# Ricerche di Squarks e Sleptoni a LEP2

**L. Bellucci**
Università di Firenze

**27 Aprile 2000**
LEP Trieste

- Introduzione
- Ricerche di Sleptoni
- Ricerche di Squarks

| Particella | Sparticella | Nome |
|---|---|---|
| Fermioni | Bosoni | |
| $\ell = e, \mu, \tau, \nu$ | $\tilde{\ell}_R, \tilde{\ell}_L$ | sleptoni |
| $q = u, d, s, c, b, t$ | $\tilde{q}_R, \tilde{q}_L$ | squarks |
| Bosoni | Fermioni | |
| $g$ | $\tilde{g}$ | gluino |
| $\gamma$ | $\tilde{\gamma}$ | photino |
| $W^{\pm}$ | $\tilde{W}^{\pm}$ | wino |
| $Z$ | $\tilde{Z}$ | zino |
| $H_1^{\circ}$,$H_2^{\circ}$ | $\tilde{H}_1^{\circ}$,$\tilde{H}_2^{\circ}$ | higgsino |
| $H^{\pm}$ | $\tilde{H}^{\pm}$ | higgsino |
| $G$ | $\tilde{G}$ | gravitino |

Gaugino e Higgsino mixing per formare autostati di massa

Chargini: $\tilde{\chi}^{\pm}_{1,2}$ Neutralini: $\tilde{\chi}^{\circ}_{1,2,3,4}$

## ❖ Parametri del MSSM

| | | | |
|---|---|---|---|
| $m_A$ | $\tan\beta$ | | |
| $\mu$ | $A_t$ | $A_b$ | parametri di mixing (higgs, stop, bottom) |
| $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | parametri di massa dei gaugini |
| $M_{\tilde{l}}$ | $M_{\tilde{q}}$ | | masse di sleptoni e squarks |
| ... | | | |

## ❖ MSSM condizionato

- $M_1$, $M_2$, $M_2$ unificate alla scala GUT ➡ $m_{\frac{1}{2}}$
- Unificazione delle masse delle particelle scalari alla scala GUT ➡ $m_0$
  Le masse degli scalari e dei gaugini sono correlate

$$\tan\beta,\ m_0,\ m_{\frac{1}{2}},\ A_0,\ \mu$$

## R parità conservata

- Le sparticelle sono prodotte in coppie e decadono nel partner dello SM e nella LSP
- Le sparticelle decadono in altre sparticelle
- La LSP è stabile e interagisce debolmente
- La LSP non viene rivelata

⇓

## Energia e impulso mancanti

La topologia degli eventi ed il fondo dipendono dalla quantità:

$$\Delta M = M_{sparticle} - M_{LSP}$$

## *Segnale e fondo*

| $\Delta M$ ($\simeq$ Energia Visibile) | **Fondo** | **Variabili Discriminanti** |
|---|---|---|
| >50 GeV | WW ($\uparrow \sqrt{s}$)<br>We$\nu$<br>ZZ | energia e massa visibile<br>impulso dei leptoni |
| $\simeq$ 30 GeV | $Z/\gamma^* \to f\bar{f}(\gamma)$ | impulso mancante<br>acoplanarità |
| 3-10 GeV | Fisica<br>due fotoni | impulso trasverso mancante<br>acoplanarità |

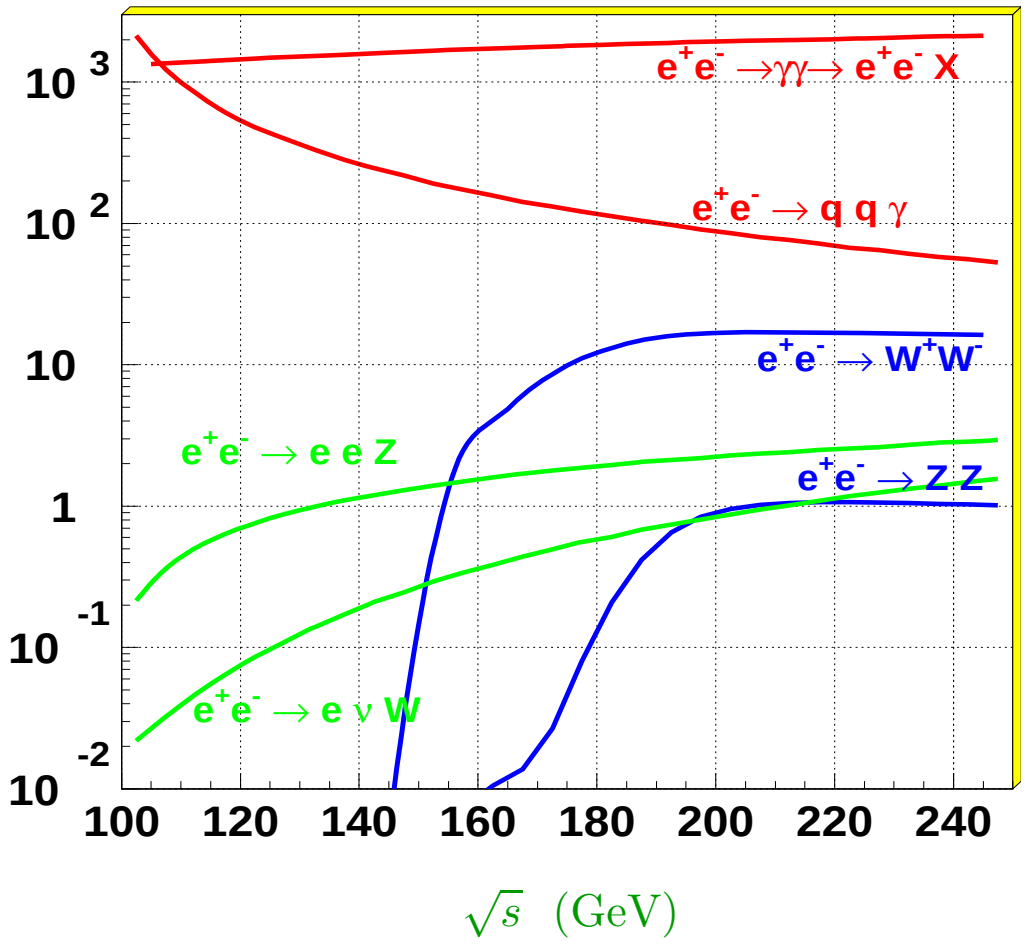
## ALEPH, DELPHI, L3, OPAL

| Year | $\sqrt{s}$ | $\mathcal{L}$ / Experiment |
|---|---|---|
| 1995 | 130–136 GeV | $\approx 6$ pb$^{-1}$ |
| 1996 | 161–172 GeV | $\approx 21$ pb$^{-1}$ |
| 1997 | 181–184 GeV | $\approx 56$ pb$^{-1}$ |
| 1998 | 189 GeV | $\approx 170$ pb$^{-1}$ |
| 1999 | 192–202 GeV | $\approx 240$ pb$^{-1}$ |

Tutti i risultati sono preliminari
ed ottenuti con i dati fino al 1999

Limiti calcolati al 95% C.L.

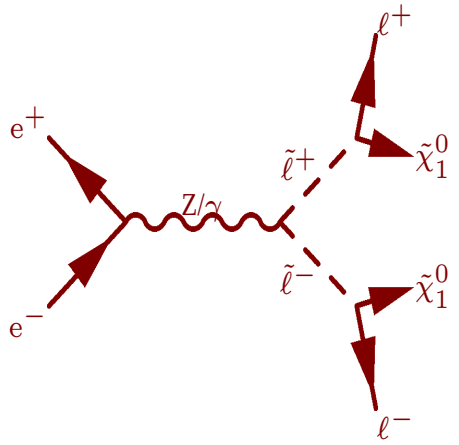
# *Processi di Fondo*



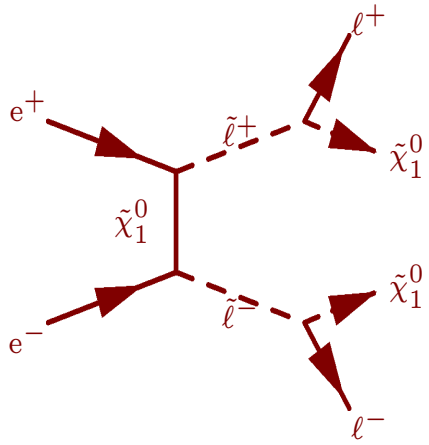

- $e^+e^-f\bar{f}$ è il fondo dominante per piccoli $\Delta M$
- WW e We$\nu$ sono i fondi dominanti per grandi $\Delta M$

## *Sleptoni*

$e^+e^- \to \tilde{\ell}^+_{L;R}\tilde{\ell}^-_{L;R}$




$e^+e^- \to \tilde{e}^+_{L;R}\tilde{e}^-_{R;L}$




### Caratteristiche degli eventi

- Due leptoni della stessa famiglia acoplanari
- Massa mancante
- impulso trasverso mancante

## Grandezze utilizzate nella selezione

- Energia visibile
- impulso trasverso
- impulso mancante
- Numero di tracce e cluster calorimetrici
- Numero di leptoni identificati
- Energia ed impulso dei leptoni
- Acollinearità e acoplanarità dei leptoni

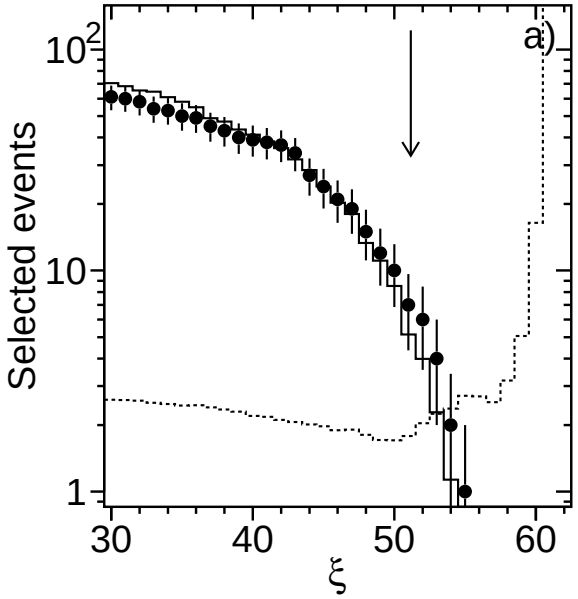
**Selezione ottimizzata per diversi range di $\Delta M$.**

**L'ottimizzazione avviene tramite il parametro $\xi$.**

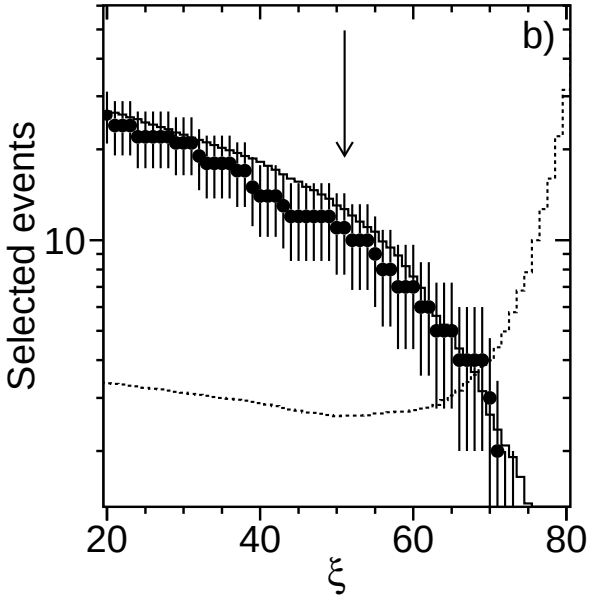
$$X^i_{cut} = X^i_{min} + (X^i_{max} - X^i_{min}) * \frac{\xi}{100}$$

## *Selezione a L3*

piccolo $\Delta M$




grande $\Delta M$




| | Basso $\Delta$ M | | Medio $\Delta$ M | | Alto $\Delta$ M | | Combinato | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_{data}$ | $N_{exp}$ | $N_{data}$ | $N_{exp}$ | $N_{data}$ | $N_{exp}$ | $N_{data}$ | $N_{exp}$ |
| $\tilde{e}$ | 47 | 40.4 | 10 | 12.9 | 24 | 24.5 | 76 | 68.9 |
| $\tilde{\mu}$ | 72 | 66.4 | 20 | 16.7 | 48 | 40.1 | 123 | 109.7 |
| $\tilde{\tau}$ | 191 | 205.2 | 72 | 62.5 | 41 | 33.7 | 226 | 228.9 |

## *Sleptoni*

I dati osservati sono in accordo con il fondo aspettato per $\tilde{e}$ e $\tilde{\mu}$ per i quattro esperimenti di LEP.

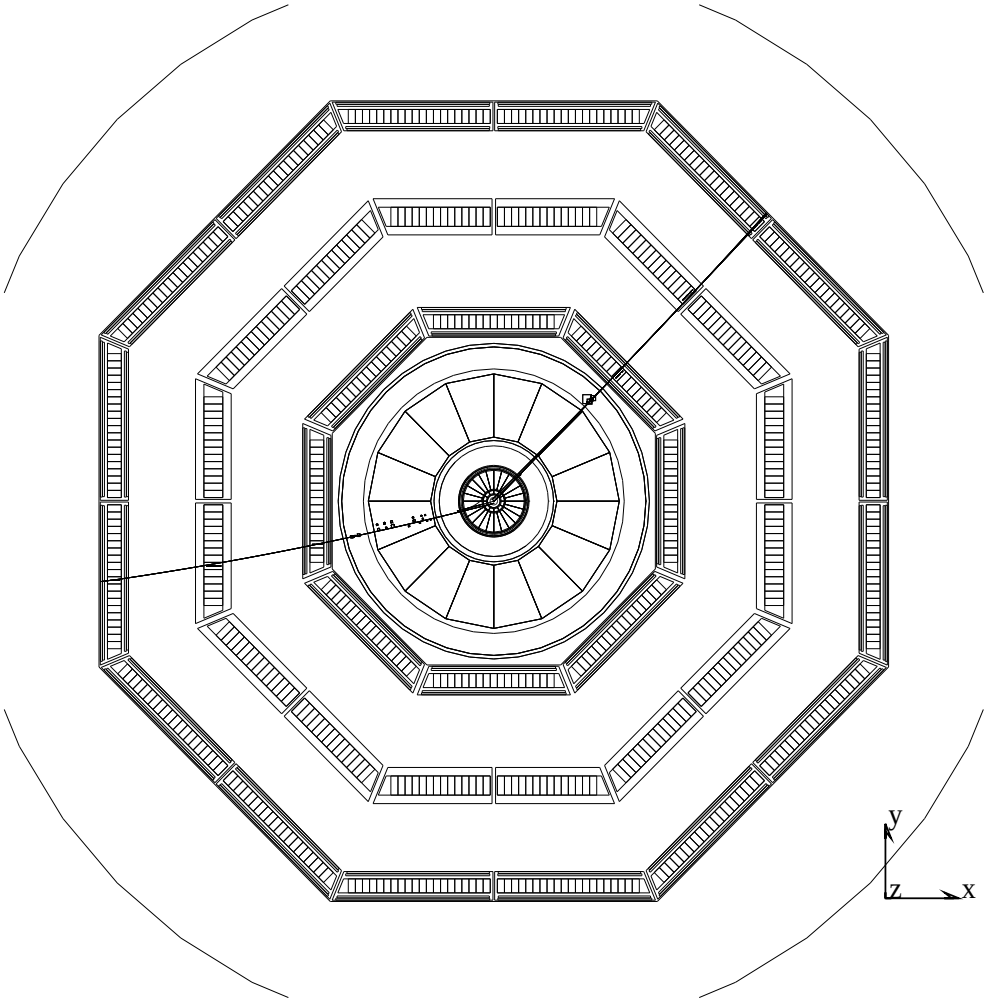
Si misura un lieve eccesso per i quattro esperimenti nella produzione dello $\tilde{\tau}$.

**Vengono derivati i limiti:**

- Su $\sigma \mathrm{x} BR^2$, indipendente dal modello
- nel piano $M_{\tilde{\chi}} - M_{\tilde{\mathrm{l}}}$ per il modello MSSM.

# *Candidato smuone L3*

**Run # 755104 Event # 1194** Total Energy : 69.31 GeV



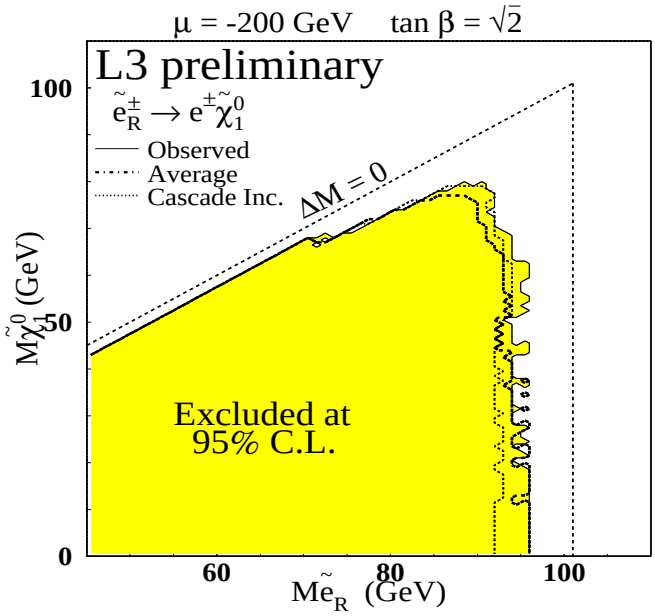

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Transverse Imbalance :** | .6543 | | **Longitudinal Imbalance :** | .1887 | |
| **Thrust :** | .9814 | **Major :** | .1428 | **Minor :** | .0013 |
| **Event DAQ Time :** | *990708 84421* | | | | |

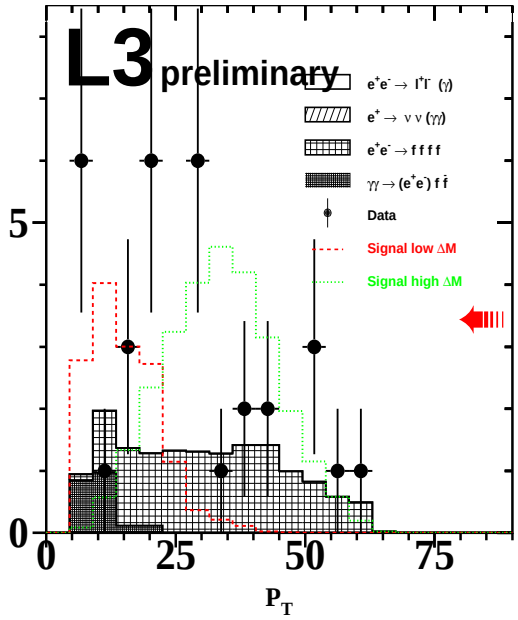
# Selettroni L3

$\tilde{e}_R^+\tilde{e}_R^- \rightarrow e^+e^- + E_{miss}$

Data 76

MC 68.9



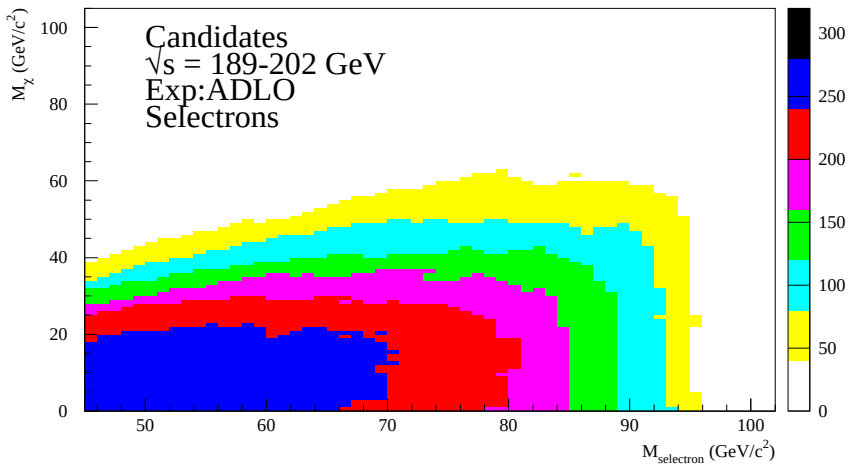

$\tilde{e}_L^+\tilde{e}_R^- \rightarrow e^+ + soft\,syst. + E_{miss}$

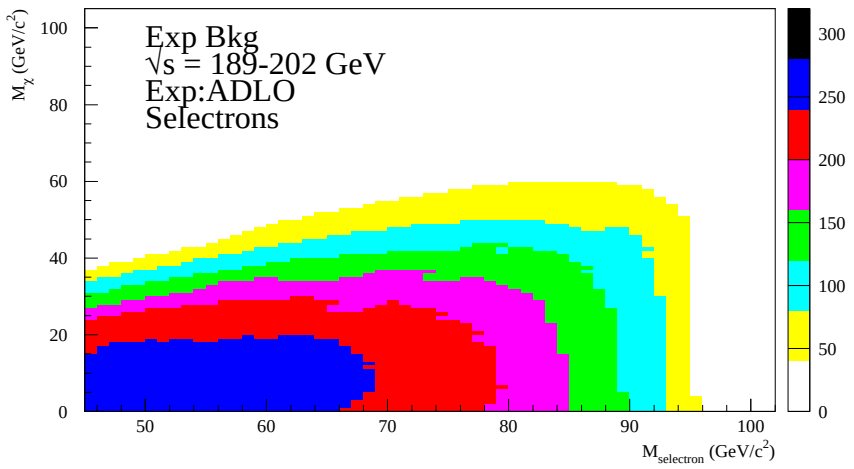
Importanti regioni con $\Delta M = M_{\tilde{e}_R} - M_{\tilde{\chi}_1^0}$ piccolo

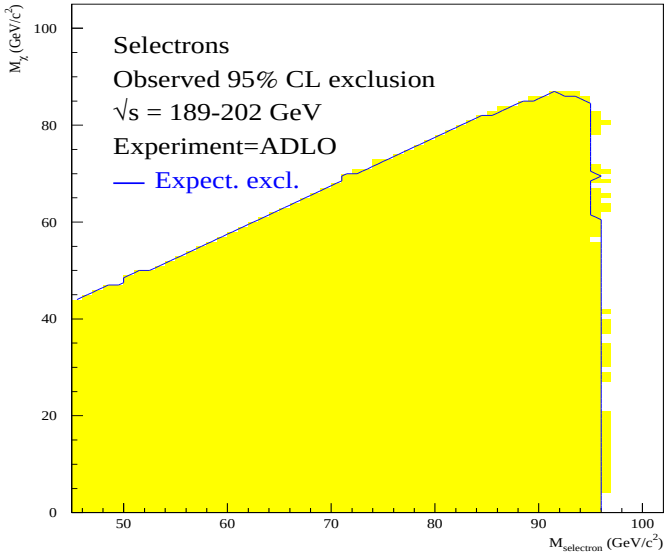
Data 32

MC 15.2

# *Selettroni, ADLO*



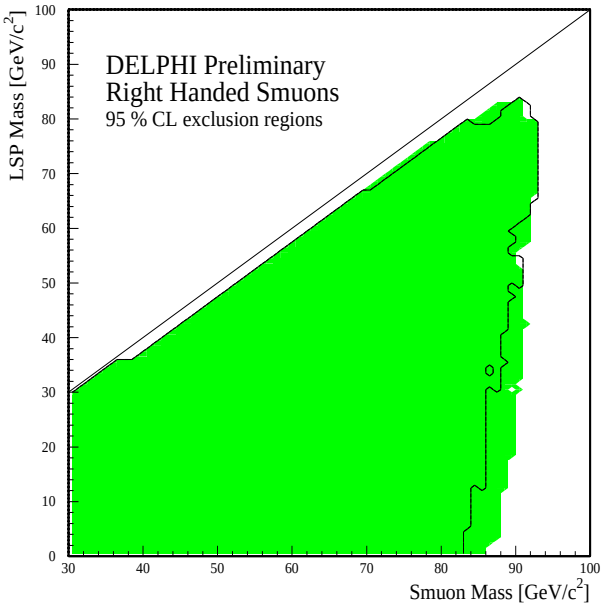



## *Smuoni Delphi*

Delphi, oltre all'analisi standard, effettua un cross-check con rete neurale.
La rete, addestrata per tre range di $\Delta M$ consiste di tre strati:

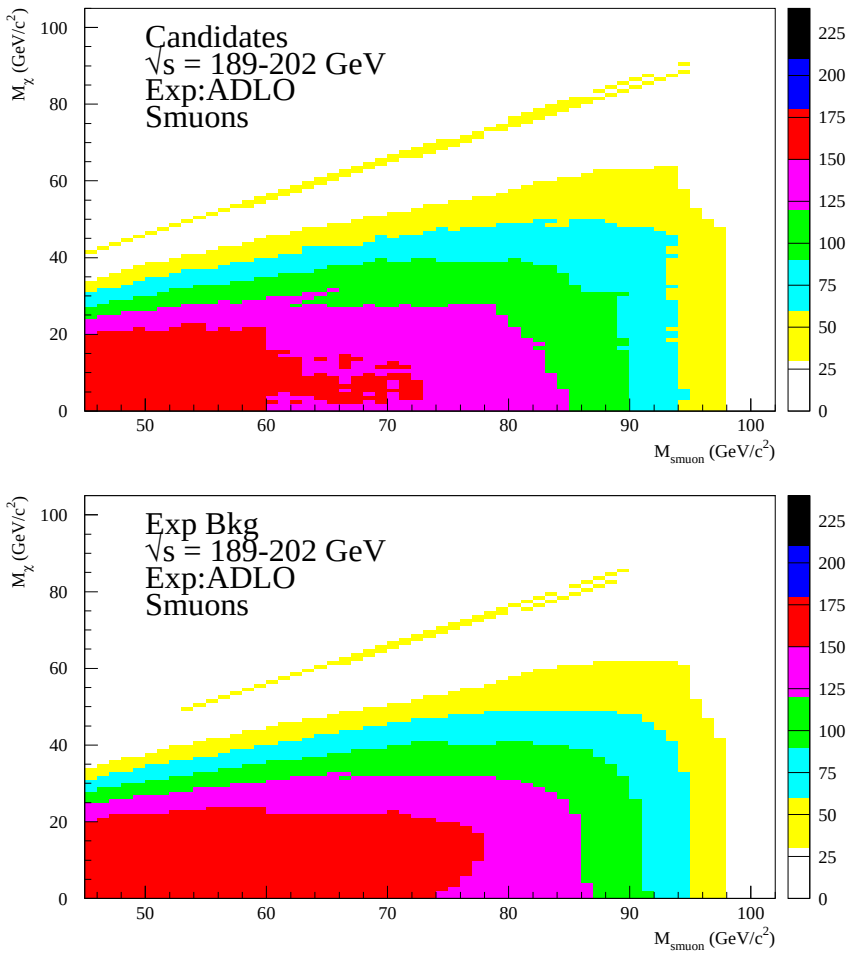
- 13 nodi di input: energia visibile e totale, le tre componenti del impulso mancante ed il impulso mancante trasverso, il impulso totale, il impulso trasverso e l'angolo polare di ciascun leptone, l'angolo polare del impulso mancante, la massa invariante dell'evento e la massa invarinate della coppia di leptoni.
- 13 nodi nascosti.
- 3 nodi di output: segnale, fondo di due fotoni, fondo $W^+W^-$.

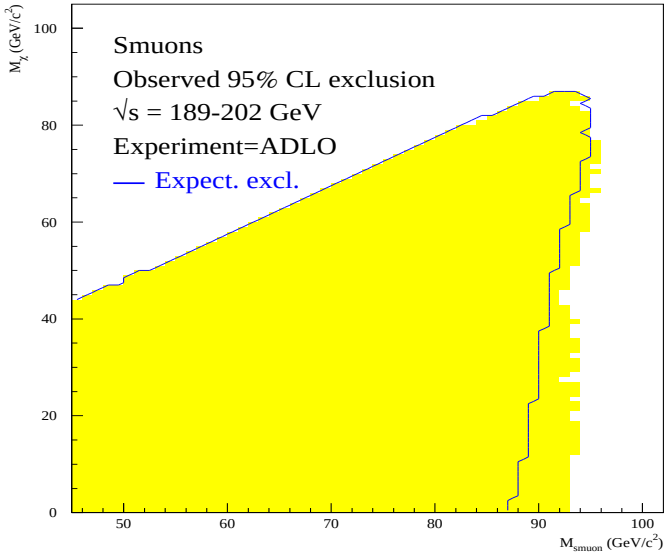
$\tilde{\mu}_R^+\tilde{\mu}_R^- \rightarrow \mu^+\mu^- + E_{miss}$
Data 13
MC 19.2




Per grandi $\Delta M$, $M_{\tilde{\mu}} \geq 86$ GeV.

# *Smuoni, ADLO*


Candidates
√s = 189-202 GeV
Exp:ADLO
Smuons
Exp Bkg
√s = 189-202 GeV
Exp:ADLO
Smuons
M_χ (GeV/c²)
M_smuon (GeV/c²)


Smuons
Observed 95% CL exclusion
√s = 189-202 GeV
Experiment=ADLO
Expect. excl.
M_χ (GeV/c²)
M_smuon (GeV/c²)

## *Stau ad Aleph*

$$\mathcal{M}^2_{\tilde{f}} = \begin{pmatrix} m^2_{\tilde{f}L} & a_f m_f \\ a_f m_f & m^2_{\tilde{f}R} \end{pmatrix}$$

$$a_f = A_0 - \mu(\tan\beta)^{-2I_3^f}$$

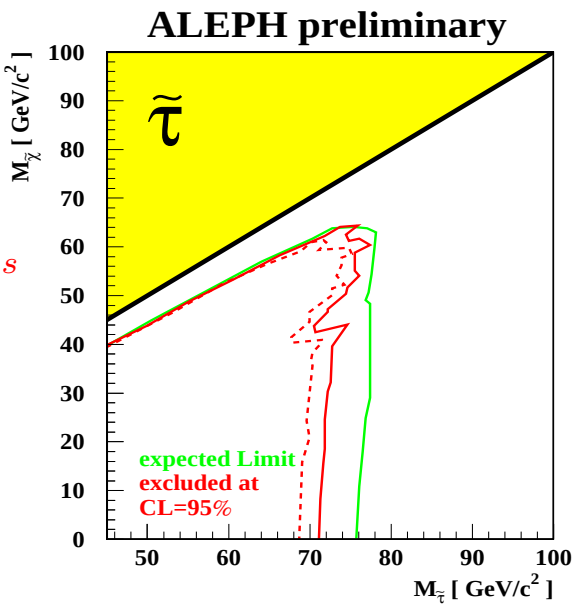
➥ Mixing non trascurabile per la terza generazione di fermioni.

Splitting fra i due autostati di massa $\tilde{f}_1$ e $\tilde{f}_2$

$\tilde{\tau}^+\tilde{\tau}^- \to \tau^+\tau^- + E_{miss}$

Data 46

MC 34.2

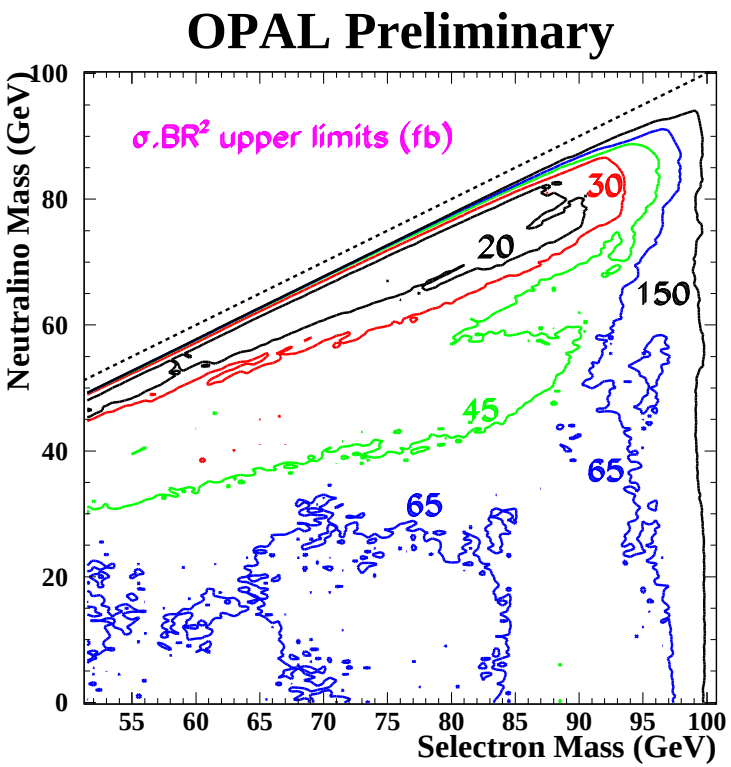


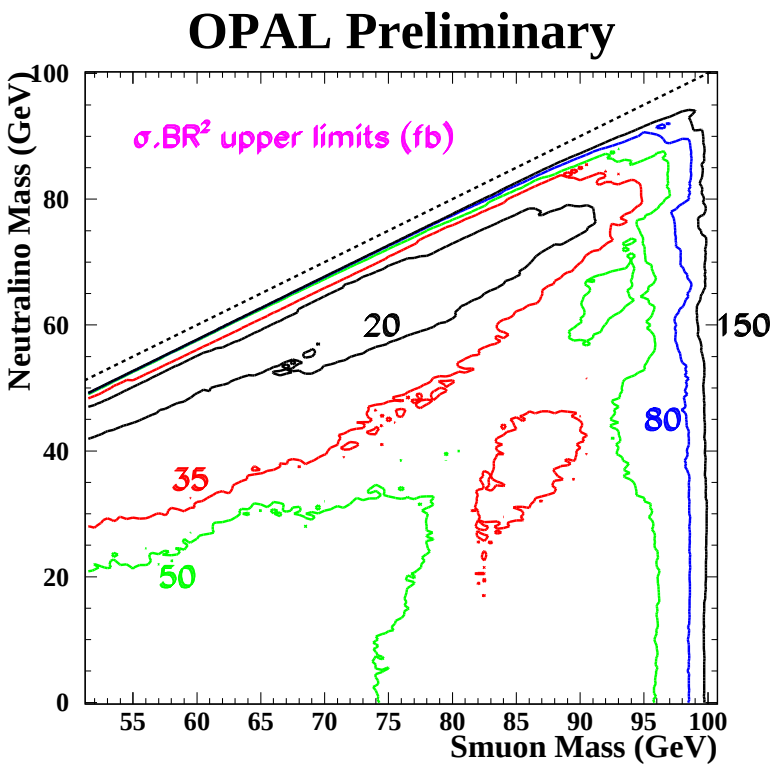

Per $\Delta M > 10$ GeV, $M_{\tilde{\tau}} \geq 66$ GeV, mixing massimo.

Per $\Delta M > 13$ GeV, $M_{\tilde{\tau}} \geq 71$ GeV, nessun mixing.

## *Sezione d'urto a Opal*

$$e^+e^- \to \tilde{\ell}_R^+ \tilde{\ell}_R^- \to \ell^+\ell^- \tilde{\chi}_1^0 \tilde{\chi}_1^0$$



## Mixing degli autostati di elicità degli squarks

⇓

**autostati di massa**

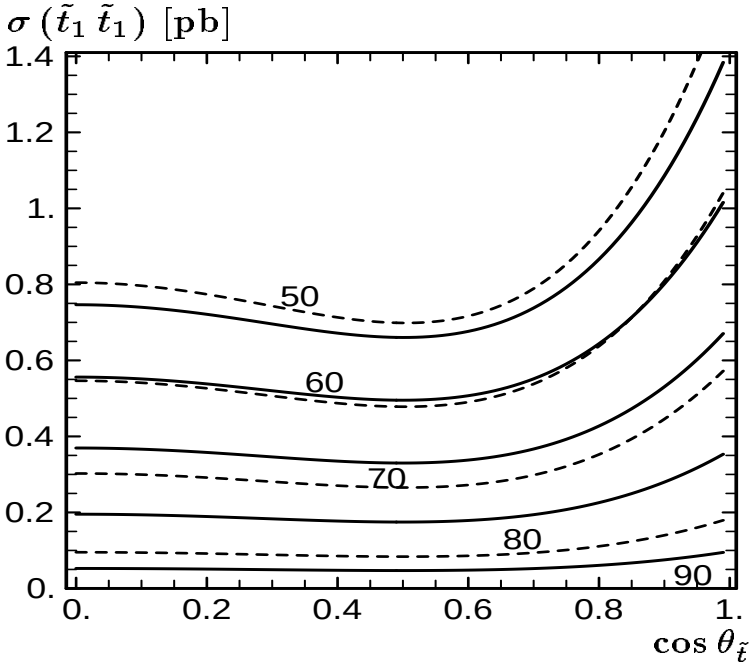
- Per le prime due generazioni di squarks, gli autostati di elicità sono in buona approssimazione autostati di massa.
- La grande massa del top amplifica il mixing $\tilde{\mathrm{t}}_L - \tilde{\mathrm{t}}_R$, ampia differenza fra i due autostati di massa dello stop. Il più leggero stop:

$$\tilde{\mathrm{t}}_1 = \tilde{\mathrm{t}}_L \cos\theta_{LR} + \tilde{\mathrm{t}}_R \sin\theta_{LR}$$

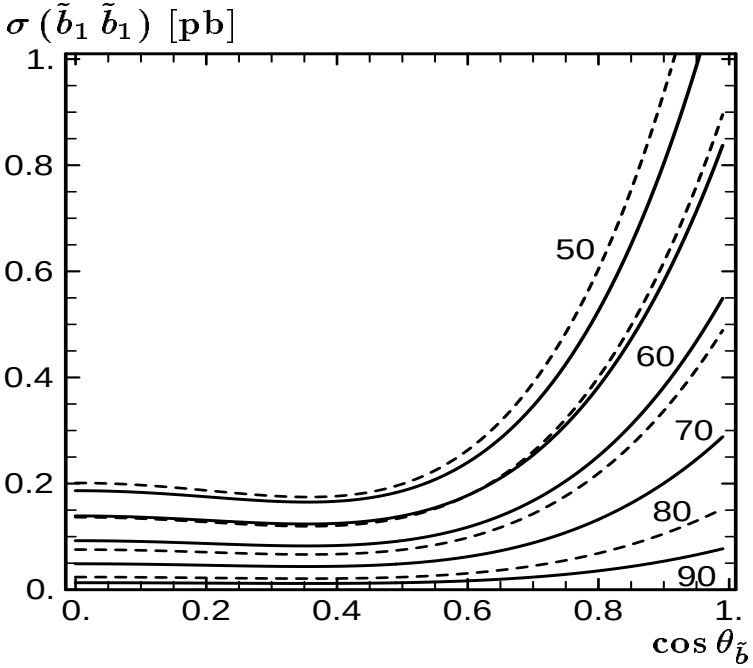
  potrebbe essere nel range di scoperta di LEP2.
- Se $\tan\beta \geq 10$, si ha un ampio mixing $\tilde{\mathrm{b}}_L - \tilde{\mathrm{b}}_R$, e anche lo sbotton, $\tilde{\mathrm{b}}_1$, potrebbe essere accessibile a LEP2.

# Sezioni d'urto in funzione di $\cos\theta_{LR}$

$e^+e^- \to \tilde{t}\bar{\tilde{t}}$




$e^+e^- \to \tilde{b}\bar{\tilde{b}}$



## Stop

$\tilde{t}_1 \to b\tilde{\chi}_1^{\pm}$ è dominante quando cinematicamente ammesso, ma è escluso dal limite sulla massa del chargino.

$\tilde{t}_1 \to b\nu_l\tilde{l}$ escluso dal limite sulla massa degli sleptoni.

$\tilde{t}_1 \to c\tilde{\chi}_1^0$ ➡ jets acoplanari.

$\tilde{t}_1 \to bl\tilde{\nu}_l$ ➡ jets acoplanari più due leptoni isolati.

## Sbottom

$\tilde{b}_1 \to b\tilde{\chi}_1^0$ ➡ b-jets acoplanari.

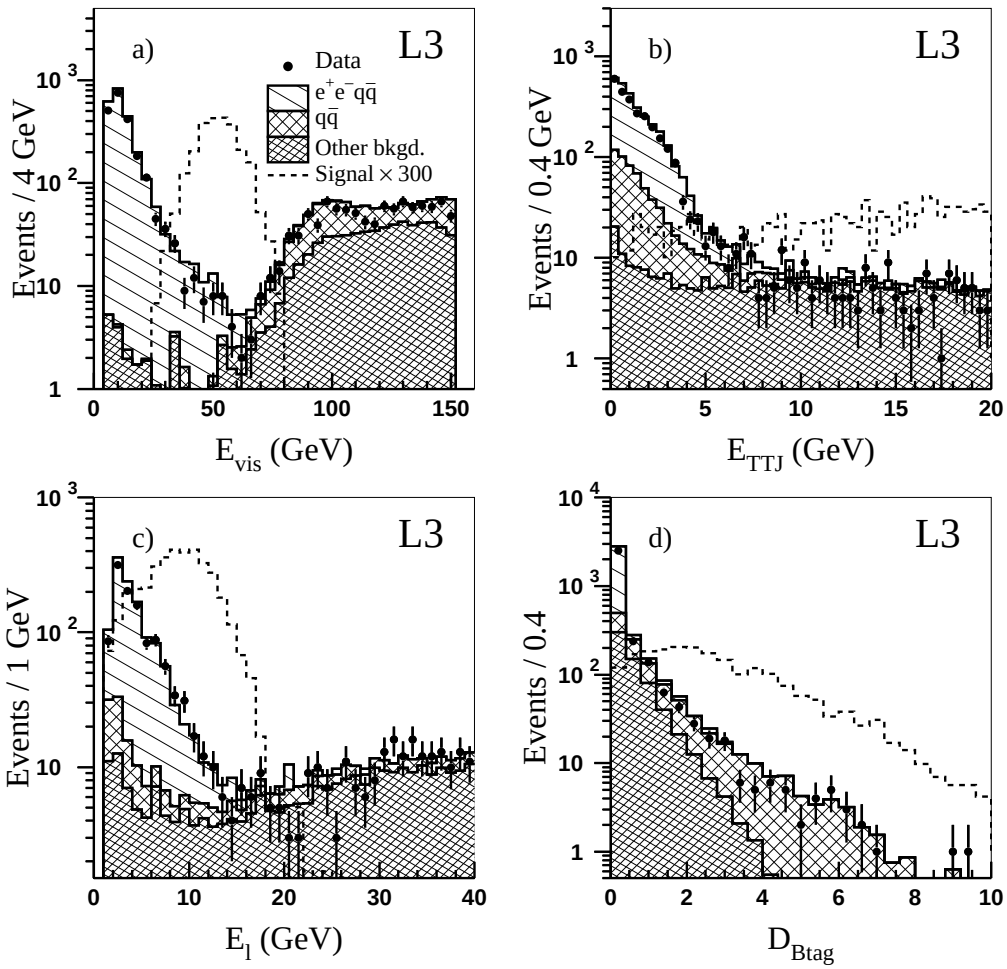
# Preselezione.

Campione di eventi adronici sblilanciati.

- Numero di tracce e cluster calorimetrici
- Energia visibile.
- impulso mancante.

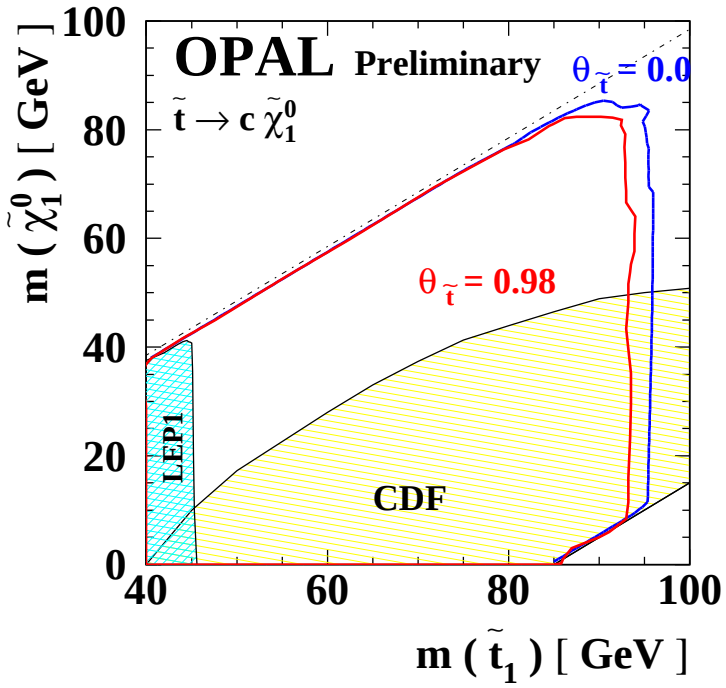
| canale | $N_{\mathrm{D}}$ | $N_{\mathrm{two-fermion}}$ | $N_{\mathrm{four-fermion}}$ | $N_{\mathrm{two-photon}}$ | $N_{\mathrm{SM}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $\tilde{\mathrm{t}}_1 \to c\tilde{\chi}_1^0$ | 35 | $0.41 \pm 0.16$ | $13.6 \pm 1.1$ | $19.1 \pm 4.2$ | $33.1 \pm 4.3$ |
| $\tilde{\mathrm{t}}_1 \to bl\tilde{\nu}_l$ | 9 | $0.29 \pm 0.15$ | $0.97 \pm 0.24$ | $10.0 \pm 3.0$ | $11.3 \pm 3.0$ |
| $\tilde{\mathrm{t}}_1 \to b\tau\tilde{\nu}_\tau$ | 18 | $0.29 \pm 0.15$ | $0.49 \pm 0.19$ | $20.5 \pm 4.4$ | $21.4 \pm 4.4$ |
| $\tilde{\mathrm{b}}_1 \to b\tilde{\chi}_1^0$ | 18 | $0.17 \pm 0.12$ | $1.45 \pm 0.35$ | $11.8 \pm 3.3$ | $13.5 \pm 3.3$ |
| Totale | 59 | $0.84 \pm 0.25$ | $14.5 \pm 1.1$ | $45.1 \pm 6.5$ | $60.4 \pm 6.5$ |

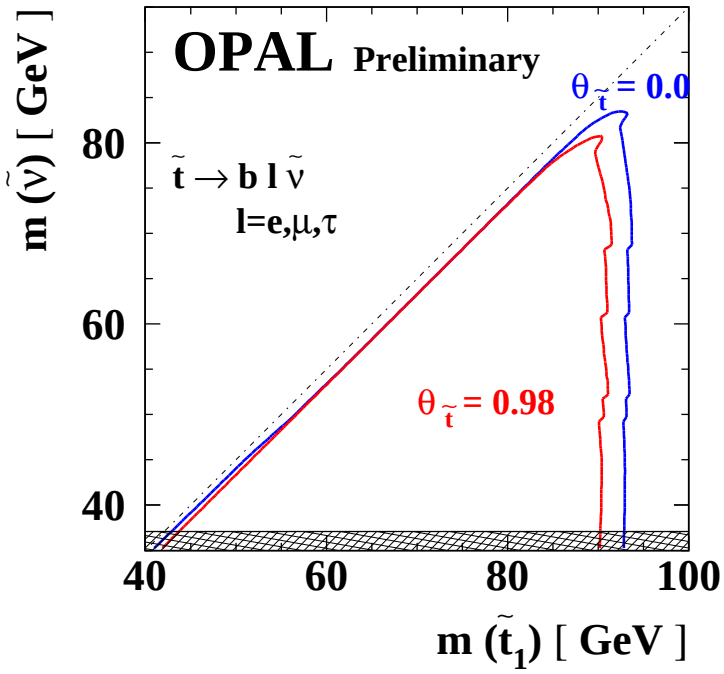
# *Selezione a L3*




- Tagli ottimizzati per diversi range di $\Delta M$.
- In presenza di quark b nello stato finale, taglio sulla variabile di b-tagging.
- Per il canale $\tilde{t}_1 \to bl\tilde{\nu}_l$ viene richiesta la presenza di un leptone isolato.

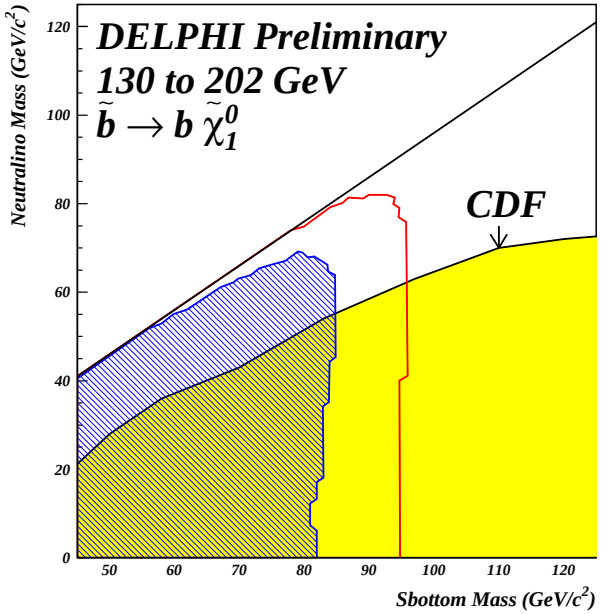
# *Stop ad Opal*




| Limite su $M_{\tilde{t}_1}$ | | | |
|---|---|---|---|
| | $\tilde{t}_1 \to c\tilde{\chi}_1^0$ | | $\tilde{t}_1 \to bl\tilde{\nu}_l$ |
| $\theta_{\tilde{t}}$ | $\Delta M \geq 5$ GeV | $\Delta M \geq 10$ GeV | $\Delta M \geq 10$ GeV |
| 0.0 | 90.2 | 94.2 | 92.4 |
| 0.98 | 87.2 | 91.8 | 89.8 |

# *Sbottom a Delphi*




$\Delta M \leq 10$ GeV

| | 192 GeV | | 196 GeV | | 200 GeV | | 202 GeV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DATA | MC | DATA | MC | DATA | MC | DATA | MC |
| sbottom | 0 | 0.7±0.3 | 3 | 1.8±0.4 | 0 | 2.0±0.4 | 0 | 1.8±0.7 |

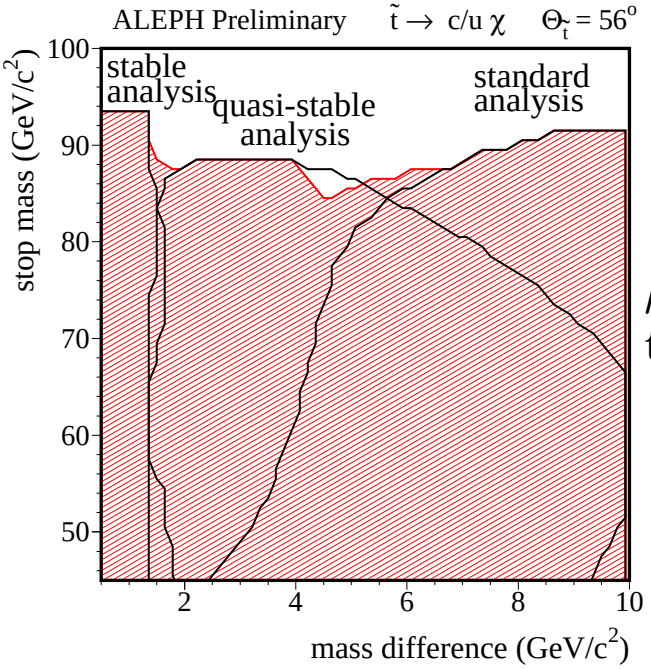
$\Delta M \geq 10$ GeV

| | 192 GeV | | 196 GeV | | 200 GeV | | 202 GeV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DATA | MC | DATA | MC | DATA | MC | DATA | MC |
| sbottom | 4 | 1.2±0.2 | 0 | 2.3±0.4 | 2 | 2.9±0.4 | 0 | 1.4±0.2 |

# Massa dello stop degenere con LSP

**grande lunghezza di decadimento o decadimento fuori del rivelatore**

- $\Delta M \geq 3$ GeV analisi standard
- 1.5 GeV $\leq \Delta M \leq 3$ GeV parametro di impatto
- $\Delta M \leq 1.5$ GeV ionizzazione anomala




$\mu = -100$ GeV
$\tan\beta = 1.5$

In MSSM $M_{\tilde{t}_1}$ >63 GeV

## Sleptoni

- Selettroni Nessun eccesso osservato.
  Eccesso nel canale di singolo elettrone a L3.
- Smuoni Nessun eccesso osservato.
- Stau Eccesso per i quattro esperimenti.
  Risultati combinati in fase di analisi.

## Squarks

- Sbottom Nessun eccesso osservato.
- Stop Nessun eccesso osservato.

## Prospettive

LEP ha già raggiunto $E_{CM} = 206$ GeV.
Quest'anno si potrà estendere l'intervallo di masse esplorate
ed eventualmente confermare gli eccessi osservati.