Alessandro BALLESTRERO INFN Torino

WW/ZZ e single W a LEP2

- Introduzione
- Double Pole Approximation
- WW con DPA
- ZZ con DPA ?
- Particelle instabili e "gauge restoring methods"
- Fermion Loops
- Single W
- IFL e Correnti Non Conservate
- FL e Correnti Non Conservate
- Conclusioni

Lep Trieste 27 Aprile 2000

Introduzione

LEP2 ha aperto l'era della fisica dei 4 fermioni.

Questo ha portato ad importanti risultati sperimentali:

- misura della massa del W
- sezione d'urto WW (CC03)
- sezioni d'urto ZZ (NC02), Z γ^*
- Triple gauge coupling e limiti su anomalous couplings
- QCD 4 jets
- Limiti su Higgs
- Ricerche di Susy e limiti sullo spazio dei parametri ...

Dal punta di vista <u>teorico</u> un notevole sforzo ha prodotto diversi generatori. Ottimo accordo tecnico sui principali processi per i quali già ai tempi del primo LEP2 workshop si stimava un errore teorico dell'ordine $O(1\div 2\%)$.

L'alta luminosità raggiunta e la necessità di controllare processi piu' complicati (Single W, Single Z, ..) ha portato alla necessità di **ridurre notevolmente errori teorici**

 \rightarrow MC workshop.

Progressi notevoli compiuti per $\mathbf{W}\mathbf{W}$ e single \mathbf{W}

Double Pole Approximation

gauge invariance

Necessità di calcoli gauge invarianti

Altrimenti risultato dipende dal gauge scelto e non è sotto controllo.

4f (+ eventuali RC) possono avere 3 tipi di problemi di gi:

- set di diagrammi non completo (es: CCO3)

- ISR o FSR oltre LL (emissione da tutte le linee cariche)
- bosoni vettori instabili (width)

Correzioni radiative - DPA

EW RC a produzione e decadimento WW on shell note.

Calcoli completi a tree level per 4f + ISR/FSR, Coulomb, PS, qcd, hadronization, ..

nei MC.

Correzioni EW one loop a ME completi incredibilmente complicate (migliaia di contributi).

Attualmente non disponibili.

Un metodo consistente, *gauge invariante* di valutare le più importanti correzioni ai processi completi "WW like " è stato completato di recente:

Double Pole Approximation (DPA)

(Denner Dittmaier Roth; Beenakker Berends Chapovsky) Con queste correzioni *precisione teorica di .5%* dovrebbe essere raggiunta per le sezioni d'urto WW (ZZ).

È possibile estendere il metodo ad altri processi? (single pole per single W ?)

DPA:

sviluppo dell' ampiezza intorno ai poli complessi dei W. Solo termini doppio risonanti sono tenuti sia a tree level che nelle correzioni $O(\alpha)$.

Corrisponde ad uno svilppo sia in α che in $\frac{\Gamma_W}{M_W}$ Vengono tenuti $O(1), O(\alpha), O(\frac{\Gamma_W}{M_W})$.

Trascurati $O(\frac{\alpha \Gamma_W}{M_W})$.

I propagatori risonanti possono essere risommati e i vari ordini sono separatamente gi

DPA valida solo sopra soglia (errore stimato $O(\frac{\alpha \Gamma_W}{E-M_W})$

Sezione d'urto LO $d\sigma^0$ per uno stato finale (es. 10 diagrm. per CC10 $\mu\nu u\bar{d}$) è divisa in

$$d\sigma^0 = d\sigma^0_{DPA} + (d\sigma^0 - d\sigma^0_{DPA})$$

 $d\sigma^0_{DPA}$ è approximazione gi di CCO3 in cui

- \bullet produzione e decadimento sono calcolati on shell $(p_i^2 \rightarrow M^2)$
- correlazioni di spin tenute in conto esatto
- propagatori W risommati hanno la corretta dipendenza dagli impulsi off shell.

$$A = \sum_{\lambda_1,\lambda_2} \Pi_{\lambda_1\lambda_2}(M_1, M_2) \frac{\Delta_{\lambda_1}^{(+)}(M_1)}{M_1^2 - M_W^2 + iM_W\Gamma_W} \frac{\Delta_{\lambda_2}^{(-)}(M_2)}{M_2^2 - M_W^2 + iM_W\Gamma_W}$$
$$\Pi_{\lambda_1\lambda_2}(M_1, M_2) \to \Pi_{\lambda_1\lambda_2}(M_W, M_W) \qquad \Delta_{\lambda_i}(M_i) \to \Delta_{\lambda_i}(M_W)$$



Beenakker Berends Chapovsky

Le correzioni DPA δ_{DPA} reali e virtuali $O(\alpha)$ vengono poi calcolate.

Si dividono in

- *fattorizzabili:* si applicano separatamente alle parti di produzione e decadimento
- *non fattorizzabili:* contengono effetti di interferenza tra le due parti. Di solito poca importanza numerica.



Il **risultato finale** è:

$$d\sigma = d\sigma_{DPA}^0 (1 + \delta_{DPA}) + (d\sigma^0 - d\sigma_{DPA}^0)$$





Diminuzione e distorsione dovute alle correzioni DPA. Per effetto del decadidmento (contributi da diversi propagatori on shell)

WW con DPA

Esistono attualmente due codici che implementano DPA ed uno che ha un approccio pratico molto simile:

- RacoonWW. (Denner Dittmaier Roth Wackeroth)
 - MC. Correzioni virtuali $O(\alpha)$ in DPA complete.

Non fattorizzabili e spin correlation comprese.

Correzioni reali basate su esatto $4f + \gamma$ (per CC11).

Fermioni massless (come altri). Fotone collineare deve essere ricombinato con fermione.

ISR oltre $O(\alpha)$ con metodo funzioni di struttura

• YFSWW. (Jadach, Ward, Was, ...)

<u>MC</u>. Correzioni $O(\alpha)$ a $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ on shell (Jegerlehner et. al.) Correzioni LL a decadimento W con PHOTOS + branching ratio.

YFS per ISR/FSR ed emissioni di fotoni da W.

gauge invariant (secondo gli autori).

Senza correzioni non fattorizzabili

Senza correlazioni di spin.

• BBC. (Beenakker Berends Chapovsky)

<u>Semianalitico</u>. Correzioni $O(\alpha)$ in DPA complete. Non fattorizzabili e spin correlation comprese. Senza background.

Situazione attuale:

- Studi accurati (di RacoonWW) mostrano che con DPA errore teorico dovrebbe essere inferiore al .5%.
- Buon accordo ad alte energie tra BBC e RacoonWW nei canali in cui si possono confrontare. Differenze dovute ad implementazioni diverse di riduzione della cinematica on shell e della parte reale delle correzioni. BBC strettamente DPA. RacoonWW usa spazi fasi e parte reale non DPA.
- Differenza del .7% (.8% secondo ultimi risultati) tra RacoonWW e YFSWW .

Preoccupante? Quali le cause?

- Differenza fino a \sim 3% di RacoonWW con vecchio GENTLE.

Usato peró con opzione per implementazione di ISR basata su "splitting current". Non tutti concordavano sulla sua validità. Tuttavia diventò "SM".

- Differenza vecchi WTO WPHACT EXCALIBUR ...

fino a 1.5 % da RacoonWW, fino a .7% da YFSWW. Nessuno dubita che DPA deve ora essere usato come "SM", tuttavia stima precedente incertezza teorica corretta (anche per GENTLE se non fosse stato usato setup suggerito).



Confronto tra BBC e Racoon
WW a $\sqrt{s}=184~{\rm GeV}$
 $e^+e^-\to\nu_\mu\mu^+\tau^-\bar\nu_\tau$





Confronto tra YFSWW e Racoon
WW per bare e calo a $\sqrt{s} = 200 \ {\rm GeV}$



Confronto con non DPA: WTO, WPHACT, EXCALIBUR, Differenza max 1.5 % con RacoonWW (.7 % con YFSWW)

ZZ con DPA ?

Incertezza sperimentale per ZZ (NC02) molto maggiore che per WW (sezione d'urto più piccola).

Attuale incertezza teorica ($\sim 2 \%$) dei codici 4f sufficiente.

Tuttavia è importante confrontarsi sempre con migliori predizioni teoriche disponibili.

Per questo e per il futuro (LC) è auspicabile che venga prodotta DPA anche per ZZ.

Attualmente ci sono due codici specifici dedicati a ZZ: YFSZZ e ZZTO.

Probabilmente differenze numeriche di questi da altri codici non molto rilevanti oggi, ma in particolare ZZTO è stato pensato proprio in vista della possibile implementazione di DPA: completamente massivo con masse b e c running, universal ISR/FSR, correzioni di qcd fattorizzabili non naive. Implementa anche FL.

Particelle instabili e

"gauge restoring methods"

Gauge invarianza e particelle instabili:

L'uso della width (i? M) nei propagatori di canale s serve ad impedire che divergano.

Rovina la gauge invarianza.

Vari esempi di rilevanza numerica per 4f a livello tree:

0

- WW ad alte energie
 - (gauge cancellazioni tra diagrammi CC03)
- contributi di canale t a piccolo angolo di $e^$ gauge invarianza determina andamenti in t Importanti per stati finali $e^-e^+ \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$ con e^- perso : single-W.

In questi casi rottura gauge invarianza \rightarrow risultati totalmente sbagliati (non %).

Varii metodi Gauge Restoring:

Fixed width(FW): In tutti i porpagatori dei bosoni massivi

$$M^2 \rightarrow M^2 - i\Gamma M$$

Dà width non fisica in canale t, ma preserva l'invarianza U(1).

- **Complex Mass(CM):** $M^2 \rightarrow M^2 i\Gamma M$ non solo nei propagatori ma anche nelle relazioni tra le costanti di accoppiamento. Come sopra, ma preserva anche identità di Ward SU(2).
- **Overall scheme(OA):** Se ci sono propagatori risonanti, si moltiplica tutti i diagrammi (non solo i risonanti) per

 $(q^2 - M^2)/(q^2 - M^2 + iM\Gamma).$

. . .

Mantiene gauge invariance ma moltiplica termini non risonanti per fattore inesistente.

Fermion LOOP Si calcola almeno la Im di tutte le correzioni (ai propagatori e ai vertici) dovute ai loop fermionici, insieme con i propagatori bosonici risommati.

Solo schema completamente consistente in FT.

La parte reale di correzioni FL costitutisce un gi subset delle correzioni radiative

Ultimi risultati su FL tengono in conto la non conservazione delle correnti (fermioni esterni massivi).

Fermion Loop

FL per i processi 4f introdotto in Argyres et al, Beenakker et al,...BHF

\mathbf{IFL}

Esempio CC20: $e^-e^+ \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$

Approssimazione usata:

Fermioni esterni massless \rightarrow Correnti conservate (J^W_μ) .



In questa approssimazione WI $q \cdot A = 0 \rightarrow$ soddisfatte da Fixed width i? M

Nessuna giustificazione fisica per FW

Im FL: Risommare la parte Im delle correzioni di loop fermioniche nei propagatori ed aggiungere la parte Im di



Minimo per assicurare gauge invariance. Con fermioni del loop massless, $i\frac{\Gamma p^2}{M}$ nei propagatori soddisfa la invarianza di gauge.

Usato in applicazioni numeriche per $\mathrm{CC20}$

\mathbf{FL}

BHF ha calcolato anche le correzioni complete di FL.

Sempre nell'approssimazione di *fermioni esterni massless*, ma con fermioni massivi nei loops.

Rinormalizzazione delle masse bosoniche ai loro poli complessi gi. (Veltman, Stuart).

Tutte le correzioni si possono riassorbire in accoppiamenti running, funzioni rinormalizzate dei propagatori e tripli vertici. Si puó usare una <u>"effective Born prescription</u>" in cui si usano solo diagrammi tipo tree.

Applicazioni numeriche a $e^-e^+ \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$ per piccolo angolo e^- , e $e^-e^+ \rightarrow \mu^-\bar{\nu}_\mu u\bar{d}$ ad alte energie mostrano differenze con altri schemi. Ad alte energie anche con IFL.

Single W

Processi $CC20 \ e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e u \bar{d}$ $CC18 \ e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \mu^+ \bar{\nu}_m u$ MIX56 $e^-e^+ \rightarrow e^-e^+ \bar{\nu}_e \nu_e$ importanti non solo per studi di WW o ZZ, ma anche quando e^- perso nel fascio.

- come background a searches
- per studiare anomalous couplings
- sezioni d'urto misurate a LEP2.

Errore sperimentale ancora $\approx 10\%$.

Divergente in approssimazione massless. Non solo per e ma anche per u, d, μ Molti "fully massive" 4f MC ora utilizzabili: COMPHEP, GRC4F, KORALW, WPHACT, NEXTCALIBUR, SWAP + WTO (masse dove necessarie) In buon accordo tra loro con differenti schemi gauge restoring.

(overall, fixed width, $L_{\mu\nu}$ transform method)





IFL e Correnti Non Conservate

<u>FL di BHF non puó essere usato per single W:</u> correnti conservate \rightarrow fermioni esterni massless.

Calcoli con ME massivi (Madgraph) e FL in approssimazione Corrente Conservate sono stati provati (Hoogland Van Oldenborgh).

Errore dovrebbe essere proporzionale a m_e .

IFL con ME completamente massive e contributi esatti dovuti a <u>correnti non conservate</u> studiato di recente (Accomando, A. B., Maina)

e implementato in WPHACT.

Gauge unitario.

Per fermioni interni massless WI soddisfatte con FW:

$$\frac{-i}{p^2 - M^2 + i? M_W} \left\{ g^{\mu\nu} - \frac{p^{\mu}p^{\nu}}{M^2 - i? M_W} \right\}$$

Propagatore risommato è invece

$$\frac{-i}{p^2 - M^2 + i\Pi} \left\{ g^{\mu\nu} - \frac{p^{\mu}p^{\nu}}{M^2} \left(1 + \frac{i\Pi}{p^2} \right) \right\}$$

con "running width" $\Pi = p^2 \frac{\Gamma_W}{M_W}$ Soddisfa WI solo se correzioni IFL esatte al triplo vertice sono tenute in conto. Nessuna differenza numerica significativa con schemi"ad hoc" per le sezioni d'urto.

Invece approssimazione di correnti conservate + ME massivi porta a risultati inconsistenti ad alte energie.

	$190~{\rm GeV}$	$800 { m GeV}$	$1500 { m GeV}$	
IFL	0.11815 (13)	1.6978(15)	3.0414 (35)	
FW	0.11798 (11)	1.6948 (12)	3.0453 (41)	
CM	0.11791(12)	1.6953(16)	3.0529 (60)	
OA	0.11760(10)	1.6953(13)	3.0401 (23)	
IFLCC	0.11813 (12)	1.7987(16)	5.0706 (44)	

Sezioni d'urto per $e^+e^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e u \bar{d}$ e vari schemi "gauge restoring". No ISR.

 $M(u\bar{d})>5~{\rm GeV}$, $E_u>3~{\rm GeV}, E_{\bar{d}}>3~{\rm GeV}, \cos(\theta_e)>.997$

	IFL	FW
$e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e u \bar{d}$ $M_{u\bar{d}} > 45 \text{ GeV}$	0.12043(10)	0.12041(11)
$e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e u \bar{d}$ $M_{u\bar{d}} < 45 \text{ GeV}$	0.028585(14)	0.028564(14)
$e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \mu^+ \nu_\mu$	0.035926(34)	0.035886(32)
$e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e e^+ \nu_e$	0.050209 (38)	0.050145(32)

Confronti di FW e IFL per varie sezioni d'urto single W.
 $\sqrt{s}=200$ GeV. No ISR.

 $|\cos \theta_e| > 0.997, E_{\mu} > 15 \,\text{GeV}, \text{ and } |\cos \theta_{\mu}| < 0.95.$



No ISR. $|\cos\theta_e^-| > 0.997$

FL e Correnti non Conservate

Grandi incertezze teoriche per i processi Single W , in assenza di $O(\alpha)$ completo, sono connesse alle scale degli accoppiamenti e alla scala per ISR (talk Piccinini) in presenza di contributi dominanti di t-channel.

FL completo con fermioni massivi (Passarino)

Necessario per risolvere la prima incertezza sopra. Di nuovo complex mass renormalization porta a effective Born.

Ora, oltre a running couplings e propagatori rinormalizzati necessario anche masse running per i bosoni, definite da

$$\frac{1}{M^2(p^2)} = \frac{1}{M^2} \frac{p^2 - S_W^0 + \frac{M^2}{p^2} S_\phi}{p^2 - S_\phi}$$

che per fermioni interni massless si riduce a

$$\begin{split} M^2(p^2) &= \frac{g^2(p^2)}{g^2(p_W)} \, p_W, \qquad M^2(p_W) = p_W. \\ & \frac{1}{g^2(s)} = \frac{1}{g^2} - \frac{1}{16 \, \pi^2} \, \Pi_{_{3Q}}(s) \end{split}$$

In Feynman gauge la risommazione completa porta a un propagatore W tipo gauge unitario

$$\Delta_{\text{eff}}^{\mu\nu} = \frac{1}{p^2 - M^2 + S_W^0} \left[\delta^{\mu\nu} + \frac{p^\mu p^\nu}{M^2(p^2)} \right].$$

 $\frac{\text{FL implementato in WTO}}{e^-e^+ \to e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}, e^-e^+ \to e^-\bar{\nu}_e \mu^+\bar{\nu}_m u}.$

Risultati:

differenze (previste) da G_f tree level fino $a \sim 7\%$.



Ci si puó aspettare che la differenza sia dovuta in larga parte ai running couplings.

 NEXTCALIBUR ha introdotto Modified Fermion-Loop: Running α e g (stessa scala per tutti i diag?)
 Fixed width per parte immaginaria.

Propagatori risommati e aggiunta a vertice $WW\gamma$ di termine per soddisfare U(1) (non univoco):

$$s = p^2, \ s^+ = p_+^2, \ s^- = p_-^2$$

 $V_{\mu\nu\rho} \to V_{\mu\nu\rho}(1 + \delta_V)$

$$\begin{split} \delta_V &= \frac{1}{g(s^+)g(s^-)(s^- - s^+)} \times \\ & \left[g^2(s^+)g^2(s^-) \left[T_W(s^-) - T_W(s^+) \right] \right. \\ & + \left[g(s^+) - g(s^-) \right] \left[s^- g(s^+) + s^+ g(s^-) \right] \right] \,. \end{split}$$

Confronto con FL completo:

$d\sigma/d heta_e$	MFL	EFL	MFL/EFL - 1 (percent)
$0.0^{\circ} \div 0.1^{\circ}$	0.45382(60)	0.44784	+1.34
$0.1^{\circ} \div 0.2^{\circ}$	0.06645(24)	0.06605	+0.61
$0.2^{\circ} \div 0.3^{\circ}$	0.03884(19)	0.03860	+0.63
$0.3^{\circ} \div 0.4^{\circ}$	0.02779(16)	0.02736	+1.57
σ_{tot}	83.87(9)	83.28(6)	+0.71

$d\sigma/d heta_e$	MFL	EFL	MFL/EFL - 1 (percent)
$0.0^{\circ} \div 0.1^{\circ}$	0.13280(21)	0.13448	-1.2
$0.1^{\circ} \div 0.2^{\circ}$	0.02003(8)	0.02031	-1.4
$0.2^{\circ} \div 0.3^{\circ}$	0.01176(7)	0.01194	-1.5
$0.3^{\circ} \div 0.4^{\circ}$	0.00834(6)	0.00851	-1.9
σ_{tot}	25.10(3)	25.53	-1.7

 $d\sigma/d\theta_e$ in [pb/degrees] per per $e^+e^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$. $M(u\bar{d}) > 45 \text{ GeV}$ e per $e^+e^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e \nu_\mu \mu^+$, con $E_\mu > 15 \text{ GeV}$, e $|\cos \theta_\mu| < 0.95$. $\sqrt{s} = 183 \text{ GeV}$. No ISR.

MFW calcolato con NEXTCALIBUR, EFL con WTO.

- WPHACT ha implementato $\alpha(t)$ running per i soli contributi di canale t in WPHACT con IFL (IFL α).

Per i tagli usati a LEP2, questo va molto bene for $e^-e^+ \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$.

\sqrt{s}	FW	IFL	$\mathrm{IFL}lpha$	FL	FL/FW-1 (percent)
183 GeV	88.17(44)	88.50(4)	83.26(5)	83.28(6)	-5.5(5)
189 GeV	98.45(25)	99.26(4)	93.60(9)	93.79(7)	-4.7(3)
$200 {\rm GeV}$	119.77(67)	120.43(10)	113.24(8)	113.67(8)	-5.1(5)

Sezione d'urto totale single-W in fb per $e^+e^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$, con $M(u\bar{d}) > 45 \text{ GeV e} |\cos\theta_e| > 0.997.\text{No ISR.}$

FW and FL calcolati da WTO, IFL e IFL α da WPHACT.

Anche per distribuzioni angolari

$ heta_e [{ m Deg}]$	FW	IFL	$\mathrm{IFL}lpha$	FL	FL/FW-1 (percent)
$0.0^{\circ} \div 0.1^{\circ}$	0.67147	0.67077	0.62404	0.62357	-7.13
$0.1^{\circ} \div 0.2^{\circ}$	0.09323	0.09321	0.08753	0.08798	-5.63
$0.2^{\circ} \div 0.3^{\circ}$	0.05433	0.05455	0.05141	0.05141	-5.37
$0.3^{\circ} \div 0.4^{\circ}$	0.03845	0.03867	0.03624	0.03646	-5.18

 $d\sigma/d\theta_e$ [pb/degrees] per $e^+e^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e u\bar{d}$. $M(u\bar{d}) > 45 \text{ GeV}$, $\sqrt{s}=200 \text{ GeV}$. No ISR.

FW e FL calcolati da WTO, IFL e IFL α da WPHACT.

e fino alla più bassa massa invariante $M(u\bar{d})$.



Sezione d'urto totale per $\theta_e < 0.1^\circ$ in funzione del taglio su $M_{u\bar{d}}$ in IFL e IFL α . Curve calcolate con WPHACT.

Markers danno il risultato FW and FL di WTO.

Per $e^-e^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \mu^+ \bar{\nu}_\mu$ rimane una differenza del 2-3% tra FL and IFL α sia nelle sezoni d'urto

\sqrt{s}	FW	IFL	$\mathrm{IFL}lpha$	FL	FL/FW-1 (percent)
$183 {\rm GeV}$	26.77(14)	26.45(1)	24.90(1)	25.53(4)	-4.6(5)
189 GeV	29.73(14)	29.70(2)	27.98(2)	28.78(4)	-3.2(5)
$200 \mathrm{GeV}$	36.45(23)	35.93(4)	33.85(4)	34.97(6)	-4.1(6)

Sezione d'urto totale single-W in fb per $e^+e^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e\mu^+\nu_\mu$, con $|\cos\theta_e| > 0.997, E_\mu > 15 \text{ GeV}, e |\cos\theta_\mu| < 0.95$. No ISR. FW and FL are computed by WTO, IFL and IFL α by WPHACT.

che nelle distribuzioni angolari.

$ heta_e [\mathrm{Deg}]$	${ m FW}$	IFL	$\mathrm{IFL}lpha$	FL	FL/FW-1 (percent)
$0.0^{\circ} \div 0.1^{\circ}$	0.14154	0.14170	0.1319	0.13448	-4.99
$0.1^{\circ} \div 0.2^{\circ}$	0.02113	0.02117	0.01987	0.02031	-3.88
$0.2^{\circ} \div 0.3^{\circ}$	0.01238	0.01240	0.01166	0.01194	-3.55
$0.3^{\circ} \div 0.4^{\circ}$	0.00880	0.00879	0.00830	0.00851	-3.30

 $d\sigma/d\theta_e$ in [pb/degrees] per $e^+e^- \rightarrow e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu\mu^+$, con $E_\mu > 15 \,\text{GeV}$, e $|\cos\theta_\mu| < 0.95$. $\sqrt{s} = 183 \,\text{GeV}$. No ISR.

FW e FL calcolate con WTO, IFL e IFL α con WPHACT.

WPHACT



Distributioni angolari per varii processi single W
a $\sqrt{s}=200~{\rm GeV}$ in IFL e IFL $\alpha.$

Conclusioni

Motivati da nuovi processi misurati e/o dall'alta statistica raggiunta,

nuovi importanti progressi teorici sono stati compiuti di recente per la fisica di LEP.

Molti di questi sono stati implementati nei codici 4f.

Purtroppo data la complessità non ancora tutti e per tutti i processi in un solo MC.

Tra questi progressi

DPA e FL hanno permesso di dimezzare l'incertezza teorica su WW e single W

Altri progressi \rightarrow talks Piccinini Ciafaloni (qui) Passarino Marchesini (gen)

LEP2 MC Workshop è completato. YR uscirà tra poco. Lavoro per il futuro:

- Continuare confronti (es. capire .8% DPA).
- Diminuire incertezza teorica su single W e single Z $(\sim 4\%))$
- Estendere DPA a ZZ.
- Estendere risultati a LC dove nuovi problemi possono sorgere (es. DPA sufficiente?).