

Università degli Studi di Firenze
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Fisica

**Ricerca di risonanze nelle collisioni
 e^-p col rivelatore ZEUS ad HERA**

Laureando:
Andrea Parenti

Relatore:
Dott. Giuseppe Barbagli

Correlatore:
Prof. Piero Spillantini

Anno Accademico 1999-2000

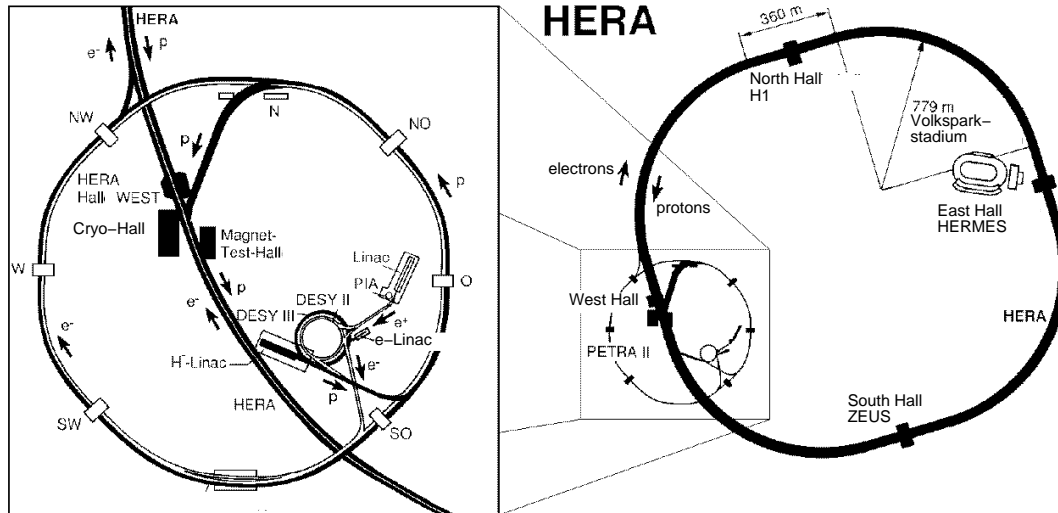
Schema dell'esposizione

- **Descrizione dell'apparato sperimentale (HERA, ZEUS)**
- **Selezione degli eventi**
- **Ricerca di risonanze (Leptoquark)**
- **Conclusioni**

Il collider HERA

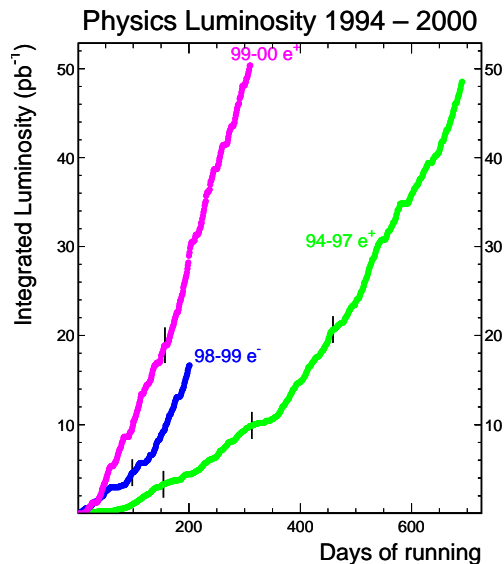
Nel 1998-99:

Collisioni tra e^- (27.52 GeV) e p (920 GeV) $\Rightarrow \sqrt{s} = 318 \text{ GeV}$



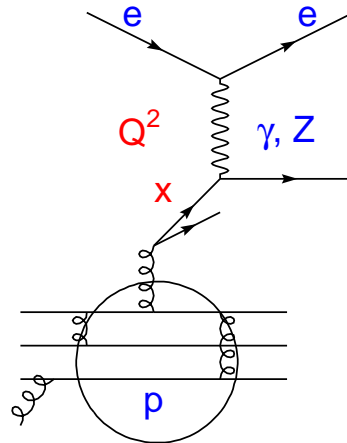
Luminosità Integrata (raccolta da ZEUS)

$$L = \int \mathcal{L} dt, \quad \# \text{ eventi} = \epsilon L \sigma$$



Nel 1998-99: $L = 16.71 \text{ pb}^{-1}$; ho partecipato alla presa dati

Processi di diffusione profondamente anelastica (DIS) - Corrente neutra (NC)



$Q^2 = -$ quadri-impulso scambiato al quadrato

$x = x_{Bj}$ = frazione di quadri-impulso del protone trasportata dal quark colpito

y = Nel riferimento del p a riposo, frazione di energia ceduta dall'elettrone

Solo due invarianti indipendenti: $Q^2 = sxy$

Distanza sondata dall'interazione: $d \sim 1/\sqrt{Q^2}$

Sezione d'urto:

$$\frac{d^2\sigma^{NC}(e^-p)}{dx dQ^2} = \frac{4\pi\alpha^2}{xQ^4} \left[xy^2 F_1(x, Q^2) + (1-y)F_2(x, Q^2) + \left(y - \frac{y^2}{2}\right) xF_3(x, Q^2) \right]$$

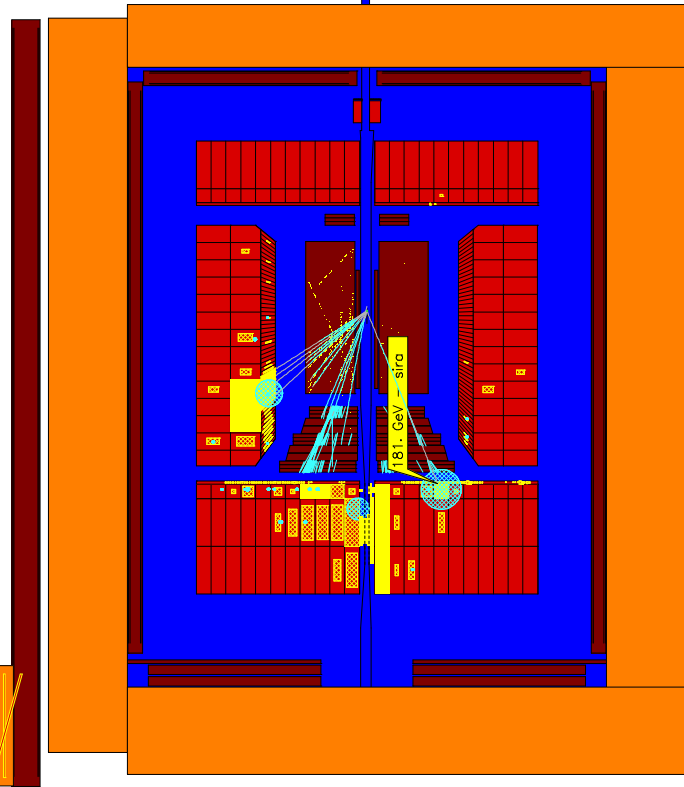
F_1, F_2, F_3 = Funzioni di struttura del protone

$F_2(x, Q^2) = \sum_q e_q^2 x q(x, Q^2)$ descrive la struttura del protone

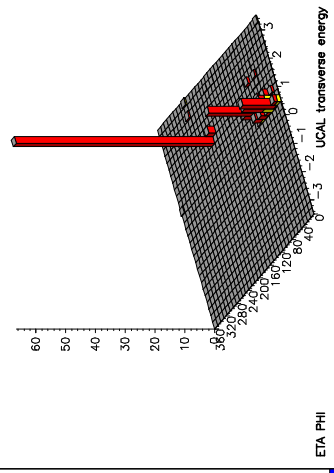


E= 327.7 Et= 148.4 pt= 4.7 pz= 277.4 E-prz= 50.3 Ef= 239.4 Eb= 88.3 Er= 0.1
 Tf= 0.6 Tr= 99.0 Le= 0.3 Lg= 0.0 FNC= 0 BCN=196 FLJ=10A23F00 100000000
 e- x=2822 y=-753 Q2=19169 DA x=3144 Q2=20771 JB y=661 phi [0,180]

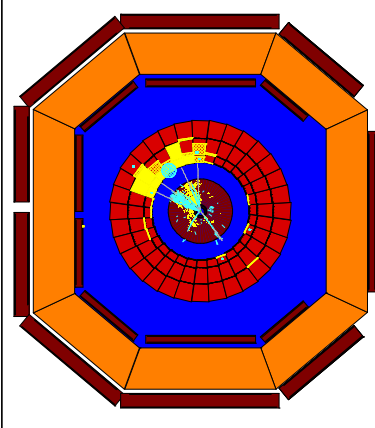
Zeus Run 31339 Event 1204C
 20-Oct-1998 9:24:51.751 File --s/data/mini98/r031339.z



ZR



ETA PHI



XY

Motivazioni dell'analisi

Eccesso di eventi ad alto Q^2 (rispetto alle previsioni del Modello Standard per NC DIS) nei dati e^+p di ZEUS ed H1 (1994-97):

ZEUS:

$$N^{oss.}(Q^2 > 35000 \text{ GeV}^2) = 2$$

$$N^{MS}(Q^2 > 35000 \text{ GeV}^2) = 0.145 \pm 0.013$$

[J. Breitweg *et al.*, *Z Phys.* **C74**, 207 (1997)]

H1:

$$N^{oss.}(Q^2 > 15000 \text{ GeV}^2) = 12$$

$$N^{MS}(Q^2 > 15000 \text{ GeV}^2) = 4.71 \pm 0.76$$

[C. Adloff *et al.*, *Z Phys.* **C74**, 191 (1997)]

Possibili cause dell'eccesso:

- Fenomeni dovuti a nuova fisica
- Incertezze sul Modello Standard
- Fluttuazione statistica

Per gli eventi in eccesso:

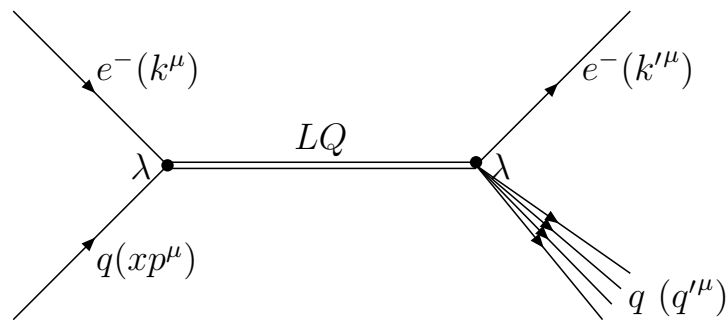
massa invariante del sistema e -jet centrata attorno ai 200 GeV

⇒ possibile esistenza di una nuova particella

Analisi dei dati e^-p del 1998-99 alla ricerca di un eccesso analogo

Con e^- ed e^+ si ha sensibilità a tipi diversi di risonanze

Oltre il Modello Standard: Leptoquark (LQ)



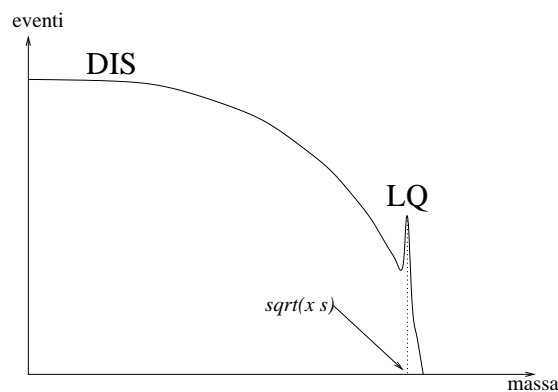
**Il LQ ha numeri quantici barionico e leptonico
⇒ HERA è l'acceleratore con maggiori
potenzialità nella sua ricerca**

Massa invariante

La massa invariante del sistema e^- -jet è definita da:

$$m_{ej}^2 = (k' + q')^2 = (k + x p)^2 = x s$$

Fondo dal DIS + picco di risonanza dal LQ:



Leptoquark

- Previsti da numerose estensioni al Modello Standard (GUT, modelli compositi, etc.)
- Spin $J = 0, 1$
- Numero leptonic (L) e barionico (B) simultaneamente diversi da zero
- Carica elettrica Q frazionaria
- Viene definito il numero fermionico $F = L + 3B = 0, \pm 2$

L'analisi si limita ai LQ che si accoppiano a leptoni e quark di prima generazione (e, ν_e, u, d)

Sezione d'urto di produzione:

$$\sigma(ep \rightarrow LQ \rightarrow eq) = (J + 1) \frac{\pi \lambda^2}{4s} q \left(x = \frac{m_{LQ}^2}{s}, m_{LQ}^2 \right) \beta$$

J = Spin del LQ

λ = Costante di accoppiamento

$q(x, Q^2)$ = densità del quark q all'interno del protone

β = Frazione di decadimento del LQ in eq

Larghezza della risonanza:

$$\Gamma = (J + 1) \frac{\lambda^2}{16\pi} m_{LQ}$$

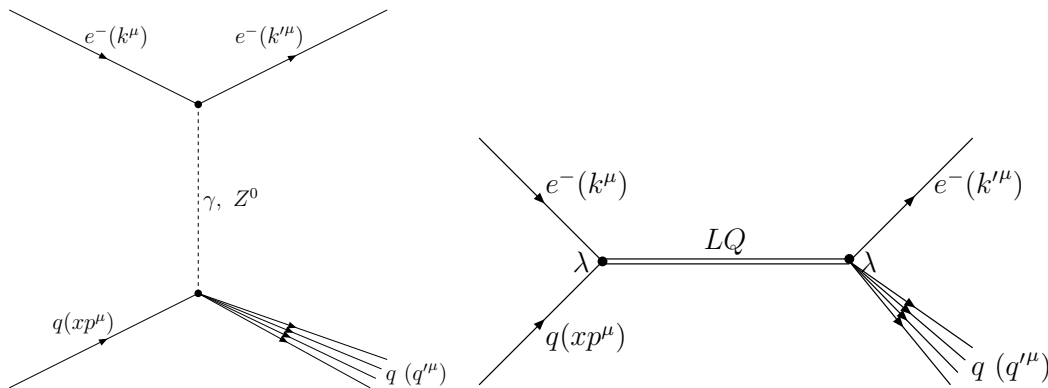
$\Gamma \sim \text{keV} \ll$ Risoluzione sperimentale dell'apparato

Classificazione dei LQ

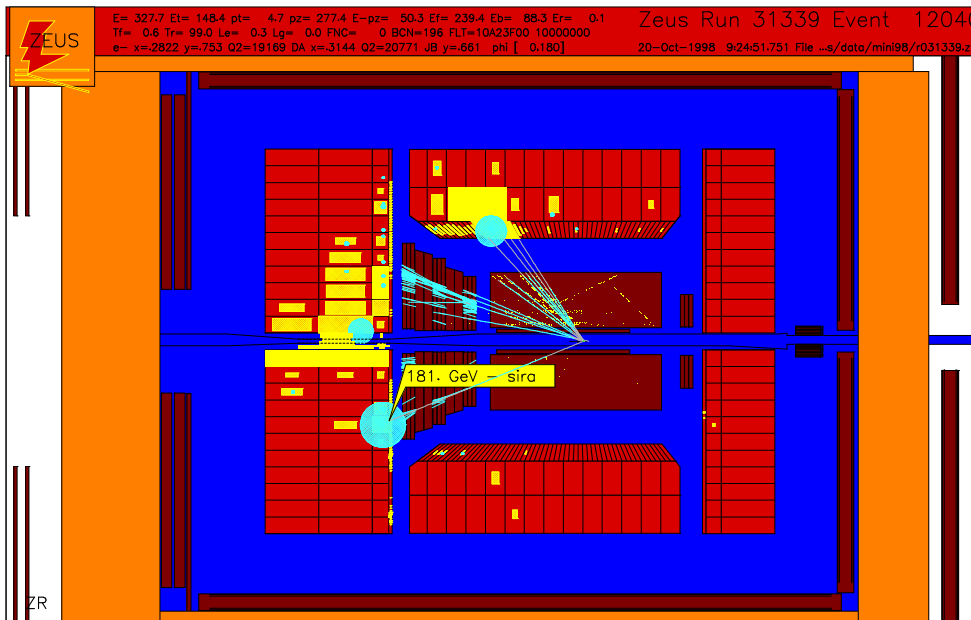
[W. Buchmüller, R. Rückl e D. Wyler, *Phys. Lett.* **B191**, 442 (1991)]

| LQ | Q | Accoppiamento | β | F |
|---------------------|-------------|---|------------|----------|
| $S_{1/2}^L$ | -5/3 | $\lambda_L(e_L^- \bar{u})$ | 1 | 0 |
| $S_{1/2}^R$ | -5/3 | $\lambda_R(e_R^- \bar{u})$ | 1 | 0 |
| | -2/3 | $-\lambda_R(e_R^- \bar{d})$ | 1 | 0 |
| $\tilde{S}_{1/2}^L$ | -2/3 | $\lambda_L(e_L^- \bar{d})$ | 1 | 0 |
| V_0^L | -2/3 | $\lambda_L(e_L^- \bar{d}), \lambda_L(\nu_e \bar{u})$ | 1/2 | 0 |
| V_0^R | -2/3 | $\lambda_R(e_R^- \bar{d})$ | 1 | 0 |
| \tilde{V}_0^R | -5/3 | $\lambda_R(e_R^- \bar{u})$ | 1 | 0 |
| V_1^L | -5/3 | $\sqrt{2}\lambda_L(e_L^- \bar{u})$ | 1 | 0 |
| | -2/3 | $-\lambda_L(e_L^- \bar{d}), \lambda_L(\nu_e \bar{u})$ | 1/2 | 0 |
| | | | | |
| S_0^L | -1/3 | $\lambda_L(e_L^- u), -\lambda_L(\nu_e d)$ | 1/2 | 2 |
| S_0^R | -1/3 | $\lambda_R(e_R^- u)$ | 1 | 2 |
| \tilde{S}_0^R | -4/3 | $\lambda_R(e_R^- d)$ | 1 | 2 |
| S_1^L | -1/3 | $-\lambda_L(e_L^- u), -\lambda_L(\nu_e d)$ | 1/2 | 2 |
| | -4/3 | $-\sqrt{2}\lambda_L(e_L^- d)$ | 1 | 2 |
| $V_{1/2}^L$ | -4/3 | $\lambda_L(e_L^- d)$ | 1 | 2 |
| $V_{1/2}^R$ | -4/3 | $\lambda_R(e_R^- d)$ | 1 | 2 |
| | -1/3 | $\lambda_R(e_R^- u)$ | 1 | 2 |
| $\tilde{V}_{1/2}^L$ | -1/3 | $\lambda_L(e_L^- u)$ | 1 | 2 |

Selezione degli eventi



Topologia del LQ indistinguibile da quella del DIS



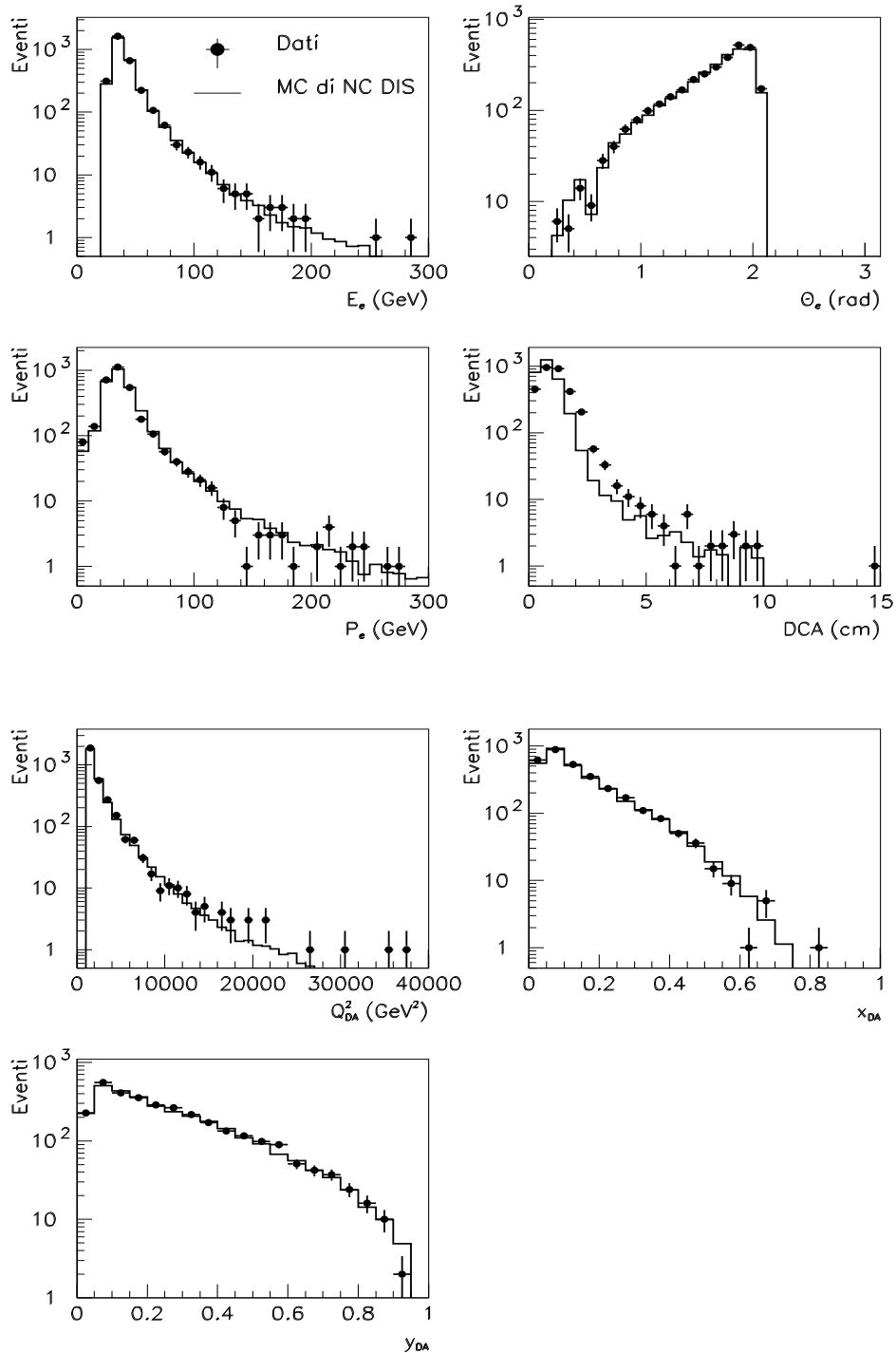
Criteri di selezione:

- Elettrone isolato, ad alta energia
- Alta energia trasversa totale
- Vertice “vicino” a quello nominale
- $Q^2 > 1000 \text{ GeV}^2$

→ **3102 eventi dopo la selezione**

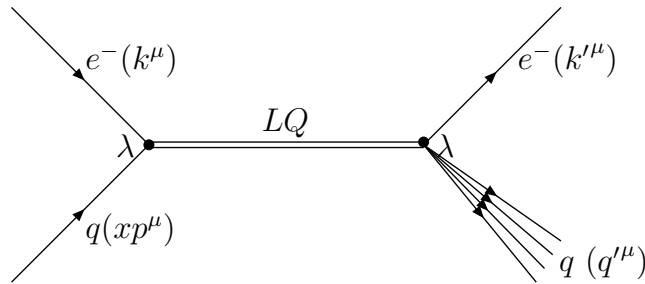
→ **Efficienza riscontrata del 69% per simulazioni di LQ con massa 200 GeV**

Grafici di controllo



I dati sono in accordo con le simulazioni Monte Carlo del Modello Standard

Metodi di ricostruzione della massa



$$m_{ej}^2 = (k' + q')^2 = 2k' \cdot q' =$$

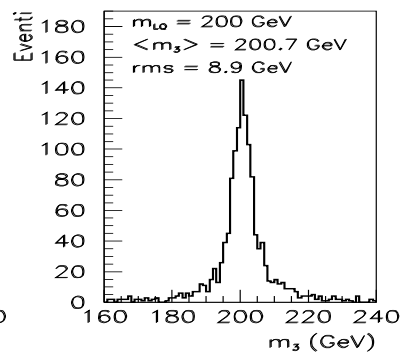
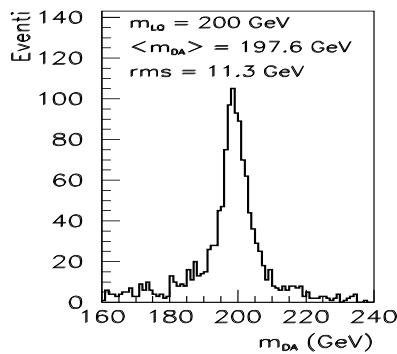
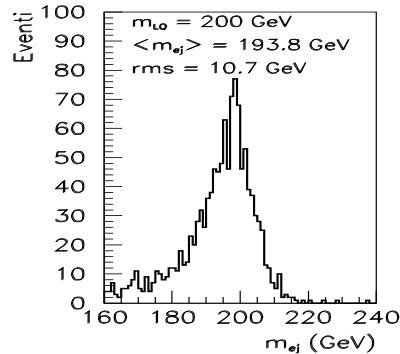
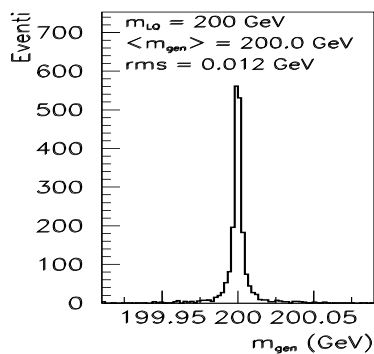
$$= 2(E'_e E'_q - \mathbf{k}' \cdot \mathbf{q}') = 2E'_e E'_q \left(1 - \frac{\mathbf{k}' \cdot \mathbf{q}'}{|\mathbf{k}'| |\mathbf{q}'|}\right)$$

$$m_{DA}^2 = (k' + q')^2 = (k + q)^2 = (k + x_{DA} p)^2 =$$

$$= 2x_{DA} k \cdot p = x_{DA} s$$

$$m_3^2 = (E'_e + E'_q)^2 - (\mathbf{k}'_e + \mathbf{k}'_q)^2 = (E'_e + E'_q)^2 - (\mathbf{k}'_e + \mathbf{k}'_q)_z^2 =$$

$$= (E^{TOT} - p_z^{TOT})(E^{TOT} + p_z^{TOT}) = 2E_e(E^{TOT} + p_z^{TOT})$$

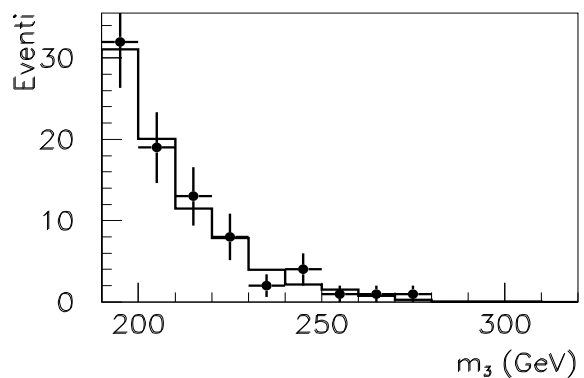
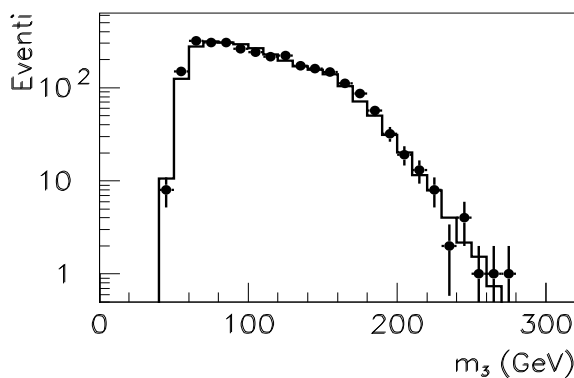
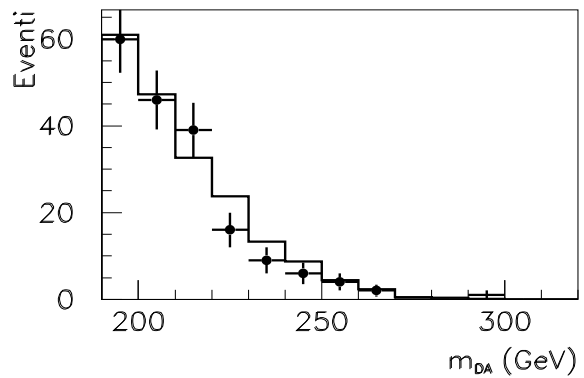
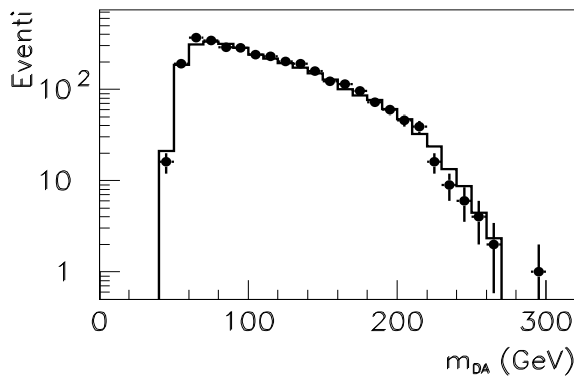
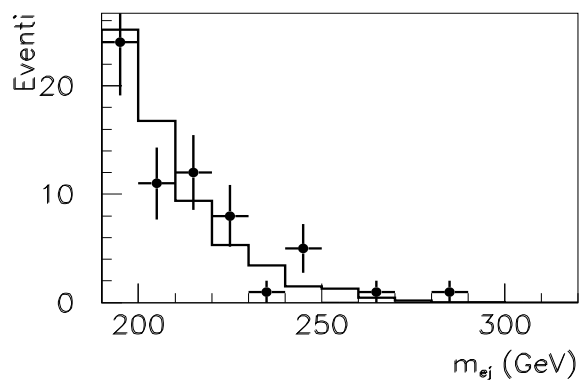
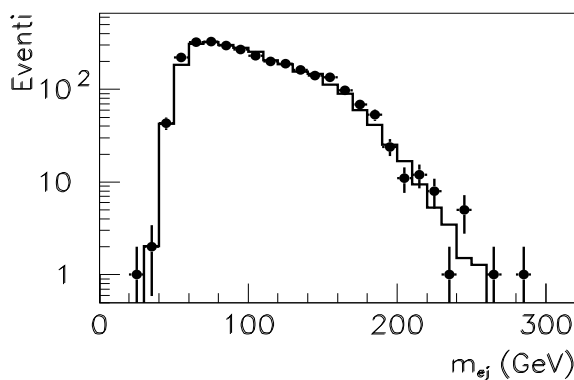


Distribuzioni di massa

Massa invariante: $m_{ej} = \sqrt{2E'E_h(1 - \frac{\mathbf{k}' \cdot \mathbf{p}_h}{|\mathbf{k}'| |\mathbf{p}_h|})}$

Due angoli: $m_{DA} = \sqrt{x_{DA} s}$

m_3 : $m_3 = \sqrt{2E(E^{eh} + p_z^{eh})}$



Distribuzioni di massa

| Tagli applicati | No. eventi nei dati | No. eventi nel DIS MC |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|
| selezione | 3102 | 3018 |
| selezione & $m_3 > 200$ GeV | 47 | 47.1 |
| selezione & $m_{DA} > 200$ GeV | 123 | 133.4 |
| selezione & $m_{ej} > 200$ GeV | 39 | 38.4 |

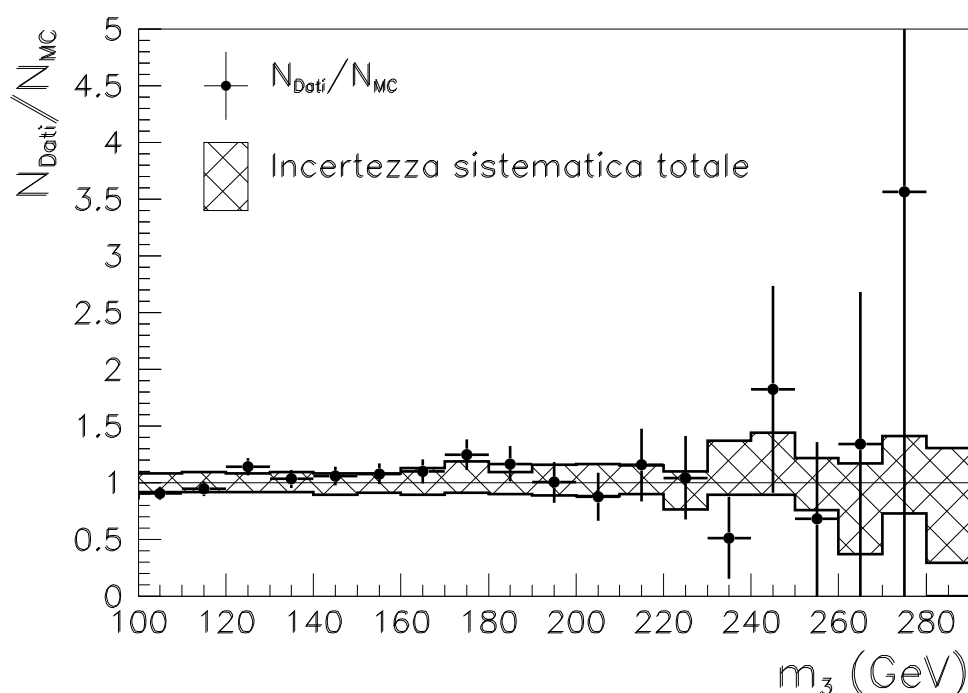
Nessuna evidenza di un eccesso di eventi

Incertezze sistematiche

Incertezze considerate:

- Scala di energia del calorimetro (2%)
- Isolamento dell'elettrone
- Ricostruzione dell'angolo dei *jet*
- Modello usato per la frammentazione
- Incertezza teorica sulle densità partoniche dei quark all'interno del protone

Effetto delle incertezze:



Eventi con $m_3 > 200$ GeV:

$$N_{Data} = 47$$

$$N_{MC} = 47.1^{+8.7}_{-7.0}$$

Limiti su sezione d'urto, costanti d'accoppiamento e masse dei LQ

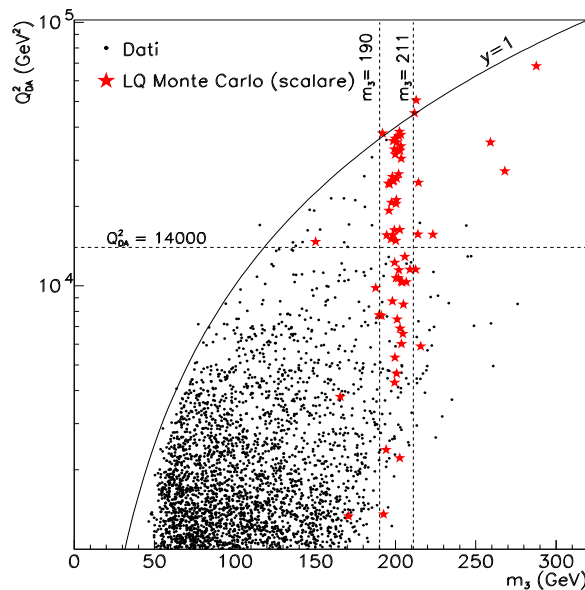
Nessun eccesso di eventi

→ Limiti sulla sezione d'urto di produzione di LQ.

(Derivati per $m_{LQ} = 140 \div 290$ GeV, a passi di 2 GeV)

Metodo

(1) Taglio di ottimizzazione in m e Q^2 ; conteggio eventi nei dati (x) e DIS MC (μ_B):



(2) Limite superiore μ_S^{lim} sugli eventi di LQ, con $CL = 95\%$:

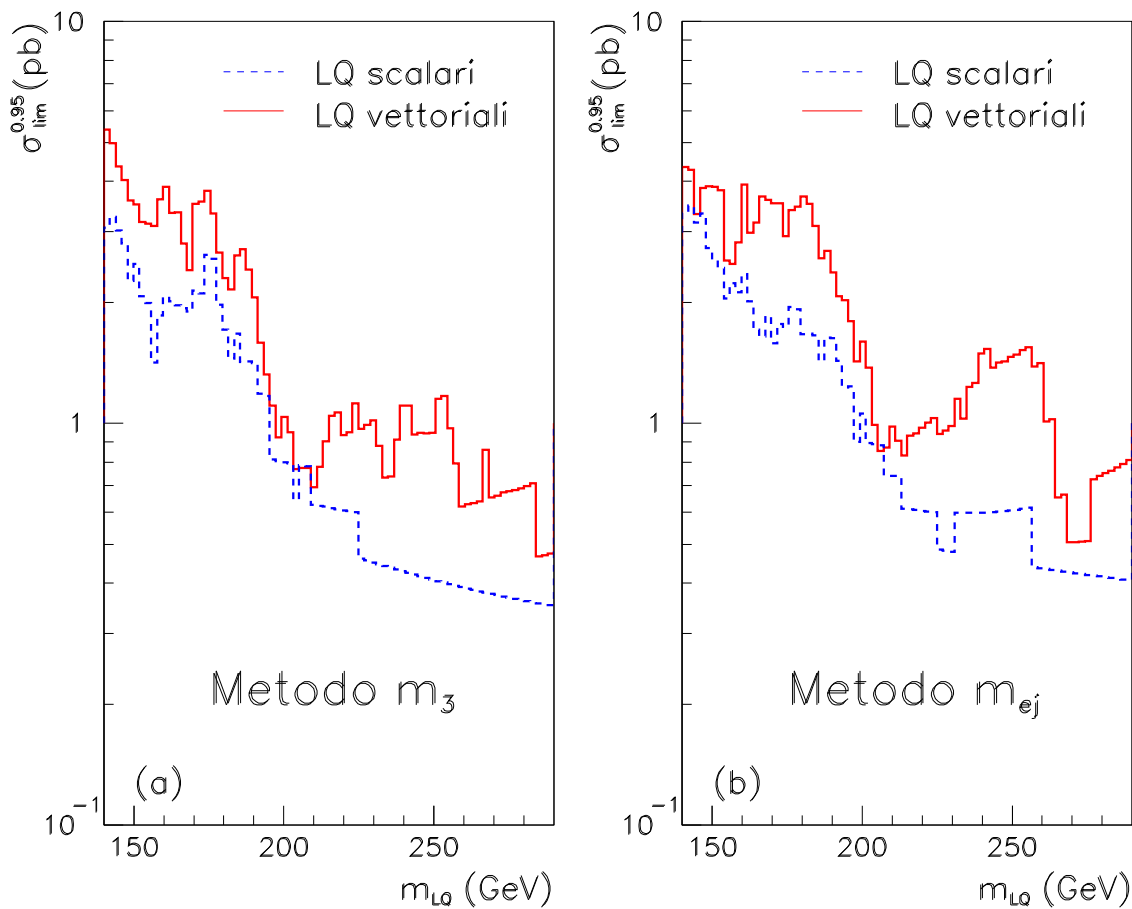
$$0.05 = e^{-\mu_S^{lim}} \frac{\sum_{k=0}^x (\mu_S^{lim} + \mu_B)^k / k!}{\sum_{k=0}^x \mu_B^k / k!}$$

(3) Limite sulle sezioni d'urto:

$$\sigma_{lim}^{0.95} = \frac{\mu_S^{lim}}{\epsilon L}$$

ϵ = efficienza per i LQ

L = luminosità integrata dei dati



(a) Massa ricostruita con il metodo m_3

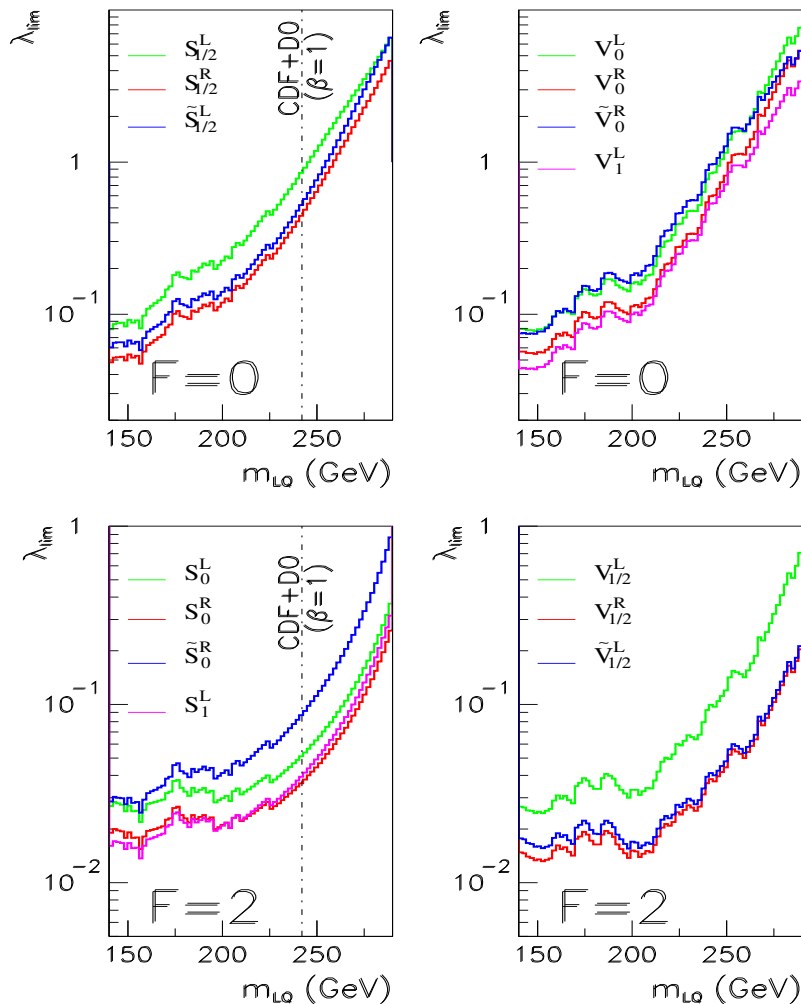
(b) Massa ricostruita con il metodo m_{ej}

LQ scalari: $\sigma_{lim}^{0.95} \approx 0.3 \div 3$ pb

LQ vettoriali: $\sigma_{lim}^{0.95} \approx 0.5 \div 5$ pb

(4) Limiti sulle costanti di accoppiamento:

$$\sigma(\lambda) = \lambda^2 \sigma(\lambda = 1) \Rightarrow \lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\sigma_{lim}^{0.95}}{\sigma(\lambda = 1)}}$$



Per $F = 2$ gli e^- si accoppiano ai quark di valenza $\rightarrow \lambda_{lim}$ più bassa

(5) Limiti inferiori sulle masse dei LQ:

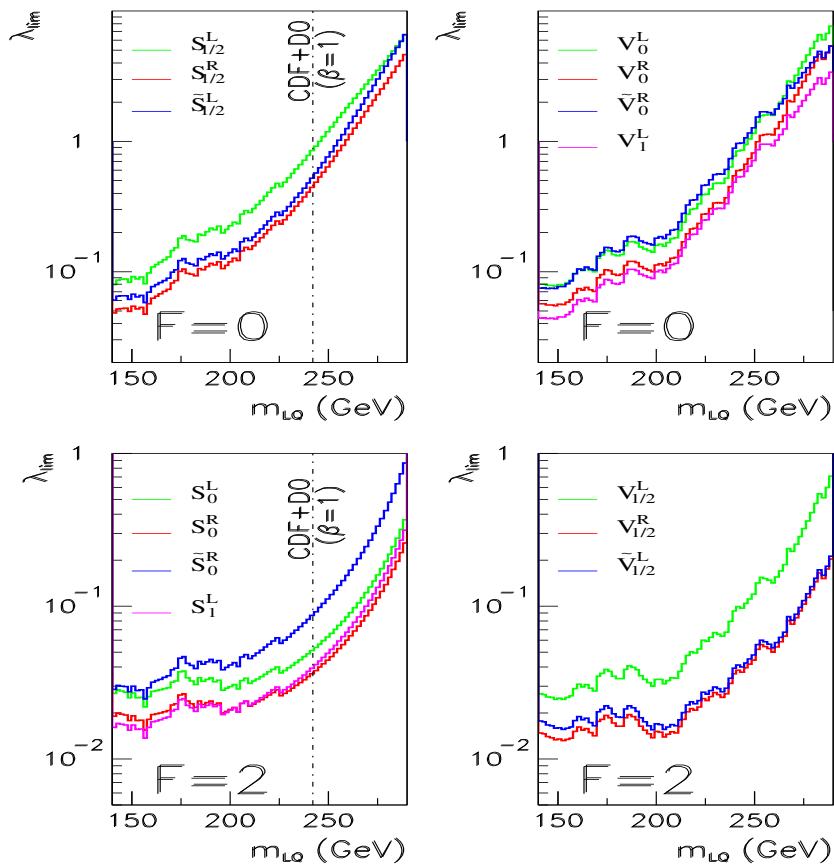
ottenuti fissando $\lambda = \sqrt{4\pi\alpha} \approx 0.3$

$$m_{LQ}^{lim} \approx 220 \text{ GeV} \quad (F = 0)$$

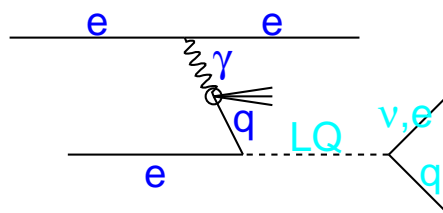
$$m_{LQ}^{lim} \approx 280 \text{ GeV} \quad (F = 2)$$

Per $F = 2$ migliori di quanto pubblicato da ZEUS ed H1

Confronto con LEP e Tevatron



Produzione di LQ a LEP



Produzione di LQ a Tevatron

Conclusioni

- Analizzati 16.54 pb^{-1} di collisioni e^-p rivelate da ZEUS nel 1998-99, con $\sqrt{s} = 318 \text{ GeV}$
- Confrontate le distribuzioni per i dati con le previsioni del Modello Standard (DIS), alla ricerca di risonanze (LQ)
- Nessuna evidenza di un eccesso di eventi rispetto alle simulazioni del DIS
- Derivati i limiti su sezione d'urto di produzione, costante di accoppiamento, massa dei LQ
- Confrontati i limiti con quelli da altri esperimenti
- I risultati saranno oggetto di una pubblicazione da parte di ZEUS