

Studio della struttura del nucleone tramite le misure di asimmetrie azimutali di spin nei processi DIS semi inclusivi

giulio sbrizzai

Il mio lavoro di ricerca si svolge nell'ambito dell' esperimento COMPASS e riguarda la misura delle asimmetrie azimutali presenti nella sezione d'urto di DIS semi inclusivo con bersagli polarizzati

COMmon Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy

Esperimento a bersaglio fisso
al SPS del CERN

In presa dati dal 2002:

Fisica dello spin → fasci di muoni
su bersagli polarizzati:

deuterio (${}^6\text{LiD}$) 2002-2004, 2006
protone (NH_3) 2007, 2010 - 2011

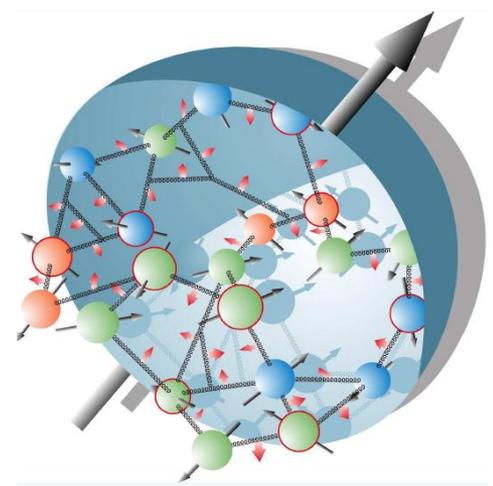
Spettroscopia adronica:
fascio di adroni 2008 - 2009₂



L'attuale descrizione del nucleone e' molto complessa considerando :

- il momento trasverso intrinseco
- la polarizzazione - spin
- il momento orbitale angolare

3D picture !



Funzioni di distribuzione partonica dipendenti dal momento trasverso (TMD PDF)

8 distribuzioni descrivono il nucleone polarizzato (leading twist - OPE) dipendono dalle variabili cinematiche:

x , la frazione di momento longitudinale portato dal quark

k_{\perp} momento trasverso intrinseco del quark

quark polarization

nucleon polarization

	U	L	T
U	f_1  number density q		f_{1T}^{\perp}  - 
L		g_1  -  helicity Δq	g_{1T}  - 
T	h_1^{\perp}  - 	h_{1L}^{\perp}  - 	h_1  -  transversity $\Delta_T q$ h_{1T}^{\perp}  - 

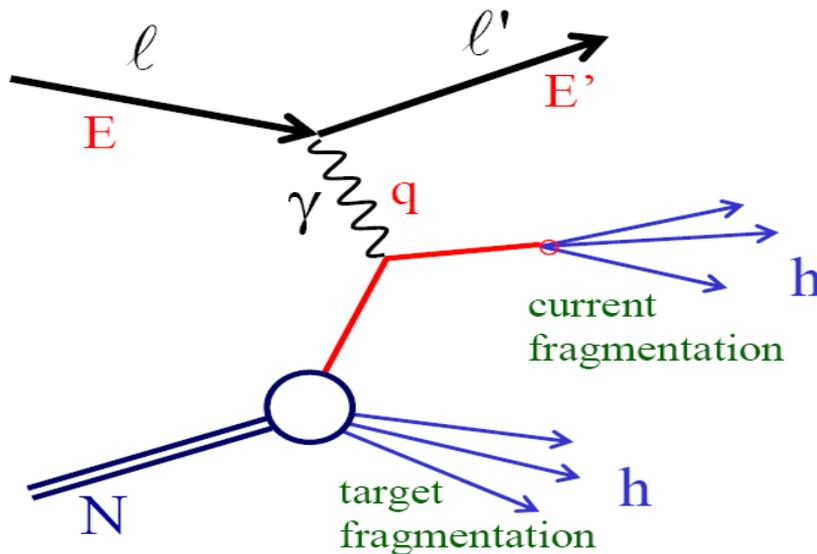
3 di loro sopravvivono nel caso collineare



La diffusione profondamente inelastica semi inclusiva (SIDIS) è un processo chiave per studiare la struttura del nucleone

$$l N \longrightarrow l' h X$$

il leptone interagisce con **il singolo costituente** del nucleone ($Q^2 > 1 \text{ GeV}^2/c^2$)



q 4-momento del fotone virtuale

$$Q^2 = -q^2 > 0 \quad v = E - E'$$

$$x = Q^2 / 2Mv \quad y = v/E$$

$$W^2 = (P_N + q)^2$$

almeno un adrone è rivelato
(informazione sul **quark colpito**)

$$z = E_h / E - E'$$

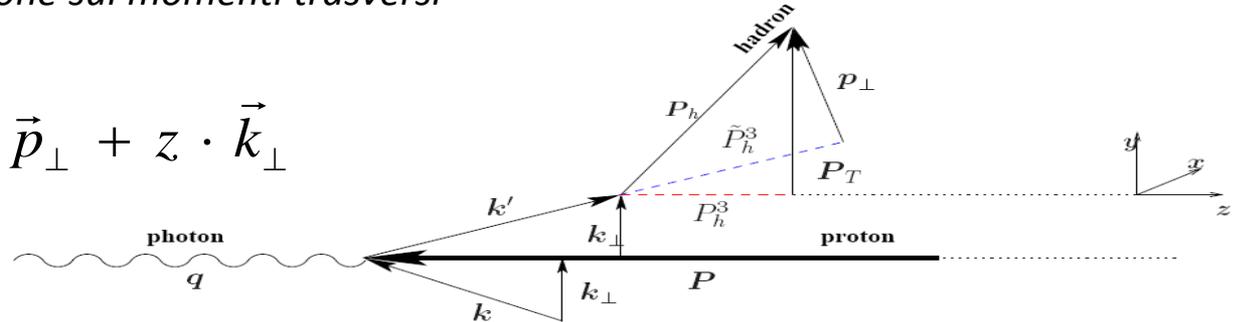
La sezione d'urto SIDIS puo` essere scritta come:

(fattorizzazione)

$$\sum_q f_{1q}(x, \vec{k}_\perp; Q^2) \otimes \sigma^{lq \rightarrow lq}(y, \vec{k}_\perp; Q^2) \otimes D_{1q}^h(z, \vec{p}_\perp; Q^2)$$

convoluzione sui momenti trasversi

$$\vec{P}_T = \vec{p}_\perp + z \cdot \vec{k}_\perp$$



una delle TMD PDF (mostrate prime)

la sezione d'urto elementare quark-leptone

Funzioni di Frammentazione (FF)

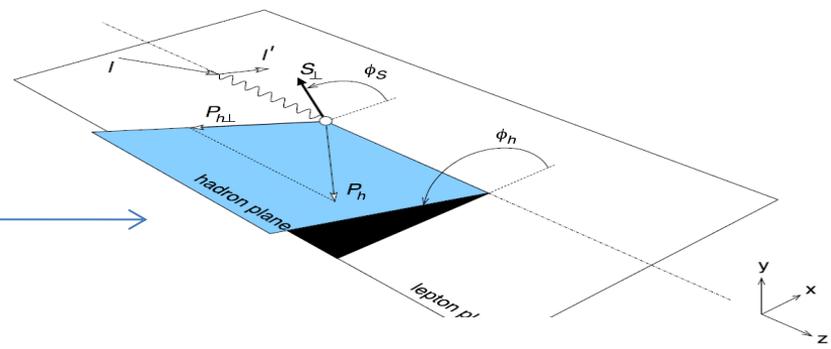
descrivono la frammentazione del quark (q) in un adrone non polarizzato (h)

D_1 quark non polarizzato

H_1^\perp quark trasversalmente polarizzato (Collins FF)

(correlazione tra il momento trasverso dell'adrone e lo spin trasverso del quark, nella frammentazione)

la sezione d'urto SIDIS ha diverse modulazioni azimutali nell'angolo della polarizzazione del quark (ϕ_S) e nell'angolo dell'adrone (ϕ_h) calcolate nel **Gamma Nucleon System (GNS)**



$$\frac{d^6\sigma}{dx_B dy dz_h d\phi_h dP_{h\perp}^2 d\phi_S} = \frac{\alpha_{em}^2}{x_B y Q^2} \left\{ \left(1 - y + \frac{1}{2}y^2\right) F_{UU,T} + (1 - y)F_{UU,L} \right.$$

$$+ (2 - y)\sqrt{1 - y} \cos \phi_h F_{UU}^{\cos \phi_h} + (1 - y) \cos 2\phi_h F_{UU}^{\cos 2\phi_h} + \lambda_e y \sqrt{1 - y} \sin \phi_h F_{LU}^{\sin \phi_h}$$

$$+ S_{\parallel} \left[(2 - y)\sqrt{1 - y} \sin \phi_h F_{UL}^{\sin \phi_h} + (1 - y) \sin 2\phi_h F_{UL}^{\sin 2\phi_h} \right]$$

$$+ S_{\parallel} \lambda_e \left[y \left(1 - \frac{1}{2}y\right) F_{LL} + y \sqrt{1 - y} \cos \phi_h F_{LL}^{\cos \phi_h} \right]$$

$$+ S_{\perp} \left[\sin(\phi_h - \phi_S) \left(\left(1 - y + \frac{1}{2}y^2\right) F_{UT,T}^{\sin(\phi_h - \phi_S)} + (1 - y)F_{UT,L}^{\sin(\phi_h - \phi_S)} \right) \right.$$

$$+ (1 - y) \sin(\phi_h + \phi_S) F_{UT}^{\sin(\phi_h + \phi_S)} + (1 - y) \sin(3\phi_h - \phi_S) F_{UT}^{\sin(3\phi_h - \phi_S)}$$

$$+ (2 - y)\sqrt{1 - y} \sin \phi_S F_{UT}^{\sin \phi_S} + (2 - y)\sqrt{1 - y} \sin(2\phi_h - \phi_S) F_{UT}^{\sin(2\phi_h - \phi_S)} \left. \right]$$

$$+ S_{\perp} \lambda_e \left[y \left(1 - \frac{1}{2}y\right) \cos(\phi_h - \phi_S) F_{LT}^{\cos(\phi_h - \phi_S)} + y \sqrt{1 - y} \cos \phi_S F_{LT}^{\cos \phi_S} \right.$$

$$\left. \left. + y \sqrt{1 - y} \cos(2\phi_h - \phi_S) F_{LT}^{\cos(2\phi_h - \phi_S)} \right] \right\}.$$

ciascuna **ampiezza** è legata a differenti **Funzioni di Struttura F** che possono dipendere da $\mathbf{x}, \mathbf{z}, \mathbf{P}_T; Q^2$

f_1
 g_1
 h_1 \otimes $D_{1\perp}$
 $H_{1\perp}$
 \cdot
 \cdot
 \cdot

S_{\perp} S_{\parallel} λ_e beam polarization
 transverse and longitudinal target spin w.r.t the virtual photon direction

modulazioni azimutali indipendenti → le loro ampiezze possono essere calcolate dagli stessi dati

tutte queste ampiezze sono state misurate in COMPASS su deuterio polarizzato e su protone polarizzato

$$\frac{d^6\sigma}{dx_B dy dz_h d\phi_h dP_{h\perp}^2 d\phi_S} = \frac{\alpha_{em}^2}{x_B y Q^2} \left\{ \left(1 - y + \frac{1}{2}y^2\right) F_{UU,T} + (1 - y) F_{UU,L} \right.$$

$$+ (2 - y) \sqrt{1 - y} \cos \phi_h F_{UU}^{\cos \phi_h} + (1 - y) \cos 2\phi_h F_{UU}^{\cos 2\phi_h} + \lambda_e y \sqrt{1 - y} \sin \phi_h F_{LU}^{\sin \phi_h}$$

$$+ S_{\parallel} \left[(2 - y) \sqrt{1 - y} \sin \phi_h F_{UL}^{\sin \phi_h} + (1 - y) \sin 2\phi_h F_{UL}^{\sin 2\phi_h} \right]$$

$$+ S_{\parallel} \lambda_e \left[y \left(1 - \frac{1}{2}y\right) F_{LL} + y \sqrt{1 - y} \cos \phi_h F_{LL}^{\cos \phi_h} \right]$$

$$+ S_{\perp} \left[\sin(\phi_h - \phi_S) \left(\left(1 - y + \frac{1}{2}y^2\right) F_{UT,T}^{\sin(\phi_h - \phi_S)} + (1 - y) F_{UT,L}^{\sin(\phi_h - \phi_S)} \right) \right.$$

$$+ (1 - y) \sin(\phi_h + \phi_S) F_{UT}^{\sin(\phi_h + \phi_S)} + (1 - y) \sin(3\phi_h - \phi_S) F_{UT}^{\sin(3\phi_h - \phi_S)}$$

$$+ (2 - y) \sqrt{1 - y} \sin \phi_S F_{UT}^{\sin \phi_S} + (2 - y) \sqrt{1 - y} \sin(2\phi_h - \phi_S) F_{UT}^{\sin(2\phi_h - \phi_S)} \left. \right]$$

$$+ S_{\perp} \lambda_e \left[y \left(1 - \frac{1}{2}y\right) \cos(\phi_h - \phi_S) F_{LT}^{\cos(\phi_h - \phi_S)} + y \sqrt{1 - y} \cos \phi_S F_{LT}^{\cos \phi_S} \right.$$

$$\left. + y \sqrt{1 - y} \cos(2\phi_h - \phi_S) F_{LT}^{\cos(2\phi_h - \phi_S)} \right] \left. \right\}.$$

S_{\perp} S_{\parallel} λ_e beam polarization

transverse and longitudinal target spin w.r.t the virtual photon direction

non
dipendenti
dallo spin

dipendenti
dalla
polarizzazione
longitudinale

dipendenti dalla
polarizzazione
trasversa

il mio lavoro principale e` di **analisi dati**

- sulla stabilita` dei dati (presi durante 2007 e 2010) su protone polarizzato trasversalmente per le misure delle asimmetrie di Collins e Sivers (e altre ...)
- x-check sull'estrazione delle asimmetrie su deuterio polarizzato longitudinalmente (dati presi dal 2002 al 2004) in collaborazione con il gruppo di Dubna
- estrazione delle asimmetrie non dipendenti dalla polarizzazione (dati presi nel 2004) e argomento principale della mia tesi di dottorato

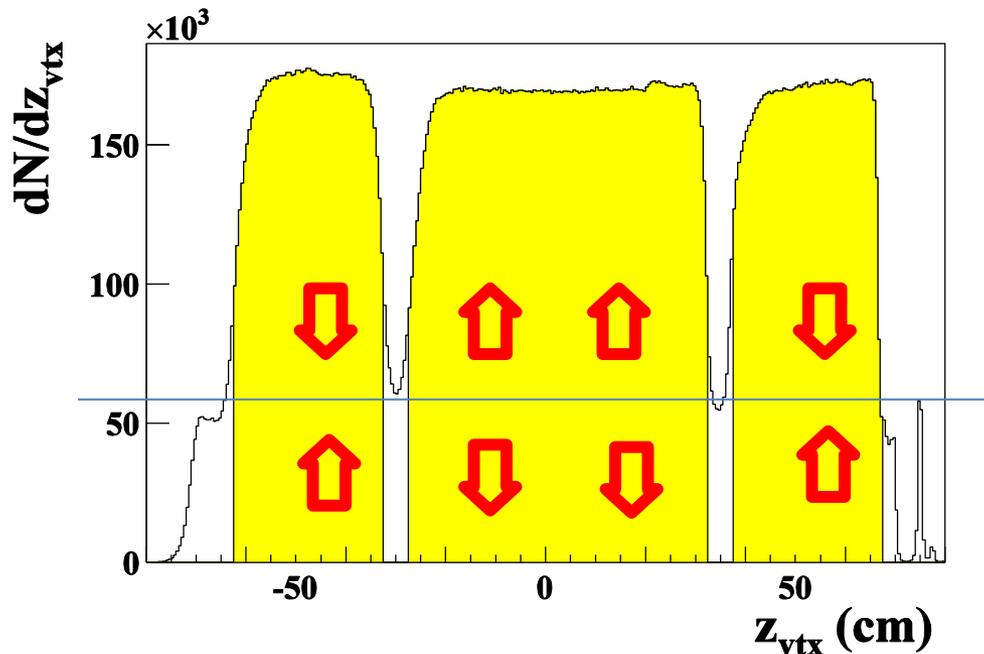
nelle slides seguenti faro` una breve descrizione sui lavori di cui ai primi due punti, in seguito descrivero` in modo piu` dettagliato l'analisi sulle asimmetrie non polarizzate

ulteriori studi (non trattati in questa presentazione...):

- misura della molteplicita` degli adroni carichi nel DIS
- asimmetrie di spin nella produzione di coppie di adroni carichi nel DIS

stabilita` dei dati per le asimmetrie
dipendenti dallo spin trasverso

asimmetrie previste sono piccole (qualche %) → effetti sistematici/accettanza !



il bersaglio di COMPASS composto da 3 celle polarizzate in modo opposto.

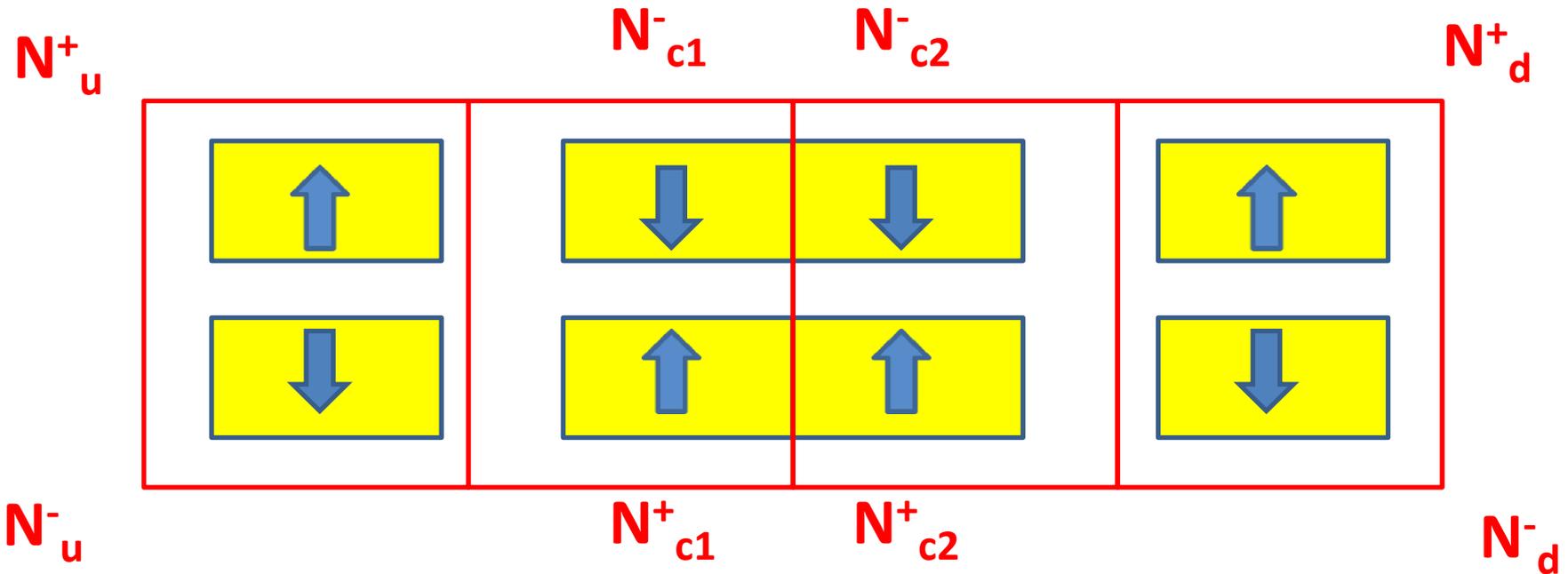
La polarizzazione viene cambiata ogni settimana per minimizzare gli effetti sistematici

distribuzione della coordinata lungo il fascio del vertice di interazione ricostruito

due settimane compongono un periodo → dati da cui si estraggono le asimmetrie (2010: 12 periodi)

All'interno di un periodo le condizioni dello spettrometro sono il più possibile stabili

Le otto **distribuzioni azimutali** ottenute per ogni (sotto-)cella e sotto-periodo vengono combinate per estrarre le asimmetrie fisiche cancellando al primo ordine i possibili (piccoli) contributi dovuti all'accettanza



$$\frac{N_u^+ \quad N_d^+ \quad N_{c1}^+ \quad N_{c2}^+}{N_u^- \quad N_d^- \quad N_{c1}^- \quad N_{c2}^-} \longrightarrow 1 + 8A$$

dove A è la
asimmetria che
si vuole misurare
(estratta con un fit)

se l'accettanza cambia in modo uguale per tutte le celle, tra un sotto-periodo e l'altro

diventa cruciale controllare la stabilità dei dati all'interno di ogni periodo e che viene fatta offline a diversi livelli :

- monitorando l'andamento nel tempo delle quantità ricostruite ad esempio: numero di vertici, numero di tracce,
- monitorando alcune quantità fisiche la massa ricostruita della K0, la sua risoluzione, il numero di K0 ricostruite

• monitorando l'andamento delle variabili cinematiche ottenute per ogni run (diversi run (centinaia) formano un sotto-periodo)

→ eventuale esclusione di alcuni run (oppure di alcuni trigger....) su base statistica

• monitorando delle distribuzioni azimutali ottenute combinando in modo opportuno N_u^+ etc, in modo da cancellare le asimmetrie

→ eventuale esclusione di interi sotto-periodi (nessuno nel 2010)



io mi sono occupato dell' implementazione dei programmi e controllo dei risultati relativi a questa parte



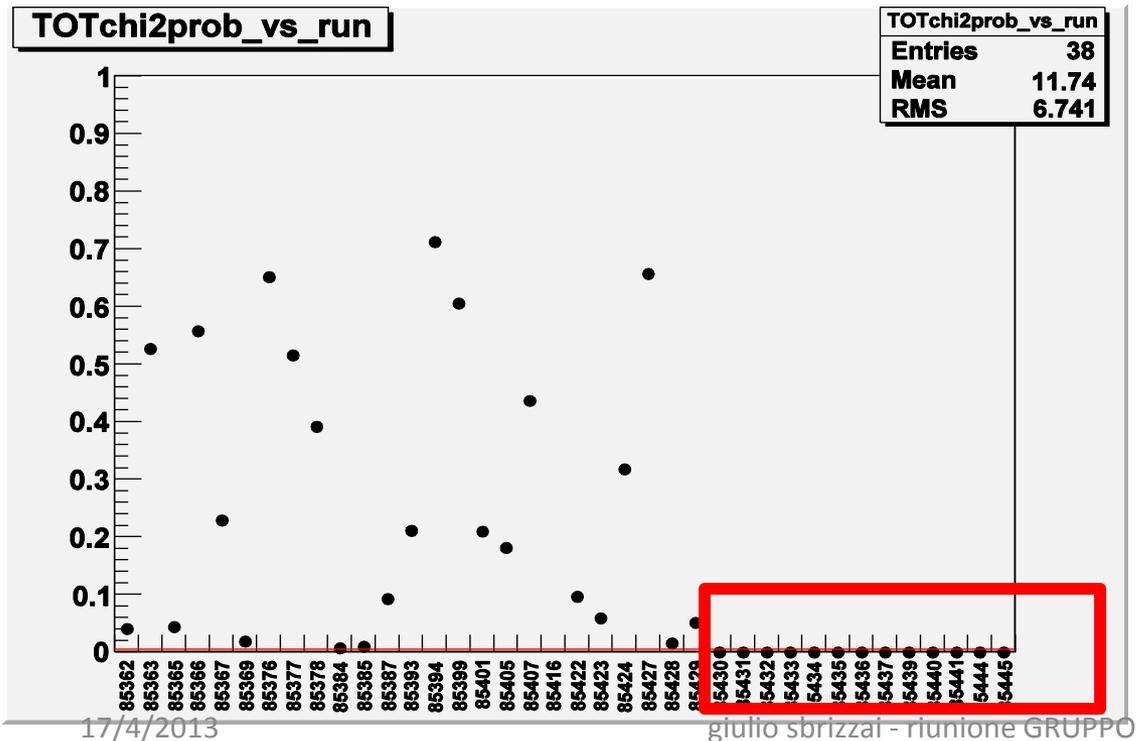
kinematical distribution stability

also trigger by trigger

- calculate **kinematical distributions** from **each run**
- make the **ratio with the total** (from the other sub-period)
- **fit** with a **constant** and extract the **probability of the χ^2**

10 variables monitored: X_{bj} y θ_h ϕ_h Q^2 E_h $E_{\mu'}$ $\theta_{\mu'}$ P_T $\phi_{\mu'}$ (angles and energy in the lab)

look for “bad” groups of data → reject them



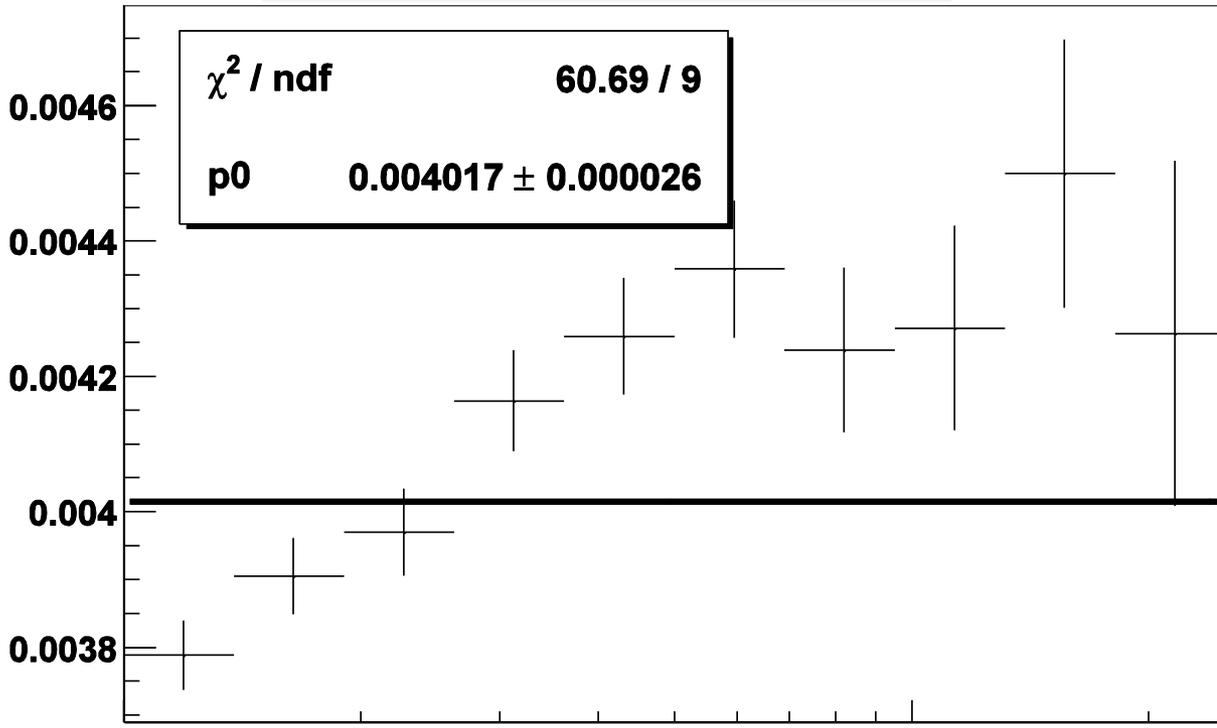
*example from
P2 (MT,CT)
(second sub-period)*



kinematical distribution stability

look for “very bad” χ^2 runs \rightarrow reject them

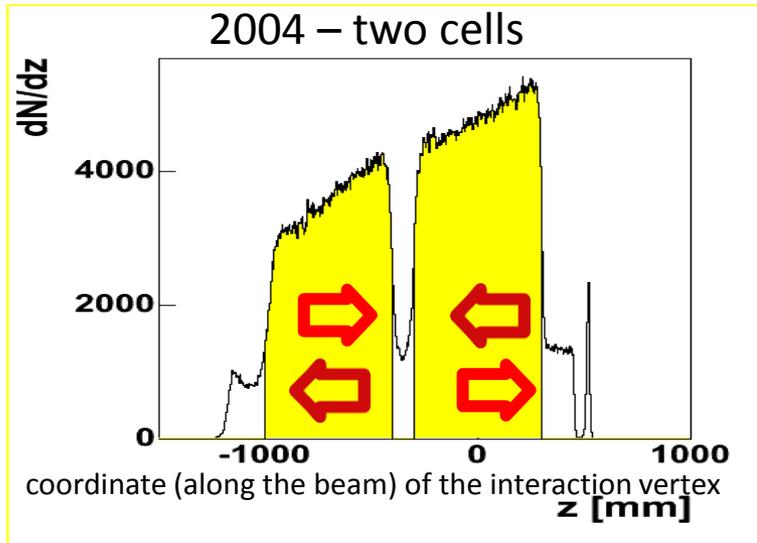
run88735 Q2



misura delle asimmetrie azimutali dipendenti
dalla polarizzazione longitudinale

metodo di misura analogo a quello delle asimmetrie trasverse

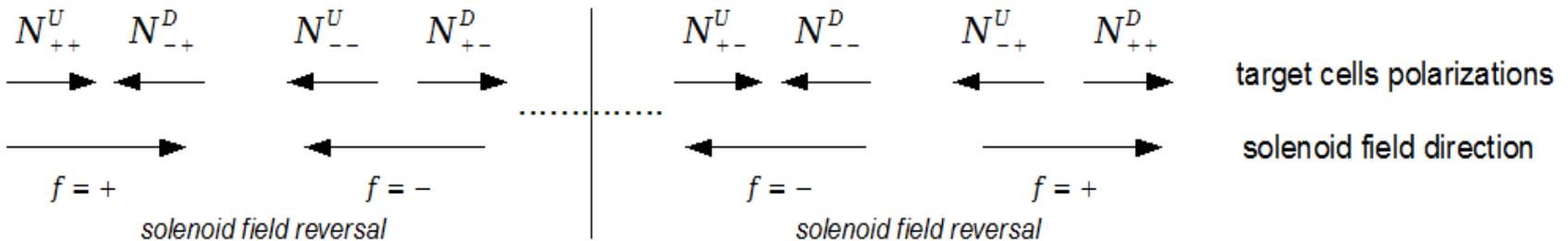
- celle polarizzate in modo opposto
- inversione periodica della polarizzazione tramite rotazione del campo magnetico del solenoide posto attorno alle celle (circa ogni 8 ore)



$$N^U_+ \quad N^D_-$$

$$N^U_- \quad N^D_+$$

microwave reversal



metodo di misura analogo a quello delle asimmetrie trasverse

- celle polarizzate in modo opposto
- inversione periodica della polarizzazione tramite rotazione del campo magnetico del solenoide posto attorno alle celle (circa ogni 8 ore)

di questa analisi ho fatto :

- il x-check delle misure ottenute dal gruppo di Dubna (necessario per ogni release)
- studi sulla sistematica (asimmetrie previste molto piccole !)

qui cito I test di sistematica piu` rilevanti:

- **confronto delle asimmetrie**
(ottenute da dati indipendenti)
diverse orientazioni del campo magnetico del bersaglio (traiettorie delle particelle diverse...)
anni diversi
e diversi sottogruppi di dati all'interno dello stesso anno

- **effetti di accettazione residua**

$$\frac{N_{+}^U \cdot N_{-}^U}{N_{-}^D \cdot N_{+}^D}$$

- **simulazioni MC** per studiare possibili false asimmetrie

Nessuna evidenza di effetti sistematici (rispetto agli errori statistici) riscontrata

Risultati

Le ampiezze delle modulazioni azimutali longitudinali sono state estratte in funzione di x , z and P_T^h (*momento trasverso dell'adrone nel GNS*) dai dati di deuterio polarizzato longitudinalmente (2002-2004)

separatamente per adroni positivi e negativi
ottenuti dalla current fragmentation region ($z > 0.2$, $z < 0.9$, $0.1 < P_T^h < 1$ GeV)
degli eventi DIS ($Q^2 > 1$ GeV², $0.1 < y < 0.9$, $W > 5$ GeV)

Le 3 ampiezze misurate sono piccole e compatibili con zero con la attuale precisione

La teoria predice effetti piccoli (higher twist) importante verificarlo !

pubblicati:

M.G. Aleksev *et al.* (The COMPASS Collaboration)

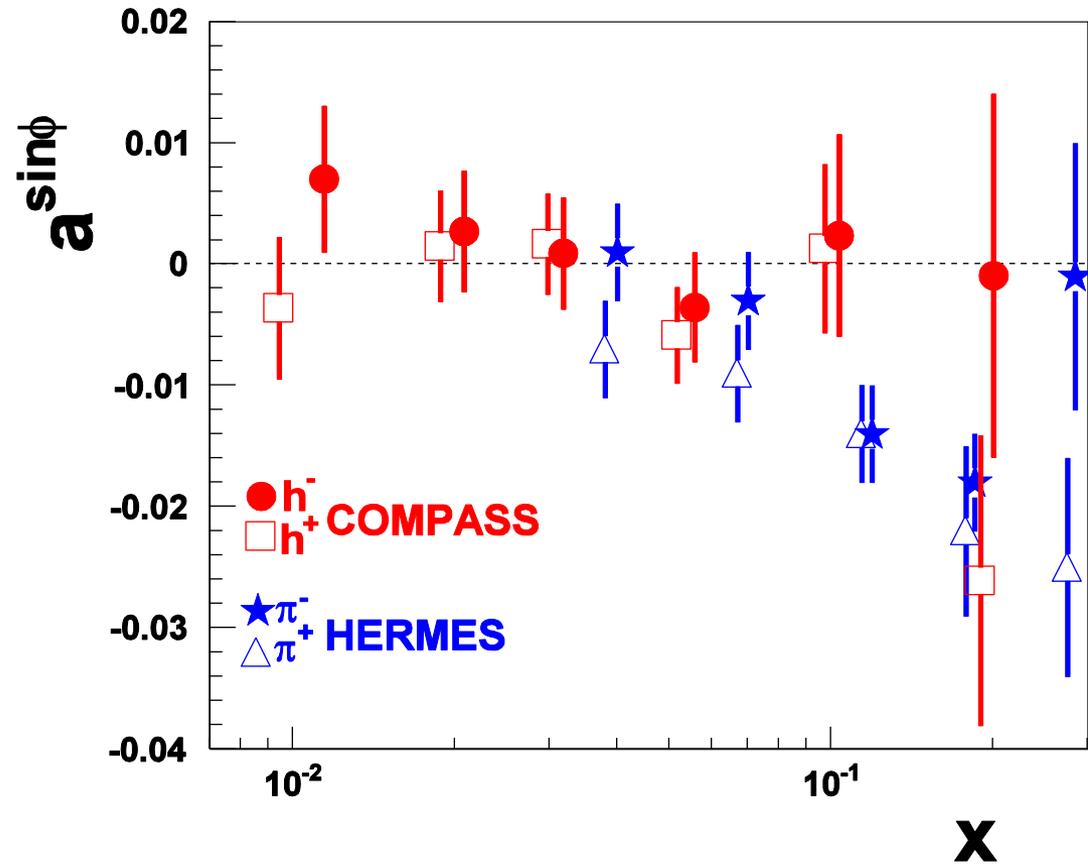
Eur. Phys. J. **70** (2010) 39-49

nella prossima slide: un esempio ... →

$$a^{\sin \phi_h} \propto \frac{F_{UL}^{\sin \phi_h}}{F_{UU}}$$

higher twist term

it seems that **this twist 3 effect**, visible in HERMES, is negligible at **COMPASS energies** (higher Q^2)



misura delle asimmetrie non dipendenti dallo spin

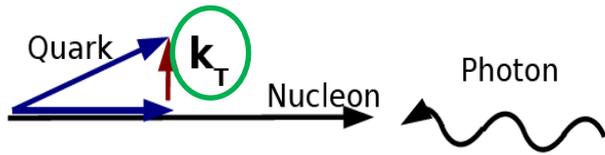
SIDIS non polarizzato:

ci sono tre modulazioni azimutali indipendenti previste nella distribuzione degli adroni

$$N(\phi_h) \propto N_0 \cdot (1 + \varepsilon_1 A_{\cos \phi_h}^{UU} \cos \phi_h + \varepsilon_2 A_{\cos 2\phi_h}^{UU} \cos 2\phi_h + \lambda_1 \varepsilon_3 A_{\sin \phi_h}^{LU} \sin \phi_h)$$



mainly **Cahn** effect: **kinematical effect** proportional to the **quark transverse momentum**



$$d\sigma^{lq \rightarrow lq} \propto \hat{s}^2 + \hat{u}^2 \propto \left(1 + \varepsilon_1 \frac{k_{\perp}}{Q} \cos \varphi \right)$$

Boer-Mulders (*T-odd* !) function, one of the most famous **TMD PDF**, convoluted with the **Collins FF**



the **Boer-Mulders** function correlates the **quark transverse momentum** and the **quark spin** in an **unpolarized nucleon**

higher twist effect proportional to beam polarization

no clear interpretation in terms of PM

	U	L	T
U	f_1 number density q		f_{1T}^{\perp}
L		g_1 helicity Δq	g_{1T}^{\perp}
T	h_1^{\perp} 	h_{1L}^{\perp} 	h_1 transversity h_{1T}^{\perp}

SIDIS non polarizzato:

ci sono tre modulazioni azimutali indipendenti previste nella distribuzione degli adroni

$$N(\phi_h) \propto N_0 \cdot (1 + \varepsilon_1 A_{\cos \phi_h}^{UU} \cos \phi_h + \varepsilon_2 A_{\cos 2\phi_h}^{UU} \cos 2\phi_h + \lambda_l \varepsilon_3 A_{\sin \phi_h}^{LU} \sin \phi_h)$$

Le ampiezze sono state misurate in funzione delle variabili cinematiche \mathbf{x}, \mathbf{z} e \mathbf{P}_T^h separatamente per adroni positivi e negativi, dai dati 2004 presi con deuterio polarizzato trasversalmente
(*opportunamente bilanciando i dati presi con le polarizzazioni opposte*)

Per misurare le ampiezze dai dati sperimentali

e` necessario conoscere l'accettanza dell'apparato

(diversamente dalla misura delle asimmetrie dipendenti dallo spin)

l'accettanza geometrica e l'efficienza di ricostruzione non sono 100%

e possono generare delle modulazioni azimutali negli stessi angoli delle asimmetrie

Il metodo per estrarre le asimmetrie e' il seguente:

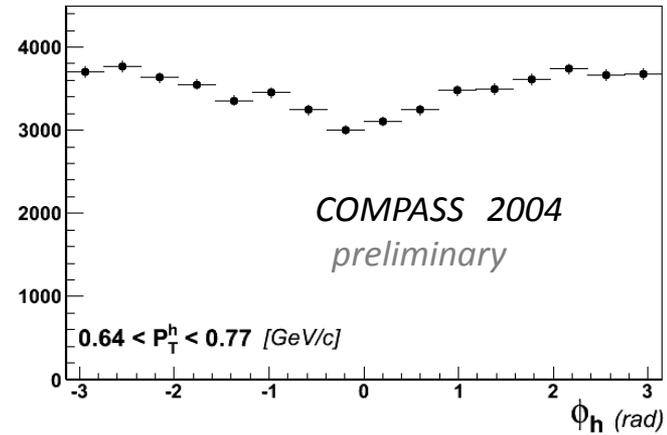
- In ogni bin k di \mathbf{x} , \mathbf{z} e \mathbf{P}_T^h
 - Le **distribuzioni azimutali misurate** devono essere **corrette** per l'**accettanza** dell'**apparato**

$$N_k^{corr}(\phi_h) = \frac{N_k(\phi_h)}{Acc_k(\phi_h)}$$

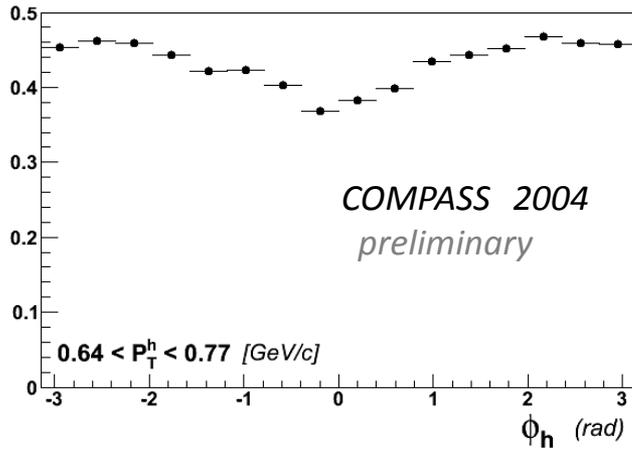
- L'accettanza azimutale e' calcolata tramite **simulazioni MC dedicate**

$$Acc_k(\phi_h) = \frac{R_k^{mc}(\phi_h)}{G_k^{mc}(\phi_h)}$$

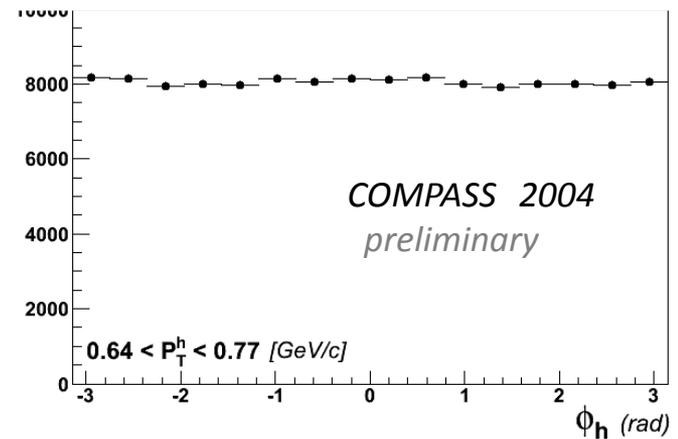
MC rec. azimuthal distribution



azimuthal acceptance



MC gen. azimuthal distribution



catena MC: 3 differenti steps

generazione (LEPTO)

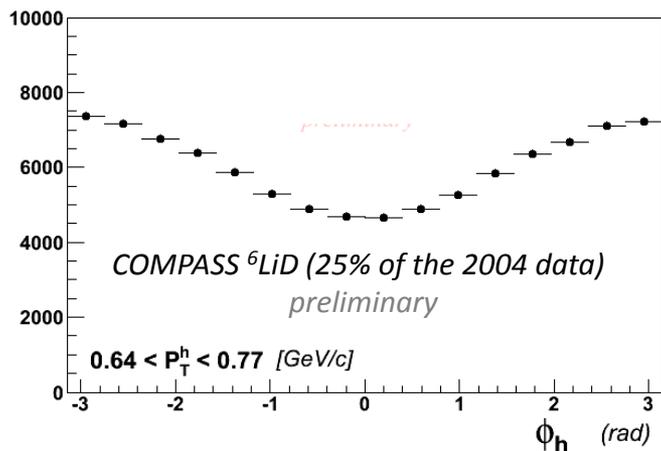


propagazione (COMGEANT)

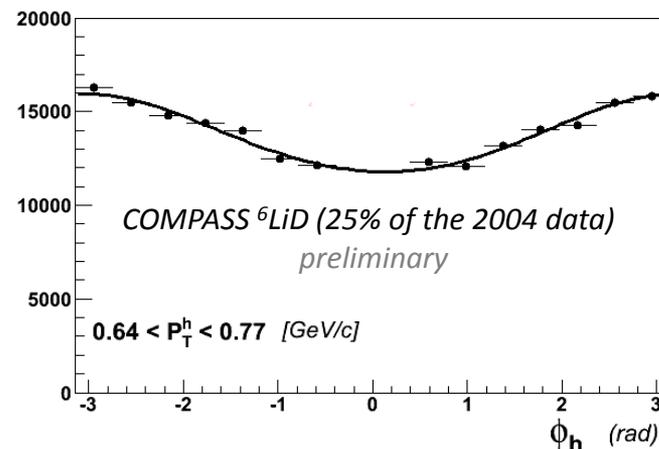


ricostruzione (CORAL)

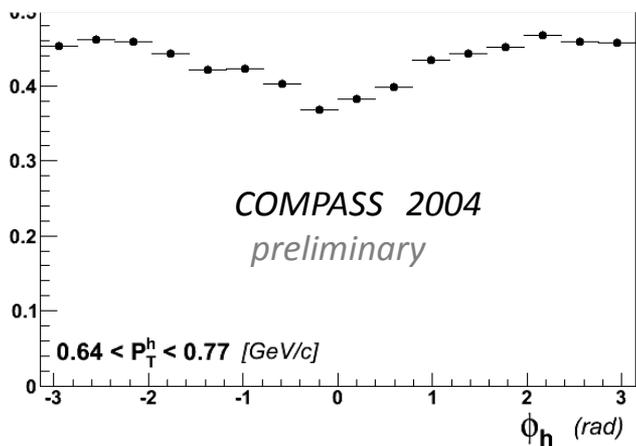
measured azimuthal distribution



measured azimuthal distributions corrected by the acceptance



azimuthal acceptance



amplitudes extracted with a fit:

$$p_0 \cdot (1 + p_1 \cdot \cos \phi_h + p_2 \cdot \cos 2\phi_h + p_3 \cdot \sin \phi_h)$$

particolare attenzione e` stata dedicata
allo studio degli **effetti di accettazione**

In particolare gli **effetti azimutali di accettazione** dell'apparato in funzione delle altre variabili cinematiche sono stati studiati in dettaglio in modo da **escludere le regioni che introducono grandi correzioni nelle asimmetrie misurate** (sopra il 50% in alcuni bin)

→ **nuovi tagli cinematici sono stati introdotti:**

$$Q^2 > 1 \text{ (GeV/c)}^2$$

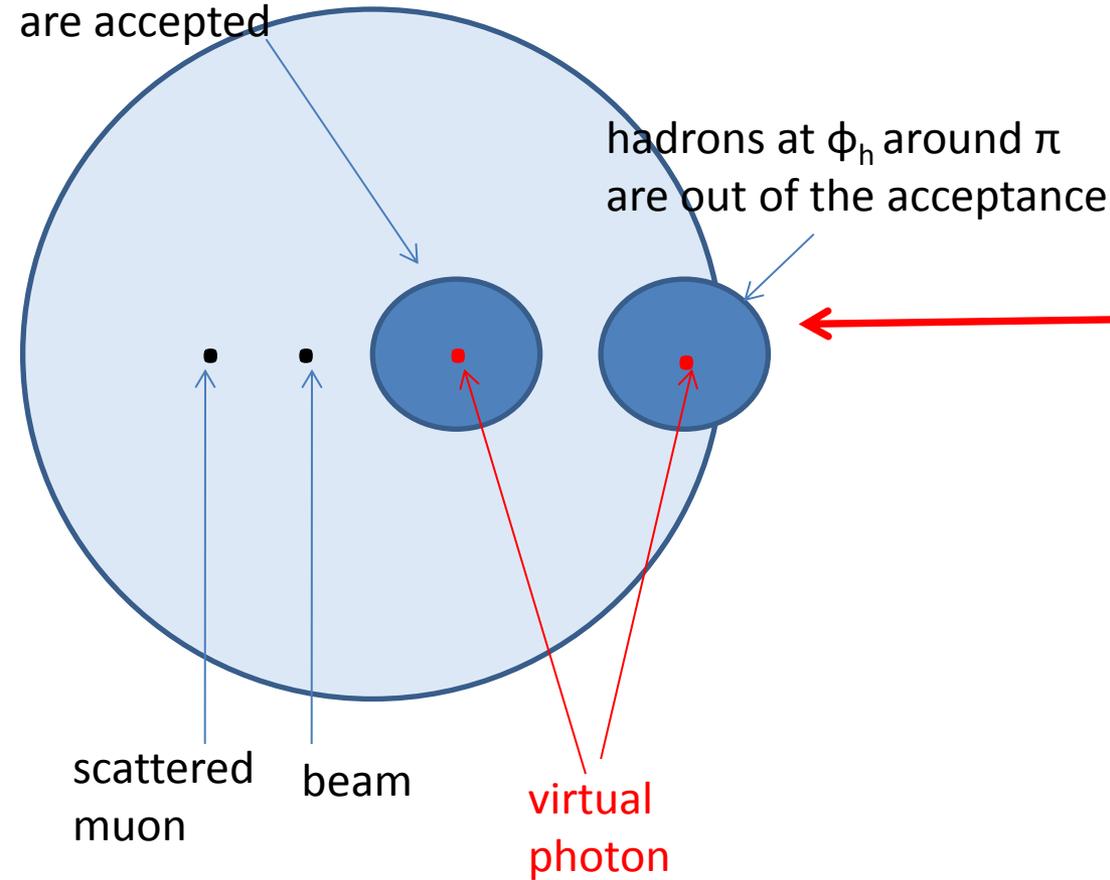
$$-0.9 < y < 0.9$$

$$W > 5 \text{ GeV/c}^2$$

$$0.2 < z < 0.85$$

$$0.1 < P_h^T \text{ GeV/c}$$

most of the produced hadrons
are accepted



$$Q^2 > 1 \text{ (GeV/c)}^2$$

$$\theta_v^{\text{lab}} < 0.06$$

$$0.003 < x < 0.13$$

$$0.2 < y < 0.9$$

$$W > 5 \text{ GeV/c}^2$$

$$0.2 < z < 0.85$$

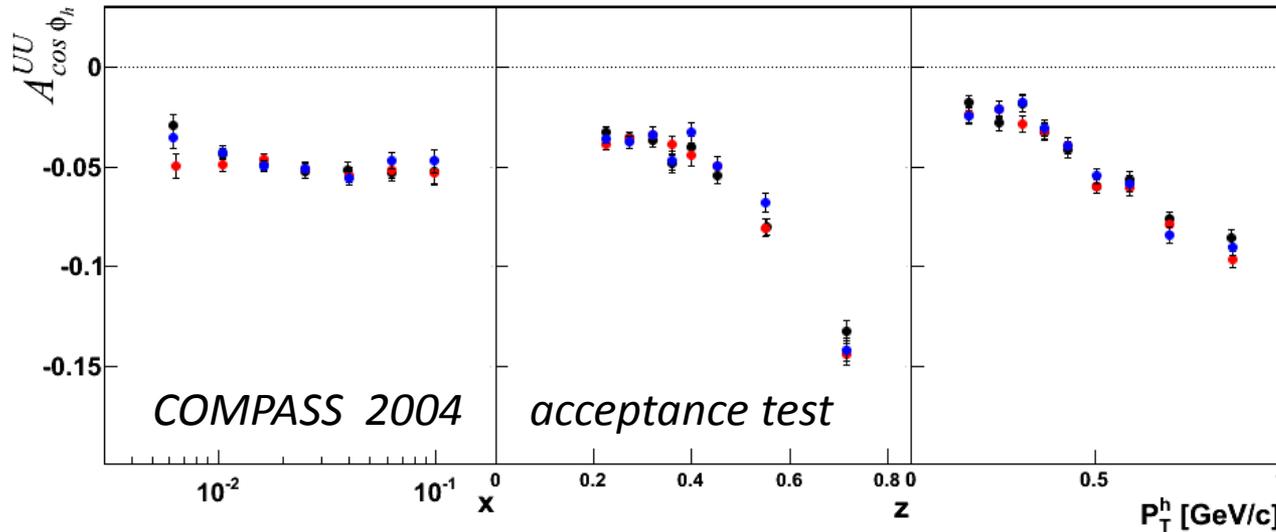
$$0.1 < P_h^T < 1 \text{ GeV/c}$$

le grandi correzioni date dall'accettanza sono state eliminate

Studi di sistematica

Gli errori sistematici sono stati calcolati dai seguenti studi:

- differenze tra le ampiezze delle modulazioni azimuthali calcolate dagli stessi dati ma estratte usando 3 diversi MC (cambiando alcuni parametri in generazione)



come si vede comunque le differenze sono piccole come ci si aspetta se:

$$Acc_k(\phi_h) = \frac{R_k^{mc}(\phi_h)}{G_k^{mc}(\phi_h)} = \frac{\int G_k^{mc}(\phi_h, x) \cdot Acc_k(\phi_h) dx}{G_k^{mc}(\phi_h)}$$

Studi di sistematica

Gli errori sistematici sono stati calcolati dai seguenti studi:

- differenze tra le ampiezze delle modulazioni azimutali calcolate dagli stessi dati ma estratte usando 3 diversi MC (cambiando alcuni parametri in generazione)
- differenze tra le ampiezze delle modulazioni azimutali calcolate da due set di dati diversi (configurazione a bersaglio longitudinale e trasverso: differenti setup → differenti descrizioni MC)
- stima di possibili effetti azimutali dovuti a inefficienze di rivelatori nelle regioni a bassa ridondanza

I differenti contributi sono stati sommati in quadratura:

$$\sigma_{sys} = 2 \cdot \sigma_{stat}$$

altri studi ...

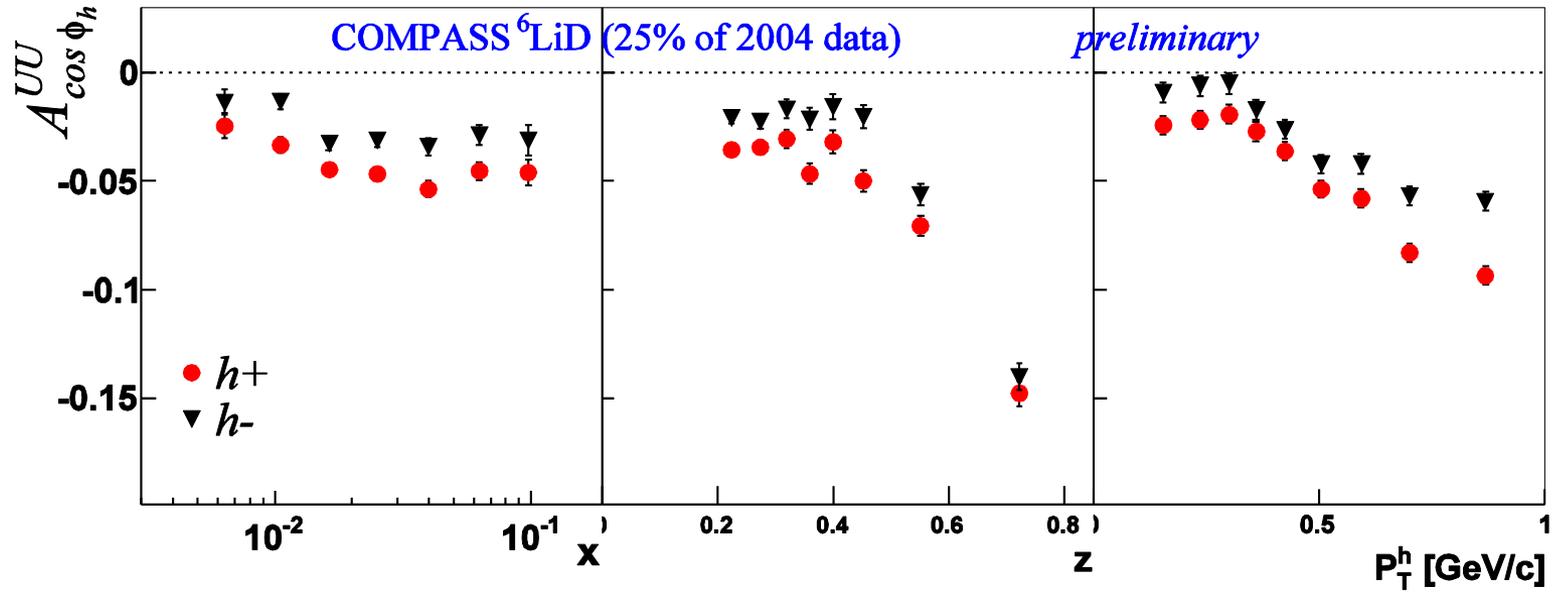
- possibili effetti dovuti a correzioni radiative calcolati con RADGEN sono trascurabili
- ulteriori modulazioni introdotte nella funzione di fit oltre a quelle previste dalla sezione d'urto



compatibili
con zero

... non inclusi nell'errore sistematico

Results extracted binning alternatively in x, z and P_T^h



$sys \approx 2 \cdot stat$

$$A_{\cos\phi_h}^{UU} = \frac{1}{Q} \text{Cahn} + \frac{1}{Q} \text{BM}$$

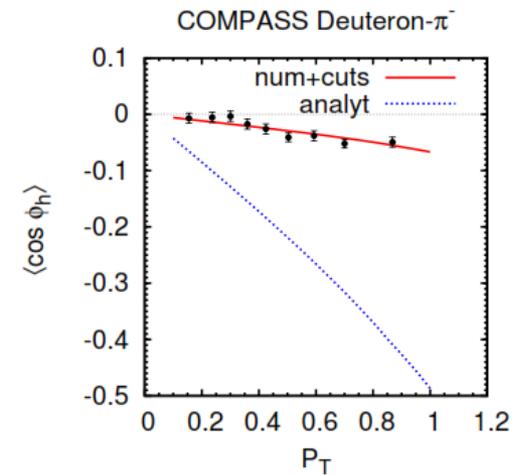
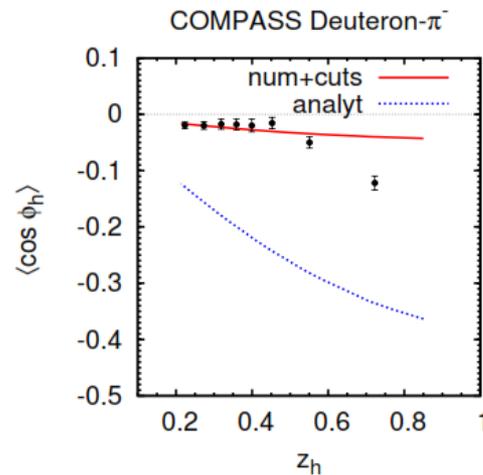
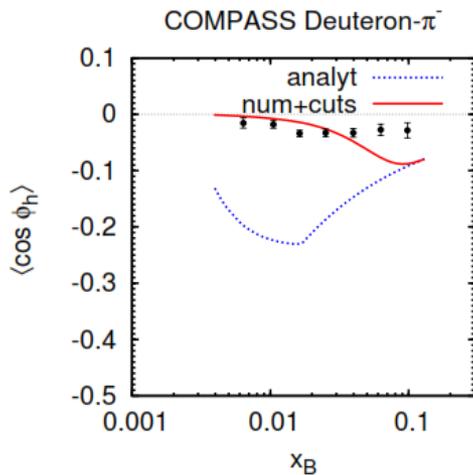
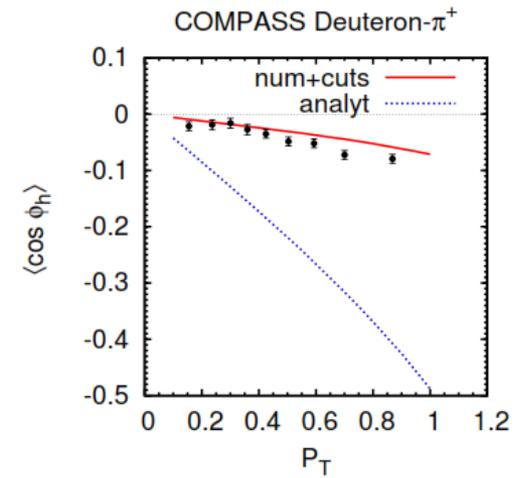
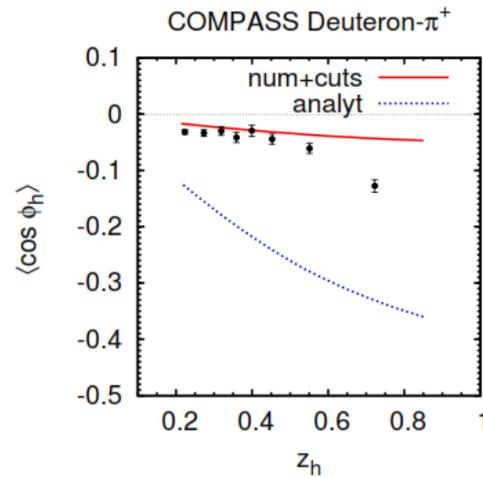
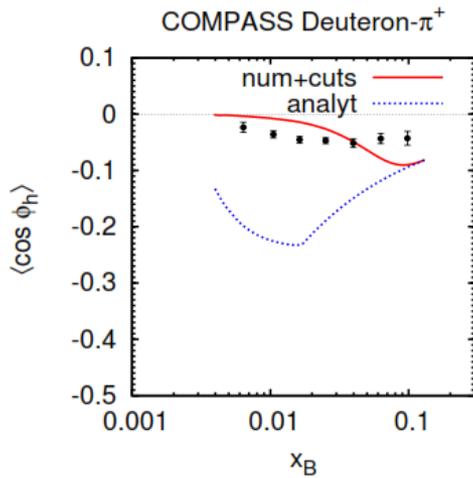
strong z dependence, for $z > 0.5$

important input to phenomenological predictions

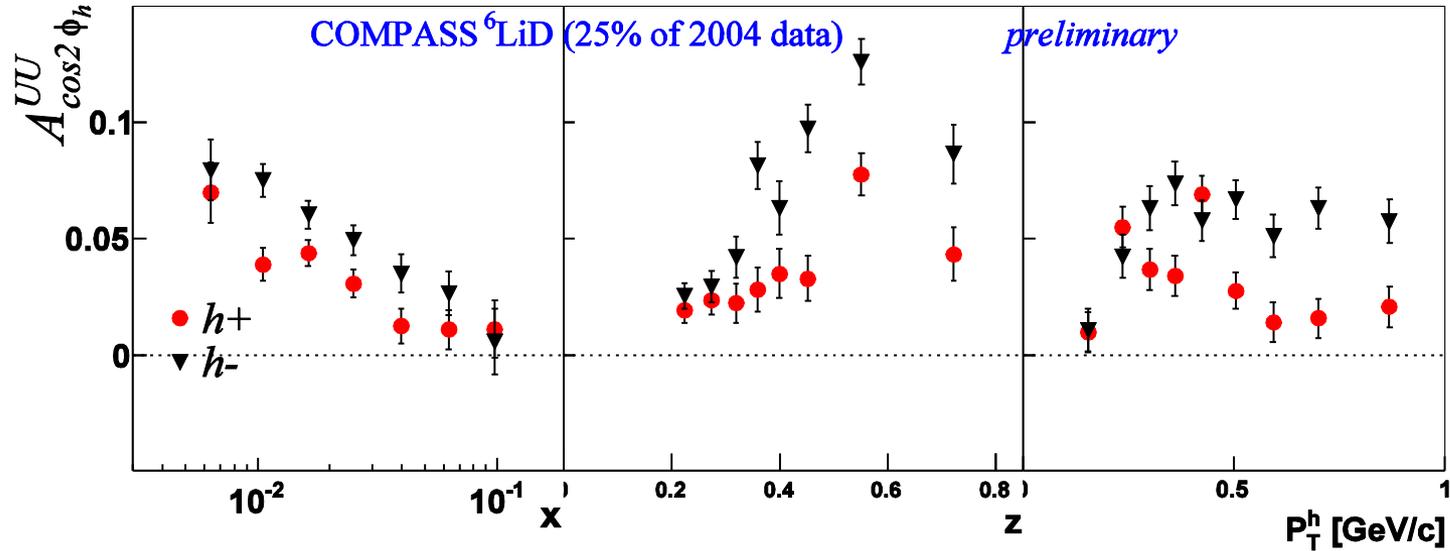


kinematical cuts had to be introduced for the quark intrinsic transverse momentum

$$f_{q/p}(x, k_{\perp}) = f_{q/p}(x) \frac{1}{1 - e^{-(k_{\perp}^{\max})^2 / \langle k_{\perp}^2 \rangle}} \frac{e^{-k_{\perp}^2 / \langle k_{\perp}^2 \rangle}}{\pi \langle k_{\perp}^2 \rangle}$$



Results extracted binning alternatively in x , z and P_T^h

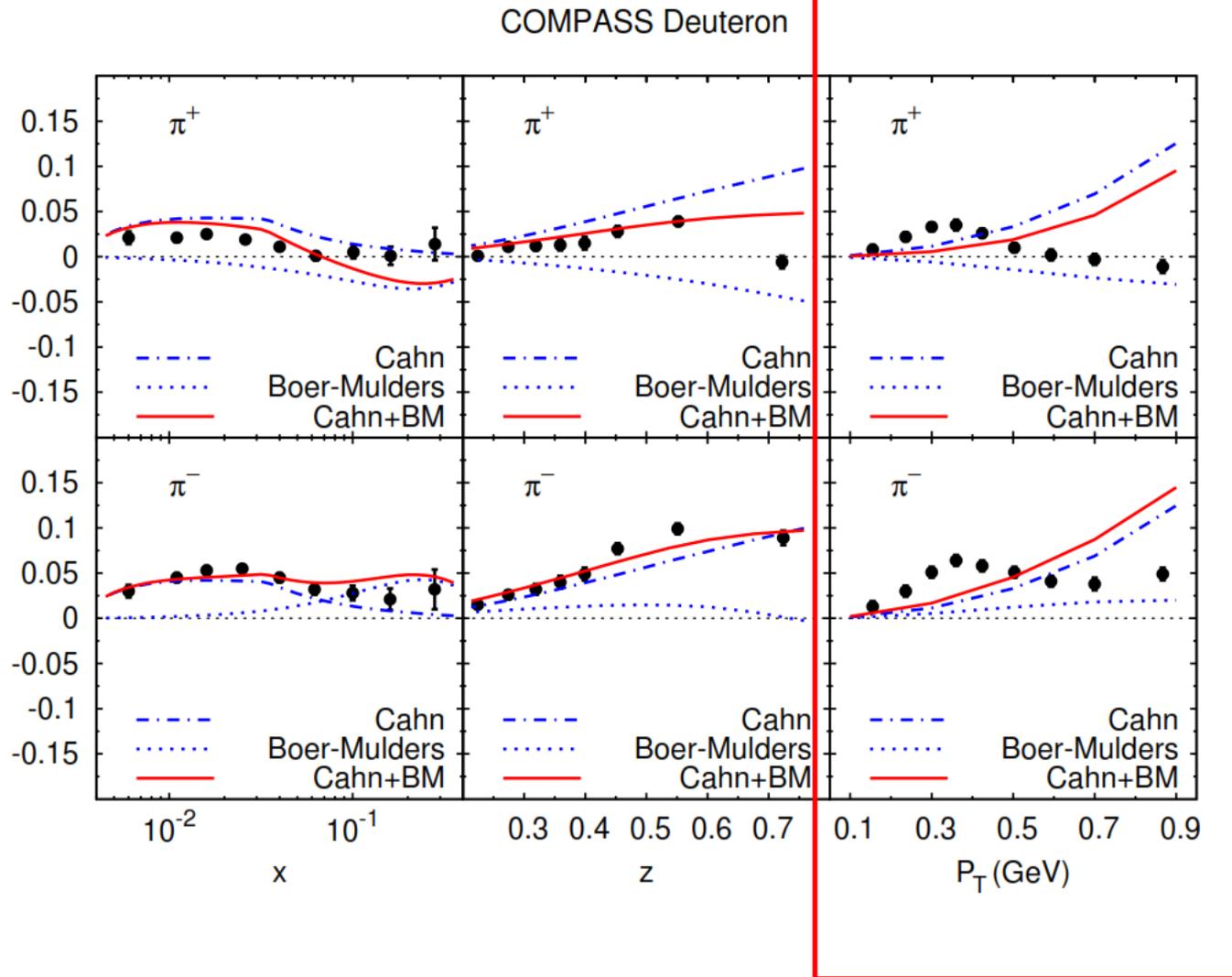


$sys \approx 2 \cdot stat$

$$A_{\cos 2\phi_h}^{UU} = BM + \frac{1}{Q^2} Cahn$$

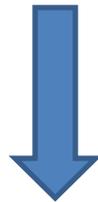
P_T^h dependence difficult to reproduce (PRD81, Barone, Melis, Prokudin)

$$A_{\cos 2\phi_h}^{UU}$$



P_T^h dependence difficult to reproduce (PRD81, Barone, Melis, Prokudin)

**dipendenze cinematiche inaspettate ed interessanti
ulteriori studi**



analisi multi dimensionale

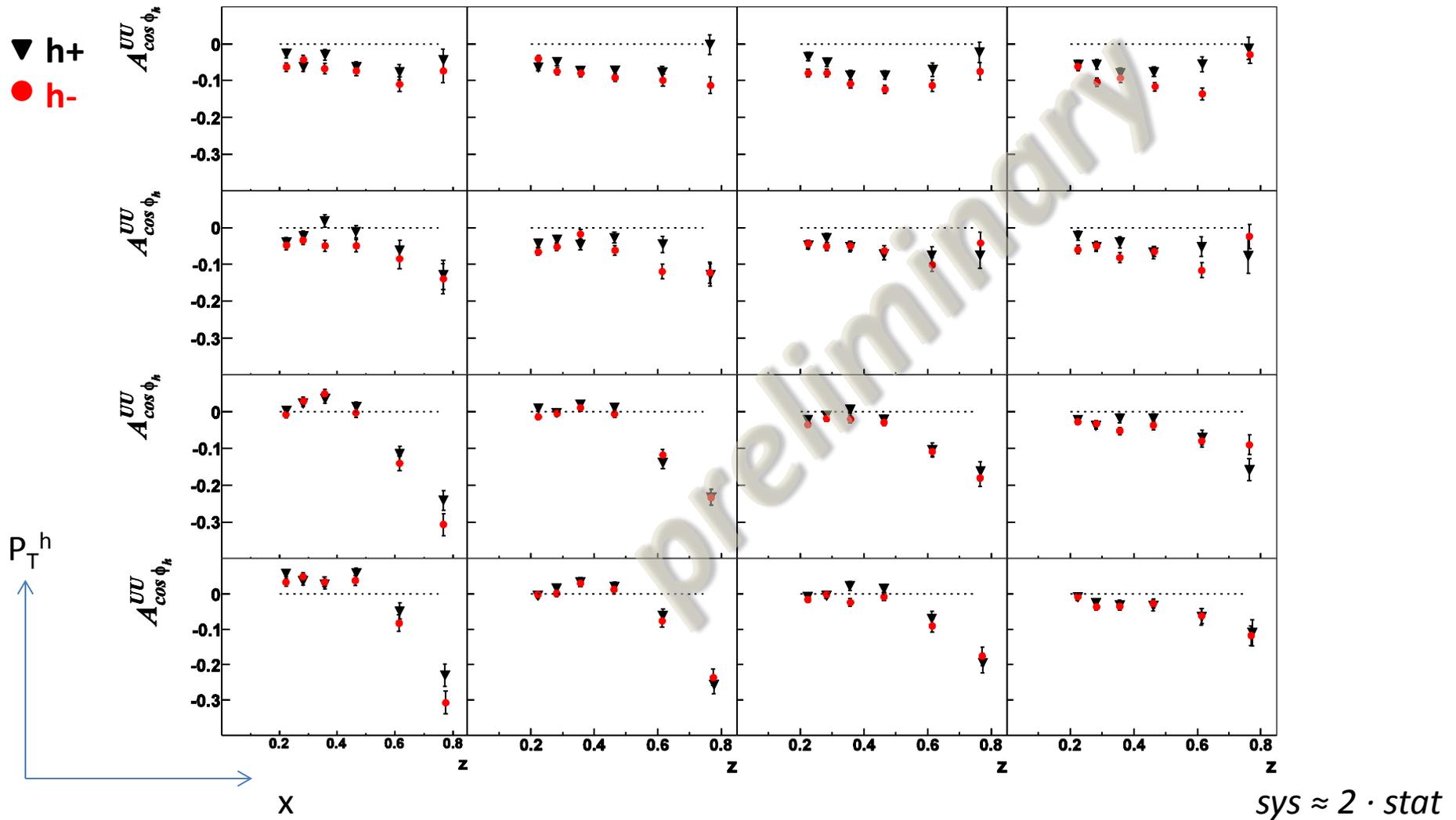
binning simultaneously in x , z and P_T^h

x	P_T^h	z
0.003 - 0.012	0.1 - 0.3	0.2 - 0.25
0.012 - 0.02	0.3 - 0.5	0.25 - 0.32
0.02 - 0.038	0.5 - 0.64	0.32 - 0.40
0.038 - 0.13	0.64 - 1.0	0.40 - 0.55
		0.55 - 0.70
		0.70 - 0.85

Risultati per

$$A^{UU} \cos \phi_h$$

(come esempio)



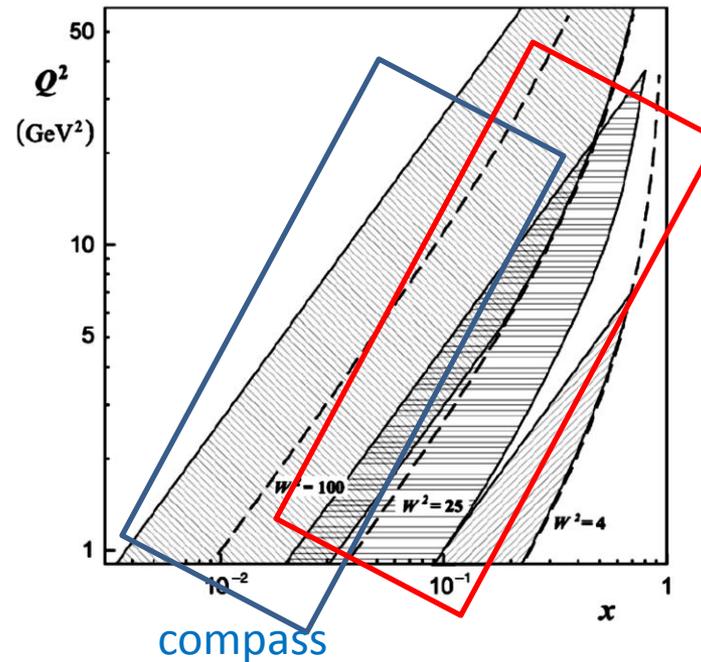
z strong dependence more evident at small x and small P_T^h

l'estrazione multi dimensionale delle asimmetrie permette anche un confronto migliore con I risultati (multi dim.) degli altri esperimenti

Per esempio **HERMES**
(differente regione x-Q²)

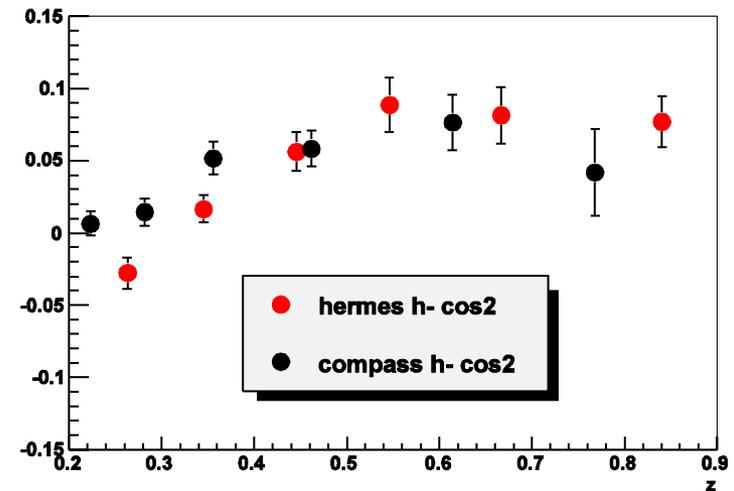
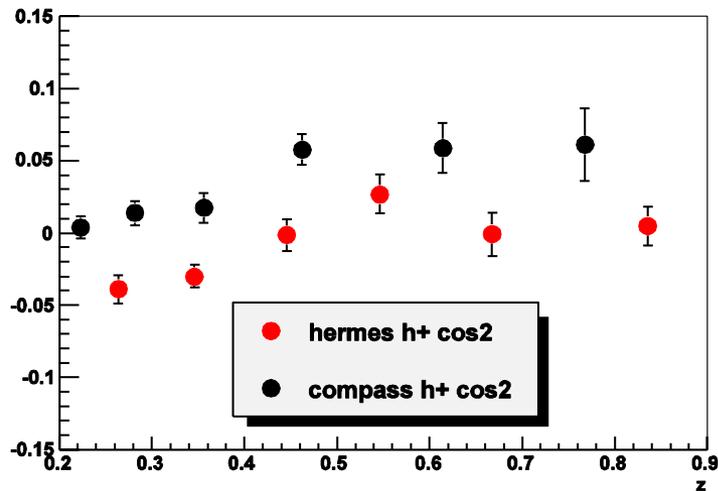
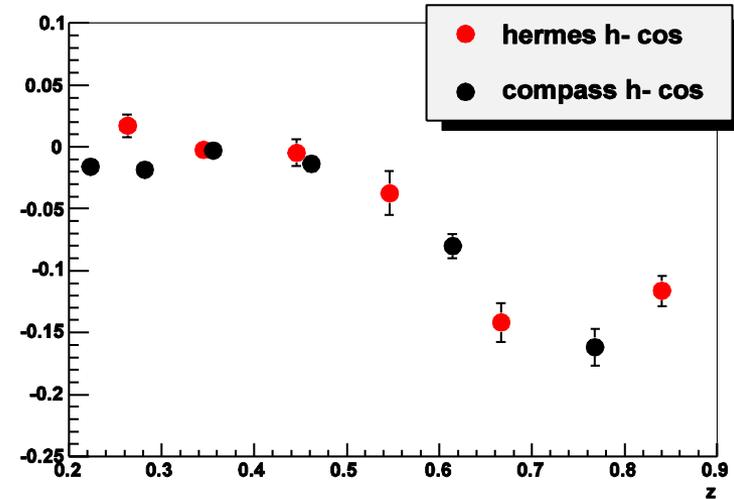
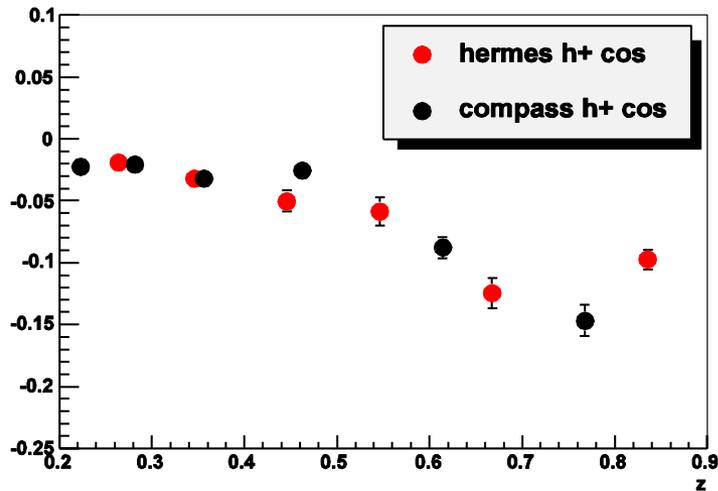
→ confronto dei risultati
in regione cinematica di
intersezione

$$\frac{\sum_{ij} A_{\cos\phi}^{ijk} \cdot n^{ij}}{\sum_{ij} n^{ij}}$$



un esempio interessante ...

(rimane comunque un fattore 2 tra i Q^2 medi dei due set di risultati)



paper in preparation ...

*Measurement of hadron azimuthal asymmetries in semi-inclusive
deep inelastic scattering off unpolarized nucleon*

(to be submitted to NPB)