Correnti Cariche e Correnti Neutre

C.
Maiani
Nucleare e Subnucleare II
prof. C. Dionisi

Teoria Elettrodebole: parametri

e θ_W M_W

NuTeV ha misurato θ_W studiando lo scattering νN

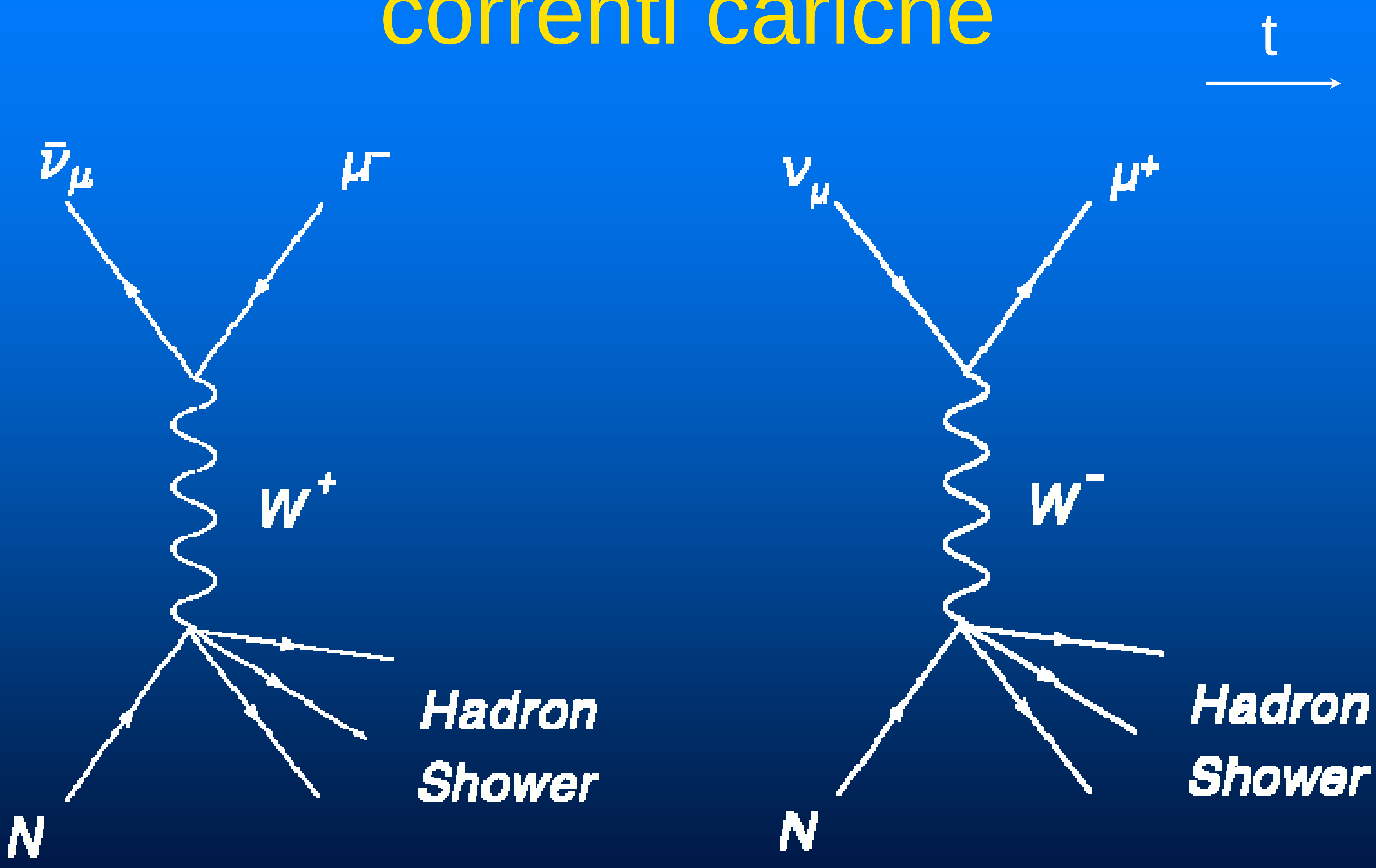
$\Downarrow$

Determinazione di M_W a partire dai dati di NuTeV:

$$sin^2\theta_W = 1 - \left(\frac{M_W}{M_Z}\right)^2$$

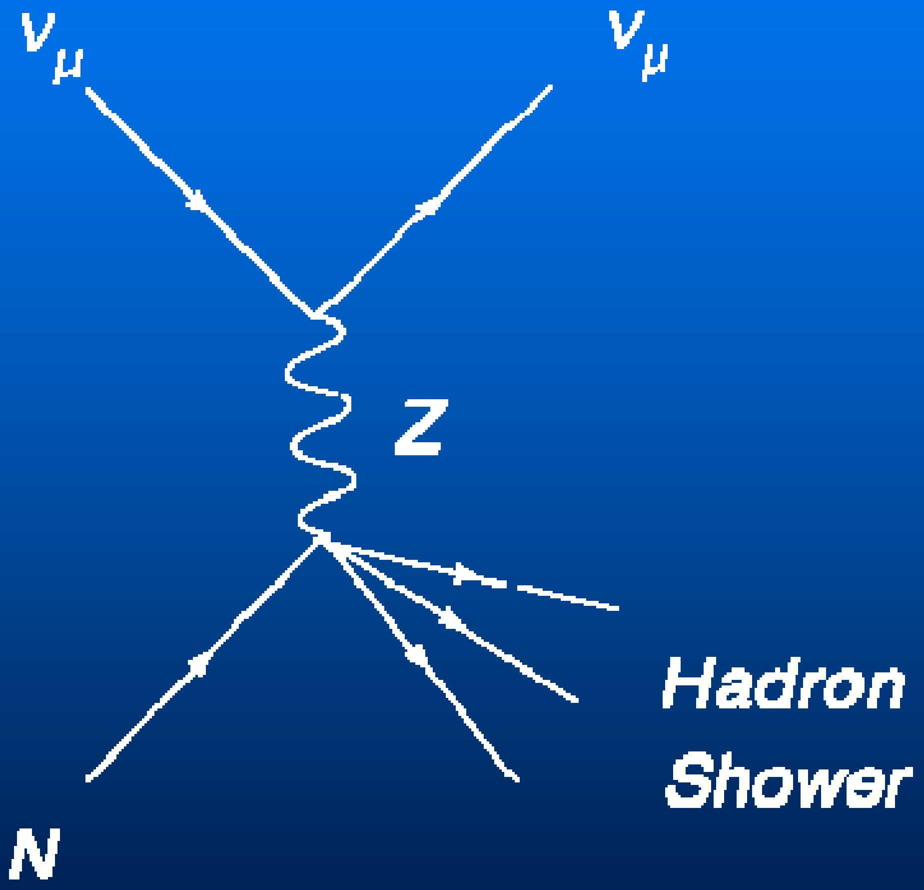
$$M_Z = (91187.5 \pm 2.1)\,\mathrm{MeV}$$

Grafici di Feynman: correnti cariche



Grafici di Feynman: correnti neutre

t



(grafico analogo per i $\bar{\nu}_\mu$)

Interazioni osservate: deep inelastic scattering $\nu - N$

$$\frac{d\sigma^{CC}(\nu)}{dy} = \frac{G^2 sQ}{2\pi} \quad \rightarrow \quad \sigma^{CC}(\nu) - \int_0^1 dy \frac{G^2 sQ}{2\pi}$$

$$\frac{d\sigma^{NC}(\nu)}{dy} = \frac{G^2 s}{2\pi}[g_L^2 + g_R^2(1-y)^2]Q$$

$$\rightarrow \quad \sigma^{NC}(\nu) = \int_0^1 dy \, \frac{G^2 s}{2\pi} \, [g_L^2 + g_R^2(1-y)^2] \, Q$$

$Q = \int_0^1 x[u(x) + d(x)]dx$

$0 < y < 1 \qquad y = \frac{E-E'}{E}$

Interazioni osservate: deep inelastic scattering $\bar{\nu} - N$

$$\frac{d\sigma^{CC}(\bar{\nu})}{dy} = \frac{G^2 s}{2\pi}(1-y)^2 Q$$

$$\rightarrow \quad \sigma^{CC}(\bar{\nu}) = \int_0^1 dy\, \frac{G^2 s}{2\pi}\,(1-y)^2\, Q$$

$$\frac{d\sigma^{NC}(\bar{\nu})}{dy} = \frac{G^2 s}{2\pi}[g_L^2(1-y)^2 + g_R^2]Q$$

$$\rightarrow \quad \sigma^{NC}(\bar{\nu}) = \int_0^1 dy\, \frac{G^2 s}{2\pi}\,[g_L^2(1-y)^2 + g_R^2]\, Q$$

$Q = \int_0^1 x[u(x) + d(x)]dx$

$0 < y < 1$

Calcolo delle sezioni d'urto

$\int_0^1 dy(1-y)^2 = \frac{1}{3}$ $Q = \frac{2}{3}$

$\sigma^{NC}(\nu) = \frac{G^2 s}{3\pi}[g_L^2 + \frac{1}{3} g_R^2]$ $\sigma^{CC}(\nu) = \frac{G^2 s}{3\pi}$

$\rightarrow \quad R = g_L^2 - \frac{1}{3} g_R^2$

$\sigma^{NC}(\bar{\nu}) = \frac{G^2 s}{3\pi}[g_L^2 \frac{1}{3} + g_R^2]$ $\sigma^{CC}(\bar{\nu}) = \frac{G^2 s}{9\pi}$

$\rightarrow \quad \bar{R} = g_L^2 + 3 g_R^2$

Calcolo delle sezioni d'urto

a partire da queste
e:

- trascurando gli effetti del mare
- considerando il bersaglio isoscalare
- con $\begin{cases} g_L = \frac{1}{2}(c_V + c_A) \\ g_R = \frac{1}{2}(c_V - c_A) \end{cases}$

Calcolo delle sezioni d'urto

sostituendo i valori di Q , c_V e c_A :

Table 13.3
Standard model predictions for the vector and axial vector couplings of the fermions to the Z^0

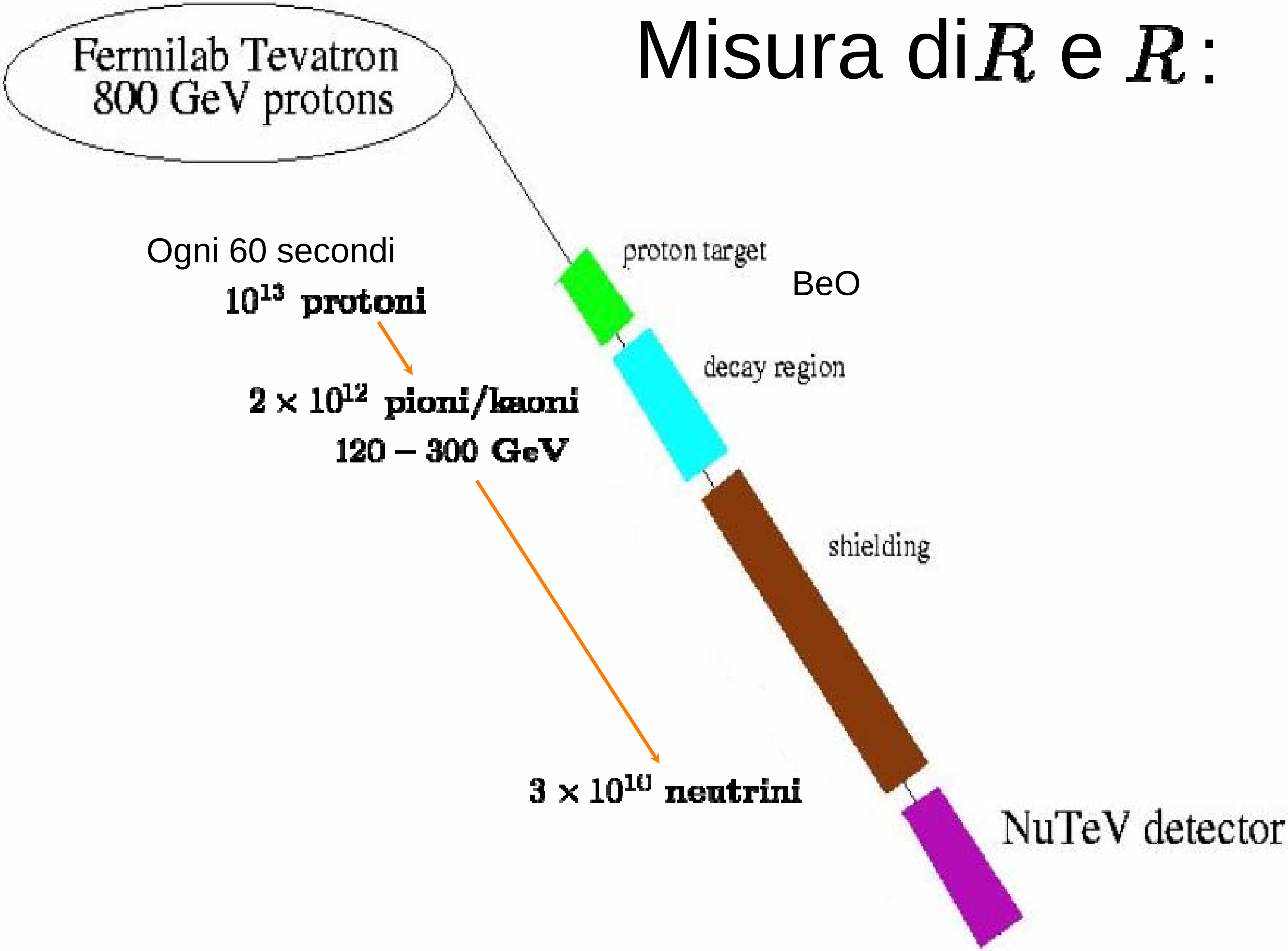
Fermion f	I_3^f	Q^f	c_A^f	c_V^f
ν_e, ν_μ, ν_τ	$+\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
e_L^-, μ_L^-, τ_L^-	$-\frac{1}{2}$	-1	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2} + 2\sin^2\theta_W$
u_L, c_L, t_L	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} - \frac{4}{3}\sin^2\theta_W$
d'_L, s'_L, b'_L	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2} + \frac{2}{3}\sin^2\theta_W$
e_R^-, μ_R^-, τ_R^-	0	-1	0	$2\sin^2\theta_W$
u_R, c_R, t_R	0	$+\frac{2}{3}$	0	$-\frac{4}{3}\sin^2\theta_W$
d'_R, s'_R, b'_R	0	$-\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}\sin^2\theta_W$

Calcolo delle sezioni d'urto

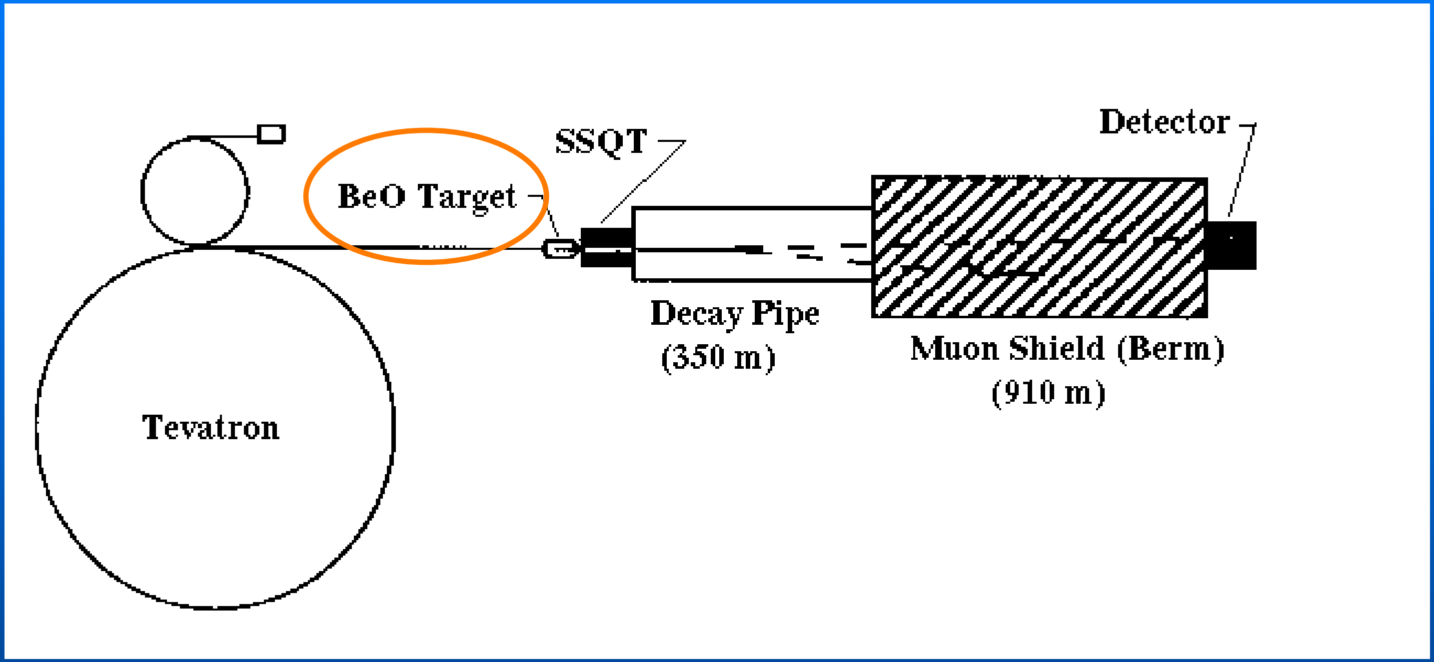
$$R := \frac{\sigma^{NC}(\nu)}{\sigma^{CC}(\nu)} = \frac{1}{2} - sin^2\theta_W + \frac{20}{27} sin^4\theta_W$$

$$\bar{R} := \frac{\sigma^{NC}(\bar{\nu})}{\sigma^{CC}(\bar{\nu})} = \frac{1}{2} - sin^2\theta_W + \frac{20}{9} sin^4\theta_W$$

Misura di R e R :



Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$



- 10^{13} protoni a 800 GeV su un bersaglio di BeO

  ➪ produzione di $\pi^{\pm}$ e $K^{\pm}$

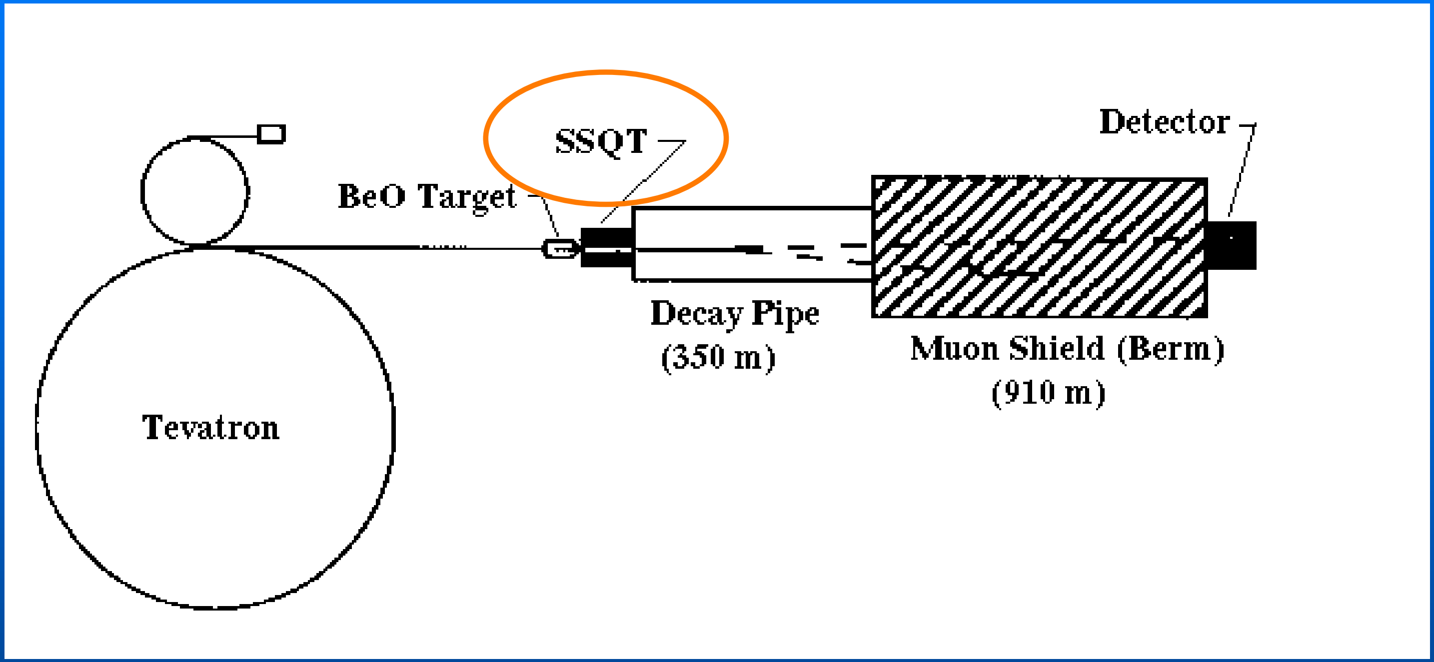
Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$

$$\frac{k^+}{\pi^+} = (14.7 \pm 0.44)\%$$

$$\frac{k^-}{\pi^-} = (4.9 \pm 0.15)\%$$

Rinormalizzati sui flussi di SPS al CERN

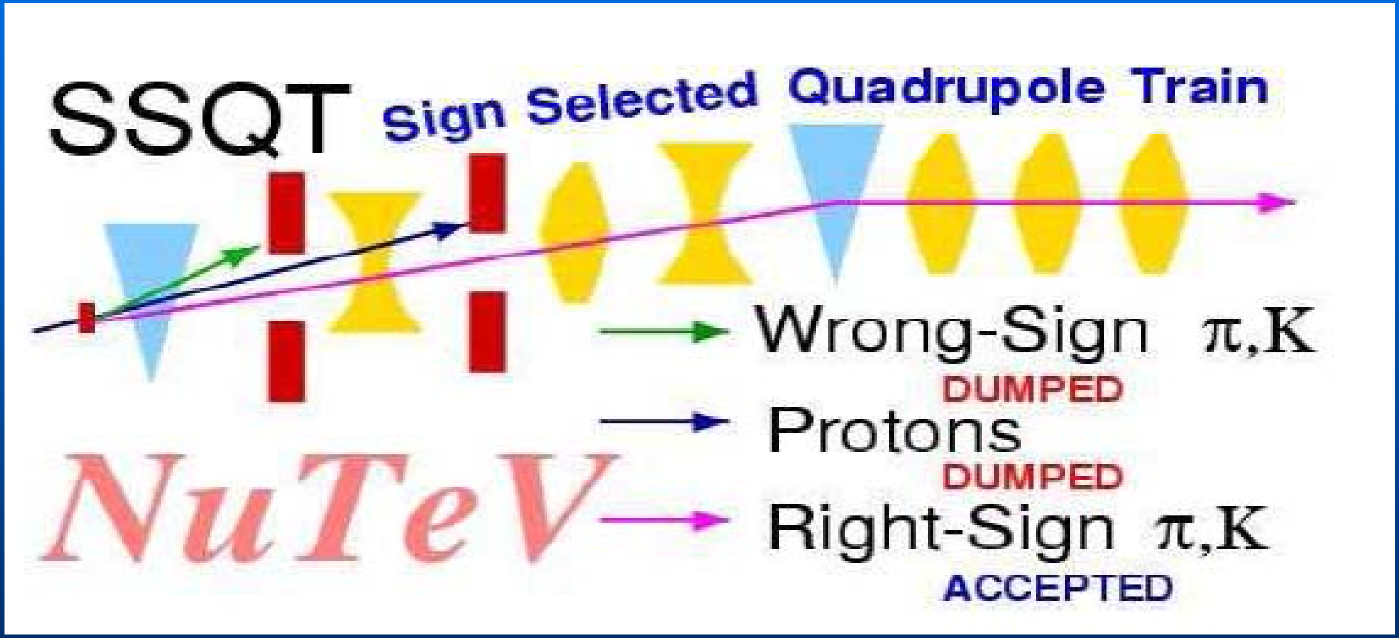
Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$



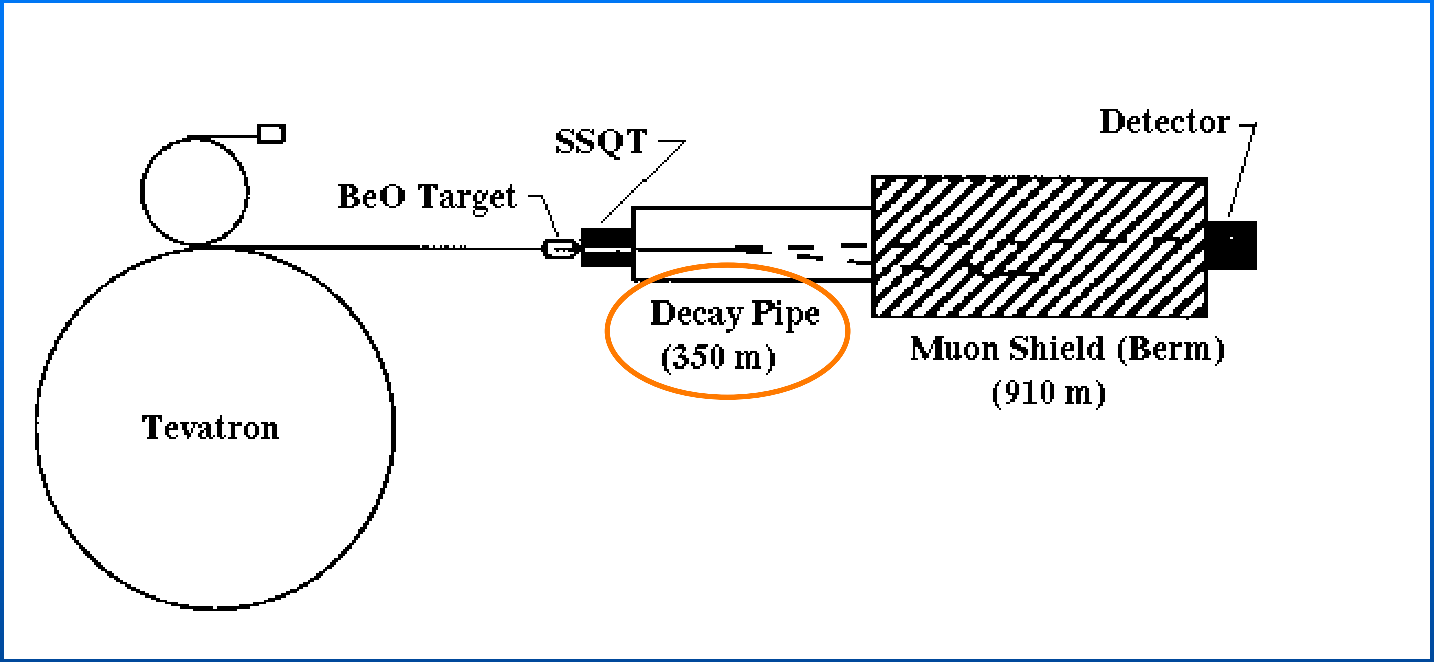
- Sign Selected Quadrupole Train

Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$

⇨ selezione del segno dei mesoni



Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$



- I mesoni vengono fatti decadere nella Decay Pipe
lunga 350 m

Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$

$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$	99.99 %
$\boxed{\pi^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu_{e}/\bar{\nu}_{e}}$	0.012 %
$k^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$	63 %
$k^{\pm} \rightarrow \pi^{0} + \mu^{\pm} + \nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$	3.2 %
$\boxed{k^{\pm} \rightarrow \pi^{0} + e^{\pm} + \nu_{e}/\bar{\nu}_{e}}$	4.98 %

Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$

$$k_L^0 \longrightarrow \pi^{\pm} + e^{\mp} + \bar{\nu}_e/\nu_e$$ 39 %

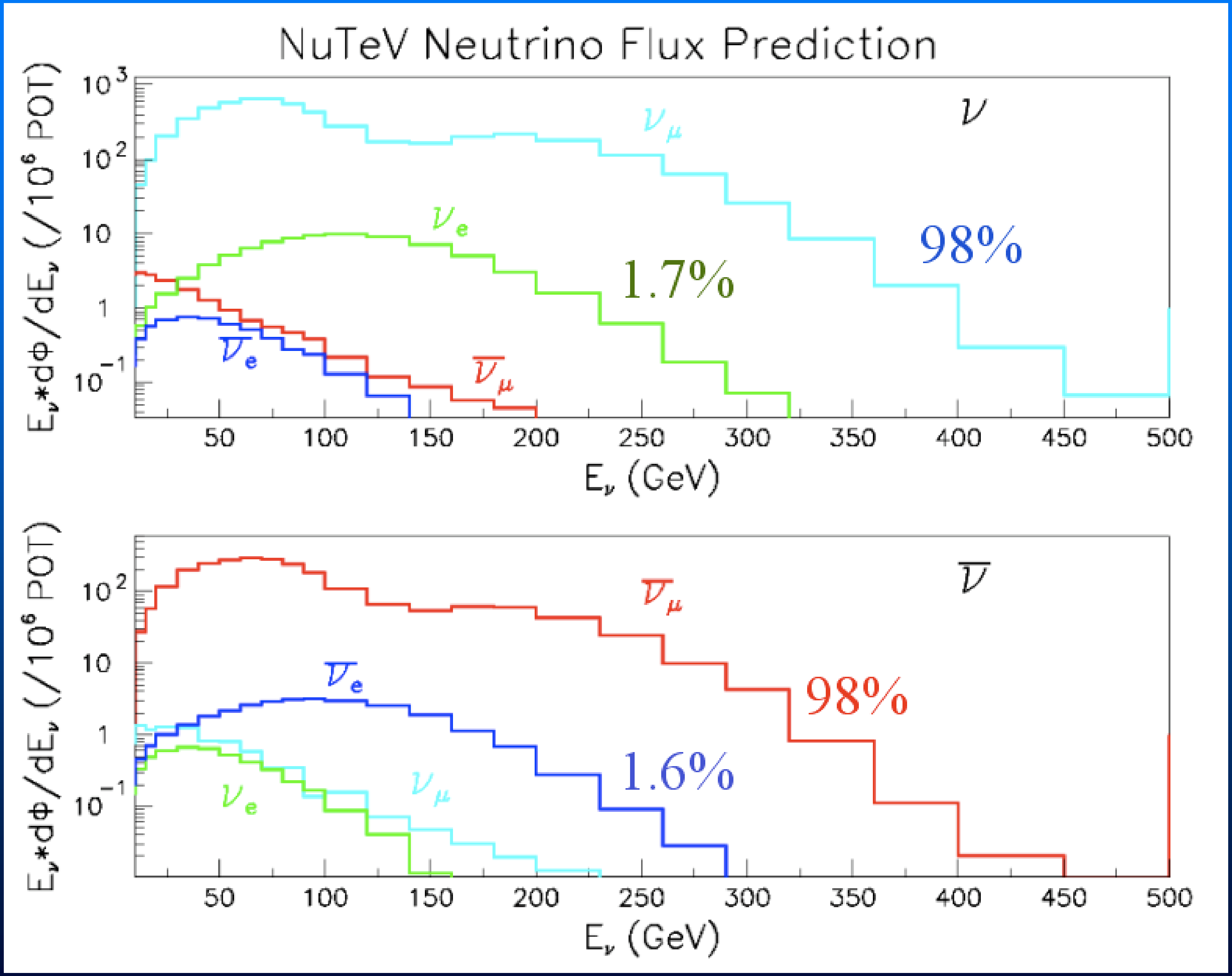
$$k_L^0 \longrightarrow \pi^{\pm} + \mu^{\mp} + \bar{\nu}_\mu/\nu_\mu$$ 27 %

Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$

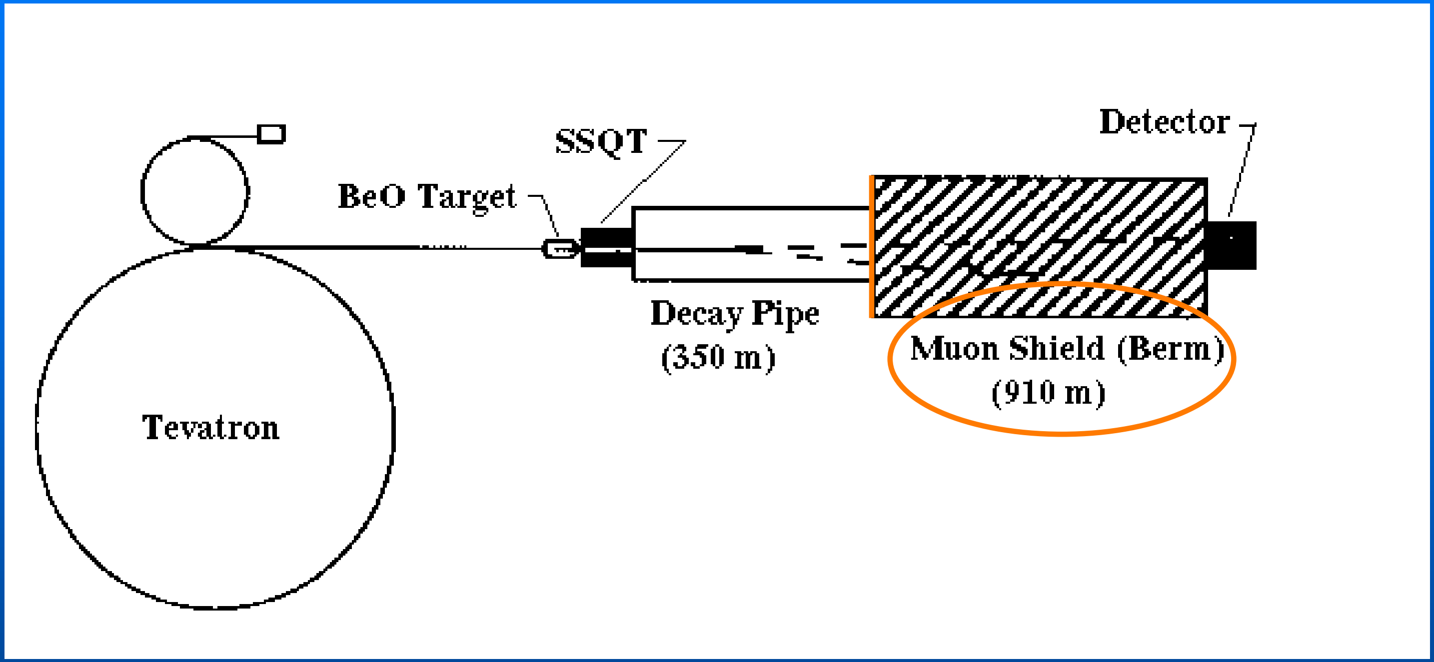
- Fascio collimato
- Contaminazioni contenute

Beam ν_μ	Beam $\bar{\nu}_\mu$
$\bar{\nu}_\mu \sim 0.03\%$	$\nu_\mu \sim 0.4\%$
$\nu_e \sim 1.7\%$	$\bar{\nu}_e \sim 1.6\%$

Narrow Band Beam di $\nu/\bar{\nu}$

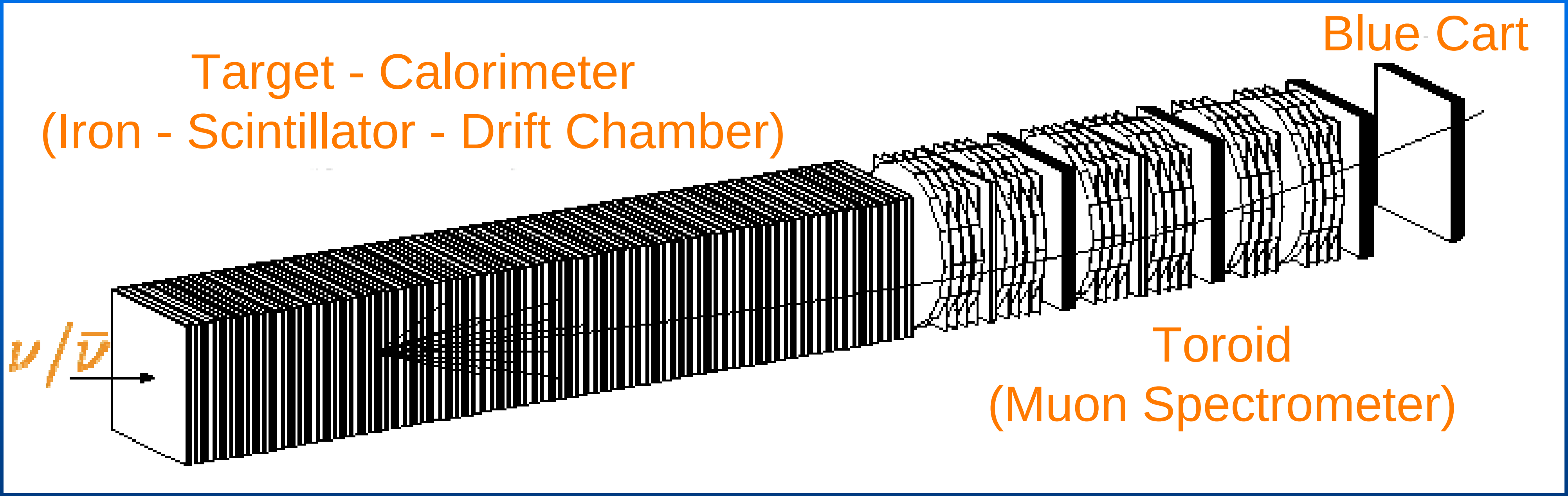


Narrow Beam di $\nu/\bar{\nu}$



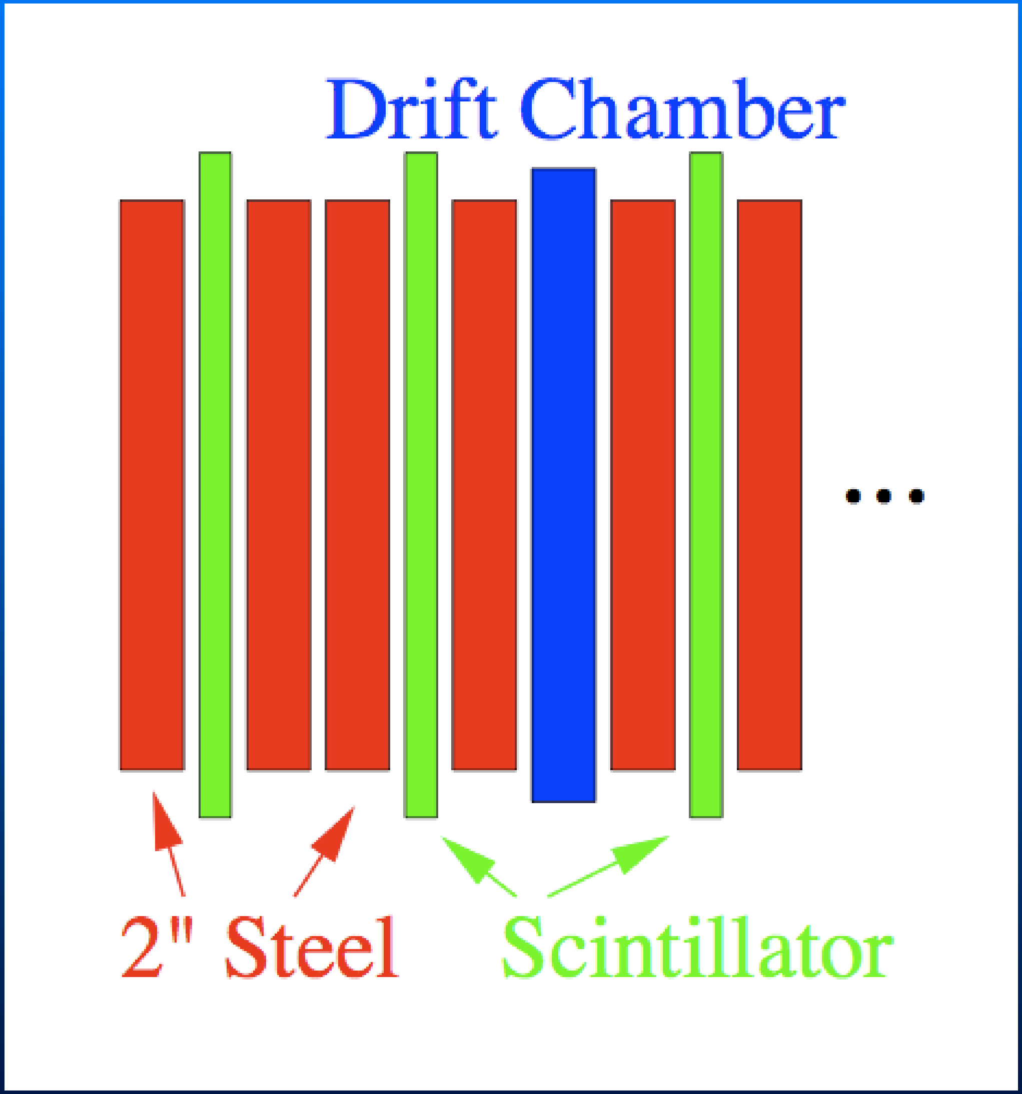
- Strato di piombo e acciaio che assorbe i mesoni.
- I muoni prodotti nei decadimenti dei mesoni vengono assorbiti dal Muon Shield, lungo 910 m

Detector



Blue Cart
Target - Calorimeter
(Iron - Scintillator - Drift Chamber)
$\nu / \bar{\nu}$
Toroid
(Muon Spectrometer)

Detector: Steel-Scintillator Target

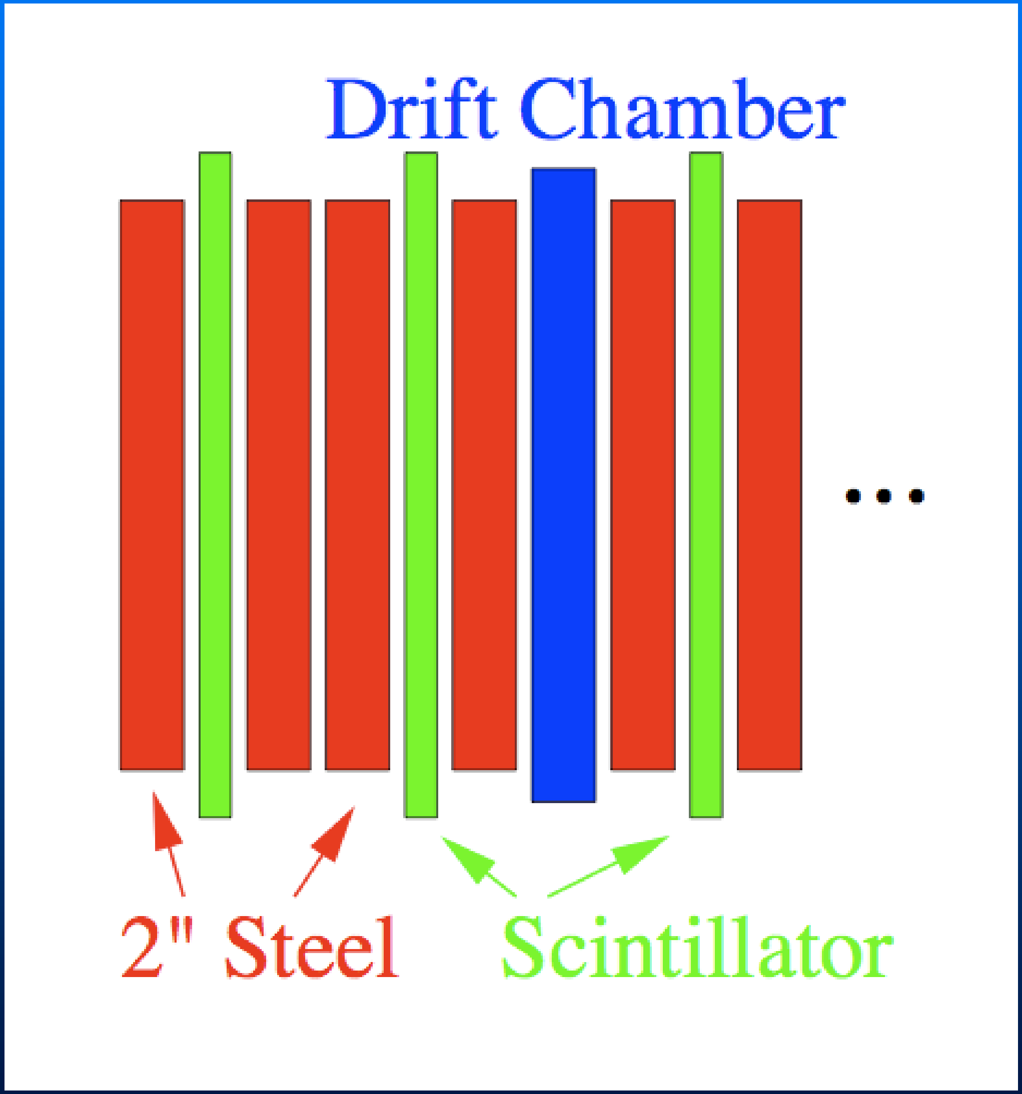


18 m di lunghezza

690 tonnellate

- 168 lastre di acciaio
- 84 contatori a scintillatore liquido
- 42 camere a drift

Detector:
Steel-Scintillator Target



Scintillatori:

- Misura dell'energia depositata

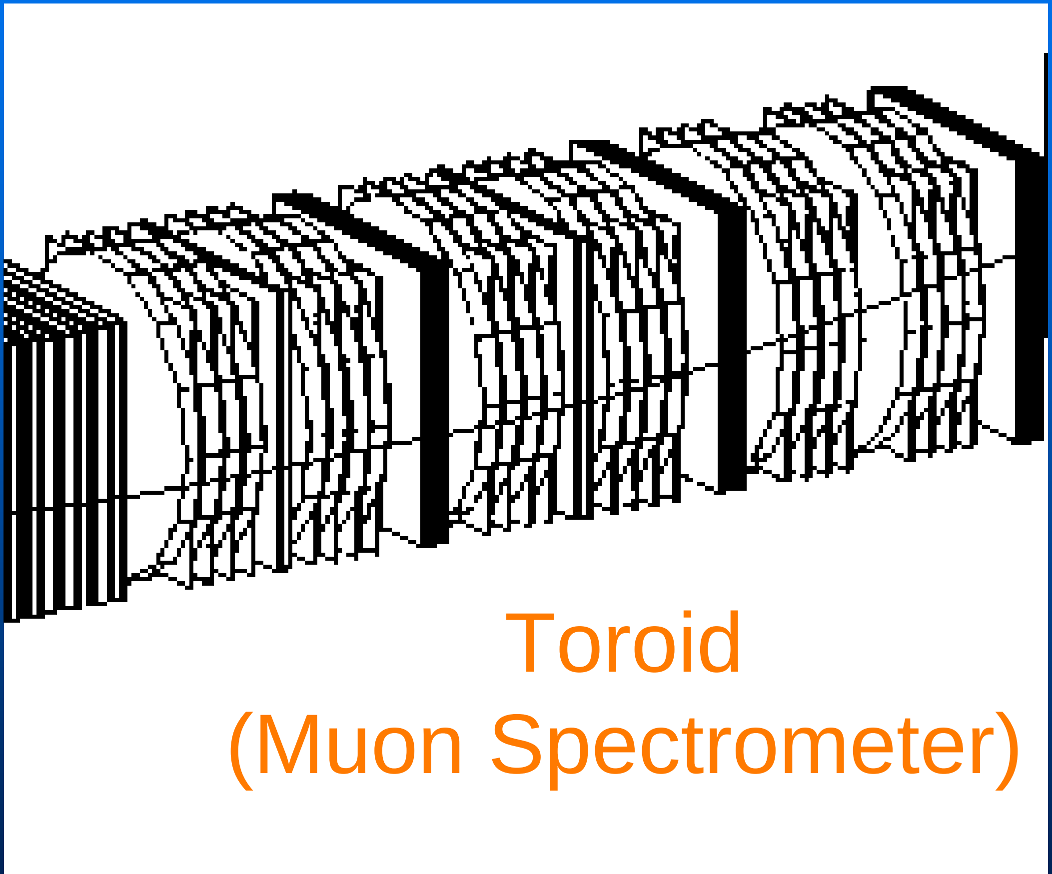
Risoluzione $\frac{\delta E}{E} \simeq \frac{0.86}{\sqrt{E}}$

- Trigger

Camere a drift:

- misurano la posizione del vertice d'interazione

Detector:
Iron-Toroid Spectrometer



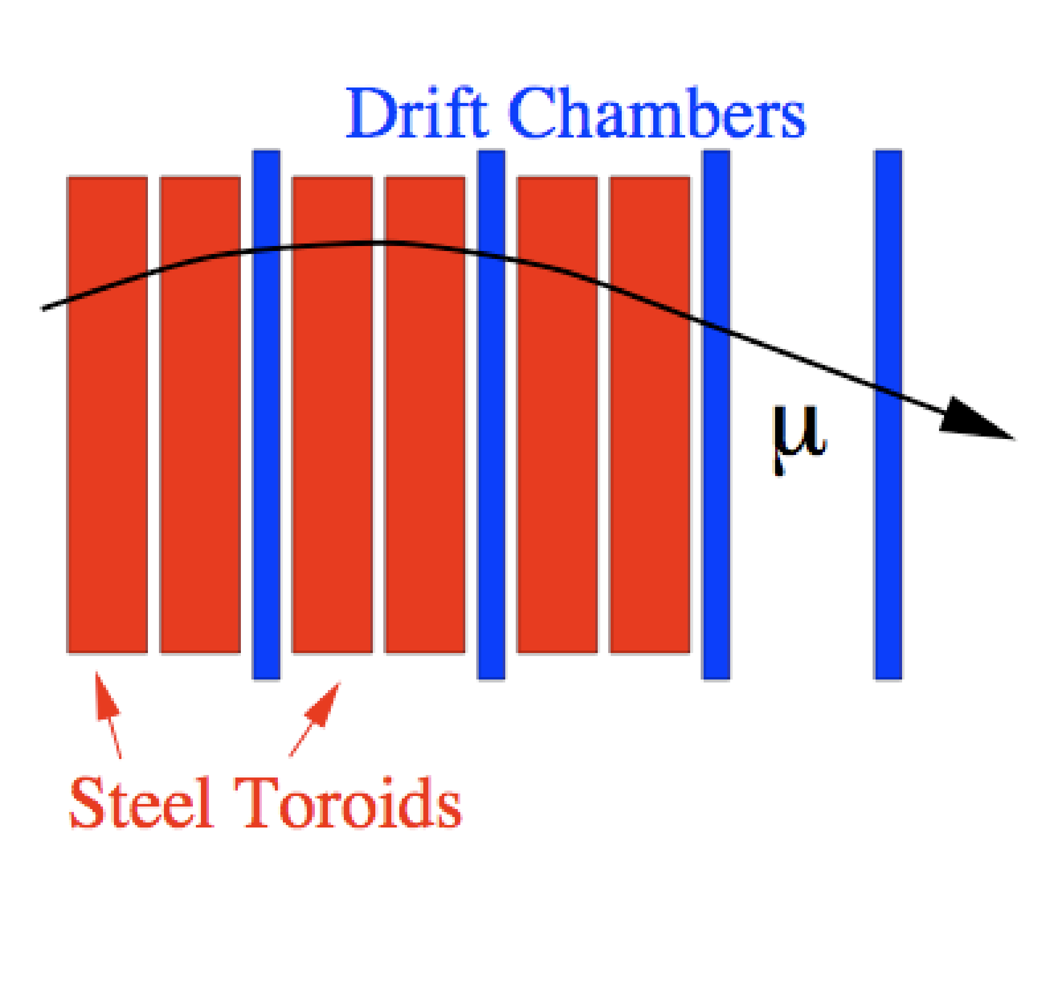
Campo magnetico

$$15\ \mathrm{kG} = 1.5\ \mathrm{T}$$

Detector:
Iron-Toroid Spectrometer

Misura:

- momento del muone
- carica del muone



Eventi:

Si richiede che l'energia depositata nel calorimetro dagli eventi sia compresa tra:

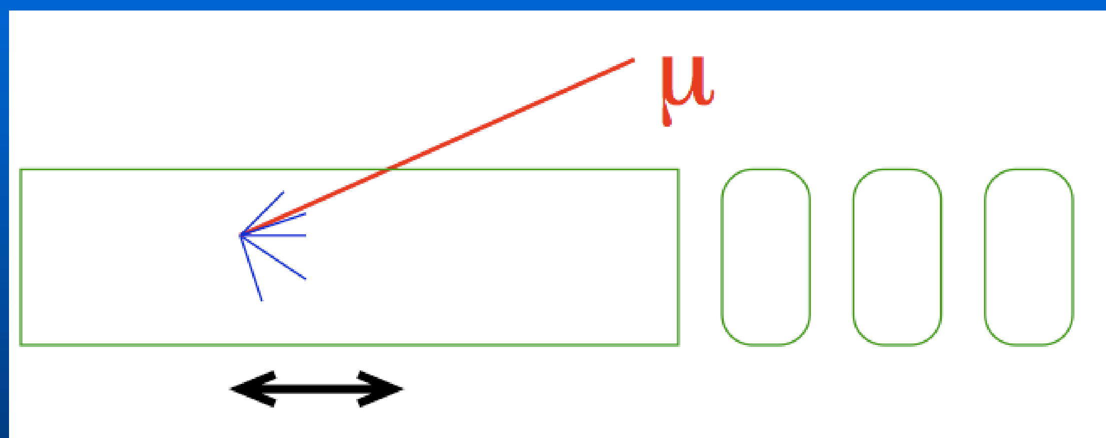
$$20\ \mathrm{GeV} < E_{cal} < 180\ \mathrm{GeV}$$

$$\Downarrow$$

- Migliore efficienza del trigger
- Determinazione accurata del vertice d'interazione
- Riduce i fondi dati dai raggi cosmici

Contaminazioni e Fondi

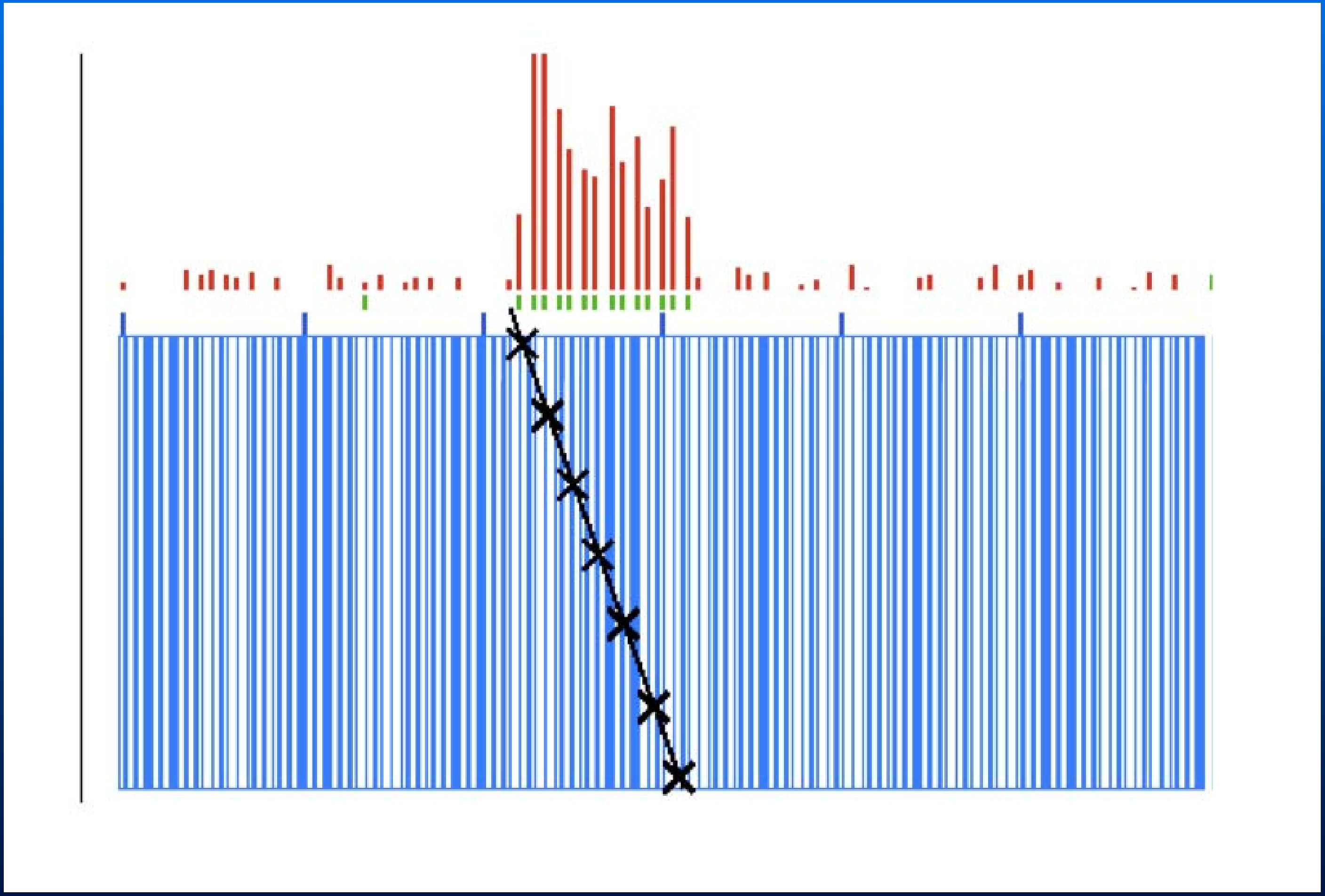
- ν_μ muoni che escono: CC interpretate come eventi NC $\sim 20\,\%$



- ν_e interpretati come eventi NC $\sim 5\,\%$

Contaminazioni e Fondi

- Raggi Cosmici $\sim 0.8\,\%$



Contaminazioni e Fondi

Dopo aver effettuato tutte le selezioni sui dati si ottengono

eventi beam $\nu_\mu \simeq 1.62 \times 10^6$

con $< E_{cal} > \simeq 64$ GeV

eventi beam $\bar{\nu}_\mu \simeq 0.35 \times 10^6$

con $< E_{cal} > \simeq 53$ GeV

Separazione degli Eventi Selezionati:

Eventi “lunghi” $\Rightarrow$ Correnti Cariche

Eventi “corti” $\Rightarrow$ Correnti Neutre

Separazione degli Eventi Selezionati:

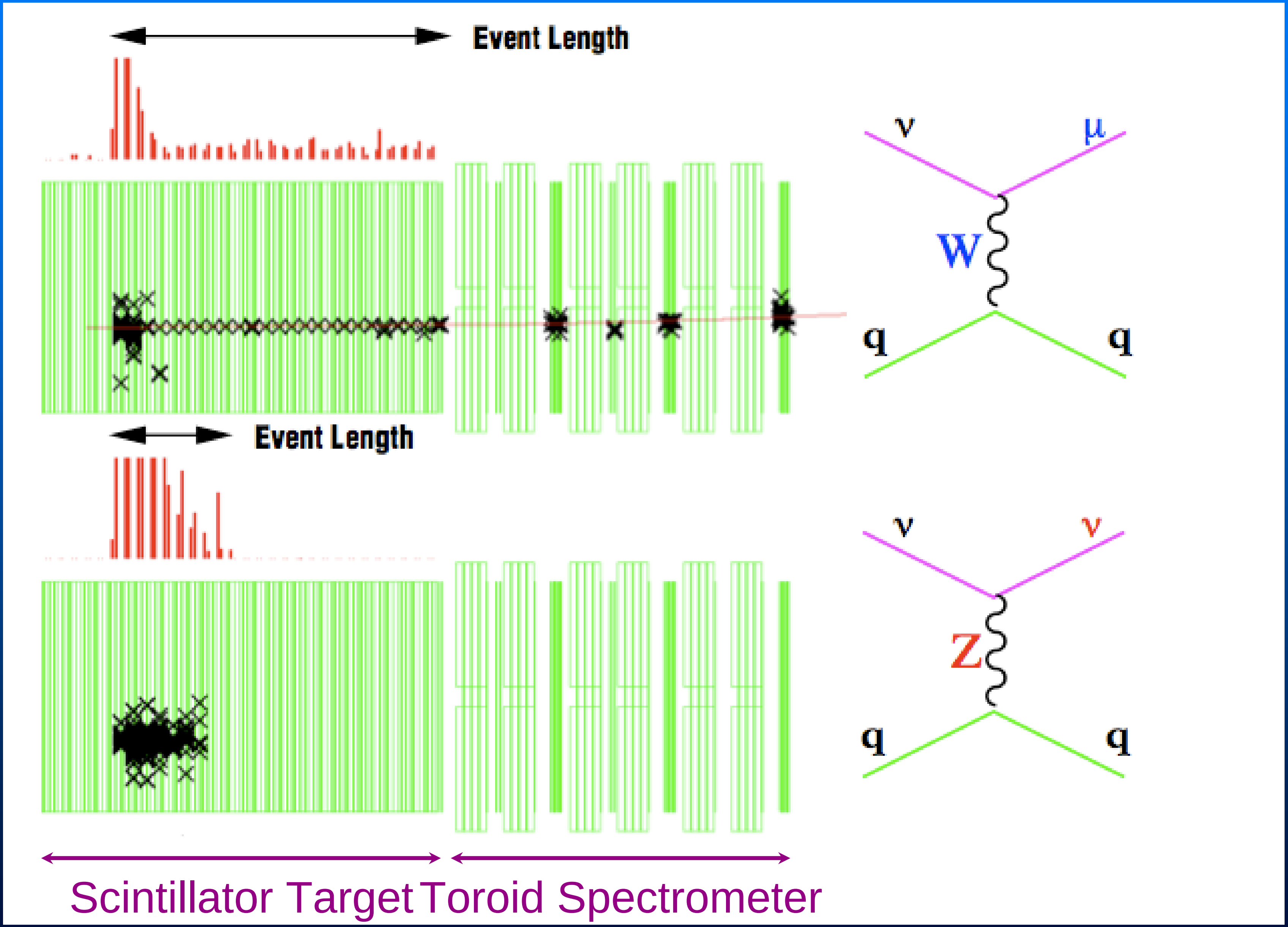
Eventi lunghi e corti??

$$20 < E_{cal} \leq 60 \text{ GeV} \rightarrow \text{ lunghezza discriminante} = 16$$

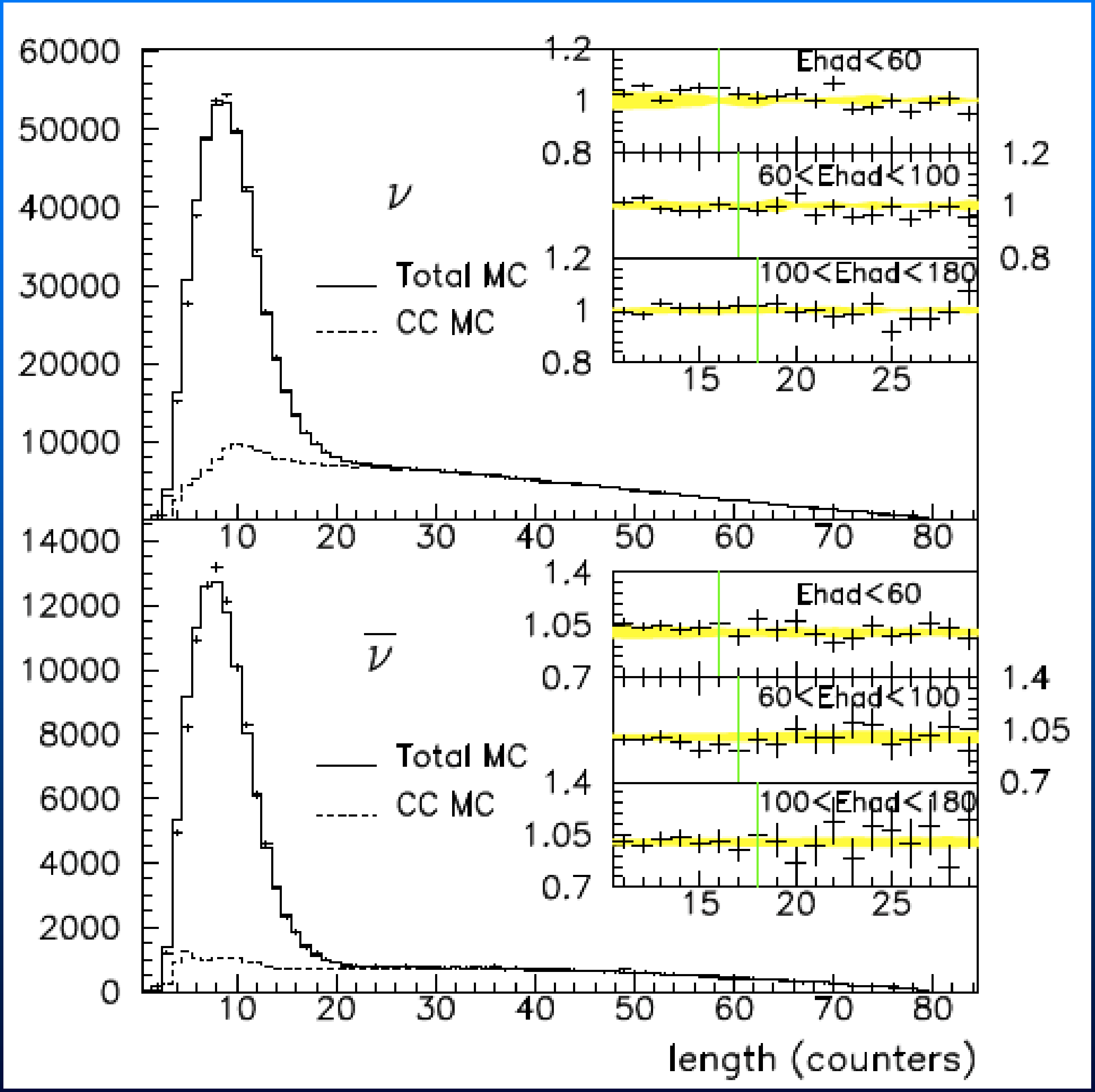
$$60 < E_{cal} < 100 \text{ GeV} \rightarrow \text{ lunghezza discriminante} = 17$$

$$100 < E_{cal} \leq 180 \text{ GeV} \rightarrow \text{ lunghezza discriminante} = 18$$

Separazione degli Eventi Selezionati:



Separazione degli Eventi Selezionati:



Lunghezza degli eventi misurata e prevista dal MC.

Risultati

$$R_{exp} = 0.3916 \pm 0.0007 \qquad R_{SM} = 0.3950$$

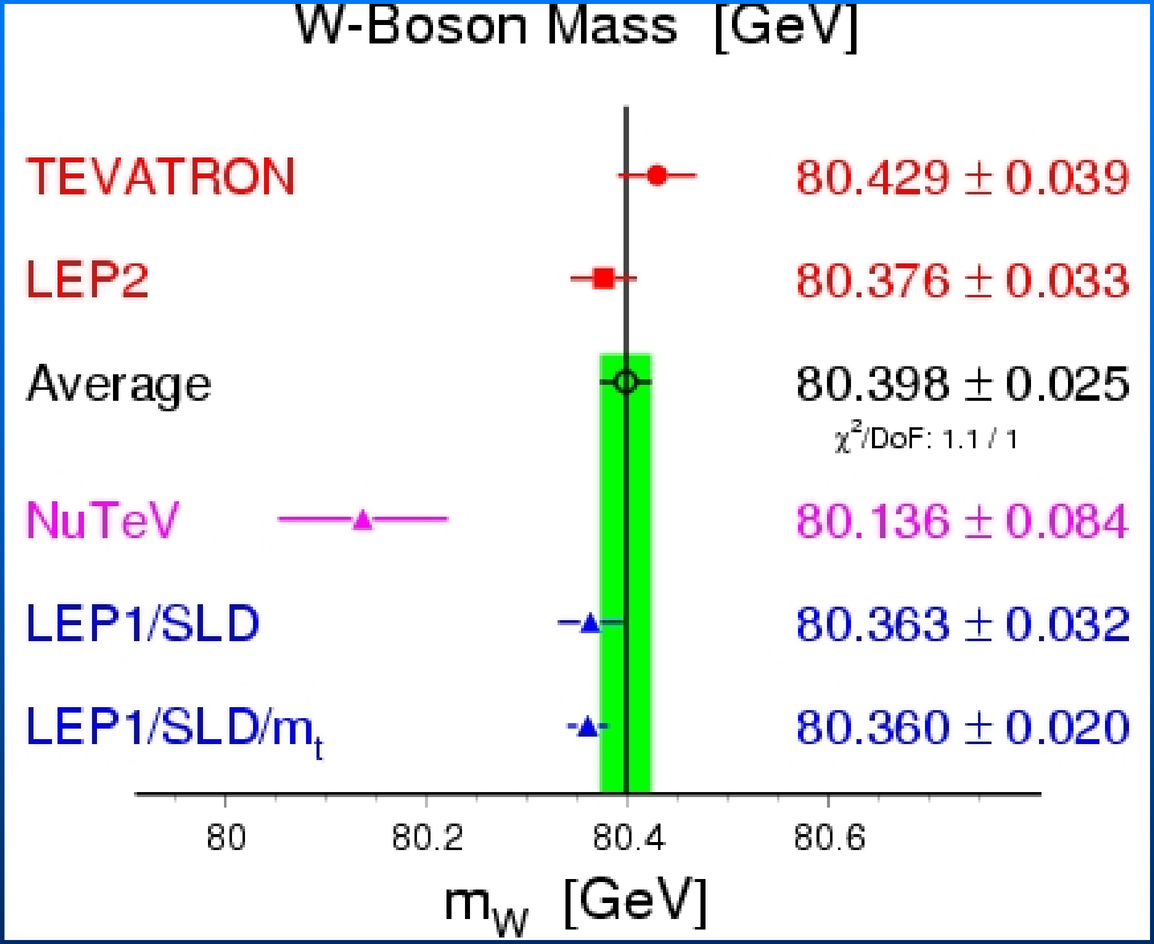
$$\bar{R}_{exp} = 0.4050 \pm 0.0016 \qquad R_{SM} = 0.4066$$

$$\Downarrow$$

$$sin^2\theta_W = 0.22773 \pm 0.00135\,(\mathrm{stat.}) \pm 0.00093\,(\mathrm{sist.})$$

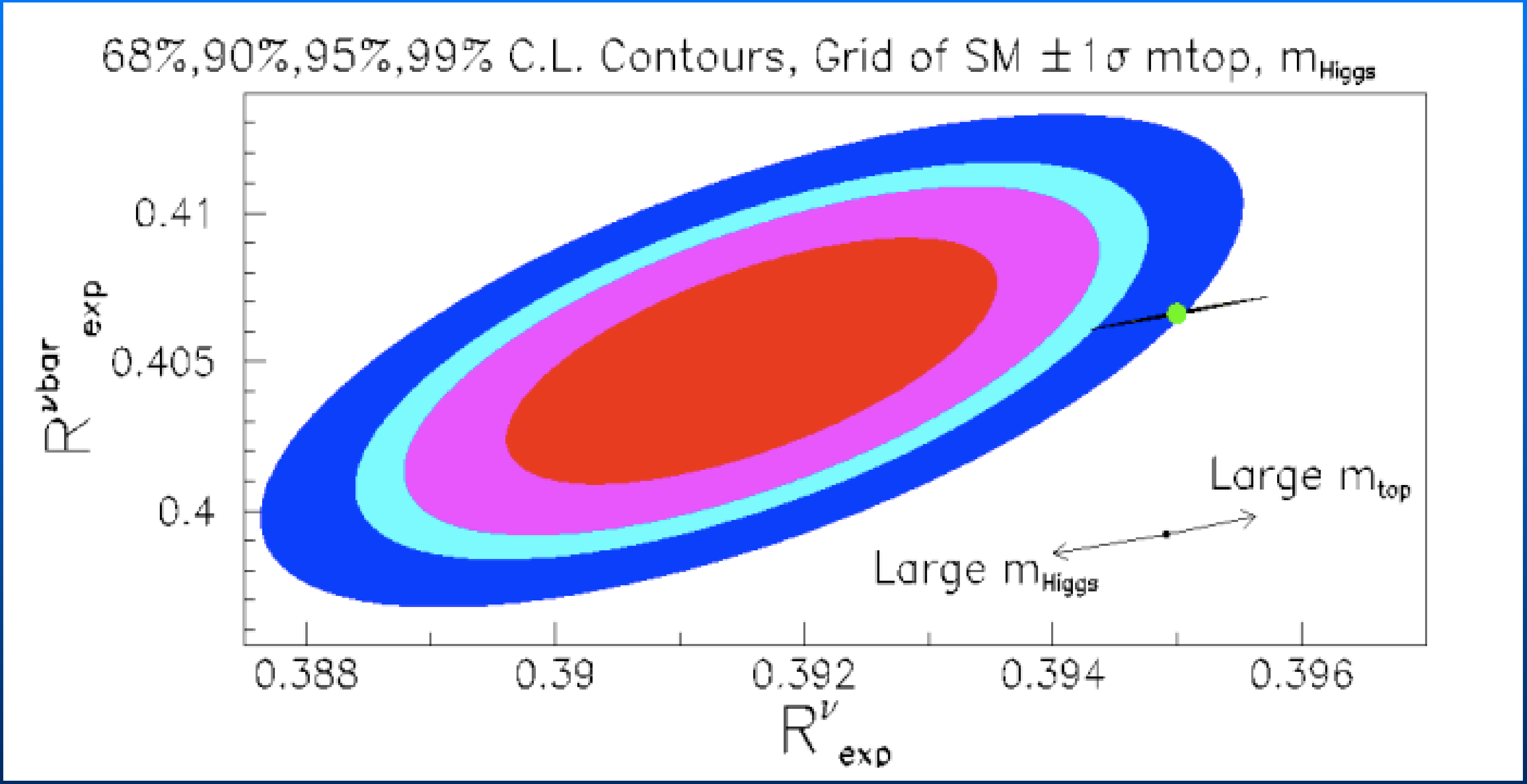
$$+\ \mathrm{correzioni\ radiative}\ (M_{top}, M_{Higgs})$$

Risultati

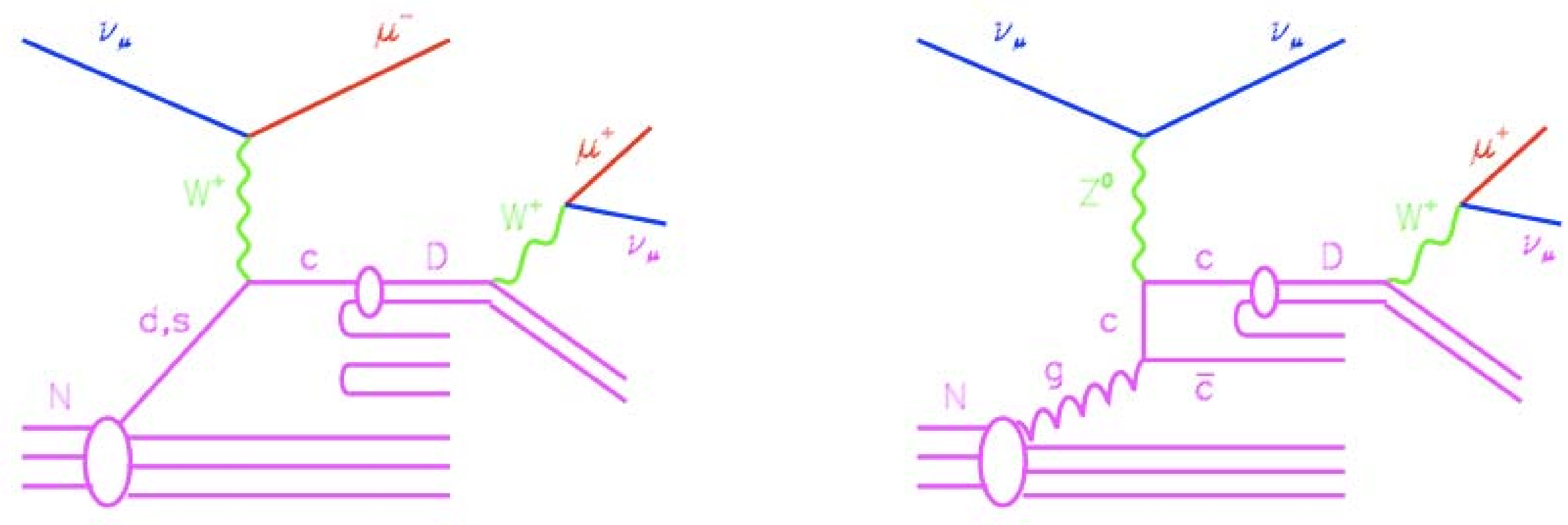


Discrepanza di più di 3σ rispetto al World Average

Risultati: SM fit



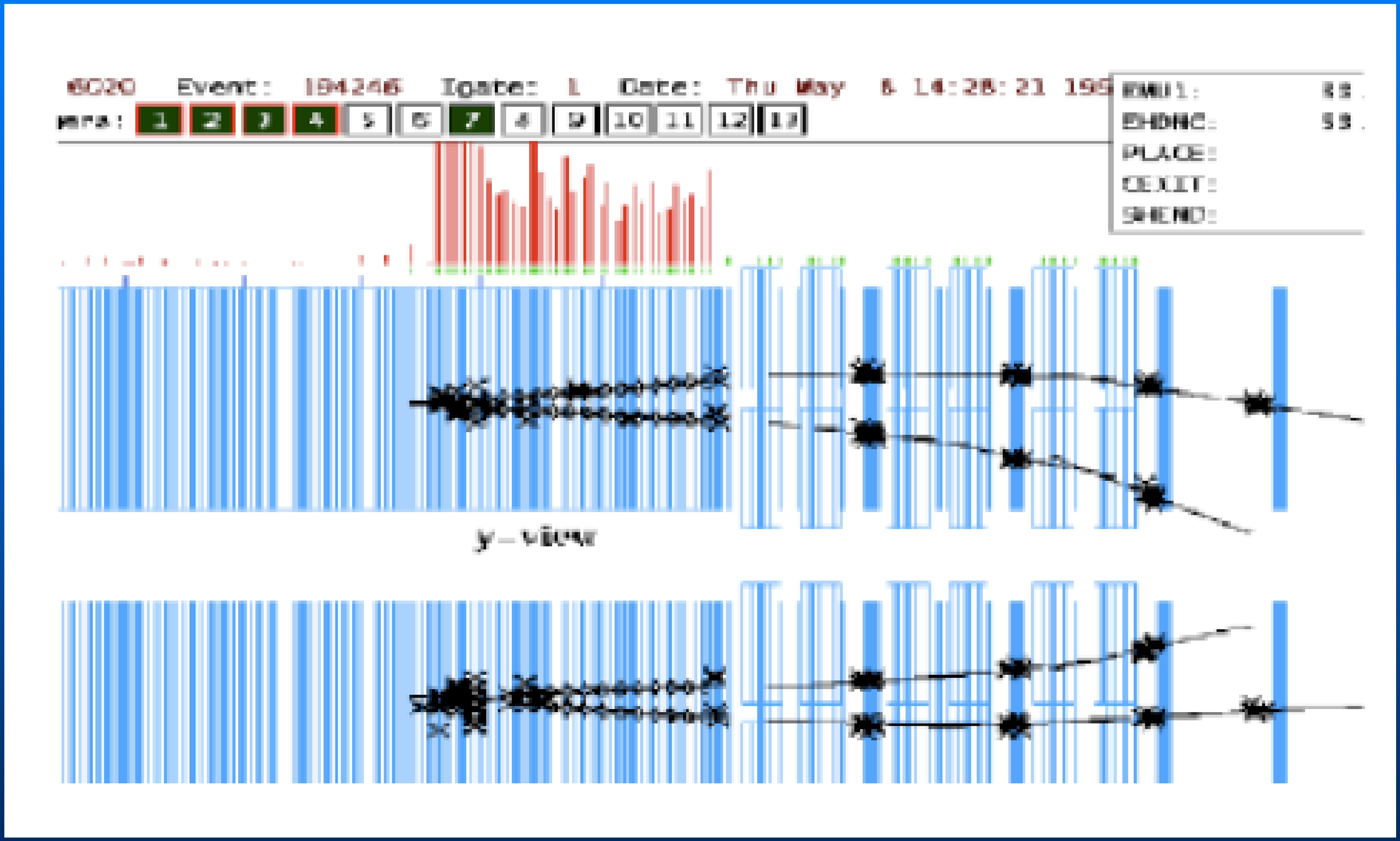
Produzione di Charm



$$|V_{cd}|^2 \simeq 0.05 << |V_{cs}|^2 \simeq 0.95$$

matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

Produzione di Charm



Bibliografia:

- W. E. Burcham, M. Jobes, *Nuclear and Particle Physics*, Pearson Education;
- G. P. Zeller, K. S. McFarland et al., *A Precise Determination of Electroweak Parameters in Neutrino-Nucleon Scattering*, arXiv:hep-ex/0110059v3, aprile 2007;
- G. Zeller, *Measurement of the weak mixing angle at NuTeV*, http://www-e815.fnal.gov/webspace/publications.html, aprile 2000;
- T. Adams et al., *Charm production at NuTeV*, http://www-e815.fnal.gov/webspace/publications.html, 1999;