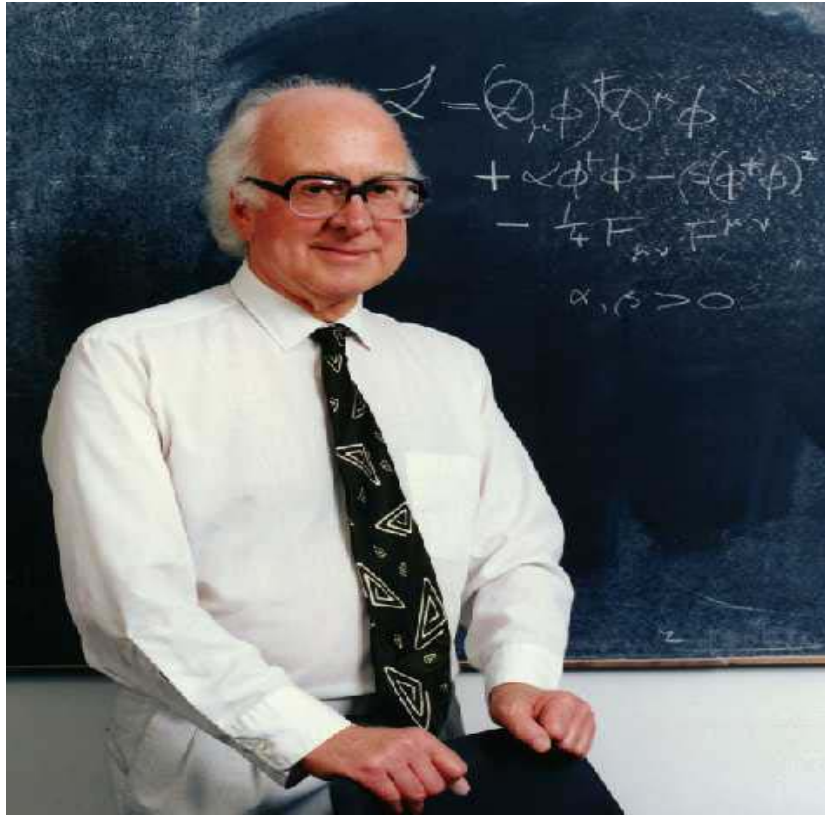


La fisica del bosone di Higgs



- Limiti teorici alla massa del Higgs
- Limiti sperimentali alla massa del Higgs
- Ricerca del Higgs a LHC

P.W. Higgs, Phys. Lett. 12 (1964) 132



L'unico evento di Higgs trovato finora...

Spin dei bosoni intermedi

Per i fotoni di Maxwell: $\partial_\mu \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu (\partial_\mu A^\mu) = 4\pi J^\nu$ $\partial_\mu \partial^\mu A^\nu \equiv \square^\nu$

Se la particella ha massa $\square \longrightarrow \square + M^2$, $A^\mu \longrightarrow W^\mu$ (eq. Di Proca)

$(\square + M^2)W^\mu - \partial^\mu \partial^\nu W_\nu = 0$ nel vuoto.

Se facciamo la divergenza dell'equazione (∂_μ) $\partial_\mu W^\mu = 0$

Se la soluzione e' un'onda piana, i.e. $W^\mu = \varepsilon^\mu e^{-ikx} \Rightarrow k \cdot \varepsilon = 0$

Cioe' solo 3 polarizzazioni sono indipendenti (se $s=1$ abbiamo la terza componente = +1, -1, 0)

Andiamo nel c.m. del W: $\varepsilon^0=0$ ($\varepsilon^0 M=0$). I tre quadrivettori di polarizzazione si scrivono:

$$\varepsilon_{cm}^\mu \equiv [0, \vec{\varepsilon}(\lambda)], \varepsilon(\lambda = \pm 1) = \mp \frac{1}{\sqrt{2}} [1, \pm i, 0], \varepsilon(\lambda = 0) = [0, 0, 1] \text{ con } \vec{\varepsilon}^*(\lambda) \cdot \vec{\varepsilon}(\lambda') = \delta_{\lambda\lambda'}$$

(ortogonalita')

Le polarizzazioni con $\lambda=+1 -1$ sono dette trasverse mentre quella con $\lambda=0$ e' detta longitudinale. Per andare in un generico sistema di Lorentz devo trasformare ε_μ^{cm}

Ad esempio trasformiamo in un sistema boostato lungo z, se k_μ e' il 4impulso del W:

$$\left[k_{cm}^0, 0, 0, 0 \right] \xrightarrow{\text{Lorentz}} \left[k_0, 0, 0, |\vec{k}| \right]$$

La polarizzazione trasversa e' invariata: $\varepsilon^\mu(k_{cm}, \lambda = \pm 1) = \varepsilon^\mu(k, \lambda = \pm 1)$

Mentre quella longitudinale viene trasformata:

$$\varepsilon_{cm}^\mu(0, 0, 0, 1) \xrightarrow{\text{Lorentz}} \begin{bmatrix} \gamma & \beta\gamma \\ -\beta\gamma & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \rightarrow M^{-1} \left[|\vec{k}|, 0, 0, k^0 \right] \quad \boxed{\text{N.B. } \varepsilon^\mu(\lambda = 0) \text{ cresce come } k^\mu / M}$$

Allora nel sistema boostato: $\sum_\lambda \varepsilon_\mu(k, \lambda) \varepsilon_\nu^*(k, \lambda) = -g_{\mu\nu} + \frac{k_\mu k_\nu}{M^2}$ (relazione di completezza)

Da paragonarsi al **propagatore** di W/Z

$$\boxed{-i(g_{\mu\nu} - \frac{k_\mu k_\nu}{M^2}) / (k^2 - M^2)}$$

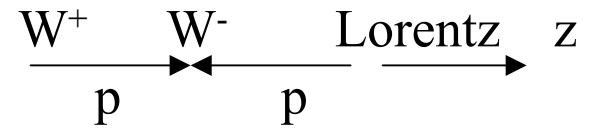
Questo risultato e' generalizzabile a qualunque sistema di Lorentz.

La sommatoria sulle polarizzazioni $P_{\mu\nu}$ puo' essere solo della forma: $A g_{\mu\nu} + B k_\mu k_\nu$

Calcoliamoci A e B in casi semplici: $k = [k_0, 0, 0, |\vec{k}|], \varepsilon_1[0, 1, 0, 0], \varepsilon_2[0, 0, 1, 0], \varepsilon_L = M^{-1} [|\vec{k}|, 0, 0, k_0]$

$$P_{11} = A g_{11} + B k_1 k_1 = +1, P_{03} = A g_{03} + B k_0 k_3 = + \frac{|\vec{k}| k_0}{M^2} \Rightarrow A = \frac{1}{g_{11}} = -1, B = \frac{|\vec{k}| k_0}{M^2 + |\vec{k}| k_0} = + \frac{1}{M^2}$$

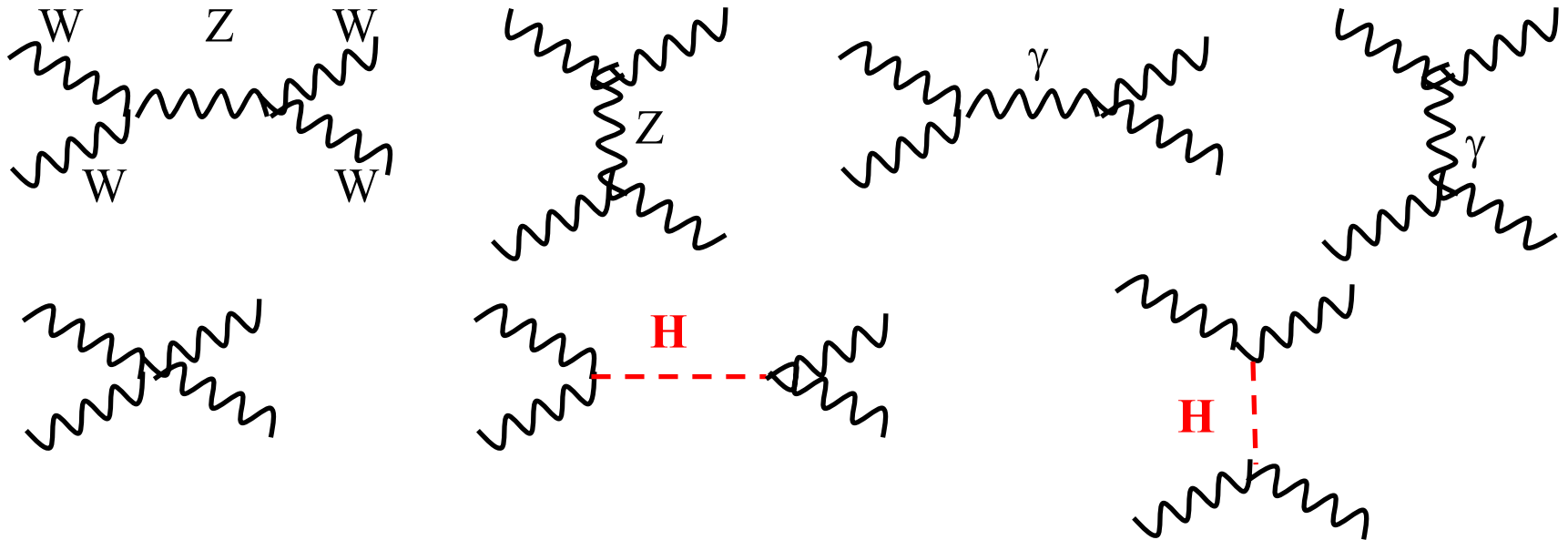
Limiti teorici alla massa del Higgs

Processo $W^+W^- \rightarrow W^+W^-$ nel c.m. p sia lungo z 

Abbiamo visto la polarizzazione longitudinale (elicita' =0):

$$\varepsilon_L(p_{\pm}) = M_W^{-1}[p, 0, 0, E] \text{ cresce con l'energia}$$

Diagrammi di interazione W^+W^-



A causa dell'andamento della ε_L ciascun grafico cresce con l'energia

$$T(s, t) = A \left(\frac{P}{M_W} \right)^4 + B \left(\frac{P}{M_W} \right)^2 + C$$

Facendo la somma dei diagrammi, quelli senza lo Higgs cancellano in termine in A, i diagrammi con l'Higgs cancellano i termini tipo B e resta:

$$T(s, t) = -g_W^2 \frac{M_H^2}{4M_W^2} \left[\frac{s}{s - M_H^2} + \frac{t}{t - M_H^2} \right]$$

Qualunque ampiezza puo' essere epressa come somma di onde parziali:

$$T(s, t) = 16\pi \sum_j (2j+1) a_j P_j(\cos \theta) \quad P_j \equiv \text{Polinomi di Legendre: } P_0(x) = 1, P_1(x) = x, P_2(x) = \frac{1}{2}(3x^2 - 1) \dots$$

Il teorema di unitarieta' (conservazione di j) impone che: $|a_j| \leq 1$, qualunque j

Nel caso dell'ampiezza WW otteniamo a_0 dall'ortonormalita' dei polinomi P_j :

$$a_0(s) = \int_{-1}^1 T \cdot P_0(\cos \theta) d \cos \theta = \int_{-s}^0 T \frac{dt}{s} \Rightarrow a_0(s) = -\frac{G_F M_H^2}{8\pi \sqrt{2}} \left[2 + \frac{M_H^2}{s - M_H^2} - \frac{M_H^2}{s} \ln \left(1 + \frac{s}{M_H^2} \right) \right]$$

$$\text{se } s \gg M_H^2, |a_0(s)| \leq 1 \Rightarrow M_H^2 \leq \frac{4\sqrt{2}\pi}{G_F}$$

$$\text{analisi piu' accurata: } M_H \leq \left[\frac{8\sqrt{2}\pi}{3G_F} \right] \approx 1 \text{ TeV}$$

Se $M_H > 1 \text{ TeV}$ lo scattering WW non e' piu' descrivibile perturbativamente (diagrammi di Feynman) **cioe' l'interazione diventa forte: NUOVA FISICA**

Ricerca del Higgs prima di LEP

Prima di LEP ricerca in qualche decadimento adronico:



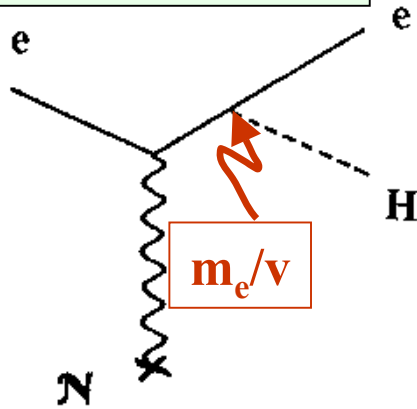
Non si osservano eccessi ma...
Il limite sulla massa ambiguo

Ci sono grosse incertezze teoriche
Sulla predizione dei rate di decadimento...

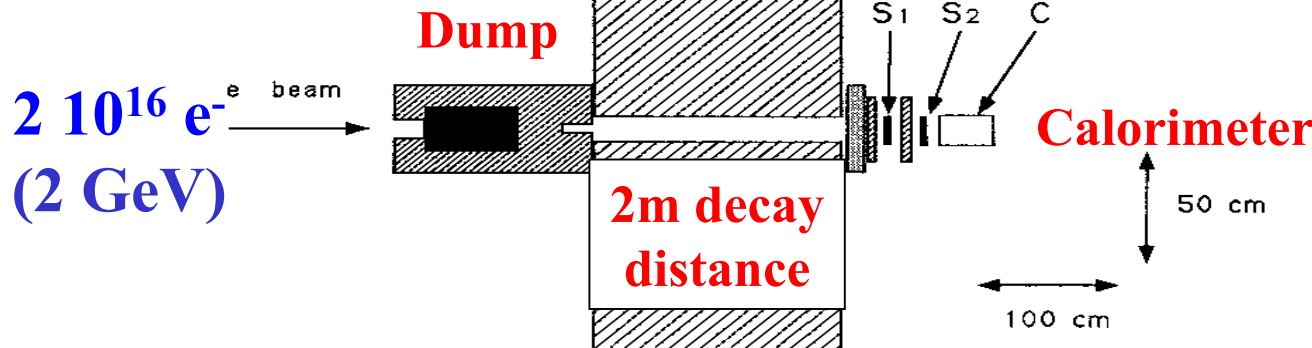
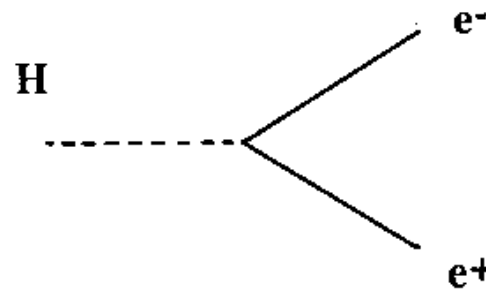
Ricerca del Higgs prima di LEP

Solo un limite non ambiguo: M. Davier and H. Nguyen Ngoc, 1990

1) produzione:

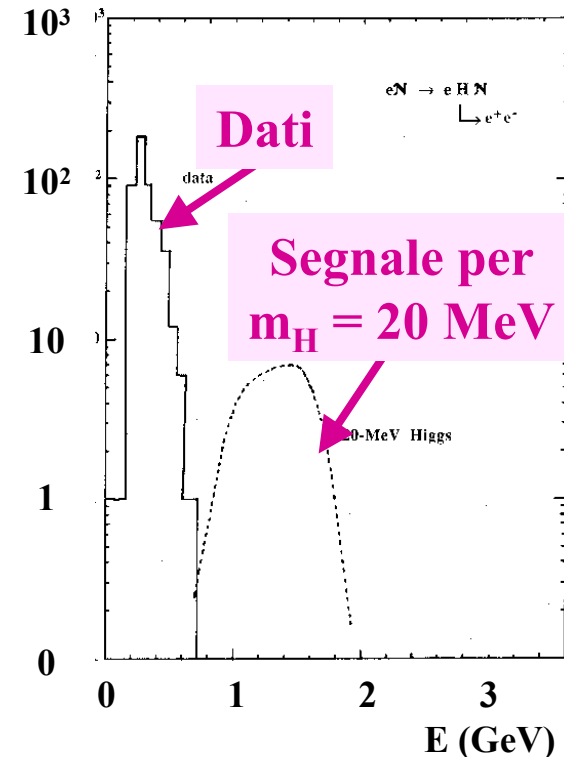


2) decadimento (se m_H e' tra $2m_e$ e $2m_\mu$):

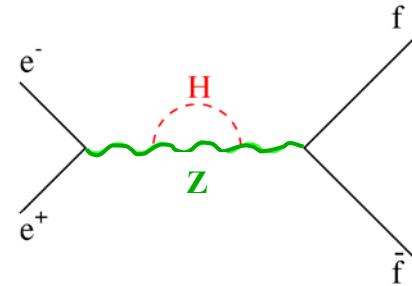
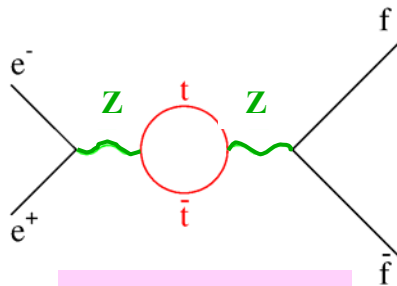
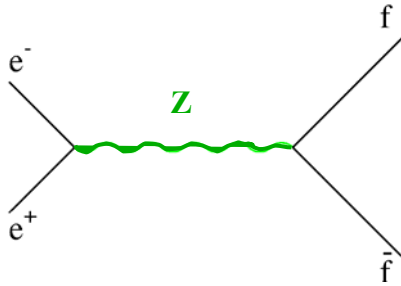


$1.2 \text{ MeV} < m_H < 52 \text{ MeV}$
Escluso al 95% C.L.

Nessun conteggio sopra 750 MeV



Higgs a LEP/SLD: limiti indiretti



**Necessaria una
Precisione dello 0.1%**

$$\frac{\alpha}{\pi} \frac{m_t^2}{m_Z^2} \approx 1\%$$

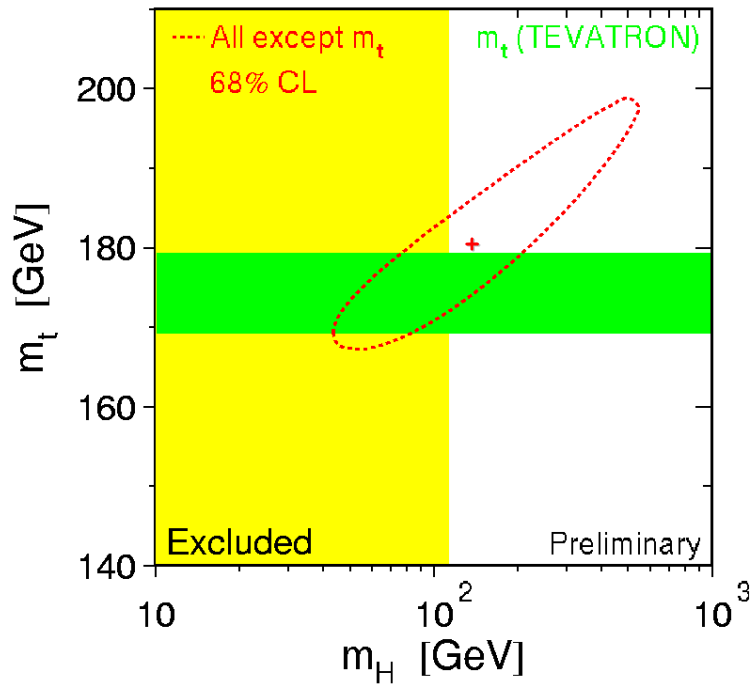
$$-\frac{\alpha}{4\pi} \text{Log} \frac{m_H^2}{m_Z^2}$$

Predizione indiretta di m_{top} :

$$m_{\text{top}} = 180^{+6}_{-5} + 17_{-12} \text{ GeV}$$

Predizione indiretta di m_H :

$$m_H = 81^{+53}_{-33} \text{ GeV}$$



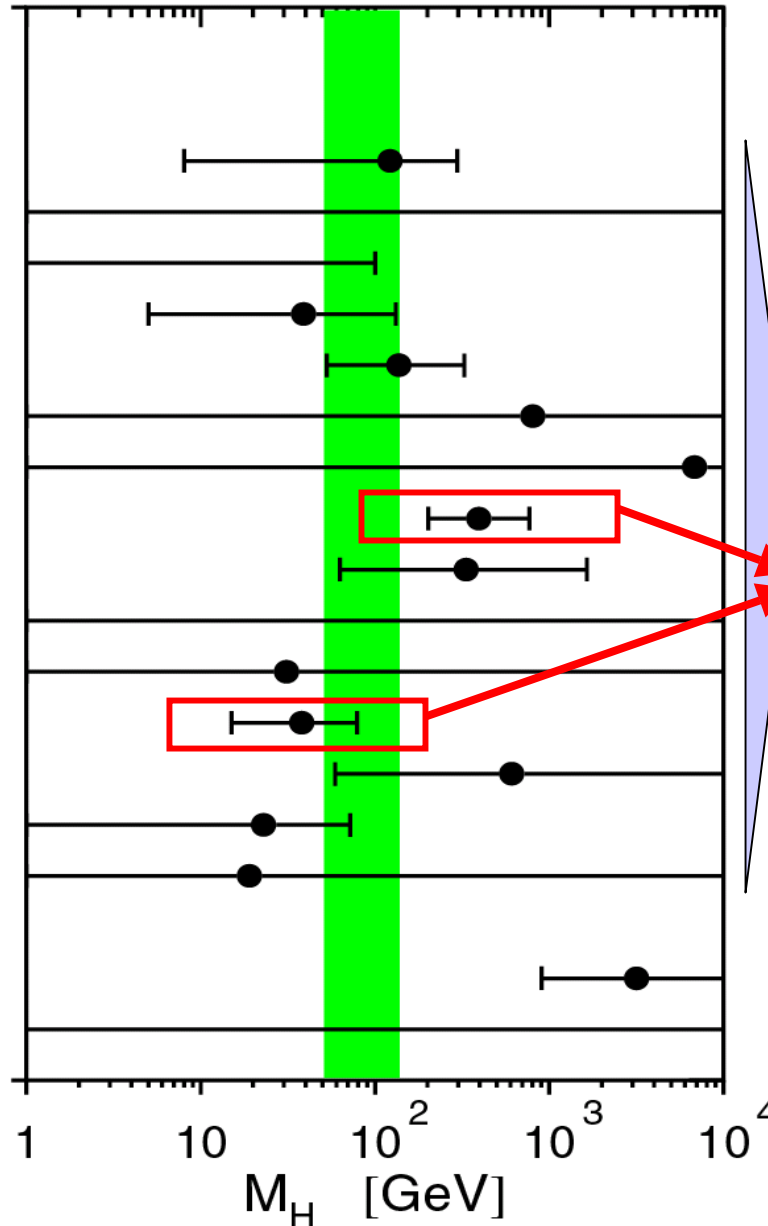
Higgs a LEP/SLD: limiti indiretti

LEP EWWG Summer 2002

Precisione

- 9×10^{-4} Γ_Z [GeV]
- 9×10^{-4} σ_{had}^0 [nb]
- 1×10^{-3} R_l^0
- 6×10^{-2} $A_{\text{fb}}^{0,l}$
- 2×10^{-2} $A_l(P_\tau)$
- 3×10^{-3} R_b^0
- 2×10^{-2} R_c^0
- 2×10^{-2} $A_{\text{fb}}^{0,b}$
- 5×10^{-2} $A_{\text{fb}}^{0,c}$
- 2×10^{-2} A_b
- 4×10^{-2} A_c
- 1×10^{-2} $A_l(\text{SLD})$
- 5×10^{-3} $\sin^2 \theta_{\text{eff}}^{\text{lept}}(Q_{\text{fb}})$
- 4×10^{-4} m_W [GeV]
- 3×10^{-2} Γ_W [GeV]

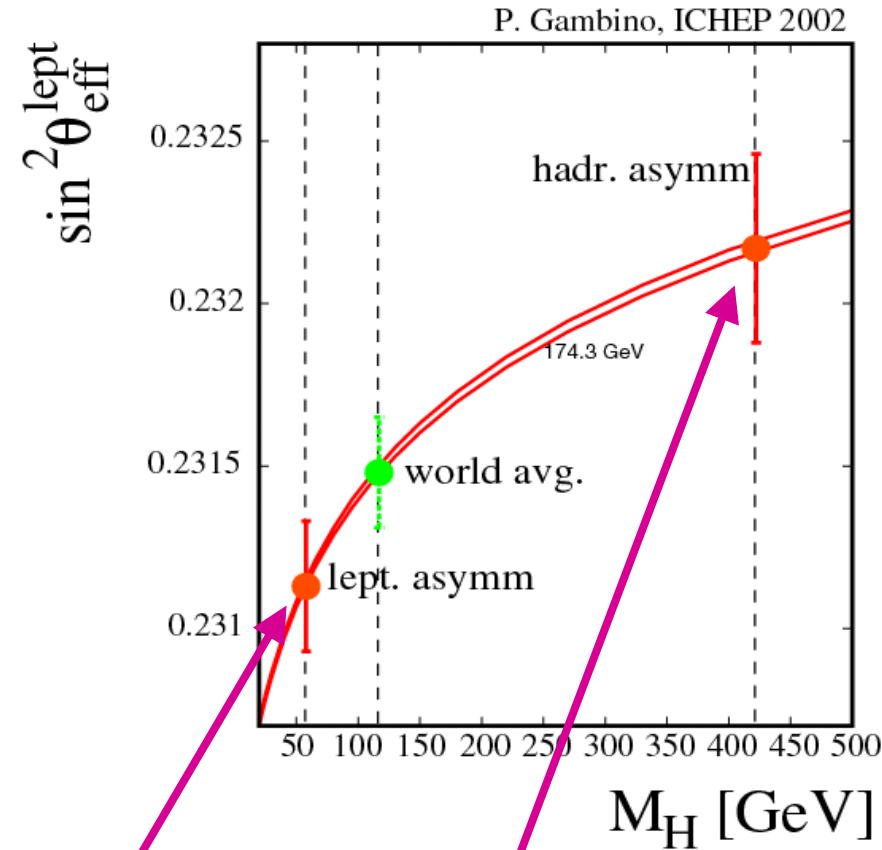
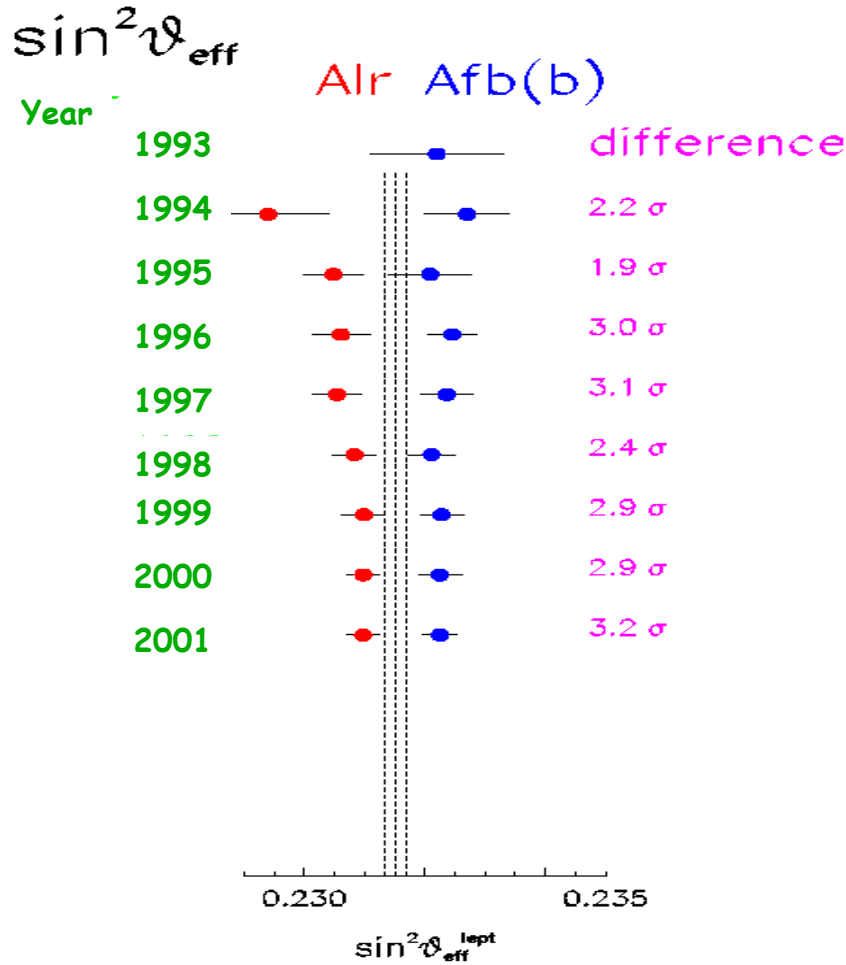
- $\sin^2 \theta_W(vN)$
- $Q_W(\text{Cs})$



La migliore sensibilità alla massa del Higgs è fornita da $A_{\text{fb}}^b(\text{LEP})$ e $A_l(\text{SLD})$.

Sfortunatamente i due risultati non sono in accordo

Higgs a LEP/SLD: limiti indiretti



P. Gambino, ICHEP 2002

disaccordo a 3σ :

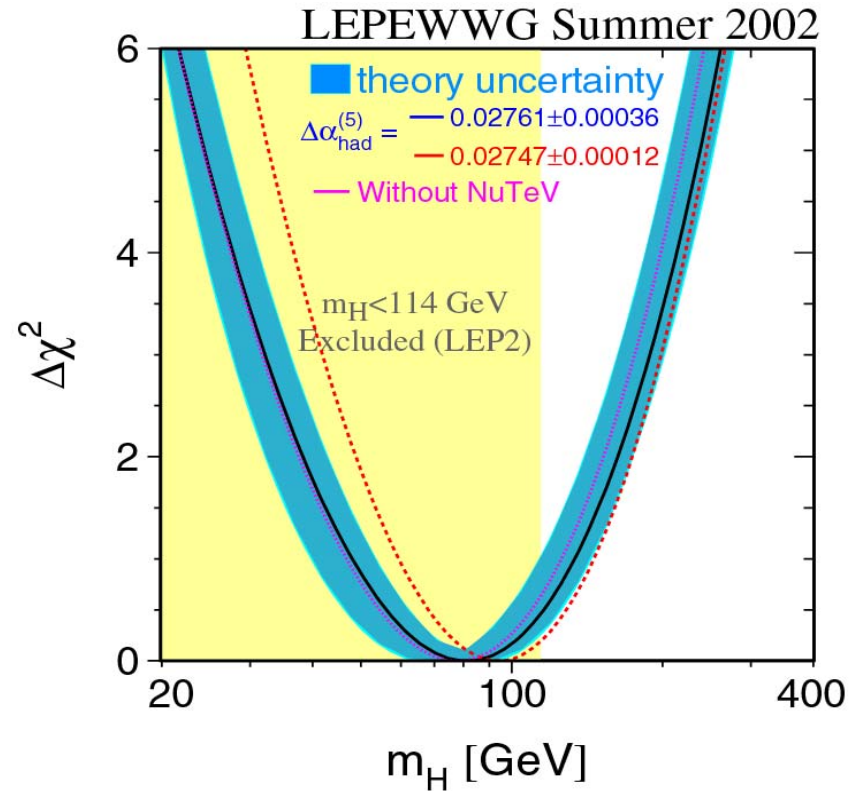
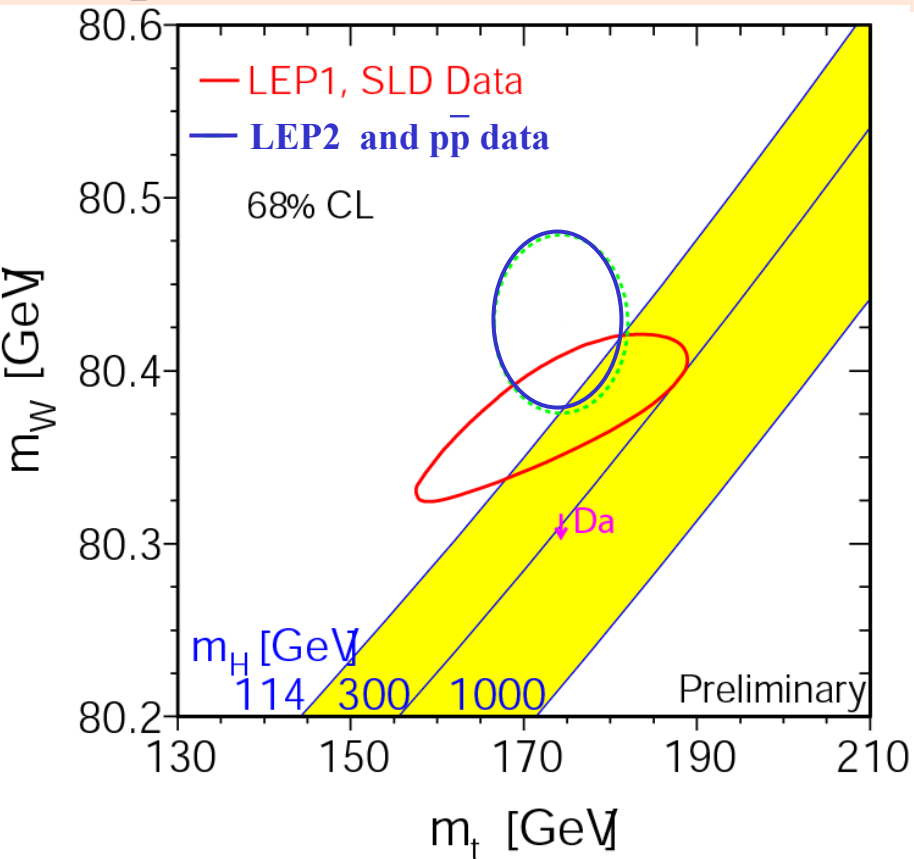
**Forward-backward asimmetria del quark b a LEP favorisce Higgs pesanti
L'asimmetria Left-right da SLD favorisce Higgs leggeri**

Higgs at LEP/SLD: limiti indiretti

Fit globale di m_H and m_{top} :

$$m_{top}^{indirect} = 170.7 \pm 10.3 \text{ GeV}$$

$$m_{top}^{direct} = 174.3 \pm 5.1 \text{ GeV}$$



$$m_H^{Indirect} = 81_{-33}^{+53} \text{ GeV}$$

$$m_H \leq 193 \text{ GeV at 95\% C.L.}$$

Higgs at LEP/SLD: limiti indiretti

Limiti indiretti di m_H dopo LEP?

□ ora: $\delta m_{\text{top}} = \pm 5.1 \text{ GeV}$, $\delta m_W = \pm 34 \text{ MeV}$

$$m_H^{\text{Indirect}} = 81_{-33}^{+53} \text{ GeV}$$

□ con $\delta m_{\text{top}} = \pm 2 \text{ GeV}$

$$m_H^{\text{Indirect}} = ?_{-28}^{+39} \text{ GeV}$$

□ con $\delta m_W = \pm 15 \text{ MeV}$

$$m_H^{\text{Indirect}} = ?_{-29}^{+43} \text{ GeV}$$

□ con $\delta m_{\text{top}} = \pm 2 \text{ GeV}$ e $\delta m_W = \pm 15 \text{ MeV}$

$$m_H^{\text{Indirect}} = ?_{-16}^{+21} \text{ GeV}$$

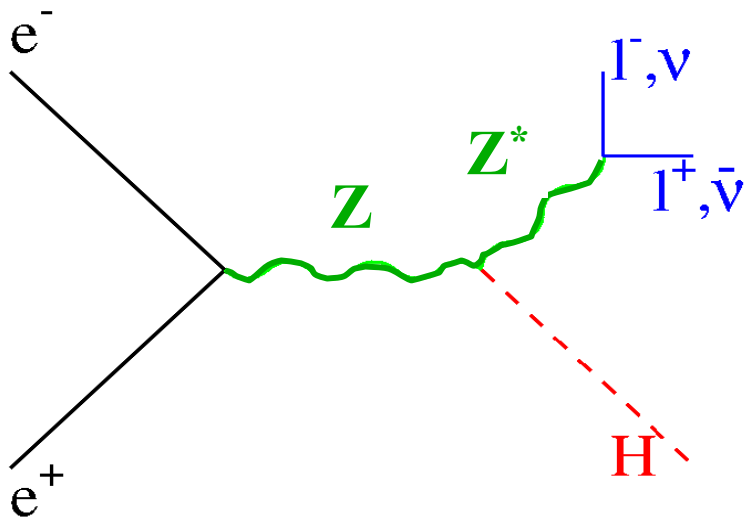
**Il Tevatron e LHC
raggiungeranno
questi limiti di
precisione su m_{top} e
 m_W**

Higgs: ricerca diretta a LEP

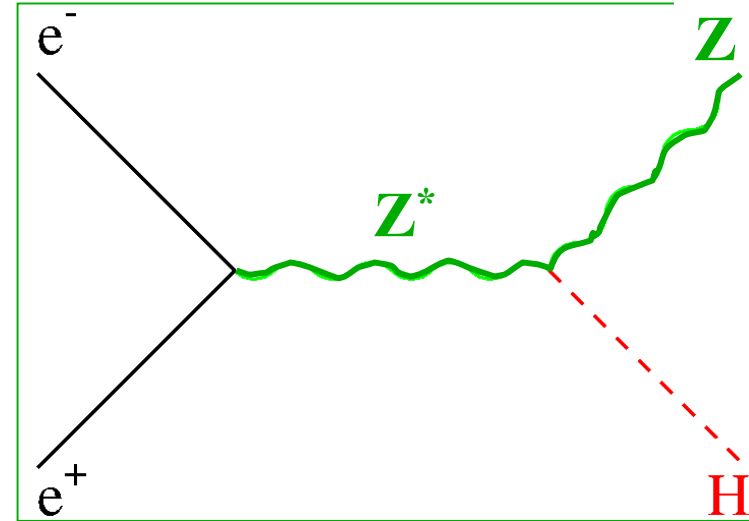
Il processo dominante a LEP: “Higgs-strahlung”

La sezione d'urto di produzione dipende solo da m_H

LEP 1: $\sqrt{s} \sim m_Z$



LEP 2: $\sqrt{s} \geq m_Z + m_H$

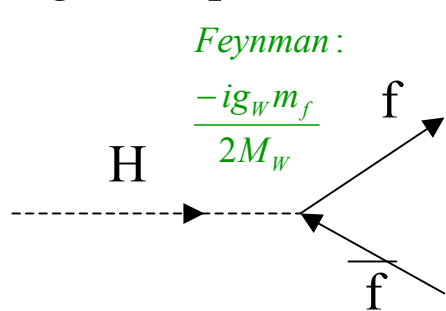


L'accoppiamento dominante e' allo $Z \Rightarrow$
Tutti gli altri processi sono trascurabili

Larghezze parziali del bosone di Higgs

Si accoppia **direttamente** solo a particelle che hanno massa

a) Larghezza parziale in fermioni:



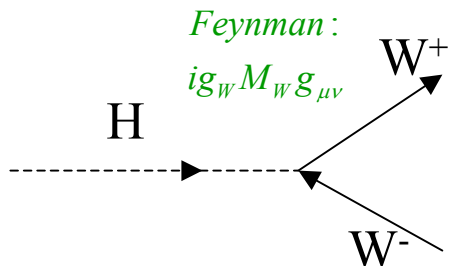
$$\Gamma(H \rightarrow f\bar{f}) = C_f \frac{m_f^2 m_H}{4\pi\sqrt{2}} \left[1 - \frac{4m_f^2}{m_H^2} \right]^{3/2}$$

Fattore di colore (1 o 3)

Spazio delle fasi

Sono preferiti i fermioni a piu' alta massa

b) Larghezza parziale in bosoni vettori:

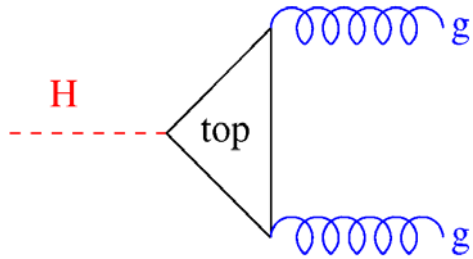


$$\Gamma(H \rightarrow W^+W^-) = \frac{G_F}{8\pi\sqrt{2}} m_H^3 (1 - 4\lambda_W)^{1/2} (12\lambda_W^2 - 4\lambda_W + 1); \lambda_W = \left(\frac{M_W}{m_H} \right)^2$$

$$\Gamma(H \rightarrow ZZ) = \frac{G_F}{16\pi\sqrt{2}} m_H^3 (1 - 4\lambda_Z)^{1/2} (12\lambda_Z^2 - 4\lambda_Z + 1); \lambda_Z = \left(\frac{M_Z}{m_H} \right)^2$$

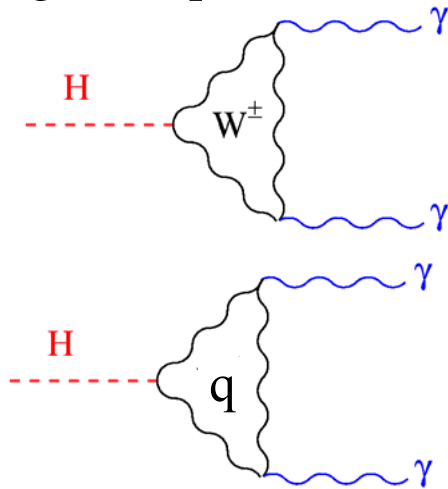
Per $m_H \gg M_Z$ il rapporto di decadimento in $W W$ e ZZ e' 2:1 (1/2 nello ZZ viene dalla simmetria di bosoni identici)

c) Larghezza parziale in gluoni



$$\Gamma(H \rightarrow gg) = \frac{G_F m_H^3}{36\pi\sqrt{2}} \left(\frac{\alpha(m_H^2)}{\pi}\right)^2 |I|^2, I \approx 1 + \frac{1}{4x}; x = \frac{m_t^2}{m_H^2}$$

d) Larghezza parziale in fotoni:



$$\Gamma(H \rightarrow \gamma\gamma) = \frac{G_F m_H^3}{8\pi\sqrt{2}} \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^2 |I|^2,$$

I e' un fattore che dipende da $\frac{m_q^2}{m_H^2}, \frac{m_W^2}{m_H^2}$, I ordine unita'

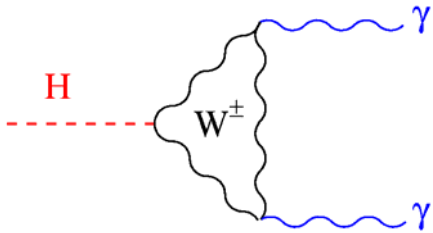
La larghezza totale del Higgs cresce velocemente con la massa per $m_H \gg 2M_Z$: Es. se $m_H = 1 \text{ TeV}$ $\Gamma_H \sim 500 \text{ GeV}$ (l'interazione tende ad essere forte!)

Viceversa a piccole m_H l' Higgs e' stretto : ad es. $m_H = 100 \text{ GeV}, \Gamma_H \sim 5 \text{ MeV}$

Decadimenti del bosone di Higgs

Le frazioni di decadimento dipendono da m_H :

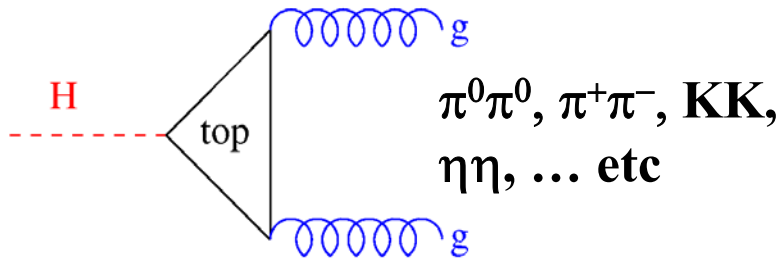
☐ $m_H < 2m_e$: $H \rightarrow \gamma\gamma$ + vita media lunga;



☐ $m_H < 2m_\mu$: $H \rightarrow e^+e^-$ domina;

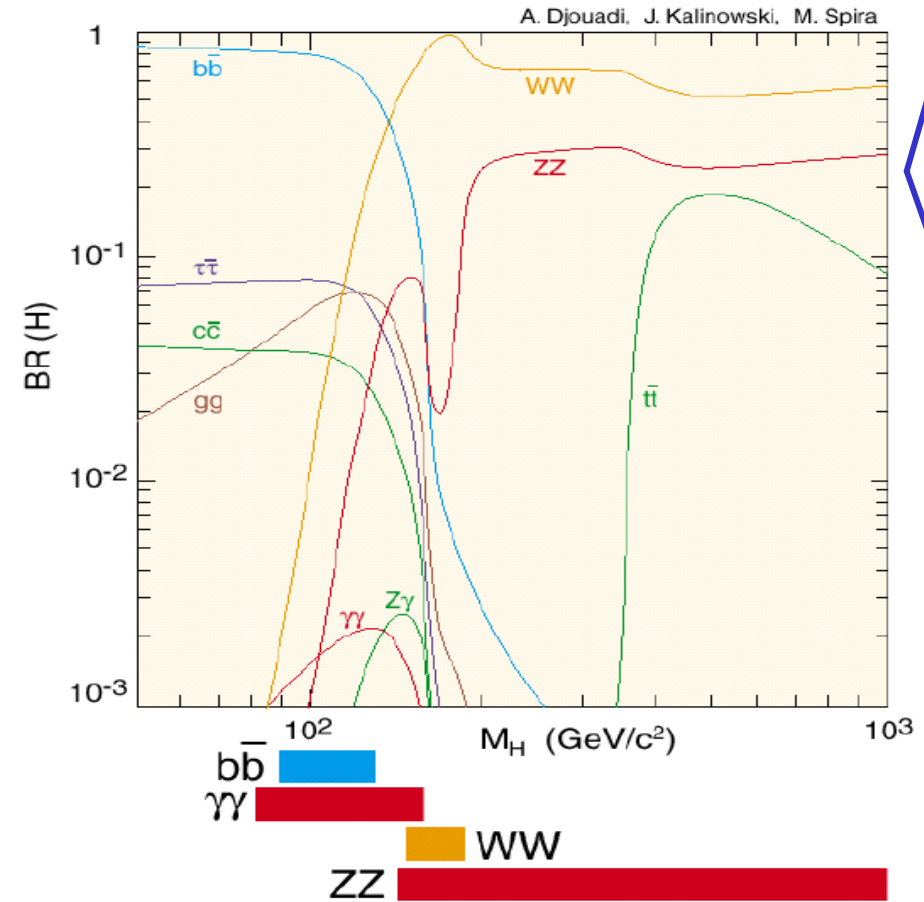
☐ $m_H < 2m_\pi$: $H \rightarrow \mu^+\mu^-$ domina;

☐ $m_H < 3 - 4 \text{ GeV}$: $H \rightarrow gg$ domina;

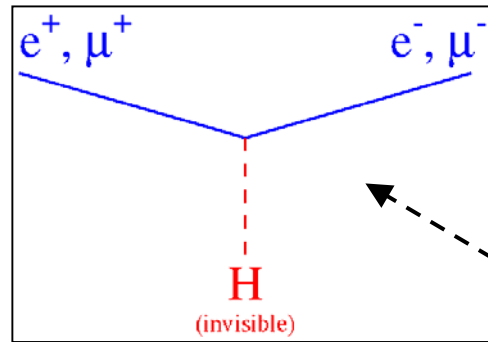


☐ $m_H < 2m_b$: $H \rightarrow \tau^+\tau^-$ and $c\bar{c}$ dominano;

☐ $m_H > 2m_b$ fino a $1000 \text{ GeV}/c^2$:

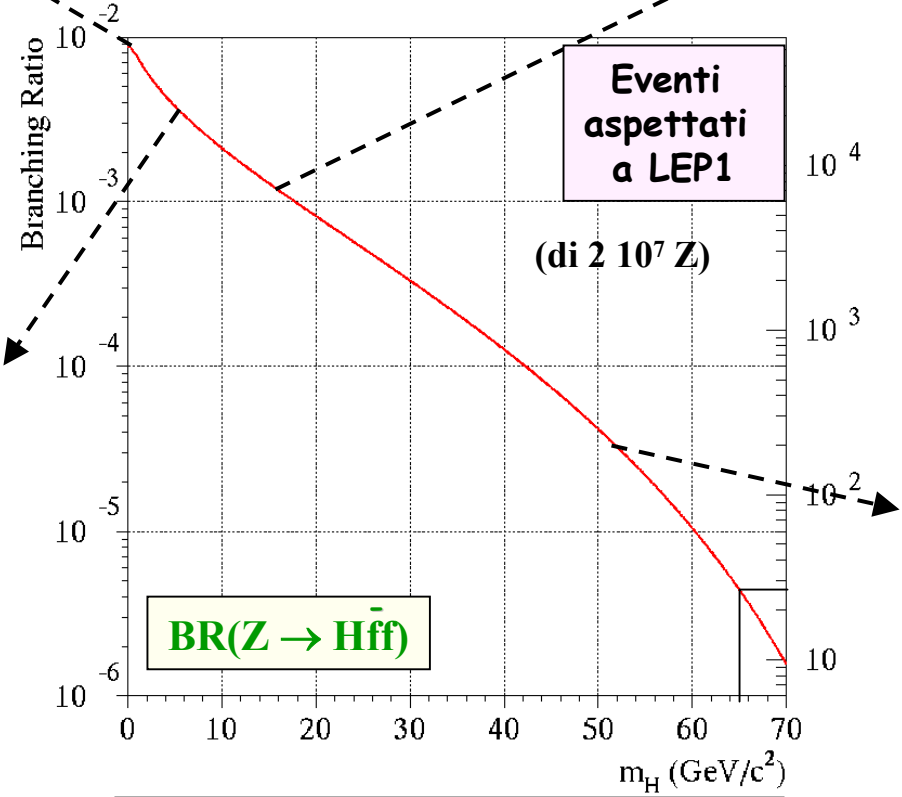
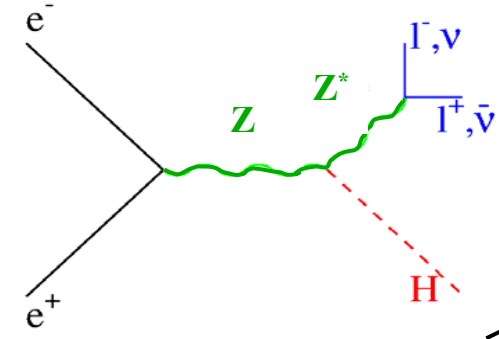
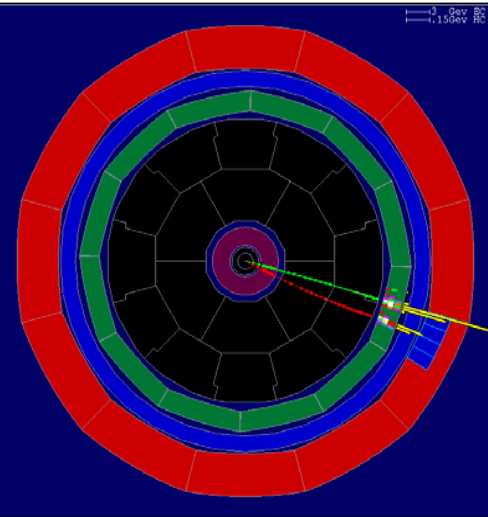


Higgs: ricerca diretta a LEP1

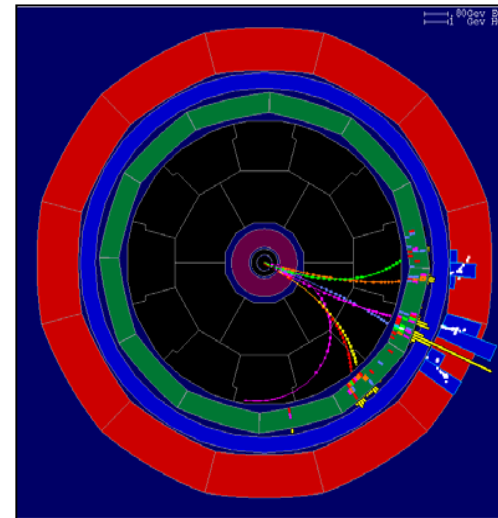


Coppia di leptoni
acoplanari

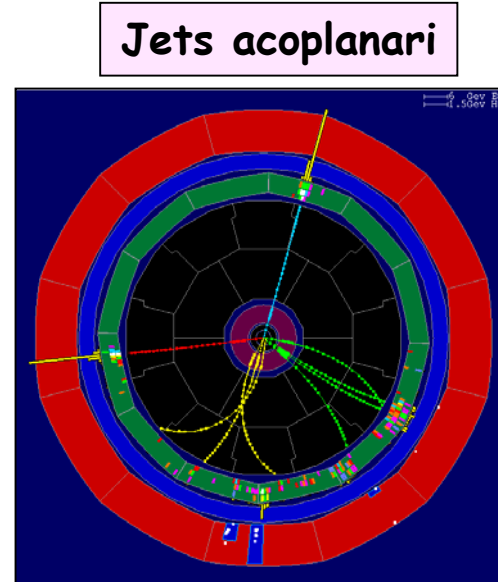
Coppie acoplanari



Il fondo e' trascurabile



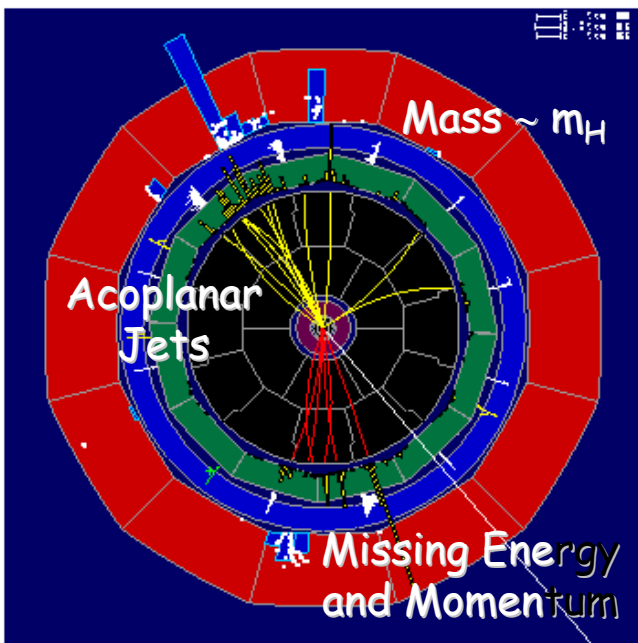
Monojets



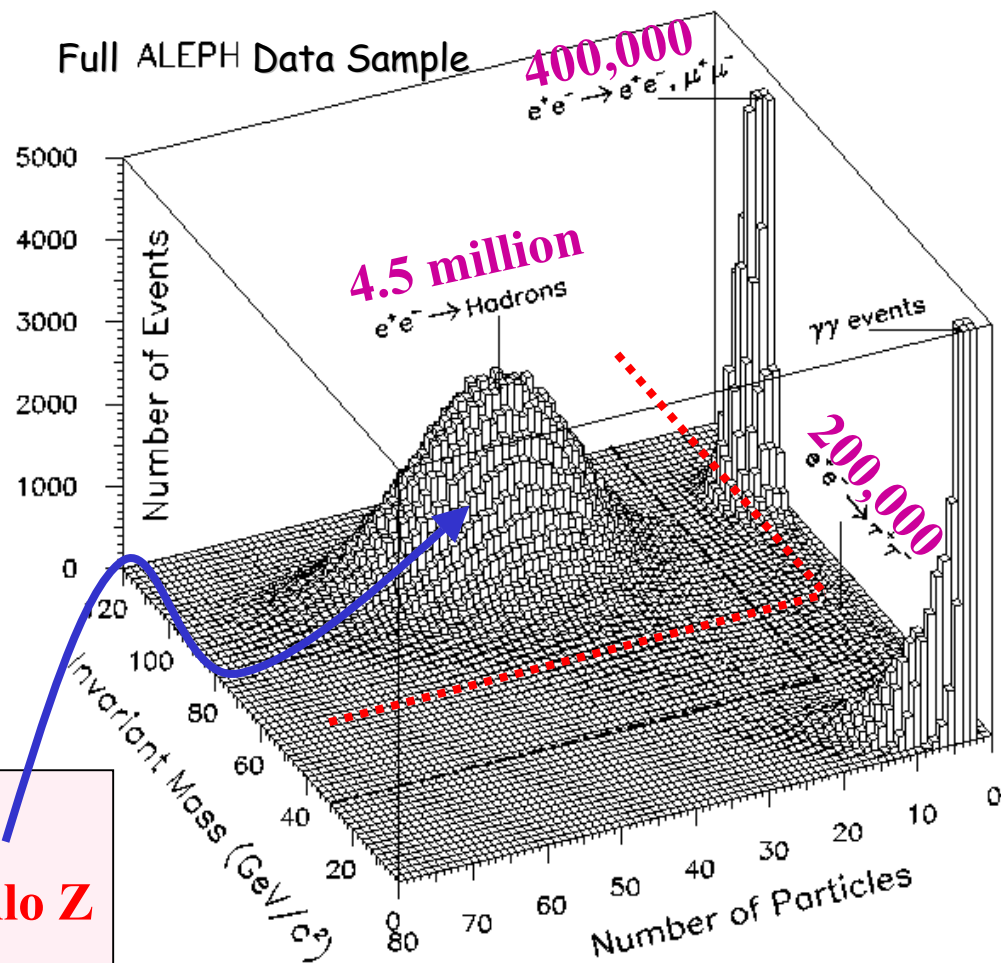
Jets acoplanari

Ricerca di jet acoplanari ($e^+e^- \rightarrow H\nu\bar{\nu}$)

20 eventi $H\nu\bar{\nu}$ aspettati
per i 4 esperimenti a $m_H = 65$ GeV



In un campione di 20 milioni
di altri eventi dai decadimenti dello Z
(o da altri processi)



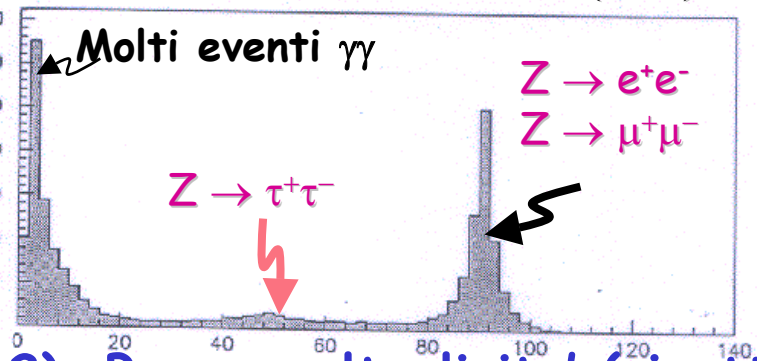
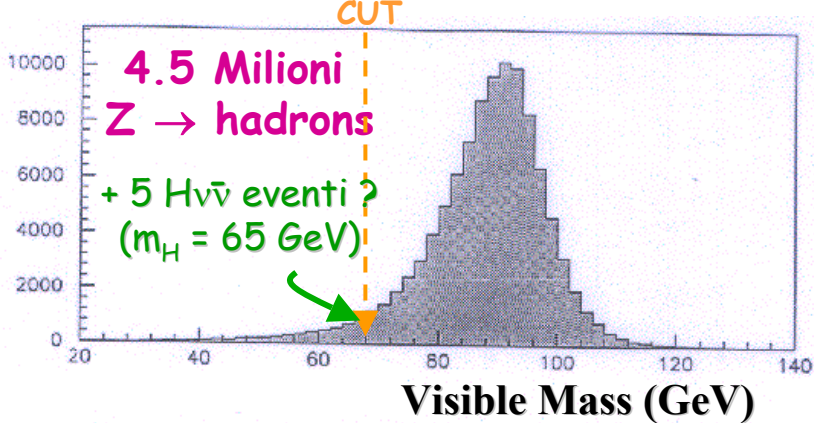
Ricerca di jet acoplanari ($e^+e^- \rightarrow H\nu\bar{\nu}$)

70,000 Eventi con $M_{VIS} \leq 70$ GeV :

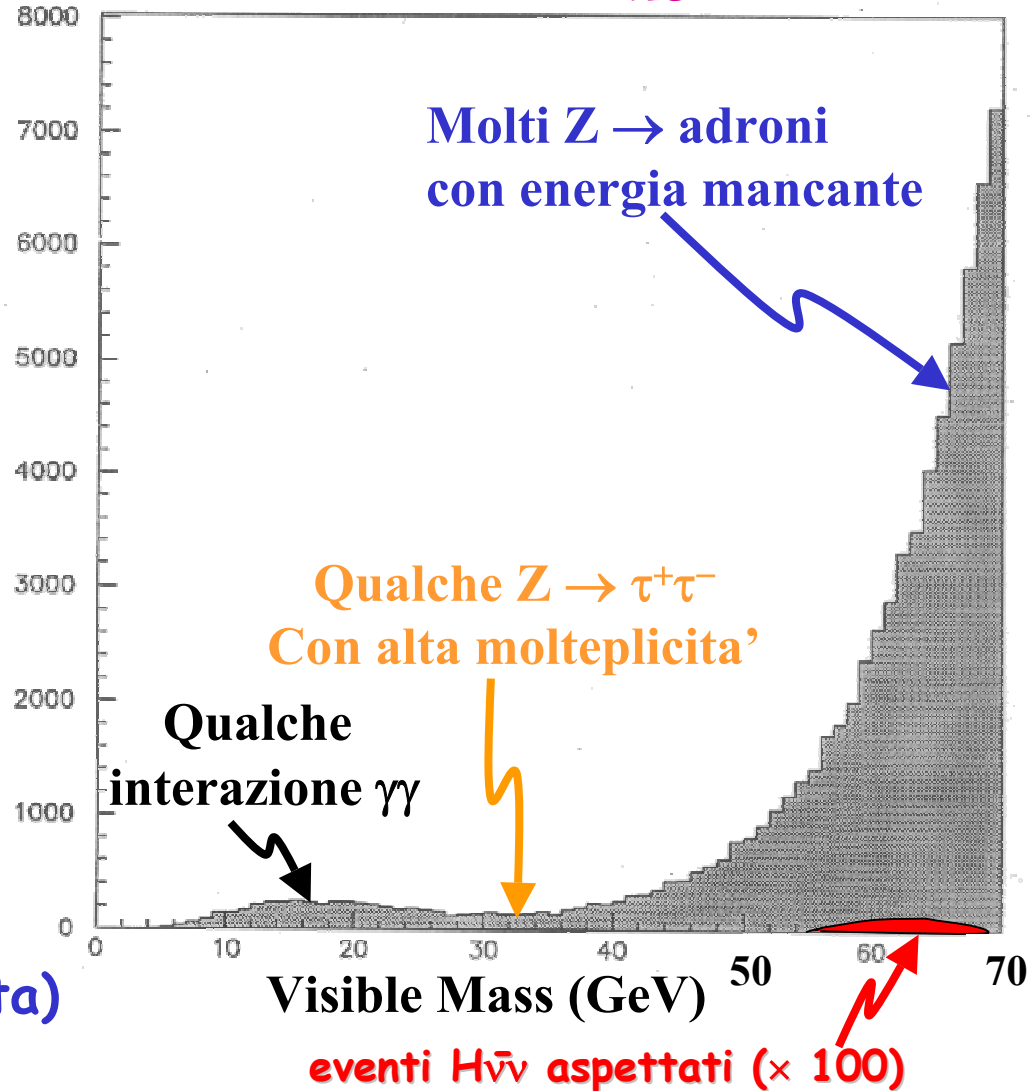
Due sottocampioni:

ALEPH

1) Alta molteplicita' (selezionata)



2) Bassa molteplicita' (rigettata)



Due decadimenti semileptonici + 3 Jet + I.S.R.

E_1, E_2, E_3, E_γ = Energie ricalcolate con la condizione della conservazione dell'energia/impulso

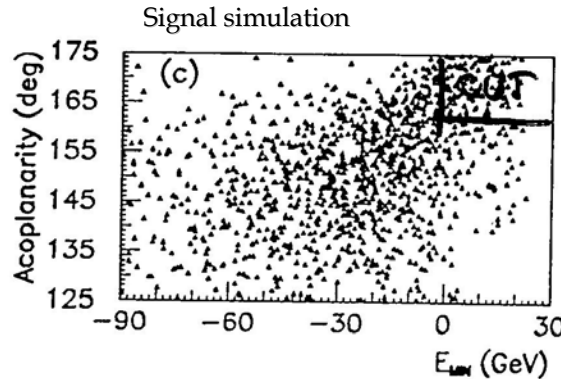
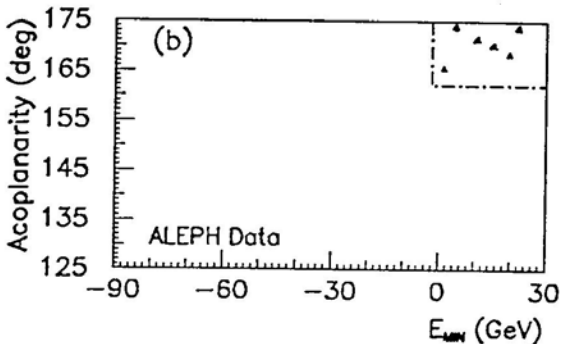
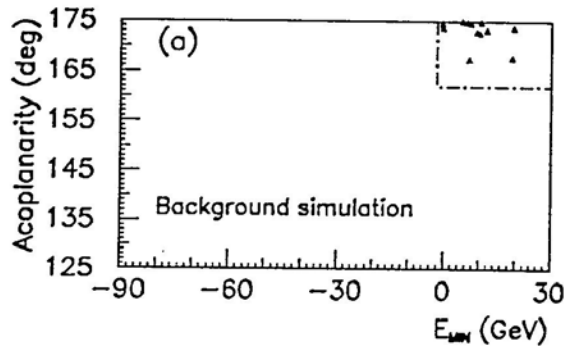
$$E_{\text{MIN}} = \text{MIN}(E_1, E_2, E_3)$$

$$\text{Acoplanarita': } A = 4 \min(\vec{n}) \left(\frac{\sum |\vec{p}_{out,i}|}{\sum |\vec{p}_i|} \right)^2$$

$\vec{p}_{out,i}$: impulso perp al piano con normale \vec{n}

Eventi $e^+e^- \rightarrow bbg(\gamma)$:

Gli eventi $bbg(\gamma)$ sono compatibili Segnale H_{VV} :
 essere a 4-corpi :
 E_{MIN} e' positivo



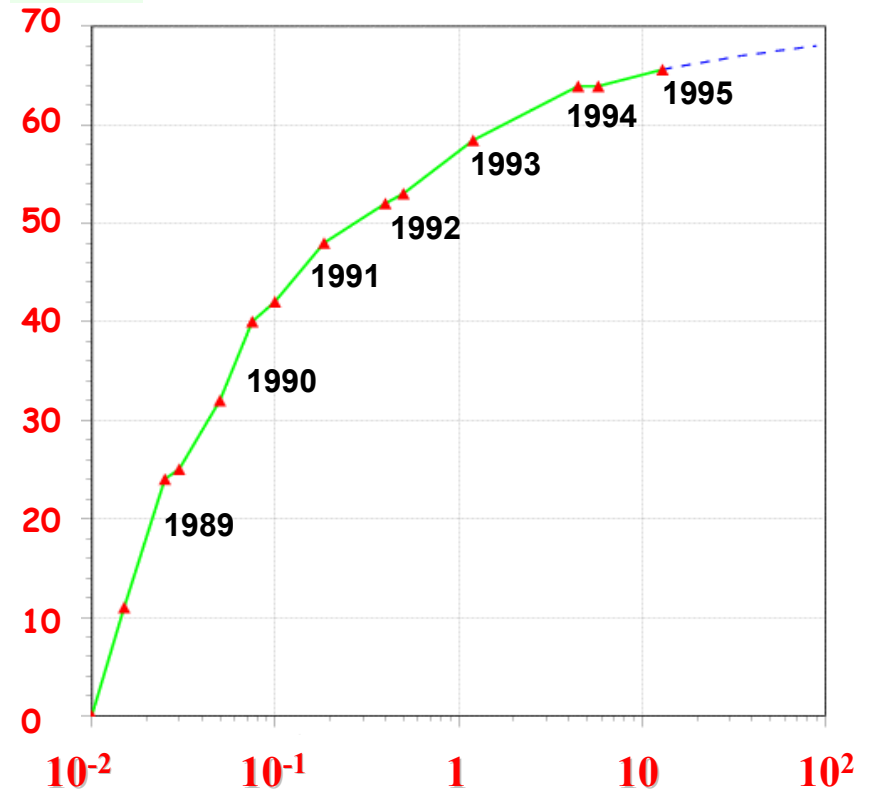
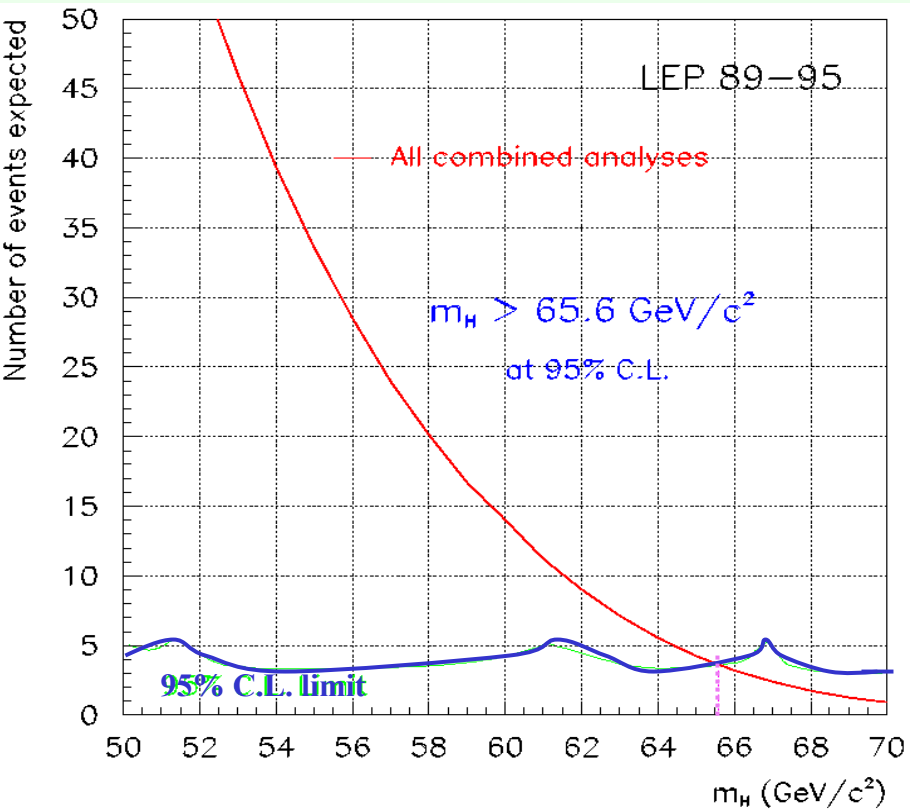
Nessun evento resta nei dati;
 Mentre me ne aspetto 1.3 da H_{VV}

H_{VV} : i 3 jet sono nello stesso emisfero, una delle E_i tende a essere negativa e la acoplanarita' limitata

Ricerca del Higgs a LEP1

Sommando i 4 esperimenti LEP, ci aspettiamo 4 eventi di segnale. Osservato nessuno.

Il limite inferiore su m_H satura con la statistica



$0 < m_H < 65.6 \text{ GeV}$
Escluso al 95% C.L.

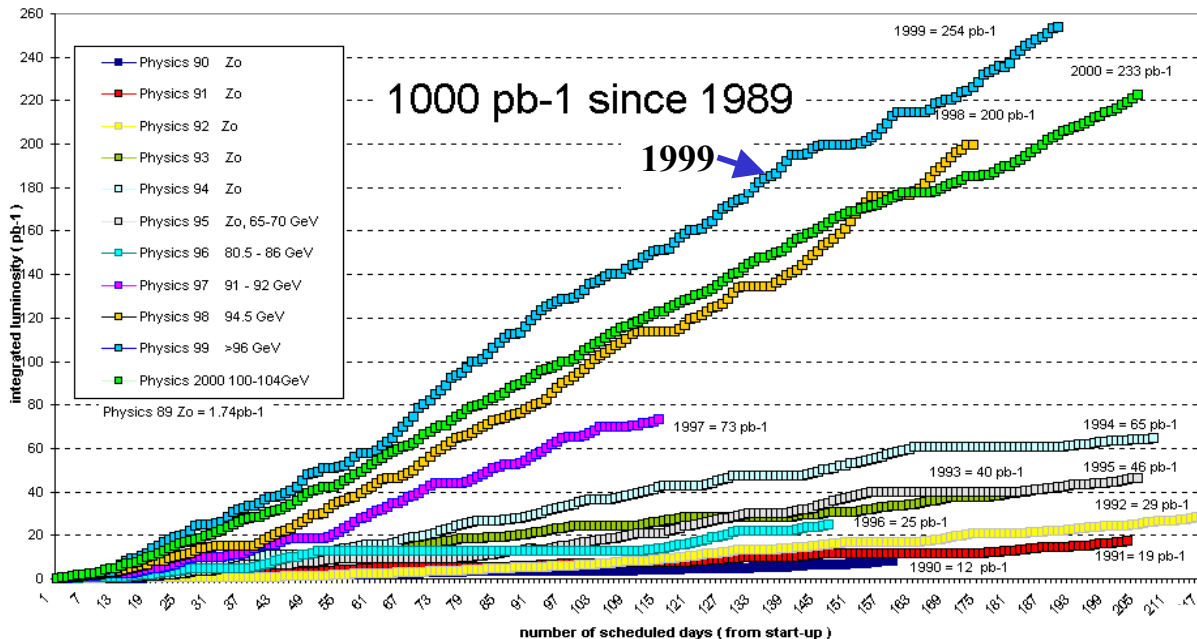


Decadimenti adronici dello Z (milioni)

LEP 2 !

260 pb⁻¹

Integrated luminosities seen by experiments from 1989 to 2000



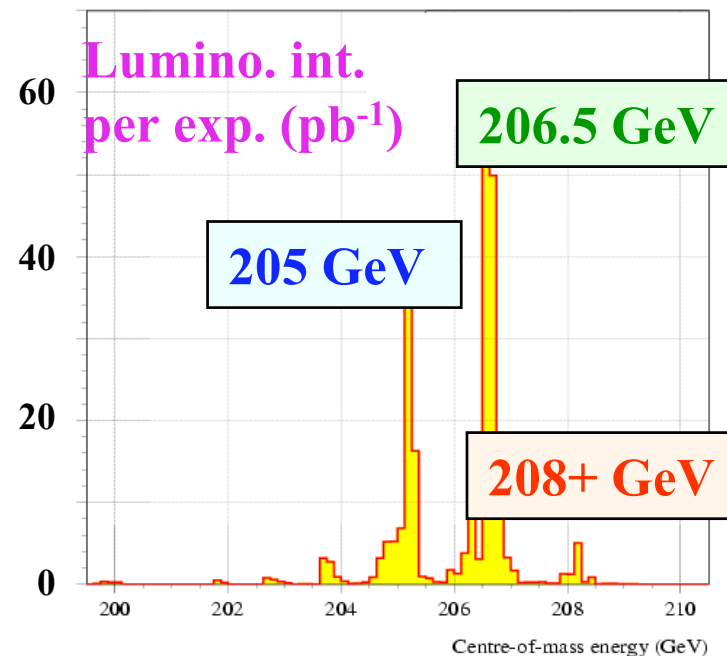
220 pb⁻¹ rilasciati nel 2000:

- si parte da 204-205 GeV (aprile-maggio)
- con punte sopra 206 GeV (da giugno in avanti)
- sempre sopra 206.5 GeV (da settembre a novembre)

2000/11/04 1

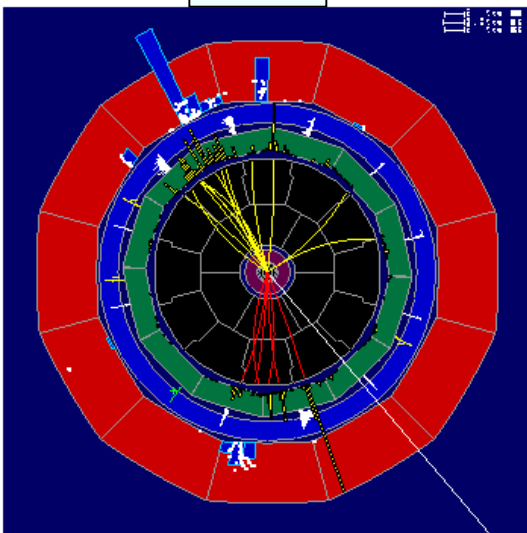
LEP performance

- 1989-2000: $91 < E_{cm} < 209$ GeV
- → ≈ 1000 pb⁻¹ per esperimento (698 sopra soglia WW)
- → i miglioramenti nel 2000 hanno portato:
- → aumento energia da 204 a 209 GeV
- → aumento sensibilita per m_H da 112 a 115 GeV

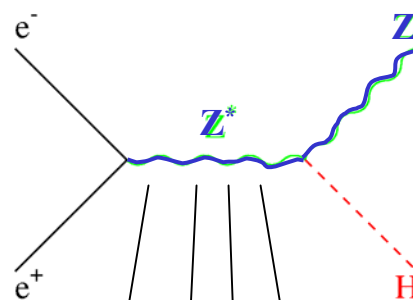
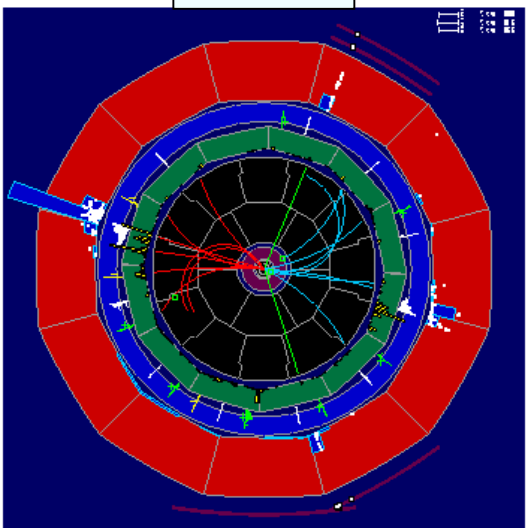


Ricerca diretta a LEP2

$H\nu\bar{\nu}$



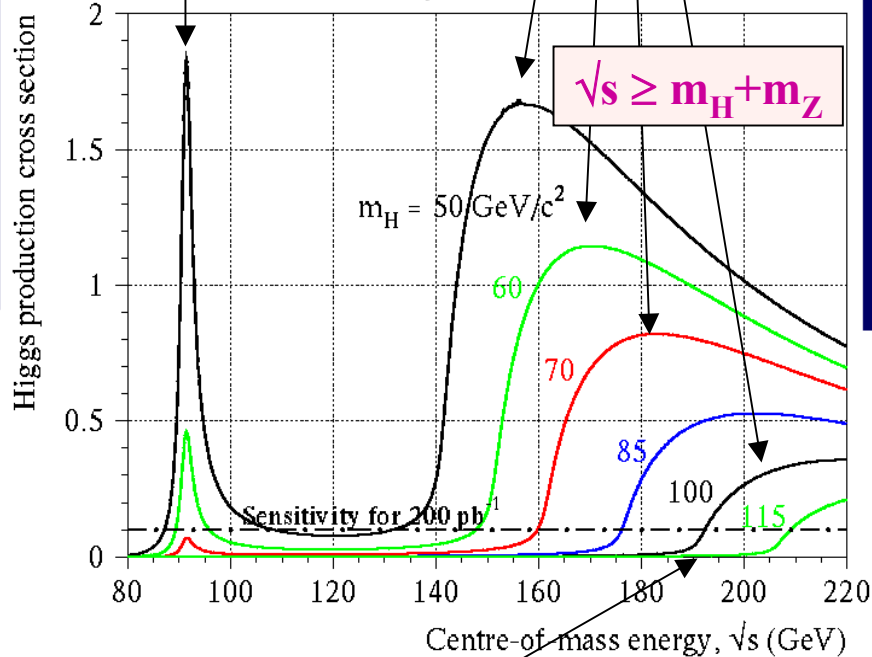
$H\mu^+\mu^-$



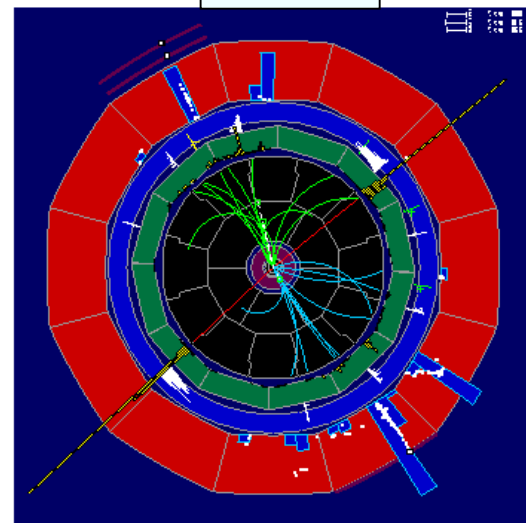
$$\sqrt{s} = m_Z$$

$$Z \rightarrow Hf\bar{f}$$

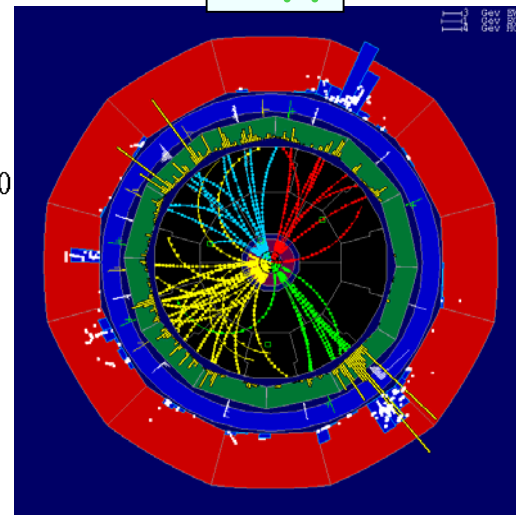
$$\sqrt{s} \geq m_H + m_Z$$



He^+e^-



$Hq\bar{q}$

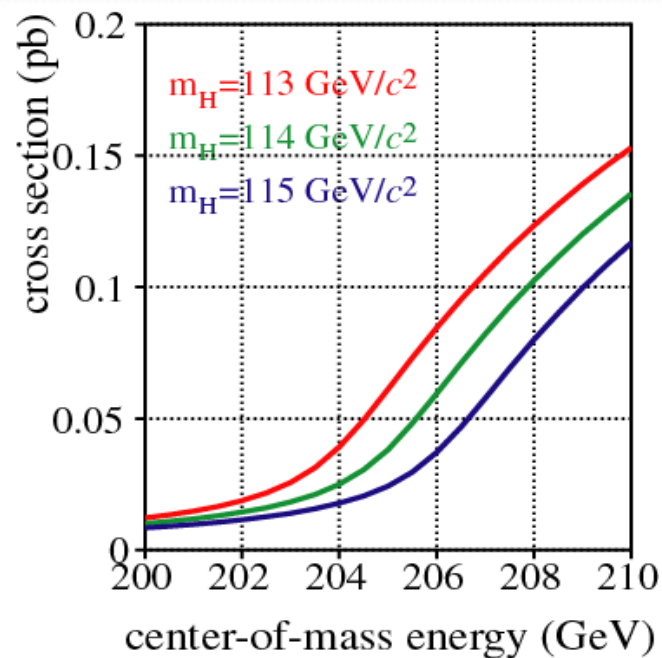
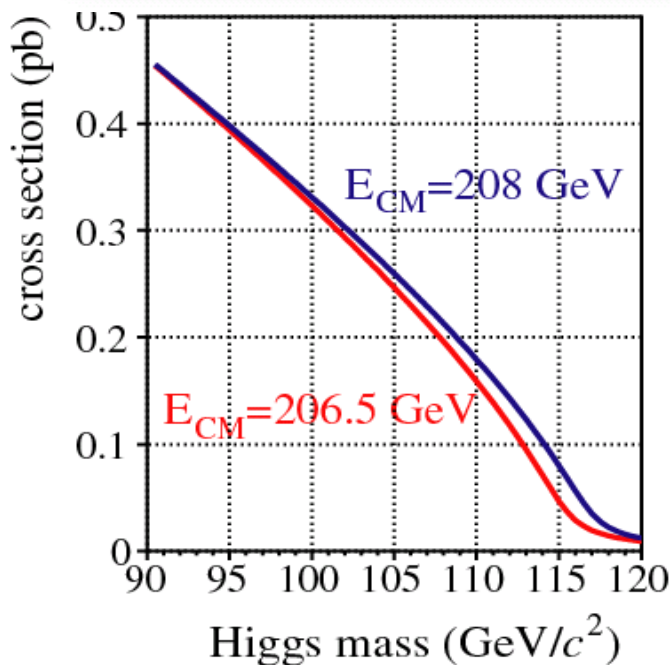
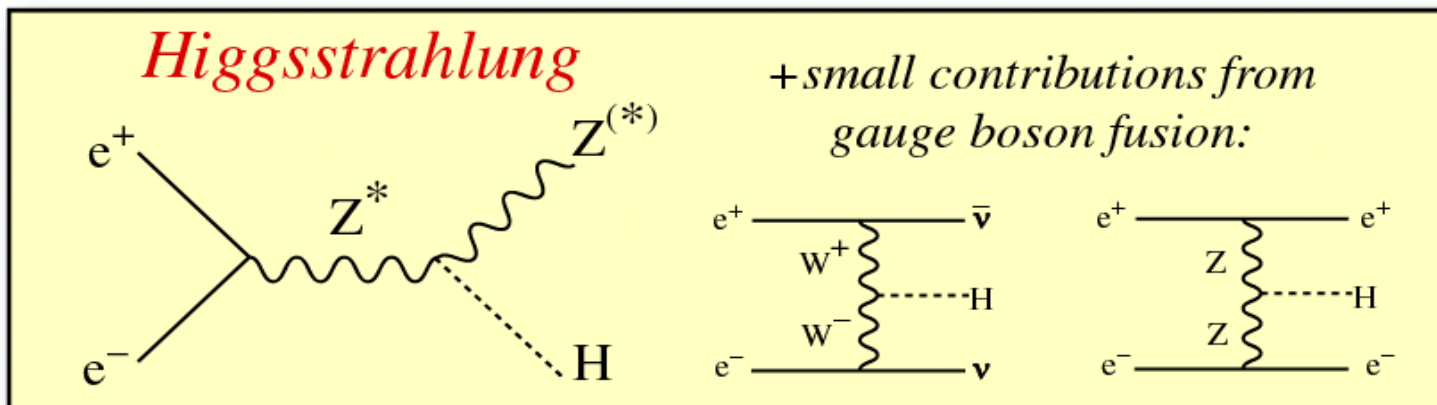


Sensitivita' a 5σ per 200 pb^{-1} :

$$\sqrt{s} = 192 \text{ GeV} \rightarrow m_H = 100 \text{ GeV}$$

$$\sqrt{s} = 210 \text{ GeV} \rightarrow m_H = 115 \text{ GeV}$$

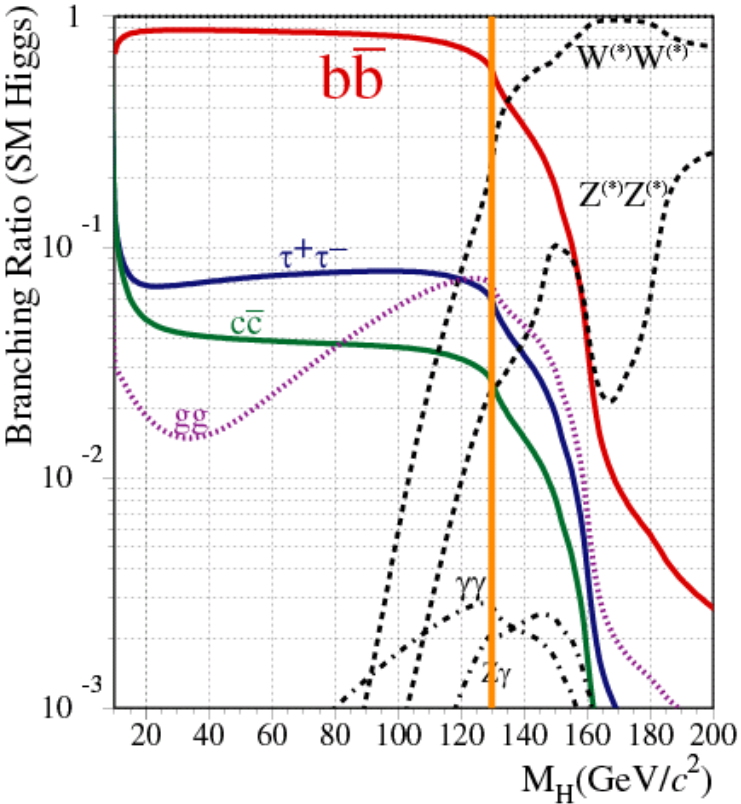
Ricerca diretta a LEP2



Altissima sensibilita' all'energia nel c.m. e alla massa del Higgs

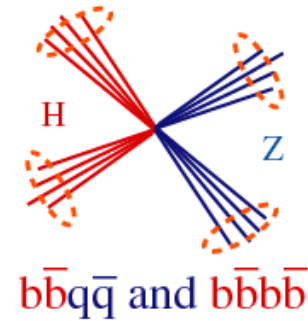
Ricerca diretta del Higgs a LEP2 il segnale

Light SM Higgs Bosons
decay predominantly to b quarks

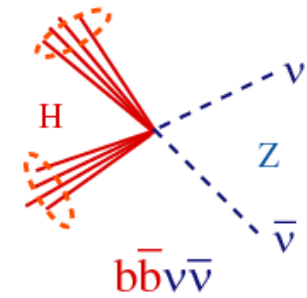


Four Final State Topologies

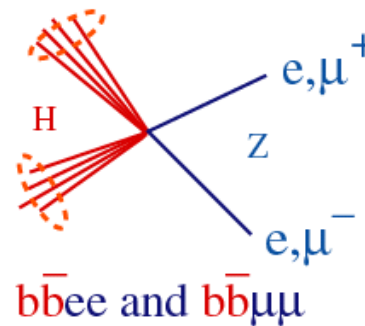
Four Jet (65%)



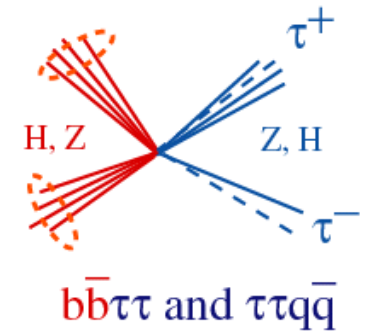
Missing Energy (20%)



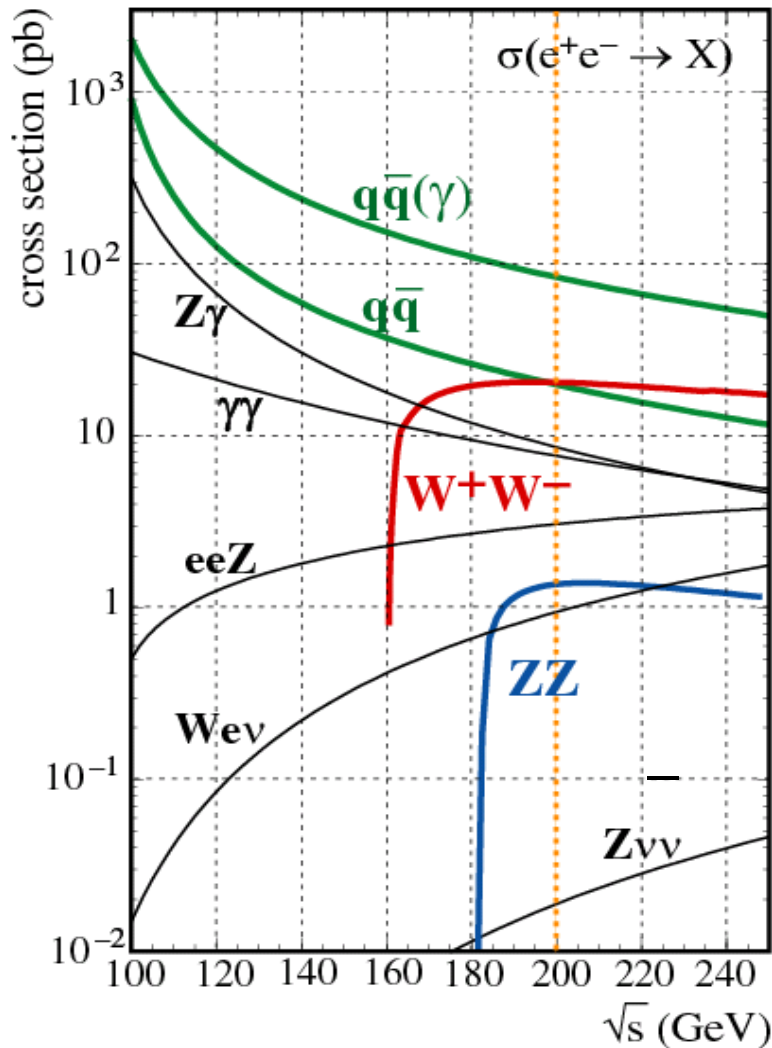
"Leptons" (9%)



"Taus" (9%)



Ricerca del Higgs a LEP2 : i fondi

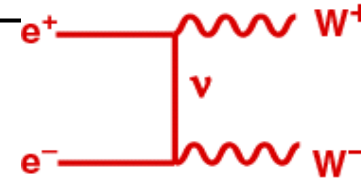


Due fermioni (include il ritorno rad. allo Z)



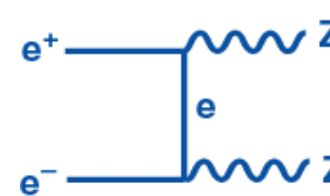
4-jet
Angoli jet-jet
b-tagging dei jet

Quattro-fermioni



Produzione di coppie W

b-tagging dei jet



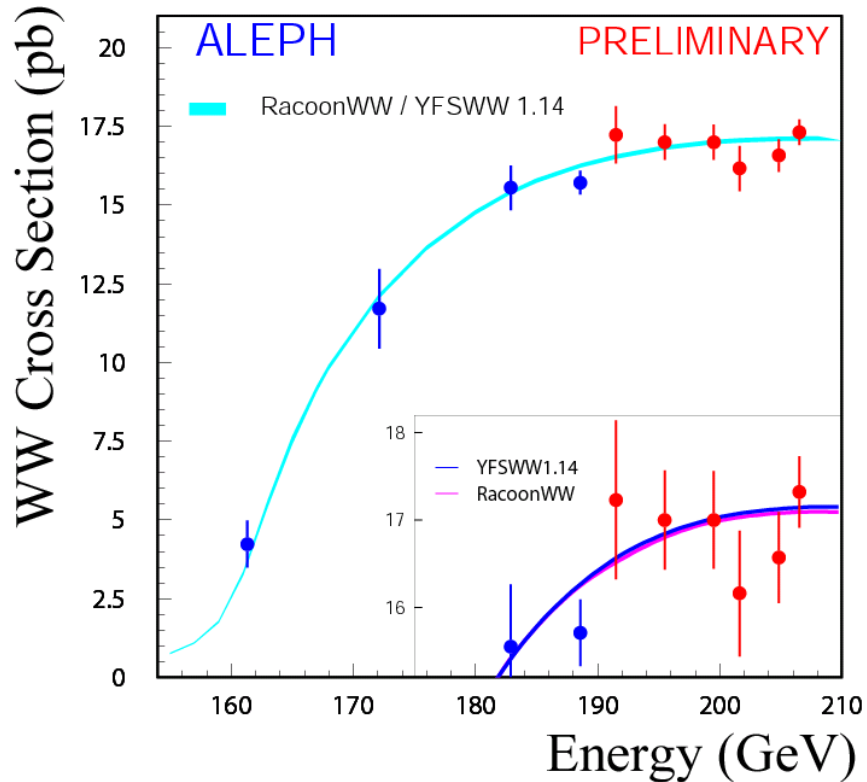
Produzione di coppie di Z

$ZZ \rightarrow q\bar{q}q\bar{q}$: b-tagging

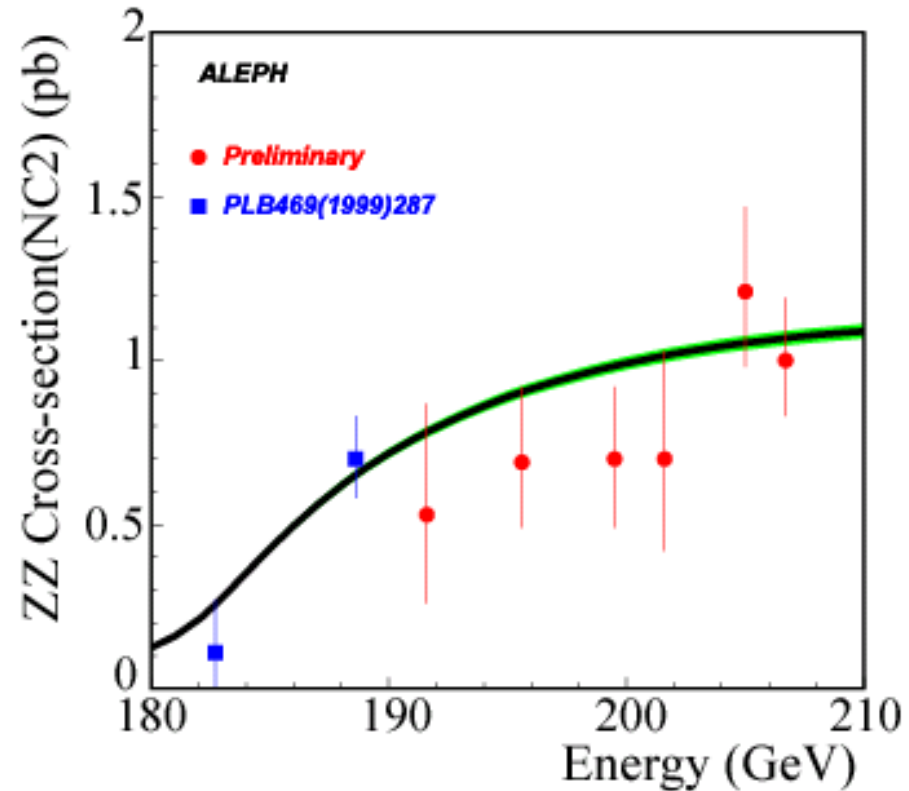
$ZZ \rightarrow b\bar{b}q\bar{q}$: irriducibile!

Ricerca del Higgs a LEP2 verifica dei fondi

Sezione d'urto WW
verificata al livello del 3%

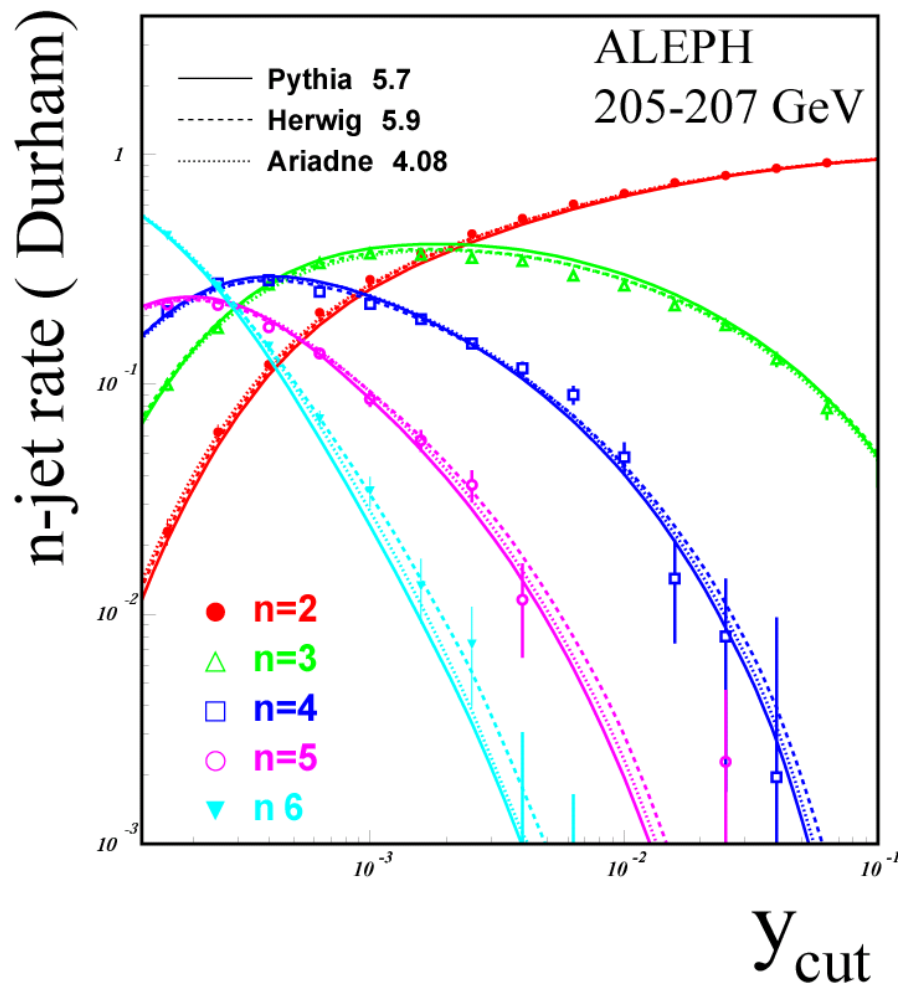


Sezione d'urto ZZ
verificata al livello del 20%

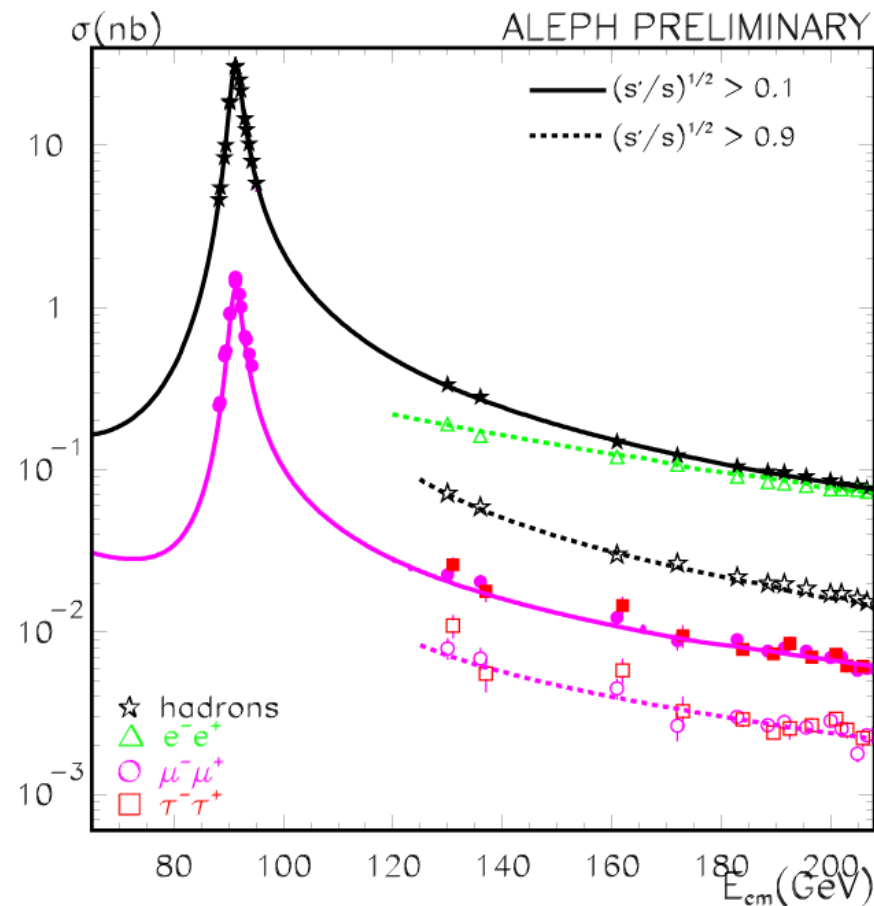


Ricerca Higgs a LEP2 verifica dei fondi

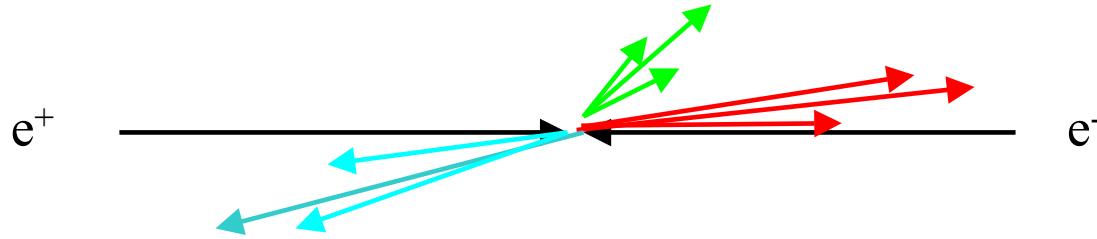
n-jet (e 4-jet) in
accordo con le previsioni



Sezioni d'urto dei
processi a due fermioni:
verifica al 3%



Il processo $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}g$ e' a ordine α_s tuttavia la sua misurabilita' dipende dalla capacita' sperimentale di separare il jet gluonico dagli altri due in termini di energia e di separazione angolare:



La richiesta che il terzo jet, da gluone, sia separato dagli altri due nello spazio delle fasi elimina le configurazioni collineari e "soft" e quindi le divergenze e permette quindi il calcolo perturbativo. La sezione d'urto per $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}g$

$$\text{vale: } \frac{1}{\sigma} \frac{d^2\sigma}{dx_1 dx_2} = C_F \frac{\alpha_s}{2\pi} \frac{x_1^2 + x_2^2}{(1-x_1)(1-x_2)}, x_{1,2} = \textit{frazione di energia dei jet piu' energertici}$$

La sezione d'urto a due jet (includendo i processi a 3 jet non separabili) puo' essere ottenuta calcolando quella a 3 jet di cui sopra integrata nella zona di spazio delle fasi non divergente e sottrendola a quella totale σ_T .

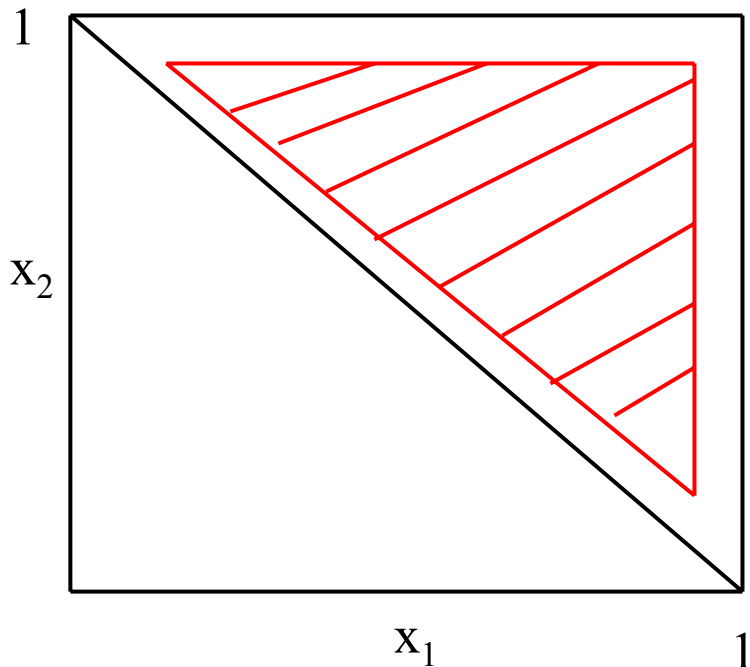
Dobbiamo a questo punto dare una definizione operativa di evento a 3 jet: ad esempio richiediamo che la massa invariante di due partoni nello stato finale sia maggiore di una frazione fissa y dell'energia nel centro di massa.

$$\min(p_i + p_j)^2 = \min\{2E_i E_j (1 - \cos \mathcal{G}_{ij})\} > y s \quad i, j = q, \bar{q}, g$$

Tale richiesta elimina le divergenze in quanto equivale a:

$$x_1 > 0, x_2 < 1 - y, x_1 + x_2 > 1 + y \quad (y \leq 1/3)$$

Ad esempio se $y=0.1$, nel piano x_1, x_2 si seleziona la regione tratteggiata:



La percentuale di 3 jet si ottiene integrando

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d^2\sigma}{dx_1 dx_2}$$

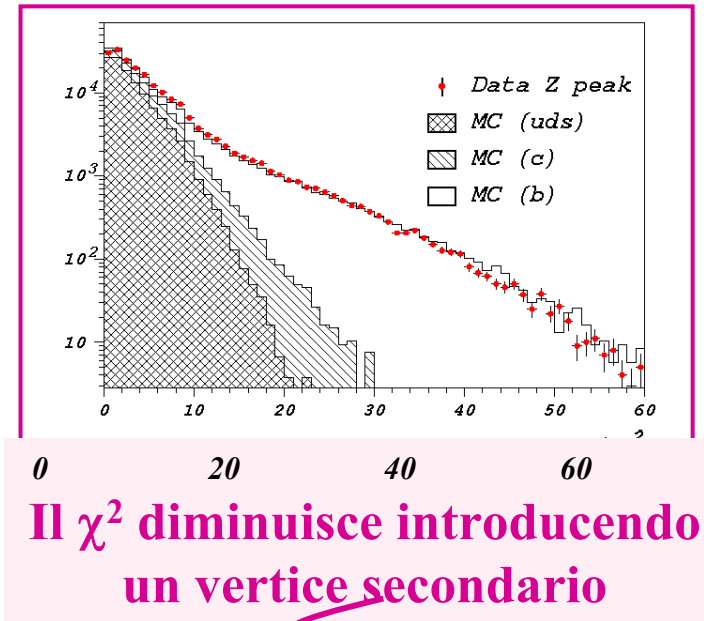
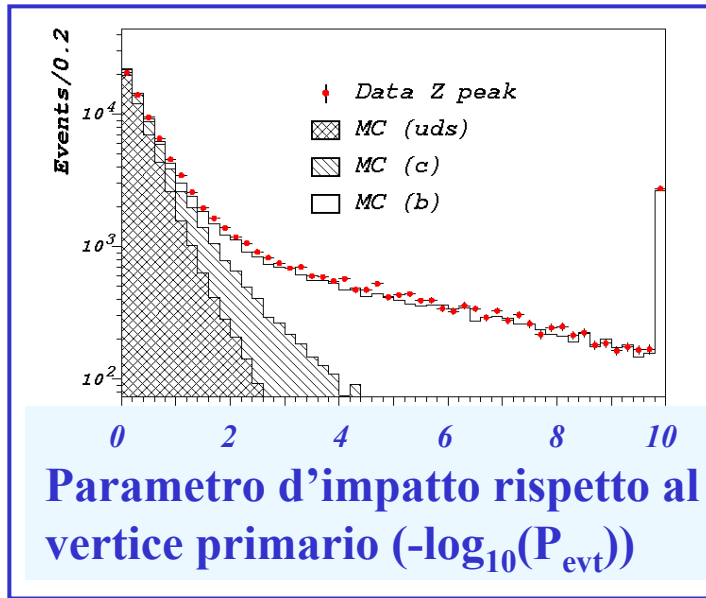
sulla superficie del triangolo

definito dal valore di y . Tale metodo è chiamato l'algoritmo di JADE.

Altri metodi (Sterman e Weinberg) definiscono un evento a due jet se una frazione $(1-\epsilon)$ dell'energia totale disponibile è contenuta in due coni di apertura angolare δ .

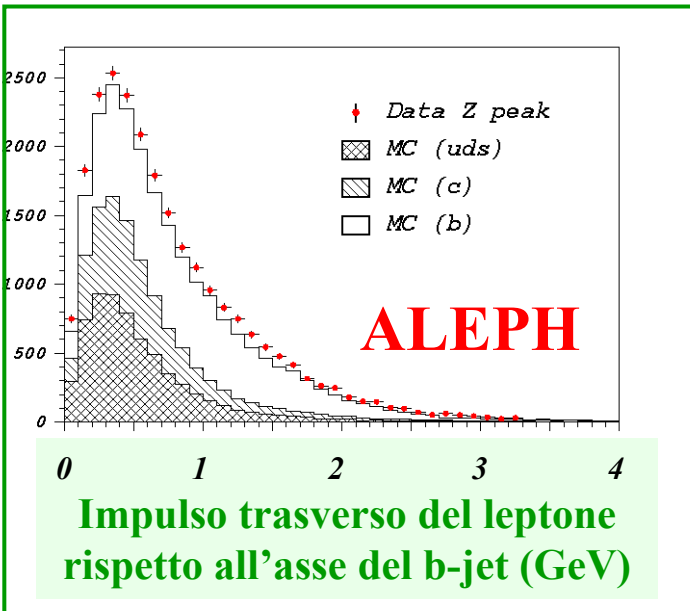
Aumentare y vuol dire aumentare la separabilità di 3 jet a scapito della loro sezione d'urto visibile.

Ricerca del Higgs a LEP2: b-tagging



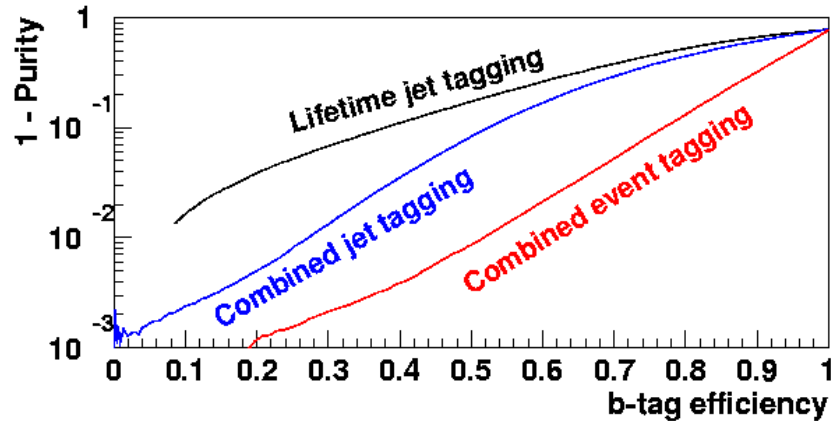
L'informazione combinata e' sfruttata con metodi di likelihood, reti neurali ...

Altre variabili di forma del jet (molteplicita', massa, sfericita')



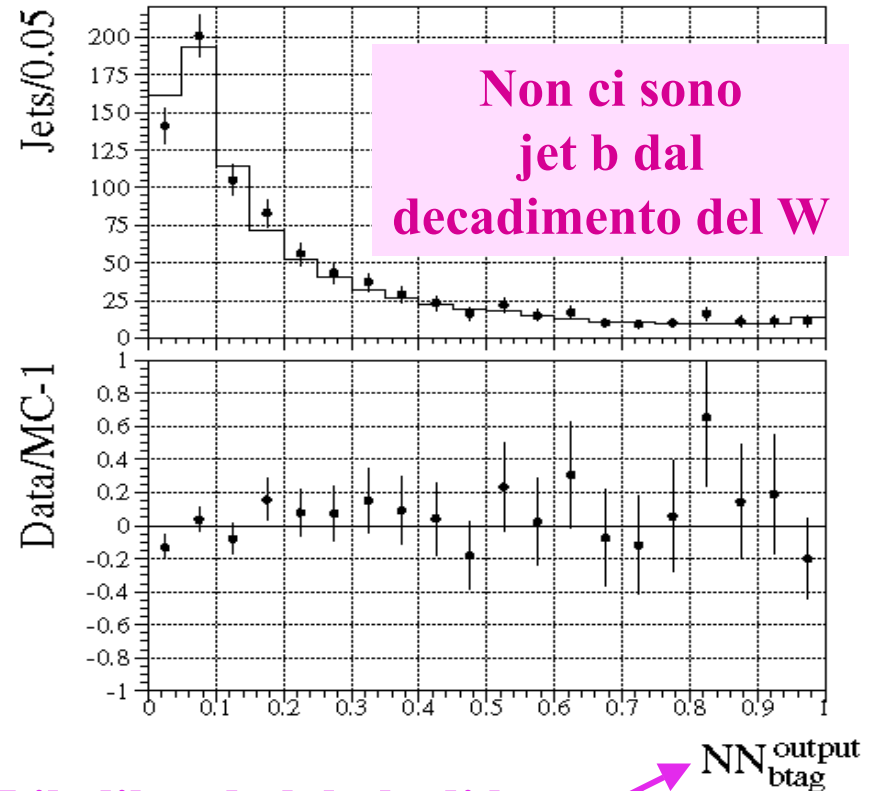
Test di b-tagging

Jet da decadimenti adronici dello Z
(misurati ogni anno per calibrazione)

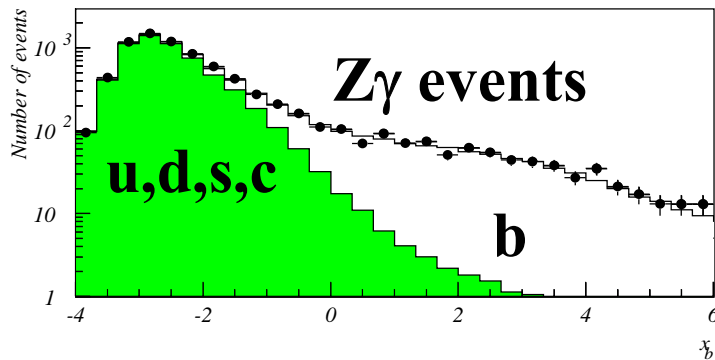


Risultati dai decadimenti adronici del W
(da eventi semileptonici $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$)

ALEPH



DELPHI



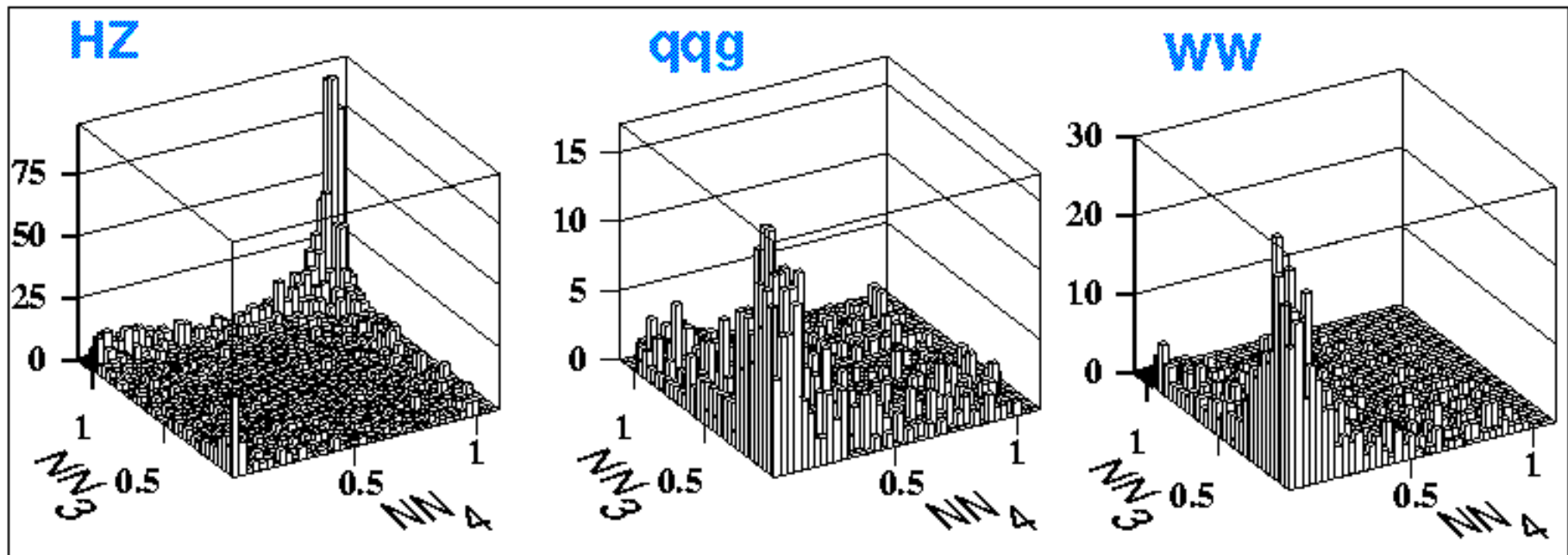
Likelihood globale di b-tagging

- b-jets and e jet da quark leggeri sono ben separati
- La simulazione riproduce bene i dati

b-tagging al LEP2

Separazione di eventi HZ, W^+W^- and qq a LEP2
usando solo il b-tagging

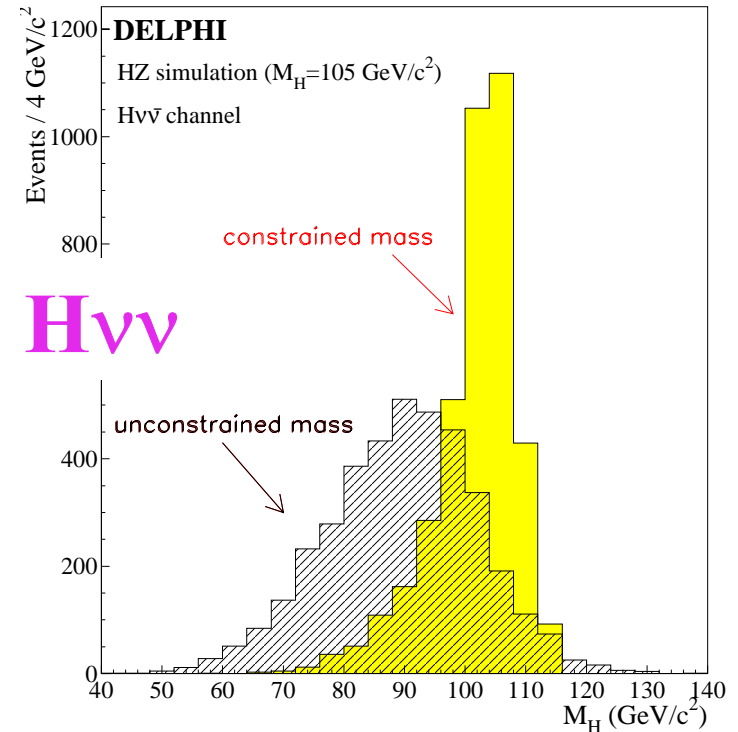
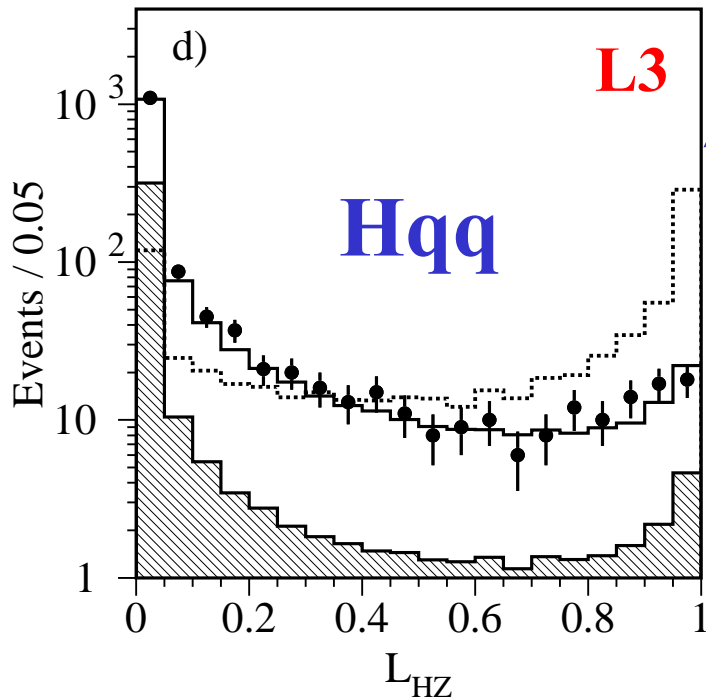
ALEPH



i jet 1 e 2 sono scelti come la coppia la piu' compatibile con il provenire da decadimenti dello Z, per massa invariante, angolo di decadimento,...

Ricerca del Higgs a LEP2

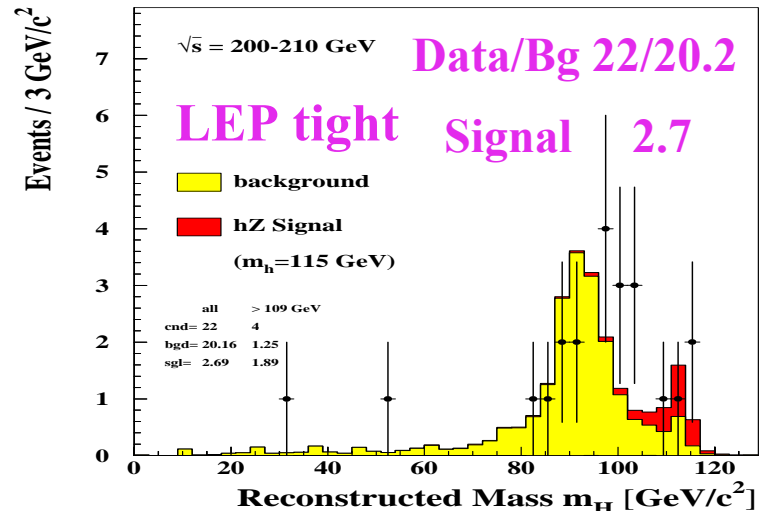
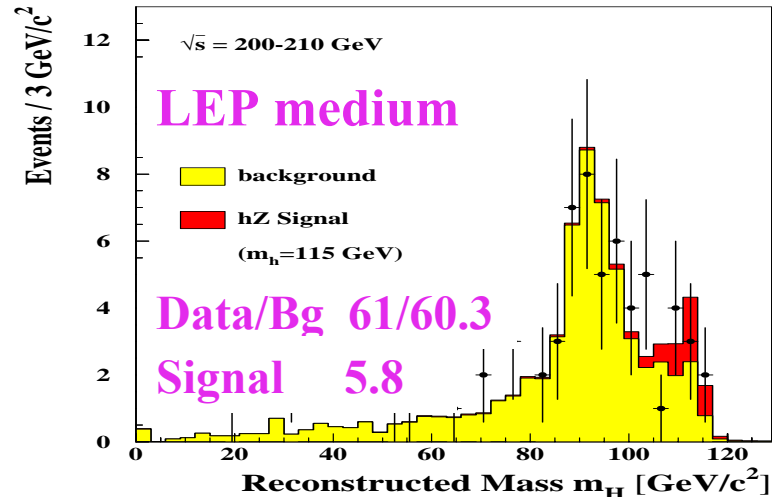
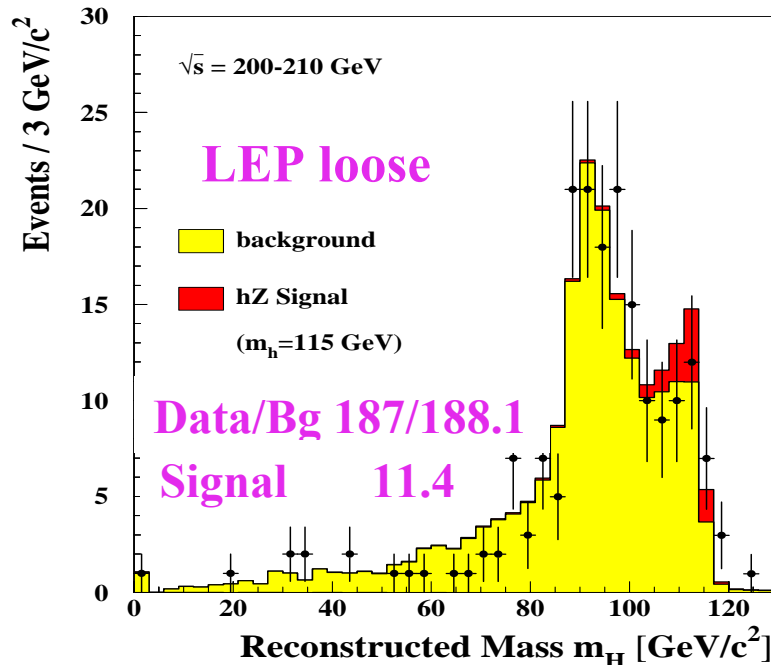
- Tecniche multidimensionali per
- raggiungere il migliore S/B
- (neural network, likelihood ratio)



Fit cinematici con la conservazione E/p e condizione sulla massa dello Z per migliorare la ricostruzione della massa del segnale

Ricerca del Higgs a LEP2

- 3 selezioni con crescente purezza per un segnale di 115 GeV \rightarrow contributo di tutti i canali (Hqq, Hvv, Hll, qq $\tau\tau$), m_H^{rec} e' un parametro libero **ADLO**

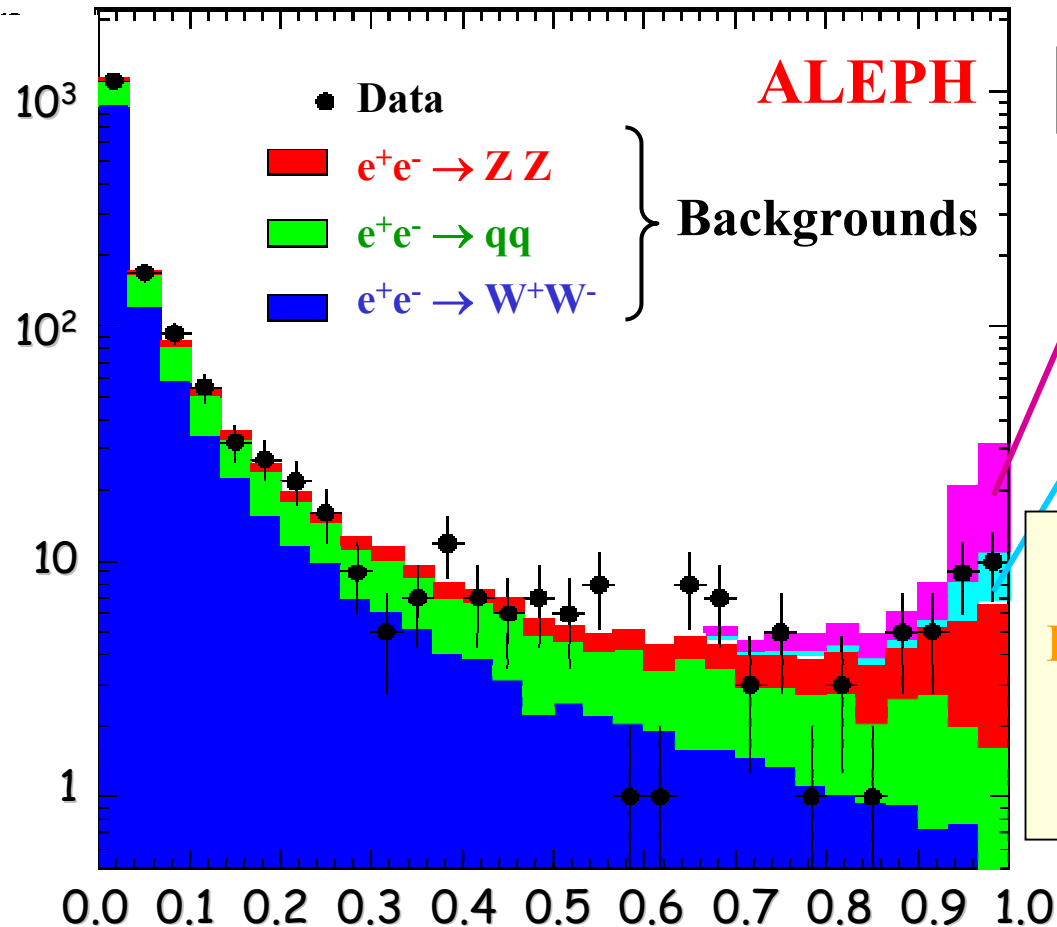


Per $m_H^{rec} > 109$ GeV e $m_H^{sig} = 115$ GeV:

	Loose	Medium	Tight
➤ Data:	30	8	4
➤ Backgd:	23.4	4.9	1.3
➤ Signal :	7.3	3.8	1.9

Ricerca del Higgs a LEP2

Stati finali a 4 jet: fit della direzione e energia e accoppiamento dei jet
→ global neural network o likelihood ...



Higgs Signal ($m_H = 100$ GeV)

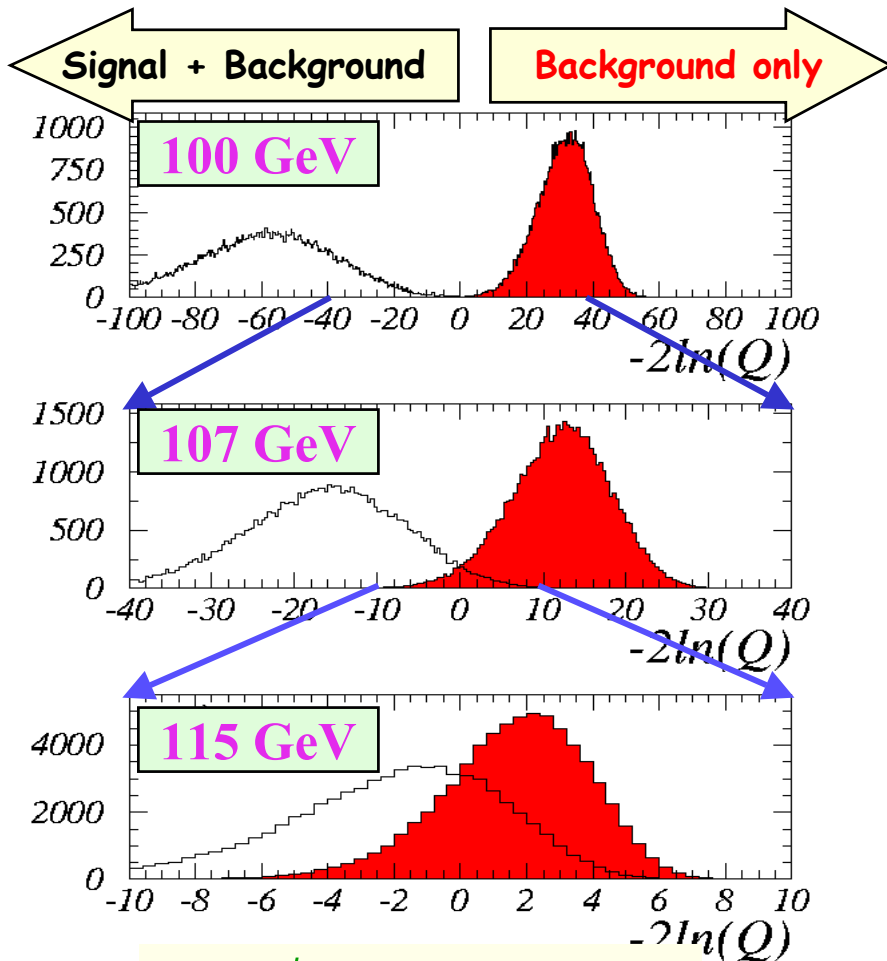
Higgs Signal ($m_H = 115$ GeV)

In ciascun bin, si definisce la Probabilità' per un evento di essere segnale (s_i) o fondo (b_i), e così' un peso dell'evento $w_i = s_i / b_i$

GLOBAL NEURAL NETWORK OUTPUT
(19 variabili: b-tagging e cinematica)

Ricerca del Higgs a LEP2

- Per un dato campione di dati si calcola la likelihood globale: $Q = e^{-s} \prod_{i=1}^N (1+s_i/b_i)$
- Q aumenta con l'aumentare del segnale s
- si definisce $L = -2 \text{Log } Q$ (decrese se aumenta il segnale s).

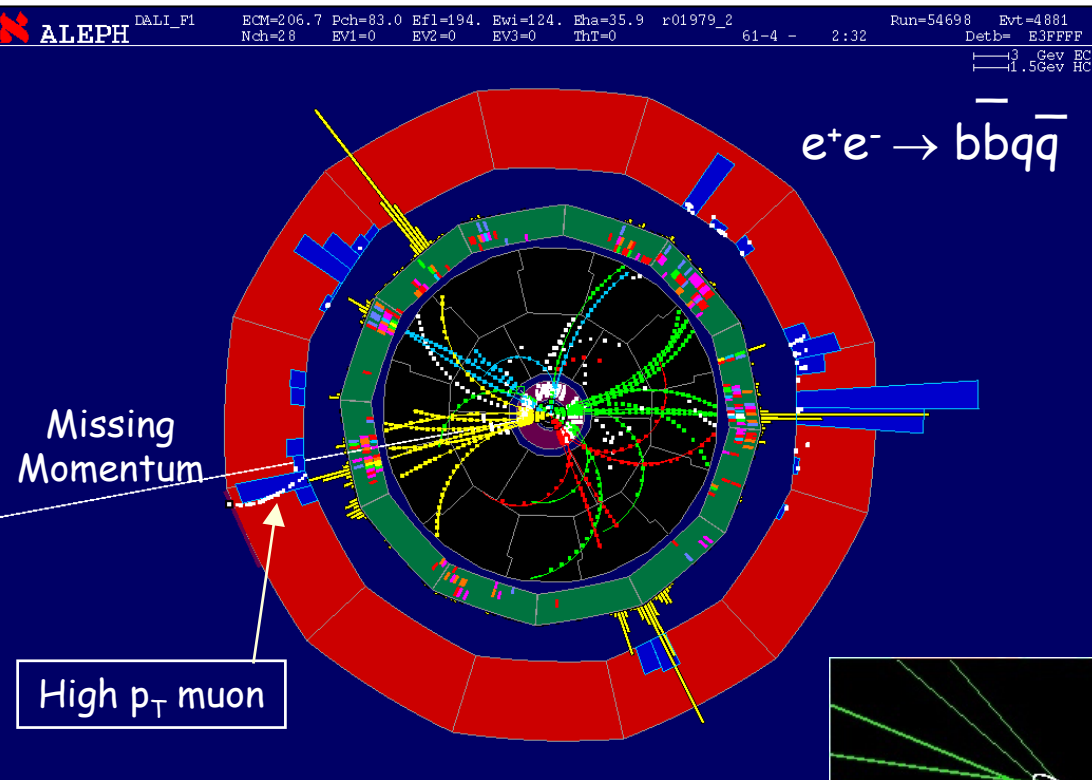


$\sqrt{s} = 206 \text{ GeV}$
un singolo esperimento

Ci sono 10 eventi candidati Higgs che contribuiscono maggiormente alla likelihood (estate 2002)

	Experiment	Final State	m_H^{rec} (GeV/c ²)	$\log(1+s/b)$ at 115 GeV/c ²
1	ALEPH	4-jet	114.1	1.76
2	ALEPH	4-jet	114.4	1.44
3	ALEPH	4-jet	109.9	0.59
4	L3	E-miss	115.0	0.53 (was 2.0)
5	ALEPH	Lepton	117.3	0.49
6	ALEPH	Taus	115.2	0.45
7	OPAL	4-jet	108.2	0.43
8	ALEPH	4-jet	114.4	0.41
9	L3	4-jet	108.3	0.30
10	DELPHI	4-jet	110.7	0.28

SM Higgs: direct searches at LEP2



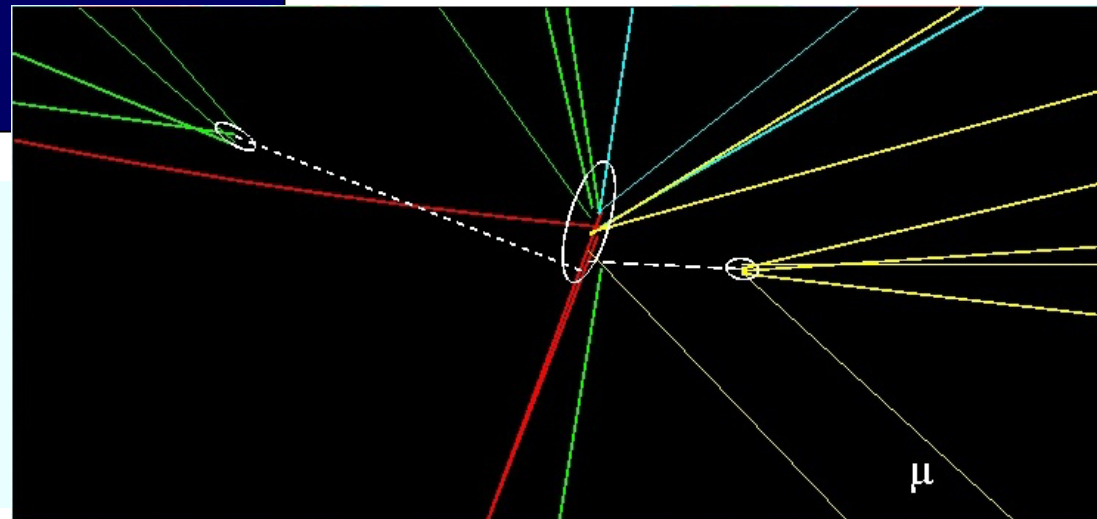
Golden 4-jet event
(ALEPH, 14/06/00, 206.7 GeV)

- Mass 114 ± 3 GeV
- Good HZ fit
- Poor WW and ZZ fits
- P(Background) $\approx 2\%$
- $s/b(115) = 4.6$

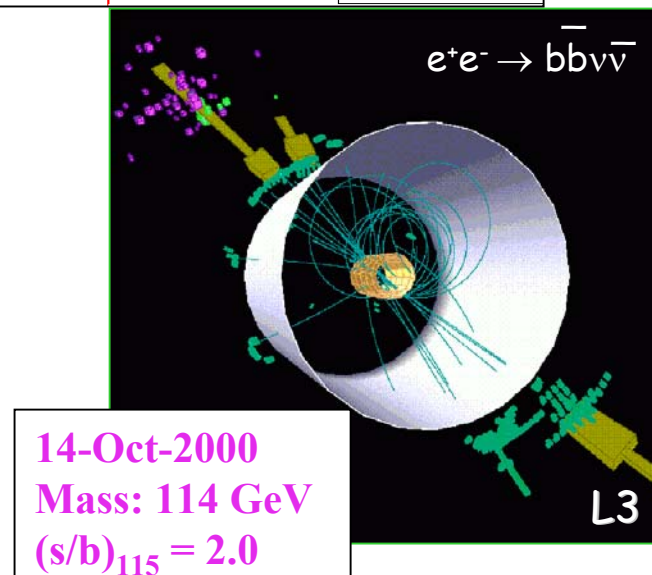
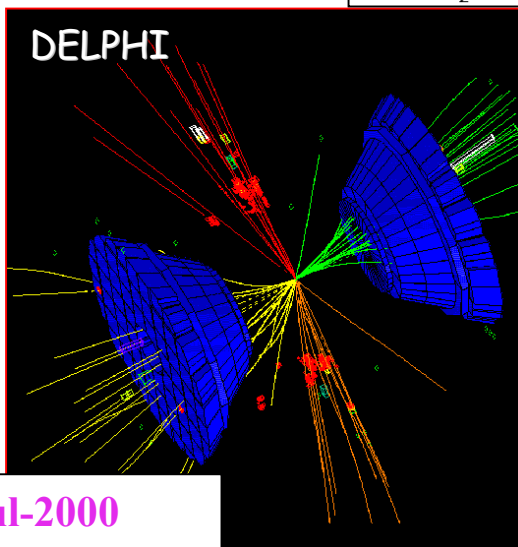
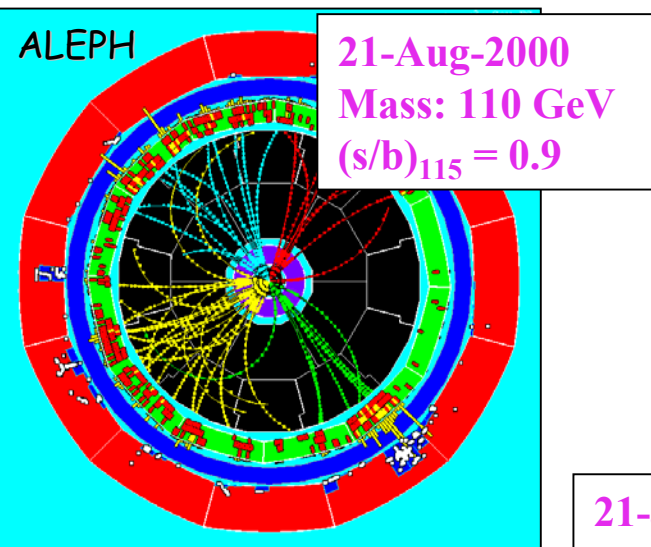
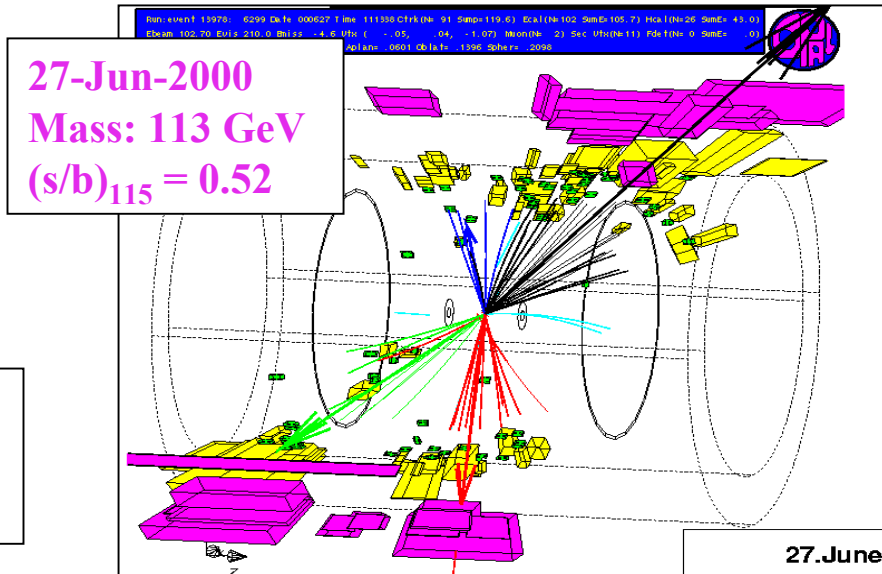
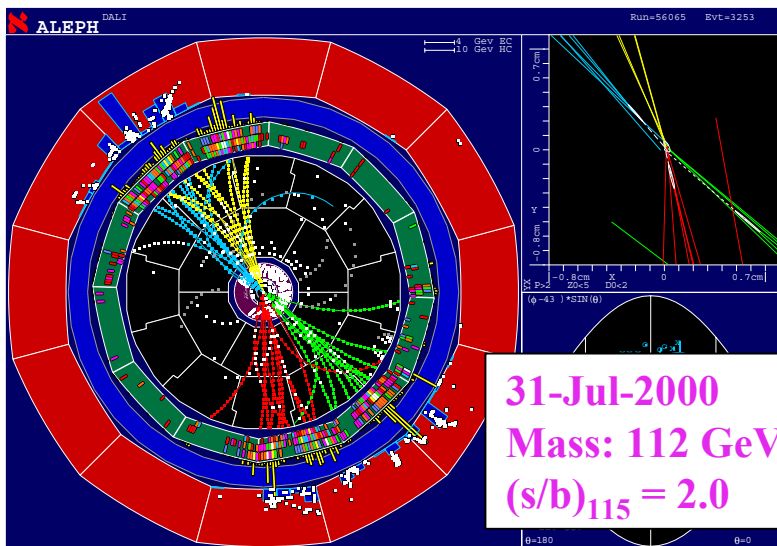
b-tagging

(0 = light quarks, 1 = b quarks)

- Higgs jets: **0.99** and **0.99**;
- Z jets: **0.14** and **0.01**.



Eventi candidati at 115 GeV



A LEP2 trovato l'Higgs?

Nell'inverno 2000 grande entusiasmo!

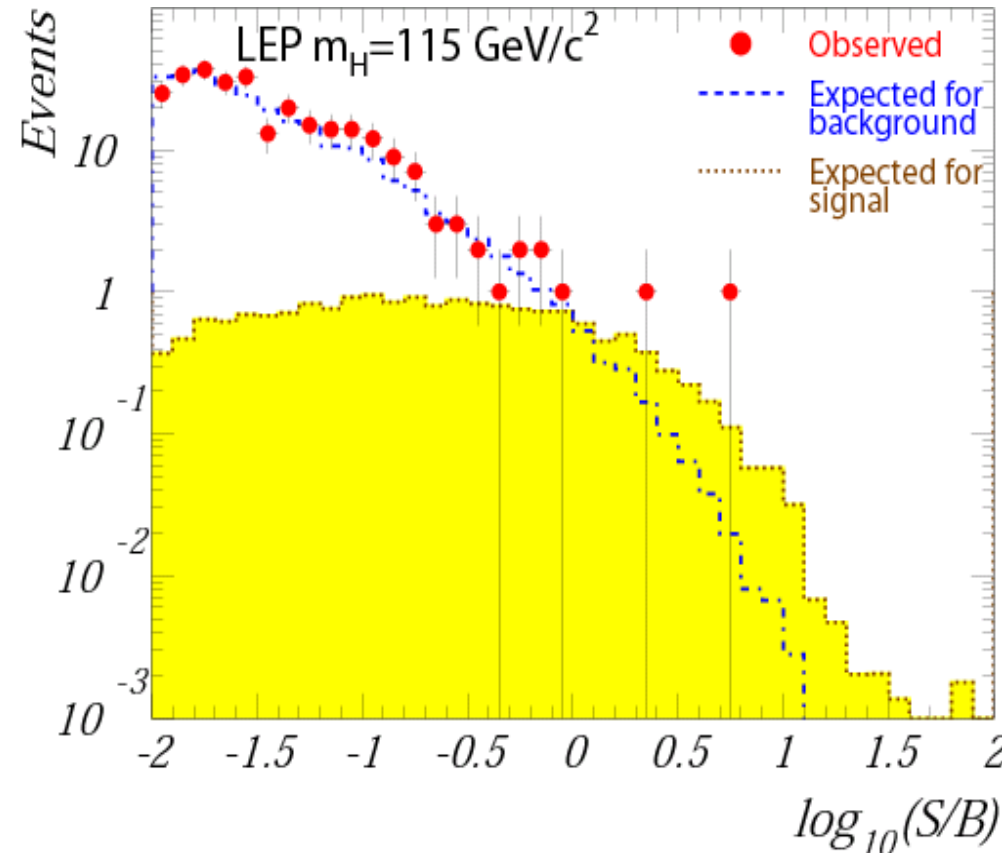
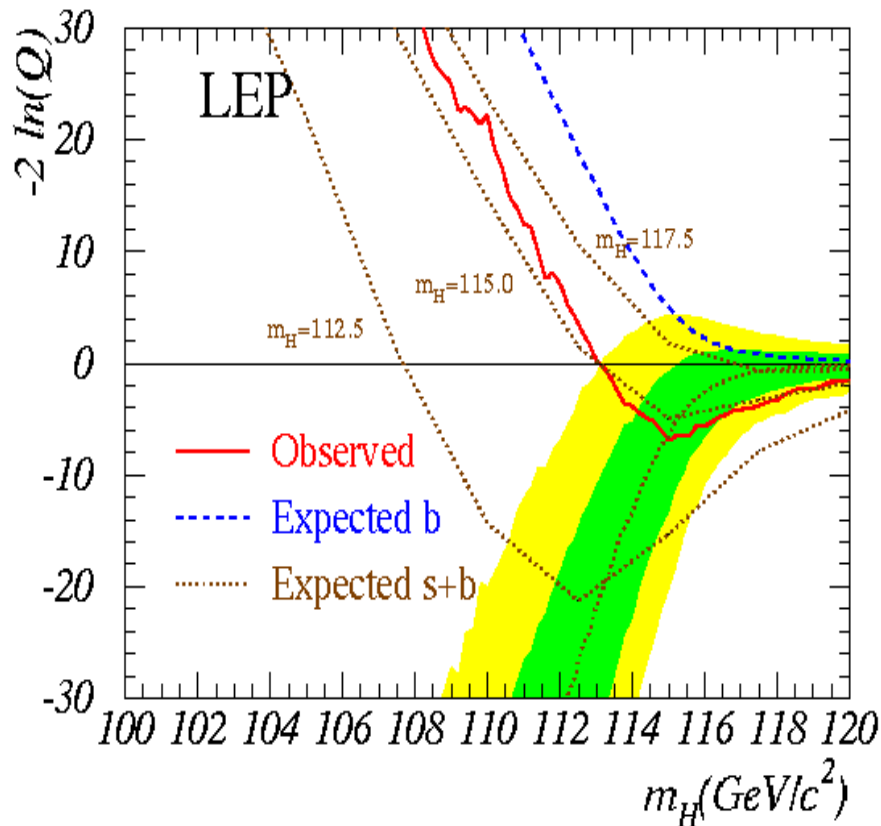


Osservato un effetto a 2.9σ (ADLO) $\rightarrow m_H \approx 115 \text{ GeV}$?

Pochi mesi piu' tardi ...



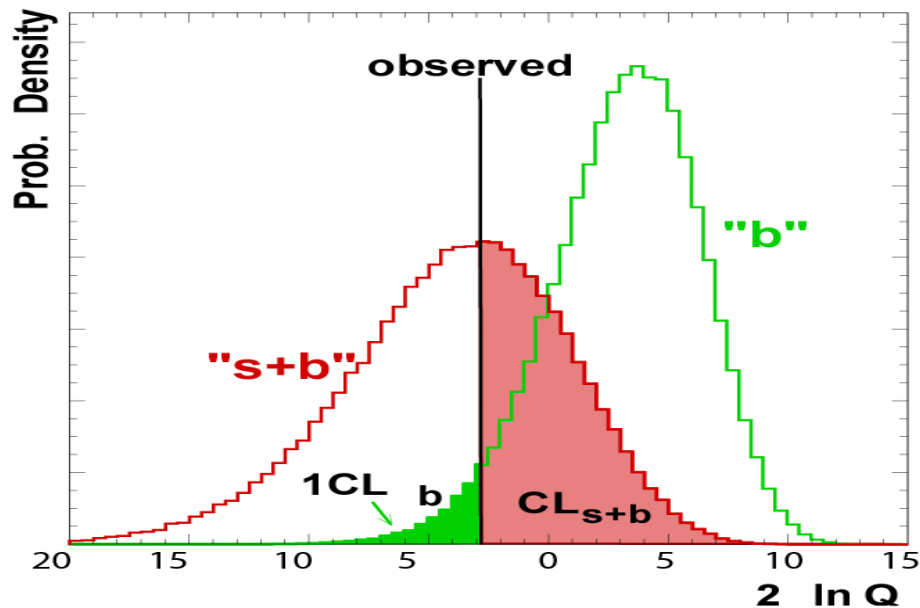
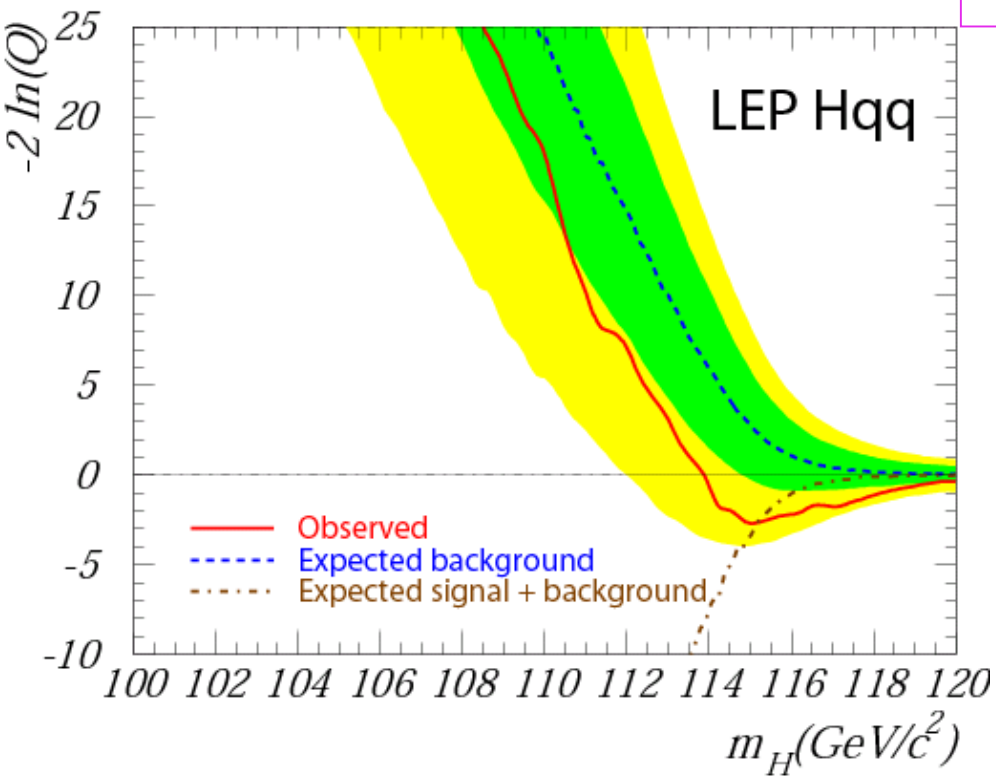
L'effetto e' sceso a $1.7\sigma \rightarrow$
Risultato finale da LEP (01/2003)



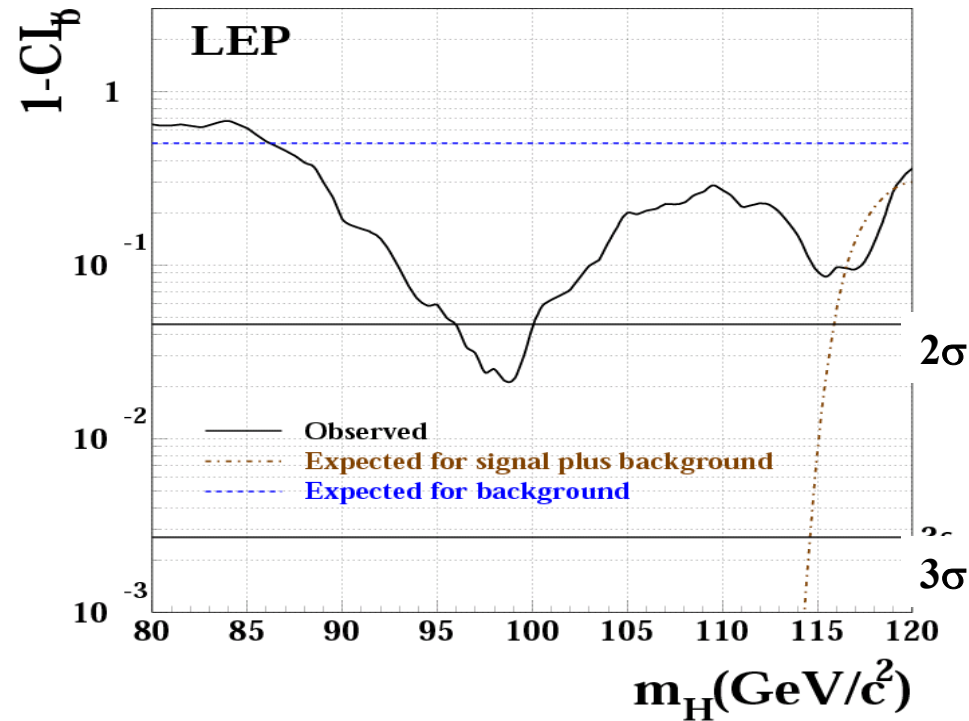
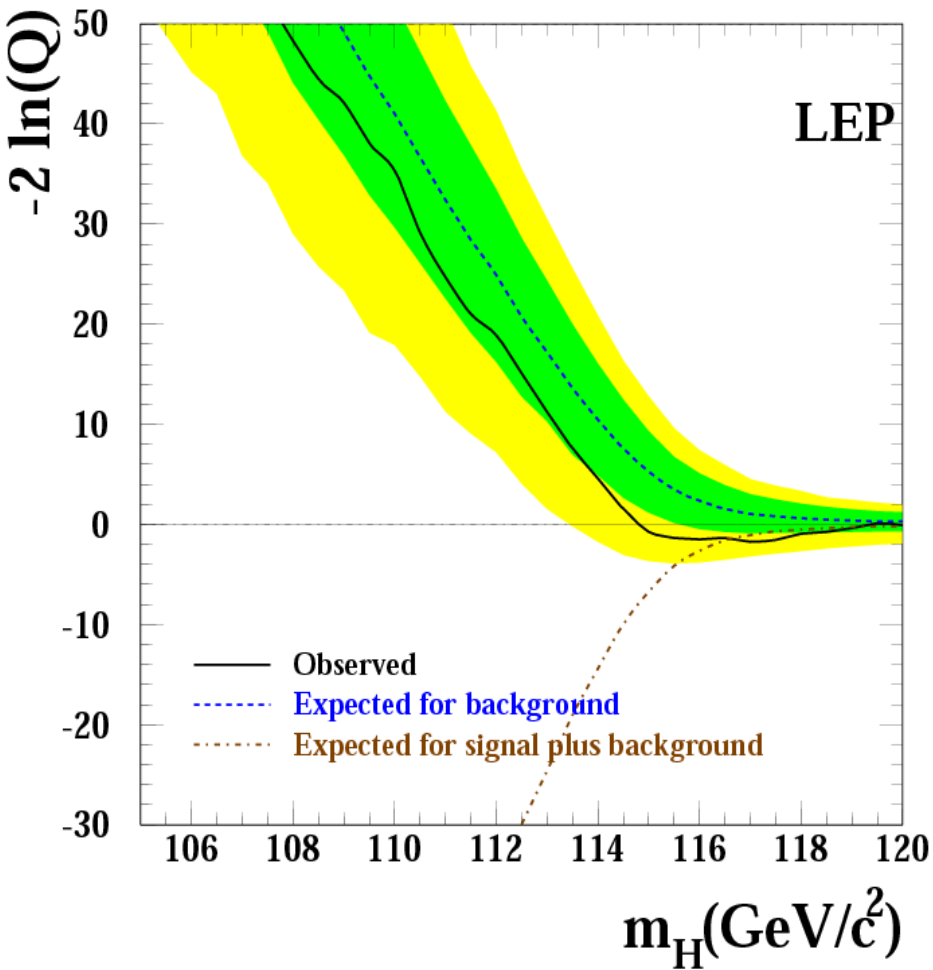
Trovato l'Higgs a LEP2?

- Tutti i canali eccetto Hqq compatibili con il fondo
- Tutti gli esperimenti eccetto ALEPH compatibili con il fondo

- Definiamo livelli di confidenza basati su distribuzioni di $2\ln Q$ per puro b e per s+b (vs m_H) \rightarrow
- $1-CL_b$ misura la compatibilita' dei dati con b
 - CL_{s+b} verifica l'ipotesi segnale



Trovato l'Higgs a LEP2?

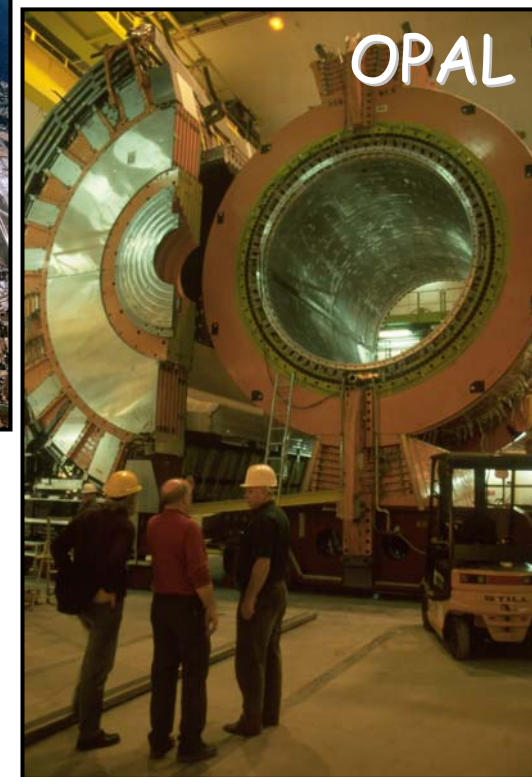
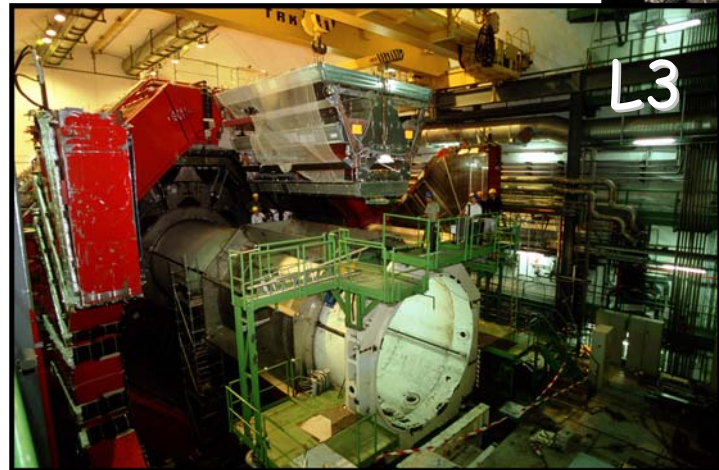
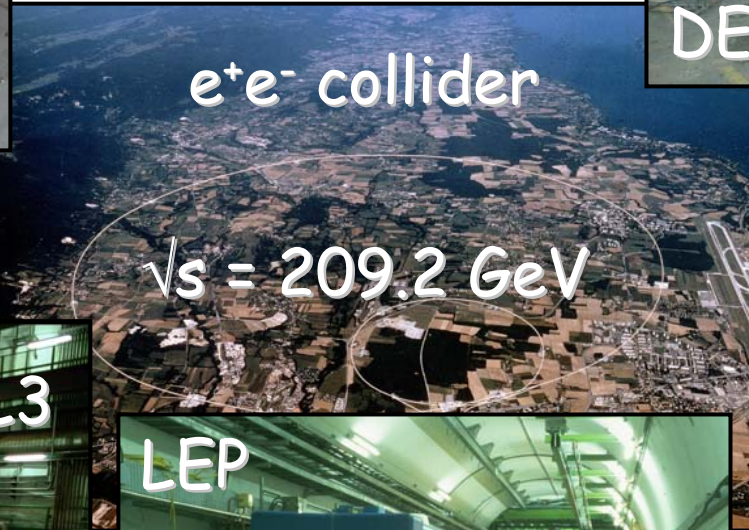


Risultato finale combinato di LEP2

- Regione attorno $m_H = 98 \text{ GeV}$:
 eccesso incompatibile con SM
- Regione attorno $m_H = 115 \text{ GeV}$:
 $1-CL_b \approx 9\%$ ($\approx 1.7\sigma$)
 $CL_{s+b} \approx 37\%$
- Ne segue $m_H > 114.4 \text{ GeV}$ (95%)

Higgs a LEP: conclusioni

Gli esperimenti
e la macchina a
LEP smantellati



Higgs a LEP/SLD: conclusioni

☺ La mass del Higgs SM vincolata:

☺ $114.4 < m_H < 193 \text{ GeV}$ at 95% C.L.
da misure di precisione e ricerche dirette

☹ ci sono ancora effetti a $2-3\sigma$ inconsistenti con lo SM:
- discrepanza tra A_{fb} e A_{lr}
- qualche evento a $m_H \approx 114 \text{ GeV}$:
segnale di scoperta o fluttuazione statistica ?

Ci vogliono altre misure (e altri acceleratori) per chiarire la situazione...