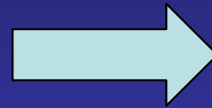


Misura diretta al LEP del numero di famiglie di neutrini

Quanti tipi diversi di neutrino esistono?

Spettro continuo del
decadimento β



$\nu_e \dashrightarrow \bar{\nu}_e$

$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu$



$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$

$\nu_\mu + n \longrightarrow p + \mu^-$

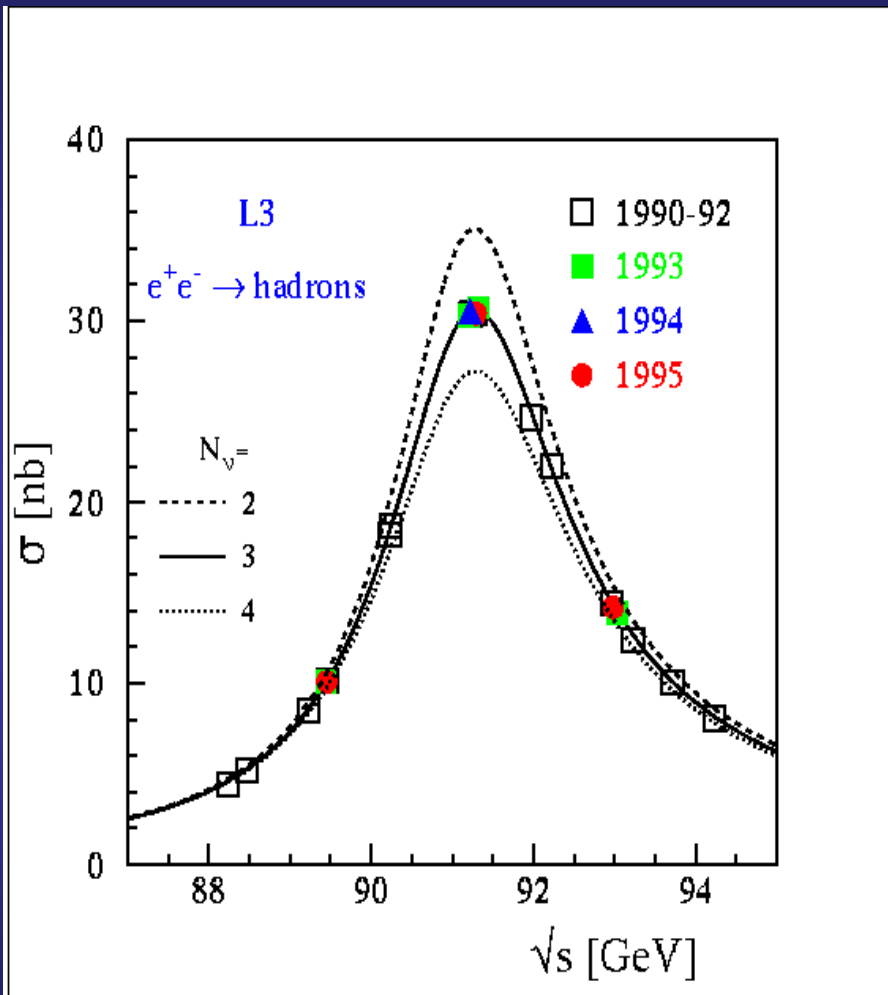
Scoperta del leptone τ



$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

**Il quadro è
completo?**

Misura indiretta di N_ν al LEP



$$\Gamma_{\text{inv}} = \Gamma_{\text{tot}} - \Gamma_{\text{vis}}$$

$$\text{SM: } \Gamma_\nu = 166.8 \pm 1.5 \text{ MeV}$$

$$N_\nu = \Gamma_{\text{inv}} / \Gamma_\nu$$

ALEPH
DELPHI
L3
OPAL1

$$N_\nu = 2.9840 \pm 0.0082$$

Misura diretta di N_ν

1981: G. Barbiellini, B. Richter and J. L. Siegrist
Physics Letters B 106 (1981) 414

Radiative Z^0 production: A method for neutrino counting in e^+e^- collisions

Radiative Z^0 production in e^+e^- collisions is analyzed as a method of measuring the partial width of the Z^0 for decay into neutrinos and thus determining if there exist low mass neutral leptons beyond the three now known (ν_e, ν_μ, ν_τ). The conditions for observing the $\nu\bar{\nu}$ final state are analyzed and background cross sections are determined. We conclude that the experiment is feasible and requires relatively modest apparatus.

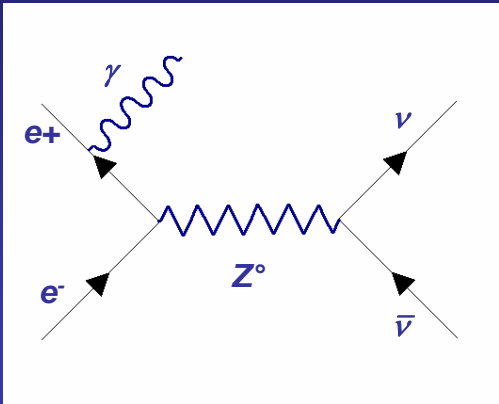
1988: M. Chen, C. Dionisi, M. Martinez and X. Tata
Physics Reports 159 (1988) 201

Signals from non-strongly interacting supersymmetric particles at LEP energies



1991-1998: L3 Collaboration

L'idea base



$$e^+ e^- \longrightarrow \nu \bar{\nu} \gamma$$

- Forte segnatura:
un solo fotone con $E_\gamma = \sqrt{s} - M_{Z^0}$.
- Possibilità di osservare un gran numero di eventi in prossimità di M_{Z^0} .
- La misura è diretta!

Vantaggi di una misura diretta

Il valore di Γ_{inv} potrebbe essere dovuto non solo ai neutrini ma anche ad altre particelle stabili e debolmente interagenti con $m < M_{Z^0}/2$

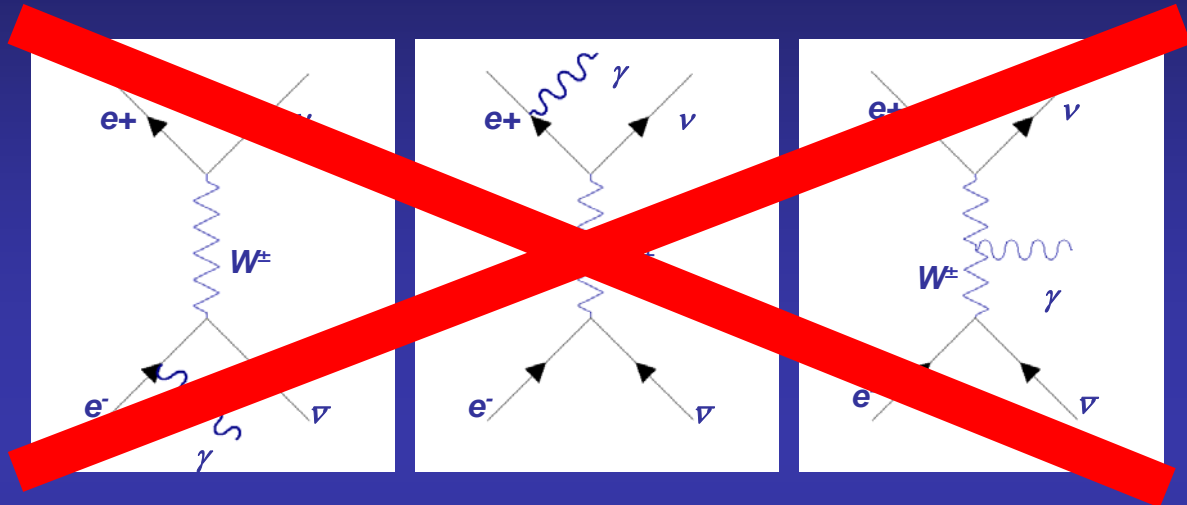
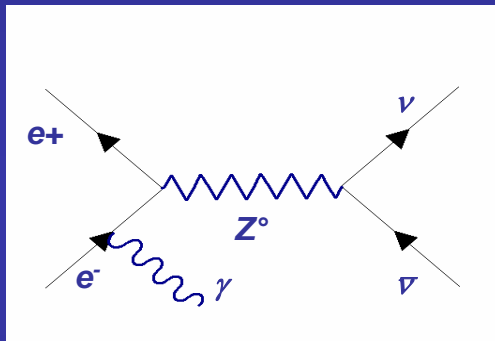
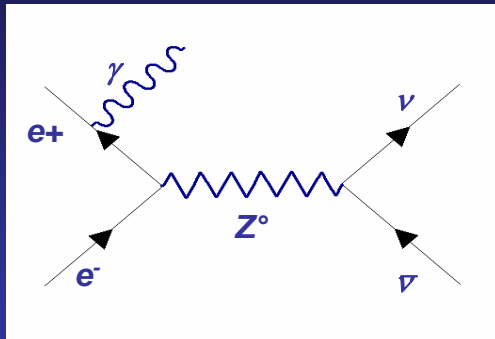
$$N_\nu > 3$$

Il valore di Γ_{inv} potrebbe anche essere più piccolo del previsto a causa, ad esempio, di accoppiamenti non previsti dallo SM

$$N_\nu < 3$$

Una misura diretta della Γ_{inv} risulta allora fondamentale

Processi caratteristici



$$\frac{d^2\sigma}{dE_\gamma d\cos\theta_\gamma} = H(E_\gamma, \cos\theta_\gamma, s)\sigma_0(s')$$

$$\sigma_0(s') = \frac{12\pi}{M_{Z^0}^2} \frac{s'\Gamma_e N_\nu \Gamma_{\nu\bar{\nu}}}{(s' - M_{Z^0}^2)^2 + s'^2 \Gamma_{Z^0}^2 / M_{Z^0}^2}$$

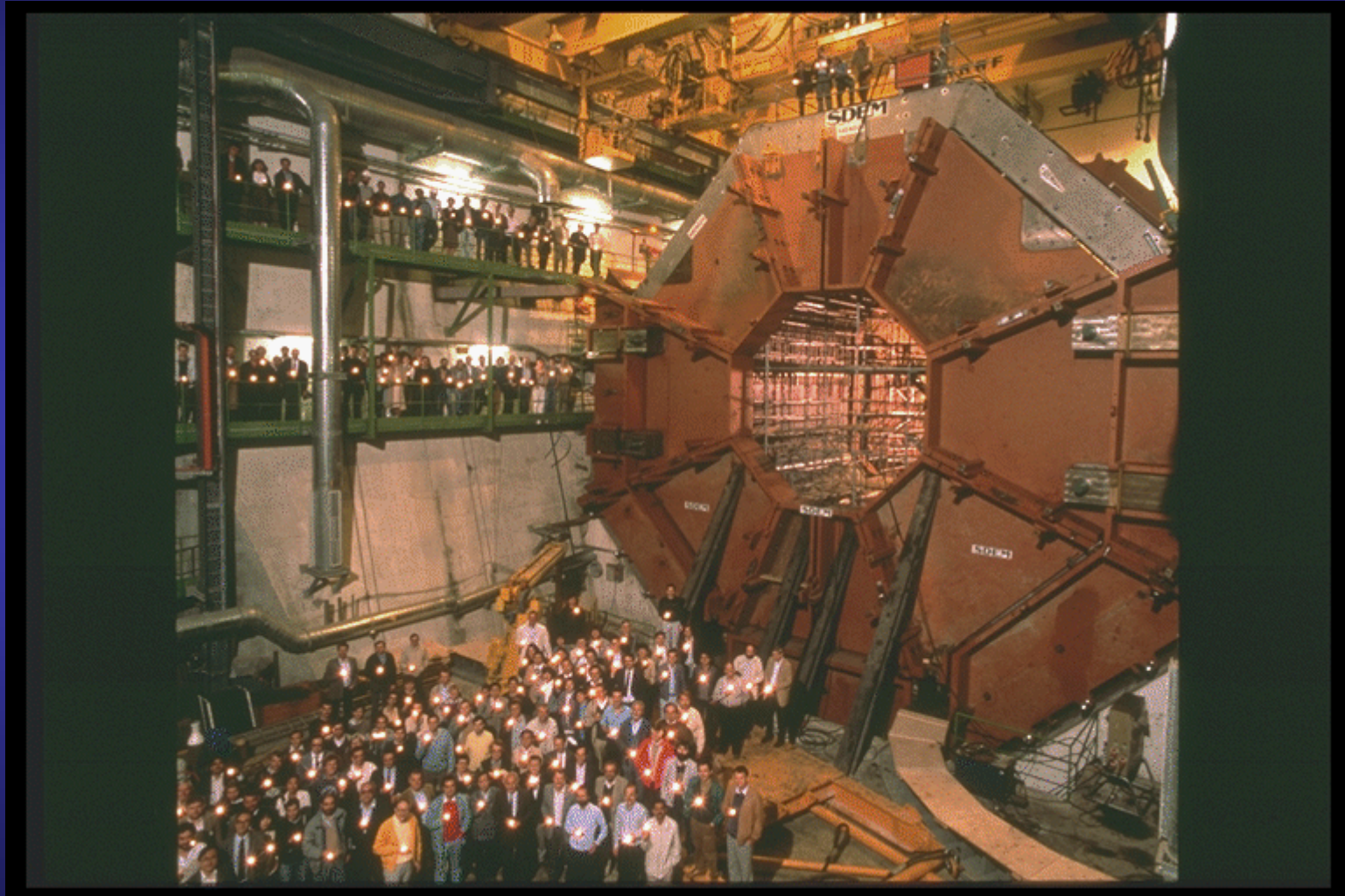
$$s' = s(1 - 2E_\gamma / \sqrt{s})$$

Se \sqrt{s} è prossima a M_{Z^0}
questi contributi sono
trascurabili

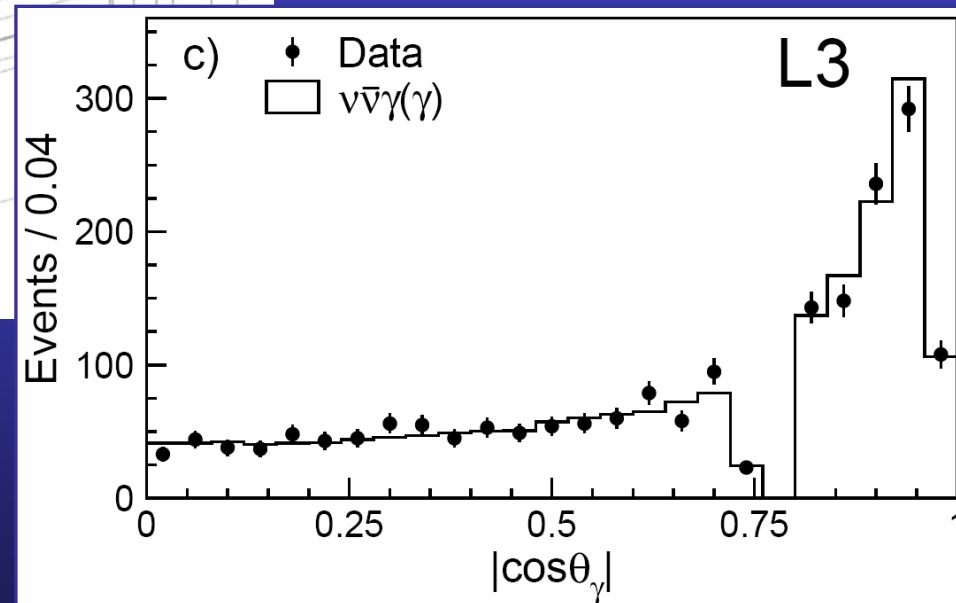
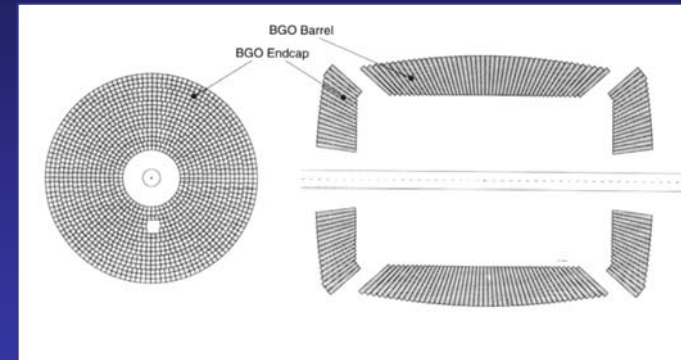
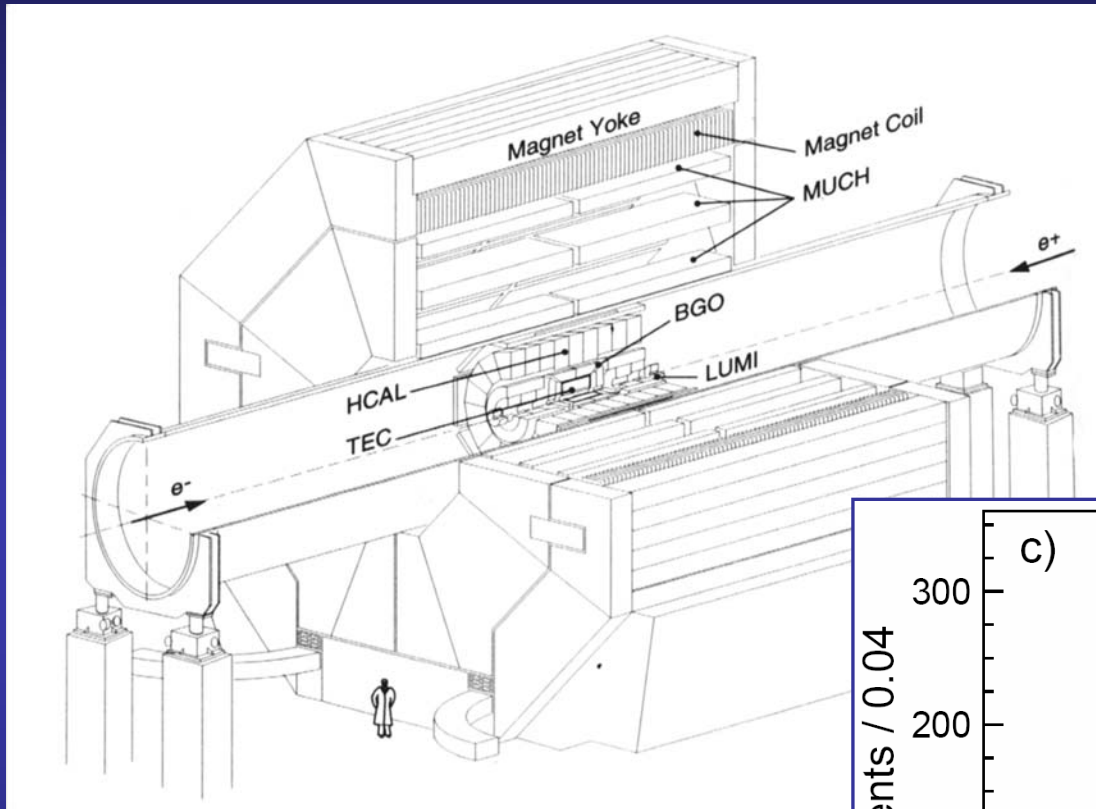
Strategia della misura

- Misurare un singolo fotone di bassa energia (~ 100 MeV)
- Assicurarsi che l'evento non sia di background
- Conoscendo la luminosità della macchina, dal numero di eventi si ricava la sezione d'urto
- Dalla sezione d'urto si ricava il valore di N_ν

L'apparato sperimentale: L3 al LEP



L'apparato sperimentale: L3 al LEP



BGO barrel: $42.3^\circ - 137.7^\circ$
BGO endcaps: $11.4^\circ - 35.2^\circ$
 $144.8^\circ - 168.6^\circ$
HCAL: $6^\circ - 174^\circ$
MUCH: $36^\circ - 144^\circ$
LUMI: $1.4^\circ - 3.9^\circ$

Il trigger di primo livello

- Si sommano gli output del BGO barrel in 256 segmenti da 30 cristalli ciascuno
- Vengono sommati i segmenti per θ costante e ϕ costante: si ottengono 32 somme Σ_{θ} ed 8 somme Σ_{ϕ}
- Condizioni del trigger:

$$\sum_{\theta}^{\max} e \sum_{\phi}^{\max} > 900 \text{ MeV}$$

$$\sum_{\theta}^{\max} e \sum_{\phi}^{\max} > 0.8 \sum_{tot}$$

Rate ~1 Hz

(essenzialmente dovuto al rumore elettronico!!!)

Il trigger di terzo livello

- Nuova condizione di trigger:
un UNICO cluster nel BGO barrel
con un'energia totale maggiore
di 500 MeV
- Il cluster deve essere formato da un numero di
cristalli che va da 2 a 80.

Il rate totale di eventi in uscita dal trigger si riduce

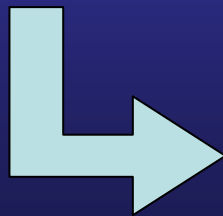
~ 0.01 Hz

La selezione degli eventi

Condizioni
elettromagnetiche

Deposito di energia nel BGO barrel
nell'intervallo $1 \div 10$ GeV, condiviso da
almeno cinque cristalli

Distribuzione laterale dell'energia depositata compatibile
con quella ottenibile da una singola particella
elettromagnetica proveniente dal punto d'interazione

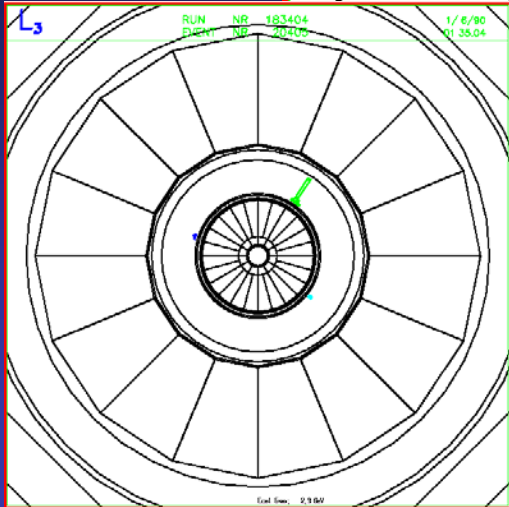


In questo modo diminuisce la
probabilità di includere eventi di
bremsstrahlung da raggi cosmici

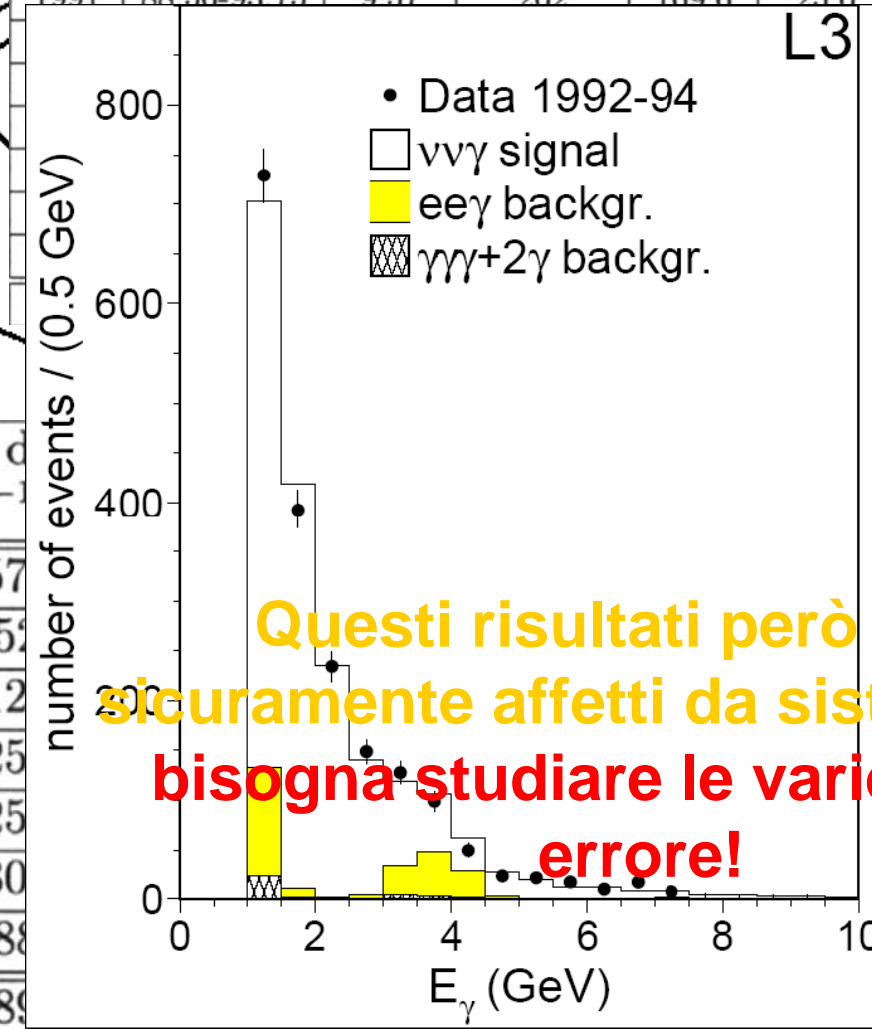
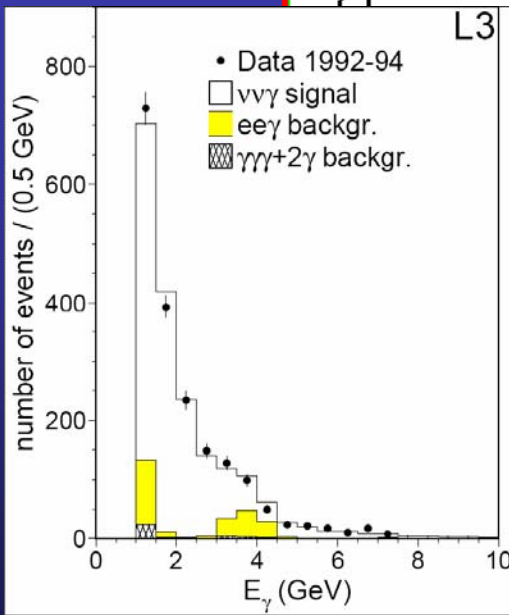
La selezione degli eventi



Gli eventi "buoni"



Year	\sqrt{s} (GeV)	$\int \mathcal{L} dt$ (pb ⁻¹)	Observed events	Expected events			
				$N_{\nu\bar{\nu}\gamma}$	$N_{e^+e^-\gamma}$	$N_{\text{other back.}}$	Total MC
1991	88.56-93.75	9.57	202	169.6	25.0	4.9	199.5
						9.0	450.4
						2.0	87.6
						3.9	70.0
						4.3	180.3
						3.8	395.4
						16.9	706.8
						44.8	2090.0



Questi risultati però sono sicuramente affetti da sistematiche: bisogna studiare le varie fonti di errore!

nts	Total MC
ck.	199.5
	450.4
	87.6
	70.0
	180.3
	395.4
	706.8
	2090.0

Studio degli errori sistematici

Systematic error source	$\Delta\Gamma_{inv}$ (Mev)	ΔN_ν
Trigger efficiency	8.4	0.050
Background subtraction	4.8	0.029
Selection efficiency	4.0	0.024
Energy scale	4.0	0.024
Monte Carlo generators	3.5	0.021
Cosmic ray background	1.7	0.010
Luminosity error	1.8	0.011
$\Gamma_{\nu\nu}$ theoretical error	–	0.004
Fit procedure	2.5	0.015
Total error	12.3	0.073

Effici

Efficienza di s
condizio
elettromagn

enza di
zione del
ground

Efficienza di

co

Year	\sqrt{s} (GeV)	Efficiency	σ (pb)
1992	91.34	0.572	$32.9 \pm 1.8(\text{stat}) \pm 0.6(\text{sys})$
1993	91.32	0.594	$35.2 \pm 4.1(\text{stat}) \pm 0.6(\text{sys})$
1993	89.45	0.578	$11.2 \pm 1.8(\text{stat}) \pm 0.3(\text{sys})$
1993	91.21	0.570	$28.8 \pm 2.5(\text{stat}) \pm 0.5(\text{sys})$
1993	93.04	0.602	$70.1 \pm 3.9(\text{stat}) \pm 1.1(\text{sys})$
1994	91.22	0.505	$29.4 \pm 1.3(\text{stat}) \pm 0.5(\text{sys})$

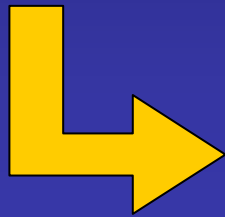
Ray
und

Erro
c

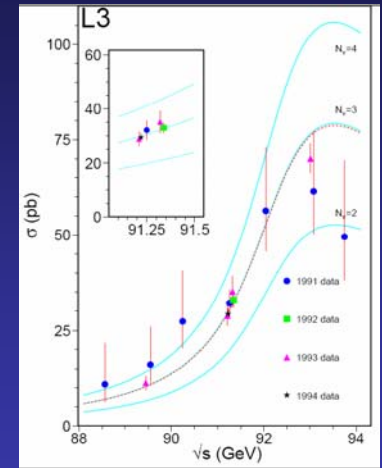
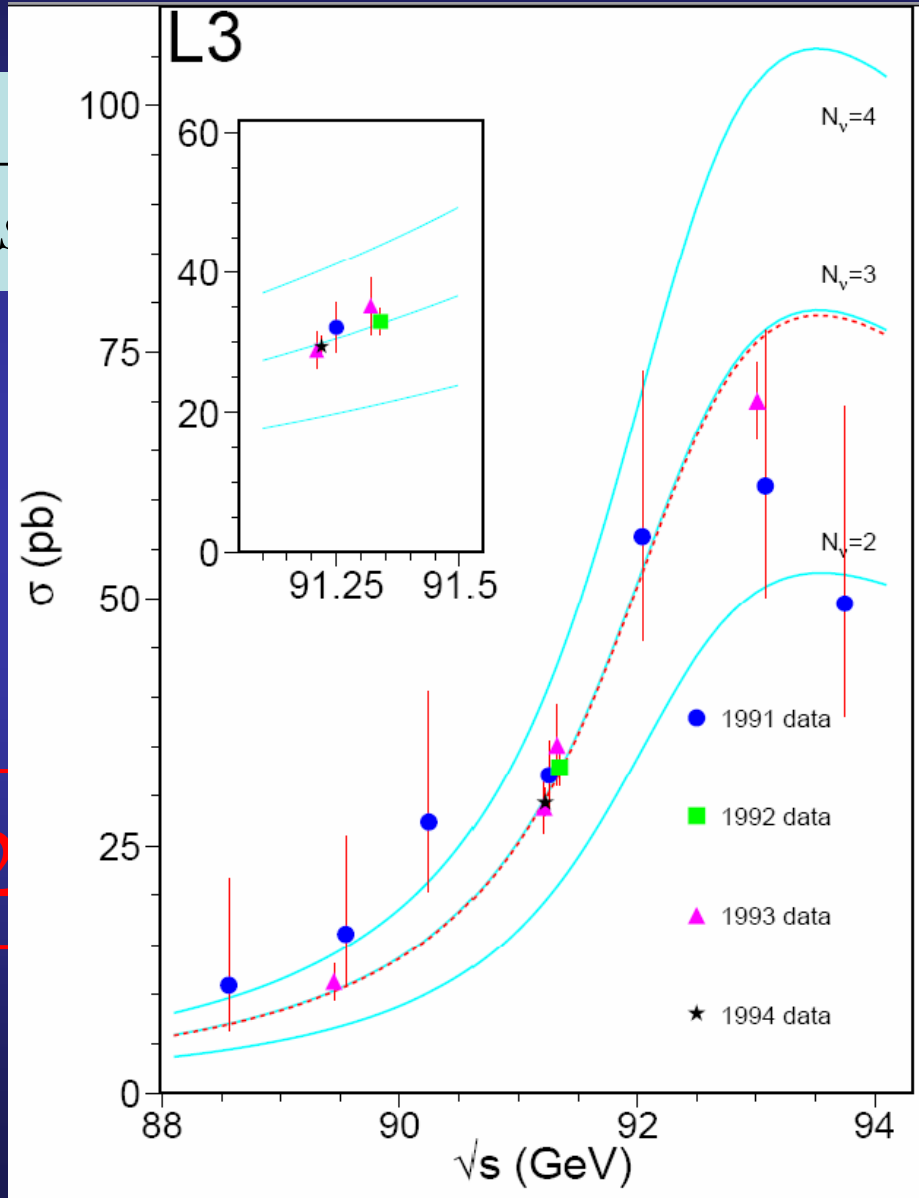
t

Risultati

$$\sigma_0(s') = \frac{12\pi}{M_{Z^0}^2} \left(\dots \right)$$



$N_\nu = 2$



(sys) MeV

7 (sys)

Conclusioni

$$N_\nu = 2.98 \pm 0.07 \text{ (stat)} \pm 0.07 \text{ (sys)}$$

- Sicuramente non è una misura precisa come si sperava
- Se anche si avesse a disposizione una statistica maggiore resterebbe il problema delle sistematiche
- Con le conoscenze attuali non è possibile una misura di questo tipo molto più precisa

