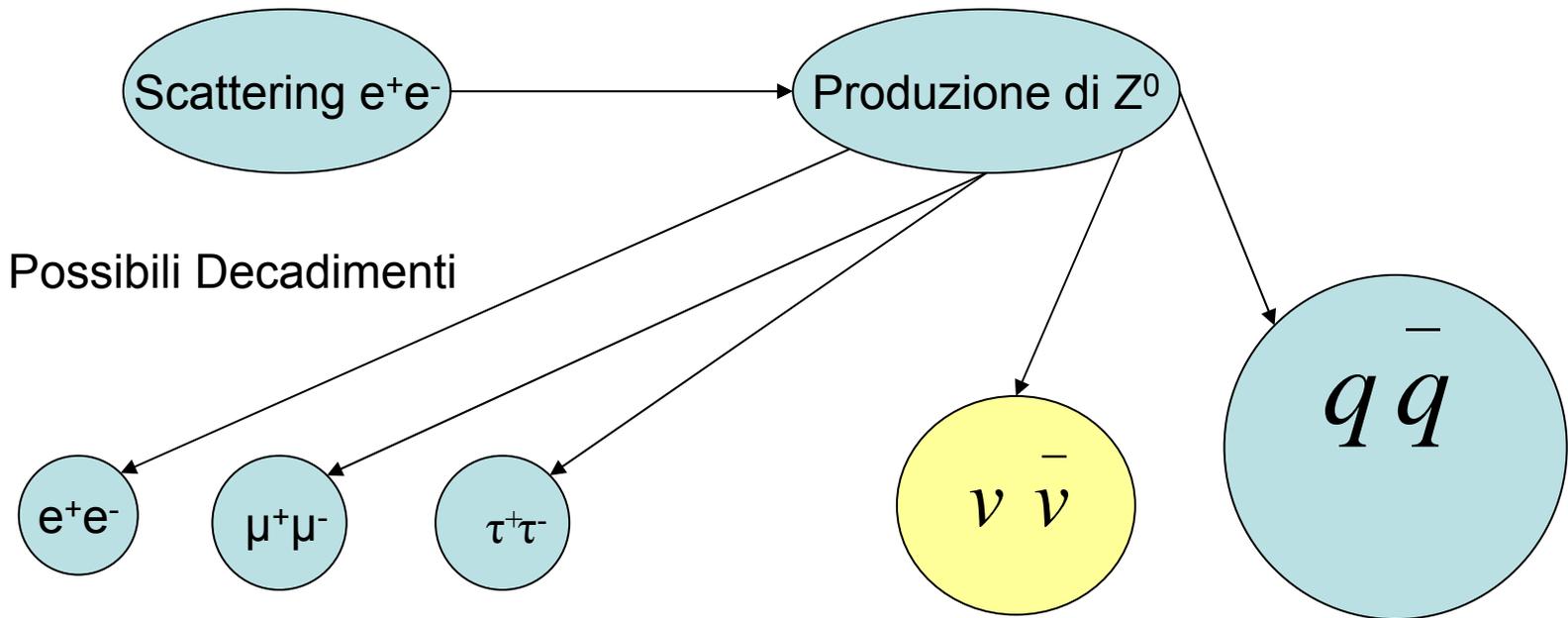


Misura della massa, della larghezza totale e delle larghezze parziali nel decadimento dello Z_0

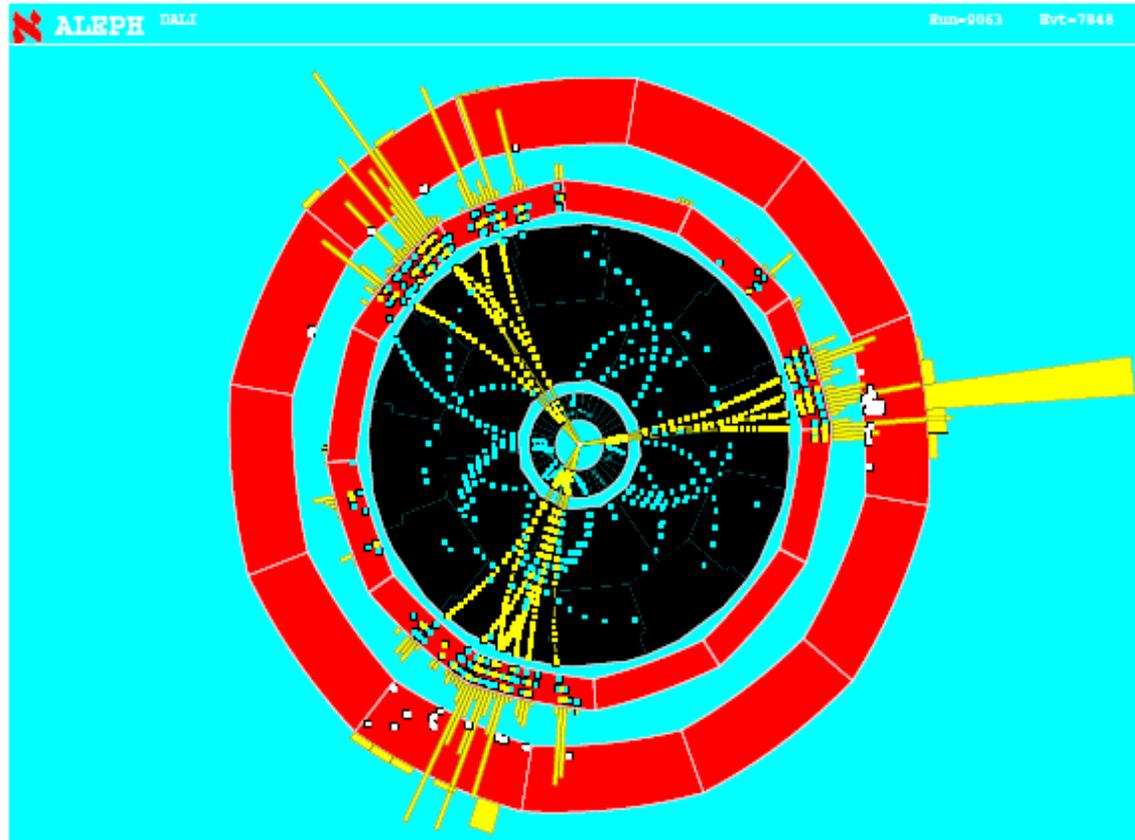
Dati Forniti da LEP

Produzione e Decadimenti dello Z^0 al LEP:



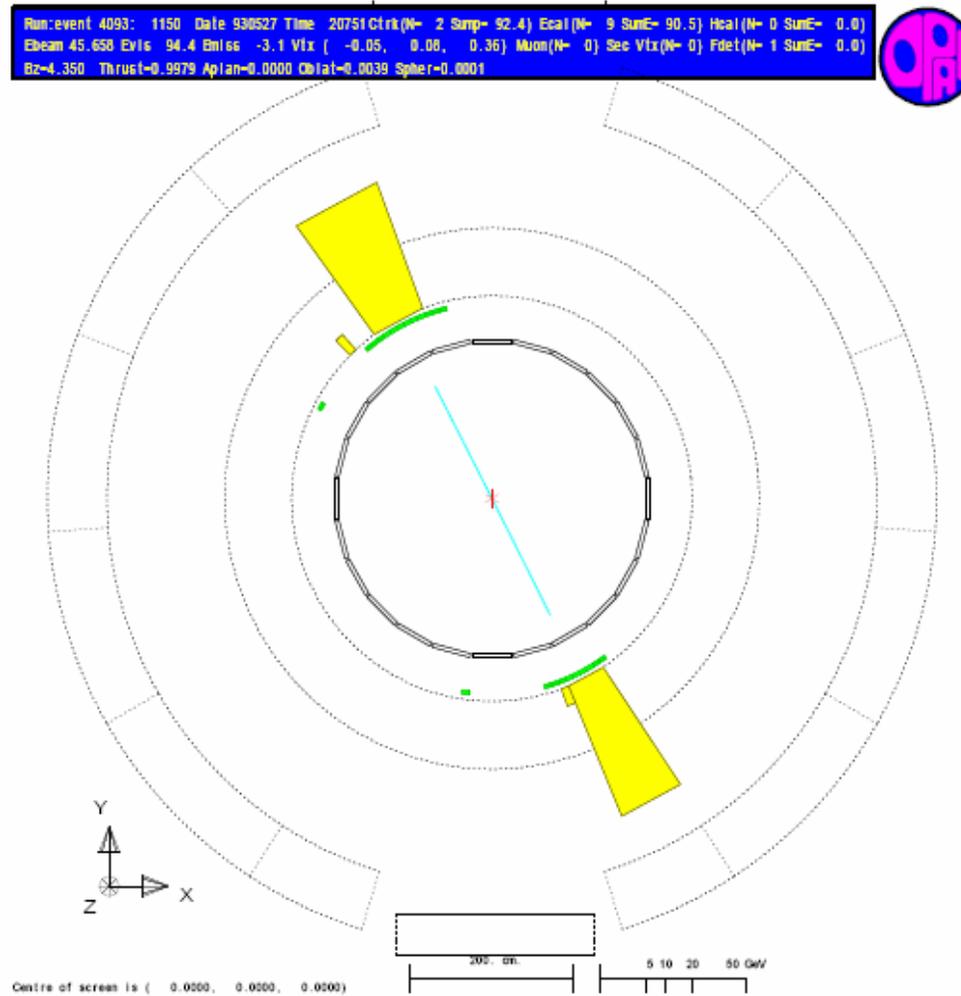
- Ogni canale avrà una propria sezione d'urto ed una propria Γ
- I risultati delle misurazioni sono esposti più avanti, sottolineo che la Γ dei neutrini non è rilevabile direttamente e quella dei quark è molto maggiore delle altre.
- $\Gamma_{el}, \Gamma_{muon}, \Gamma_{tau}$ sono uguali tra loro ipotizzando l'**universalità leptonica**

Evento adronico in ALEPH



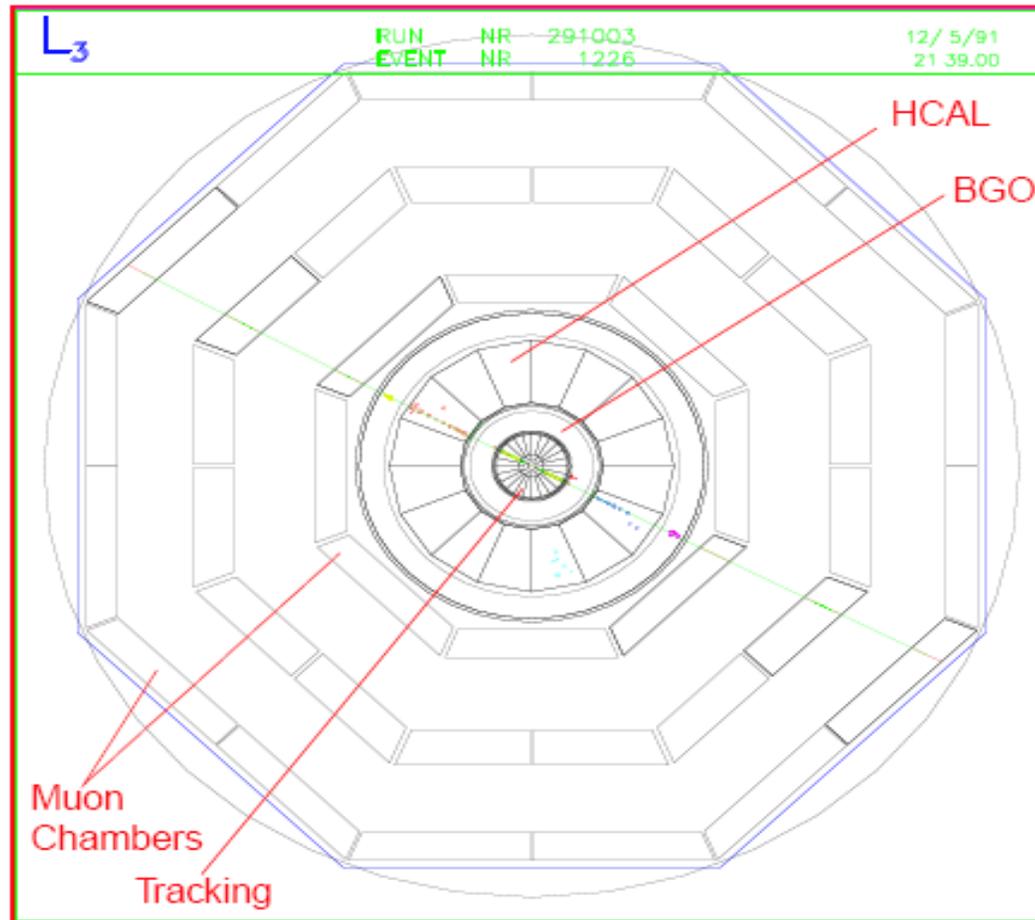
- Sono visibili 3 Jet adronici
- Le tracce sono deviate da Campi Magnetici a 1.5 T
- Caratteristica di questi eventi è la molteplicità delle tracce nei calorimetri

Evento $e^+e^- \longrightarrow e^+e^-$ in OPAL



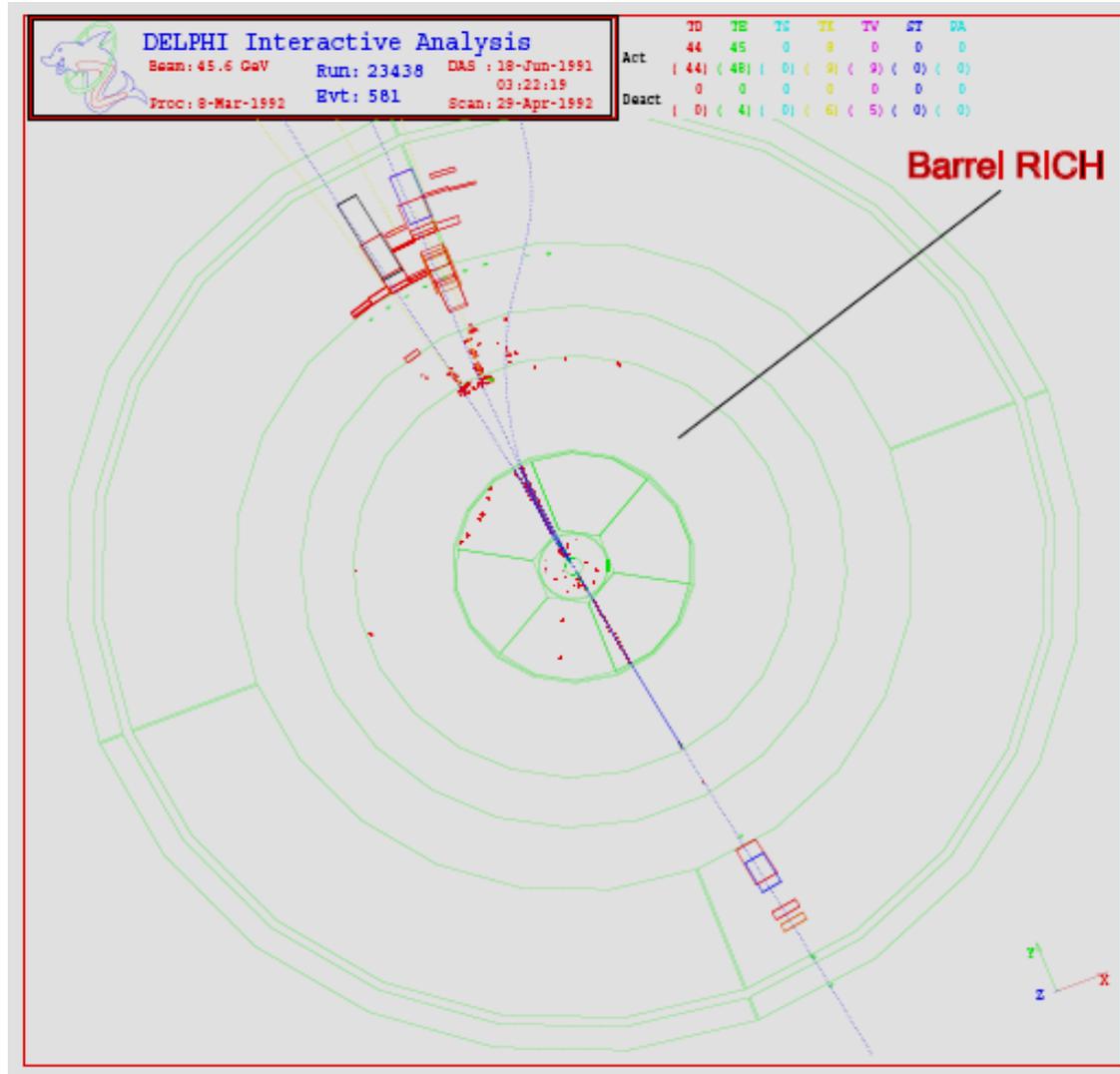
- Gli elettroni sono identificati dai detector centrali
- Caratterizzati da grande deposito di energia nei calorimetri elettro magnetici

Evento $e^+e^- \longrightarrow \mu^+\mu^-$ in L3



- I Muoni essendo molto penetranti attraversano l'intero detector lasciando poca energia nei calorimetri.
- Campo Magnetico posto a 0.5 T

Evento e^+e^- \longrightarrow $\tau^+\tau^-$ in DELPHI

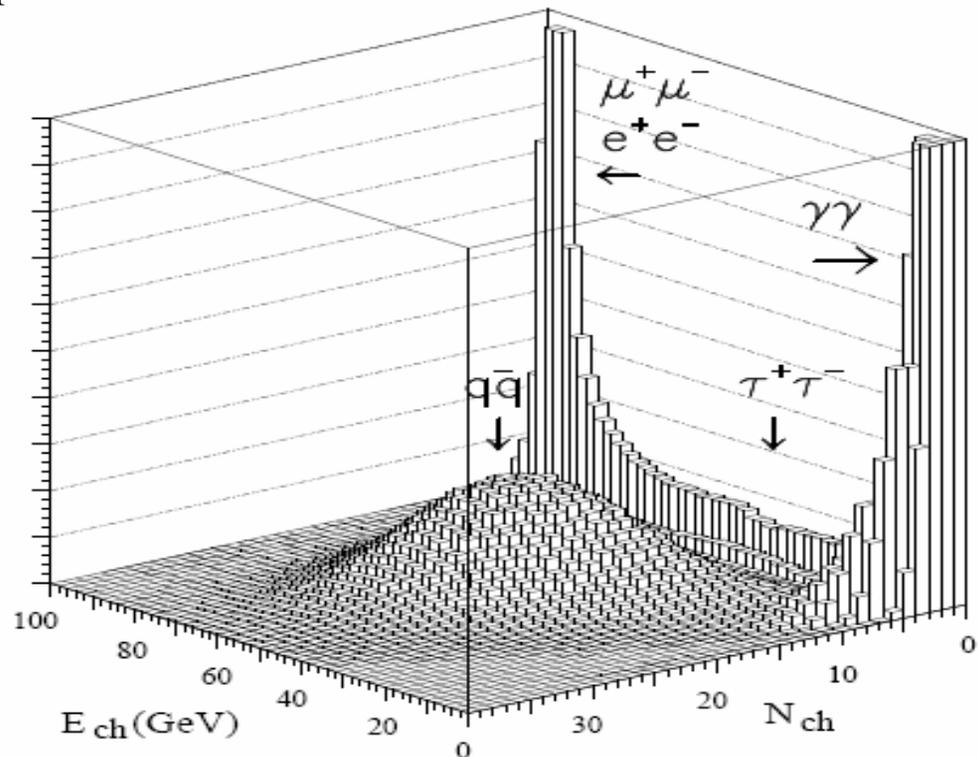


- Il decadimento è dominato da 1 a 3 tracce cariche, possibili tracce neutre, neutrini e eventi jet back to back molto stretti
- Oltre al DELPHI anche il RICH lo può rilevare

Selezione degli Eventi:

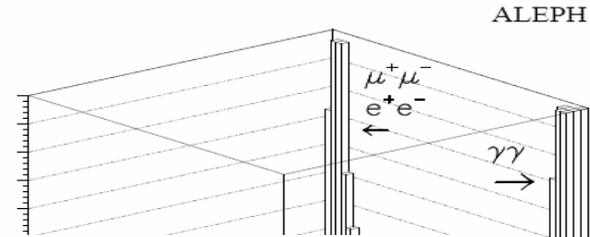
- Essenziale per le misure è una buona selezione degli eventi accompagnata dalla accettazione più grande possibile.
- Ad esempio saper discriminare le varie coppie di leptoni una dall'altra è essenziale per lo studio dell'universalità
- Il LEP grazie alla purezza dei fasci e al design dei detector possiede un'efficienza prossima al **100%**, a parte per i $\tau^+\tau^-$

ALEPH



E_{ch} somma dei momenti delle tracce
 N_{ch} molteplicità della traccia

Selezione degli Eventi:



	ALEPH	DELPHI	L3	OPAL
q\bar{q} final state				
acceptance	$s'/s > 0.01$	$s'/s > 0.01$	$s'/s > 0.01$	$s'/s > 0.01$
efficiency [%]	99.1	94.8	99.3	99.5
background [%]	0.7	0.5	0.3	0.3
e$^+e^-$ final state				
acceptance	$-0.9 < \cos \theta < 0.7$ $s' > 4m_\tau^2$	$ \cos \theta < 0.72$ $\eta < 10^\circ$	$ \cos \theta < 0.72$ $\eta < 25^\circ$	$ \cos \theta < 0.7$ $\eta < 10^\circ$
efficiency [%]	97.4	97.0	98.0	99.0
background [%]	1.0	1.1	1.1	0.3
$\mu^+\mu^-$ final state				
acceptance	$ \cos \theta < 0.9$ $s' > 4m_\tau^2$	$ \cos \theta < 0.94$ $\eta < 20^\circ$	$ \cos \theta < 0.8$ $\eta < 90^\circ$	$ \cos \theta < 0.95$ $m_{ff}^2/s > 0.01$
efficiency [%]	98.2	95.0	92.8	97.9
background [%]	0.2	1.2	1.5	1.0
$\tau^+\tau^-$ final state				
acceptance	$ \cos \theta < 0.9$ $s' > 4m_\tau^2$	$0.035 < \cos \theta < 0.94$ $s' > 4m_\tau^2$	$ \cos \theta < 0.92$ $\eta < 10^\circ$	$ \cos \theta < 0.9$ $m_{ff}^2/s > 0.01$
efficiency [%]	92.1	72.0	70.9	86.2
background [%]	1.7	3.1	2.3	2.7

- **Eventi adronici** e **eventi antiquark** in **Quindi grandi**

- Ever
- direz
- rand

- Diff

- **Eventi e $^+e^-$**

- Rilasc

ia di quark-
i calorimetri
energia lungo la
due fotoni, che è

g detector

- **Eventi $\mu^+\mu^-$** sono alla **Minimum Ionizin Energy** a nei calorimetri adronici e elettromagnetici. Sono però rilevati da **camere muoniche esterne**.
- **Eventi $\tau^+\tau^-$** decadono prima di raggiungere qualunque detector si trovano tramite le **missing energy**

Misura della Luminosità:

- L'importanza di una misura accurata della luminosità è dovuta alla definizione della sezione d'urto totale sperimentale:

$$\sigma_{tot} = \left(\frac{N_{sel} - N_{bg}}{\epsilon_{sel} L} \right)$$

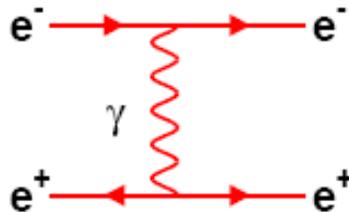
N_{sel} è il numero di eventi selezionati nello stato finale

N_{bg} eventi di background

ϵ_{sel} efficienza della selezione

L: luminosità integrata

- La misura della luminosità dei fasci viene effettuata grazie al Bhabha Scattering, in particolare si prende il canale T che è dominante a piccoli angoli, di cui si conosce perfettamente l'interazione e la sezione d'urto dalla QED



Misura della Luminosità:

- In particolare si devono misurare le energie depositate dagli elettroni scatterati back to back con angoli polari rispetto alla direzione dei fasci dai 25 mrad ai 60 mrad.



- Questo assicura che i dati raccolti dallo scattering contengano anche le inefficienze dei detector.
- La luminosità integrata è data dalla seguente formula:

$$L \approx \frac{N_{e^+e^-}}{\sigma_{BHABHA}^*}$$

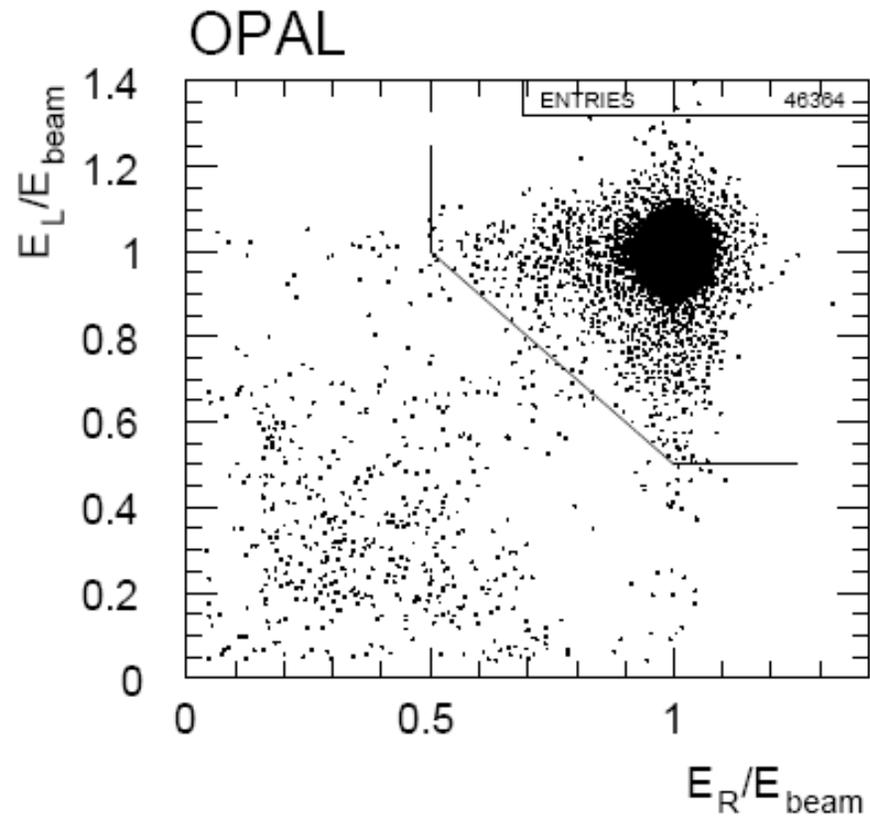
Numero di eventi osservati a piccoli angoli

Sezione d'urto teorica calcolata entro l'accettazione del detector

- Due sono le cause principali di errore:
 1. Difficoltà a definire i limiti geometrici dell'accettazione
 2. Eventi di Background dovute a coincidenze random dei due calorimetri (quello destro e quello sinistro)

Misura della Luminosità:

- Gli errori sistematici si trovano al di sotto del 1 per mille.
- da sottolineare quello teorico contribuisce per lo 0.5 per mille

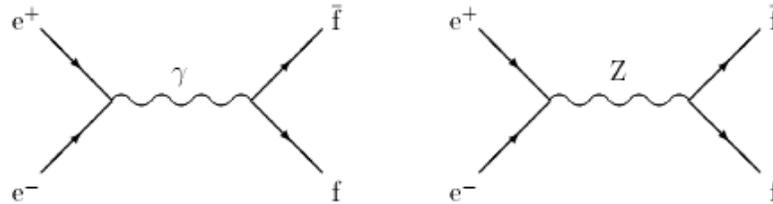


E_L è l'energia ceduta al calorimetro di sinistra

E_R è l'energia ceduta a quello di destra

Sezione d'urto differenziale: senza correzioni radiative

- All'ordine più basso lo scattering e^+e^- in fermione e antifermione è descritto tramite lo scambio di un fotone e di un Bosone Z^0 :



- La sezione d'urto differenziale per i canali fermionici è:

$$\frac{d\sigma_f}{d\cos\Theta} = N_c^f \frac{\pi\alpha^2}{2s} \left\{ \begin{aligned} & Q_f^2 (1 + \cos^2\Theta) \longrightarrow \text{Termine Fotonico} \\ & - Q_f \left[2 g_V^e g_V^f (1 + \cos^2\Theta) + 4 g_A^e g_A^f \cos\Theta \right] \Re\{\chi\} \longrightarrow \text{Termine di interferenza} \\ & + \left(\left[(g_V^e)^2 + (g_A^e)^2 \right] \left[(g_V^f)^2 + (g_A^f)^2 \right] (1 + \cos^2\Theta) \right. \\ & \quad \left. + 8 g_V^e g_A^e g_V^f g_A^f \cos\Theta \right) |\chi|^2 \longrightarrow \text{Termine di scambio } Z^0 \end{aligned} \right.$$

The diagram shows an electron (e^-) and a positron (e^+) on the left, meeting at a vertex. A wavy line labeled γ (photon) connects this vertex to another vertex on the right, where a fermion (f) and an antifermion (\bar{f}) meet. The right diagram is identical, but the wavy line is labeled Z (Z boson). The angle Θ is shown between the e^- and \bar{f} paths.

Sezione d'urto differenziale: senza correzioni radiative

- Con:

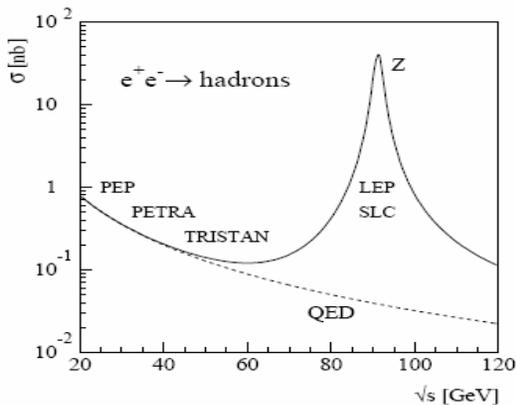
$$N_c^f = \begin{cases} 1 & \text{for leptons} \\ 3 & \text{for quarks} \end{cases}$$

$$\chi = \frac{1}{4 \sin^2 \vartheta_W \cos^2 \vartheta_W} \frac{s}{s - m_Z^2 + i \Gamma_Z m_Z}$$

- Integrando su tutto l'angolo θ ho la sezione d'urto totale:

$$\sigma_f = \frac{4\pi\alpha^2}{3s} N_c^f \left\{ \begin{array}{l} Q_f^2 - \\ -2Q_f g_V^e g_V^f \Re(\chi) + \\ + [(g_V^e)^2 + (g_A^e)^2][(g_V^f)^2 + (g_A^f)^2] |\chi|^2 \end{array} \right\}$$

→ Termine Fotonico
→ Termine di Interferenza
→ Termine dello Z^0



- Per energie molto inferiori a quella di risonanza ho la classica curva $1/s$
Esperimenti PEP, PETRA e TRISTAN
- Per energie in prossimità del picco il termine di interferenza scompare, infatti è legato alla parte reale di χ .
- La Sezione d'urto nel polo va come:

$$\sigma_f = \frac{12\pi}{m_Z^2} \frac{\Gamma_e \Gamma_f}{\Gamma_Z^2} \frac{s}{(s - m_Z^2)^2 + s^2 \Gamma_Z^2 / m_Z^2}$$

Sezione d'urto differenziale: senza correzioni radiative

- Le larghezze di riga dei fermioni sono date da:

$$\Gamma_{ff} = N_c^f \frac{G_F m_z^3}{6\sqrt{2}\pi} (g_{Af}^2 + g_{Vf}^2)$$

- E la larghezza di riga totale ipotizzando la universalità leptonica è data da:

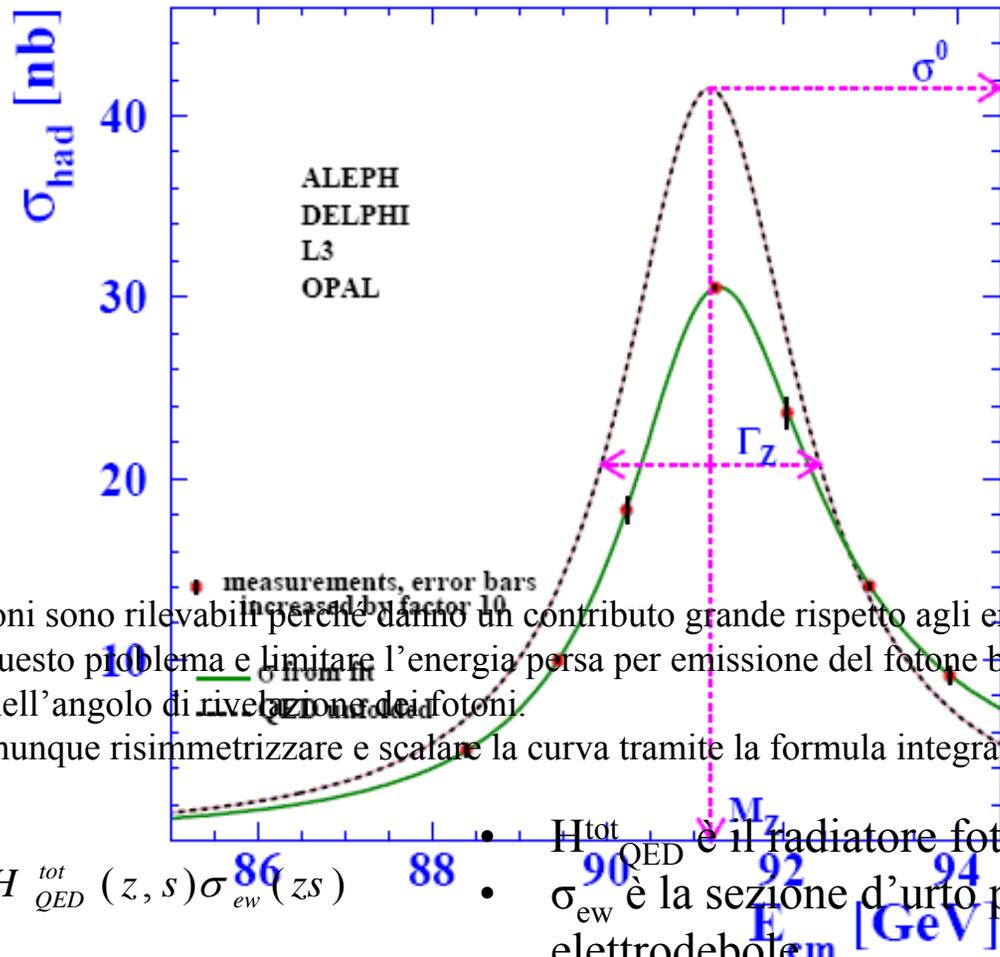
$$\Gamma_Z = \Gamma_{had} + 3\Gamma_{ll} + \Gamma_{inv}$$

- Dalla formula vengono i seguenti valori:

	$BR = \Gamma_f/\Gamma_Z$
e, μ, τ	3.5%
ν_e, ν_μ, ν_τ	7%
hadrons ($= \sum_q q\bar{q}$)	69%

Correzioni Radiative da QED:

- Sono causate i conseguente p
- Gli effetti sono
 1. Riduzio
 2. Shift in
 3. Curva d



stato iniziale con

- Queste correzioni sono rilevabili perché danno un contributo grande rispetto agli errori sperimentali
- Per ovviare a questo problema e limitare l'energia persa per emissione del fotone bisogna scegliere dei tagli adeguati nell'angolo di rivelazione dei fotoni.
- È possibile comunque risimmetrizzare e scalare la curva tramite la formula integrale:

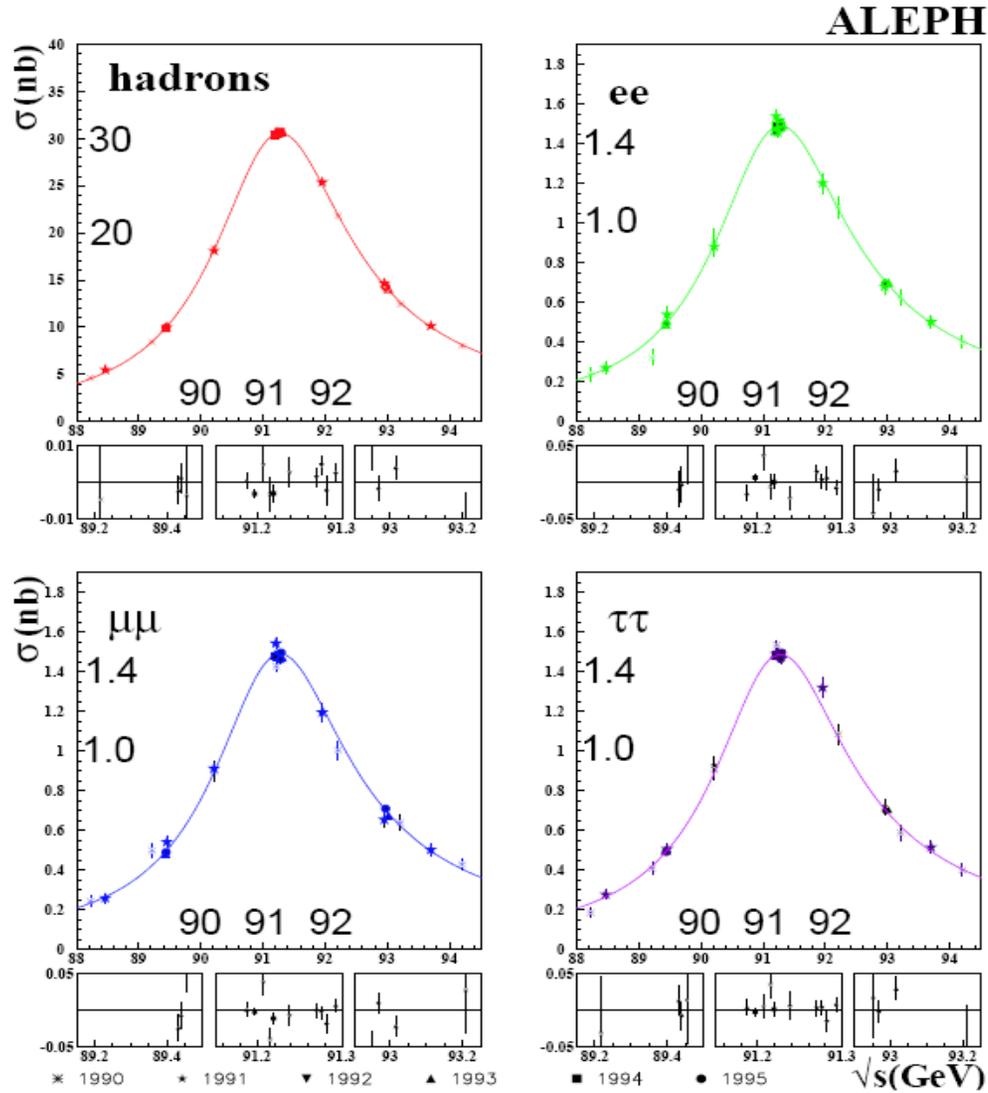
$$\sigma(s) = \int dz H_{QED}^{tot}(z, s) \sigma_{ew}(zs)$$

- H_{QED}^{tot} è il radiatore fotonico
- σ_{ew} è la sezione d'urto per l'interazione elettrodebole

Risultati Sperimentali:

- Studiando i risultati sperimentali seguenti

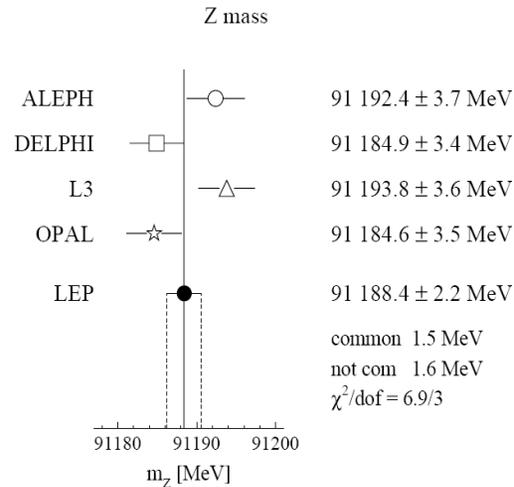
- Mas
- Larg
- Larg
- Larg



ire le

si ipotizza la

Risultati Sperimentali: Massa di Z^0



- Il valore finale è allora:

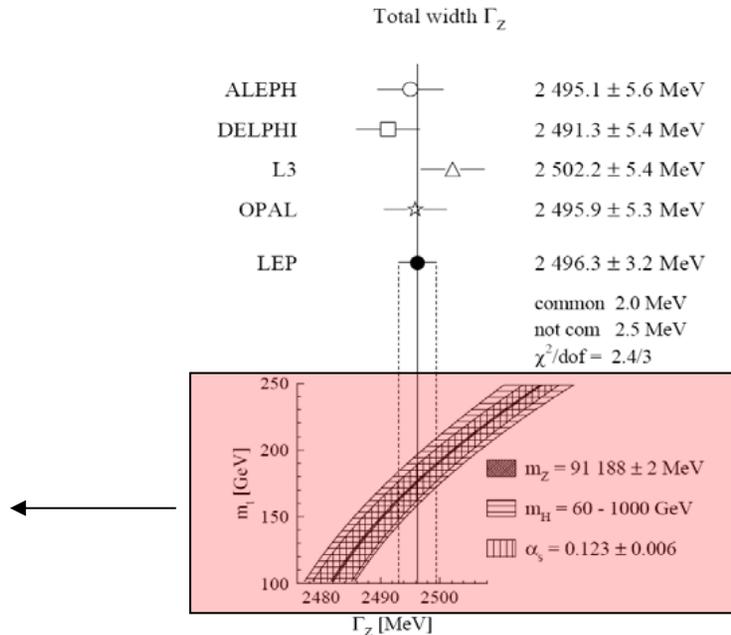
$$m_z = 91188.4 \pm 2.2 \text{ MeV}$$

- Si nota dal valore della χ^2 un ottimo accordo con i dati sperimentali. (i gradi di libertà sono infatti 3)
- La precisione relativa è molto buona infatti:

$$\frac{\Delta m_z}{m_z} = 2.4 \cdot 10^{-5}$$

Risultati Sperimentali: Larghezza Totale di Z^0

Confronto con la previsione teorica in funzione della variazione della massa dell'Higgs



- I quattro esperimenti sono nuovamente in ottimo accordo ed il valore combinato è:

$$\Gamma_Z = 2496.3 \pm 3.2 \text{ MeV}$$

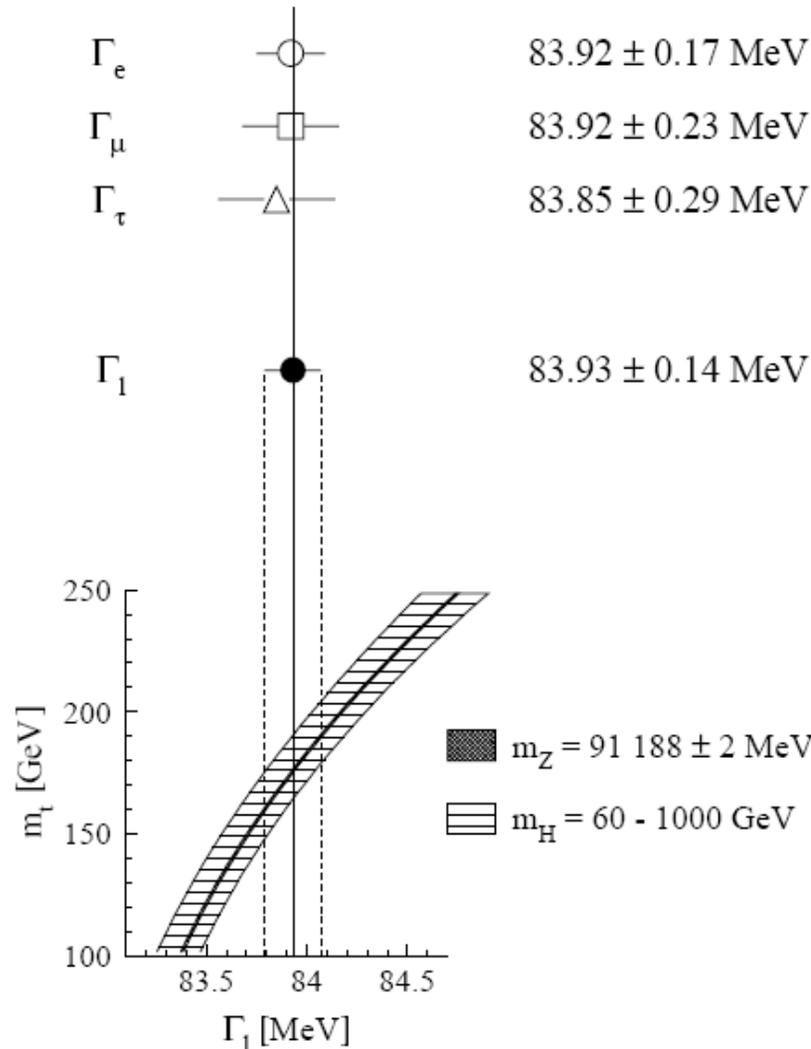
- Da notare che l'errore contiene un contributo di 2 MeV comune a tutti gli esperimenti dovuto all'incertezza sulla calibrazione

Risultati Sperimentali: Larghezze Parziali

- Imponendo l'un

- Se invece non in coppia. Il loro confronto è confront

$$R_0^l = \frac{\Gamma_{adr}}{\Gamma_l}$$



e larghezze per ogni nodo migliore per relati:

errore dello 0.3%

Risultati Sperimentali: Larghezza Invisibile

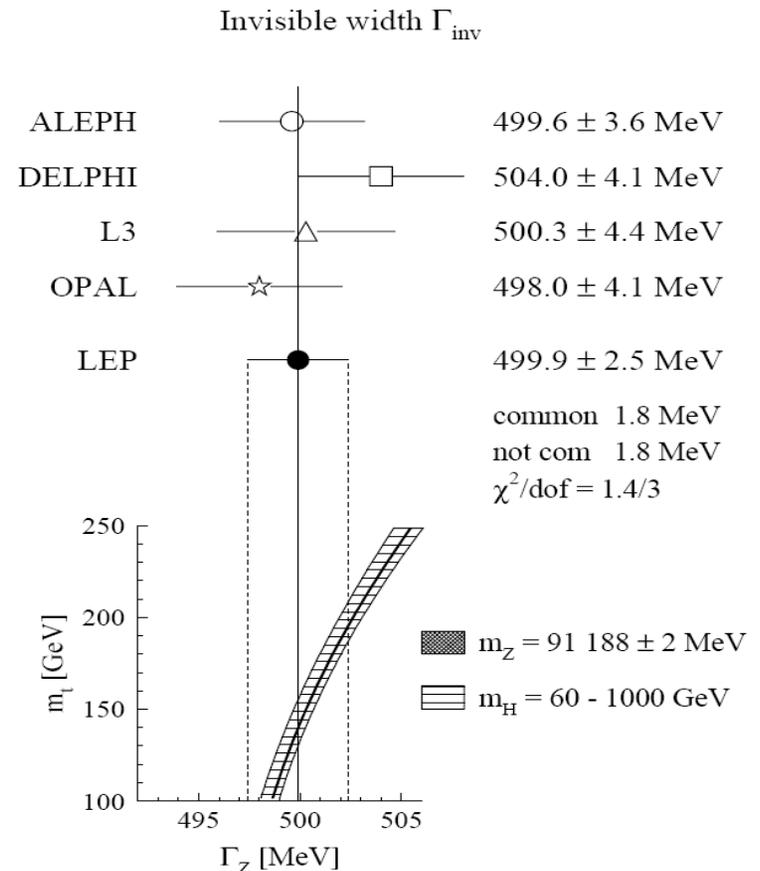
- Ipotizzando la universalità leptonica, che è comunque ben confermata, la larghezza invisibile legata ai neutrini è data da:

$$\Gamma_{inv} = \Gamma_Z - \Gamma_{adr} - 3\Gamma_{ll}$$

- Usando i parametri del fit già trovati si ha il seguente risultato:

$$\Gamma_{inv} = 499.9 \pm 2.5 \text{ MeV}$$

- Tra le altre cose può essere usata per ricavare il numero di famiglie di neutrini...



LEP: dati raccolti

- Alla fine del 1993 ogni esperimento aveva raccolto circa 2000000 di Z e prodotti di decadimento per

	ALEPH	DELPHI	L3	OPAL
hadrons	1 771 k	1 730 k	1 748 k	1 833 k
leptons	215 k	177 k	159 k	228 k

- Ha lavorato sempre in prossimità di Z, inizialmente facendo una scanning nell'intorno dell'energia dello Z

period	$\Delta E_b/E_b [10^{-5}]$	center-of-mass energy
1990	29	$m_Z, m_Z \pm 1, 2, 3 \text{ GeV}$
before Aug. 14, 1991	20	m_Z
after Aug. 14, 1991	5.7	$m_Z, m_Z \pm 1, 2, 3 \text{ GeV}$
1992	20	m_Z
before June 27, 1993	20	m_Z
after June 27, 1993	1.5	$m_Z, m_Z \pm 2 \text{ GeV}$
1994	4	m_Z

Bibliografia:

- Burcham and Jobes: Nuclear and Particle Physics (Cap 11 e 13)
- Physics Reports Volume 427 Maggio 2006
- Presentazione al Cern di Pippa Wells: LEP Results 1
- Joachim Mnich: Experimental Tests of Standard Model in e^+e^- to f -anti f at the Z resonance