

Top e W ai futuri acceleratori

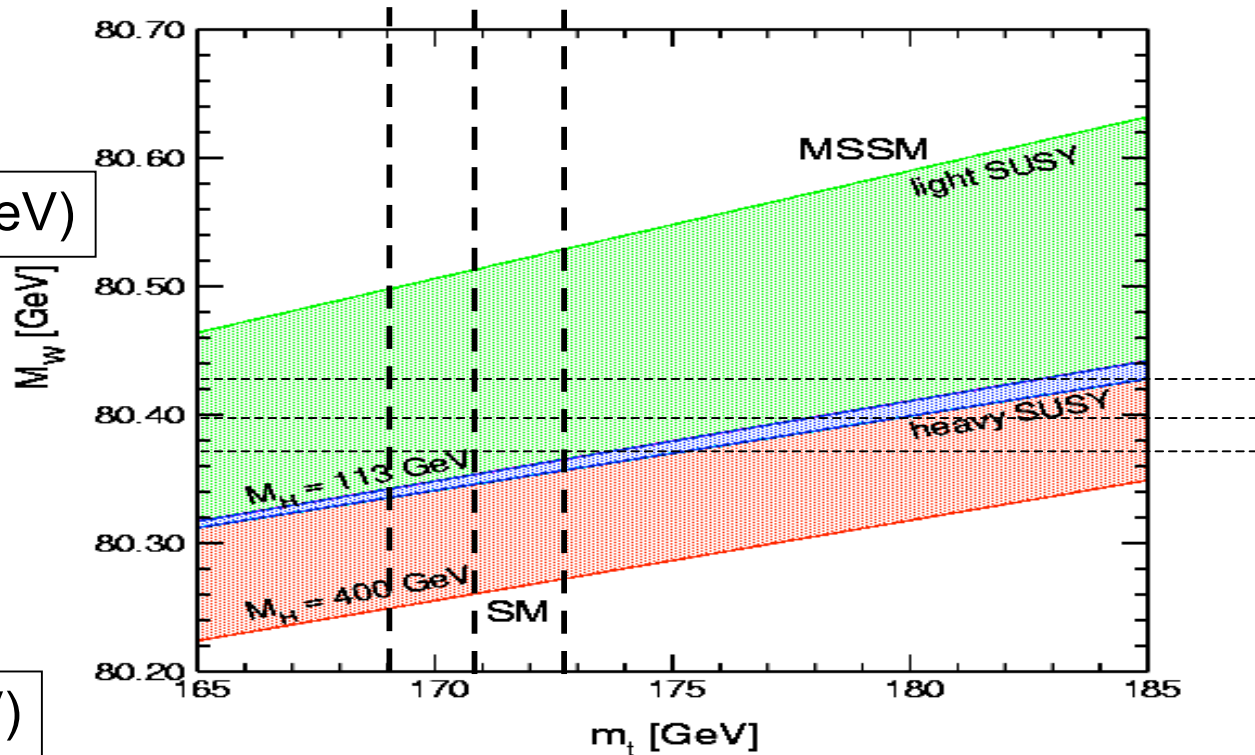
Le osservabili di precisioni elettrodeboli sono la base per un test di consistenza del SM o per eventuali sue estensioni (ex MSSM) (p.e. effetti della massa del top nel MSSM)

Misure dirette e indirette devono essere in accordo per un test stringente

Sia che l'Higgs sia trovato o no, e' fondamentale conoscere con precisione le osservabili EW per capire quale e' il meccanismo che rompe la simmetria

$$m(W) = 80.389 \pm 0.025 \text{ GeV}$$

$$m(\text{top}) = 170.9 \pm 1.8 \text{ GeV}$$



Top e W ai futuri colliders

Δ Dai risultati precedenti e dall'espressione delle correzioni radiative deboli
-> la necessita' di migliorare la risoluzione sulla **massa del top** !

$$\Delta\rho = 3G_{\mu}m_{\text{top}}^2/(8\pi^2 \sqrt{2})$$

* E sulla **mass del W**:

$$m_W = \left[\frac{\pi\alpha_{em}}{\sqrt{2}G_F} \right]^{1/2} \frac{1}{\sin\theta_w \sqrt{1-\Delta r}} \rightarrow f(m_{\text{top}}^2, \log(m_H))$$

$$\Delta m_W = 0.7 \times 10^{-2} \Delta m_{\text{top}}$$

perche' abbiano stesso peso in EW

IL GOAL : $\Delta m(\text{top}) < 2 \text{ GeV}$,
 $\Delta m_W < 15 \text{ MeV}$

-> constraint sulla massa dell'Higgs al 25%.
-> se l'Higgs e' scoperto, test di consistenza della teoria

RUN II: cosa e' nuovo al TEVATRON

collider protone anti-protone a FNAL

$E(p) = 980 \text{ GeV}$ (900 GeV nel Run I)

RUN IIa (2001-4): 2 fb^{-1} / RUN IIb (2005-7): 15 fb^{-1} 110 pb^{-1} nel RUN I

CDF e D0 sono stati ricostruiti in modo significativo

Nuove idee + esperienze dal RUN I

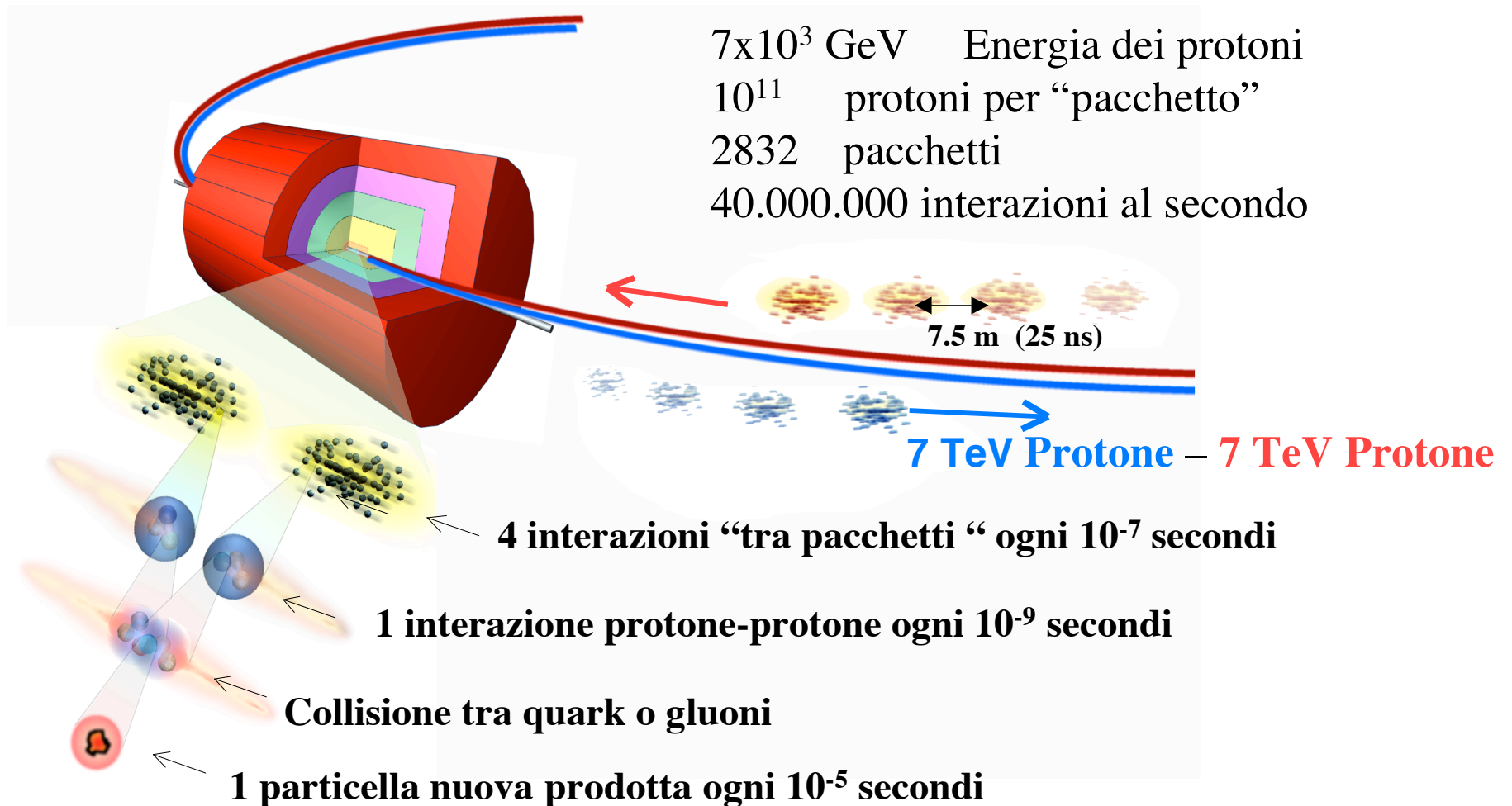
Il Potenziale di Fisica e' aumentato di 400 –900 volte w.r.t. RUN I

E 15k (IIa) – 100k (IIb) $B \rightarrow J/\psi$ $K \rightarrow \mu\mu$ K
 E 10^7 (IIa) – 10^8 (IIb) W eventi ($\sigma(W) \sim 10\%$ piu' alta)
 E 5 k – 40 k top –top eventi
 E Higgs e SUSY possibili

GOAL: $\delta m_{\text{top}} \sim 2 \text{ GeV}$ e $\delta m_W \sim 30 \text{ MeV}$ e ricerca dell'Higgs

2007: Large Hadron Collider

In fase di costruzione nel tunnel di LEP / urti protoni - protoni



La fisica a LHC

$$E_{cm} = 14 \text{ TeV}$$

2007 - 2009 : $L = 20 \text{ fb}^{-1}$ per year

2010 - ? : $L = 100 \text{ fb}^{-1}$ per year

- Capire l'origine della massa delle particelle ovvero il meccanismo che rompe la simmetria
 - Ricerca del bosone di Higgs (Standard Model) nel range di massa da 114 GeV (LEP2) fino a 1 TeV
 - Chiarificare una volta per tutte se esiste il bosone di Higgs come particella nel SM
 - Se l'Higgs non si trova sotto 1 TeV (SM), andare oltre (2 TeV) studiando $W_L W_L$ scattering,

- **Ricerca di fisica oltre il Modello Standard**

se non c'è l'Higgs SM, ci si aspetta nuova fisica alla scale del $\sim \text{TeV}$ affinché non ci sia violazione dell'unitarietà

- **SUSY** : potenzialità per scoprire particelle di massa fino a $\sim 3 \text{ TeV}$

→ "final word" su SUSY di bassa Energia

- **other scenarios**: leptoquarks, technicolour/new strong int., addizionali $\ell q/W/Z$, etc. fino a $m \sim 5 \text{ TeV}$

- **who knows ?**

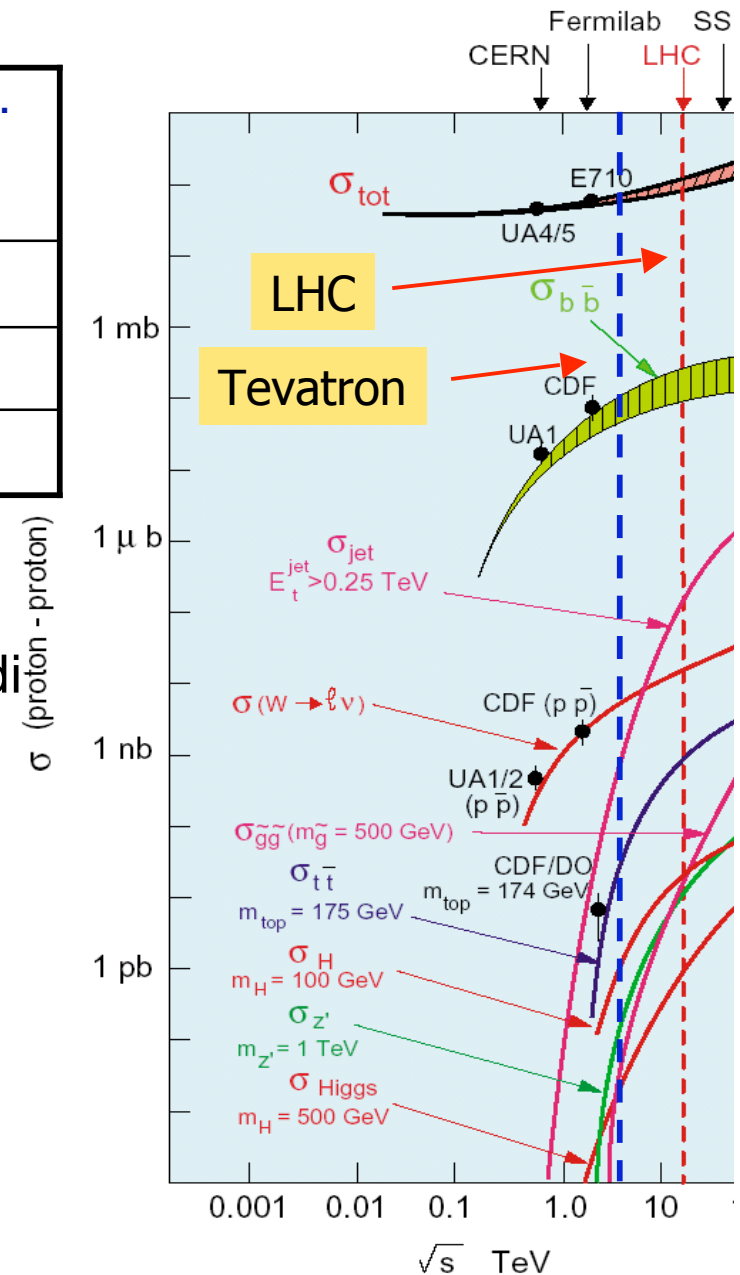
Moltissimi limiti messi da LEP2 sulla maggioranza dei modelli

- **Misure di precisione**
con risoluzione superiore agli esperimenti precedenti:
 - massa del W
 - massa del top
 - TGC
 - $\sin\theta_W$
 - QCD
 - fisica del B e violazione di CP nei B
 - etc.

La macchina

	Energia	Lumin. $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Luminosità int. primo anno
Tevatron	2 TeV	$4\text{-}10 \times 10^{31}$	0.3 fb^{-1}
LHC(low lumi)	14 TeV	2×10^{33}	10 fb^{-1}
LHC(high lumi)	14 TeV	10^{34}	100 fb^{-1}

- Per molte misure (fisica di precisione), il miglioramento principale consiste nell'aumento di statistica
- In particolare, in tutte le misure elettrodeboli (tranne l'Higgs) l'errore statistico è completamente insignificante rispetto al sistematico.



LHC come t/b/W/Z/H/susy...-particle factory

Processo	Eventi/s	Eventi/anno	Altre macchine (statistica totale)
W → eν	15	10 ⁸	10 ⁴ LEP / 10 ⁷ Tev.
Z → ee	1.5	10 ⁷	10 ⁷ LEP
t \bar{t}	0.8	10 ⁷	10 ⁵ Tevatron
b \bar{b}	10 ⁵	10 ¹²	10 ⁸ Belle/BaBar
$\tilde{g}\tilde{g}$ (m=1 TeV)	0.001	10 ⁴	—
H (m=0.8 TeV)	0.001	10 ⁴	—
QCD jets p _T > 200 GeV	10 ²	10 ⁹	10 ⁷

Rate alla produzione
e per esperimento
a 10³³ cm⁻² s⁻¹

→ Mass reach: fino a ≈ 5 TeV

→ Misure di Precisione
dominate dalla sistematica

Errori sistematici

- **Calibrazione assoluta dell'impulso di leptoni**
 - errore dominante a Tevatron per m_W , probabilmente lo sarà anche a LHC
 - riguarda la **intercalibrazione** di tutti i detector (tracker-mu per μ , tracker-ecal per e)
- **Calibrazione assoluta dell'energia dei jet (light, b jets)**
 - errore importante per m_t in $tt \rightarrow N \text{ jets} + X$
 - richiede buoni algoritmi di energy-flow, e quindi integrazione tracker-calorimetri
- **Luminosità assoluta**
 - Goal è il 5%
 - Importante per esempio per la misura dei rate di Drell-Yan

• a LHC $10^7 Z \rightarrow l^+l^-$ l'anno

• $m_Z \sim m_W$ da cui errore piccolo di estrapolazione (Tevatron usa $J/\Psi \rightarrow l^+l^-$)

• scala nota al meglio di 0.02% (10 MeV per leptone da 50 GeV)

• usare $W \rightarrow \text{jet jet}$ come sample di calibrazione, 10^6 l'anno

• una calibrazione all'1% è realistica, e più complicata per i jet da quark b

• TOTEM, sezioni d'urto di processi noti (QED, Z, W)

Top e W ai futuri colliders

Δ Dai risultati precedenti e dall'espressione delle correzioni radiative deboli
-> la necessita' di migliorare la risoluzione sulla **massa del top** !

$$\Delta\rho = 3G_{\mu}m_{\text{top}}^2/(8\pi^2 \sqrt{2})$$

* E sulla **mass del W**:

$$m_W = \left[\frac{\pi\alpha_{em}}{\sqrt{2}G_F} \right]^{1/2} \frac{1}{\sin\theta_W \sqrt{1-\Delta r}} \rightarrow f(m_{\text{top}}^2, \log(m_H))$$

$$\Delta m_W = 0.7 \times 10^{-2} \Delta m_{\text{top}}$$

perche' abbiano stesso peso in EW

IL GOAL : $\Delta m(\text{top}) < 2 \text{ GeV}$,
 $\Delta m_W < 15 \text{ MeV}$

Oggi: 2.1 GeV
30 MeV LEP
60 MeV Tevatron

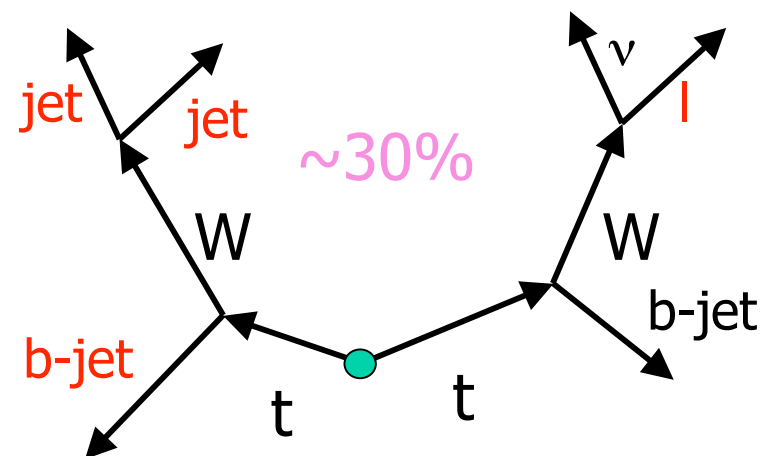
-> constraint sulla massa dell'Higgs al 25%.
-> se l'Higgs e' scoperto, test di consistenza della teoria

Dopo 1 anno di LHC

Source	Δm_W (CDF)	Δm_W (ATLAS)	
Statistics	145 MeV	< 2 MeV	statistica sovrabbondante (6×10^7 decadimenti selezionati/year)
E - p scale	120 MeV	15 MeV	più difficile da raggiungere
Energy resolution	80 MeV	5 MeV	
Lepton identification	25 MeV	5 MeV	
Recoil model	60 MeV	5 MeV	usa recoil da $Z \rightarrow l^+l^-$ e ripesa
W width	20 MeV	7 MeV	
Parton distribution functions	50 MeV	10 MeV	lavoro teorico necessario
Radiative decays	20 MeV	< 10 MeV	
p_T^W	45 MeV	5 MeV	
Background	10 MeV	5 MeV	25 MeV per leptone ATLAS e CMS; combinando ~ i 15 MeV voluti
TOTAL	230 MeV	25 MeV	

Massa del top

- Attualmente: $\Delta m_t = 5$ GeV (TeVatron)
- Allo startup di LHC $\Delta m_t = 3$ GeV (TeVatron)
- Usare il leptone per il trigger, e ricostruire la massa del top dalla massa dei 3 jet dall'altro top



- richiedendo eventi con leptone + jet + almeno 2 jet b-tagati $\sim 10^5$ ev/y

• $S/B > 50!$

- $p_T > 20$ GeV
- $E_{T,miss} > 20$ GeV

• Oppure:

- usare samples più piccoli, con sistematici meglio controllabili: leptone a p_T molto alto: topologia back to back, meno combinatorio

Sorgente di incertezza	errore su m_t (GeV)
Statistica	0.1
calib. dei jet da quark leggeri	0.3
calib. dei jet da quark pesanti	0.7
ISR e FSR	1.5
Totale	<2 GeV

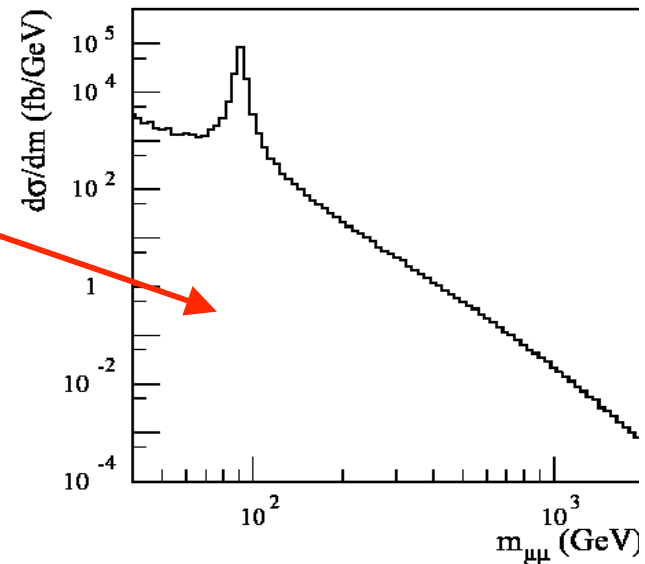
Drell-Yan

- Studio dello spettro di Drell-Yan (s-channel)
 - Studio dello spettro di dileptoni dal continuo ($Q^2=M_{\mu\mu}^2$)
 - Importante per
 - Nuova fisica (risonanze Π) dalla $\sigma(\sqrt{s})$
 - Misure di precisione
 - $A_{FB}(m_{\mu\mu})$, $\sin^2(\theta_{eff}^{lept})$ alla Z

- Trigger di dileptone
- Isolamento

$$A_{FB} = (\sigma_F - \sigma_B) / (\sigma_F + \sigma_B)$$

$$\sigma_{F/B} = \int_{0/-1}^{1/0} (d\sigma / d\cos\theta) d\cos\theta$$



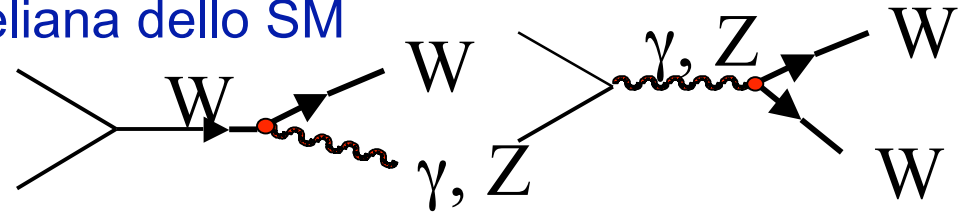
- Problema: direzione q e qbar
- Antiquark dal mare: p minore
- Al TeVatron, ~1% sistematico (QCD back)
- LEP errore 0.01% (!)

$$A_f = 2 \frac{1 - \frac{2q_f}{I_3^f} (\sin^2 \theta_W^{eff})}{1 + \left(1 - \frac{2q_f}{I_3^f} (\sin^2 \theta_W^{eff})\right)^2}$$

Bosoni W e Z e TGC, QGC

- Produzione di WW , WZ , $W\gamma$, $Z\gamma$

- Test diretto della simmetria non abeliana dello SM



- Triple gauge couplings

- Dipendono da 5 parametri

g^1_Z , λ_γ , k_γ , λ_Z , k_Z che nel 2005 (LEP+TeV) dovrebbero essere conosciuto al qualche %. Può LHC fare meglio?

- La misura è più facile a alto \sqrt{s} !

- Con 30 fb^{-1} , è possibile migliorare constraint

- $W\gamma \rightarrow l\nu \gamma$

- $WZ \rightarrow l\nu ll$

- $WW \rightarrow l\nu l\nu$



Basso fondo

$t \bar{t}$

Il Boson Boson scattering

Lo SM predice che senza Higgs l'ampiezza di scattering del processo di fusione di bosoni longitudinali (ex $W_L W_L$) viola l'unitarietà a circa 1.-1.5 TeV.....

.... Dunque qualche cosa deve accadere.

- se c'è Higgs lo osserveremo come una risonanza a $M(H) = M(WW)$

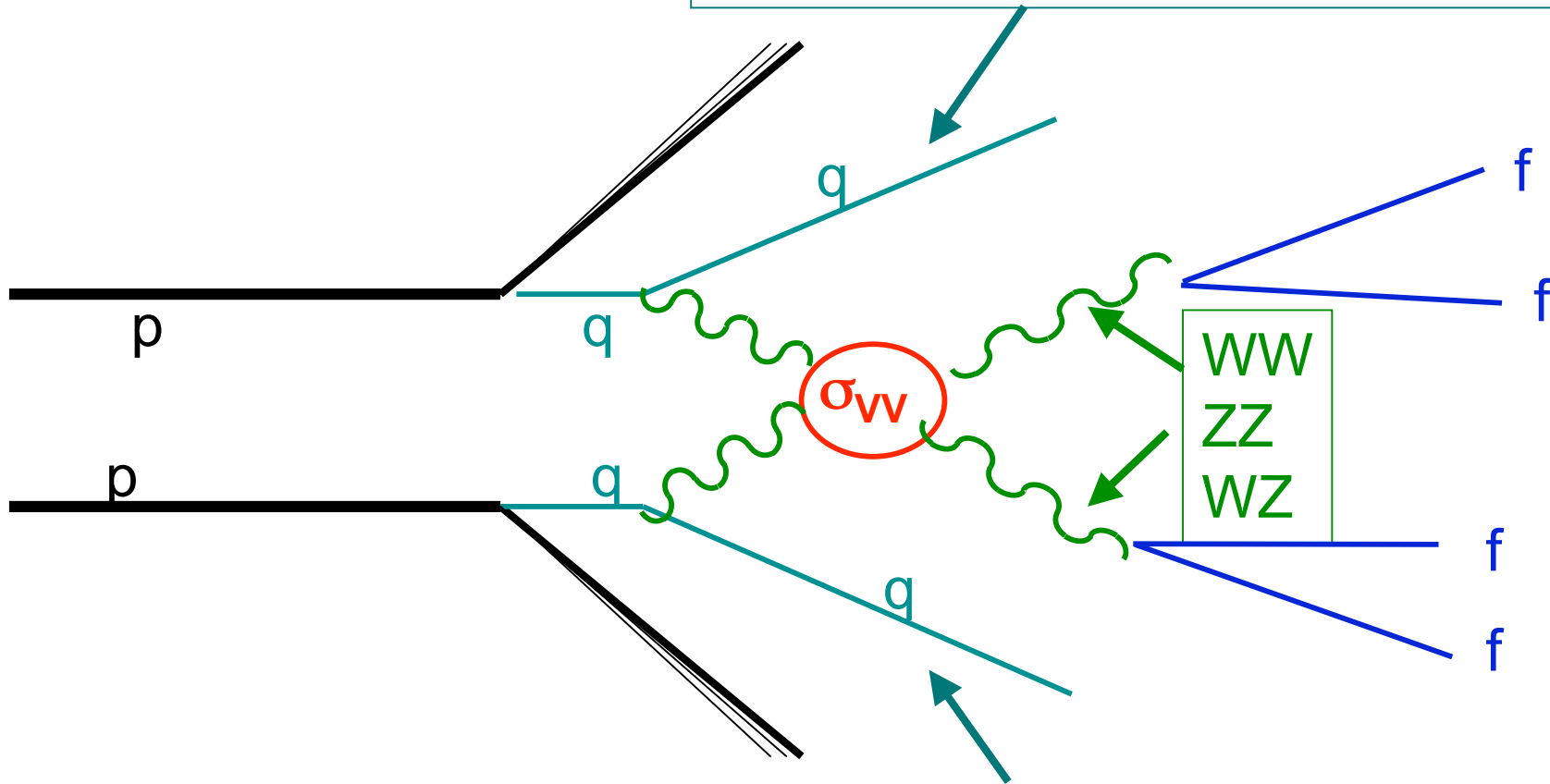
altrimenti

- $\sigma(WW)$ devierà dalle predizioni del SM ad una scala di energia $M(WW)$ dove interviene il meccanismo di rottura della simmetria.

Bisogna studiare: la risoluzione su $\sigma(WW)$, su $M(WW)$
la più alta $M(WW)$ raggiungibile
e la **Luminosità** necessaria

Stato finale a 6 fermioni

Jet in avanti HF (very forward hadr. calor.):
alto Pt (>40 GeV), alta Massa Invariante

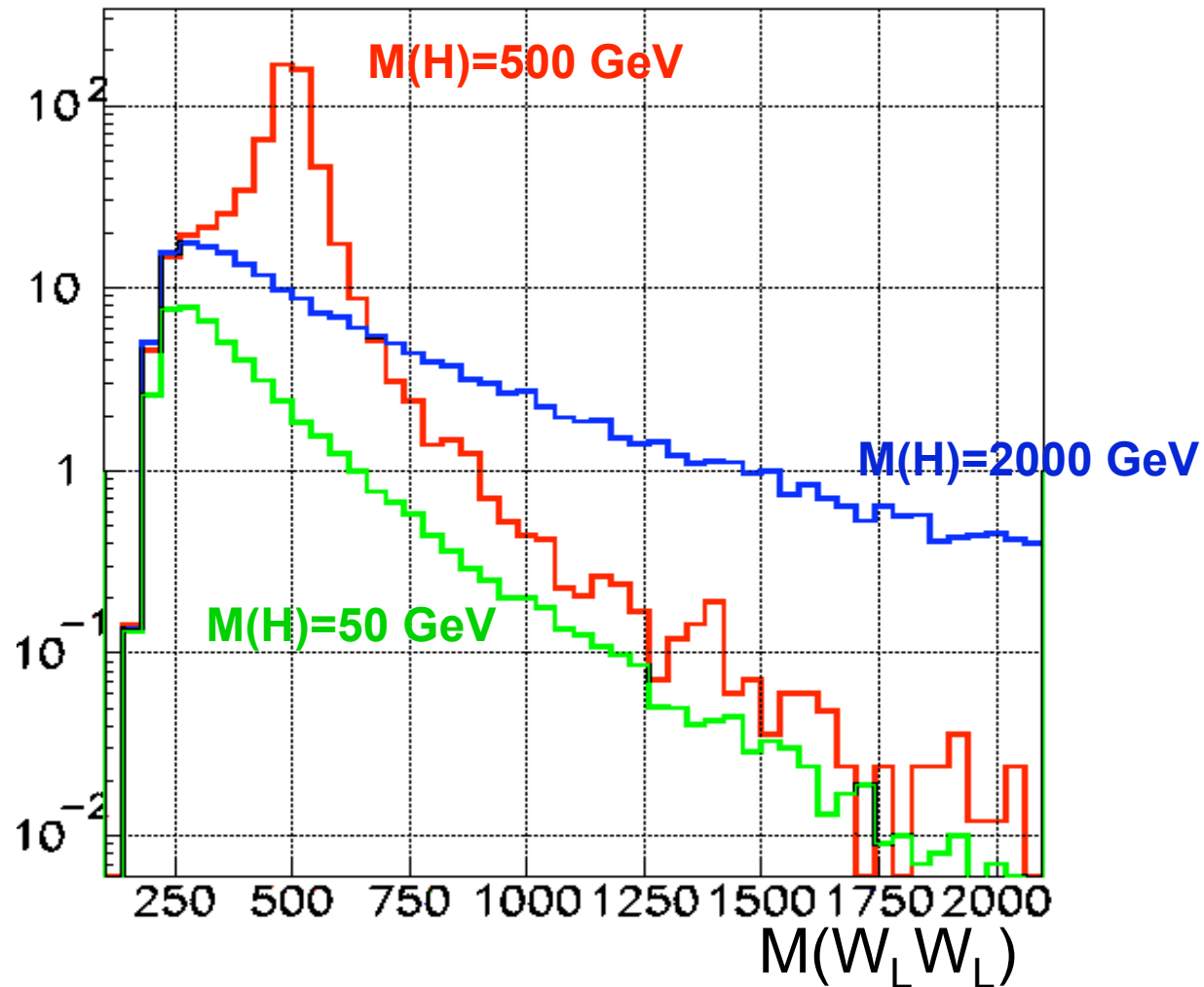


Jet in avanti HF (very forward hadr. calor.):
alto Pt (>40 GeV), alta Massa Invariante.

M(WW) al variare di M(H)

di eventi per
 $L = 100 \text{ fb}^{-1}$
 $\varepsilon = 100 \%$

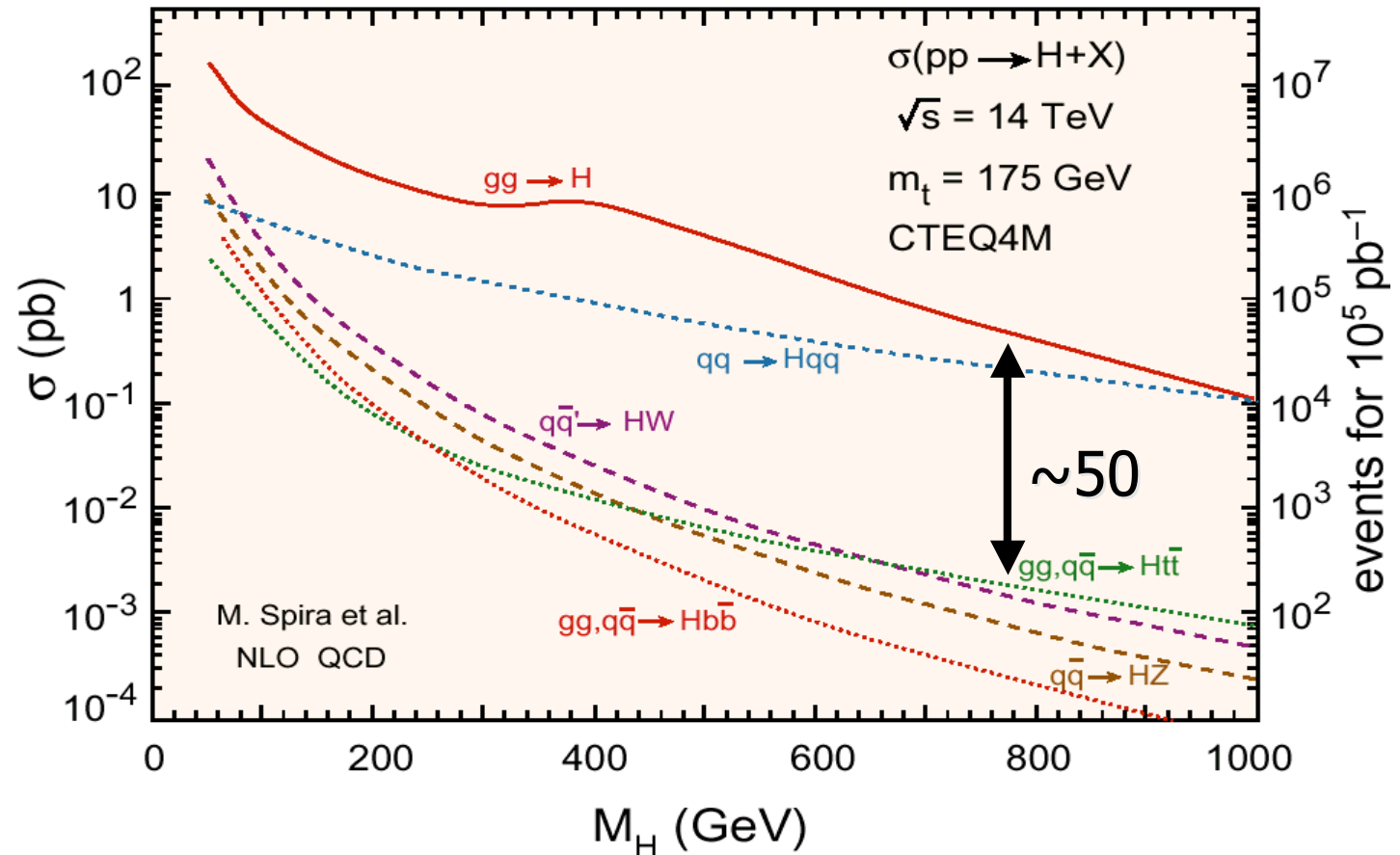
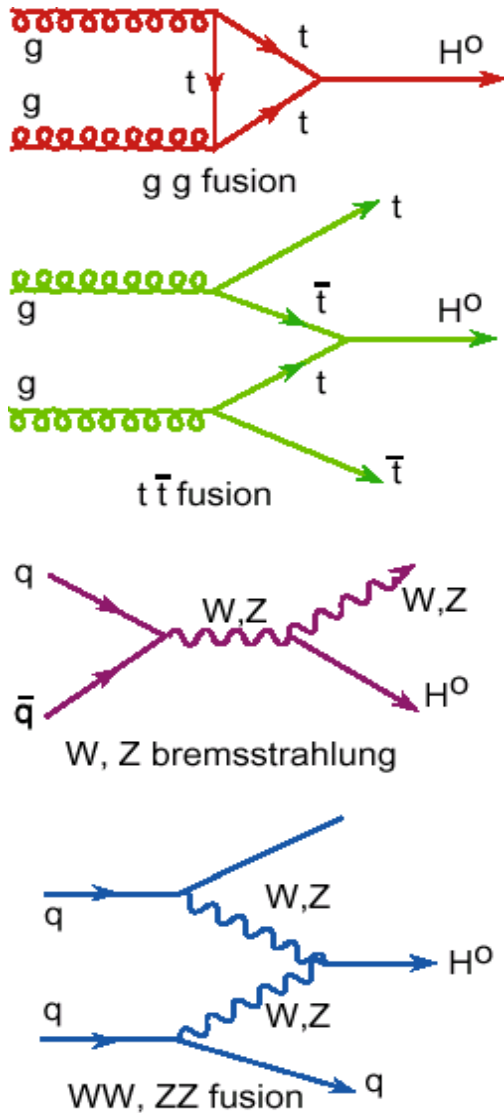
Sezione d'urto
molto piccola



Fondi dominanti:
Top-top
W+n-jets

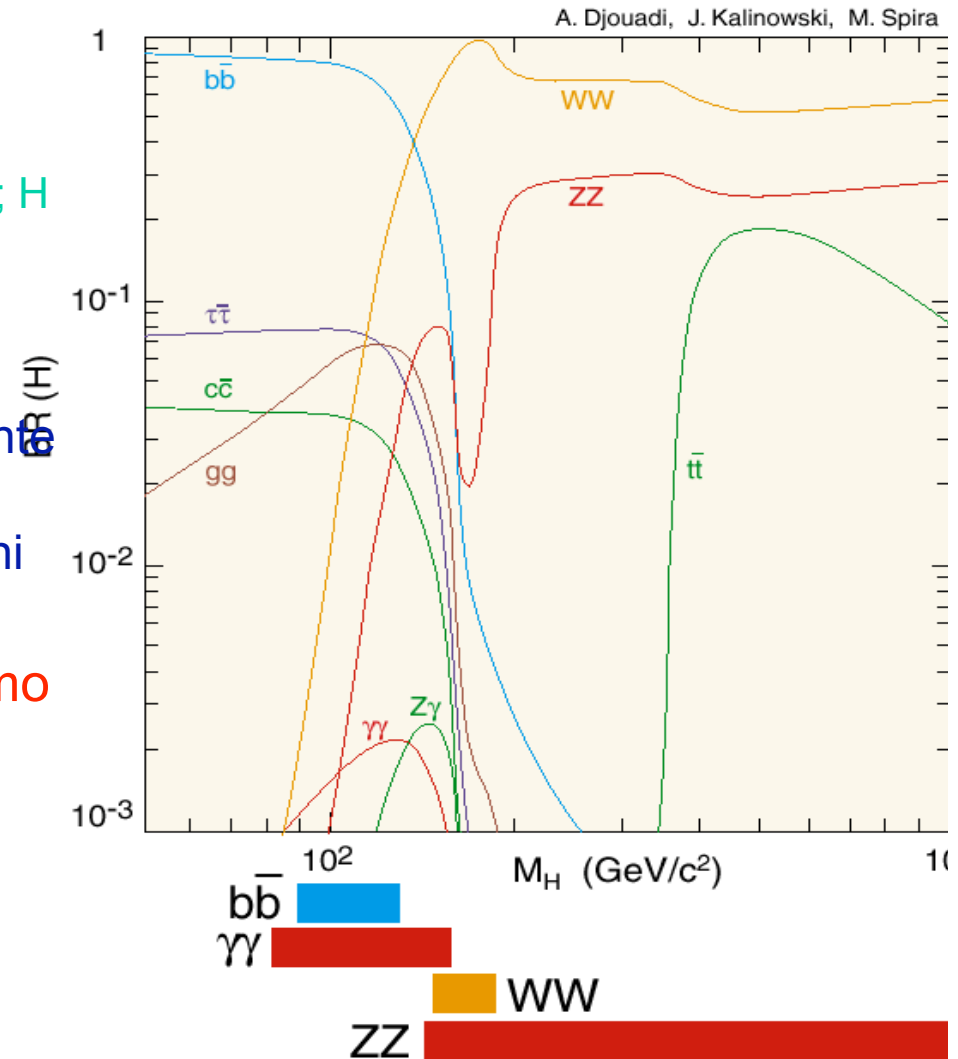
Buona risoluzione in massa M(WW) ~ 8%

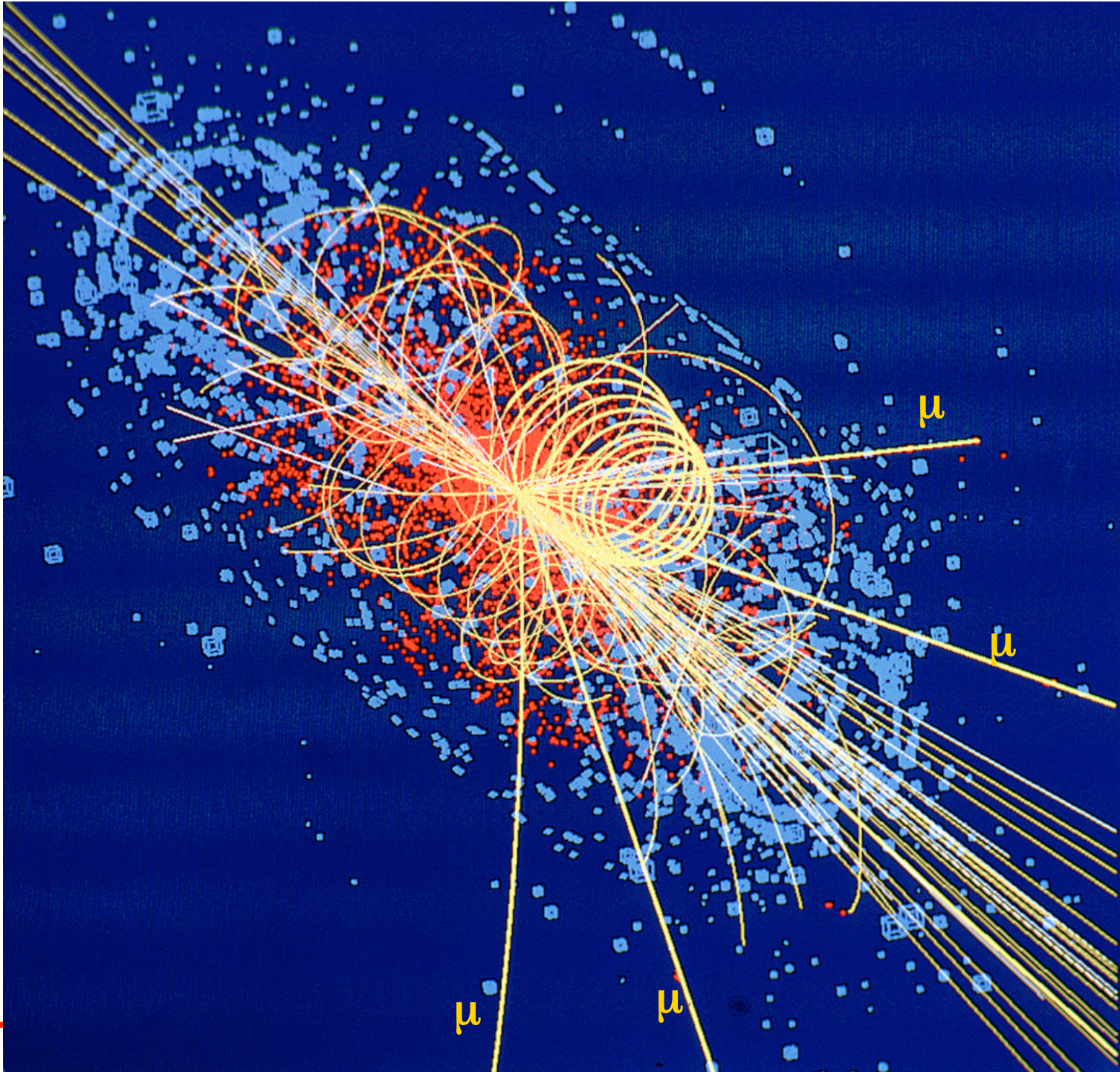
Produzione di Higgs a LHC



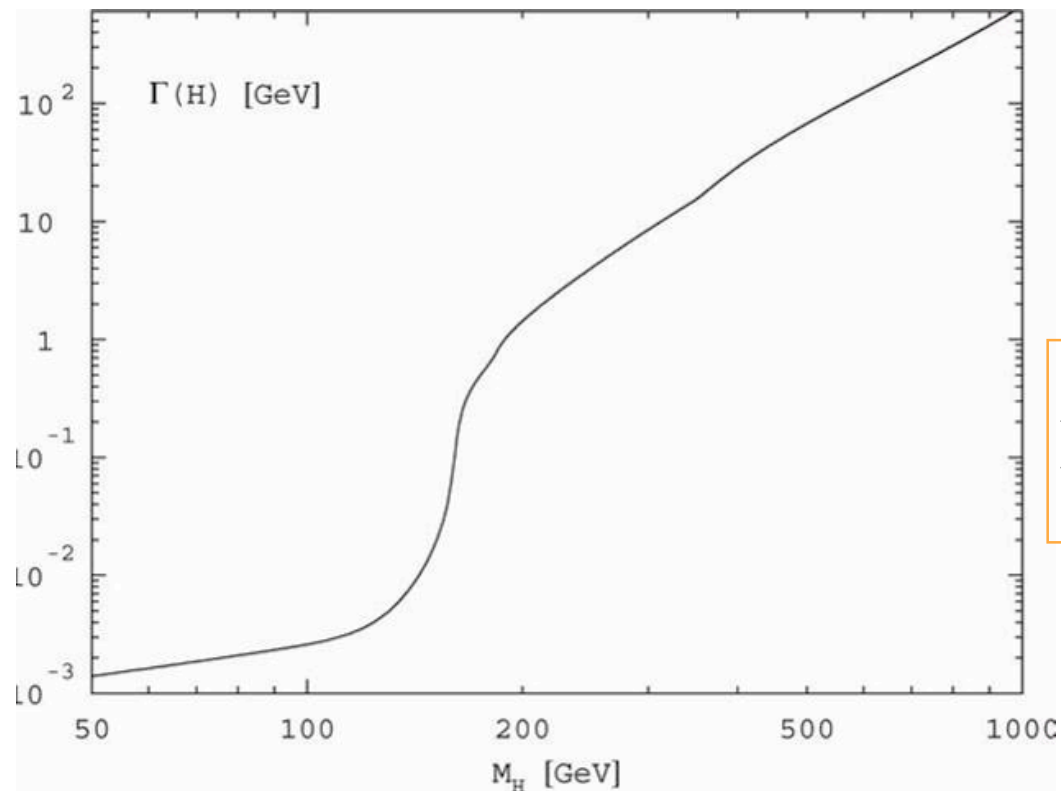
Decadimento dell'Higgs

- Non esiste una singola analisi che copra il range “plausibile” 100 GeV – 1 TeV
 - Higgs “basso” ($100\text{GeV} < m_H < 150\text{GeV}$): $H \rightarrow b\bar{b}$; $H \rightarrow \gamma\gamma$
 - Higgs “medio” ($m_H \sim 2m_Z$): $H \rightarrow WW$
 - Higgs “alto” ($m_H > 2m_Z$): $H \rightarrow ZZ$
- In generale: l'Higgs si accoppia preferenzialmente con il fermione più pesante cinematicamente permesso, fino all'apertura dei canali con bosoni vettori che dominano
- Quello che si cerca è una scoperta nel primo anno (10 fb^{-1}) in tutto il range.





Larghezza dell'Higgs



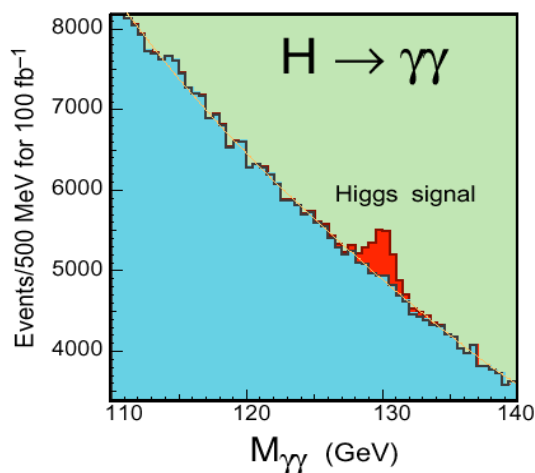
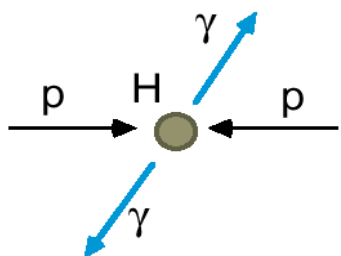
$$\Gamma_H(H \rightarrow VV) = \frac{3}{32\pi} \frac{m_H^3}{v^2}$$

$$v = 296 \text{ GeV}$$

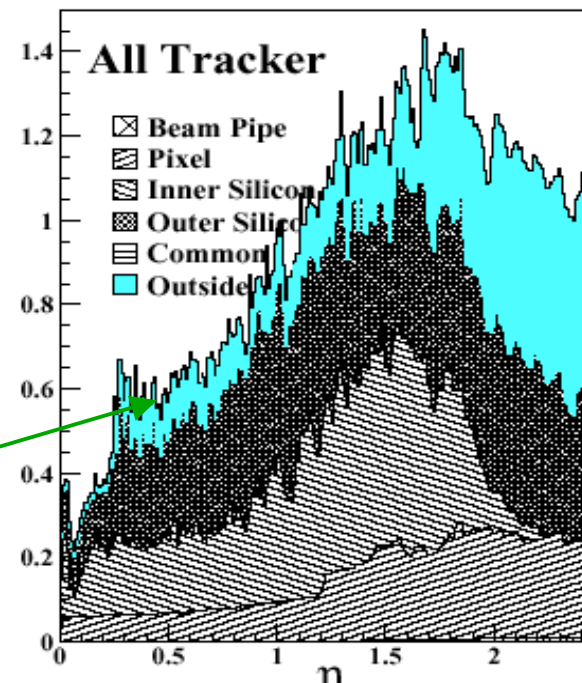
Higgs a bassa massa

- $H \rightarrow \gamma\gamma$:

- anche se la xsec di produzione è piccola ($BR \sim 10^{-3}$), è un canale **pulito** (background solo da $gg \rightarrow \gamma\gamma$, $qq \rightarrow \gamma\gamma$, $Z \rightarrow ee$)



Rate $\sim 25000 +$ alto
Mis-id $e\gamma < 1/500!$



- Sperimentalmente, è critica la **risoluzione dei calorimetri em** (determina la larghezza del picco).

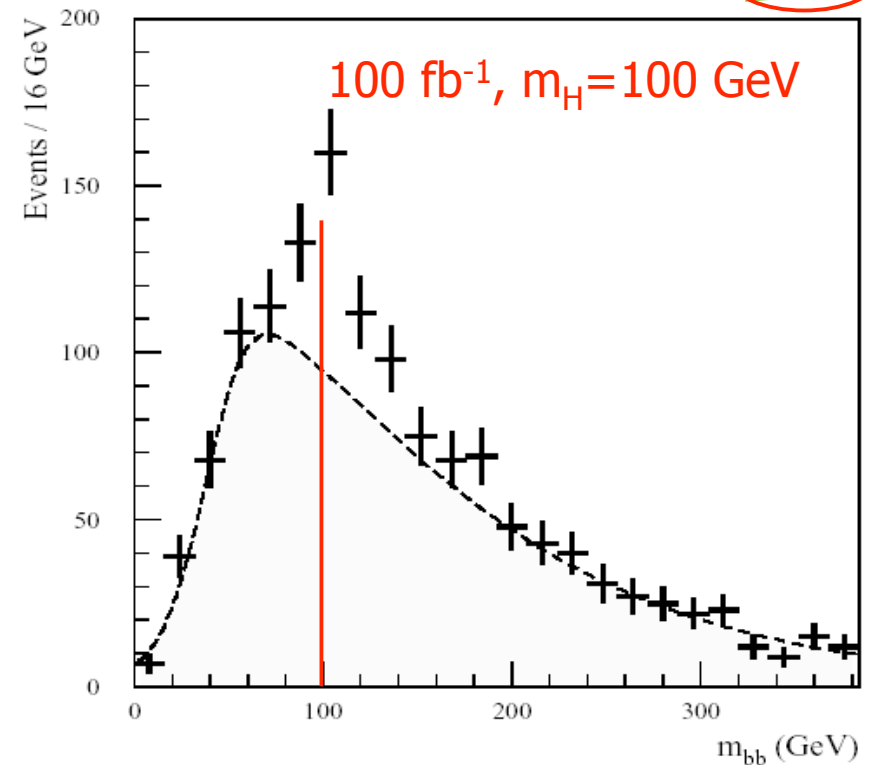
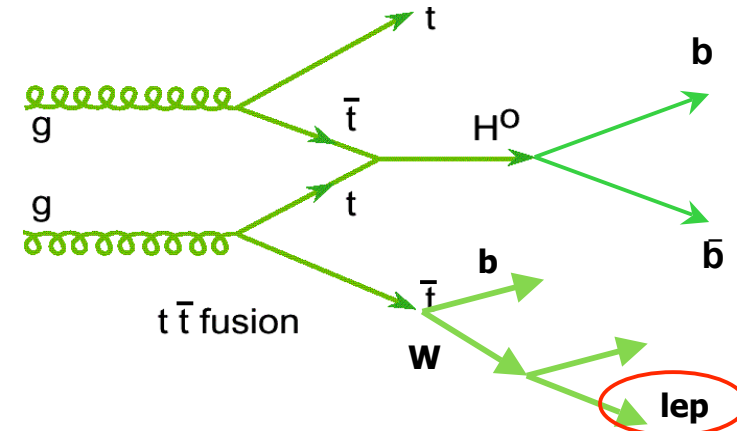
- Atlas e CMS hanno **tanto materiale(t)** prima dei calorimetri; questo rende le cose più difficili

- In 30 fb^{-1} , $S/\sqrt{B} \sim 3$

- $p_{\gamma}^T > 40,25 \text{ GeV}$
- Accettanza $\sim 50\%$

Higgs a bassa massa

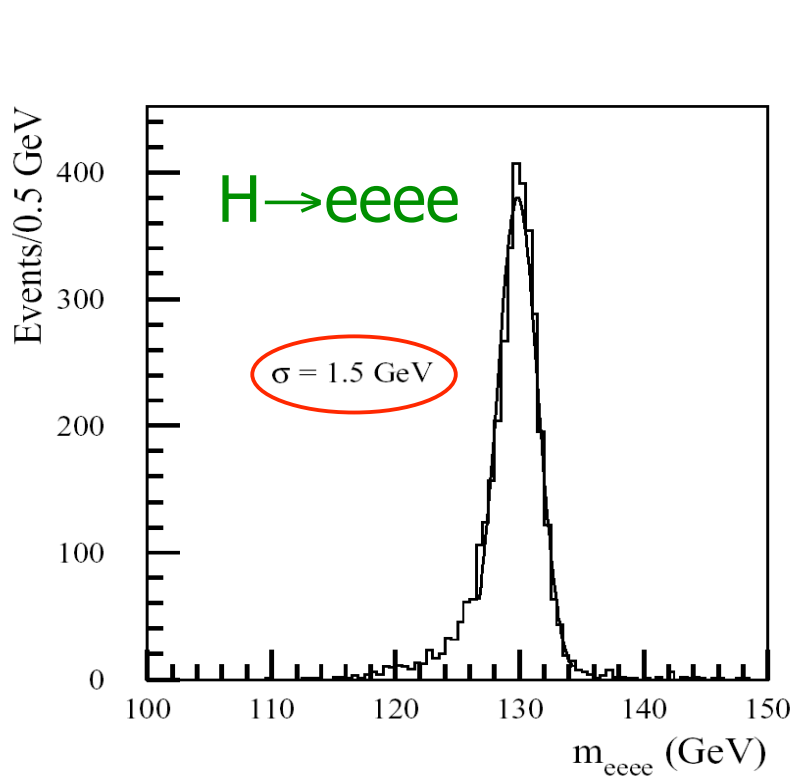
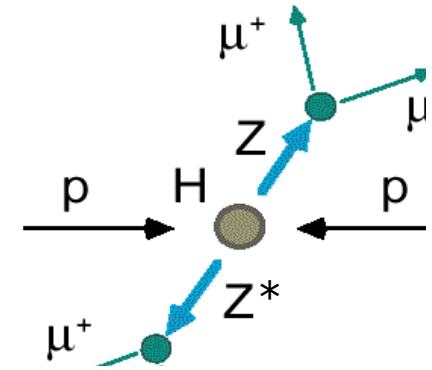
- $H \rightarrow bb$, dominante ($\sim 90\%$ per $m_H < 2m_W$)
 - canale senza speranza in produzione singola: background da bb incl. enorme.
 - ma in produzione associata è fattibile: selezionare $2W+4b$ -jets
(xsec prod 50 volte più bassa)
- **Grossi background:**
 - $ttjj$, da solo è circa 2x del segnale
 - $Wjjjj$
 - $S/B=0.5$, $S/\sqrt{B}=8$ possibile dopo 100 fb^{-1}



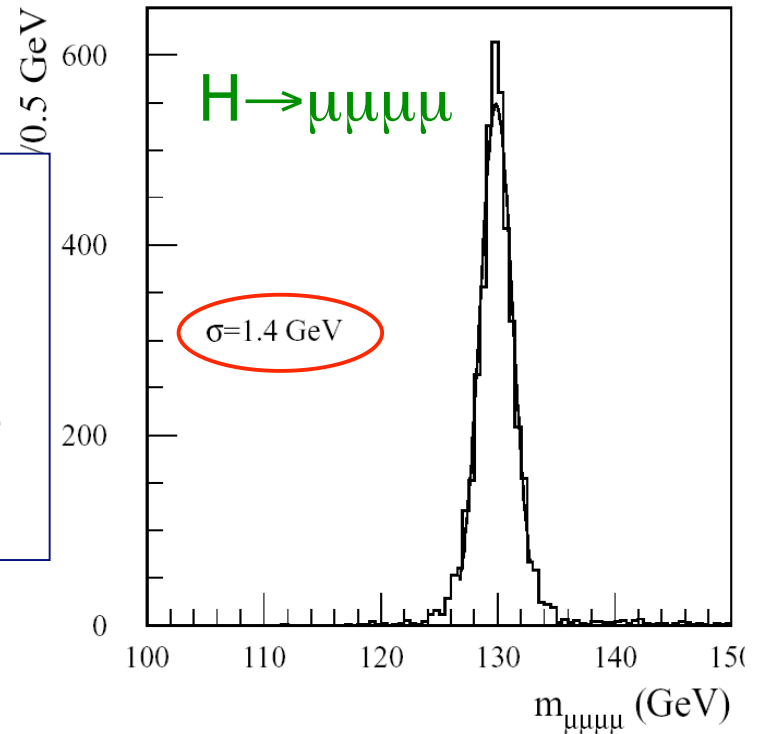
- Trigger di leptone
- > 6 jets, di cui 4 b-tagged

Higgs a massa intermedia

- $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ (importante per $120\text{GeV} < m_H < 2m_Z$)
 - Molto pulito per la presenza di 4 leptoni isolati (μ meglio)
 - Trigger molto facile: leptone + dileptone
 - Backgrounds solo da Zbb , ZZ^* , tt
 - In 30 fb^{-1} $S/\sqrt{B} > 10$, $S/B > 2$



- $p_T > 20, 20, 7, 7$ GeV
- 2 leptoni vicini alla Z
- Segnale molto pulito
- Possibilità di ricostruire la massa dell'Higgs con alta precisione

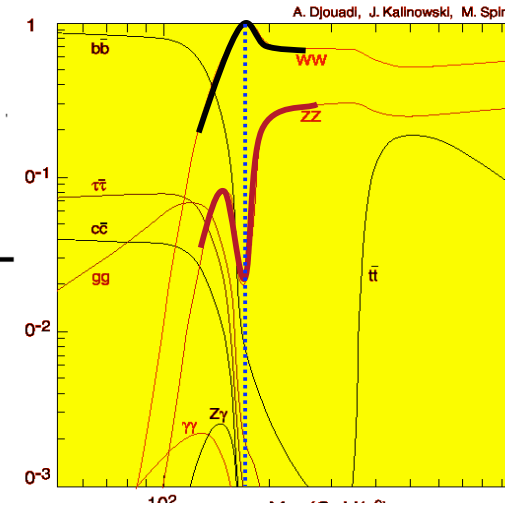
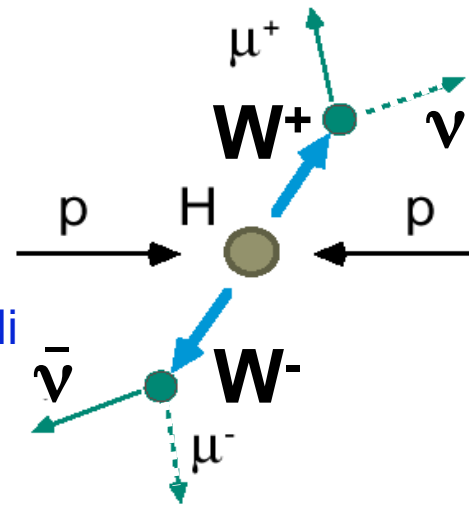


Higgs a massa intermedia

- $H \rightarrow WW(*)$

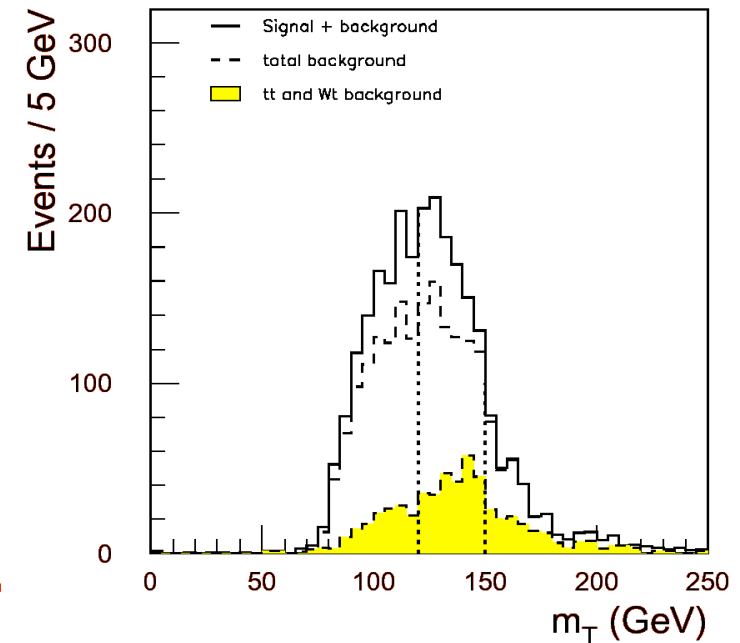
(importante per $m_H \sim 2 m_W$)

- C'è un gap in $H \rightarrow ZZ$ in quel range
- $H \rightarrow WW(*) \rightarrow l\nu l\nu$, a causa dei due neutrini non è possibile avere un picco di massa ma solo un eccesso di eventi



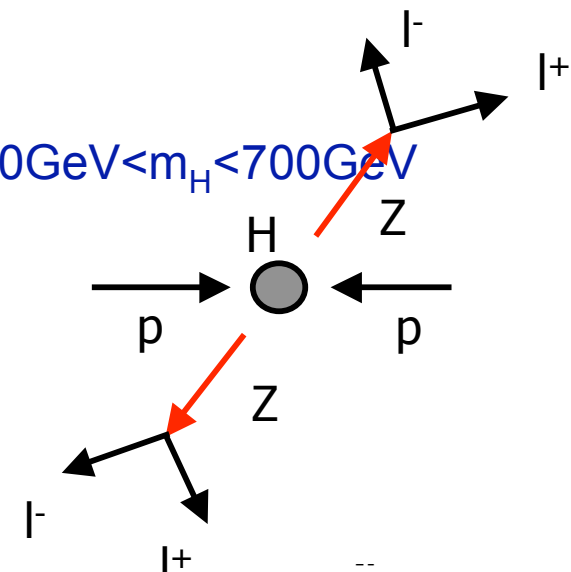
- Selezione: guardare alla massa trasversa per eventi senza jet e con 2 leptoni
- Angolo fra i due leptoni $\Delta\phi$ piccolo
- Background WW, WZ, tt dal continuum

• Dopo 30 fb^{-1} $S/\sqrt{B} > 10$, $S/N > 1$



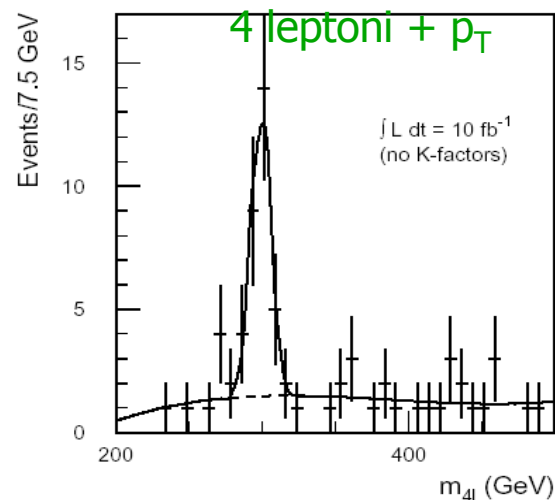
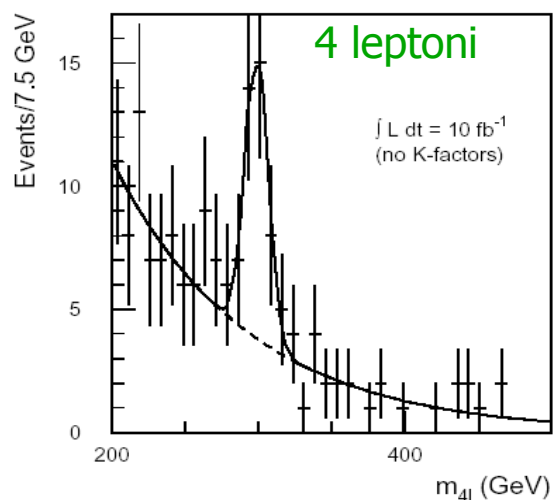
Higgs a massa alta

- Si aprono i canali “golden” $H \rightarrow WW$ e $H \rightarrow ZZ$
 - In particolare, $H \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell\ell\ell$ è il canale più promettente per $180\text{GeV} < m_H < 700\text{GeV}$
 - $S \gg B!$



• 4 leptoni identificati, $p_T > O(10)$ GeV

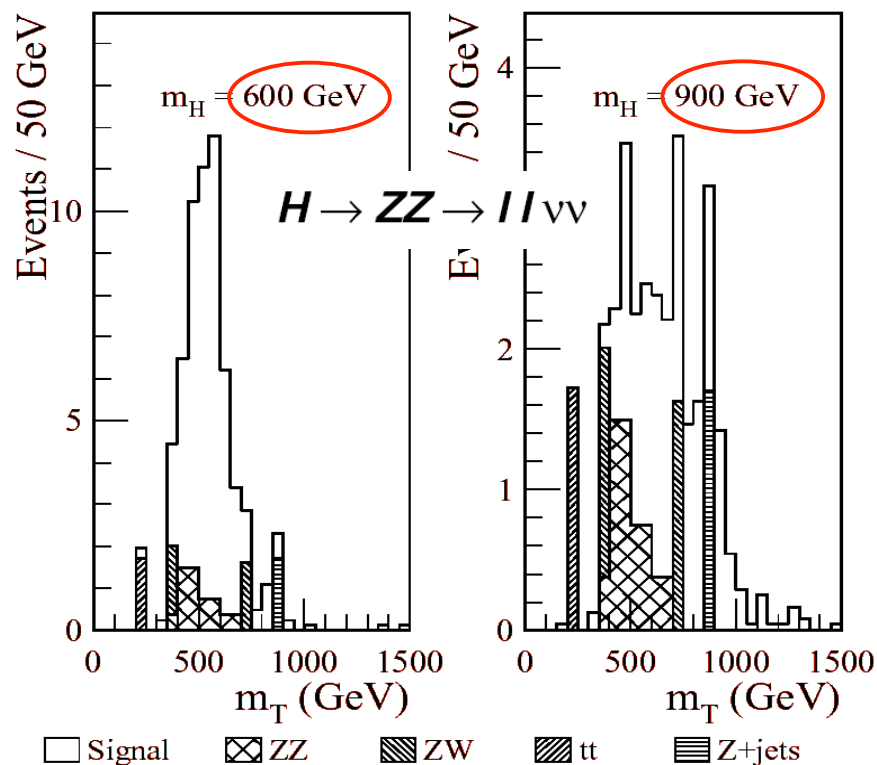
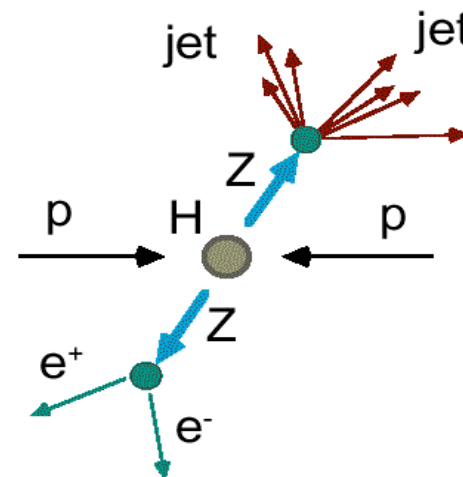
• Visto che il processo è un decadimento a due corpi di un oggetto pesante, il p_T di almeno una Z sarà alto



Higgs mass (GeV)	360	400
$BR(H \rightarrow ZZ)$	0.30	0.28
$\sigma \times BR$ (fb)	8.7	6.8
Signal (no p_T cut)	105	86
Background (no p_T cut)	29	29
S/\sqrt{B} (no p_T cut) for 30 fb^{-1}	19.3	15.9
Signal (with p_T cut)	91	76
Background (with p_T cut)	13	14
S/\sqrt{B} (with p_T cut) for 30 fb^{-1}	25.2	20.3
S/\sqrt{B} (with p_T cut) for 100 fb^{-1}	46.9	37.3

Higgs a massa alta

- Con questi canali siamo coperti per $m_H < 800$ GeV, e oltre
 - Il decadimento principale è ancora $H \rightarrow ZZ$, ma $ZZ \rightarrow llll$ ha un rate basso
 - Provare decadimenti con almeno un neutrino: $ZZ \rightarrow ll\nu\nu$ (6x xsec)
 - Provare decadimenti con almeno un jet: $ZZ \rightarrow \text{jet jet}$ (25x xsec)
 - 2 leptoni high-pT, energia mancante o jet
 - Fittare massa della Z leptonica
 - Forward tagging di jets da produzione associata
 - Background da ZZ , WW , WZ , tt



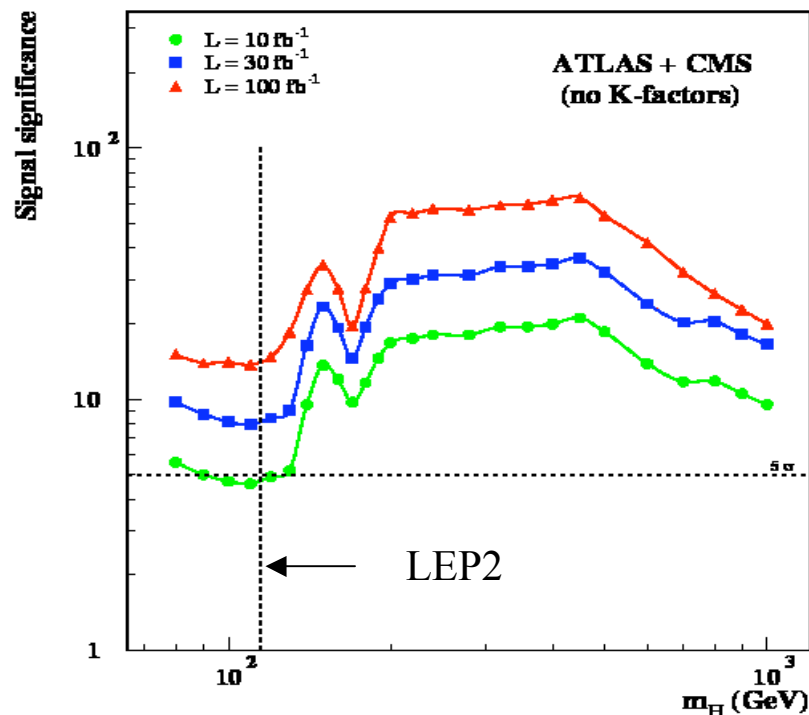
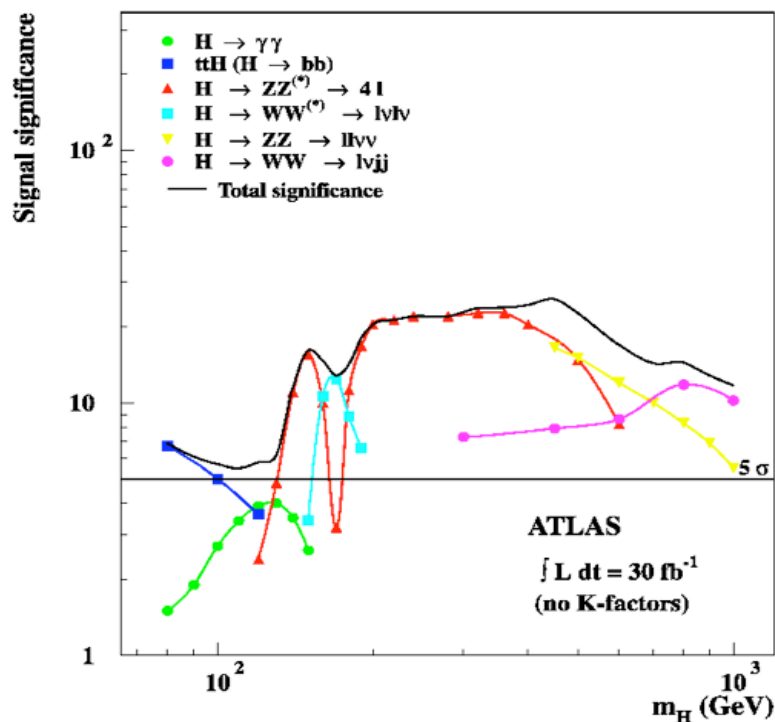
Higgs at LHC

Combinando tutti i canali per $L=30\text{fb}^{-1}$:

$m_H < 130 \text{ GeV}/c^2$: $H \rightarrow \gamma\gamma, bb$

$m_H < 180 \text{ GeV}/c^2$: $H \rightarrow WW$

$m_H > 180 \text{ GeV}/c^2$: $H \rightarrow ZZ$



Proprieta' dell'Higgs : $\sim 0.1\% - 1\%$ accuratezza sulla Mass
 $\sim 20\%$ precisione sugli accoppiamenti e BR
 SM vs MSSM nature

Prospettive future

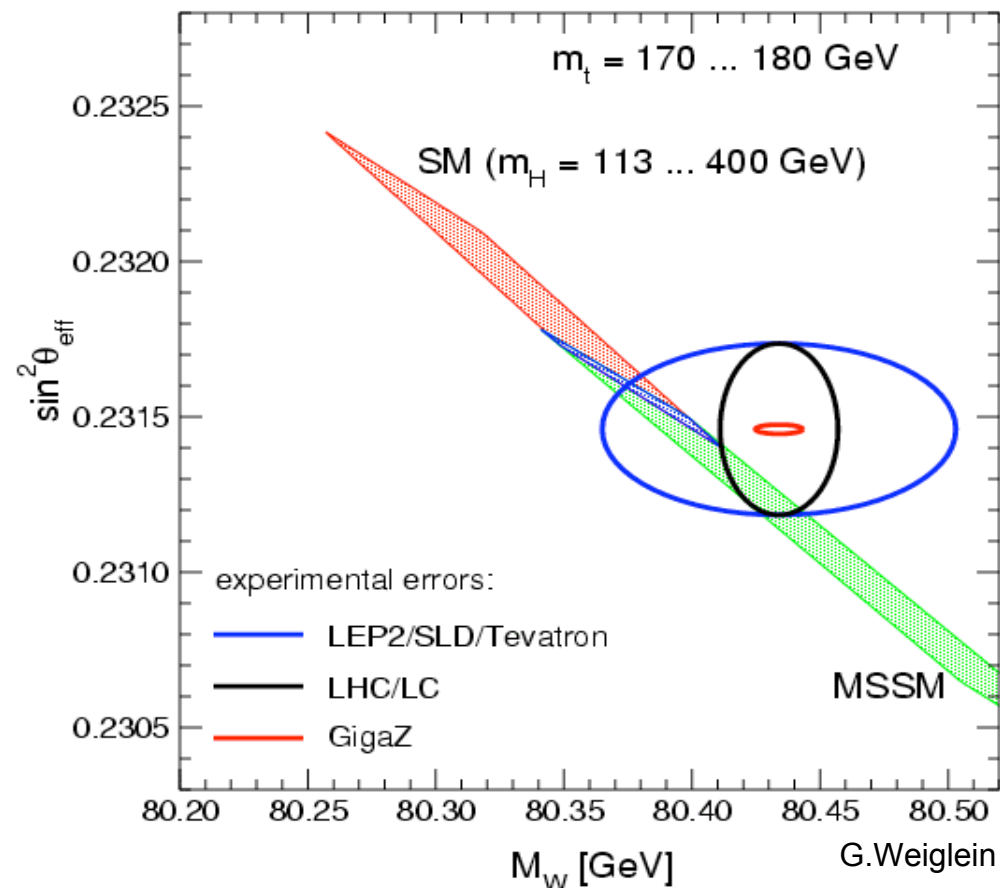
Tevatron Run 2 prende dati:

proiezione (Run-2a) $\Delta M_W = \pm 30 \text{ MeV /exp}$
 $\Delta m_{\text{top}} = \pm 3 \text{ GeV}$

LHC (2007): $\Delta M_W = \pm 15 \text{ MeV}$
 $\Delta m_{\text{top}} = \pm 1.5 \text{ GeV}$

LC (?): $\Delta M_W = \pm 6 \text{ MeV}$
 $\Delta m_{\text{top}} = \pm 0.2 \text{ GeV}$

Vecchi valori....! Solo
Per illustrazione...



Sommario

LEP+SLD+Tevatron+..... hanno testato il SM con elevata precisione:

Ora sappiamo che le correzioni radiative esistono

Che la teoria e' di Gauge e Non Abeliana

Che ci sono 3 famiglie (top e ν_τ)

Che le costanti di accoppiamento variano con E

E conosciamo molto meglio la matrice CKM.

E abbiamo anche imparato molto da quello che non abbiamo visto!

Teoria e esperimento hanno collaborato in modo eccellente ma e' necessario che si continui insieme per esplorare la regione ad alta energia

Forse il Tevatron e poi LHC e infine LC scopriranno infine il meccanismo che rompe la simmetria e dona la massa

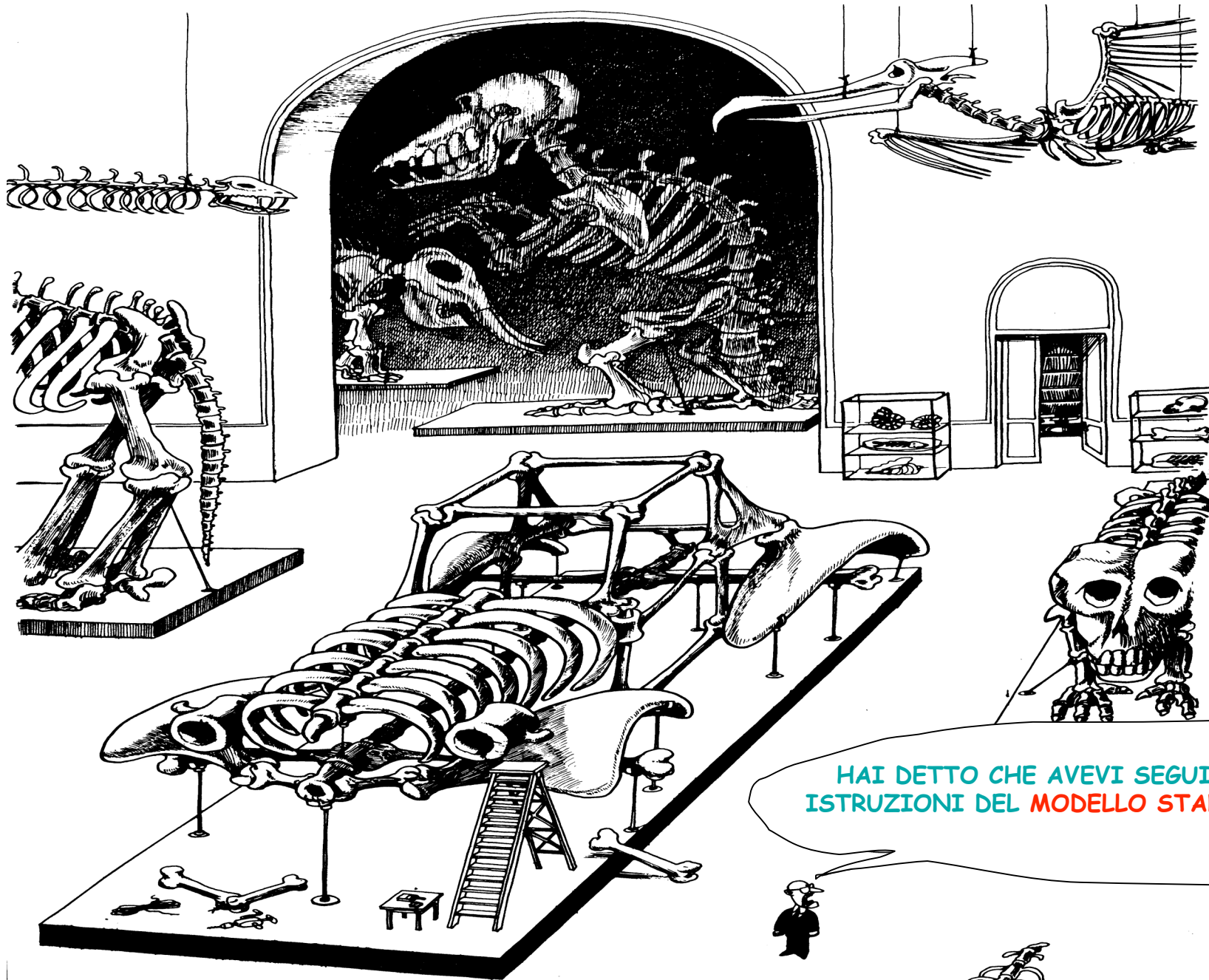


Ci sono alcuni effetti interessanti a 2-3 σ ...non di piu' !!!

->fortunatamente lo SM sembra in perfetta forma

->sfortunatamente la Nuova Fisica sembra ancora molto lontano ...

O... !?



HAI DETTO CHE AVEVI SEGUITO LE ISTRUZIONI DEL MODELLO STANDARD ?!?

