

# Ricerca di fisica oltre il Modello Standard ad HERA

Chiara Genta

(INFN sezione di Firenze e Università degli studi di Firenze)



per le collaborazioni **ZEUS** e **H1**



## Ricerche di nuova fisica ad HERA I

### Interazioni di contatto e risonanze:

- Interazioni di contatto
- Large Extra Dimensions
- Raggio dei quark
- Leptoquark
- Violazione del sapore leptonic
- SUSY in MSSM con conservazione di  $R_p$
- SUSY con violazione di  $R_p$

- Fermioni eccitati

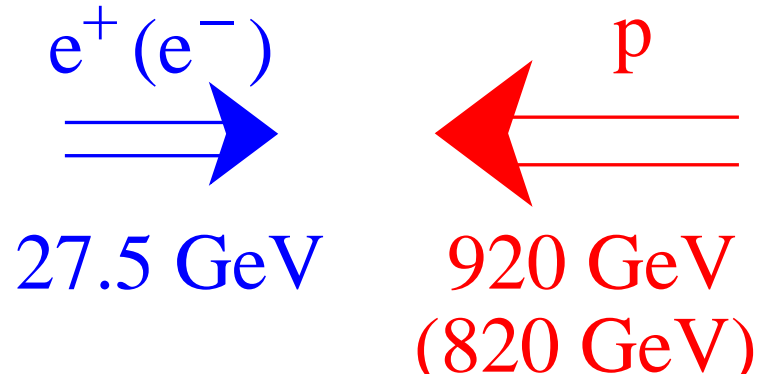
### Stati finali esclusivi:

- Leptoni isolati e impulso trasverso mancante
- Produzione di top quark via FCNC
- Eventi con  $\geq 2$  elettroni o muoni
- $H^{++/--}$
- Monopoli magnetici

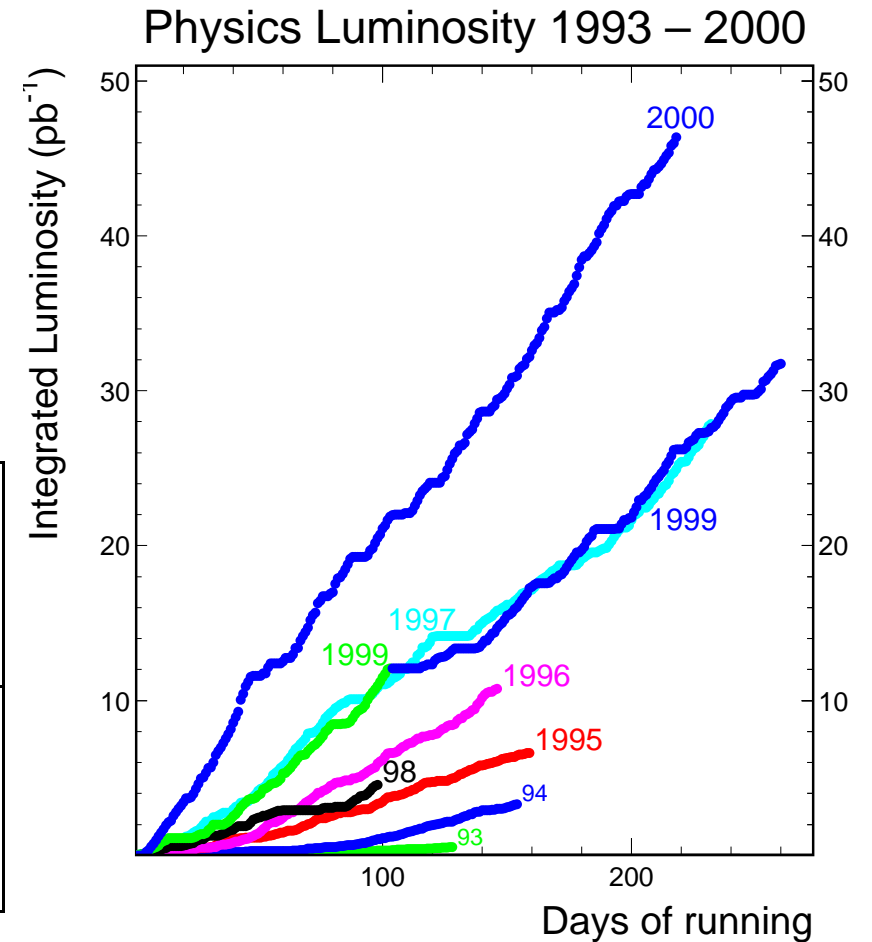
## Fisica ad alto $Q^2$ ad HERA II

- Misura della sezione d'urto di CC con positroni polarizzati

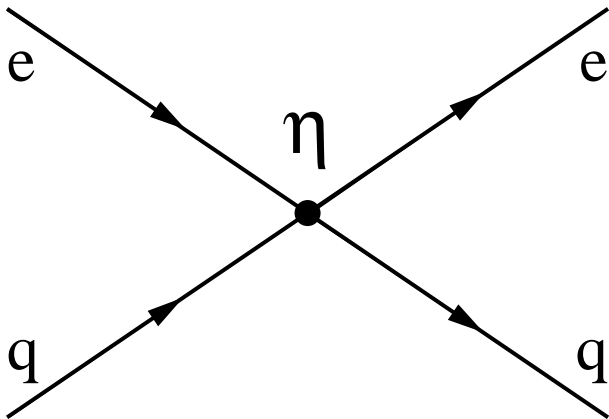
# HERA I



Anno	Fascio	Energia centro di massa	Luminosità integrata ZEUS – H1
94-97	$e^+$	300 GeV	$47.7 \text{ pb}^{-1}$ – $35.6 \text{ pb}^{-1}$
98-99	$e^-$	318 GeV	$16.7 \text{ pb}^{-1}$ – $16.4 \text{ pb}^{-1}$
99-00	$e^+$	318 GeV	$65.1 \text{ pb}^{-1}$ – $65.2 \text{ pb}^{-1}$



## Interazioni di contatto



HERA può sondare nuova fisica fino a scale di massa  $\sim \text{TeV}$  e a distanze  $\sim 10^{-16} \text{cm}$

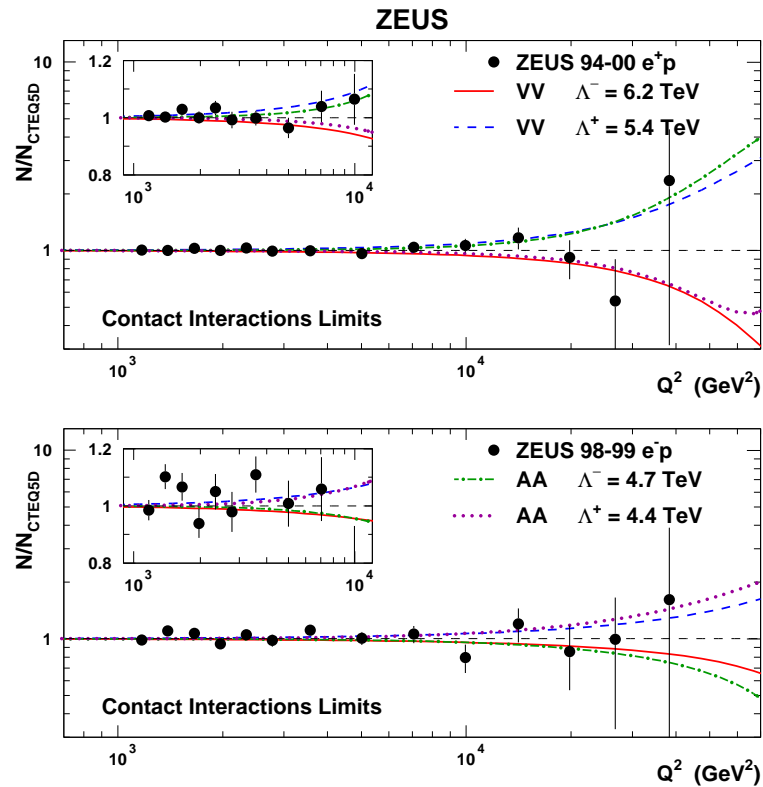
Lagrangiana (componente vettoriale):

$$\mathcal{L}_{CI} = \sum_q \sum_{i,j=L,R} \eta_{ij}^q (\bar{e}_i \gamma^\mu e_i) (\bar{q}_j \gamma_\mu q_j)$$

- Compositeness  $\longrightarrow \eta_{ij} = \epsilon_{ij} \frac{4\pi}{\Lambda^2}$
- Leptoquark  $\longrightarrow \eta_{ij}^q = \epsilon_{ij}^q \frac{\lambda^2}{M_{LQ}^2}$
- SUSY con violazione  $R_p \longrightarrow \tilde{d}_R e \tilde{u}_L$  corrispondono ai LQ  $S_0^L$  e  $\tilde{S}_{1/2}^L$
- Large extra dimensions  $\longrightarrow \eta_G = \frac{\lambda}{M_S^4}$
- Raggio del quark  $\longrightarrow$  assumendo  $R_e = 0$ :  $\frac{d\sigma}{dQ^2} = \frac{d\sigma^{SM}}{dQ^2} \left(1 - \frac{R_q^2}{6}\right)^2$

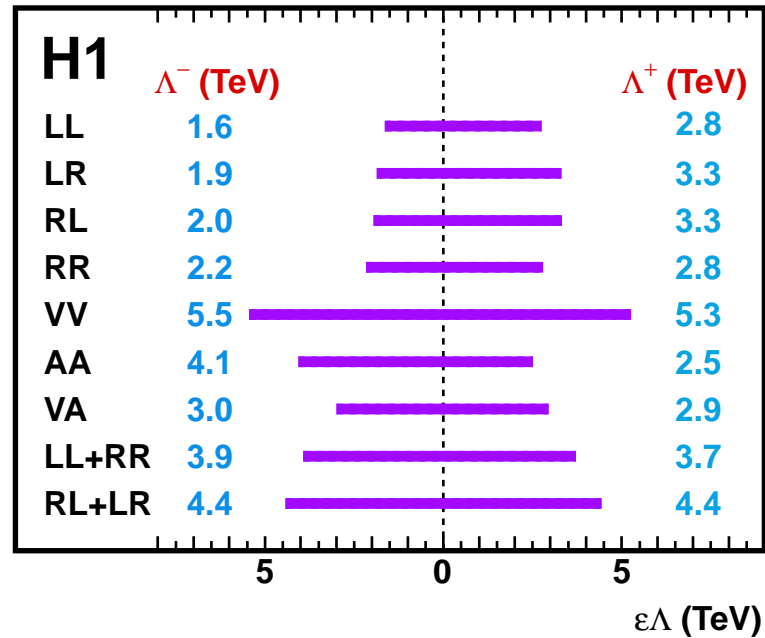
# Interazioni di contatto II

Limiti su compositeness ( $\Lambda$ ):



ZEUS: 1.7 – 6.2 TeV

H1: 1.6 – 5.5 TeV



Raggio dei quark:

ZEUS:  $0.85 \cdot 10^{-16}$  cm

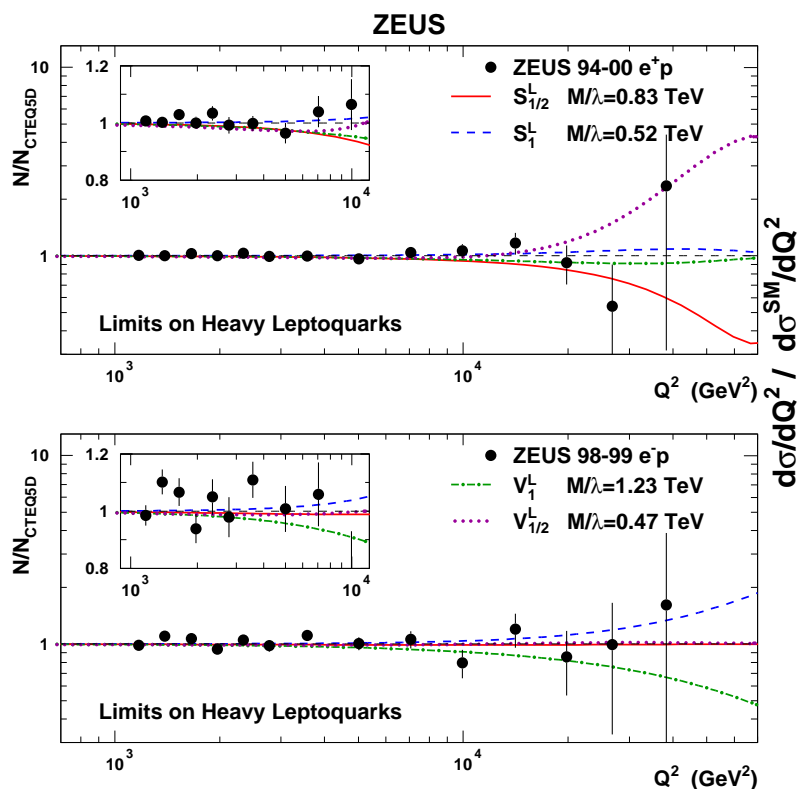
H1:  $1 \cdot 10^{-16}$  cm

# Interazioni di contatto III

Limiti su Leptoquarks ( $M_{LQ}/\lambda$ ): Large Extra Dimensions ( $M_S$ ):

ZEUS: 0.78, 0.79 TeV

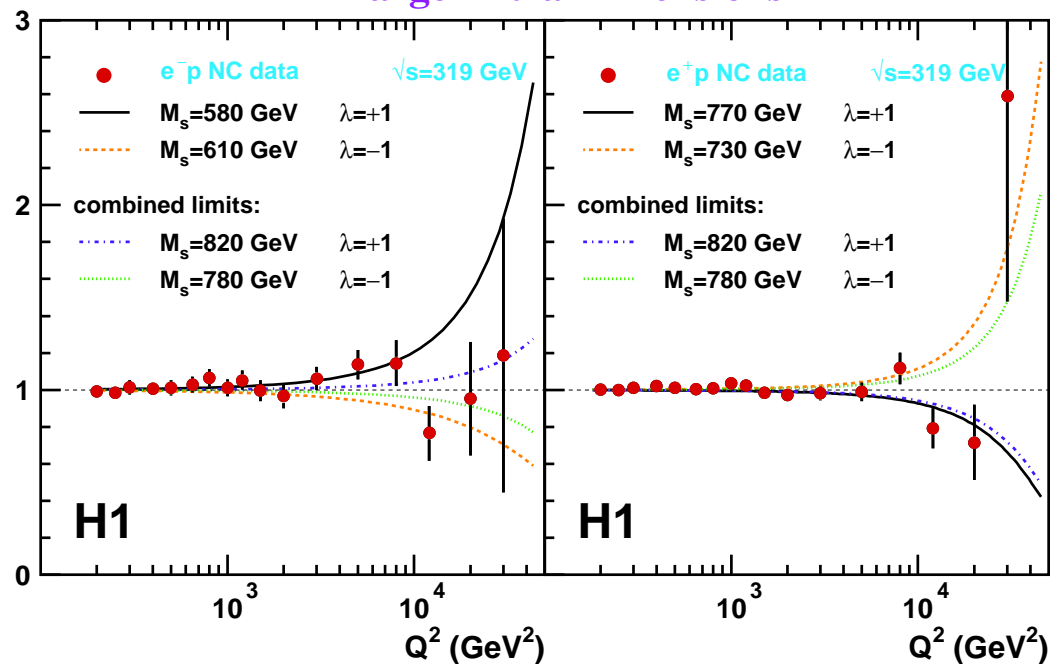
H1: 0.78, 0.82 TeV



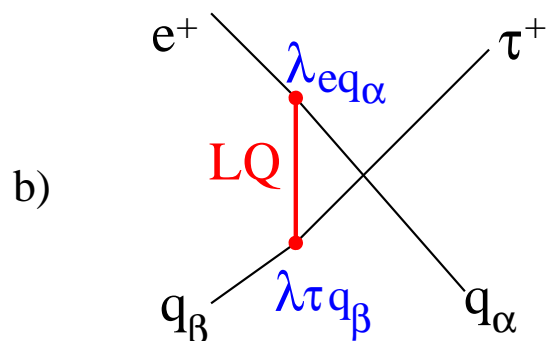
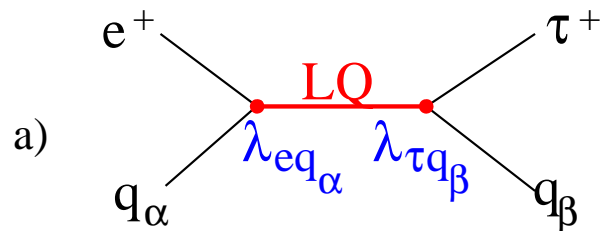
ZEUS: 0.27 – 1.23 TeV

H1: 0.3 – 1.4 TeV

## Large Extra Dimensions



## Violazione del sapore leptonico



- La recente scoperta delle oscillazioni dei neutrini ha mostrato che il numero leptonico non si conserva separatamente per famiglie di leptoni
- Molte estensioni del Modello Standard (**GUT** e modelli **SUSY** con violazione di  $R_p$ ) contemplano la violazione del sapore leptonico. In questa analisi: Leptoquark (modello BRW)
- $\tau \rightarrow \text{adroni } \nu$  jet collimato con 1–3 tracce associate nella direzione del  $R_t$
- $\tau \rightarrow \mu(e)\nu\bar{\nu}$  muone (elettrone) con alto  $p_t$  nella direzione di  $R_t$
- Basso fondo dal Modello Standard

# Violazione del sapore leptonic II

Ultimi risultati di ZEUS  $ep \rightarrow \tau X$  in 99-00  $e^+p$  data.

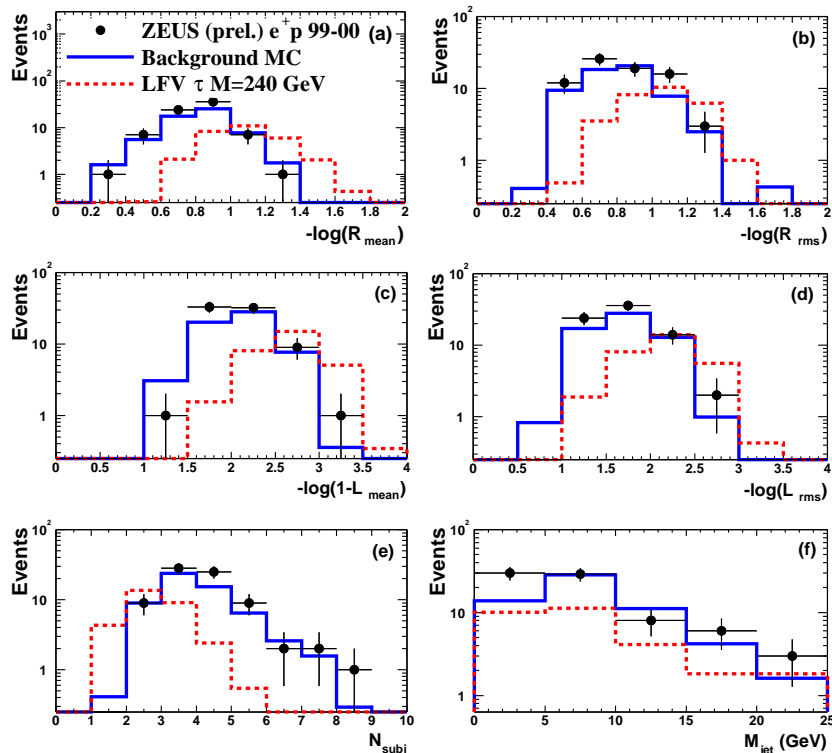
**$\tau$ -finder:**

6 osservabili che descrivono la forma del jet

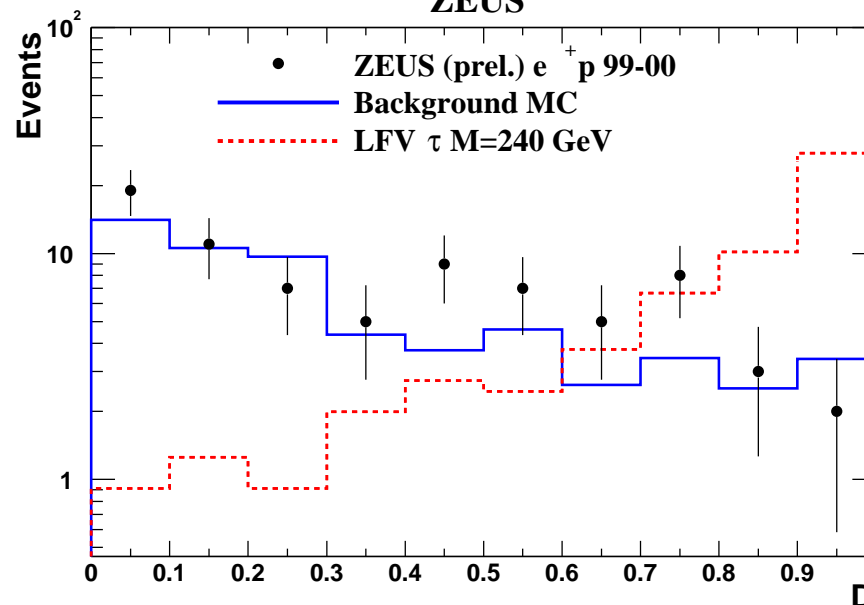
$$D = \frac{\rho_s}{\rho_b + \rho_s}$$

- QCD jet:  $D \rightarrow 0$
- $\tau$  jet:  $D \rightarrow 1$

**ZEUS**



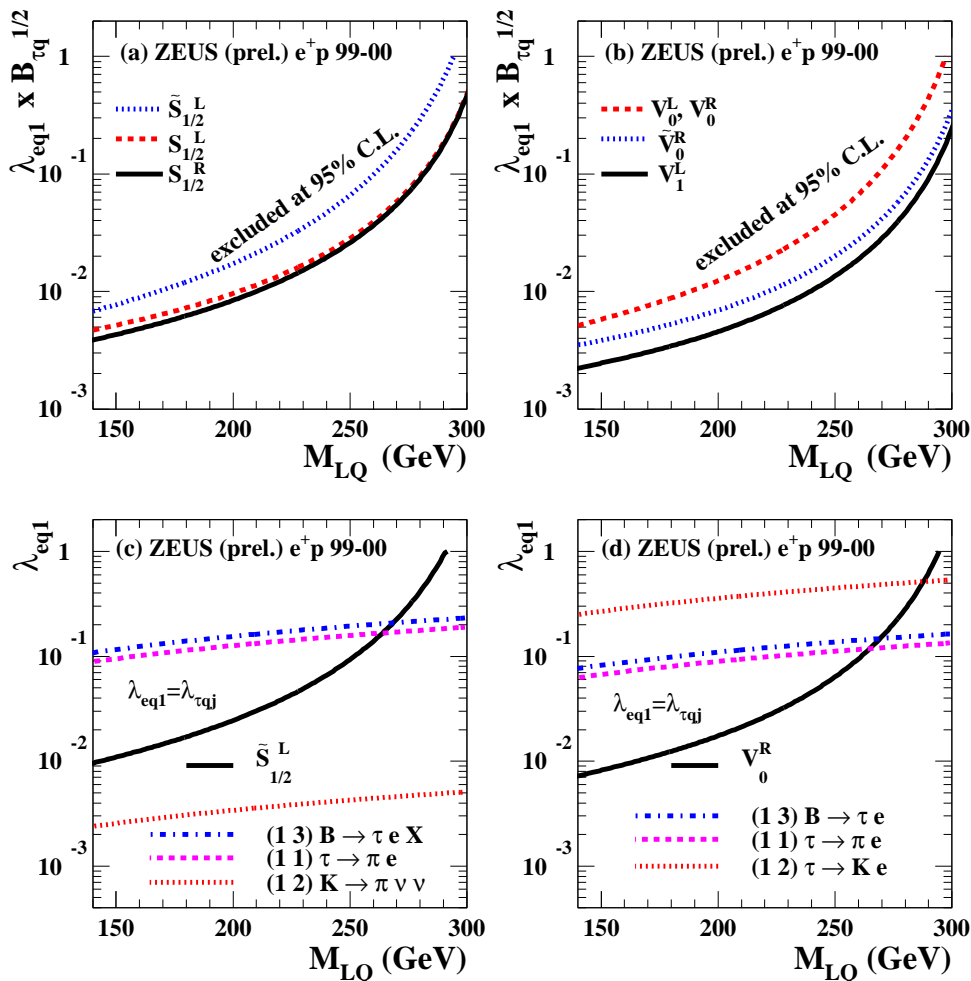
**ZEUS**





# Violazione del sapore leptonic III

ZEUS

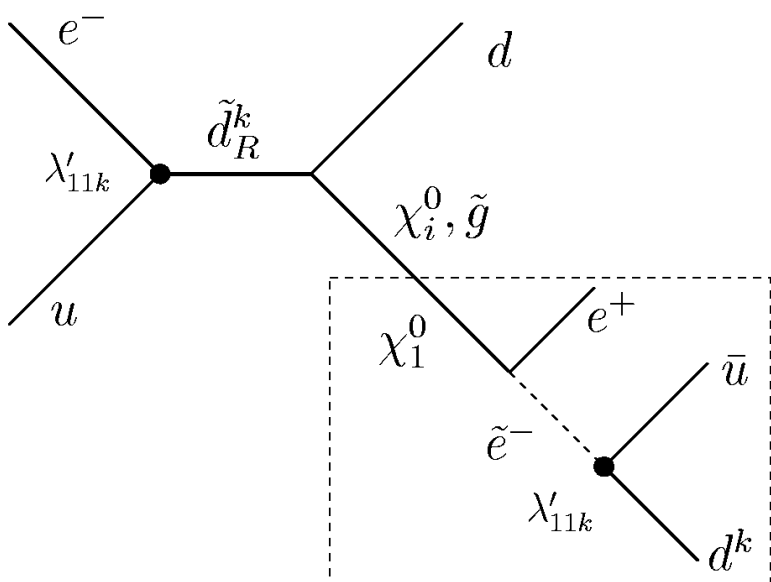
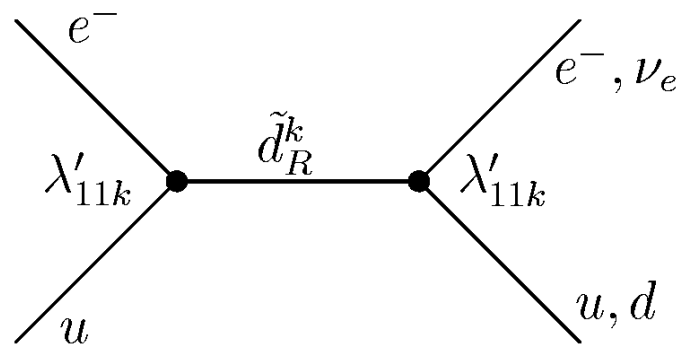


Limite su  $\lambda_{eq1} \sqrt{B_{\tau qj}}$  per  $M_{LQ} < \sqrt{s}$  indipendente dalla generazione del quark dello stato finale (su  $\frac{\lambda_{eqi} \lambda_{\tau qj}}{M_{LQ}^2}$  per  $M_{LQ} \gg \sqrt{s}$ )

Fissato  $\lambda_{eq1} = 0.3$  e  $B_{\tau qj} = 0.5$  possono essere escluse masse fino a **299 GeV**

Limiti di **ZEUS** migliori quando sono coinvolti quark pesanti

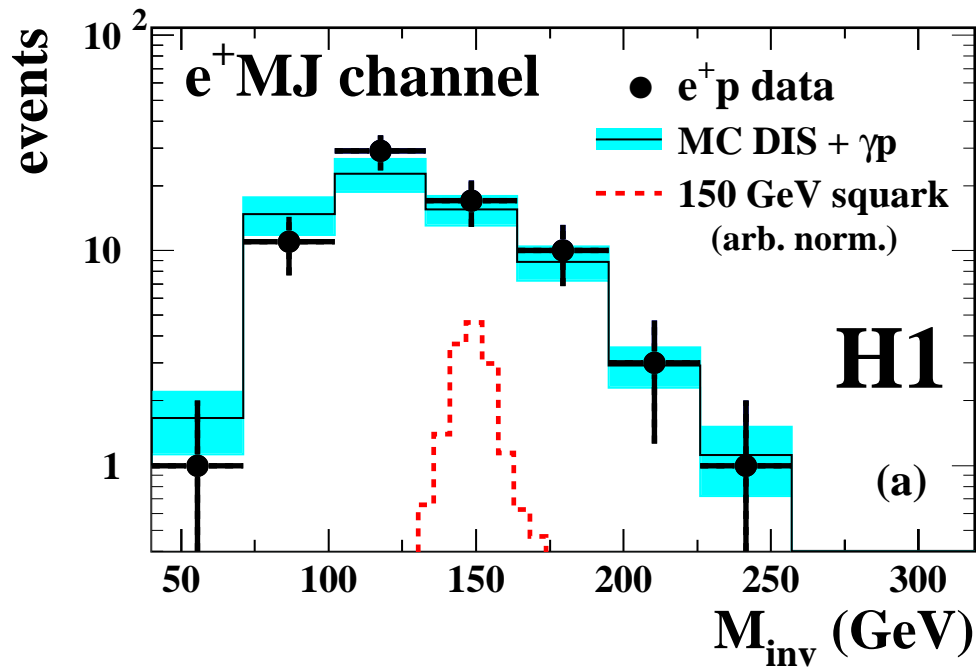
# Supersimmetrie con violazione $R_p$



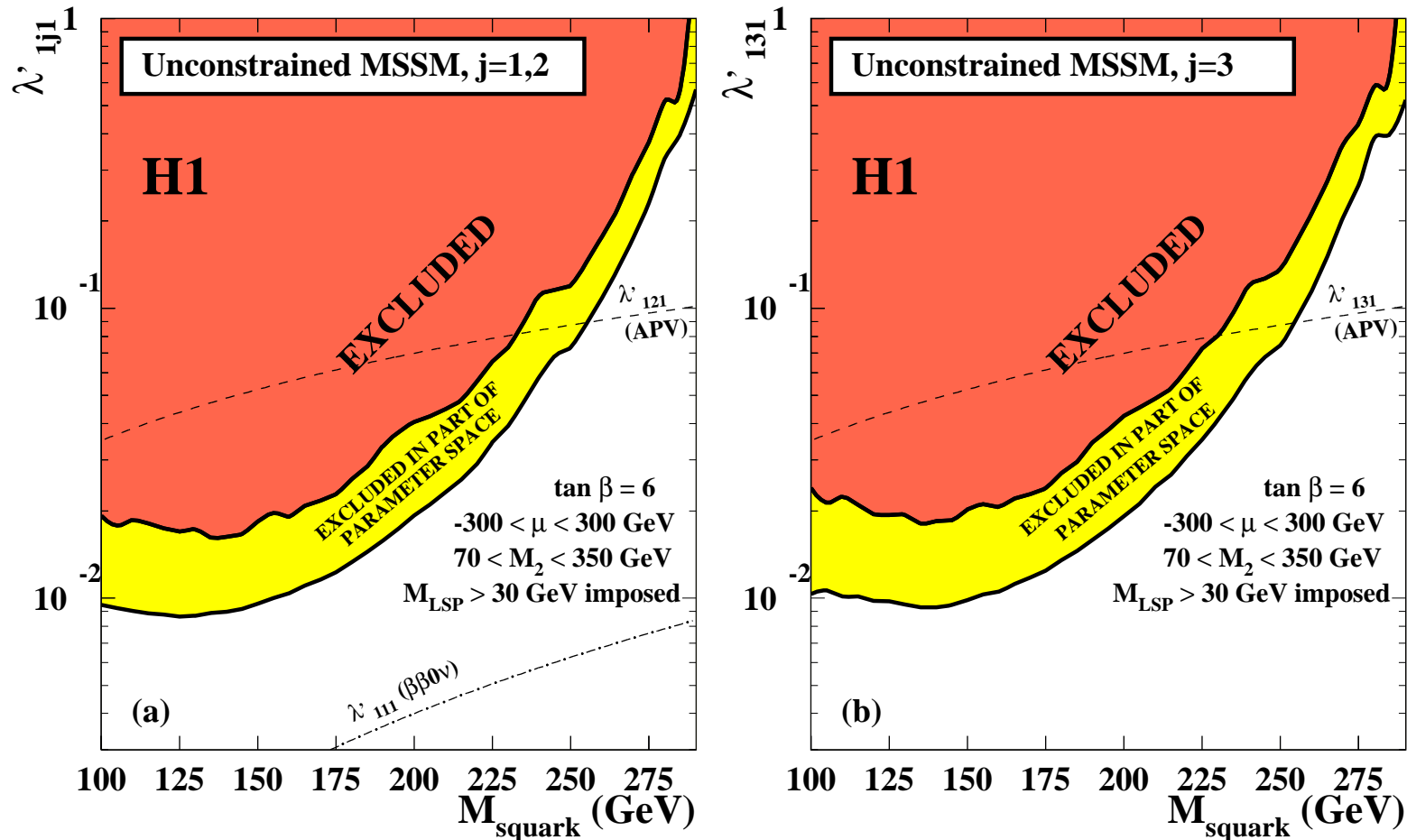
Produzione di squark  $\tilde{u}_L$  e  $\tilde{d}_R$

Varie tipologie di eventi nello stato finale:

- $eq$
- $\nu q$
- $e^\pm$  jets
- $\nu$  jets
- $e^\pm l$  jets
- $\nu l$  jets



## Supersimmetrie con violazione $R_p$ II

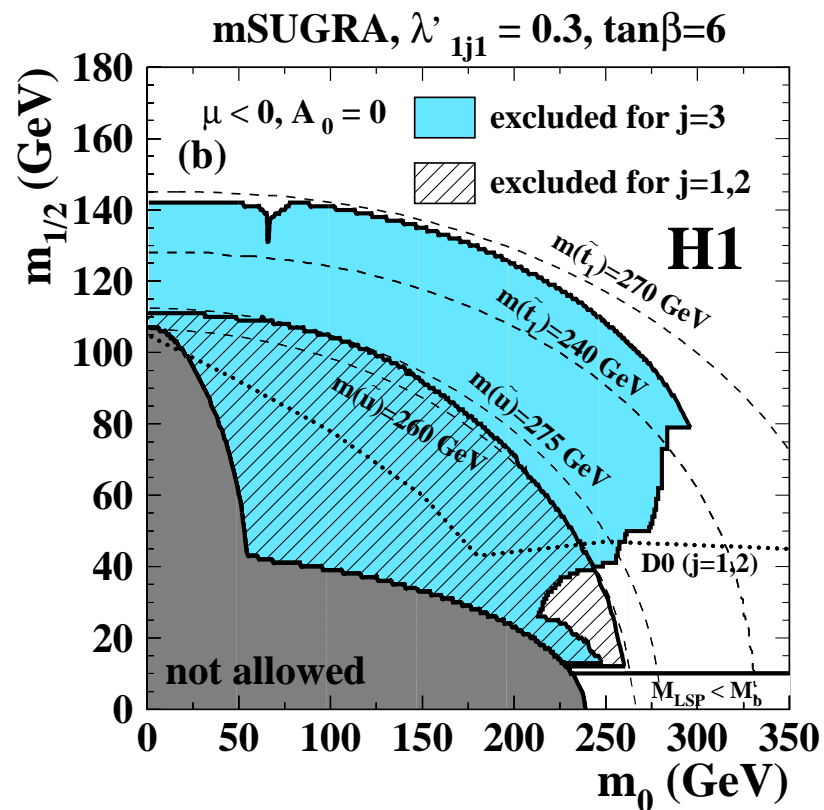
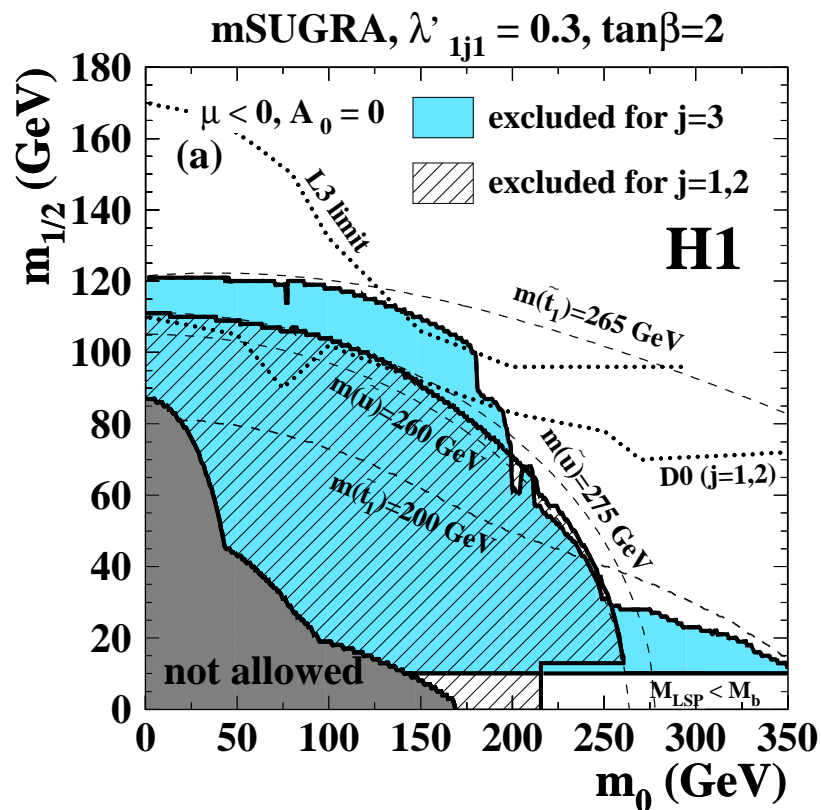


Per  $\lambda'_{1j1} = 0.3$  ( $\lambda'_{11k} = 0.3$ ) si escludono masse di squark al di sotto di **275 (280) GeV**

# Supersimmetrie con violazione $R_p$ III

## mSUGRA (minimal supergravity):

Limiti su  $(m_0, m_{1/2})$  fissati gli altri parametri del modello



Per  $\tan\beta = 6$  limiti su  $\tilde{t}$  migliori di LEP e TeVatron. Escluse masse fino a **270 GeV**

# Supersimmetrie con violazione $R_p$ III

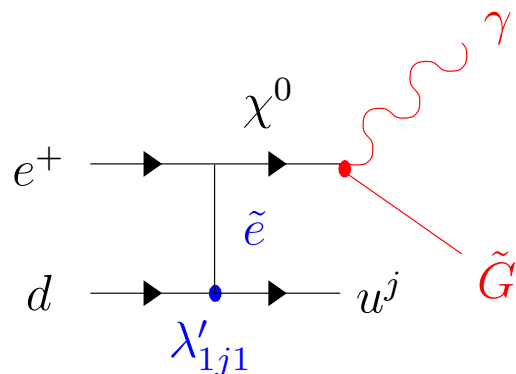
## Superlight gravitino:

Modello GMSB con il gravitino LSP

assumendo  $BR(\chi_1^0 \rightarrow \gamma G) = 100\%$

In questo modello

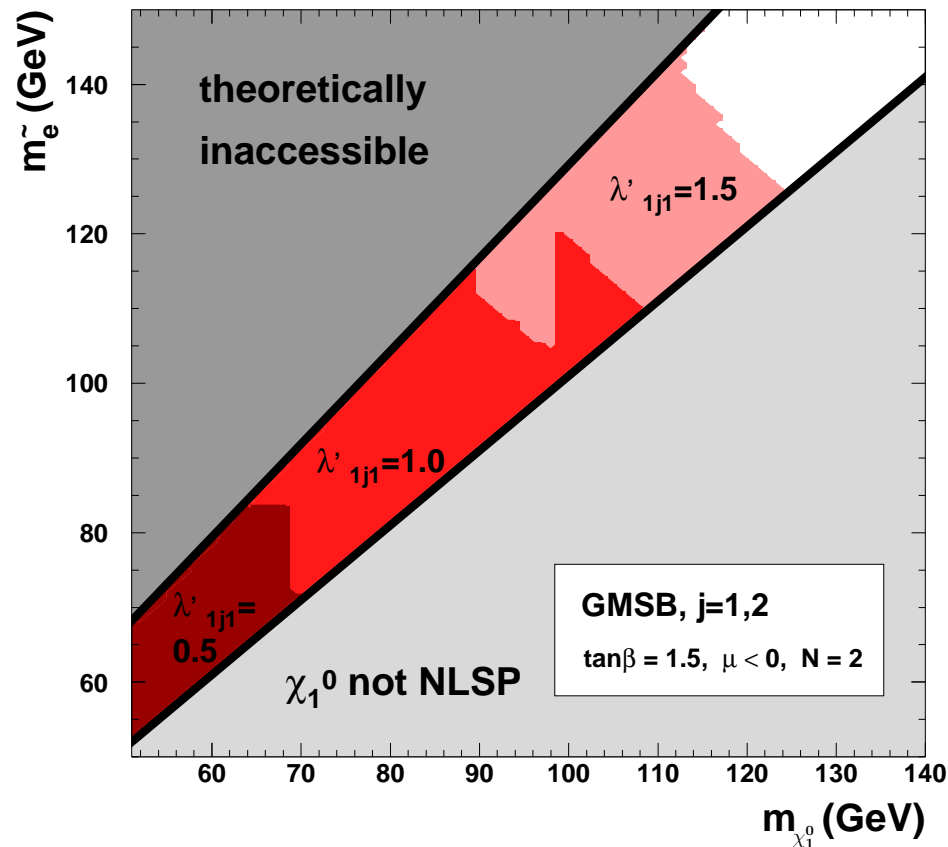
$$M_{slepton} \ll M_{squark}$$



1 evento ( $2.55 \pm 1.30$  MS)

Escluse  $M_{\chi_1^0} < 108$  GeV per  $\lambda'_{1j1} = 1$   
(OPAL 91 GeV)

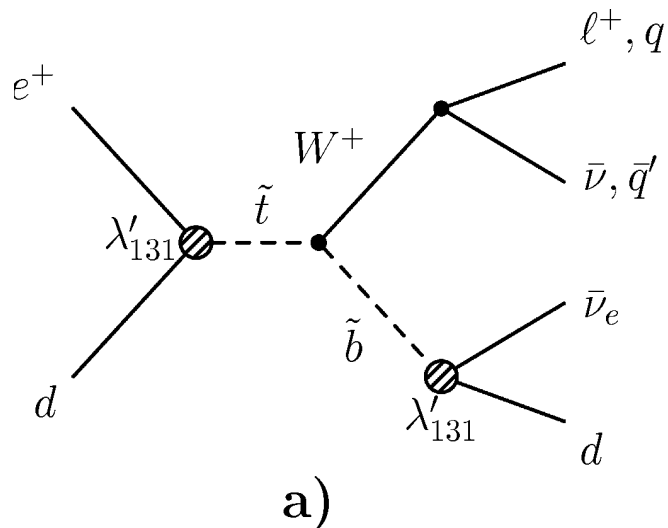
## H1 $e^+p$ preliminary



# Supersimmetrie con violazione $R_p$ IV

## Produzione di Stop:

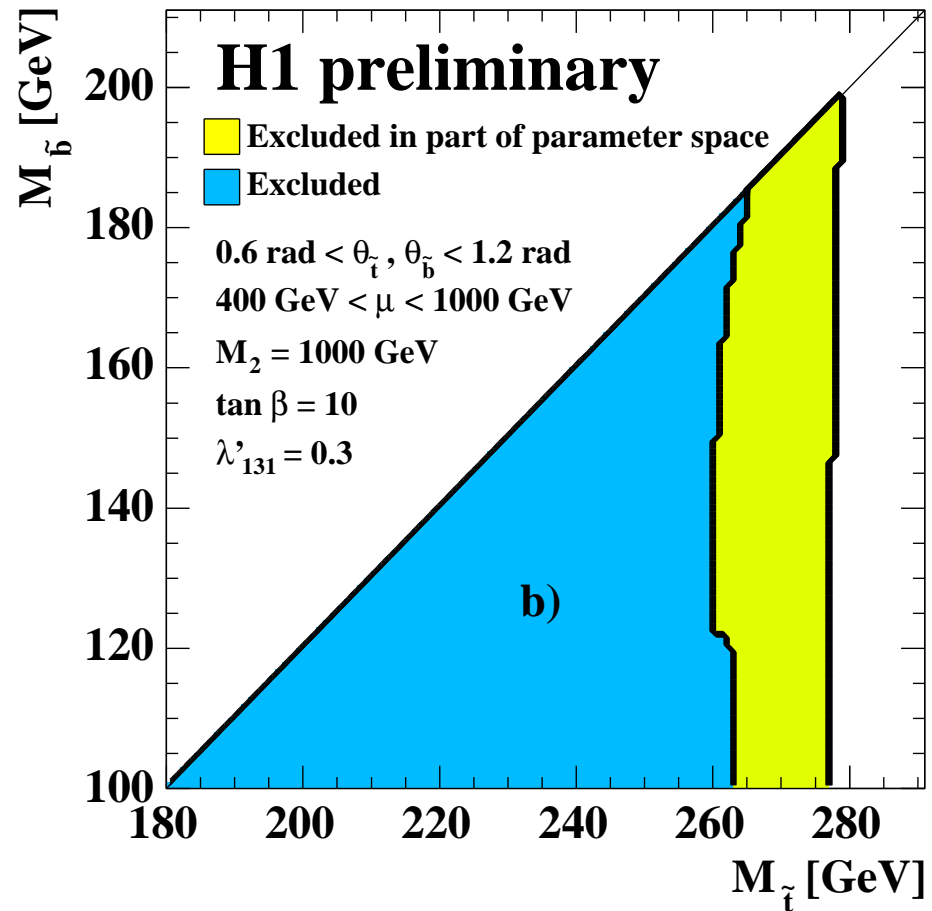
Se  $M_{\tilde{t}} > M_{\tilde{b}}$  lo Stop può decadere in  $\tilde{b}W$



Caratteristica degli eventi:

- $l + jet + R_t$
- $3jet + R_t$

Escluse  $M_{\tilde{t}} < 295$  GeV al 95% C.L.



## Leptoni isolati e impulso trasverso mancante

	Elettroni		Muoni		Tau	
	Dati	MS	Dati	MS	Dati	MS
$P_T^X$						
<b>H1</b> $12 < P_T^X < 25\text{GeV}$	1	$1.96 \pm 0.27$	2	$1.11 \pm 0.19$		
$25 < P_T^X < 40\text{GeV}$	1	$0.95 \pm 0.14$	3	$0.89 \pm 0.14$		
$P_T^X > 40\text{GeV}$	3	$0.54 \pm 0.11$	3	$0.55 \pm 0.12$		
<b>ZEUS</b> $P_T^X > 25\text{GeV}$	2	$2.9 +0.59/-0.32$	5	$2.75 \pm 0.21$	2	$0.20 \pm 0.05$
$P_T^X > 40\text{GeV}$	0	$0.94 +0.11/-0.10$	0	$0.95 +0.14/-0.10$	1	$0.07 \pm 0.02$

**H1** trova un eccesso di eventi nei canali studiati ( $e, \mu$ )

**ZEUS** trova un eccesso solo nel canale  $\tau$

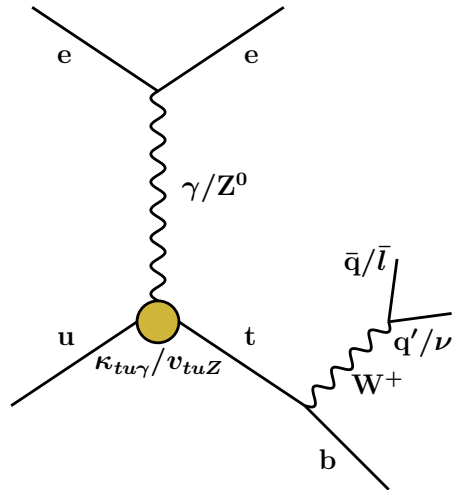
In entrambi i casi l'eccesso è tra i dati  $e^+p$

### Possibile spiegazione:

Produzione di top quark mediante processo **FCNC** con costanti di accoppiamento magnetica  $k_{tu\gamma}$  e vettoriale  $v_{tuZ}$  anomale

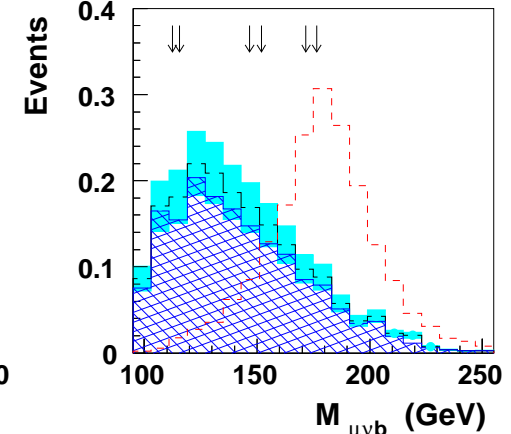
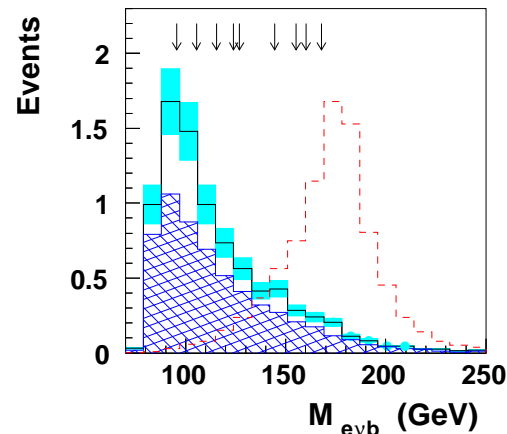
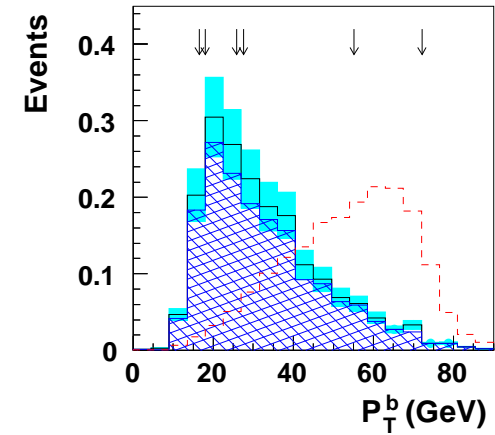
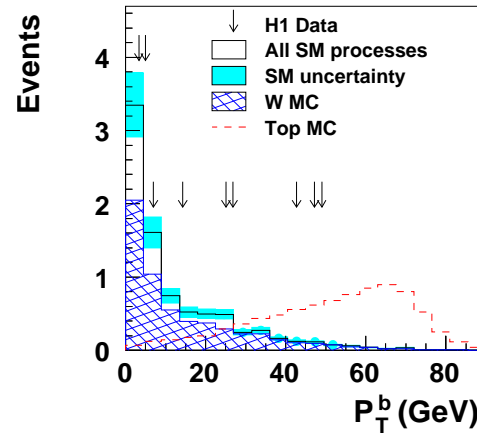
In ogni caso l'eccesso di **ZEUS** nel canale  $\tau$  non è compatibile con gli altri canali leptonici

# Single top



ELECTRON CHANNEL

MUON CHANNEL



## Canale leptónico ( $e, \mu$ ):

Solo  $e^+, \mu^+$  compatibili con single  $t$

$P_t^{jet} > 30 \text{ GeV}$ ,  $P_t^X > 40 \text{ GeV}$  e

$M_{l\nu b} > 140 \text{ GeV}$

**H1:** 5 eventi (3 $e$  e 2 $\mu$ ),  $1.31 \pm 0.22$  dal MS

**ZEUS:** nessun evento

Nessun eccesso nel canale adronico in entrambi gli esperimenti



# Single top II

H1:

Eccesso dovuto a produzione di top:

$$\sigma = 0.29 + 0.15 / - 0.14 \text{ pb}$$

$$(\sqrt{s} = 318 \text{ GeV})$$

Fluttuazione statistica:

$$\sigma < 0.55 \text{ pb at 95\% C.L.}$$

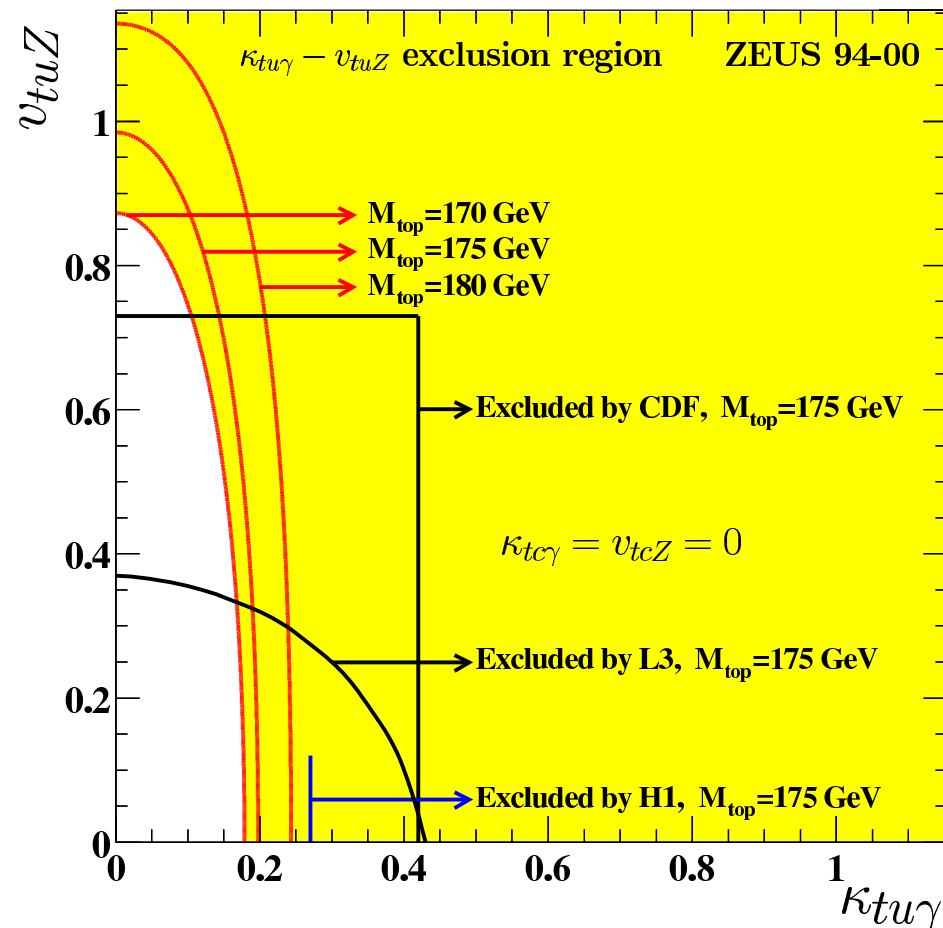
ZEUS:

Nessun eccesso:

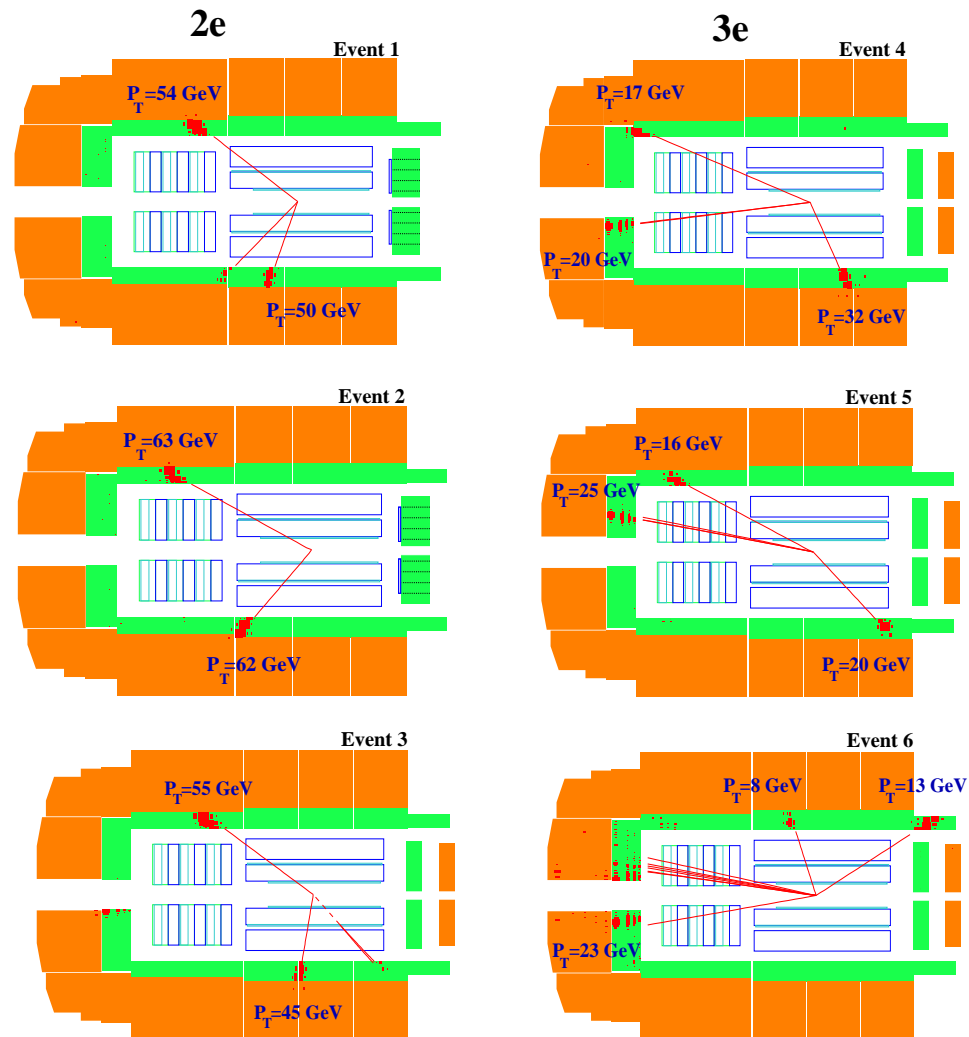
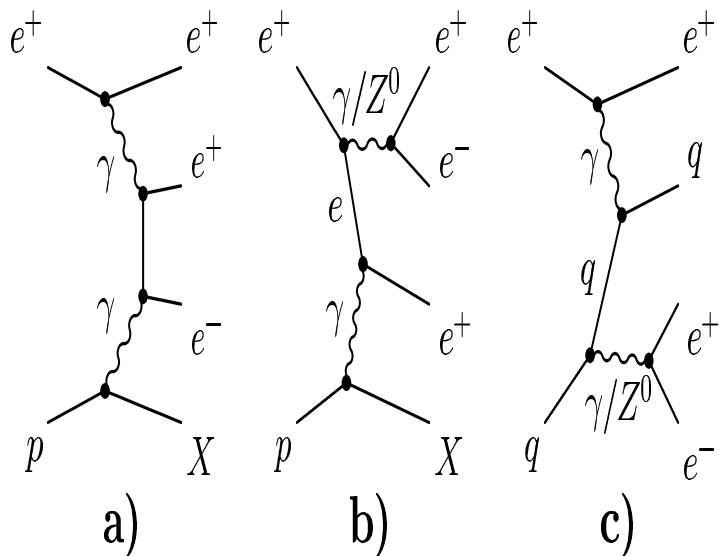
$$\sigma < 0.225 \text{ pb at 95\% C.L.}$$

Nei limiti di ZEUS è compresa anche l'efficienza per il canale con  $Z_0$

## ZEUS



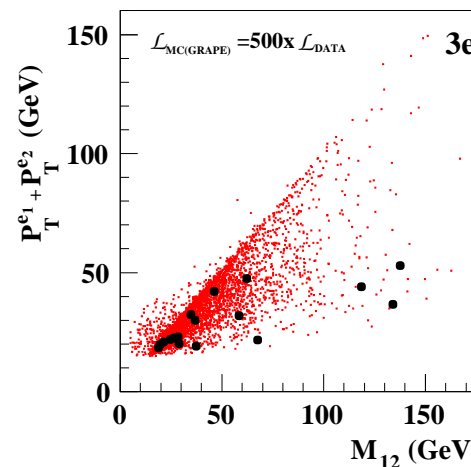
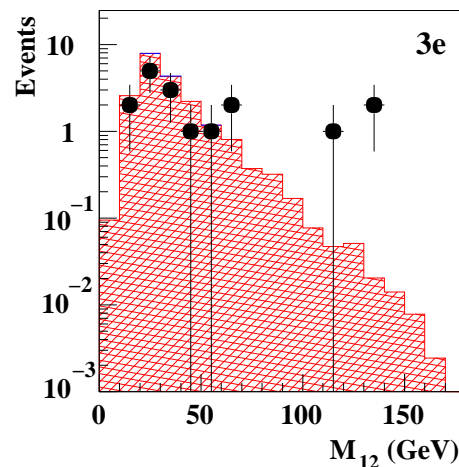
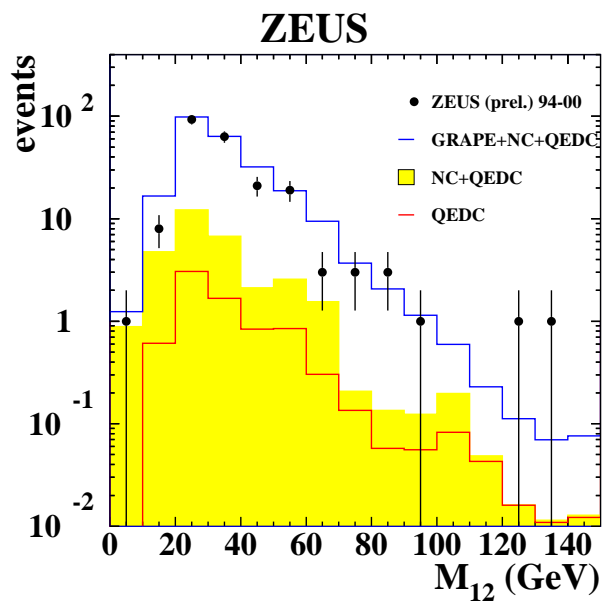
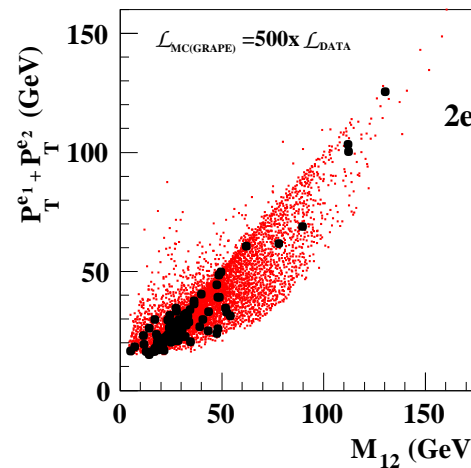
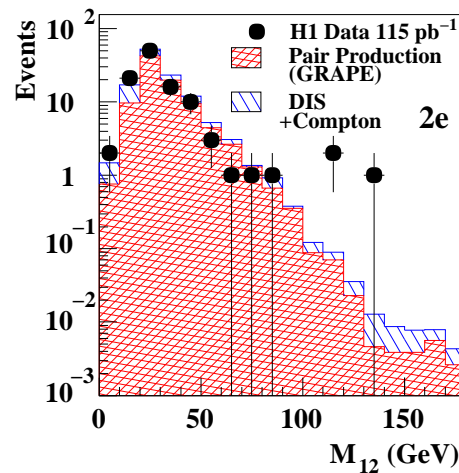
# Eventi con 2 o più leptoni



H1 trova un eccesso di eventi con 2 o 3 elettroni isolati e alta massa invariante ( $M > 100 \text{ GeV}$ )

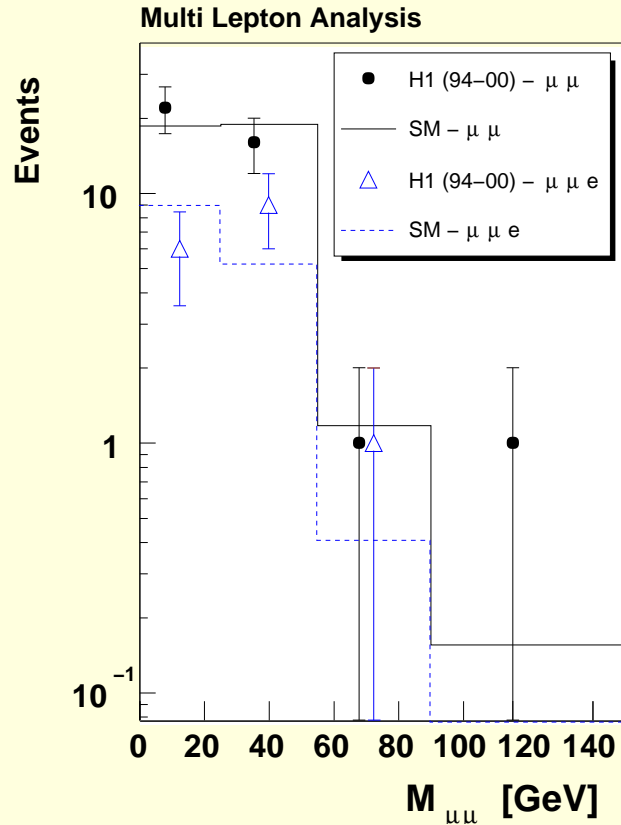
# Eventi con 2 o più elettroni

	Dati	MS	
H1	2e	3	$0.30 \pm 0.04$
	3e	3	$0.23 \pm 0.04$
ZEUS	2e	2	$0.77 \pm 0.08$
	3e	0	$0.37 \pm 0.04$



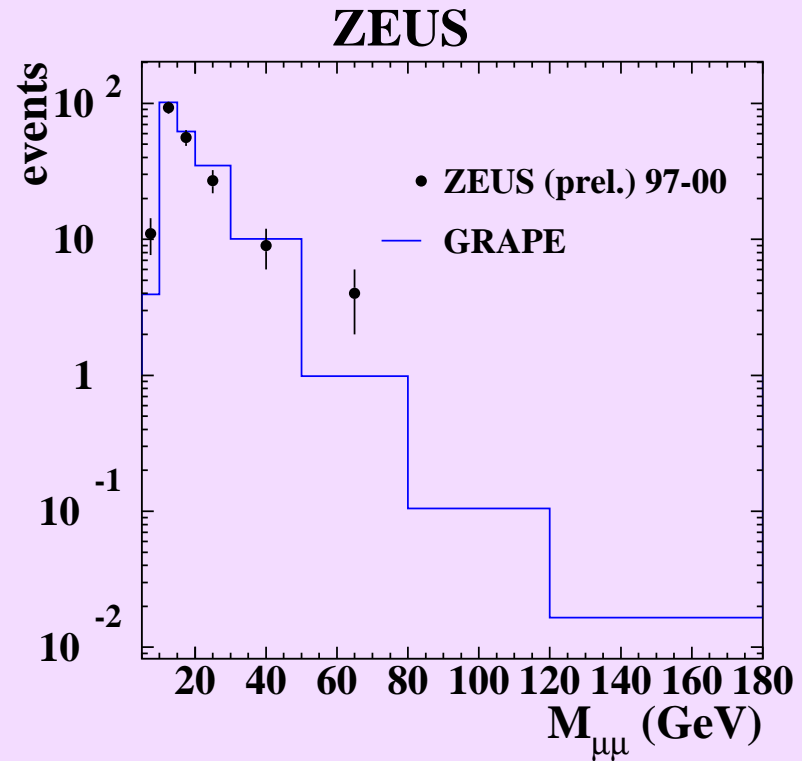
# Eventi con 2 o più muoni

H1:



Un solo evento con  $M_{\mu\mu} > 100$  GeV

ZEUS:



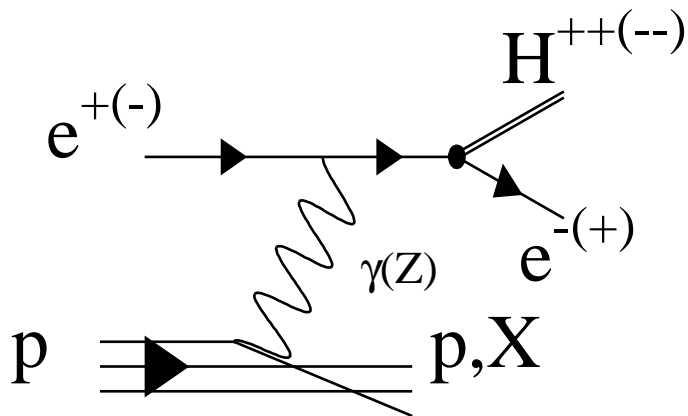
Nessun evento con  $M_{\mu\mu} > 100$  GeV

Buon accordo con il Modello Standard. Nessun evento con più di 2 muoni osservato

# Produzione di $H^{++/--}$

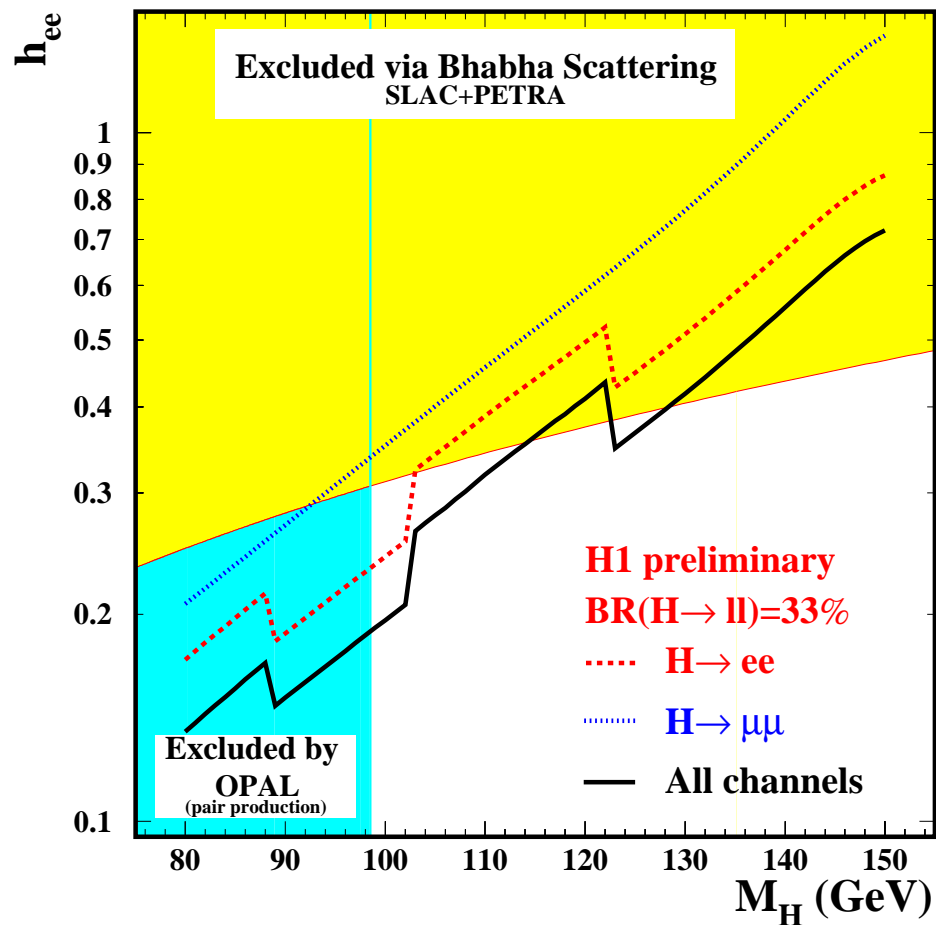
$H^{++/--}$  è previsto in alcuni modelli con settore del bosone di Higgs esteso come LRS (Left-Right Symmetric)

Eccesso negli eventi con 2 e 3 elettroni di **H1** dovuto a produzione di  $H^{++/--}$ ?



Solo uno degli eventi con  $M > 100$  GeV compatibile con  $H^{++/--}$  (cinematica e carica degli elettroni)

**H1 Higgs search:  $H^{\pm\pm}$  limits**

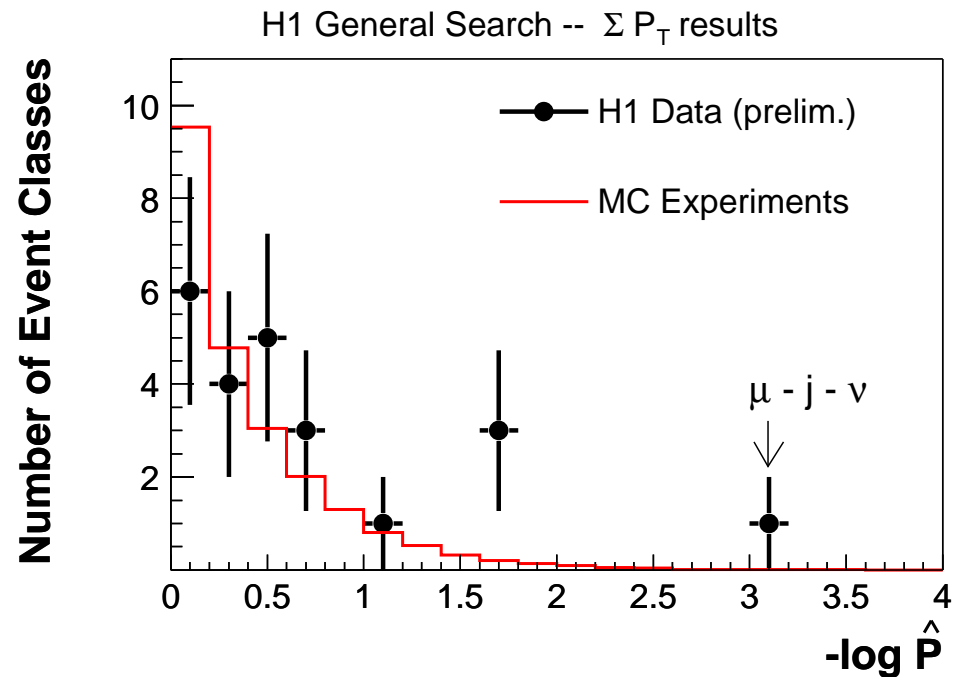
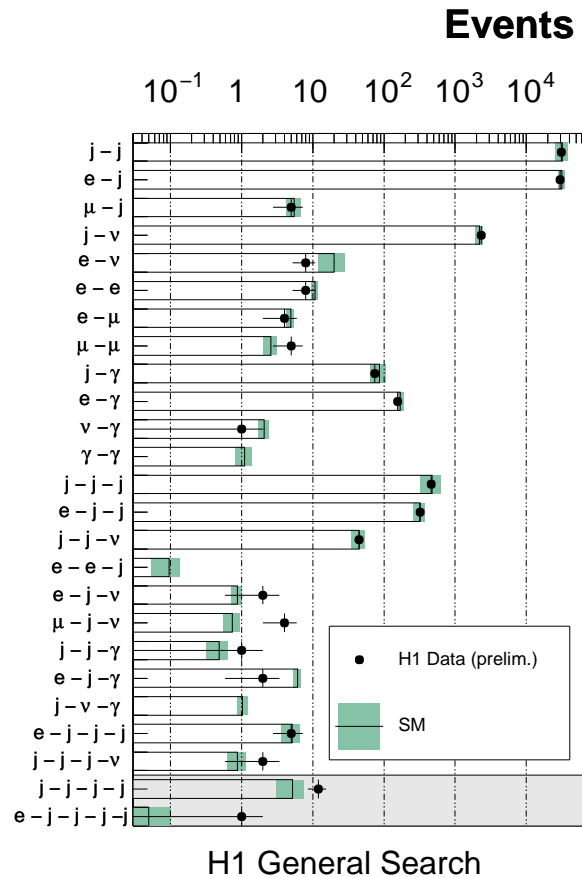


# Ricerca generica di fisica oltre il MS

Due o più oggetti isolati con alto  $p_t$  (elettroni, muoni, fotoni, jet)

Discrepanza rispetto ai dati quantificata dall'estimatore  $p$ . Per ogni classe di eventi si considera la regione con  $p_{min}$  per  $M_{all}$  e  $\sum p_t$

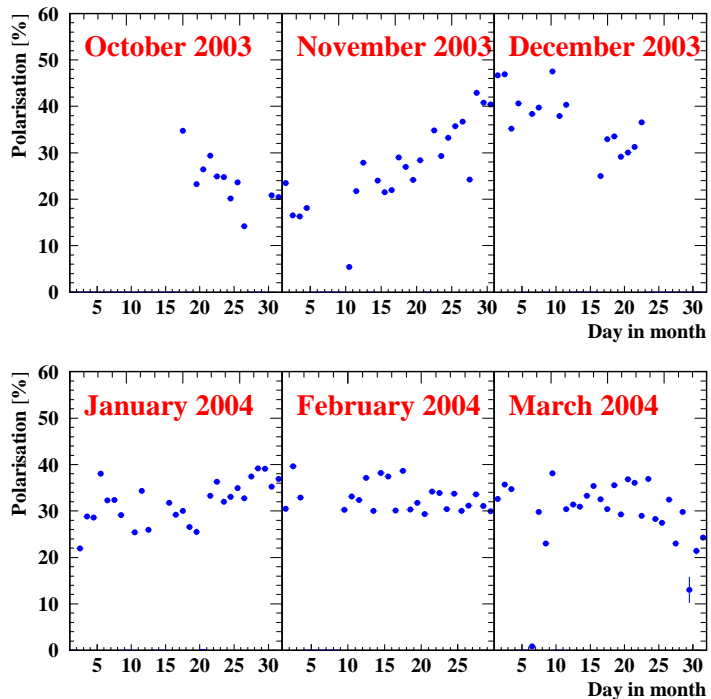
$-\log \hat{P} = \text{probabilità di misurare } \mathbf{p} = \mathbf{p}_{min}$



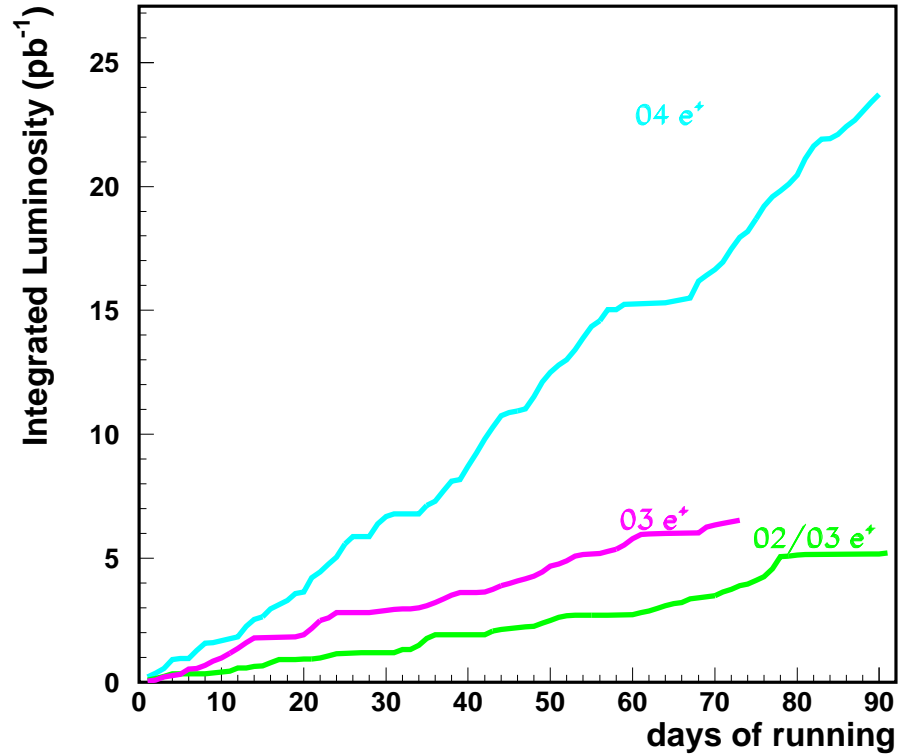
# HERA II

Nel 2000 installati nuovi rotatori di spin  $\rightarrow$  elettroni e positroni polarizzati longitudinalmente (fino a  $\sim 50\%$ )

Average HERA polarisation (longitudinal polarimeter)



HERA delivered



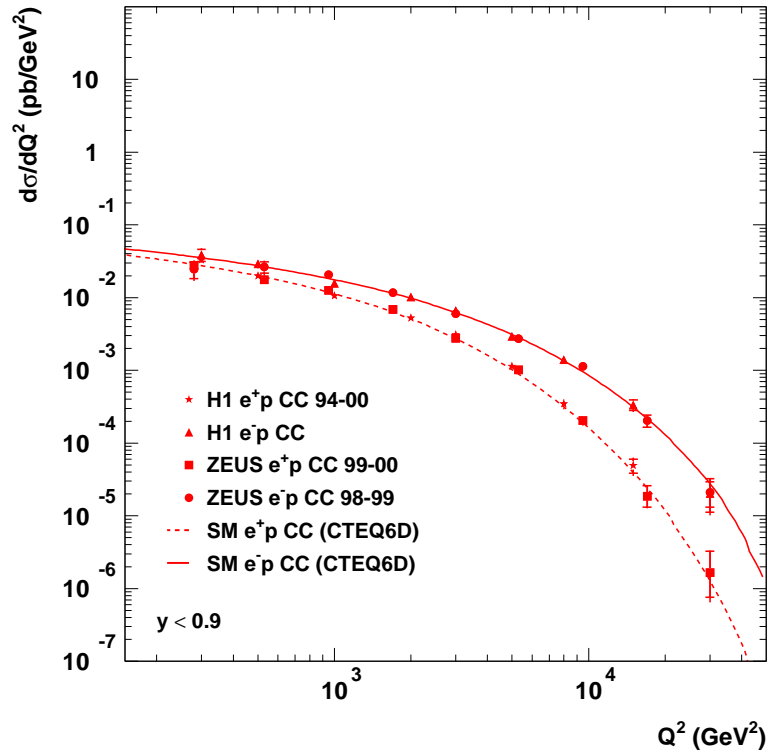
Luminosità già raggiunta:

$$3 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

# Sezione d'urto correnti cariche

$$\frac{d^2 \sigma_{\text{Born}}^{CC}(e^\pm p)}{dx dQ^2} = \frac{G_F^2}{4\pi x} \frac{M_W^4}{(Q^2 + M_W^2)^2} [Y_+ F_2^{CC}(x, Q^2) \mp Y_- x F_3^{CC}(x, Q^2) - y^2 F_L^{CC}(x, Q^2)] (1 \pm P)$$

HERA



$$\begin{aligned}
 e^+ p : \quad F_2^{CC} &= x[(d + s) + (\bar{u} + \bar{c})] \\
 &x F_3^{CC} = x[(d + s) - (\bar{u} - \bar{c})] \\
 e^- p : \quad F_2^{CC} &= x[(u + c) + (\bar{d} + \bar{s})] \\
 &x F_3^{CC} = x[(u + c) - (\bar{d} - \bar{s})]
 \end{aligned}$$

$e^{+(-)}$  sensibile al quark  $d(u)$ .

A basso  $Q^2$  dominano i quark del mare:

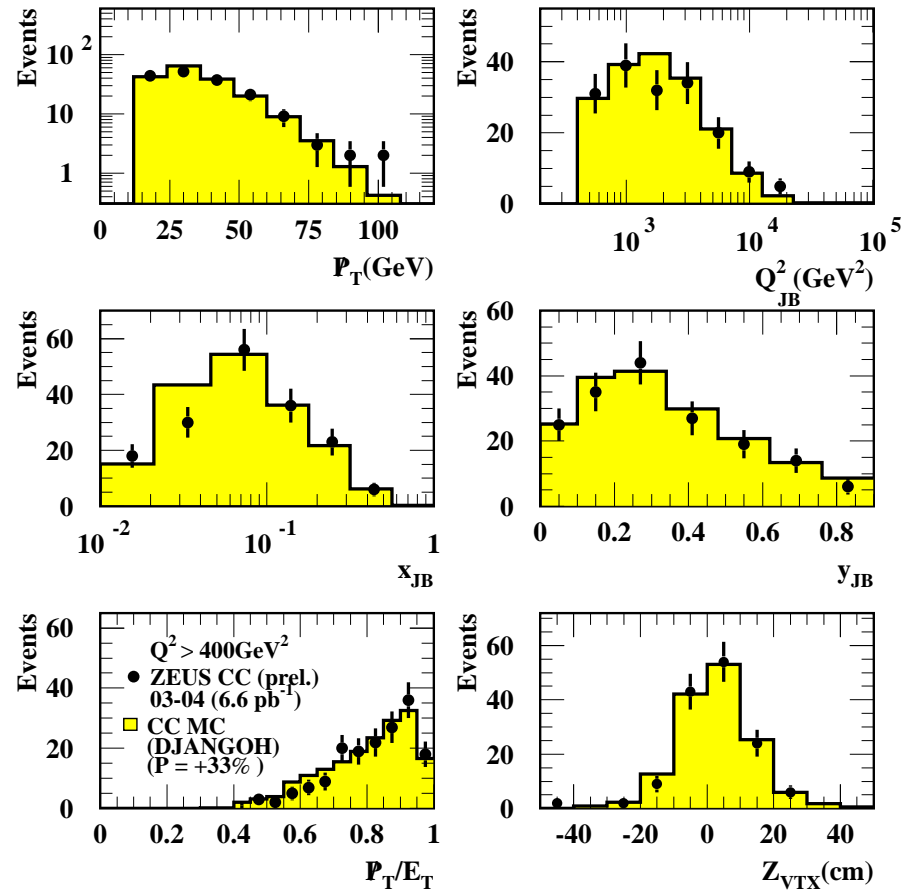
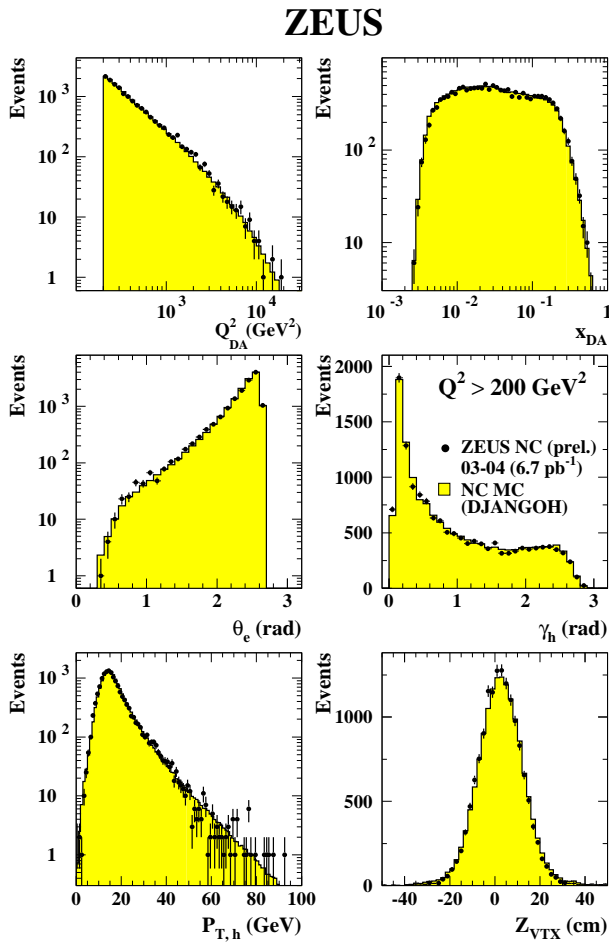
$$\sigma^{CC}(e^- p) \sim \sigma^{CC}(e^+ p)$$



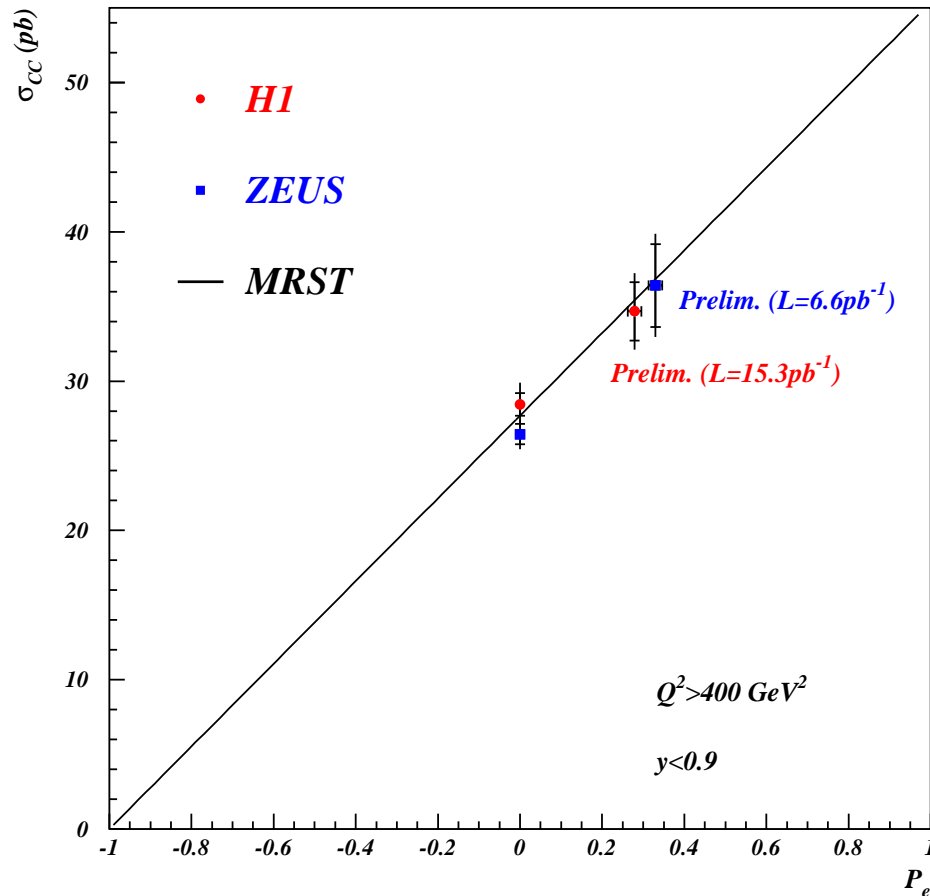
# Primi risultati di HERA II

**NC:** variabili adroniche ben simulate

**CC:** buon accordo con le previsioni del MS  
**ZEUS**



## Misura di $\sigma_{CC}$ con positroni polarizzati



ZEUS:

con  $Q^2 > 400 \text{ GeV}^2$ ,  
 $P = 33\%$  e  $\mathcal{L} = 6.6 \text{ pb}^{-1}$

$$\sigma(e^+p) = 37.8 \pm 2.9(\text{stat}) \pm 0.79(\text{syst}) \pm 2.0(\text{lumi}) \text{ pb}$$

## Conclusioni

### HERA I:

- Test del Modello Standard eseguito per varie tipologie di eventi su tutta la statistica di **HERA I**
- Alcune discrepanze non risolte (eventi con leptoni e impulso trasverso mancante, eventi con 2 o 3 elettroni e alta massa invariante)

### HERA II:

- Possibilità con maggiore statistica di fare luce sulle questioni non risolte di **HERA I**
- La polarizzazione degli elettroni permette test del Modello Standard fino ad ora mai eseguiti
- Primi risultati di fisica ad alto  $Q^2$ : sezioni d'urto di correnti cariche con positroni polarizzati in accordo con il Modello Standard