

Roma 26 Gennaio 2007

Risultati recenti di HERA e implicazioni per LHC

Massimo Corradi

INFN Bologna

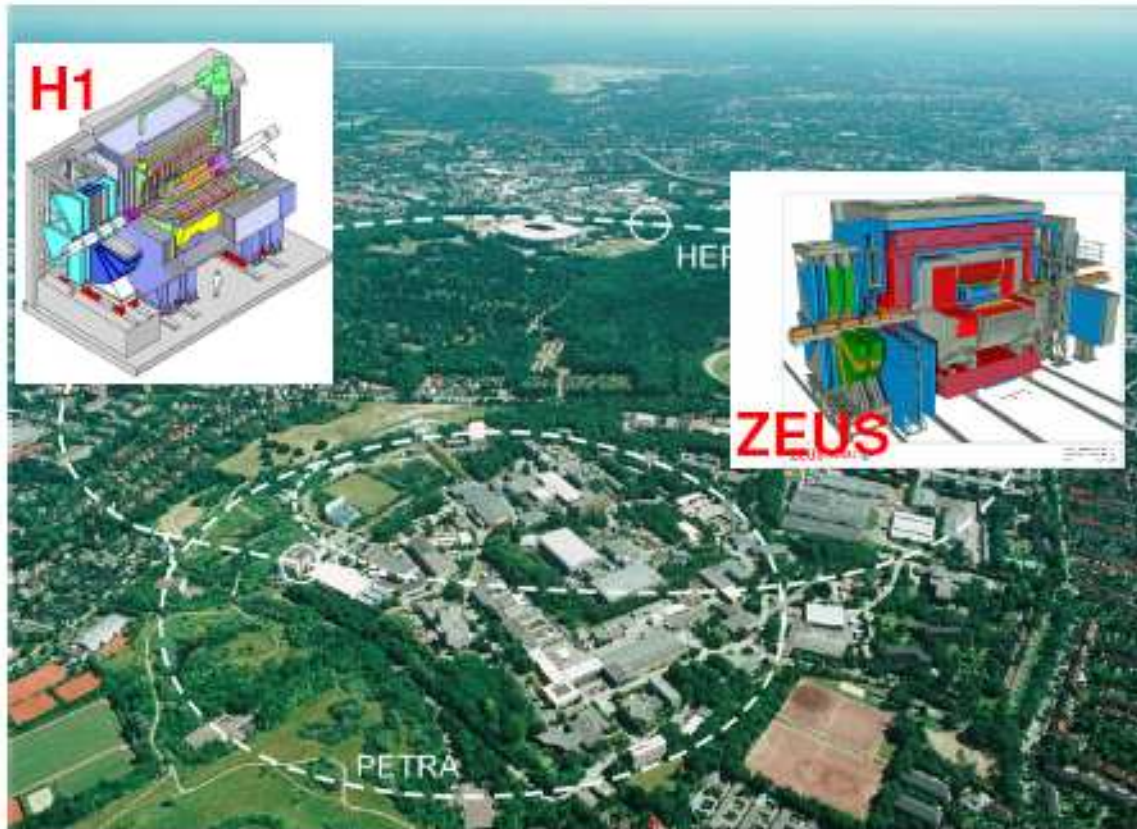
Hamburg University von Humboldt Fellow

Indice

- Introduzione: HERA, DIS, densità partoniche
- ultimi risultati su DIS, jets
- fit densità partoniche e rilevanza per LHC
- altri modi per misurare la densità di gluoni
- multijets e Interazioni Multiple a HERA
- diffrazione in *ep* e *pp*

HERA, ZEUS, H1

HERA è l'unico collider ep



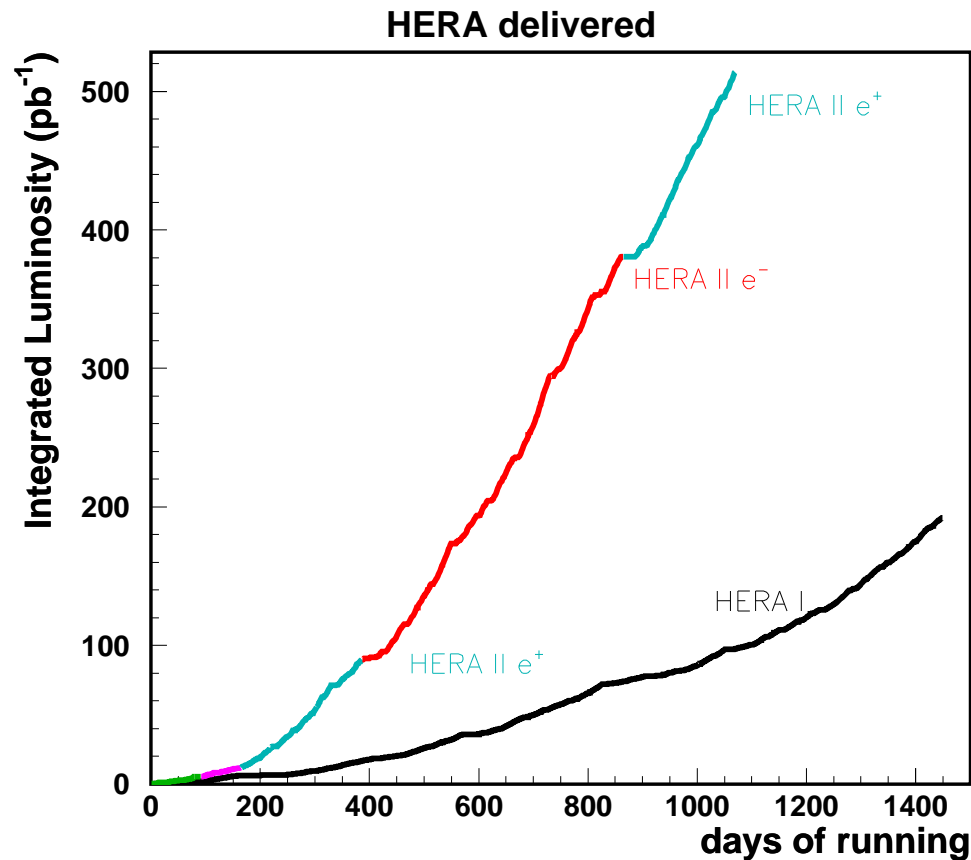
Esperimenti:
collisioni ep : H1, ZEUS
rivelatori general-purpose

Fixed target (non trattati):
HERMES (eA polarizzati)
HERA-B (pA , chiuso)

Selezione personale dei risultati
(bias pro ZEUS dell'autore)



HERA, luminosità



92-00 HERA-I

03-07 HERA-II (upgrade luminosità, elettroni polarizzati)

Luminosità utile integrata da ZEUS:

periodo	e^+p	e^-p
HERA-I	105 pb^{-1}	16 pb^{-1}
HERA-II NOW	$\sim 160 \text{ pb}^{-1}$	213 pb^{-1}

Run e^-p finito a giugno 2006 (213 pb^{-1})

Run e^+p in corso ($\sim 115 \text{ pb}^{-1}$)

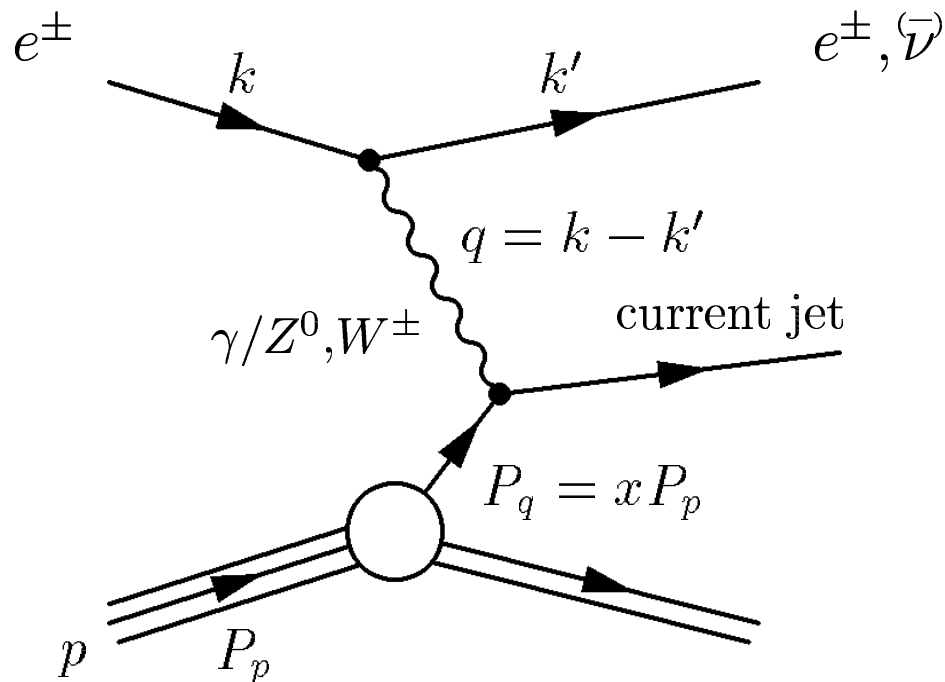
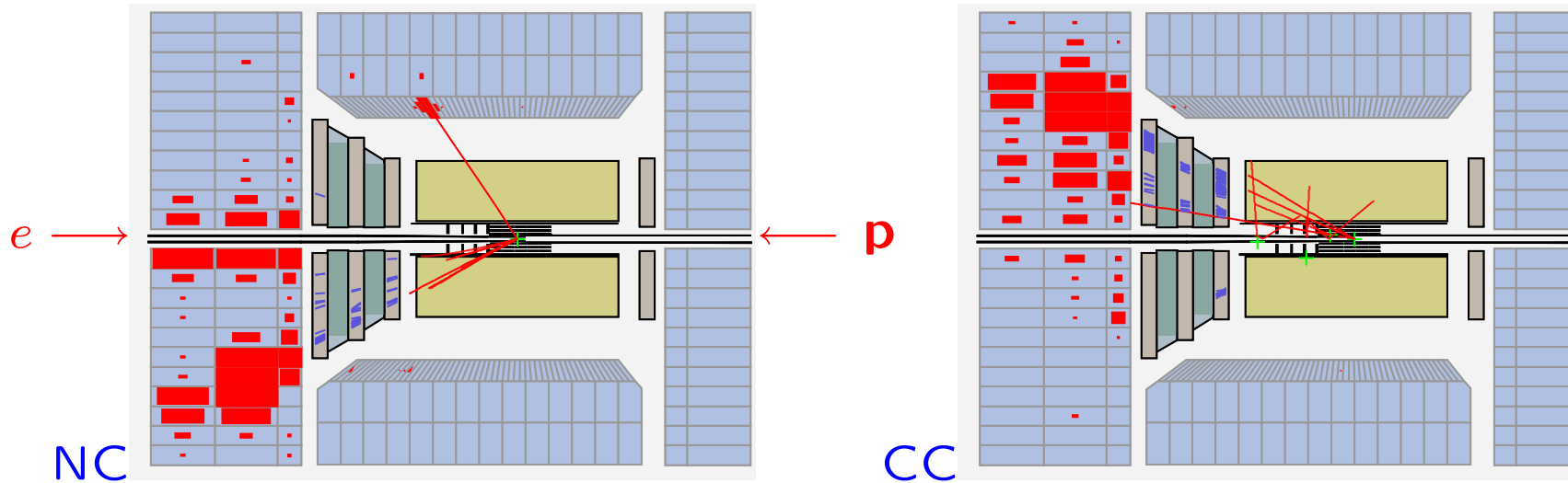
co Uta Klein

Programma:

- continuare run e^+p per ~ 1 mese
- L totale HERA attesa $\sim 500 \text{ pb}^{-1}$

- run con E_P ridotta fino a 31/6/2007

DIS visto da ZEUS



4-momento trasferito:
 $Q^2 = -q^2 = -(k' - k)^2$

variabile di Bjorken:
 $x = Q^2 / 2pq$

inelasticità:
 $y = Q^2 / xs$

Funzioni di struttura e PDF

Correnti neutre

$$\frac{d\sigma(e^\pm p)}{dxdy} = \frac{2\pi\alpha^2}{Q^4} s [Y_+ F_2(x, Q^2) - y^2 F_L(x, Q^2) \pm Y_- x F_3(x, Q^2)]$$

$$Y_\pm = 1 \pm (1 - y^2)$$

Modello a partoni, basso Q^2 , solo scambio di γ :

$$\frac{d\sigma(eq)}{dxdy} = \frac{2\pi\alpha^2}{Q^4} \hat{s} e_q^2 Y_+$$

$$\frac{d\sigma(ep)}{dxdy} = \frac{2\pi\alpha^2}{Q^4} s Y_+ \sum_i e_i^2 [xq_i(x) + x\bar{q}_i(x)]$$

dove $\hat{s} = xs$ e $q_i(x)$ = densità partoniche (PDF = parton density function)

E quindi le funzioni di struttura:

$$F_2(x, Q^2) = \sum_i e_i^2 (xq_i(x) + x\bar{q}_i(x)) \text{ (scaling di Bjorken)}$$

$$F_L(x, Q^2) = 0 \text{ (i quark hanno spin } 1/2)$$

$$F_3(x, Q^2) = 0 \text{ (non conserva parità)}$$

Il DIS inclusivo è sensibile soprattutto a $F_2 = \sum_i e_i^2 (xq_i(x) + x\bar{q}_i(x))$

QCD e violazione dello scaling

Correzioni QCD al modello a partoni

Equazioni di Altarelli Parisi (DGLAP):

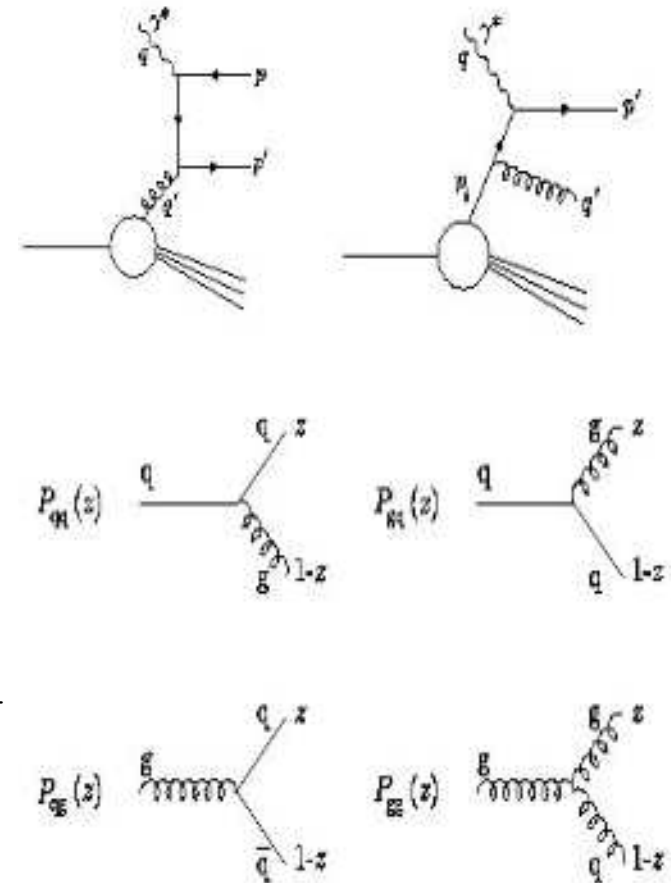
$$\frac{dq(x, Q^2)}{d \log Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_0^1 \frac{dy}{y} [P_{qq}(x/y)q(y, Q^2) + P_{qg}(x/y)g(y, Q^2)]$$

$$\frac{dg(x, Q^2)}{d \log Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_0^1 \frac{dy}{y} \left[\sum_q P_{gq}(x/y)q(y, Q^2) + P_{gg}(x/y)g(y, Q^2) \right]$$

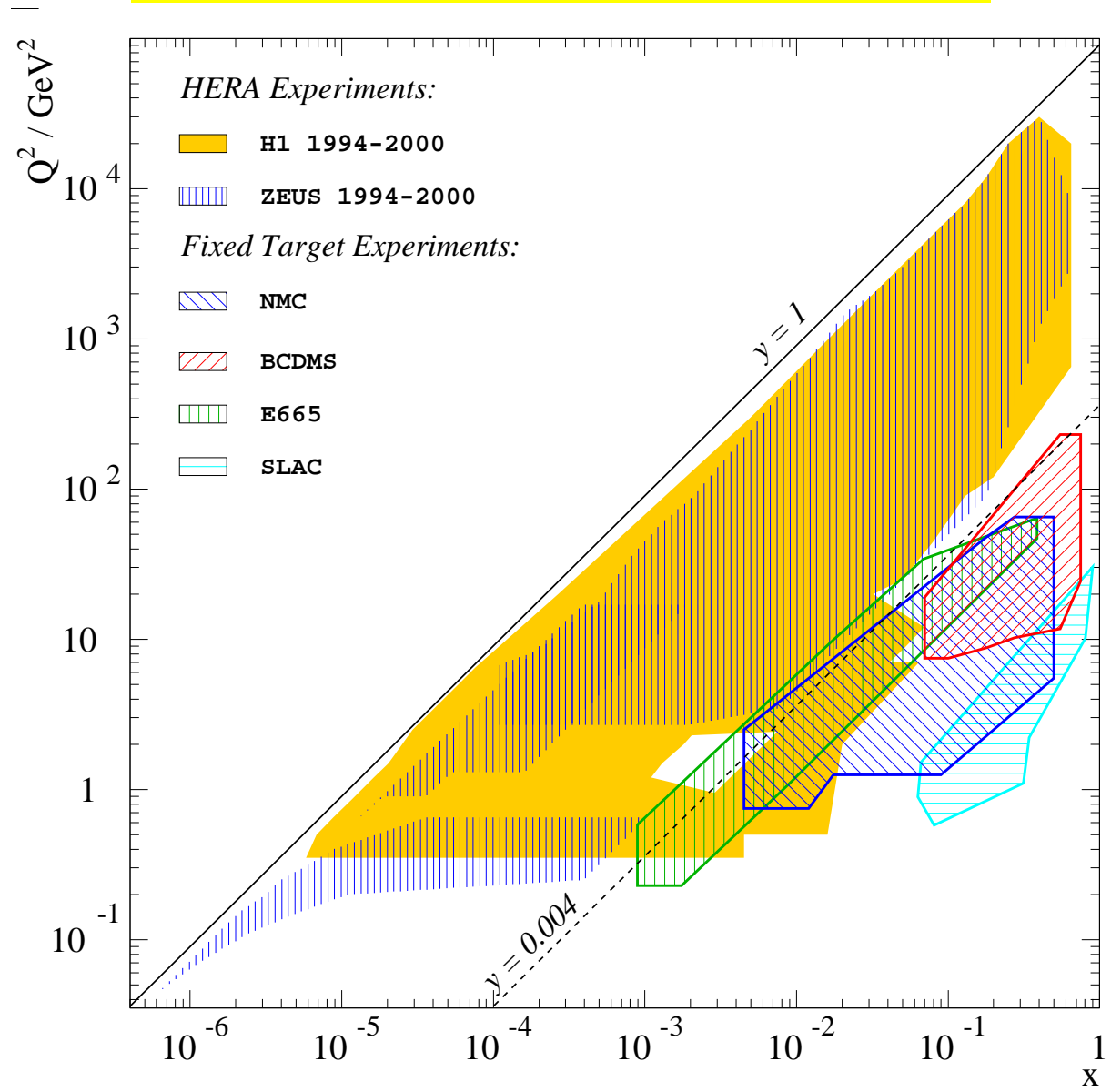
I termini dell'ordine $(\alpha_s \log Q^2)^n$ sono risommati
 Le PDF e le strut. funz. variano logicamente con Q^2

Evoluzione in Q^2 delle PDF calcolabile
 Shape in x a una scala di riferimento da determinare sperimentalmente

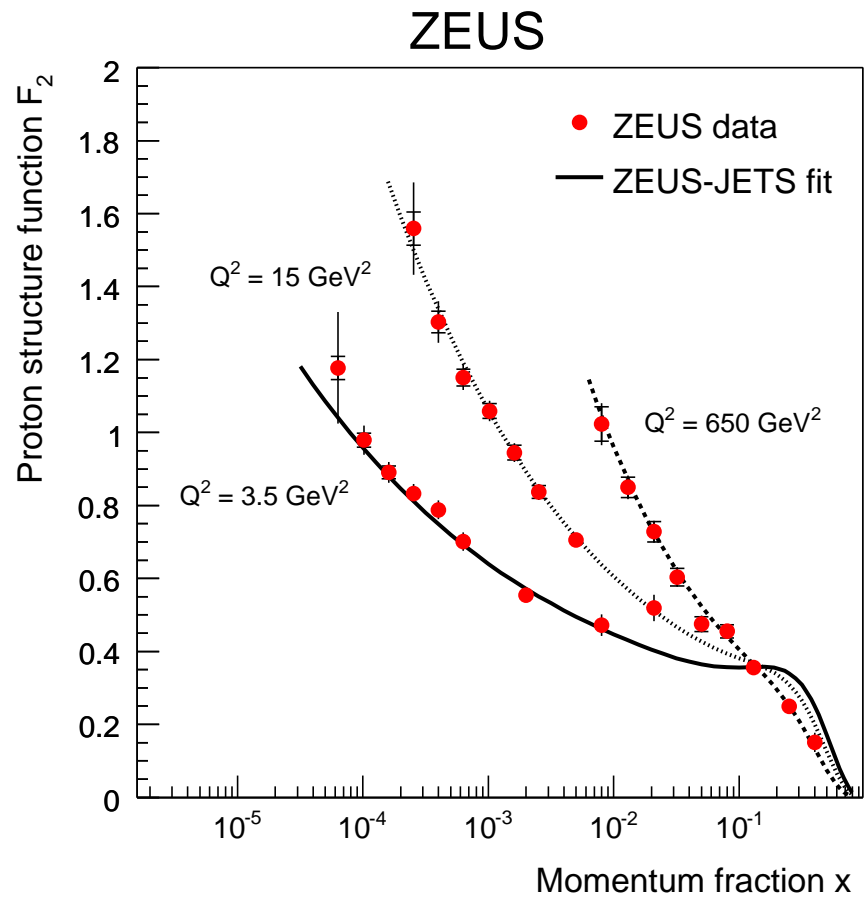
Next-to-next-to-leading order disponibile(!)
 (LO: coefficienti $\mathcal{O}(\alpha_s^0)$ (parton model), splitting $P \mathcal{O}(\alpha_s)$)



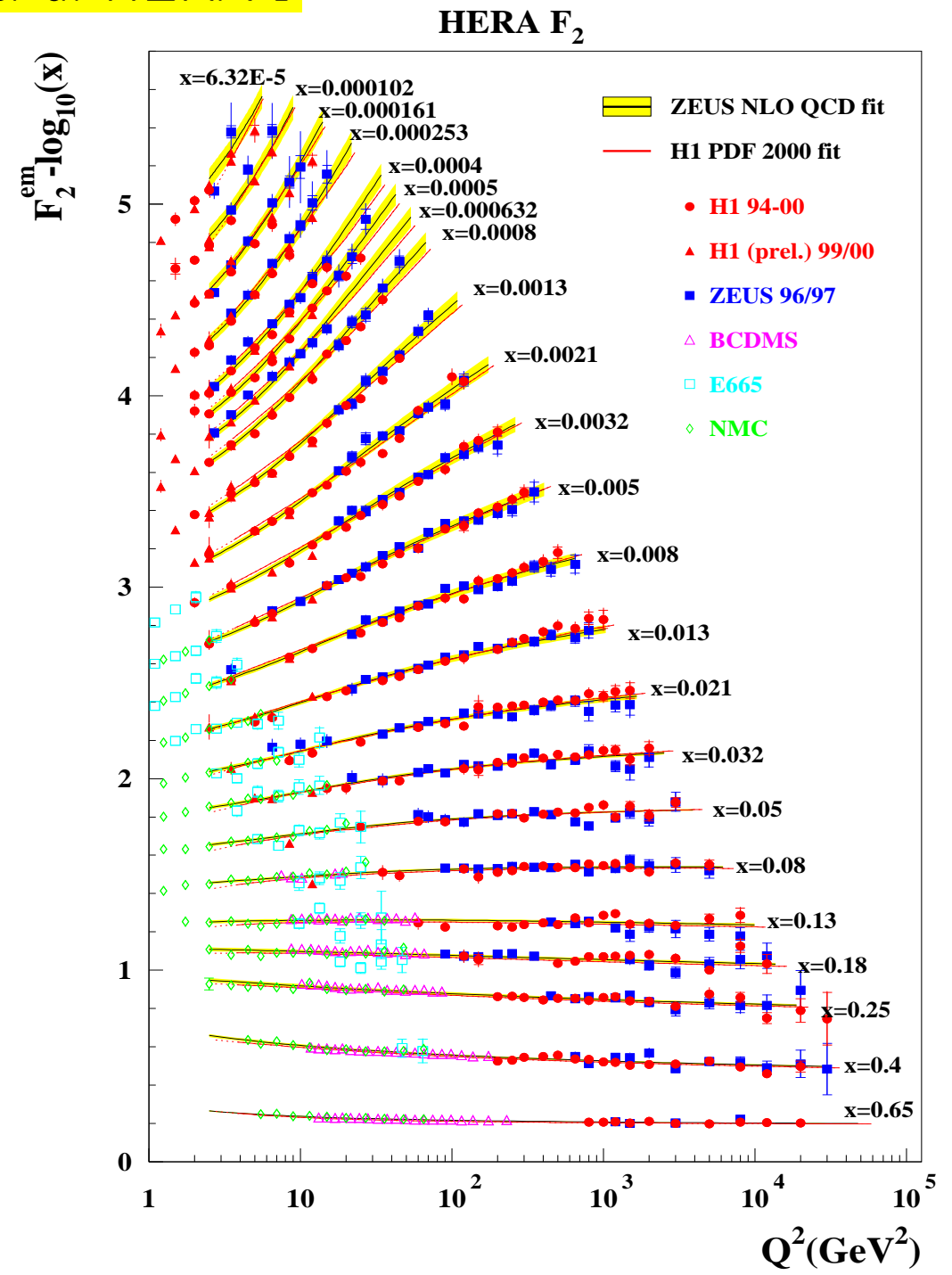
Piano cinematico coperto dal DIS



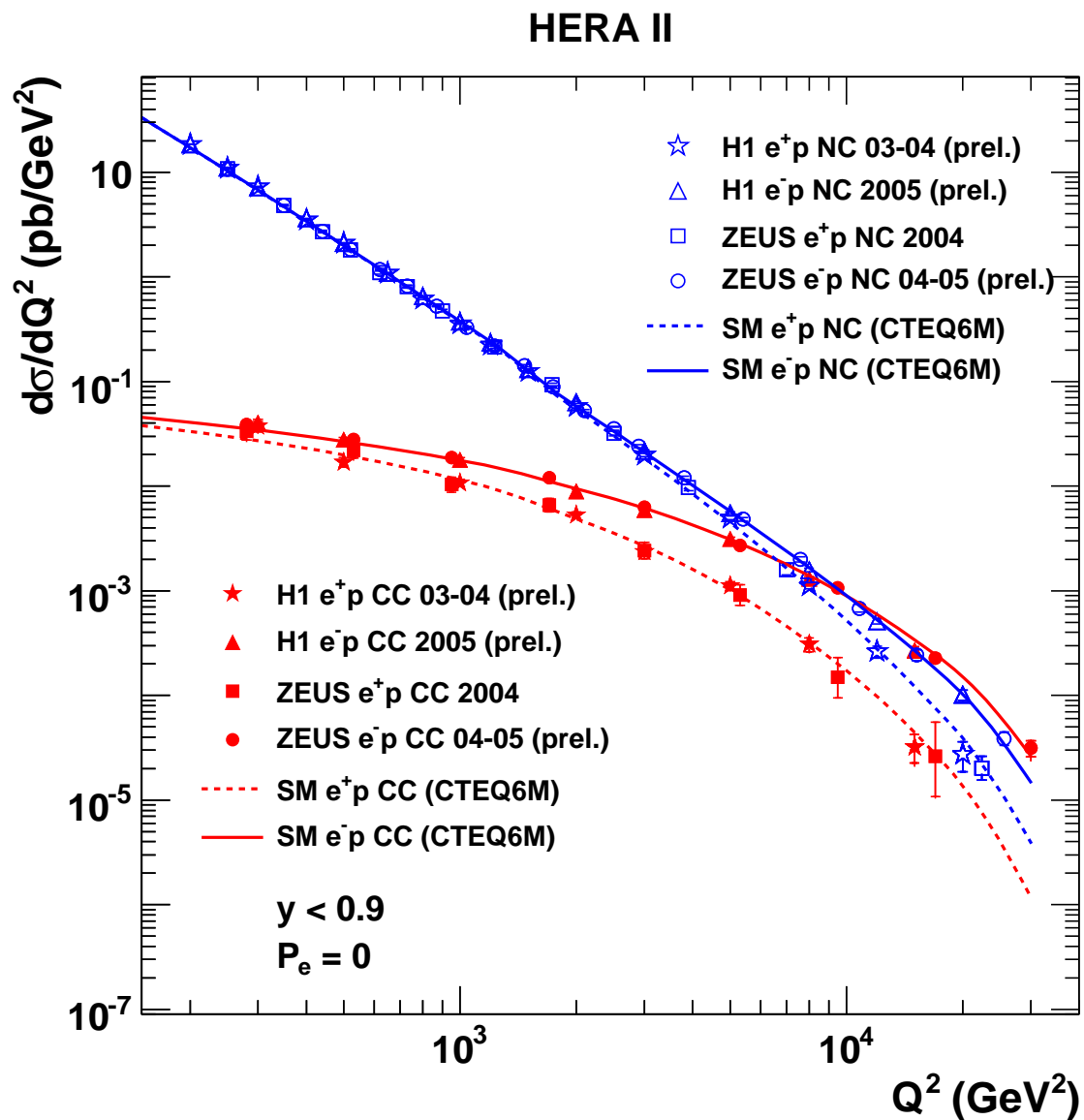
Dati di HERA-I



F_2 a basso x cresce con Q^2 ($g \rightarrow q\bar{q}$)
 F_2 a alto x diminuisce con Q^2 ($q \rightarrow qg$)



Dati di HERA-II: alto Q^2



Risultati HERA-II con $P_e = 0$
($P_e > 0, < 0$ combinata)

- NC: $\sigma \propto 1/Q^4$
- CC: $\sigma \propto 1/(Q^2 + M_W^2)^2$
- a $Q^2 \sim M_Z^2$ NC e CC simili
- CC: alto x :
 $\sigma(e^-p) > \sigma(e^+p)$
($u(x) > d(x)$)

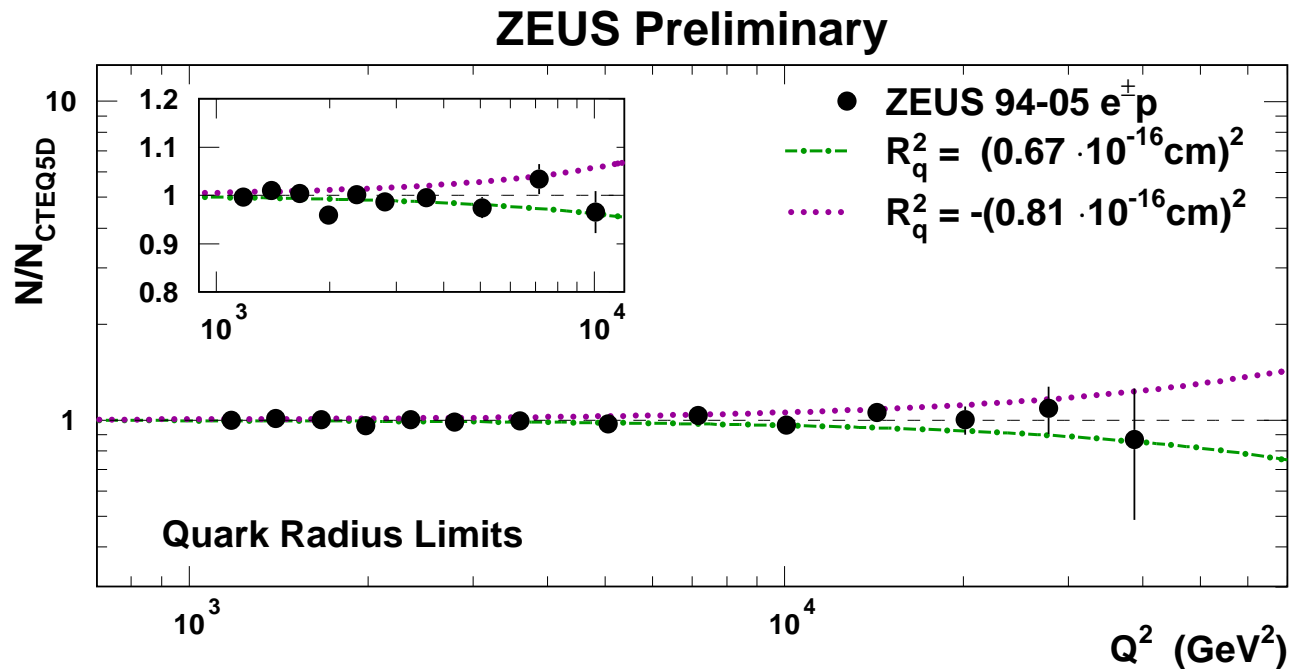
Limiti sulla struttura dei quark

Contributi oltre il Modello Standard all'ampiezza $eq \rightarrow eq$ a alto Q^2 ?
 (interazioni di contatto, leptoquarks, Z' , quark structure)

Se i quark non fossero puntiformi: riduzione di $\sigma(ep)$ a $Q^2 \sim 1/R_q^2$

$$\frac{d\sigma}{dQ^2} = \left(\frac{d\sigma}{dQ^2} \right)_{SM} \left(1 - \frac{1}{6} R_q^2 Q^2 \right)^2$$

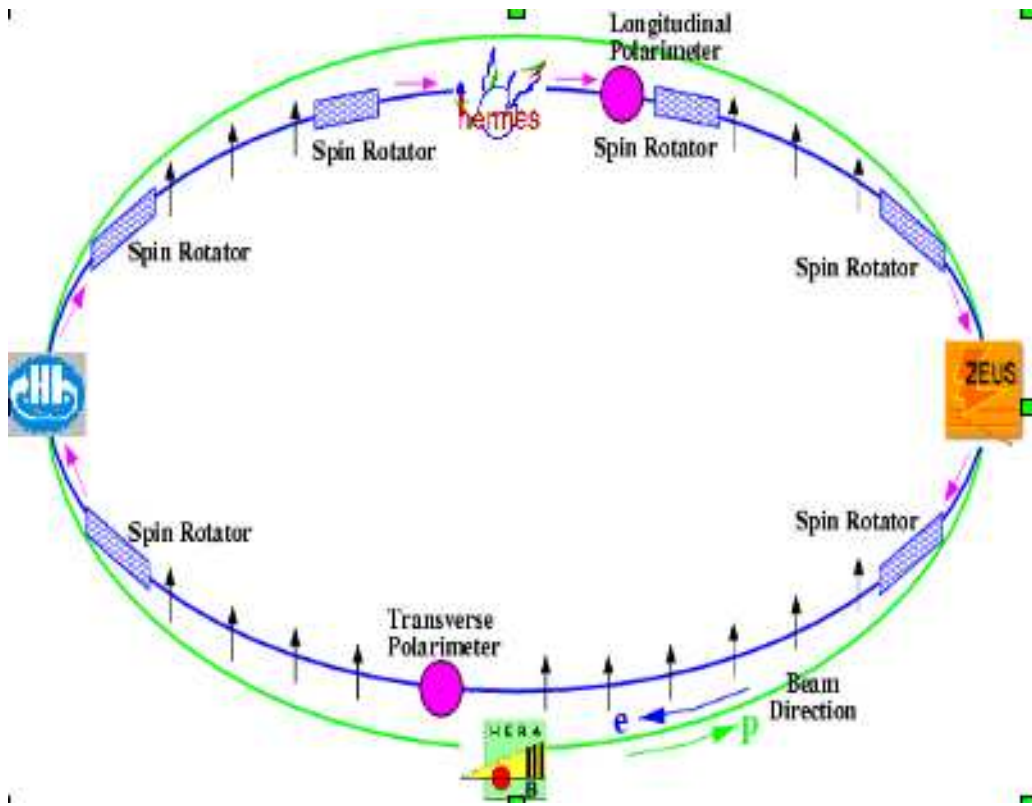
- Campioni HERA-I e HERA-II $L = 274\text{pb}^{-1}$



- Limite sul raggio (RMS) della carica EW del quark $R_q < 0.67 \times 10^{-3} \text{ fm}$

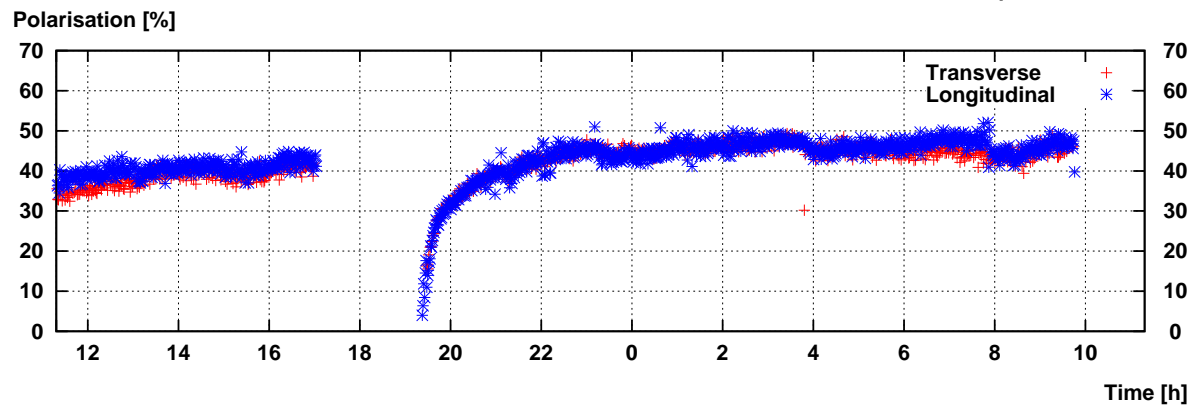
Polarizzazione

Il fascio di e di HERA-II è polarizzato longitudinalmente

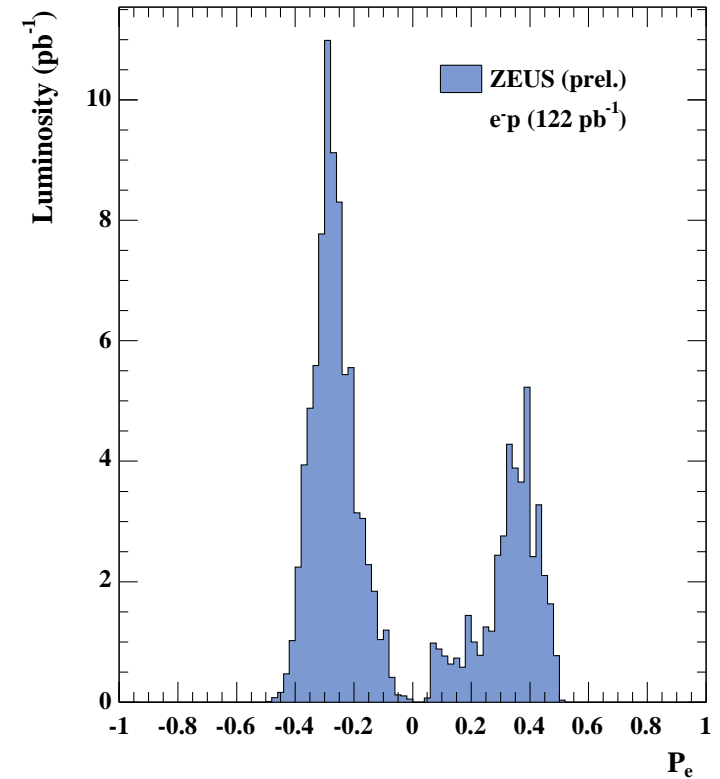


HERA-e Polarisation

Sat Sep 16 11:19:12 2006



ZEUS



$$P_e = \frac{N(e_R) - N(e_L)}{N(e_R) + N(e_L)}$$

$\langle P_e \rangle \sim 30\%$ per e^-

$\langle P_e \rangle \sim 45\%$ per e^+

Cambio polaritá ogni ~ 1 mese

Correnti neutre alto Q^2 e e^\pm polarizzati

$$\frac{d\sigma(e^\pm p)}{dx dQ^2} = \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4} \left[(Y_+ F_2^0 \mp Y_- x F_3^0) + P_e (Y_+ F_2^P \mp Y_- x F_3^P) \right]$$

(F_L trascurabile a alto Q^2)

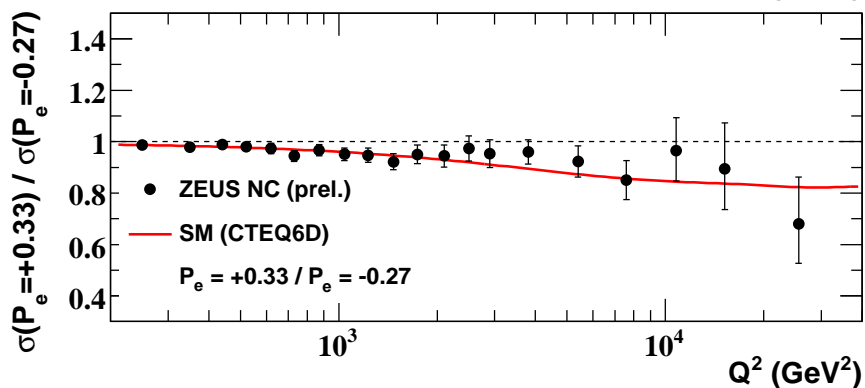
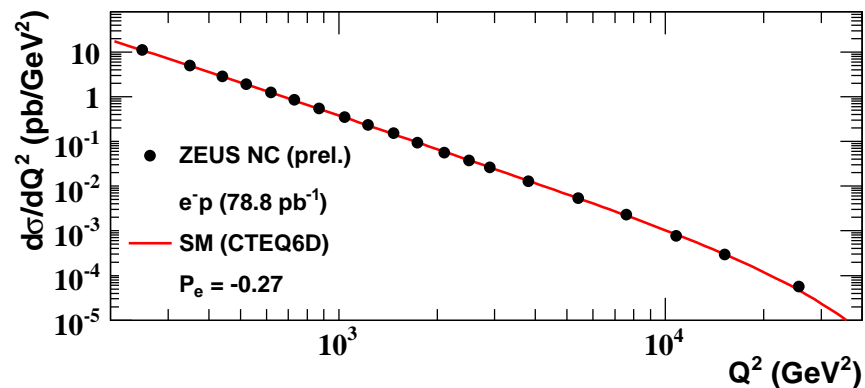
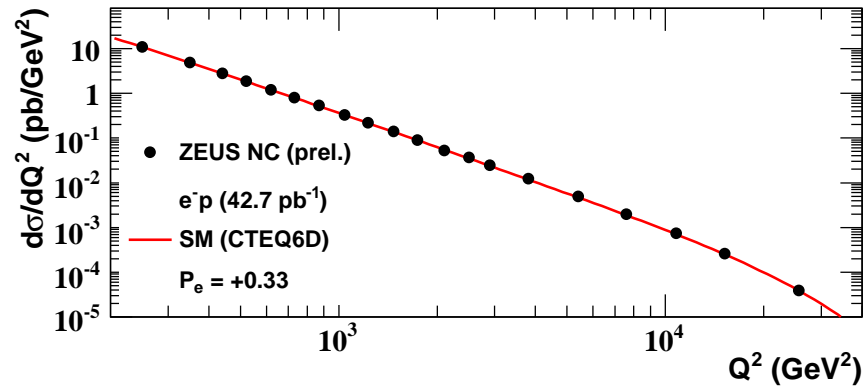
$$Y_\pm = 1 \pm (1 - y^2) \qquad \chi_Z = \frac{Q^2}{Q^2 + M_Z^2} \frac{1}{\sin^2 \theta_W}$$

$$\begin{aligned} F_2^0 &= \sum x(q + \bar{q}) [e_q^2 - 2e_q v_q v_e \chi_Z + (v_e^2 + a_e^2)(v_q^2 + a_q^2) \chi_Z^2] \\ xF_3^0 &= \sum x(q - \bar{q}) [-2e_q a_q a_e \chi_Z + a_q v_q a_e v_e \chi_Z^2] \\ F_2^P &= \sum x(q + \bar{q}) [-2e_q a_e v_q \chi_Z + 2a_e v_e (v_q^2 + a_q^2) \chi_Z^2] \\ xF_3^P &= \sum x(q - \bar{q}) [-2e_q a_q v_e \chi_Z + 2a_q v_q (v_e^2 + a_e^2) \chi_Z^2] \end{aligned}$$

trascurando i termini con $v_e = 0.04$ e χ_Z^2	$\sigma \propto F_2^0 \sim \sum (q + \bar{q}) e_q^2$ $e^- - e^+ \propto xF_3^0 \sim \sum (\bar{q} - q) 2e_q a_q a_e \chi_Z$ $L - R \propto F_2^P \sim \sum (q + \bar{q}) 2e_q a_e v_q \chi_Z$ $xF_3^P \sim 0$
---	--

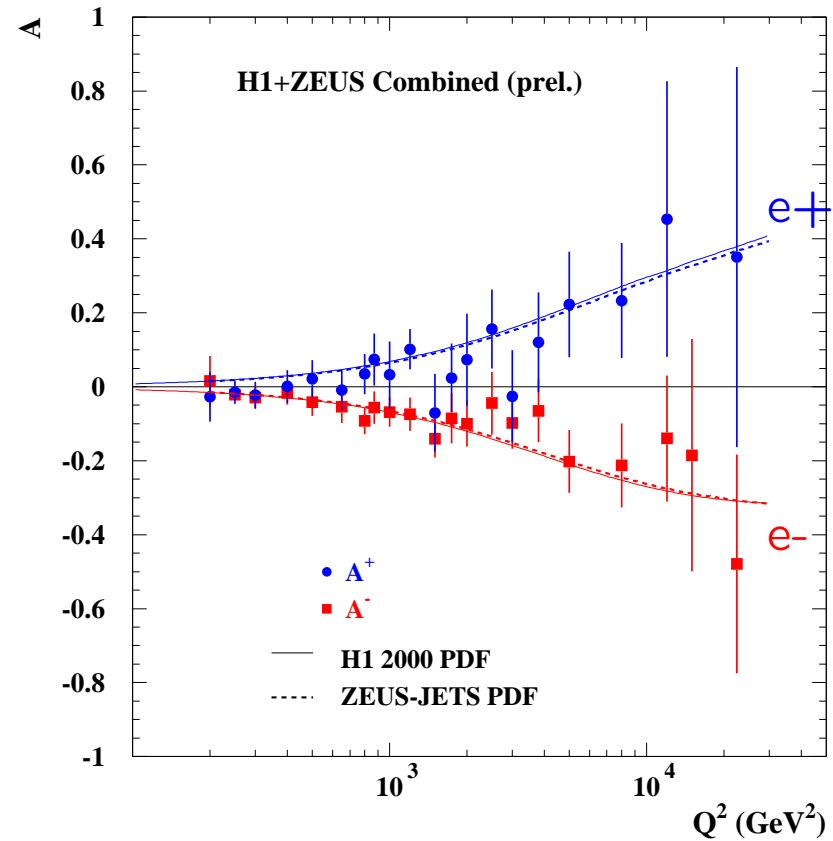
Correnti neutre con elettroni polarizzati

ZEUS



Violazione di parità a alto Q^2

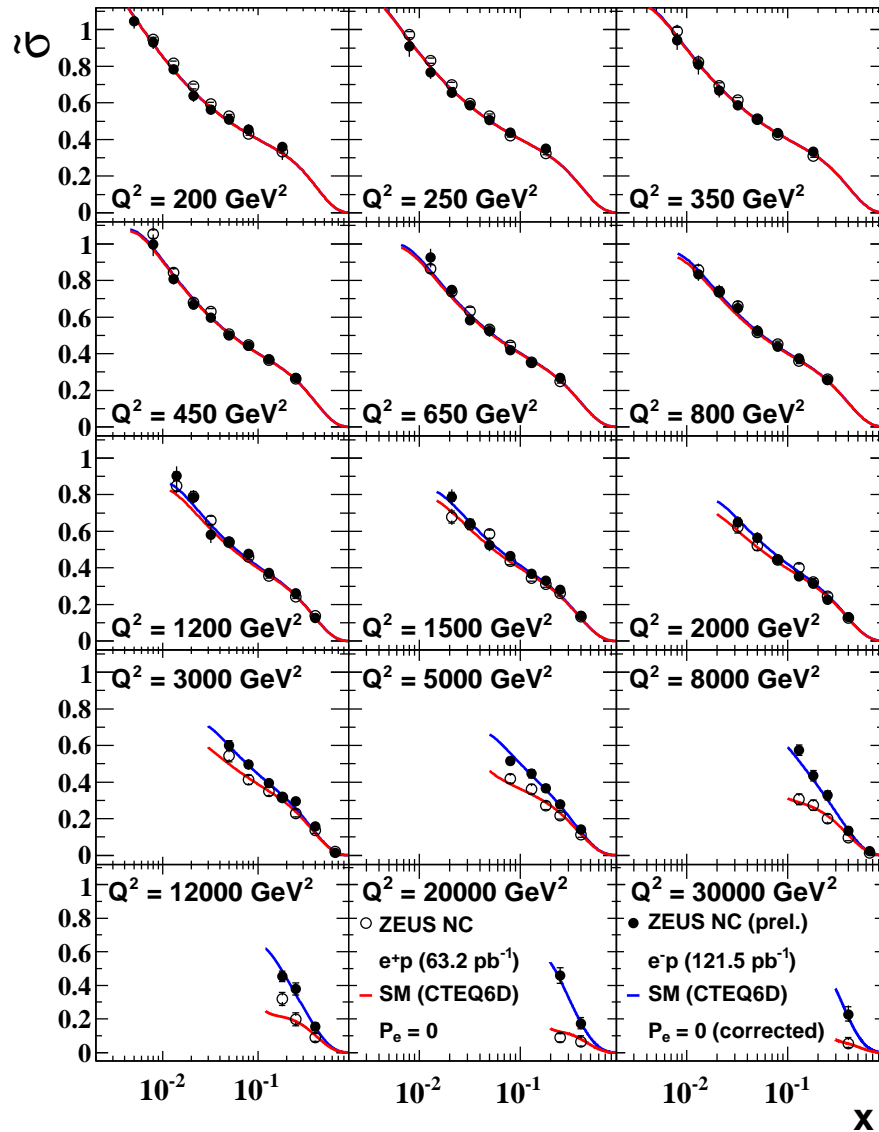
HERA



$$A = \frac{2}{P_R - P_L} \frac{\sigma(P_R) - \sigma(P_L)}{\sigma(P_R) + \sigma(P_L)}$$

Correnti neutre e^-p vs e^+p e F_3

ZEUS

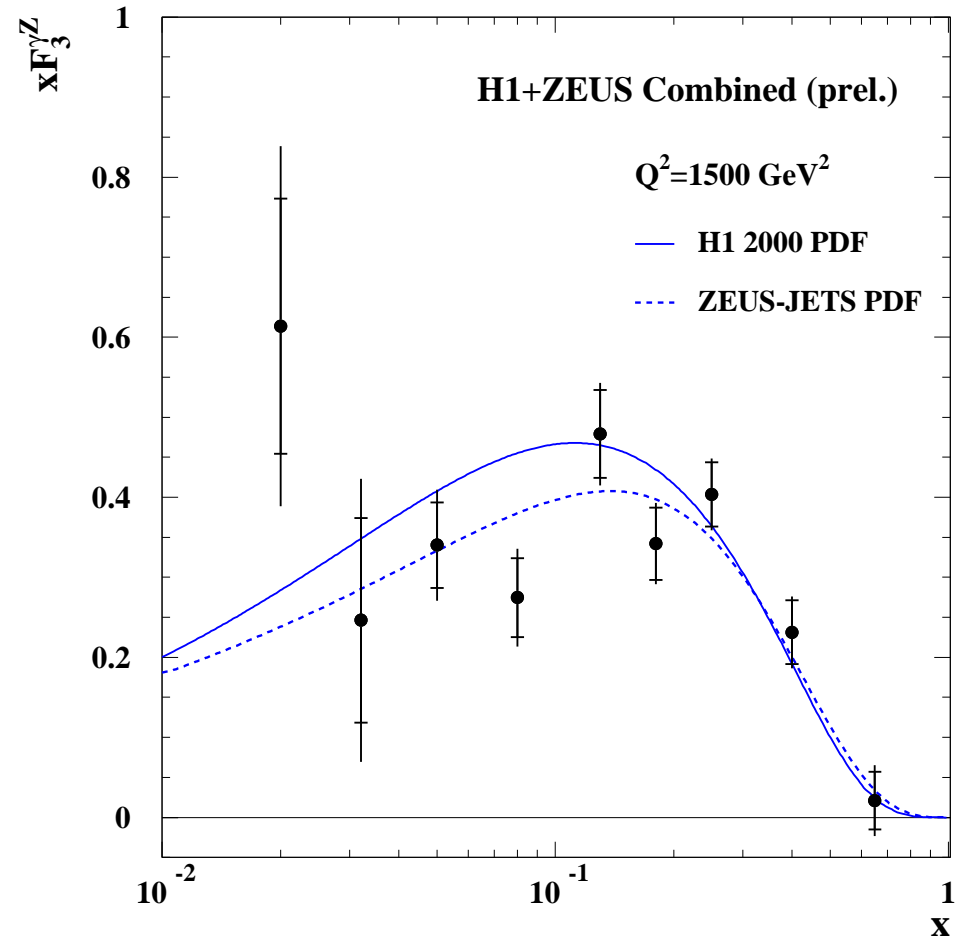


Differenza e^+/e^- dovuta a $F_3(x, Q^2)$:

$$\tilde{\sigma} = \frac{d\sigma}{dx dQ^2} \left(\frac{2\pi\alpha^2 Y_+}{xQ^4} \right)^{-1}$$

$$\tilde{\sigma}(e^+p) - \tilde{\sigma}(e^-p) \propto xF_3^{\gamma Z} = \frac{x}{3} \sum (q - \bar{q})$$

HERA



- e^-p , polarizzazione netta $\mathcal{P}_e \sim 0$
 - Confronto con e^+p da HERA-I
- 13 M. Corradi Risultati di HERA

Correnti cariche

SM: interagiscono solo gli e^- con elicità -1 (LH) (o gli e^+ RH)

$$\sigma(e^- p \rightarrow \nu X) = \frac{1}{2}(1 - \mathcal{P}_e)\sigma(e_L^- p \rightarrow \nu X)$$

Sezione d'urto ridotta: $\tilde{\sigma} = \frac{d\sigma}{dx dQ^2} \left(\frac{G_F^2 M_W^4}{4\pi x (Q^2 + M_W^2)^2} \right)^{-1}$

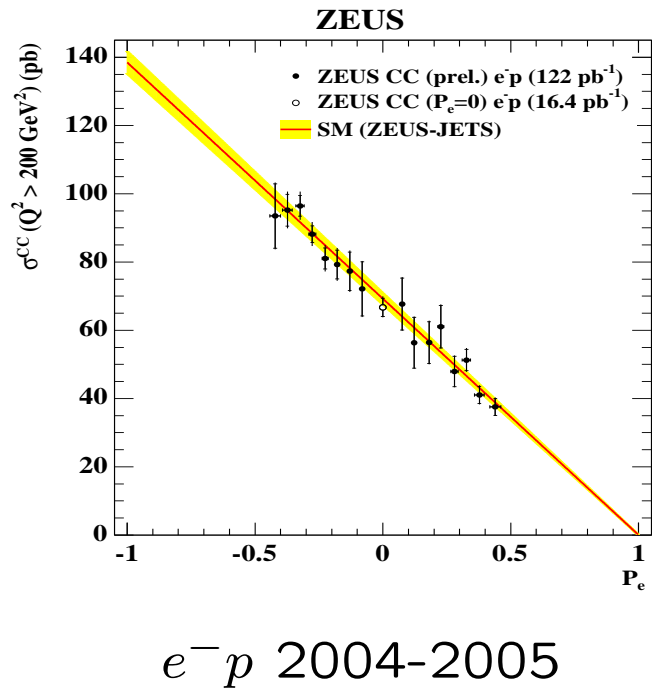
al leading order:

$$\tilde{\sigma}(e^- p \rightarrow \nu X) = (1 + \mathcal{P}_e) \left[x (u + c) + x (1 - y)^2 (\bar{d} + \bar{s}) \right]$$

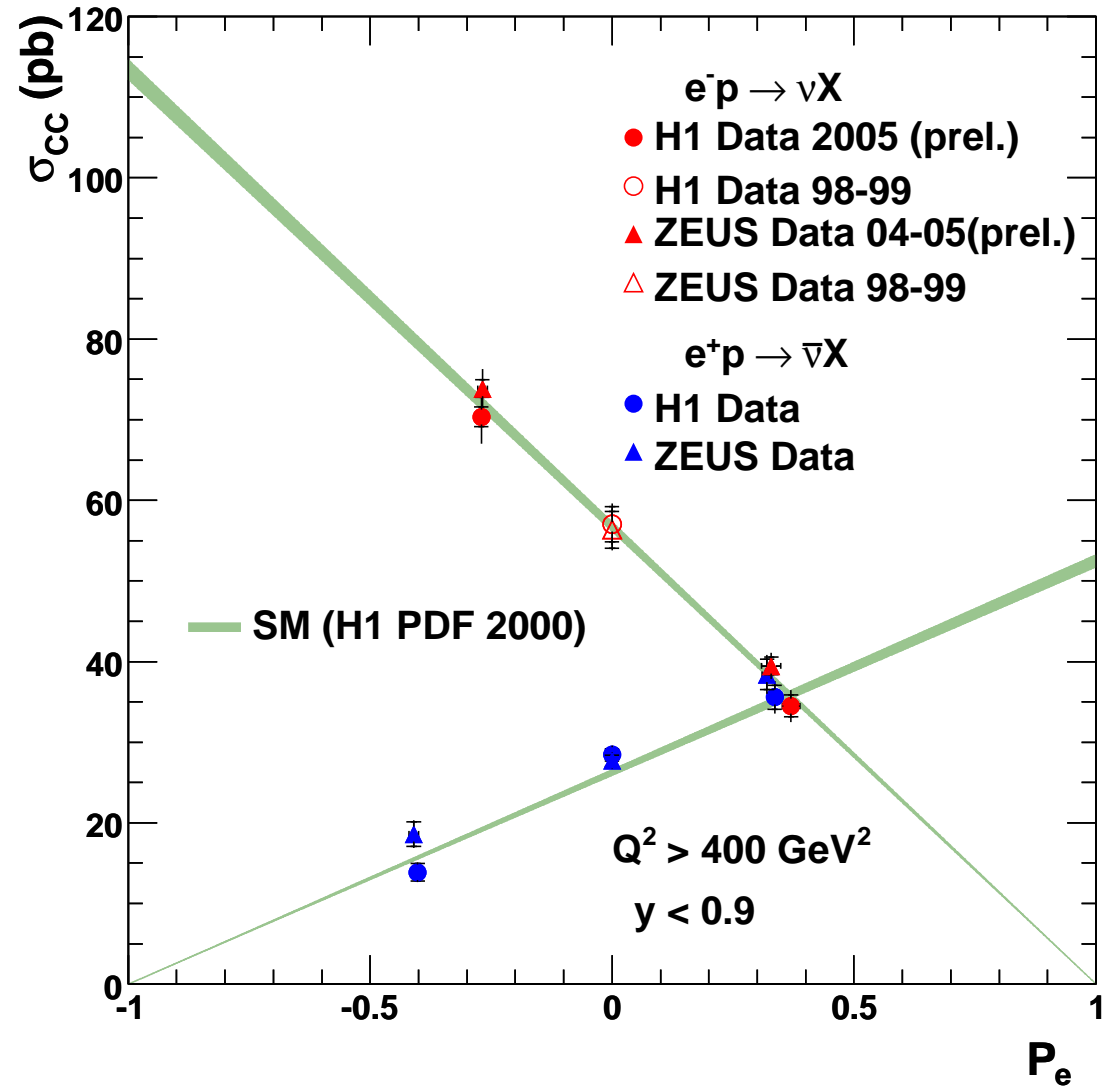
$$\tilde{\sigma}(e^+ p \rightarrow \nu X) = (1 - \mathcal{P}_e) \left[x (\bar{u} + \bar{c}) + x (1 - y)^2 (d + s) \right]$$

$e^- \rightarrow \nu$ implica $u \rightarrow d$ ($\bar{d} \rightarrow \bar{u}$)

Correnti cariche con elettroni polarizzati



Charged Current $e^\pm p$ Scattering

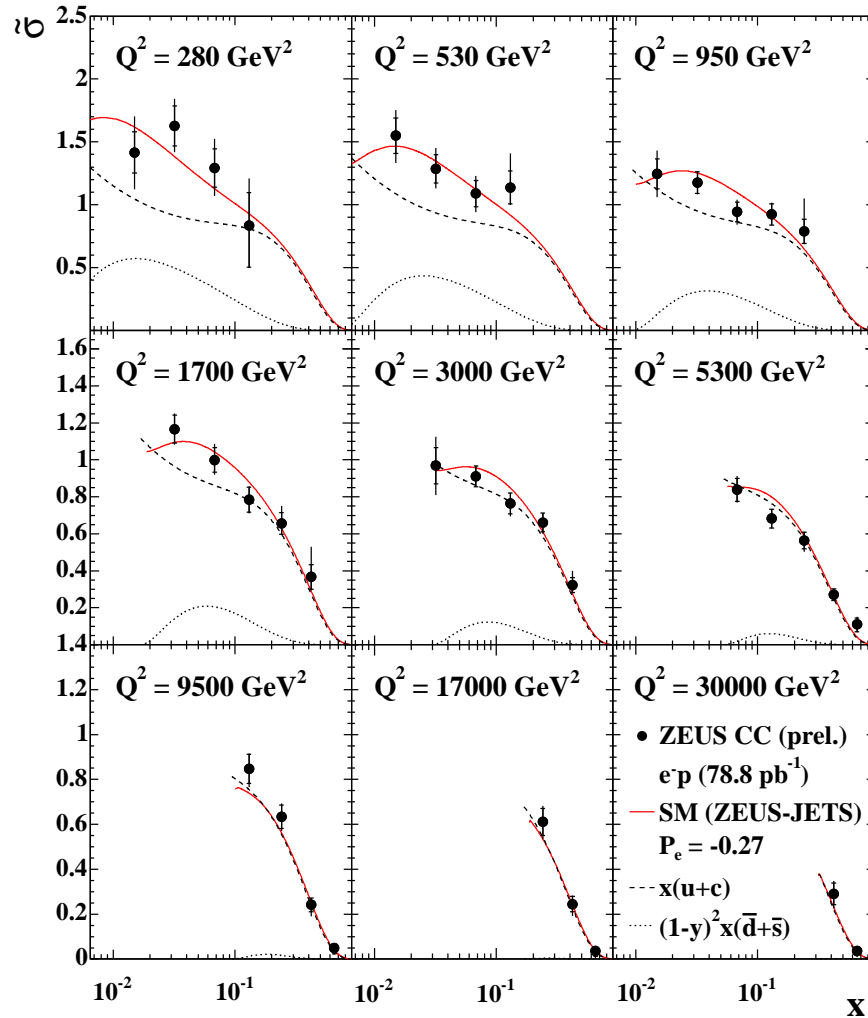


Limiti $\sigma(e^-_R p) = 0.8 \pm 3.1(stat.) \pm 5(sys.) \text{ pb}$,
 $M(W_R) > 180 \text{ GeV}$

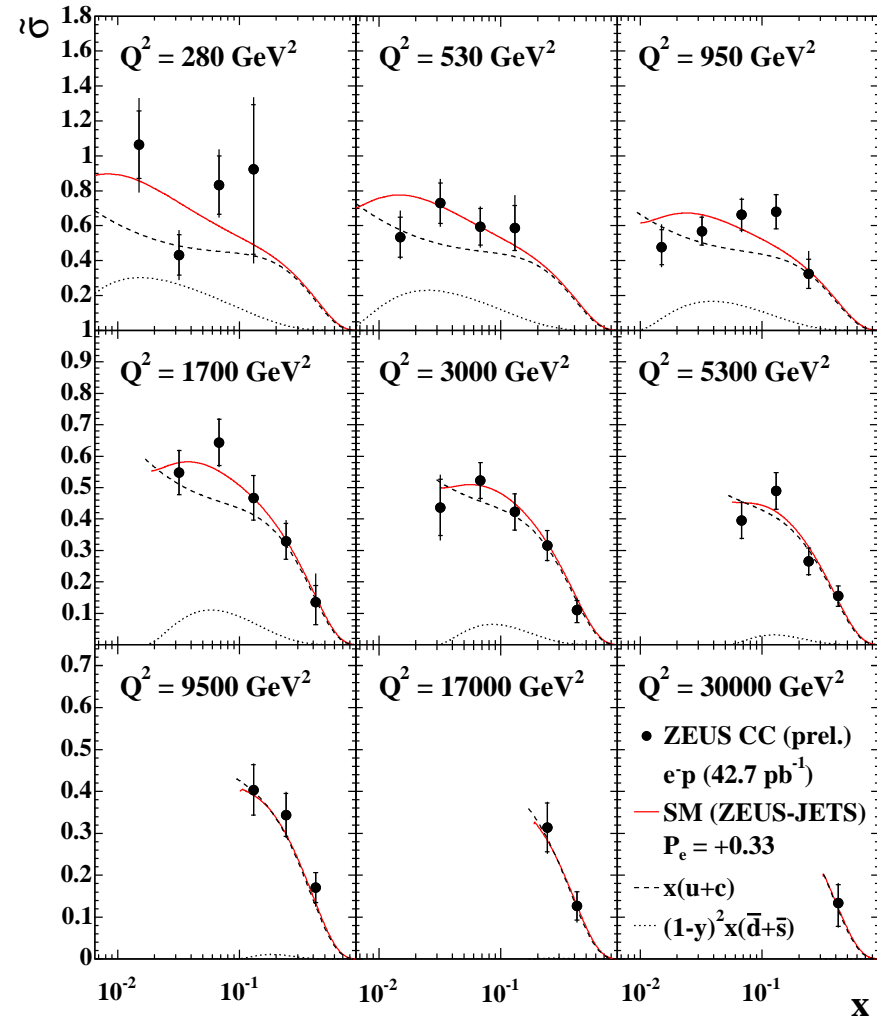
Correnti cariche con e^-

ZEUS

ZEUS



LH



RH

Processi $\mathcal{O}(\alpha_s)$ e $g(x)$

- DIS sensibile a varie combinazioni delle PDF dei quark ma $\gamma^*/Z^0/W$ non sensibili al gluone

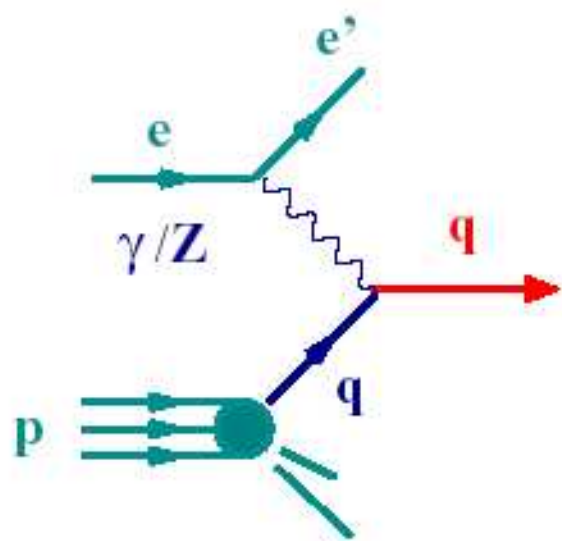
- $g(x, Q^2)$ può essere ottenuta dalla violazione dello scaling di Bjorken:

$$\frac{\partial F_2(x, Q^2)}{\partial \log Q^2} \simeq \frac{10}{27\pi} \alpha_s(Q^2) x g(x, Q^2)$$

ma incertezze grandi

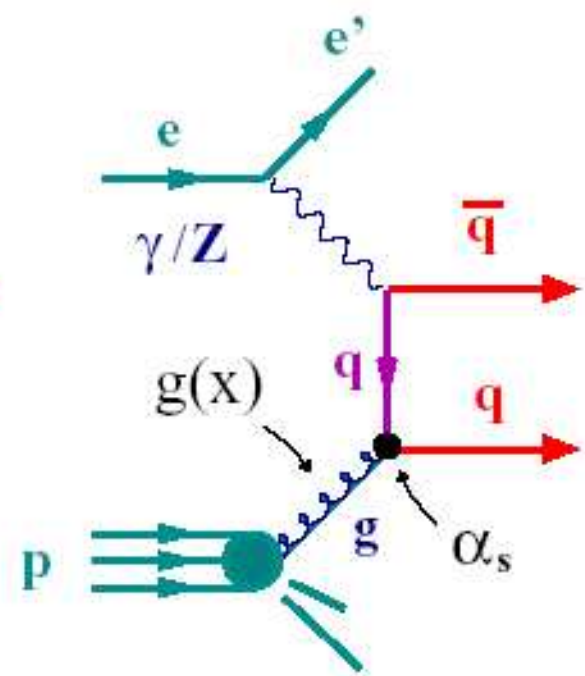
- processi all'ordine α_s (produzione di jet, charm etc.) direttamente sensibili a $\alpha_s x g(x)$

Processi $\mathcal{O}(\alpha_s)$ e Jet



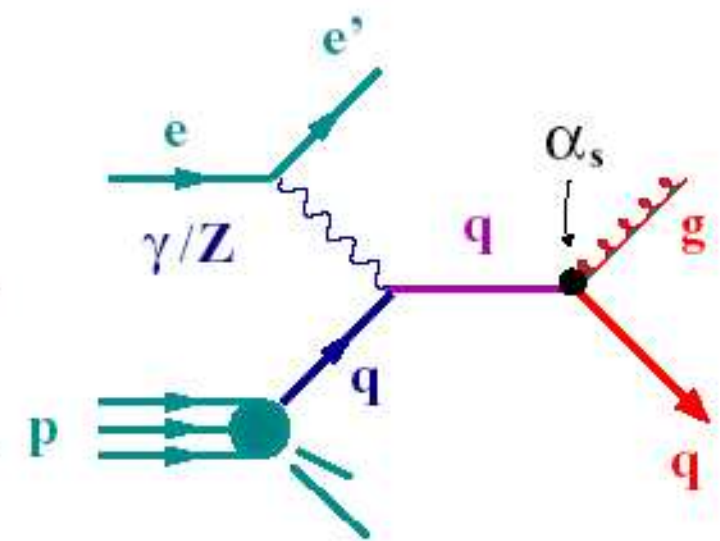
Quark-Parton Model

$\propto \alpha q(x)$



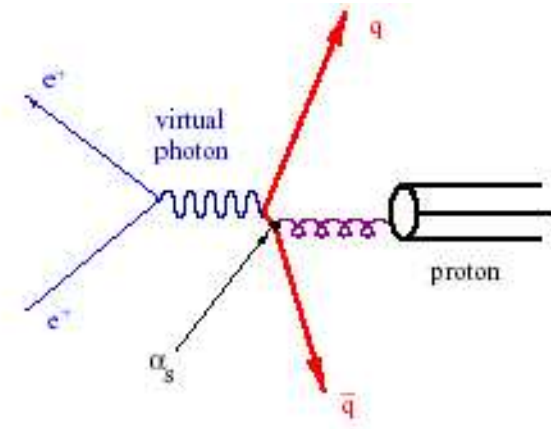
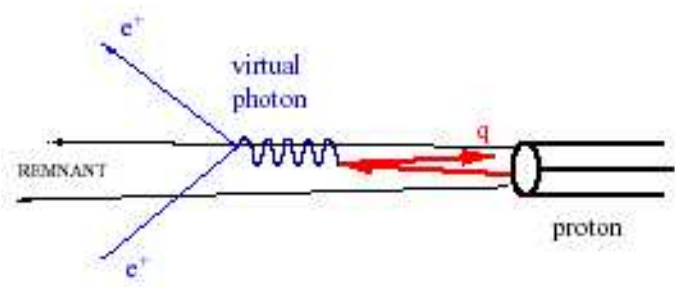
Boson-Gluon Fusion

$\propto \alpha \alpha_s g(x)$



QCD Compton

$\propto \alpha \alpha_s q(x)$



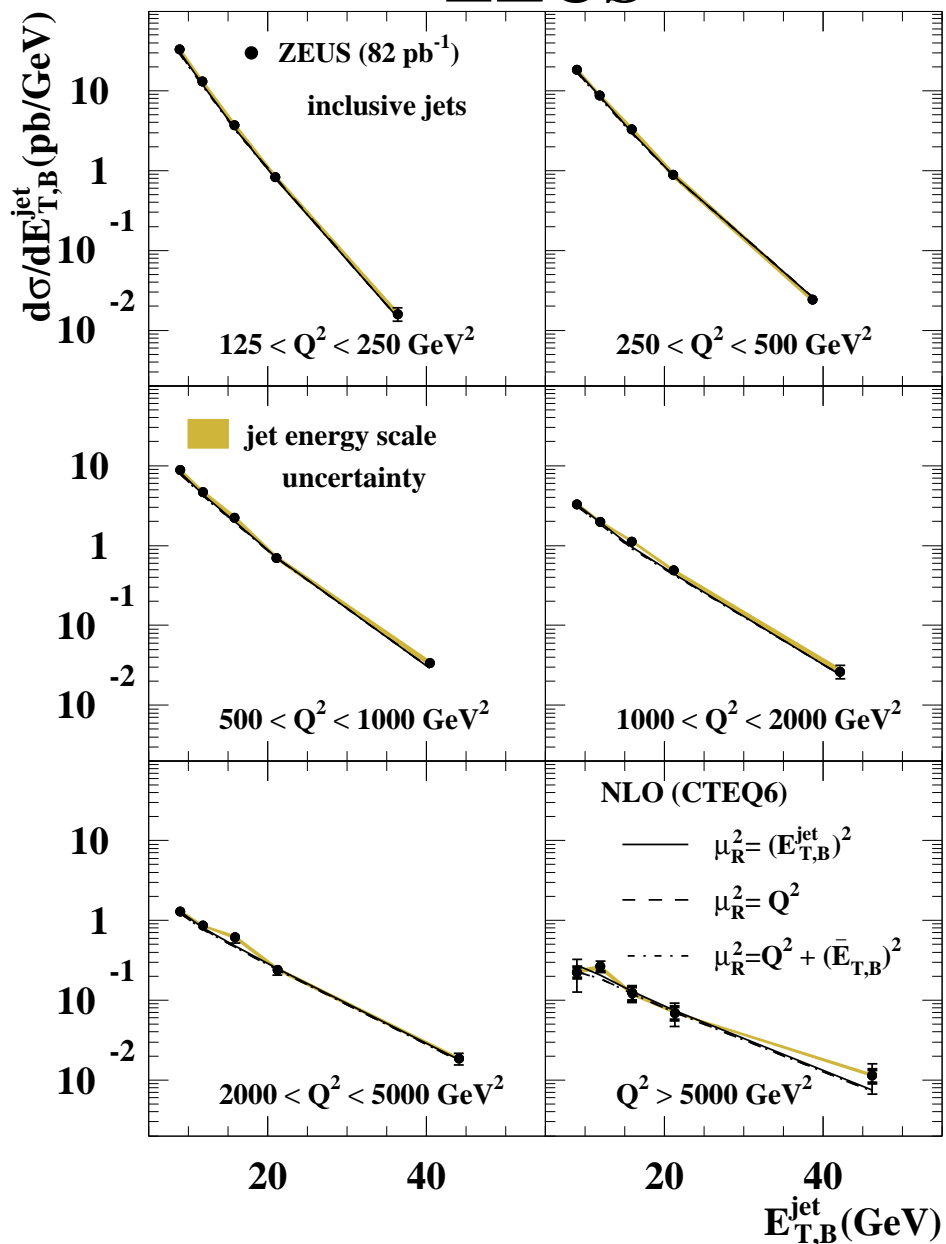
Breit frame

$\mathcal{O}(\alpha^0) \Rightarrow 0 \text{ jet}$

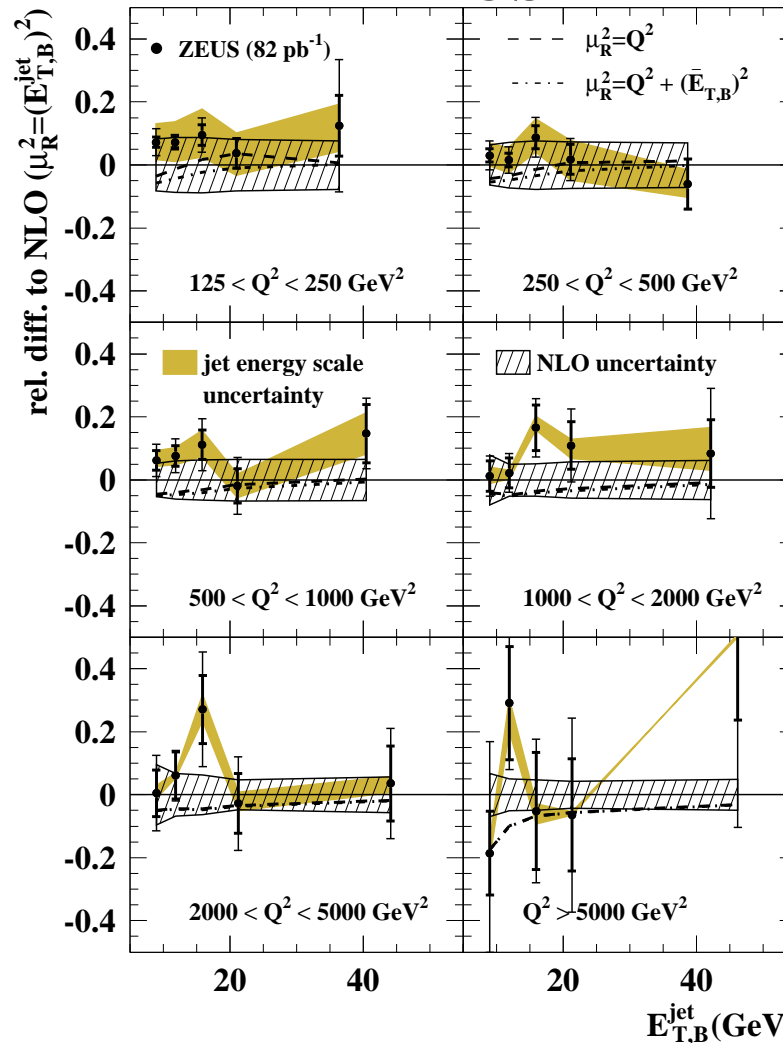
$\mathcal{O}(\alpha_s) \Rightarrow \geq 1 \text{ jet}$

Jet inclusivi nel Breit frame, confronto con QDC NLO

ZEUS

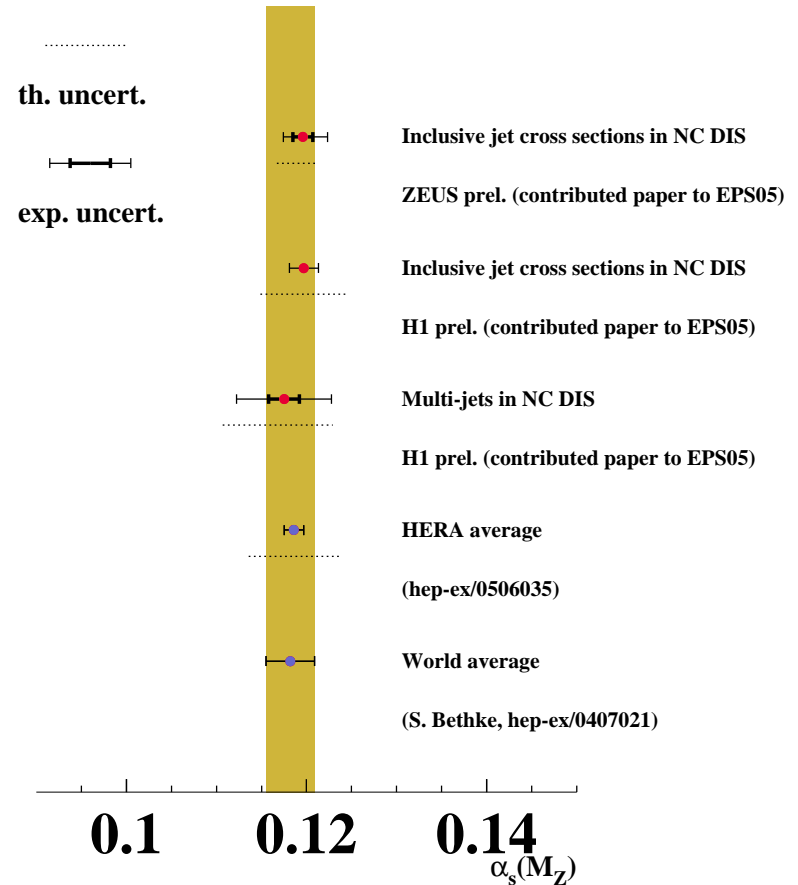
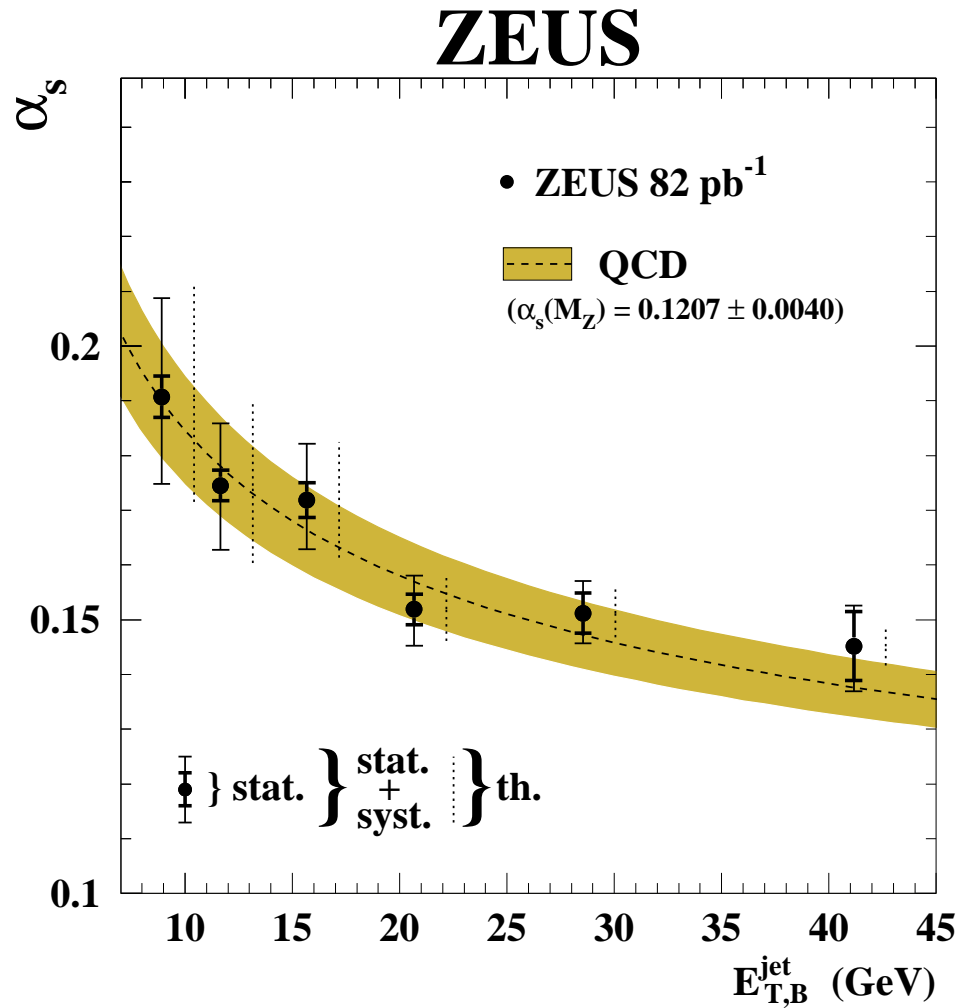


ZEUS



Jet inclusivi $E_T > 8 \text{ GeV}$, $Q^2 > 125 \text{ GeV}^2$
 82 pb^{-1} HERA-I
 Ottimo accordo con QCD NLO ($\delta_{\text{teo}} \sim 5\%$)

Jet usati per estrarre α_S



- . Running di α_S in un singolo esperimento
- . misura inserita nelle medie globali, competitiva con altre misure
- . possibilità di miglioramento con i dati di HERA-II

Fit ZEUS delle PDF

Metodo

Data una parametrizzazione delle PDF a una scala Q^0 si evolvono a altre scale, si confrontano con i dati, si calcola χ^2 e si itera.

Tipica parametrizzazione alla scala Q_0^2 : $q(x) = Ax^{-\lambda} (1 + Bx) (1 - x)^b$ (5 parametri)

PDF: $g, u, d, s, \bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, (c, b)$, con qualche vincolo diventano 4:

$$u_v(x) = u(x) - \bar{u}(x)$$

$$d_v(x) = d(x) - \bar{d}(x) \text{ (valenza)}$$

$$s(x) = \bar{s}(x) = K\bar{u}(x) = K\bar{d}(x) \text{ (mare)}$$

$$g(x) \text{ (gluone)}$$

Varie conservazioni:

$$\int dx \frac{2}{3}u_v - \frac{1}{3}d_v = 1 \text{ (carica)}$$

$$\int dx \frac{1}{3}u_v + \frac{1}{3}d_v = 1 \text{ (num. barionico)}$$

$$\int dx x(g + u + d + \dots) = 1 \text{ (momento)}$$

Dati ZEUS non sensibili alla composizione a basso x

K fissato, $\lambda_u = \lambda_d$ (valenza a basso x), $\bar{u} - \bar{d}$ fissato.

Alla fine 12 parametri liberi

Dati utilizzati nel Fit

Fit pubblicato con dati HERA-I (112 pb⁻¹):

Fit **ZEUS-JETS** (2005)

- NC e⁺p Q² > 2.7 GeV²
- NC e⁻p Q² > 200 GeV²
- CC e[±]p Q² > 280 GeV²
- jet incl. Q² > 125 GeV², E_{T,B} > 8 GeV
- dijets Q² < 1 GeV², E_T > 14 GeV

577 punti, χ² = 470

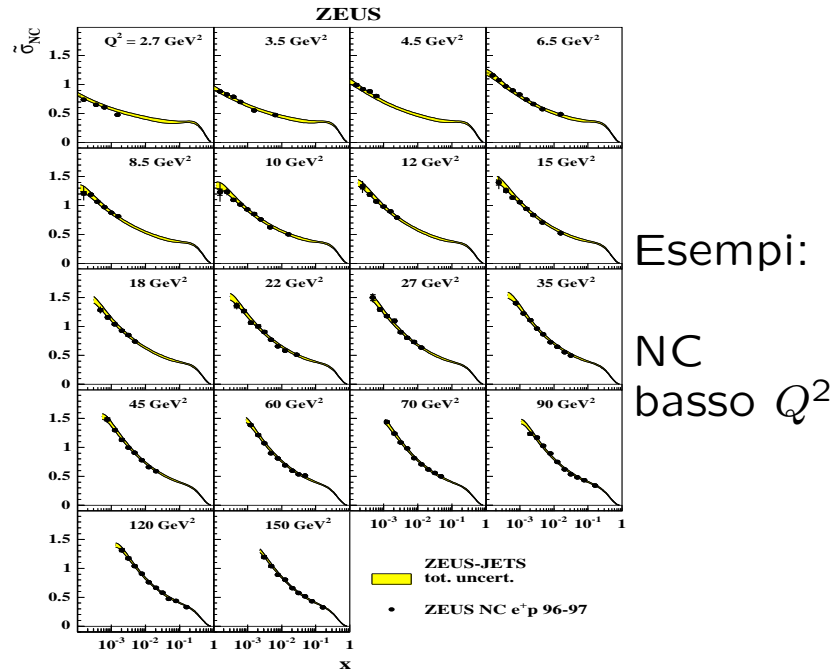
Nuovo fit con dati alto Q² pol. (+122 pb⁻¹):

Fit **ZEUS-Pol** (2006 preliminare)

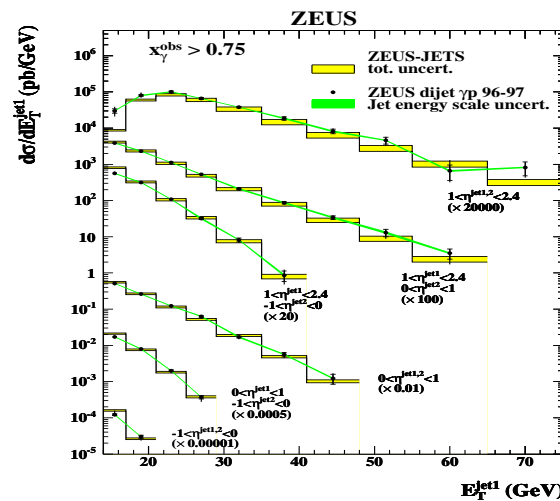
- stessi dati HERA-I piu'
- NC pol. e[±]p
- CC pol. e[±]p

Totale 795 punti

Trattamento correlazioni incertezze sistematiche
fit ripetuto variando una sistematica alla volta
incertezza = somma in quadratura delle differenze

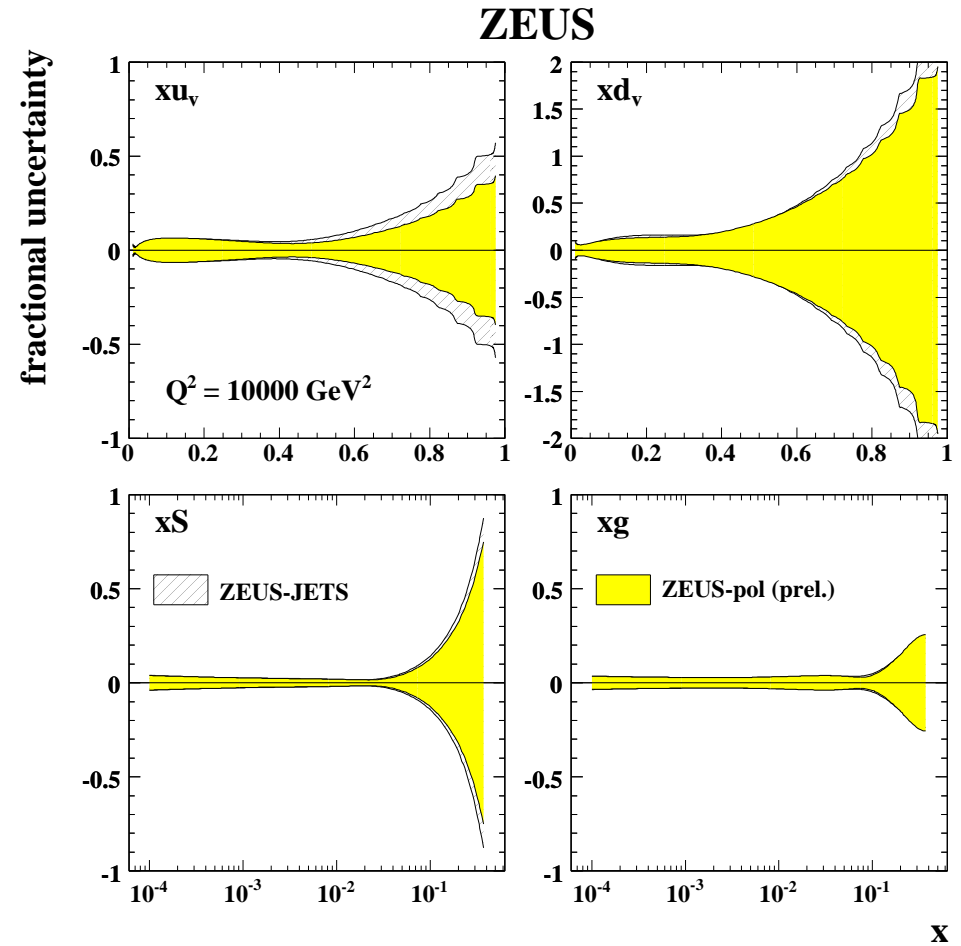
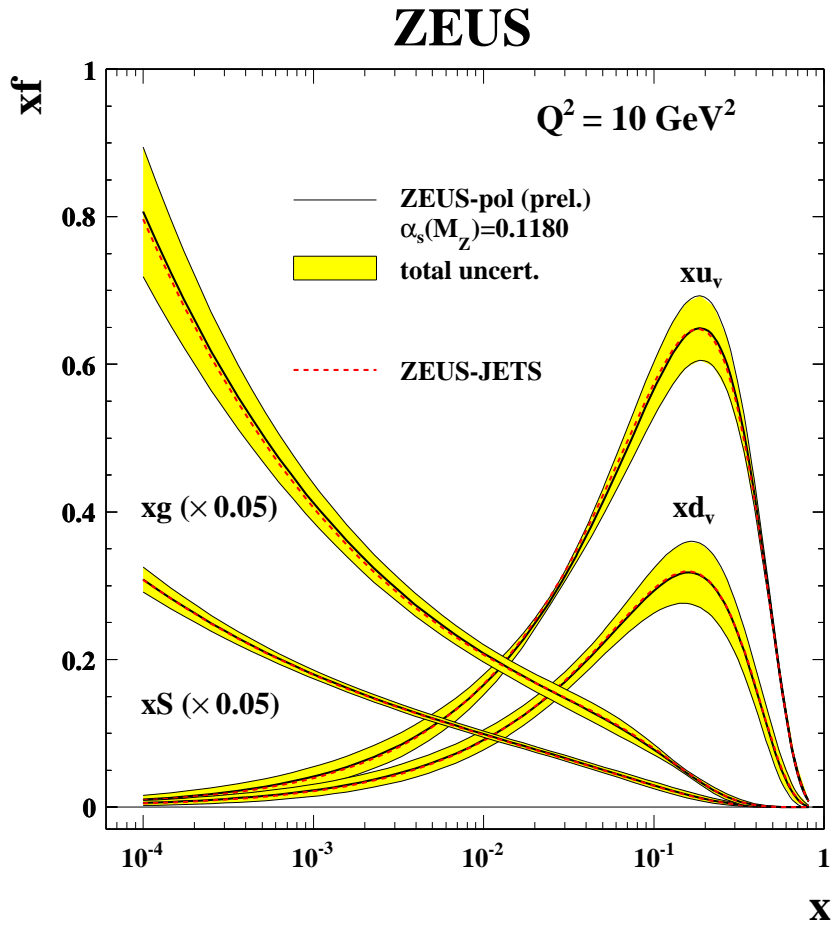


Esempi:
NC
basso Q²



Dijets
Q² < 1 GeV²

Fit ZEUS-Jet, ZEUS-pol, risultati



$x < 0.2$ domina $xg(x)$

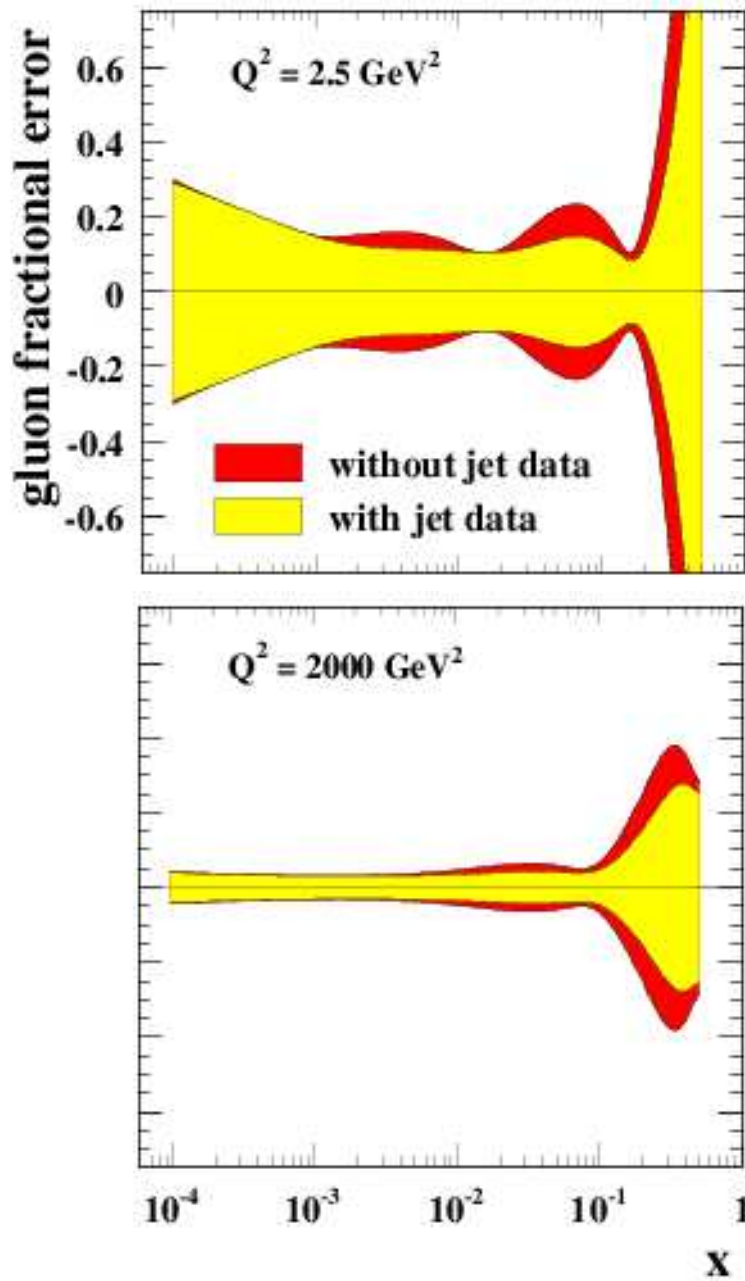
Inceteeze relative a $Q^2 = 10000 \text{ GeV}^2$
 $x = 10^{-3}$: $\Delta S/S \sim 2\%$
 Nuovi dati \rightarrow Riduzione inceteeza su $u(x)$

Jets e determinazione di $g(x, Q^2)$

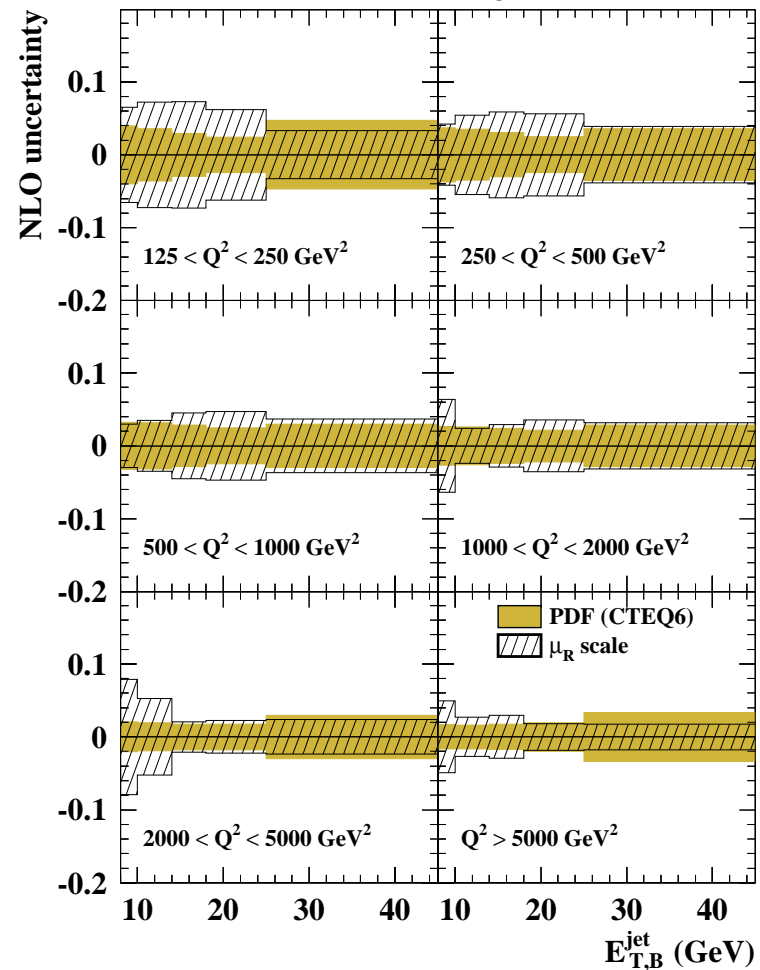
Jets: riduzione incertezza su $g(x, Q^2)$

Ultimi dati non inclusi (solo $\sim 30\text{pb}^{-1}$)

Incertezza PDF simile a perturbativa a grandi E_T , Q^2 $\delta(\text{pert}) \sim 2\%$



inclusive jets



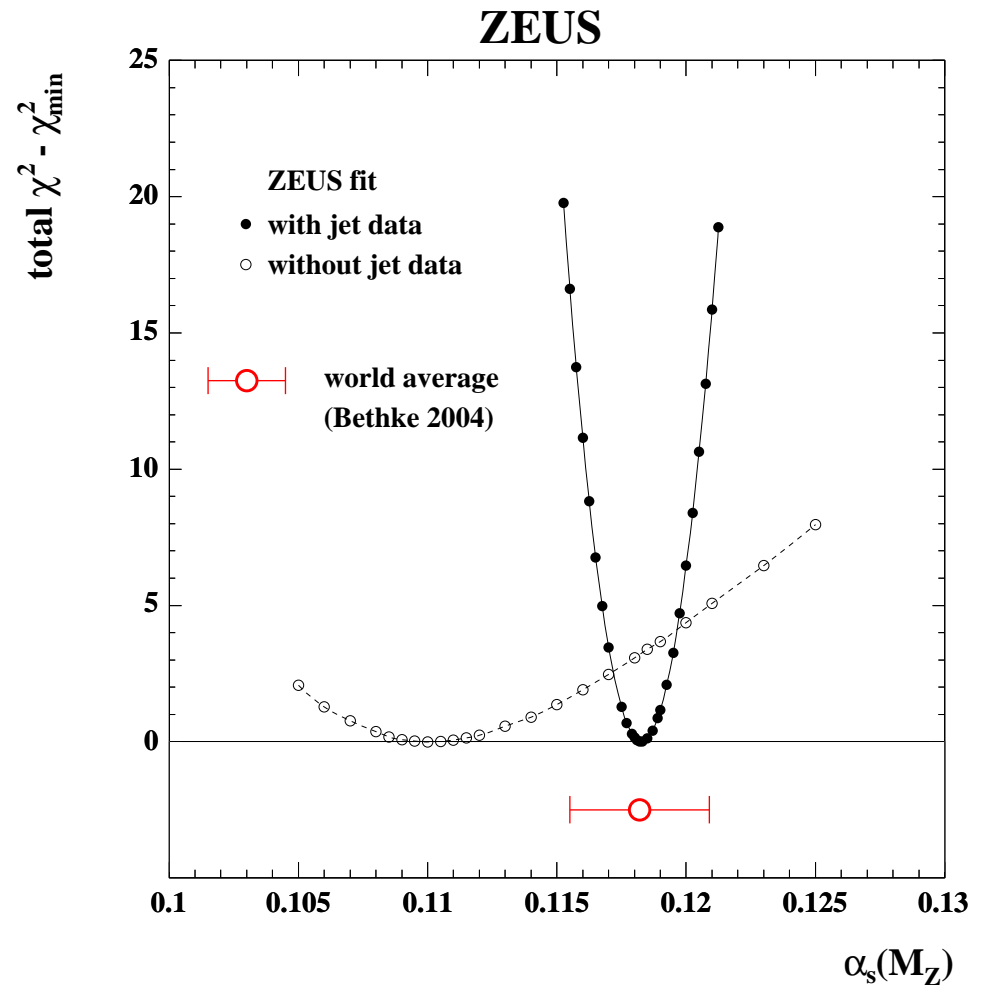
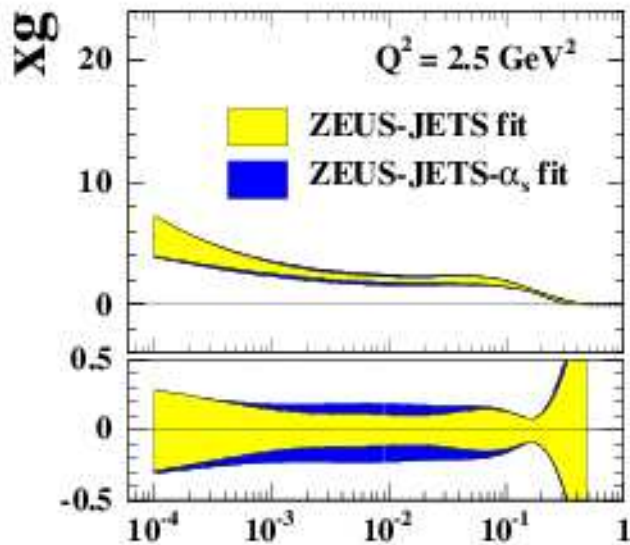
Jets e dipendenza da α_S

Il Fit è per α_S fissato a 0.118

$g(x)$ anticorrelato con α_S

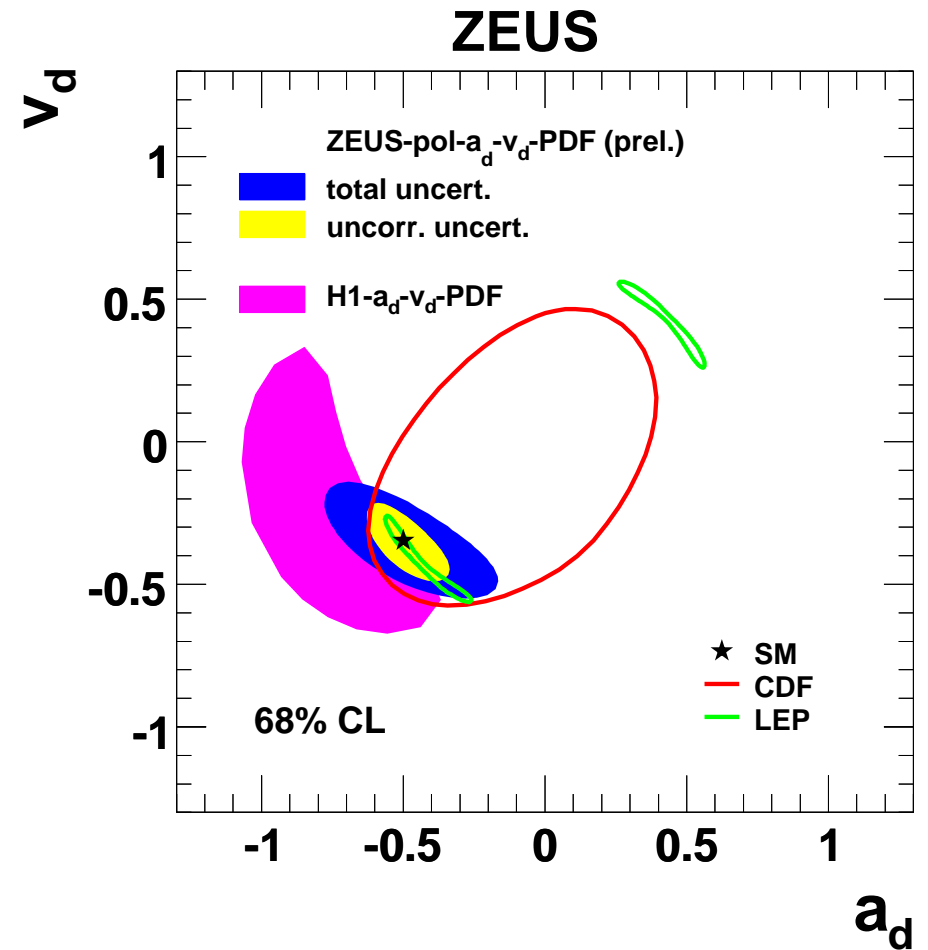
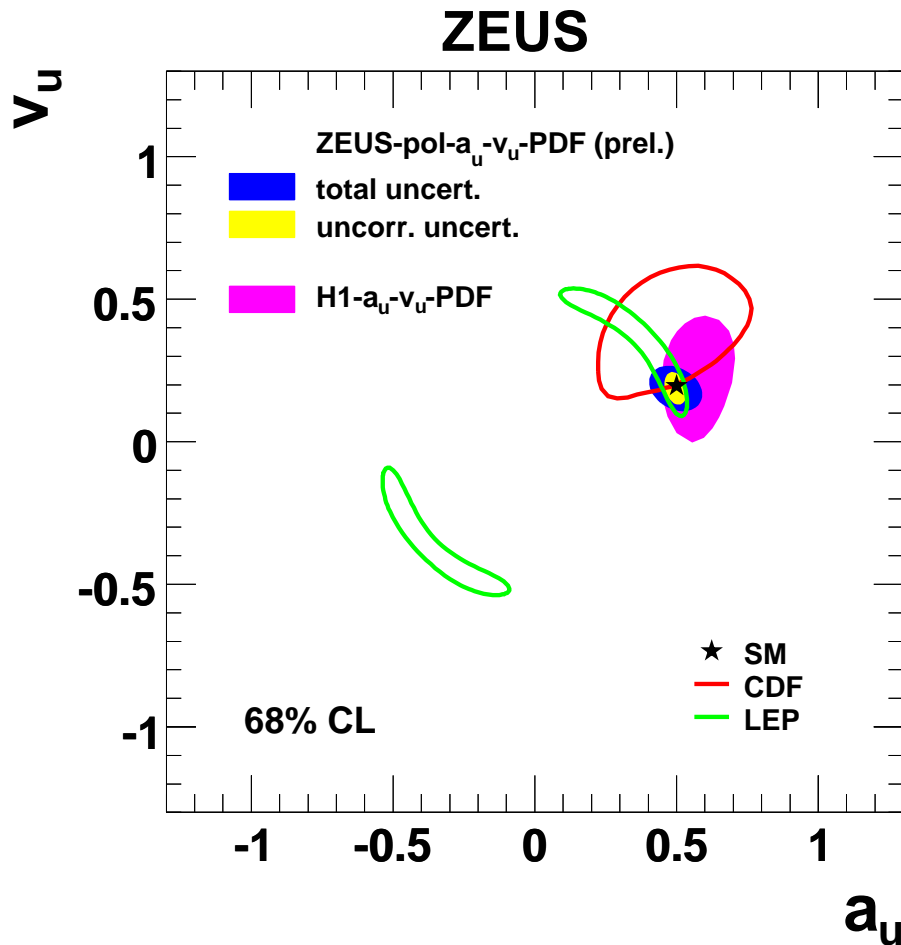
I dati sui jet riducono la dipendenza da α_S

Fit ZEUS-Jets- α_S con α_S libera:



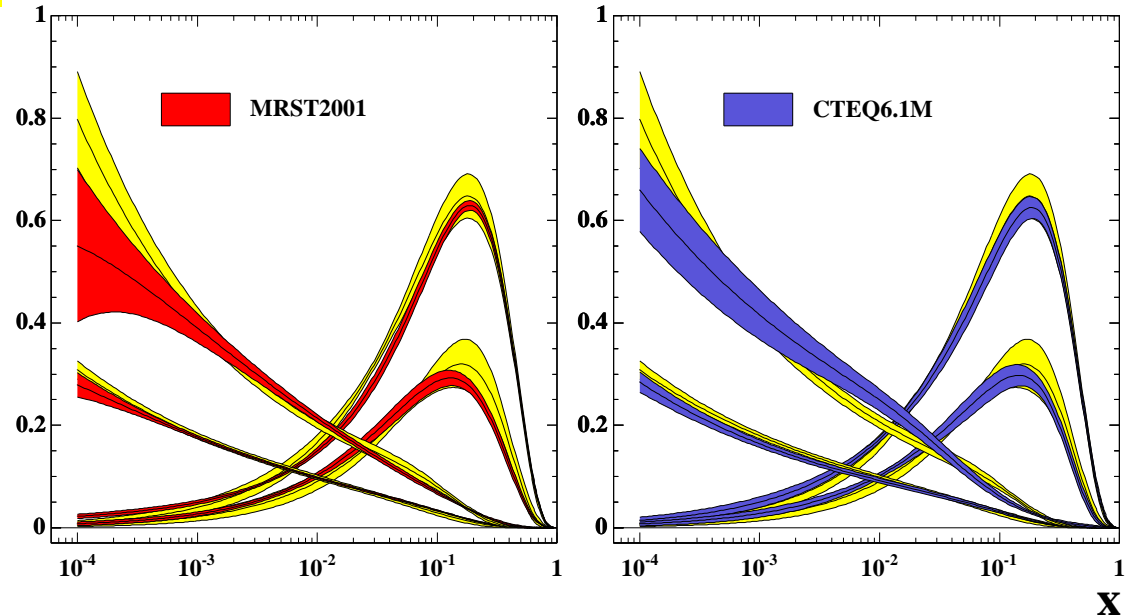
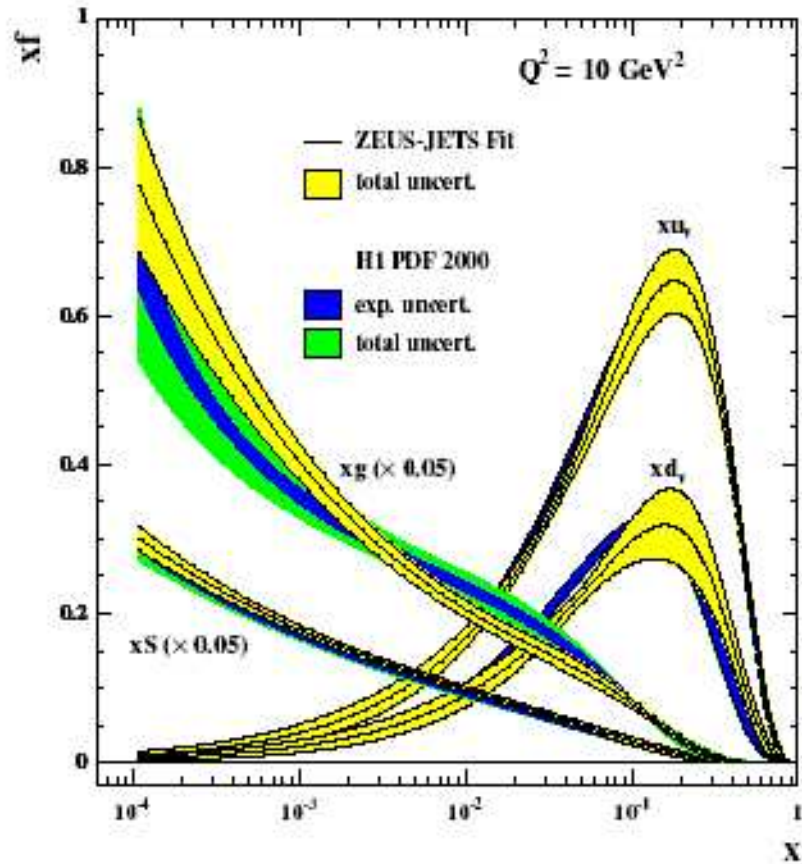
Determinazione dei parametri elettrodeboli

fit ZEUS-pol ma determinando anche gli accoppiamenti tra Z^0 e quark



$d\sigma^{CC}/dQ^2$: massa propagatore CC $M(W) = 79.1 \pm 0.8 \pm 1.0 \text{ GeV}$

Confronto con altre PDF



- MRST, CTEQ, Fit globali a HERA CC, NC
- DIS NC μp , μD , ep (NMC, BCDMS, SLAC...)
- DIS CC νFe (CCFR)
- Drell-Yan $pp \rightarrow l^+l^-$ (E6...)
- Tevatron Jets, asimmetria W^\pm

- H1 $g(x)$?
 approccio statistico diverso
 differenze nei dati ?

- Valenza da da p/D (ma correzioni nucleari)
- $g(x)$ a alto x da jet Tevatron
- χ^2/ndf cattivo
- ricette (arbitrarie ?) per le incertezze (e.g. $\chi_{min}^2 + 100$)

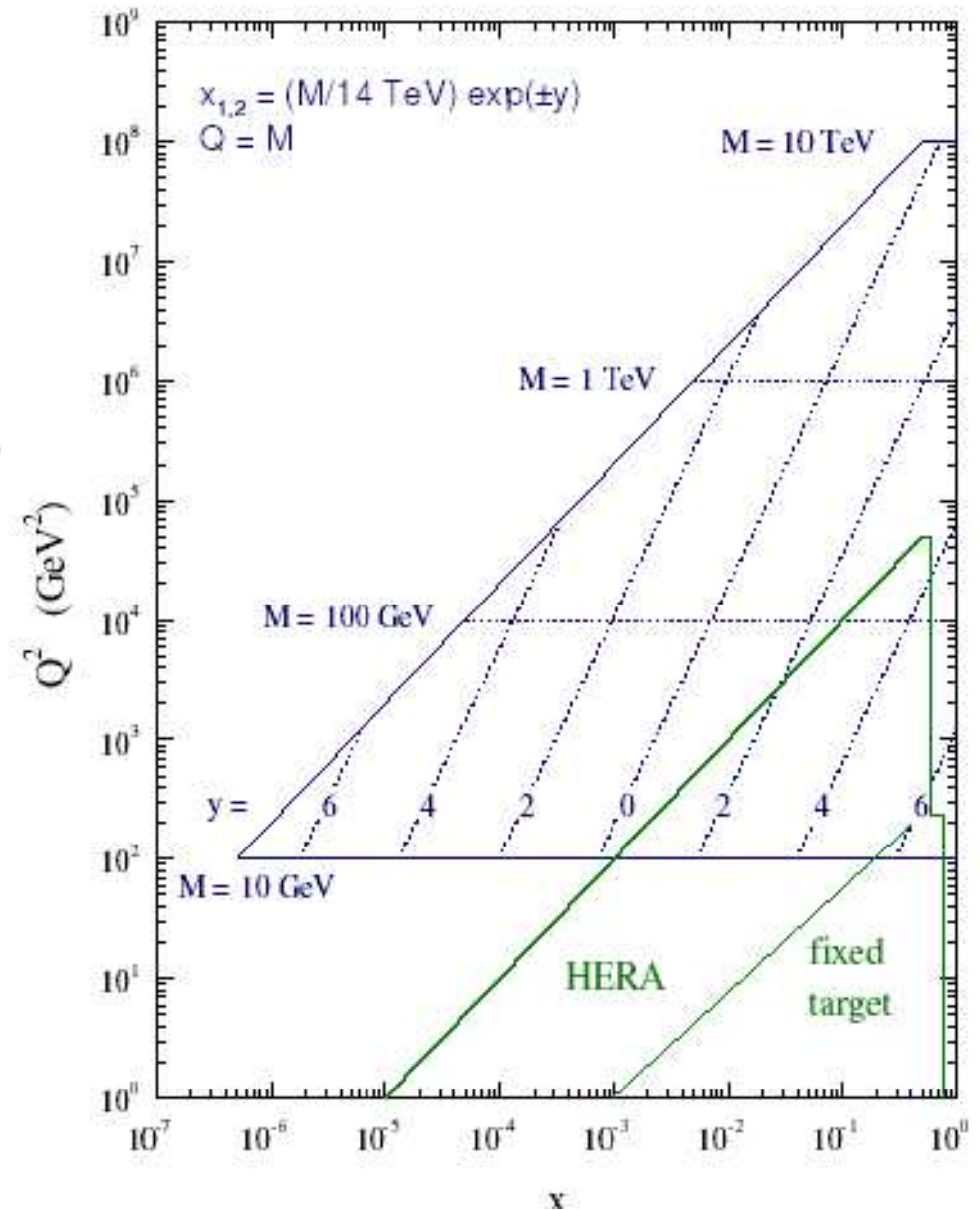
PDF nelle collisioni pp

$$\sigma_{pp \rightarrow M} = \sum_{ij} \int dx_1 dx_2 f_i(x_1, M^2) f_j(x_2, M^2) \hat{\sigma}_{ij}(sx_1x_2, M^2)$$

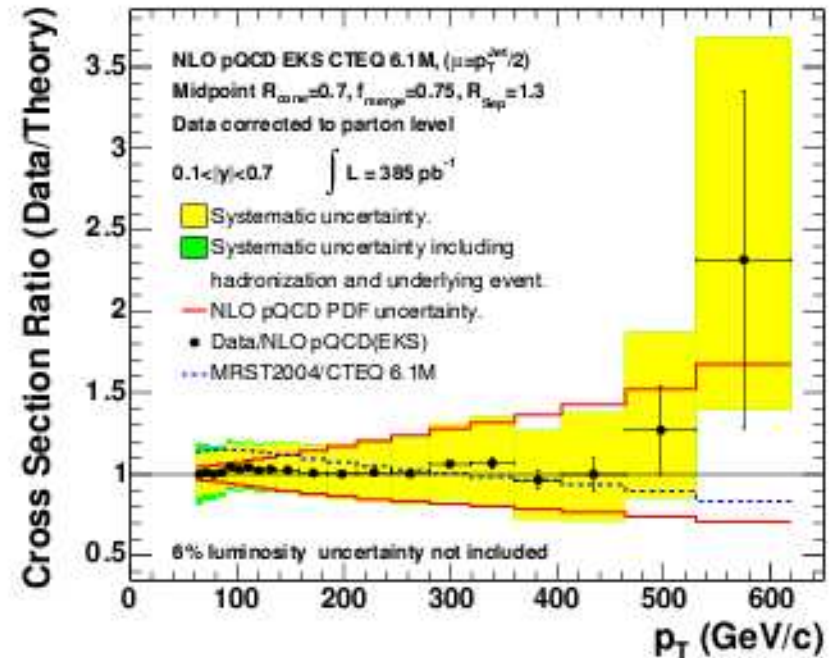
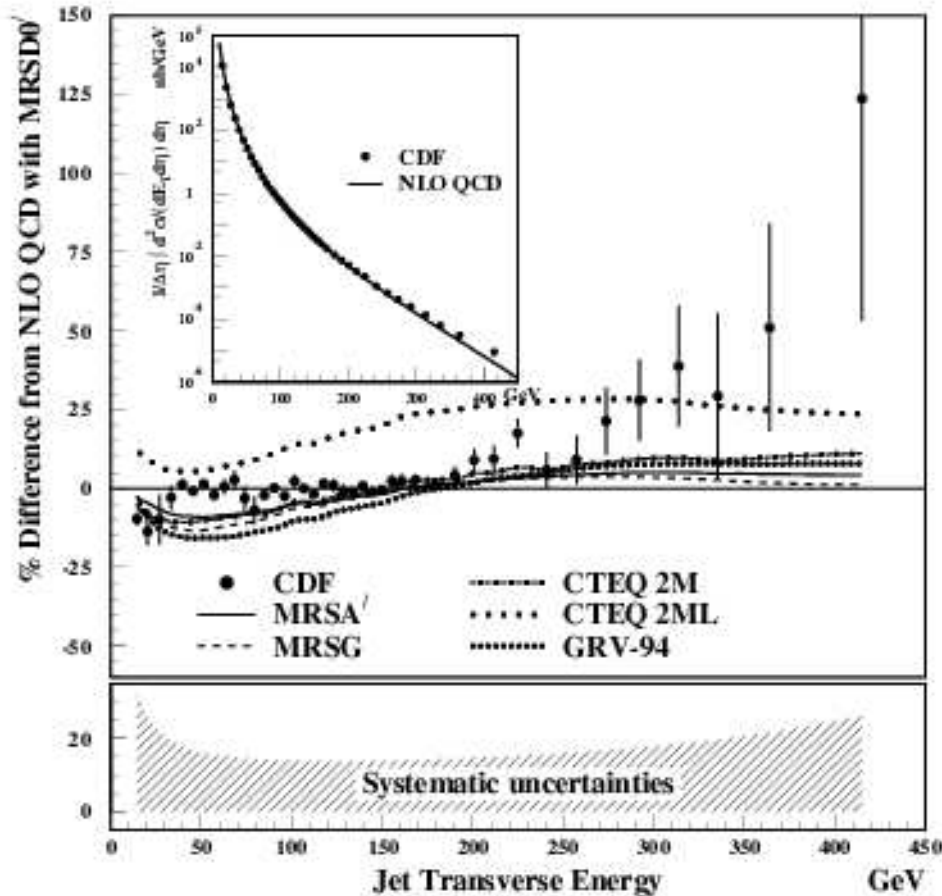
Rapidità centrale ($|y| < 2$):
per $M=100$ GeV $\implies x > 10^{-3}$

range x utile a LHC coperto da HERA

LHC parton kinematics



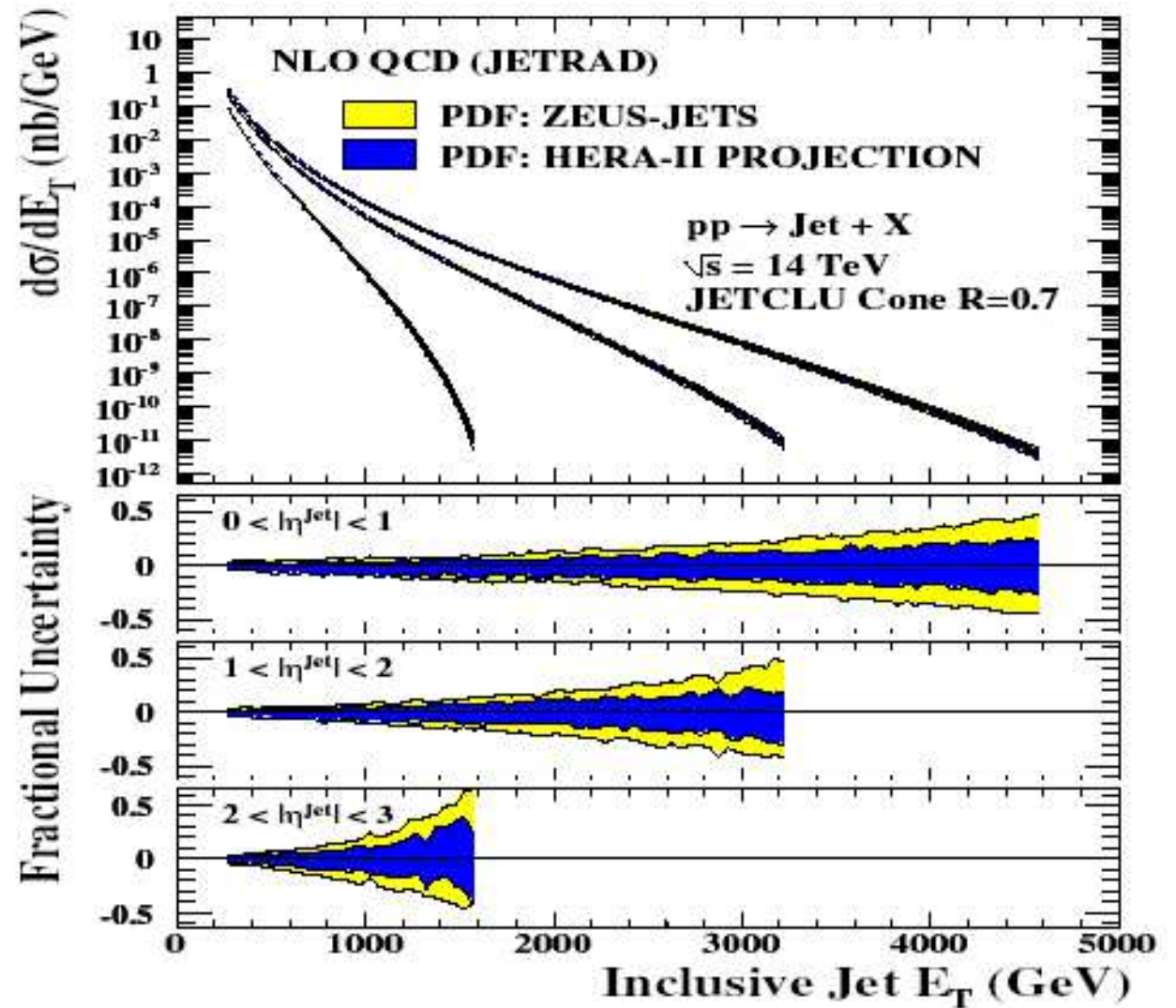
Incertezza sulle PDF, jet a Tevatron



- jet a Tevatron ($gg \rightarrow gg$, $qg \rightarrow qg$, $qq' \rightarrow qq$, $q\bar{q} \rightarrow gg$)
- 1996, CDF e D0 eccesso di jet a alto E_T : nuova fisica o PDF ?
- $g(x)$ a alto x poco nota, 10 anni fa non esistevano incertezze sulle PDF
- 2006 tutto torna!
- attenzione CTEQ usa questi stessi dati per $g(x)$

PDF ZEUS e jet a LHC

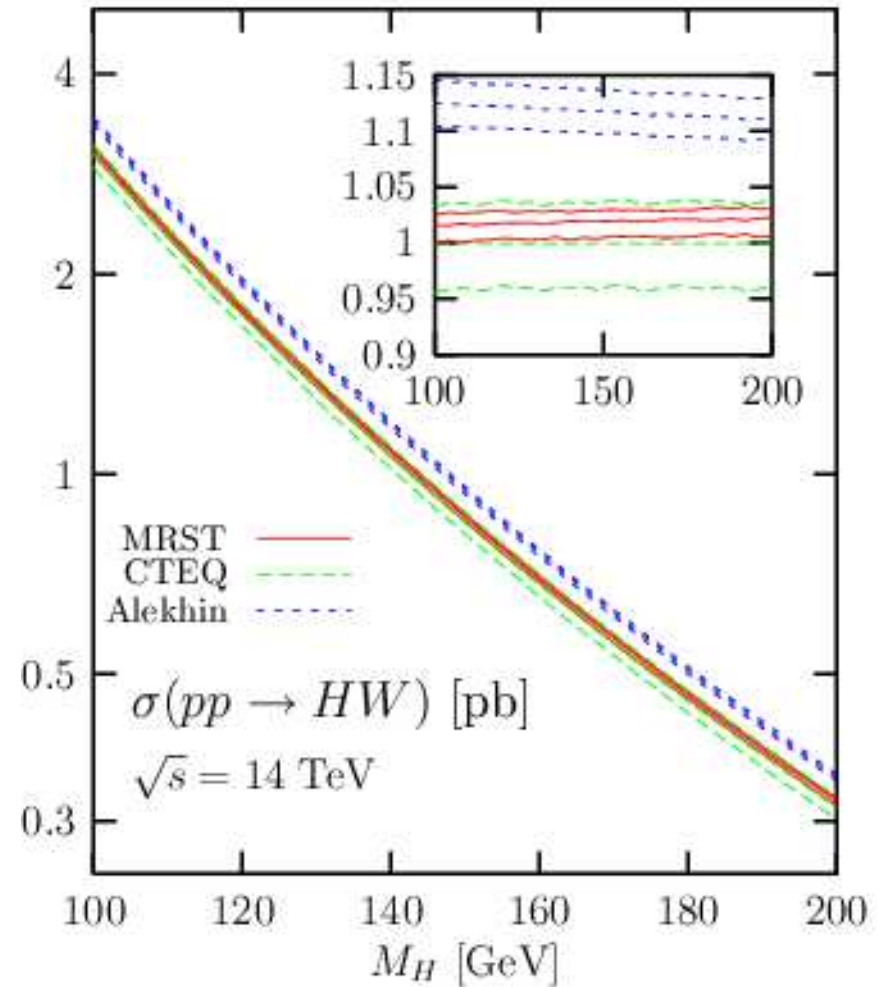
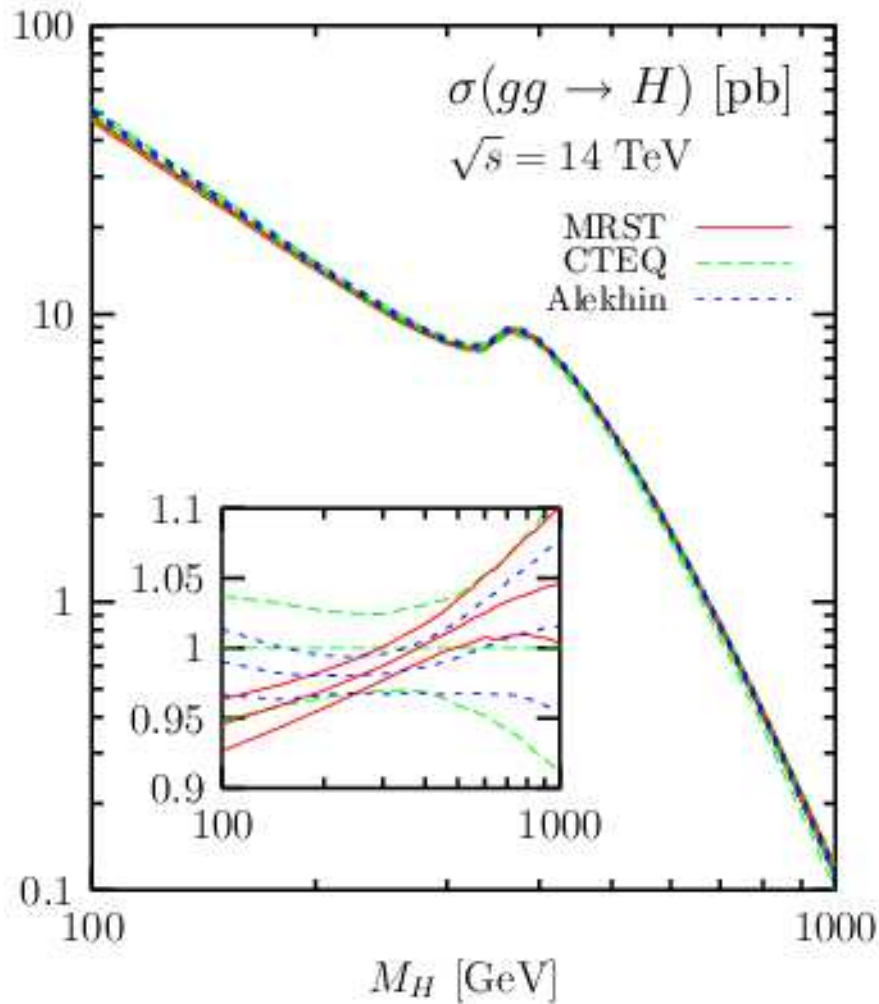
- rate jet inclusivi a LHC
- deviazioni da SM: SUSY, Large Extra Dimensions, etc.
- la sensibilità dipende dalla precisione delle PDF
- Incertezza PDF per jet a LHC basata su fit ZEUS-jet
 - $\sim 5\%$ @ $E_T = 1$ TeV
 - $\sim 20\%$ @ $E_T < 2.5$ TeV
- non usa jet a Tevatron come MRST, CTEQ



Incertezza sulle PDF, Higgs a LHC (1)

Importante sapere con precisione $\sigma(H)$:

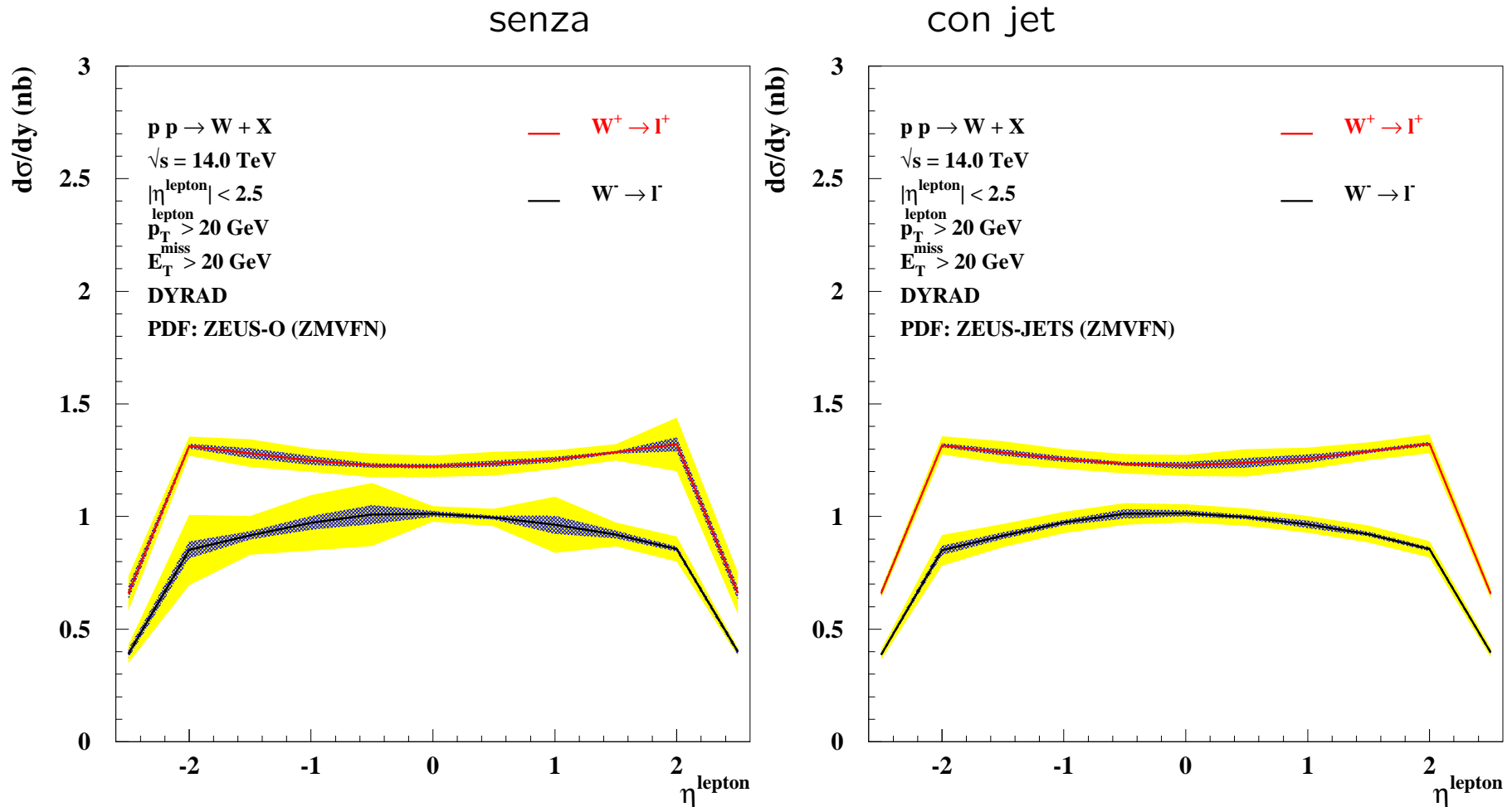
se non si trova per i limiti, se si trova per capire se consistente con SM



Incertezze $< 5\%$ ma differenze tra set PDF maggiori delle incertezze !

Incertezze sulle PDF, W a LHC (ZEUS-jet)

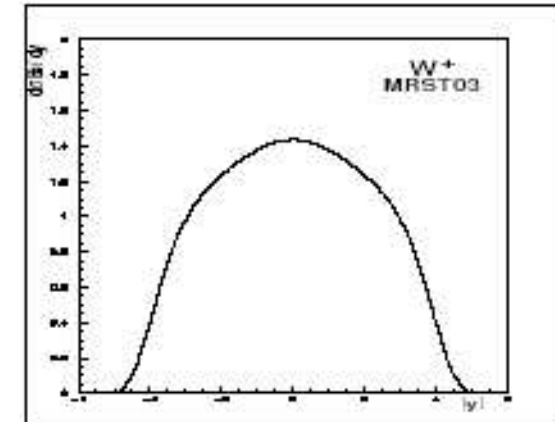
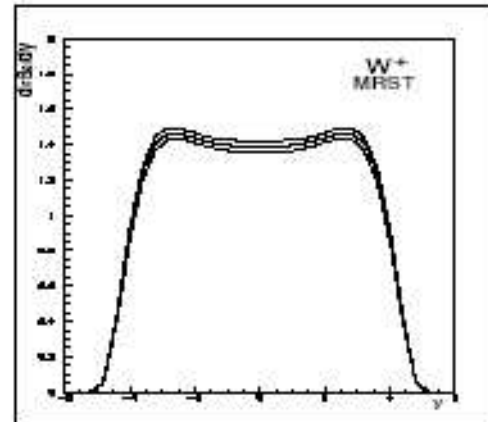
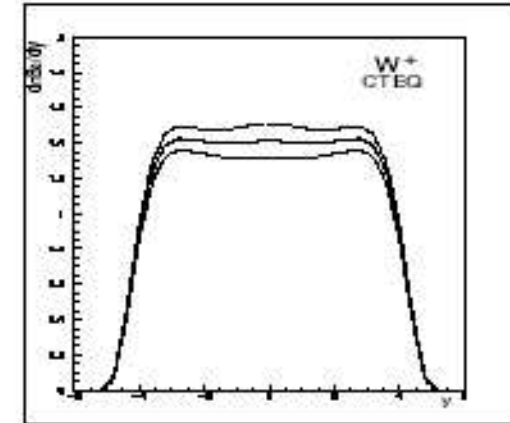
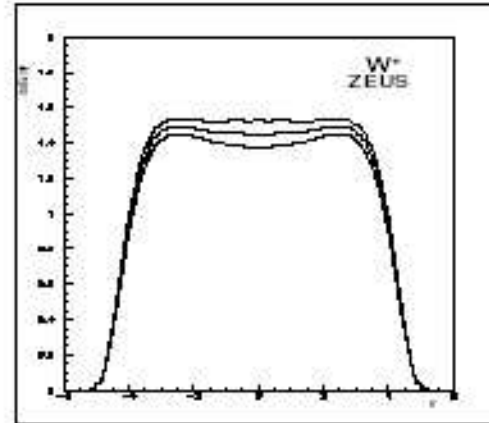
W a LHC: $q\bar{q}' \rightarrow W \rightarrow l\nu$, processo di riferimento, luminosità
 Confronto con PDF ZEUS



Rapidità del leptone con tagli realistici
 L'incertezza si riduce con utilizzando i dati dei jet
 W a LHC sensibile al mare (e quindi $g(x)$) a $x 10^{-3}$

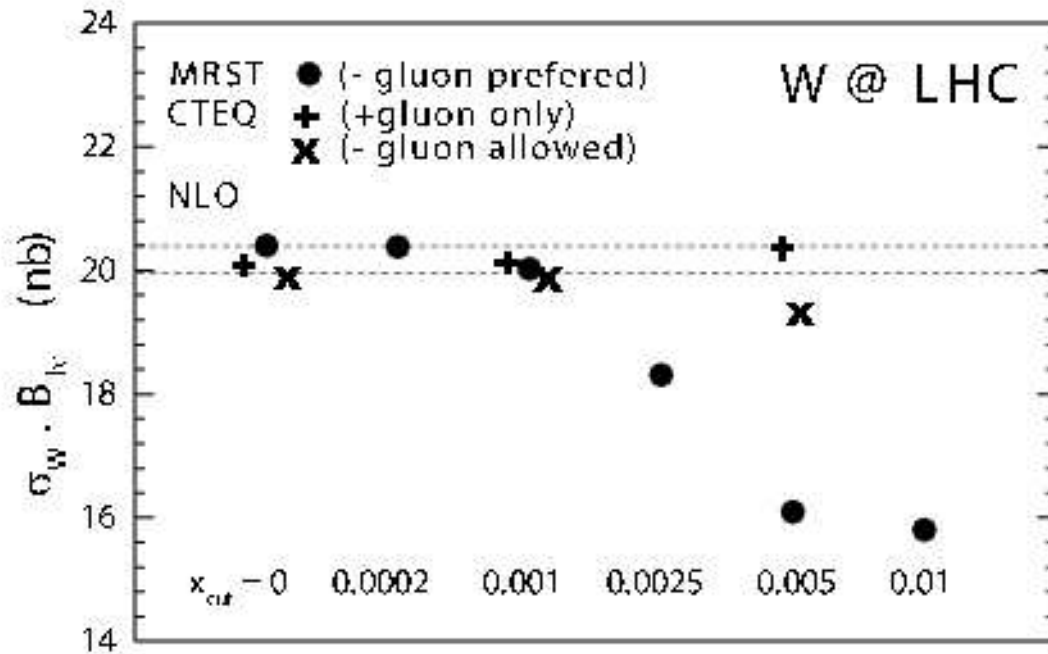
Incertezza sulle PDF, W a LHC (confronti)

- $d\sigma/dy(pp \rightarrow W^+X)$ al NLO
- ZEUS-S, CTEQ6.1, MRST01 consistenti al 3% (ZEUS-S ZEUS+NC fix target)
- Incertezze:
ZEUS-Jets > CTEQ > ZEUS-S > MRST (6 > 5 > 3.5 > 2%)
- MRST03: fit "conservativo" usa solo dati $x > x_{min} = 0.005$ risultati molto diversi ! problemi a basso x ?



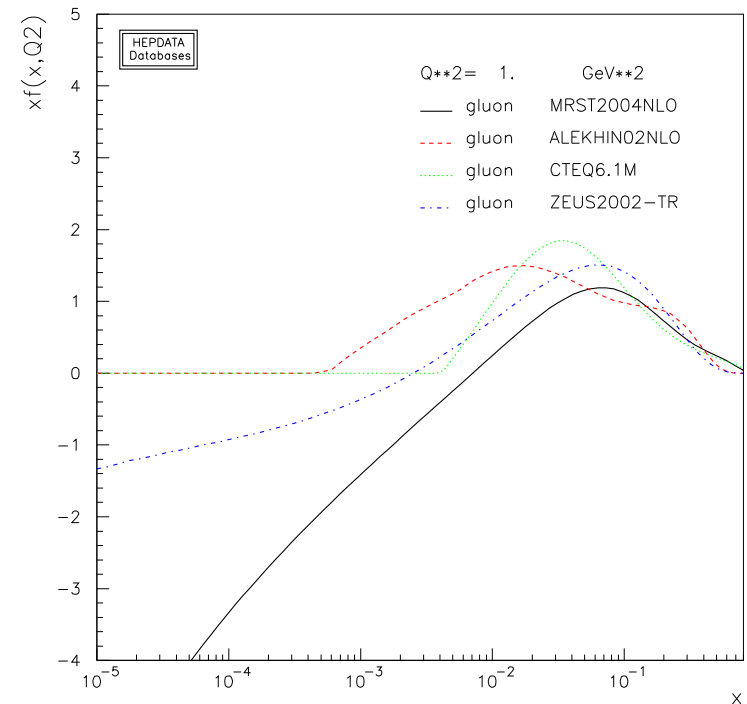
Sensibilità di $\sigma(W)$ a variazioni dei fit

Dipendenza di $\sigma(W)$ da x_{min}
e assunzioni su $g(x, Q^2)$ a basso x



MRST: rimuovendo dati a basso x $\sigma(W)$ cambia!
CTEQ: nessun effetto se si chiede $g(x)$ positivo

NB: il fit diventa unconstrained a $x < x_{min}$



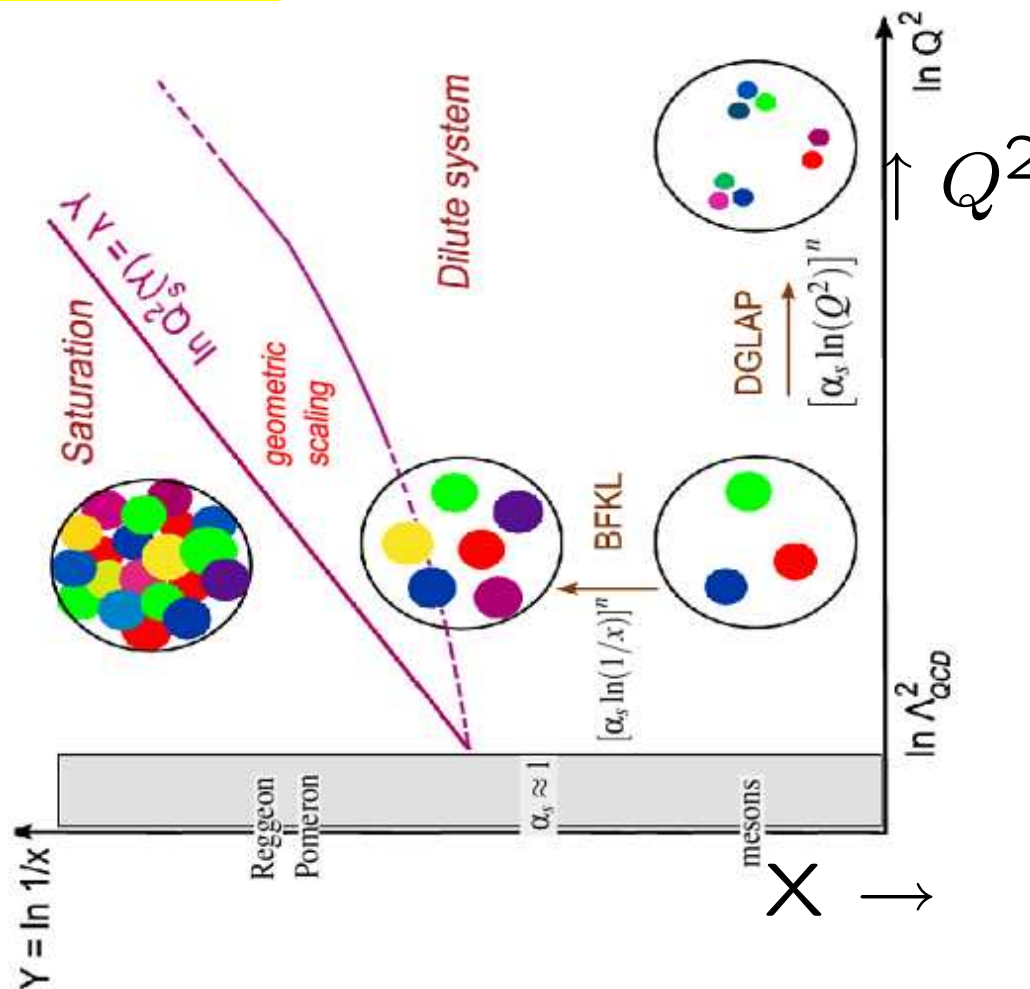
I fit preferiscono $g(x, 1\text{GeV}^2) < 0$
altrimenti $F_2(\text{fit}) > F_2(\text{dati})$
a basso x

$g(x)$ è una probabilità ?
 $g(x) < 0$ ha senso ?

Limiti teorici

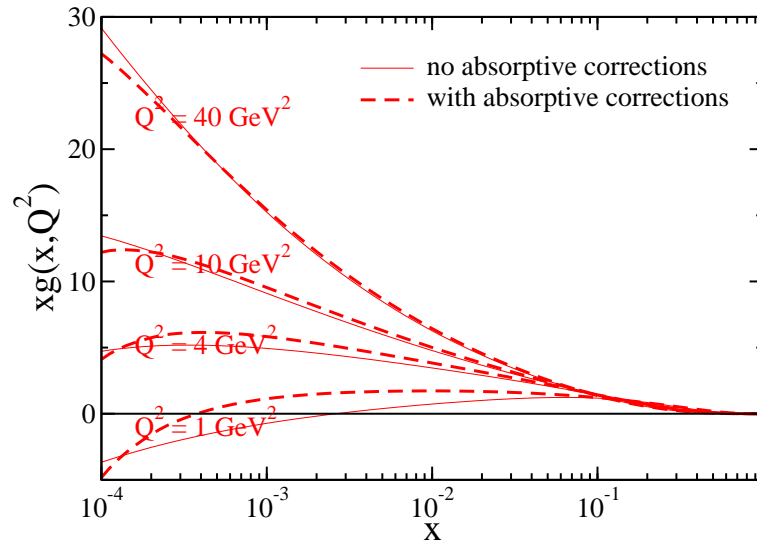
Limiti validità DGLAP:

- basso Q^2 : effetti non-perturbativi (γ^* non risolve i quark)
teoria di Regge
- alto x : $\alpha_s \log(1-x) \gg 1$
risommazione nota e trascurabile
- basso x : $\alpha_s \log(1/x) \gg 1$
risommazione completa non nota
evoluzione BFKL in x invece di Q^2 ,
sviluppi recenti
- $g(x, Q^2) \gg 1$: saturazione
termini non lin. $gg \rightarrow g$ in DGLAP
vari modelli disponibili



Basso x (teoria)

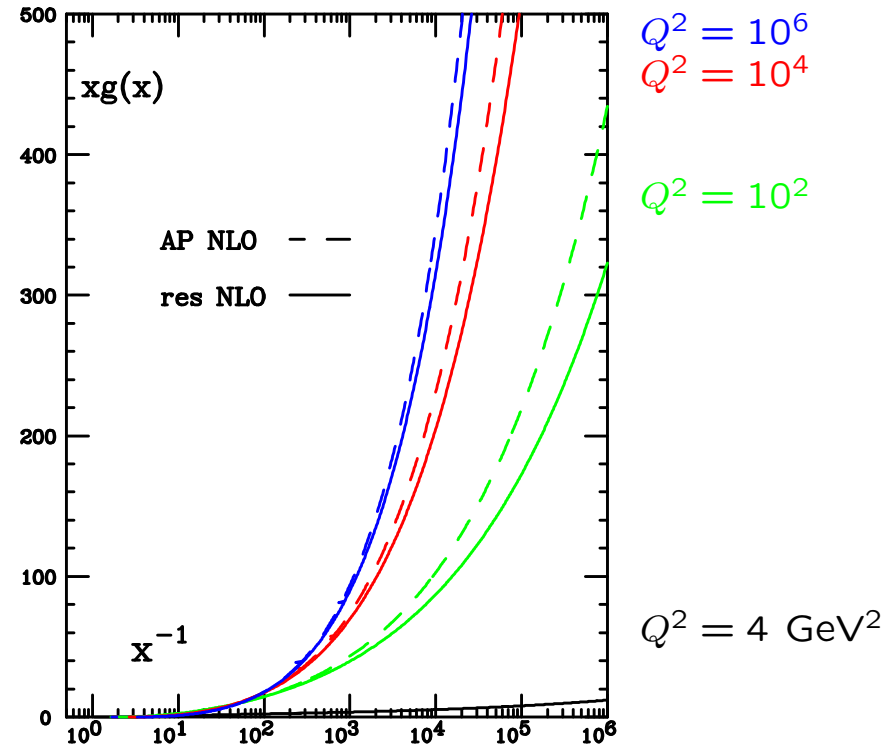
È possibile quantificare gli effetti a basso x ?



fit MRST includendo correzioni
assorbitive non-lineari

effetti visibili a basso Q^2

(Martin-Watt-Ryskin)



$xg(x)$ evoluta a diversi Q^2
con DGLAP NLO e risommato ($n_f = 0$)

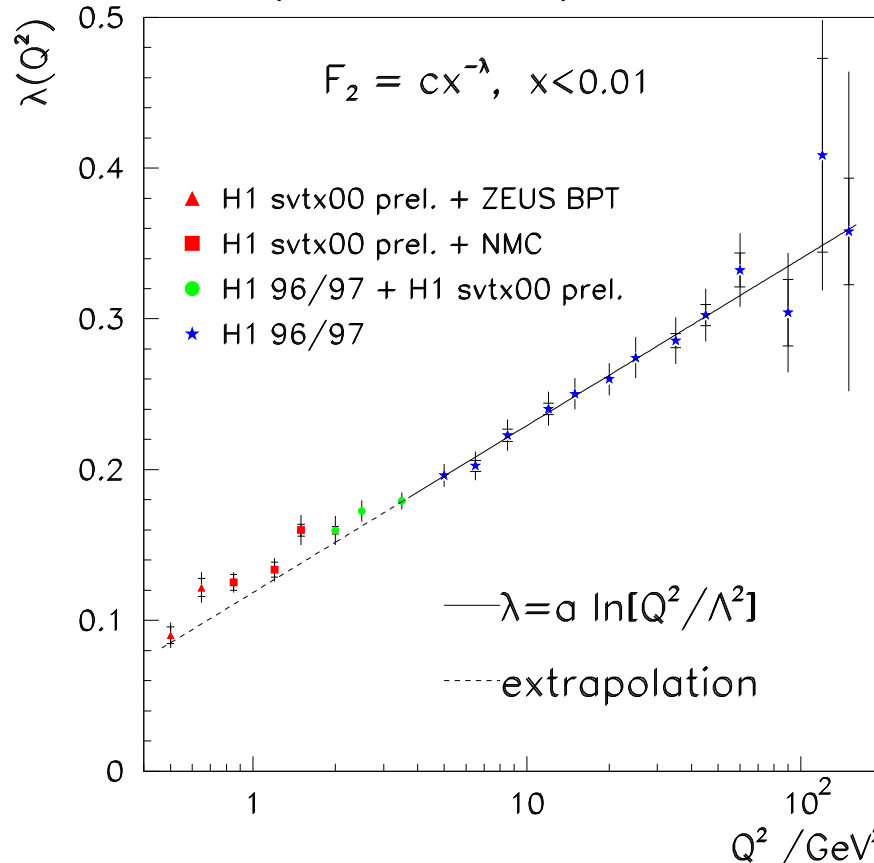
effetti O(10)% a $x \sim 10^{-3}$

(Altarelli-Ball-Forte)

Basso x (dati)

DGLAP riproduce i dati F_2 bene per $Q^2 > \sim 1 \text{ GeV}^2$
per tutti gli x accessibili ($x > 5 \times 10^{-5}$)

Ma con 12 parametri si può descrivere tutto!



F_2 molto regolare, bastano 3 par.:

per $x < 0.01$ $Q^2 > 3\text{GeV}^2$

$$F_2(x, Q^2) \simeq c x^{-\lambda(Q^2)}$$

$$c = 0.18,$$

$$\lambda = 0.05 \log [Q^2/(0.3/\text{GeV})^2]$$

Per verificare la consistenza delle PDF a basso x
occorre utilizzare altri osservabili sensibili a $g(x)$, diversi da F_2

Dati a basso x e $F_L(x, Q^2)$

A basso x (alto y) F_L è importante !

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} \propto Y_+ F_2 - y^2 F_L$$

Riduzione di $\tilde{\sigma}$ a basso x dovuta a F_L
(escludendo la saturazione!)

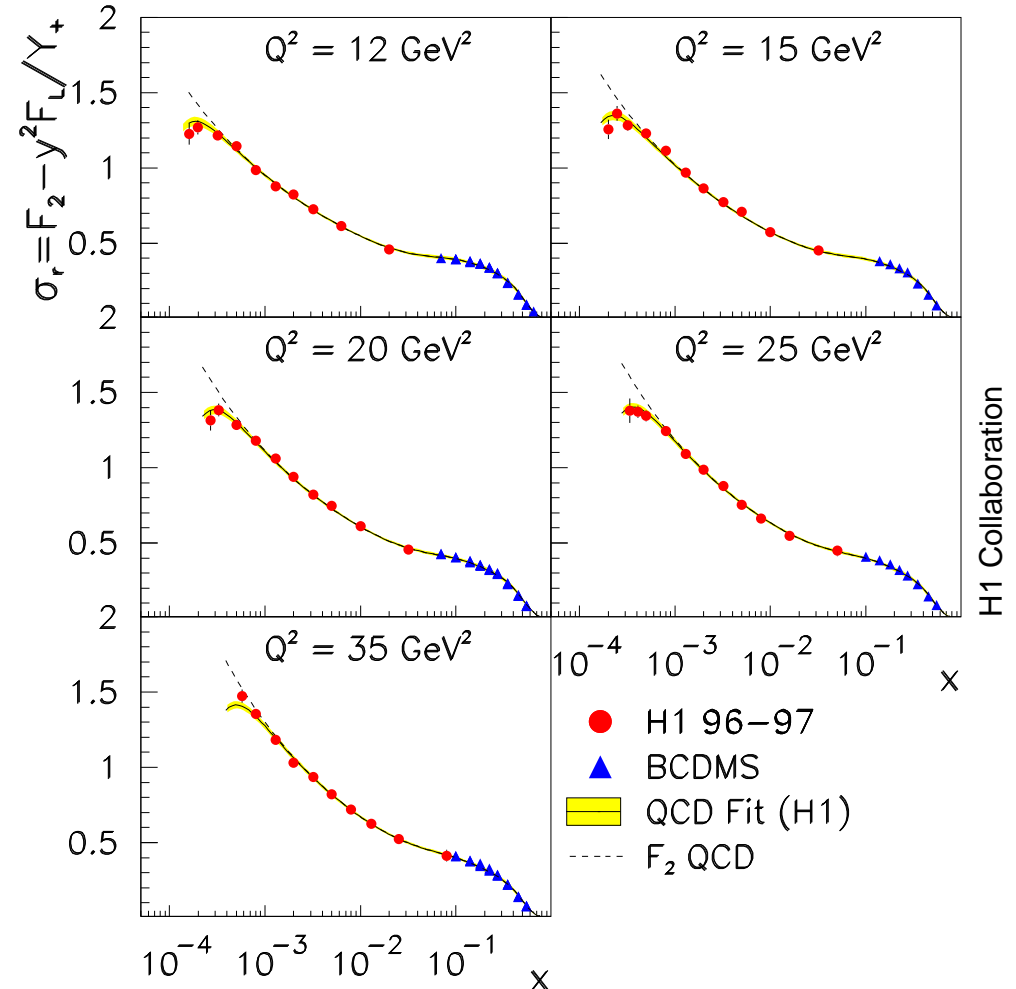
LO QCD:

$$F_L = \frac{\alpha_s}{4\pi} x^2 \int_x^1 \frac{dz}{z^3} \left[\frac{16}{3} F_2(z) + 8 \sum_q e_q^2 \left(1 - \frac{x}{z}\right) z g(z) \right]$$

$$\propto \alpha_s x g(x)$$

F_2 estratta con correzioni per F_L

È possibile misurare F_L direttamente ?

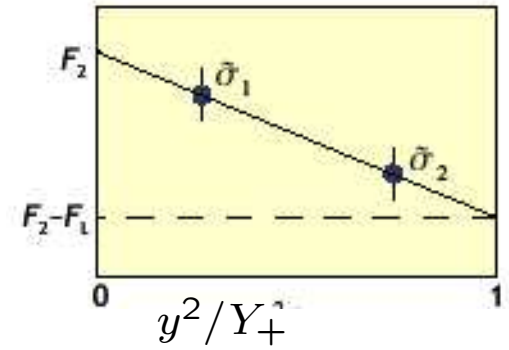


Run a bassa energia

Per separare la dipendenza da y da quella da x , Q^2

misurare $d\sigma$ alla stessa (x, Q^2) ma diversa s ($y = Q^2/(xs)$)

Run a bassa energia $E_p = 460\text{GeV}$ da Marzo ($\sim 10\text{pb}^{-1}$)



F_L predictions

Misura difficile (alto y : E_e bassa)

precisione attesa:

H1:

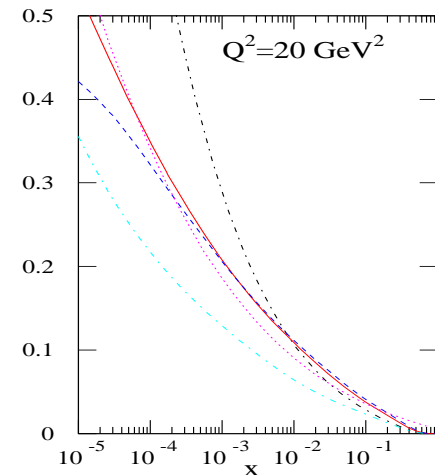
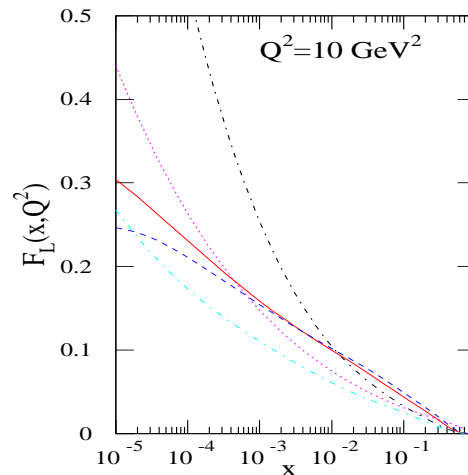
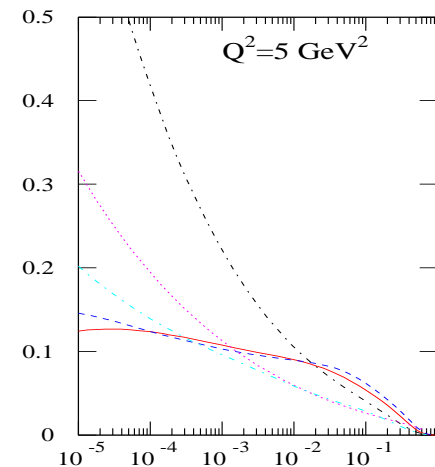
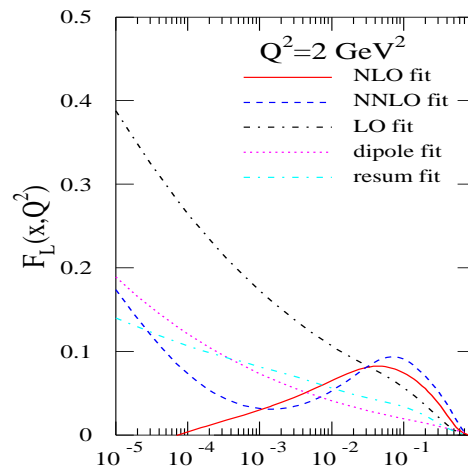
$$\delta F_L \sim 5 - 10\%$$

$$\text{per } Q^2 > 5\text{GeV}^2, x > 10^{-4}$$

ZEUS:

$$\frac{\delta R}{R} \sim 10 - 15\%$$

$$R = F_L/F_2$$

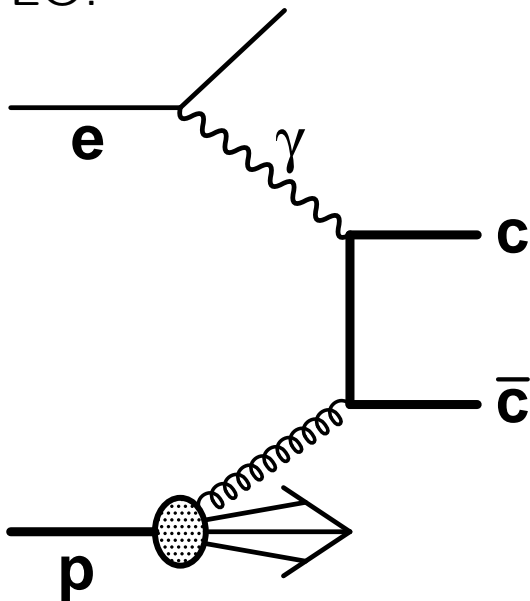


Quark pesanti e determinazione di $g(x, Q^2)$

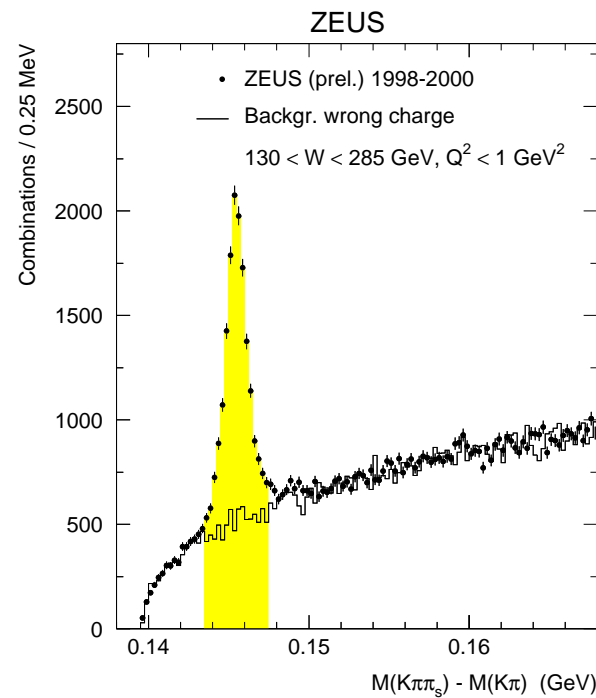
Charm Tagging

Produzione di c (b)
sensibile a $g(x, Q^2)$

LO:

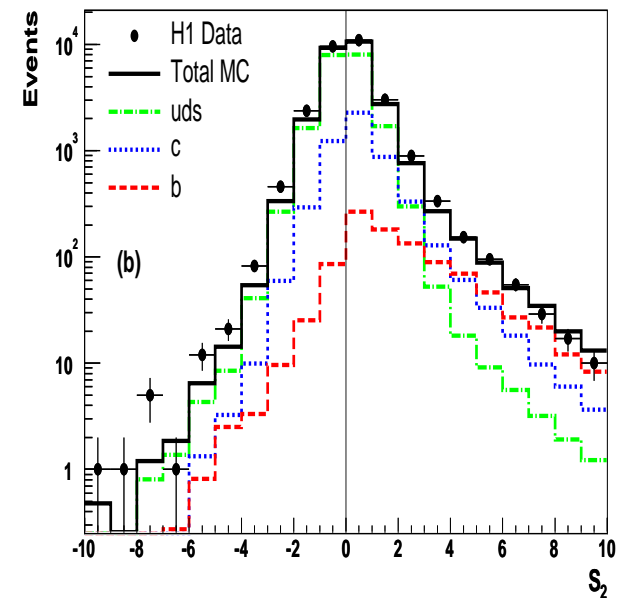


Mesoni D identificati



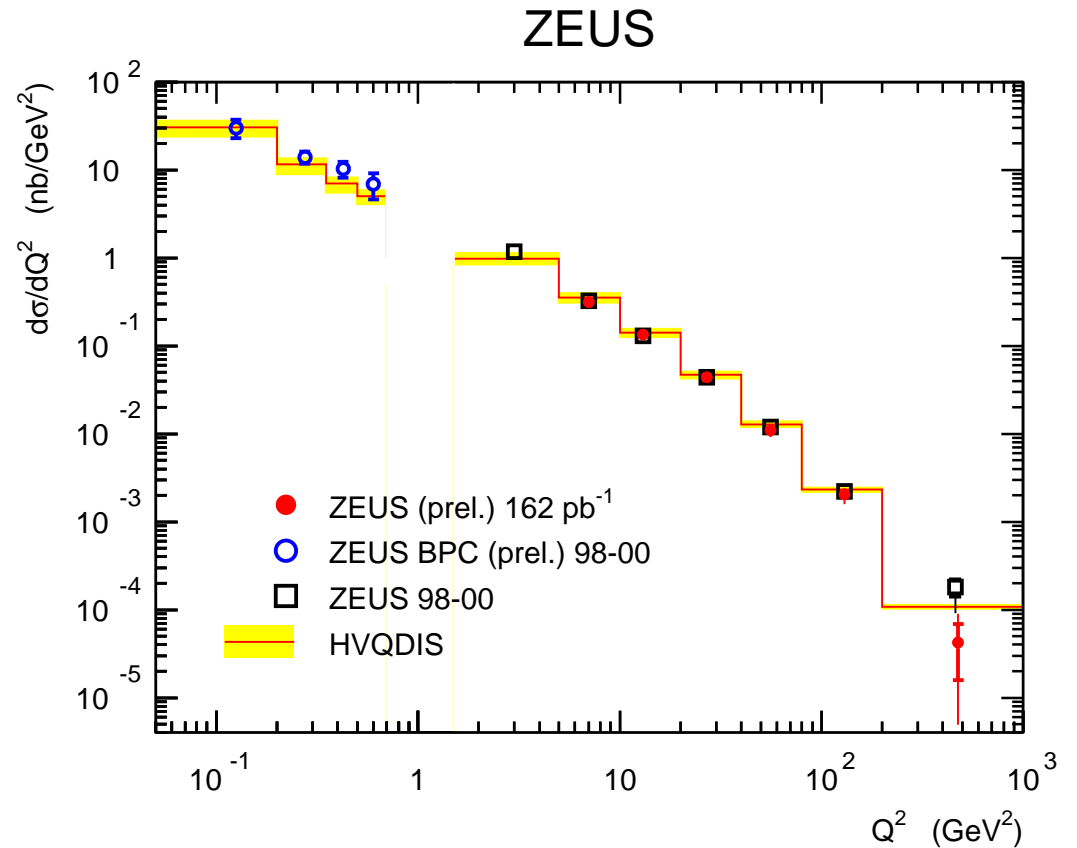
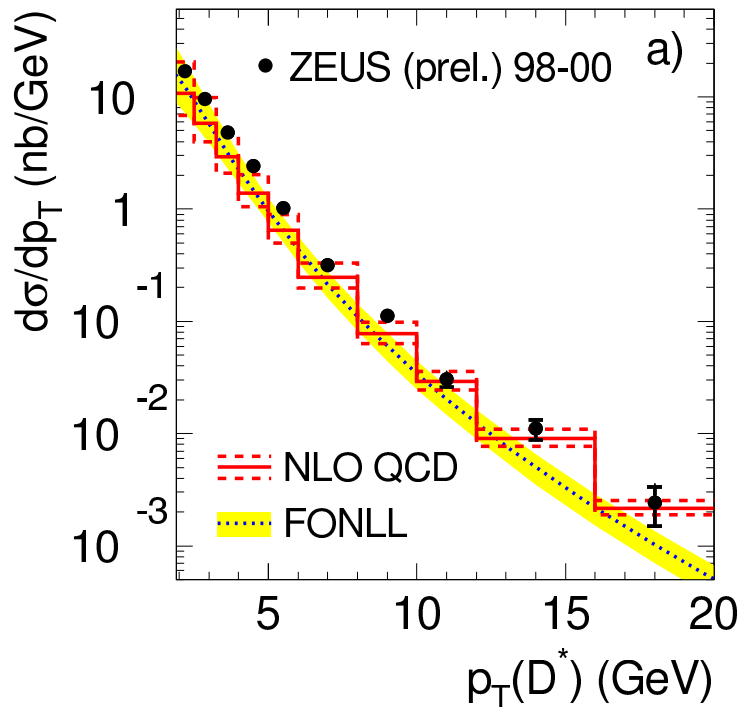
Esempio:
 $D^{*+} \rightarrow \pi^+(D^0 \rightarrow \pi^+ K^-)$

Parametro di Impatto (IP) del
leptone o inclusivo



Esempio:
significatività IP inclusivo:
 $S = IP/\delta(IP)$

Produzione di charm (D^*)



$Q^2 < 1\text{GeV}^2$, $|\eta| < 1.5$
dati HERA-I

$P_T > 1.5\text{GeV}$, $|\eta| < 1.5$, $0.02 < y < 0.7$
dati HERA-I e HERA-II

Dati sulla produzione di Charm su un ampio range in $p_T(D)$ e Q^2
in accordo con QCD NLO

Incertezze sperimentali $<$ teoriche
Incertezze QCD NLO $> \mathcal{O}(20 - 30\%)$

Utili nei fit PDF ?
41 M. Corradi Risultati di HERA

Frazione di DIS NC con charm

$F_2^{c\bar{c}}(x, Q^2)$ componente $c\bar{c}$ di F_2
 Calcolabile teoricamente al NNLO
 incertezze teor. minori

Non misurata direttamente:
 richiede estrapolazione in P_T e η

Risultati

ZEUS: D^*

H1: impact parameter

precisione $\delta F_2^{c\bar{c}} \sim 10 - 20\%$

HERA-II:

Luminosità $\times 5$

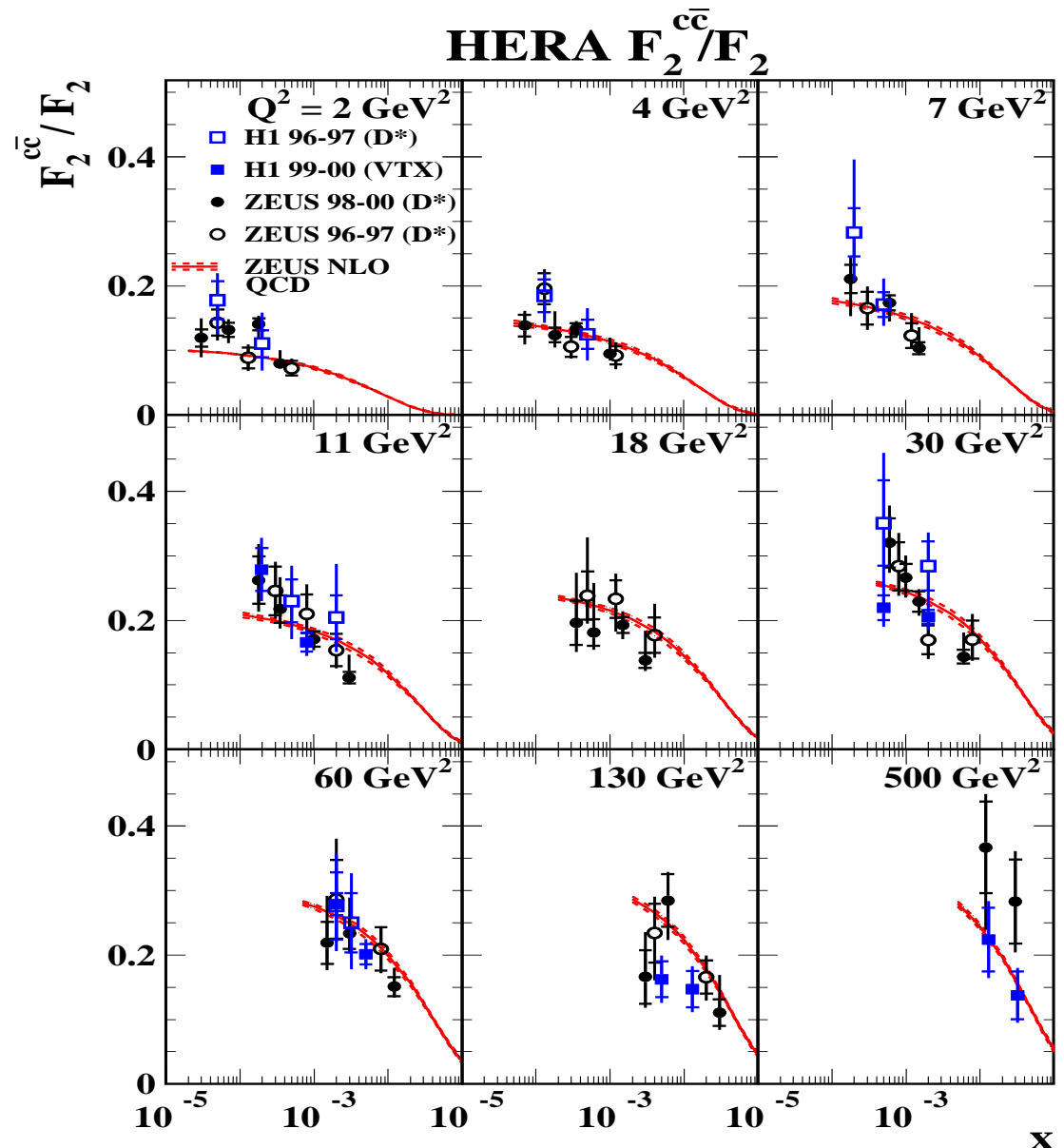
ZEUS upgrade:

- rivelatore di vertice,

- tracking in avanti

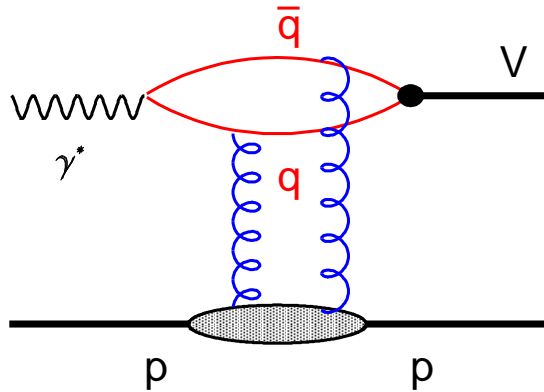
H1 track trigger

Goal $\delta F_2^{c\bar{c}} < 5\%$



Produzione esclusiva di mesoni vettori e γ

$$ep \rightarrow epV \quad (V=\rho, \omega, \phi, \psi, \Upsilon, \gamma)$$



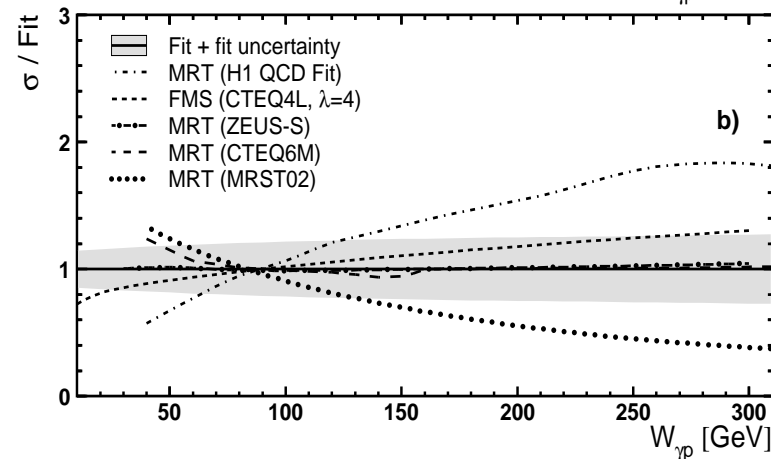
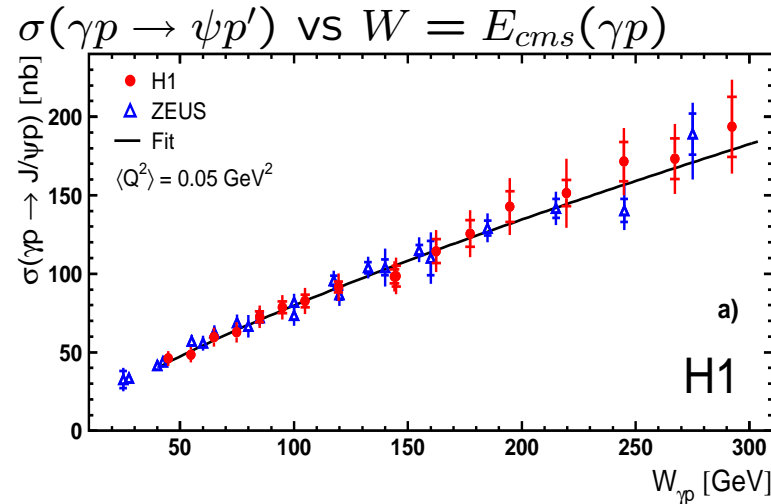
+ due gluoni: $\propto [xg(x)]^2$
Alta sensibilità a $g(x)$?

+ calcolabile pQCD se $Q^2, M_V^2, t \gg \Lambda_{\text{qcd}}^2$

- Incertezze teoriche attuali troppo grandi

- Probabilità di trovare 2 g a x_1 e x_2
 $G(x_1, x_2) \neq g(x_1)g(x_2)$?

Ulteriore ingrediente non-pert ?
generalised-PDF (gPDF)
Necessario per proc. esclusivi a LHC ?



Sensibilità a diverse PDF
predizioni riscalate a $W = 100 \text{ GeV}$
Fattore scalamento $K=1.5-3$

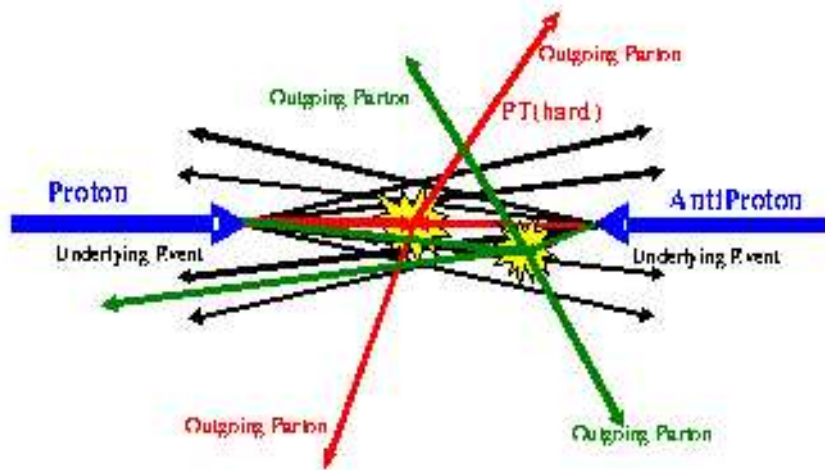
Eventi multijet a LHC

Conoscere il rate degli eventi con $n \geq 3$ jet è fondamentale a LHC:

- fondo processi BSM (SUSY, mini black holes, etc.)
- analisi con jet veto (p.es. $qq \rightarrow Hqq$)

Teoria non precisa come per jet inclusivi:

- Elementi di matrice noti al tree level
- MC con match PS-ME
- Modelli MC “empirici” per interazioni multiple



Interazioni multiple (MI)

sezione d'urto per jet di transv. mom p_T :

$$\sigma(p_T) \simeq \int_{4p_T^2/s}^1 dx_1 dx_2 g(x_1)g(x_2) \hat{\sigma}(x_1, x_2, p_T)$$

$g(x)$ cresce a basso x e quindi

per p_T basso e s grande, $\sigma(p_T)$ viola l'unitarietà:

il num di collisioni gg per collisione pp diventa > 1

Modelli MC basati su dati Tevatron, $Spp\bar{S}$,
estarpolazioni a LHC affidabili ?

Test su jet multipli in un altro tipo di collisione (HERA)?

Comportamento adronico del fotone: fotoproduzione

Il fotone è puntiforme: no MI a HERA ?

A $Q^2 \simeq 0$ (fotoproduzione) si comporta (in parte) come un adrone

Modello Vector Meson Dominance:

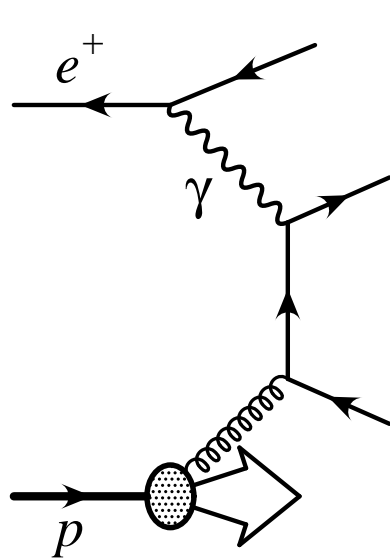
Fluttuazioni del fotone in $q\bar{q}$ (componenti anomala e adronica):

$$|\gamma\rangle = |\gamma_{\text{bare}}\rangle + |q\bar{q}\rangle + |q\bar{q}g\rangle + \dots + |\rho^0\rangle + |\omega\rangle + \dots$$

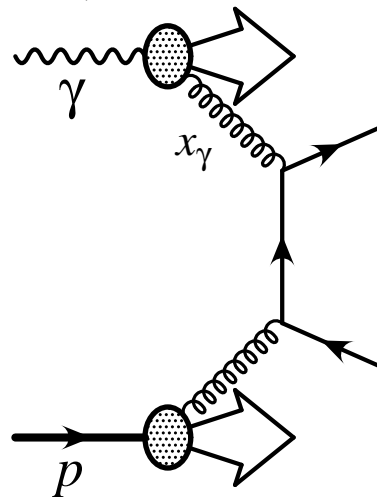
Struttura adronica del fotone misurata in e^+e^- (DIS su γ)

HERA: eventi con 2 jet a $Q^2 \sim 0$, due tipi di diagrammi LO:

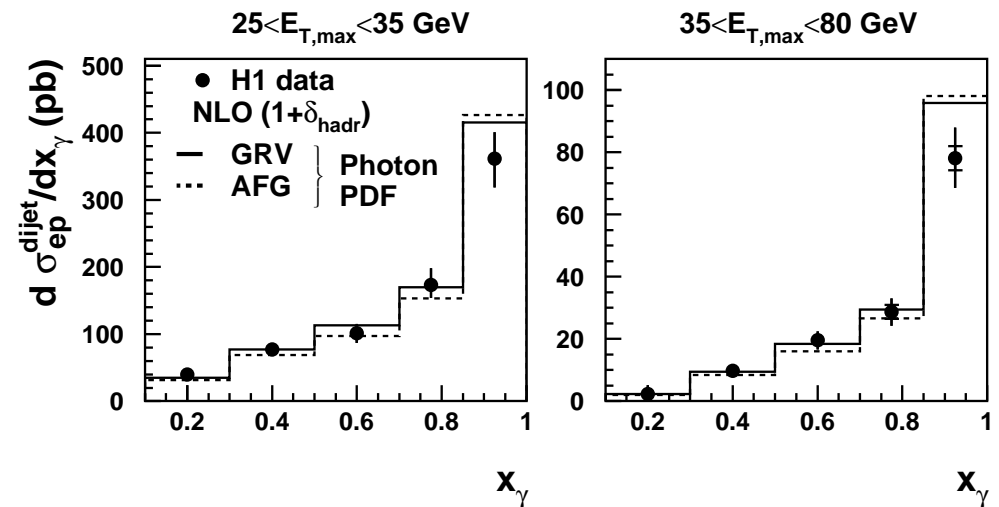
x_γ = frazione del momento del γ presa dai due jet (nel s.r. del p)



Fotone diretto $x_\gamma = 1$

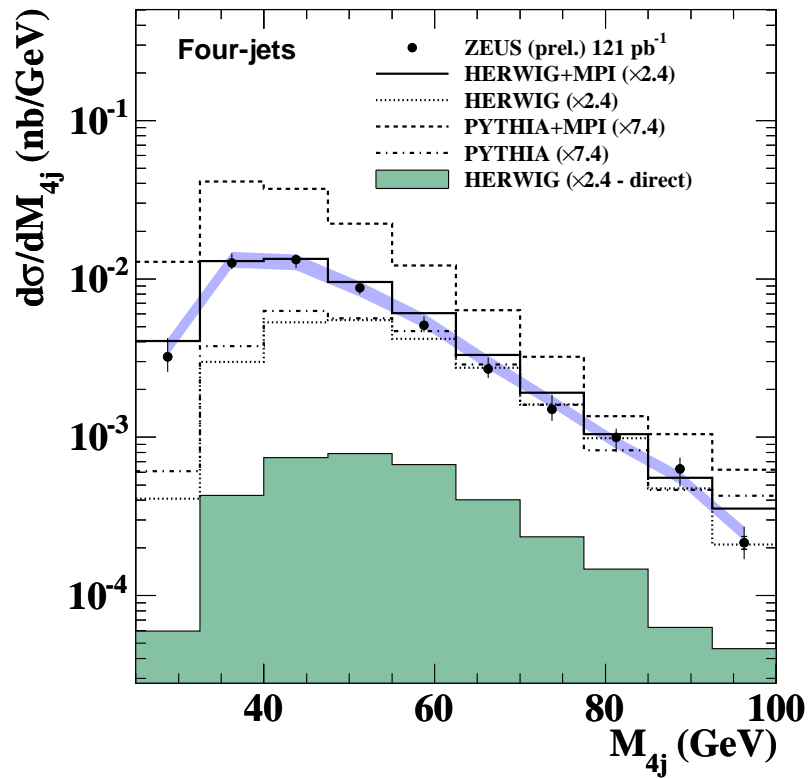
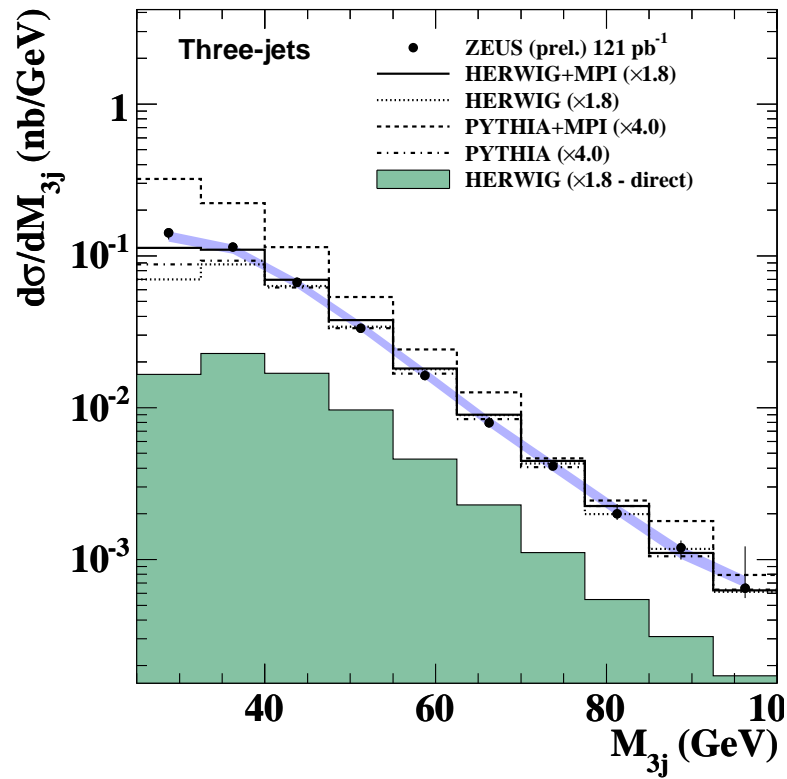


Fotone risolto $x_\gamma < 1$
(comportamento adronico)



x_γ ricostruito dai 2 jet
eventi 2-jet $Q^2 < 1\text{GeV}^2$

3 e 4 jet in fotoproduzione



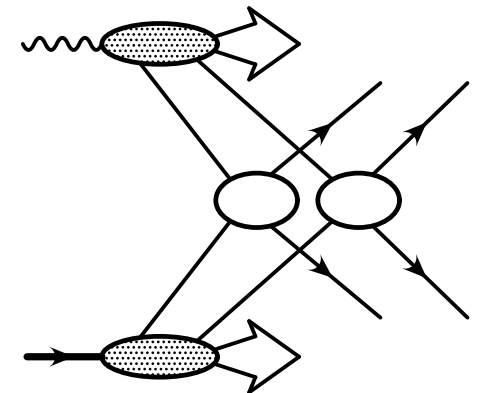
$$Q^2 < 1\text{GeV}^2, E_T(\text{jet}1, 2) > 7\text{GeV}, E_T(\text{jet}3, 4) > 5\text{GeV}, M_{nj} > 25\text{GeV}$$

Confronto (shape) con MC con e senza MI

Parametri MI:

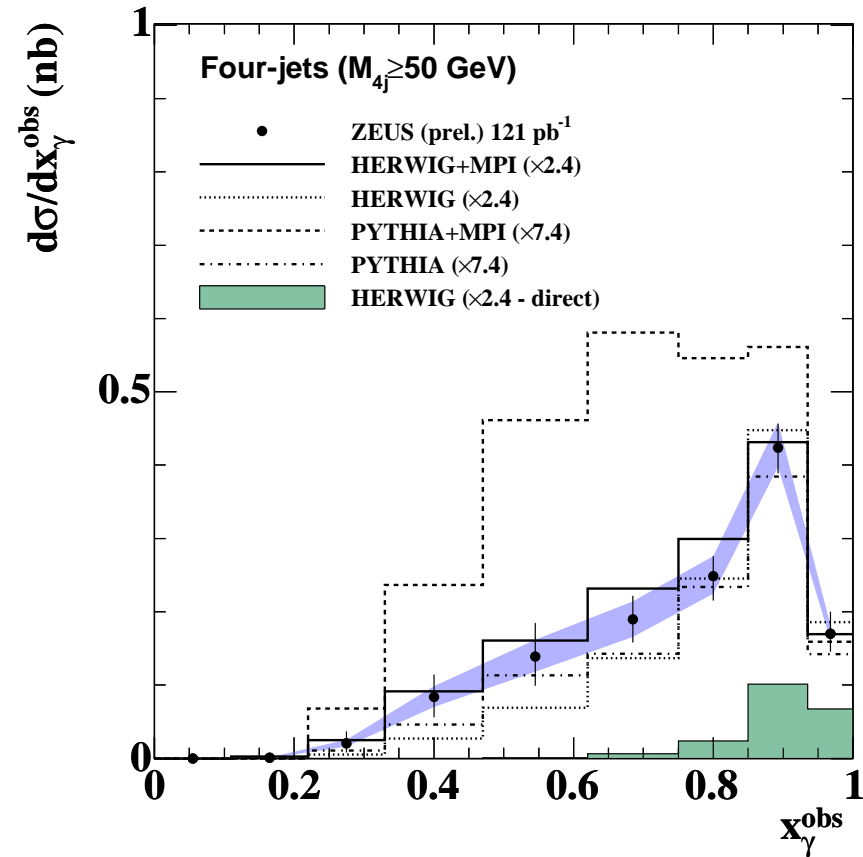
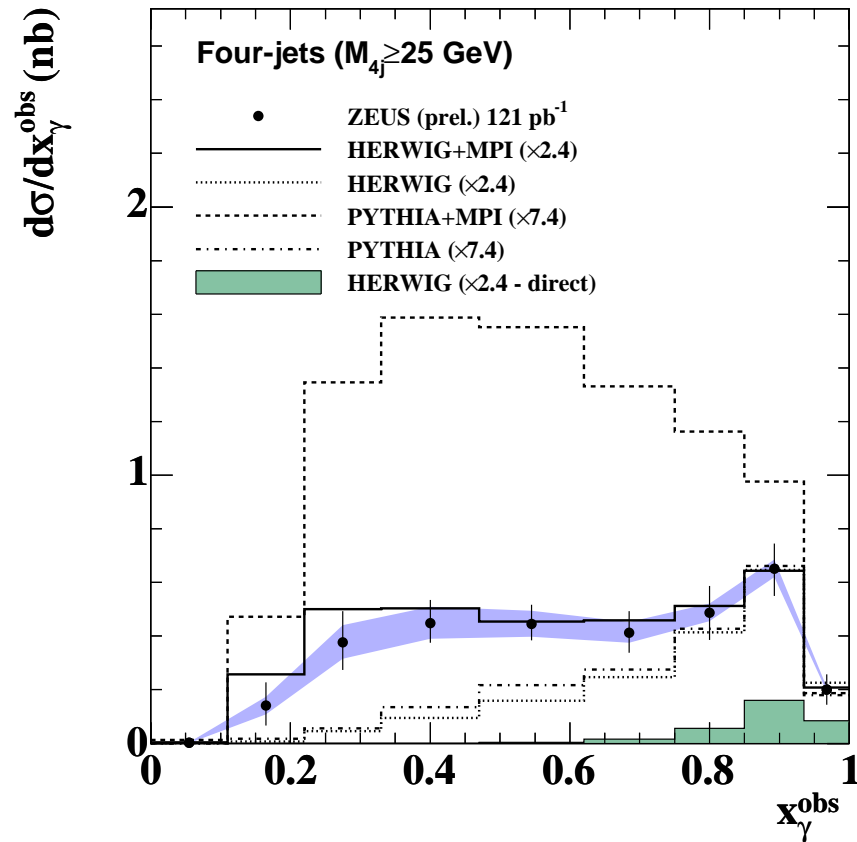
Herwig tuned su questi dati

Pythia tuned su dati $p\bar{p}$ (JETWEB tuning)



4 jet in fotoproduzione (2)

Distribuzione x_γ 4 jet a bassa e alta massa

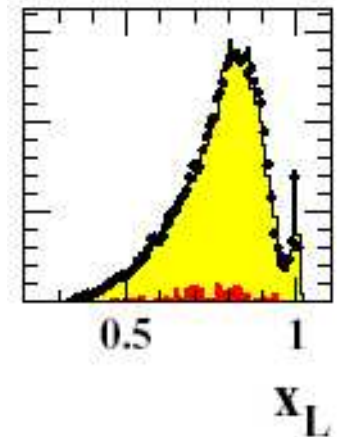
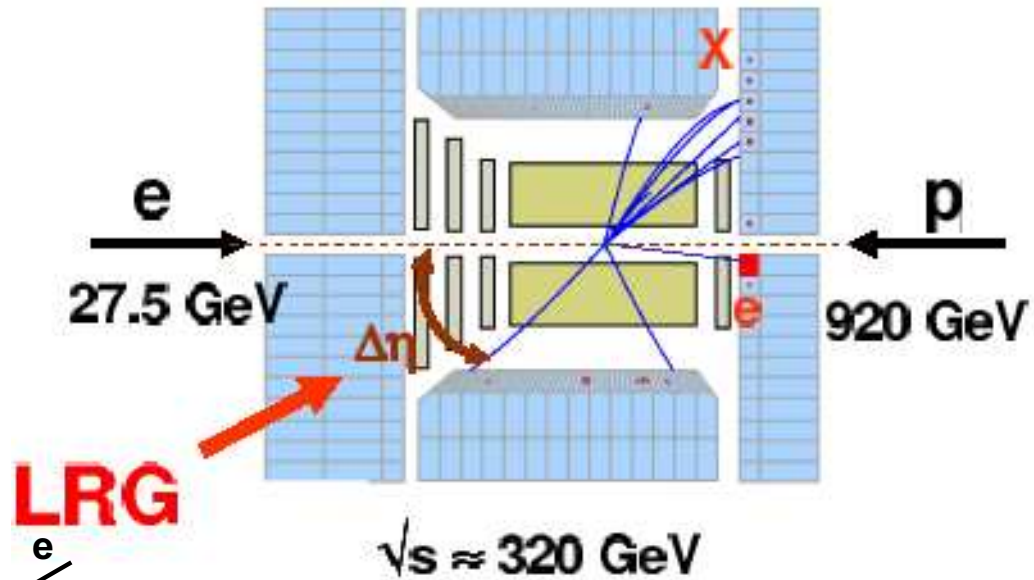


MI necessarie a basso x_γ e a bassa massa
Tuning Pythia basato su dati $p\bar{p}$ fallisce!

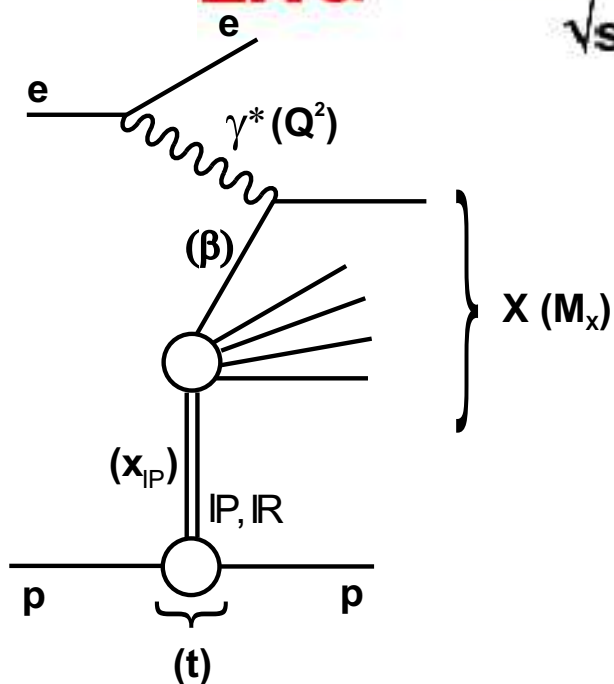
Modelli realistici MI devono descrivere sia $p\bar{p}$ che γp

Diffrazione e gap di rapidità

$\mathcal{O}(5\%)$ degli eventi ha un Large Rapidity Gap (LRG)
 (e/o un protone con $x_L = E_p/E_{\text{beam}} \simeq 1$)



x_L misurato con roman pots (LPS)



Interpretazione presa dalla fisica adronica "soft":
 oggetti "color singlet" (CS) nel protone (Reggeoni)
 contributo leading a alta energia:

Pomeron (IP) (num. quantici del vuoto)

$$ep \rightarrow e' X p'$$

$$x_{IP} = (P_p - P'_p)/P_p \text{ fraz. mom. perso dal protone}$$

$$\beta = x/x_{IP} = \text{fraz. di } x_{IP}P_p \text{ preso dal quark}$$

PDF diffrattive

Teorema di fattorizzazione QCD per la diffrazione:

$$\sigma^{\text{diff}}(Q^2) = \int d\beta dx_{IP} \sum_i f_i^D(x_{IP}, \beta, Q^2) \hat{\sigma}_i(Q^2)$$

$f_i^D(x_{IP}, \beta, Q^2)$ PDF diffrattive (dPDF)

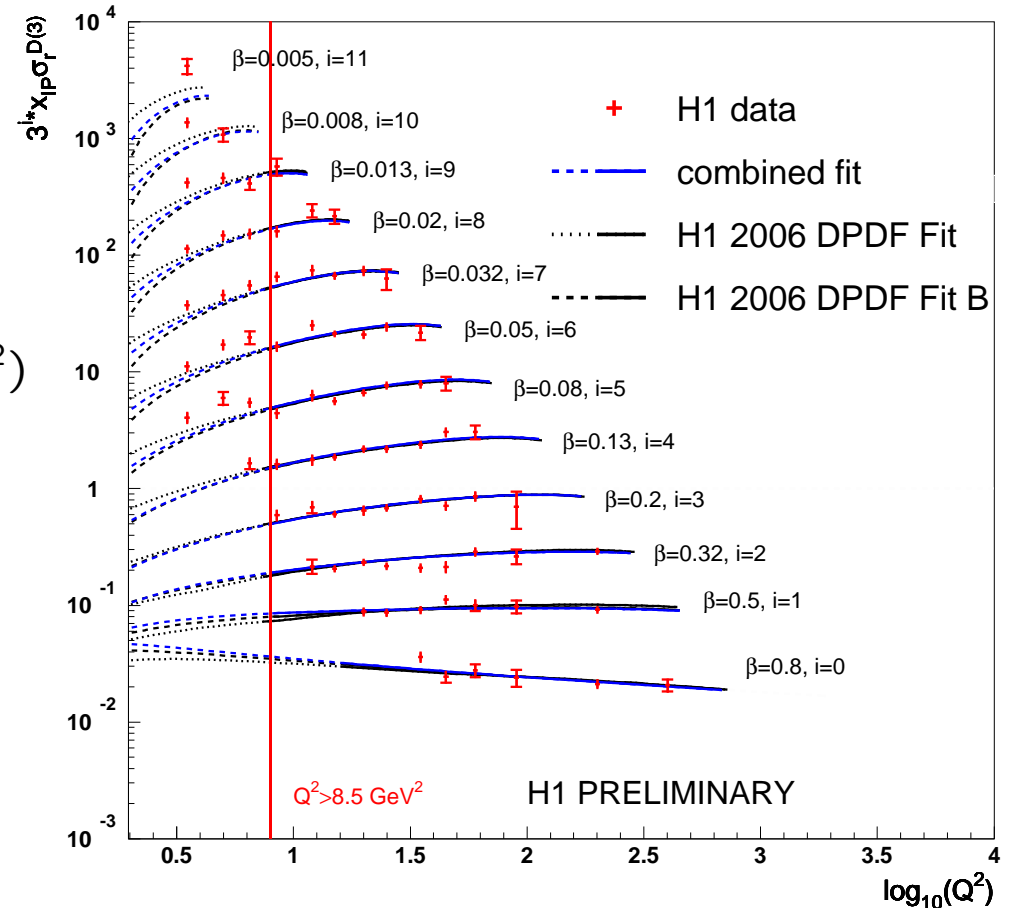
Le dPDF si possono estrarre da fit al DIS diffrattivo (F_2^D)

Modello soft, fattorizzazione di Regge:

$$f_i^D(x_{IP}, \beta, Q^2) = f_{IP/p}(X_{IP}) f_{i/IP}(\beta, Q^2)$$

$f_{IP/p}(X_{IP})$ flusso di IP ,
 $f_{i/IP}(\beta, Q^2)$ "PDF del pomerone"

Fit dPDF H1 (esempio $x_{IP} = 0.01$)
 $x_{IP} = 0.01$



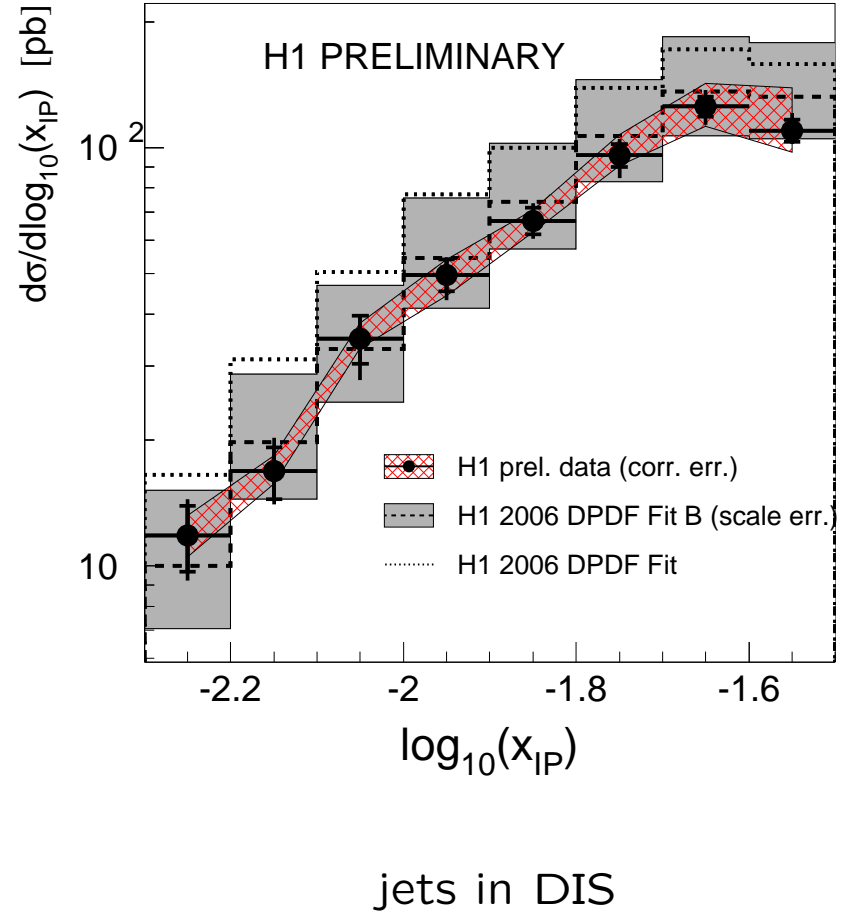
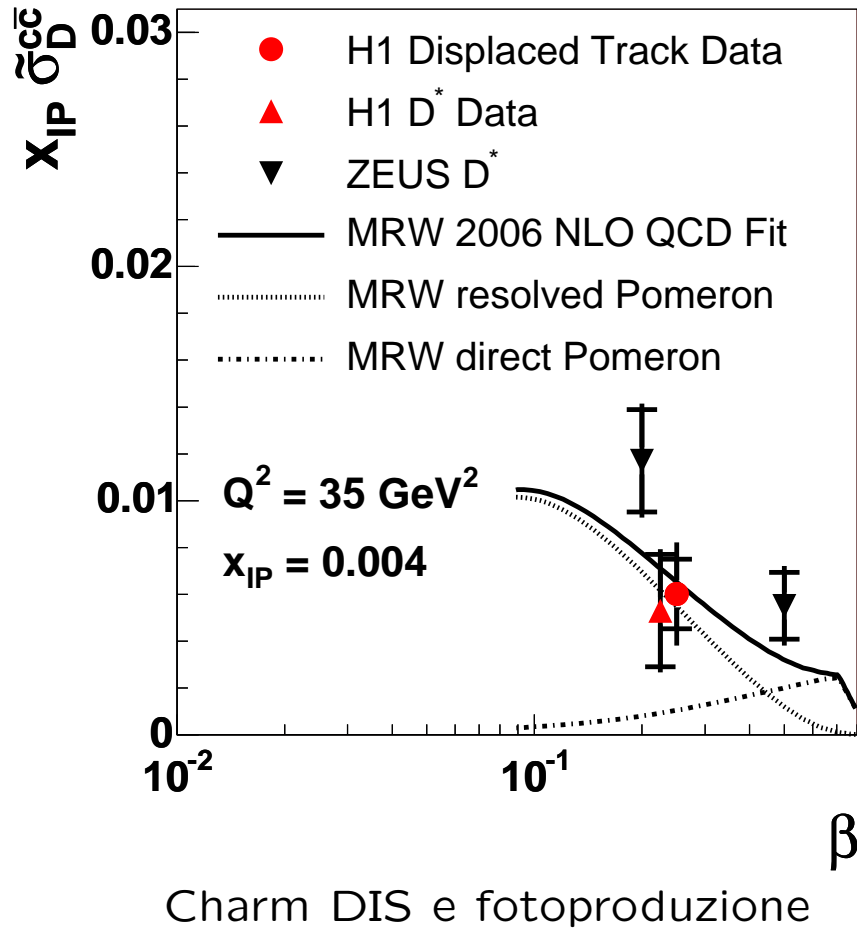
dPDF (H1)

Consistente con fatt. Regge

IP dominato dal gluone:

$$\int d\beta x g(\beta, Q^2) \simeq 70 - 80\%$$

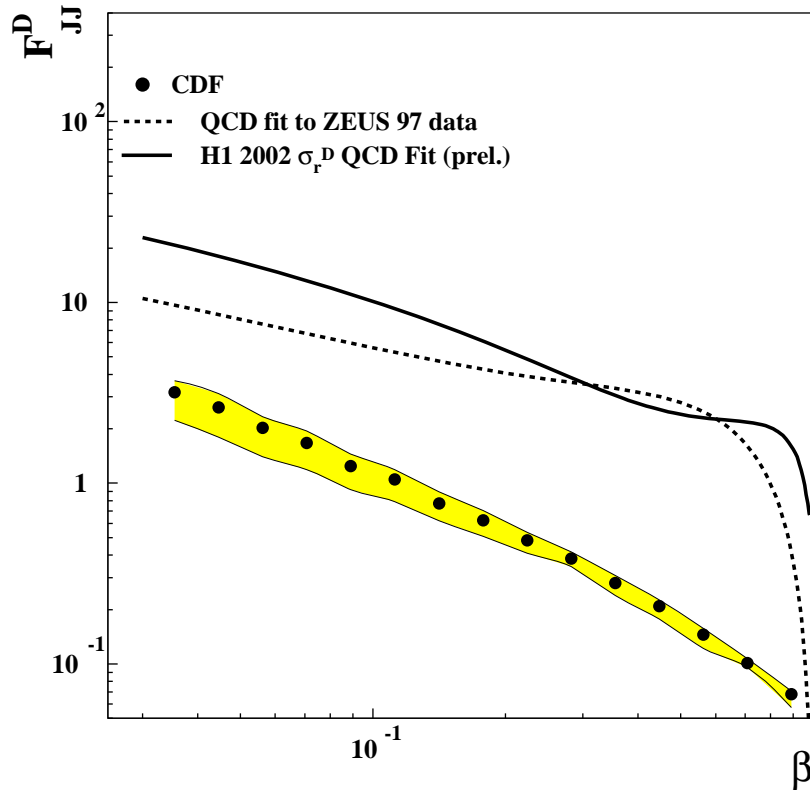
Test fattorizzazione diffrattiva



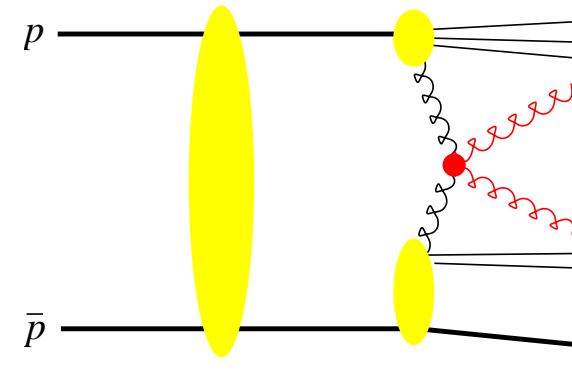
Consistenti con fattorizzazione (!)

Diffrazione a Tevatron

La fattorizzazione diffrattiva fallisce miseramente a Tevatron!:



F_{JJ}^D frazione di jet con un protone intatto
 Soppressa di un fattore ~ 10
 rispetto a predizioni con dPDF



Ulteriori interazioni distruggono il LRG
 (o assorbono i protoni a alto x_L)

Ancora Interazioni Multiple!

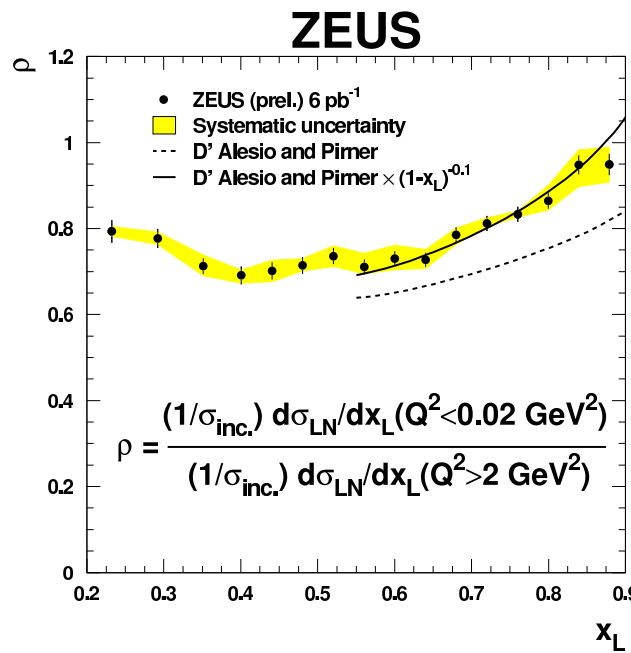
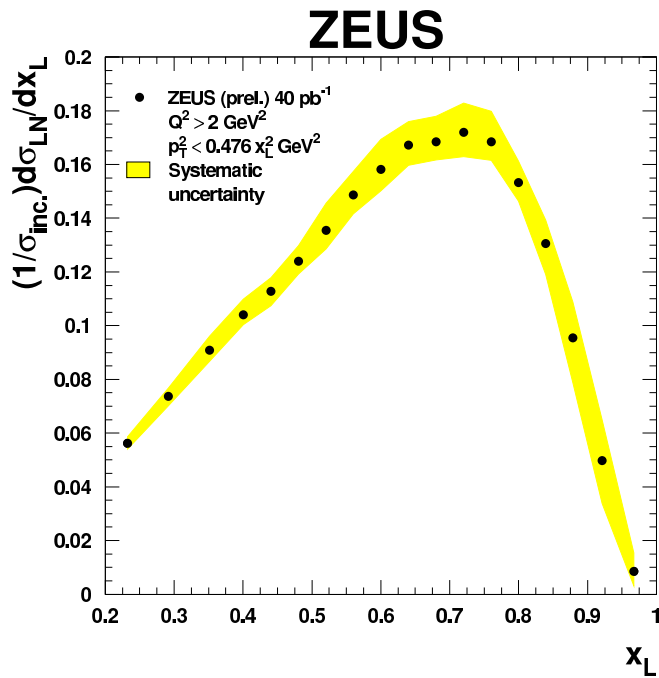
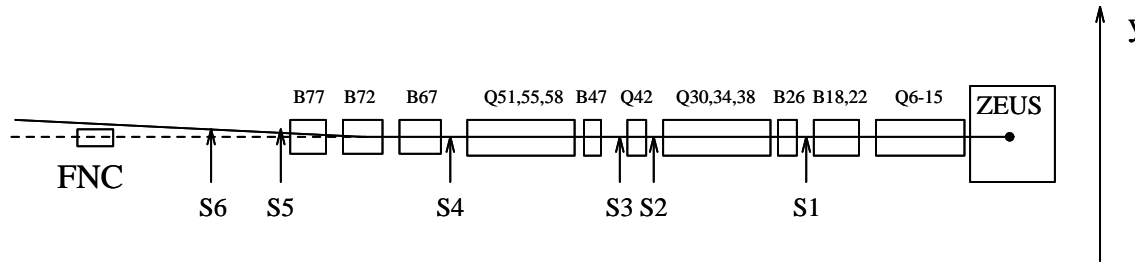
dPDF insufficienti per predire
 processi diffrattivi a LHC
 occorre "gap survival probability" S

Possibile misurare la soppressione
 del LRG in fotoproduzione ?

Dijet diffrattivi in fotoproduzione:
 risultati ancora non finali

Leading baryons

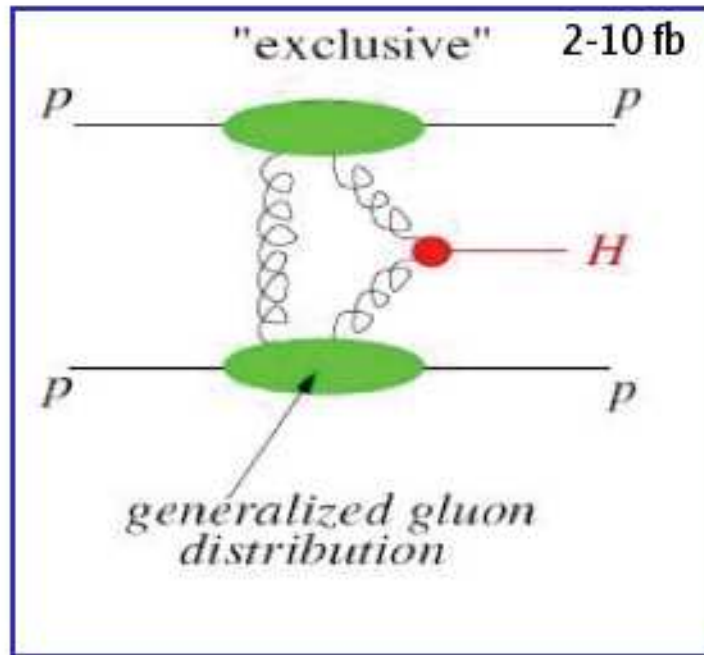
Quasi tutti gli eventi hanno un barione con alto $x_L = E_b/E_p$
 Calorimetro a zero gradi per in neutroni



- Dati ZEUS su leading neutrons
- spettro x_L
- diverso per DIS e fotoproduzione
- consistente con "assorbimento" del n
- possibile estrarre "gap survival prob." S

Diffrazione a LHC

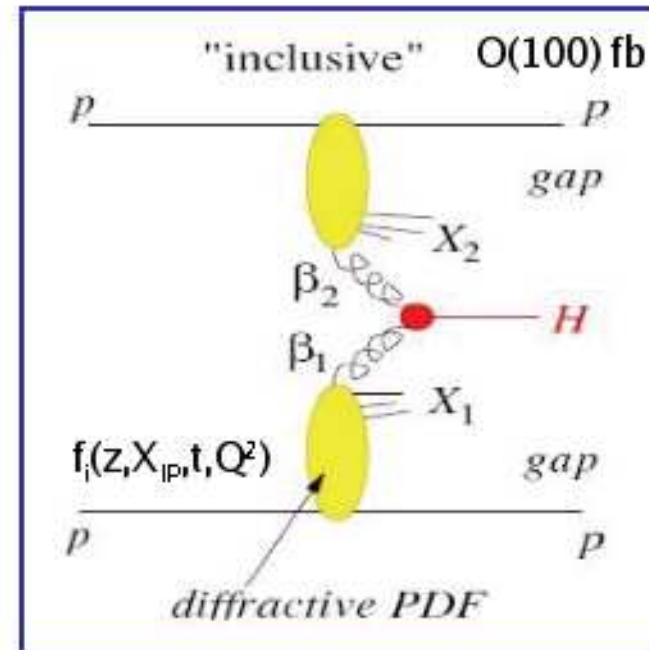
Produzione diffrattiva di Higgs: miglior rapporto segnale/rumore a bassa m_H
 Roman pots per tagging dei protoni a HLC in discussione



Esclusivo: $pp \rightarrow Hpp$

Simile a $ep \rightarrow Vp$

Informazione da HERA: gPDF, S



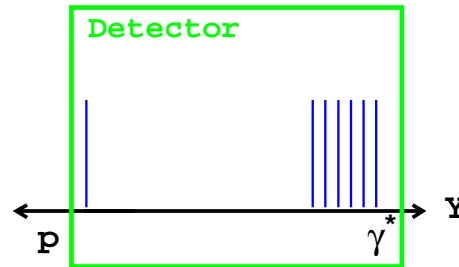
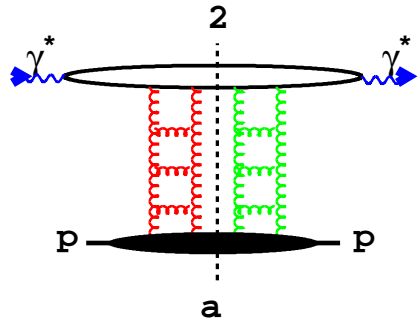
Inclusivo

Simile a diffrazione inclusiva a HERA

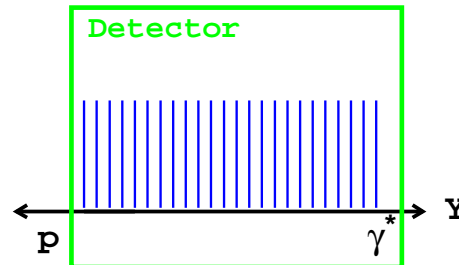
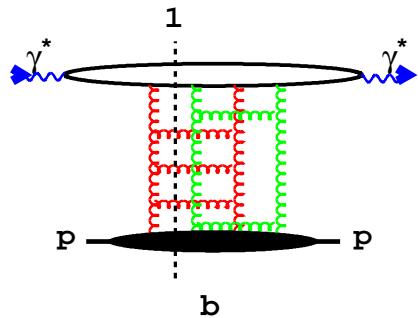
Informazione da HERA: dPDF, S

QCD oltre la fattorizzazione collineare ?

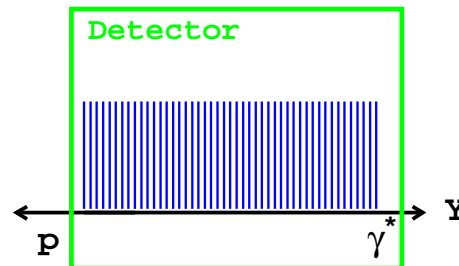
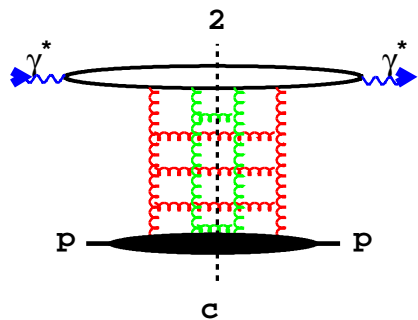
Legame tra Saturazione, Diffrazione e Interazioni Multiple



DIFFRAZIONE



SATURAZIONE



INTERAZIONI MULTIPLE

“AGK cutting rules” (Thanks H. Kowalski)

Prospettive per fine HERA/inizio LHC

HERA ci ha aiutato a capire in dettaglio la QCD con adroni nello stato iniziale cosa verrà nei prossimi anni ?

- PDF più precise con i dati finali di HERA (500 pb^{-1}):
 - NC e CC (aumento stat. $\times 4$, H1: riduzione sist a 1% ?)
 - jets (aumento stat. $\times 10$)
 - $F_2^{c\bar{c}}$ (upgrade tracking, stat.)
 - F_L (run dedicato)
- Miglioramenti nei fit PDF:
 - teoria: NNLO, trattamento heavy quarks
 - migliore comprensione correzioni basso x ?
 - trattamento più rigoroso delle incertezze ?
- In pratica ci possiamo aspettare:
parametrizzazioni PDF consistenti tra loro,
incertezze ridotte su processi SM a LHC, e.g. σ_W , σ_H al 2%
- Possibilità di calcolare processi diffrattivi a LHC
basati su GPDF e dPDF da HERA
- Migliore comprensione della fisica a basso x , diffrazione, interazioni multiple ?

HERA AND THE LHC

3rd workshop on the implications of HERA for LHC physics



12-16 March 2007

DESY Hamburg



Parton density functions

**Multijet final states
and energy flow**

Heavy quarks

Diffraction

Monte Carlo tools

Organising Committee:

G. Altarelli (CERN), J. Blümlein (DESY),
M. Botje (NIKHEF), J. Butterworth (UCL),
A. De Roeck (CERN) (chair), K. Eggert (CERN),
E. Gallo (BNP), H. Jung (DESY) (chair),
H. Klein (DESY), M. Mangano (CEFN),
A. Morach (CERN), G. Polese (BNP),
G. Schneider (EPFL), G. Valla (CERN)

Advisory Committee:

J. Barata (Hamburg), M. Della Negra (CEFN),
J. Ellis (CEFN), J. Engelen (CERN),
G. Gustafson (Lund), G. Ingelman (Uppsala),
R. Jenni (CERN), R. Klanner (DESY),
L. McLerran (BNL), T. Nakada (CERN),
D. Schäfer (CERN), F. Schwamm (DESY),
J. Schwan (CERN), J. Stirling (Durham),
W.K. Tung (Michigan State), A. Wagner (DESY),
H. Yoshida (ANK)

www.desy.de/~heralhc

heralhc.workshop@cern.ch

Publicità

Per chi fosse interessato:

Workshop HERA-LHC

2004-2005 Proceedings:

Yellow report CERN-2005-041

Follow-up meetings:

2006 CERN

Marzo 2007 DESY