Fisica dello spin ad

hermes

Esperimento per lo studio dello spin nella struttura del nucleone

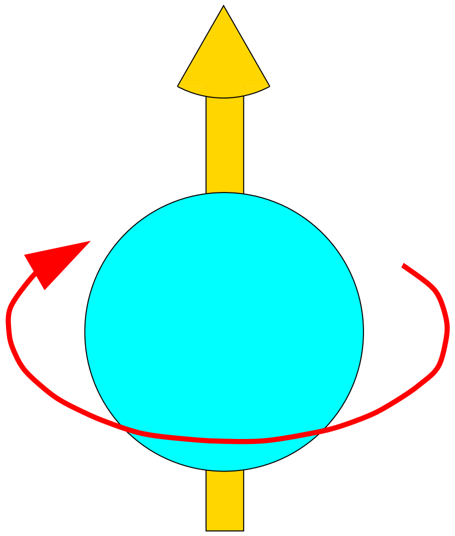
Erika Garutti (NIKHEF)

Ferrara, Maggio 2001

- Cos'e' lo spin ?
- Cosa conosciamo dello spin del nucleone?
- Funzioni di struttura e spin
- L'esperimento HERMES
- Misure ad HERMES

Cos'e' lo spin ?

- Rotazione intrinseca di un corpo attorno al suo asse:



Meccanica Quantistica:

$\boxed{\text{Quantizzato in unita' di } \hbar/2}$

- Lo spin e' ovunque:
  - Astrofisica: spinning delle galassie come prova dell'esistenza di Dark Matter
  - Fisica dello Stato Solido: Superconduttivita' e' una conseguenza di coppie di elettroni con $S_{pair} = 0$
  - Fisica Medica: Tecniche MRI basate sullo spin-flip del protone

Conoscenza dell'Universo

Lo studio dell'universo avviene tramite:

Studio della Materia

u c b

d s t

e μ τ

ν_e ν_μ ν_τ

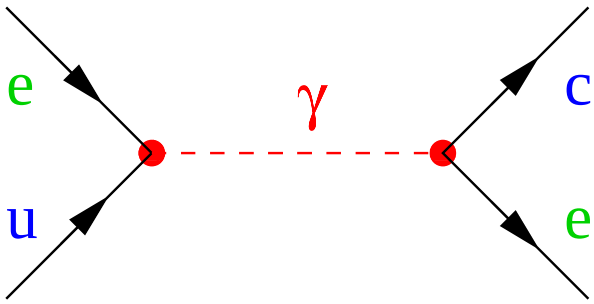
$\Rightarrow$ Spin = 1/2

Studio delle Forze

H γ $W^{\pm}$ Z_0 g G

$\Rightarrow$ Spin = 0,1,2

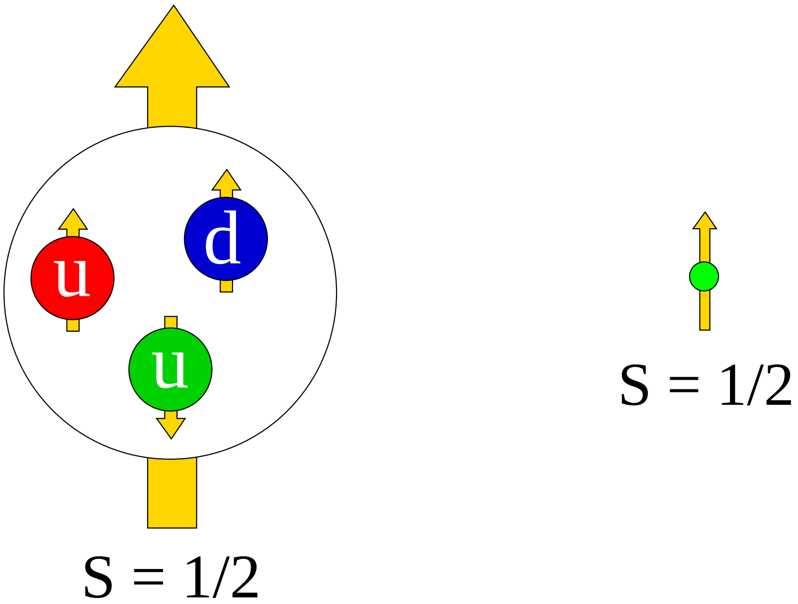
Le Materia interagisce tramite Forze:



$\Rightarrow$ le interazioni conservano lo spin

Spin e Particelle

- Protone e elettrone hanno entrambi $S = \frac{1}{2}\hbar$:



... ma il protone e' un oggetto composito!

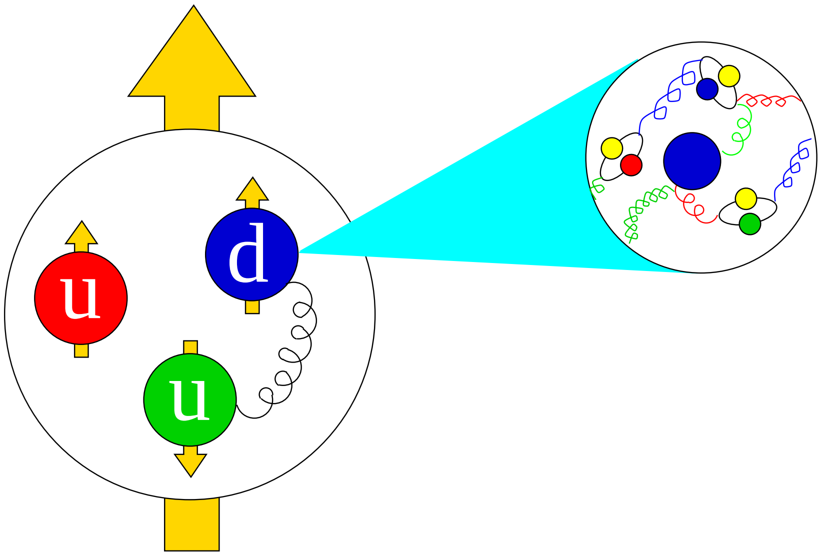
- Nel modello naive:
  - il protone ha una struttura$(\uparrow\downarrow\uparrow)$

$$S_{proton} = \Sigma\ S_{quarks} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

- ma oggi si sa che c'e' di piu'...

Dov'e' lo Spin del Nucleone?

"... the nucleon is an object we thought we knew so well, but which reveals a new face when it spins." J.Ellis



$$S_z^N = \frac{1}{2} = \frac{1}{2}\underbrace{\Delta\Sigma}_{\Delta u + \Delta d + \Delta s} + \Delta G + < L_z >$$

Teoria:

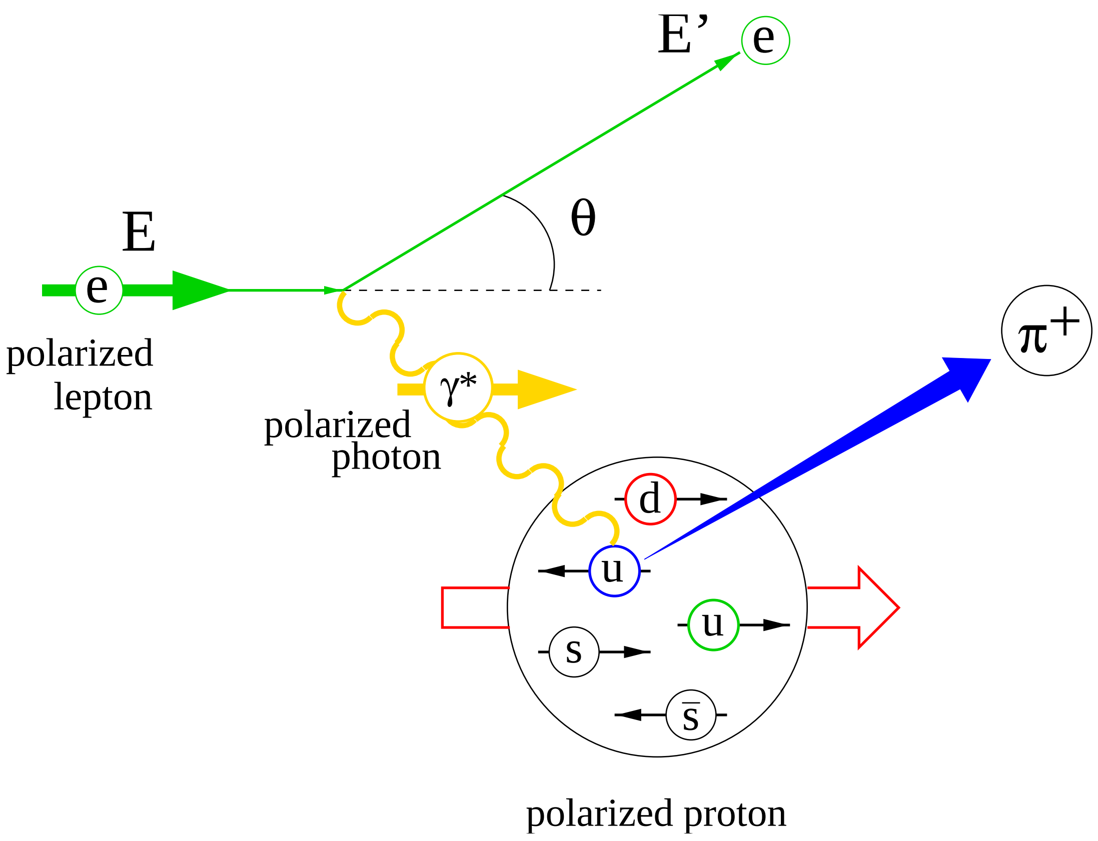
- Nel modello a quark semplice: $\Rightarrow \Delta\Sigma \sim 60\% - 75\%$

Esperimento:

- 1987 l'esperimento EMC al CERN
  $\Rightarrow \Delta\Sigma \sim 10\%$

Come sondare lo Spin del Nucleone?

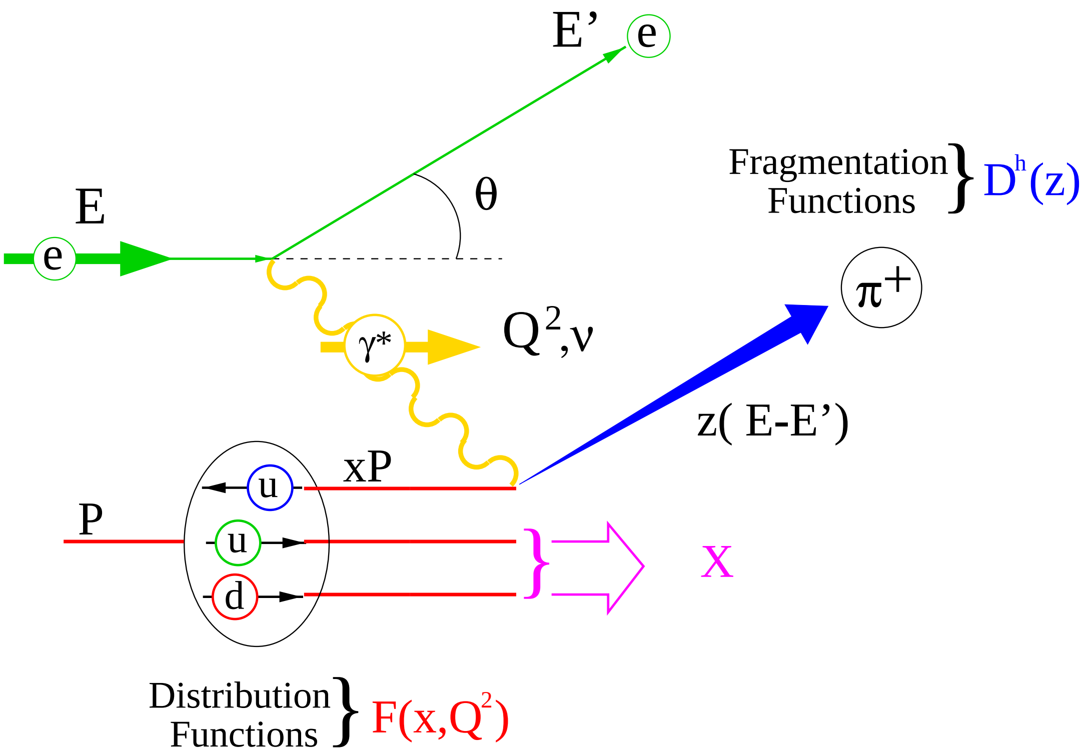
- *Polarized Deep Inelastic Scattering*



- Scattering inclusivo:
  $\Rightarrow$ polarizzazione longitudinale di tutti i quarks
  funzioni di struttura polarizzate $\rightarrow g_1(x)$

- Scattering semi-inclusivo:
  $\Rightarrow$ identificare il quark scatterato con l'androne primario
  $\Rightarrow$ esempio: u-quark del protone con π^+

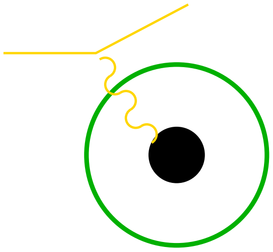
... un po' di Cinematica



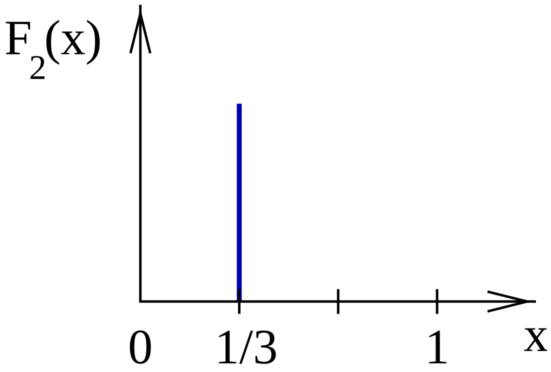
- Variabili cinematiche nel *sistema del lab.*:
  - quadrimomento trasferito: $Q^2 = 4EE' sin^2(\theta/2)$
  - energia trasferita: $\nu = E - E'$
  - variabile di Bjorken: $x = Q^2/2M_p\nu$
  - frazione di energia dell'adrone: $z = E_h/\nu$

Funzioni di Struttura Non Polarizzate

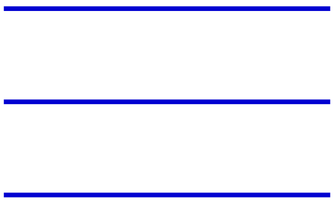
$$F_1(x, Q^2) = \frac{1}{2} \sum_f e_f^2 q_f(x)$$

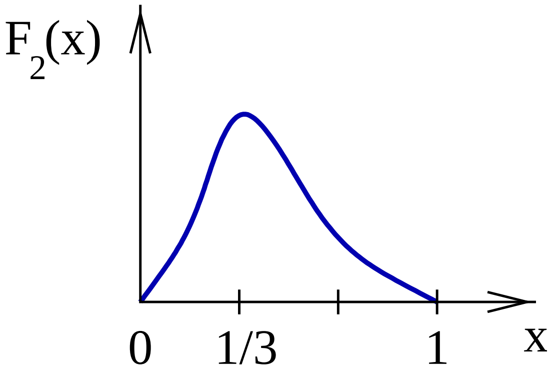


$$F_1(x, Q^2) = 2x F_2(x, Q^2)$$

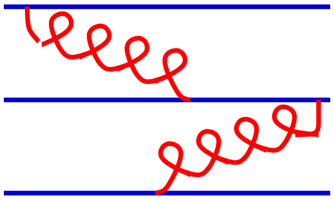


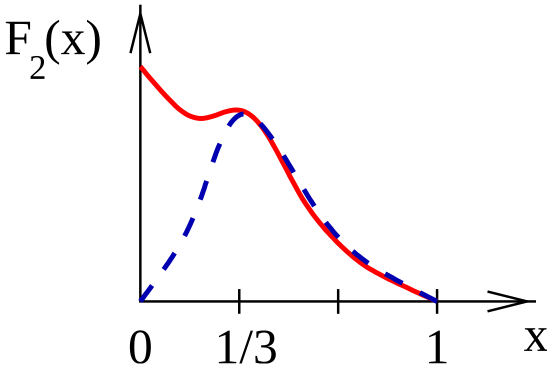
3 quark di valenza



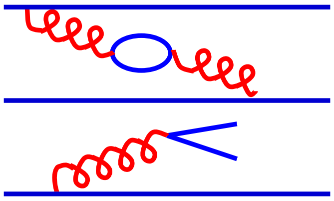


3 quark di valenza + gluoni



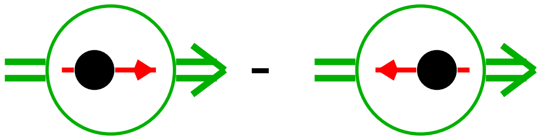


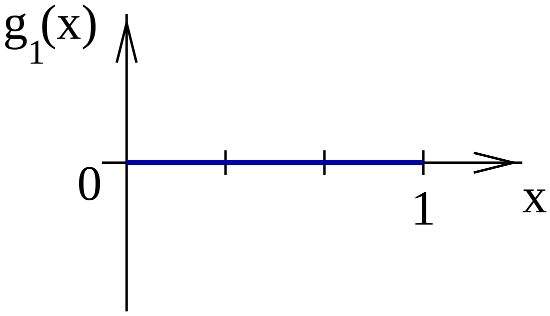
3 quark di valenza + gluoni + coppie $q\bar{q}$



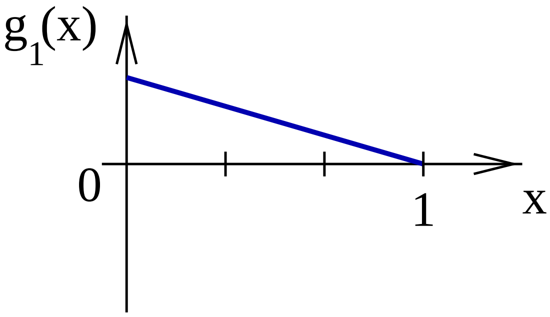
Funzioni di Struttura Polarizzate

$$g_1(x, Q^2) = \frac{1}{2} \sum_f e_f^2 \left(q_f^{\rightrightarrows}(x) - q_f^{\rightleftarrows}(x)\right)$$

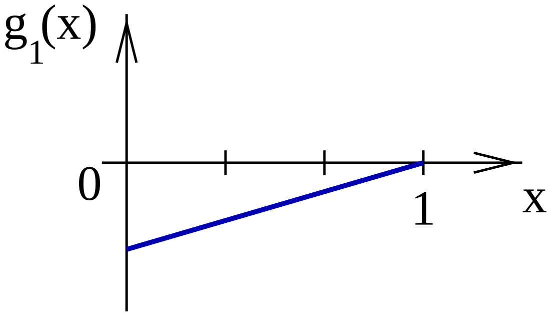




nessun effetto di spin

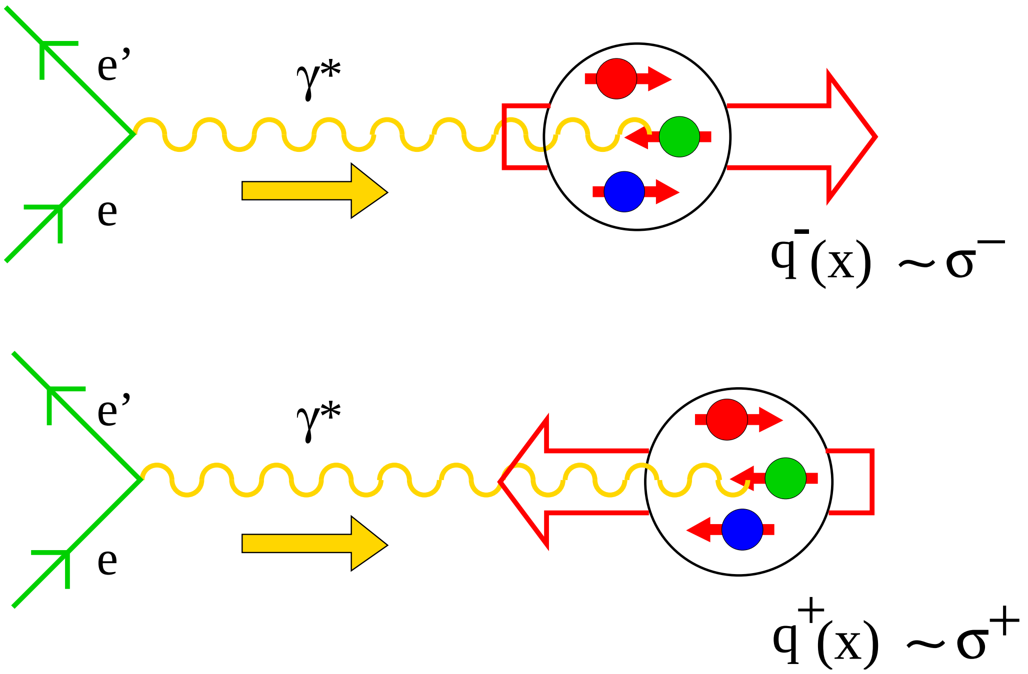


spin parallelo favorito



spin antiparallelo favorito

Asimmetrie and Distribuzioni



- Asimmetria Fotone-Nucleone:

$$A_1^h(x) = \frac{\sigma_h^+ - \sigma_h^-}{\sigma_h^+ + \sigma_h^-}$$

- In termini di distributione di spin dei quarks:

$$A_1^h(x,z) = \frac{\sum_f e_f^2 \overbrace{\left(q_f^+(x) - q_f^-(x)\right)}^{\Delta q(x)} D_f^h(z)}{\sum_f' e_{f'}^2 \underbrace{\left(q_{f'}^+(x) + q_{f'}^-(x)\right)}_{q(x)} D_{f'}^h(z)}$$

- $D_{f'}^h(z)$ sono le *funzioni di fragmentazione* hermes

...Sperimentalmente

- Asimmetria misurata $\propto A_1^h$:

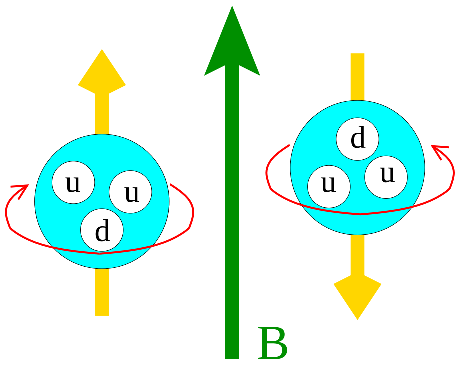
$$A_{||}^h(x,z) = \frac{\sigma_h^{\overleftarrow{\rightarrow}} - \sigma_h^{\overrightarrow{\Rightarrow}}}{\sigma_h^{\overleftarrow{\rightarrow}} + \sigma_h^{\overrightarrow{\Rightarrow}}}$$

- La distribuzione di Spin e' determinata *dall'asimmetria di conteggi*:

$$A_{||}^h = \frac{1}{P_B P_T} \cdot \frac{N_h^{\overleftarrow{\rightarrow}} - N_h^{\overrightarrow{\Rightarrow}}}{N_h^{\overleftarrow{\rightarrow}} + N_h^{\overrightarrow{\Rightarrow}}}$$

Polarizzazione

In presenza di campo magnetico esterno:

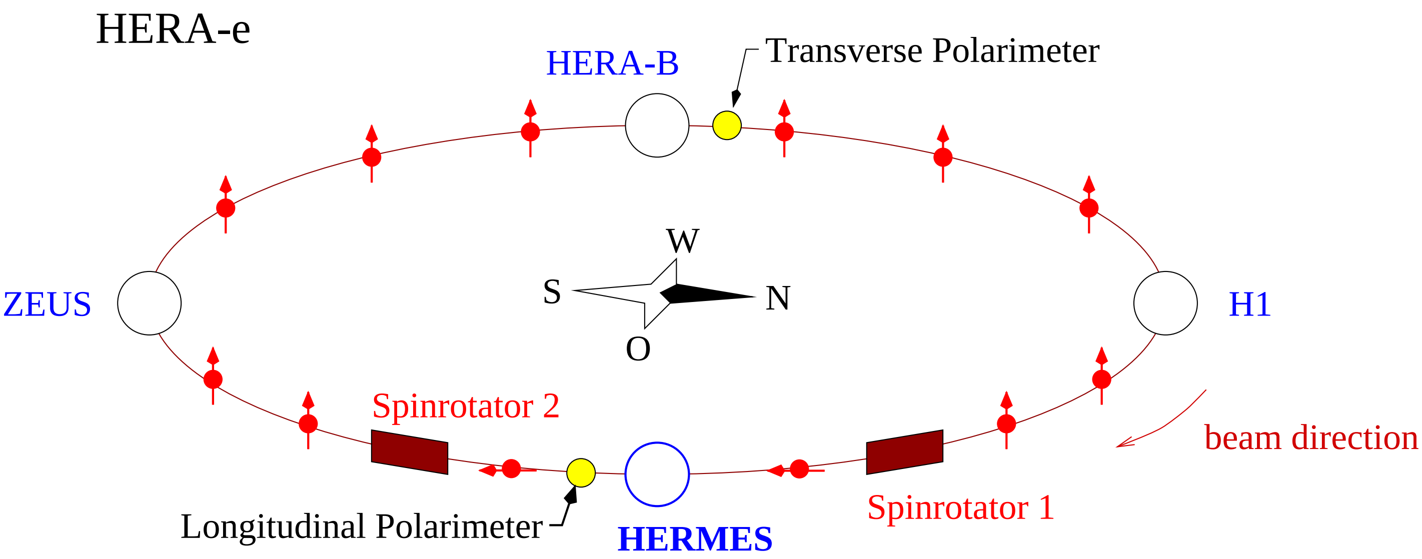


$$P = \frac{N_h^{\overset{\rightarrow}{\Leftarrow}} - N_h^{\overset{\rightarrow}{\Rightarrow}}}{N_h^{\overset{\rightarrow}{\Leftarrow}} + N_h^{\overset{\rightarrow}{\Rightarrow}}}$$

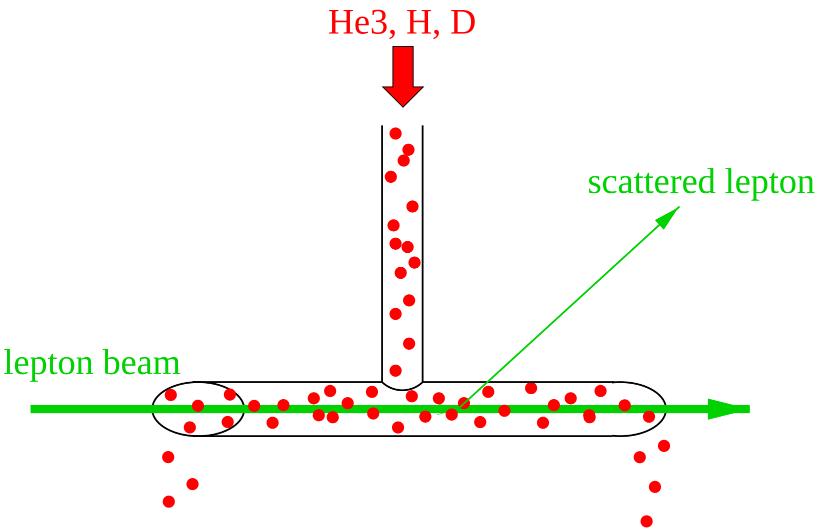
dove $\rightarrow$ e' la direzione del campo B
e $\Rightarrow$ quella dello spin.

Ingredienti per l'esperimento

- Fascio di leptoni polarizzato longitudinalmente
  $\sim 40 - 60\%$

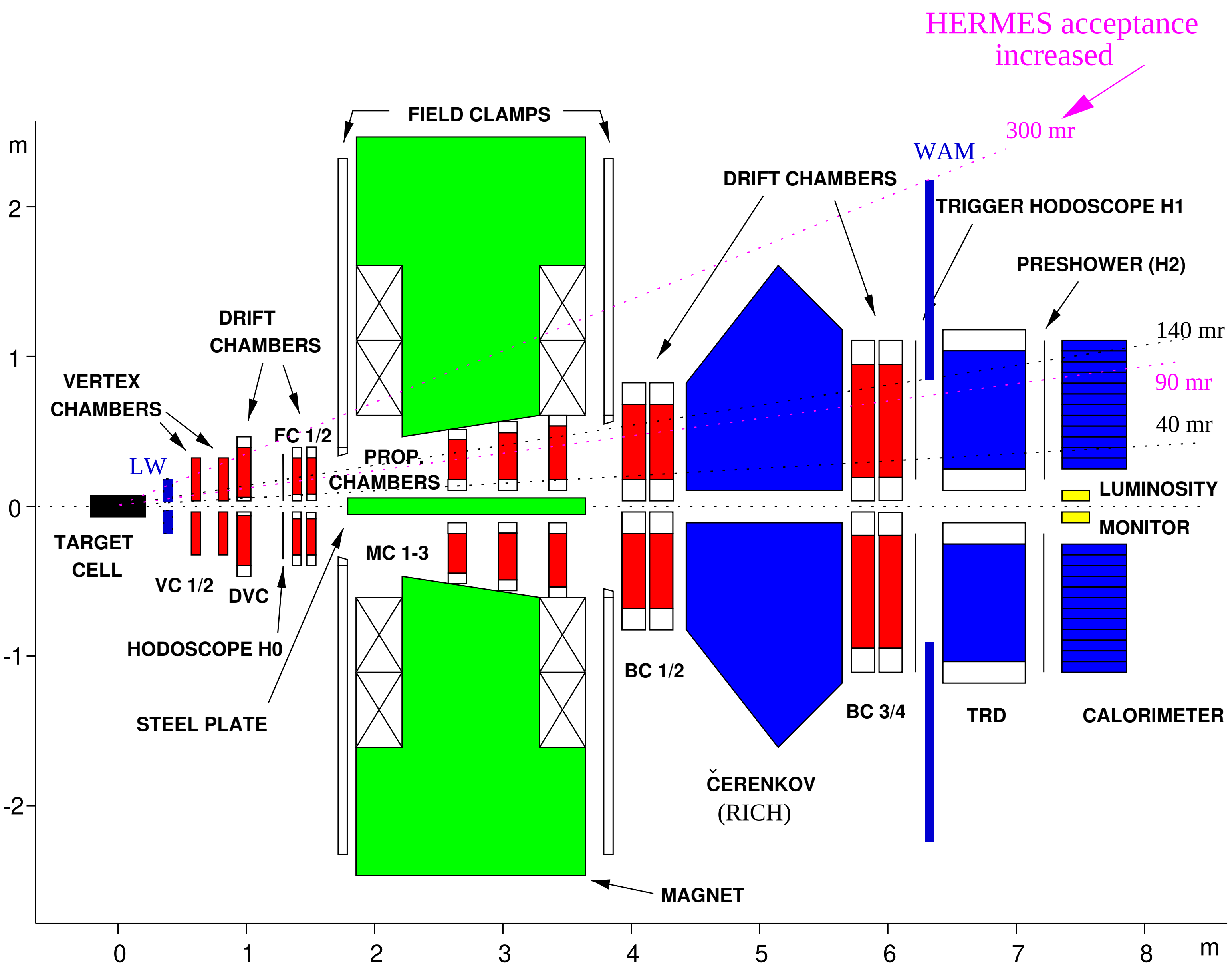


- Targhetta gassosa polarizzata (H, D, 3He)
  $\sim 80 - 90\%$



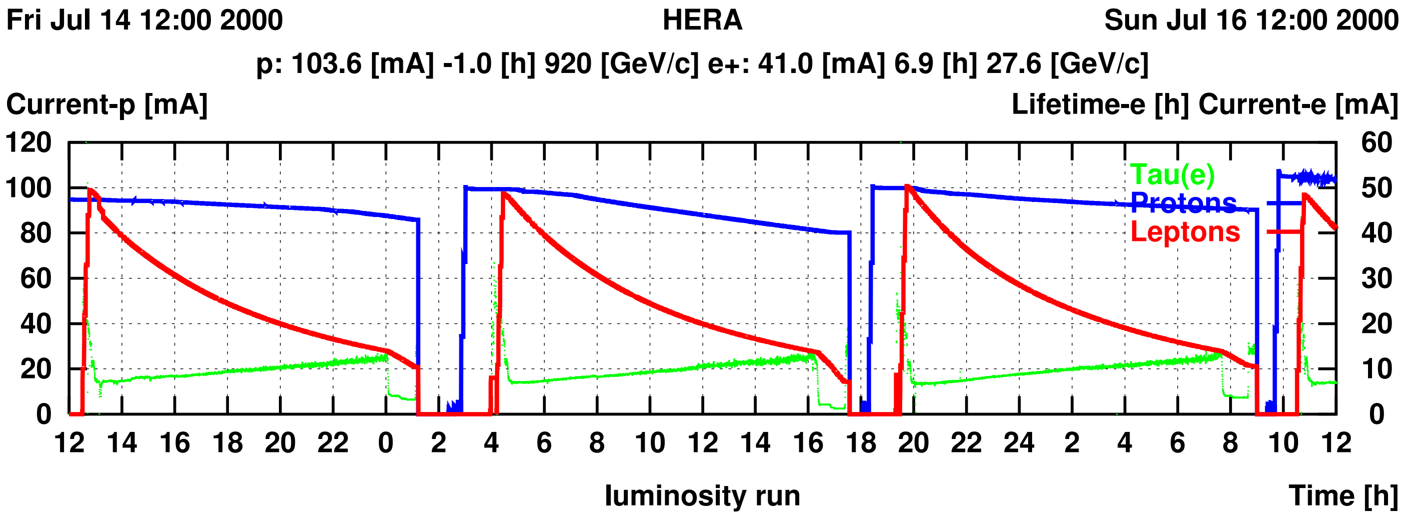
Contributo di Ferrara ad HERMES

Lo Spettrometro di HERMES

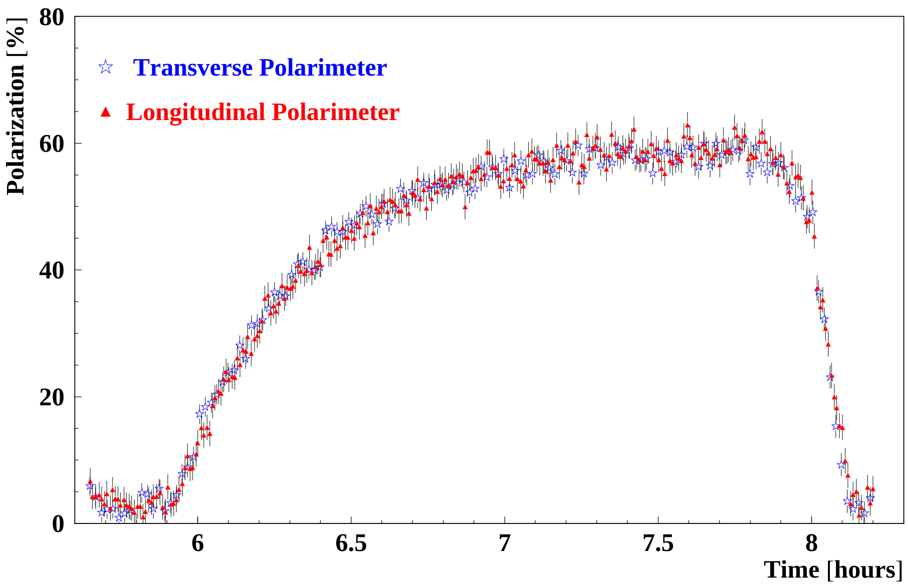


Fascio di positroni ad HERA

- HERA performance, July 2000:



- Misura della polarization ad HERMES:



Metodo d'estrazione

- Asimmetria Fotone-Nucleone:

$$A_1^h(x,z) = \sum_f \underbrace{\frac{e_f^2 q_f(x) D_f^h(z)}{\sum_{f'} e_{f'}^2 q_{f'}(x) D_{f'}^h(z)}}_{\mathcal{P}_f^h(x)} \cdot \frac{\Delta q(x)}{q(x)}$$

- $P_f^h(x,z)$ e' la probabilita' che q_f sia colpito in un evento in cui h e' rivelato.
- Definizione:

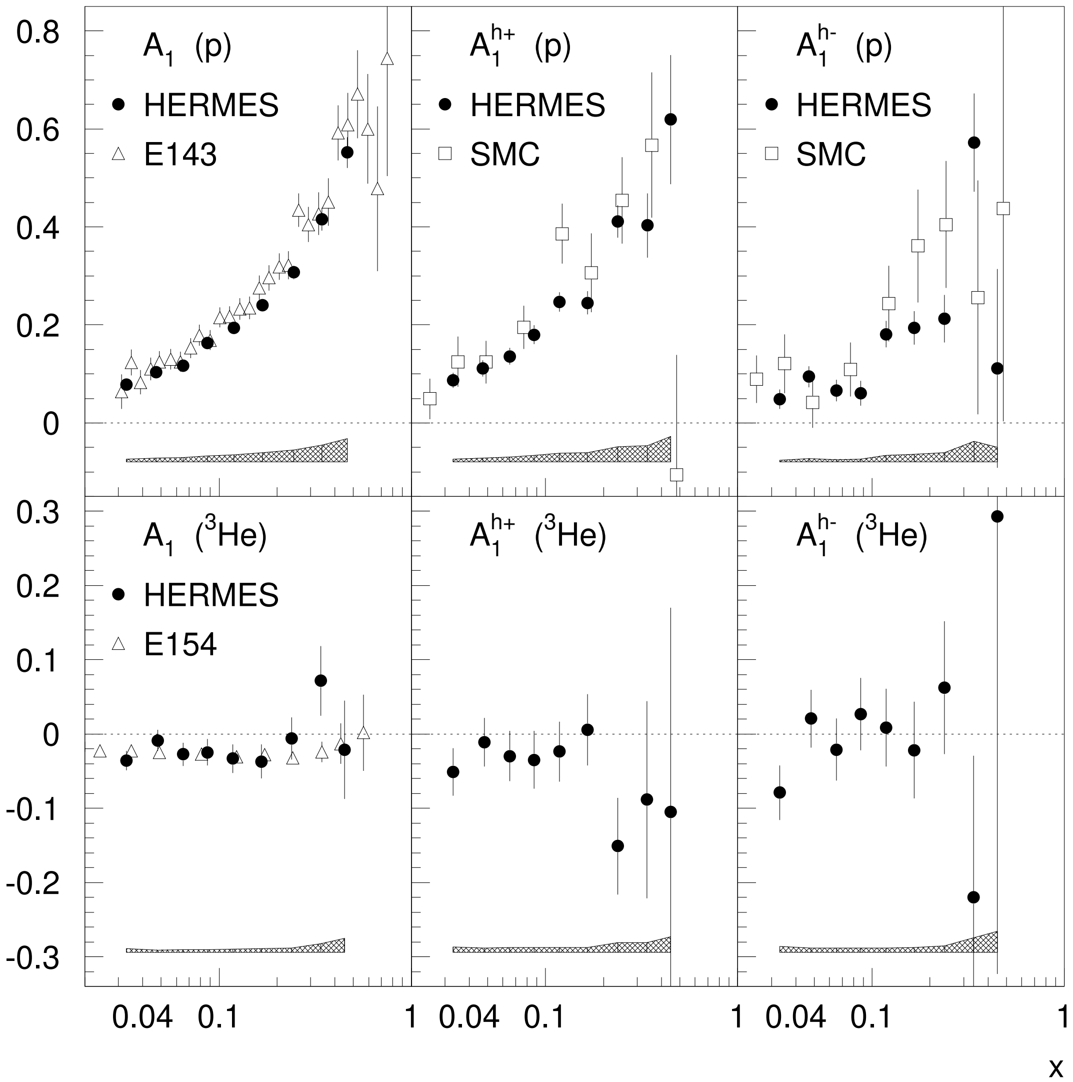
$$\vec{A} = \begin{pmatrix} A^{h_1}(x) \\ \dots \\ A^{h_m}(x) \end{pmatrix} \qquad \vec{Q} = \begin{pmatrix} \Delta q_1(x)/q_1(x) \\ \dots \\ \Delta q_n(x)/q_n(x) \end{pmatrix}$$

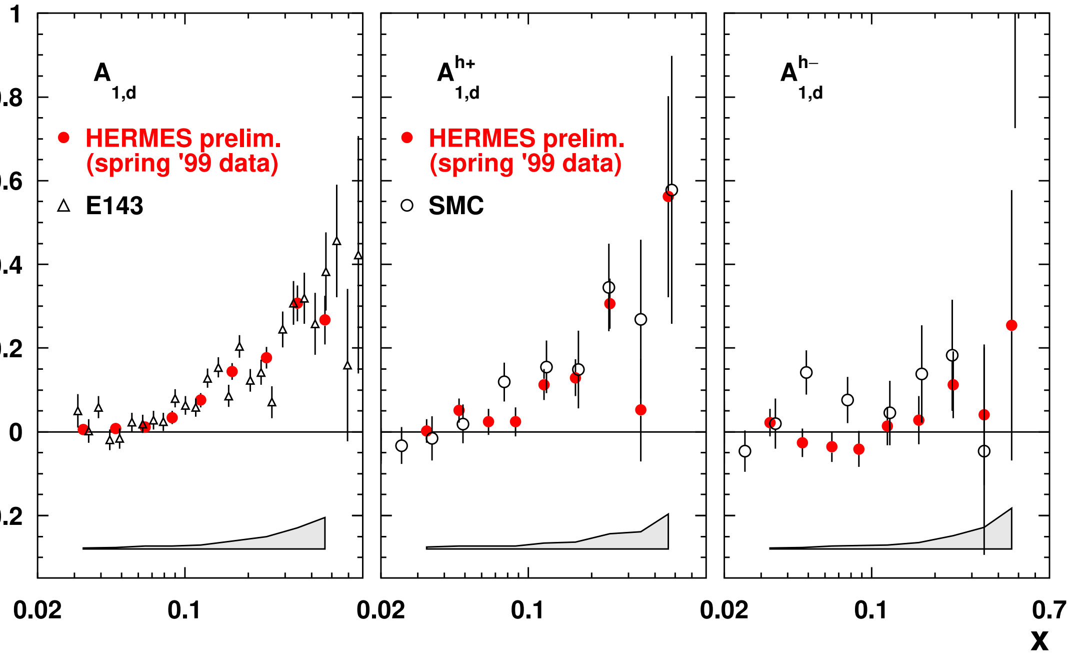
- Sistema da risolvere $\Longrightarrow$ $\quad \vec{A} = \mathcal{P} \cdot \vec{Q}$

- Assunzione di "flavour symmetric sea polarization" riduce i gradi di liberta':

$$\frac{\Delta u_s(x)}{u_s(x)} = \frac{\Delta d_s(x)}{d_s(x)} = \frac{\Delta s(x)}{s(x)} = \frac{\Delta \bar{u}(x)}{\bar{u}(x)} = \frac{\Delta \bar{d}(x)}{\bar{d}(x)} = \frac{\Delta \bar{s}(x)}{\bar{s}(x)}$$

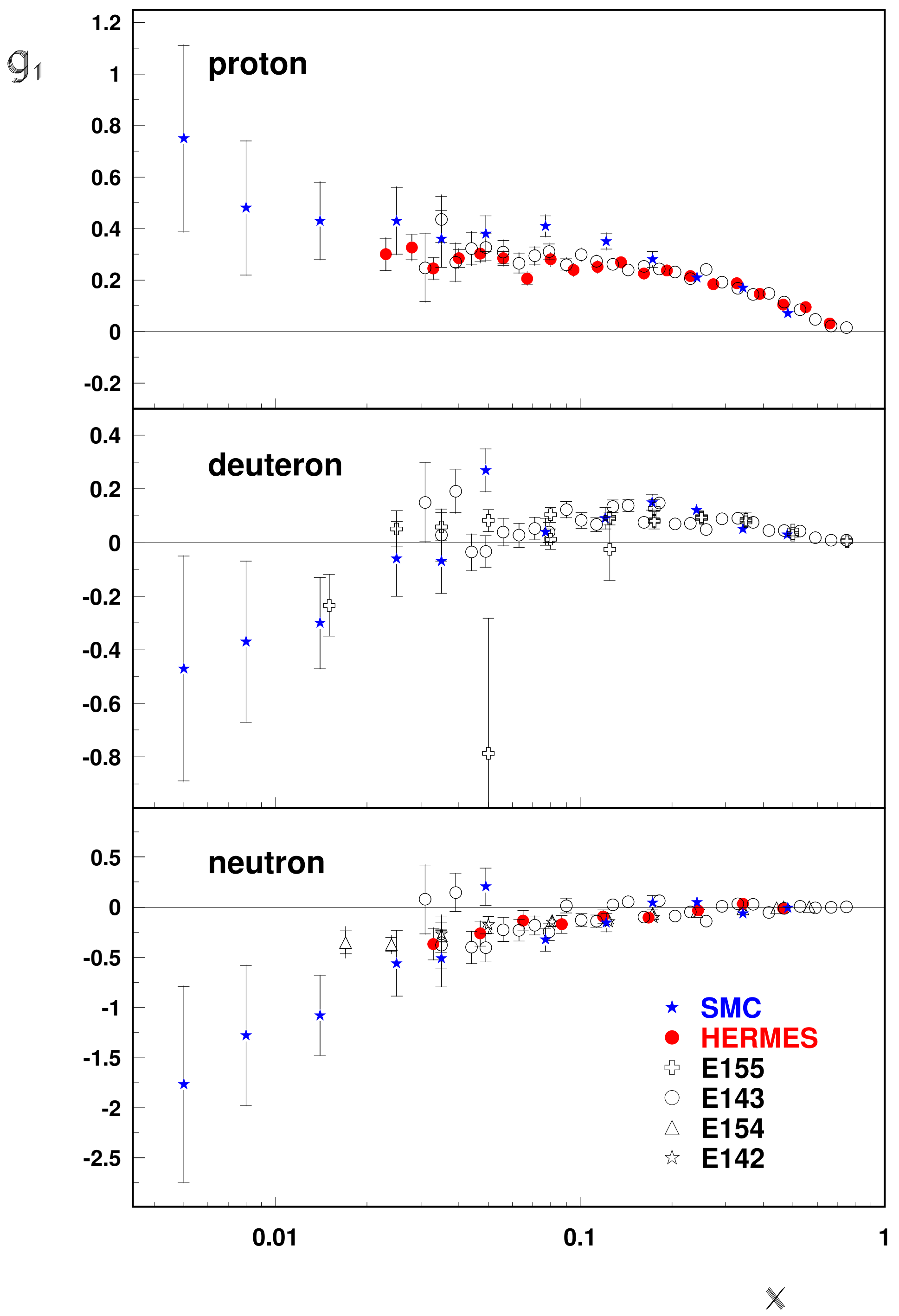
Asimmetrie Adroniche Misurate



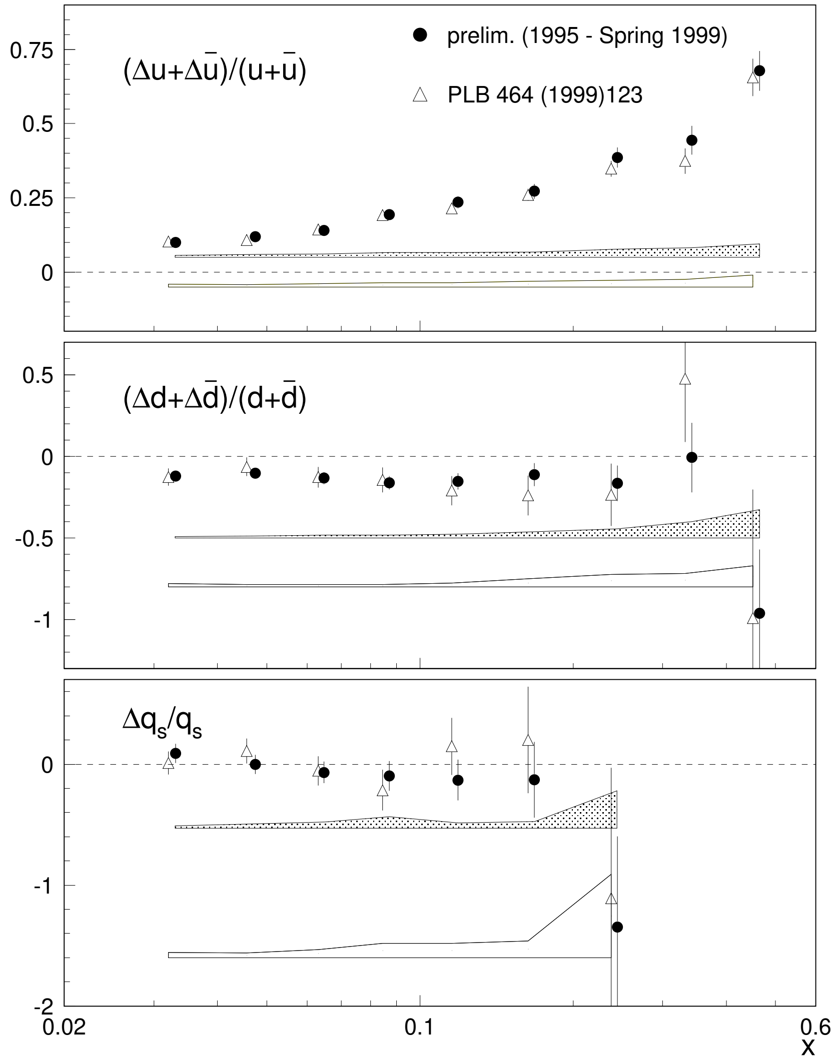


Estrazione di $g_1(x)$

$$g_1 \propto \frac{A_{||} F_2}{2x}$$



Flavour Quark Polarization



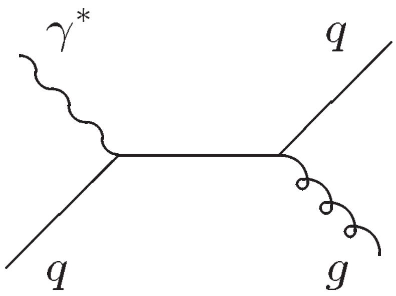
- HERMES: $Q^2 = 2.5 GeV^2$
  $\Rightarrow \Delta\Sigma = 0.33 \pm 0.06(stat) \pm 0.06(sys)$
- consistente con EMC agli stessi Q^2 ($\Delta\Sigma$ = 0.31)

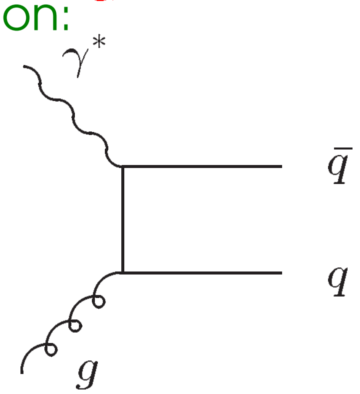
Contributo Gluonico

- Asimmetria per pioni con grande momento trasverso (p_T):

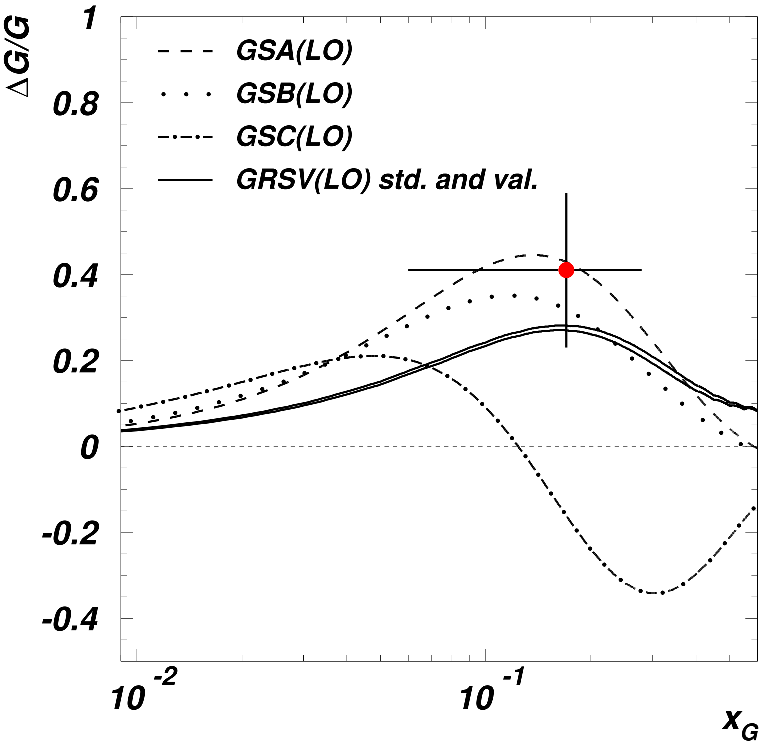
$$A_{LL}^{eN \to h_1 h_2} \approx \hat{a}_{QCDC} \frac{\Delta q}{q} + \hat{a}_{PGF} \frac{\Delta G}{G}$$

- pQCD Compton and Photon-Gluon Fusion:





- Valore estratto per $\Delta G/G$:



Cosa abbiamo imparato?

- Longitudinal spin sum rule:

$$S_z^N = \frac{1}{2} = \frac{1}{2}\Delta\Sigma + \Delta G + \langle L_z \rangle$$

- Stima dei contributi:

$$\frac{1}{2}\Delta\Sigma \approx +0.15$$

$$\Delta G \approx +1.0$$

$$L_z \approx -0.65$$

- Possibilita' di estrarre L_z da:

Deeply Virtual
Compton scattering