



attivit  di
analisi dati
a Trieste



il gruppo di Trieste in COMPASS ha, come interesse principale, lo studio della struttura di spin e momento trasverso del nucleone

- **da sempre e' promotore e sostenitore delle misure di spin trasverso, e di momento trasverso, nel SIDIS**

fisica nuova, non sempre facile

- **ha avuto la responsabilita' di molte delle misure di Transverse Spin Asymmetries e osservabili Transverse Momentum Dependent nel SIDIS, e della scrittura dei relativi articoli**

in collaborazione soprattutto con Bonn, Erlangen, Friburgo, ... e **Torino**

- **ha avuto la responsabilita' della scrittura della proposta per il run del 2021 (SIDIS su $d\uparrow$)**

completamento del programma sulle TSA nel SIDIS



il gruppo di Trieste in COMPASS ha, come interesse principale, lo studio della struttura di spin e momento trasverso del nucleone

- da sempre e' promotore e sostenitore delle misure di spin trasverso, e di momento trasverso, nel SIDIS
fisica nuova, non sempre facile
- ha avuto la responsabilita' di molte delle misure di Transverse Spin Asymmetries e osservabili Transverse Momentum Dependent nel SIDIS, e della scrittura dei relativi articoli
in collaborazione soprattutto con Bonn, Erlangen, Friburgo, ... e Torino
- ha avuto la responsabilita' della scrittura della proposta per il run del 2021 (SIDIS su $d\uparrow$)
completamento del programma sulle TSA nel SIDIS

abbiamo contribuito anche ad altre analisi, in particolare alla proposta e all'analisi dei dati Drell-Yan 2015, 2018 (asimmetrie pesate, *Michela*)

ora che l'analisi dei dati SIDIS raccolti fino al 2010 e' essenzialmente finita,
la principale attivita' in corso e'

l'analisi dei dati SIDIS su p non polarizzati raccolti nel 2016/17
→ informazioni sul momento trasverso intrinseco

reminder



**il contributo di COMPASS
allo studio della struttura di spin trasverso dei nucleoni**

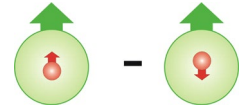
Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



il contributo di COMPASS

misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita'** h_1^q

la terza delle PDF collineari necessarie a descrivere il nucleone a LO
da' la correlazione tra lo spin trasverso del nucleone e lo spin trasverso dei quark
il suo integrale e' la carica tensoriale, una finestra sulla nuova fisica, BSM
completamente sconosciuta all'epoca (chiral-odd)



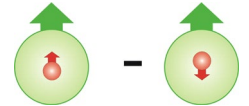
Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



il contributo di COMPASS

misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita'** h_1^q

la terza delle PDF collineari necessarie a descrivere il nucleone a LO
da' la correlazione tra lo spin trasverso del nucleone e lo spin trasverso dei quark
il suo integrale e' la carica tensoriale, una finestra sulla nuova fisica, BSM
completamente sconosciuta all'epoca (chiral-odd)



run con bersaglio di deuterio polarizzato trasversalmente 2002-2004 (20% del tempo)

di protoni polarizzati trasversalmente 2007 (50%), 2010

*in parallelo HERMES, p, a energia piu' bassa, e poi JLab, a energia ancora piu' bassa,
e RHIC, a energia piu' alta ma pp*

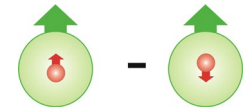
Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



il contributo di COMPASS

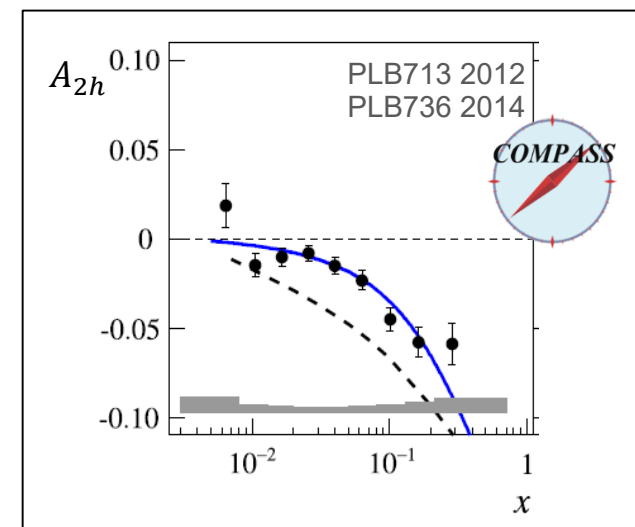
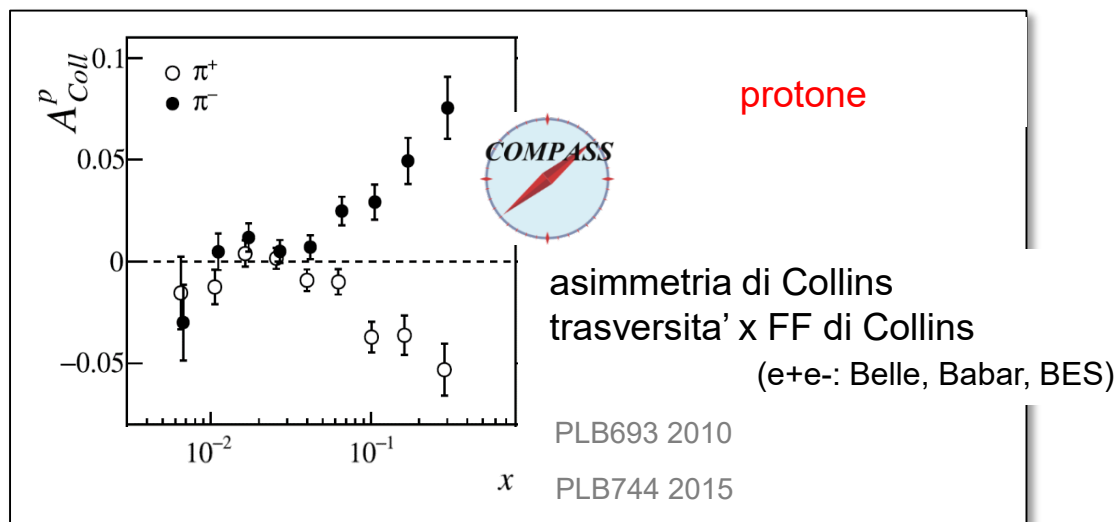
misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita' h_1^q**

la terza delle PDF collineari necessarie a descrivere il nucleone a LO
da' la correlazione tra lo spin trasverso del nucleone e lo spin trasverso dei quark
il suo integrale e' la carica tensoriale, una finestra sulla nuova fisica, BSM
completamente sconosciuta all'epoca (chiral-odd)



run con bersaglio di deuterio polarizzato trasversalmente 2002-2004 (20% del tempo)
di protoni polarizzati trasversalmente 2007 (50%), 2010 (100%)
*in parallelo HERMES, p, a energia piu' bassa, e poi JLab, a energia ancora piu' bassa,
e RHIC, a energia piu' alta ma pp*

chiaramente diversa da zero



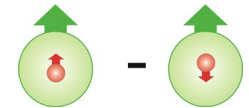
Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



il contributo di COMPASS

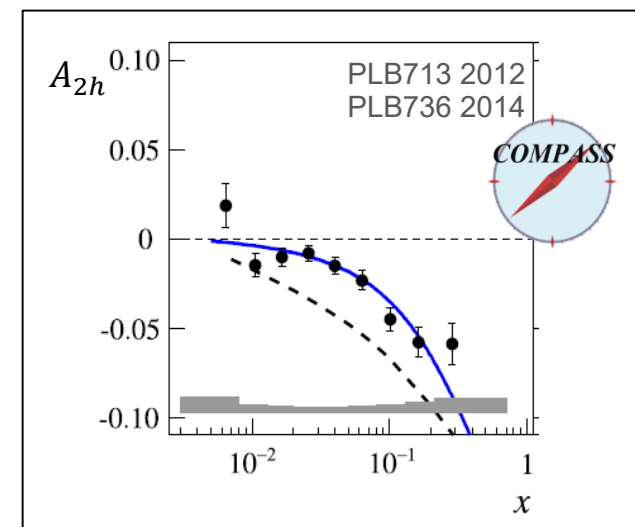
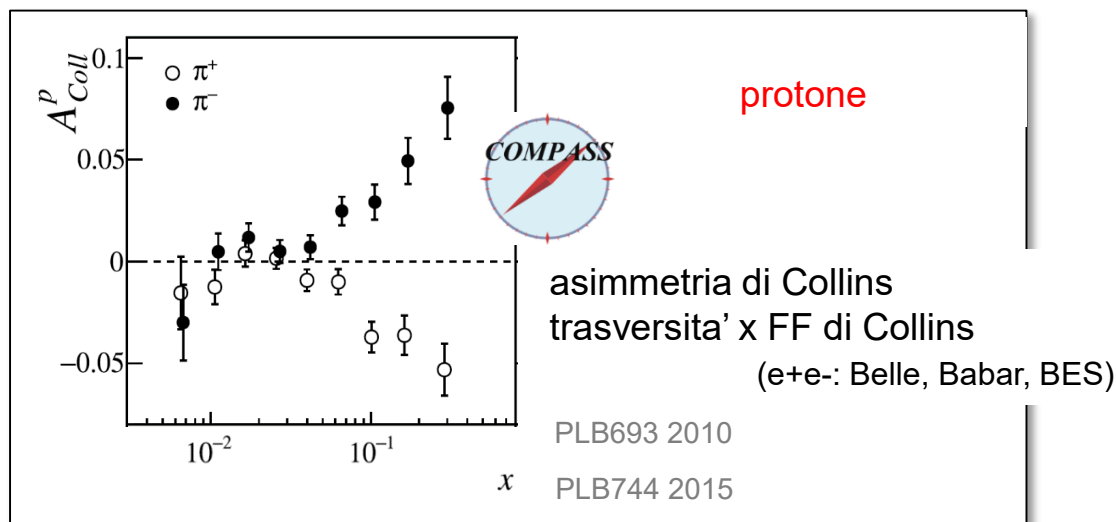
misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita' h_1^q**

la terza delle PDF collineari necessarie a descrivere il nucleone a LO
da' la correlazione tra lo spin trasverso del nucleone e lo spin trasverso dei quark
il suo integrale e' la carica tensoriale, una finestra sulla nuova fisica, BSM
completamente sconosciuta all'epoca (chiral-odd)



run con bersaglio di deuterio polarizzato trasversalmente 2002-2004 (20% del tempo)
di protoni polarizzati trasversalmente 2007 (50%), 2010 (100%)
*in parallelo HERMES, p, a energia piu' bassa, e poi JLab, a energia ancora piu' bassa,
e RHIC, a energia piu' alta ma pp*

chiaramente diversa da zero

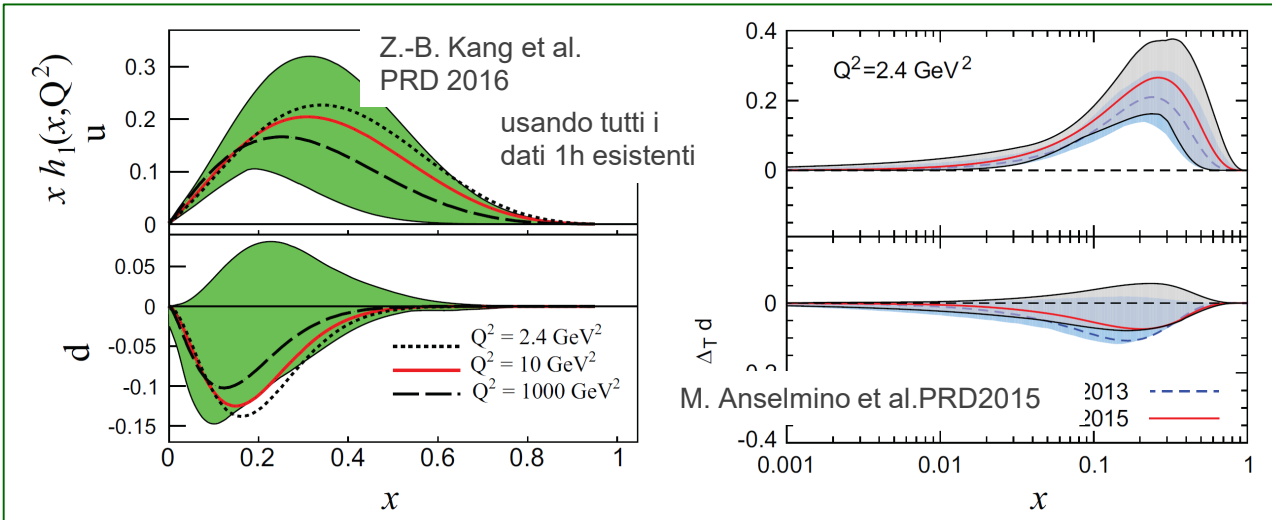




Transverse Spin Asymmetries in SIDIS

il contributo di COMPASS

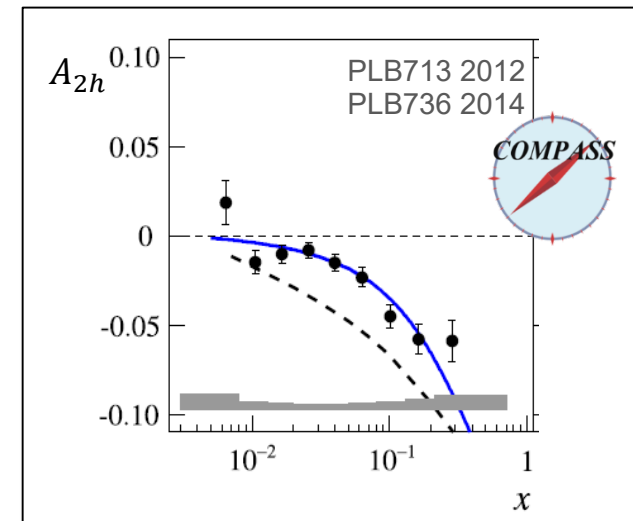
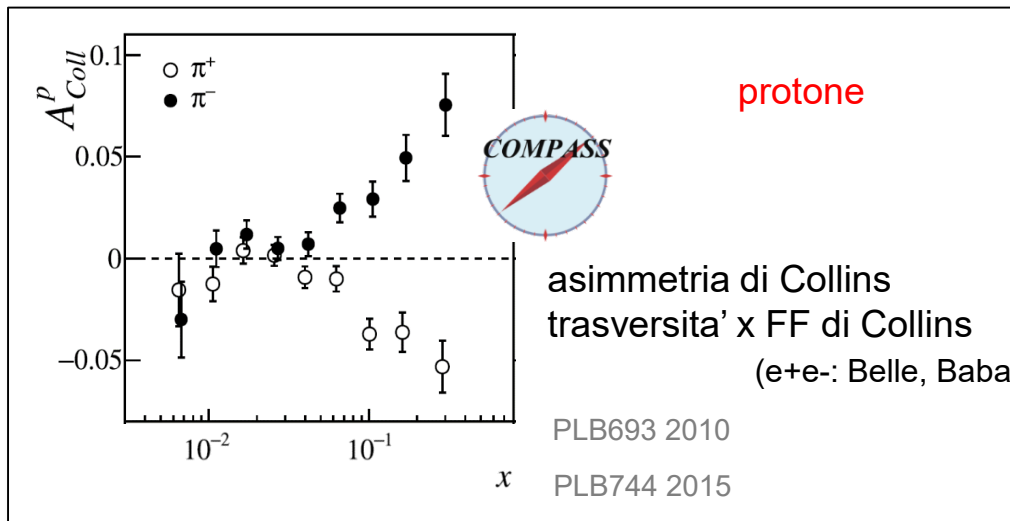
misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita' h_1^q**



incertezze statistiche grandi, in particolare per il quark d, dovute a statistica molto marginale su deuterio (di COMPASS, gli unici esistenti)

motivazione per il run su deuterio polarizzato trasversalmente del 2021: in attesa di EIC, solo COMPASS puo' contribuire nel range cinematico complementare alle misure future a JLab12

chiaramente diversa da zero, e oggi misurata





“d-quark transversity” - effetti di spin trasverso nel SIDIS su deuterio

“solo” un anno (150 giorni) di presa dati

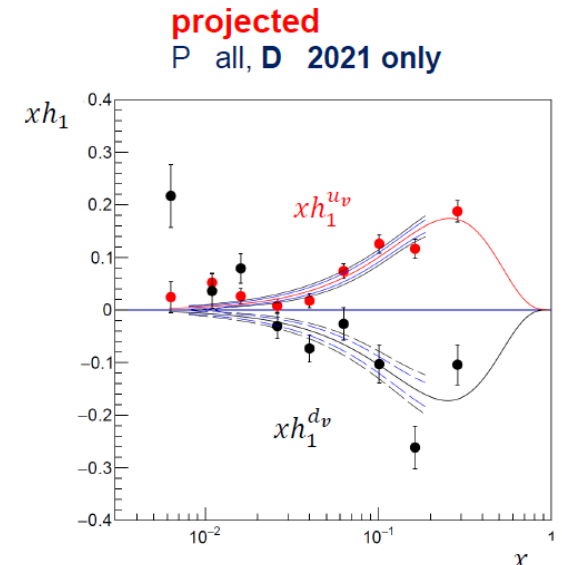
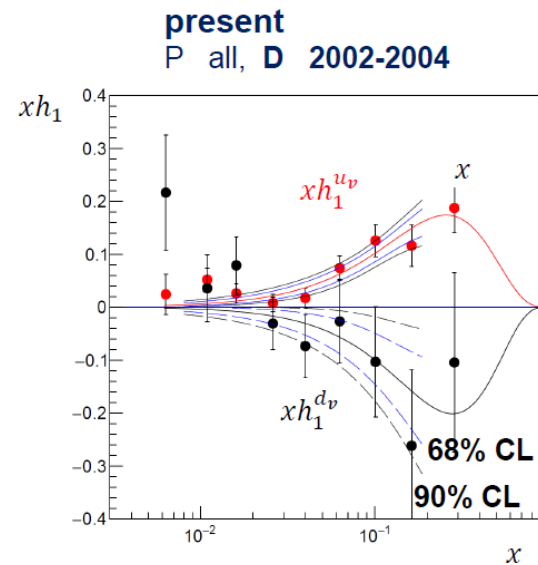
e' **sufficiente** per eseguire misure con incertezze statistiche corrispondenti a quelle delle misure esistenti su protone ed ottenere risultati di fisica importanti
se l'apparato (e l'SPS) funziona come nel 2010

proiezioni

new deuteron data: impact for the **tensor charge**

using all the existing proton data
COMPASS 2010 and 2007 plus HERMES (“P all”)

using a simple parametrisation we have calculated the
Confidence Levels from replicas



Anna Martin



Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



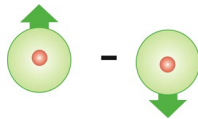
il contributo di COMPASS

misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita'** h_1^q
gia' nel 2000 era evidente la rilevanza del momento trasverso intrinseco dei partoni
codificato nelle nuove Transverse Momentum Dependent (TMD) PDF e in particolare
della **funzione di Sivers** $f_{1T}^{\perp q}$

la piu' famosa delle TMD PDF

da' la correlazione tra lo spin trasverso del nucleone e il momento trasverso dei partoni

T-odd: deve cambiare segno da SIDIS a Drell-Yan (test importantissimo)





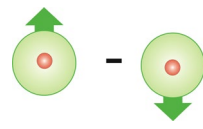
Transverse Spin Asymmetries in SIDIS

il contributo di COMPASS

misure incluse nella proposta, nel 1996, limitatamente alla **trasversita' h_1^q**
 gia' nel 2000 era evidente la rilevanza del momento trasverso intrinseco dei partoni
 codificato nelle nuove **Transverse Momentum Dependent (TMD) PDF** e in particolare
 della **funzione di Sivers $f_{1T}^{\perp q}$**

la piu' famosa delle TMD PDF

da' la correlazione tra lo spin trasverso del nucleone e il momento trasverso dei partoni
 T-odd: deve cambiare segno da SIDIS a Drell-Yan (test importantissimo)

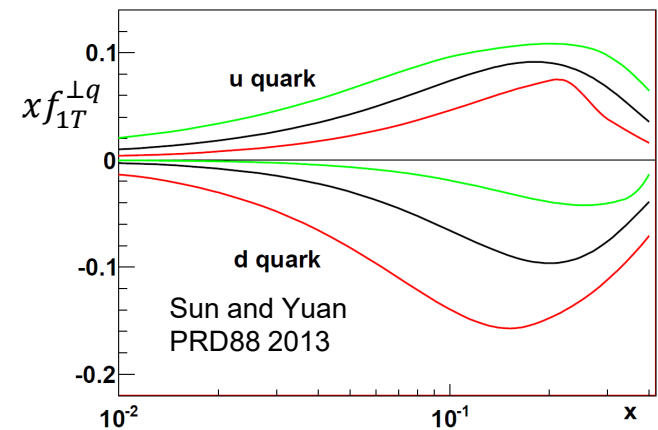
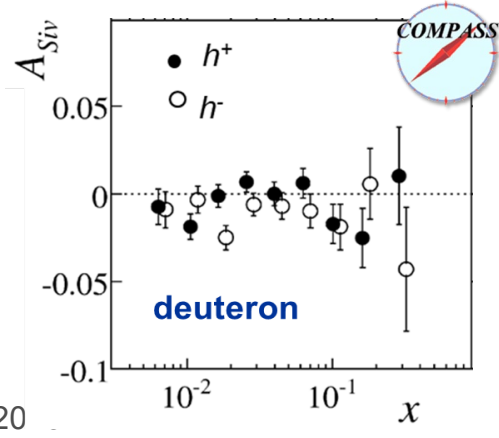
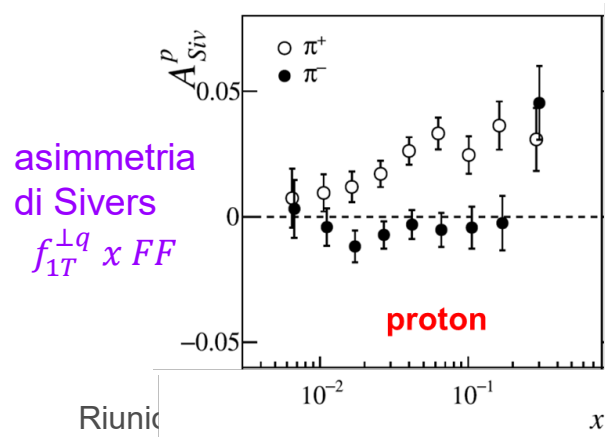


si ottiene da un'altra asimmetria di spin trasverso, misurabile usando gli stessi dati
 run con bersaglio di deuterio polarizzato trasversalmente 2002-2004 (20% del tempo)

di protoni polarizzati trasversalmente 2007 (50%), 2010

in parallelo HERMES, p , a energia piu' bassa, e poi JLab, a energia ancora piu' bassa,

chiaramente diversa da zero, un nuovo campo!



Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



il contributo di COMPASS

run con bersaglio di deuterio polarizzato trasversalmente 2002-2004 (20% del tempo)
di protoni polarizzati trasversalmente 2007 (50%), 2010

PRL 94 (2005) 202002	Cited by 391 records
NP B765 (2007) 31	Cited by 309 records
PLB 673 (2009) 127	Cited by 305 records
PLB 692 (2010) 240	Cited by 218 records
PLB 713 (2012) 10	Cited by 82 records
PLB 717 (2012) 376	Cited by 134 records
PLB 717 (2012) 383	Cited by 132 records
PLB 736 (2014) 124	Cited by 57 records
PLB 744 (2015) 250	Cited by 75 records
PLB 753 (2016) 406	Cited by 13 records
PBL 770 (2017) 138	Cited by 28 records
PLB 772 (2017) 854	Cited by 18 records
NPB 940 (2019) 34	Cited by 6 records

asimmetrie “standard”

- Collins, 2 adroni, Sivers
- adroni carichi, adroni identificati
- deuterio e protone

contributo
determinante
TS TO

misure completamente nuove:

- prima analisi multiD
- relazione Collins – 2 adroni
- Sivers dei gluoni
- asimmetrie pesate in P_T

e anche altre TSA, polarizzazione delle $\Lambda - \bar{\Lambda}$, asimmetria per J/Ψ , ...

piu' lavori sull'asimemtria di spin nella produzione esclusiva di VM

piu' estrazioni della trasversita' e della funzione di Sivers dai soli dati COMPASS

PRD 91 (2015) 014034 PRD 95 (2017) 094024 PRD 99 (2019) 114004

Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



il contributo di COMPASS

run con bersaglio di deuterio polarizzato trasversalmente 2002-2004 (20% del tempo)
di protoni polarizzati trasversalmente 2007 (50%), 2010

PRL 94 (2005) 202002 Cited by 391 records
NP B765 (2007) 31 Cited by 309 records
PLB 673 (2009) 127 Cited by 305 records
PLB 692 (2010) 240 Cited by 218 records
PLB 713 (2012) 10 Cited by 82 records
PLB 717 (2012) 376 Cited by 134 records
PLB 717 (2012) 383 Cited by 132 records
PLB 736 (2014) 124 Cited by 57 records
PLB 744 (2015) 250 Cited by 75 records

PLB 753 (2016) 406 Cited by 13 records
PBL 770 (2017) 138 Cited by 28 records
PLB 772 (2017) 854 Cited by 18 records
NPB 940 (2019) 34 Cited by 6 records

asimmetrie “standard”
- Collins, 2 adroni, Sivers
- adroni carichi, adroni identificati
- deuterio e protone

contributo
determinante
TS TO

misure completamente nuove:
- prima analisi multiD
- relazione Collins – 2 adroni
- Sivers dei gluoni
- asimmetrie pesate in P_T

e anche altre TSA, polarizzazione delle $\Lambda - \bar{\Lambda}$, asimmetria per J/Ψ , ...

piu' lavori sull'asimemtria di spin nella produzione esclusiva di VM

piu' estrazioni della trasversita' e della funzione di Sivers dai soli dati COMPASS

PRD 91 (2015) 014034 PRD 95 (2017) 094024 PRD 99 (2019) 114004



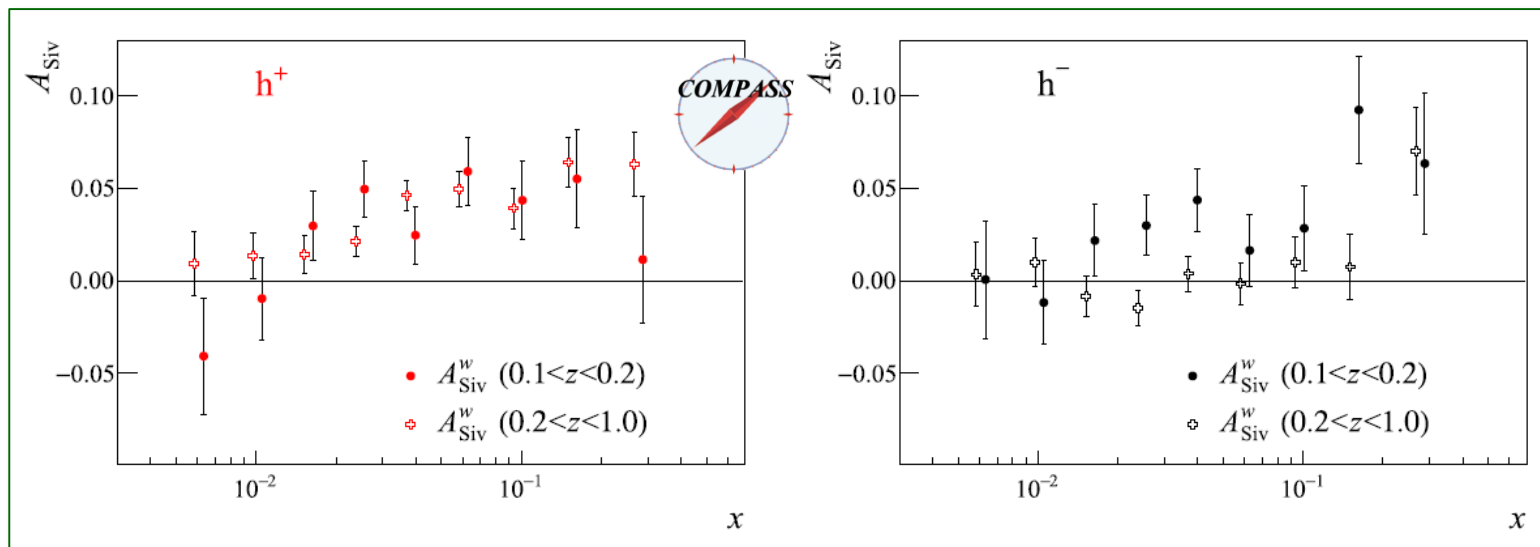
Transverse Spin Asymmetries in SIDIS

misura piu' recente usando i dati di SIDIS su p raccolti nel 2010

asimmetria di Sivers con adroni pesati con il loro momento trasverso P_T

NPB 940 (2019) 34

prima misura pubblicata di asimmetrie pesate





Transverse Spin Asymmetries in SIDIS

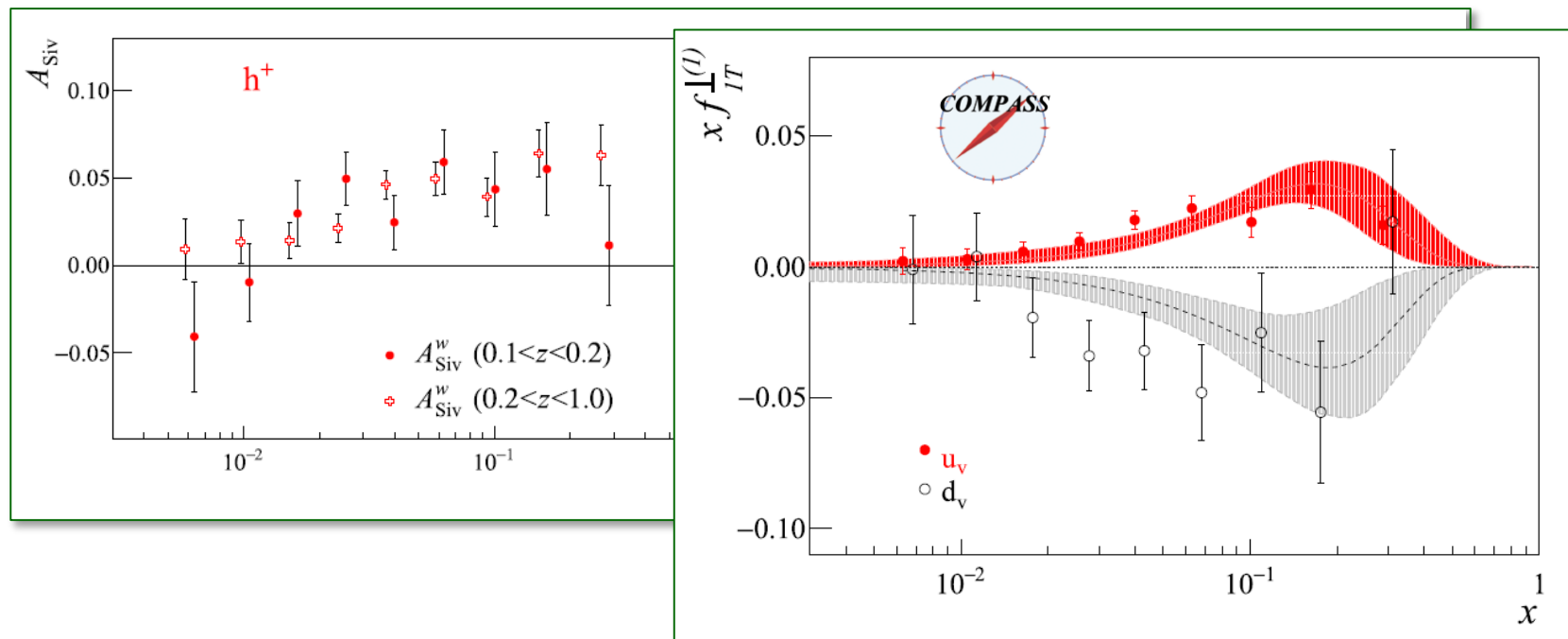
misura piu' recente usando i dati di SIDIS su p raccolti nel 2010

asimmetria di Sivers con adroni pesati con il loro momento trasverso P_T

NPB 940 (2019) 34

prima misura pubblicata di asimmetrie pesate

permette di semplificare dal punto di vista teorico l'estrazione della funzione di Sivers
approccio complementare a quello standard



usata in COMPASS anche nel Drell-Yan

permette un confronto diretto tra i due processi

Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



altre analisi dei dati di SIDIS su p raccolti nel 2010

- altre asimmetrie di spin trasverso pesate (Torino-Trieste), bassa prioritá'
- **misura della funzione di struttura g2**

milestone 01-06-2019 release risultati

i risultati sono stati ottenuti seguendo due diversi metodi
non e' stato fatto il release perche' vorremmo fare ulteriori test sulle
incertezze sistematiche che al momento sono maggiori di quelle statistiche
noi consideriamo il lavoro completato al 90%

- altre misure quando saranno disponibili i dati su deuterio (run 2021)

Transverse Spin Asymmetries in SIDIS



altre analisi dei dati di SIDIS su p raccolti nel 2010

- altre asimmetrie di spin trasverso pesate (Torino-Trieste), bassa priorit 
- **misura della funzione di struttura g2**

milestone 01-06-2019 release risultati

i risultati sono stati ottenuti seguendo due diversi metodi
non e' stato fatto il release perche' vorremmo fare ulteriori test sulle
incertezze sistematiche che al momento sono maggiori di quelle statistiche
noi consideriamo il lavoro completato al 90%

- altre misure quando saranno disponibili i dati su deuterio (run 2021)

essenzialmente finita

→ analisi dei dati **SIDIS su p non polarizzati** raccolti nel 2016/17
in parallelo a DVCS

principale attivita' in corso

per tutti e in particolare Jan Matousek (postdoc), Andrea Moretti (PhD)

Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dal SIDIS su nucleoni non polarizzati si possono ottenere informazioni
sul **momento trasverso intrinseco** k_T

ancora risultati discordanti sul valore medio da analisi fenomenologiche diverse

e sulla **TMD PDF di Boer-Mulders**

correlazione tra momento trasverso e spin trasverso dei quark

misurando le **molteplicita' di adroni vs** P_T

e le **asimmetrie nelle distribuzioni azimutali degli adroni**

Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dal SIDIS su nucleoni non polarizzati si possono ottenere informazioni
sul **momento trasverso intrinseco** k_T

ancora risultati discordanti sul valore medio da analisi fenomenologiche diverse

e sulla **TMD PDF di Boer-Mulders**

correlazione tra momento trasverso e spin trasverso dei quark

misurando le **molteplicita' di adroni vs P_T** (**)

e le **asimmetrie nelle distribuzioni azimutali degli adroni** (*)

gia' fatto su deuterio: NPB 886 (2014) 1046 (*) e PRD 97 (2018) 032006 (**)

responsabilita' dell'analisi di Trieste

ora vogliamo fare queste misure su protoni, dai dati raccolti nel 2016/17

con maggiore precisione statistica e sistematica

usando al meglio gli ultimi sviluppi teorici

con alla fine un'analisi fenomenologica "globale" (Andrea M, io)

Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dati 2016/17

scopo principale: **misure di sezioni d'urto DVCS**

fasci di μ^+ , μ^- da 160 GeV, bersaglio di idrogeno liquido, apparato ottimizzato

SIDIS in parallelo per misurare osservabili TMD (TS, ..TO, Dubna)
e molteplicita' per estrazione di FF (Mainz, Saclay, Lisbona)

molto lavoro preliminare: comune

<i>quasi finito per 2016</i>	[allineamenti	}	<i>coordinamento Andrea B</i>
		selezione dei dati e stabilita' dei rivelatori (TS,...)		
		verifica qualita' dei dati dopo la processatura (TS,...)		
		tuning e test dei MC (TS, ...)		
<i>iniziato anche su farm locale TS</i>	[produzione e processatura eventi MC (TS, ...)]	

specifico per SIDIS

correzioni per effetti radiativi

correzioni per eventi esclusivi

→ tuning e test MC con diversi generatori (TS, ...)

Jango, HEPGen

Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dati 2016/17 – risultati preliminari su molteplicita' di adroni vs P_T

DIS2019

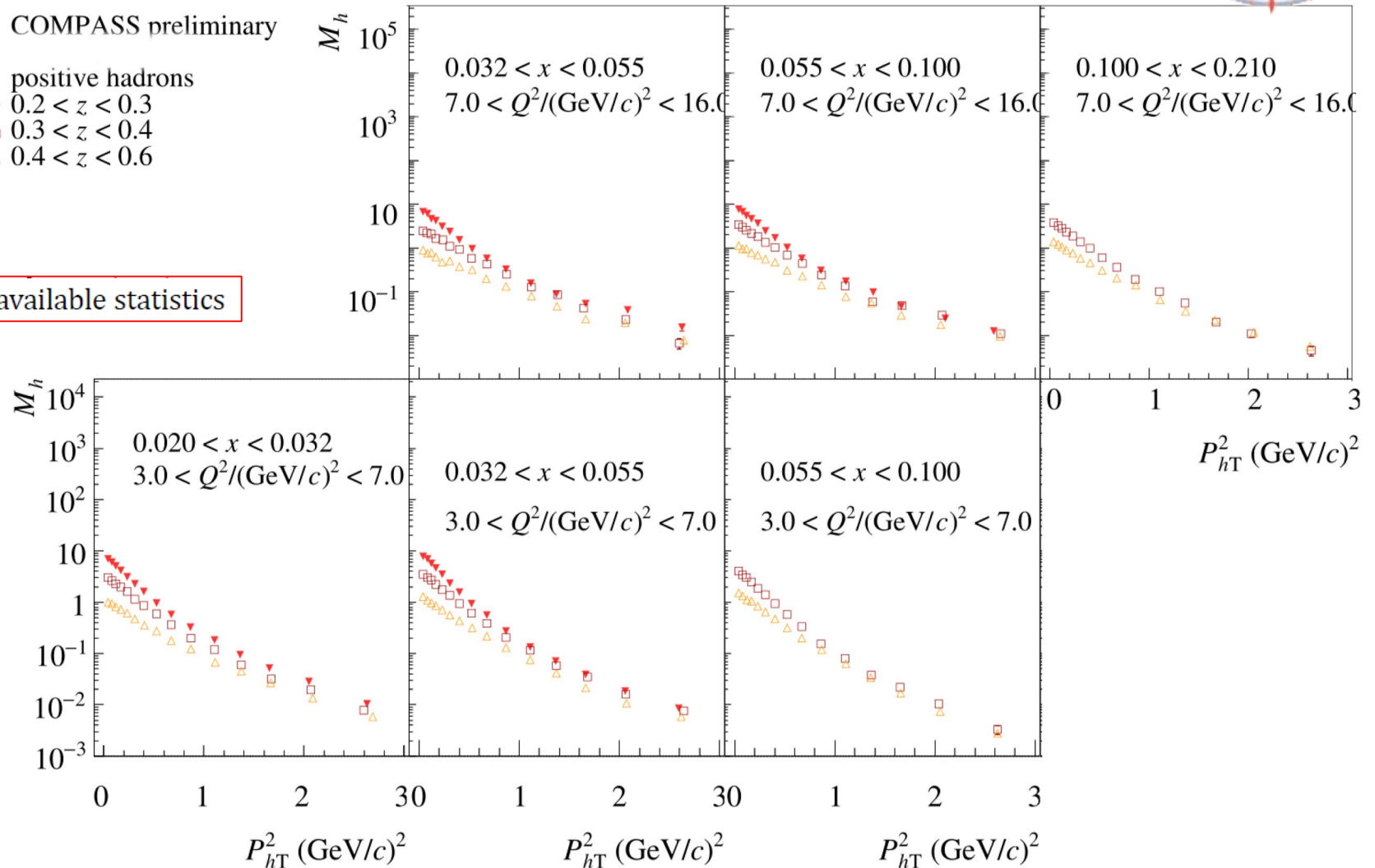
per ora in un range limitato, da estendere

COMPASS preliminary

positive hadrons

- ▼ $0.2 < z < 0.3$
- $0.3 < z < 0.4$
- △ $0.4 < z < 0.6$

~ 10% of available statistics



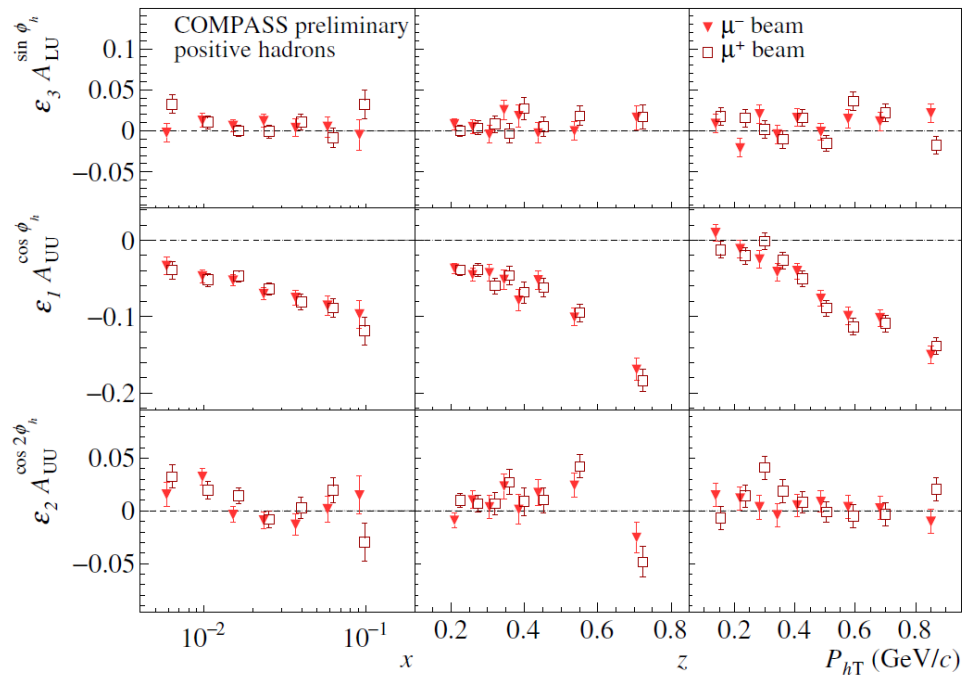
Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



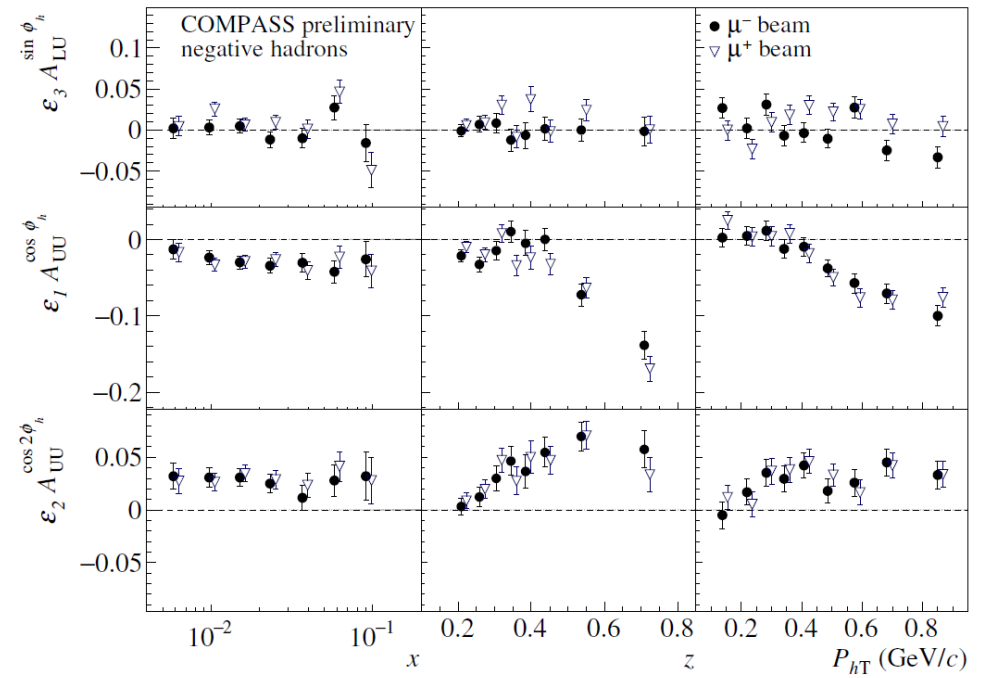
dati 2016/17 – risultati preliminari su asimmetrie azimutali 1

SPIN2018

About 4% of the statistics.



Positive hadrons



Negative hadrons

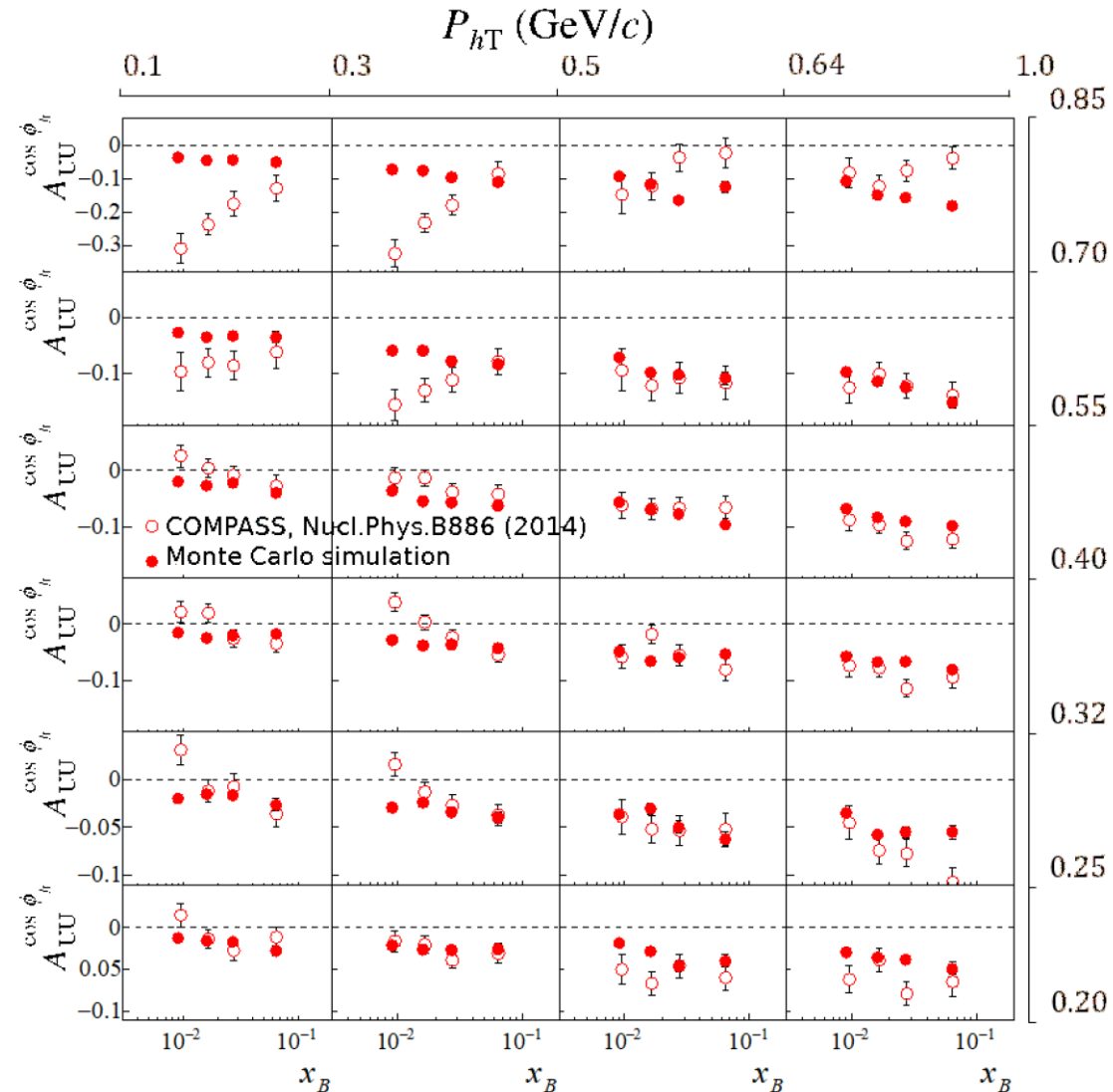
Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dati 2016/17 – produzione diffrattiva di mesoni vettoriali e asimmetrie azimutali

SPIN2018

confronto tra risultati su d e MC con effetto Cahn



Positive hadrons (negative: similar).

Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



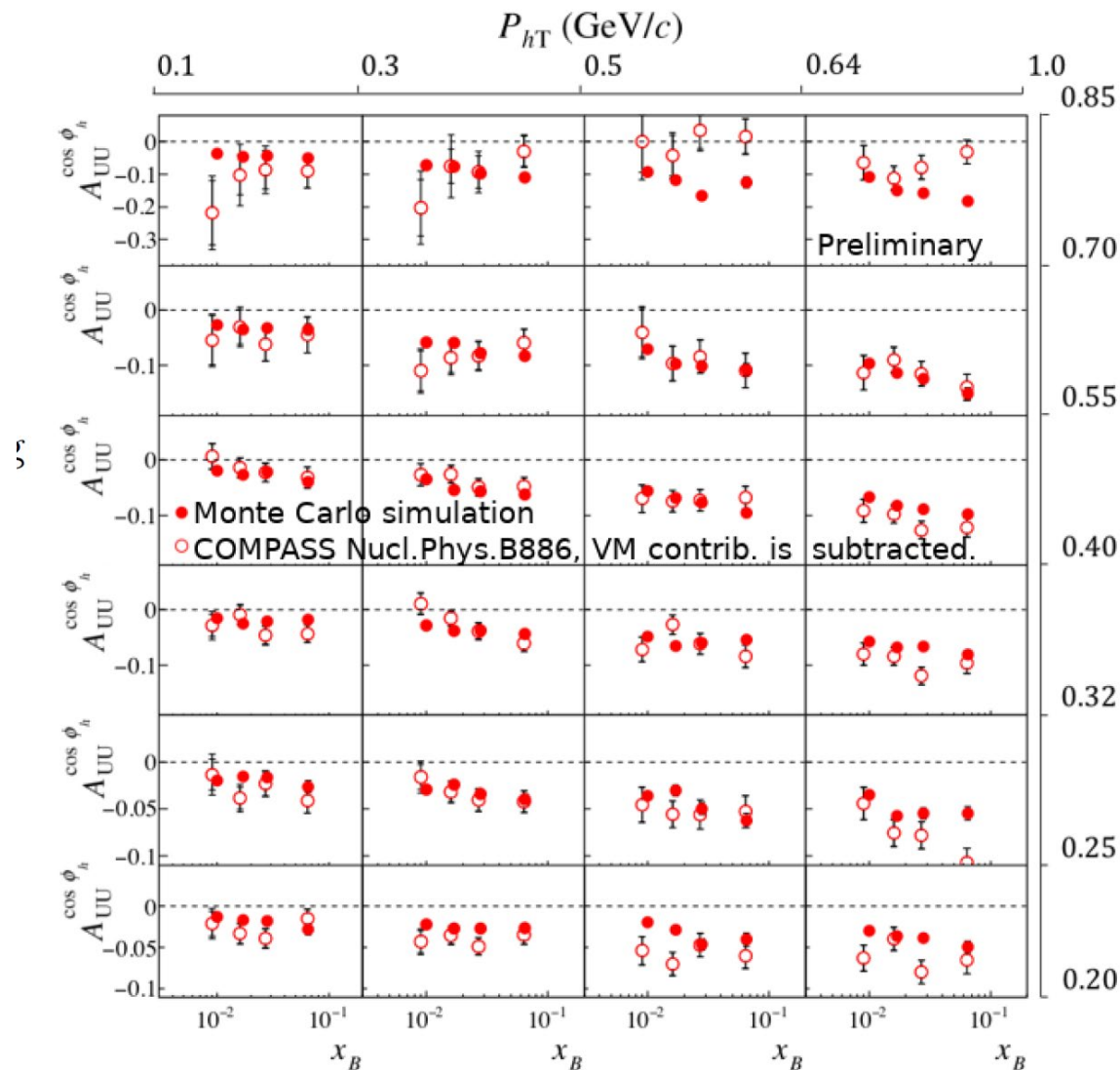
dati 2016/17 – produzione diffrattiva di mesoni vettoriali e asimmetrie azimutali

SPIN2018

confronto tra risultati su d e MC con effetto Cahn

correzione calcolata usando la sezione d'urto per produzione diffrattiva di MV (incertezza ~30%) e asimmetrie misurate dai dati

effetto importante: articolo in preparazione



The subtracted $A_{UU}^{\cos \phi_h}$ asymmetry for h^+ compared with the Monte Carlo model.

Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



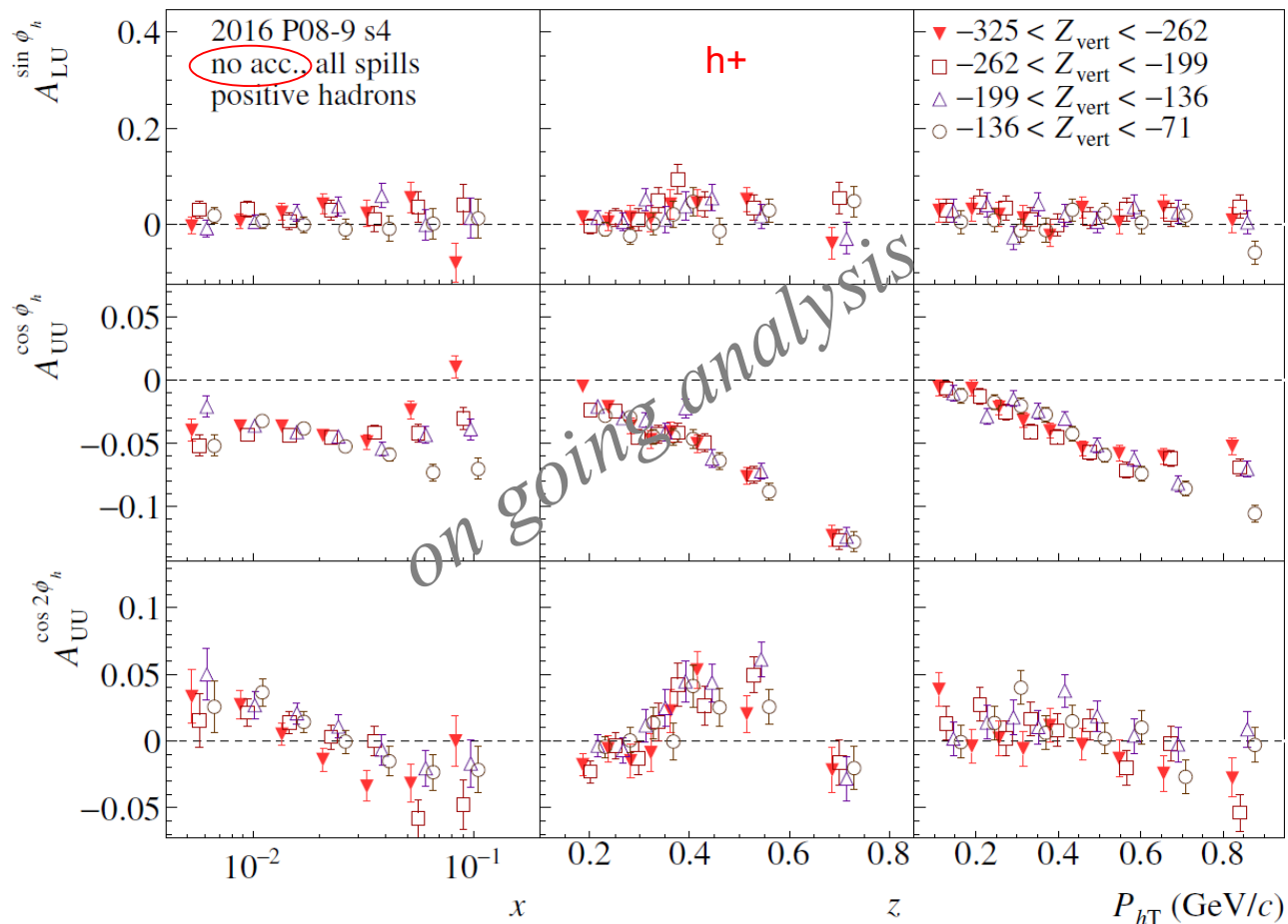
dati 2016/17 – risultati preliminari su asimmetrie azimutali 2
release 28 agosto 2019

dopo molto lavoro sia per la processatura dei dati che sul MC,
risultati da altri periodi di presa dati (~8% dai dati)

piccoli errori
statistici

errori sistematici
ancora
non
completamente
capiti

release
rimandato
per le
asimmetrie



Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS

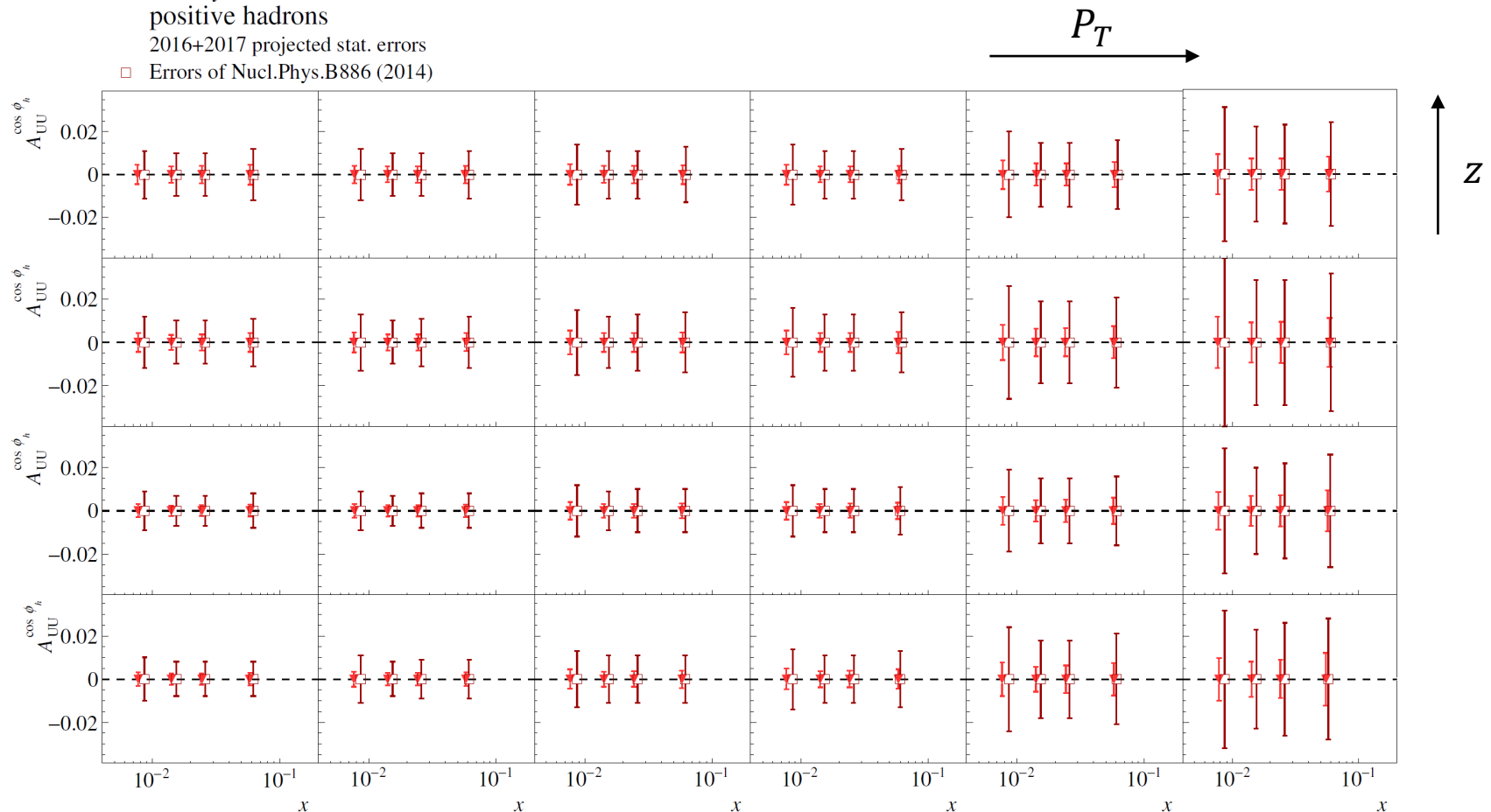


dati 2016/17 – risultati preliminari su asimmetrie azimutali 2
release 28 agosto 2019

proiezioni delle incertezze statistiche in 1, 3 e 4 dimensioni

D-SPIN 2019,
oggi

COMPASS 2016+2017
preliminary
 $0.2 < y < 0.9$
positive hadrons
2016+2017 projected stat. errors
□ Errors of Nucl.Phys.B886 (2014)



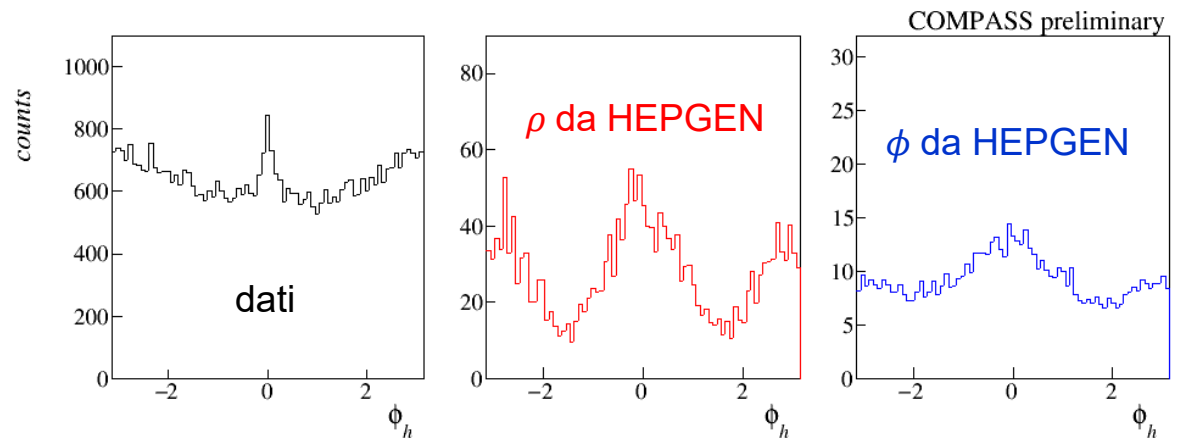
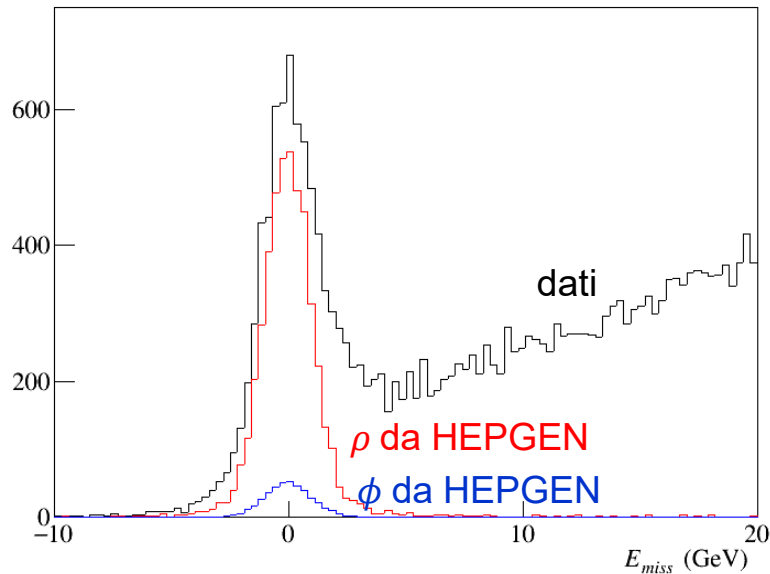
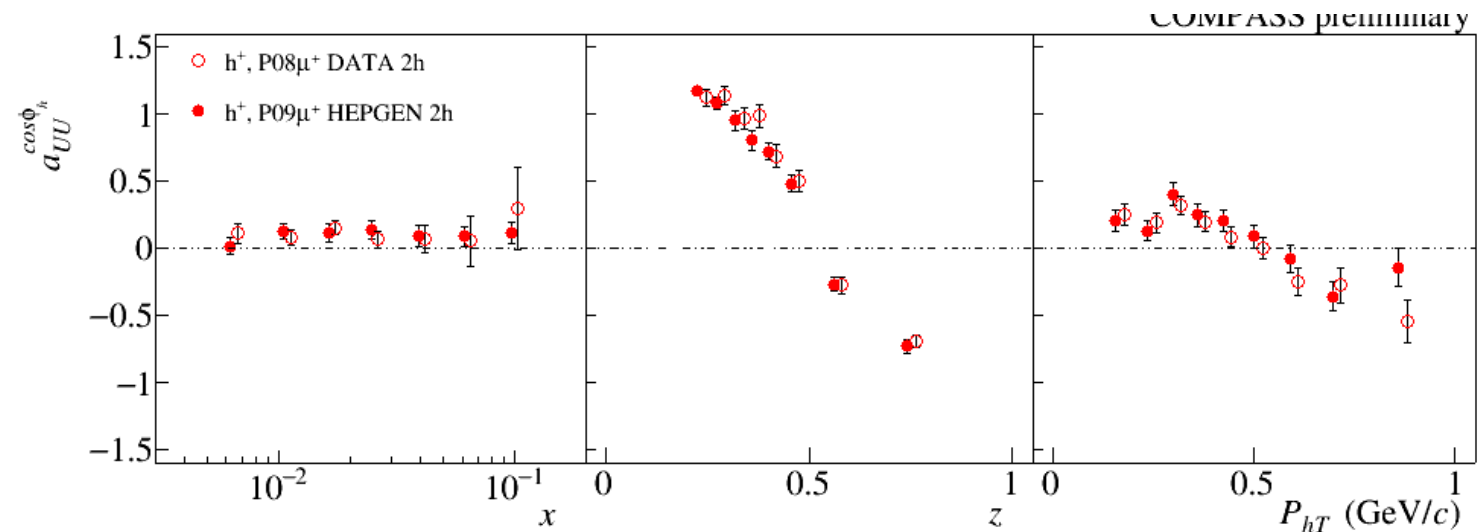
Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dati 2016/17 – risultati preliminari su asimmetrie azimutali 2
release 28 agosto 2019

contributo dei VM esclusivi, usando HEPGEN con SDME e non la sezione d'urto

D-SPIN 2019,
oggi



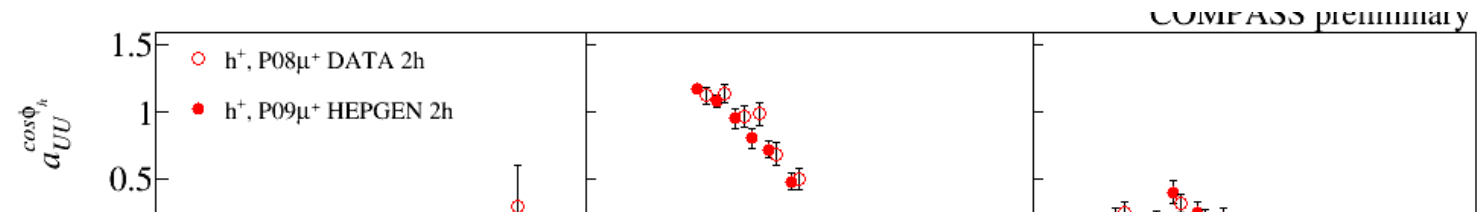
Transverse Momentum Dependent observables in SIDIS



dati 2016/17 – risultati preliminari su asimmetrie azimutali 2
release 28 agosto 2019

contributo dei VM esclusivi, usando HEPGEN con SDME e non la sezione d'urto

D-SPIN 2019,
oggi

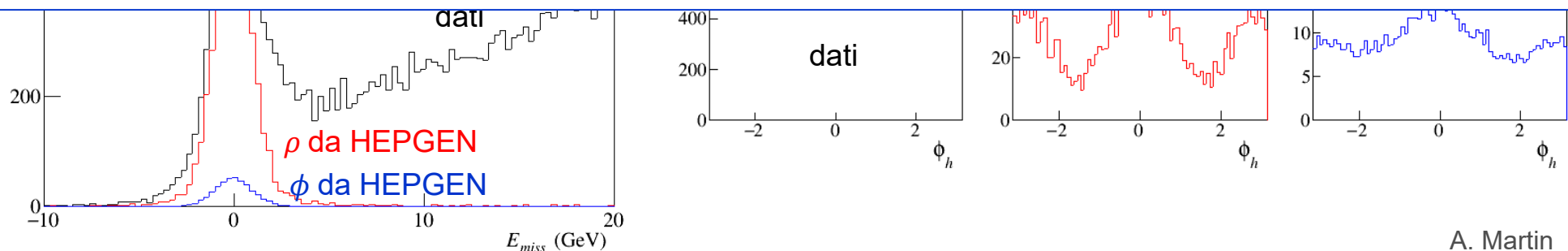


conclusione: la catena per l'estrazione delle asimmetrie e' pronta
tools disponibili

servono pero' ulteriori controlli sulla descrizione dell'apparato nel MC
c'e' un po' di ritardo rispetto alla milestone

“30-09-2019 - release risultati preliminari per le asimmetrie azimutali dal run SIDIS 2016/17”

faremo il punto la settimana prossima, al meeting di analisi



per finire

MC per la frammentazione di quark polarizzati basato su string model e 3P0

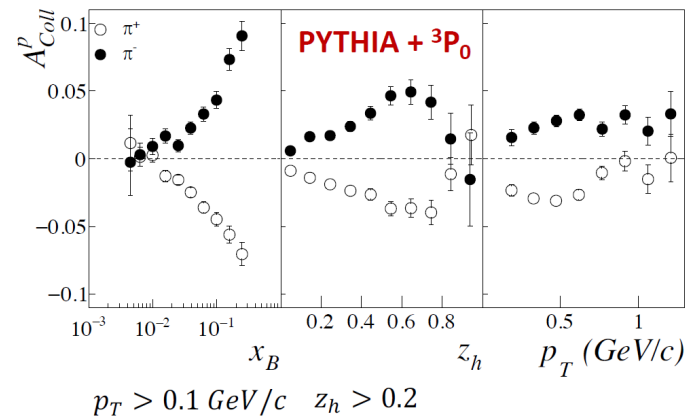
lavoro di tesi di dottorato di Albi Kerbizi, in collaborazione con Lyon
primi risultati a DSPIN2017 – molto promettenti

ora interfacciato a Pythia8, in collaborazione con Lund

A. Kerbizi
DIS2019

uno strumento
importante per
l'analisi dei dati 2021

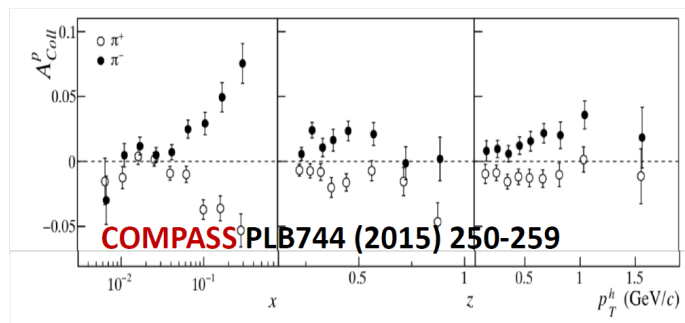
Collins asymmetry for proton from Pythia + 3P_0



Collins asymmetry in SIDIS for a proton target:

$$A_{Coll}^p = \frac{\sum_{q=u,d} e_q^2 x h_1^q H_{1q}^h}{\sum_q e_q^2 x f_1^q D_{1q}^h}$$

- **PYTHIA + 3P_0 reproduces the trends of the Collins asymmetry seen in data as function of x_B and p_T**



- As function of z_h the trends are different at mid z_h → **remainder: only pseudoscalar mesons!!**