



Nuova Fisica ad ATLAS

Gianluca Comune
Universita' di Berna

I.F.A.E. Catania, 30/3-2/4 2005

Introduzione

★ Il Modello Standard non e' la teoria finale delle interazioni elementari

- La gravita' non e' inclusa nel Modello Standard
- E' necessario un aggiustamento del tutto innaturale dei parametri per ottenere i valori osservati della massa del Higgs (fine tuning)

E' necessaria nuova fisica per risolvere queste limitazioni

varie teorie risolvono questi problemi

**Teoria di Stringhe
(unificazione)**

contiene

contiene

Super Simmetria

Extra Dimensioni

rottura simmetria

nascoste

Nuova Fisica (TeV)

- ✦ Leptoquarks
- ✦ Leptoni pesanti
- ✦ Teorie LR Simmetriche
- ✦

Extra Dimensioni

- ✦ Vasta varietà di “scenari” di ED
 - ✦ In comune hanno l’idea di fondo: dimensioni spaziali addizionali
- ✦ Variazioni sul tema:
 - ✦ “estensione” e “topologia” delle dimensioni aggiuntive
 - ✦ Comportamento della gravita’ e delle altre particelle rispetto alle dimensioni aggiuntive
 - Solo la gravita’ oppure tutte le particelle si propagano nel “bulk”
 - Solo i bosoni di Gauge e/o i fermioni propagano nel “bulk”

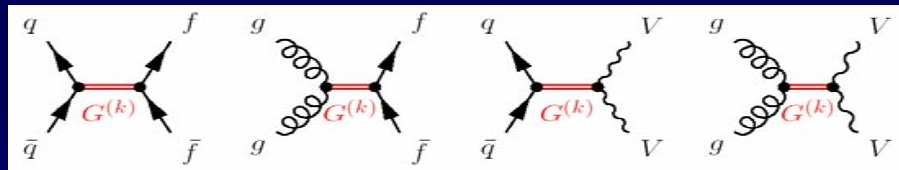
.....ED.....

- ☀ Numero e geometria delle dimensioni addizionali
- ☀ Regimi energetici a cui le ED possono manifestarsi
 - $M_{\text{planck}} \sim 10^{15}-10^{18} \text{ GeV}$
 - $\text{TeV} \sim 100 \text{ GeV}-10 \text{ TeV}$
 - $\text{Neutrino} \sim \text{TeV}/M_{\text{planck}}$
- ☀ Le particelle che si propagano nel bulk si manifestano con uno spettro discreto di eccitazioni alla Kaluza-Klein (KK) (~particella quantistica in una buca di potenziale)
 - $G, G^{(1)}, G^{(2)}, \dots, G^{(n)}; Z, Z^{(1)}, Z^{(2)}, \dots, Z^{(n)}$
 - Lo spettro esatto di stati KK dipende da quante dimensioni aggiuntive si considerano, come queste vengono compattificate e la loro metrica

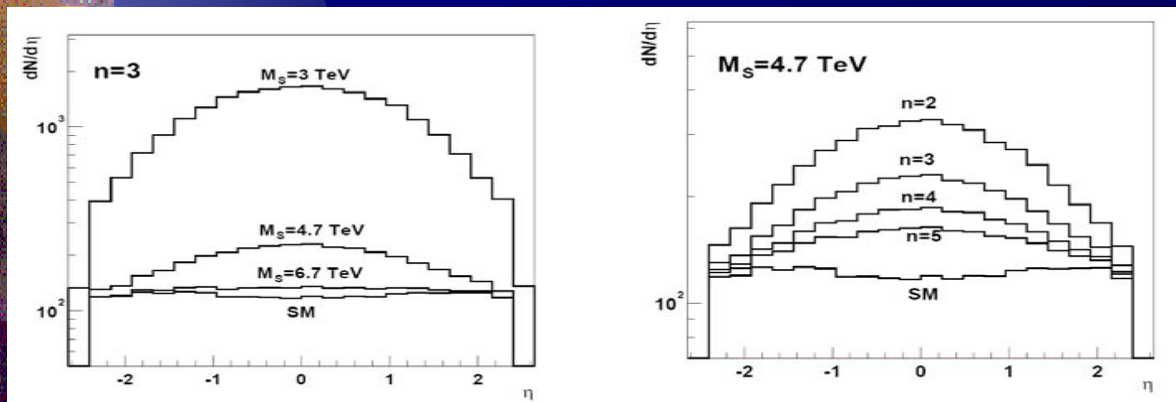
ED (estese)

- ☀ Modello ADD: solamente la gravita' propaga nel bulk
 - I campi di gauge e di massa sono confinati nelle 4D
 - Spazio a $(4+\delta)$ dimensioni
 - Esistono stati KK dei gravitoni
 - Esiste una nuova scala fondamentale di energie M_D
 - $M_{\text{plank}}^2 \sim M_D^{(2+\delta)} R^\delta$ (δ = numero di ED; R =raggio)
 - Se $\delta \geq 2$ e con R abbastanza grandi (fino a 1 mm) si puo' avere $M_D \sim \text{TeV}$ (potrebbe essere accessibile ad LHC)
 - Se $\delta = 2 \Rightarrow M_D > 30 \text{ TeV}$ (basato su considerazioni cosmologiche)
 - Due stati eccitati KK del gravitone differiscono $\sim 1/R$ in massa.

$qq \rightarrow G^{(k)} \rightarrow \gamma\gamma$
 $gg \rightarrow G^{(k)} \rightarrow \gamma\gamma$

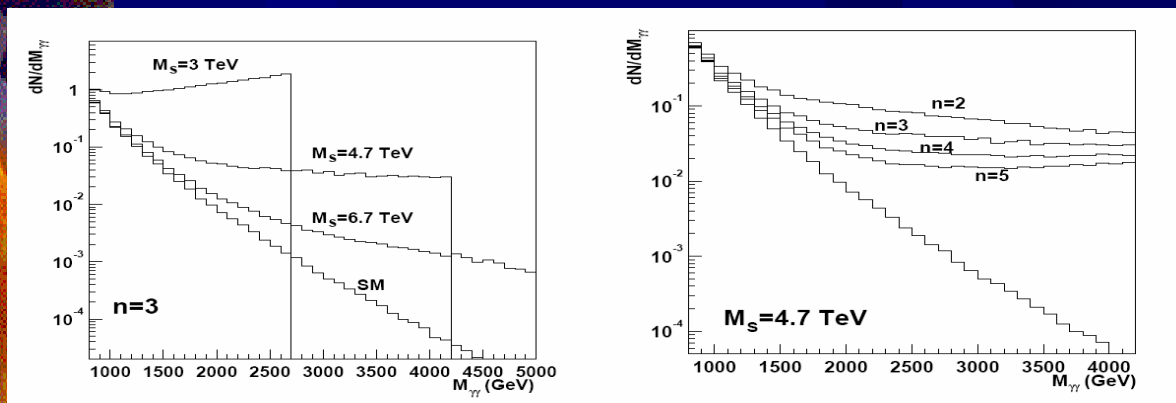


- I due processi ricevono infiniti contributi dallo scambio di gravitoni KK virtuali
- La distribuzione angolare dei fotoni dipende da η
- Modifica lo spettro Drell-Yan ad alte energie



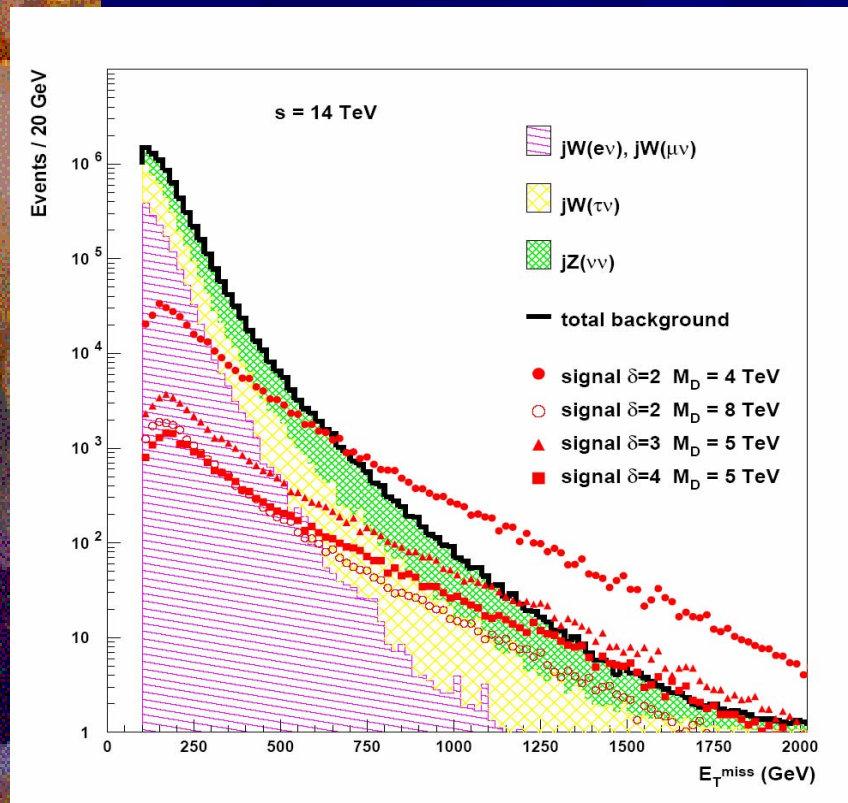
(10 fb⁻¹)

- $M_{\gamma\gamma} < 0.9M_s$
- Per garantire la validita' della teoria
- $M_{\gamma\gamma} > 0.8 \text{ TeV}$
- 2 fotoni
- $p_T > 200 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.5$



☀ produzione diretta (jet + \cancel{E}_T)

$$q\bar{q} \rightarrow qG^{(k)}, \gamma G^{(k)}; qg \rightarrow qG^{(k)}; gg \rightarrow qG^{(k)}$$



(100 fb⁻¹)

- ☀ Eventi con $\sqrt{s} > M_D$ sono scartati
- Per garantire la validita' della teoria (effettiva)
- ☀ jet $p_T > 100$ GeV

Sensitivita' ATLAS

δ	M_D^{max} (TeV)	M_D^{max} (TeV)	M_D^{min} (TeV)
	LL, 30 fb ⁻¹	HL, 100 fb ⁻¹	
2	7.7	9.1	~ 4
3	6.2	7.0	~ 4.5
4	5.2	6.0	~ 5

δ e M_D possono essere estratti con 50 fb⁻¹
Variando energia del centro di massa

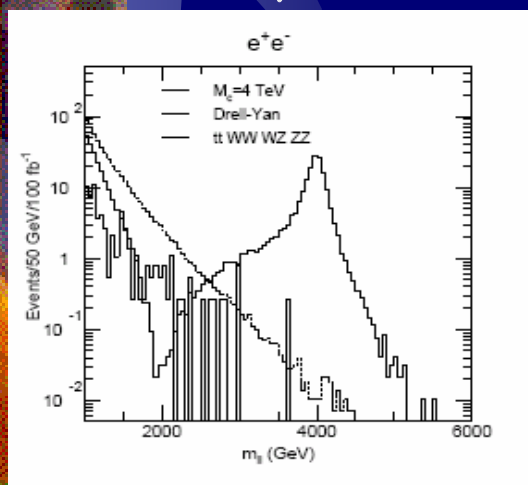
ED (TeV⁻¹)

- ★ Una sola ED (TeV⁻¹), solo i bosoni propagano nel “bulk”
 - I fermioni sono confinati su brane 4D fisse in uno (M1) o due (M2) punti del bulk 5D
 - Spettro KK: $M_n^2 \sim M_0^2 + n^2 M_c^2$; $M_c = 1/R_c$ (R_c r. di compattificazione)
 - Limiti imposti da LEP impongono $M_c > 4$ TeV
 - Solo prima risonanza accessibile ad ATLAS
 - Sensitivita' a 100 fb⁻¹ -> 5.8 TeV ($Z^{(1)}/\gamma^{(1)}$); 6 TeV ($W^{(1)}$)
 - Sensitivita' a 300 fb⁻¹ -> 13.8 TeV
 - Gluoni eccitati difficilmente visibili a causa del fondo di QCD

T.G. Rizzo: Phys. Rev. 61 (2000) 055005;

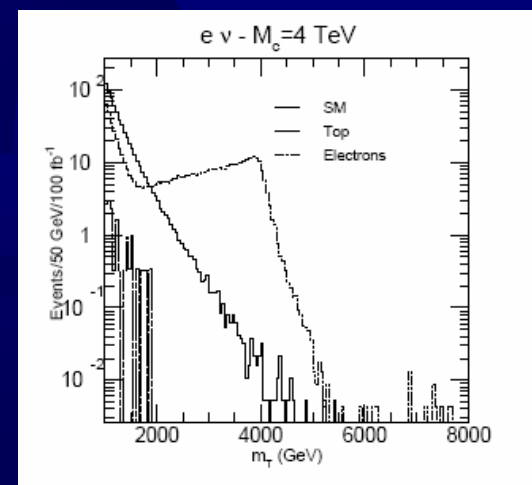
N. Arkhani-Hamed, M. Schmalz: Phys Rev D 61 (2000) 033005

$Z^{(1)}, \gamma^{(1)}$



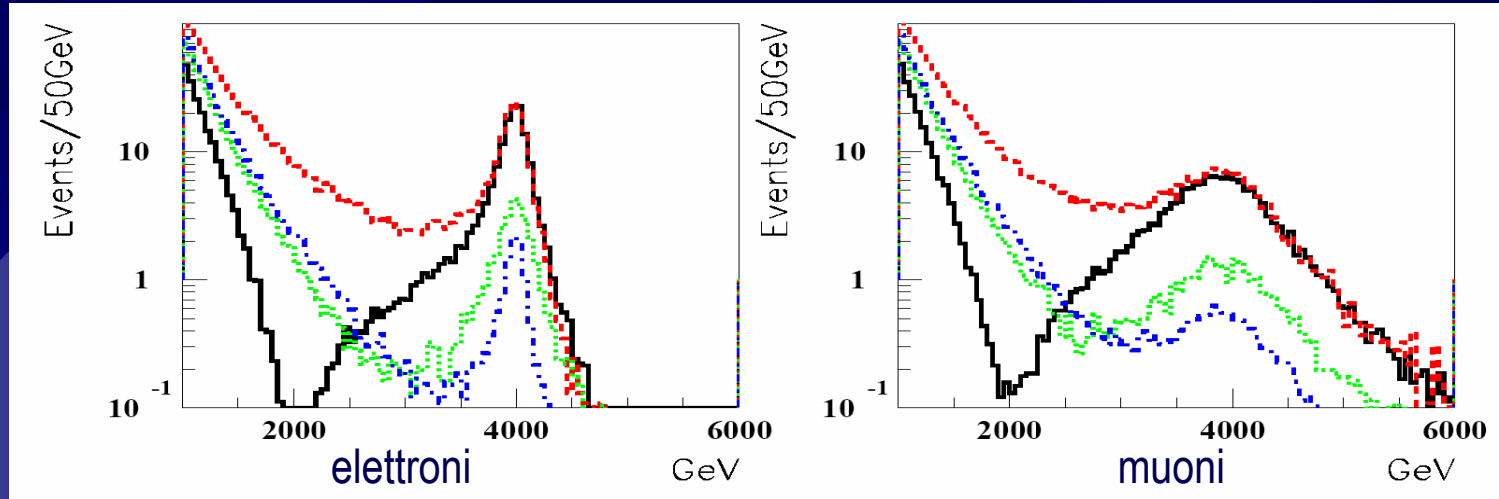
- ★ 2 leptoni
 - $p_T > 20$ GeV
 - $|\eta| < 2.5$
- ★ $M_{ll} > 1$ TeV
- ★ $M_c = 4$ TeV

$W^{(1)}$



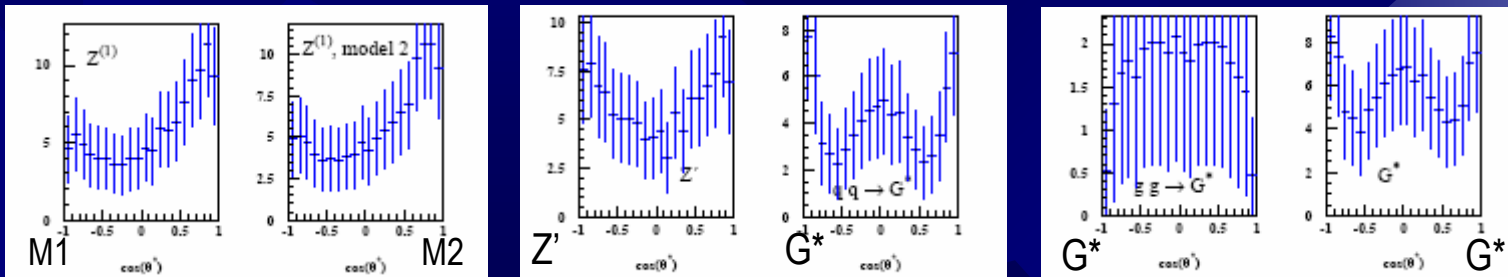
- ★ 1 leptone
 - $p_T > 200$ GeV
 - $|\eta| < 2.5$
- ★ $\cancel{E}_T > 200$ GeV
- ★ $M_T > 1$ TeV
- ★ $M_c = 4$ TeV

Discriminare modelli di ED diversi



★ Vari modelli possono essere discriminati analizzando la forma della distribuzione

- linea nera: $Z^{(1)}/\gamma^{(1)}$ (modello M1); linea rossa: $Z^{(1)}/\gamma^{(1)}$ (modello M2)
- linea verde: Z' ; linea blu: $G^* + \text{Drell-Yan}$

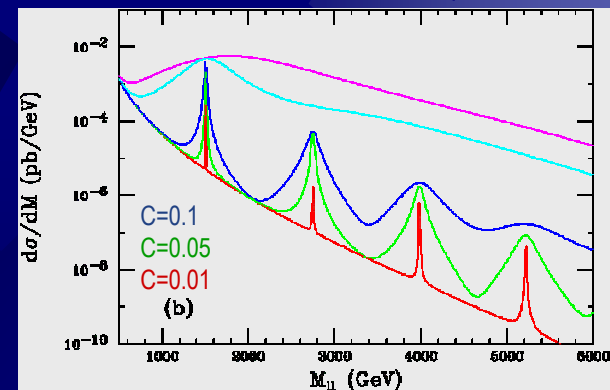


(Distribuzione angolare dei leptoni in vari modelli)

(100fb⁻¹)

ED curve (Randall-Sundrum)

- ★ Uno dei molti scenari RS e' quello in cui la gravita' si propaga nel bulk 5D limitato da 2 brane 4D
 - Le particelle standard vivono in una delle due brane solo i gravitoni nel bulk.
 - Metrica curva che "connette" la scala Elettro Debole nella prima brana alla scala di Planck nella seconda brana
 - Due parametri della teoria:
 - Λ_π (scala dei fenomeni fisici \sim TeV)
 - $c=k/M_{\text{planck}}$ (curvatura, $k\sim M_{\text{planck}}$)
 - Gravitoni KK di massa $m_n=x_n \Lambda_\pi c$ (x_n radici delle funzioni di Bessel) di nuovo il primo stato accessibile ad LHC



$G^{(1)} \rightarrow e^+e^-$

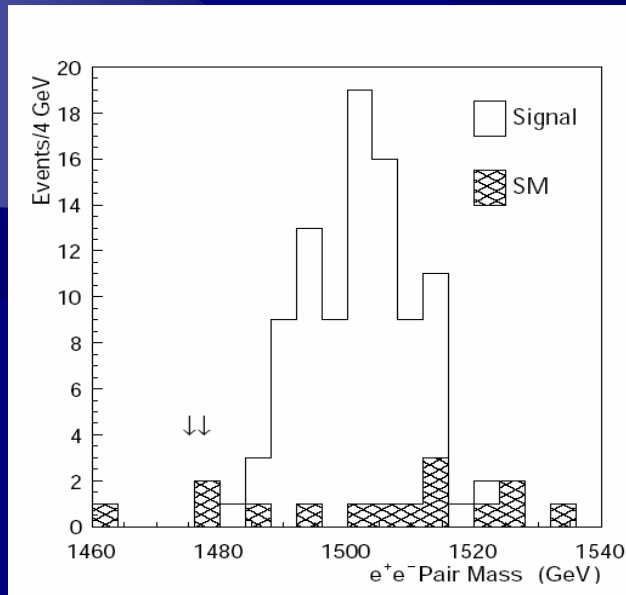
Sensitivita':

- $c=0.01 \Rightarrow M_G \leq 2 \text{ TeV}$
- $c=0.1 \Rightarrow M_G \leq 4 \text{ TeV}$

Misura dei parametri (100 fb⁻¹)

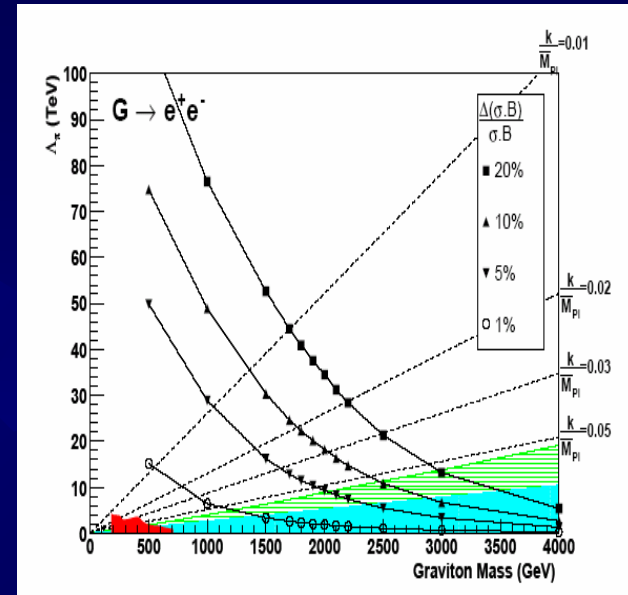
Λ_π (1%-15%)
 M_G (<1 GeV)

$M_G=1.5 \text{ TeV}; c=0.01$ (ATLFAST)

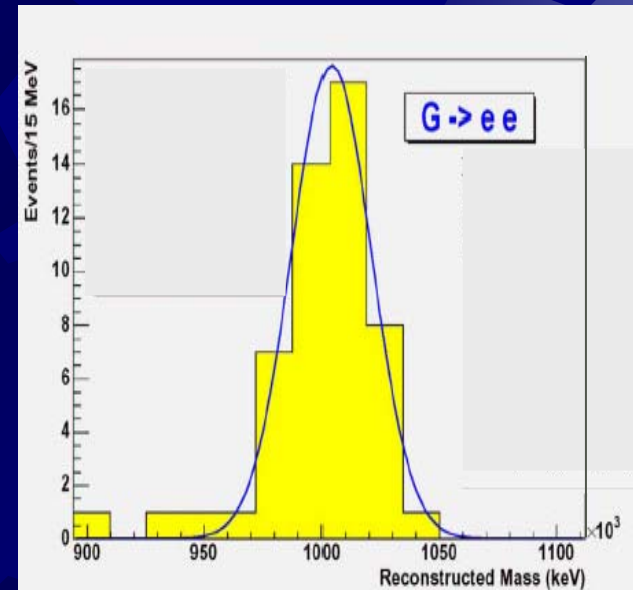


(100 fb⁻¹)

(Massa invariante e⁺e⁻)



$M_G=1.0 \text{ TeV};$ (FULL SIM-INITIAL Layout)

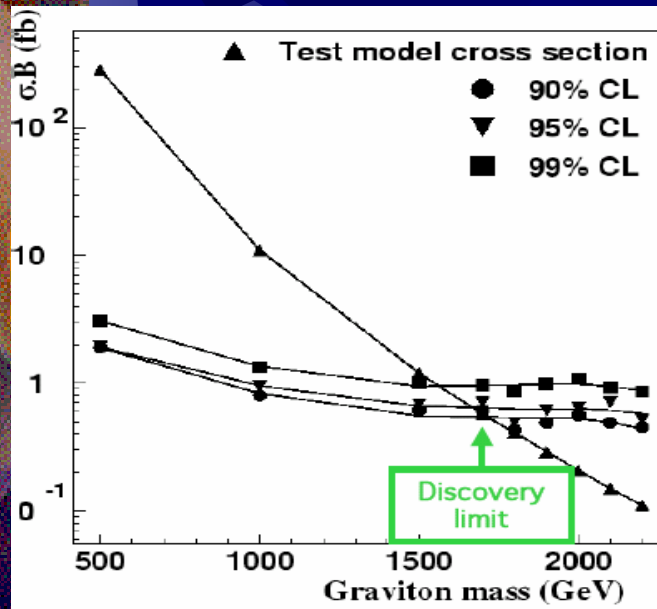


(K.Baker exotics WG)

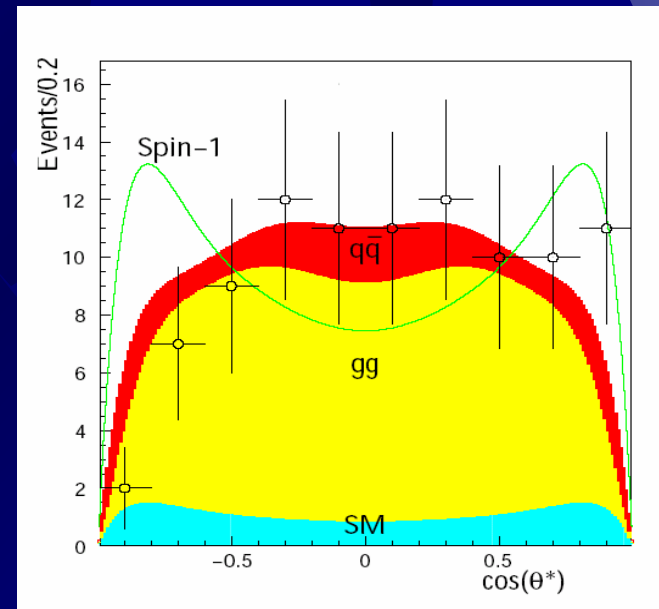
(No pile-up no BGD)

Misura dello spin di un Gravitone KK

sezione d'urto minima necessaria per distinguere una particella di spin-2
 $\max(M_G(90\% \text{ confidenza}))=1720 \text{ GeV}$



(100 fb⁻¹)



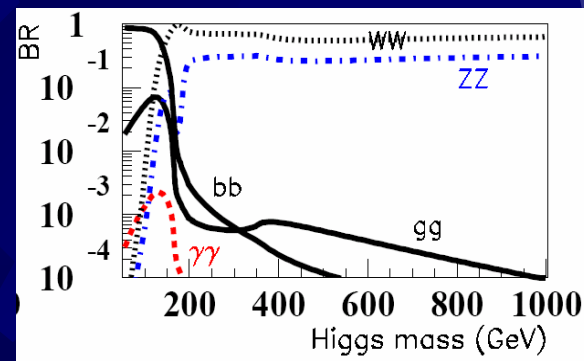
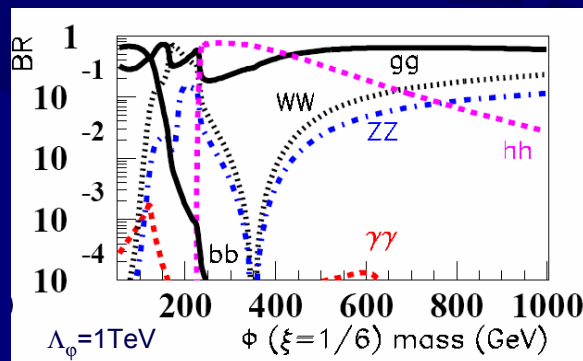
(distribuzione angolare)

Radione

- ★ Modelli RS possono includere l'esistenza di una particella graviscalare (radion, Φ) che "stabilizza" le dimensioni della ED senza necessita' di fine tuning dei parametri della teoria

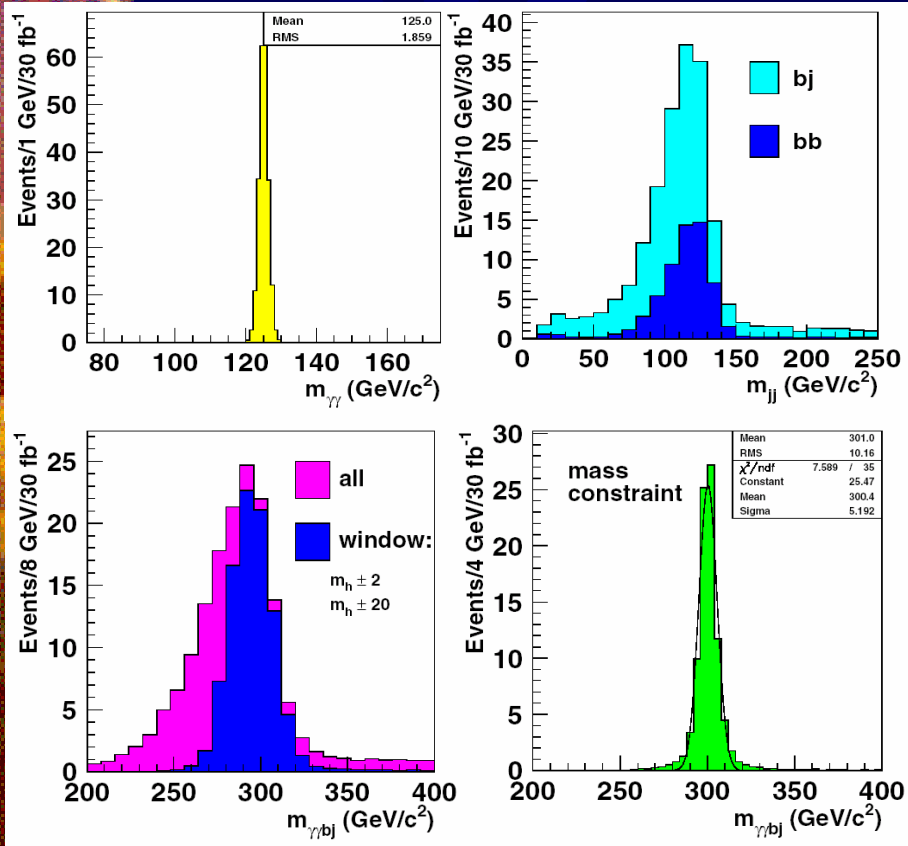
W.D. Goldberg, M.B. Wise, Phys. Rev. Lett. 83, 4922 (1999)

- ★ Tre parametri caratterizzano la fenom. del Φ
 - m_Φ (massa), Λ_Φ (VEV del Φ), ξ (mixing con l'Higgs)
- ★ Vari canali sono aperti ad LHC
 - $gg \rightarrow \Phi \rightarrow \gamma\gamma$; $\Phi \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$; $\Phi \rightarrow hh \rightarrow \gamma\gamma bb$; $\Phi \rightarrow hh \rightarrow \gamma\gamma\tau\tau$
 - $m_\Phi = (300, 600) \text{ GeV} \Rightarrow \text{CS} (58\text{pb}, 8\text{pb})$
- ★ La presenza del Φ e' una delle conseguenze piu' importanti delle teorie di ED a metrica curva



$\Phi \rightarrow hh \rightarrow \gamma\gamma bb$

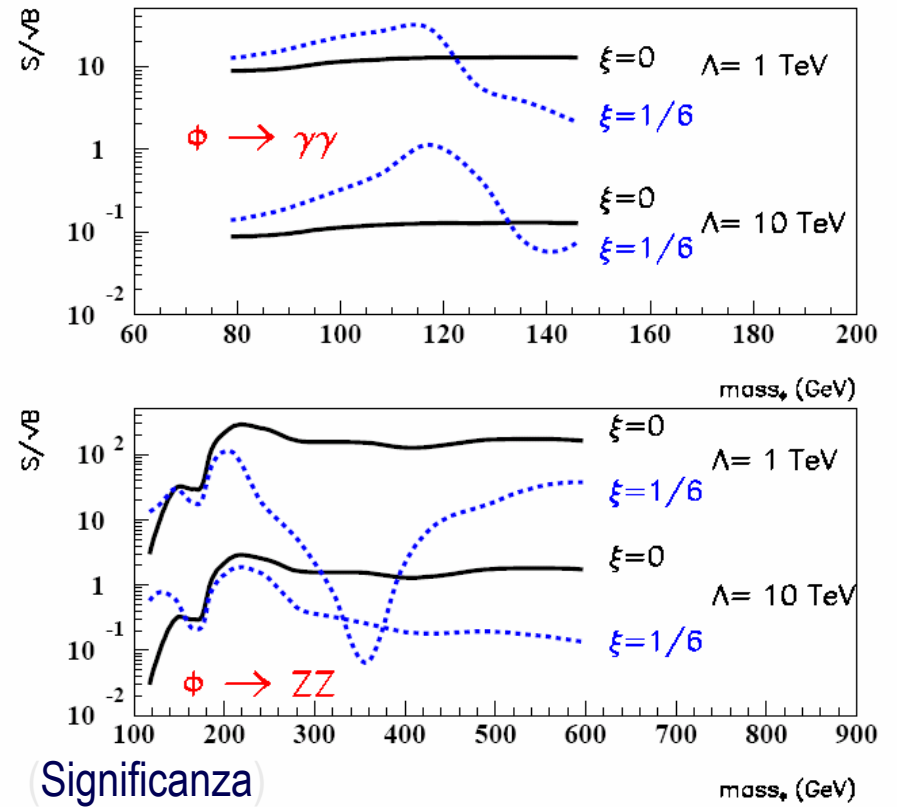
(30 fb⁻¹)



$M_h = 125 \text{ GeV}$

$\Phi \rightarrow \gamma\gamma; \Phi \rightarrow ZZ^{(*)}$

(100 fb⁻¹)



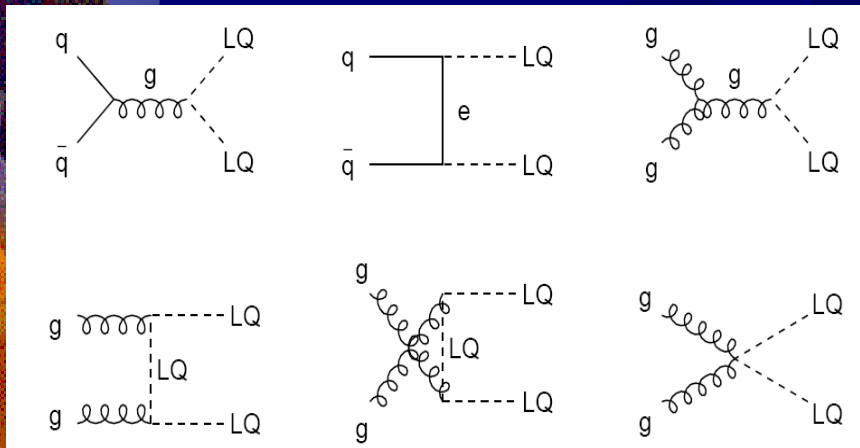
Misura a 5 σ possibile per ogni M_Φ se $\Lambda_\Phi \sim O(1 \text{ TeV})$

	$m_\phi = 300 \text{ GeV}$	$m_\phi = 600 \text{ GeV}$
$\xi = 0, \Lambda_\phi = 1 \text{ TeV}$	4	(43)
$\xi = 0, \Lambda_\phi = 10 \text{ TeV}$	(333)	N/A
$\xi = 1/6, \Lambda_\phi = 1 \text{ TeV}$	2	(57)
$\xi = 1/6, \Lambda_\phi = 10 \text{ TeV}$	(250)	N/A

- Luminosita' integrata minima (fb⁻¹) per la scoperta
- N/A non accessibile ad LHC
- in parentesi >30 fb⁻¹

Leptoquarks

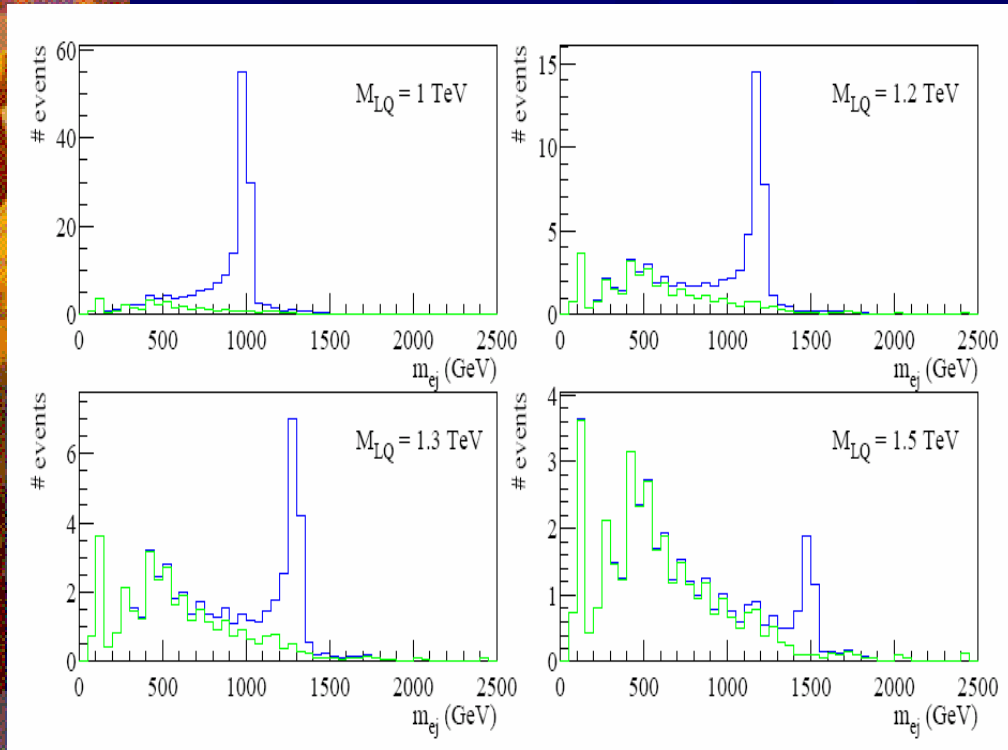
- ★ Teorie di Grande Unificazione, modelli compositi o technicolor, SUSY con violazione di R e modelli di superstringhe E6 prevedono tripletti di colore: leptoquarks (LQ)
- ★ LQ sono tripletti di colore ed interagiscono con quarks e leptoni
 - Accoppiamento di Yukawa con quarks & leptoni
 - 14 tipi di leptoquarks (diverso spin, numero fermionico, isospin, chiralita' e carica elettrica frazionale)
 - $LQ \rightarrow l q$; $LQ \rightarrow \nu q$



J. C. Pati and A. Salam, Phys. Rev. D 10 (1974) 275;
 Schrempp and F. Schrempp, Phys. Lett. B 153 (1985) 101;
 S. Dimopoulos and L. Susskind, Nucl. Phys. B155 (1979) 237;
 V. D. Angelopoulos et al., Nucl. Phys. B 292 (1987) 59
 A. F. Zarnecki, Eur. Phys. J. C 17 (2000) 695

Ricerca diretta di LQ

LQ-LQ → ll jet jet



(30 fb⁻¹)

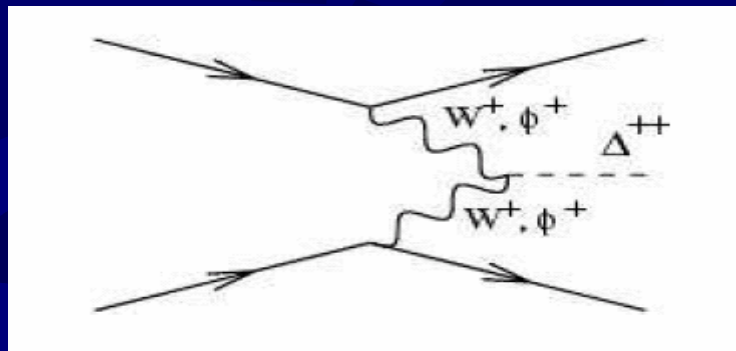
- 2 leptoni SF/OS
 - $p_T > 100$ GeV
 - $|\eta| < 2.5$
- 2 jets
 - $ET > 70$ GeV
 - $|\eta| < 2.5$
- $M_{ll} > 180$ GeV

Significanza (30 fb⁻¹)

M_{LQ} (TeV)	σ (fb)	Signal	Background	S/\sqrt{B}
1.0	4.96	98.5	2.84	58
1.2	1.33	22.0	2.43	14
1.3	0.713	12.8	1.44	11
1.5	0.223	3.62	0.376	5.9

Higgs e teorie LR simmetriche

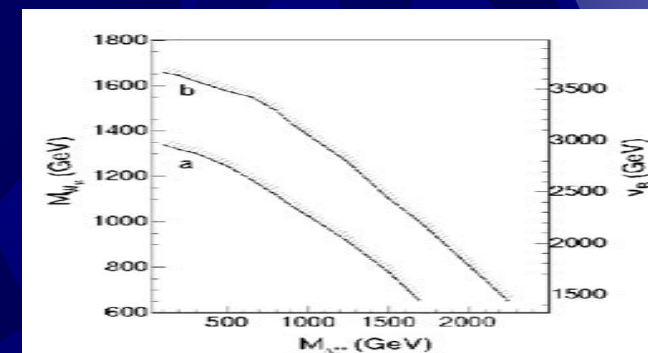
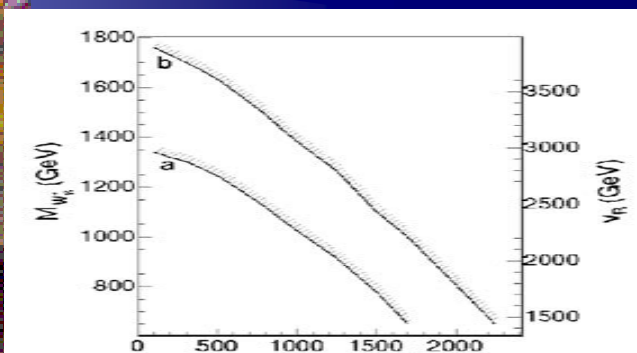
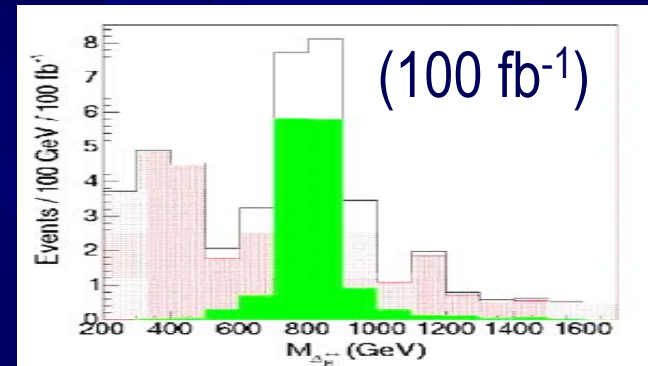
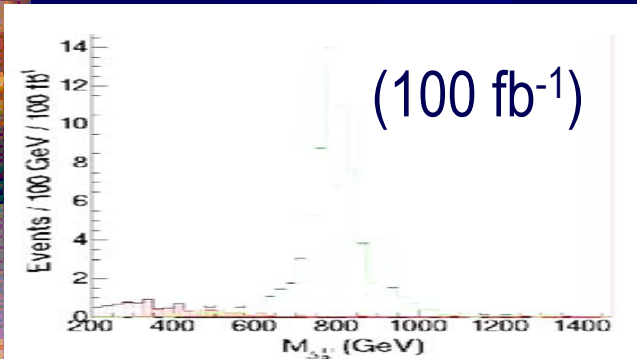
- ☀ Nello SM gli accoppiamenti sono unicamente di tipo Left.
- ☀ Usando un gruppo di gauge che includa il settore Right
⇔ LRSM (Left-Right Simmetric Model).
 - Si raddoppiano le particelle esistenti (W_R, Z_R, \dots)
 - neutrini acquisiscono massa
 - La rottura di simmetria avviene ad alte energie ad opera di un tripletto di higgs
 - $\Delta^0_{R,L}, \Delta^+_{R,L}, \Delta^{++}_{R,L}$



Ricerca diretta di Δ_{R}^{++}

$$\Delta_{R}^{++} \rightarrow e^{+}e^{+}, \mu^{+}\mu^{+}$$

$$\Delta_{R}^{++} \rightarrow \tau^{+}\tau^{+} \rightarrow l^{+}l^{+} + \cancel{p}_{T}$$



Sensitivita' ATLAS per $\Delta_{R}^{++} \rightarrow l^{+}l^{+}$, :
 a) 100 fb⁻¹;
 b) 300 fb⁻¹
 in Funzione di $m_{\Delta^{++}}$ e di $m_{W^{+}}$

Sensitivita' ATLAS per $\Delta_{R}^{++} \rightarrow \tau^{+}\tau^{+}$:
 a) 100 fb⁻¹;
 b) 300 fb⁻¹
 in Funzione di $m_{\Delta^{++}}$ e di $m_{W^{+}}$

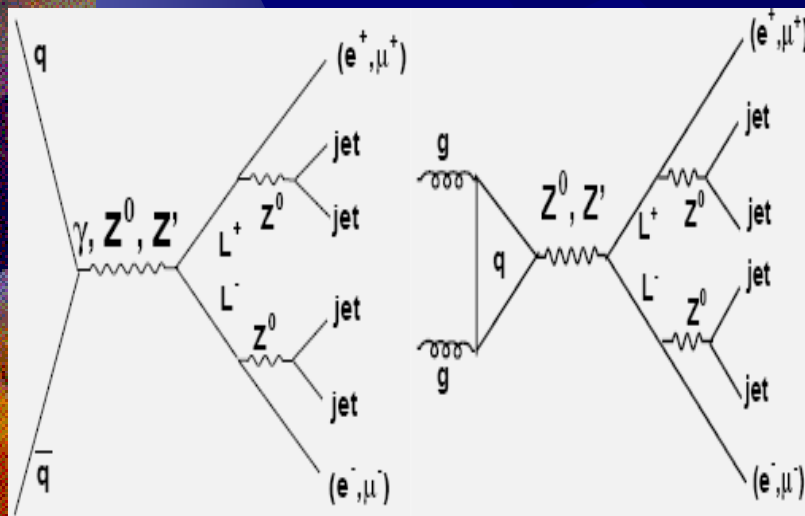
Risultati simili si ottengono dall' analisi dei decadimenti del Δ_{L}^{++}

Leptoni pesanti

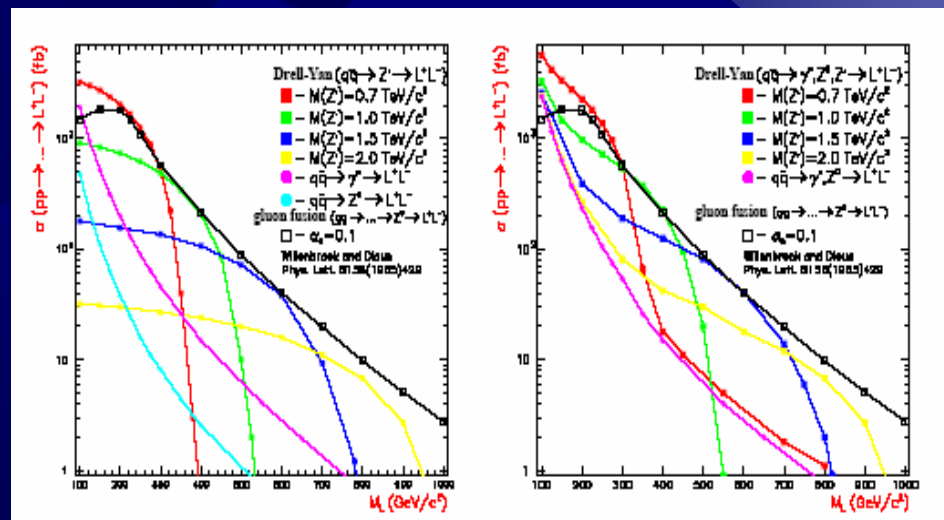
☀ Come nel caso dei leptoquark varie teorie con gruppi di gauge “allargati” prevedono l’esistenza di famiglie extra di leptoni (L) e bosoni pesanti (Z' , W')

- GUT, modelli compositi, LR, ..
- Vari tipi di leptoni con proprietà diverse

(Produzione di leptoni pesanti tramite scambio di bosoni pesanti)

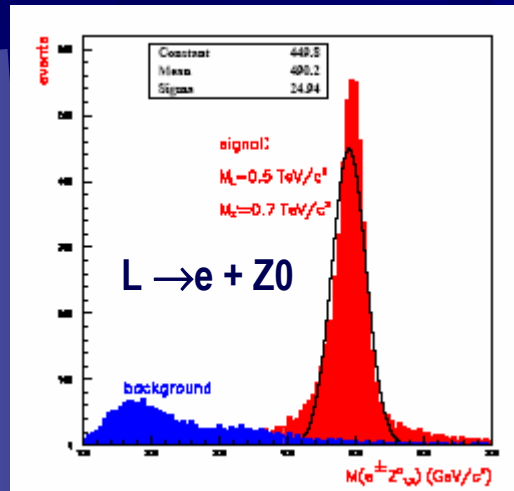


(Sezione d’urto per la produzione di due leptoni pesanti)



Ricerca diretta di leptoni pesanti

$M_L = 0.5 \text{ TeV}; M_{Z'} = 0.7 \text{ TeV}$



• 2 leptoni SF/OS

• $p_T > 20 \text{ GeV}$

• 4 jets

• $p_T > 20 \text{ GeV}$

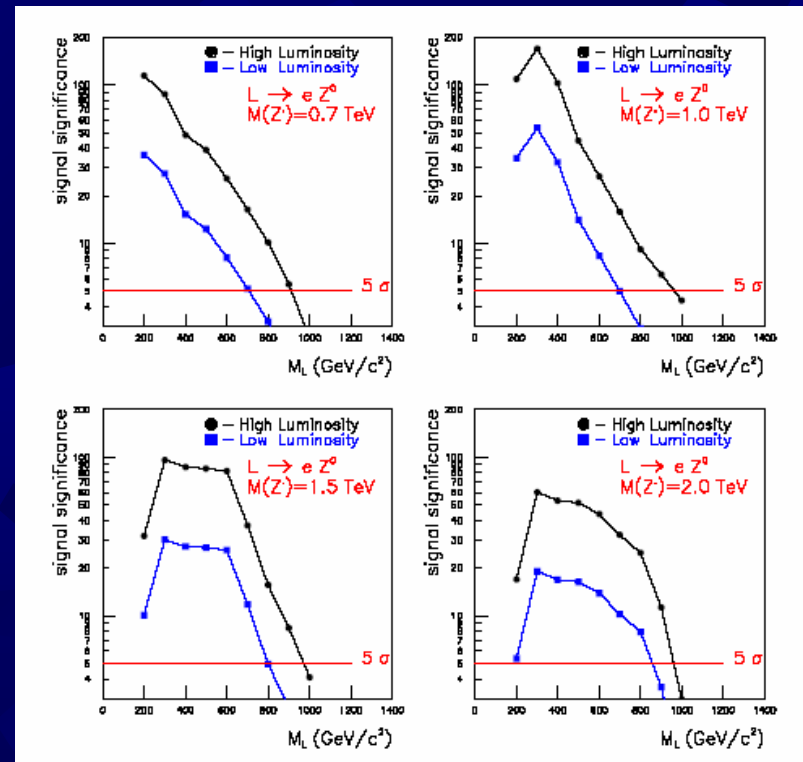
Limite a 5σ

100 fb^{-1} : $M_L^{(\text{max})} = 0.9 \text{ TeV}$

300 fb^{-1} : $M_L^{(\text{max})} = 1.0 \text{ TeV}$

$gg \rightarrow Z' \rightarrow L^+ L^- \rightarrow e^+ e^- + 4 \text{ jets}$

Significanza: a 30 fb^{-1} e 300 fb^{-1}



Conclusioni

- ✦ Vari modelli “esotici” sono stati presentati
- ✦ ATLAS sara' in grado di esplorare svariati scenari di fisica al di là del modello standard già nei primissimi anni di funzionamento
 - ✦ Sara' in grado di discriminare tra diversi modelli di ED.
 - ✦ ATLAS potra' evidenziare molti scenari di nuova fisica e discriminarli dalle ED.