

# Comunicare la “verità scientifica” usando il metodo scientifico

Luca Lista

INFN - Napoli



# Introduzione



- Questa presentazione è ispirata da una **serie di seminari** presso le scuole superiori di Napoli e dintorni (Latina inclusa...) dove io e Pasquale Migliozzi abbiamo presentato i **risultati della fisica ad LHC e del neutrino**
- I seminari sono cominciati quando **il neutrino era ancora “più veloce della luce”** e la **ricerca del bosone di Higgs dava un segnale poco significativo**
- Gli studenti hanno stimolato interessanti di riflessioni su **cosa significa scoperta**, e quanto un'affermazione possa essere considerata **vera** o almeno **attendibile**, da un punto di vista **scientifico**, usando in maniera **quantitativa** i risultati degli esperimenti
- È emerso che è facile **travisare il reale significato dei risultati** annunciati da parte dei mezzi di comunicazione
  - Talvolta anche dagli stessi scienziati ...
- **Quanto riportato dai media può essere diverso da quello che la comunità scientifica crede**

# Neutrino veloce...

Opera collaboration,  
arXiv:1109.4897v1, 2011

- Seminario di OPERA al CERN del 23-11-2011
- Risultato **significativo** a circa "6 $\sigma$ " (**approfondiremo dopo...**)

$$\delta t = (60.7 \pm 6.9 \text{ (stat.)} \pm 7.4 \text{ (sys.)}) \text{ ns}$$

seguici su 

L'OROSCOPO DI BRANKO

IL METEO - Roma 

## Il Messaggero.it Tecnologia

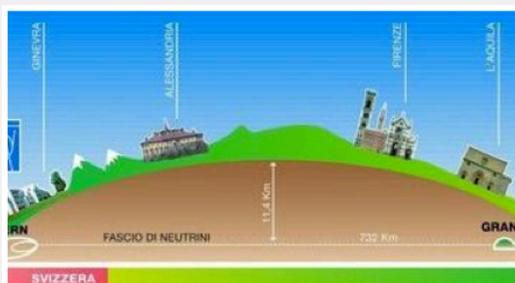
HOME PRIMO PIANO ECONOMIA CULTURA SPETTACOLI SOCIETÀ SPORT **TECNOLOGIA**

HiTech **Scienza**

## Neutrini superano la velocità della luce In crisi la teoria della relatività di Einstein

Esperimento Cern-Istituto fisica nucleare. Pronti test verifica. Petronzio: potrebbe esistere una nuova costante dell'universo

PER APPROFONDIRE  [fisica](#), [cern](#), [infn](#), [einstein](#), [velocità luce](#), [neutrini](#), [gran sasso](#)



**ROMA** - La conferma ufficiale è arrivata: la velocità della luce è stata superata. I neutrini sono più veloci della luce di circa 60nanosecondi. Il risultato è stato ottenuto dall'esperimento Cngs (Cern Neutrino to Gran Sasso) nel quale un fascio di neutrini viene lanciato dal Cern verso i laboratori del Gran Sasso dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (Infn). Il risultato si deve alla collaborazione internazionale Opera che, con i rivelatori che si trovano nei laboratori del Gran Sasso, ha analizzato oltre 15.000 neutrini tra quelli che, prodotti dall'acceleratore del Cern Super Proton Synchrotron, percorrono i 730 chilometri che separano il Cern dal Gran Sasso.

CONDIVIDI L'ARTICOLO



OGGI IN PRIMO PIANO

Scandalo fondi Pdl, arrestato Franco Fiorito I pm: «Ha movimentato sei milioni»  
ROMA - L' ex capogruppo del Pdl alla Regione Lazio Franco...

Emilia-Romagna, la Finanza nella sede dell'Assemblea legislativa  
BOLOGNA - I militari della Guardia di Finanza si sono recati stamani...

Tangenti Sesto, i pm: Penati a giudizio Al Pd: «Dimettermi? Io sono qui»

MILANO - «Io sono qui»: Filippo Penati ha risposto così ai...

## Il Giornale.it **cronache**

Home Interni Esteri Cronache Blog Economia Sport Cultura Tech Milano

Condividi:



Commenti:



## Cern conferma: "Superata la velocità della luce" Sconfessata la teoria della relatività di Einstein?

*Un risultato che rivoluzionerà l'attuale concezione dell'universo. Rompe infatti uno dei capisaldi della fisica contemporanea, quello dell'impossibilità di superare la velocità della luce, previsto dalla Teoria della Relatività Generale di Einstein. I neutrini sono più veloci della luce di circa 60 nanosecondi. SCHEDA: Cosa sono i neutrini*

Redazione - Ven, 23/09/2011 - 12:37

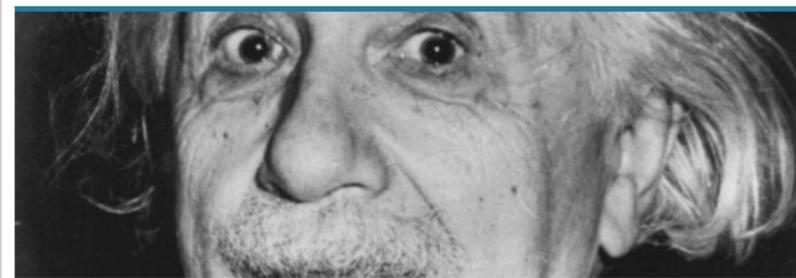


commenta

+1 4

Mi piace 0

Ginevra - C'è la conferma ufficiale: la velocità della luce è stata superata.



I neutrini sono più veloci della luce di circa 60 nanosecondi. Il risultato è stato ottenuto dall'esperimento Cngs (Cern Neutrino to Gran Sasso), nel quale un fascio di neutrini viene lanciato dal Cern verso i Laboratori del Gran Sasso dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Infn). Un risultato che rivoluzionerà l'attuale concezione dell'universo. Rompe infatti uno dei capisaldi della fisica contemporanea, quello dell'impossibilità di superare la velocità della luce, previsto dalla Teoria della Relatività Generale di Einstein.

Il risultato si deve alla collaborazione internazionale Opera, che con i rivelatori che si trovano nei Laboratori del Gran Sasso...

# Qualcuno è stato più cauto

- ...per la verità, non troppo cauti in Italia...

Torino, 8-12 ottobre 2012

Luca Lista, Comunicare Fisica

4

theguardian

News Sport Comment Culture Business Money Life & style Travel Environment

News Science Particle physics

## Faster than light particles found, claim scientists

Particle physicists detect neutrinos travelling faster than light, a feat forbidden by Einstein's theory of special relativity

Ian Sample, science correspondent  
The Guardian, Thursday 22 September 2011 23.32 BST  
Jump to comments (619)



Neutrinos, like the ones above, have been detected travelling faster than light, say particle physicists. Photograph: Dan Mccoy /Corbis

It is a concept that forms a cornerstone of our understanding of the universe and the concept of time – nothing can travel faster than the speed of light.

But now it seems that researchers working in one of the world's largest physics laboratories, under a mountain in central Italy, have recorded particles travelling at a speed that is supposedly forbidden by Einstein's theory of special relativity.

Scientists at the Gran Sasso facility will unveil evidence on Friday that

Share 21904  
Tweet 1,701  
+1 226  
Email



Article history

Science  
Particle physics · Physics  
· Cern

More news

Read more



Professor Einstein, you can relax. E still equals  $mc^2$ . Probably ...  
Renowned physicist Frank Close urges caution before we abandon the theory of relativity and prepare for time travel  
165 comments



Physicists urge caution over apparent speed of light violation

BBC

News Sport Weather Travel Future

NEWS SCIENCE & ENVIRONMENT

Home UK Africa Asia Europe Latin America Mid-East US & Canada Business Health Sci/Environ

23 September 2011 Last updated at 17:03 GMT

128K Share

## Speed-of-light results under scrutiny at Cern

COMMENTS (1165)

By Jason Palmer  
Science and technology reporter, BBC News



Enormous underground detectors are needed to catch neutrinos, that are so elusive as to be dubbed "ghost particles"

A meeting at Cern, the world's largest physics lab, has addressed results that suggest subatomic particles have gone faster than the speed of light.

The team has published its work so other scientists can determine if the approach contains any mistakes.

If it does not, one of the pillars of modern science may come tumbling down.

Antonio Ereditato added "words of caution" to his Cern presentation because of the "potentially great impact on physics" of the result.

The speed of light is widely held to be the Universe's ultimate speed limit,

### Related Stories

Does it mean time travel possible?

Particle 'flips to all flavours'

Light-speed trick in stock trades

# Higgs "incerto"

- Dopo il seminario di ATLAS e CMS al CERN del 13-12-2011<sup>[\*]</sup>, il segnale è **significativo** a circa "3 $\sigma$ " (in due esperimenti), non sufficiente a confermare la scoperta (convenzionalmente: **almeno 5 $\sigma$** )

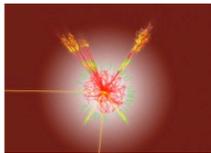
## Le Scienze

EDIZIONE ITALIANA DI SCIENTIFIC AMERICAN

ZOOM SU immunologia metamateriali percezione bosone di Higgs

13 dicembre 2011

### Trovata una traccia del bosone di Higgs. Ma non è una "scoperta"



Annunciati al CERN di Ginevra i dati degli esperimenti ATLAS e CMS: la massa della "particella di Dio" sarebbe di 125 GeV, ma il livello di confidenza della misurazione non è ancora sufficiente per avere la certezza. Una conferma a metà per il modello standard: il valore è compatibile con altre teorie più esotiche (red)

#### CONTENUTI CORRELATI



LHC: bosone Higgs verso la scoperta definitiva



Bosone di Higgs, il Tevatron pubblica i suoi dati

Mail Stampa  
Consiglia 392  
Tweet 18  
+1 18

#### SULLO STESSO ARGOMENTO

##### DAL SITO

13/12/2011  
Trovata una traccia del bosone di Higgs. Ma non è una "scoperta"

12/12/2011  
Il modello standard - infografica

20/07/2012  
Quale teoria per il bosone di Higgs?

fisica delle particelle fisica teorica

125 GeV: sarebbe questa la massa del bosone di Higgs misurata dai responsabili degli esperimenti ATLAS e CMS dell'acceleratore Large Hadron Collider (LHC) presso il CERN di Ginevra. Il condizionale è d'obbligo, dal momento che come sottolinea Fabiola Gianotti, responsabile di ATLAS, l'accuratezza delle misurazioni non è ancora sufficiente ad annunciare la scoperta della particella.

"Abbiamo ristretto l'intervallo di più alta probabilità della massa a 116-130 GeV e nelle ultime settimane abbiamo iniziato a osservare un interessante eccesso di eventi nell'intervallo di massa intorno a 125 GeV: tale eccesso può essere dovuto a una fluttuazione, ma potrebbe essere anche molto significativo", ha spiegato la Gianotti. "Non possiamo concludere nulla in

Community • Foto community • Forum • Blog • Newsletter •

**Focus.it**

Ambiente Scienza Curiosità HI-Tech by Jack

Scienza Bosone di Higgs: incertezza e misure al CERN

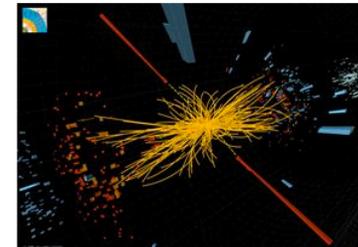
14

dic 2011

### Bosone di Higgs: incertezza e misure al CERN

Una analisi (quasi) a freddo dell'annuncio del CERN.

di: **Peppino Liberti**



Rappresentazione grafica dell'analisi dei dati sperimentali del 2010 e del 2011, annunciati il 13 dicembre 2011.

#### Tutto sul bosone di Higgs

Notizie, approfondimenti e multimedia nel nostro dossier dedicato al **bosone di Higgs**.

del **Modello Standard**, la teoria che descrive le particelle subatomiche e le loro interazioni.

Come sempre accade in questi casi, anche se c'è chi si entusiasma, gran parte dei ricercatori preferisce mantenere un atteggiamento distaccato.

Chi sceglie la prudenza giudica i risultati interessanti, intriganti ma non ancora pienamente convincenti, ritiene che sia solo aumentata la probabilità di trovare una risposta positiva l'anno prossimo, una volta che saranno accumulati nuovi dati e migliorata la statistica.

SOCIAL

43

f Share

3

Tweet

0

+1

0

Pin.it

0

6

CONTENUTI CORRELATI

STAMPA

CARATTERE

A A

[\*] <https://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=164890>

# Quando si può parlare di scoperta?

- **Gigi Rolandi**<sup>[\*]</sup>: “Una scoperta in Fisica avviene quando un “claim” viene accettato dall’intera comunità [...]”

“Quando si propone un nuovo risultato si cerca anche di **quantificare** la **probabilità** che quello che abbiamo osservato è effettivamente qualcosa di nuovo, oppure quello che si vede è espressione del **segnale di fondo**”



- Inoltre: un effetto fisico è sempre **riproducibile indipendentemente**, quindi, ci deve essere un altro esperimento che con una tecnica il più possibile diversa riesca ad osservarlo
  - Questo è ad esempio il criterio normalmente richiesto dal comitato dei Nobel.

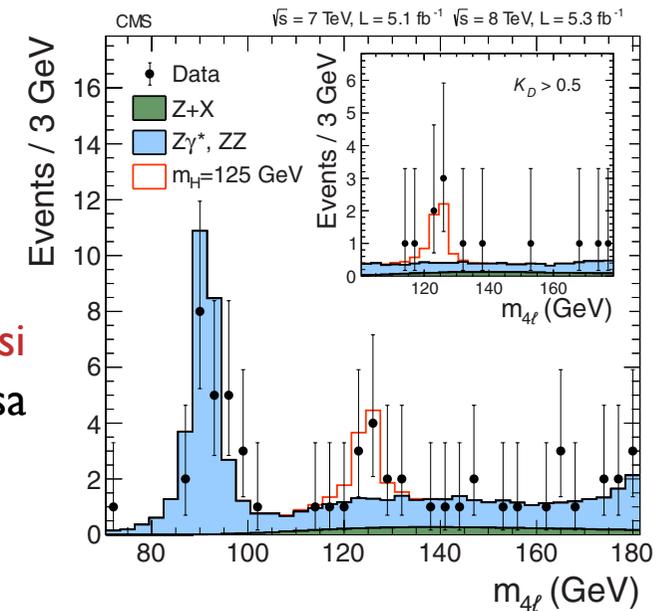
[\*] <http://www.youtube.com/watch?v=t0QEIgoY4No>  
<http://www.youtube.com/watch?v=rraMpI75pO0>, interviste a Focus.it

# Cosa dire agli studenti?

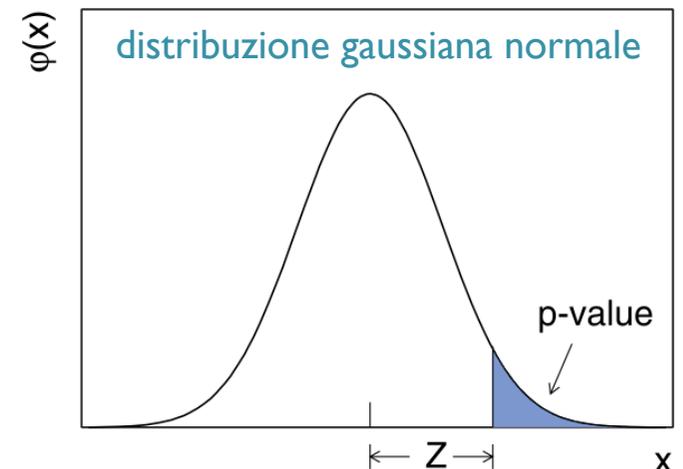
- Come comunicare i risultati nel modo corretto?
  - ... dopo aver superato lo “scoglio” di far comprendere fenomeni come “rottura di simmetria” e “campo di Higgs”!
- Non è sufficiente dire che scoperta è tale perché la comunità scientifica ci crede: implicherebbe il principio di autorità, intrinsecamente non scientifico
- Preferiamo invece fornire alcuni strumenti per poter comprendere il significato delle misure e acquisire essi stessi confidenza nei risultati in modo critico
  - Ovviamente, entro certi limiti, perché ci sono tecnicismi difficili da trasmettere
  - A questo punto va chiarito il significato delle “probabilità da quantificare”, e come interpretarle correttamente

# Le “ricette” standard: $3\sigma$ e $5\sigma$

- Il lavoro di analisi dei dati consiste nel trovare delle quantità osservabili che hanno distribuzioni diverse per eventi di segnale e fondo
  - es.: massa ricostruite della particella
- Si determina la probabilità (**p-value**) che nell'ipotesi che sia presente solo il fondo una fluttuazione possa determinare un segnale di ampiezza pari almeno a quanto osservato
  - Il **p-value** è distribuito uniformemente tra 0 ed 1 se è presente solo il fondo, mentre avrebbe più probabilmente valori piccoli in presenza di segnale
- La **significatività** è legata al **p-value** attraverso la distribuzione gaussiana, e deve superare alcuni valori “standard”, scelti per convenzione:
  - $Z > 3$  ( $3\sigma$ ) :  $p < 1.3 \times 10^{-3}$   
 ⇒ “evidence”
  - $Z > 5$  ( $5\sigma$ ) :  $p < 2.8 \times 10^{-7}$
  - ⇒ “observation” (scoperta!)

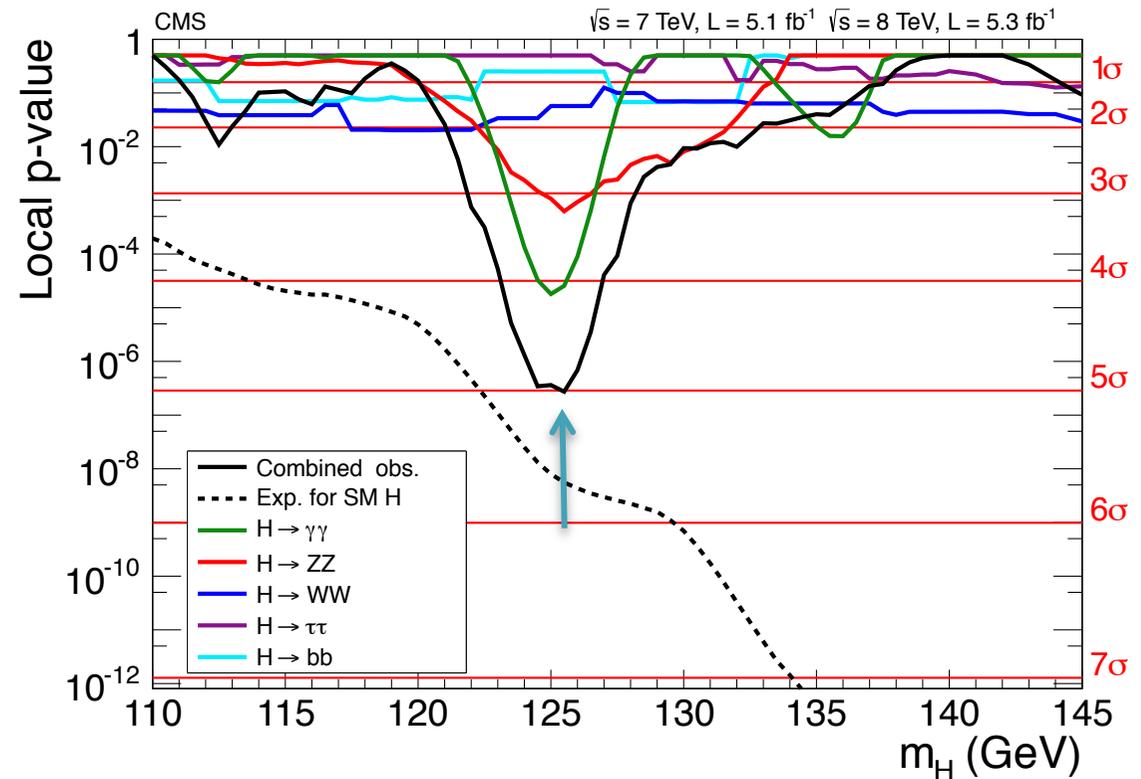


$$p = \int_Z^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2} dx = 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left( \frac{Z}{\sqrt{2}} \right)$$



# Esempio: il bosone di Higgs

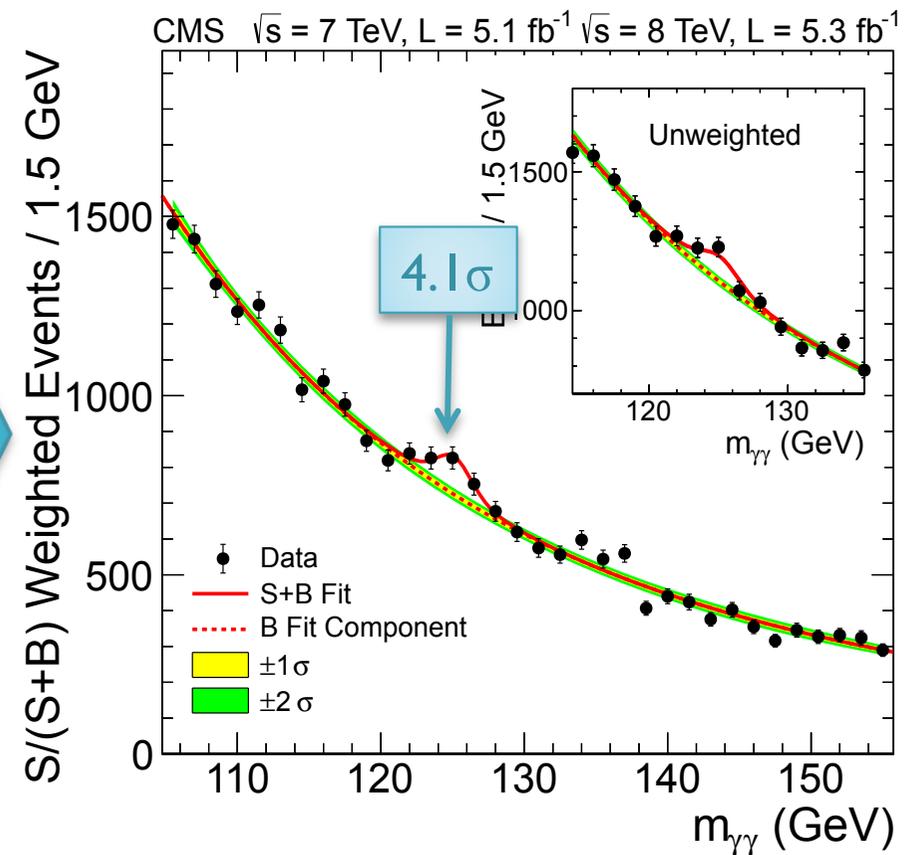
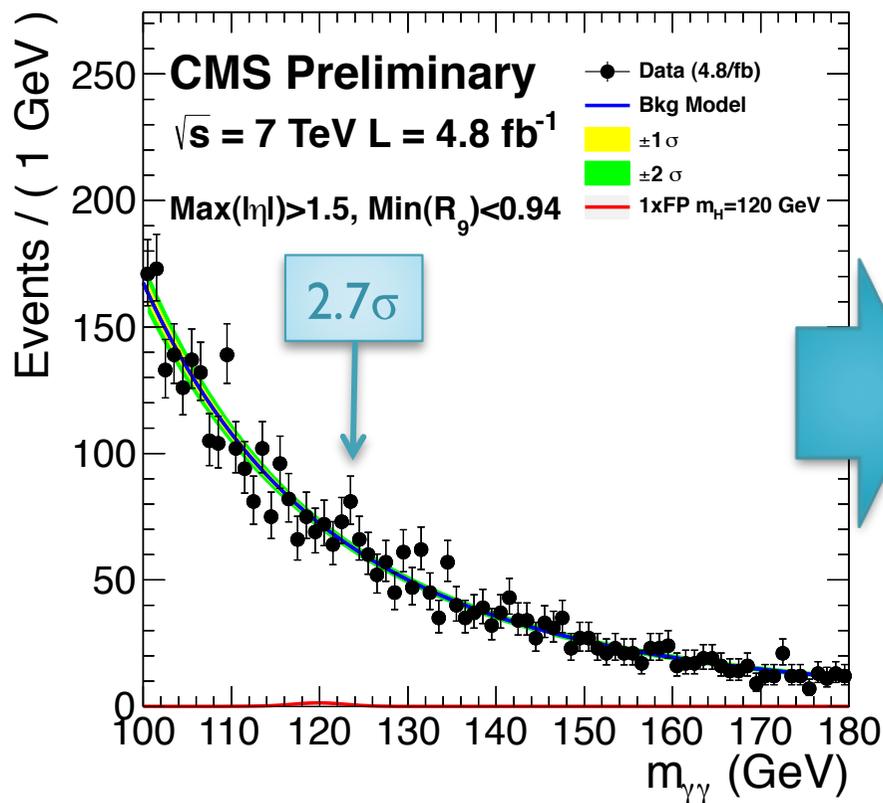
- Il  $p$ -value/significatività<sup>[\*]</sup> è calcolato in corrispondenza dei diversi possibili valori della massa del bosone di Higgs
- La probabilità, *se ci fosse solo fondo*, di ottenere un segnale evidente almeno come quello osservato è  $2.8 \times 10^{-7}$
- **Ma non è vero** che la probabilità, **data l'osservazione fatta**, che ci sia solo fondo nel campione è  $2.8 \times 10^{-7}$
- Non è possibile “invertire le probabilità”: *la probabilità che una persona milionaria sia felice non è uguale alla probabilità che una persona felice sia milionaria!*



[\*]  $p$ -value **locale**: tralasciamo i tecnicismi del “look-elsewhere effect”

# $H \rightarrow \gamma\gamma$ : da dicembre a luglio

- Come esempio: risultato di CMS, ATLAS ha ottenuto risultati analoghi

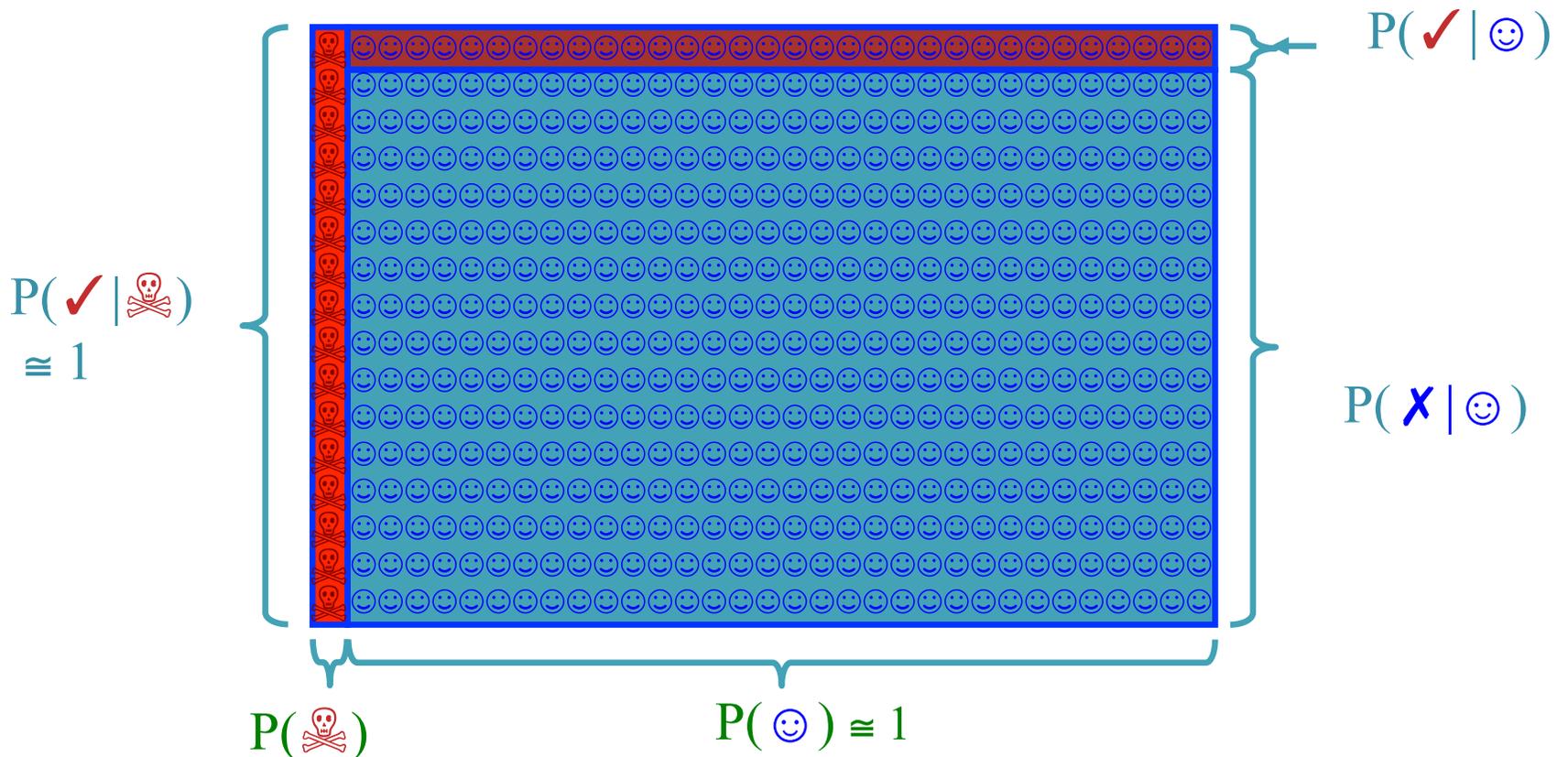


# Un esempio classico

- Ad una persona viene diagnosticato un male incurabile (✓)
- La probabilità di diagnosticare positivamente un vero malato è  $P(\checkmark | \text{skull}) \sim 100\%$
- La probabilità di un falso positivo è molto piccola, diciamo  $P(\checkmark | \text{smiley}) = 0.2\%$
- Qual è la probabilità che una persona sia realmente malata,  $P(\text{skull} | \checkmark)$ , dopo aver ricevuto la diagnosi?
- È “il 99.8%” una risposta corretta?

# Approccio corretto

- La risposta corretta dipende dalla **probabilità (*a priori*)** che una persona qualsiasi della popolazione in questione sia malata
- Si tratta di un'applicazione del *teorema di Bayes*:
  - $P(\text{skull} | \checkmark) = P(\text{skull}) / P(\checkmark) \cong P(\text{skull}) / (P(\text{skull}) + P(\checkmark | \text{smiley}))$
- Supponendo che:  $P(\text{skull}) = 0.17\%$ ,  $P(\checkmark | \text{smiley}) = 0.20\%$
- Abbiamo (*a posteriori*):  $P(\text{skull} | \checkmark) = 17 / (17 + 20) = 46\%$

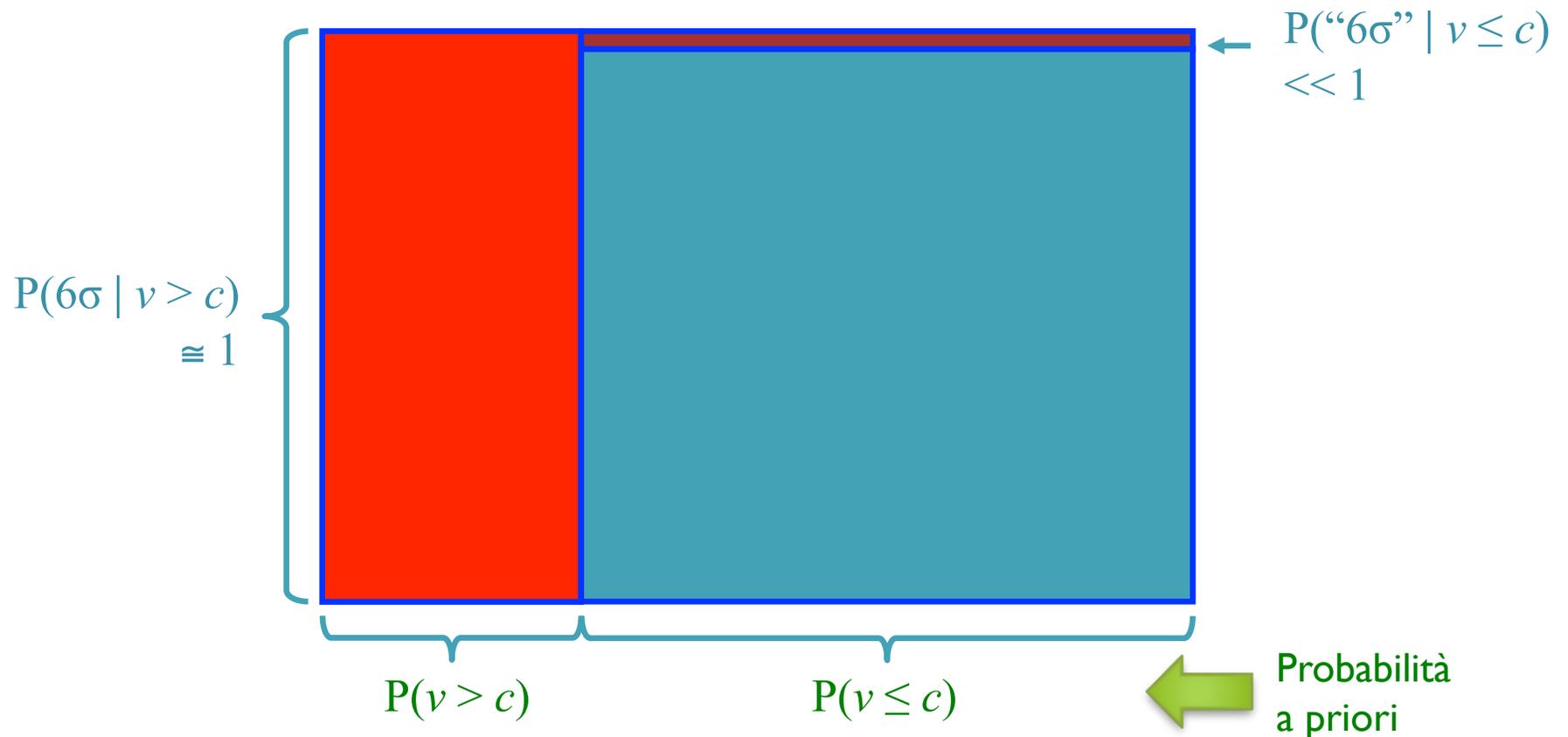


# Come si applica al Neutrino?

- Non possiamo calcolare a partire dai  $p$ -value la “probabilità che il neutrino possa superare la velocità della luce”
- Le misure convenzionali dei  $p$ -value (dalle quali si calcolano le  $3$  o  $5\sigma$ ) si basano su un approccio *frequentista* alla statistica.
  - Basato sulla *ripetizione* (anche ipotetica) degli esperimenti.
  - Risponde alla domanda: “se ripeto  $N$  volte l’esperimento, con quale **frequenza** ottengo un risultato in un certo intervallo?”
- *Credere* ad una ipotesi e quantificare la probabilità che sia giusta o sbagliata può avere una risposta con un *approccio Bayesiano alla probabilità*
  - Risponde alla domanda: “quanto **crediamo** in questa ipotesi”?
  - Intrinsecamente *l’approccio Bayesiano* è in qualche modo *soggettivo*. Ma stabilisce un metodo per “*apprendere*”, ovvero modificare i propri pregiudizi in base alla conoscenza di nuove misure (si adatta molto bene al **metodo scientifico!**)
  - **A priori** → (**osservazione**) → **a posteriori**

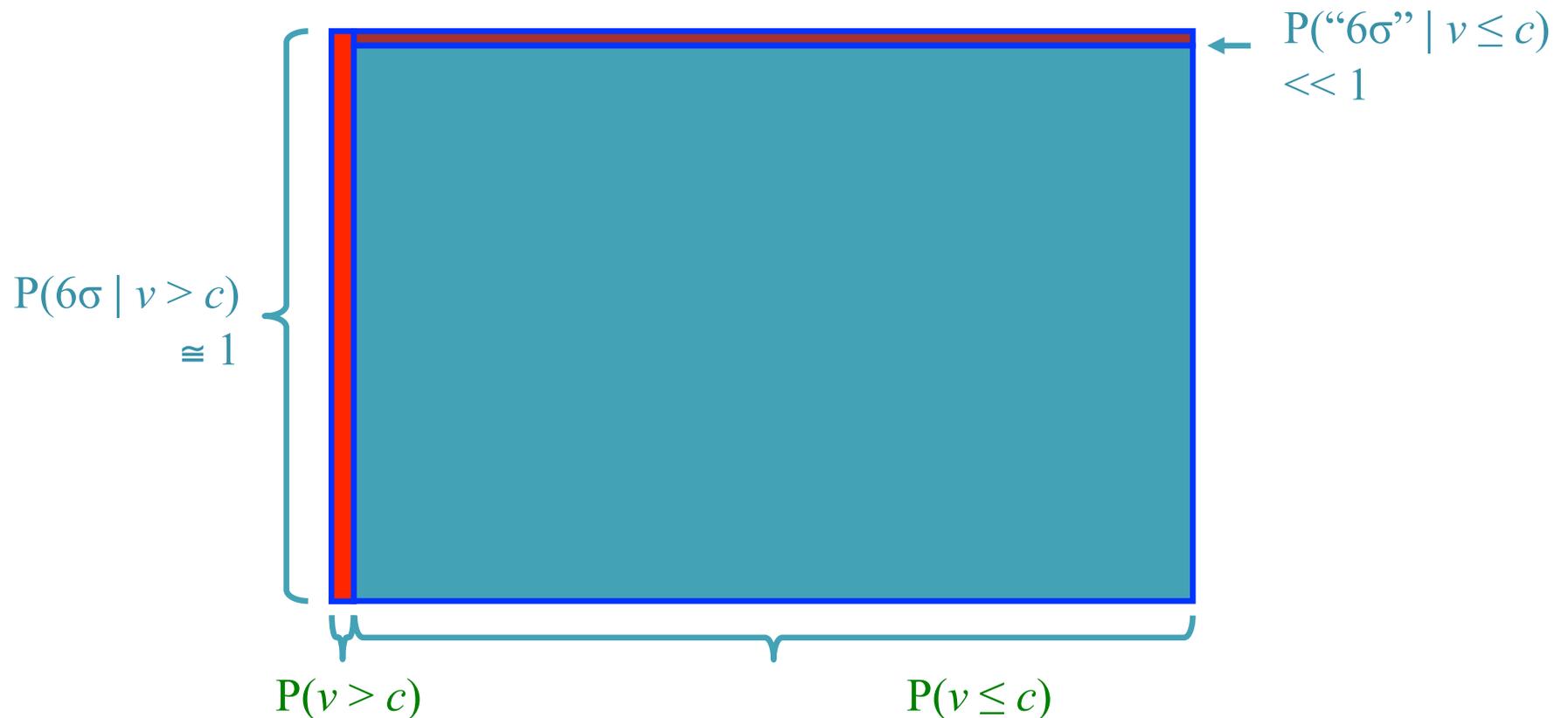
# Neutrino veloce

- Senza sufficiente senso critico, se *a priori* (=prima di conoscere i risultati di OPERA) crediamo con probabilità simili che un neutrino possa essere più o meno veloce:  $P(v > c) \sim P(v \leq c) \sim 0.5$  (anche se è il 10% non cambia molto), allora:
- $P(v > c \mid \text{"6}\sigma\text{"}) \cong 1$  (*a posteriori*): un singolo esperimento è sufficiente a dimostrare neutrini più veloci della luce!



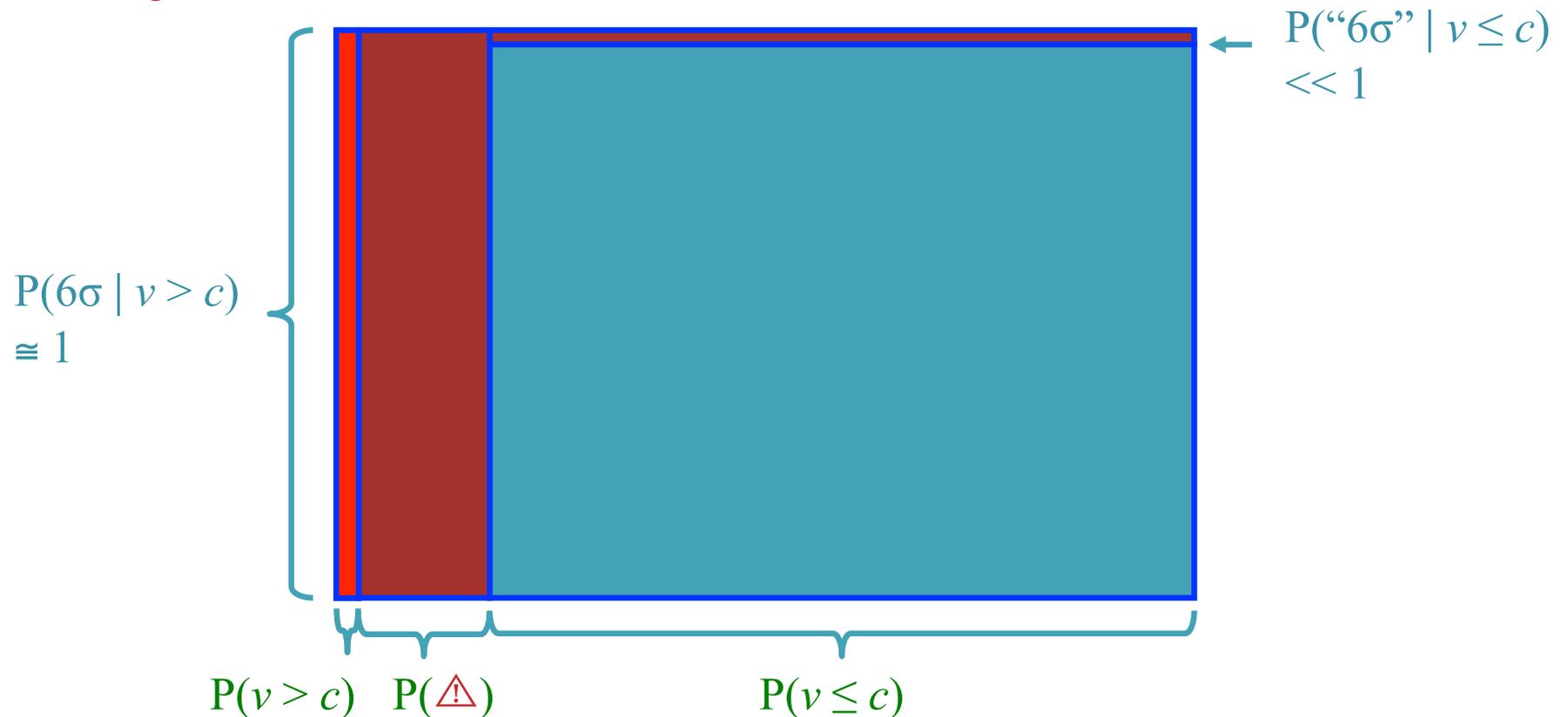
# Con un po' di scetticismo...

- Se *a priori* crediamo poco probabile superare la velocità della luce,  $P(v > c) \ll P(v \leq c)$ , quindi:
  - $P(v > c \mid \text{"6}\sigma\text{"}) < 1$  (*a posteriori*), anche se meno piccola di prima
  - **Non siamo dogmatici** ( $P(v > c) \neq 0$ ), quindi insorge qualche sospetto...
  - Quanto le  $6\sigma$  possono battere Einstein? Sono motivate nuove indagini?
  - **La verificabilità è parte del metodo scientifico!**



# Manca un'altra ipotesi possibile

- Forse c'è un **effetto sistematico** ( $\triangle$ ) che non è stato considerato?
- Se a priori riteniamo più probabile un effetto sistematico che un neutrino superliminale,  $P(\triangle) \gg P(\nu > c)$ , allora di nuovo:  
 $P(\nu > c \mid \text{"6}\sigma\text{"}) < 1$
- **Ripetere la misura con un esperimento indipendente** rende trascurabile la probabilità  $P(\triangle)$  di un effetto sistematico comune, oltre che **umentare la significatività!**



# Dalle conclusioni di OPERA

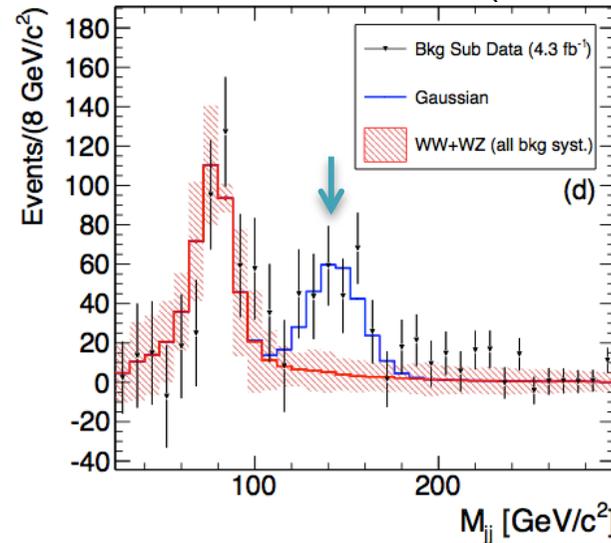
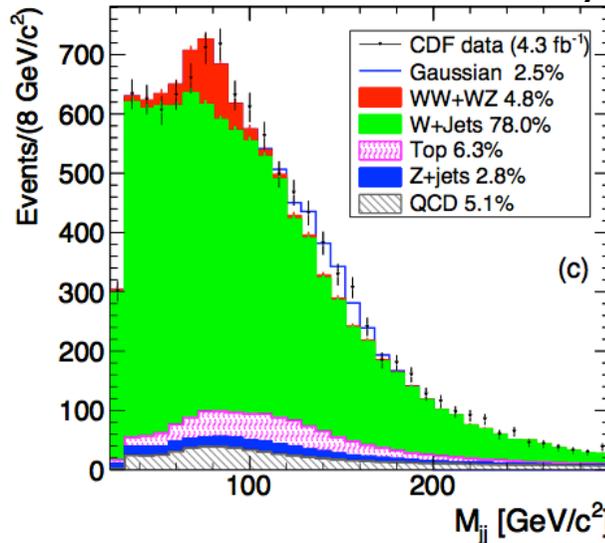
- OPERA Collaboration, arXiv:1109.4897

*Despite the large significance of the measurement reported here and the stability of the analysis, the potentially great impact of the result motivates the continuation of our studies in order to investigate possible still unknown systematic effects that could explain the observed anomaly. We deliberately do not attempt any theoretical or phenomenological interpretation of the results.*

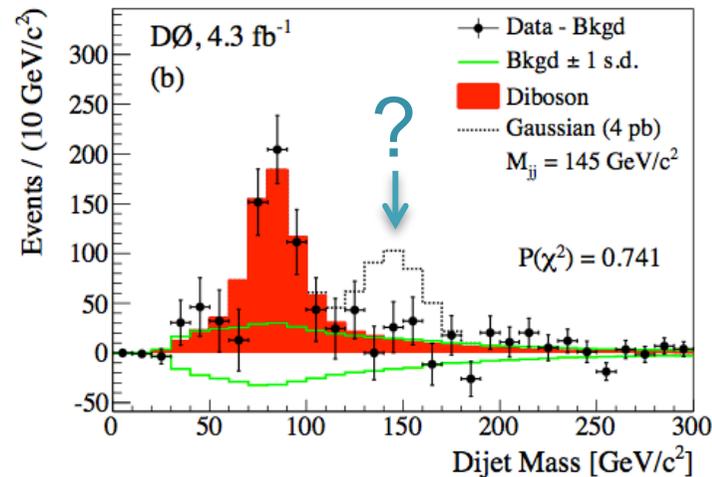
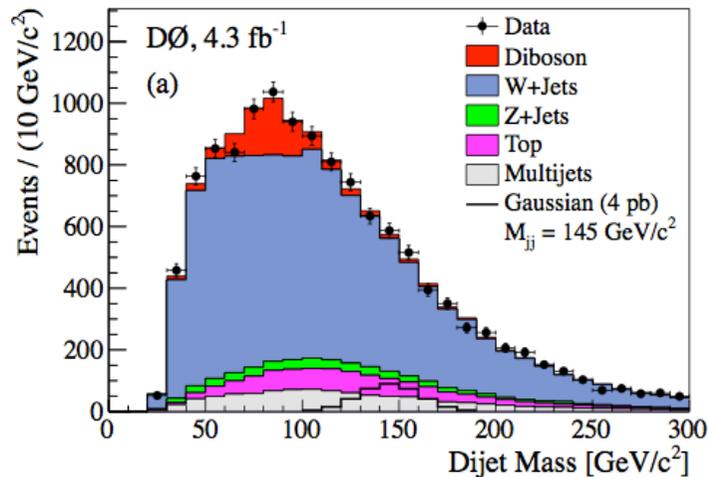
- Abbastanza diverse da quanto riportato su molti media
- ...ma la grossa esposizione mediatica ha aumentato le probabilità di fraintendimento...!

# Un altro caso recente

- CDF Collaboration, Phys.Rev.Lett. 106:171801,2011 (arxiv:1104.0699).



- “it is what is known as a *“three-sigma event”*, and this refers to the statistical certainty of a given result. In this case, this result has a *99.7 percent chance of being correct* (and a *0.3 percent chance of being wrong*).” (Discovery News, April 7 2011)



Non confermato dall'esperimento D0, sempre al Tevatron!

# Scoperta e metodo scientifico

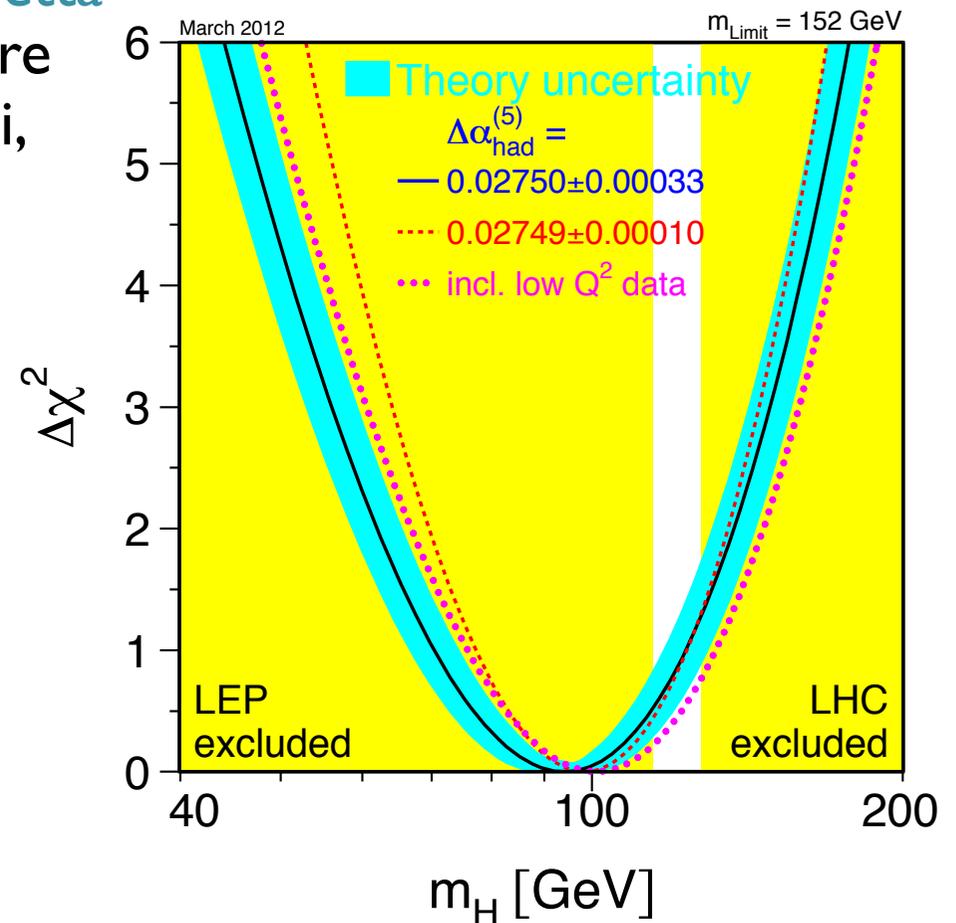
- Cowan et al., EPJC 71 (2011) 1554:

It should be emphasized that *in an actual scientific context*, rejecting the background-only hypothesis in a statistical sense is only part of discovering a new phenomenon. One's degree of belief that a new process is present will depend in general on other factors as well, such as the *plausibility of the new signal hypothesis* and the *degree to which it can describe the data*. Here, however, we only consider the task of determining the  $p$ -value of the background-only hypothesis; if it is found below a specified threshold, we regard this as “discovery”.

Gli approcci frequentista e Bayesian hanno un ruolo complementare 😊

# Nel caso del bosone di Higgs...

- Ci aspettavamo che la particella dovesse esistere in base ad una teoria che ha numerose conferme: il Modello Standard
  - Il bosone di Higgs **non rompe schemi acquisiti**, ma anzi **conferma una teoria solida** a cui manca un tassello
- Esiste una **previsione indiretta della sua massa** dalle misure di precisione elettrodeboli, confermata da LHC
- ATLAS e CMS **entrambi confermano** indipendentemente il risultato
- Non è facile quantificare una probabilità **a priori** dell'esistenza del bosone, ma sarebbe comunque relativamente alta



# Tutto questo non è ovvio

- Spesso i mezzi di comunicazione (e talvolta anche i fisici) forniscono interpretazioni errate dei risultati e ne travisano il significato[\*]:
  - “Researchers on the Tevatron see an excess of events produced in the machine’s proton–antiproton collisions that could be caused by a Higgs with a mass between 117 and 131 GeV. *The excess had a statistical significance of 2.6 sigma, meaning there is about a 0.5% probability that the result is due to chance.*” (Nature, 07 March 2012).
  - Il loro livello di confidenza statistica, cioè la probabilità che quanto osservato non sia frutto del caso, è ancora troppo basso. I fisici misurano questa probabilità con una misura detta “sigma”: i dati del Tevatron hanno un sigma di 2,6, che significa che *c’è uno 0,5 per cento di possibilità che quanto osservato siano fluttuazioni casuali*. Quelli del CERN erano a 3,1 sigma e 2,2 per CMS e ATLAS rispettivamente. Una rapida combinazione statistica dei dati di tutti gli esperimenti, europei e americani, porterebbe secondo alcuni ricercatori a un valore di 4 sigma per un bosone di Higgs in quella “finestra” di massa. ” (Treccani.it, 13 marzo 2012)
  - “Ahead of the expected announcement, the journal Nature reported “pure elation” Monday among physicists searching for the Higgs boson. One team saw *only “a 0.00006% chance of being wrong”*, the journal said.” (USA Today, 2 July 2012)
- [\*] Gli esempi sono tratti dalla raccolta di Giulio D’Agostini  
<http://www.roma1.infn.it/~dagos/badmath/>  
Vedi anche: [arXiv:1112.3620](https://arxiv.org/abs/1112.3620)

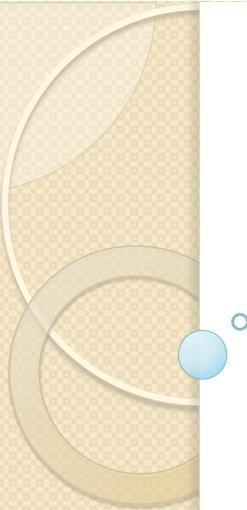
# Risultati

- Alla fine della serie dei nostri seminari per le scuole, il neutrino è di nuovo più lento della luce, mentre il bosone di Higgs[\*] è stato osservato
- Ma questo non ha stupito i ricercatori, mentre può aver stupito qualche lettore poco critico di articoli poco rigorosi

[\*] o almeno qualcosa che gli rassomiglia molto

# Conclusioni

- Quantificare i concetti di “**verità**” scientifica e di “**scoperta**” richiede un’interpretazione probabilistica dei risultati
- Non esistono solo il **vero** e il **falso** in senso “aristotelico”, ma ogni affermazione ha un suo **grado di credibilità**
- Le quantità (*frequentiste*) utilizzate in gran parte delle pubblicazioni **non sono adatte a misurare le probabilità (Bayesiane) che un’ipotesi sia vera o falsa**, che invece è la domanda che tipicamente il pubblico si pone
- L’interpretazione in senso scientifico della scoperta richiede un giudizio che tiene conto di tanti fattori e mette in gioco l’intero **bagaglio scientifico che possediamo**
- Ma dobbiamo sempre essere pronti a mettere in discussione anche teorie consolidate quando ci fossero dati che le possono confutarle che siano **verificati da esperimenti indipendenti**
- Comunicare, in sostanza, il **metodo scientifico** ad un pubblico interessato alla scienza beneficia anche il modo in cui gli ascoltatori potranno affrontare la vita di tutti i giorni
- **In questo periodo di grandi incertezze, insegnare a trattare e convivere con fenomeni incerti ci sembra di grande attualità**



# Backup

# Links

- <http://www.accastampato.it/2012/09/le-domande-della-scienza/>, Marco Valli, accastampato.it
- <http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2012/04/11/la-piccola-lezione-del-neutrino-lento.html>, Carlo Rovelli, la Repubblica, 11 aprile 2012
- <http://arxiv.org/abs/1112.3620v2>, G. D'Agostini, Probably a discovery: Bad mathematics means rough scientific communication
- [http://www.science20.com/quantum\\_diaries\\_survivor/5\\_sigma\\_writeup\\_festivaletteratura-93696](http://www.science20.com/quantum_diaries_survivor/5_sigma_writeup_festivaletteratura-93696), Tommaso Dorigo

# Escludere un nuovo segnale

- Per **escludere** una nuova particella, in genere si usa un criterio più modesto: **limite superiore** al “95% confidence level”:  $p < 0.5$  invece di  $p < 2.8 \times 10^{-7}$  ( $5 \sigma$ )
- Ma qui, oltre alla non ovvia **inversione delle probabilità** di cui finora discusso, i tecnicismi richiederebbero troppo tempo, e la trattazione a volte è complicata anche per gli addetti ai lavori:
  - Limiti Bayesiani
  - Limiti frequentisti
  - Limiti frequentisti modificati (CLs)
  - ...

