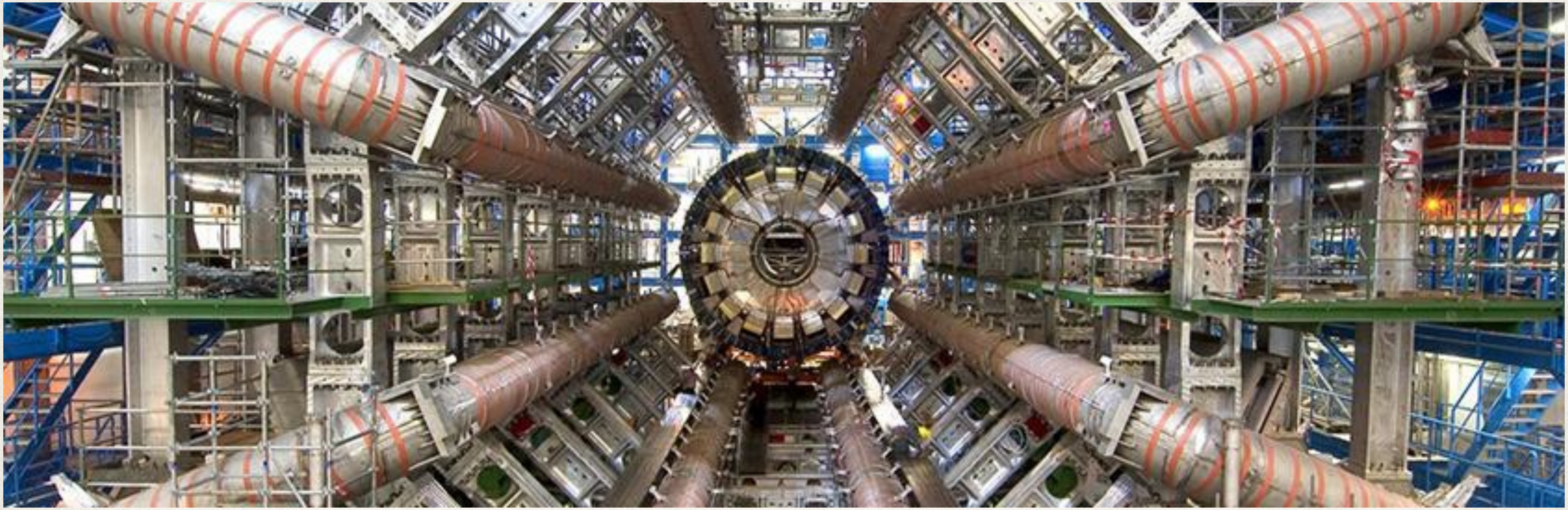


L’esperimento ATLAS a LHC e H->bb

Andrea Coccaro - INFN Genova

13/12/2017

Presentazioni

http://coccaro.web.cern.ch/

2001-2007 | Laurea triennale e magistrale | Genova
2007-2010 | PhD | Genova, CERN
2010-2011 | Post-Doc | Genova
2012-2015 | Post-Doc | Università di Washington, CERN
2015-2017 | Post-Doc | Università di Ginevra, CERN
2017 - | Ricercatore INFN | Genova

Perché?

- Per lo stimolo ricevuto in alcuni corsi chiave qua a Genova
- Per l'esperienza summer student al CERN
- Perché l'appetito vien mangiando
- Perché no?

Di cosa parliamo?

1. Fisica della particelle
2. Modello Standard
3. Large Hadron Collider
4. ATLAS
5. Bosone di Higgs
6. Analisi dati

Di cosa parliamo?

1. Fisica della particelle
2. Modello Standard
3. Large Hadron Collider
4. ATLAS
5. Bosone di Higgs
6. Analisi dati

22 » SECONDO TEMPO | IL FATTO QUOTIDIANO | Domenica 13 Settembre 2015

LINGUAGGI La fisica al Festival della Comunicazione di Sarzana

Bosone di Higgs: più facile da scoprire che da spiegare

» MARCO DELMASTRO

Il 4 luglio del 2012, il Cern di Ginevra, annunciava una notizia che i fisici aspettavano da quasi cinquant'anni. Il bosone di Higgs, teoricamente predetto nel 1964 nel tentativo di spiegare la ragione per cui le particelle elementari hanno una massa, era finalmente stato scoperto. Con una modalità sino a quel momento insolita, la conferenza di presentazione dei risultati

La danza della scienza

Il <u>metodo scientifico</u> è la modalità con la quale la scienza avanza nella comprensione della realtà

1 | Osservazione di un fenomeno tramite esperimento

2 | Formulazione di una teoria per spiegare il fenomeno

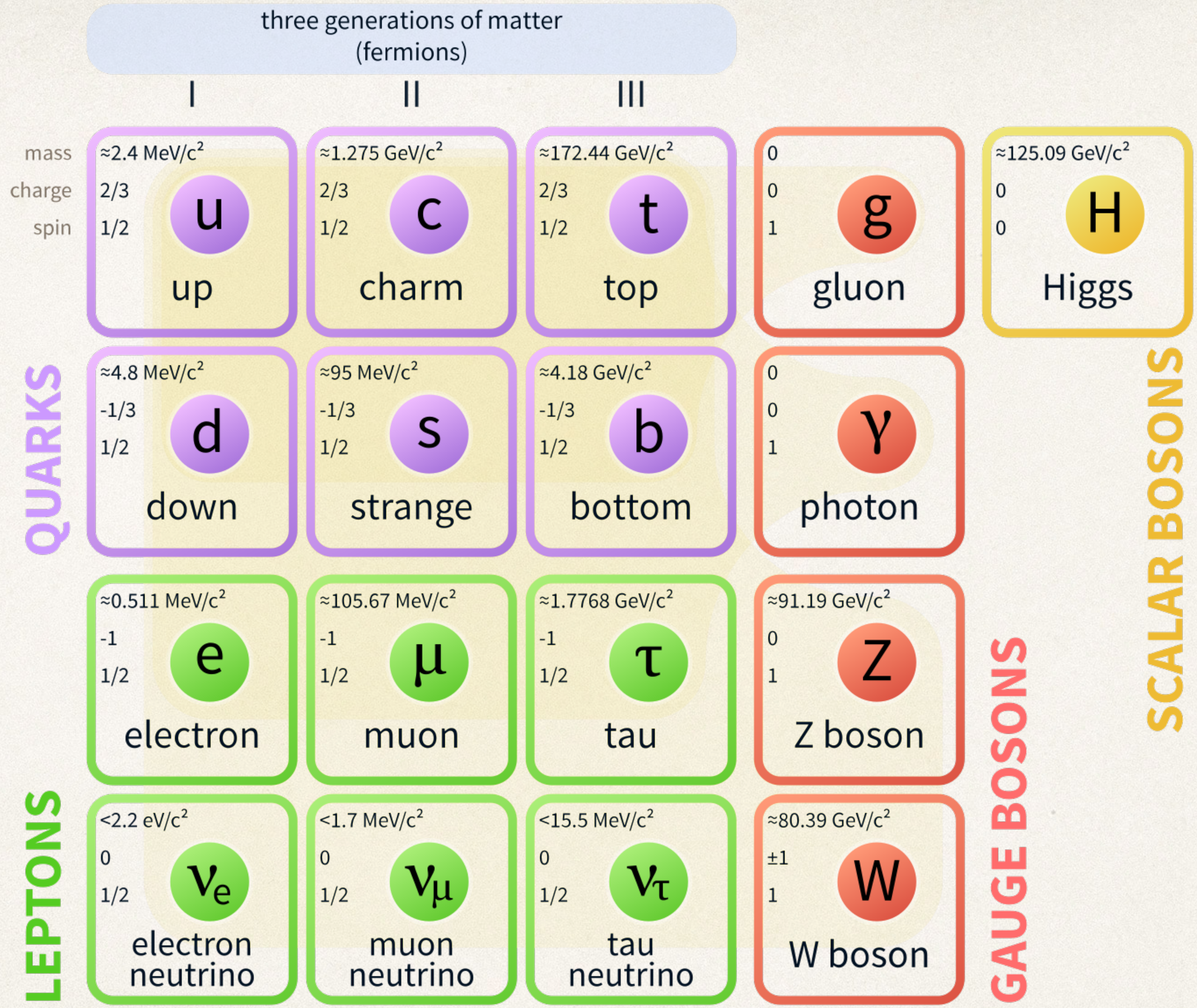
3 | Potere predittivo della teoria per un nuovo fenomeno

4 | Messa alla prova della teoria con nuovo esperimento

Nell'ultimo secolo, esperimento e teoria sono progredìti <u>mano nella mano</u> verso una comprensione profonda delle interazioni fondamentali

Materia	***Mecc. Quant.*** (1901)	***Forze***
e (1887),	***Relatività*** (1905)	γ (1905),
μ (1937),	***Simmetrie*** ('60)	gluone (1978)
ν_e (1956),		$W^{\pm}/Z^0$ (1984),
c (1974),		
...,		
ν_τ (2000)		

Standard Model of Elementary Particles



quark & leptoni | particelle di materie

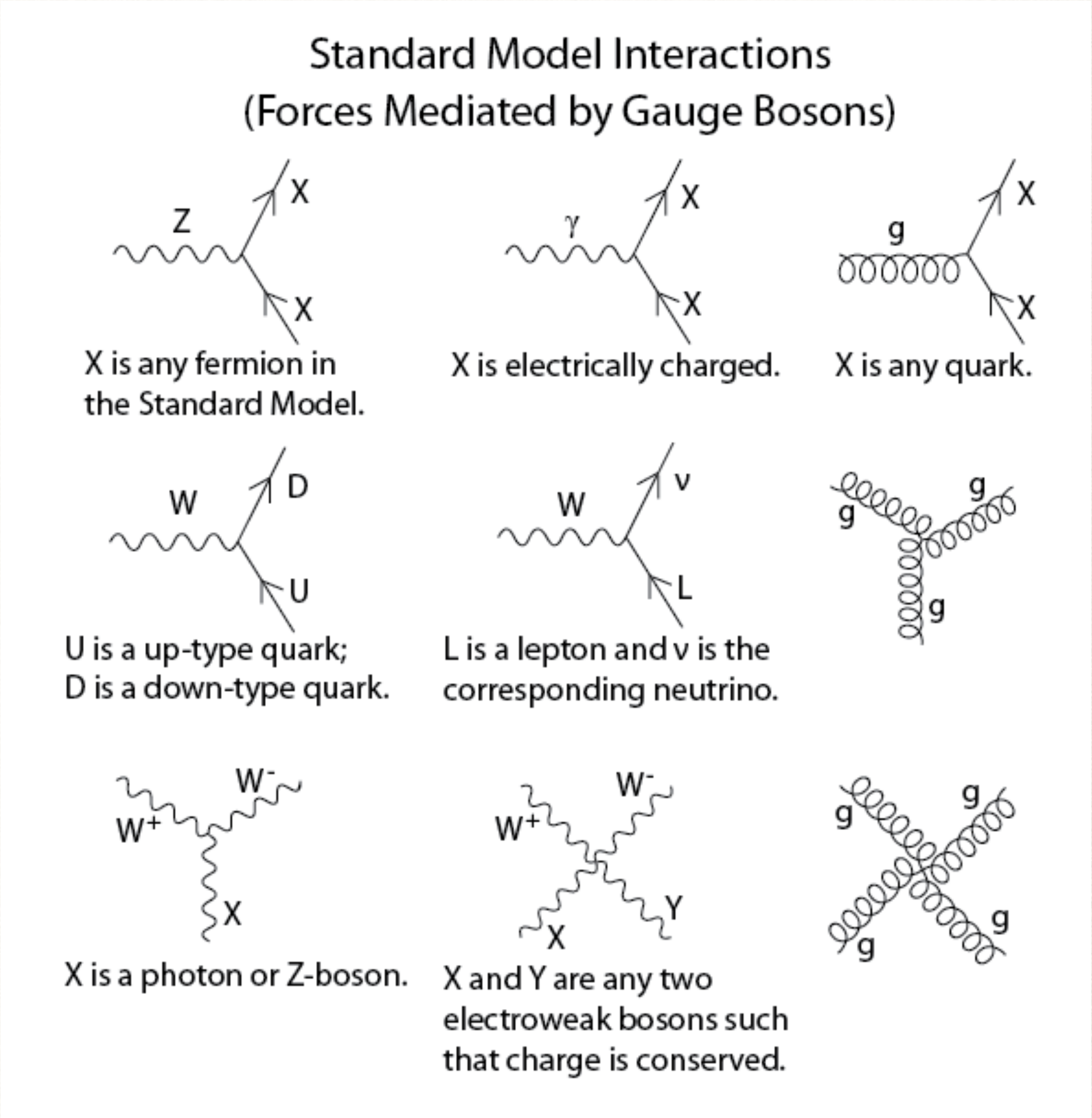
bosone di gauge | mediatori delle forze fondamentali

bosone di Higgs | responsabile della rottura spontanea di simmetria

Ma che cosa è il Modello Standard?

Ma che cosa è il Modello Standard?

$$
\begin{gathered}
\mathcal{L}_{SM} = -\tfrac{1}{2}\partial_\nu g^a_\mu \partial_\nu g^a_\mu - g_s f^{abc}\partial_\mu g^a_\nu g^b_\mu g^c_\nu - \tfrac{1}{4}g^2_s f^{abc} f^{ade} g^b_\mu g^c_\nu g^d_\mu g^e_\nu - \partial_\nu W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - \\
M^2 W^+_\mu W^-_\mu - \tfrac{1}{2}\partial_\nu Z^0_\mu \partial_\nu Z^0_\mu - \tfrac{1}{2c^2_w} M^2 Z^0_\mu Z^0_\mu - \tfrac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - igc_w(\partial_\nu Z^0_\mu (W^+_\mu W^-_\nu - \\
W^+_\nu W^-_\mu) - Z^0_\nu (W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\mu \partial_\nu W^+_\mu) + Z^0_\mu (W^+_\nu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\nu \partial_\nu W^+_\mu)) - \\
igs_w(\partial_\nu A_\mu (W^+_\mu W^-_\nu - W^+_\nu W^-_\mu) - A_\nu (W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\mu \partial_\nu W^+_\mu) + A_\mu (W^+_\nu \partial_\nu W^-_\mu - \\
W^-_\nu \partial_\nu W^+_\mu)) - \tfrac{1}{2}g^2 W^+_\mu W^-_\mu W^+_\nu W^-_\nu + \tfrac{1}{2}g^2 W^+_\mu W^-_\nu W^+_\mu W^-_\nu + g^2 c^2_w (Z^0_\mu W^+_\mu Z^0_\nu W^-_\nu - \\
Z^0_\mu Z^0_\mu W^+_\nu W^-_\nu) + g^2 s^2_w (A_\mu W^+_\mu A_\nu W^-_\nu - A_\mu A_\mu W^+_\nu W^-_\nu) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z^0_\nu (W^+_\mu W^-_\nu - \\
W^+_\nu W^-_\mu) - 2A_\mu Z^0_\mu W^+_\nu W^-_\nu) - \tfrac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - 2M^2 \alpha_h H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \tfrac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\
\beta_h \left(\tfrac{2M^2}{g^2} + \tfrac{2M}{g}H + \tfrac{1}{2}(H^2 + \phi^0\phi^0 + 2\phi^+\phi^-)\right) + \tfrac{2M^4}{g^2}\alpha_h - \\
g\alpha_h M \left(H^3 + H\phi^0\phi^0 + 2H\phi^+\phi^-\right) - \\
\tfrac{1}{8}g^2\alpha_h \left(H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+\phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2\phi^+\phi^- + 4H^2\phi^+\phi^- + 2(\phi^0)^2H^2\right) - \\
gMW^+_\mu W^-_\mu H - \tfrac{1}{2}g\tfrac{M}{c^2_w} Z^0_\mu Z^0_\mu H - \\
\tfrac{1}{2}ig\left(W^+_\mu(\phi^0\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^0) - W^-_\mu(\phi^0\partial_\mu\phi^+ - \phi^+\partial_\mu\phi^0)\right) + \\
\tfrac{1}{2}g\left(W^+_\mu(H\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu H) + W^-_\mu(H\partial_\mu\phi^+ - \phi^+\partial_\mu H)\right) + \tfrac{1}{2}g\tfrac{1}{c_w}(Z^0_\mu(H\partial_\mu\phi^0 - \phi^0\partial_\mu H) + \\
M\left(\tfrac{1}{c_w}Z^0_\mu\partial_\mu\phi^0 + W^+_\mu\partial_\mu\phi^- + W^-_\mu\partial_\mu\phi^+\right) - ig\tfrac{s^2_w}{c_w}MZ^0_\mu(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) + igs_w MA_\mu(W^+_\mu\phi^- - \\
W^-_\mu\phi^+) - ig\tfrac{1-2c^2_w}{2c_w}Z^0_\mu(\phi^+\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^+) + igs_w A_\mu(\phi^+\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^+) - \\
\tfrac{1}{4}g^2 W^+_\mu W^-_\mu \left(H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+\phi^-\right) - \tfrac{1}{8}g^2\tfrac{1}{c^2_w}Z^0_\mu Z^0_\mu \left(H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s^2_w - 1)^2\phi^+\phi^-\right) - \\
\tfrac{1}{2}g^2\tfrac{s^2_w}{c_w}Z^0_\mu\phi^0(W^+_\mu\phi^- + W^-_\mu\phi^+) - \tfrac{1}{2}ig^2\tfrac{s^2_w}{c_w}Z^0_\mu H(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) + \tfrac{1}{2}g^2 s_w A_\mu\phi^0(W^+_\mu\phi^- + \\
W^-_\mu\phi^+) + \tfrac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) - g^2\tfrac{s_w}{c_w}(2c^2_w - 1)Z^0_\mu A_\mu\phi^+\phi^- - \\
g^2 s^2_w A_\mu A_\mu\phi^+\phi^- + \tfrac{1}{2}ig_s\,\lambda^a_{ij}(\bar{q}^\sigma_i\gamma^\mu q^\sigma_j)g^a_\mu - \bar{e}^\lambda(\gamma\partial + m^\lambda_e)e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda(\gamma\partial + m^\lambda_\nu)\nu^\lambda - \bar{u}^\lambda_j(\gamma\partial + \\
m^\lambda_u)u^\lambda_j - \bar{d}^\lambda_j(\gamma\partial + m^\lambda_d)d^\lambda_j + igs_w A_\mu\left(-(\bar{e}^\lambda\gamma^\mu e^\lambda) + \tfrac{2}{3}(\bar{u}^\lambda_j\gamma^\mu u^\lambda_j) - \tfrac{1}{3}(\bar{d}^\lambda_j\gamma^\mu d^\lambda_j)\right) + \\
\tfrac{ig}{4c_w}Z^0_\mu\{(\bar{\nu}^\lambda\gamma^\mu(1+\gamma^5)\nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda\gamma^\mu(4s^2_w - 1 - \gamma^5)e^\lambda) + (\bar{d}^\lambda_j\gamma^\mu(\tfrac{4}{3}s^2_w - 1 - \gamma^5)d^\lambda_j) + \\
(\bar{u}^\lambda_j\gamma^\mu(1 - \tfrac{8}{3}s^2_w + \gamma^5)u^\lambda_j)\} + \tfrac{ig}{2\sqrt{2}}W^+_\mu\left((\bar{\nu}^\lambda\gamma^\mu(1+\gamma^5){U^{lep}}_{\lambda\kappa}e^\kappa) + (\bar{u}^\lambda_j\gamma^\mu(1+\gamma^5)C_{\lambda\kappa}d^\kappa_j)\right) + \\
\tfrac{ig}{2\sqrt{2}}W^-_\mu\left((\bar{e}^\kappa {U^{lep}}^\dagger_{\kappa\lambda}\gamma^\mu(1+\gamma^5)\nu^\lambda) + (\bar{d}^\kappa_j C^\dagger_{\kappa\lambda}\gamma^\mu(1+\gamma^5)u^\lambda_j)\right) + \\
\tfrac{ig}{2M\sqrt{2}}\phi^+\left(-m^\kappa_e(\bar{\nu}^\lambda {U^{lep}}_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)e^\kappa) + m^\lambda_\nu(\bar{\nu}^\lambda {U^{lep}}_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)e^\kappa\right) + \\
\tfrac{ig}{2M\sqrt{2}}\phi^-\left(m^\lambda_e(\bar{e}^\lambda {U^{lep}}^\dagger_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)\nu^\kappa) - m^\kappa_\nu(\bar{e}^\lambda {U^{lep}}^\dagger_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)\nu^\kappa\right) - \tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_\nu}{M}H(\bar{\nu}^\lambda\nu^\lambda) - \\
\tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_e}{M}H(\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \tfrac{ig}{2}\tfrac{m^\lambda_\nu}{M}\phi^0(\bar{\nu}^\lambda\gamma^5\nu^\lambda) - \tfrac{ig}{2}\tfrac{m^\lambda_e}{M}\phi^0(\bar{e}^\lambda\gamma^5 e^\lambda) - \tfrac{1}{4}\,\bar{\nu}_\lambda\, M^R_{\lambda\kappa}\,(1-\gamma_5)\hat{\nu}_\kappa - \\
\tfrac{1}{4}\,\bar{\nu}_\lambda\, M^R_{\lambda\kappa}\,(1-\gamma_5)\hat{\nu}_\kappa + \tfrac{ig}{2M\sqrt{2}}\phi^+\left(-m^\kappa_d(\bar{u}^\lambda_j C_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)d^\kappa_j) + m^\lambda_u(\bar{u}^\lambda_j C_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)d^\kappa_j\right) + \\
\tfrac{ig}{2M\sqrt{2}}\phi^-\left(m^\lambda_d(\bar{d}^\lambda_j C^\dagger_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)u^\kappa_j) - m^\kappa_u(\bar{d}^\lambda_j C^\dagger_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)u^\kappa_j\right) - \tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_u}{M}H(\bar{u}^\lambda_j u^\lambda_j) - \\
\tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_d}{M}H(\bar{d}^\lambda_j d^\lambda_j) + \tfrac{ig}{2}\tfrac{m^\lambda_u}{M}\phi^0(\bar{u}^\lambda_j\gamma^5 u^\lambda_j) - \tfrac{ig}{2}\tfrac{m^\lambda_d}{M}\phi^0(\bar{d}^\lambda_j\gamma^5 d^\lambda_j) + \bar{G}^a\partial^2 G^a + g_s f^{abc}\partial_\mu\bar{G}^a G^b g^c_\mu + \\
\bar{X}^+(\partial^2 - M^2)X^+ + \bar{X}^-(\partial^2 - M^2)X^- + \bar{X}^0(\partial^2 - \tfrac{M^2}{c^2_w})X^0 + \bar{Y}\partial^2 Y + igc_w W^+_\mu(\partial_\mu\bar{X}^0 X^- - \\
\partial_\mu\bar{X}^+ X^0) + igs_w W^+_\mu(\partial_\mu\bar{Y}X^- - \partial_\mu\bar{X}^+ Y) + igc_w W^-_\mu(\partial_\mu\bar{X}^- X^0 - \\
\partial_\mu\bar{X}^0 X^+) + igs_w W^-_\mu(\partial_\mu\bar{X}^- Y - \partial_\mu\bar{Y}X^+) + igc_w Z^0_\mu(\partial_\mu\bar{X}^+ X^+ - \\
\partial_\mu\bar{X}^- X^-) + igs_w A_\mu(\partial_\mu\bar{X}^+ X^+ - \\
\partial_\mu\bar{X}^- X^-) - \tfrac{1}{2}gM\left(\bar{X}^+X^+H + \bar{X}^-X^-H + \tfrac{1}{c^2_w}\bar{X}^0X^0H\right) + \tfrac{1-2c^2_w}{2c_w}igM\left(\bar{X}^+X^0\phi^+ - \bar{X}^-X^0\phi^-\right) + \\
\tfrac{1}{2c_w}igM\left(\bar{X}^0X^-\phi^+ - \bar{X}^0X^+\phi^-\right) + igMs_w\left(\bar{X}^0X^-\phi^+ - \bar{X}^0X^+\phi^-\right) + \\
\tfrac{1}{2}igM\left(\bar{X}^+X^+\phi^0 - \bar{X}^-X^-\phi^0\right) .
\end{gathered}
$$



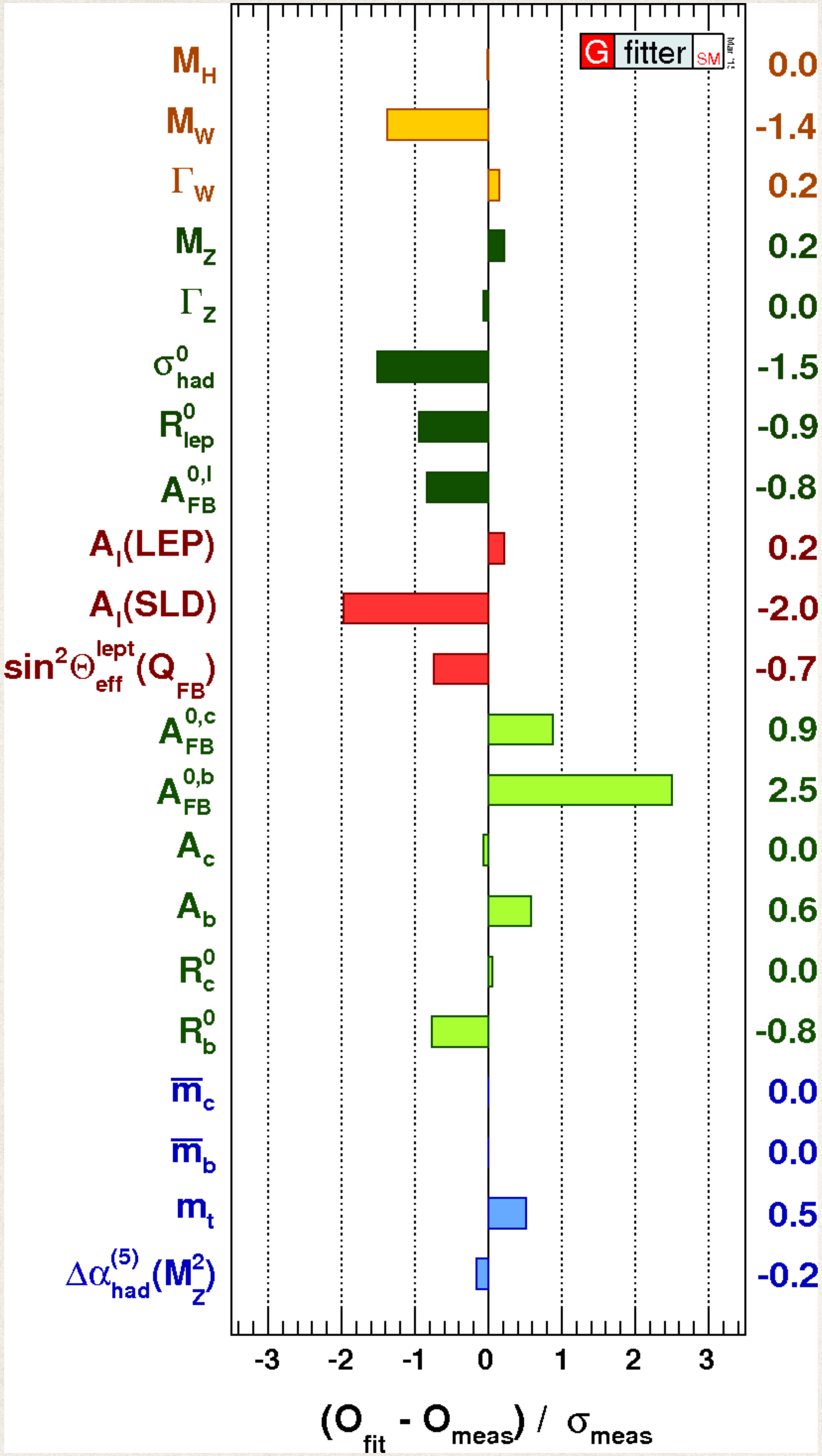
Ma che cosa è il Modello Standard?

- - una teoria di gauge non abeliana basata sulla Teoria Quantistica dei Campi

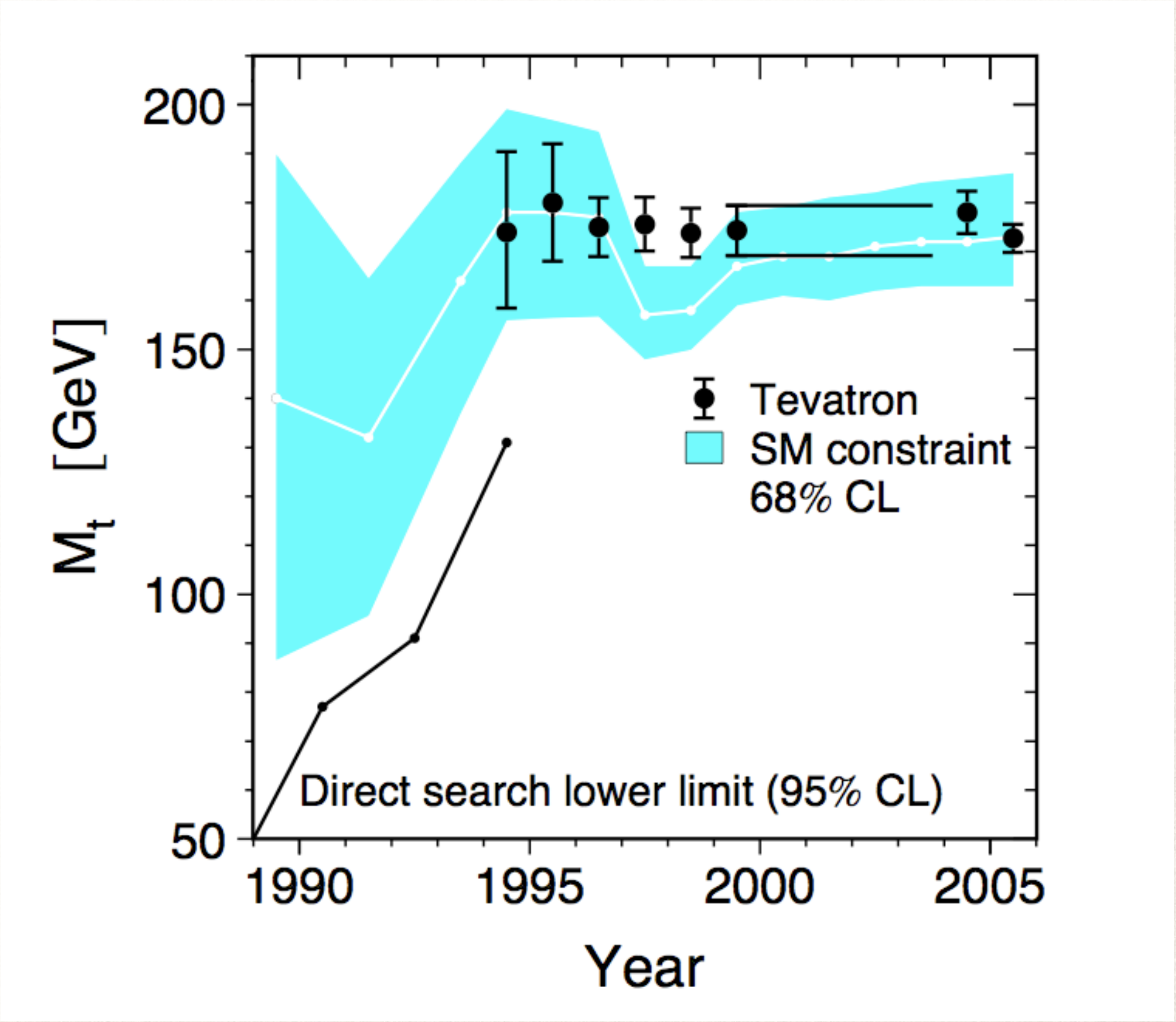
- - la teoria che descrive le interazioni forte, elettromagnetica e debole con tutte le particelle elementari

- - ha predetto l'esistenza dei bosoni W e Z, del gluone, dei quark charm e top e del bosone di Higgs prima della loro scoperta

	massa predetta	massa misurata
bosone W	80.385 +/- 0.015 GeV	80.387 +/- 0.019 GeV
bosone Z	91.1874 +/- 0.0020 GeV	91.1876 +/- 0.0021 GeV



G fitter SM
M_H 0.0
M_W -1.4
Γ_W 0.2
M_Z 0.2
Γ_Z 0.0
σ^0_{had} -1.5
R^0_{lep} -0.9
$A^{0,l}_{FB}$ -0.8
A_l(LEP) 0.2
A_l(SLD) -2.0
$\sin^2\Theta^{lept}_{eff}(Q_{FB})$ -0.7
$A^{0,c}_{FB}$ 0.9
$A^{0,b}_{FB}$ 2.5
A_c 0.0
A_b 0.6
R^0_c 0.0
R^0_b -0.8
$\overline{m}_c$ 0.0
$\overline{m}_b$ 0.0
m_t 0.5
$\Delta\alpha^{(5)}_{had}(M^2_Z)$ -0.2
-3 -2 -1 0 1 2 3
$(O_{fit} - O_{meas}) / \sigma_{meas}$



200
150
100
50
M_t [GeV]
Tevatron
SM constraint
68% CL
Direct search lower limit (95% CL)
1990
1995
2000
2005
Year

Ma che cosa è il Modello Standard?

- - una teoria di gauge non abeliana basata sulla Teoria Quantistica dei Campi

- - la teoria che descrive le interazioni forte, elettromagnetica e debole con tutte le particelle elementari

- - ha predetto l'esistenza dei bosoni W e Z, del gluone, dei quark charm e top e del bosone di Higgs prima della loro scoperta

Anche se…
- contiene 19 parametri liberi
- non spiega l'asimmetria tra materia e antimateria
- non spiega il valore 'non naturale' della massa di Higgs
- non comprende l'interazione gravitazionale ne sorgenti di materia oscura
- non provvede a dare una massa ai neutrini

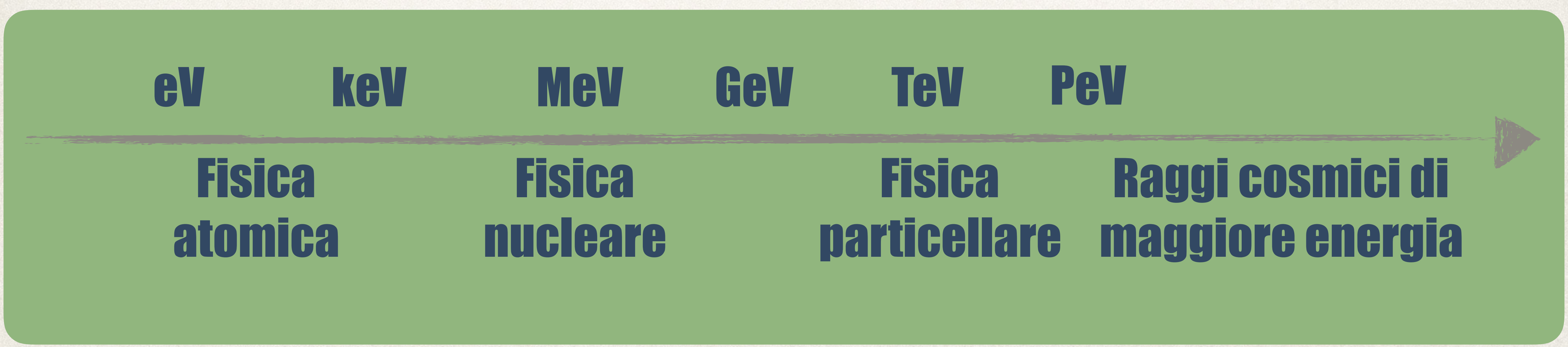
Come testare il Modello Standard?

Relatività speciale e relazione di Einstein $E = c^2\sqrt{m^2 + p^2/c^2}$

Dualismo onda-corpuscolo e relazione di De Broglie $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E}$

La luce visibile non è abbastanza !

$$400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$$
$$\Delta d_{min} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m} \Rightarrow E \sim \mathcal{O}(eV)\,;\, 1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$



Ada | 1960 | Laboratori INFN di Frascati

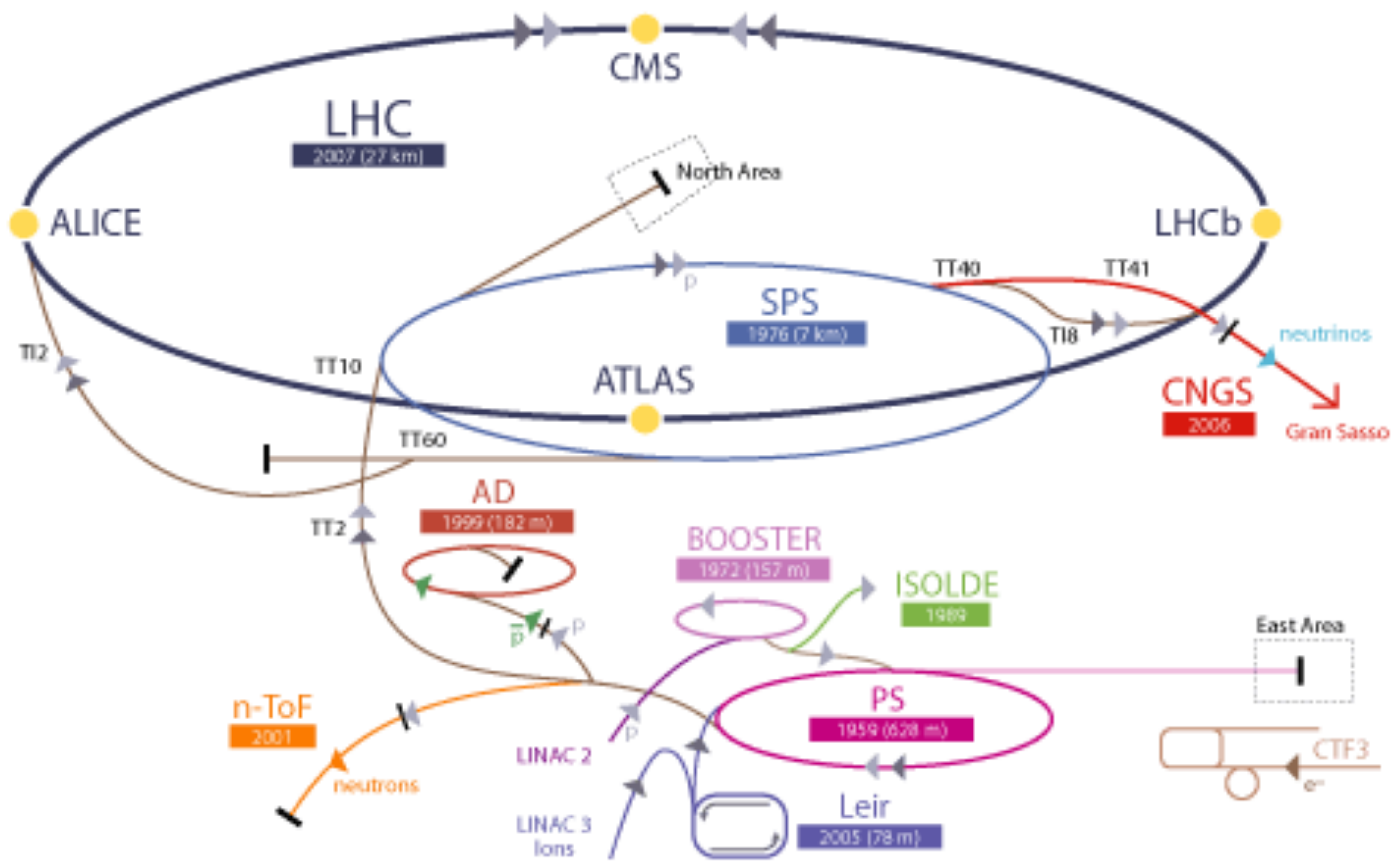
Primo collider di elettroni e positroni con energia nel centro di massa di 250 MeV


LHCb
ATLAS
CERN Meyrin
CERN Prévessin
SUISSE
FRANCE
SPS 7 km
ALICE
CMS
LHC 27 km

“…abbiamo rivolto la nostra attenzione alla creazione di questo nuovo ente internazionale, un laboratorio o un istituto dove sia possibile effettuare ricerca scientifica al di là del quadro nazionale dei vari stati membri … un ente dotato di risorse maggiori di quelle disponibili ai laboratori nazionali che possa quindi farsi carico di compiti le cui dimensioni e la cui natura siano tali che i singoli Stati non possano svolgerli da soli.”

Louis De Broglie - 1949

CERN Accelerator Complex



p (proton) ion neutrons p̄ (antiproton) neutrinos electron

proton/antiproton conversion

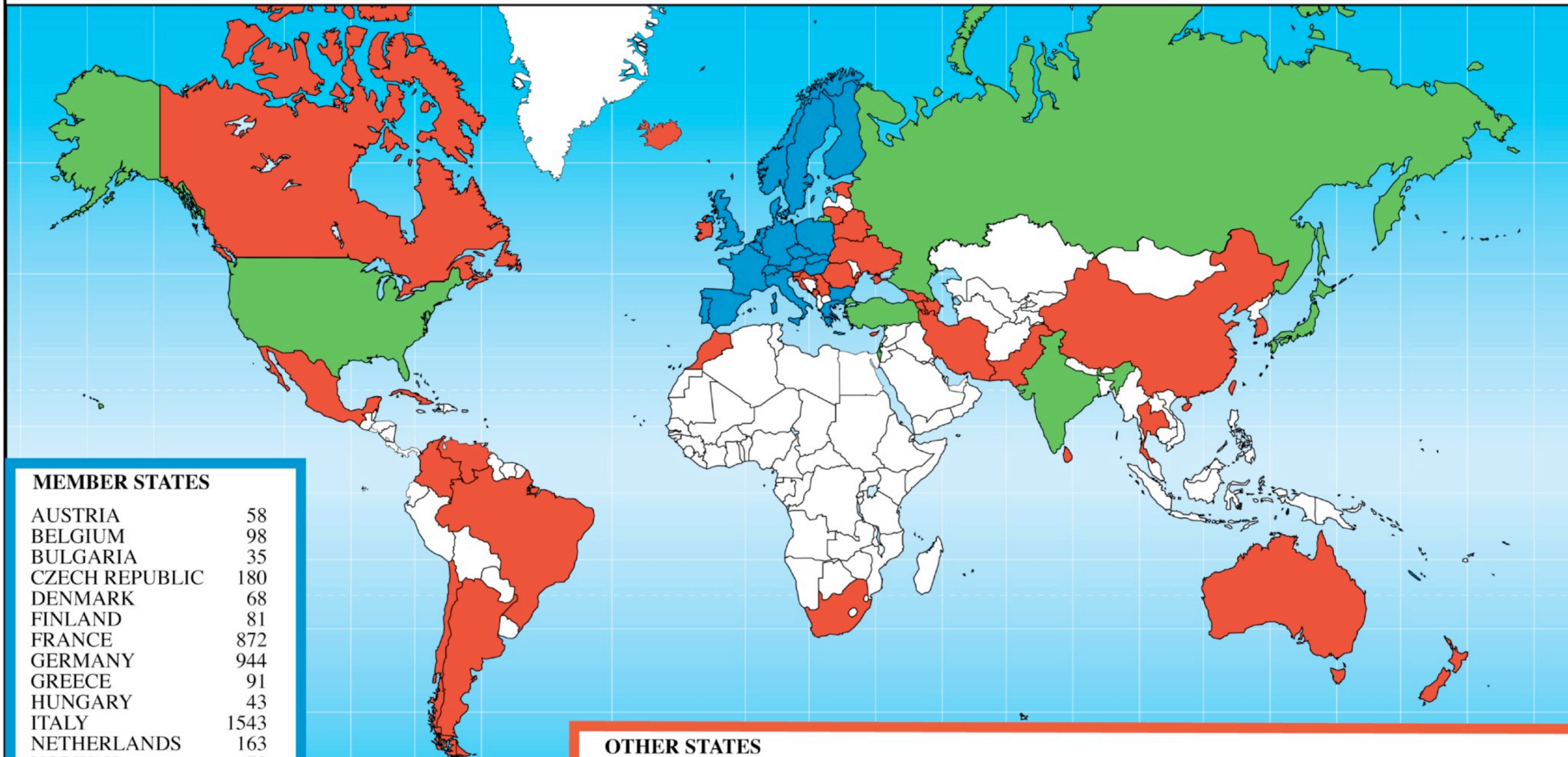
LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility

CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 5 February 2008



MEMBER STATES

AUSTRIA	58
BELGIUM	98
BULGARIA	35
CZECH REPUBLIC	180
DENMARK	68
FINLAND	81
FRANCE	872
GERMANY	944
GREECE	91
HUNGARY	43
ITALY	1543
NETHERLANDS	163
NORWAY	70
POLAND	175
PORTUGAL	109
SLOVAKIA	46
SPAIN	270
SWEDEN	74
SWITZERLAND	344
UNITED KINGDOM	645

5909

OBSERVER STATES

INDIA	93
ISRAEL	64
JAPAN	182
RUSSIA	940
TURKEY	35
USA	1278

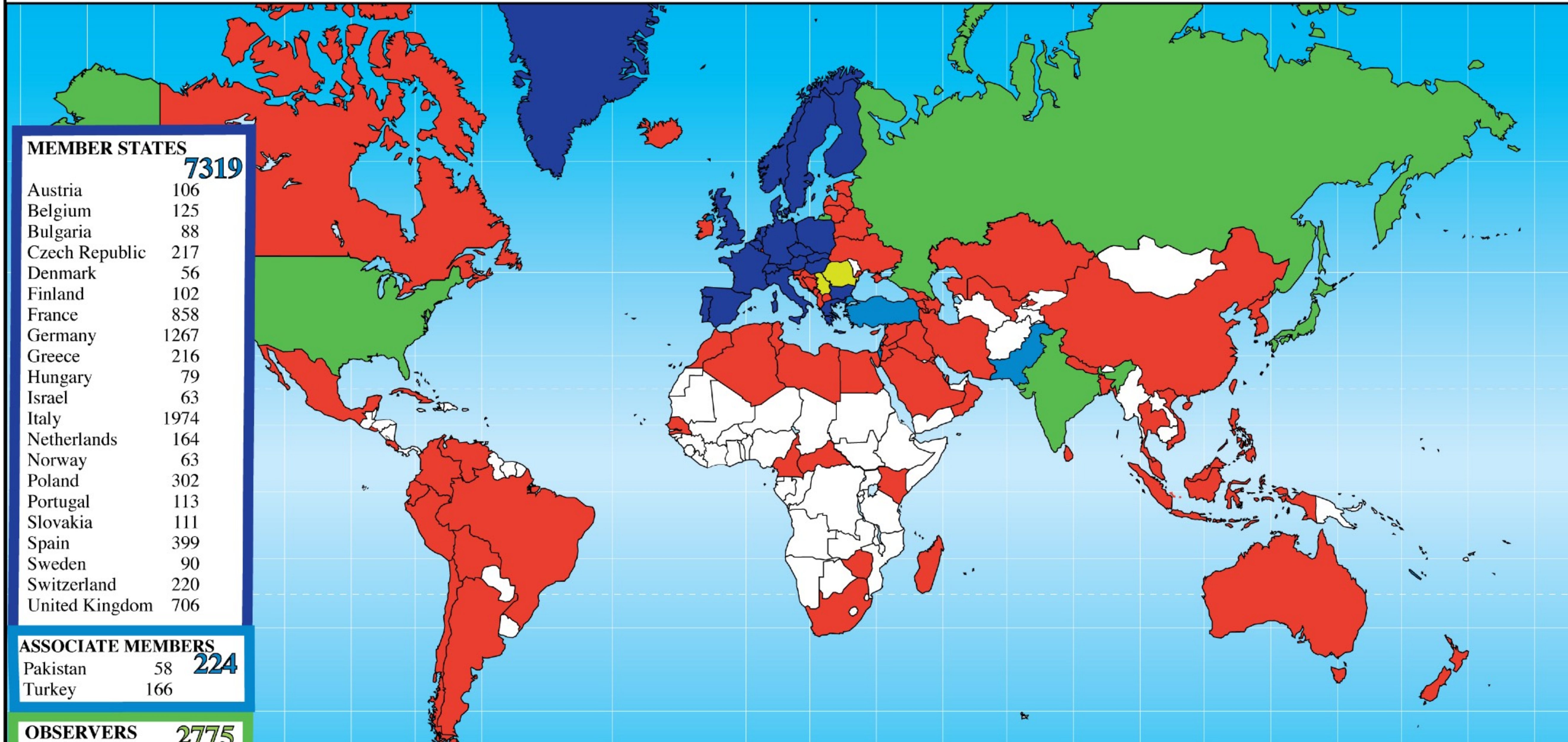
2592

OTHER STATES

ARGENTINA	8
ARMENIA	17
AUSTRALIA	13
AZERBAIJAN	1
BELARUS	23
BRAZIL	68
CANADA	119
CHILE	4
CHINA	60
COLOMBIA	5
CROATIA	17
CUBA	3
CYPRUS	6
ESTONIA	10
GEORGIA	9
ICELAND	1
IRAN	6
IRELAND	14
KOREA	44
LITHUANIA	5
MEXICO	23
MONTENEGRO	1
MOROCCO	6
NEW ZEALAND	7
PAKISTAN	23
ROMANIA	46
SERBIA	16
SLOVENIA	16
SOUTH AFRICA	2
SRI LANKA	1
TAIWAN	40
THAILAND	1
UKRAINE	17

632

Distribution of All CERN Users by Nationality on 12 January 2016



MEMBER STATES 7319

Austria	106
Belgium	125
Bulgaria	88
Czech Republic	217
Denmark	56
Finland	102
France	858
Germany	1267
Greece	216
Hungary	79
Israel	63
Italy	1974
Netherlands	164
Norway	63
Poland	302
Portugal	113
Slovakia	111
Spain	399
Sweden	90
Switzerland	220
United Kingdom	706

ASSOCIATE MEMBERS 224

Pakistan	58
Turkey	166

OBSERVERS 2775

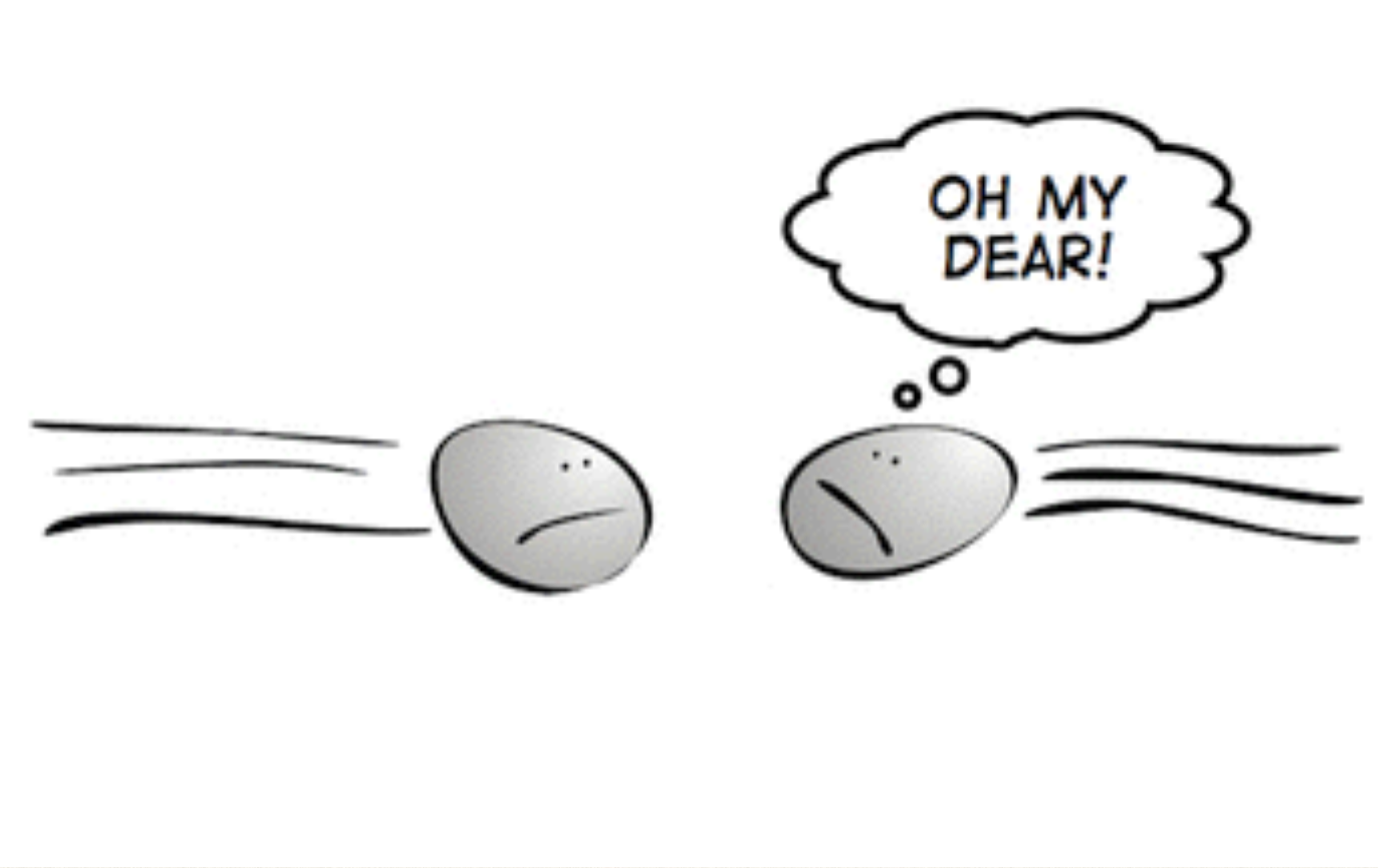
India	284
Japan	316
Russia	1071
USA	1104

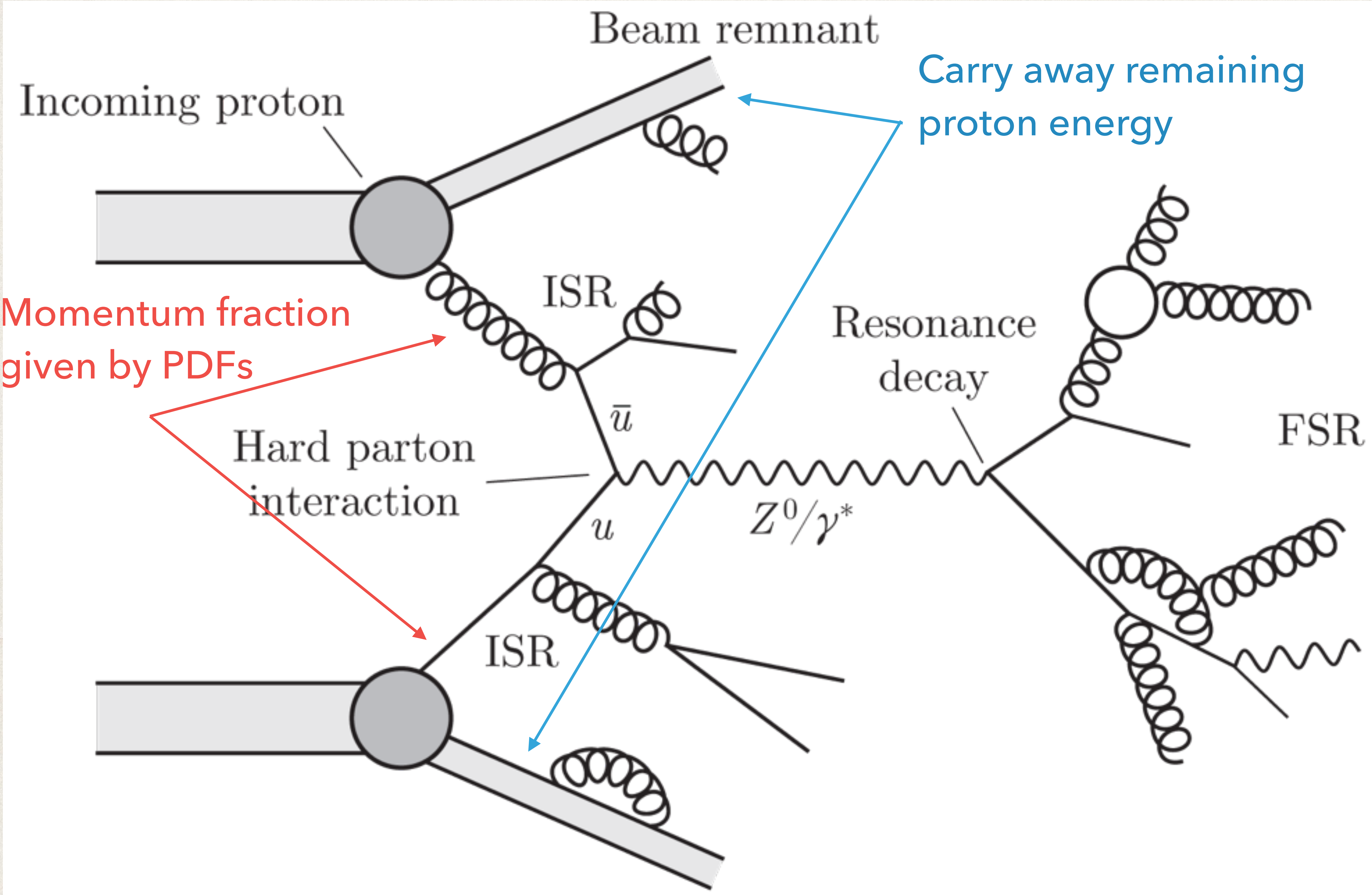
STATES IN ACCESSION TO MEMBERSHIP 195

Cyprus	19
Romania	131
Serbia	45

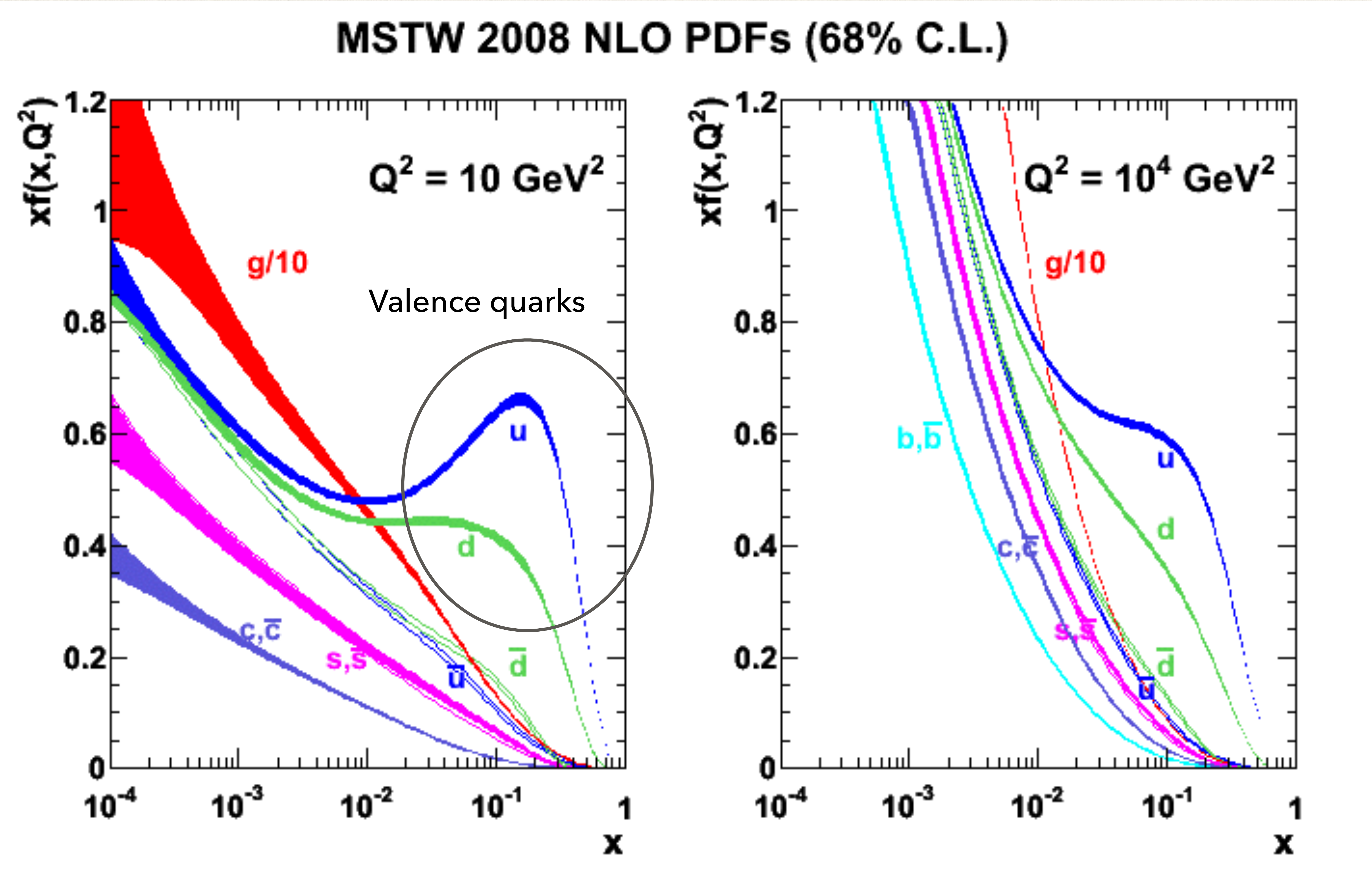
OTHERS 1803

Albania	4
Algeria	8
Argentina	24
Armenia	27
Australia	31
Azerbaijan	11
Bangladesh	7
Belarus	50
Bolivia	2
Bosnia & Herzegovina	1
Brazil	135
Cameroon	2
Canada	154
Central African Rep.	1
Chile	20
China	421
Colombia	38
Costa Rica	1
Croatia	38
Cuba	13
Ecuador	4
Egypt	24
El Salvador	1
Estonia	15
Georgia	44
Iceland	4
Indonesia	10
Iran	54
Iraq	1
Ireland	20
Jordan	8
Kazakhstan	1
Kenya	2
Korea, D.P.R.	4
Korea Rep.	151
Latvia	1
Lebanon	12
Libya	1
Lithuania	30
Luxembourg	2
Madagascar	4
Malaysia	18
Malta	5
Mauritius	1
Mexico	84
Montenegro	2
Morocco	13
Nepal	7
New Zealand	6
Oman	1
Palestine (O.T.).	7
Peru	6
Philippines	4
Qatar	1
San Marino	1
Saudi Arabia	1
Senegal	1
Singapore	3
Sint Maarten	1
Slovenia	27
South Africa	31
Sri Lanka	3
Syria	1
Taiwan	56
Thailand	20
T.F.Y.R.O.M.	2
Tunisia	3
Ukraine	88
Uzbekistan	5
Venezuela	11
Viet Nam	8
Zimbabwe	5


OH MY DEAR!


Beam remnant
Carry away remaining proton energy
Incoming proton
ISR
Momentum fraction given by PDFs
Resonance decay
$\bar{u}$
FSR
Hard parton interaction
u
Z^0/γ^*
ISR

Funzioni di distribuzione dell'impulso tra i costituenti del protone



Dammi tre parole...

Il risultato di ogni singola collisione non è deterministico

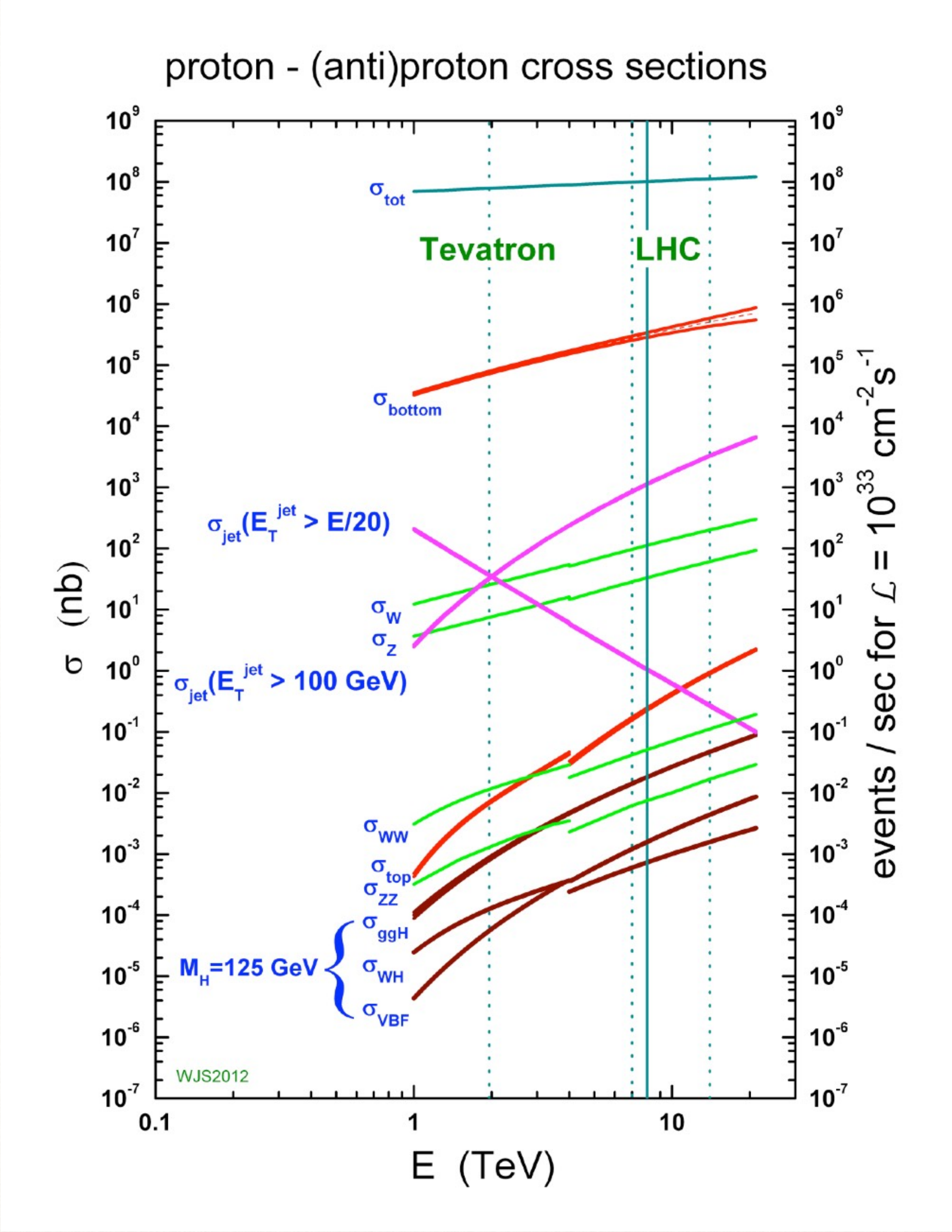
1) Sezione d'urto | Misura della probabilità di occorrenza di un processo fisico

Collisioni interessanti sono rare

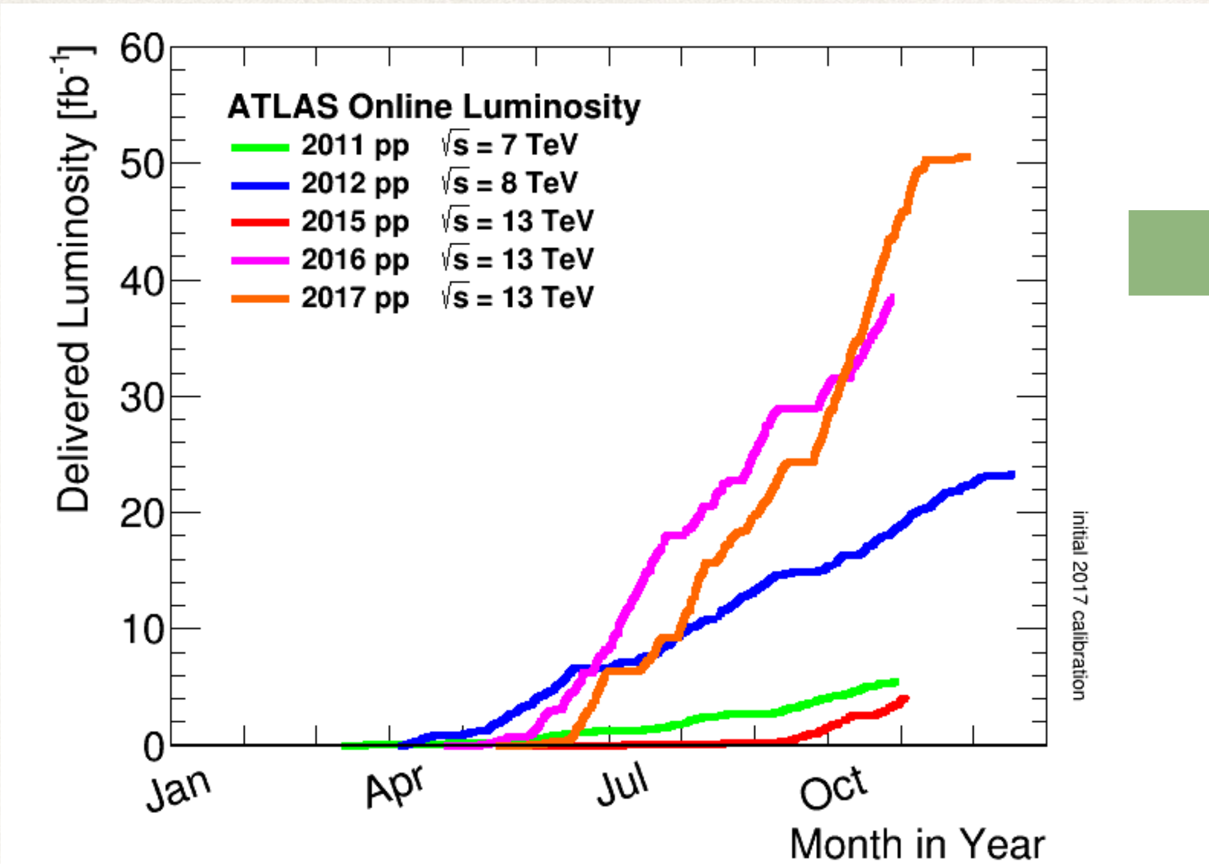
2) Luminosità | Rapporto tra il numero di collisioni in un arco temporale e la sezione d'urto

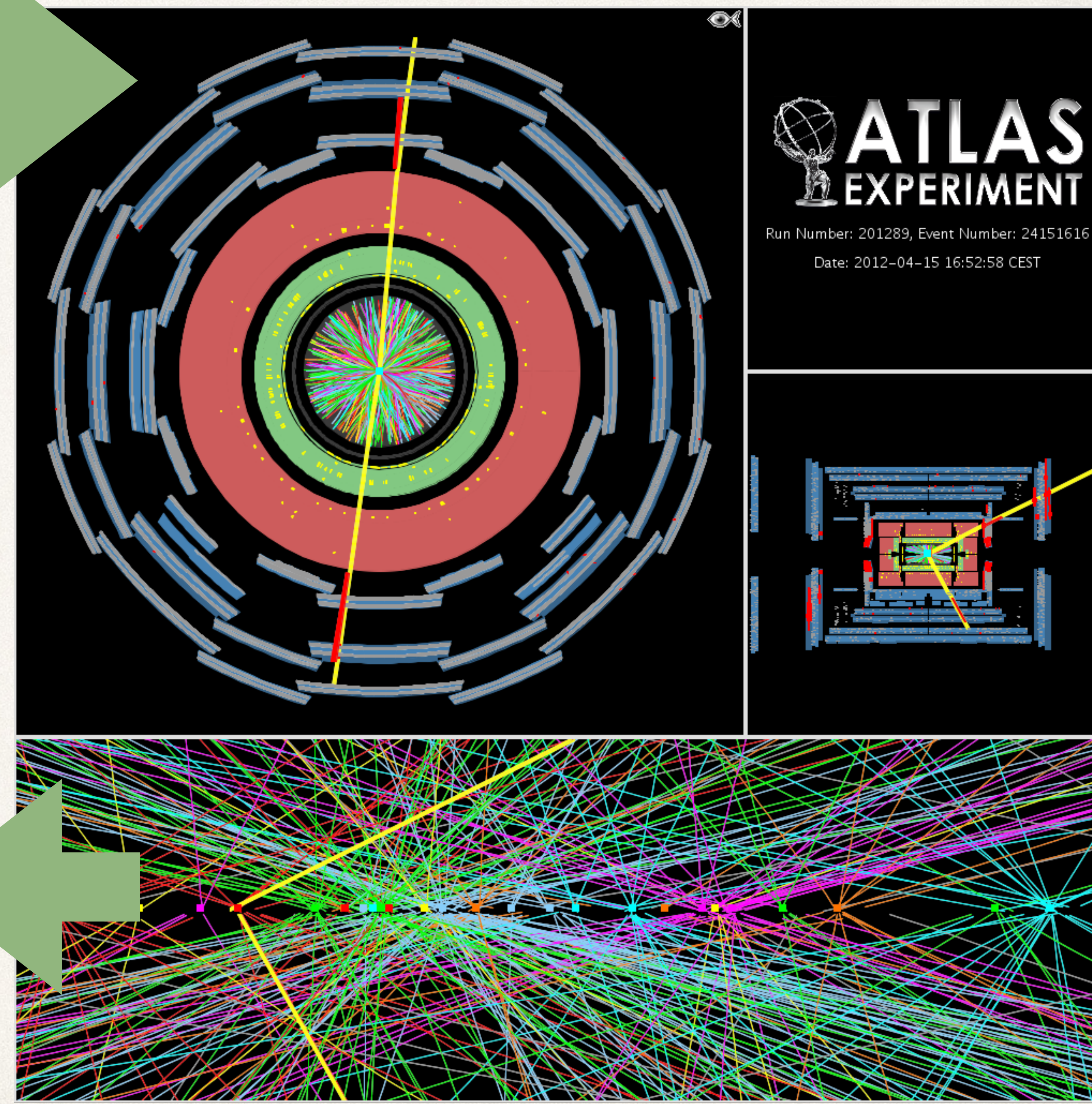
C'è un prezzo da pagare...

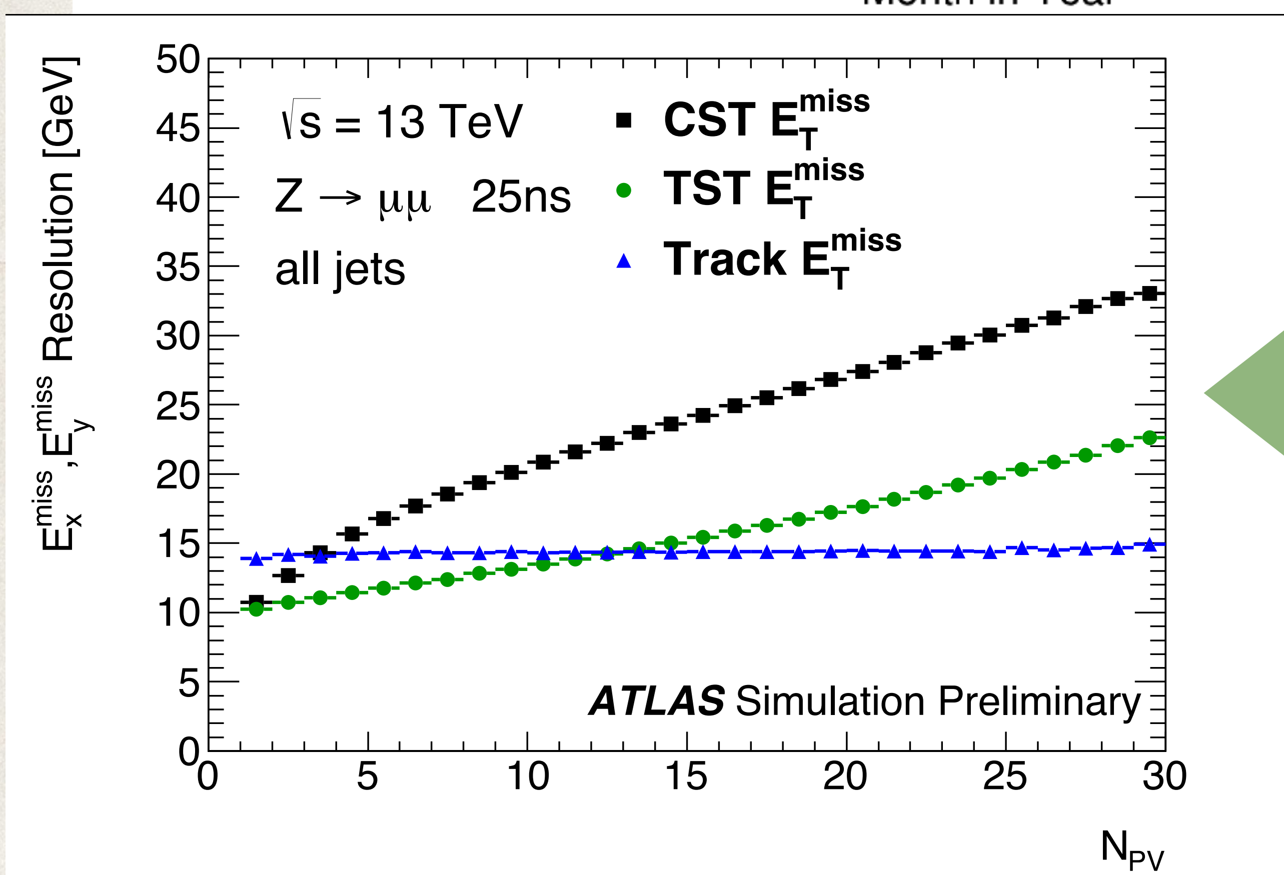
3) Pile-up | Sovrapposizione di più collisioni allo stesso incrocio di fasci



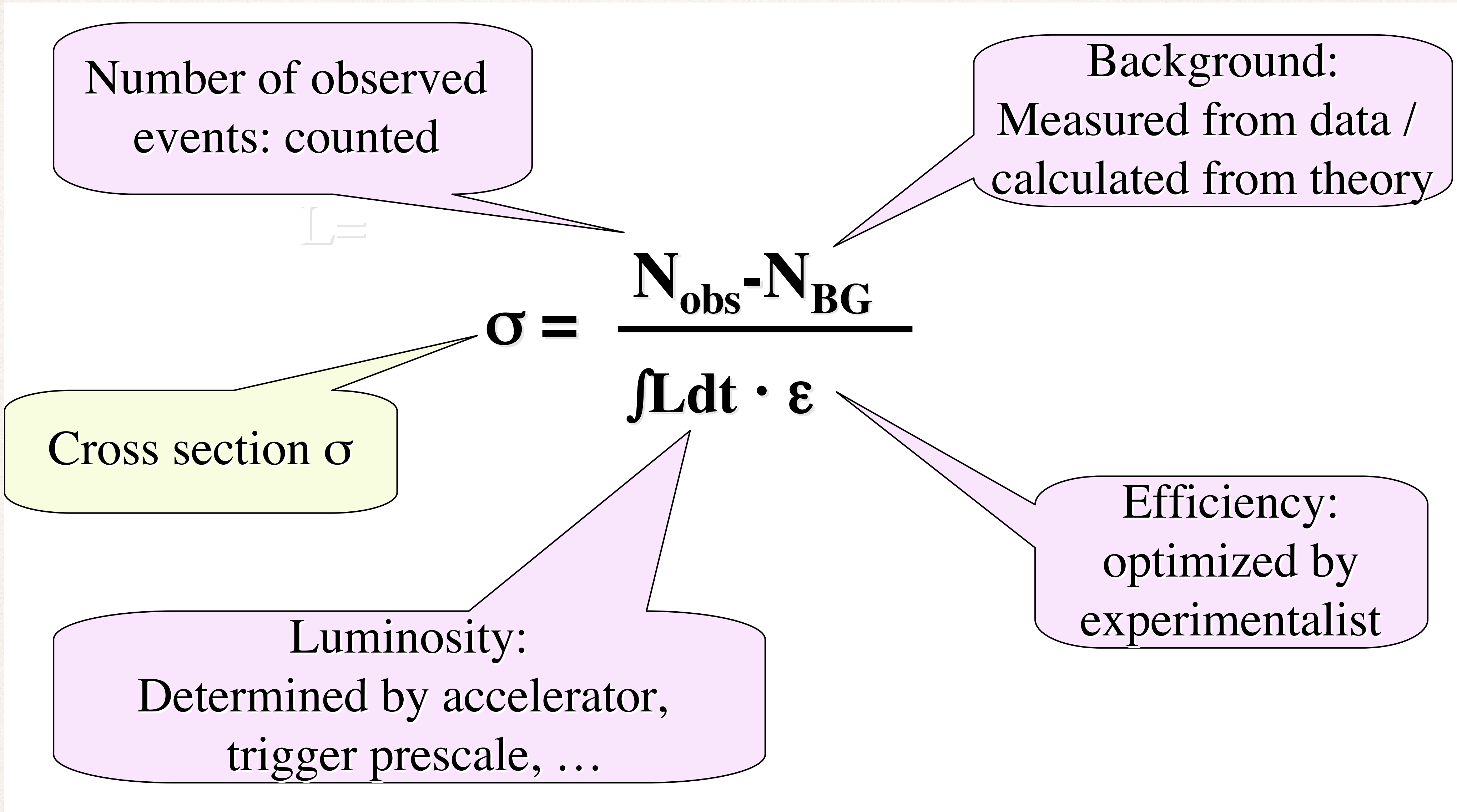
Pile-up


ATLAS Online Luminosity
2011 pp √s = 7 TeV
2012 pp √s = 8 TeV
2015 pp √s = 13 TeV
2016 pp √s = 13 TeV
2017 pp √s = 13 TeV
Delivered Luminosity [fb^{-1}]
Month in Year
Jan
Apr
Jul
Oct
initial 2017 calibration
0
10
20
30
40
50
60


ATLAS EXPERIMENT
Run Number: 201289, Event Number: 24151616
Date: 2012-04-15 16:52:58 CEST

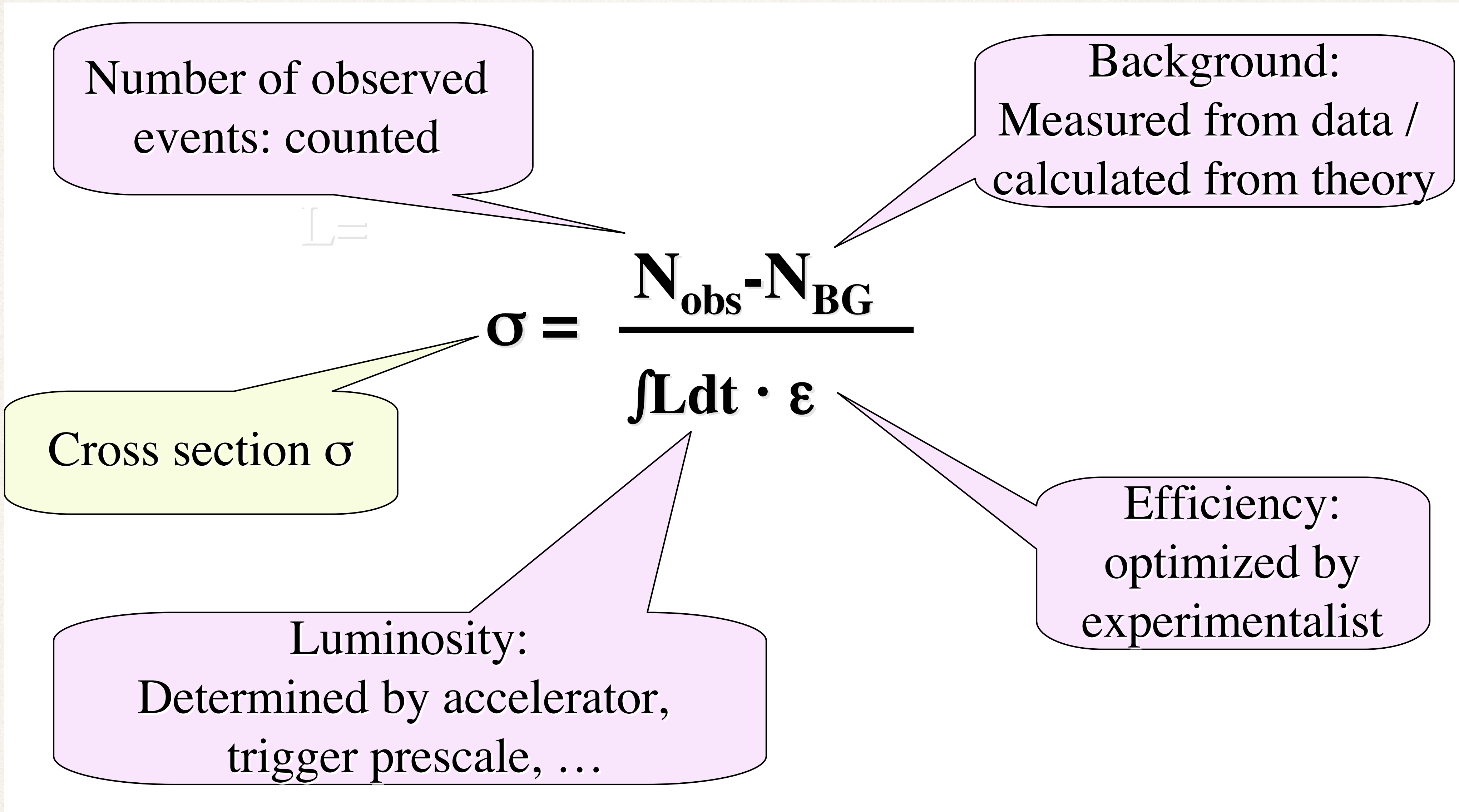

√s = 13 TeV
Z → μμ 25ns
all jets
CST E_T^{miss}
TST E_T^{miss}
Track E_T^{miss}
ATLAS Simulation Preliminary
E_x^{miss}, E_y^{miss} Resolution [GeV]
N_{PV}
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50

Misura della sezione d'urto …



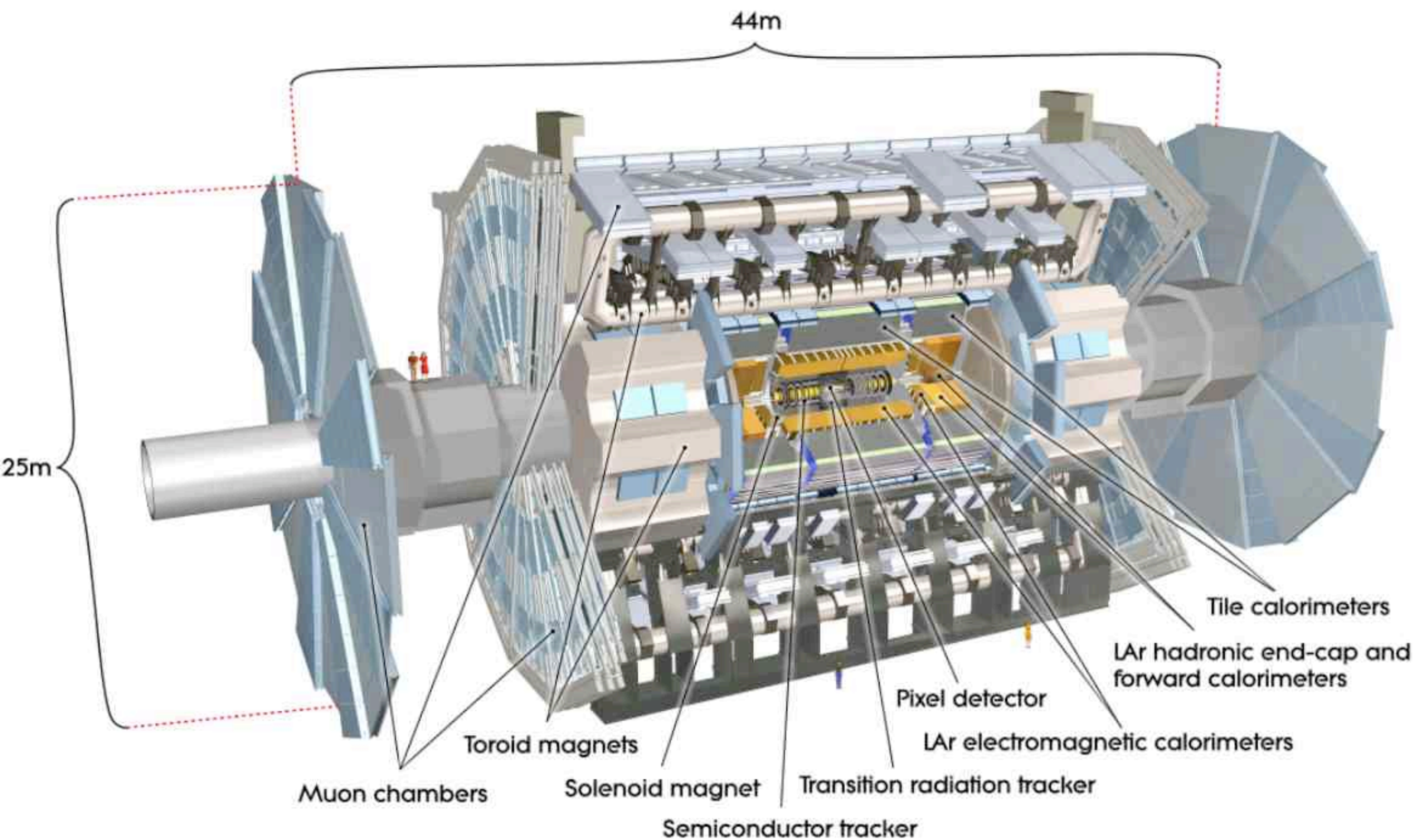
$$\sigma = \frac{N_{obs} - N_{BG}}{\int L dt \cdot \varepsilon}$$

… e del suo errore

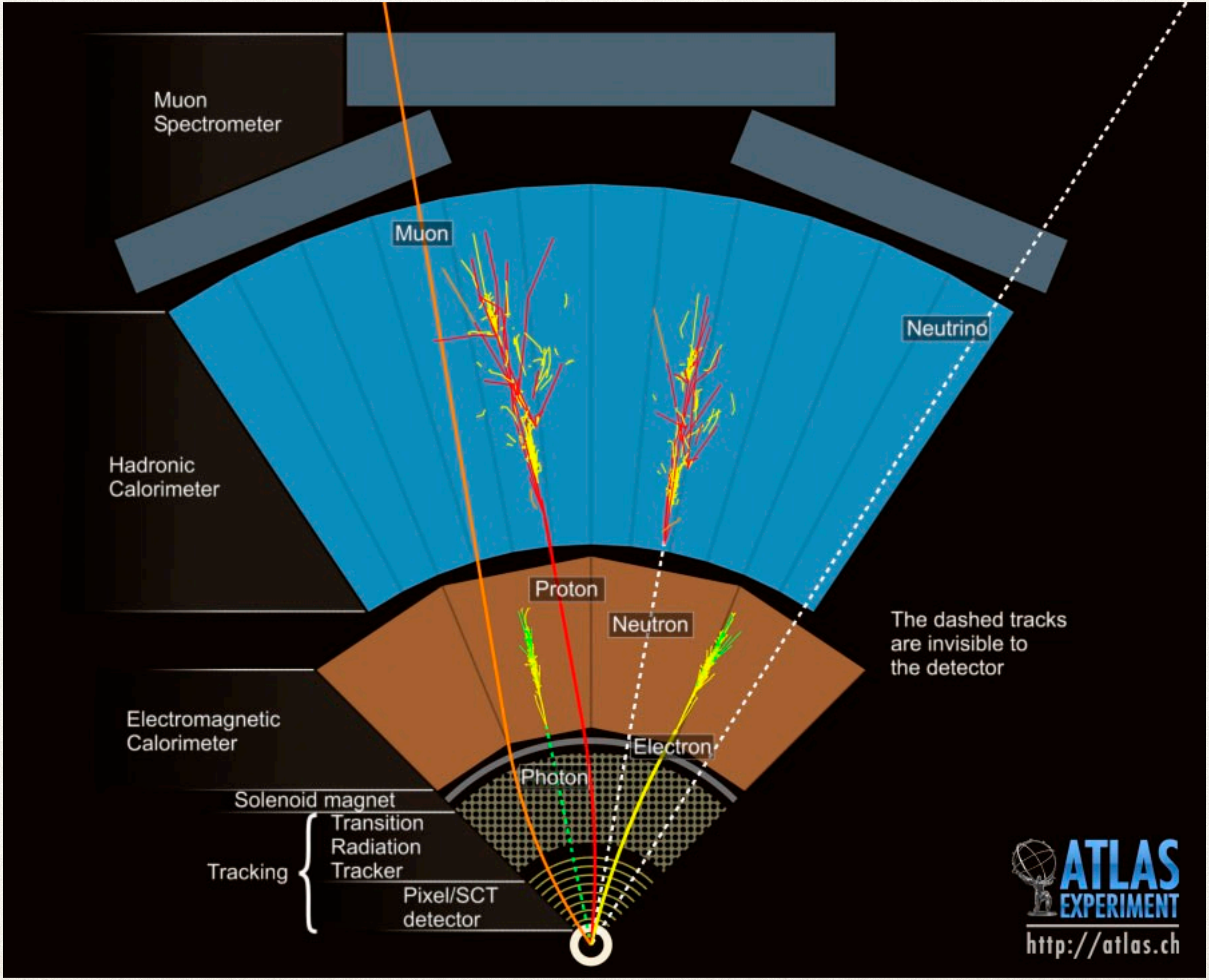


$$\frac{\delta\sigma}{\sigma} = \sqrt{\frac{\delta N_{obs}^2 + \delta N_{bg}^2}{N_{obs} - Nbg} + \left(\frac{\delta\mathcal{L}}{\mathcal{L}}\right)^2 + \left(\frac{\delta\epsilon}{\epsilon}\right)^2}$$

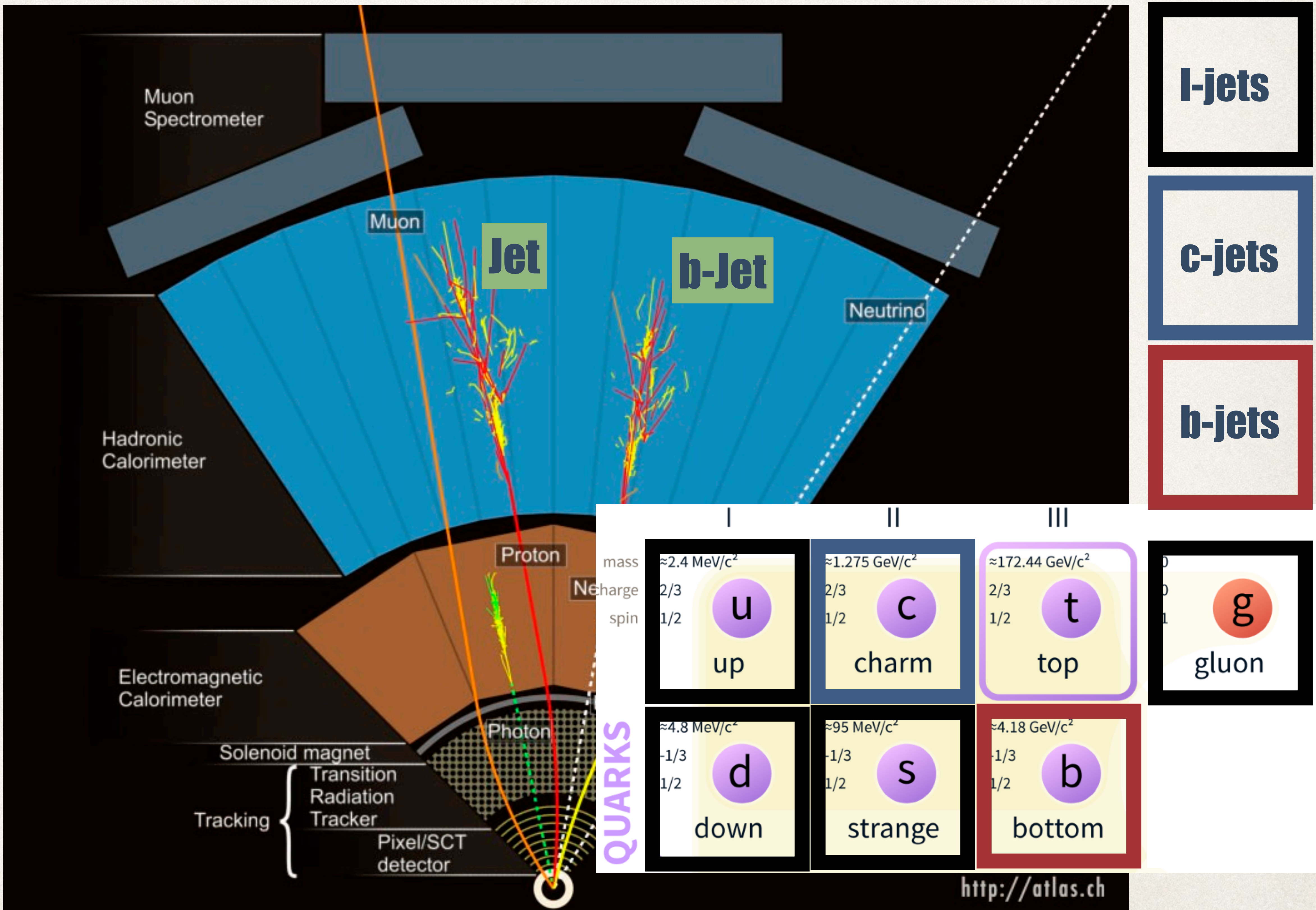
ATLAS


44m
25m
Tile calorimeters
LAr hadronic end-cap and forward calorimeters
Pixel detector
LAr electromagnetic calorimeters
Toroid magnets
Muon chambers
Solenoid magnet
Transition radiation tracker
Semiconductor tracker

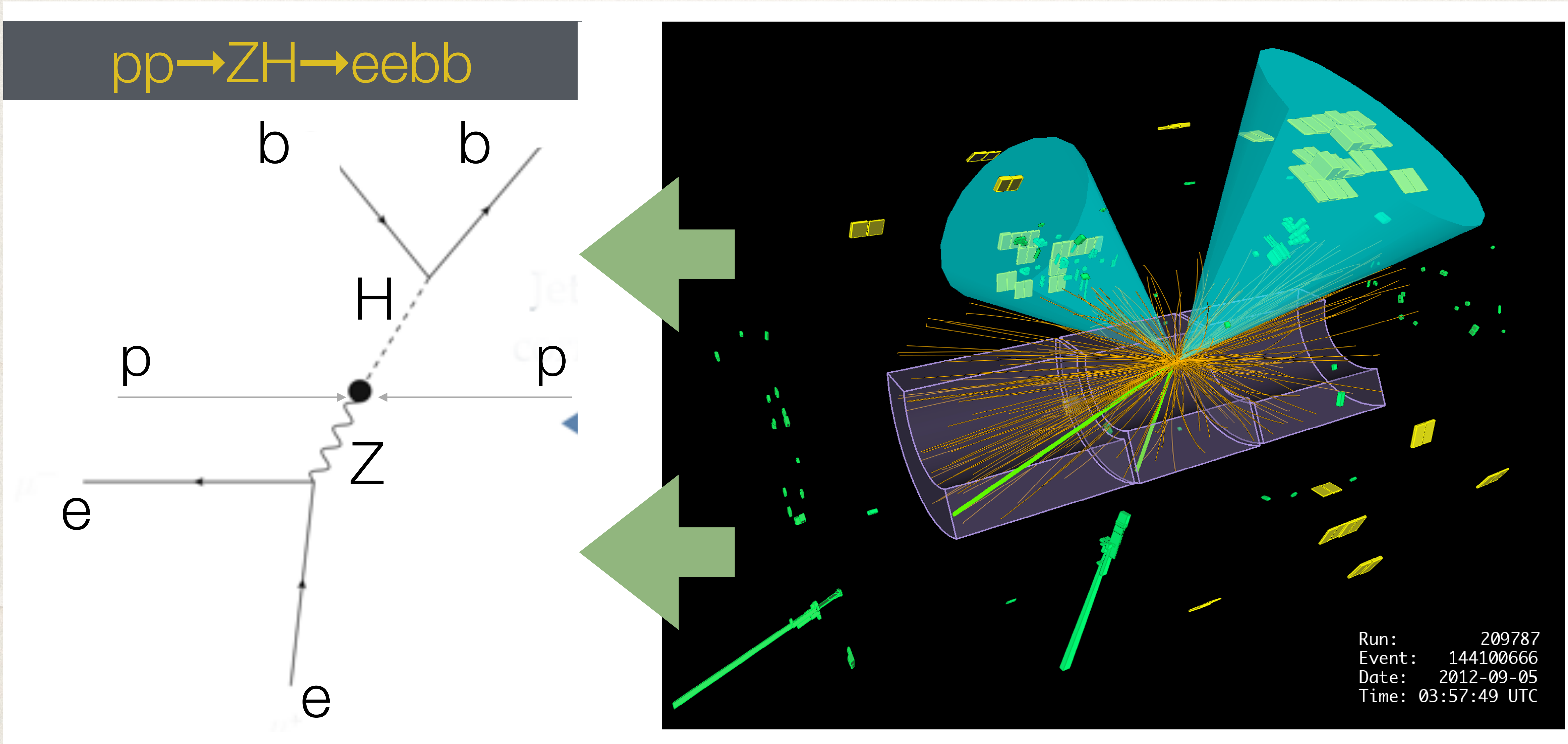
La firma di (poche) particelle



La firma di (poche) particelle

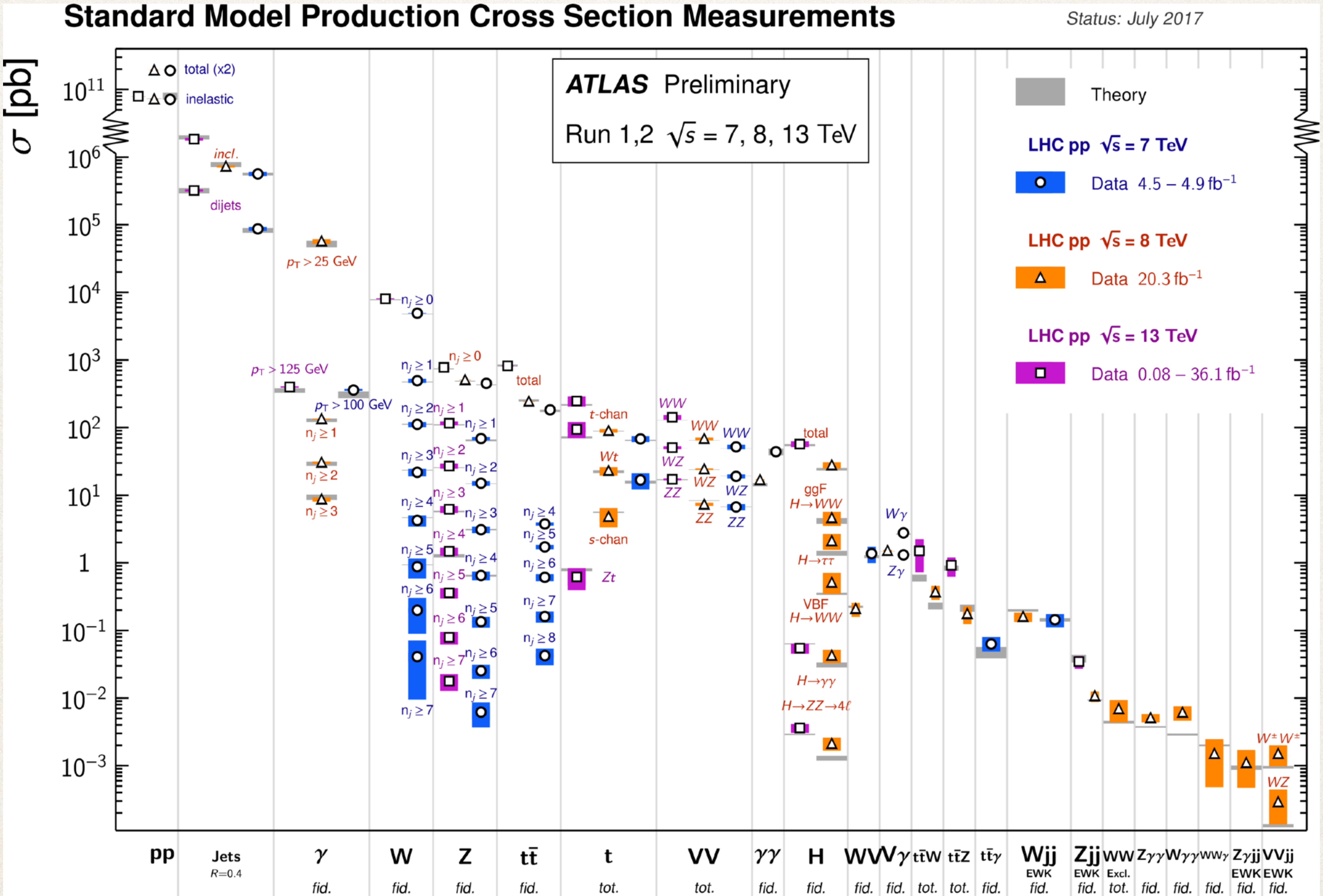


Cosa si vede più nel dettaglio

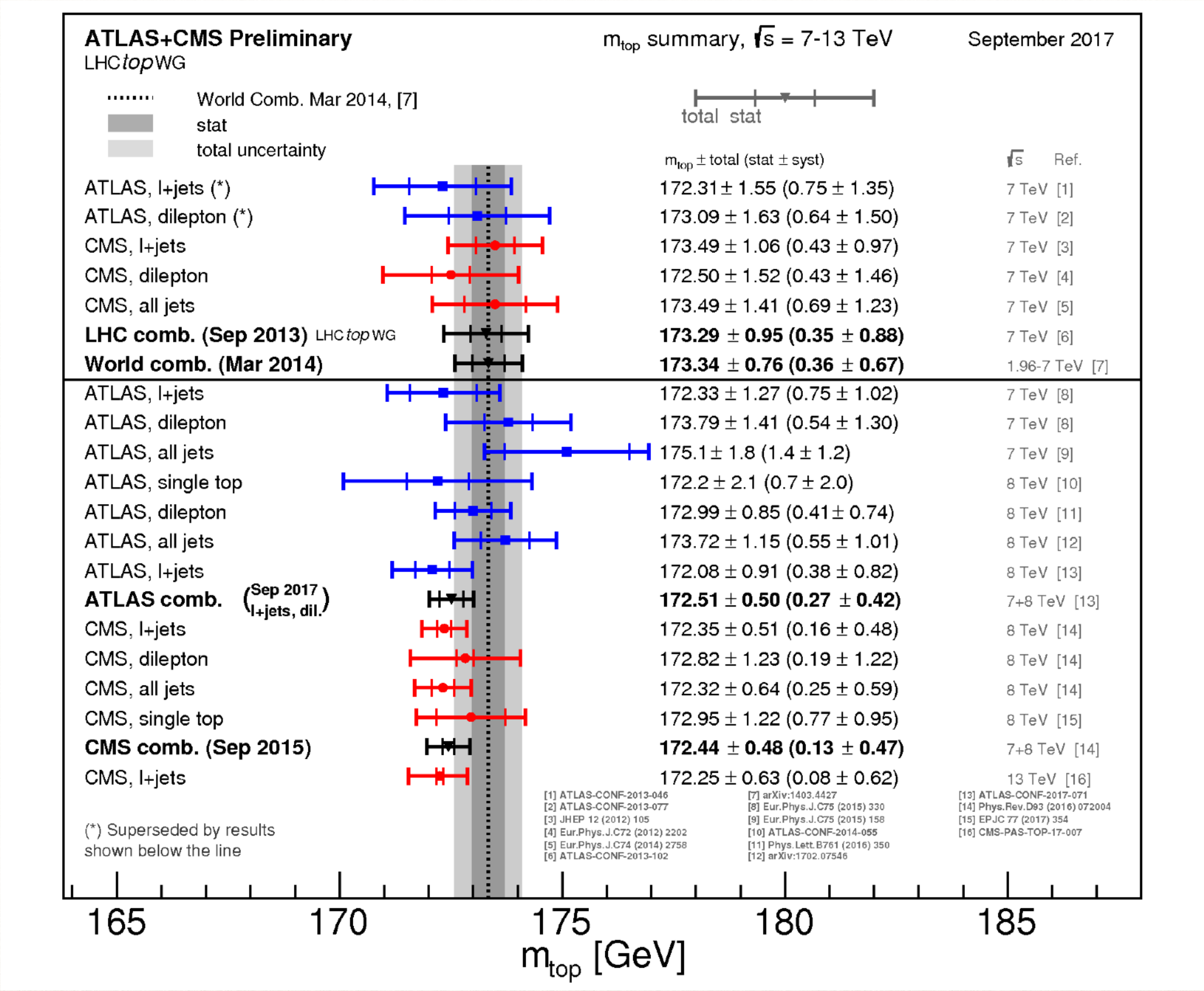


L'analisi dati consiste nel 'mappare' un insieme di eventi con un certo processo teorico con lo scopo di effettuare una misura o una ricerca di un fenomeno non ancora osservato

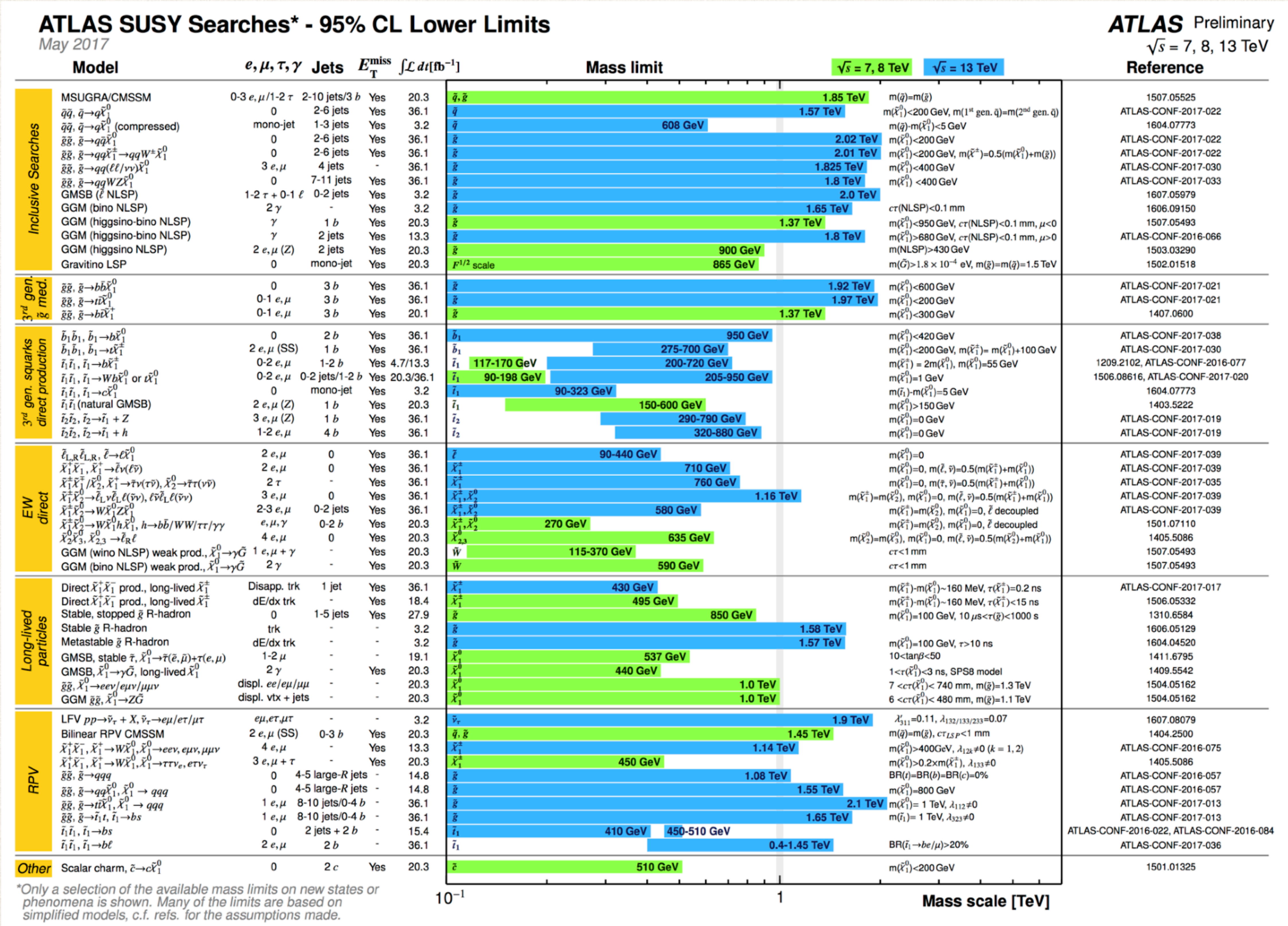
Cosa misura ATLAS?



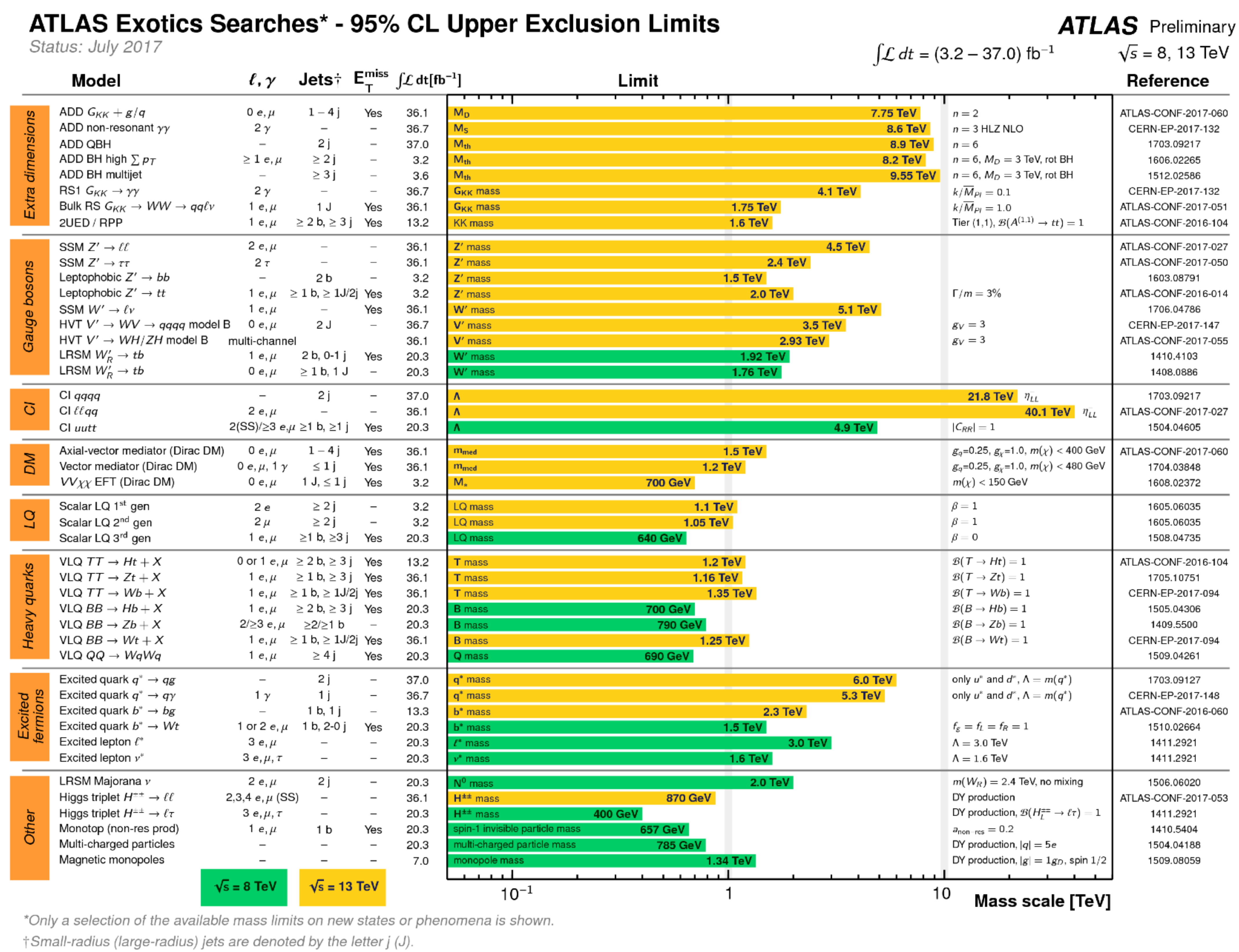
Cosa misura ATLAS?



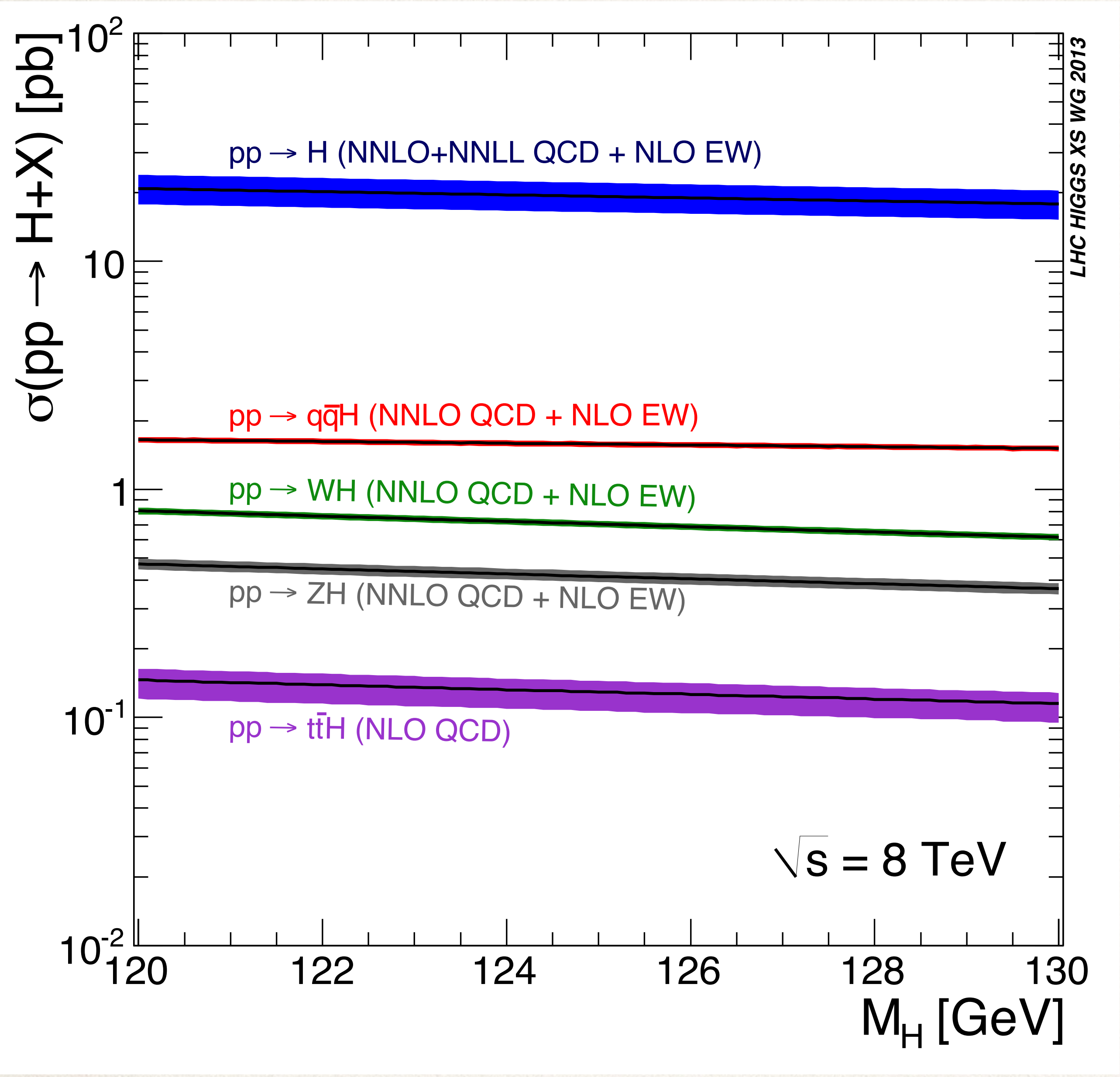
Cosa cerca ATLAS?

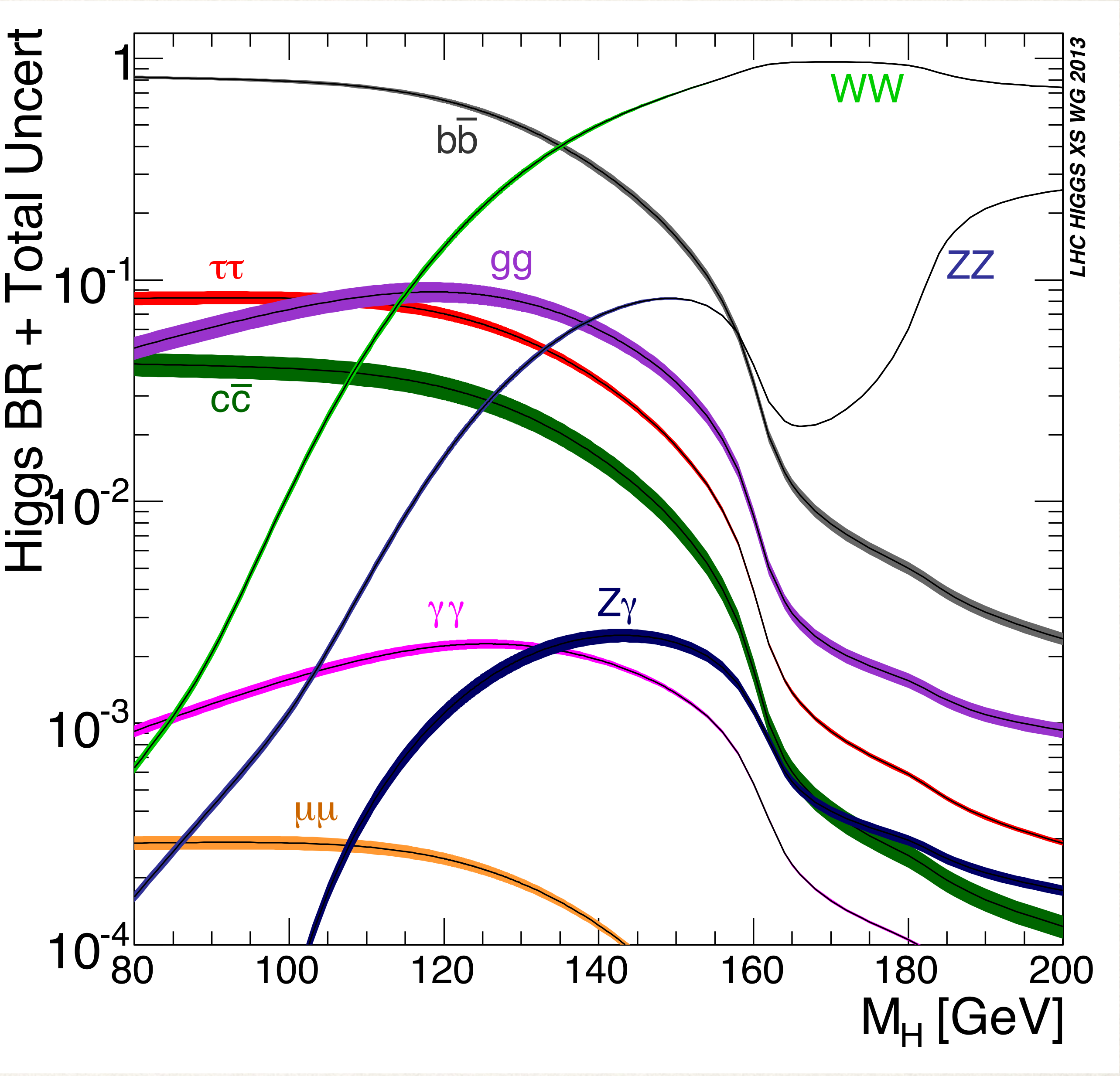


Cosa cerca ATLAS?



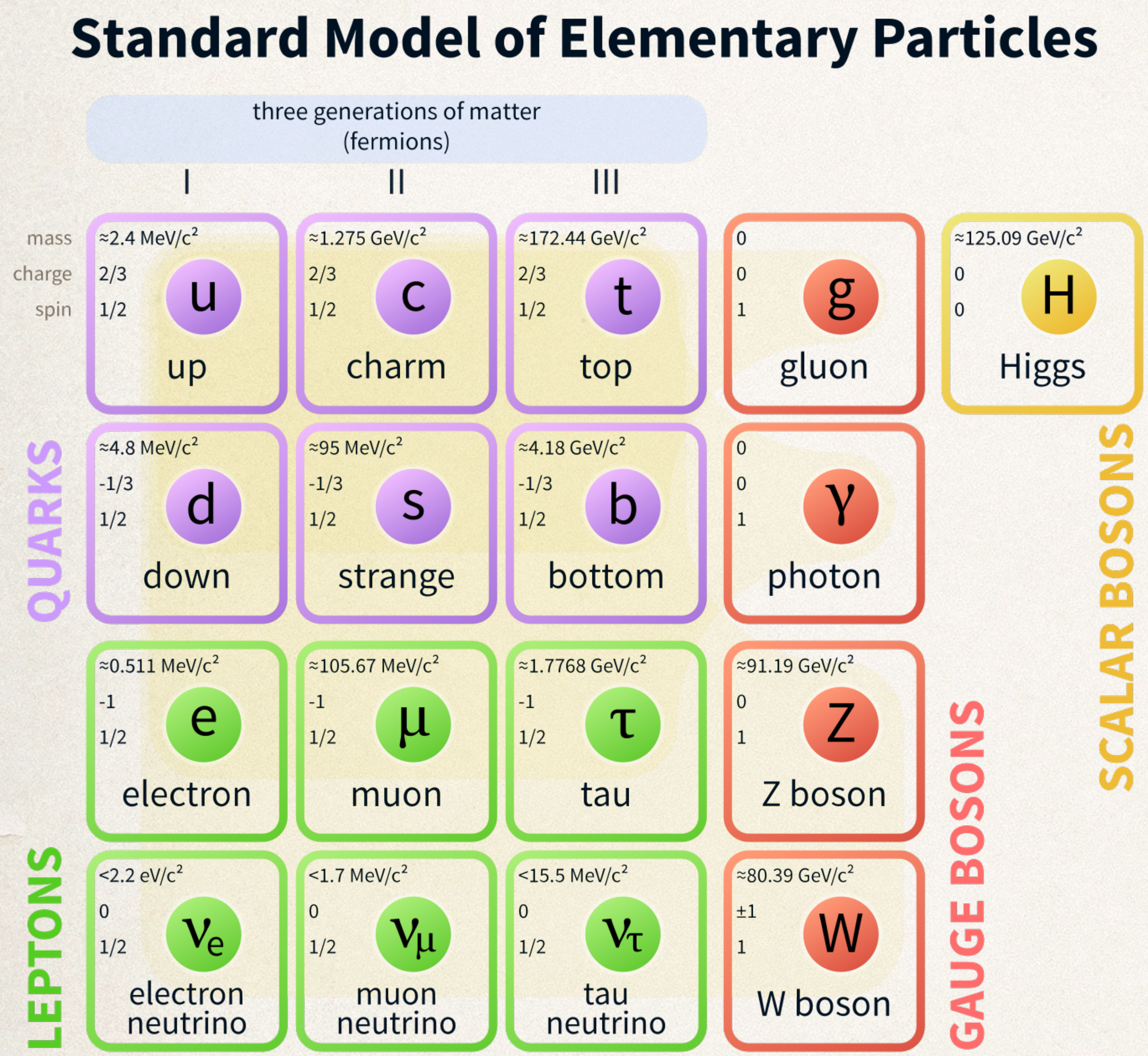
Fenomenologia del bosone di Higgs





ATLAS+CMS Run-I	125.09 ± 0.24 GeV
ATLAS Run-II	124.98 ± 0.28 GeV
CMS Run-II	125.26 ± 0.21 GeV

Accoppiamenti fermionici del bosone di Higgs



2012 | Scoperta solo tramite bosoni!

$$H \to \gamma\gamma$$
$$H \to ZZ^* \to 4\ell$$
$$H \to WW^* \to e\nu\mu\nu$$

2012 | Osservazione indiretta

$$gg \to H$$

2013 | Premio nobel a Higgs e Englert

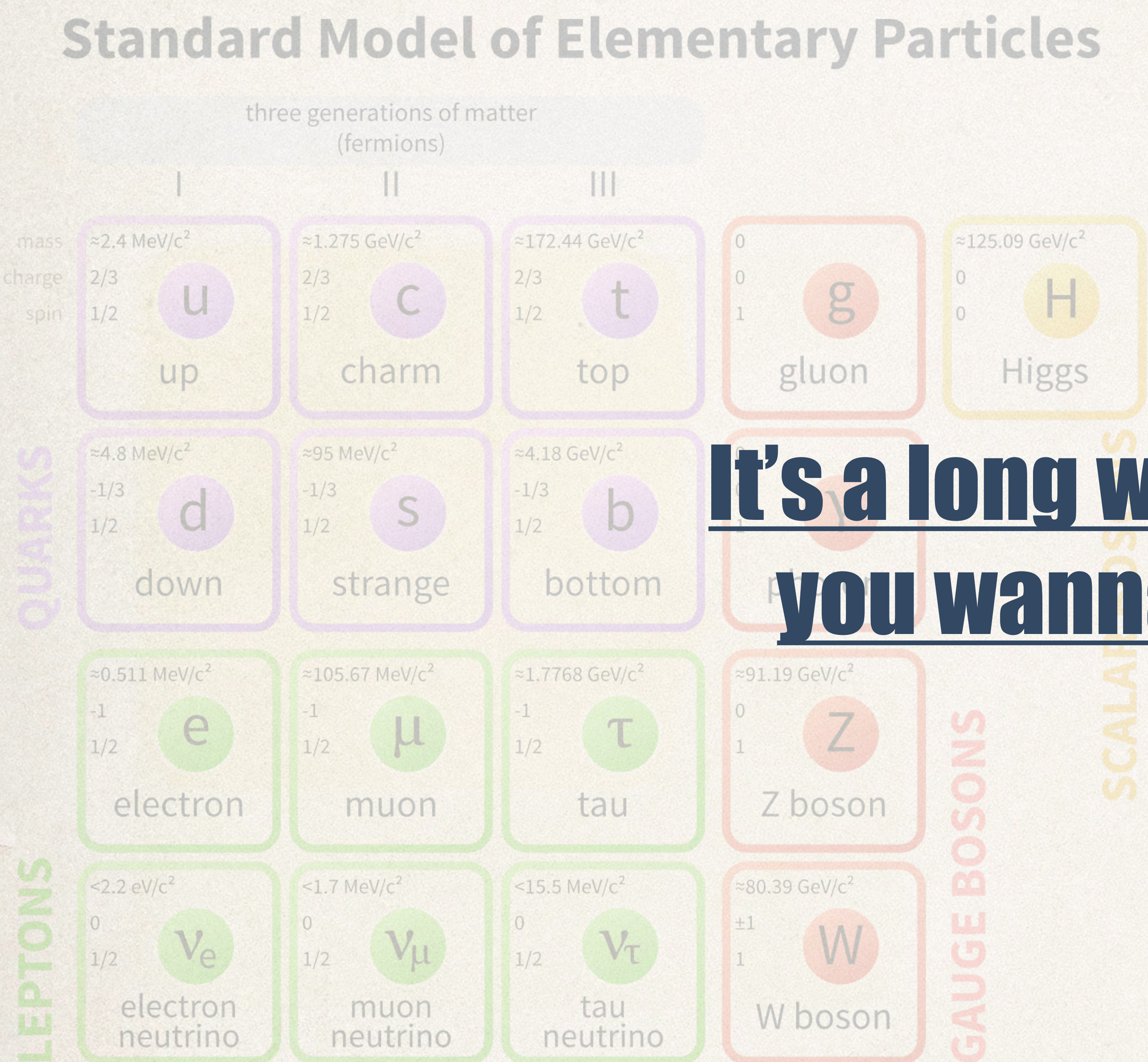
2015 | Osservazione diretta

$$H \to \tau\tau$$

2017 | Evidenza (3 < sigma < 5)

$$H \to b\bar{b}$$
$$gg \to t\bar{t}H$$

Accoppiamenti fermionici del bosone di Higgs



Scoperta | 2012

$$H \to \gamma\gamma$$
$$H \to ZZ^* \to 4\ell$$
$$H \to WW^* \to e\nu\mu\nu$$

Osservazione indiretta | 2012

$$gg \to H$$

Osservazione diretta | 2015

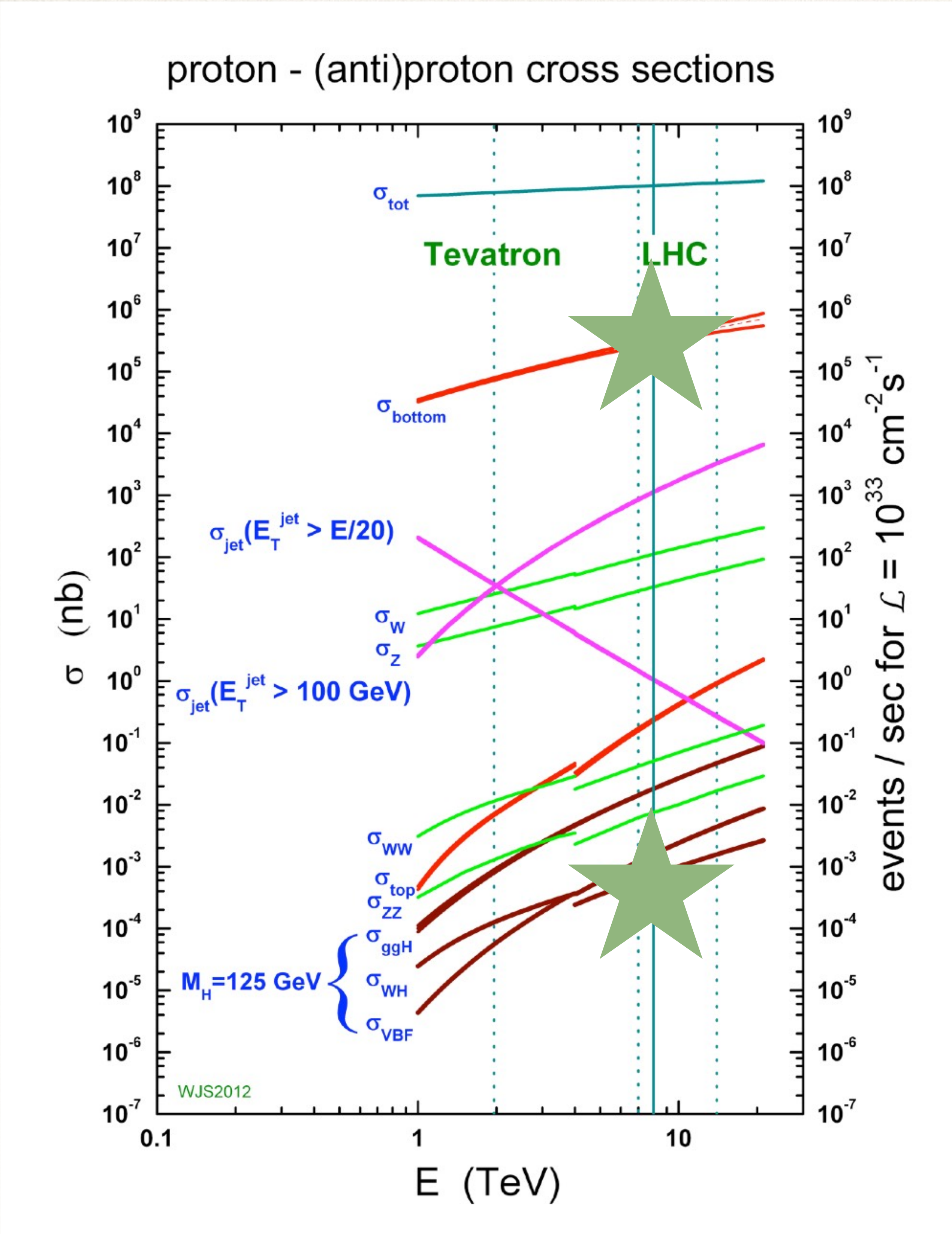
$$H \to \tau\tau$$

Evidenza (3 < sigma < 5) | 2017

$$H \to b\bar{b}$$
$$gg \to t\bar{t}H$$

It's a long way to the top if you wanna rock 'n' roll

Decadimento in quark beauty



Enorme fondo da produzione diretta di quark beauty

Discriminazione tra jet da quark beauty e jet da quark leggeri

Produzione associata per ridurre il fondo e utilizzare trigger di leptone

b-tagging

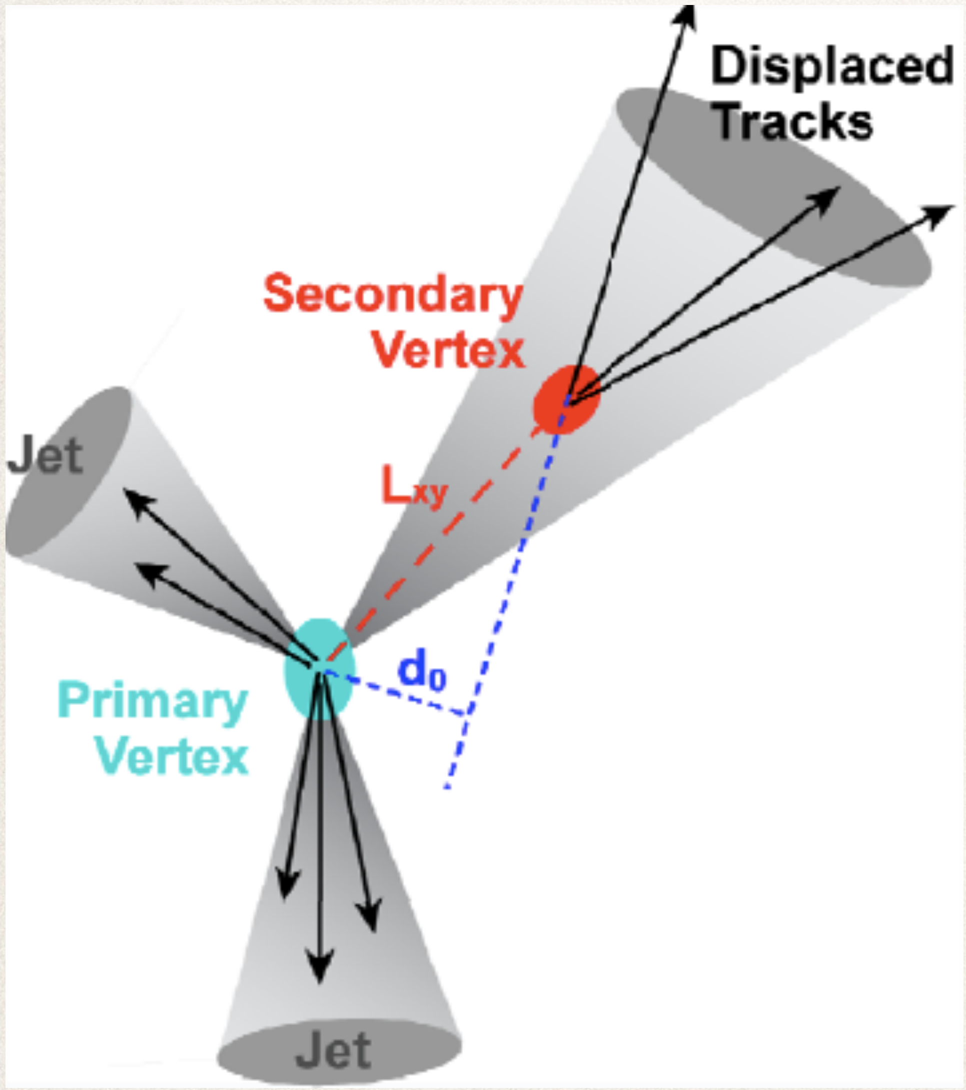
Un jet da quark beauty ha interessanti proprietà fisiche

1 | La maggior parte dell'energia iniziale è trasferita al b-adrone (~80%)

2 | La massa del b-adrone è elevata (~5 GeV)

3 | Il b-adrone ha una vita media misurabile (~1.5 ps)

4 | Il b-adrone decade in un alto numero di particelle cariche (~5)

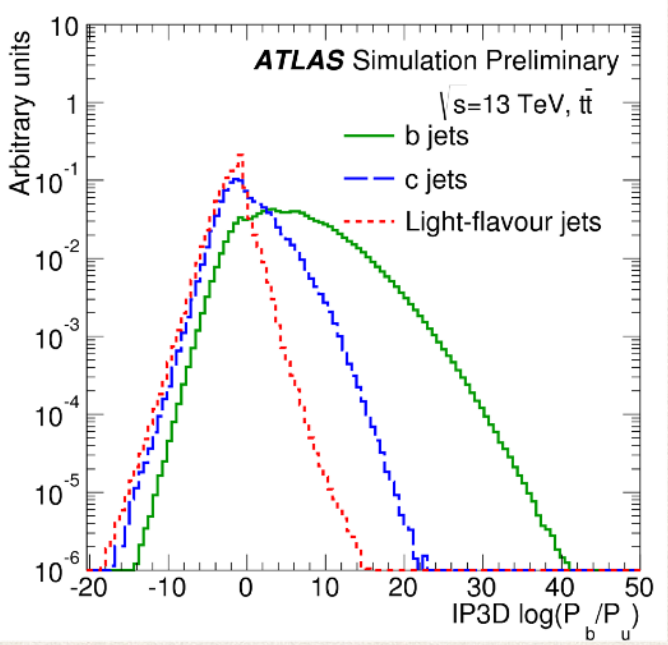


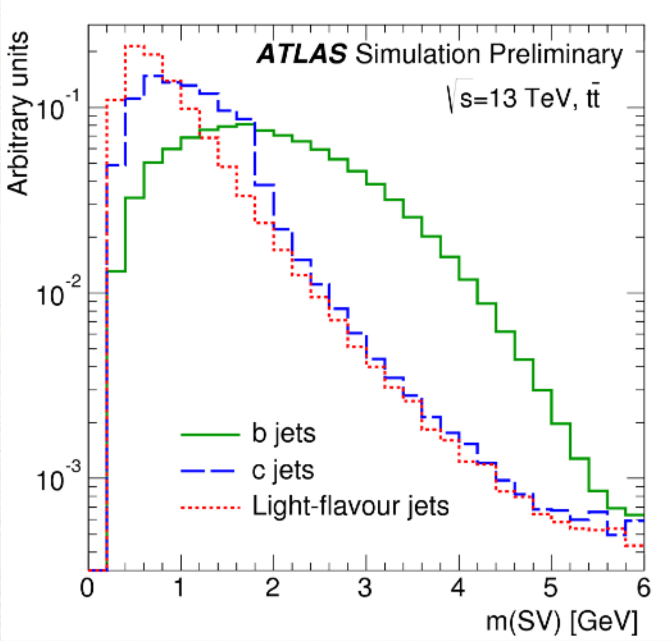
$$L = \beta\gamma c\tau = \frac{p}{m} c\tau$$

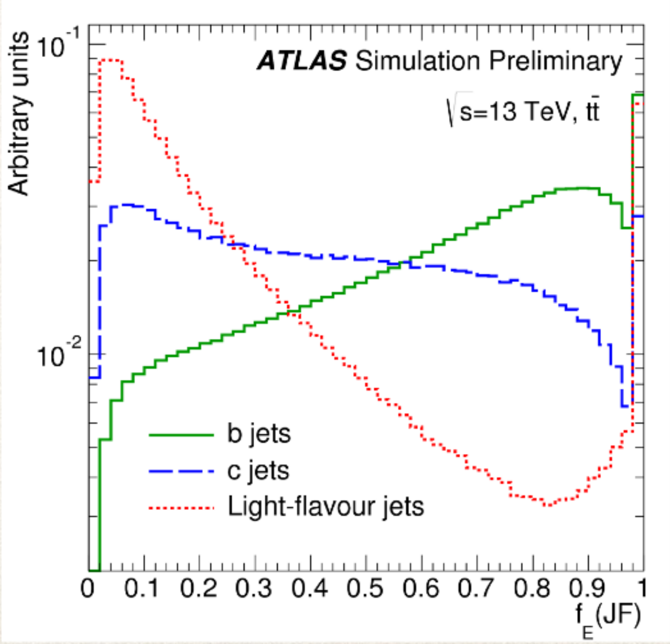
impulso	lunghezza decadimento
60 GeV	~ 4.3 mm
200 GeV	~ 14 mm
2 TeV	~ 14 cm

Variabili discriminanti

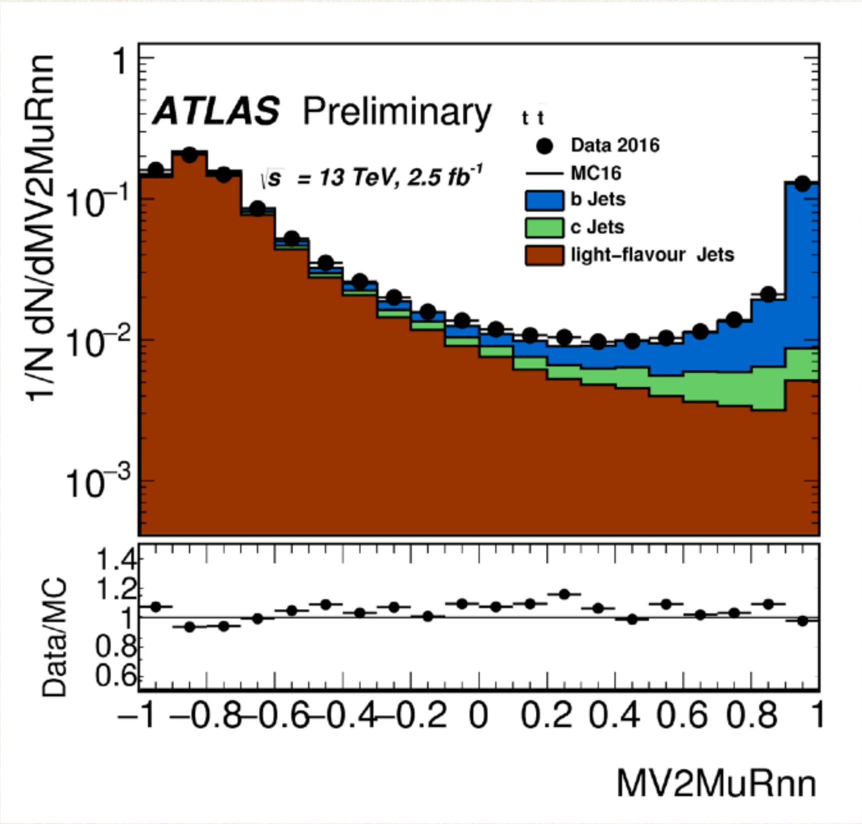
Input	Variable	Description
Kinematics	$p_T(jet)$	Jet transverse momentum
	$\eta(jet)$	Jet pseudo-rapidity
IP2D, IP3D	$\log(P_b/P_{\text{light}})$	Likelihood ratio between the b- and light jet hypotheses
	$\log(P_b/P_c)$	Likelihood ratio between the b- and c-jet hypotheses
	$\log(P_c/P_{\text{light}})$	Likelihood ratio between the c- and light jet hypotheses
SV	$m(\text{SV})$	Invariant mass of tracks at the secondary vertex assuming pion masses
	$f_{\text{E}}(\text{SV})$	Fraction of the charged jet energy in the secondary vertex
	$N_{\text{TrkAtVtx}}(\text{SV})$	Number of tracks used in the secondary vertex
	$N_{\text{2TrkVtx}}(\text{SV})$	Number of two track vertex candidates
	$L_{xy}(\text{SV})$	Transverse distance between the primary and secondary vertices
	$L_{xyz}(\text{SV})$	Distance between the primary and secondary vertices
	$S_{xyz}(\text{SV})$	Distance between the primary and secondary vertices divided by its uncertainty
	$\Delta R(\text{jet}, \text{SV})$	ΔR between the jet axis and the direction of the secondary vertex relative to the primary vertex
Jet Fitter	$N_{\text{2TrkVtx}}(\text{JF})$	Number of 2-track vertex candidates (prior to decay chain fit)
	$m(\text{JF})$	Invariant mass of tracks from displaced vertices assuming pion masses
	$S_{\text{xyz}}(\text{JF})$	Significance of the average distance between the primary and displaced vertices
	$f_{\text{E}}(\text{JF})$	Fraction of the charged jet energy in the secondary vertices
	$N_{\text{1-trk vertices}}(\text{JF})$	Number of displaced vertices with one track
	$N_{\geq\text{2-trk vertices}}(\text{JF})$	Number of displaced vertices with more than one track
	$N_{\text{TrkAtVtx}}(\text{JF})$	Number of tracks from displaced vertices with at least two tracks
	$\Delta R(\vec{p}_{\text{jet}}, \vec{p}_{\text{vtx}})$	ΔR between the jet axis and the vectorial sum of the momenta of all tracks attached to displaced vertices

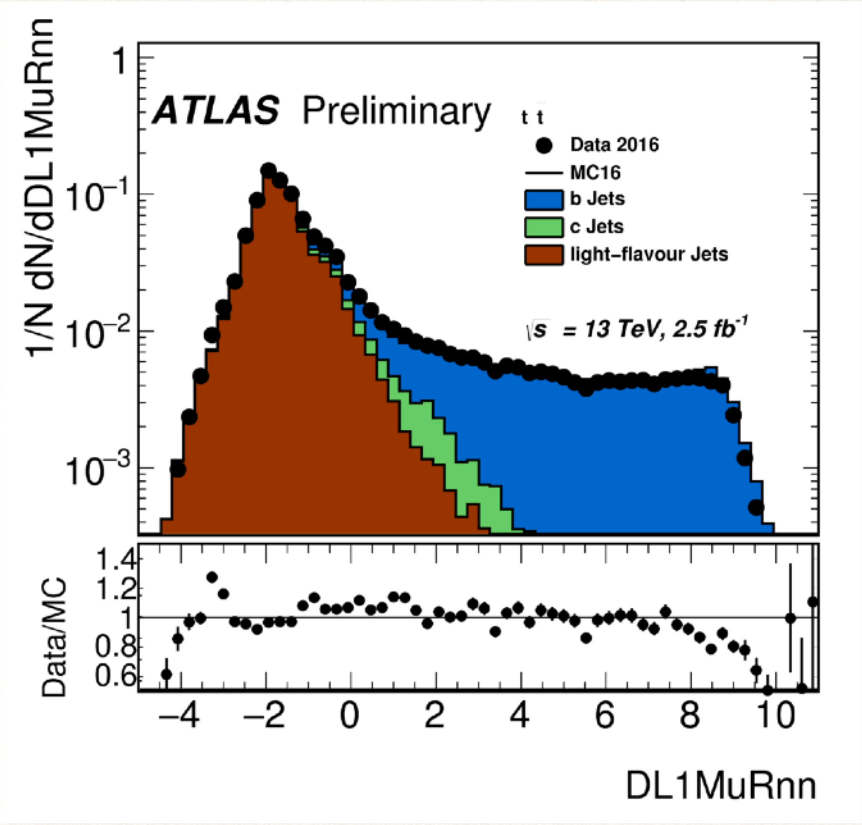


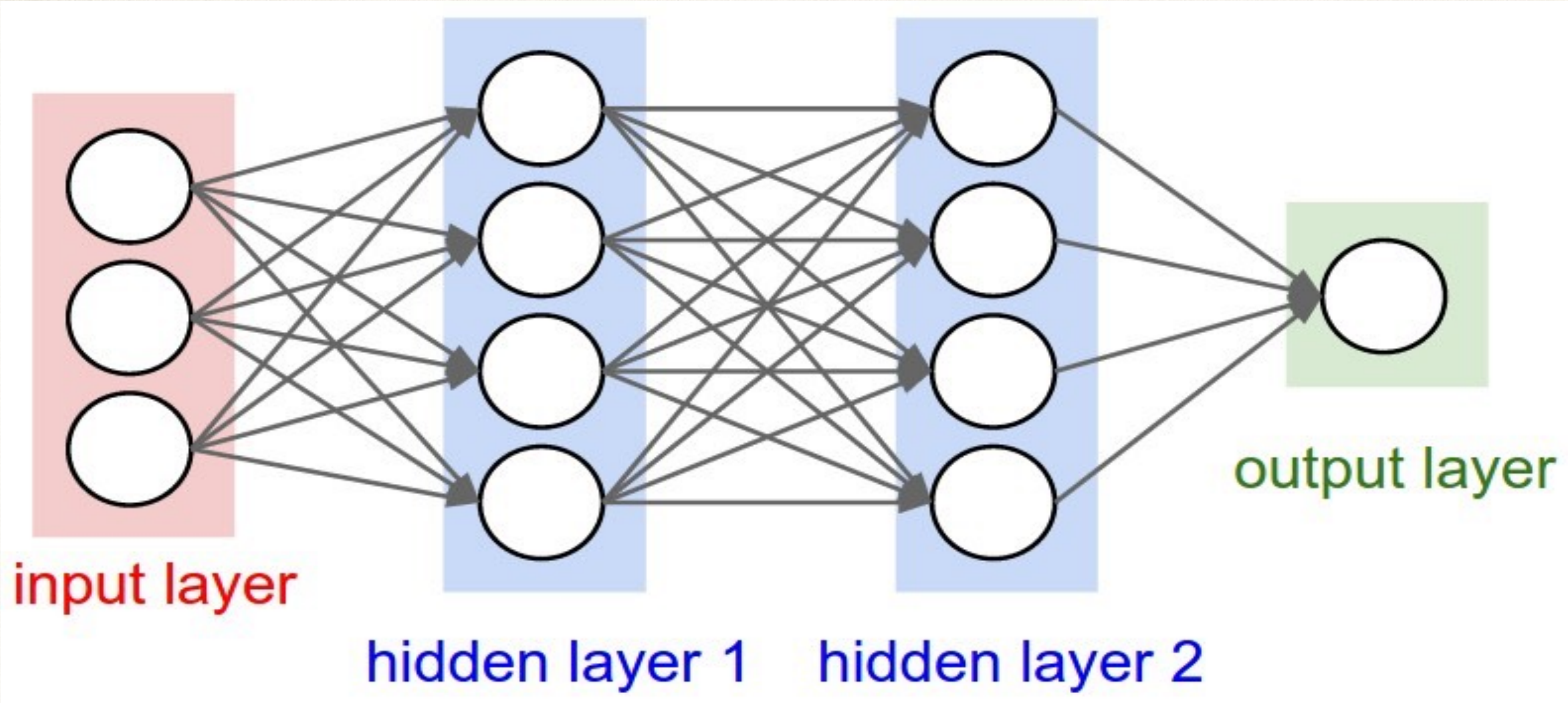




Analisi dati con Machine Learning

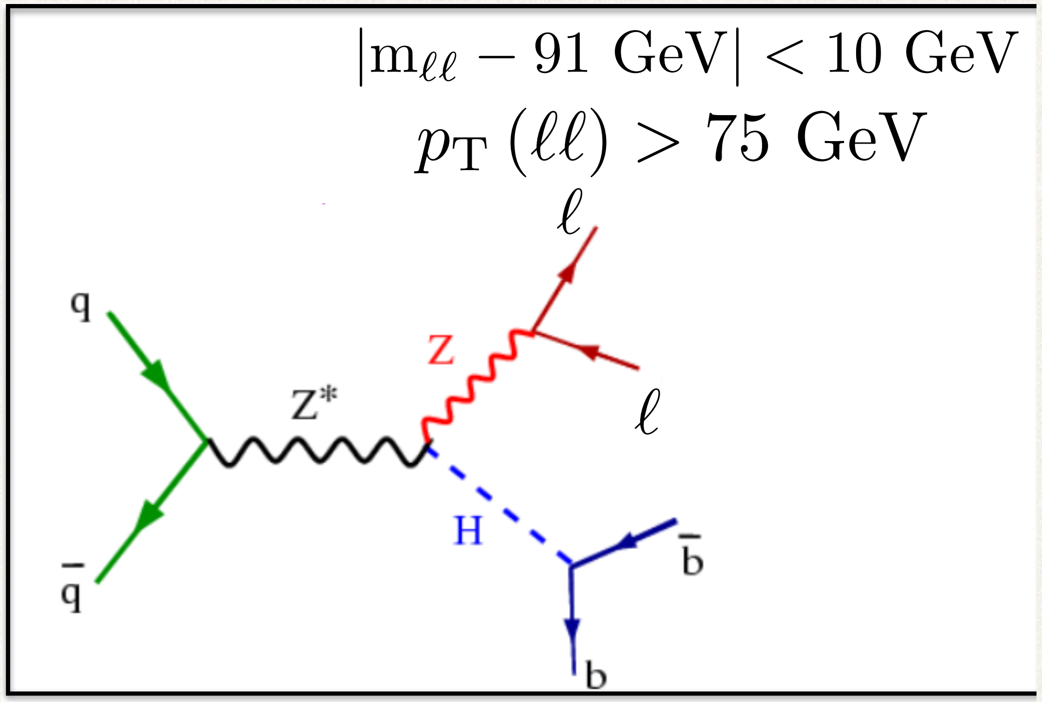






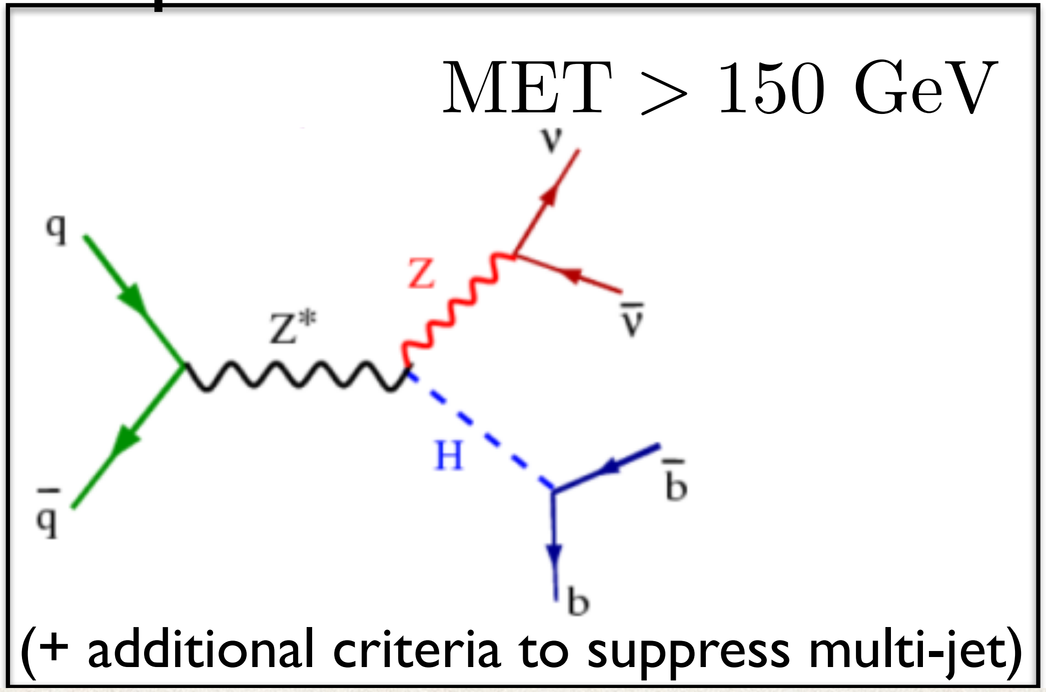
Selezione dei dati per Higgs in quark beauty

- **tre canali a seconda del numero di leptoni**
- **ricostruzione dei prodotti di decadimento e loro calibrazione**
- **stima dei fondi con simulazione e regioni di controllo**
- **analisi multi-variata per discriminare il segnale dal fondo**

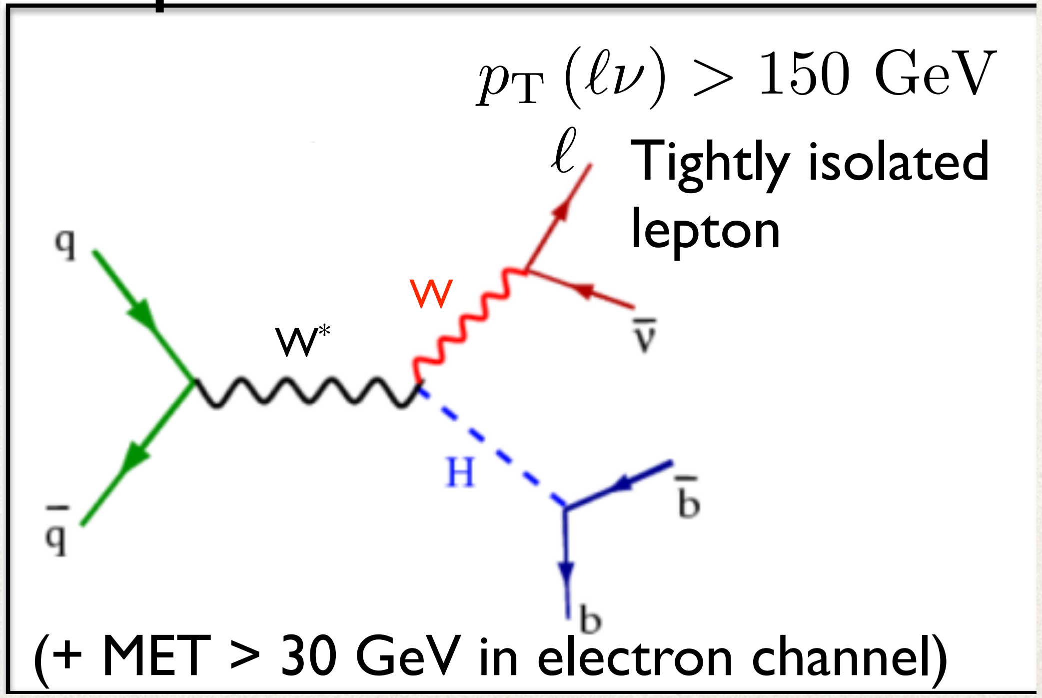


2-lepton

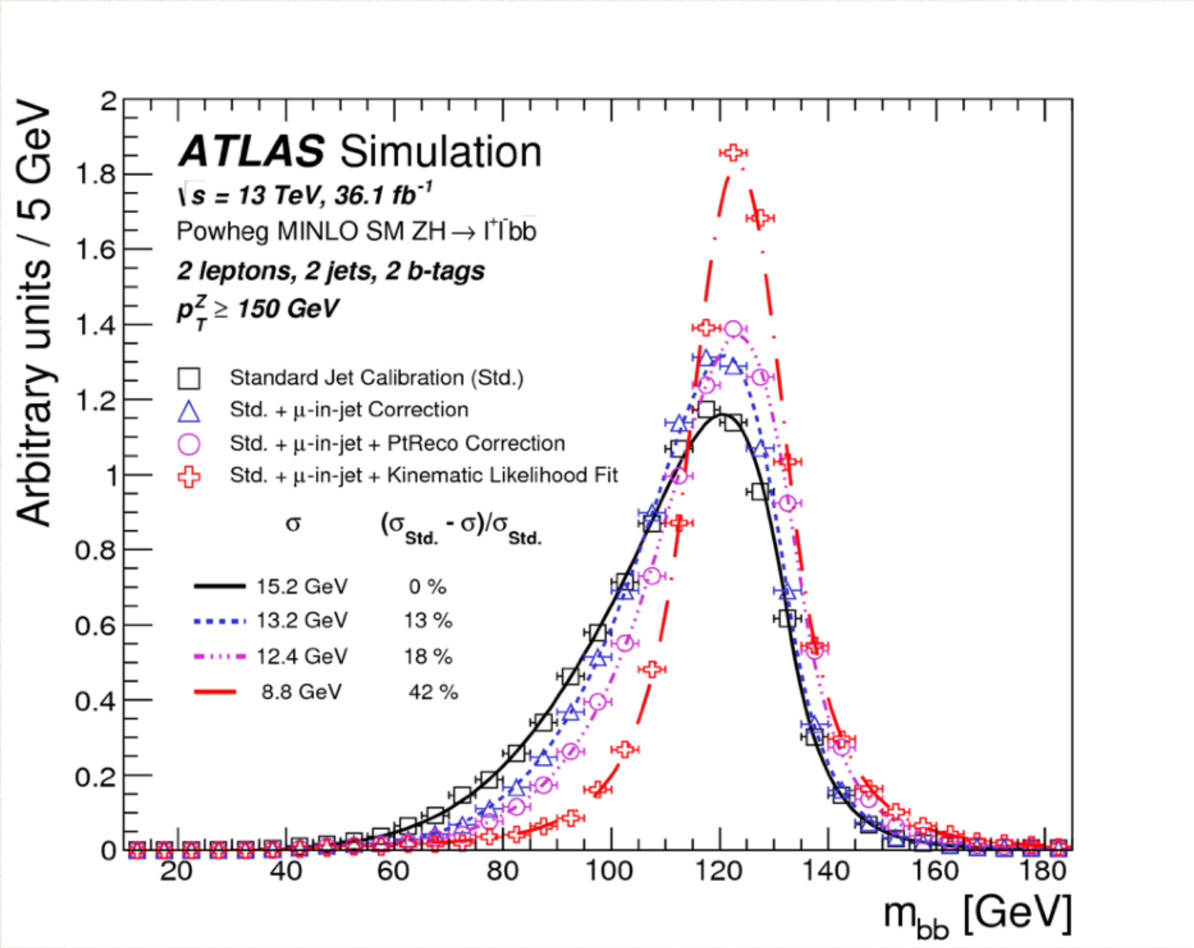
0-lepton



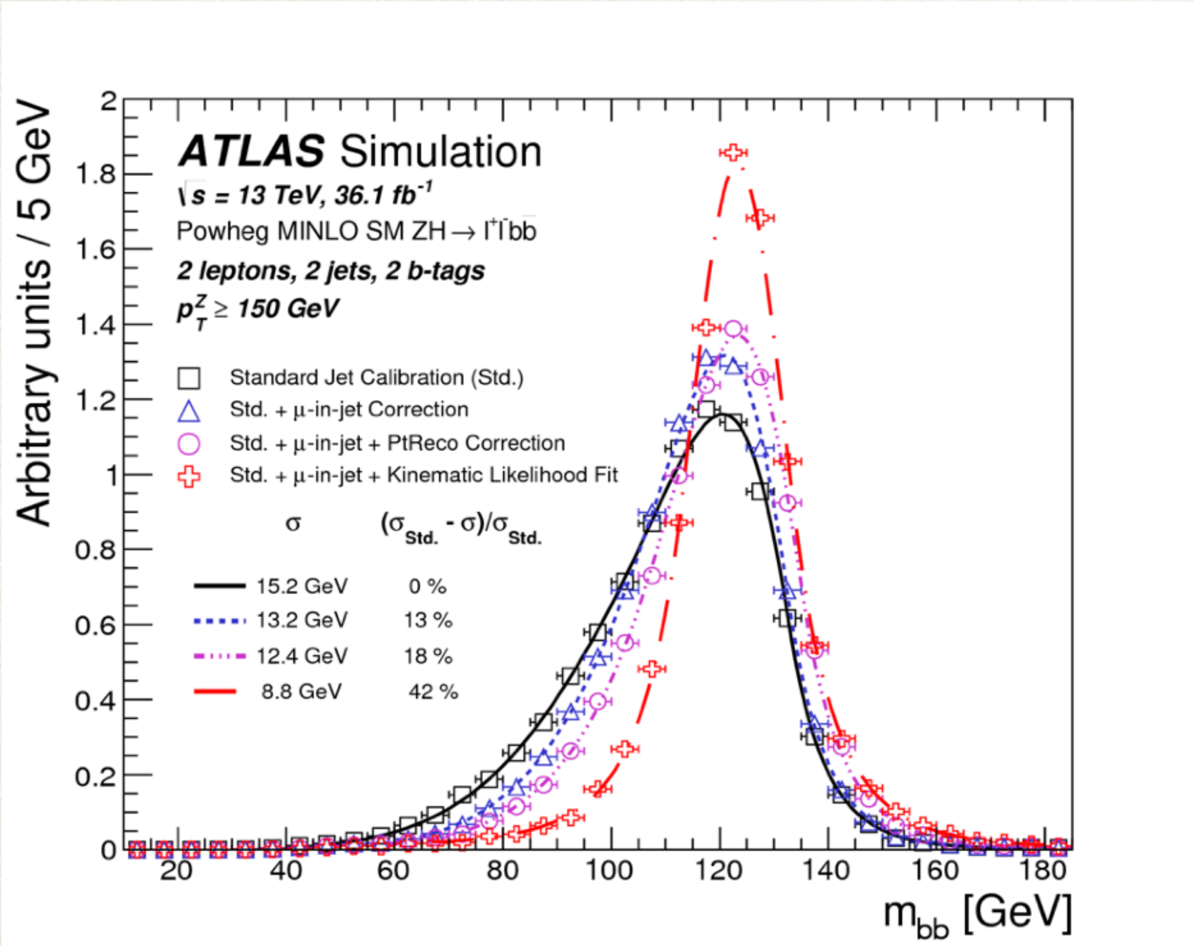
1-lepton

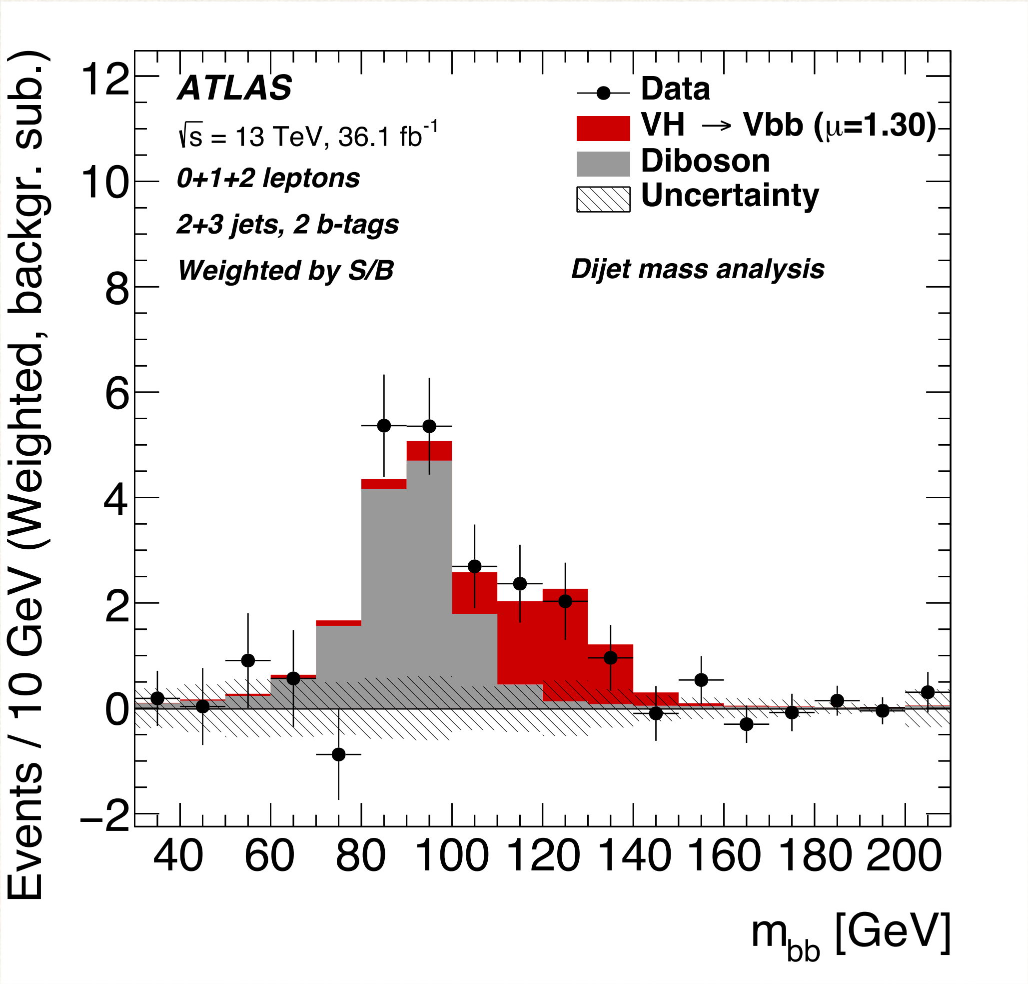


Evidenza dell'accoppiamento con i quark beauty

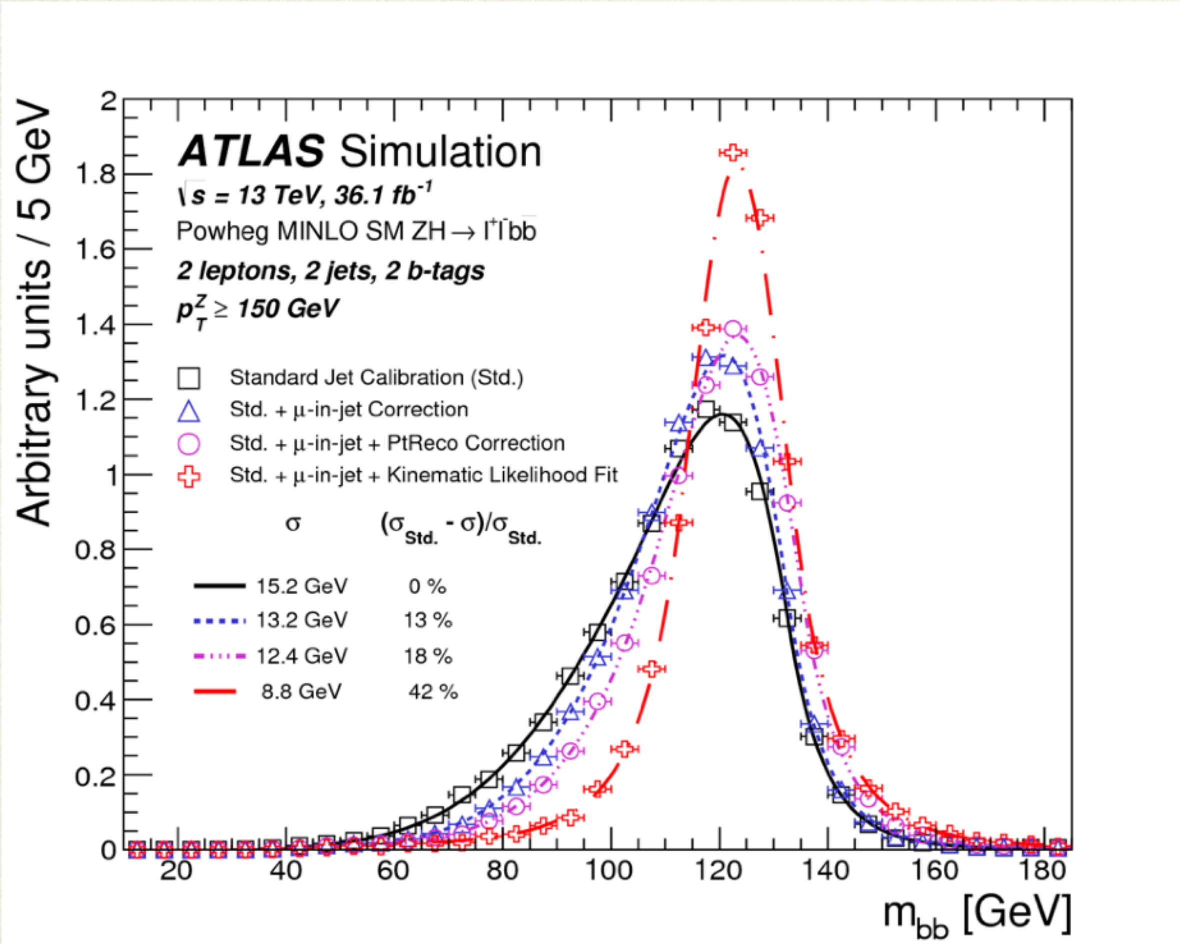


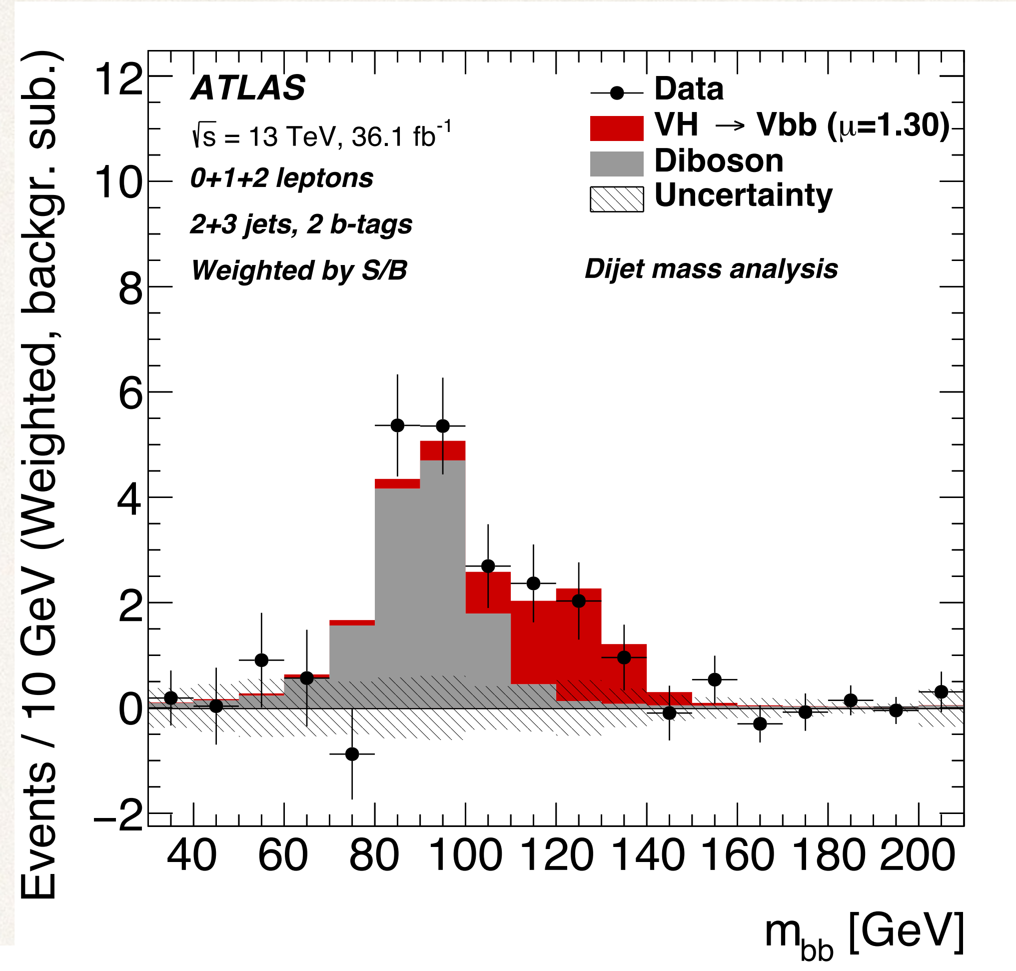
Evidenza dell'accoppiamento con i quark beauty

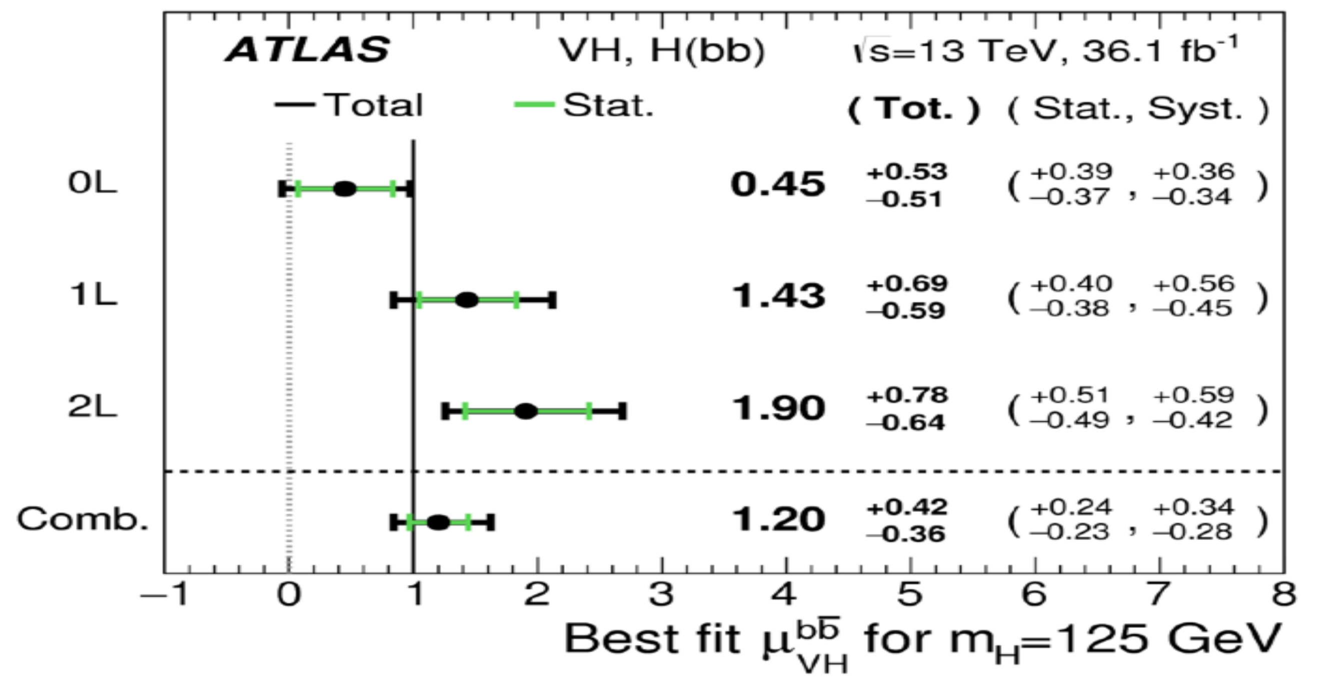




Evidenza dell'accoppiamento con i quark beauty



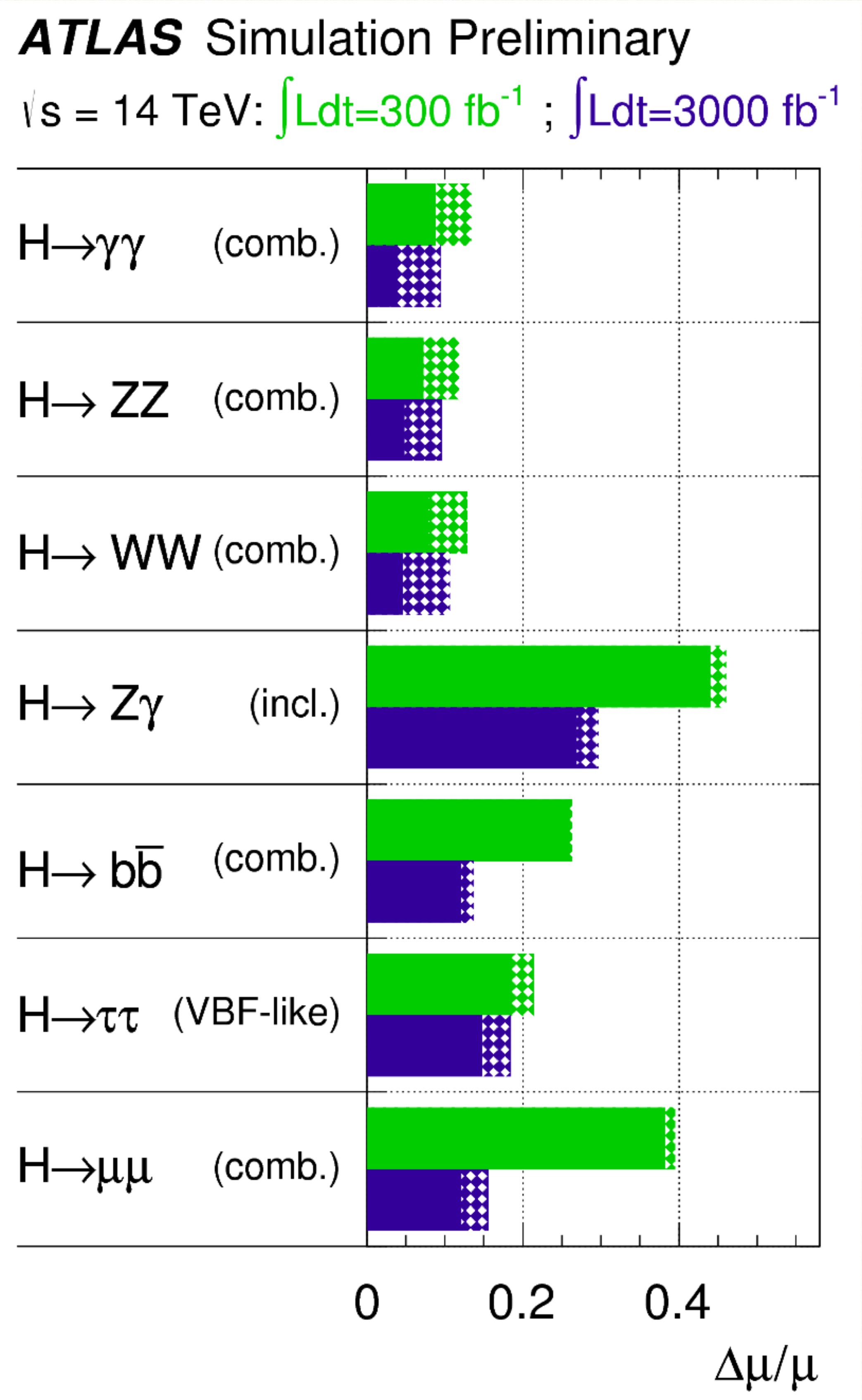




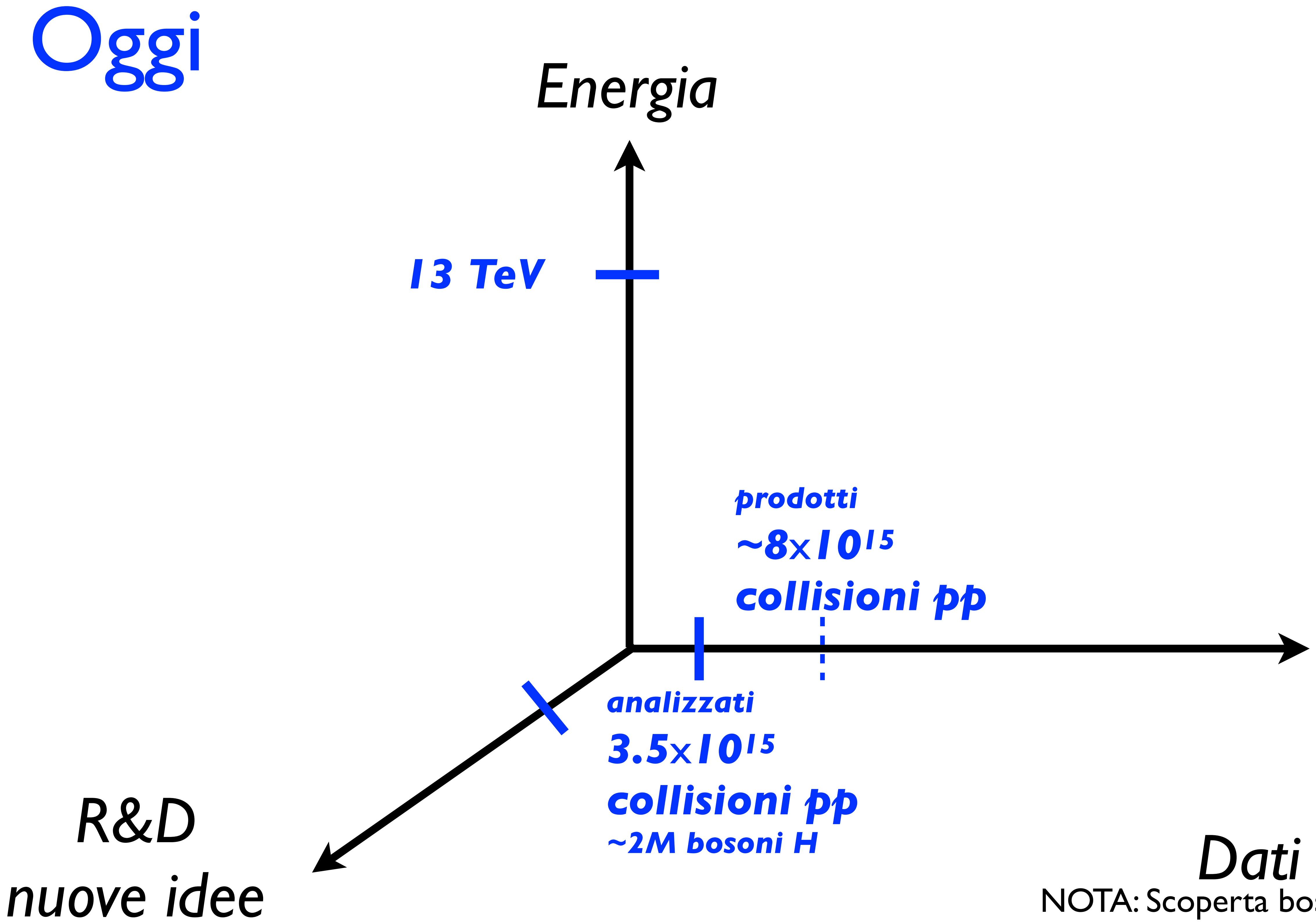
Significanza dell'eccesso di eventi rispetto all'ipotesi di assenza di segnale $3.5\ \sigma$

Bosone di Higgs, what next?

- **osservazione di processi rari di produzione e decadimento**
- **ricerca di decadimenti 'esotici' del bosone di Higgs**
- **misura con tecniche sperimentali 'boost'**
- **misure di proprietà di spin/CP e distribuzioni differenziali**
- **auto-accoppiamento**
- **ricerca di altri bodoni di Higgs a masse più elevate**
- **test di compatibilità del Modello Standard**
- **etc.**

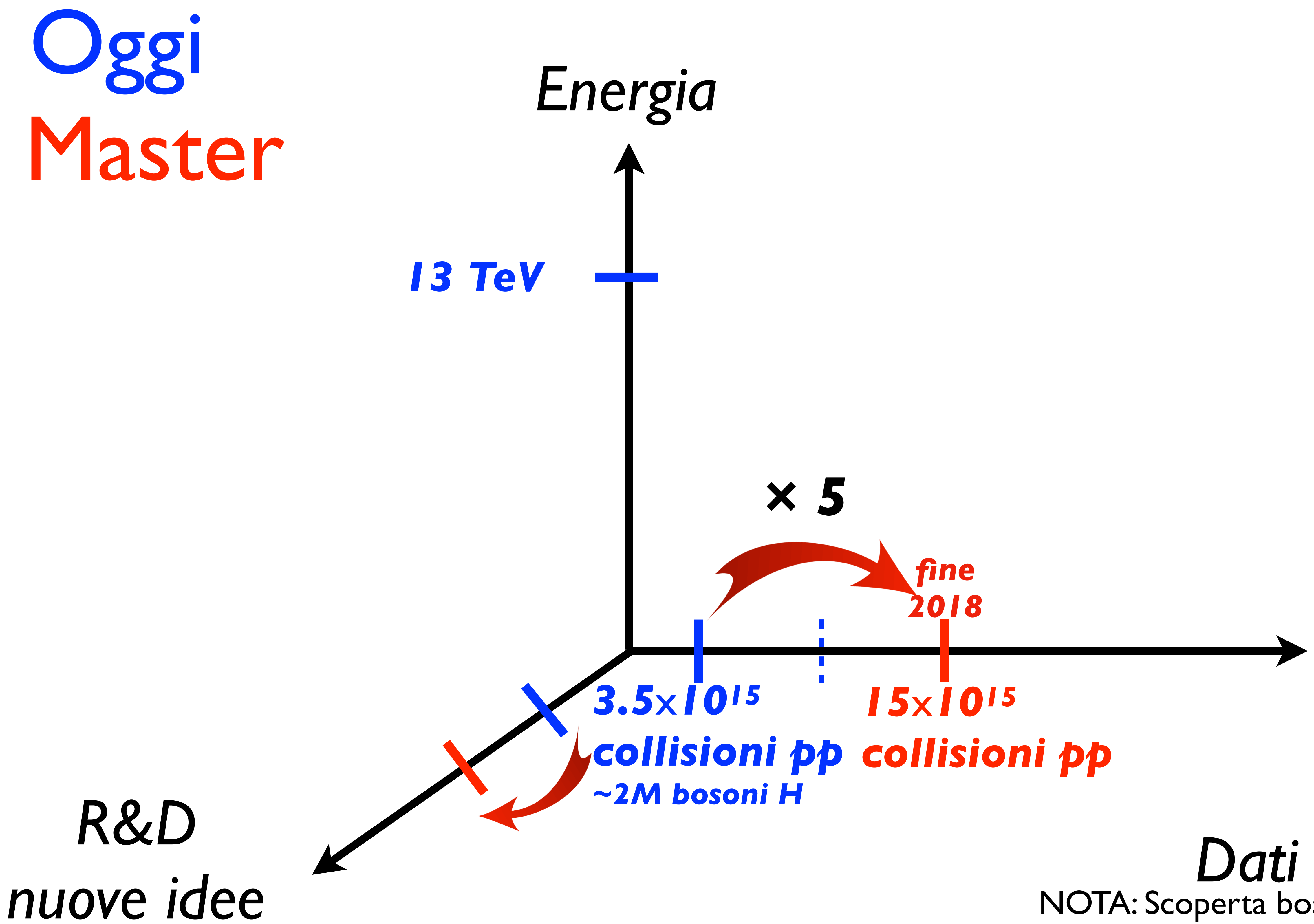


What next?



NOTA: Scoperta bosone di Higgs
0.2M bosoni H prodotti

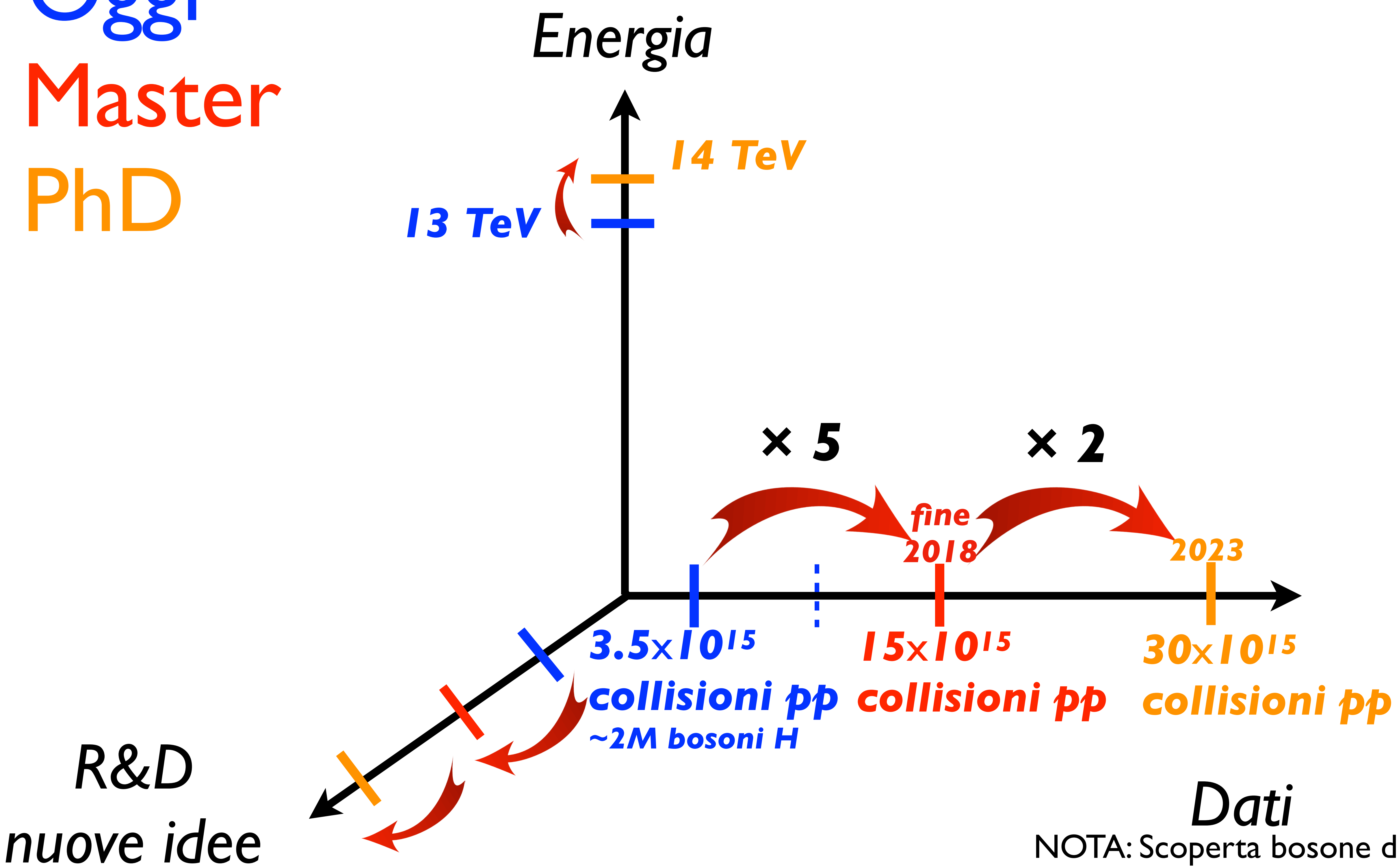
What next?



NOTA: Scoperta bosone di Higgs
0.2M bosoni H prodotti

What next?

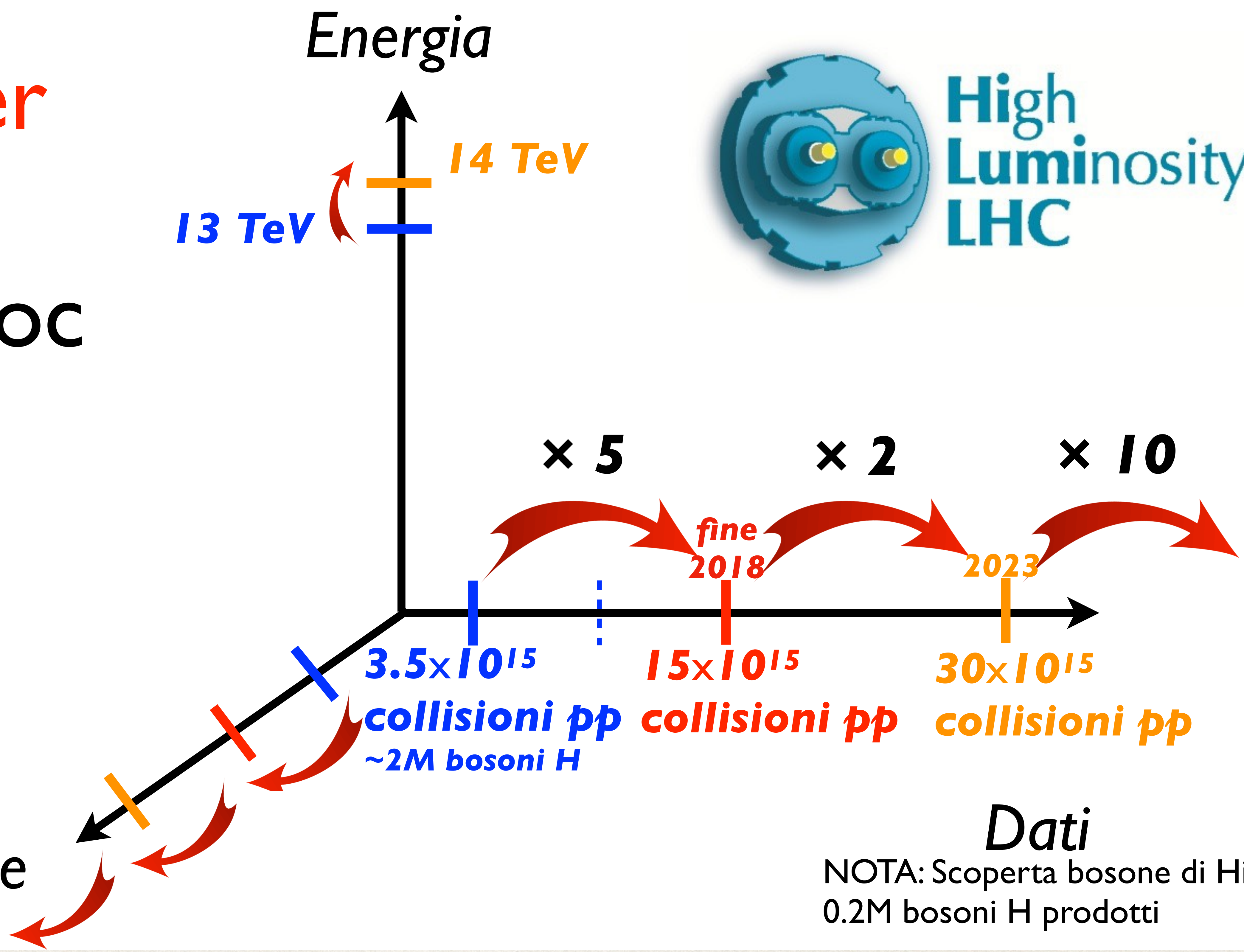
Oggi
Master
PhD



NOTA: Scoperta bosone di Higgs
0.2M bosoni H prodotti

What next?

Oggi
Master
PhD
Postdoc



High Luminosity LHC

NOTA: Scoperta bosone di Higgs
0.2M bosoni H prodotti

Il gruppo ATLAS a Genova

Proposte di Tesi nell'Esperimento ATLAS a LHC

Chi Siamo

ATLAS è un esperimento di **fisica delle particelle elementari** che studia le collisioni prodotte dal **Large Hadron Collider** del **CERN** di Ginevra.

Il risultato più eclatante ottenuto finora è stata la **scoperta del bosone di Higgs e la prima misura delle sue proprietà.**

Attualmente è in corso un **periodo di presa dati** ad una energia di **13 TeV** e una intensità di collisioni senza precedenti, ma allo stesso tempo ci si prepara ad una **futura presa dati ad intensità ancora maggiore** (HL-LHC, High Luminosity LHC).

Il gruppo **ATLAS Genova**, associato al **CERN** e all'**INFN**, è composto da una ventina di persone, inclusi postdoc e dottorandi.

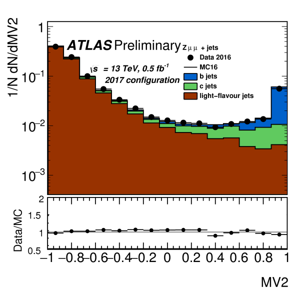
Dove Lavoriamo

Le attività del gruppo si svolgono sia nel **Dipartimento di Fisica di Genova**, sia presso i **laboratori del CERN**.

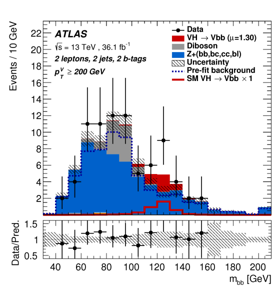
Il candidato parteciperà di persona o in videoconferenza a **riunioni della collaborazione internazionale ATLAS** presentando i risultati della propria attività.

Temi di Ricerca Argomento di Tesi di Laurea e Dottorato

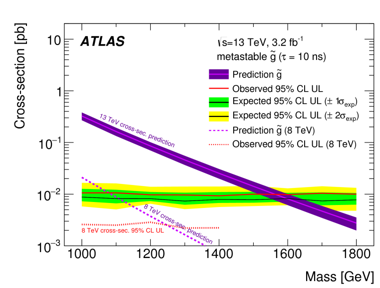
Identificazione di b-jet



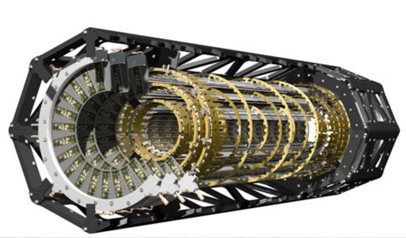
Fisica dell'Higgs



Ricerca di Nuove Particelle



Sviluppo di Rivelatori a Pixel



Contatti Principali, Sito e Ulteriori Dettagli

Persone

C. Gemme (claudia.gemme@ge.infn.it, L204)

F. Parodi (fabrizio.parodi@ge.infn.it, S823)

C. Schiavi (carlo.schiavi@ge.infn.it, S823)

Sito Web

http://atlas-ge.weebly.com/tesi.html

Proposte di Tesi nell'Esperimento ATLAS a LHC

RICERCA DI PARTICELLE SUPERSIMMETRICHE O ESOTICHE CON IONIZZAZIONE ANOMALA
SEARCH FOR ANOMALOUSLY IONIZING SUPERSYMMETRIC OR EXOTIC PARTICLES
Tag: Supersymmetry, Dark Matter, Data Analysis

MISURA DELLA IONIZZAZIONE SPECIFICA NEL RIVELATORE A PIXEL DI ATLAS
SPECIFIC IONISATION MEASUREMENT IN THE ATLAS PIXEL DETECTOR
Tag: Pixel Detector, Data Analysis

MISURA DELLA SEZIONE D'URTO DI PRODUZIONE ASSOCIATA DI W+CHARM
MEASUREMENT OF ASSOCIATED W+CHARM PRODUCTION CROSS SECTION
Tag: Standard Model Physics, Data Analysis

STUDIO DEL DECADIMENTO DEL BOSONE DI HIGGS IN COPPIE DI QUARK BEAUTY IN DIVERSI PROCESSI DI PRODUZIONE
STUDY OF THE HIGGS BOSON DECAY TO BEAUTY QUARK PAIRS EXPLOITING DIFFERENT PRODUCTION MECHANISMS
Tag: Standard Model Physics, Higgs Physics, Data Analysis, Deep Learning

SVILUPPO DI NUOVI ALGORITMI PER L'IDENTIFICAZIONE DI JET BEAUTY O CHARM CON TECNICHE DI DEEP LEARNING
DEVELOPMENT OF NEW BEAUTY- AND CHARM-TAGGING ALGORITHMS USING DEEP LEARNING TECHNIQUES
Tag: Data Analysis, Flavour Tagging, Deep Learning

COSTRUZIONE DEL PRIMO PROTOTIPO PER IL RIVELATORE A PIXEL DI ATLAS IN HL-LHC
CONSTRUCTION OF A FULL PROTOTYPE OF THE ATLAS PIXEL DETECTOR AT THE HL-LHC
Tag: Pixel Sensors, Future Pixel Detectors, High-Luminosity LHC

SVILUPPO DELL'ELETTRONICA DI LETTURA PER IL RIVELATORE A PIXEL DI ATLAS IN HL-LHC
DEVELOPMENT OF A READOUT SYSTEM FOR THE ATLAS PIXEL DETECTOR AT THE HL-LHC
Tag: Readout, Future Pixel Detectors, High-Luminosity LHC

CONTATTI

C. Gemme (claudia.gemme@ge.infn.it, L204)

F. Parodi (fabrizio.parodi@ge.infn.it, S823)

C. Schiavi (carlo.schiavi@ge.infn.it, S823)

La lista aggiornata dei titoli e una loro descrizione dettagliata sono disponibili alla pagina:
http://atlas-ge.weebly.com/tesi.html

Grazie per l'attenzione!