

Il progetto di un apparato per Fisica E. W. ad un collider e^+e^-

[Marcello Piccolo

Torino 15/04/2004]

Agenda

- **Un rapidissimo richiamo alla fisica del bosone di Higgs.**
- **I processi rilevanti per il disegno dell' apparato.**
- **Qualche esempio**
- **Conclusioni**

Problemi aperti in fisica EW

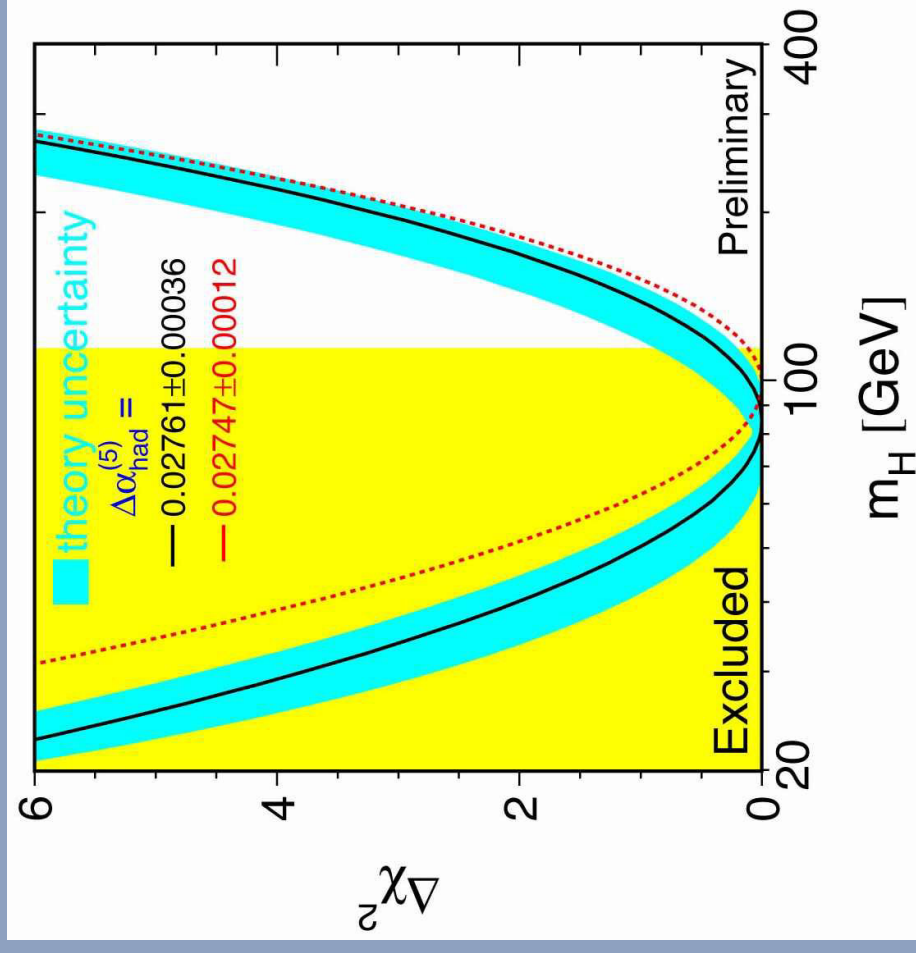
- La simmetria $SU(2) \times U(1)$ deve essere rotta ad un valore di $v=250$ GeV per spiegare m_Z ed m_W
- Che cosa è che la rompe ?
- Perché si rompe ?
- Perché 250 GeV ($\ll M_{Pl}$) ?
 - Stabilità
 - Origine
- Come nascono le masse dei fermioni ?

L' Higgs e' probabilmente "dietro l'angolo"

- Tutti i dati raccolti fino ad ora, sensibili ad effetti quantici dell' Higgs indicano :

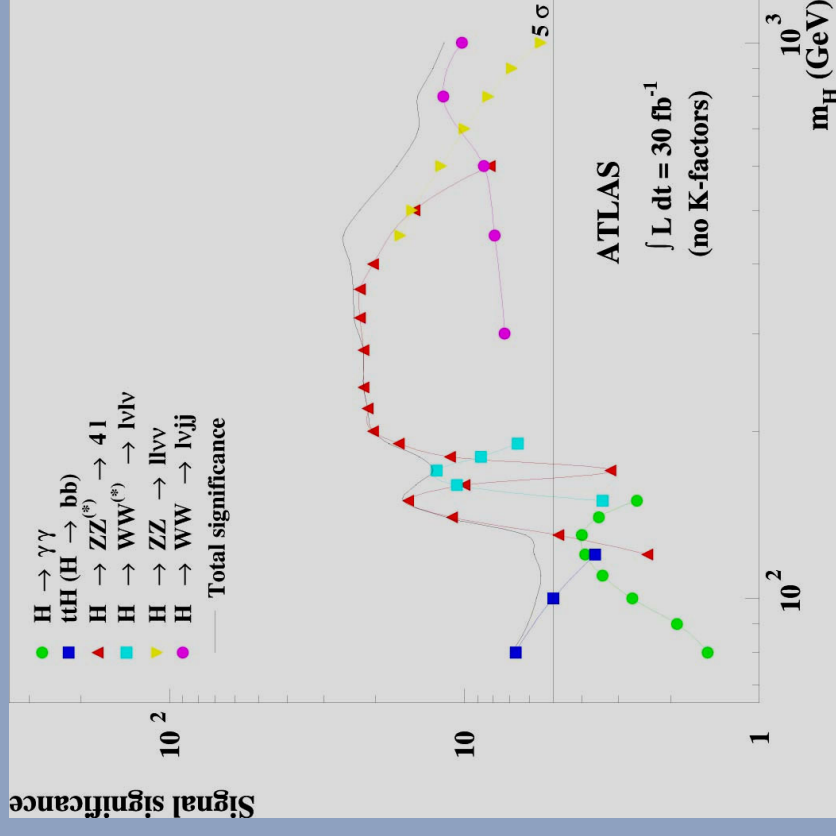
$$m_H < 196 \text{ GeV (95\%CL)}$$

- LHC un paio di anni dopo la sua entrata in funzione dovrebbe vederlo



L'Higgs a LHC

- E' sufficiente la scoperta?
Non credo .
- Supponiamo che lo si scopra nel canale $H \rightarrow \gamma\gamma$, e di vedere poi come cross check lo stato finale $t\bar{t}H$.
- Technipion? Scalare o pseudo-scalare? Si accoppia con W/Z ?

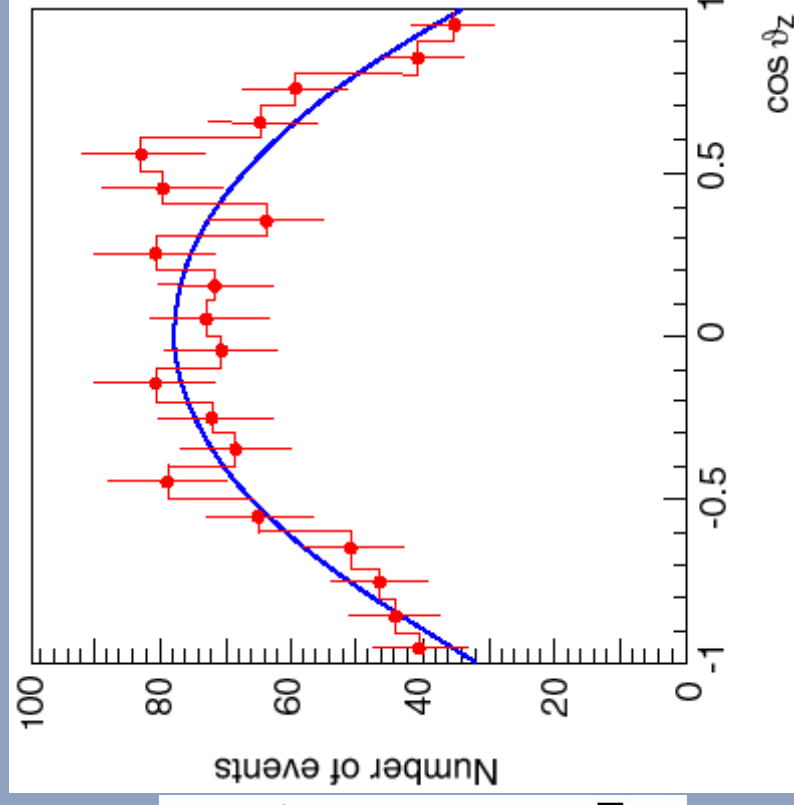
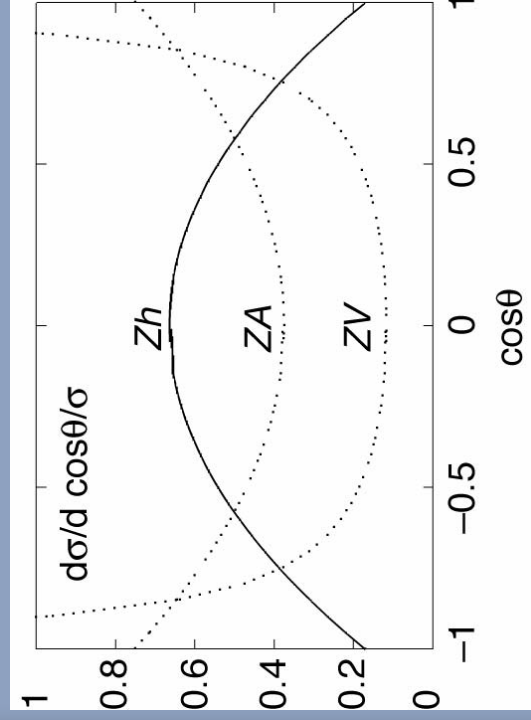


Legittime domande

- **Abbiamo veramente scoperto il bosone di Higgs ?**
 - E' la particella che genera la massa ?
 - Ha lo spin e la parita' corretti 0^{+} ?
 - E' effettivamente il condensato che riempie l'Universo ?
- **Per provare che e' l' "Origine della Massa"**
 - Spin/Parita'
 - Accoppiamenti
 - *Vacuum expectation value*
 - Branching Ratios

Higgs Boson at LC

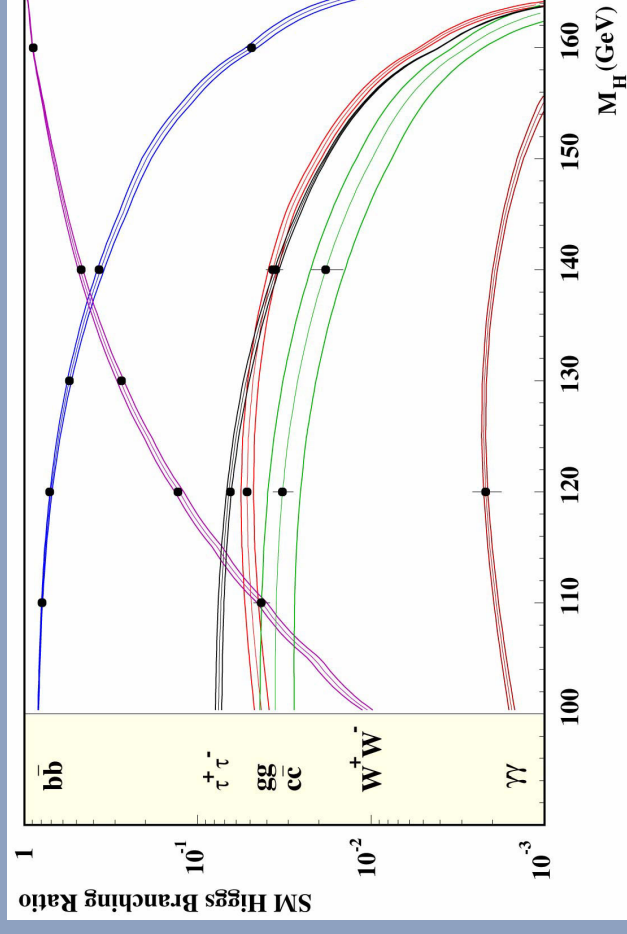
- **Distribuzioni angolari**
in $e^+e^- \rightarrow ZX$
dipendono dal tipo di
 $X=h, A, V$
- E' un bosone 0^+ ?**



Higgs Boson at LC

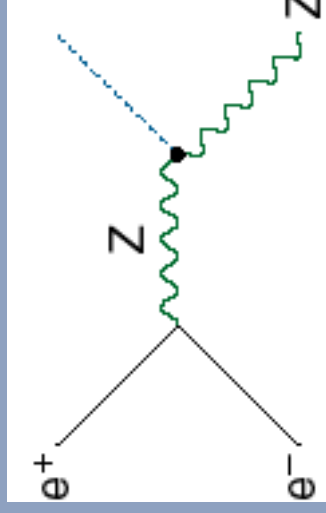
- Branching Fractions comprovano la relazione accoppiamenti \propto massa

\Rightarrow **Prova che il Bosone di Higgs e' la "Origine della Massa" (Battaglia)**



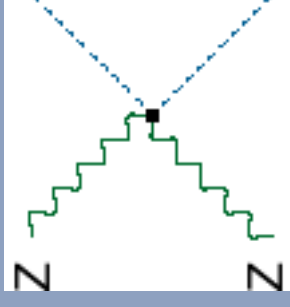
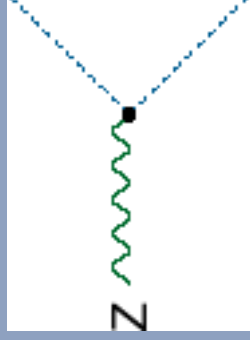
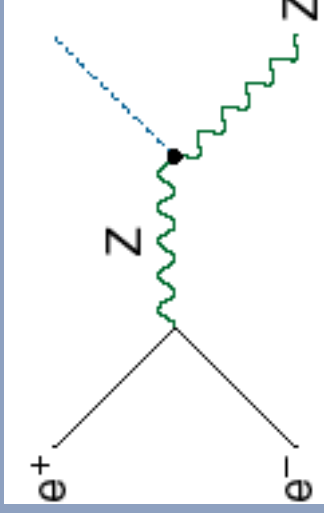
Higgs Boson at LC

- **Stato finale ZH**
- **A_{LR} prova che viene da uno s-channel Z-exchange**



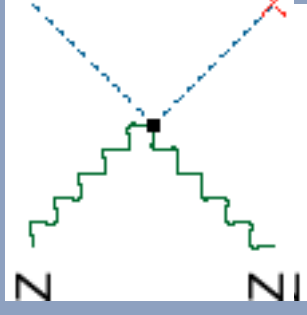
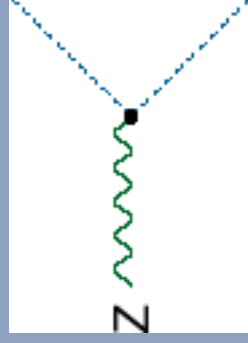
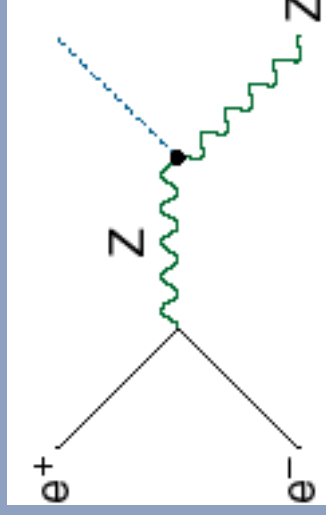
Higgs Boson at LC

- **Stato finale ZH**
- **A_{LR} prova che viene da uno s-channel Z-exchange**
- **Se Z: gauge boson, H: bosone scalare \Rightarrow solo due vertici possibili**



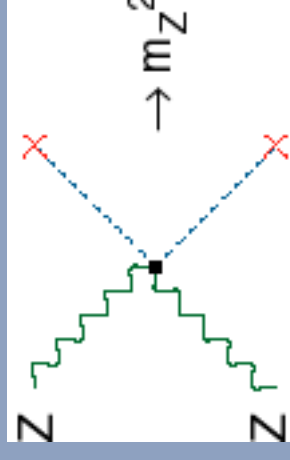
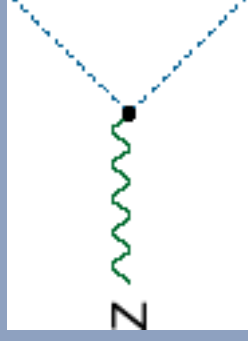
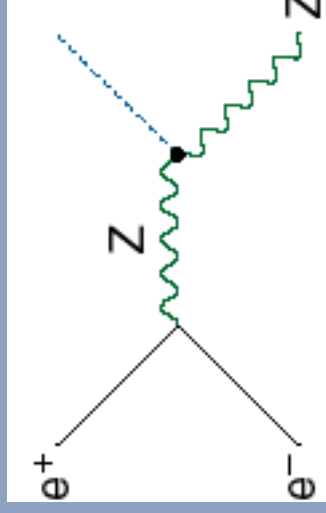
Higgs Boson at LC

- **Stato finale ZH**
- **A_{LR} prova che viene da uno s-channel Z-exchange**
- **Se Z: gauge boson, H: scalare boson \Rightarrow solo due vertici possibili**
- **C'e' bisogno di un VEV per avere un vertice ZZH.**



Higgs Boson at LC

- **Stato finale ZH**
- **A_{LR} prova che viene da uno s-channel Z-exchange**
- **Se Z: gauge boson, H: scalar boson \Rightarrow solo due vertici possibili**
- **C'e' bisogno di un VEV per avere un vertice ZZH. \Rightarrow prova che e' responsabile di m_Z**



HM, LBNL-38891

Qualche considerazione generale

- **Tipica reazione delle persone non coinvolte nel progetto:**
 - Disegno dell'apparato sperimentale non critico.
 - Un apparato alla LEP/SLC ...magari un po' piu' grande andrebbe benissimo
- **L'atteggiamento non e' completamente irragionevole, ma secondo me non molto lungimirante:**
 - In effetti molto del programma sperimentale potrebbe essere svolto da rivelatori gia' progettati, ma si potrebbe poi fare tutto ?

Qualche considerazione generale (cont.)

- **A voler riassumere in poche parole le differenze tra la sperimentazione ai collisionatori adronici e quella ai collisionatori leptonici e' che la prima tende ad essere "background limited" , mentre la seconda tende ad essere 'rate limited" .**
- **Non voglio dire con questo che sia sempre cosi', ma i due mondi della sperimentazione tendono ad allinearsi secondo queste due direttrici.**

Qualche considerazione generale (cont.)

- In generale quindi, il tipico apparato da collisionatore adronico e' costituito da componenti robusti, resistenti a radiazione che discriminino i processi interessanti, anche se poi la efficienza di rivelazione non e' altissima...
- Viceversa il problema del rate per i collisionatori leptonici e' importantissimo, e gli apparati vanno disegnati tenendo bene in mente i processi da rivelare e le misure che le luminosita' permettono di effettuare.
- In questo senso e' ragionevole intraprendere programmi di Ricerca e Sviluppo per la sperimentazione ad un linear collider, pure se, per parte del programma di Fisica, Delphi o SLD (o Aleph o L3 o Opal) potrebbero fare un ottimo lavoro.

Qualche esempio

- Il processo tipico sempre invocato per stabilire le risoluzioni nel comparto di tracking dell'apparato e' la produzione di Z e H.
- Ma una volta visto l'Higgs come massa mancante alla Z, uno dei risultati importanti sarebbe, ad esempio, la misura dei branching ratios non-leading ($cc/gg/\tau\tau$), giustamente considerato uno dei pezzi forti (e qualificanti) del programma sperimentale del linear collider...
- Per portare avanti questo tipo di misura si dovra' essere in grado di etichettare con buona purezza e OTTIMA efficienza sia gli stati charmati (lunghezza di decadimento piu' piccola degli stati con beauty) che quelli originati da gluoni (senza vertici separati).
- Tenuto conto degli spettri di impulso con cui si ha a che fare una riduzione sostanziale dello spessore del rivelatore permetterebbe notevoli incrementi di efficienza.

Qualche esempio (il VXD)

- La geometria cilindrica porta naturalmente ad accumulare materiale nelle endcaps:
 - Estremamente importante tenere basso il # di X_0
- obiettivo: spessore/strato $\sim 0.1-0.2\% X_0$
 - SLD spessori $0.4\% X_0$
- Soluzioni possibili :
 - Rivelatori sottili stirati (ie. supportati via tensione)
 - Stirare una membrana e' piu' difficile rispetto a un filo
 - Incollare il rivelatore su un supporto stirato
 - Complicazioni di incollaggio
 - Incollare rivelatore su un supporto rigido

Disegno concettuale del tracker centrale

- **Richieste generali:**

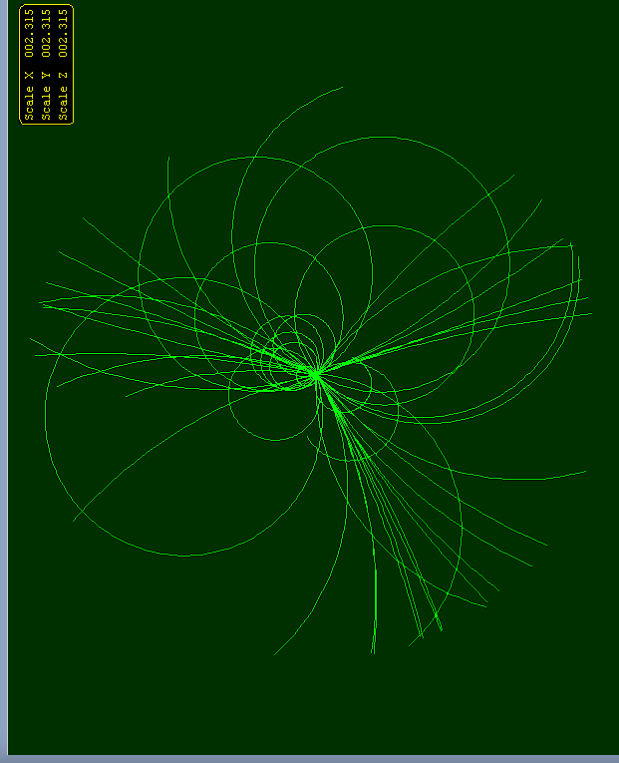
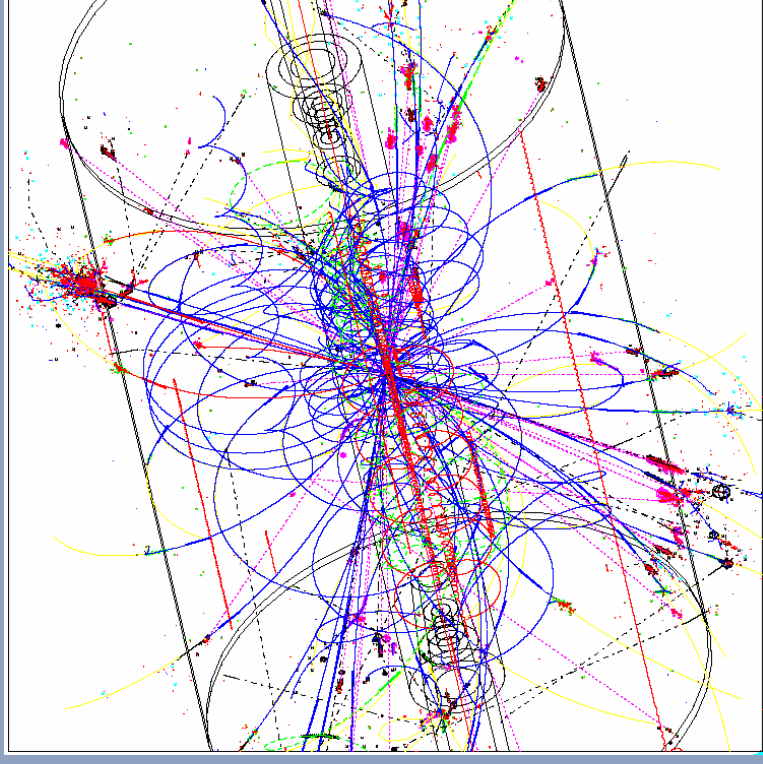
- **Risoluzione in momento eccellente**

$$\delta(p^{-1}) \approx 5 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-1}$$

full tracking system

- **Massa mancante ai dileptoni per eventi ZH**
 - **Misura dell'endpoint nelle catene di decadimento SUSY**
- **Pattern recognition eccellente, risoluzione traccia-traccia al meglio**
 - **Spread di momento grosso, jets densi**
 - **Resistente ad alti fondi macchina**

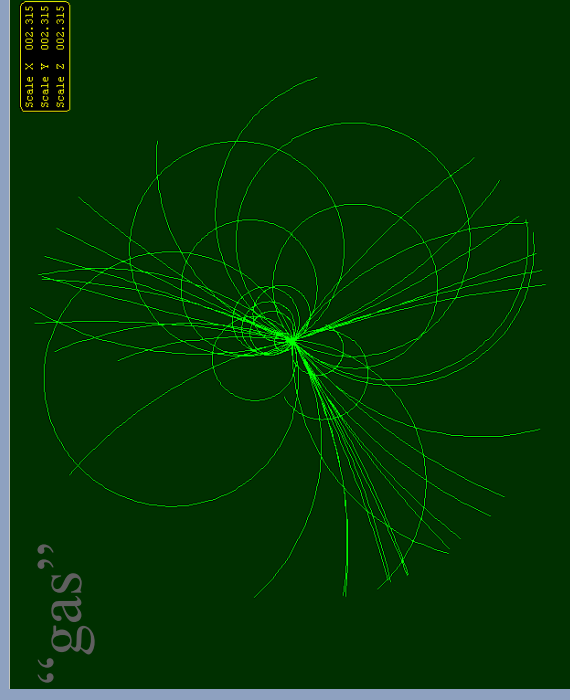
Considerazioni concettuali per il tracciatore centrale



Scale X: 002.315
Scale Y: 002.315
Scale Z: 002.315

Pattern recognition: gas vs. Si

- L'occhio tende a preferire la figure a sinistra, anche se i punti di destra sono molto più precisi
 - 5 strati sono sufficienti per una pattern recognition efficiente?



Qualche esempio

- **Un esempio ancora piu' importante e' quello che riguarda la calorimetria:**
- **Uno dei cardini della rottura della simmetria elettrodebole e' il meccanismo di Higgs: il potenziale dell'Higgs e' completamente caratterizzato nel Modello Standard e l'autointerazione dell'Higgs e' misurabile solo ad un LC tramite la produzione ZHH.**
- **La misura in questione e' veramente al limite delle prestazioni della macchina e, se l'apparato sperimentale non fosse in grado di ricostruire lo stato finale e rigettare i fondi efficientemente, la misura non sarebbe possibile.**

L'algoritmo dell'energy flow

- **Se non e' possibile effettuare fits cinematici, l'algoritmo dell'energy flow fornisce la migliore risoluzione energetica :**
 - Si usa il tracciatore per misurare l'energia dei carichi (65% of della energia del jet)
 - Calorimetro EM per fotoni(25%)
 - Calorimetri EM and Had per adroni neutri (10%)

$$E_{\text{jet}} = E_{\text{charged}} + E_{\text{photons}} + E_{\text{neut.had.}}$$

$$\sigma_{E_{\text{jet}}}^2 = \sigma_{E_{\text{charged}}}^2 + \sigma_{E_{\text{photons}}}^2 + \sigma_{E_{\text{neut.had.}}}^2 + \sigma_{\text{confusion}}^2$$

L'algoritmo dell'energy flow

$$E_{\text{jet}} = E_{\text{charged}} + E_{\text{photons}} + E_{\text{neut. had.}}$$
$$\sigma_{E_{\text{jet}}}^2 = \sigma_{E_{\text{charged}}}^2 + \sigma_{E_{\text{photons}}}^2 + \sigma_{E_{\text{neut.had.}}}^2 + \sigma_{\text{confusion}}^2$$

$$\sigma_{E_{\text{charged}}}^2 \approx (5 \times 10^{-5})^2 \sum \frac{E_{\text{charged}}^4}{\text{GeV}^2} \approx (0.02 \text{ GeV})^2 \frac{1}{10} \sum \left(\frac{E_{\text{charged}}}{10 \text{ GeV}} \right)^4$$

● Assumendo:

$$\sigma_{E_{\text{photons}}}^2 \approx (0.11)^2 \sum (E_{\text{photon}} \cdot \text{GeV}) \approx (0.6 \text{ GeV})^2 \frac{E_{\text{jet}}}{100 \text{ GeV}}$$

$$\sigma_{E_{\text{neut.had.s}}}^2 \approx (0.40)^2 \sum (E_{\text{neut.had.}} \cdot \text{GeV}) \approx (1.3 \text{ GeV})^2 \frac{E_{\text{jet}}}{100 \text{ GeV}}$$



L'algoritmo dell'energy flow

$$E_{\text{jet}} = E_{\text{charged}} + E_{\text{photons}} + E_{\text{neut. had.}}$$
$$\sigma_{E_{\text{jet}}}^2 = \sigma_{E_{\text{charged}}}^2 + \sigma_{E_{\text{photons}}}^2 + \sigma_{E_{\text{neut.had.}}}^2 + \sigma_{\text{confusion}}^2$$

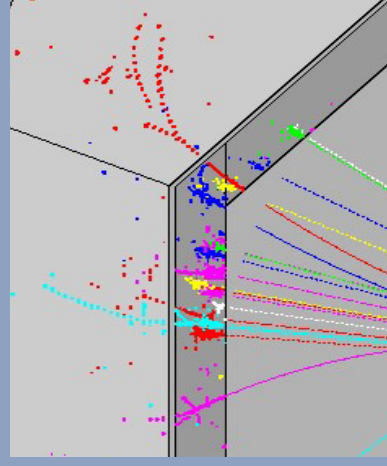
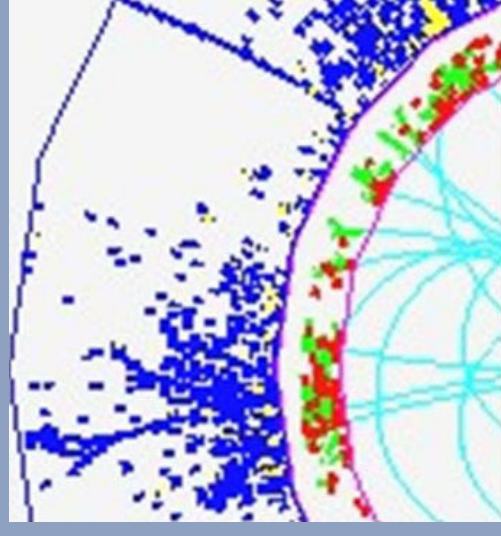
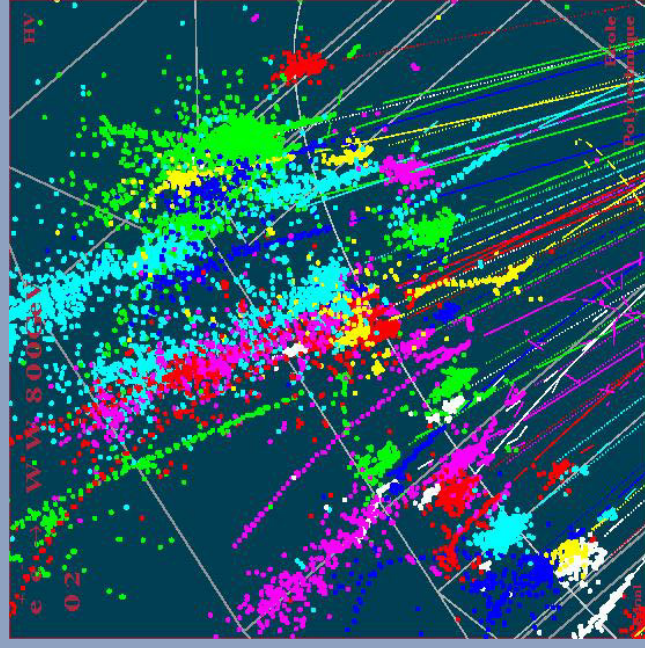
- Ignorando il termine di tracking (piccolo):

$$\sigma_{E_{\text{jet}}}^2 \approx (0.14)^2 (E_{\text{jet}} \cdot \text{GeV}) + \sigma_{\text{confusion}}^2 \approx (0.3)^2 (E_{\text{jet}} \cdot \text{GeV})$$

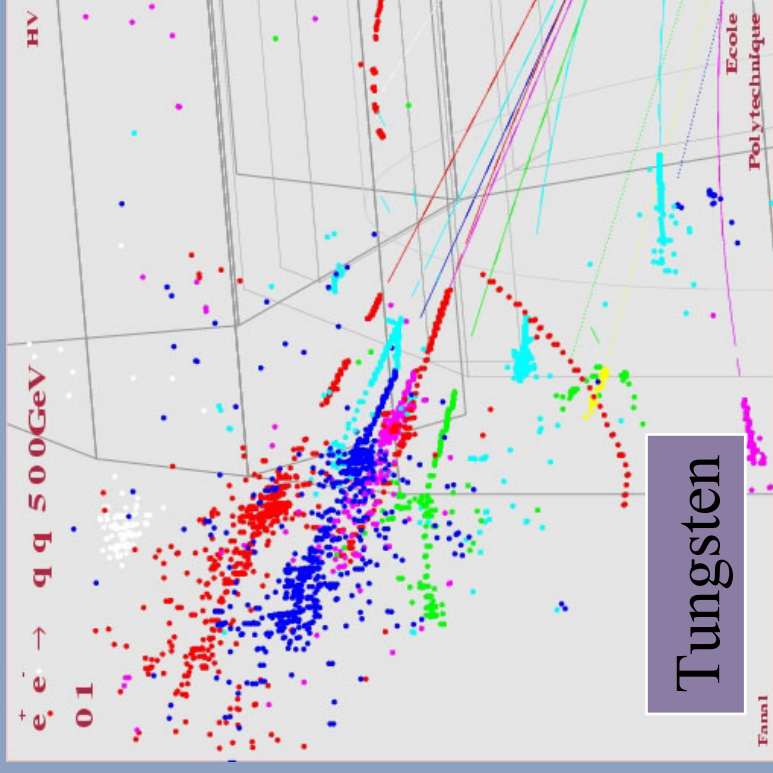
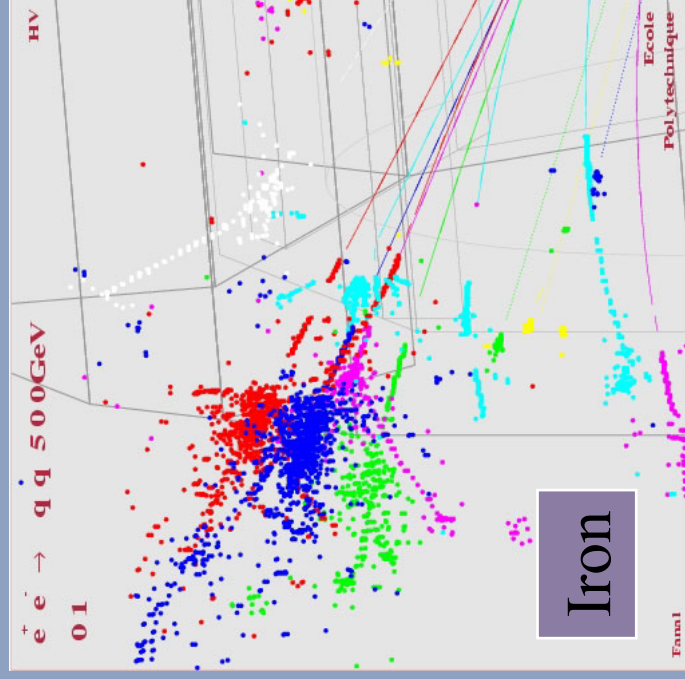
$\sigma_{\text{confusion}}^2$

e' il contributo piu' grande

Concetti per Calorimetri



Raggio di Moliere (Ferro vs. Tungsteno)

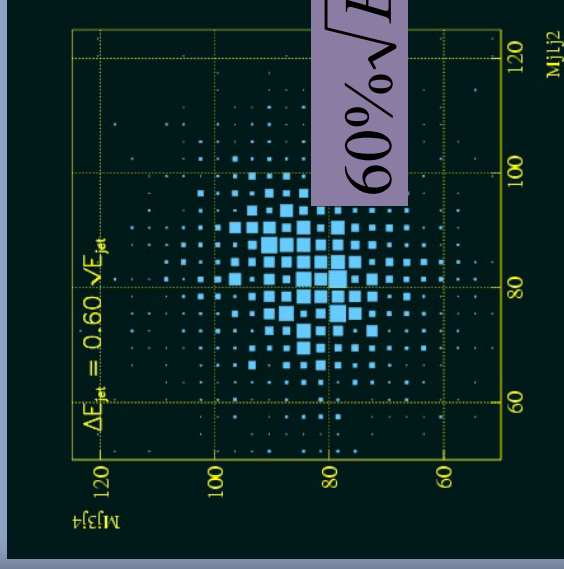


(many images courtesy H.Videau)

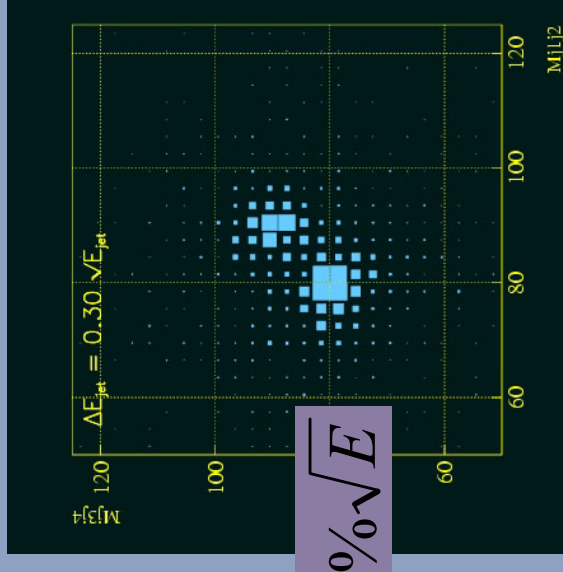
Richieste di risoluzione in massa per i jets

- **Obiettivo : distinguere W and Z nei modi adronici**
 - richiesta: **risoluzione per E_j**

$$e^+e^- \rightarrow WW\bar{V}\bar{V}, e^+e^- \rightarrow ZZ\bar{V}\bar{V}$$

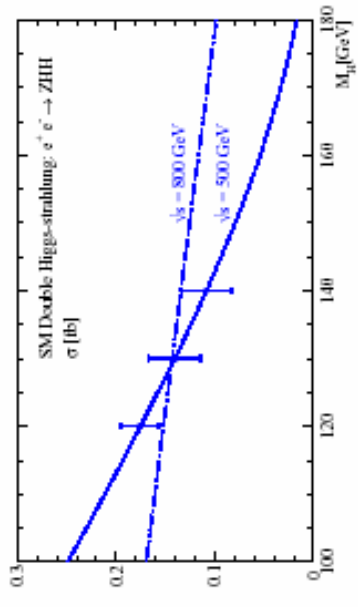
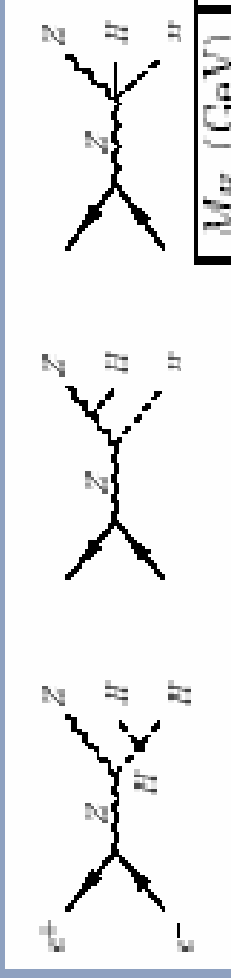


example:

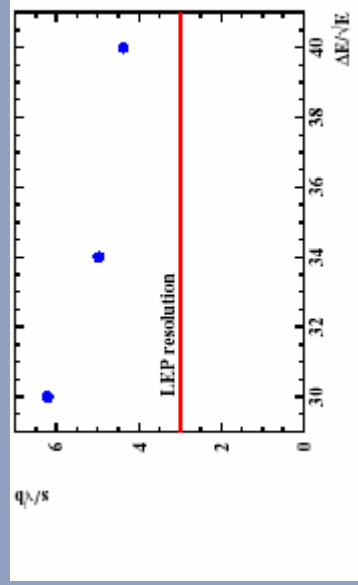
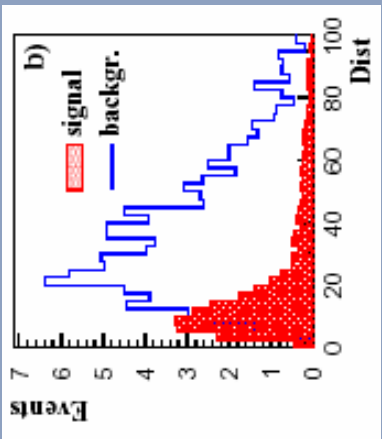
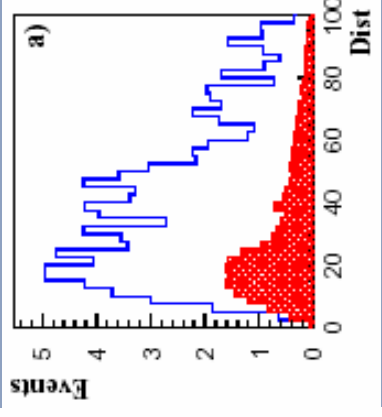


Uno studio dettagliato della misura dell'autoaccoppiamento mostra che passare dal 60% al 30% nel termine stocastico e' equivalente ad un 40% di aumento in luminosita'

Qualche esempio (cont.)



M_H (GeV)	120	130	140
N_{HHZ}	80	64	44
Efficiency	0.43	0.43	0.39
$\delta\sigma/\sigma$	± 0.17	± 0.19	± 0.23



Qualche esempio (cont.)

- ...e se l'Higgs non si trova ?
- L'interazione tra i bosoni di gauge dovrà allora diventare forte e lo studio dei processi a stati finali $\nu\nu ZZ$ e/o $\nu\nu WW$ saranno di importanza fondamentale.
- E sarà di importanza fondamentale identificare correttamente lo stato finale.
- I due neutrini non permetteranno di usare fits cinematici per la ricostruzione della massa invariante delle coppie di jets, quindi restiamo alla merce' della capacita' del rivelatore di discriminare W da Z con la calorimetria...

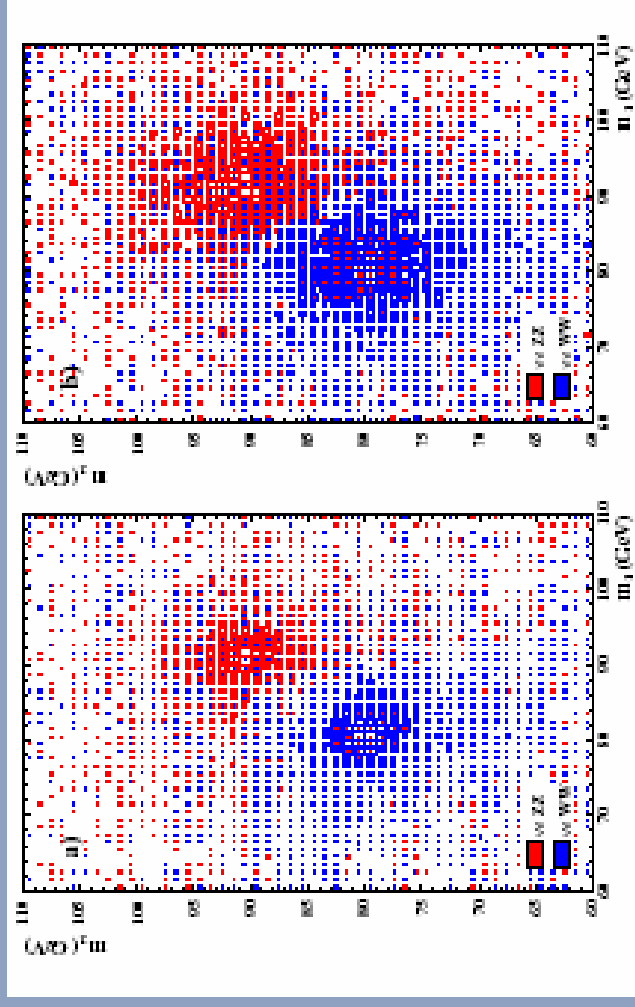
Regrets

- **Il tempo e' tiranno: mancano le discussioni di analisi riguardanti:**
 - **Produzione di coppie W**
 - **Studi ad altissima statistica della Z**
 - **Tagging di particelle supersimmetriche**
- **Dal punto di vista sperimentale il trattamento e la rilevanza della zona a piccolissimo angolo.**

Conclusioni

- La fisica (E.W.) ad un collider e^+e^- nel range di energia 0.5-1.0 TeV e' estremamente interessante.
- Le richieste sull'apparato sperimentale sono *diverse* da quelle alla LHC.
- Progettare un apparato per la fisica e^+e^- comporta sempre ottimizzazioni basate sul dettaglio dei processi fisici: molte nuove tecniche sperimentali hanno avuto origine in questo modo.

Qualche esempio (cont.)



La ricostruzione di coppie di W e Z con calorimetria capace rispettivamente del $30\%/E^{0.5}$ e del $60\%/E^{0.5}$.
Si puo' stimare il guadagno in luminosita' equivalente dell'ordine del 50% passando dal secondo al primo plot

Prestazioni richieste

Commenti

Riduzione spessore x4 migl. Ris. X2

Da sviluppare, tecnologia esistente

Granularita' e # di canali

Da sviluppare, tecnologia esistente

Da sviluppare, tecnologia esistente

Granularita' e # canali mai realizzati

Serve effettivamente ?

Tecnologia esistente per le tiles

Mai realizzato su questa scala

Da realizzare tecnologia esistente

Da realizzare tecnologia esistente

Da realizzare tecnologia esistente

Resistenza a radiazione , sviluppo diamante
Per calorimetria

Controllo prestazioni come ottenerlo ?

Subdetector	Goal	Technologies
Vertex Detector (VTX)	$\delta(1/P_{\phi,z}) \leq 5 \mu\text{m} \oplus \frac{10 \mu\text{m} \cdot \text{GeV}/c}{p \sin^2 \theta}$	CCD, CMOS, APS
Forward Tracker (FTD)	$\frac{\delta p}{p} < 20\%$, $\delta\theta < 50 \mu\text{rad}$ for $p=10\text{-}400 \text{ GeV}/c$ down to $\theta \sim 100 \text{ mrad}$	Si-pixel/strip discs
Central Tracker (TPC)	$\delta(1/p)_{\text{TPC}} < 2 \cdot 10^{-4} (\text{GeV}/c)^{-1}$ $\sigma(dE/dx) \leq 5\%$	GEM, Micromegas or wire readout
Intermediate Tracker (SIT)	$\sigma_{\text{point}} = 10 \mu\text{m}$ improves $\delta(1/p_t)$ by 30%	Si strips
Forward Chamber(FCH)	$\sigma_{\text{point}} = 100 \mu\text{m}$	Straw tubes
Electromag. Calo. (ECAL)	$\frac{\delta E}{E} \leq 0.10 \frac{1}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 0.01$ fine granularity in 3D	Si/W, Shashlik
Hadron Calo. (HCAL)	$\frac{\delta E}{E} \leq 0.50 \frac{1}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus 0.04$ fine granularity in 3D	Tiles, Digital
COIL	4T, uniformity $\leq 10^{-3}$	NbTi technology
Fe Yoke (MUON)	Tail catcher and high efficiency muon tracker	Resistive plate chambers
Low Angle Tagger (LAT)	83.1-27.5 mrad calorimetric coverage	Si/W
Luminosity Calo. (LCAL)	Fast lumi feedback, veto at 4.6-27.5 mrad	Si/W, diamond/W
Tracking Overall	$\delta(\frac{1}{p_t}) \leq 5 \cdot 10^{-5} (\text{GeV}/c)^{-1}$ systematics $\leq 10 \mu\text{m}$	
Energy Flow	$\frac{\delta E}{E} \approx 0.3 \frac{1}{\sqrt{E(\text{GeV})}}$	

Post-Higgs Problem

- Abbiamo visto “che cosa” e’ condensato
- Ma non sappiamo ancora “perche’”
- Due domande :
 - Perche’ abbiamo un condensato
 - Perche’ la scala di condensazione $\sim \text{TeV} \ll M_{Pl}$
- La spiegazione e’ probabilmente alla scala $\Lambda \sim \text{TeV}$ in quanto la self-energy dell’Higgs $\delta m_H^2 \sim \Lambda^2$

R&D su che cosa ?

- **Ricerca e sviluppo sono richiesti su (quasi) tutti i componenti dell'apparato: alcuni sottosistemi per cui si potrebbe cominciare a costruire *domani*, comunque avrebbero bisogno di lavoro per il progetto dettagliato.**
- **In particolare ricerca e sviluppo sono particolarmente necessari :**
 - Rivelatore di vertice
 - Sistema di tracciatura
 - CALORIMETRIA
- **Interessanti sviluppo si possono studiare per la calorimetria in avanti**

Rivelatore di vertice

- **Moltissima carne al fuoco dell'R&D.**
 - **Richieste di riduzione dello spessore**
 - **Richieste di miglioramento risoluzione puntuale**
 - **Distanza dall'incrocio dei fasci minimale**
- **CCD, CMOS**

La calorimetria adronica e il rivelatore di μ

- L'idea della calorimetria adronica digitale e' stata proposta da diverso tempo, e la capacita' di questa tecnica di fornire ottime risoluzioni nel caso di sciami a bassa densita' e' stata dimostrata su scala medio/piccola.
- Lo sciame adronico tende quindi a sposarsi bene con questa tecnica che potrebbe avere il vantaggio di unificare calorimetro adronico e rivelatore per μ .
- Il rivelatore da usare potrebbe essere ad esempio un contatore a piatti piani o un tubo a streamer.
- In ogni caso un parametro da misurare, per l'ottimizzazione calorimetrica, e' la capacita' del rivelatore in questione a rispondere linearmente ad un data densita' di track crossings.
- Test di affidabilita' in condizioni di affollamento limite.

Simulazioni e studi di processi fisici

- **Questa rivista non sarebbe completa senza menzionare il lavoro che si porta avanti nei gruppi di studio per capire come i processi fisici da misurare condizionino il disegno del rivelatore.**
- **Una parte non piccola del lavoro di R&D ha quindi a che fare con simulazioni, a volte complete (Geant3 o Geant4) del rivelatore.**
- **Altri strumenti (fast montecarlo) vengono usati piu' frequentemente dai colleghi teorici per valutare le possibilita' del rivelatore.**

Almeno tre direzioni possibili

- La storia si ripete
 - Crisi con l'elettroneintroduzione dell'antimateria
 - Raddoppio del # particelle ⇒ **supersymmetry**
- Se si usa il meccanismo delle Cooper pairs
 - Cooper pairs: composto fatto con due elettroni
 - Higgs potrebbe essere un composto di coppie fermioniche
 - ⇒ **technicolor**
- La Fisica *finisce* a TeV
 - Scala ultimativa: quantum gravity
 - Si potrebbero avere effetti gravitazionali ~TeV
 - ⇒ **hidden dimensions**