deduzioni sulla loro spin-parita' ( $0^+, 1^+$ ) e sulla loro natura piu' in generale.

Ricerca negativa del  $D_{sJ}^*(2632)^+$ ; prossima la pubblicazione del limite superiore di produzione in  $e^+ e^- \rightarrow c\bar{c}$ .

Le ricerche spettroscopiche stanno vivendo una nuova fase particolarmente interessante [stati "open-charm" ( $c\bar{s}$ -like), stati "charmonium-like" (cfr. talk di Robutti), ...].

# BACKUP SLIDES





## Fondo atteso in $D^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$

L'insieme dei criteri di selezioni ottimale e' ottimizzato massimizzando il valore  $\mathcal{E}_{\ell\ell} / N_{sens}$  dove  $N_{sens}$  e' l'Upper Limit medio (al 90% di C.L.) sul numero di eventi osservati di Segnale che verrebbe ottenuto da un set di esperimenti con il fondo al livello atteso e nessun segnale.

Per stimare il numero di eventi di peaking bkg si applicano gli stessi criteri di selezione ad eventi simulati  $D^0 \rightarrow \pi\pi$  con le probabilita' di misidentificazione da control sample.

Studi di MC indicano che il fondo combinatorio sia nella finestra dell'eventuale segnale sia nella banda laterale "alta" e' dominato da combinazioni casuali di 2 leptoni. Pertanto il fondo combinatorio atteso e' ottenuto scalando opportunamente quello nella banda laterale "alta". Esso e' consistente col livello nei dati reali.

Il fondo combinatorio nella banda laterale "bassa" riceve contributi da combinazioni di 2 adroni (misidentificati) o da 1 adrone misidentificato con un leptone reale. Tale contributo e' stimato dal MC. Il livello stimato da MC e' in accordo con quello nei dati reali della banda laterale "bassa".

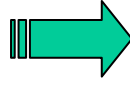
# Misura di $A_{CP}$ : numeri

## Yields:

Parent Charge	+	-
$D^\pm \rightarrow K^- K^+ \pi^\pm$	$21632 \pm 228$	$20940 \pm 226$
$D^\pm \rightarrow \phi \pi^\pm$	$5452 \pm 87$	$5327 \pm 86$
$D^\pm \rightarrow K^{*0} K^\pm$	$5247 \pm 96$	$5113 \pm 96$
$D_s^\pm \rightarrow K^- K^+ \pi^\pm$	$23066 \pm 217$	$22928 \pm 214$

## Efficienze (dal MC):

Decay	$\epsilon^+$	$\epsilon^-$
$D^\pm \rightarrow K^- K^+ \pi^\pm$	$8.20 \pm 0.04$	$8.26 \pm 0.04$
$D^\pm \rightarrow \phi \pi^\pm$	$7.67 \pm 0.07$	$7.63 \pm 0.07$
$D^\pm \rightarrow K^{*0} K^\pm$	$5.88 \pm 0.07$	$5.90 \pm 0.07$
$D_s^\pm \rightarrow K^- K^+ \pi^\pm$	$3.77 \pm 0.02$	$3.79 \pm 0.02$



## Incertezze sistematiche:

Decay	$A_{CP} [10^{-2}]$
$K^- K^+ \pi^\pm$	$+1.4 \pm 1.0(\text{stat.}) \pm 0.8(\text{syst.})$
$\phi \pi^\pm$	$+0.2 \pm 1.5(\text{stat.}) \pm 0.6(\text{syst.})$
$K^{*0} K^\pm$	$+0.9 \pm 1.7(\text{stat.}) \pm 0.7(\text{syst.})$

Source	$K^- K^+ \pi^\pm$ $A_{CP} [10^{-2}]$	$\phi \pi^\pm$ $A_{CP} [10^{-2}]$	$K^{*0} K^\pm$ $A_{CP} [10^{-2}]$
MC simulation	0.06	0.06	0.06
Background estimate	0.63	0.32	0.49
Selection criteria	0.46	0.54	0.54
Total	0.78	0.63	0.73

# Modelli degli UML fit

$$D_s^+ \pi^0$$

Segnale del  $D_{s_j}^*$  (2317): line-shape dal MC; valore medio libero.

Eventuale segnale di  $D_{s_j}$  (2460): line-shape dal MC.

Fondo combinatorio: shape libera

Riflessione dal  $D_{s_j}$  (2460): reflection-shape & valore medio dal MC

Riflessione dal  $D_s^*$  (2112): reflection-shape libera

$$D_s^+ \pi^0 \gamma$$

Segnale del  $D_{s_j}$  (2460): line-shape dal MC; valore medio libero.

Fondo combinatorio: shape libera

Riflessione dal  $D_{s_j}^*$  (2317): reflection-shape e valor medio dal MC

Riflessione dal  $D_s^*$  (2112): reflection-shape libera

$$D_s^+ \gamma$$

Segnale del  $D_{s_j}$  (2460): line-shape dal MC; valore medio libero.

Eventuale segnale di  $D_{s_j}^*$  (2317): line-shape dal MC.

Riflessione dal  $D_{s_j}^*$  (2317): reflection-shape dal MC

Riflessione dal  $D_{s_j}$  (2460): reflection-shape libera

## Riassunto rapporti di B.F. (preliminari)

➤ Per i canali con segnale significativo :

$$\frac{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\gamma)}{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0\gamma)} = 0.375 \pm 0.054 \text{ (stat.)} \pm 0.057 \text{ (syst.)}$$

[BELLE:  $0.55 \pm 0.13 \pm 0.08$ ,  $0.38 \pm 0.11 \pm 0.04$ ]    [: compatibili]

$$\frac{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\pi^+\pi^-)}{\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0\gamma)} = 0.082 \pm 0.018 \text{ (stat.)} \pm 0.011 \text{ (syst.)}$$

[BELLE:  $0.14 \pm 0.04 \pm 0.02$ ; CLEO:  $< 0.08$  @ 90% CL]    [: compatibili]

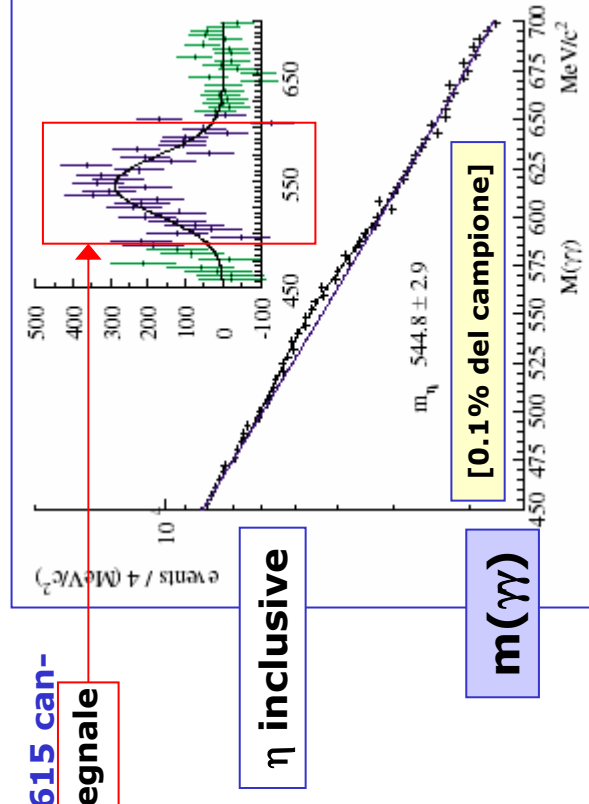
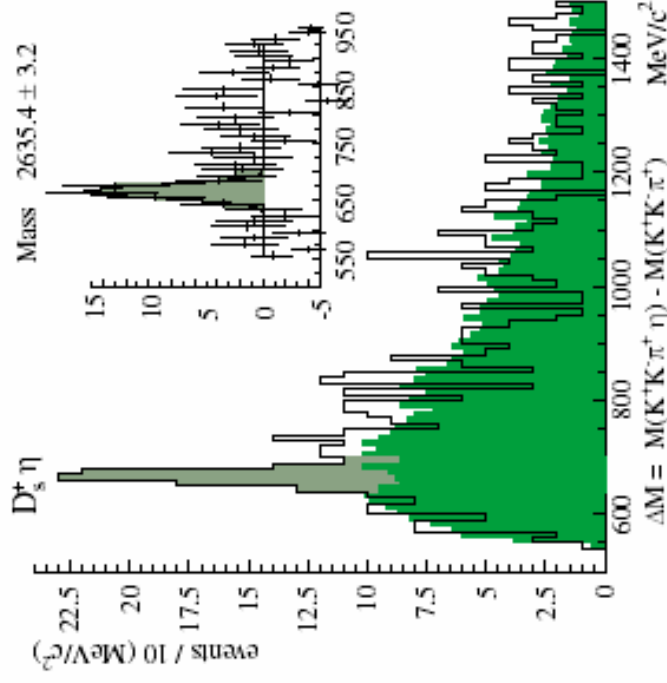
➤ Per i canali senza segnale si misurano i limiti superiori @ 95% di C.L. :

- $\mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+\gamma)/\mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0) < 0.17$  —forbidden if  $0^+$
- $\mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+\pi^+\pi^-)/\mathcal{B}(D_{sJ}^*(2317)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0) < 0.11$  —forbidden if  $0^+$
- $\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0)/\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0\gamma) < 0.002$  —forbidden if  $1^+$
- $\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_{sJ}^*(2317)^+\gamma)/\mathcal{B}(D_{sJ}(2460)^+ \rightarrow D_s^+\pi^0\gamma) < 0.23$

# Qualche dettaglio sull'analisi di SELEX

- Ricostruisce (purezza: 80%) 544 candidati  $D_s$  in eventi prodotti dalle interazioni indotte da  $\Sigma^-$ ;
- Ricostruisce, negli eventi con 526 di questi candidati, 615 candidati  $\eta$  ( $E_\eta > 15\text{GeV}$ ) [  $\#(\eta) \leq 5/\text{ev.}$ ] nella regione di segnale

- Combina  $D_s$  ed  $\eta$ , ottenendo l'istogramma:



Fondo combinatorio *event-mixed* [set di combinazioni di ciascun  $D_s$  con gli  $\eta$  in 25 campioni di altri eventi, (in numero pari a quelli coi  $D_s$ ), scalato del fattore 1/25].

Sottratto il fondo combinatorio:  $(S - B) / \sqrt{B} \cong 6.2\sigma$

- Il 55% dei  $D_s$  di SELEX vengono da questo stato; il 25% dal  $D_s^*$ ;  $D_{sJ}^*(2317)$  e  $D_{sJ}(2460)$  non visibili !

B5