Riassunto della lezione precedente

• teoria di campo quantizzata sul light-cone e` equivalente a teoria di campo standard nell'**I**nfinite **M**omentum **F**rame (IFM, $Q^2 \to \infty$) e coincide con OPE per scattering DIS inclusivo

• DIS inclusivo coinvolge l'operatore bilocale Φ, correlatore quark-quark; nell'IFM estrazione del contributo a leading twist $\to$ proiezione $\Phi^{[\Gamma]}$ con interpretazione probabilistica delle distribuzioni :

$\Gamma = \gamma^+$ $\to$ distribuzione di momento $f_1(x)$

$\Gamma = \gamma^+\gamma_5$ $\to$ distribuzione di elicita` $g_1(x)$

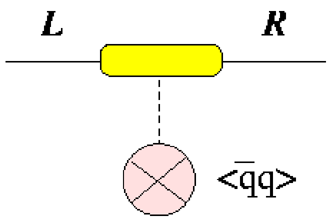
$\Gamma = i\sigma^{i\,+}\gamma_5$ $\to$ distribuzione di spin trasverso $h_1(x)$

• la "trasversita`" $h_1(x)$ mischia stati di elicita` diversi del quark $\to$ proprieta` anomale ed interessanti; difficolta` di estrazione dai dati

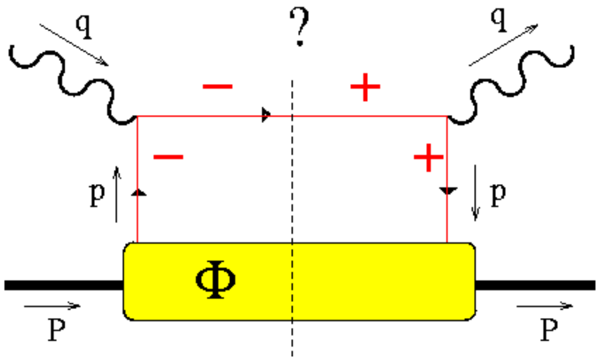
Base di elicita` $h_1 \sim \phi^\dagger P_L^\dagger P_R \phi$

Base di trasversita` $h_1 \sim \phi^\dagger (P_\uparrow^\dagger P_\uparrow - P_\downarrow^\dagger P_\downarrow)\phi$

per componenti "good" ($\Leftrightarrow$ twist 2) elicita` = chiralita`
quindi h_1 non conserva chiralita` (chiral odd)
h_1 puo` quindi essere determinata da processi soft
legati alla rottura della simmetria chirale della QCD
(ruolo del vuoto nonperturbativo di QCD?)

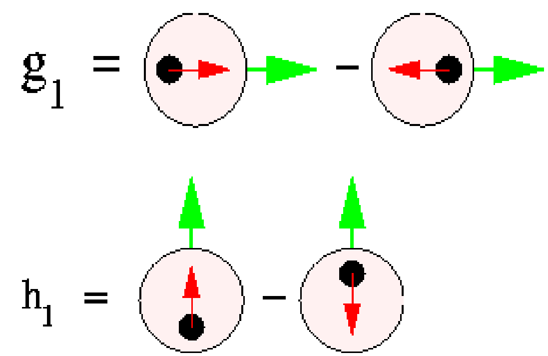


QCD conserva l'elicita` al leading twist
$\rightarrow h_1$ soppressa in DIS inclusivo

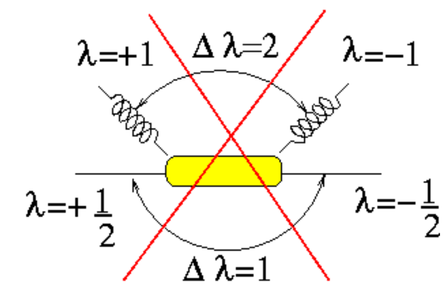


Inoltre in base di elicita` la sezione d'urto deve essere chiral-even
quindi per estrarre h_1 bisogna trovare un processo elementare in cui
appaia insieme ad un partner chiral-odd, in modo da "annullare l'effetto";
il vincolo ulteriore e` che tale contributo appaia al leading twist.

Chiral-odd $h_1 \to$ interessanti proprieta` rispetto alle altre distribuzioni



- g_1 e h_1 (e tutte le PDF) sono definite nell'IFM
  cioe` boost $Q \to \infty$ lungo l'asse z
  ma boost e rotazioni di Galileo commutano in frame nonrelativistico $\to$ $g_1 = h_1$
  ogni differenza e` data da effetti relativistici
  $\to$ info su dinamica relativistica dei quarks



- per gluone si definiscono
  G(x) = la distribuzione di momento
  ΔG(x) = la distribuzione di elicita`
  pero` non esiste la "trasversita`" in adrone a spin ½
  $\Rightarrow$ evoluzione di $h_1(x,Q^2)$ non riceve contributi gluonici !

$$\langle PS|\bar{q}^f\gamma^i\gamma_5\frac{\lambda^f}{2}q^f|PS\rangle\Big|_{Q^2} = 2S^i\int dx\,\left[g_1^f(x,Q^2) + \bar{g}_1^f(x,Q^2)\right] \propto g_A$$

el. matrice operatore locale (non-singlet) = momento di distribuzione **carica assiale**

$$\langle PS|\bar{q}^f i\sigma^{0i}\gamma_5\frac{\lambda^f}{2}q^f|PS\rangle\Big|_{Q^2} = 2S^i\int dx\,\left[h_1^f(x,Q^2) - \bar{h}_1^f(x,Q^2)\right] = 2S^i\,h_1^f(Q^2)$$

carica tensoriale

- carica assiale da operatore C(harge)-even
  carica tensoriale C-odd $\to$ non prende contributi da coppie quark-antiquark del mare di Dirac

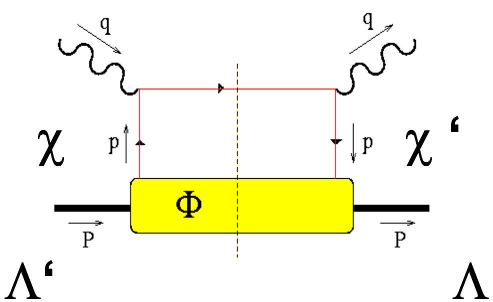
(continua)

riassumendo: l'evoluzione di $h_1(x,Q^2)$ e` molto diversa dalle altre PDF perche` tutti gli operatori locali legati ad h_1 non prendono contributi ne' dai gluoni ne' dal mare di Dirac $\rightarrow$ evoluzione tipica di una PDF di non-singoletto

- relazioni tra PDF's

positivita` delle densita` di probabilita` $\rightarrow$ $f_1 \geq |g_1|$, $f_1 \geq |h_1|$

proiezione di $\Phi(x)$ su spazio di (chiralita` χ = R/L del quark) $\otimes$ (spin Λ del N)

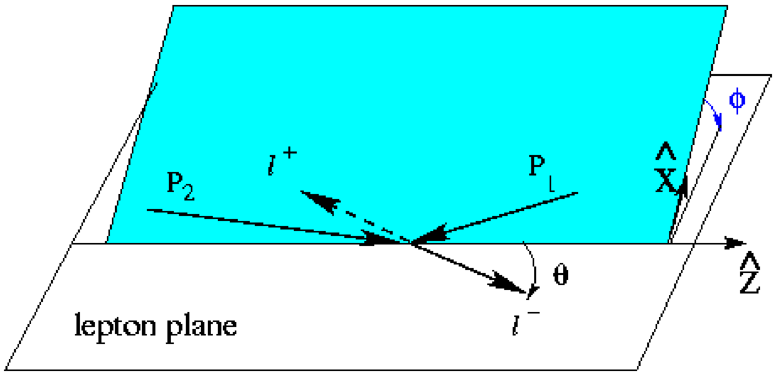


$$
\begin{array}{cc}
\textbf{RR} & \hspace{8em} \textbf{RL} \\
\Phi^{\Lambda'\Lambda}_{\chi'\chi} = \left(\begin{array}{cc|cc}
f_1+g_1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & f_1-g_1 & 2h_1 & 0 \\
\hline
0 & 2h_1 & f_1-g_1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & f_1+g_1
\end{array}\right) & \\
\textbf{LR} & \hspace{8em} \textbf{LL}
\end{array}
$$

$||\Phi|| \geq 0$ $\rightarrow$ diseguaglianza di Soffer: $f_1+g_1 \geq 2|h_1|$

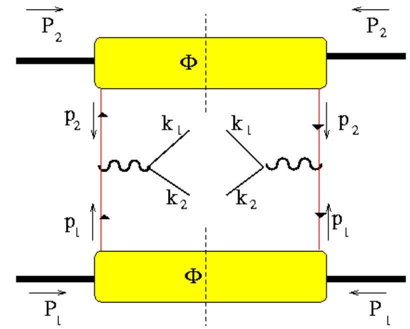
Come estrarre la trasversita` dai dati ?

No DIS inclusivo $\rightarrow$ scelta piu` ovvia: Drell-Yan polarizzato

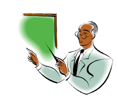


Collins-Soper frame:
$\mathbf{q}_T(\gamma^*)$ in (xz) plane

$$p^\uparrow p^\uparrow \rightarrow l^+ l^- X$$



$$x_{1/2} = \frac{Q^2}{2P_{1/2}\cdot q}$$



$$\begin{aligned} W^{\mu\nu} &= \int d\mathbf{q}_T \int \frac{d^4\xi}{(2\pi)^4} \, e^{iq\cdot\xi} \, \langle P_1 S_1, P_2 S_2 | \, [J^\mu(\xi), J^\nu(0)] \, | P_1 S_1, P_2 S_2 \rangle \\ &\rightarrow \frac{1}{3} \sum_{f,\bar{f}} e_f^2 \, \mathrm{Tr} \left[\Phi_f(x_1, S_1) \, \gamma^\mu \, \bar{\Phi}_{\bar{f}}(x_2, S_2) \, \gamma^\nu \right] + (\mu \leftrightarrow \nu) \end{aligned}$$

$$\Phi(x,S) = \int dp^- d\mathbf{p}_T \, \Phi(p,P,S) \Big|_{p^+ = xP^+} \longrightarrow [f_1(x) + \lambda \, g_1(x) \, \gamma_5 + h_1(x) \, \gamma_5 \, \not{S}_T]$$

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma^{\uparrow\uparrow}}{dx_1 \, dx_2 \, d\Omega} &= \frac{d\sigma^o}{dx_1 \, dx_2 \, d\Omega} + \frac{\Delta\sigma}{dx_1 \, dx_2 \, d\Omega} \\ &\sim \frac{\alpha^2}{12Q^2} \sum_{f,\bar{f}} e_f^2 \left\{ f_1^f(x_1) \, \bar{f}_1^f(x_2) \, (1 + \cos^2\theta) + |\mathbf{S}_{1T}| \, |\mathbf{S}_{2T}| \, \sin^2\theta \, \cos 2\phi \, h_1^f(x_1) \, \bar{h}_1^f(x_2) \right\} \end{aligned}$$

Single-Spin Asymmetry (SSA)

$$A_{TT} = \frac{d\sigma(p^\uparrow p^\uparrow) - d\sigma(p^\uparrow p^\downarrow)]}{d\sigma(p^\uparrow p^\uparrow) + d\sigma(p^\uparrow p^\downarrow)}$$

$$= |\mathbf{S}_{T_1}|\,|\mathbf{S}_{T_2}|\,\frac{\sin^2\theta\cos 2\phi}{1+\cos^2\theta}\,\frac{\sum_{f,\bar{f}} e_f^2\, h_1^f(x_1)\, \bar{h}_1^f(x_2)}{\sum_{f,\bar{f}} e_f^2\, f_1^f(x_1)\, \bar{f}_1^f(x_2)}$$

Ma = distribuzione di spin trasverso per antiquark in protone polarizz.
$\rightarrow$ antiquark del mare di Dirac e` soppresso

Inoltre simulazioni indicano che disuguaglianza di Soffer, imposta ad ogni Q^2 nell'evoluzione, vincola A_{TT} a numeri troppo piccoli ($\lesssim$ 1%)

Meglio considerare $p^\uparrow \bar{p}^\uparrow \rightarrow l^+ l^- X$ (recente proposals PAX & ASSIA al GSI)

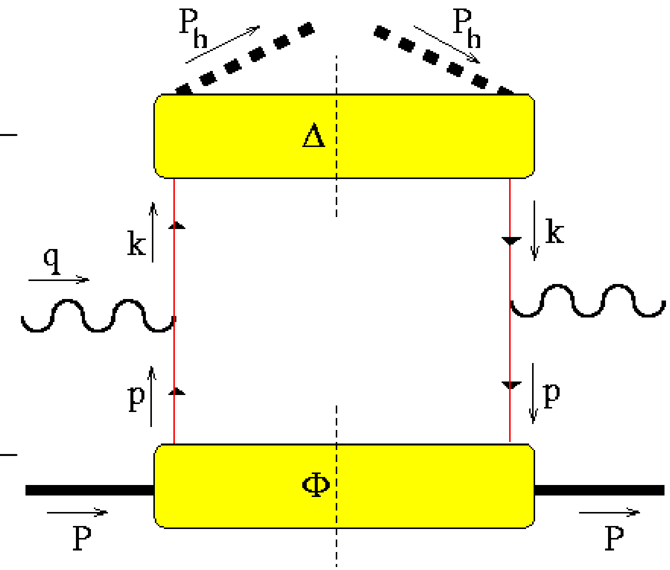
Altrimenti …. si devono considerare reazioni semi-inclusive

Altra alternativa $\rightarrow$ DIS semi-inclusivo

diagramma
dominante
al leading twist

partner
chiral-odd

chiral-odd



i 3 vettori P,q,P_h non possono essere tutti collineari $\rightarrow$ 2 scelte:

1. $\perp$ –frame (sperimentale) $\mathbf{P}_\perp = \mathbf{q}_\perp = \mathbf{0}$, $\mathbf{P}_{h\perp} \neq \mathbf{0}$
2. T-frame (teorico) $\mathbf{P}_T = \mathbf{P}_{hT} = \mathbf{0}$, $\mathbf{q}_T \neq \mathbf{0}$

collegati da boost
per cui $\mathbf{q}_T = -\mathbf{P}_{h\perp} / z_h$

$$z_h = \frac{P \cdot P_h}{P \cdot q}$$

al leading twist T-frame $\sim \perp$ –frame
perche` il boost introduce correzioni
del tipo 1/Q

T-frame (IFM)

$$P^\mu = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(A, \frac{M^2}{A}, \mathbf{0}_T\right) \to \left(P^+, \frac{M^2}{2P^+}, \mathbf{0}_T\right)$$

$$q^\mu = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(-x_N A, \frac{Q^2 - \mathbf{q}_T^2}{2x_N A}, \mathbf{q}_T\right) \sim \left(-x_B P^+, \frac{P_h^-}{z_h}, \mathbf{q}_T\right) \to (-Q, Q, \mathbf{q}_T)$$

$$P_h^\mu \to \left(\frac{M_h^2}{2z_h Q}, z_h Q, \mathbf{0}_T\right)$$

IFM per stato finale:
direzione "-" dominante

$$x_B \sim x_N = -\frac{q^+}{P^+}$$

$$z_h = \frac{P_h^-}{q^-}$$

partoni

$$p^\mu = \left(xP^+, \frac{p^2 + \mathbf{p}_\perp^2}{2xP^+}, \mathbf{p}_T\right)$$

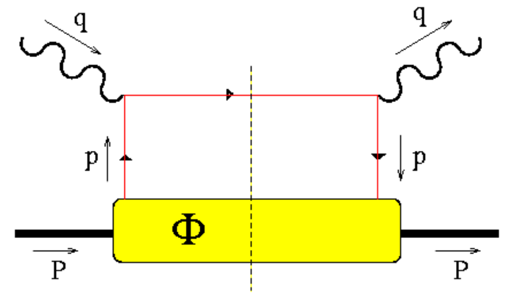
$$k^\mu = \left(\frac{z(k^2 + \mathbf{k}_T)}{2P_h^-}, \frac{P_h^-}{z}, \mathbf{k}_T\right)$$

$$z = \frac{P_h^-}{k^-} \sim z_h$$

frazione light-cone
del momento
del quark frammentante

	+	-	
H$\to$ q	$\sim$ Q	$\sim$ 1/Q	$\int$ dp$^-$
hard	$\sim$ Q	$\sim$ Q	
q$\to$ H	$\sim$ 1/Q	$\sim$ Q	$\int$ dp$^+$

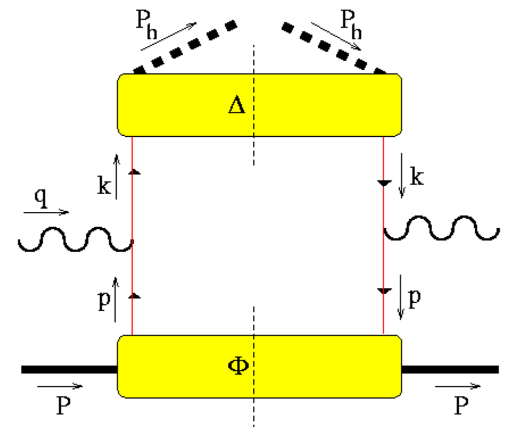
procedura simile a DIS inclusivo



$$2MW^{\mu\nu} = \sum_f e_f^2 \int d^4p\, \delta((p+q)^2 - m^2)$$
$$\mathrm{Tr}\,[\Phi(p,P,S)\,\gamma^\mu\,(\not p + \not q + m)\,\gamma^\nu] + \begin{pmatrix} \mu \leftrightarrow \nu \\ q \leftrightarrow -q \end{pmatrix}$$

(antiquark)

$$\Downarrow$$



$$2MW^{\mu\nu} = \sum_f e_f^2 \int d^4p\, d^4k\, \delta(p+q-k)$$
$$\mathrm{Tr}\,[\Phi(p,P,S)\,\gamma^\mu\,\Delta(k,P_h,S_h)\,\gamma^\nu] + \begin{pmatrix} \mu \leftrightarrow \nu \\ q \leftrightarrow -q \end{pmatrix}$$

$$\xrightarrow{Q^2\to\infty} \sum_f e_f^2 \int dp^- d\mathbf{p}_T dk^+ d\mathbf{k}_T\, \delta(\mathbf{p}_T + \mathbf{q}_T - \mathbf{k}_T)$$
$$\mathrm{Tr}\,[\Phi(p,P,S)\,\gamma^\mu\,\Delta(k,P_h,S_h)\,\gamma^\nu]\,\Big|^{p^+=xP^+}_{k^-=P_h^-/z} + \begin{pmatrix} \mu \leftrightarrow \nu \\ q \leftrightarrow -q \end{pmatrix}$$

$$\Phi(p,P,S) = \int \frac{d^4\xi}{(2\pi)^4}\, e^{-ip\cdot\xi}\, \langle P,S|\bar\psi(\xi)\,\psi(0)|P,S\rangle$$

$$\Delta(k,P_h,S_h) = \sum_X \int \frac{d^4\zeta}{(2\pi)^4}\, e^{ik\cdot\zeta}\, \langle 0|\psi(\zeta)|P_hS_h,X\rangle\,\langle P_hS_h,X|\bar\psi(0)|0\rangle$$

similmente
per antiquark

contributi al leading twist

decomposizione della matrice di Dirac $\Delta(k,P_h,S_h)$ sulla base delle strutture di Dirac e dei 4-(pseudo)vettori k,P_h,S_h compatibilmente con Hermiticity e invarianza per parita` e time-reversal

base di Dirac

$$\mathbb{1},\ \gamma^\mu,\ \gamma_5,\ \gamma^\mu\gamma_5,\ i\sigma^{\mu\nu}\gamma_5$$

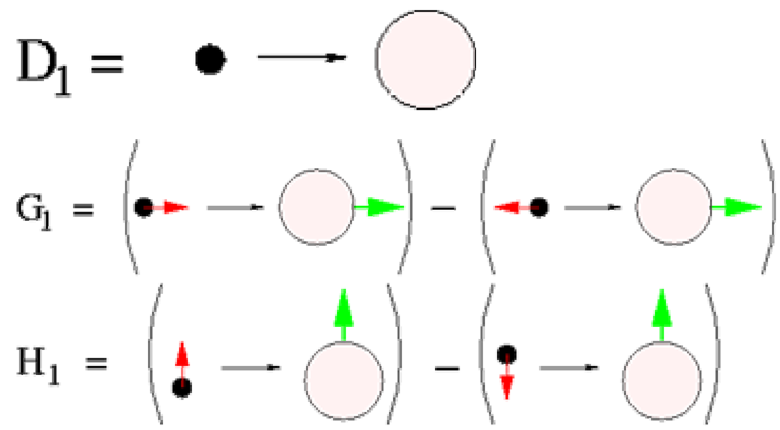
$$\Delta^{[\Gamma]}(z,S_h) = \frac{1}{4z}\int dk^+ d\mathbf{k}_T\, \mathrm{Tr}\left[\Delta(k,P_h,S_h)\,\Gamma\right]\Big|_{k^-=P_h^-/z}$$

Proiezioni al leading twist

$$\Delta^{[\gamma^-]}(z,S_h) = D_1(z)$$

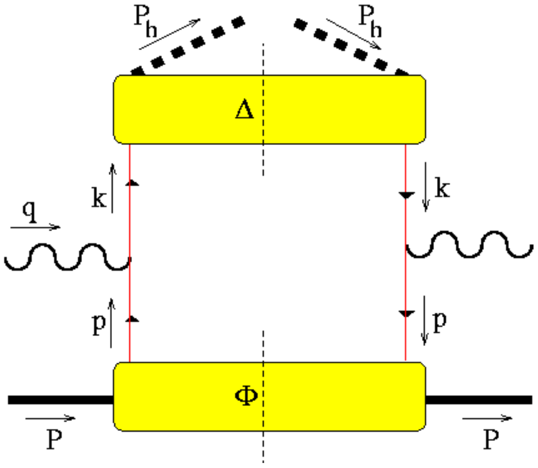
$$\Delta^{[\gamma^-\gamma_5]}(z,S_h) = \lambda_h\, G_1(z)$$

$$\Delta^{[i\sigma^{i-}\gamma_5]}(z,S_h) = S_{h_T}^i\, H_1(z)$$



$$\Delta(z,S_h) = \frac{z}{4}\int dk^+ d\mathbf{k}_T\, \Delta(k,P_h,S_h)\Big|_{k^-=P_h^-/z} \longrightarrow \left[D_1(z) + \lambda_h\, G_1(z)\,\gamma_5 + H_1(x)\,\gamma_5\ \not{S}_{hT}\right]$$

SSA in SIDIS



se S_h=0 (ad es. π) $\to$ $h_1 \otimes$ (FF chiral-odd) appare al twist 3

Se $S_h \neq 0$ (ad es. $\Lambda^\uparrow$) : e $p^\uparrow \to$ e' $\Lambda^\uparrow$ X al twist 2

$$\frac{d\sigma}{dx\, dy\, dz\, d\phi_S\, d\phi_{S_h}} = \frac{\alpha^2}{sxQ^2} L_{\mu\nu} \int d\mathbf{P}_{hT}\, 2MW^{\mu\nu}$$

$$= \frac{2\alpha^2}{sxy^2} \sum_{f,\bar{f}} e_f^2 \left\{ A(y)\, f_1^f(x)\, D_1^f(z) + |\mathbf{S}_T|\, |\mathbf{S}_{\Lambda T}|\, B(y)\, \cos(\phi_S + \phi_{S_h})\, x\, h_1^f(x)\, H_1^f(z) \right\}$$

$$y = \frac{P \cdot q}{P \cdot p_e} \sim \frac{\nu}{E_e}$$

SSA = depolarizzazione (o coefficiente di trasferimento di polarizzazione)

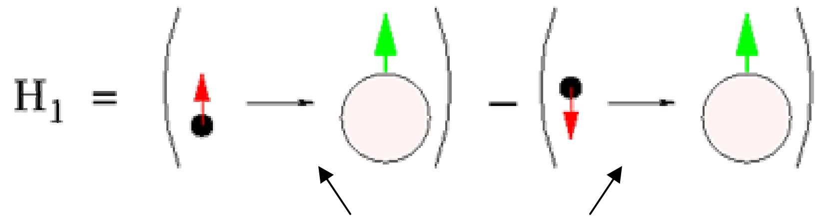
$$D_{NN} = \frac{d\sigma(p^\uparrow \Lambda^\uparrow) - d\sigma(p^\downarrow \Lambda^\uparrow)}{d\sigma(p^\uparrow \Lambda^\uparrow) + d\sigma(p^\downarrow \Lambda^\uparrow)} \propto |\mathbf{S}_T||\mathbf{S}_{\Lambda_T}|\, \frac{B(y)}{A(y)}\, \frac{\sum_{f\bar{f}} e_f^2\, h_1^f(x)\, H_1^f(z)}{\sum_{f\bar{f}} e_f^2\, f_1^f(x)\, D_1^f(z)}$$

(continua)

Similmente per
p p$^\uparrow \to \Lambda^\uparrow$ X

$$D_{NN} \propto |\mathbf{S}_T||\mathbf{S}_{\Lambda_T}| \frac{\sum_{f\bar{f}} e_f^2\, f_1^f(x_1)\, h_1^f(x_2)\, H_1^f(z)}{\sum_{f\bar{f}} e_f^2\, f_1^f(x_1)\, f_1^f(x_2)\, D_1^f(z)}$$

Ma problema teorico:
$\Lambda^\uparrow = \{u^\uparrow, d^\Downarrow, s^\uparrow\}$
secondo SU$_f$(3)



ma quale meccanismo ?

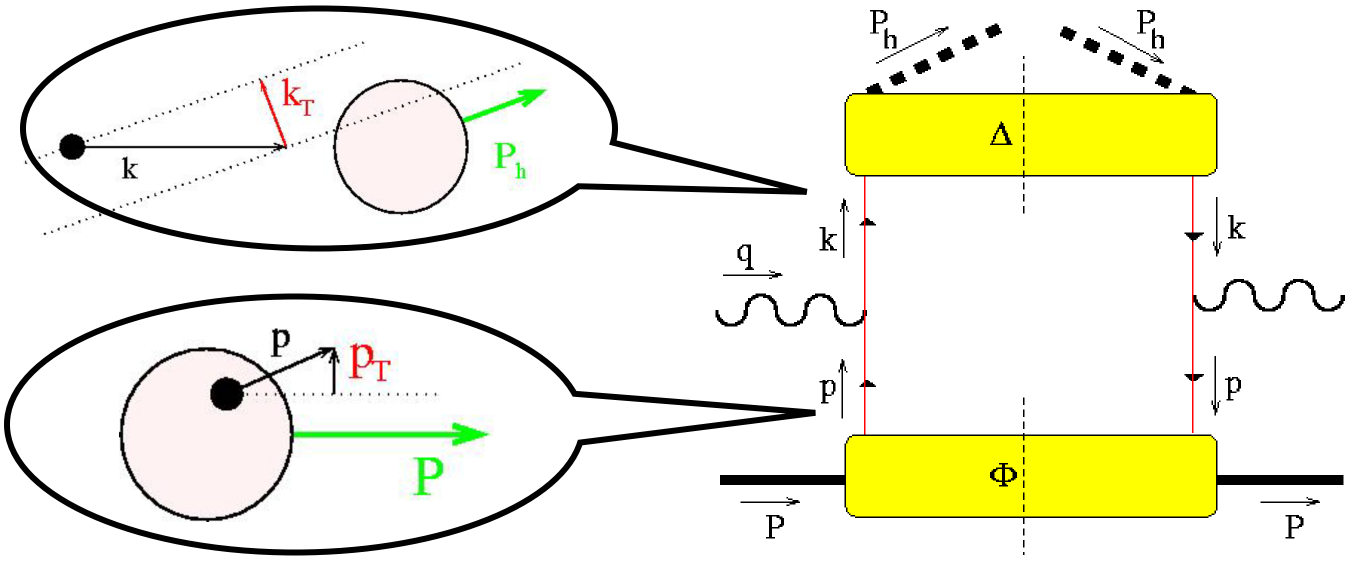
Riassumendo :

- SSA in p$^\uparrow$ p$^\uparrow \to$ l$^+$ l$^-$ X improbabile; antiprotoni polarizzati trasversalmente non ancora disponibili
- SSA in SIDIS con adroni polarizzati, ad es. e p$^\uparrow \to$ e' $\Lambda^\uparrow$ X , implica un meccanismo di trasferimento di polarizzazione non ancora ben noto
- SSA in SIDIS con adroni non polarizzati contribuisce a twist $\geq$ 3

In tutti i casi difficolta` nell'estrarre h$_1$ dai dati $\to$ altri meccanismi ?

- 1ª osservazione : nello stato finale l'adrone osservato e` leading, porta cioe` la maggior parte del momento del quark di frammentazione, il resto distribuito tra i vari oggetti che compongono il jet (X); e` lecito immaginare un'interazione residua tra l'adrone e il jet $\rightarrow$ nell'analisi di $\Delta$ $(k,P_h,S_h)$ bisogna eliminare il vincolo dell'invarianza per time-reversal $\rightarrow$ struttura piu` ricca

- 2ª osservazione : in SIDIS $\{P,q,P_h\}$ non sono tutti collineari; nel T-frame, se la sezione d'urto e` differenziale anche in d$\mathbf{q}_T$ $\rightarrow$ sensibilita` ai momenti trasversi dei partoni nel vertice hard $\rightarrow$ struttura piu` ricca

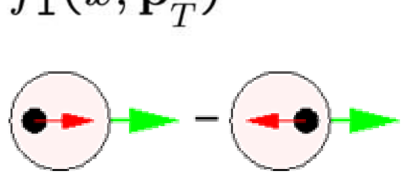


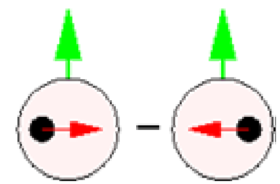
PDF dipendenti da momento trasverso intrinseco

$$\Phi^{[\Gamma]}(x, \mathbf{p}_T, S) = \int dp^- \, \mathrm{Tr}\left[\Phi(p, P, S)\, \Gamma\right] \Big|_{p^+ = xP^+}$$

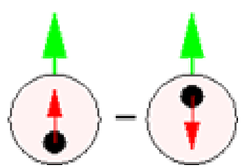
Proiezioni al leading twist

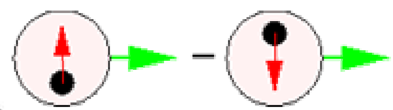
$$\Phi^{[\gamma^+]}(x, \mathbf{p}_T, S) \;=\; f_1(x, \mathbf{p}_T^2)$$

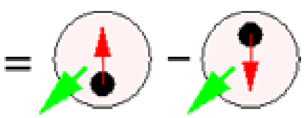
$\mathbf{g}_{1L} =$ 

$\mathbf{g}_{1T} =$ 

$$\Phi^{[\gamma^+\gamma_5]}(x, \mathbf{p}_T, S) \;=\; \lambda\, g_{1L}(x, \mathbf{p}_T^2) + \frac{\mathbf{p}_T \cdot \mathbf{S}_T}{M}\, g_{1T}(x, \mathbf{p}_T^2)$$

$\mathbf{h}_{1T} =$ 

$\mathbf{h}_{1L}^{\perp} =$ 

$\mathbf{h}_{1T}^{\perp} =$ 

$$\Phi^{[i\sigma^{i+}\gamma_5]}(x, \mathbf{p}_T, S) \;=\; S_T^i\, h_{1T}(x, \mathbf{p}_T^2) + \frac{p_T^i}{M}\left[\lambda\, h_{1L}^{\perp}(x, \mathbf{p}_T^2) + \frac{\mathbf{p}_T \cdot \mathbf{S}_T}{M}\, h_{1T}^{\perp}(x, \mathbf{p}_T^2)\right]$$

q↑

pesata con $\mathbf{p}_T$

twist 2

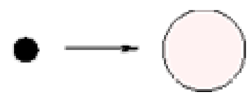
N→

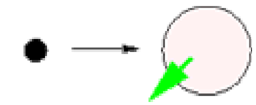
Proiezioni al twist 3 :
lista ancora piu` lunga ….

FF dipendenti da momento trasverso intrinseco

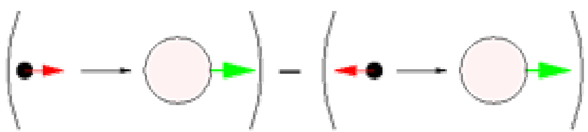
$$\Delta^{[\Gamma]}(z,\mathbf{k}_T,S_h)=\frac{1}{4z}\int dk^+\,\mathrm{Tr}\left[\Delta(k,P_h,S_h)\,\Gamma\right]\Big|_{k^-=P_h^-/z}$$

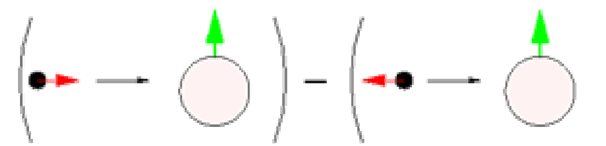
Proiezioni al leading twist

$D_1 =$


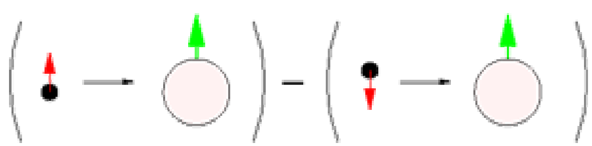
$D_{1T}^{\perp}=$


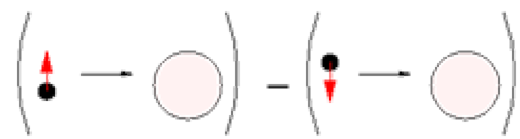
$$\Delta^{[\gamma^-]}(z,\mathbf{k}_T,S_h) \;=\; D_1(z,\mathbf{k}_T^2)+\frac{(\mathbf{k}_T\times\mathbf{S}_{hT})_i}{M_h}\,D_{1T}^{\perp}(z,\mathbf{k}_T^2)$$

$G_{1L}=$


$G_{1T}=$


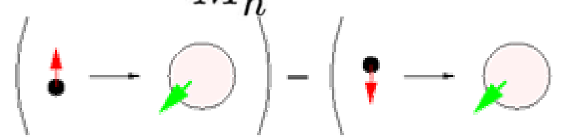
$$\Delta^{[\gamma^-\gamma_5]}(z,\mathbf{k}_T,S_h) \;=\; \lambda_h\,G_{1L}(z,\mathbf{k}_T^2)+\frac{\mathbf{k}_T\cdot\mathbf{S}_{hT}}{M_h}\,G_{1T}^{\perp}(z,\mathbf{k}_T^2)$$

$H_{1T}=$


$H_1^{\perp}=$


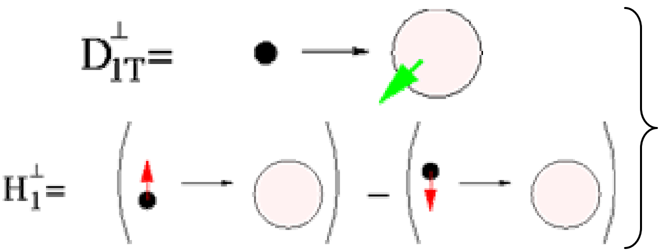
$$\Delta^{[i\sigma^{i-}\gamma_5]}(z,\mathbf{k}_T,S_h) \;=\; S_{hT}^i\,H_{1T}(z,\mathbf{k}_T^2)+\frac{(\hat{\mathbf{n}}_T\times\mathbf{k}_T)_i}{M_h}\,H_1^{\perp}(z,\mathbf{k}_T^2)$$
$$+\frac{k_T^i}{M_h}\left[\lambda_h\,H_{1L}^{\perp}(z,\mathbf{k}_T^2)+\frac{\mathbf{k}_T\cdot\mathbf{S}_{hT}}{M_h}\,H_{1T}^{\perp}(z,\mathbf{k}_T^2)\right]$$

$H_{1L}^{\perp}=$


$H_{1T}^{\perp}=$


(continua)

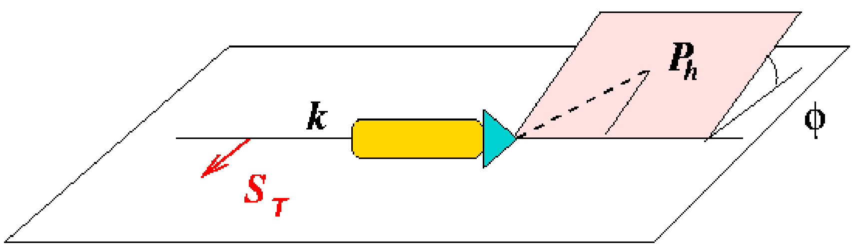
$D_{1T}^{\perp}$ e $H_1^{\perp}$ sono FF su cui il time-reversal non impone condizioni; se le interazioni residue (FSI) tra adrone e jet nello stato finale si annullano $\rightarrow$ entrambe le FF = 0



entrambe legano lo spin di un oggetto alla dipendenza da $\mathbf{k}_T$ di un altro oggetto non polarizzato

effetto Collins (Collins, Nucl.Phys. **B396** ('93) 161) :

trasferire polarizzazione trasversa del quark di frammentazione non alla polarizz. trasversa dell'adrone, ma al moto orbitale di un adrone non polarizzato $\rightarrow$ SSA dipendente da $\mathbf{P}_{h\perp}$



piano adronico finale

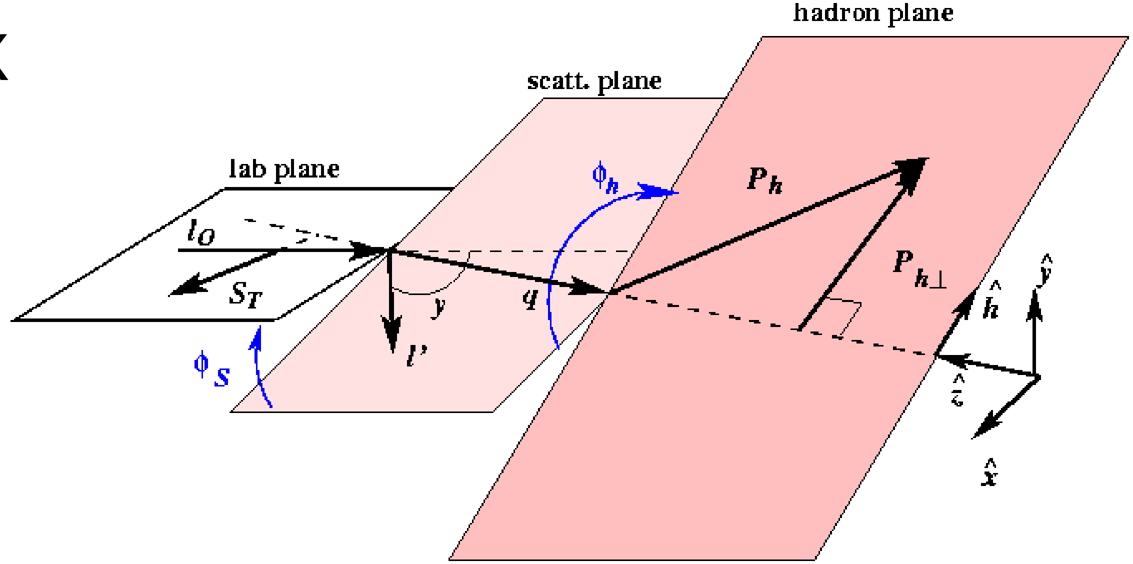
asimmetria in

$\sin\phi \;\propto\; k \times P_h \cdot S_T$

tipico effetto non perturbativo (legato al momento angolare orbitale dei partoni)

SIDIS e p$^\uparrow \to$ e' π X

per avere l'effetto Collins bisogna mantenere la sez. d'urto differenziale in $\mathbf{P}_{h\perp}$



$$\frac{d^6\sigma_{OT}}{dx\,dy\,dz\,d\phi_S\,d\mathbf{P}_{h\perp}} = \frac{2\alpha^2}{sxy^2}\sum_{f,\bar f} e_f^2 \left\{ A(y)\,\mathcal{F}\left[f_1^f(x,\mathbf{p}_T^2)\,D_1^f(z,\mathbf{k}_T^2)\right]\right.$$

$$\left. + |\mathbf{S}_T|\,B(y)\,\sin\underbrace{(\phi_h+\phi_S)}_{\phi_C \text{ angolo di Collins}}\,\mathcal{F}\left[\frac{\mathbf{k}_T\cdot\hat{\mathbf{P}}_{h\perp}}{M_h}\,h_1^f(x,\mathbf{p}_T^2)\,H_1^{\perp f}(z,\mathbf{k}_T^2)\right]\right\}$$

$$H_1^{\perp(1)}(z) = \int d\mathbf{k}_T\,\frac{\mathbf{k}_T^2}{2M_h}\,H_1^{\perp}(z,\mathbf{k}_T)$$

SSA

$$\frac{\int d\phi_S\,d\mathbf{P}_{h\perp}\,\frac{|\mathbf{P}_{h\perp}|}{M_h}\,\sin\phi_C\,(d\sigma^\uparrow - d\sigma^\downarrow)}{\int d\phi_S\,d\mathbf{P}_{h\perp}\,(d\sigma^\uparrow + d\sigma^\downarrow)} = |\mathbf{S}_T|\,\frac{B(y)}{A(y)}\,\frac{\sum_{f\bar f} e_f^2\,z\,h_1^f(x)\,H_1^{\perp f\,(1)}(z)}{\sum_{f\bar f} e_f^2\,f_1^f(x)\,D_1^f(z)}$$

Congettura semi-classica : poiche` γ^* colpisce $q^\uparrow \rightarrow$ la stringa di forza di colore tra $q^\uparrow$ e il diquark (qq) ha un momento angolare orbitale; quando la stringa si rompe, la coppia quark-antiquark porta momento angolare orbitale e determina l'asimmetria azimutale nell'emissione dell'adrone finale osservato (Artru , hep-ph/9310323)