

Luciano Maiani:
Lezione Fermi 9
La verita' nella scienza: esiste?

Sommario

1. Il Metodo Scientifico
2. Il criterio di “Falsificabilità” di Karl Popper (1902 - 1994)
3. La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche: Thomas Kuhn (1922 -1996) e le derivate “anarchiche”
4. Steve Weinberg vs. Kuhn
5. Il bosone di Higgs
6. Oltre il “Modello Standard” ?



**Dubbi e Certezze della Scienza Moderna dal
Punto di Vista di un Fisico**

*Luciano Maiani, Professore Emerito di Fisica Teorica,
Università di Roma "La Sapienza"*

Fondazione Niels Stensen, Firenze, 13 Ottobre 2012

**Dubito
ergo
sum**

l'esperienza
e l'intelligenza del dubbio



4 OTTOBRE 2012 - 16 MARZO 2013
AUDITORIUM STENSEN

Introduzione

- Il dubbio e la curiosità sono i motori principali della ricerca;
- quelli che ci spingono a fare calcoli complessi o mettere su esperimenti difficili;
- per capire se le cose stanno come sembra, o come ci dicono che siano.
- Quanto alle certezze, dobbiamo mettere d'accordo il successo delle nostre previsioni con il fatto che la “verità” non è perfettibile:
- in che senso possiamo “essere certi” che qualcosa si verificherà proprio nel modo previsto dalle nostre leggi
- e spiegare allo stesso tempo il progresso della Scienza, che è sotto gli occhi di tutti?

1. Il Metodo Scientifico

- Il metodo scientifico, nato in Italia con Galileo Galilei, cerca di inquadrare i fenomeni naturali in uno schema coerente di leggi, che si esprimono in termini matematici: *La filosofia è scritta in questo grandissimo libro... (io dico l'universo)... Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.* (Il Saggiatore).
- Le nostre teorie, ad esempio la teoria che la Terra giri intorno al Sole e non viceversa, sono ipotesi di lavoro, che possiamo/dobbiamo tenere o scartare, a seconda che l'osservazione le sostenga o no;
- Ma un altro contributo non meno importante di Galileo è il ricorso ad esperimenti "ideali", in cui, per mettere in luce gli aspetti fondamentali del fenomeno, eliminiamo certi aspetti accessori, ad esempio l'attrito o la resistenza dell'aria, che potremo richiamare in causa successivamente. Questo è il modo con cui Galileo arriva al "Principio d'inerzia" e l'inizio della Scienza moderna, con suoi apparati e i suoi laboratori.

2. Il criterio di “Falsificabilità” di Karl Popper (1902 - 1994)

- I dati dei nostri esperimenti, essendo affetti da errori inevitabili, non ci permettono di “verificare” le previsioni di una teoria.
- Possono però permetterci di escluderla, quando gli errori diventano più piccoli degli scarti tra teoria ed esperimento.
- Il progresso scientifico, secondo Karl Popper, è basato sul fatto che una teoria scientifica è in grado di fare previsioni che possono essere “falsificate” dagli esperimenti, cioè trovate in fallo, per essere rimpiazzata da una teoria che sia meglio in accordo con i dati.
- Anzi, il discrimine tra teorie scientifiche e non scientifiche (tra queste Popper include la psicoanalisi e le scienze sociali) passa proprio per la capacità delle prime di fare previsioni “falsificabili”.

Resistenze, Riparazioni e Vie di Fuga

- Che succede quando dei nuovi dati sono in contrasto con le previsioni di una teoria?
- inizia intanto la caccia all'errore sperimentale: sono i dati a rivelarsi fallaci? questa è la soluzione banale (ultimo, spiace dirlo, il neutrino più veloce della luce);
- se questa via fallisce...si cercano spiegazioni che integrino la teoria con elementi aggiuntivi, senza toccarne i principi, in modo da eliminare l'anomalia.
- Nella storia della Scienza abbiamo diversi esempi illustri in cui questa operazione di “riparazione” ha portato ad una migliore comprensione del quadro teorico, con previsioni anche eclatanti;
- ...e casi in cui la riparazione si è rivelata impraticabile: vediamone alcuni.

La scoperta del pianeta Nettuno

- Nello studio dell'orbita del settimo pianeta, Urano, furono messe in evidenza delle discrepanze rispetto a quanto previsto dalla Meccanica di Newton.
- Urban Le Verrier interpretò l'anomalia come un fallimento dell'ipotesi che ci fossero solo sette pianeti (ipotesi non richiesta dalla teoria newtoniana), e calcolò quali avrebbero dovuto essere le caratteristiche e l'orbita di un (allora) ipotetico ottavo pianeta.
- Nel 1846, il pianeta Nettuno fu scoperto esattamente dove previsto dai calcoli di Le Verrier.
- In modo non tanto diverso, sono stati previsti, e poi scoperti, nuovi quark in aggiunta ai tre quark postulati da M. Gell-Mann (1962) per spiegare le particelle subnucleari: “charm” (1970 ➡ 1974); “beauty” (1973 ➡ 1976); “top” (1973 ➡ 1994). Siamo per ora fermi a sei sapori, numero NON fissato dalla teoria, come il numero dei pianeti.



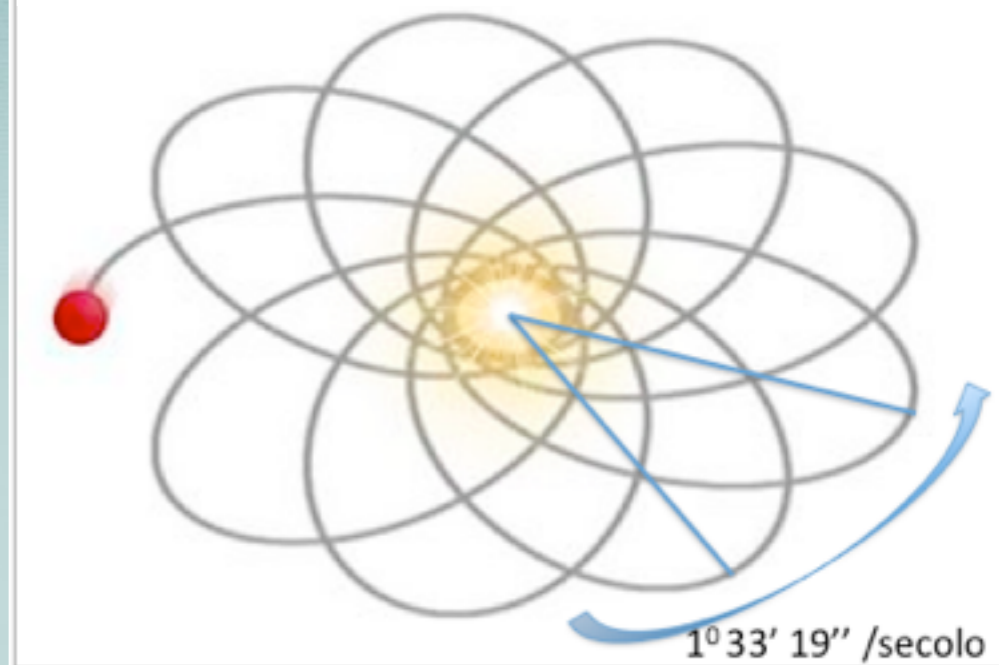
Il Neutrino e le nuove tasse

- La teoria iniziale dei raggi β prevedeva che venissero emessi elettroni inizialmente risiedenti nel nucleo atomico. Secondo la Meccanica Quantistica, gli elettroni avrebbero dovuto avere “tutti” la stessa energia, pari alla differenza tra le energie dei nuclei iniziale e finale;
- una lunga serie di esperimenti mostrò invece che gli elettroni hanno energie statisticamente variabili. Bohr pensò di abbandonare la conservazione dell'energia.
- Questo problema, insieme a quello delle proprietà statistiche dei nuclei messo in evidenza da Franco Rasetti, convinse Wolfgang Pauli che ci voleva qualcosa di diverso, per “salvare” la conservazione dell'energia.
- Nelle parole di Pauli: *..la gravità della situazione dello spettro β continuo può essere resa in modo chiaro con il detto del mio onorato predecessore in carica, Mr. Debye ... 'È meglio non pensarci affatto, come le nuove tasse'.*
- Pauli ipotizza (nel 1930) che una nuova particella sia emessa insieme all'elettrone, particella che Fermi inquadrò nella sua teoria dei raggi β col nome di “neutrino” e che sarebbe stata osservata sperimentalmente nel 1956.

Il Perielio di Mercurio

- L'influenza degli altri pianeti sul moto di Mercurio induce, nella Meccanica di Newton, una lenta rotazione dell'asse dell'ellisse su cui il pianeta si muove per effetto dell'influenza dominante del Sole (precessione del perielio).
- Le Verrier trovò tuttavia che l'avanzamento del perielio di Mercurio è superiore a quanto previsto dalla Meccanica di Newton (anche se di soli 43 secondi d'arco per secolo!!!).
- Le Verrier cercò di attribuire di nuovo l'anomalia all'influenza di un nuovo pianeta (Vulcano) che però non fu mai osservato.
- Nel 1919 Einstein annunciava che la sua Teoria della Relatività Generale era in grado di dare conto, qualitativamente e quantitativamente, dell'avanzamento anomalo del perielio di Mercurio.
- Era nato un nuovo paradigma, oltre la Gravitazione Universale di Newton.

L'orbita di Mercurio



Precessione del perielio (fortemente esagerata).

3. La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche: Thomas Kuhn (1922 -1996) e le derive “anarchiche”

- In un libro del 1962, Thomas Kuhn (*The Structure of Scientific Revolutions*, Univ. of Chicago Press, 2012) descrive le crisi di una visione del mondo (un *paradigma*) sotto la pressione di nuovi dati che la falsificano, paragonando la nascita di un nuovo paradigma ad una rivoluzione vera e propria.
- *Come la scelta tra istituzioni politiche in competizione, quella tra paradigmi in competizione finisce per essere una scelta tra modi incompatibili della vita della comunità* (Struttura, p. 94).
- Il passaggio dalla Meccanica di Newton alla Relatività Generale di Einstein segna certamente una vera e propria rivoluzione scientifica che ha cambiato il nostro modo di vedere lo Spazio e il Tempo. Tuttavia, secondo Kuhn, c'è di più: *la Teoria di Einstein può essere accettata solo riconoscendo che quella di Newton era sbagliata* (ibid. p. 98).

- Quello che Kuhn critica è, di fatto, l'idea che, nelle rivoluzioni scientifiche, la nuova teoria (paradigma) rappresenti un passo verso una teoria più comprensiva, che include la vecchia teoria come caso limite, in un processo di *progresso scientifico genuinamente cumulativo*.
- Il passaggio da un paradigma all'altro è presentato come il salto da un continente che affonda, da dimenticare rapidamente, ad un nuovo territorio da colonizzare.
- La rottura con la visione cumulativa ha aperto la strada a derive anarchiche (Feyerabend) che hanno sempre più accentuato i caratteri storicistici della ricerca scientifica, che nel momento in cui si fa è soggetta ai condizionamenti della società, fino a tentare di destabilizzarne il valore di progresso della conoscenza, che è poi la sua *raison d'être*.

4. Steve Weinberg vs. Kuhn

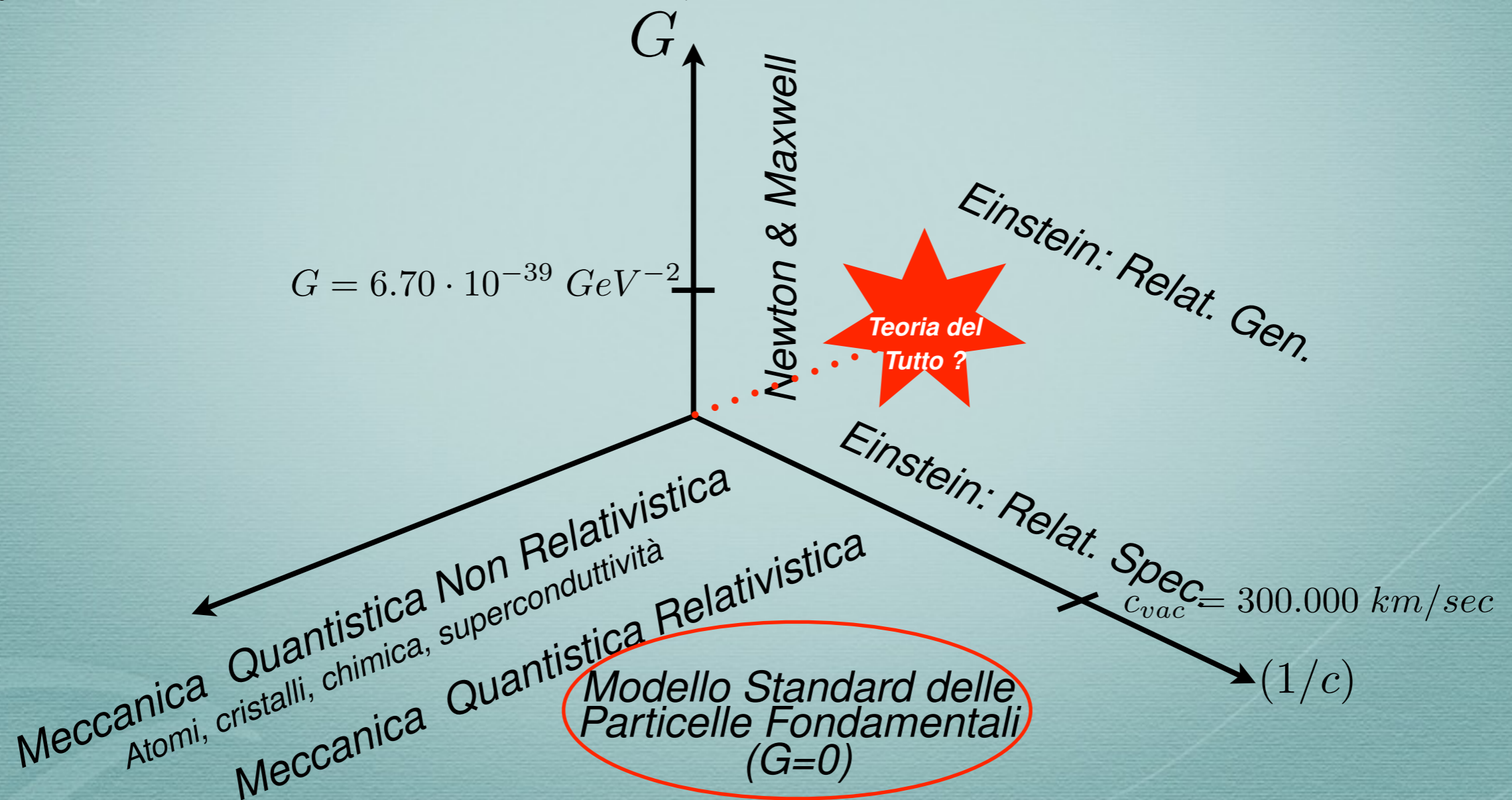
- Nel 1998, Steve Weinberg, Premio Nobel per la Fisica 1989, ha pubblicato una critica profonda alle idee di Kuhn e alle loro derive, soprattutto riguardo alle conclusioni cui Kuhn arriva in *Strutture: dobbiamo, per essere più precisi, abbandonare la nozione esplicita o implicita che i cambi di paradigma portano gli scienziati...più vicini alla verità* (Kuhn, citato da S. Weinberg in *Facing up*, Harvard University Press, 2001).
- Il punto essenziale, per Weinberg, ad es. riguardo alla transizione da Newton ad Einstein, non è la situazione degli scienziati che si sono trovati ad assistere alla rivoluzione, quanto quello che succede dopo, e che sostiene la visione di un progresso cumulativo
- *Il Newtonianismo ha raggiunto la sua forma matura nella prima parte del diciannovesimo secolo attraverso i lavori di... Laplace,..Lagrange e altri, ed è questo Newtonianismo maturo che noi insegniamo ai nostri studenti. Essi non hanno alcun problema a comprenderlo e continuano a comprenderlo e ad usarlo... dopo aver appreso la Teoria di Einstein della Relatività (ibid. p. 195).*

Lo spostamento dei problemi

- Certamente, i problemi e le tecniche del post-relatività non sono più gli stessi dell'Ottocento, ma questa è una conseguenza dello spostamento delle frontiere della ricerca
- E. Segrè descrive così il passaggio della scuola di Roma dalla fisica atomica alla fisica nucleare.
- *Dal 1929 cominciammo a pensare che il centro di interesse della fisica si stava spostando dai problemi atomici a quelli nucleari, Corbino fece pubblicità all'idea in un discorso profetico di quell'anno: ‘..L'unica possibilità di grandi scoperte in fisica sta nella possibilità di riuscire ad attaccare il nucleo atomico...’. Queste la parole, ma ad esse dovevano corrispondere i fatti e, nel caso specifico del gruppo di Fermi, questo implicava la necessità di apprendere un campo della fisica interamente nuovo, incluse le sue tecniche sperimentali (E. Segrè, Italian Physics in Amaldi's Time, Roma, 1978).*

Costanti fondamentali e teorie Fisiche

- Un quadro riassuntivo delle teorie fisiche moderne, in relazioni ai valori delle costanti fondamentali: costante della gravitazione, G , velocità della luce, c , costante di Planck, \hbar (vedi ad esempio L. Okun, *ABC of Physics: A Very Brief Guide*, World Scientific, 2102.)



5. Il Bosone di Higgs: Crisi e Resurrezione?

L' Origine delle masse

Il bosone di Higgs è necessario per mettere d'accordo la teoria con la Natura permettendo di generare le masse delle particelle...

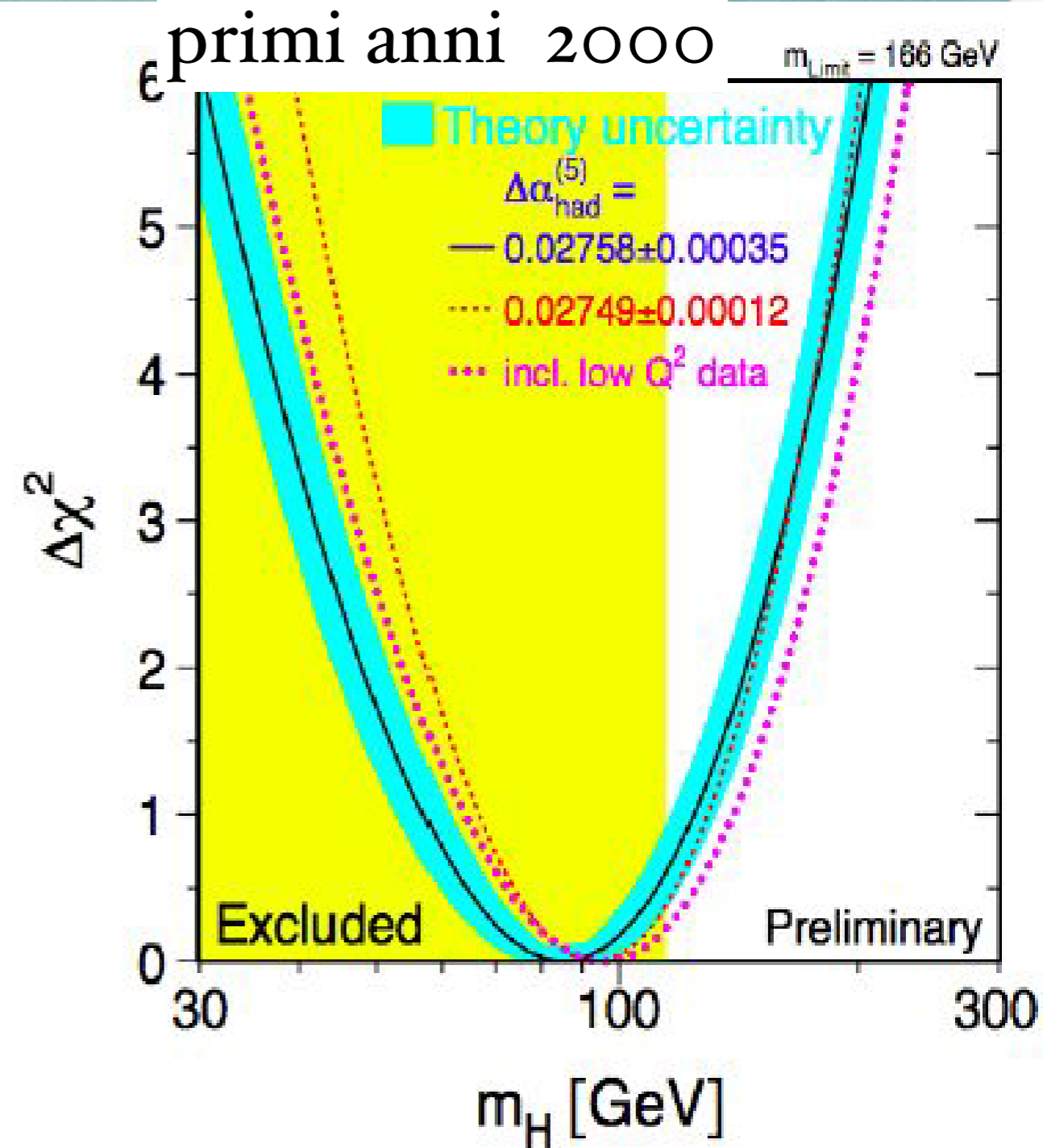
e ci dà una visione dello spazio vuoto che potrebbe rendere conto di nuovi fenomeni: (inflazione nel Big Bang, universi caotici, ...)

E' la porta verso una comprensione più profonda del Micro e del Macro Cosmo.

- L'anello mancante della attuale teoria delle particelle
- Una macchina mondiale è stata costruita a Ginevra con la missione di trovarlo: LHC
- fino all'anno scorso la regione indicata da tutti gli indizi si è ristretta senza successo, fino a far pensare che il bosone di Higgs possa essere una mera illusione !

Ma...qual'è la massa del bosone di Higgs?

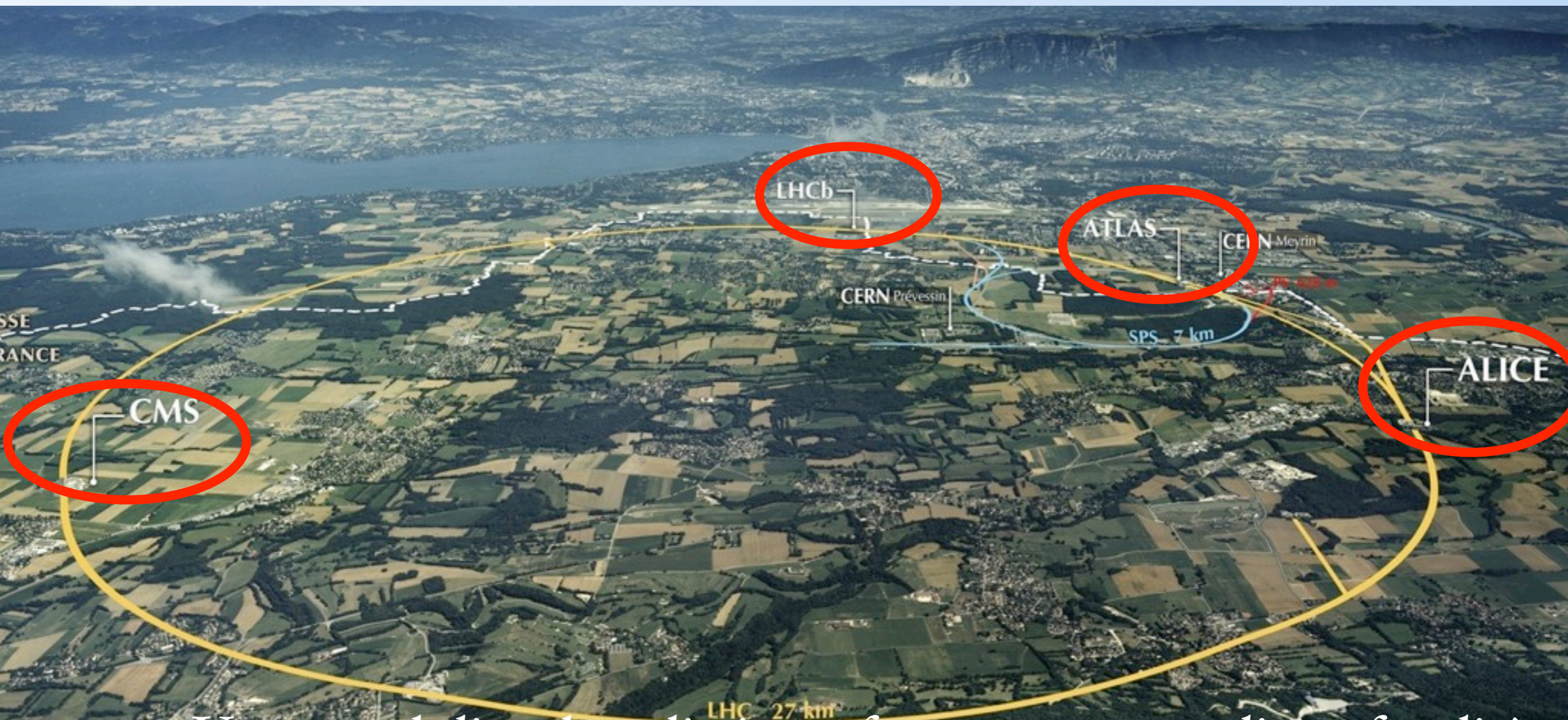
	Measurement	Fit	$ \sigma_{\text{meas}} - \sigma_{\text{fit}} / \sigma_{\text{meas}}$			
			0	1	2	3
$\Delta\alpha_{\text{had}}^{(5)}(m_Z)$	0.02758 ± 0.00035	0.02766	■			
m_Z [GeV]	91.1875 ± 0.0021	91.1874	■			
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	2.4957	■			
σ_{had}^0 [nb]	41.540 ± 0.037	41.477	■			
R_1	20.767 ± 0.025	20.744	■			
$A_{\text{fb}}^{0,l}$	0.01714 ± 0.00095	0.01640	■			
$A_1(P_\nu)$	0.1465 ± 0.0032	0.1479	■			
R_b	0.21629 ± 0.00066	0.21585	■			
R_c	0.1721 ± 0.0030	0.1722	■			
$A_{\text{fb}}^{0,b}$	0.0992 ± 0.0016	0.1037	■			
$A_{\text{fb}}^{0,c}$	0.0707 ± 0.0035	0.0741	■			
A_b	0.923 ± 0.020	0.935	■			
A_c	0.670 ± 0.027	0.668	■			
$A_1(\text{SLD})$	0.1513 ± 0.0021	0.1479	■			
$\sin^2\theta_{\text{eff}}^{\text{lept}}(Q_{\text{fb}})$	0.2324 ± 0.0012	0.2314	■			
m_W [GeV]	80.392 ± 0.029	80.371	■			
Γ_W [GeV]	2.147 ± 0.060	2.091	■			
m_t [GeV]	171.4 ± 2.1	171.7	■			



$$m_h = 85_{-28}^{+39} \text{ GeV}$$

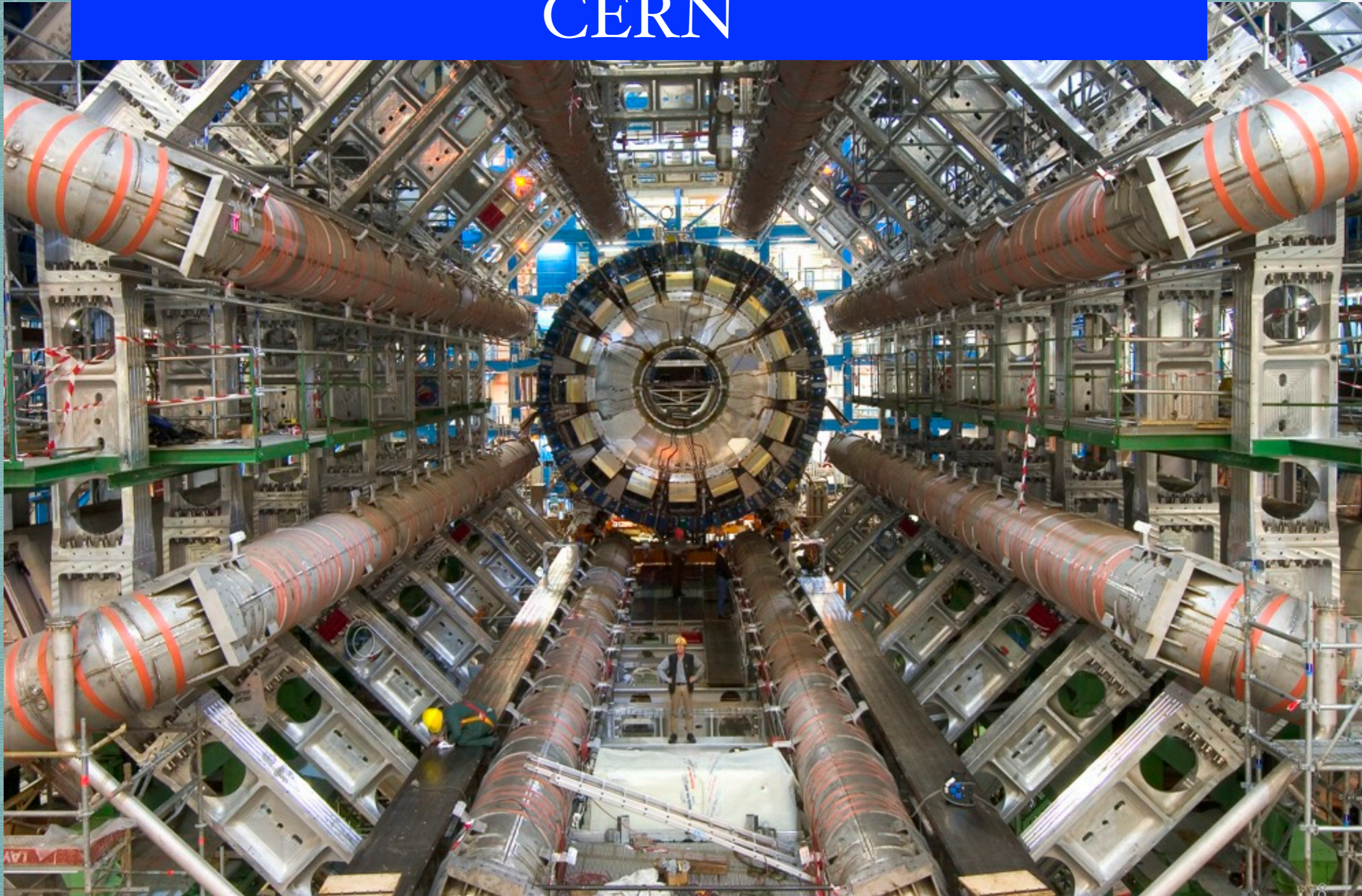
$$m_h < 166 \text{ GeV} \text{ at } 95\% \text{ CL}$$

Large Hadron Collider @ CERN

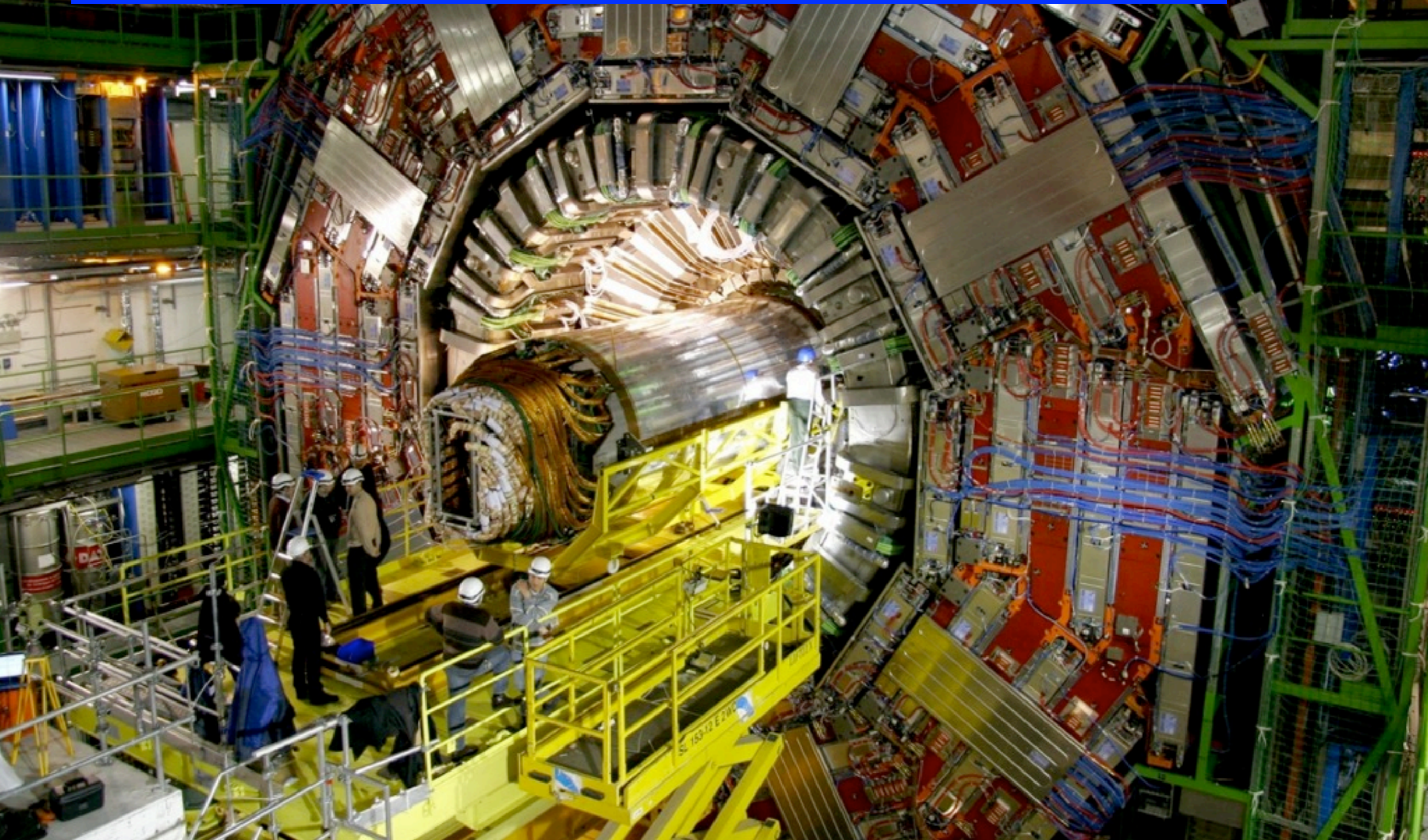


Un tunnel di 27 km di circonferenza a 100 m di profondità
Quattro grandi esperimenti realizzati da collaborazioni internazionali: ATLAS, CMS, LHCb, ALICE

Il rivelatore di particelle ATLAS al CERN



Il rivelatore di particelle CMS al CERN

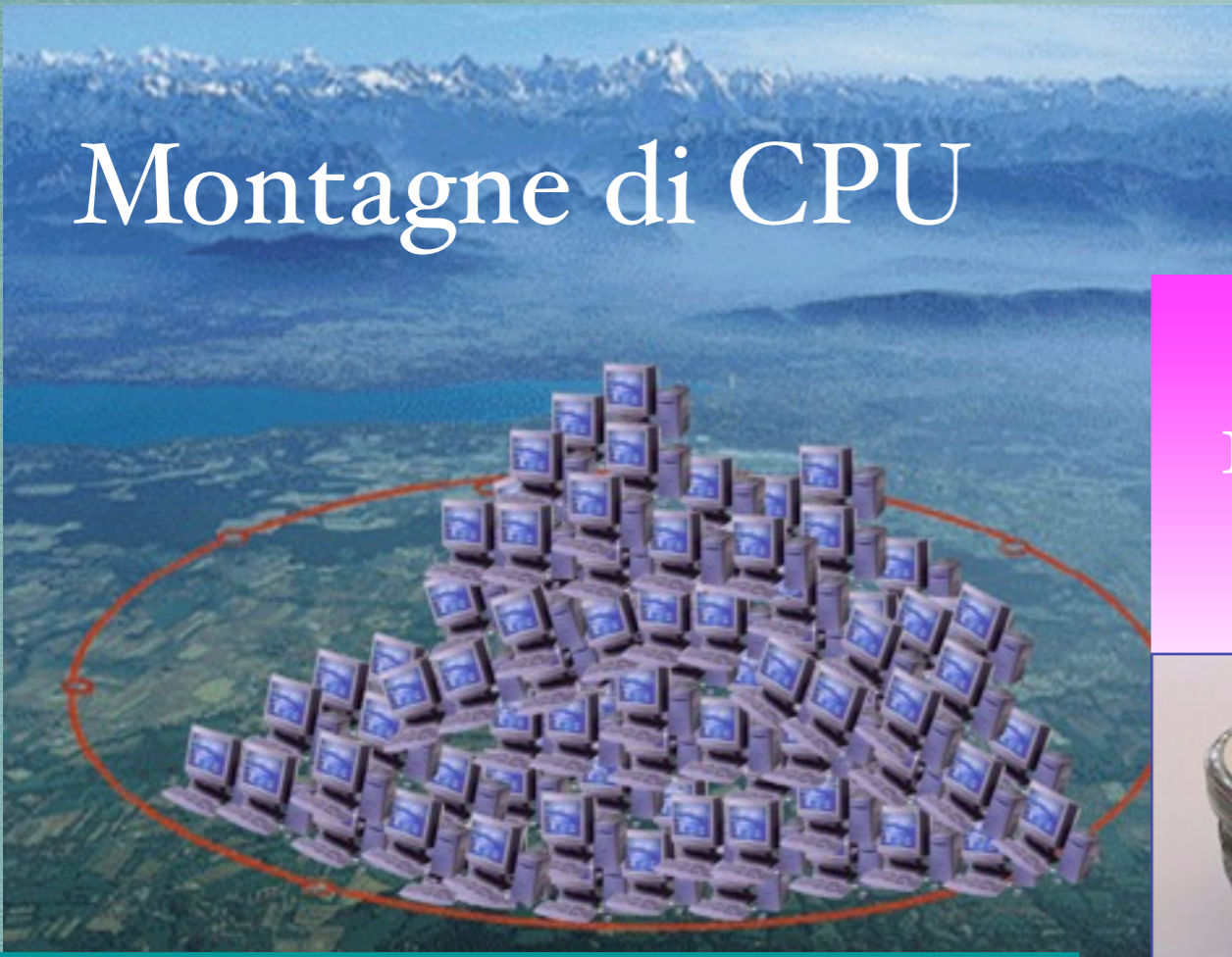


LHC: i primi fasci, 10 Settembre 2008



I dati di LHC

Montagne di CPU



LHC computing: 100.000 PC di oggi

Dati prodotti:
12-14 PetaBytes/
anno



6 cm

1 anno di dati di LHC è equivalente a
15 milioni di film DVD, una
colonna di CD alta 20 km!!



Balloon
(30 Km)

Column of
CD s for
1 year of
LHC data!
(~ 20 Km)

Concorde
(15 Km)

Mont
Blanc
(4.8 Km)

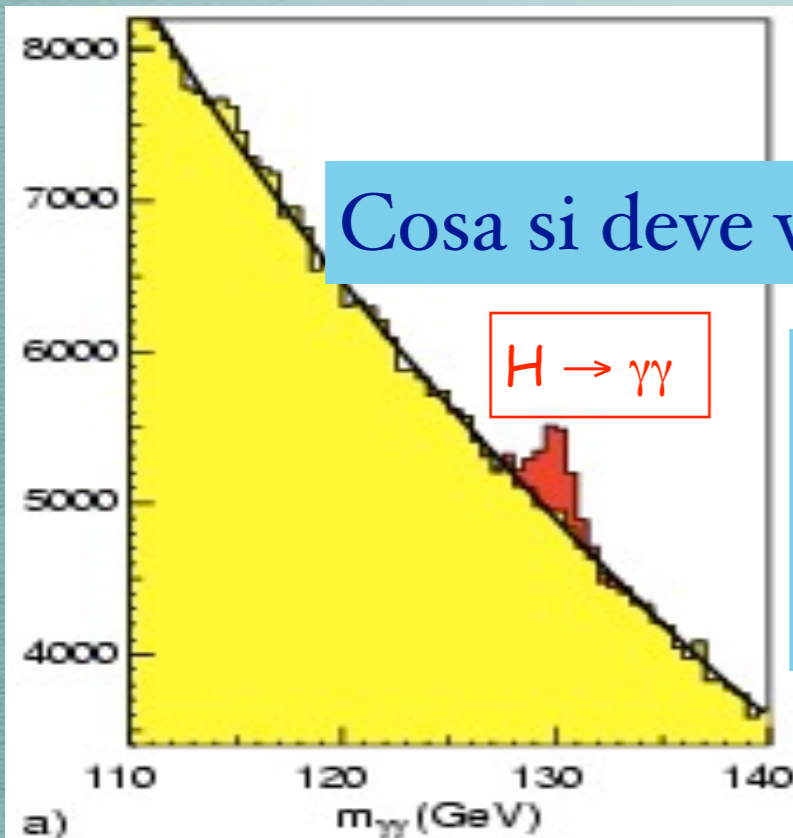
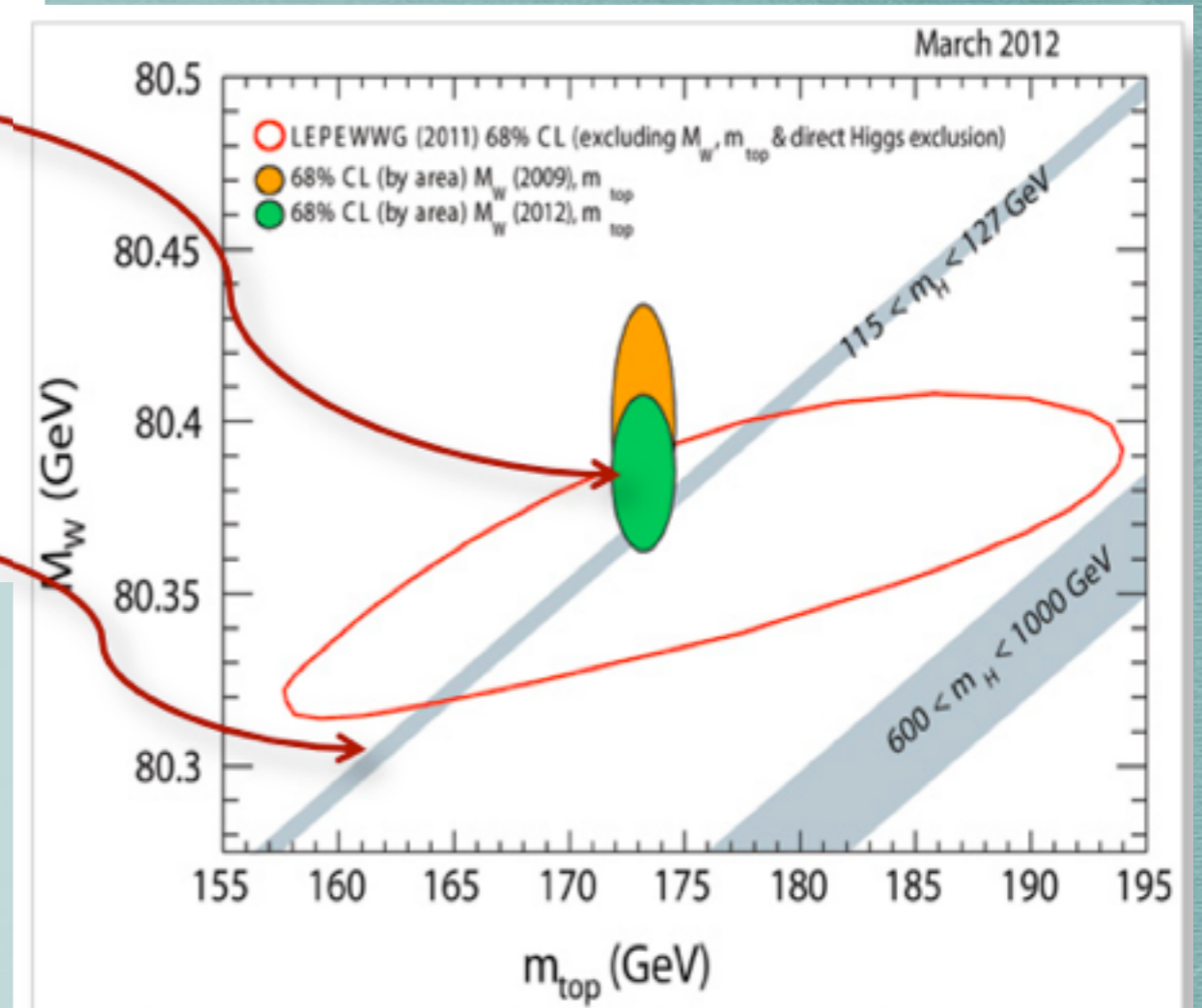
Caccia all'Higgs

1. M_{top} vs. M_W

- Tevatron M_W *Tour de Force!!*
- $m_W = 80385 \pm 15$ MeV (World Ave – Mar 2012)
- Shifts for SM Higgs expectation

2. Colliders leave little space

Si ripete la storia delle anomalie dell'orbita di Urano?



Cosa si deve vedere (primi anni 2000)

H deve apparire come un picco nella distribuzione della massa dei due raggi gamma: $H \rightarrow \gamma\gamma$

Ultimo round, 4 Luglio 2012

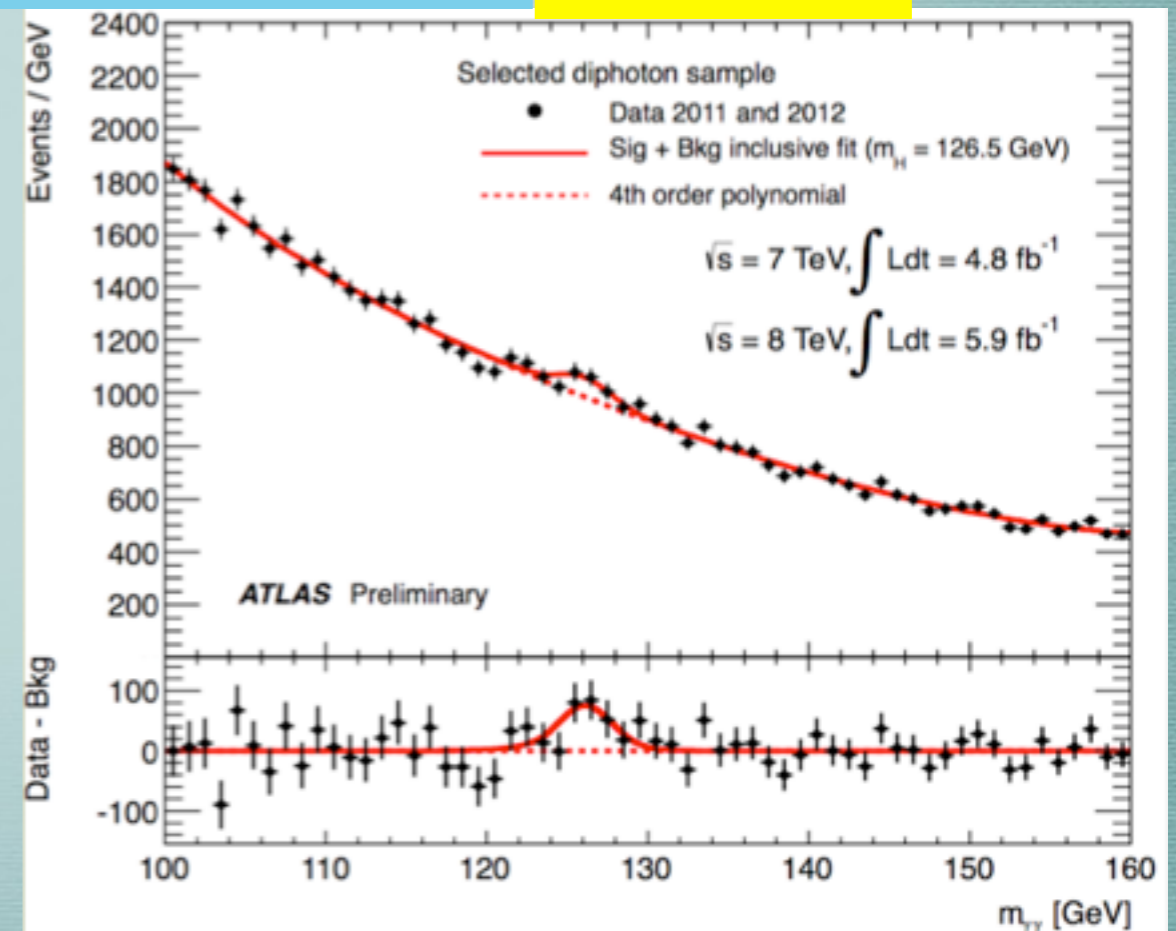
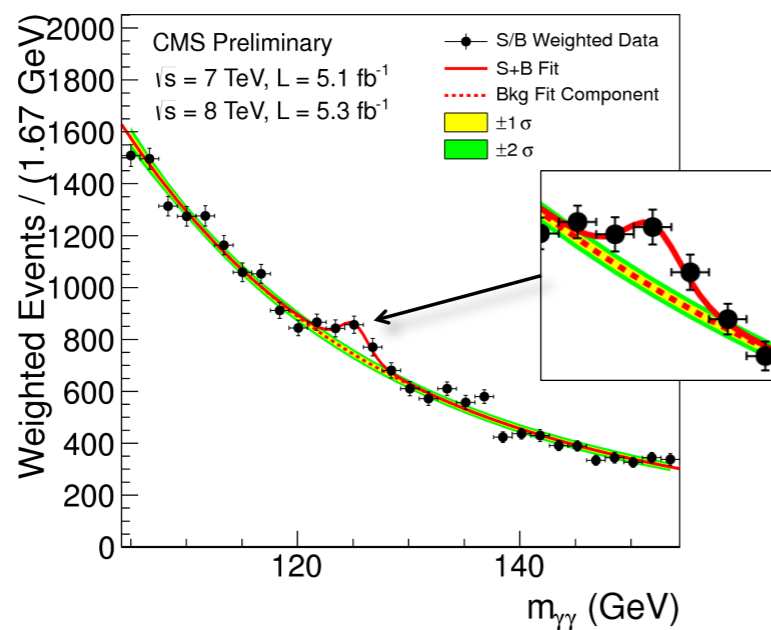
Come nel caso di Nettuno, i picchi sono proprio dove devono stare, secondo i “commercial” dei primi anni 2000 e gli ultimi limiti precisi dalle masse di W e top.

ATLAS

F. Gianotti

CMS data J. Incandela

- Sum of mass distributions for each event class, weighted by S/B
- B is integral of background model over a constant signal fraction interval



Gli altri obiettivi di LHC

L' Origine dello Spin

- Trovare le Particelle Supersimmetriche

L'Unificazione delle Forze **richiede** una Simmetria che colleghi particelle con spin differenti: questa è la SUPERSIMMETRIA scoperta al CERN negli anni 70 da J. Wess e B. Zumino

- Scoprire la natura della Materia Oscura

Supersimmetria Cosmica ?

- Ricercare nuove dimensioni dello spazio

La moderna formulazione della Gravità Quantistica non è consistente in 3 dimensioni spaziali !!

ci vogliono dimensioni extra, curve.. ma quanto vale il Raggio?

