

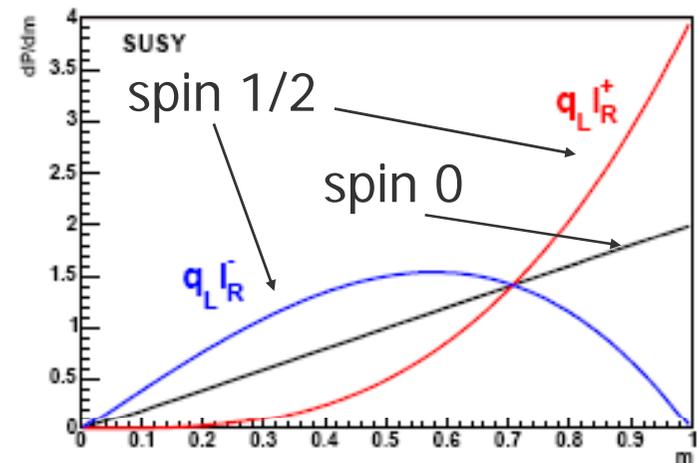
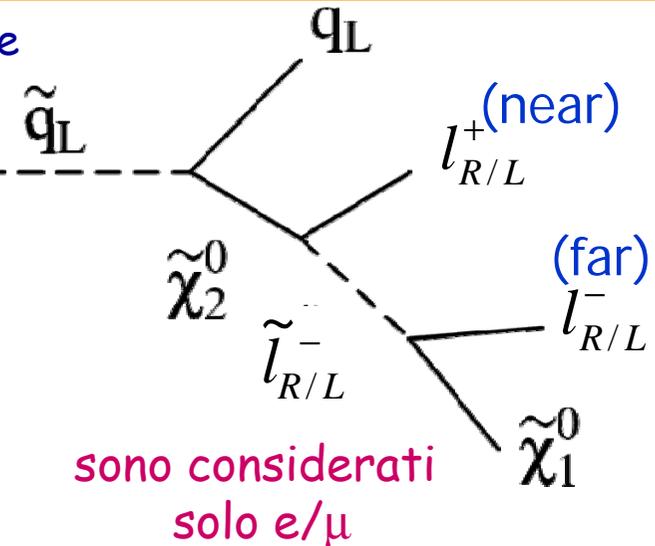
Misura Dello Spin del Neutralino ad LHC/ATLAS

M. Biglietti, I. Borjanovic, G. Carlino, F. Conventi,
E. Gorini, A. Migliaccio, E. Musto, M. Primavera, S.
Spagnolo, A. Ventura
Università e INFN, Lecce / Napoli

Spin del neutralino

- Uno dei primi obiettivi di LHC è quello di mettere in luce deviazioni dal Modello Standard attraverso lo studio di quantità inclusive
 - Una prima discriminazione dei modelli in gioco permetterà di stabilire le strategie di ricerca successive
- Nell'ipotesi che la SUSY venga scoperta è necessario caratterizzarla: misure di masse, spin.
- La cascata di decadimento dello squark left-handed rappresenta un buon canale per misurare lo **spin del neutralino**
- Il secondo neutralino ha spin $\frac{1}{2}$ \rightarrow anisotropia della distribuzione angolare dei prodotti di decadimento
 - non misurabile direttamente ma ...
- Asimmetria di carica :

$$A = \frac{s^+ - s^-}{s^+ + s^-} \quad s^\pm = \frac{d\sigma}{d(m_{l^\pm q})}$$

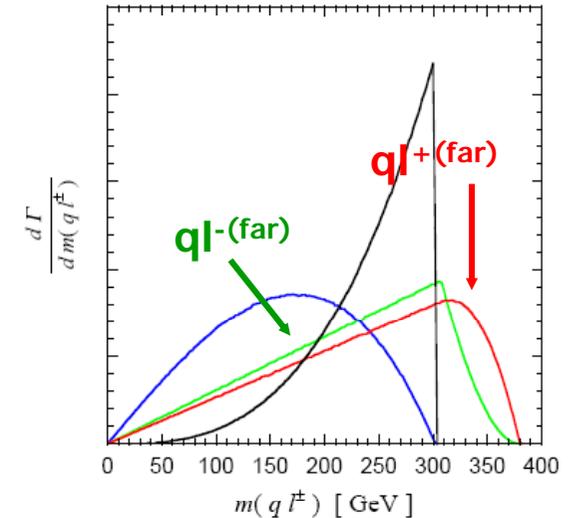


Difficoltà Sperimentali

L'asimmetria di carica è diluita poichè

1. In generale non è possibile distinguere sperimentalmente tra il leptone *near* e *far*

- si sommano le masse invarianti $m(q\ell^{\text{far}})$ e $m(q\ell^{\text{near}})$
- $m(q\ell^{\text{far}})$ possiede un'asimmetria di carica (minore)

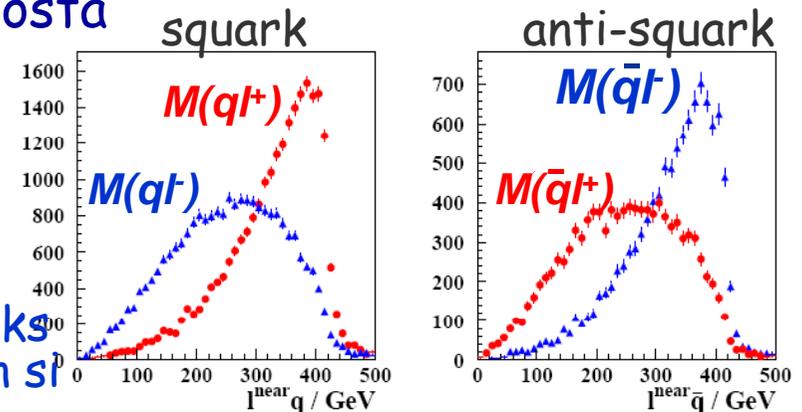


2. La cascata di decadimento C -coniugata (dall'anti-squark left-handed) porta ad un'asimmetria di carica uguale ed opposta

- ✦ Ad LHC i processi di produzione



- ✦ producono un numero maggiore di squarks che anti-squarks per cui l'asimmetria non si cancella esattamente



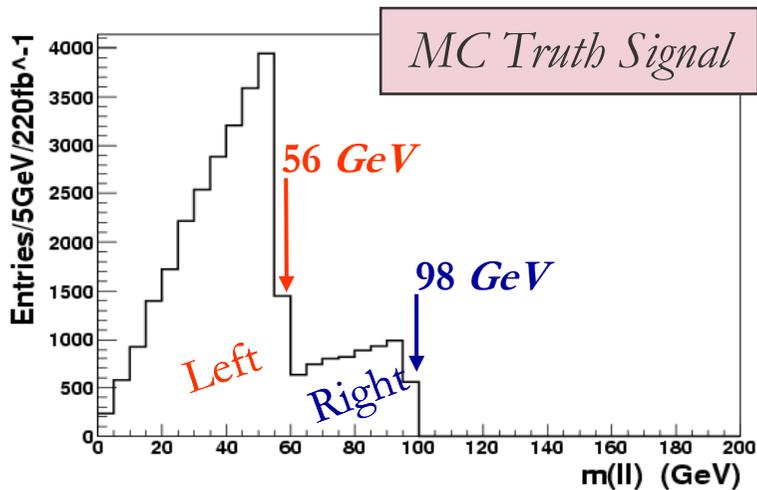
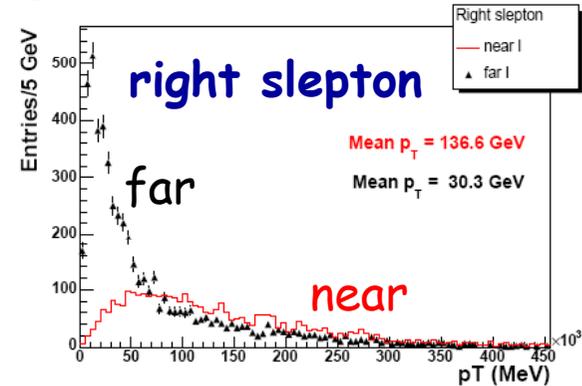
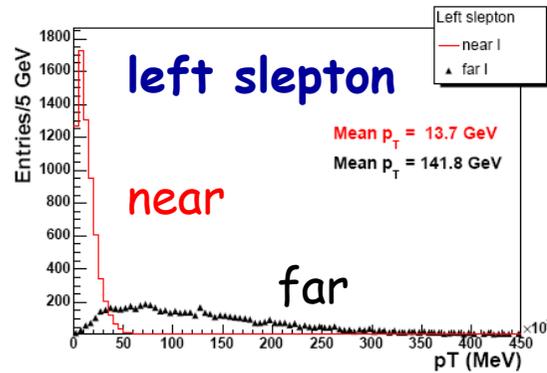
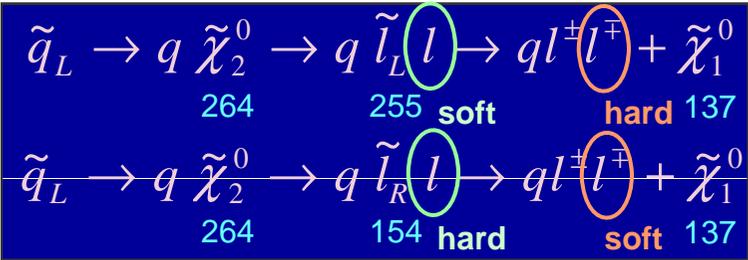
Campioni di Dati Analizzati

- Segnale (HERWIG 6.505 + ISAWIG, ISAJET 7.69/7.64)
 - ✦ Point SU1 - stau coannihilation point
 $m_0 = 70 \text{ GeV}$, $m_{1/2} = 350 \text{ GeV}$, $A_0 = 0 \text{ GeV}$
 $\tan(\beta) = 10$, $\text{sign}(\mu) = +$
 $\sigma_{LO} = 7.8 \text{ pb}$ (campione analizzato corrispondente a 100 fb^{-1})
 - ✦ Point SU3 - bulk region point
 $m_0 = 100 \text{ GeV}$, $m_{1/2} = 300 \text{ GeV}$, $A_0 = -300 \text{ GeV}$
 $\tan(\beta) = 6$, $\text{sign}(\mu) = +$
 $\sigma_{LO} = 19.3 \text{ pb}$ (campione analizzato corrispondente a 30 fb^{-1})
- SM Background (ALPGEN 2.0.5)
 - ✦ $t\bar{t}(W \rightarrow l\nu l\nu, W \rightarrow l\nu qq) + N \text{ jets}$
 - ✦ $W + N \text{ jets}$
 - ✦ $Z + N \text{ jets}$

Studio fatto utilizzando la simulazione veloce di ATLAS (**ATLFAST**) con i dati prodotti centralmente dalla collaborazione ATLAS + una produzione dedicata fatta con il Tier2 di Napoli

SU1 : stau - Coannihilation Point

- $\sigma_{LO} = 7.8 \text{ pb}$, il canale considerato rappresenta l' 1.6%
- Rapporto squarks/anti-squarks ~ 3.5
- Il $\tilde{\chi}^0_2$ è piu' pesante degli sleptoni left-handed e right-handed



• 2 endpoint cinematici nello spettro di massa invariante $m(l+l)$

• Le proprietà cinematiche della catena di decadimento permettono di distinguere tra leptone "near" e "far"

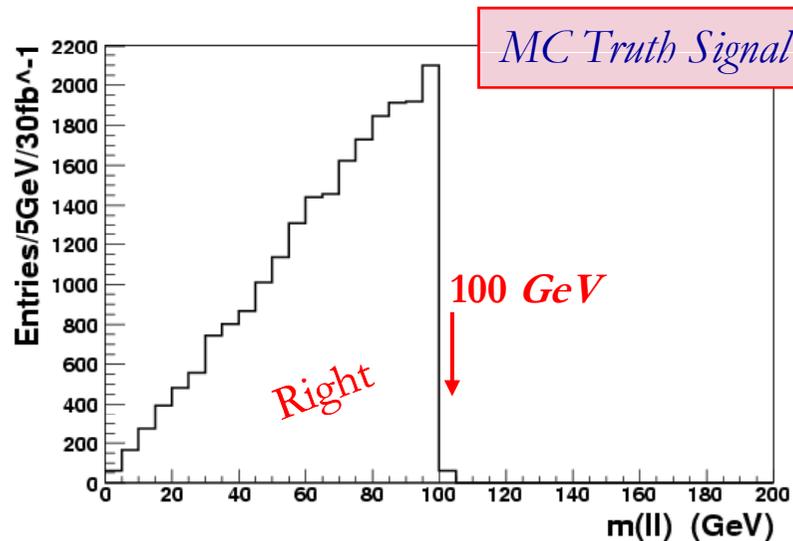
SU3 : Bulk Point

- $\sigma_{LO} = 19.3$ pb, il canale considerato rappresenta il 3.8%
- Rapporto squarks/anti-squarks ~ 3
- Il $\tilde{\chi}_2^0$ è piu' leggero dello sleptone left-handed

$$\tilde{q}_L \rightarrow q \tilde{\chi}_2^0 \rightarrow q \tilde{l}_R l^\pm \rightarrow ql^\pm l^\mp + \tilde{\chi}_1^0$$

219
155
118

Non è possibile distinguere tra leptone "near" e "far"



1 endpoint cinematico nello spettro di massa invariante $m(l+l^-)$

Le maggiore sezione d'urto ed il maggiore branching ratio del segnale rendono questo punto piu' significativo per la misura dell'asimmetria ⁶

Endpoint Cinematici

- Le tre particelle rivelabili danno luogo a endpoint cinematici :

- $$M_{l^+l^-}^{max} = \left[\frac{(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}_{L,R}}^2)(M_{\tilde{l}_{L,R}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)}{M_{\tilde{l}_{L,R}}^2} \right]^{1/2}$$

- $m(ql^+l^-) < 614 \text{ GeV (SU1), } 503 \text{ GeV (SU3)}$

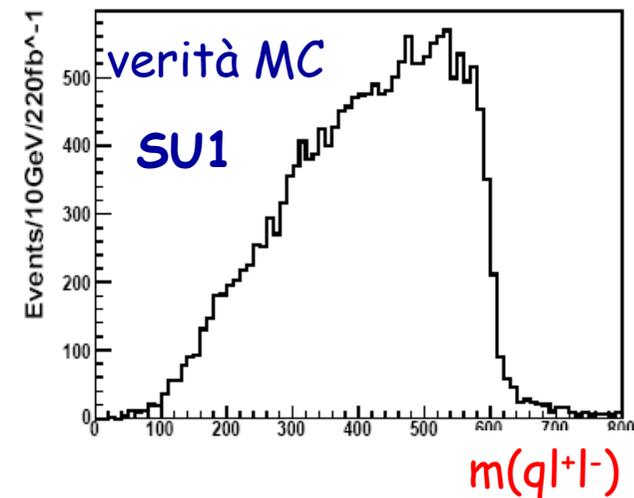
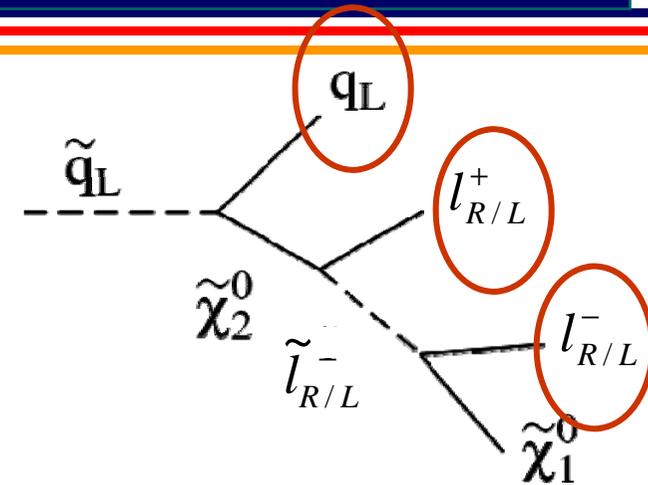
$$M_{l^+l^-q}^{max} = \left[\frac{(M_{\tilde{q}_L}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)}{M_{\tilde{\chi}_2^0}^2} \right]^{1/2}$$

- $m(ql^{near}) < 181 \text{ GeV (SU1, left), } 583 \text{ GeV (SU1, right), } 420 \text{ GeV (SU3)}$

$$M_{ql^{near}}^{max} = \left[\frac{(M_{\tilde{q}_L}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}_{L,R}}^2)}{M_{\tilde{\chi}_2^0}^2} \right]^{1/2}$$

- $m(ql^{far}) < 329 \text{ GeV (SU1, left), } 606 \text{ GeV (SU1, right), } 389 \text{ GeV (SU3)}$

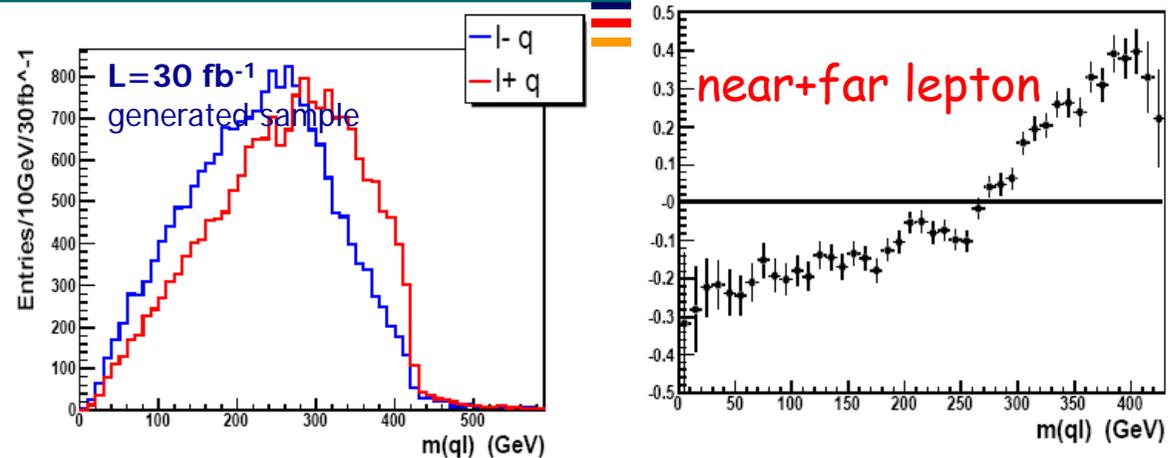
$$M_{ql^{far}}^{max} = \left[\frac{(M_{\tilde{q}_L}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)(M_{\tilde{l}_{L,R}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)}{M_{\tilde{l}_{L,R}}^2} \right]^{1/2}$$



Asimmetrie di Carica (Verità MC)

SU3

contributo di entrambi
i leptoni *near* e *far*



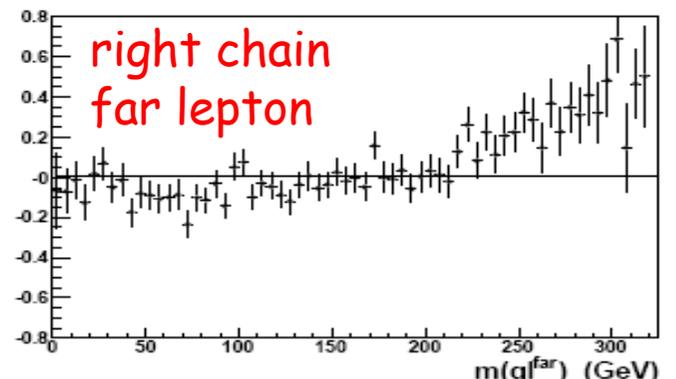
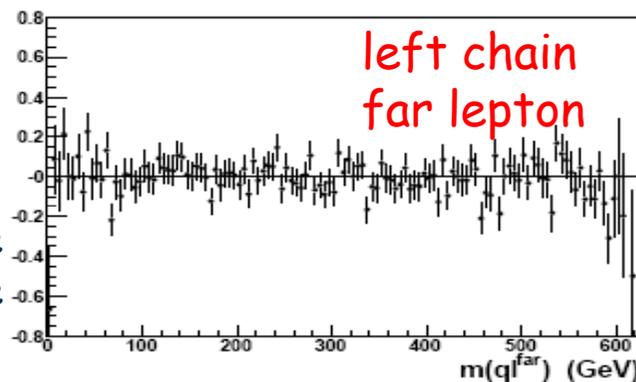
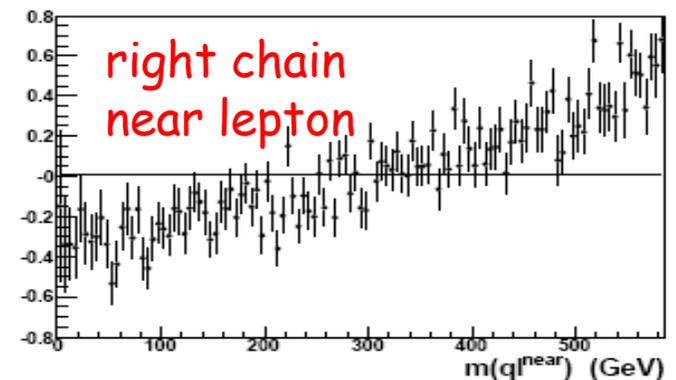
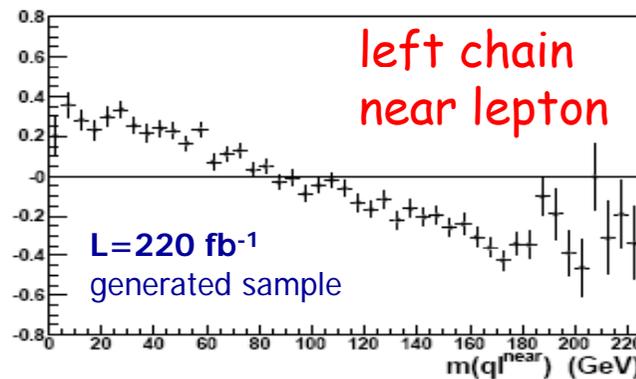
SU1

asimmetria dal leptone
far poco evidente

Rapporto L/R ~2

bkg da $Z \rightarrow ll$ correlato
nella catena right

il contributo piu'
significativo è dato dal
decadimento con lo sleptone
left, considerando il leptone
near



Background

- Sia da SUSY che da MS

- ✦ presenza di jet adronici + 2 leptoni SFOS (Same Flavour Opposite Sign)

- Classificazione

- ✦ fondo riducibile → SFOS non correlati

- ✦ possono essere valutati nelle distribuzioni di massa invariante attraverso lo studio di eventi con 2 leptoni OFOS (Opposite Flavour Opposite Sign)

- ✦ il background puo' essere ridotto applicando la sottrazione statistica SFOS-OFOS

$$\mu^+ \mu^- + e^+ e^- - \mu^\pm e^\mp$$

- ✦ fondo irriducibile → 2 leptoni SFOS correlati

- ✦ $Z \rightarrow \ell\ell$

$$\tilde{\chi}_i^0 \rightarrow \tilde{\chi}_j^0 Z \quad \tilde{\chi}_2^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_1^\pm Z$$

- ✦ secondo neutralino prodotto da accoppiamenti non chirali (\tilde{t}, \tilde{b}, g gaugini pesanti)

Selezione degli Eventi (I)

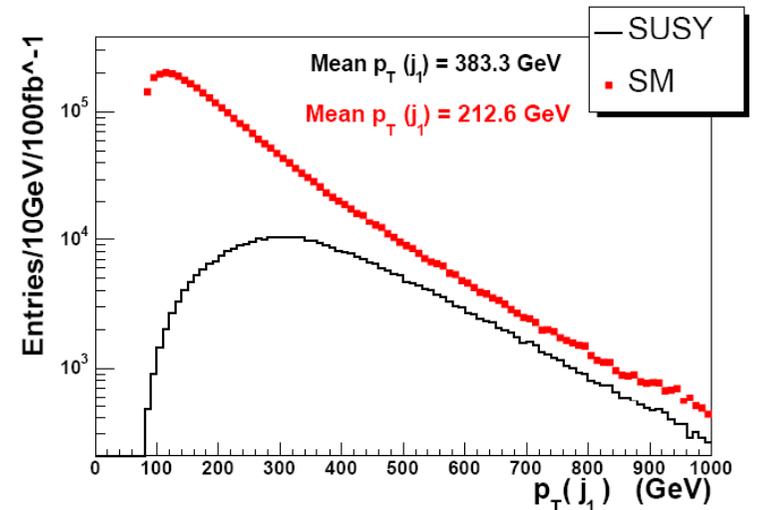
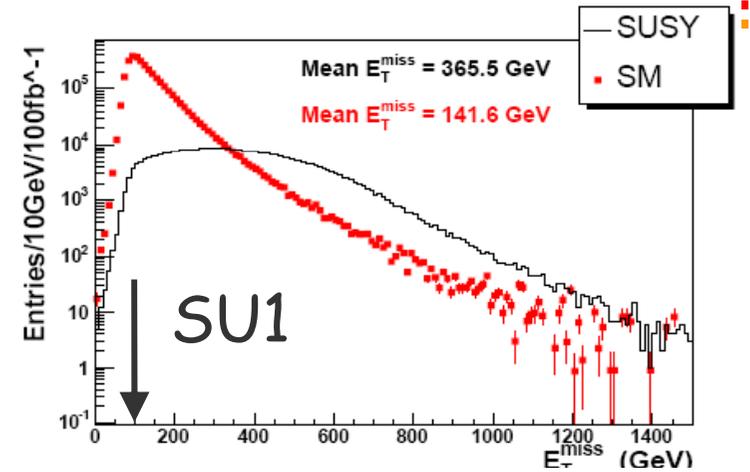
Reiezione del fondo di Modello Standard

- ✦ $E_T^{\text{miss}} > 100 \text{ GeV}$
- ✦ Almeno 4 jets
- ✦ $p_T(j_1) > 100 \text{ GeV}$,
- ✦ $p_T(j_i) > 50 \text{ GeV}$, $i=2,3,4$

Selezione di eventi con 2 leptoni isolati SFOS

- ✦ $p_T(l) > 6 \text{ GeV}$ (SU1), 10 GeV (SU3)
- ✦ $|\eta| < 2.5$, $E_T^{\text{isol}} < 10 \text{ GeV}$ in $\Delta R < 0.2$

Selezione di eventi con 2 leptoni OFOS isolati



Masse Invarianti Ricostruite

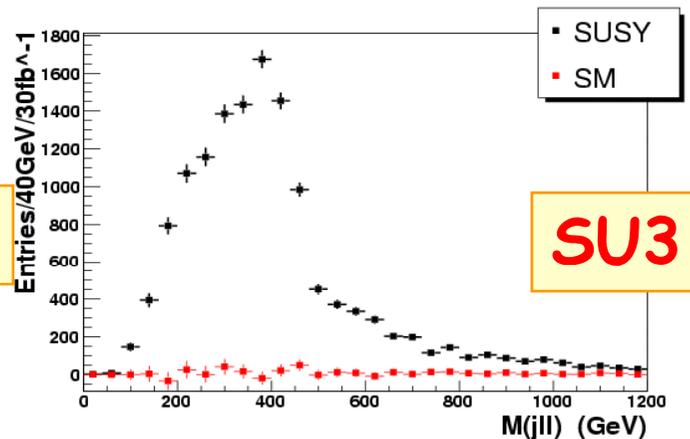
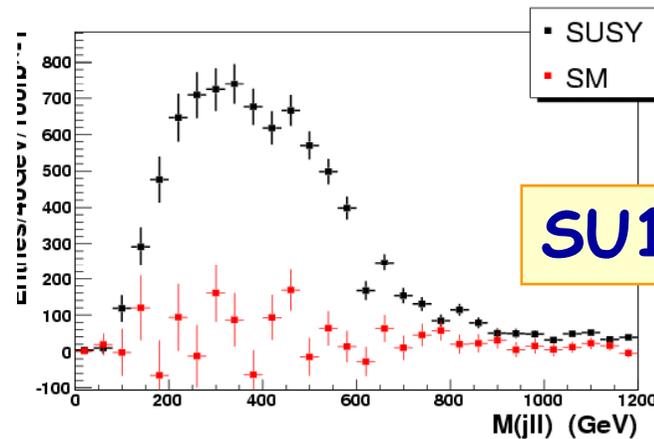
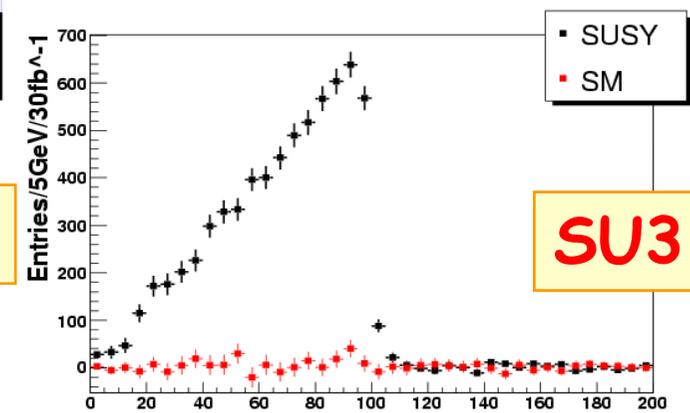
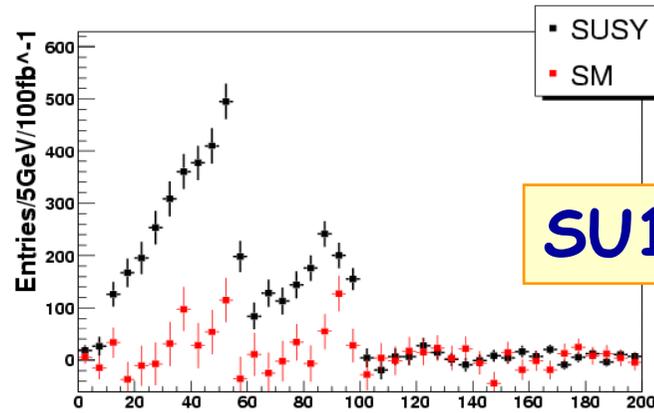
● $M(l\bar{l})$

✦ SFOS-OFOS

● $M(j\bar{j})$

✦ SFOS-OFOS

✦ Ottenuta sommando le masse invarianti determinate con i due jet più energetici $m(l\bar{j})_{high} + m(l\bar{j})_{low}$



La misura degli endpoint cinematici permette l'utilizzo di ulteriori tagli di selezione

- $m(l\bar{l}) < 100 \text{ GeV}$
- $m(j\bar{j}) < 615 \text{ GeV}$ (SU1)
- $< 500 \text{ GeV}$ (SU3)

Per SU1

- $m(l\bar{l}) < 57 \text{ GeV} \rightarrow$ sleptone left
- $57 \text{ GeV} < m(l\bar{l}) < 100 \text{ GeV} \rightarrow$ sleptone right

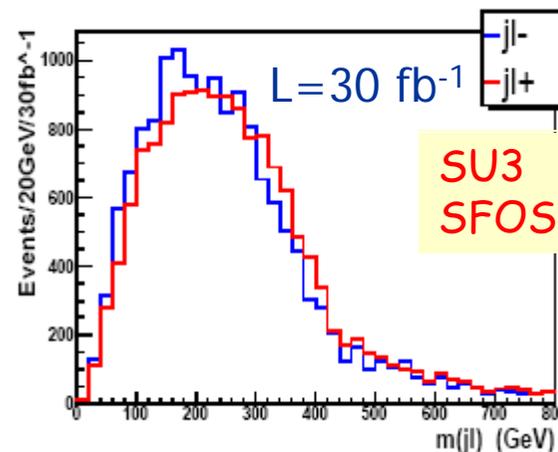
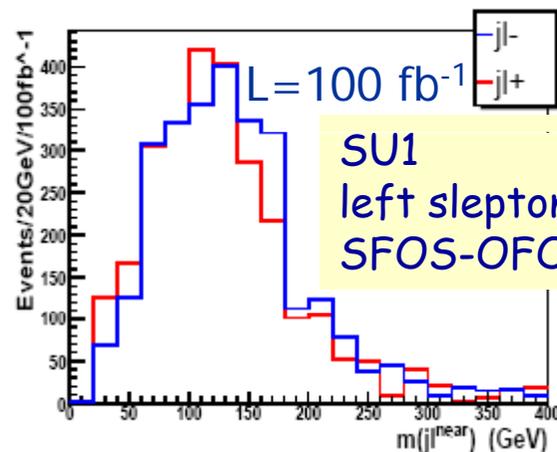
Efficienze e S/B

	Efficienza (SU1)	S/B (SU1)	Efficienza (SU3)	S/B (SU3)
Segnale	17%		20%	
SUSY bkg	0.94%	0.33	0.75%	1
tt+jets	$2.69 \cdot 10^{-4}$	0.18	$3.14 \cdot 10^{-4}$	0.9
W+jets	$1.4 \cdot 10^{-5}$	~ 16	$0.4 \cdot 10^{-5}$	~ 300
Z+jets	$1.1 \cdot 10^{-5}$	~ 12	$0.9 \cdot 10^{-5}$	~ 100

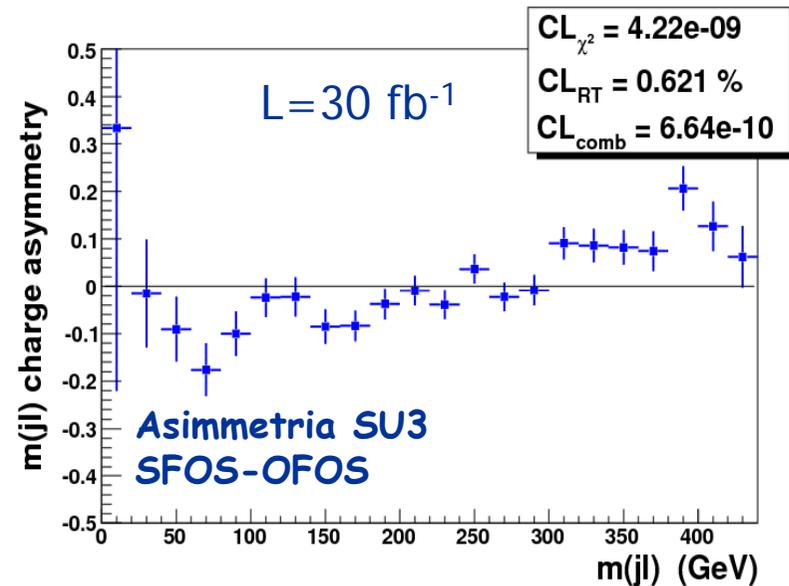
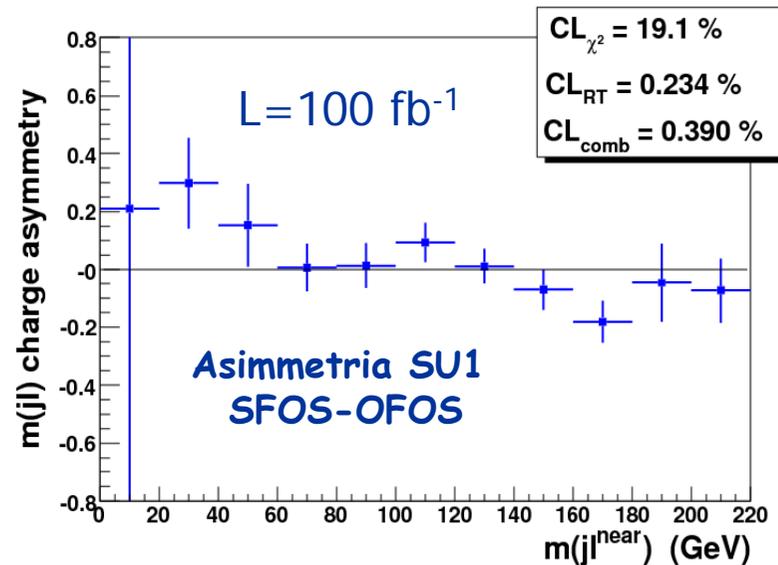
- Contributo alto dal fondo di SUSY
- $t\bar{t} + 2$ o piu' partoni rappresenta il fondo di MS dominante
- La sottrazione SFOS-OFOS permette di ridurre il fondo di SUSY di un fattore ~ 2 e il contributo al fondo dal MS diventa compatibile con zero

Asimmetrie di carica (I)

- Con gli eventi selezionati sono state formate le masse invarianti $m(jl^+)$ e $m(jl^-)$
 - ✦ ricostruita sommando le distribuzioni ottenute con i 2 jet con momento trasverso maggiore evento per evento
- La somma delle distribuzioni delle masse formate con il jet "high" e "low" ha l'effetto di aggiungere combinatori non correlati siccome in ogni evento (almeno) uno dei due jet è mal selezionato
 - ✦ Uno studio dedicato (vedi dopo) mostra che questo effetto non contribuisce significativamente a diluire l'asimmetria di carica



Asimmetrie di carica (II)



- 2 metodi statistici utilizzati per determinare la compatibilità delle asimmetria di carica con l'ipotesi di asimmetria zero
 - ✦ confronto con una funzione costante = 0 $\rightarrow CL_{\chi^2}$
 - ✦ Metodo del Run-Test che confronta il numero di "run" (coppie di punti adiacenti di segno opposto) con il numero di bins $\rightarrow CL_{RT}$
- I due metodi sono indipendenti e possono essere combinati $\rightarrow CL_{comb}$
- SU1 : con 100 fb^{-1} si ha che la distribuzione osservata è compatibile con l'ipotesi di asimmetria nulla con $CL < 1\%$
- SU3: 30 fb^{-1} sono sufficienti a rigettare l'ipotesi di asimmetria nulla

Effetti del Fondo sull'Asimmetria $m(jl^\pm)$

● Fondo SUSY e MS SFOS

- ✦ Non essendo del tutto soppressa la componente SFOS nella selezione finale, se ne deve valutare l'impatto sulla misura dell'asimmetria di carica.

● Fondo SUSY e MS OFOS

- ✦ Si deve controllare che la sottrazione SFOS-OFOS non introduca un bias nella misura, ovvero che l'asimmetria di carica dei leptoni OFOS sia nulla

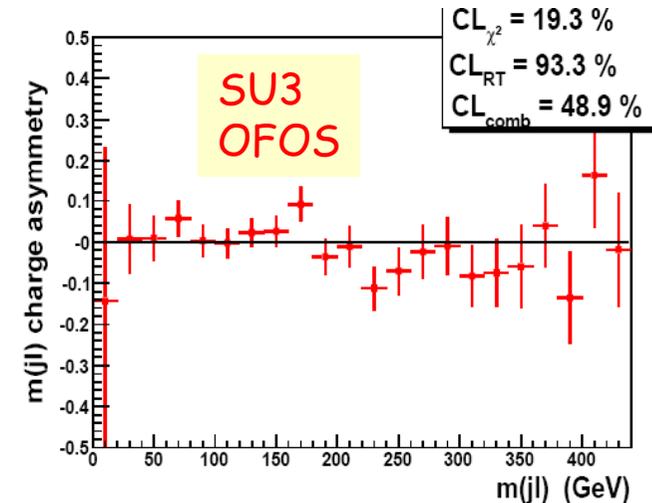
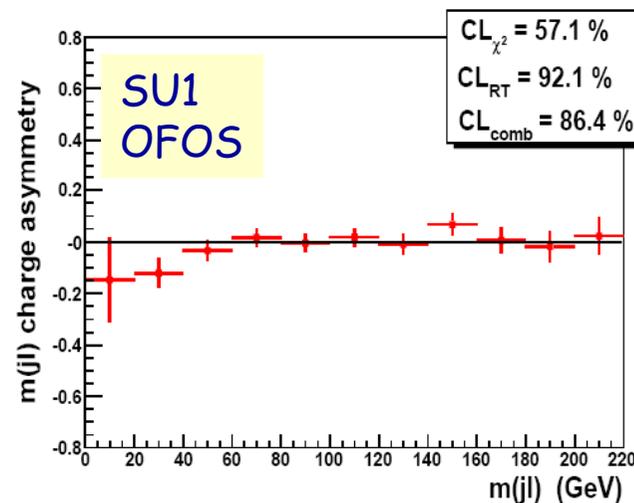
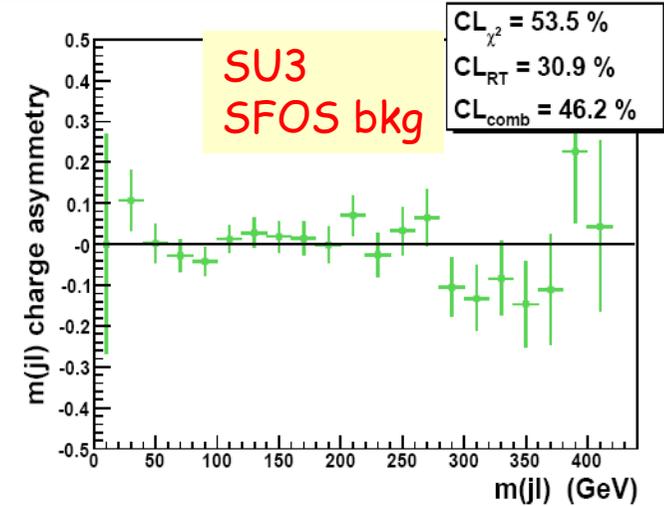
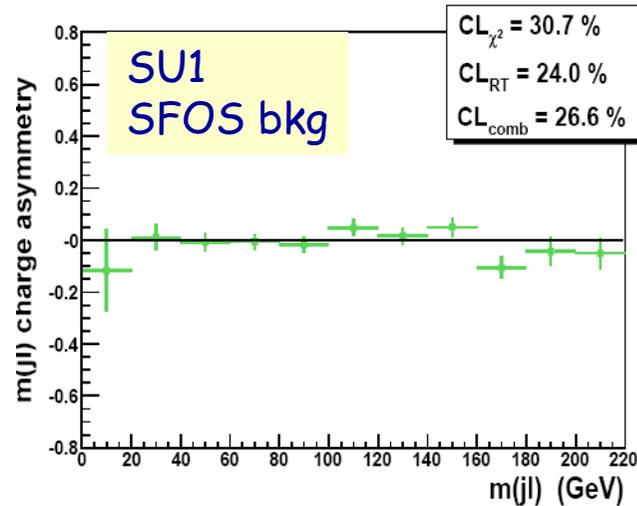
● Selezione del jet sbagliato in $m(jl^\pm)$

● Effetto dei leptoni da jet adronici

- ✦ valutato conservativamente simulando un effetto fino a tre volte più grande di quello ottenuto da ATLFAST.
- ✦ L'osservabilità dell'asimmetria non ne è risultata significativamente peggiorata

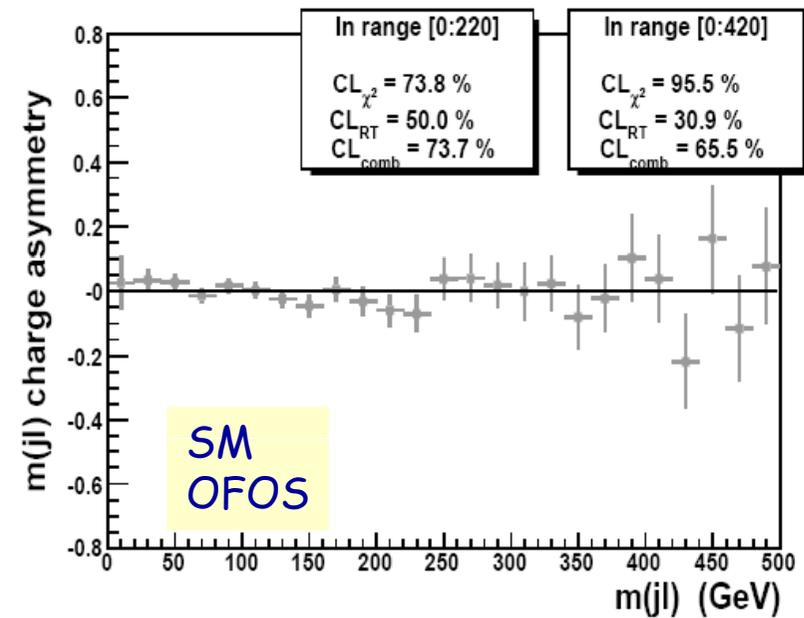
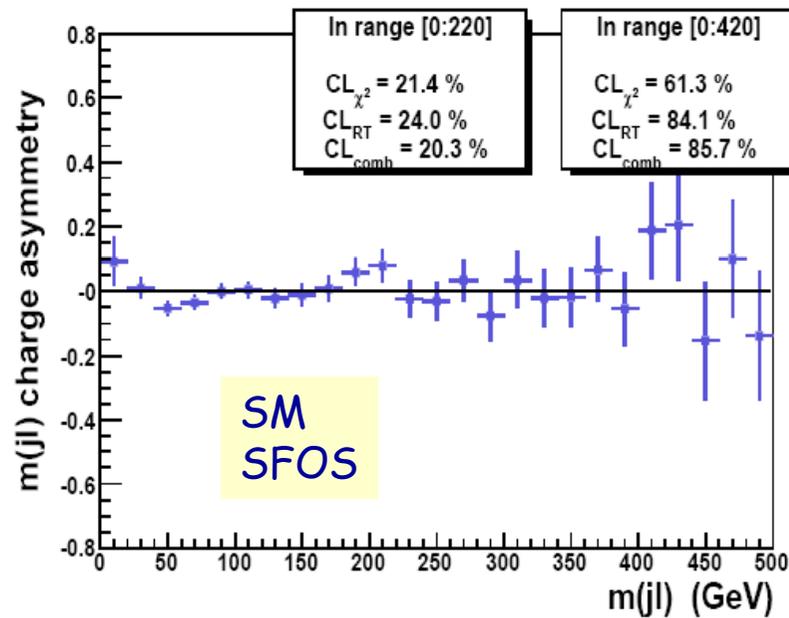
Studio del Background SUSY

- Il fondo da eventi SUSY non è trascurabile
 - $S/B = 0.33$ per SU1 e $S/B = 1$ per SU3
- E' necessario lo studio della componente SFOS nel fondo di SUSY
- La sottrazione della componente OFOS potrebbe alterare la misura dell'asimmetria per cui è necessario controllare che il contributo sia "flat"



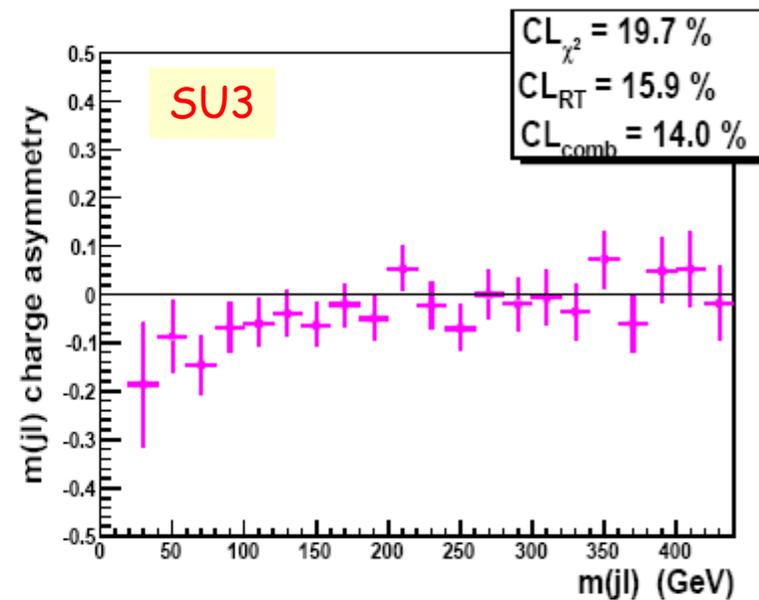
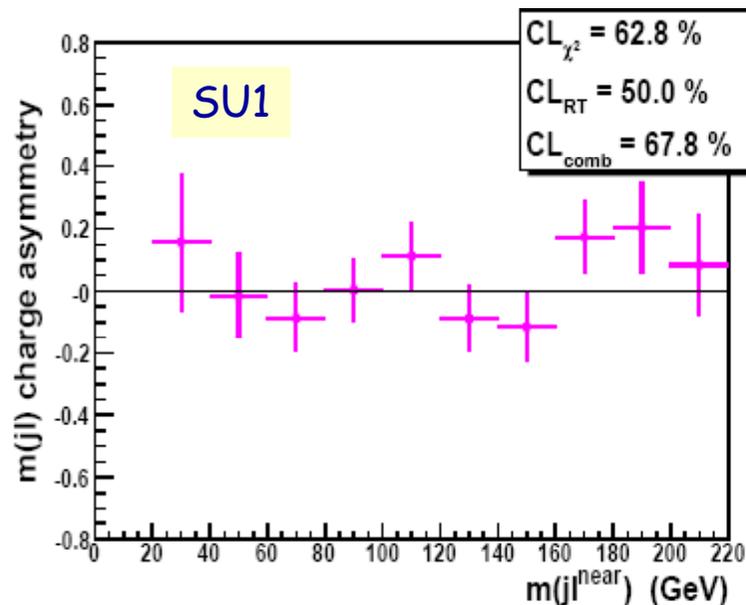
Effetto del Background di MS

- L'asimmetria di carica è stata studiata sia per la componente SFOS che OFOS
 - ✦ Test effettuati in entrambi i *range* di masse considerati efficaci per la misura delle asimmetrie in SU1 e SU3



Effetto del Fondo Adronico

- Sia in SU1 che in SU3, gli eventi selezionati con un jet sbagliato (rispetto al quark di segnale) non forniscono effetti rilevanti all'asimmetria $m(jl^\pm)$
- La selezione dei due jet di maggiore impulso trasverso porta ad includere almeno 1 jet sbagliato nelle asimmetrie: questa scelta risulta essere un compromesso accettabile per avere un'alta efficienza di selezione del segnale senza deteriorare significativamente l'asimmetria



Conclusioni

- Se SUSY sarà scoperta ad LHC bisognerà misurare lo spin delle nuove particelle per provare che esse sono realmente le super-particelle predette dalla teoria
- Il metodo usato in questa analisi su due punti **mSUGRA** (SU1 e SU3) mostra che è possibile misurare l'asimmetria di carica $m(q_l^\pm)$ legata allo spin del secondo neutralino
- L'asimmetria di carica è osservabile sperimentalmente con qualche fb^{-1} (in SU3) o con almeno 100fb^{-1} (in SU1).
- L'analisi deve essere ripetuta con simulazioni complete dell'esperimento ATLAS e per altri punti mSUGRA (in progress)
- Si stanno sviluppando nuove tecniche per rivelare le asimmetrie di carica e ridurre gli effetti del background



Back-up

Sezioni d'urto di Produzione & BR

SU1

Stati iniziali	$\sigma(\text{pb})$	%
$\tilde{q}_R \tilde{g}$	1.757	22
$\tilde{q}_L \tilde{g}$	1.620	21
$\tilde{q}_L \tilde{q}_R$	0.885	11
$\tilde{q}_R \tilde{q}_R$	0.779	10
$\tilde{q}_L \tilde{q}_L$	0.665	8
$\tilde{g} \tilde{g}$	0.554	7
$\tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_1^\pm$	0.258	3.3
$\tilde{b}_1 \tilde{b}_1$	0.160	2
$\tilde{\chi}_2^0 \tilde{q}_L$	0.154	2
$\tilde{\chi}_1^\pm \tilde{\chi}_1^\pm$	0.140	1.8
$\tilde{t}_1 \tilde{t}_1$	0.049	0.06
$\tilde{t}_2 \tilde{t}_2$	0.038	0.05
$\tilde{b}_2 \tilde{b}_2$	0.032	0.04
$\tilde{l} \tilde{l}$	0.015	0.02

SU3

Stati iniziali	$\sigma(\text{pb})$	%
$\tilde{q}_R \tilde{g}$	4.469	22.9
$\tilde{q}_L \tilde{g}$	4.426	22.7
$\tilde{q}_L \tilde{q}_R$	2.086	10.7
$\tilde{q}_R \tilde{q}_R$	1.833	9.4
$\tilde{q}_L \tilde{q}_L$	1.716	8.8
$\tilde{g} \tilde{g}$	1.540	7.9
$\tilde{t}_1 \tilde{t}_1$	0.872	4.5
$\tilde{\chi}_2^0 \tilde{\chi}_1^\pm$	0.507	2.6
$\tilde{\chi}_1^\pm \tilde{\chi}_1^\pm$	0.279	1.4
$\tilde{l} \tilde{l}$	0.230	1.2
$\tilde{\chi}_2^0 \tilde{q}_L$	0.195	1
$\tilde{b}_1 \tilde{b}_1$	0.156	0.8
$\tilde{b}_2 \tilde{b}_2$	0.109	0.6
$\tilde{t}_2 \tilde{t}_2$	0.068	0.4

$$\text{BR}(\tilde{q}_L \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 q) = 31.5\%; \quad \text{BR}(\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{l}_L l) = 6\%; \quad \text{BR}(\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{l}_R l) = 3\%; \quad \text{BR}(\tilde{q}_L \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 q) = 32\%; \quad \text{BR}(\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{l}_R l) = 17.6\%;$$

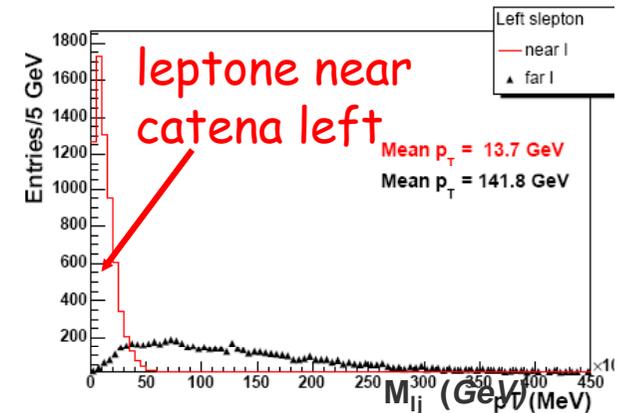
$$\text{BR}(\tilde{l}_{R,L} \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 l) = 100\%.$$

$$\text{BR}(\tilde{l}_R \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 l) = 100\%.$$

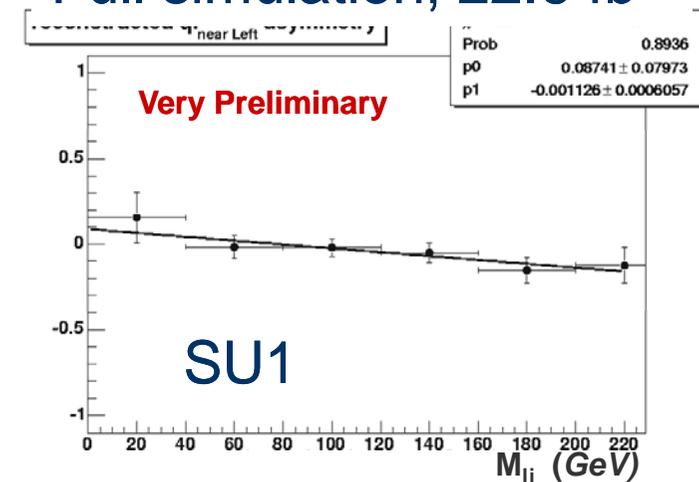
ATLAS Full Simulation

Effetti aggiuntivi vs simulazione veloce

- ✦ pileup, cavern background
- ✦ ricostruzione di elettroni/muoni soft
 - ✦ critico per alcuni punti mSUGRA, es. SU1
- ✦ leptoni fake, non isolati
- ✦ accettazione l^+l^-
- ✦ accettazione e/μ
 - ✦ sottrazione SFOS-OFOS
- ✦ Effetto realistico del Trigger



Full simulation, 22.6 fb⁻¹



SUSY vs. Universal Extra Dimensions

J. M. Smillie and B. R. Webber, *JHEP* (2005) 069, [[hep-ph/0507170](#)]

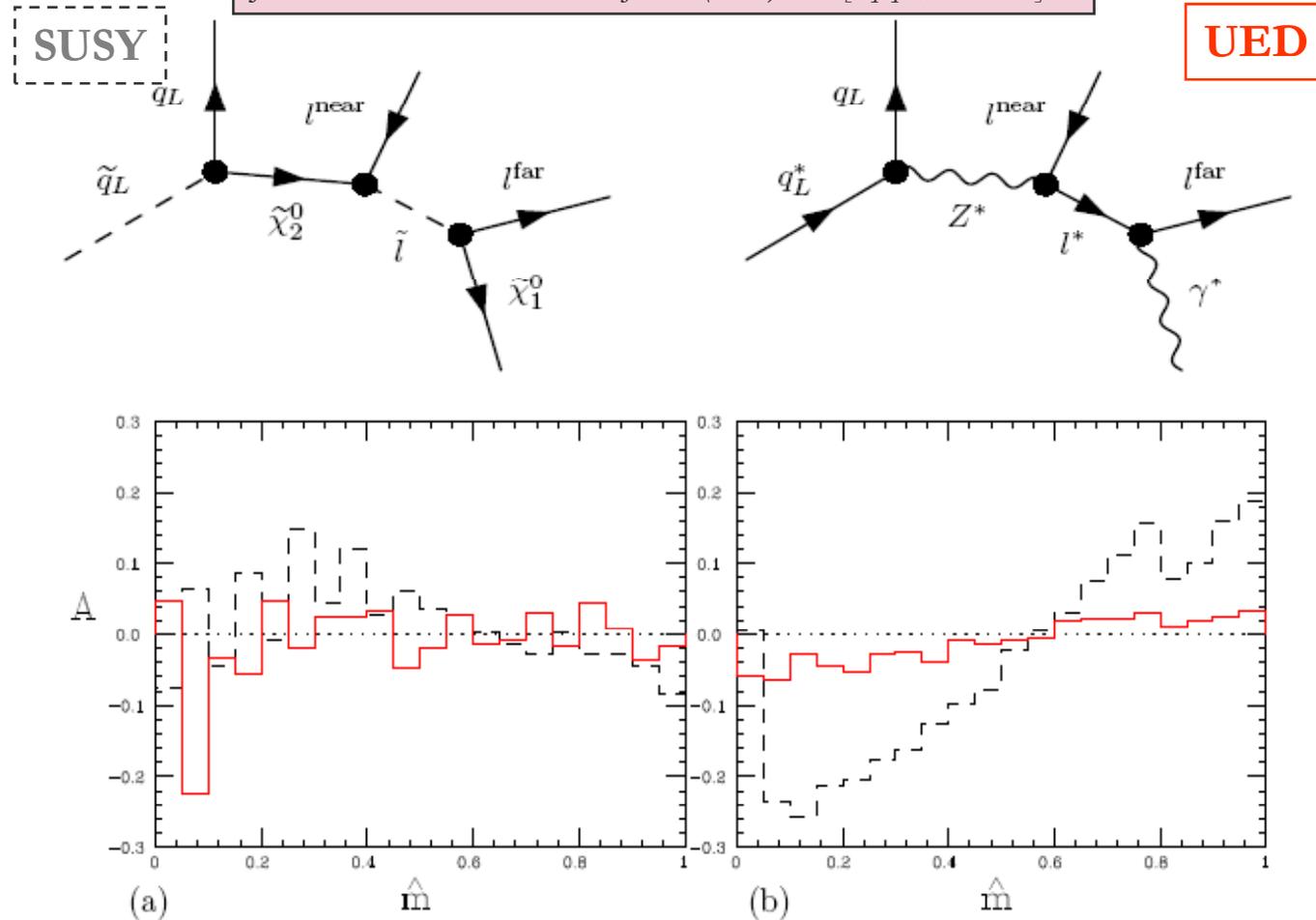


Figure 12: Detector-level charge asymmetries with respect to the jet + lepton rescaled invariant mass, for the (a) UED and (b) SUSY mass spectra given above. Dashed: SUSY. Solid/red: UED.

Validità del metodo in mSUGRA

B. C. Allanach and F. Mahomoudi, *hep-ph/0602198*

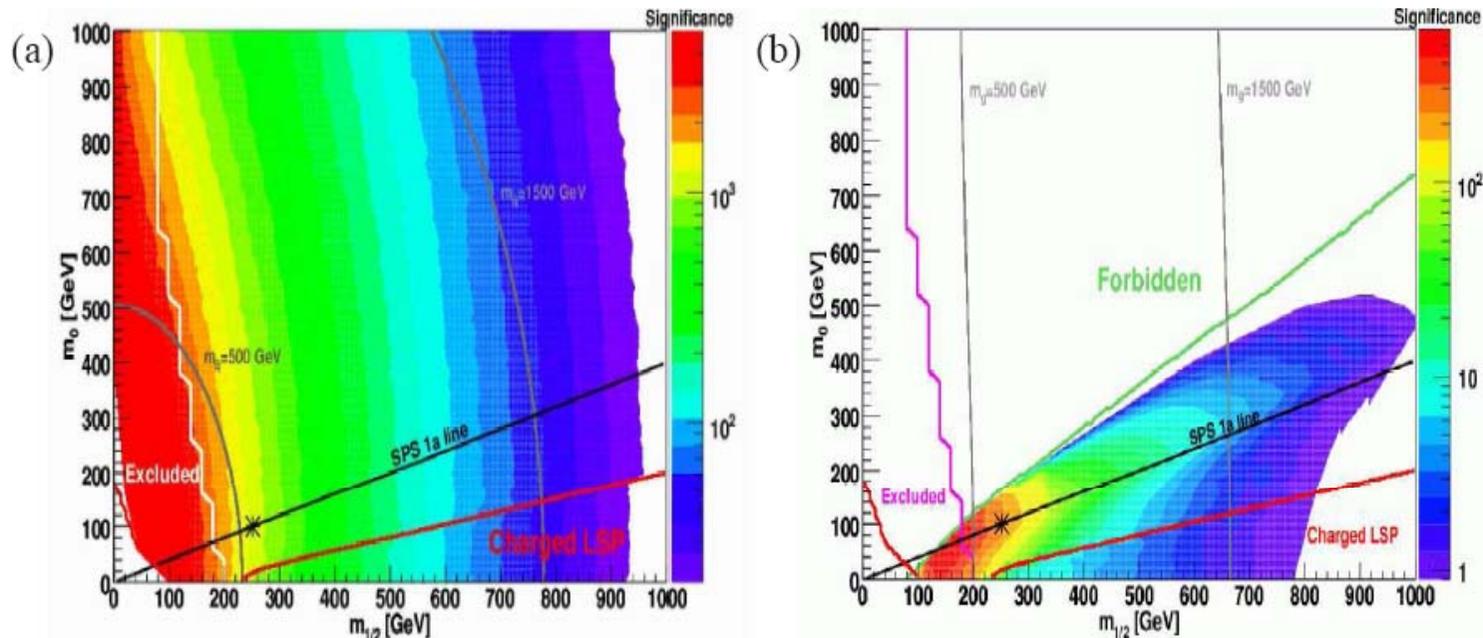
- Significanza "teorica"

$$S = \frac{Q - \bar{Q}}{\sqrt{Q + \bar{Q}}}$$

- Significanza della misura

$$\mathcal{S} = \sqrt{ab}S$$

- Scan in m_0 - $m_{1/2}$ ($A_0=m_0$, $\tan\beta=10$, $\mu>0$)



Misura dello Spin dello Sleptone ad LHC

A.J. Barr, *J. High Energy Phys.* 02 (2006) 042

- In alcuni punti dello spazio dei parametri mSUGRA il canale

$$\tilde{q}_L \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 q_L \rightarrow \tilde{l}_R^\pm l^\mp q_L$$

- è cinematicamente proibito o ha piccolo branching ratio
- Per misurare lo spin dello sleptone si puo' analizzare il canale

$$q\bar{q} \rightarrow Z^0/\gamma \rightarrow \tilde{l}^+\tilde{l}^- \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 l^+ \tilde{\chi}_1^0 l^-$$

$$\cos \theta_{ll}^* \equiv \cos \left(2 \tan^{-1} \exp(\Delta\eta_{l^+l^-}/2) \right)$$

