



# Studio della Polarizzazione della $\Upsilon$ ad ALICE

Livio Bianchi

Università degli Studi di Torino – INFN Torino

XCV Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica

Bari, 28 Settembre - 3 Ottobre 2009



# Sommario

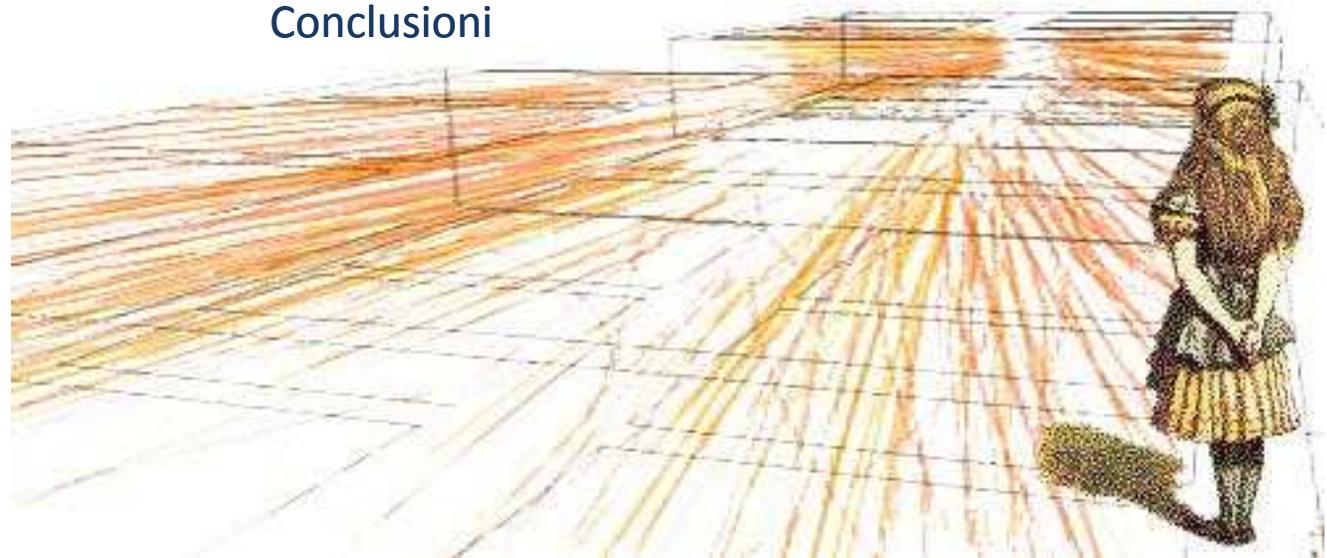
Esperimento ALICE e spettrometro per muoni

Modelli di produzione del quarkonio e polarizzazione

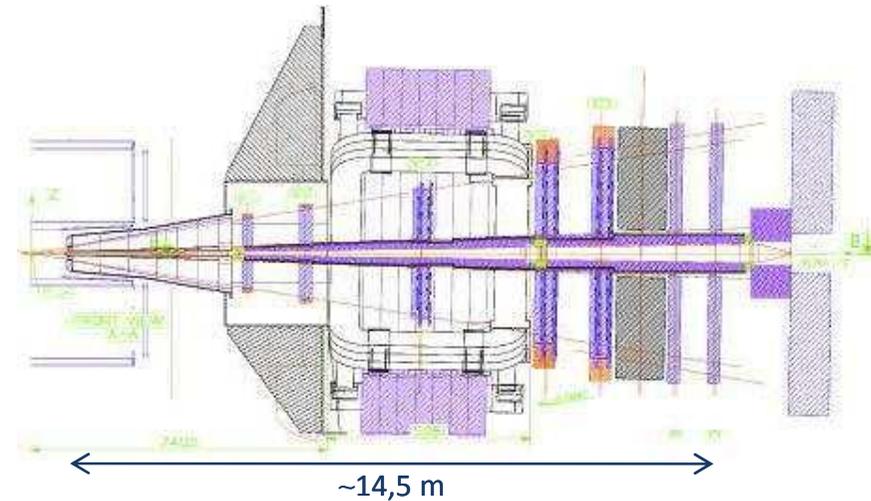
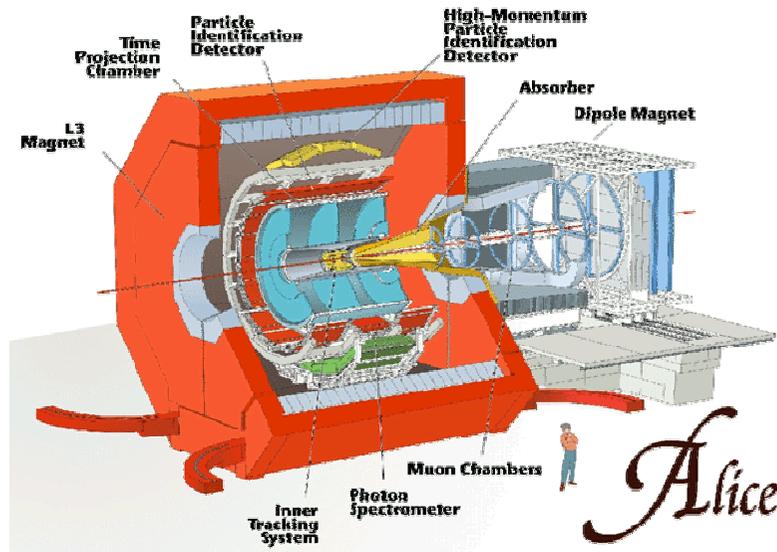
Polarizzazione in p-p

Polarizzazione in Pb-Pb

Conclusioni

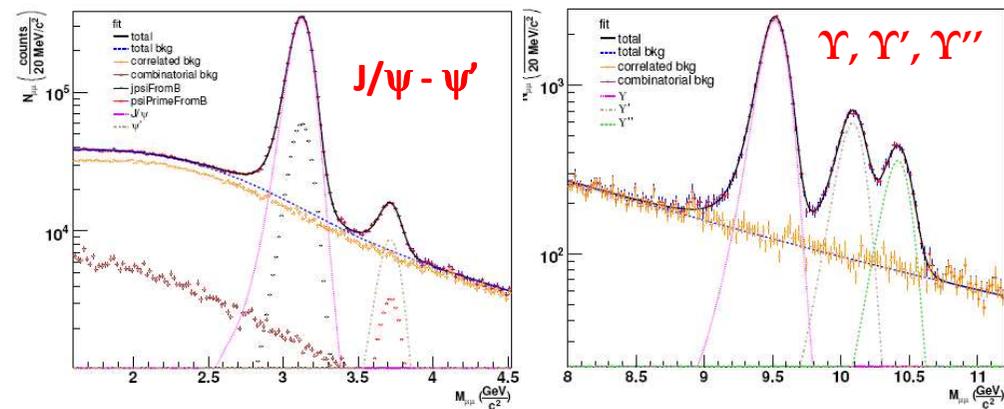


# L'Esperimento ALICE a LHC



## Misura del quarkonio nel canale muonico

- Esperimento dedicato allo studio delle collisioni tra ioni pesanti
- Obiettivo principale: studiare la transizione alla fase di QGP (deconfinamento di quark e gluoni)



# Perché Studiare la Polarizzazione

## p-p

Diversi modelli per il meccanismo di produzione:

- **CEM**: fenomenologico, non molto predittivo;
- **CSM**: non riproduce l'andamento  $\sigma$  vs  $p_T$ ;
- **COM (NRQCD)**: riproduce l'andamento  $\sigma$  vs  $p_T$ ;
- **CSM + s-channel cut**: buona descrizione sez. d'urto.

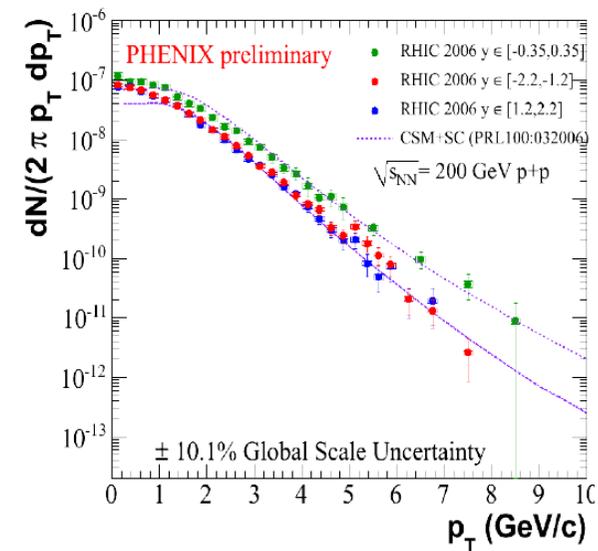
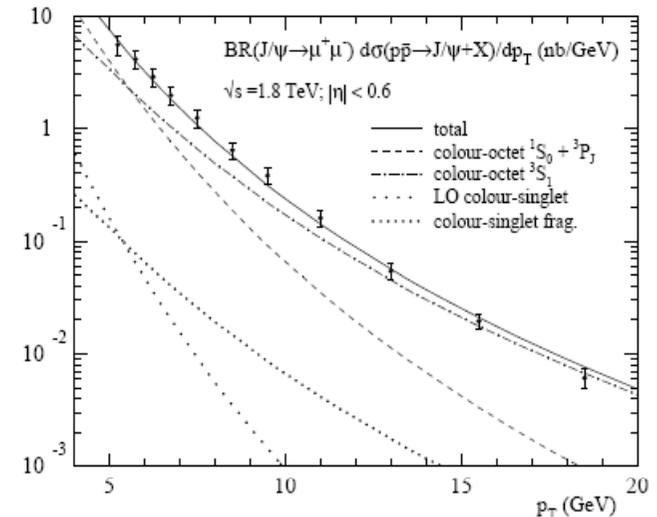
Polarizzazione: parametro per discriminare tra i modelli.

- **CSM** polarizzazione trasversa;
- **CEM** no polarizzazione;
- **NRQCD** polarizzazione trasversa ad alto  $p_T$ ;
- **CSM + s-channel cut** polarizzazione longitudinale ad alto  $p_T$ .

## Pb-Pb

In urti di ioni pesanti è atteso un aumento della polarizzazione del quarkonio nel caso di formazione di QGP.

B.L. Ioffe and D.E. Kharzeev: Phys. Rev. C68 061902 (2003)



# La Polarizzazione del Quarkonio

Studio della distribuzione angolare dei prodotti di decadimento:

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{d\cos(\theta)d\phi} = 1 + \lambda \cos^2(\theta) + \mu \sin(2\theta) \cos(\phi) + \frac{\nu}{2} \sin^2(\theta) \cos(2\phi)$$

Solitamente la dipendenza dall'angolo  $\phi$  viene trascurata:

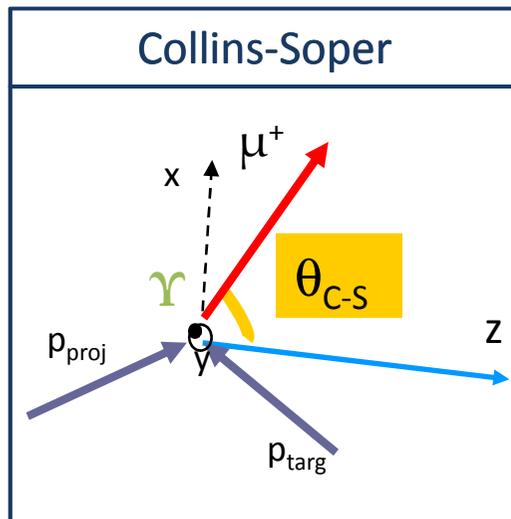
$$\xi_L = \frac{\sigma_L}{\sigma_{TOT}} = \frac{1 - \alpha}{3 + \alpha}$$

$$\frac{d\Gamma}{d\cos\theta^*} \propto \frac{3}{2(\alpha + 3)} (1 + \alpha \cos^2\theta^*)$$

$\alpha > 0$  Pol. trasversa

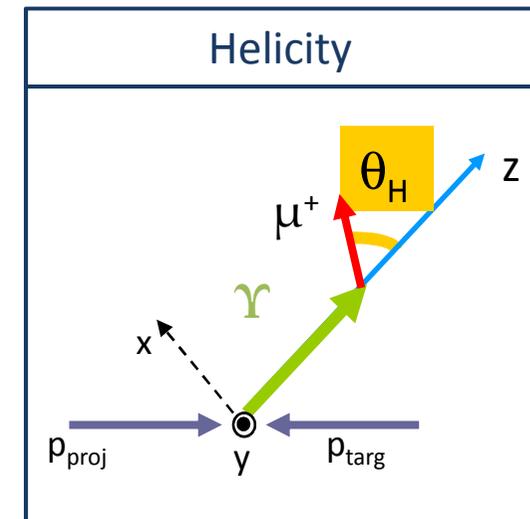
$\alpha < 0$  Pol. longitudinale

## Sistemi di riferimento

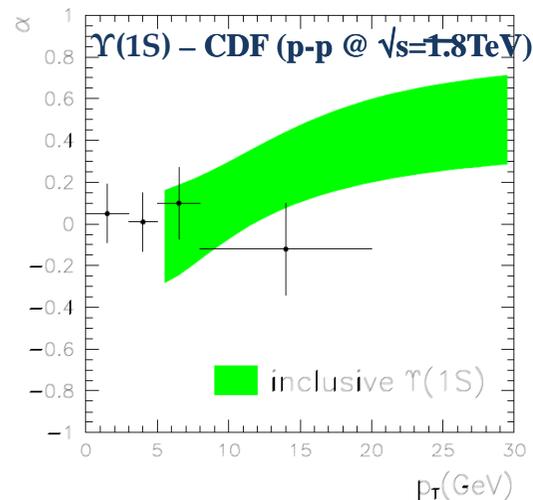
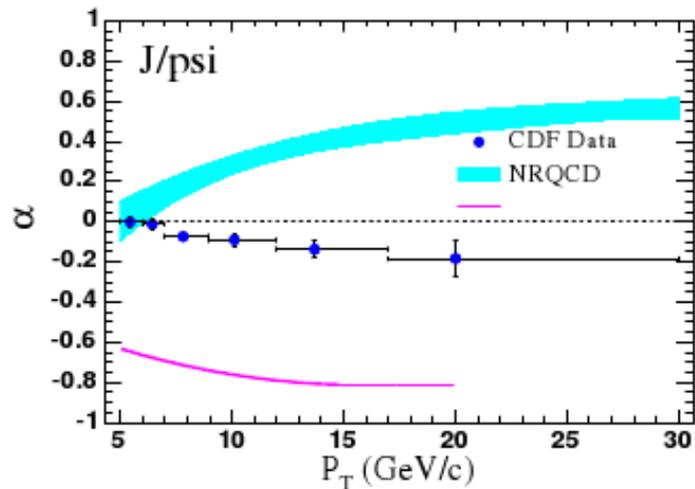


**Collins-Soper (CS):**  
L'asse z è la bisettrice tra proiettile e (meno) bersaglio nel SR a riposo del quarkonio.

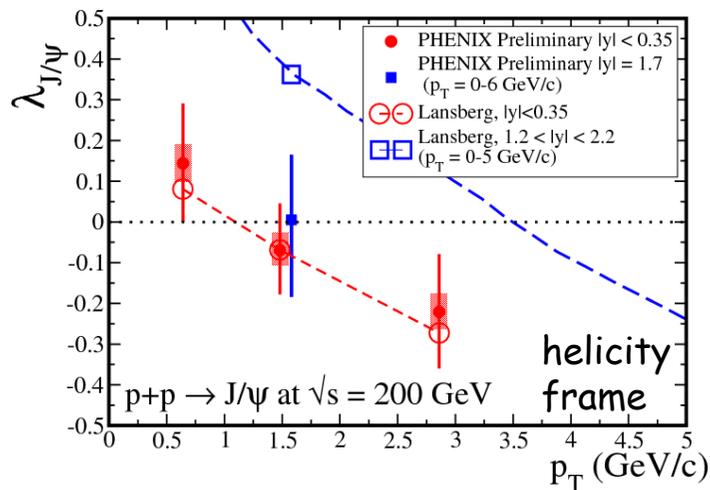
**Helicity (HE):**  
L'asse z corrisponde alla direzione del quarkonio nel SR del CM della collisione.



# Risultati da Esperimenti Precedenti



La NRQCD  
fallisce le  
predizioni di  
polarizzazione  
ad alto  $p_T$



**CSM+ s-channel cut** (calcolo perturbativo al NNLO): descrive in modo soddisfacente i dati di polarizzazione di PHENIX a rapidità centrali.  
Fallisce a forward-rapidity.

La polarizzazione è un'osservabile chiave per discriminare tra i vari modelli.

# Statistiche e Background

p-p@ $\sqrt{s}=14$  TeV

$L= 3 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$     $T=10^7 \text{ s}$

state	S ( $\times 10^3$ )	B ( $\times 10^3$ )	S/B	S/ $\sqrt{S+B}$
J/ $\psi$	2807	235	12.0	1610
$\psi'$	75	120	0.62	170
$\Upsilon$	27.1	2.6	10.4	157
$\Upsilon'$	6.8	2.0	3.4	73
$\Upsilon''$	4.2	1.8	2.4	55

ALICE-INT-2006-029

Il contributo del background è piccolo per p-p, ma assolutamente non trascurabile in Pb-Pb (specialmente per urti centrali)

**Due metodi diversi adottati per lo studio della polarizzazione:**

- 1. Matrice d'accettanza 3D;**
- 2. Monte-Carlo templates.**

Pb-Pb@ $\sqrt{s}=5.5A$  TeV

$L= 5 \cdot 10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$     $T=10^6 \text{ s}$

State	Centrality	S [ $\times 10^3$ ]	B [ $\times 10^3$ ]	S/B	S/ $\sqrt{S+B}$
J/ $\psi$	c1	130 (22)	680	0.20	150
	c2	230 (38)	860	0.27	220
	c3	200 (32)	410	0.48	250
	c4	95 (15)	88	1.08	220
	c5	21.7 (3.2)	6.9	3.13	130
$\psi'$	c1	3.7 (1.4)	300	0.01	6.7
	c2	6.5 (2.4)	385	0.02	11
	c3	5.5 (2.0)	190	0.03	13
	c4	2.6 (0.9)	42	0.06	12
	c5	0.59 (0.20)	3.4	0.17	9.3
$\Upsilon$	c1	1.3	0.8	1.7	29
	c2	2.4	1.0	2.3	41
	c3	2.0	0.55	3.6	39
	c4	0.93	0.15	6.1	28
	c5	0.20	0.022	9.1	14
$\Upsilon'$	c1	0.35	0.54	0.65	12
	c2	0.62	0.67	0.92	17
	c3	0.52	0.38	1.4	17
	c4	0.24	0.11	2.2	13
	c5	0.054	0.016	3.5	6.4
$\Upsilon''$	c1	0.20	0.42	0.48	8.1
	c2	0.35	0.55	0.64	12
	c3	0.30	0.30	0.99	12
	c4	0.14	0.088	1.6	9.2
	c5	0.030	0.014	2.2	4.6

ALICE PPR – Volume II

# No Background: accettazione 3D

Le accettanze sulle variabili ( $p_T$ ,  $y$ ,  $\cos\theta$ ) sono correlate



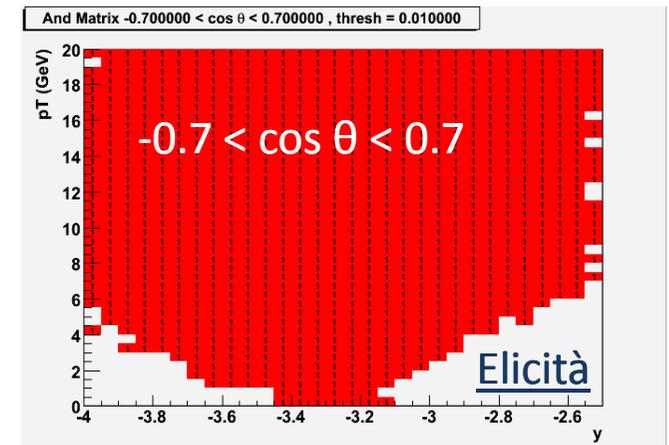
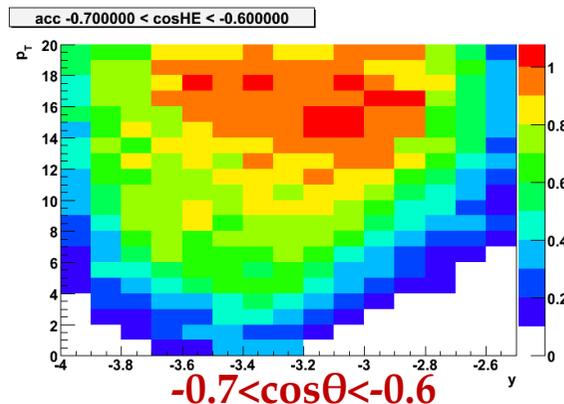
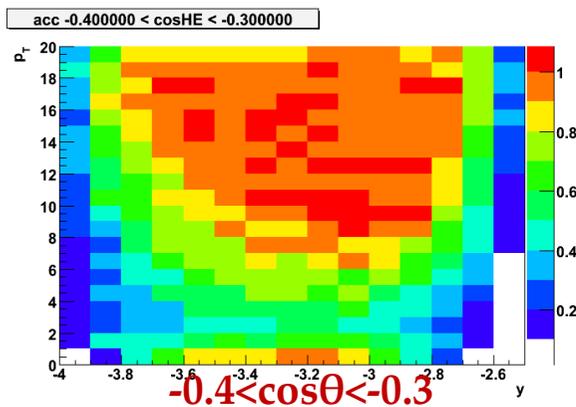
L'accettazione su una variabile può essere fortemente influenzata da quelle sulle altre variabili



E' necessario un approccio "3D" al problema

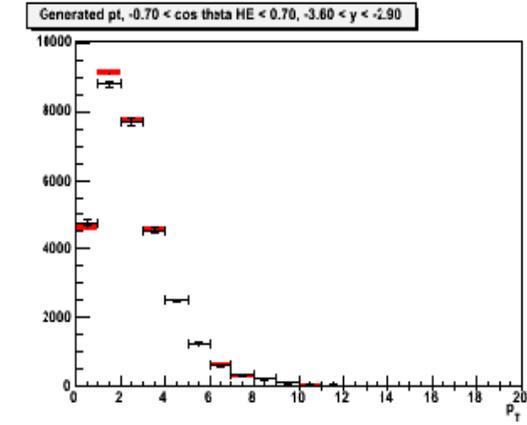
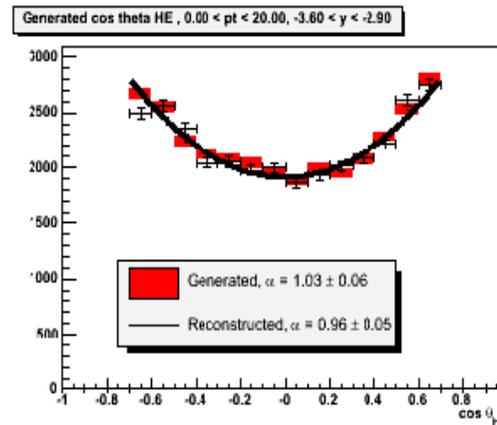
- Generazione di  $10^6$   $\Upsilon$  con distribuzioni delle variabili cinematiche piatte ( $0\text{GeV}/c < p_T < 20\text{GeV}/c$ ,  $-4 < y < -2.5$ ,  $-1 < \cos\theta < 1$ );
- Ricostruzione;
- Calcolo delle accettanze tridimensionali.

Per non avere accettanze che variano su troppi ordini di grandezza è necessario scegliere regioni fiduciali



# Ricostruzione $\alpha$ – pp@14TeV

- Generazione di  $\Upsilon$  polarizzate;
- Correzione con le matrici 3D;
- Integrazione sulle variabili  $y, p_T$ ;
- Fit dello spettro di polarizzazione con funzione  $N ( 1 + \alpha \cos^2\vartheta )$



$\alpha$

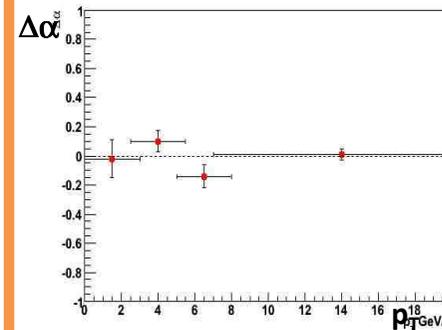
L'analisi è stata effettuata su 27100  $\Upsilon$   
( $L=3 \cdot 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  in  $10^7$  s)

$p_T$ bin (GeV/c)	$\alpha_{\text{gen}}$	$\alpha_{\text{rec}} \text{ (HE)}$	$\alpha_{\text{rec}} \text{ (CS)}$
$0 < p_T < 20$	1	$1.09 \pm 0.11$	$0.96 \pm 0.10$
	0	$0.02 \pm 0.09$	$0.02 \pm 0.08$
	-1	$-1.04 \pm 0.05$	$-0.94 \pm 0.05$

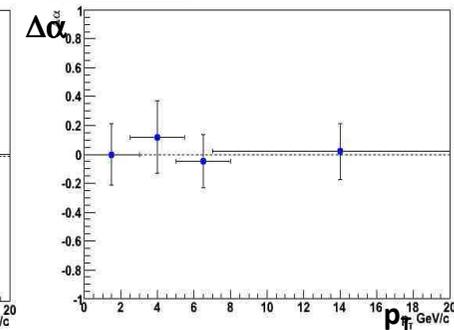
**Buon accordo tra  $\alpha_{\text{gen}}$  e  $\alpha_{\text{rec}}$ . Errore statistico tra 0.05 e 0.11**

$\alpha$  vs  $p_T$

Helicity -  $\alpha=-1$  Elicità,  $\alpha=-1$

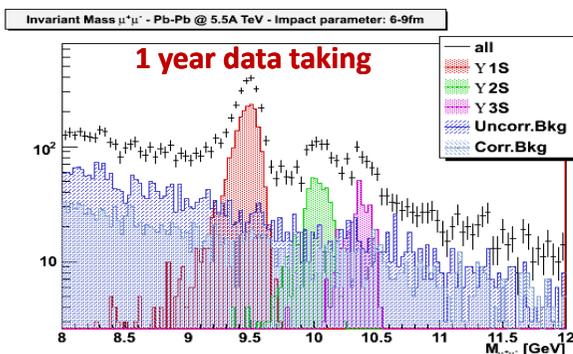
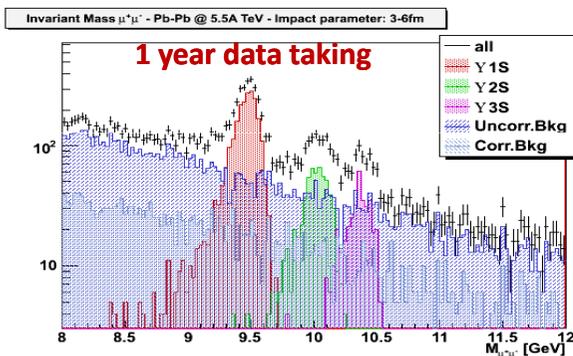
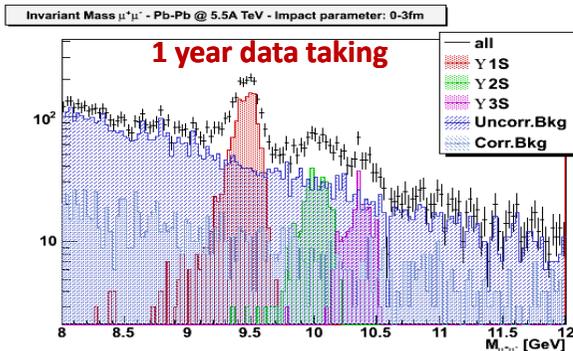


Collins-Soper -  $\alpha=1$

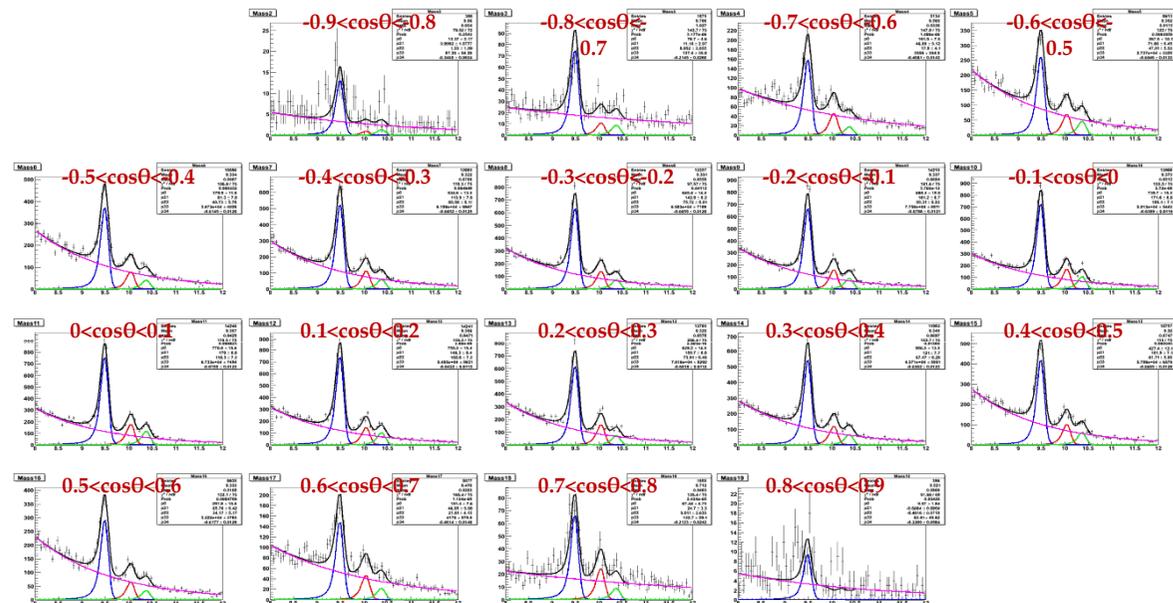


**Accordo ragionevole tra  $\alpha_{\text{gen}}$  e  $\alpha_{\text{rec}}$   
Gli errori statistici vanno da 0.03 e 0.19**

# $\Upsilon$ polar. in PbPb: Metodo MC Templates

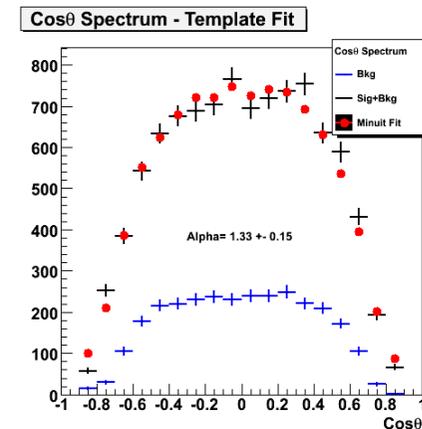
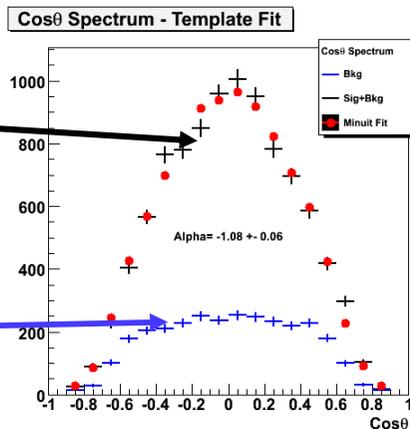
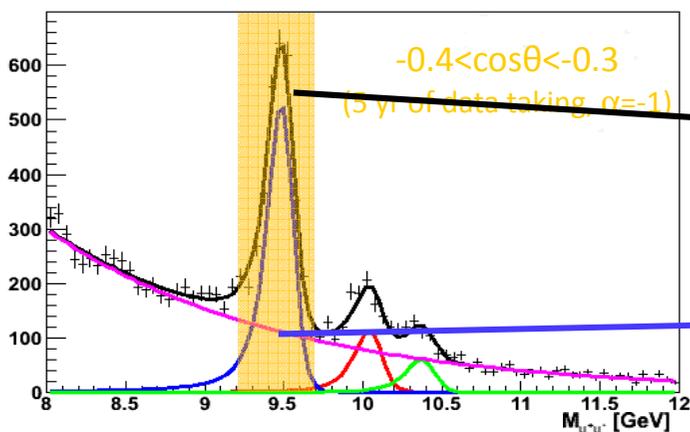


Simulazione delle 3 risonanze, sovrapposte a fondo correlato+scorrelato (5 centralità, 1-3-5 anni presa dati)

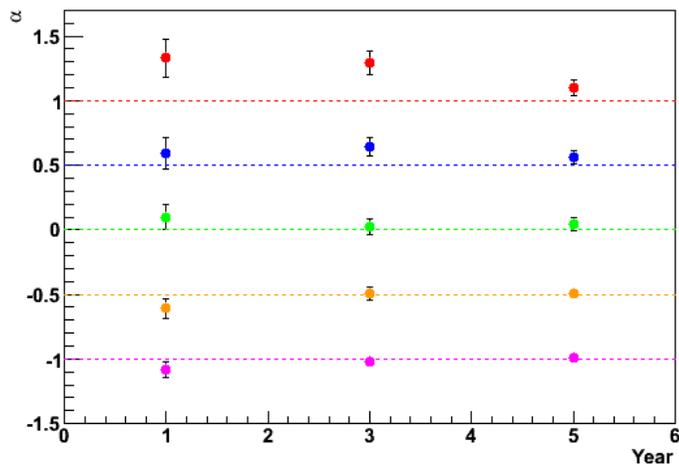


- Sample diviso in 20 bins di  $\cos\vartheta$ ;
- Per ogni bin di  $\cos\vartheta$  si fitta opportunamente lo spettro in massa;
- I fit permettono la valutazione del contributo di fondo (B) e di segnale+fondo (S+B) allo spettro in  $\cos\vartheta$ ;

# $\Upsilon$ polar. in PbPb: performances

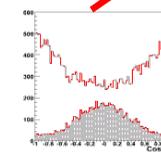
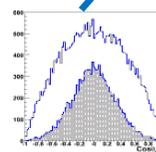


Y1S - Polarization reconstruction



- Lo spettro di S+B viene fittato con una sovrapposizione lineare di due templates (uno con  $\alpha=1$  e uno con  $\alpha=-1$ ) più il contributo del fondo (B);
- I coefficienti del fit danno il valore di  $\alpha$ .

$$\left\{ \frac{1-\alpha}{3+\alpha} T_L(\cos\vartheta) + \frac{2(1+\alpha)}{3+\alpha} T_T(\cos\vartheta) \right\} + Bkg(\cos\vartheta) = F_{S+B}(\cos\vartheta)$$



**Il metodo usato ricostruisce in modo soddisfacente il parametro di polarizzazione. L'errore statistico varia da 0.03 a 0.15**

# Conclusioni

1. Misura della polarizzazione della  $\Upsilon(1S)$  ad ALICE fattibile sia in p-p che in Pb-Pb.
2. **p-p**: background trascurato  $\rightarrow$  metodo accettazione 3D:
  - Integrando in  $y$  e  $p_T$ : 1 anno di presa dati  $\rightarrow$  errori statistici tra 0.05 e 0.1;
  - $\alpha$  vs  $p_T$ : 1 anno di presa dati  $\rightarrow$  errori statistici tra 0.03 e 0.19.
3. **Pb-Pb**: simulato spettro di massa tra 8 e 12 GeV. Background sottratto  $\rightarrow$  metodo dei templates Monte-Carlo:
  - Integrando in  $y$  e  $p_T$ : 1 anno di presa dati  $\rightarrow$  errore statistico di  $\sim 0.1$ ;
  - uno studio della dipendenza del parametro  $\alpha$  da  $p_T$  o dalla centralità potrebbe essere fatto integrando su più anni di presa dati.
4. Per  $\Upsilon(2S)$  e  $\Upsilon(3S)$  lo studio potrebbe essere fatto in 1 anno di presa dati in p-p e in più anni di presa dati in Pb-Pb.

# Backup

Polarizzazione quarkonio: risultati sperimentali

Errore nel fit sulla distribuzione angolare

Fit dello spettro in  $\cos\theta$  : minimizzazione

Bias per  $\alpha \rightarrow 1$

Quarkonio: modelli di produzione

NRQCD

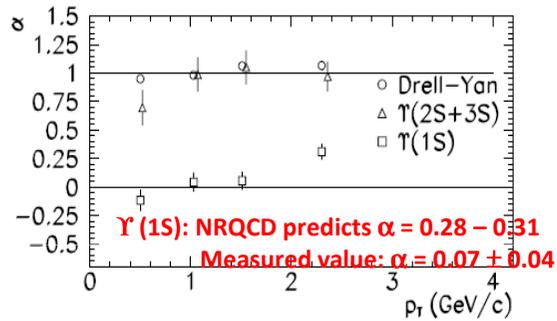
Lo Spettrometro per Dimuoni

Generazione in Pb-Pb @ 5.5 A TeV

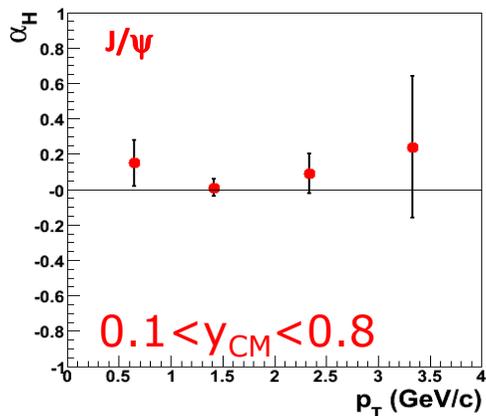
# Polarizzazione quarkonio: risultati sperimentali

## Targhetta fissa

### E866 (pA@800GeV)

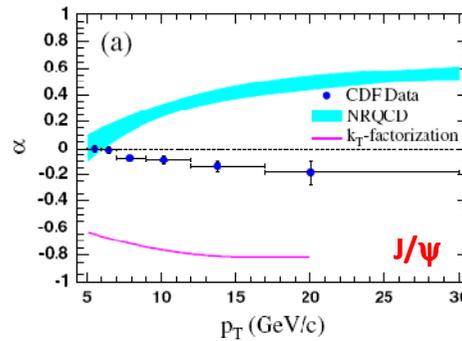


### NA60 (In-In @ 158GeV)

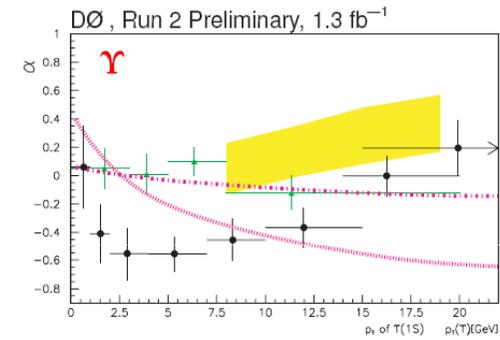


## Collider

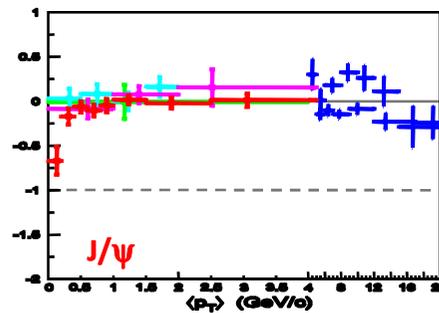
### CDF (p-p-bar @ sqrt(s) = 1.96 TeV)



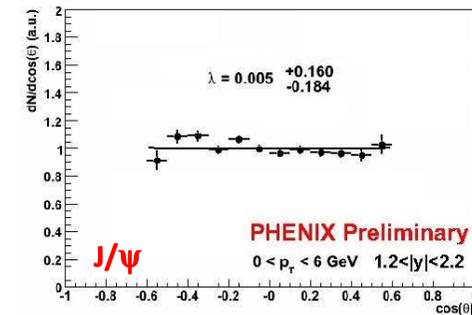
### D0 (p-p-bar @ sqrt(s) = 1.96 TeV)



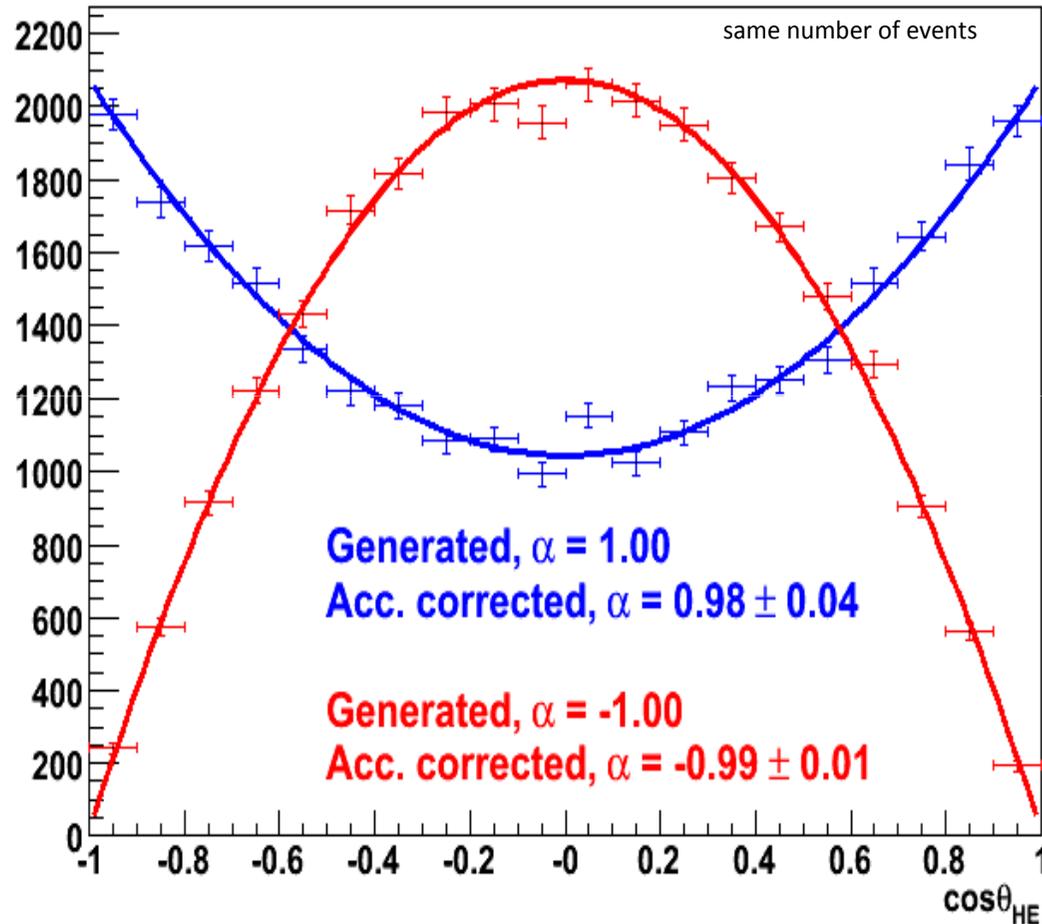
### HERA-B (p-A @ 900GeV)



### Phenix (p-p @ sqrt(s) = 200GeV)



# Errore nel fit sulla distribuzione angolare



**A parità di statistica l'errore sul parametro  $\alpha$  cresce al crescere del valore di  $\alpha$ .**

**Dipende da come viene calcolato l'errore attraverso il metodo dei minimi quadrati:**  
**Se  $f(x) = p_0 \cdot (1 + \alpha \cdot x^2)$**   
**allora per  $p_0$  grandi:**  
 **$\sigma_\alpha \propto 1/p_0$**

# Fit allo spettro in $\cos\theta$ : minimizzazione

Il templates-fit allo spettro in  $\cos\theta$  spectrum viene fatto con MINUIT minimizzando:

$$\chi^2 = 2 \cdot \sum_i \left\{ (E_i + \beta_i - D_i) - D_i \cdot \ln \left( \frac{E_i + \beta_i}{D_i} \right) + (\beta_i - S_i) - S_i \cdot \ln \left( \frac{\beta_i}{S_i} \right) \right\}$$

dove:

$$\beta_i = \frac{1}{4} \left[ -(2E_i - D_i - S_i) + \sqrt{(2E_i - D_i - S_i)^2 + 8S_iE_i} \right]$$

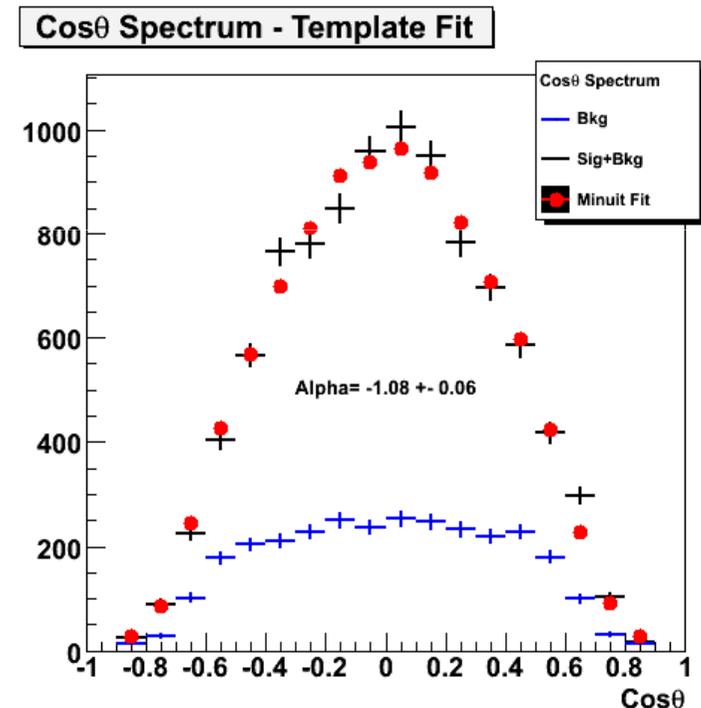
$D_i$  : *Signal + Bkg events*       $S_i$  : *Bkg events*

$E_i$  : *expected number of Signal events*

$\beta_i$  : *expected number of Bkg events*

La formula è corretta quando gli errori su S+B e su B sono entrambi poissoniani.

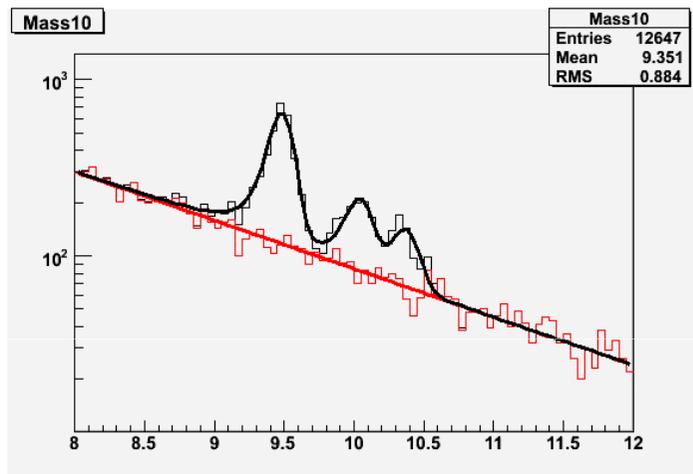
Supponiamo dunque che l'errore su B sia poissoniano: non completamente vero perchè B non è ottenuto attraverso un conteggio di eventi.



T. Devlin, *Correlations from Systematic Corrections to Poisson-Distributed Data in Log-Likelihood Functions*, CDF public note CDF/DOC/JET/PUBLIC/3126 (1995)

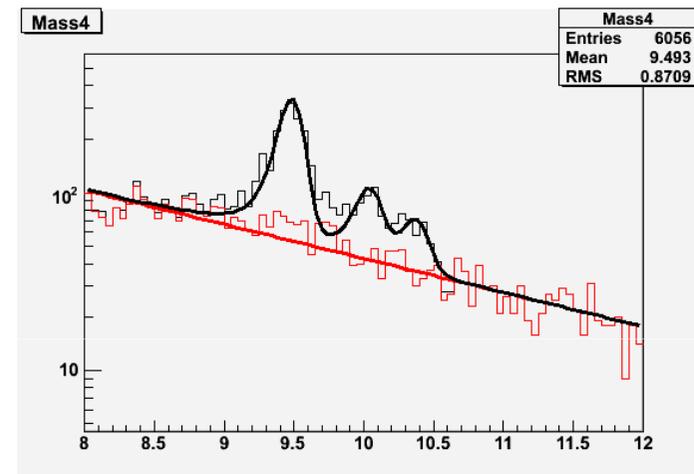
# Bias per $\alpha \rightarrow 1$

In bin di  $\cos\theta$  periferici capita di sottostimare il contributo del background:



Bin di  $\cos\theta$  centrali: la forma del background è un esponenziale  $\rightarrow$  il contributo è stimato correttamente

**Capita solo per  $\alpha$  grandi perchè in questi casi la forma dello spettro in  $\cos\theta$  dipende fortemente dal comportamento nei bin periferici.**



Bin di  $\cos\theta$  periferici: la forma del background non è esponenziale  $\rightarrow$  il contributo è sottostimato



Forma dello spettro più larga



$\alpha$  è maggiore

# Quarkonio: modelli di produzione

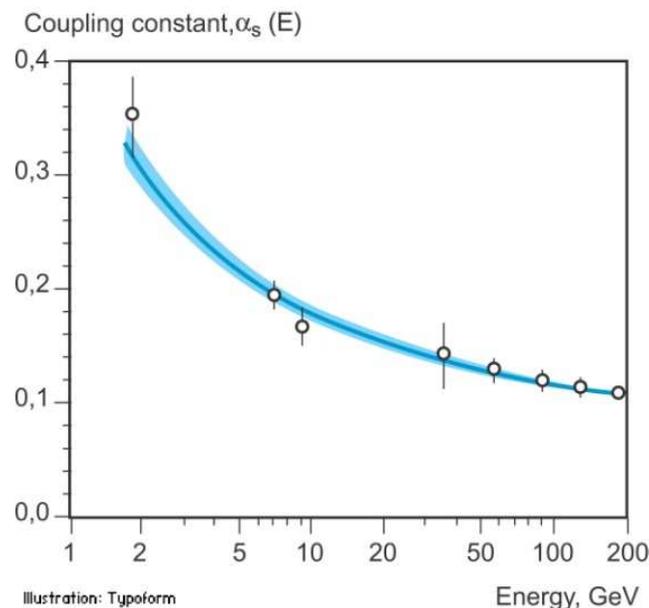
L'associazione in stato legato di  $q\bar{q}$  prodotti da gluoni avviene a valori di  $\alpha_s$  per i quali una trattazione perturbativa è ancora possibile:

$$\alpha_s(m_c) \approx 0.25 \quad \alpha_s(m_b) \approx 0.18$$

Ma la dinamica dello stato legato è non perturbativa ( $v/c \ll 1$ )

Vari possibili meccanismi di produzione:

- **CSM:** due  $g$  si fondono e si forma una coppia  $q\bar{q}$   $\mathbf{1}_C$   $\mathbf{3}_S$
- **CEM:** la  $\sigma(H)$  è una frazione (universale)  $F_H$  della  $\sigma$  per produzione di una coppia  $q\bar{q}$  con massa inv. sotto la soglia  $M\bar{M}$ , dove  $M$  è il mesone a più bassa massa contenente  $q$ . La coppia diventa  $\mathbf{1}_C$  interagendo con il campo di colore indotto dalla collisione;
- **COM:** la coppia  $q\bar{q}$  viene prodotta in  $\mathbf{1}_C$  o  $\mathbf{8}_C$  che diventa  $\mathbf{1}_C$  con emissione di  $g$  soft



# NRQCD

Il color-octet model può essere riformulato in termini di una teoria di campo efficace, la Non-Relativistic-QCD (si fattorizzano le parti perturbativa e non):

$$\sigma[H] = \sum_n \sigma_n(\Lambda) \langle O_n^H(\Lambda) \rangle$$

Sommatoria  
su tutti i  
numeri  
quantici  
possibili  
associabili  
alla coppia q  
q-bar

Coefficienti perturbativi: sezione  
d'urto partonica per la creazione di  
una coppia q q-bar + PDF.

- q q-bar in singoletto o ottetto di colore
- singoletto o tripletto di spin
- con o senza mom.angolare orbitale

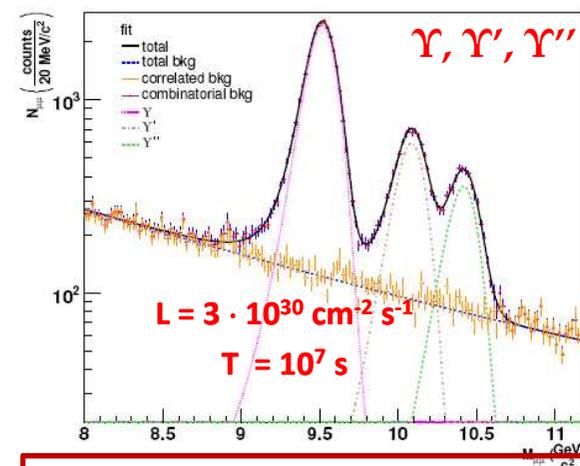
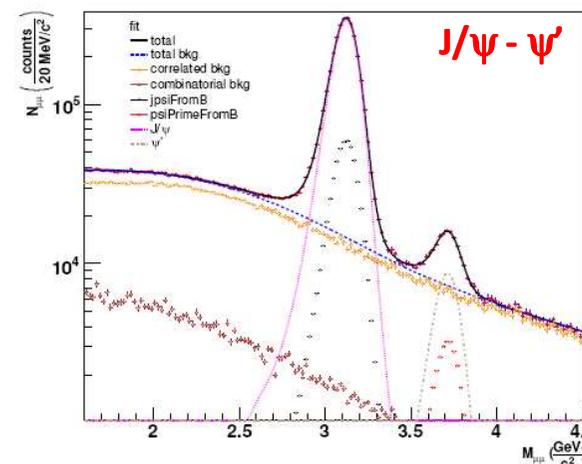
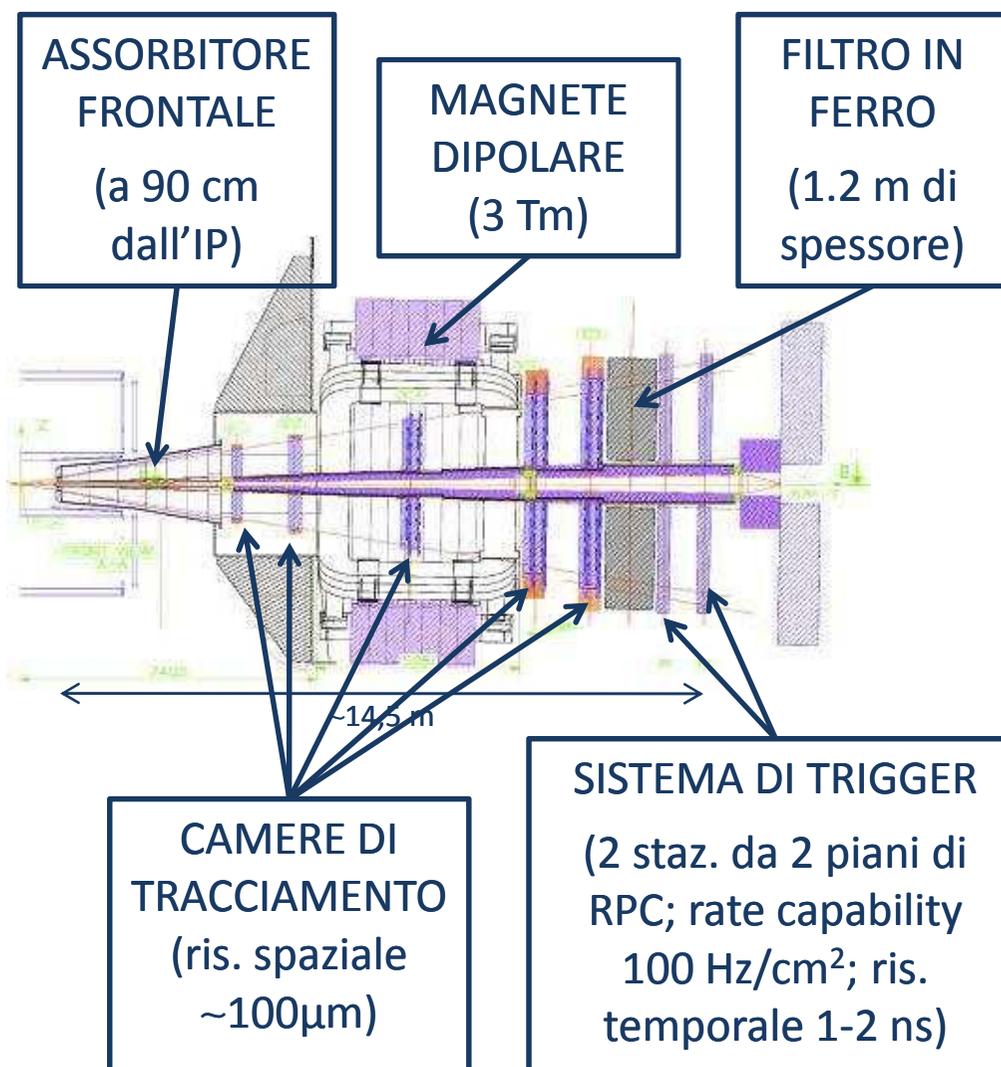
Coefficienti non perturbativi:

- creano q q-bar nel vuoto;
- proiettano in uno stato che asintoticamente tende ad H+X;
- Annichila q q-bar.

Analoghi alle parton  
fragmentation functions.

Si determinano  
sperimentalmente ma sono  
universali

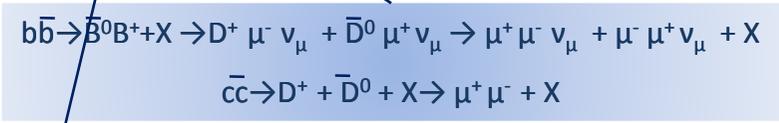
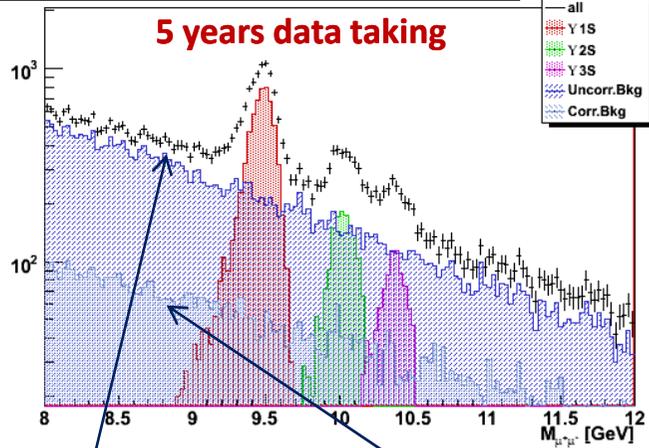
# Lo spettrometro per dimuoni



**Risoluzione in massa  
migliore di 100 MeV/c<sup>2</sup>**

# Generazione in Pb-Pb @ 5.5 A TeV

Invariant Mass  $\mu^+\mu^-$  - Pb-Pb @ 5.5A TeV - Impact parameter: 0-3fm

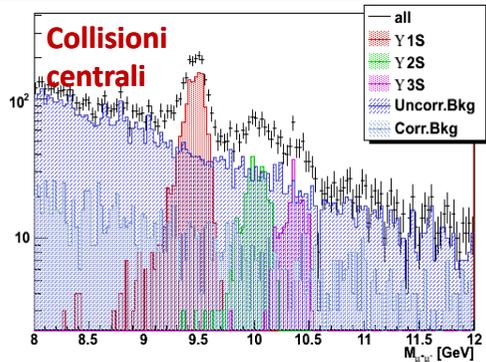


bb  
cc  
bc

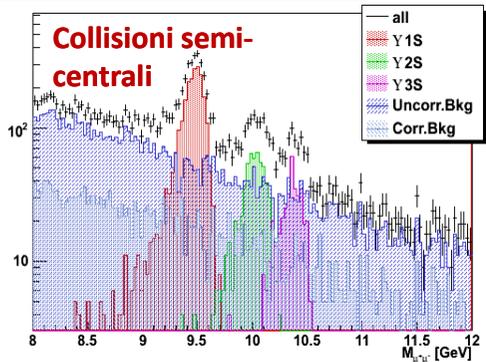
**Segnale:**  $\Upsilon(1S)$ ,  $\Upsilon(2S)$  e  $\Upsilon(3S)$  generate attraverso parametrizzazione e ricostruite con full-simulation.  
 Cinque gradi di polarizzazione: -1, -0.5, 0, 0.5, 1.  
**Background Correlato :** generato con Pythia\* e ricostruito con fast-simulation  
**Background scorrelato:** generato attraverso parametrizzazione e ricostruito con fast-simulation

**Sono state considerate statistiche per 1, 3 e 5 anni di presa dati ( $L= 5 \cdot 10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )**

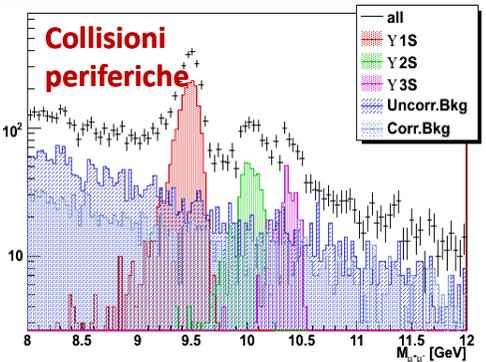
Invariant Mass  $\mu^+\mu^-$  - Pb-Pb @ 5.5A TeV - Impact parameter: 0-3fm



Invariant Mass  $\mu^+\mu^-$  - Pb-Pb @ 5.5A TeV - Impact parameter: 3-6fm



Invariant Mass  $\mu^+\mu^-$  - Pb-Pb @ 5.5A TeV - Impact parameter: 6-9fm



**1 anno presa dati**

\*ALICE-INT-2005-018 version 1.0