



Il bosone di Higgs a LHC

Marco Zanetti
CERN



Sommario



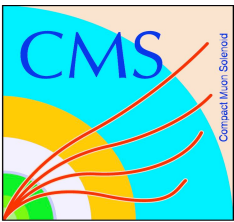
✓ Introduzione: LHC e i suoi esperimenti

- L'inizio di LHC nel 2008 e nel 2009
- Stato degli esperimenti
- Scenari per il 2009/2010

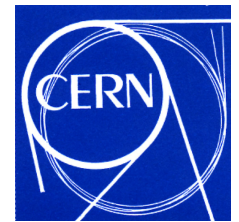
✓ L'Higgs a LHC

- Differenze con il Tevatrone
- Implicazioni dei limiti attuali
- Strategie di ricerca
- Prospettive

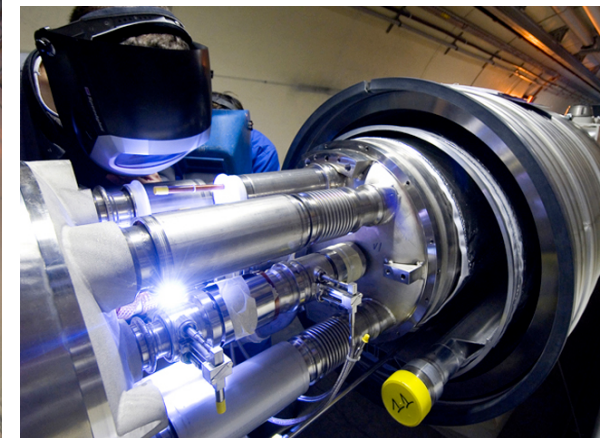
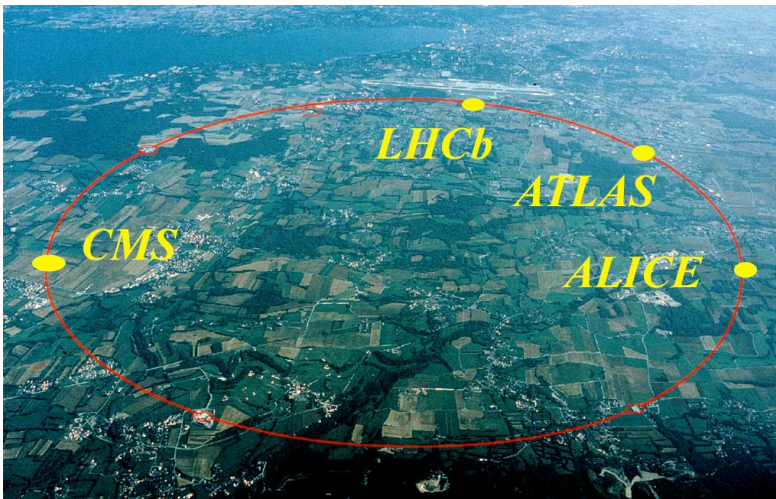
✓ Conclusioni

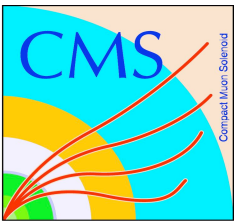


Large Hadron Collider

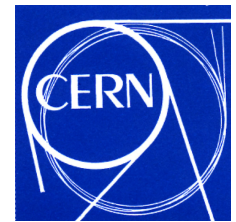


- ✓ >1200 magneti superconduttori raffreddati a 1.9 K installati. Campo magnetico fino a 8 Tesla
- ✓ Anello con >27 chilometri di circonferenza a 100 m sotto terra. Oggetto freddo (con $T < \text{CMB}$) più grande dell'universo
- ✓ Energia nel centro di massa (di design per protone-protone) 14 TeV
- ✓ Luminosità istantanea $2 \times 10^{33} / \text{sec/cm}^2$ (fase 1) e $10^{34} / \text{sec/cm}^2$ (fase 2)
- ✓ Fino a 20 interazioni per bunch crossing ("pile-up")
- ✓ Frequenza di bunch crossing ~ 40 MHz
- ✓ Energia totale del fascio 360 MJ
- ✓ Energia accumulata nei magneti ~ 100 GJ

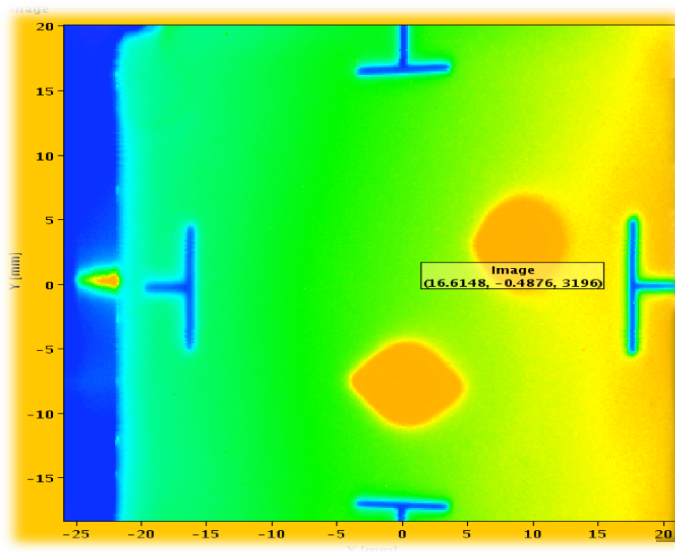
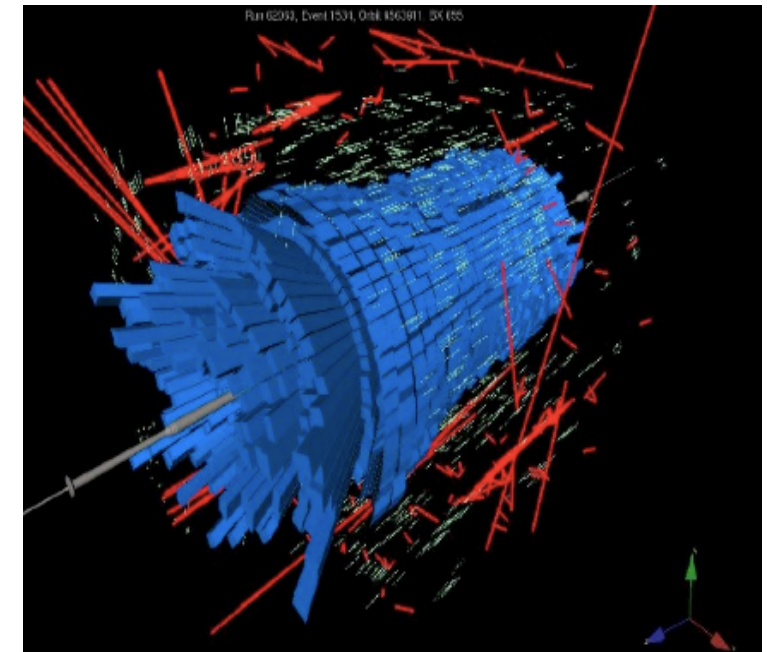




10 Settembre 2008

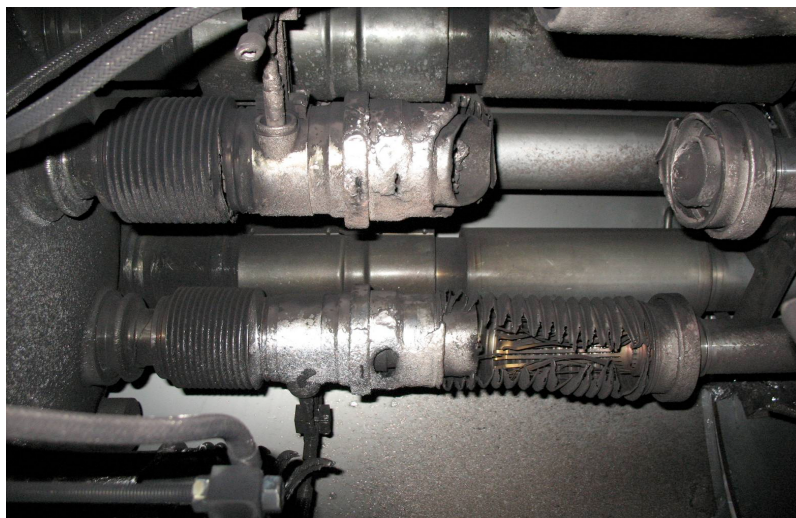


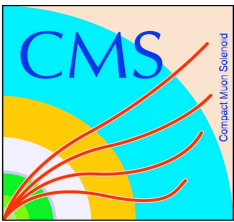
- ✓ Primi fasci circolanti attorno all'anello.
- ✓ Energia di iniezione, no collisioni
- ✓ Tutto ha funzionato alla perfezione, fascio catturato in poche ore
- ✓ Successo incredibile, celebrato dai media di tutto il mondo



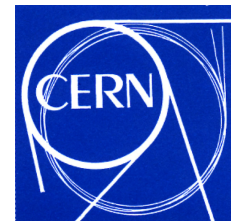
19 Settembre 2008

- ✓ Da lì a poche ore le prime collisioni
- ✓ Tutta la macchina già testata alla massima energia (=massima corrente nei magneti) a parte un settore..
- ✓ Interconnessione tra due magneti (saldatura dei cavi di Rutherford) fatta male $\Rightarrow R > 0$ (~ 200 nOhm)
- ✓ Temperatura salita, fuori dal regime superconduttivo, arco elettrico, fusa la conduttura, elio liquido a contatto con temperatura ambiente..
- ✓ Onda di pressione, danneggiati magneti per ~ 800 m, vuoto compromesso in ~ 2 km





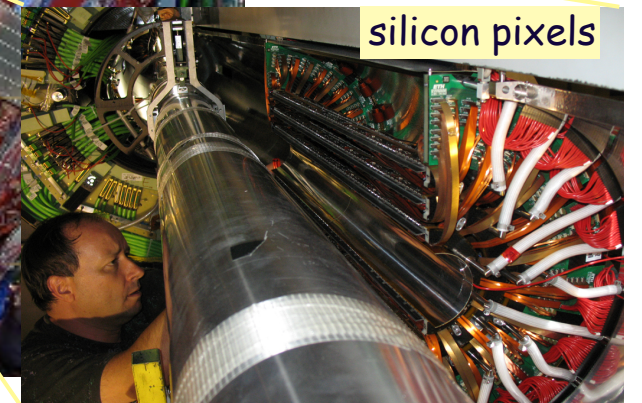
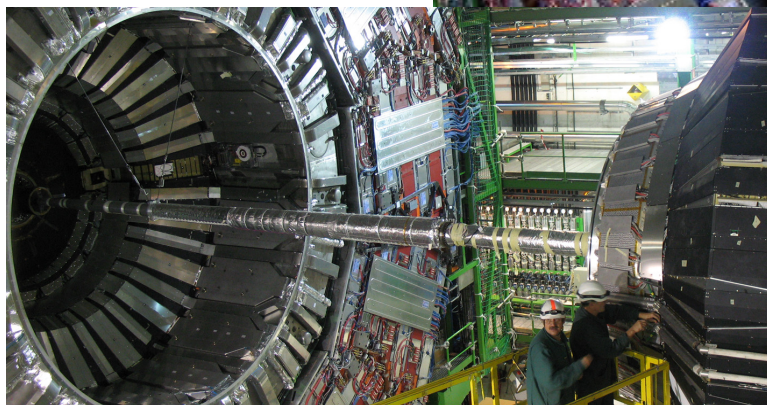
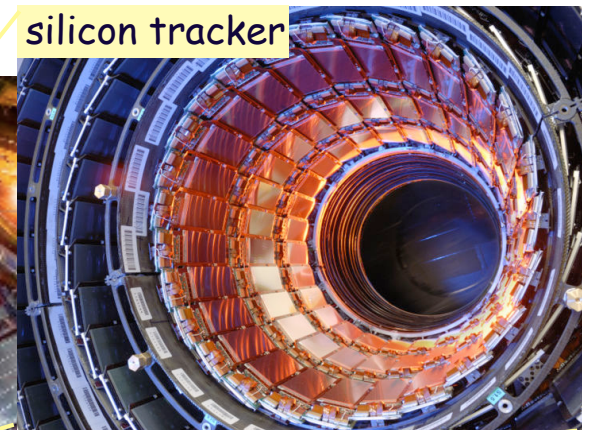
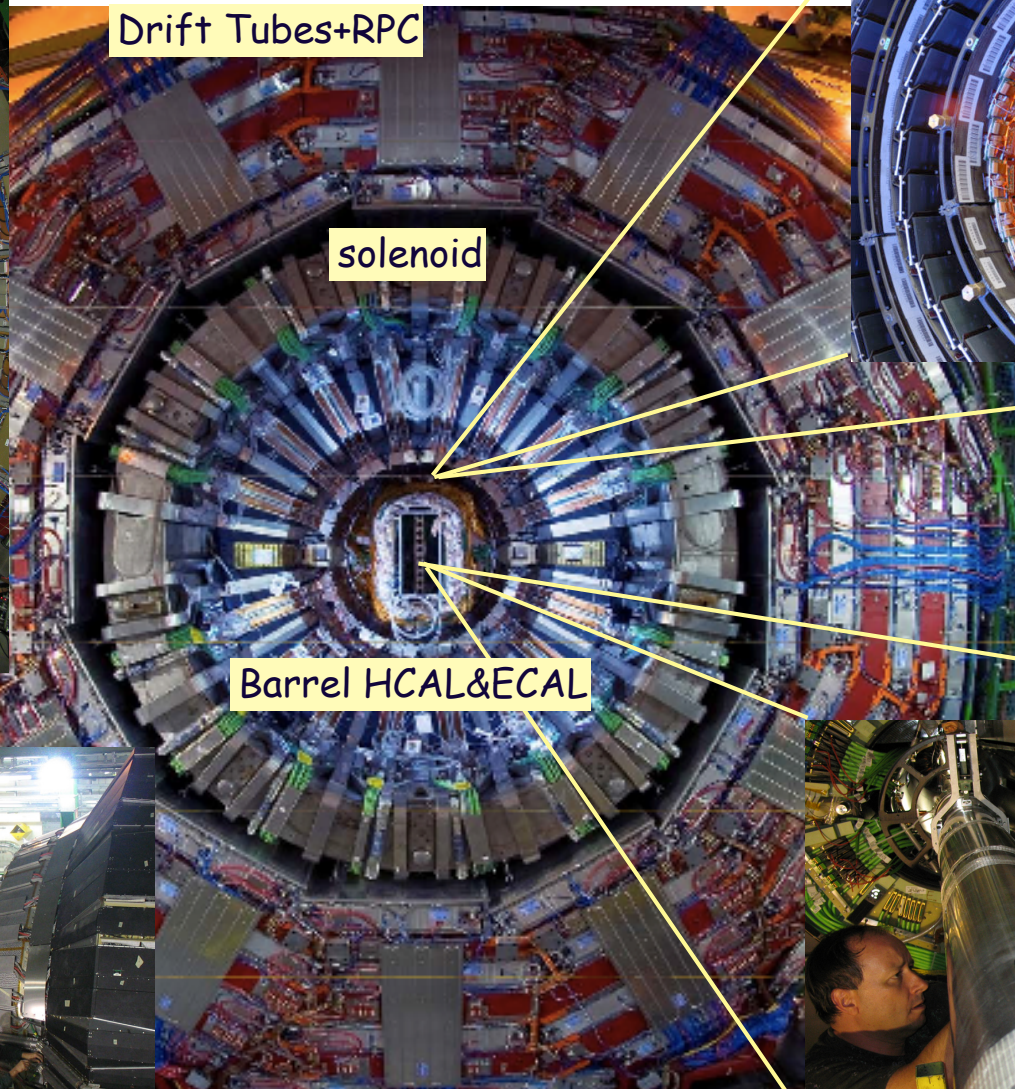
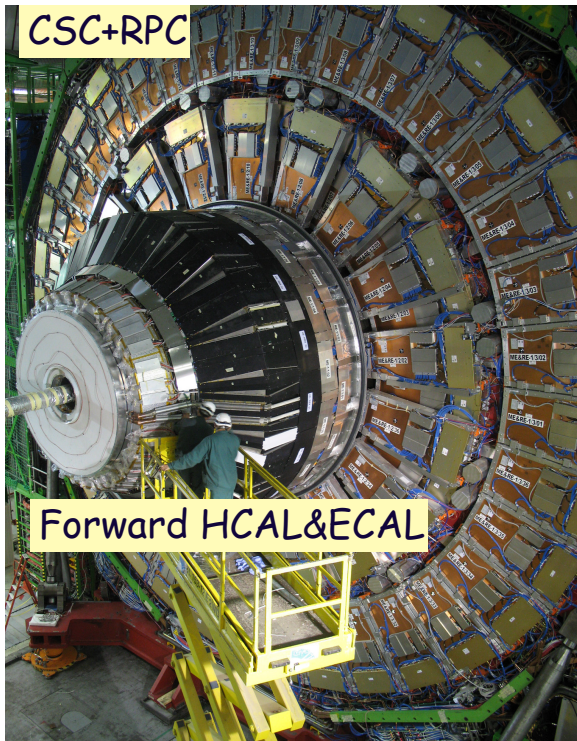
Settembre 2009

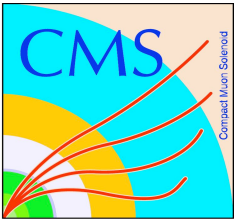


- ✓ Errore che non dovra' e non sara' piu' commesso
- ✓ Messa in sicurezza della macchina prima priorita'
- ✓ Lavori di riparazione delle componenti danneggiate ultimato.
Tutti i magneti sono in posizione
- ✓ Sistema di protezione migliorato di ordini di grandezza.
Sistema per rivelare connessioni fatte male ora ultrasensibile
- ✓ Macchina pronta a partire tra circa 3 mesi
- ✓ Non si vuole perder piu' tempo, nel caso di incertezze sulla qualita' delle connessioni, si limitera' la corrente nei magneti
=> energia delle collisioni piu' bassa (probabilmente 5+5 TeV)
- ✓ Si girera' per fino a fine 2010, 200/pb stimati
- ✓ NB: i numeri relativi alla fisica dell'Higgs a LHC assumono 14 TeV come E nel centro di massa

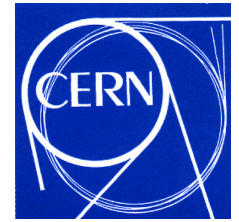


CMS

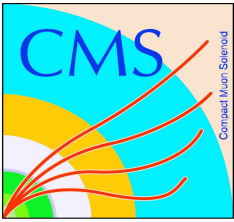




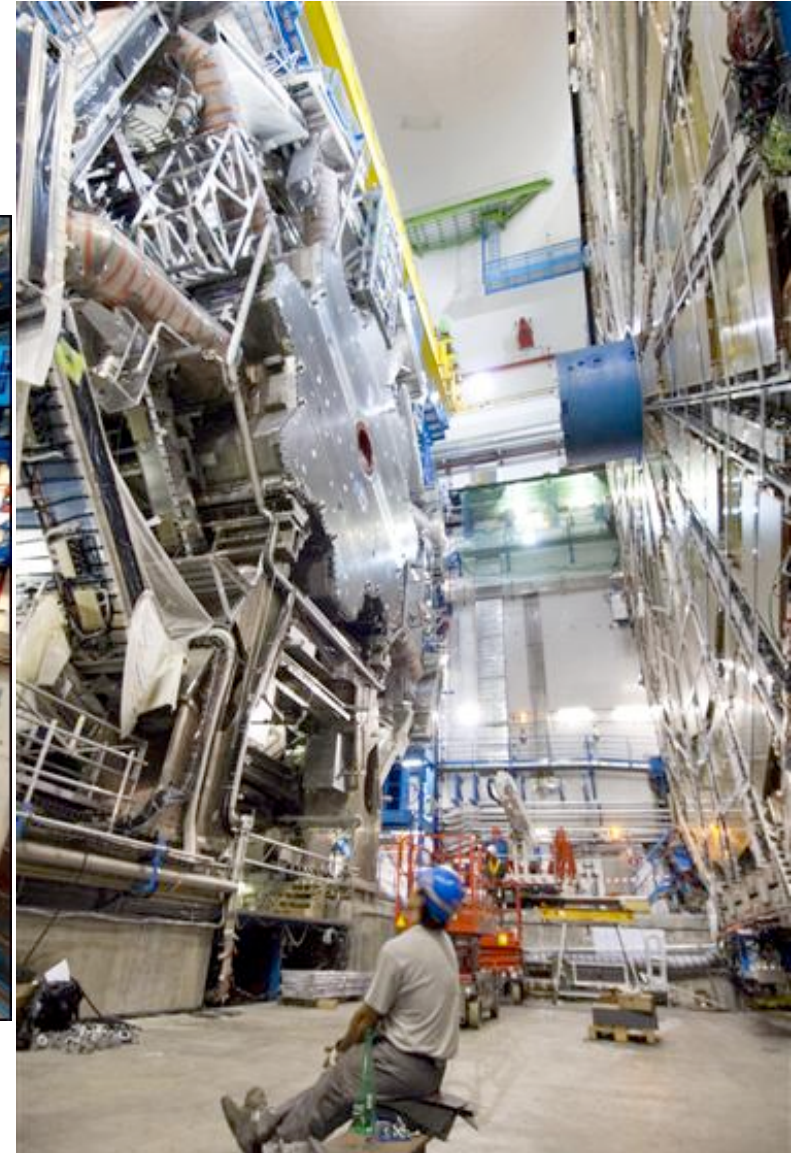
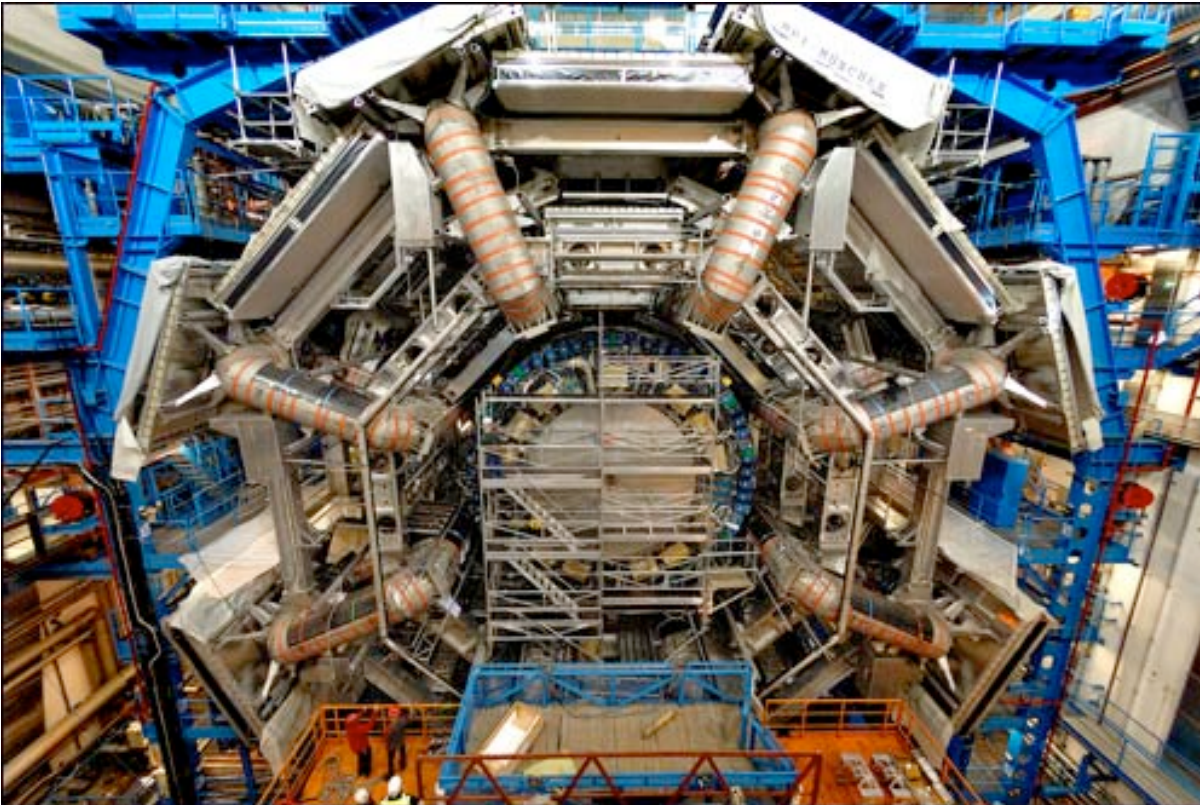
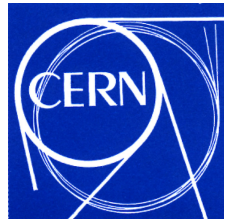
CMS

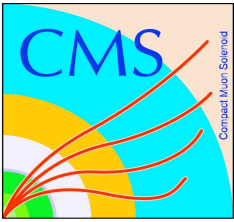


- ✓ Caratteristica principale e' il solenode superconduttore (il piu' grande del mondo) e il giogo di ritorno in ferro in cui sono installate le camere a muoni
- ✓ Design guidato in maniera considerevole dalla ricerca dell'Higgs ($h \rightarrow \gamma\gamma$ e $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$)
- ✓ Sistema per la rivelazione e misura dei muoni eccellente (Padova leader nel camere del barile)
- ✓ Calorimetro elettromagnetico omogeneo a cristalli estremamente performante
- ✓ Tracciatura delle particelle cariche gode dell'omogeneita' e del grande valore del campo magnetico nonche' di un rivelatore centrale a silici molto esteso (grande R), molto preciso (decine di micron) e bassissima occupanza (70 milioni di canali)
- ✓ Trigger ridondante e robusto
- ✓ Calorimetria adronica penalizzata

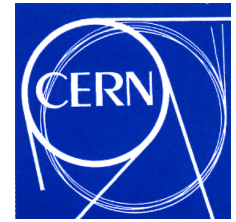


ATLAS





ATLAS

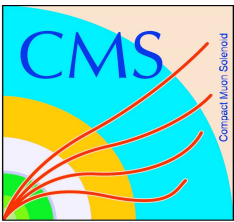


- ✓ Design del campo magnetico ortogonale a CMS. Toroidi superconduttori con camere a mu in aria a grandissimo braccio di leva. Risoluzione in momento costante con la pseudorapidita' e non condizionata dal multiple scattering
- ✓ Buona calorimetria adronica e elettromagnetica
- ✓ Solenoide al centro attorno (non del tutto) al tracciatore (piu' layer di CMS ma occupanza piu' alta)

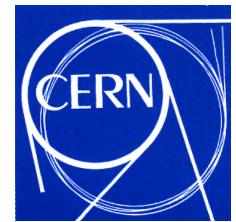


CMS chiuso e pronto per il fascio (3 Settembre 2008, 20.30)

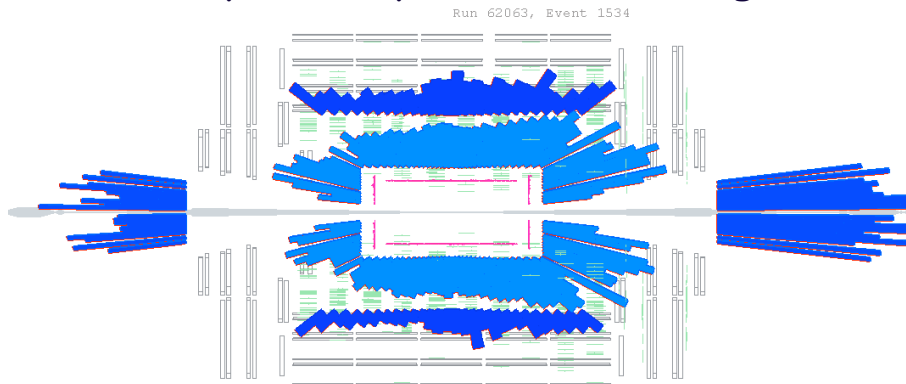




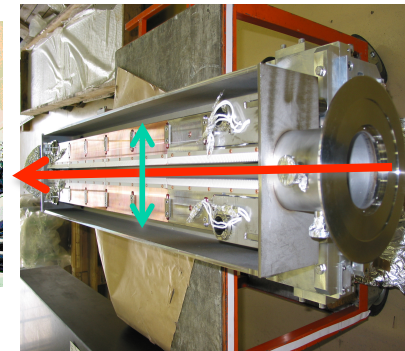
CMS @ 10 September



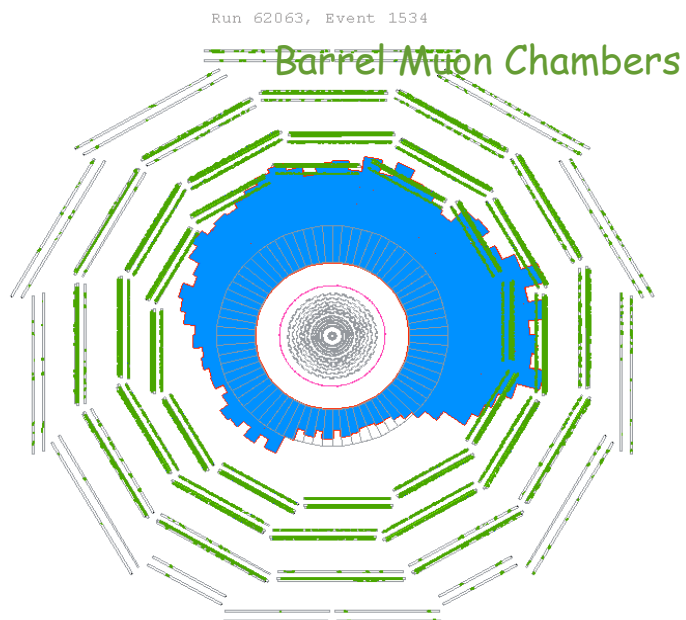
2×10^9 protons per bunch on target: few 10^3 TeV downstream



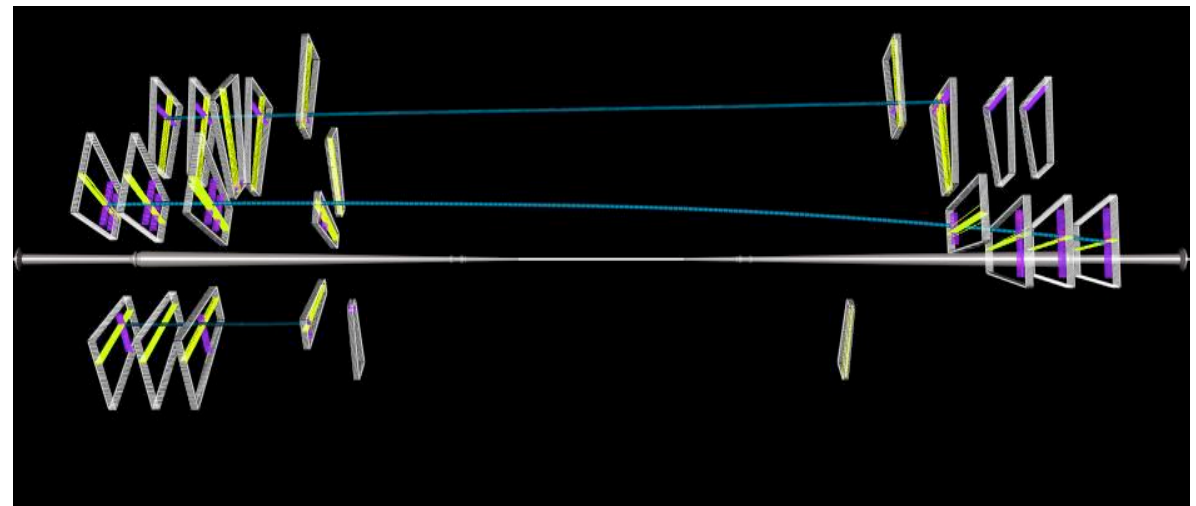
Hadronic Calorimeter



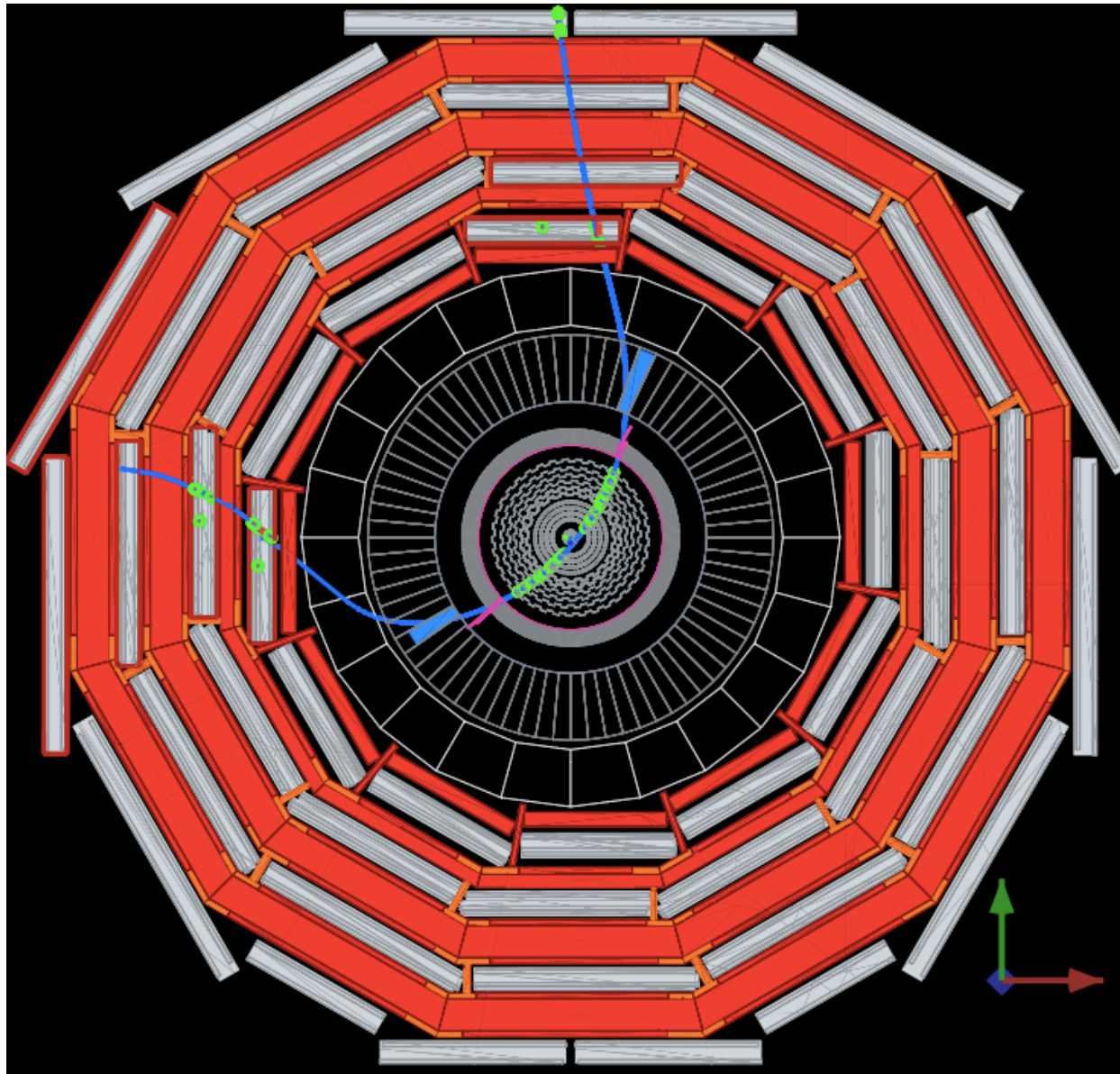
← beam



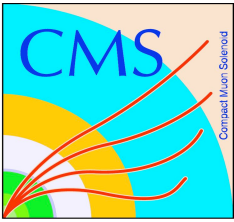
Interazione del fascio con gas: "beam halo"



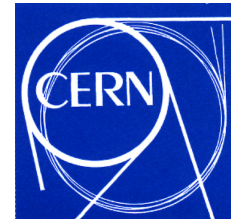
E nel frattempo che facciamo?..



Raccogliamo quintalate di cosmici



Preparazione al fascio



- ✓ Ci vogliono mesi (anni) ad essere efficaci nel fare misure di fisica
- ✓ Vanno presi molti dati prima di ottenere padronanza di uno strumento scientifico così complesso:
 - Imparare a runnare l'esperimento. Capire i problemi e risolverli
 - Calibrare la risposta dei sottorivelatori
 - Allineare le componenti
 - Validare la simulazione di Monte Carlo
- ✓ Grazie alla quantità di cosmici accumulata (e al ritardo di LHC..) mai nella storia della fisica delle alte energie esperimento e' arrivato così pronto alla presa dati su fascio



L'Higgs a LHC

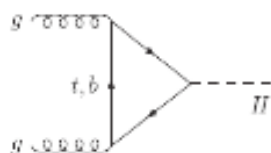


- ✓ La "filosofia" per la ricerca dell'Higgs e' la stessa che a Tevatron
- ✓ Tipicamente anche in un dato un singolo evento non si potra' dire che li' l'Higgs e' stato prodotto=> Analisi statistica dei dati per evidenziare presenza di un segnale sul fondo
- ✓ Sezione d'urto di produzione molto piu' alta => piu' alta la frequenza con cui verra' prodotto dalla macchina
- ✓ Diverso rapporto segnale-fondo: tipicamente favorevole in tutto lo spettro di massa
- ✓ Ambiente piu' ostile: a regime collisioni ogni 25 ns e grande pile-up

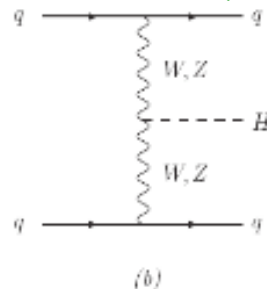


L'Higgs a LHC: produzione

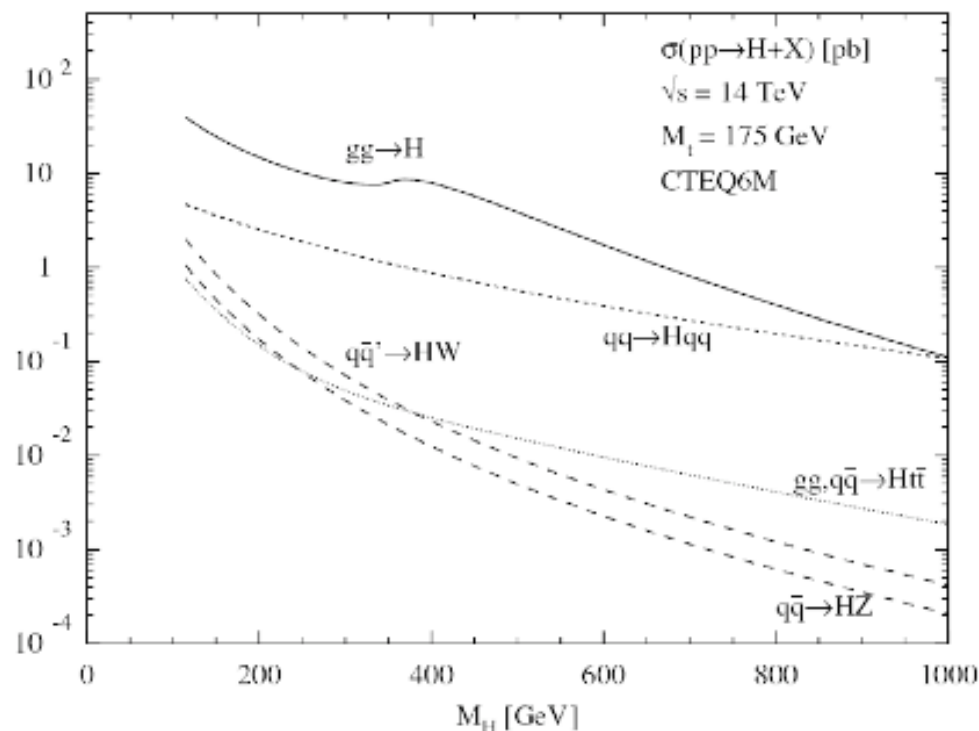
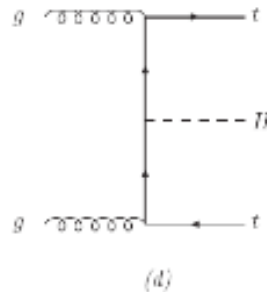
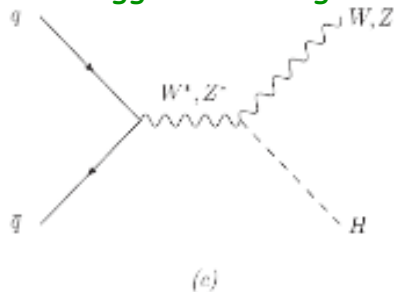
gluon- gluon fusion



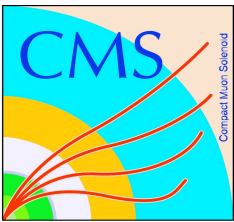
vector boson fusion



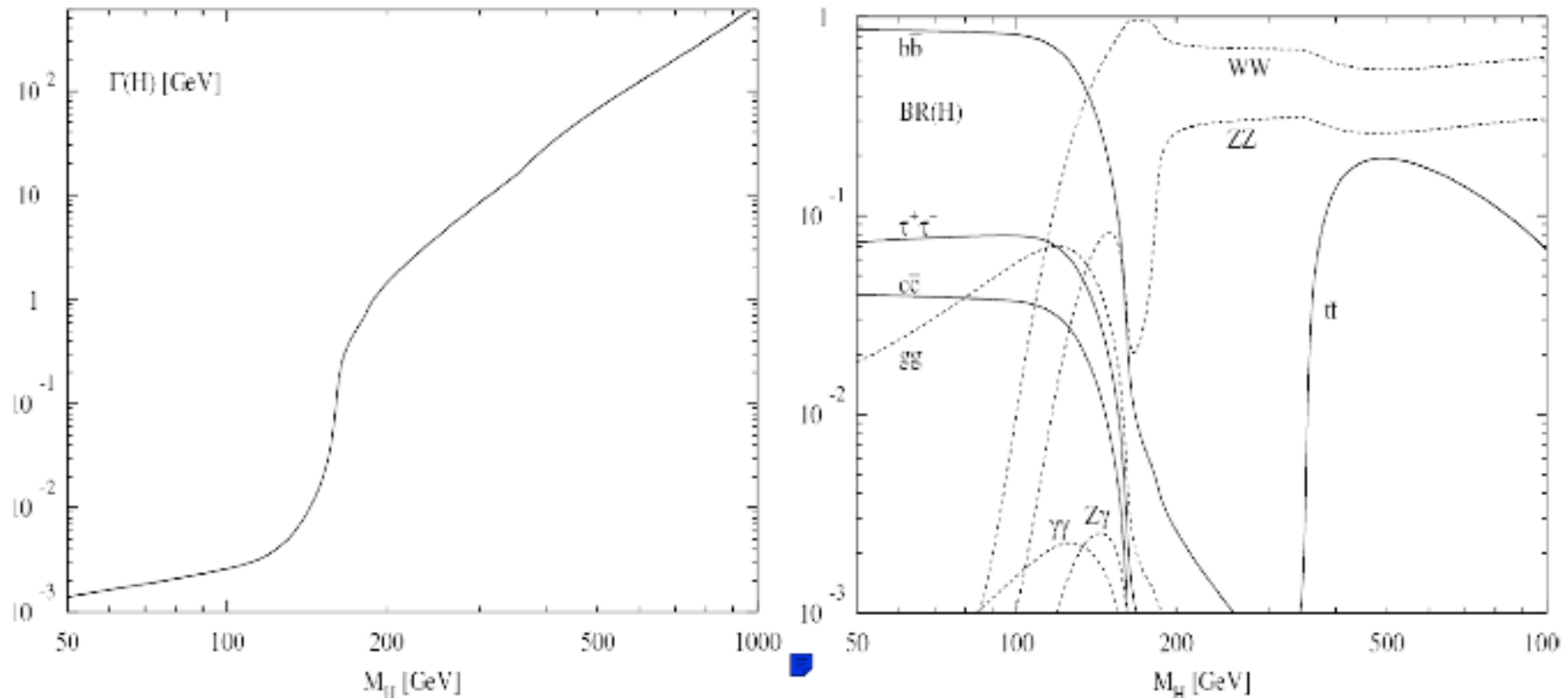
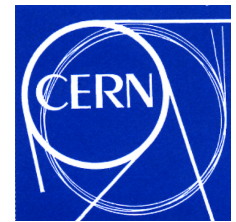
Higgs-strahlung



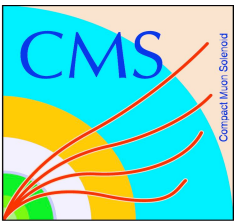
- ✓ $gg \rightarrow h$ (gluon-gluon fusion) meccanismo di produzione principale in tutto range di massa
- ✓ $O(10)$ pb per $m_h < 200$ GeV $\Rightarrow$ 1 higgs ogni 30 sec a $L = 2 \times 10^{33} / \text{sec/cm}^2$
- ✓ "Vector boson fusion" ha sezione d'urto non trascurabile. Importante per determinare le proprietà dell'Higgs. (NB: WW divergente sopra 800 GeV)
- ✓ Altri canali di produzione importanti per le basse masse



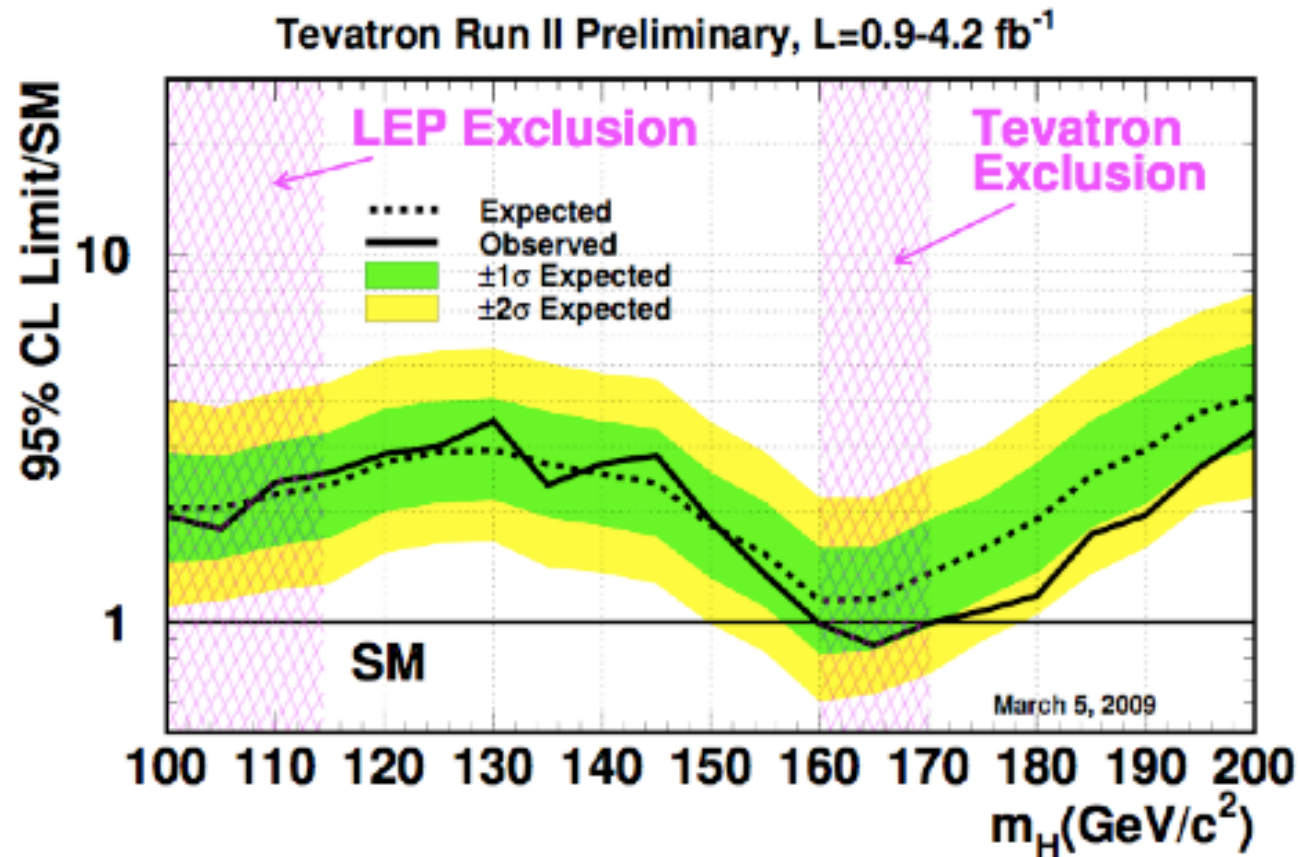
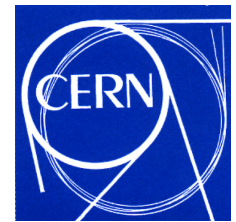
L'Higgs a LHC: decadimento



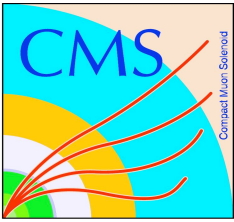
- ✓ $b\text{-}b_{\text{bar}}$ decadimento dominate fino a $m_h < 130$ GeV. Sommerso dal background
- ✓ WW domina in tutto il resto del range di massa
- ✓ ZZ ("golden channel") si apre a $m_h > \sim 2m_Z$
- ✓ $\Gamma < 1$ GeV per $m_h < 200$ GeV, poi cresce linearmente con la massa: si puo' considerare ancora risonanza?



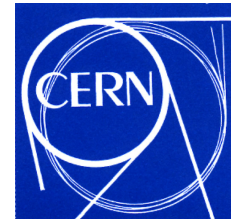
Implicazioni dei limiti su m_h



- ✓ Tevatron ha escluso al 95% CL la regione piu' favorevole per la scoperta dell'higgs a LHC
- ✓ Ogni risultato sperimentale va comunque confermato in maniera indipendente
- ✓ Ad LHC si esplorerà tutto il range di massa
- ✓ In sostanza non ci crediamo finche' non lo vediamo



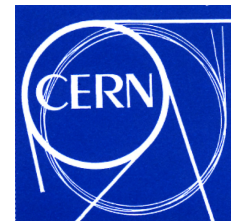
L'Higgs a LHC: canali di ricerca



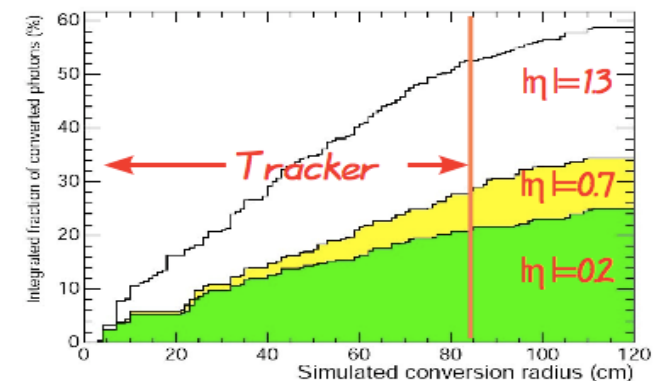
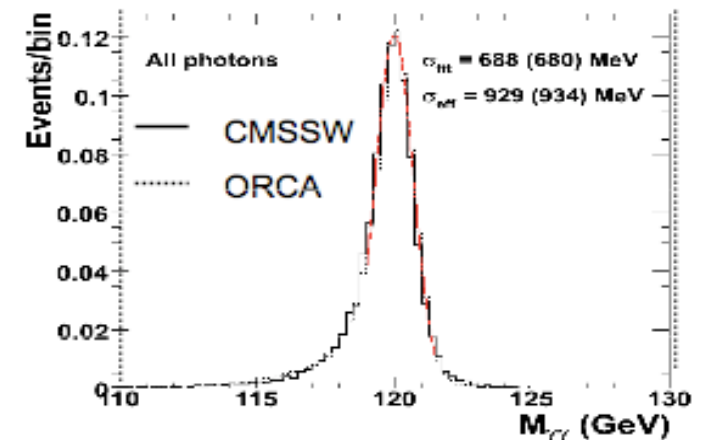
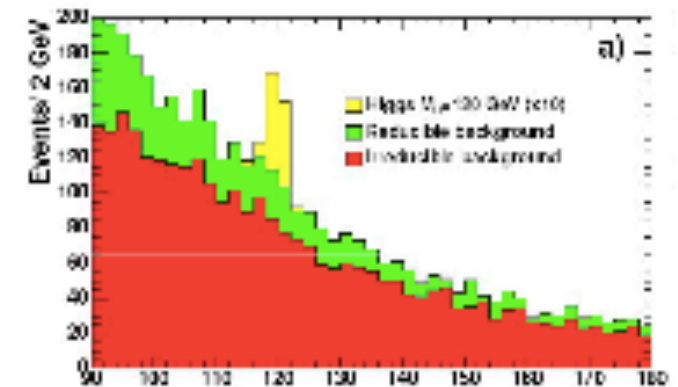
- ✓ Si cercano tipologie di produzione e decadimento che abbiano le caratteristiche tali da poter dar evidenza di un eccesso di segnale sul fondo
 - Topologia peculiare
 - Sezione d'urto non trascurabile
- ✓ Molto spesso comunque per avere S/B ragionevole e' necessaria rejezione del fondo $O(10^5)$. Non banale descrivere con i Monte Carlo con precisione spazio delle fasi cosi' ristretto
- ✓ Canali principali:
 - $115 < m_h < 130 \text{ GeV}$: $h \rightarrow \gamma\gamma$
 - $130 < m_h < 150 \text{ GeV}$ & $180 < m_h < \Lambda \text{ GeV}$: $h \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$
 - $150 < m_h < 180 \text{ GeV}$: $h \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$
- ✓ Molte altre signature complementari alle precedenti
 - Esempio: Higgs-strahlung a con $h \rightarrow b\bar{b}$ molto bustato (bassa massa)
- ✓ Alla fine i risultati di tutte le analisi vengono combinate assieme



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



- ✓ Segnatura pulita, ma S/B molto sfavorevole:
 - Background da QCD ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$) enorme
 - BR del segnale ridicolo. Ampiezza molto stretta
- ✓ Necessaria una risoluzione energetica eccellente per vedere picco stretto
 - CMS meglio di ATLAS
- ✓ Problema serio posto dal materiale in fronte al calorimetro elettromagnetico: i fotoni convertono in $e^+e^- \Rightarrow$ necessario buon tracking per il recupero di questi eventi
- ✓ Fondamentale ricostruire il vertice primario (5 cm la lunghezza dei fasci) per determinare con precisione la direzione (per il computo della massa invariante)

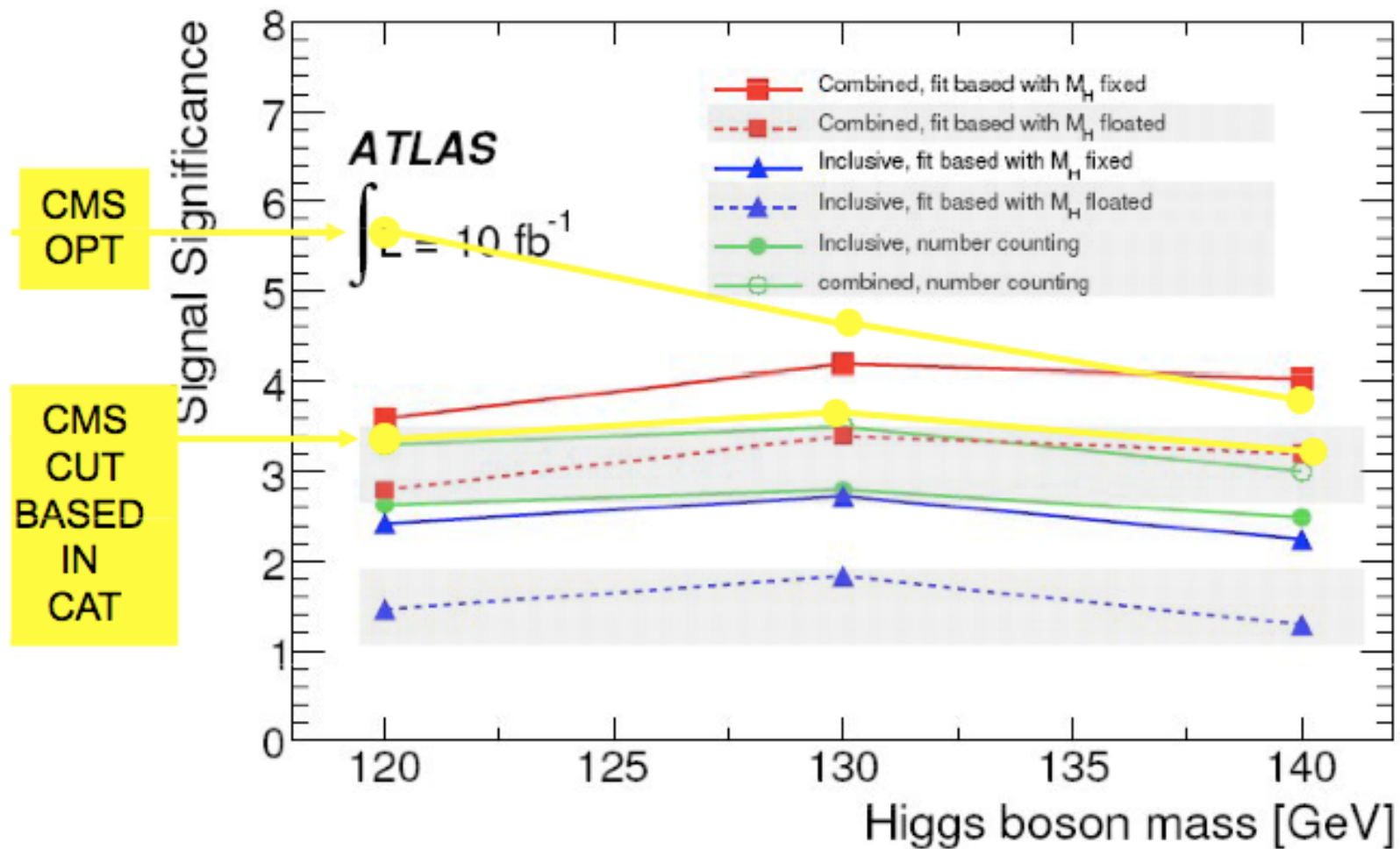


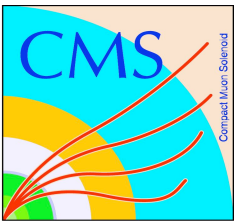


$H \rightarrow \gamma\gamma$

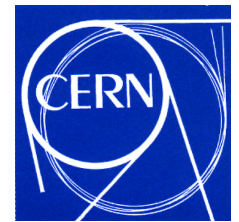


Esempio: ATLAS e CMS con 10 fb⁻¹

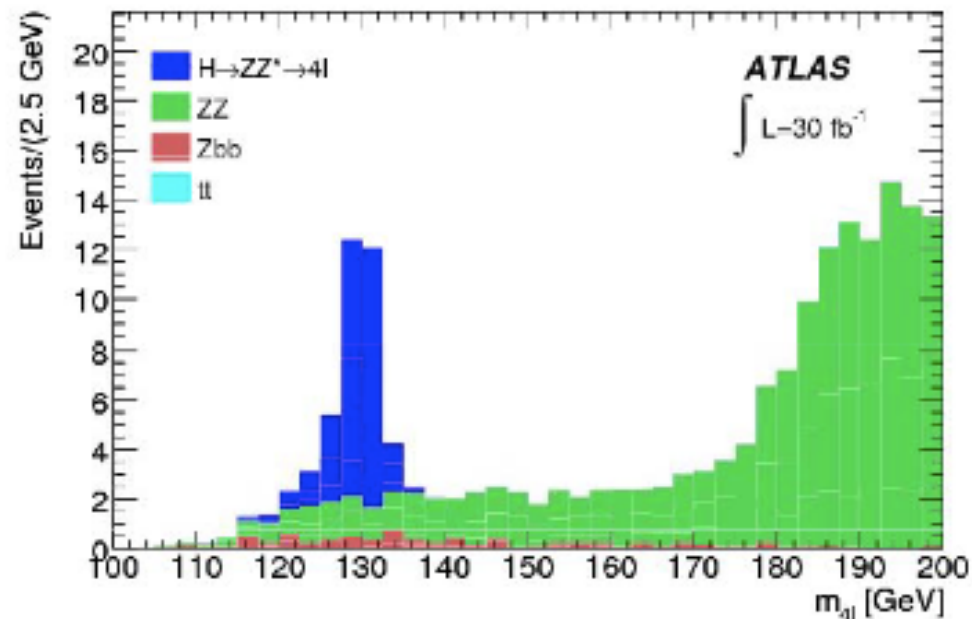




$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

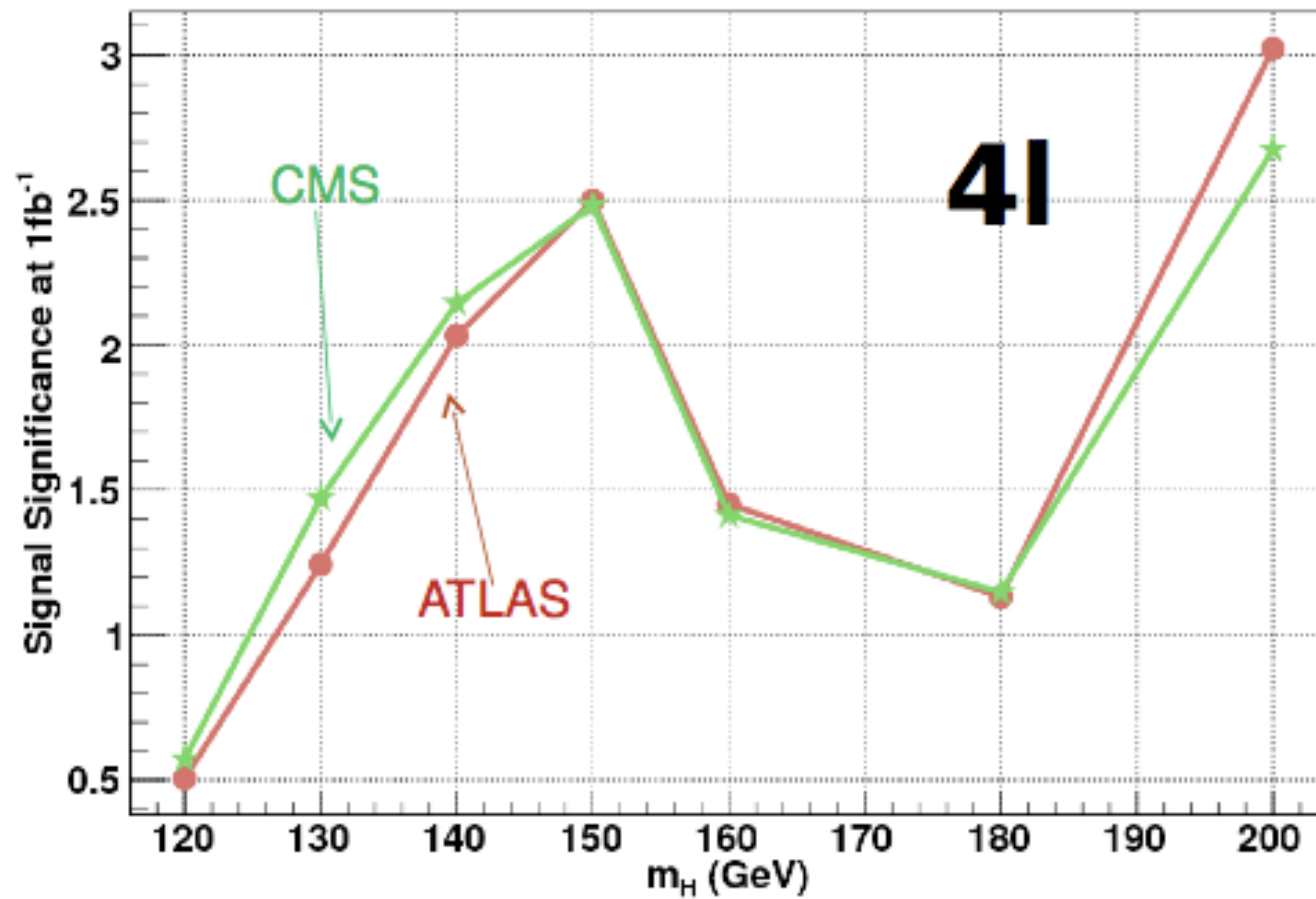
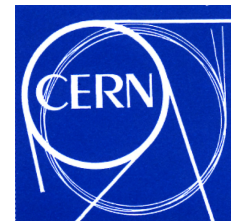


- ✓ Canale piu' semplice e piu' evidente ("golden channel"). Si potrebbe quasi guardare in linea..
- ✓ Sezione d'urto piccola (BR della Z sfortunato)
- ✓ Canale piu' appropriato per misurare la massa, l'ampiezza ed i numeri quantici dell'Higgs
- ✓ Richiede comunque un'ottima conoscenza delle sistematiche (PDF, scala di momento di mu e elettroni, etc)





$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$





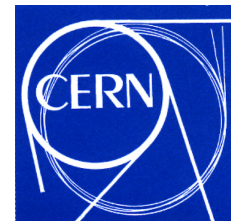
$H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$



- ✓ Canale favorito per la sezione d'urto.
- ✓ Segnatura pulita: 2 leptoni isolati e ad alto momento, importante MET e nient'altro nel rivelatore
- ✓ Niente picco nella distribuzione in massa invariante: attenzione ai fondi:
 - WW , $t\bar{t}$, top singolo, Drell-Yan, etc
- ✓ Necessario controllare il background usando i dati, non ci si può fidare del Monte Carlo
- ✓ Background principale (irriducibile) è la produzione di WW non risonante
 - Variabile discriminante è l'angolo tra i leptoni (higgs scalare, W decay definito dalla struttura V-A delle interazioni deboli)
- ✓ Da considerare come decadimento anche per la produzione via Vector-boson-fusion

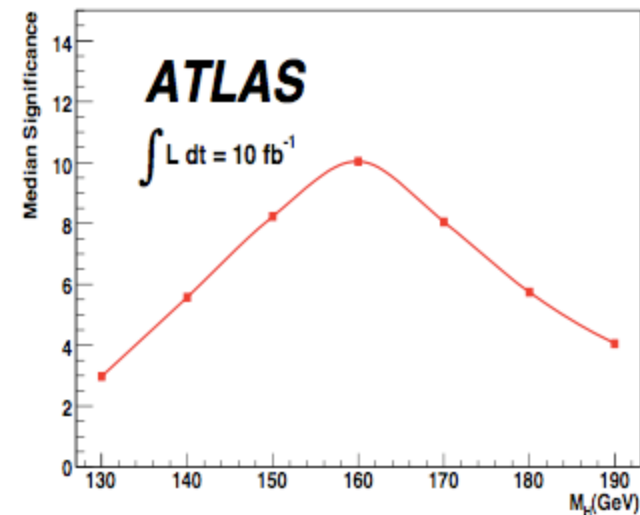
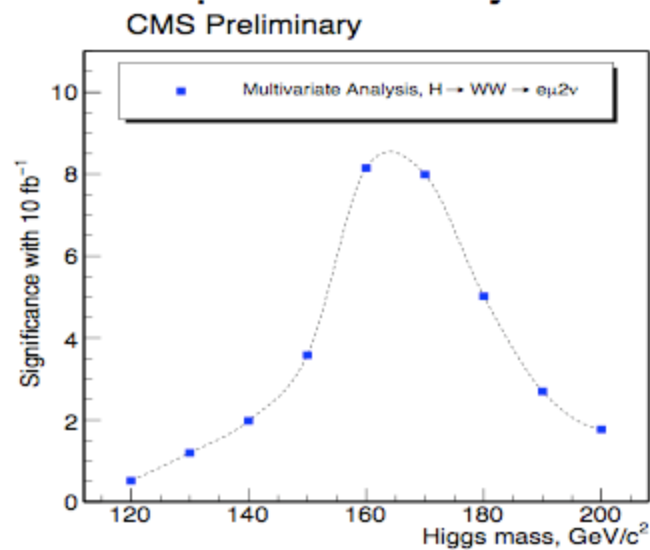
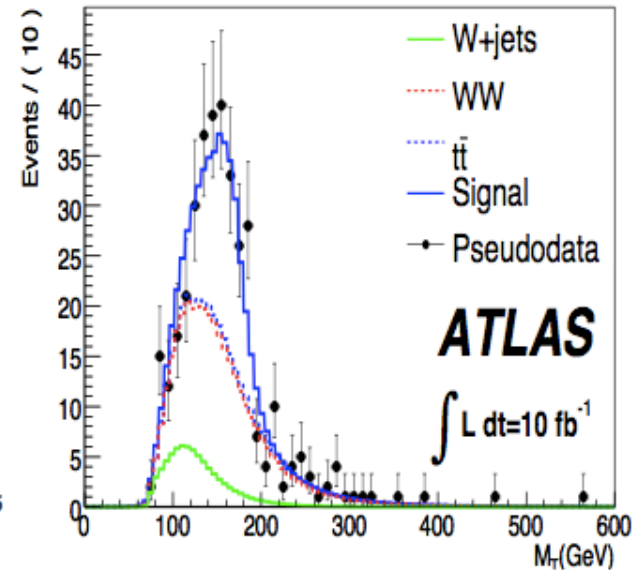
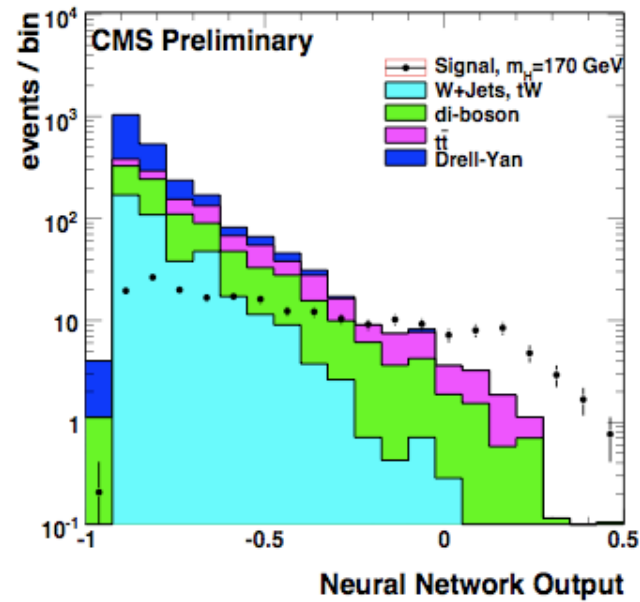


$H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$



1 fb⁻¹ optimized analysis

10 fb⁻¹ optimized analysis



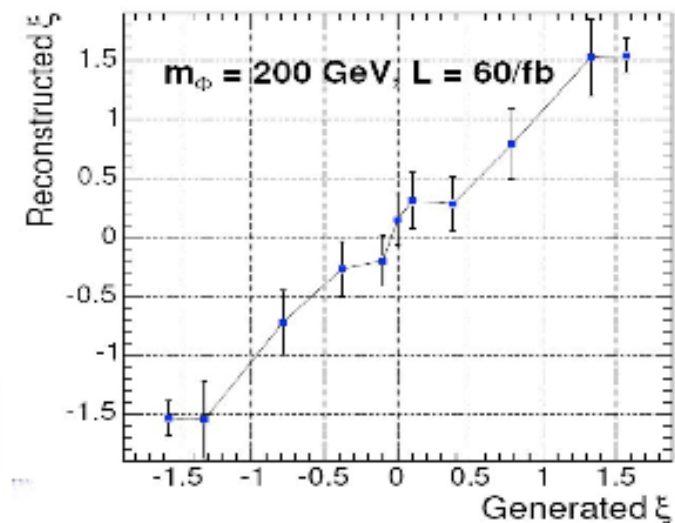
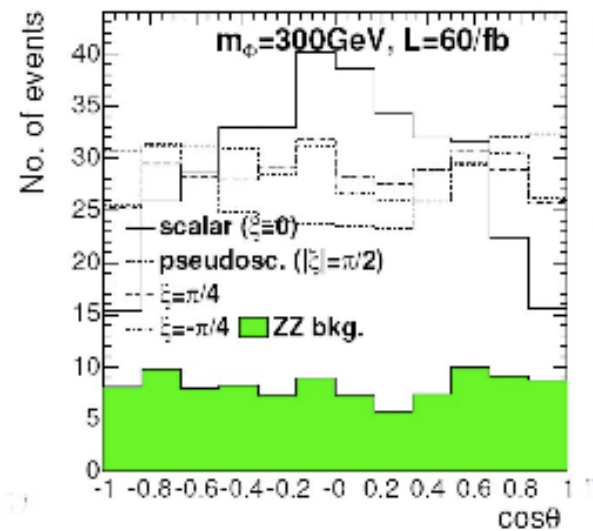
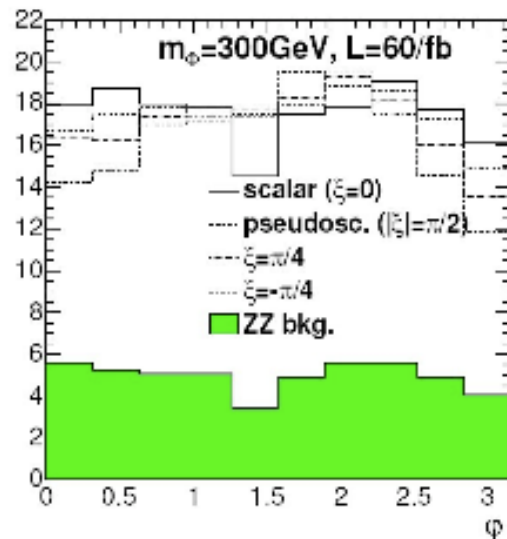
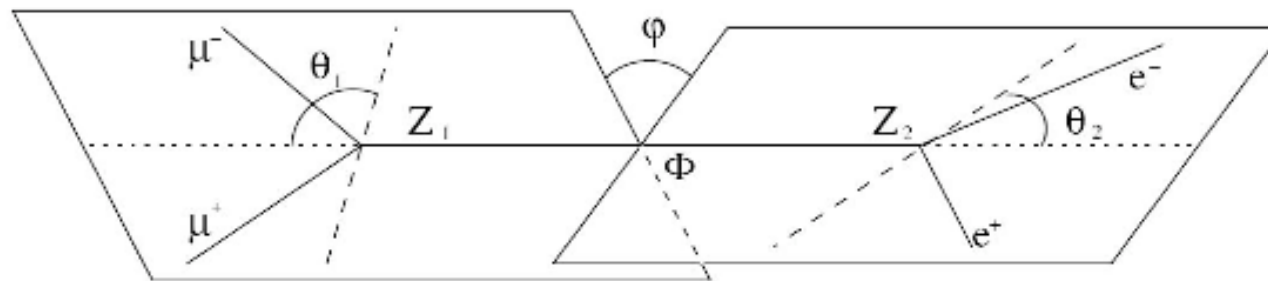
Misura dei numeri quantici

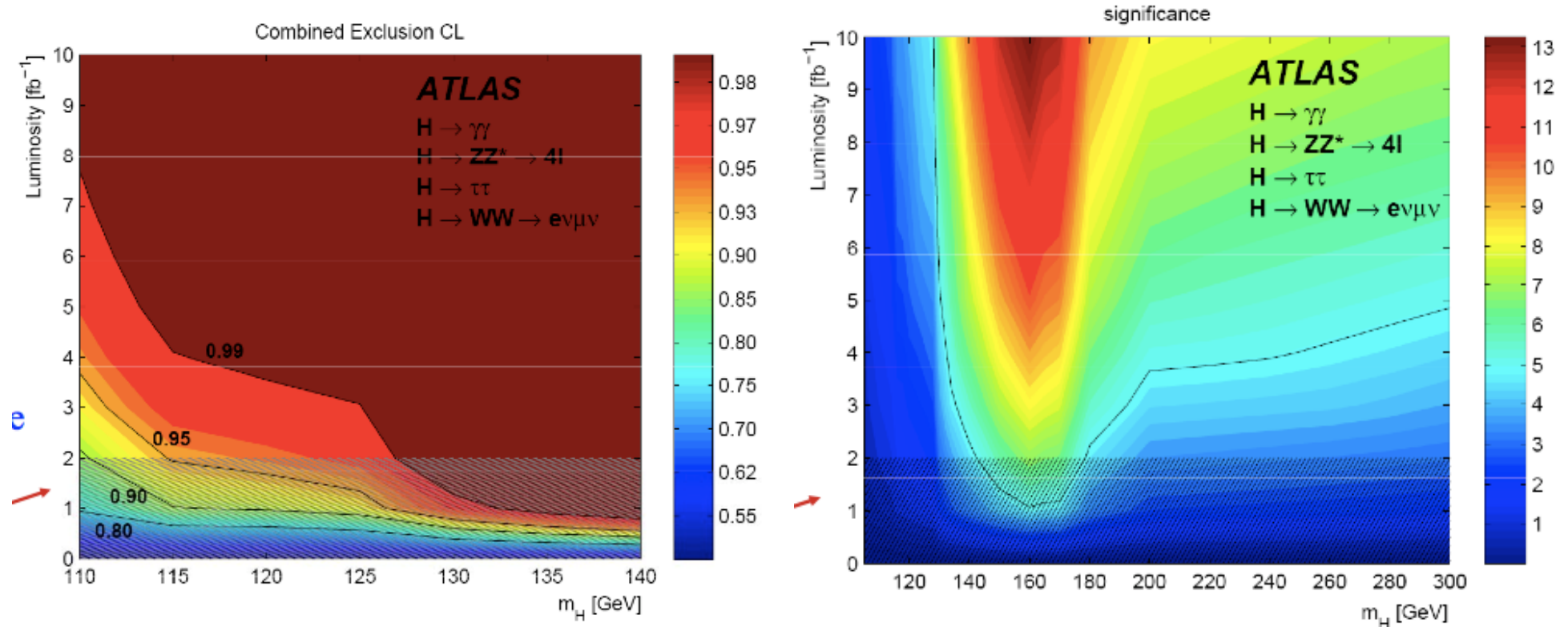
CP Properties

$$C_{\Phi VV} = \kappa \cdot \delta^{\mu\nu} + \frac{\tan(\xi)}{m^2} \cdot \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} k_{1\rho} k_{2\sigma}$$

$$d\sigma(\tan(\xi)) \sim H + \tan(\xi) I + \tan(\xi)^2 A$$

Scalar CP violating PseudoScalar



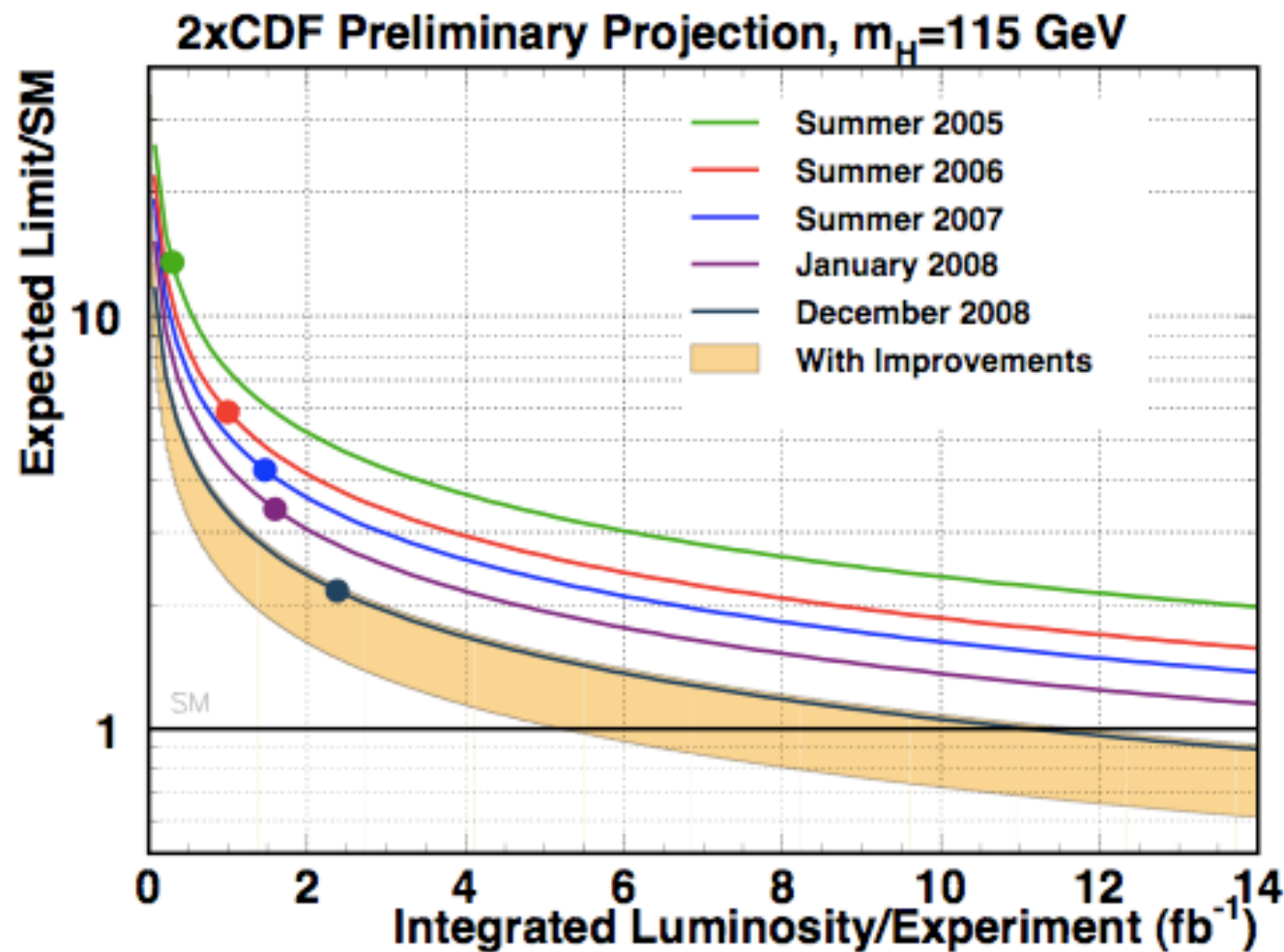


ATTENZIONE:

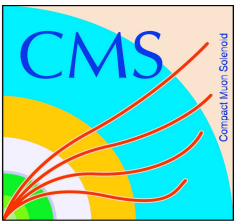
- ✓ Risultati per $E=14$ TeV
- ✓ Solo alcuni canali e solo per ATLAS (CMS analogo)
- ✓ Vanno combinate tutte le analisi e i 2 esperimenti assieme
- ✓ E poi..



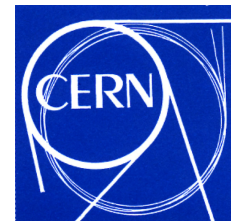
L'Higgs a LHC: come lo si studia?



Faremo lo stesso anche noi?
certo..

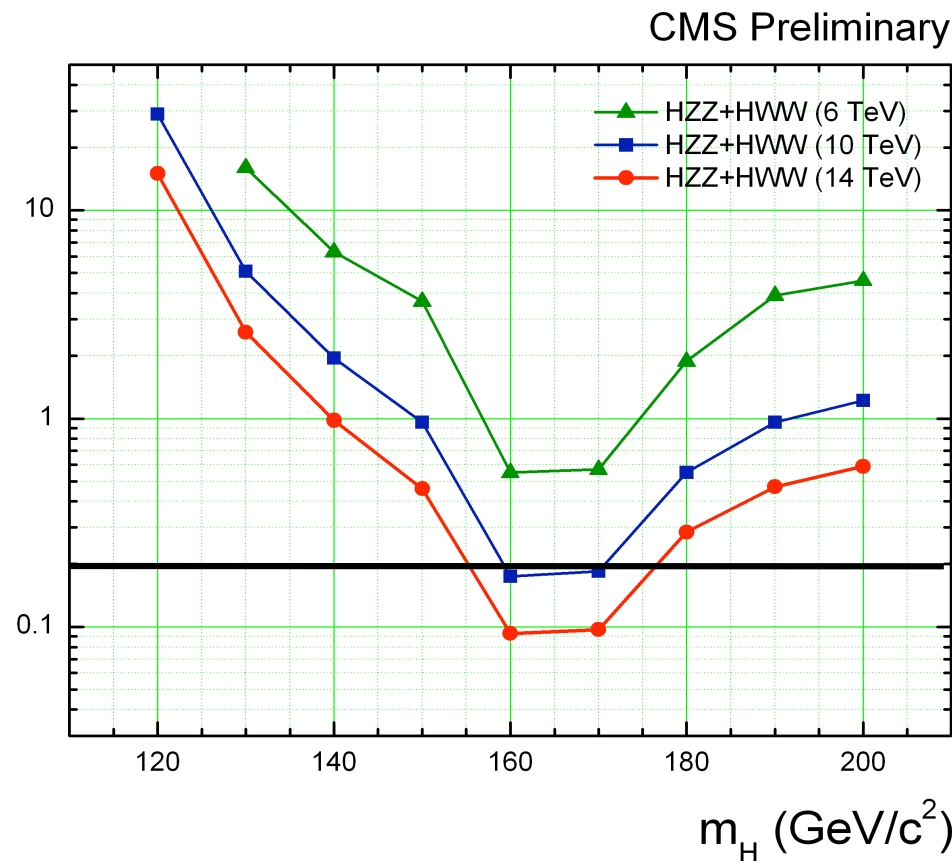


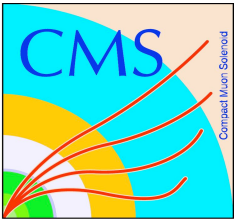
Scenari per LHC nel 2009



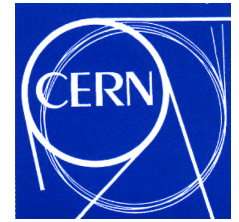
	6 TeV	10 TeV	14 TeV
gg->h	0.19	0.54	1
WW	0.32	0.65	1
DY	0.37	0.68	1

Luminosity for 95% CL exclusion (fb^{-1})





Conclusioni



- ✓ Siamo partiti alla grande, purtroppo rallentati dall'incidenti di LHC
- ✓ Niente paura. La macchina sara' in funzione in autunno e gli esperimenti sono prontissimi
- ✓ Il primo anno sara' molto emozionante e nessuno puo' predire con certezza le sorprese che troveremo



Backup