

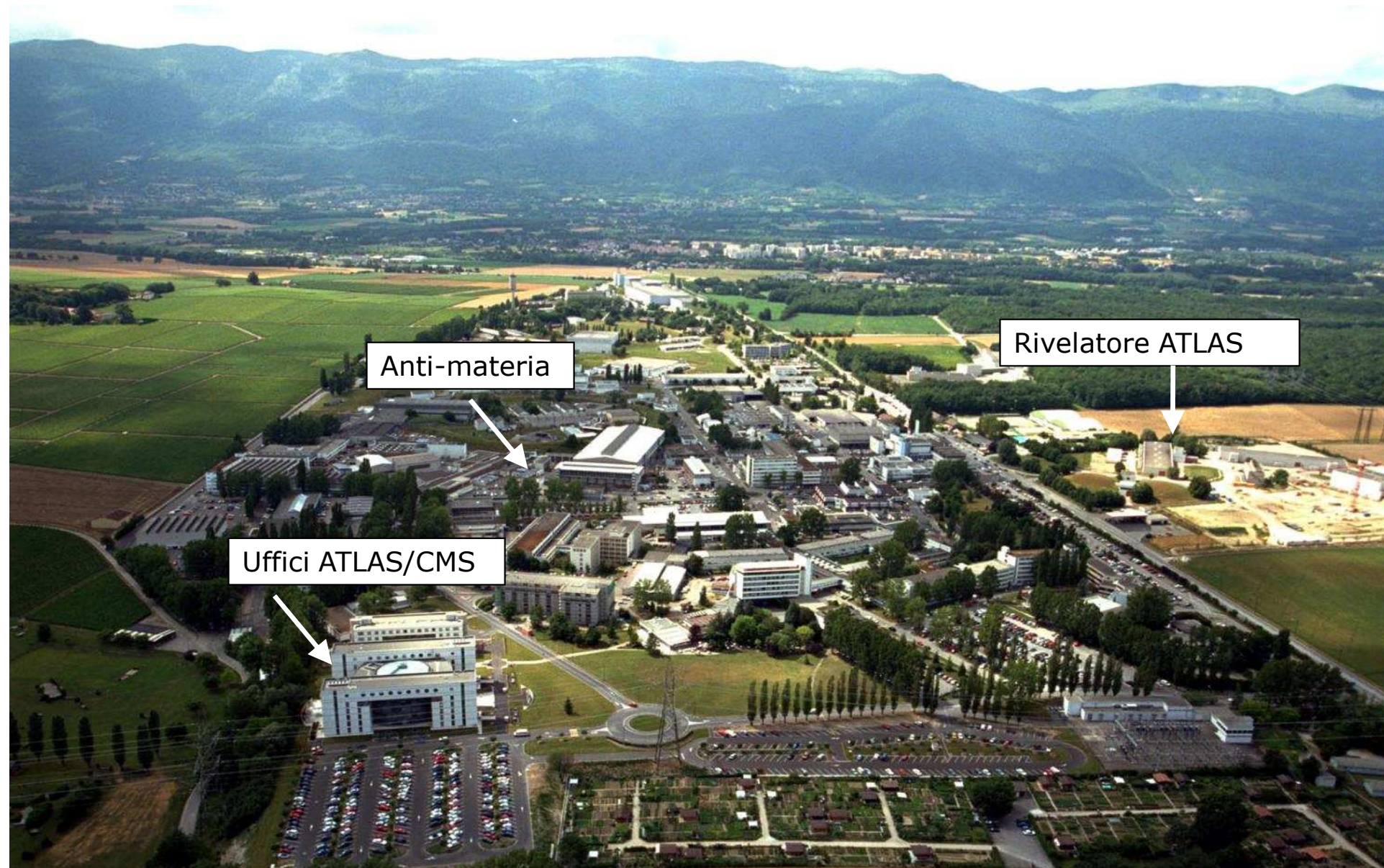
La Fisica ad LHC



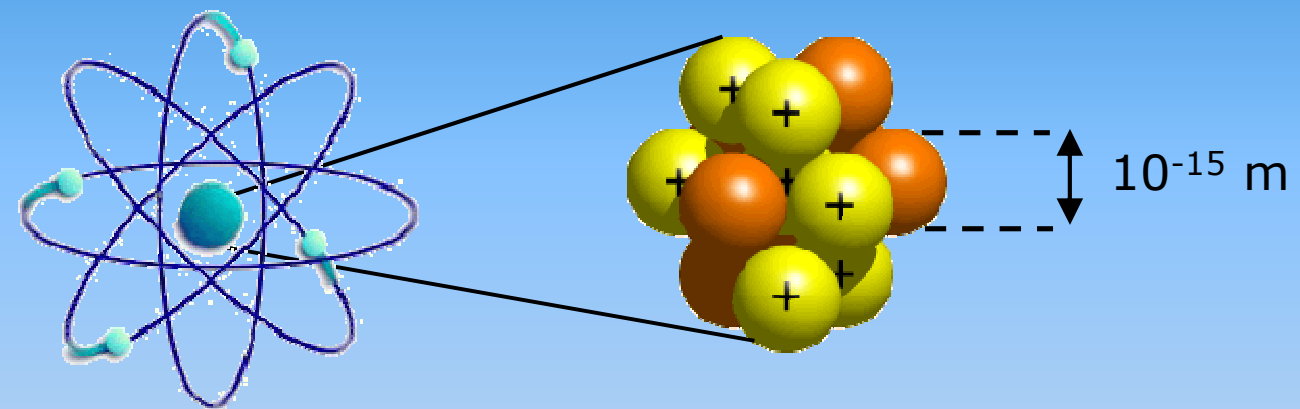
Marina Cobal
Università di Udine e INFN

Visita CERN 2012

CERN



Fisica delle particelle



Atomo

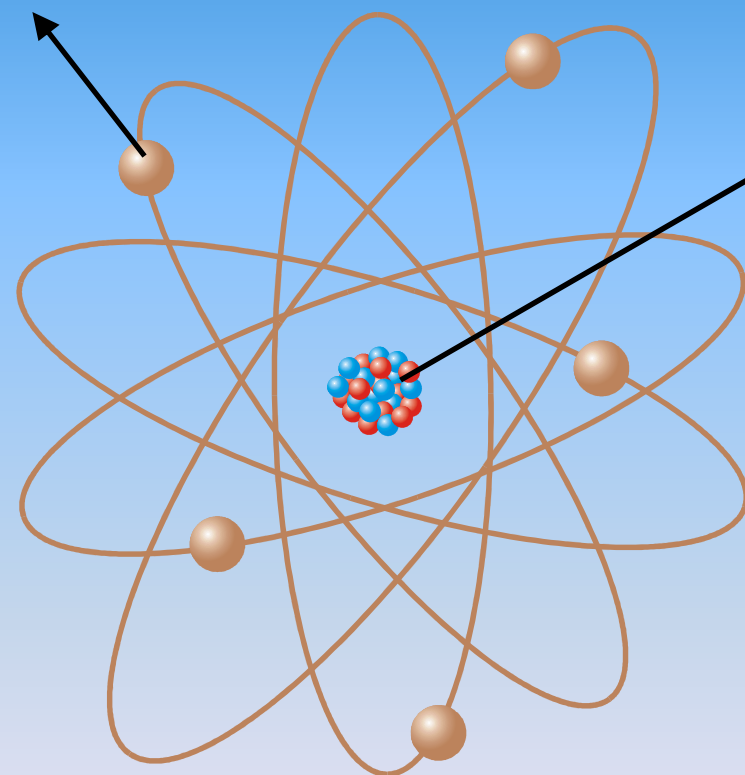
Nucleo



Quali sono i mattoni fondamentali della materia?

Quali erano i problemi 100 anni fa?

Elettrone: carica -1



Protone: carica +1

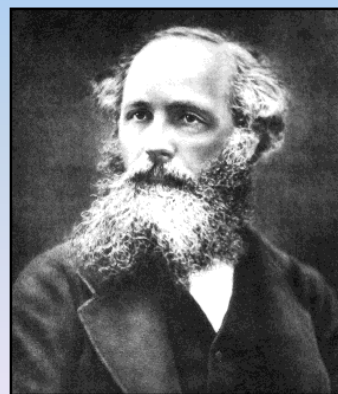
Perchè l'elettrone non cade sul nucleo?

Gravità ed Elettromagnetismo

“stesse forze... nuovi modelli”



Newton



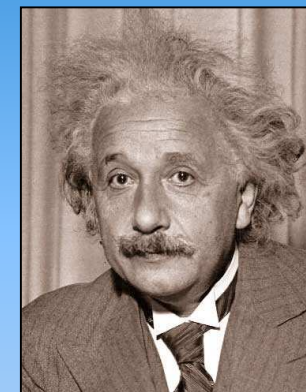
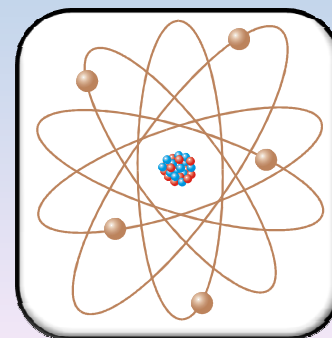
Maxwell



Teoria della relatività



Quantomeccanica



Einstein



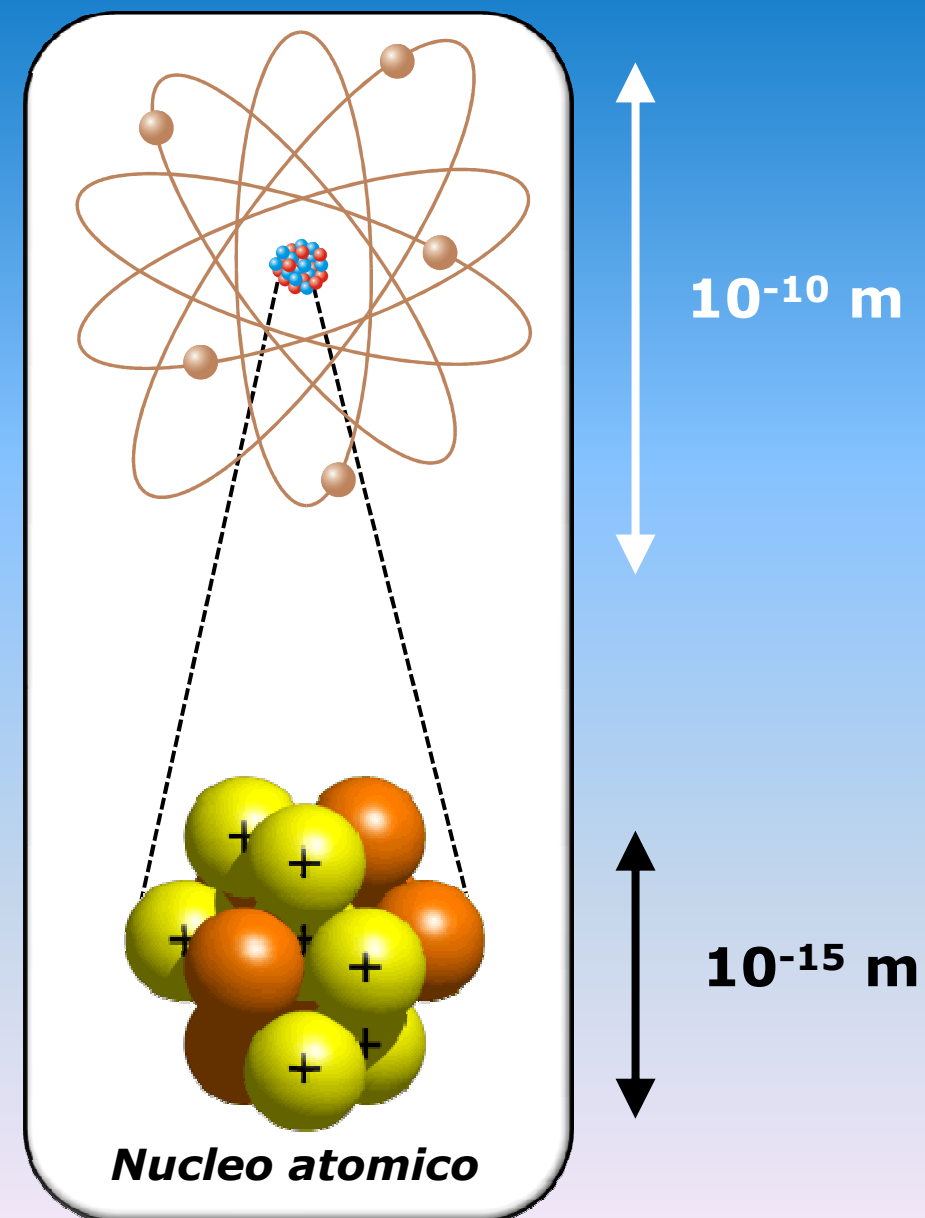
Bohr

Le forze nucleari

- 1] Le particelle positive si respingono a vicenda?
- 2] Che cosa tiene le particelle insieme?

2 Nuove forze della natura:

- forza debole
- forza forte



Le particelle elementari



up

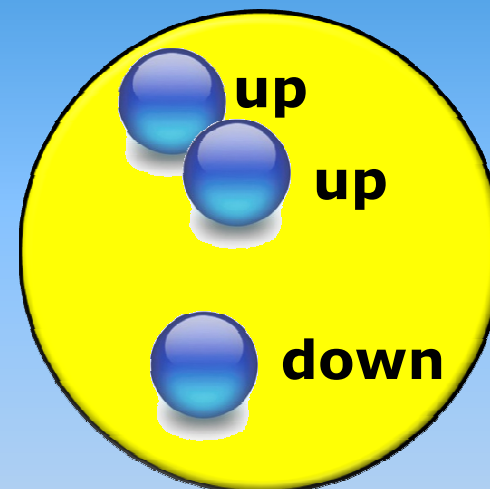


down

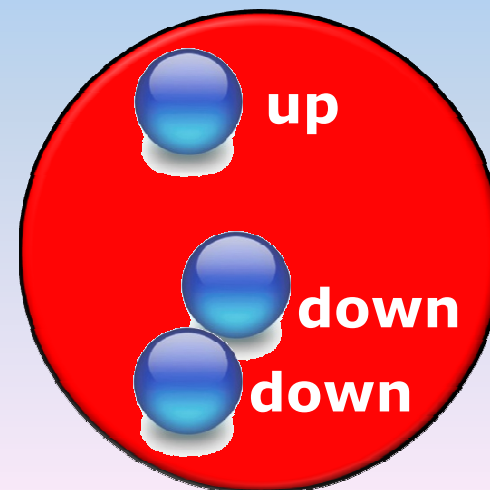


elettrone

+ 4 forze naturali



Protone



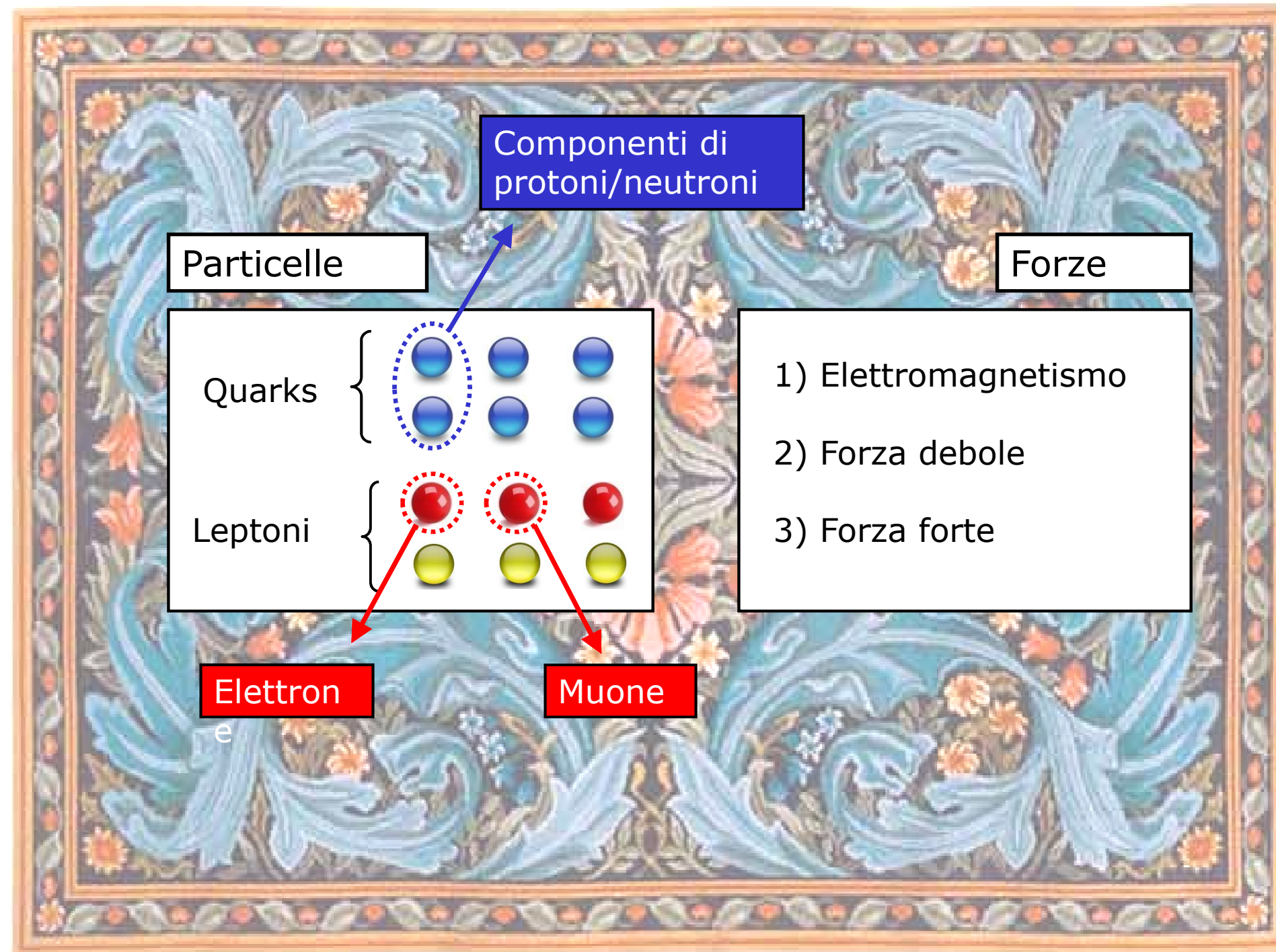
Neutron

Il Modello Standard



Wow...Bello! Un modello complesso e affascinante...

Un modello con diversi fili da intrecciare



Cosa si può fare con queste 12 particelle?

Tabella periodica degli elementi

1 H																	2 He						
3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt															
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb										
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No										



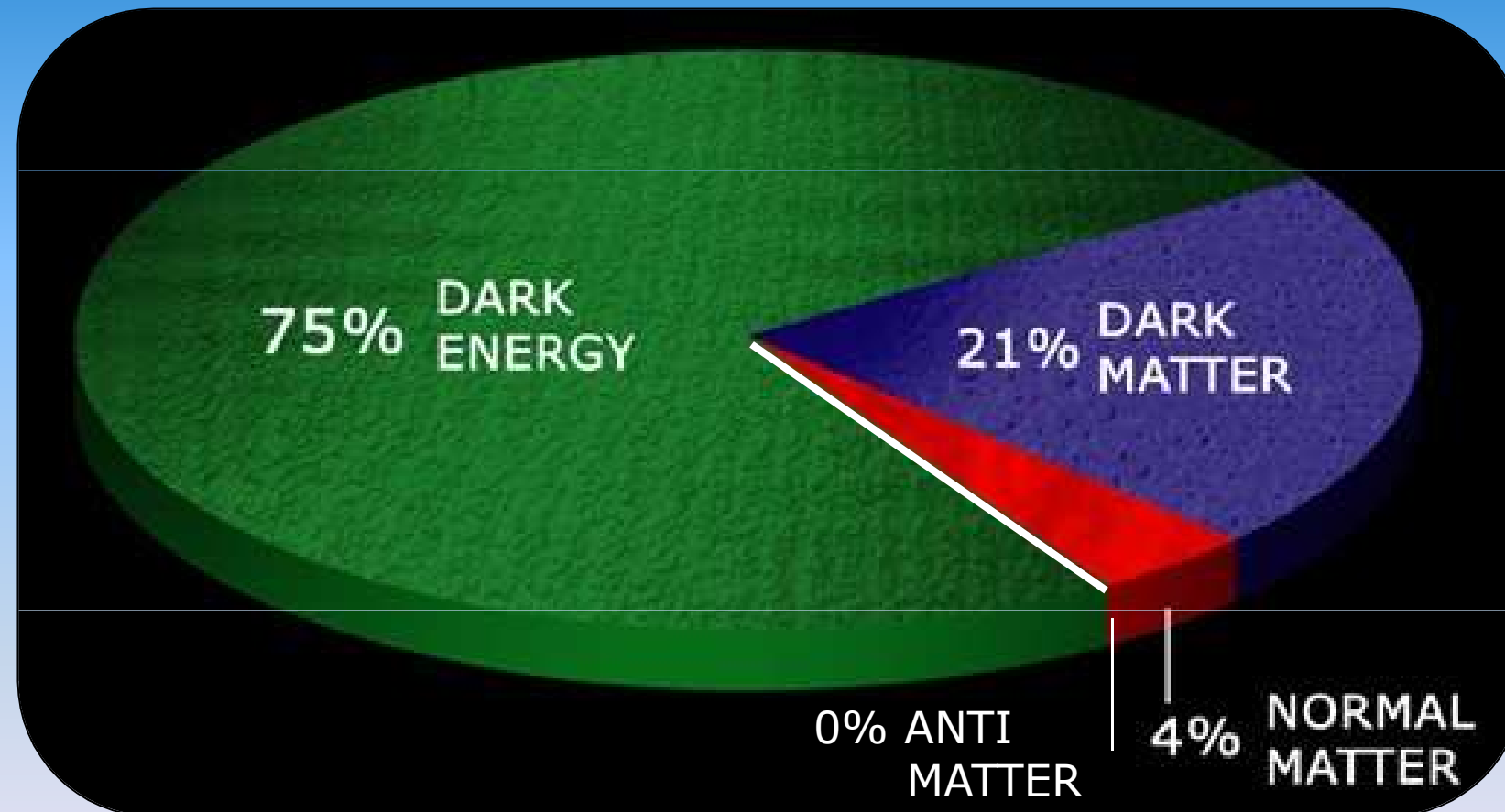
Tutto!

Un modello di successo che descrive con precisione i dati degli esperimenti ai collisionatori adronici



- Perchè tre famiglie?
- Di cosa è fatta la materia oscura?
- Perchè la gravità è così diversa?
- Da dove viene la massa?

Di cosa è fatto l' Universo?



Solo il 4% consiste di normale materia...

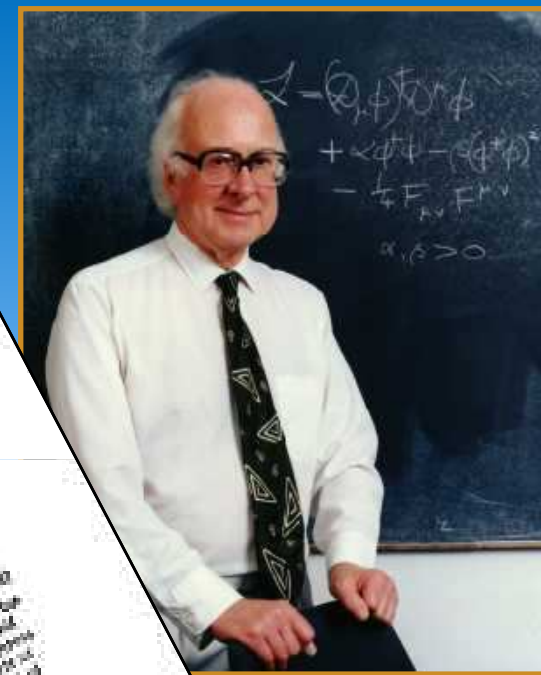
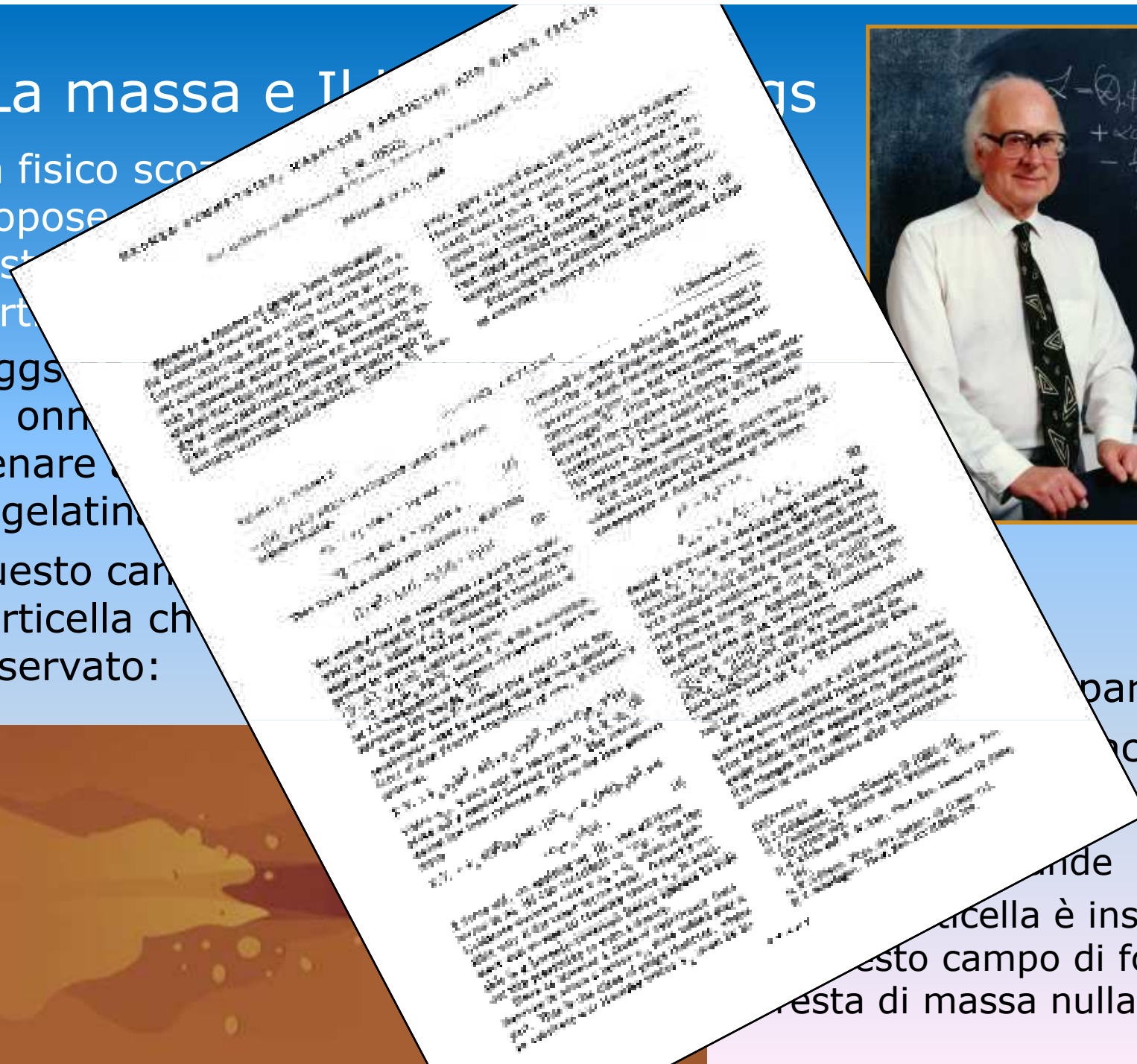
Il Bosone di Higgs



L'ultimo pezzo mancante del nostro
puzzle?
Se esiste: 1 x per ogni miliardo di collisioni.
Poi ...decade immediatamente in particelle SM

La massa e il Higgs

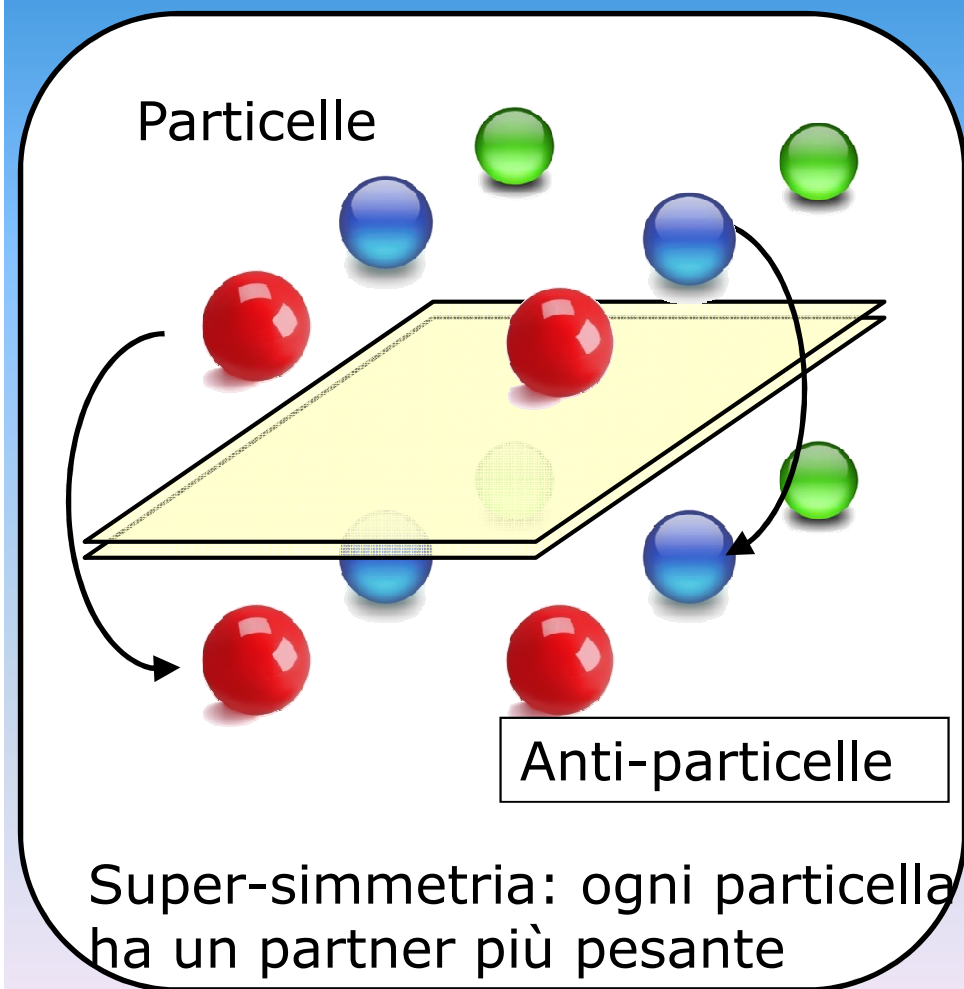
- Un fisico scozzese propose una misteriosa particella
- Higgs è un onnipotente frenatore della gelatina
- Questo campo di forza è insensibile a questa particella che ha acquisire massa



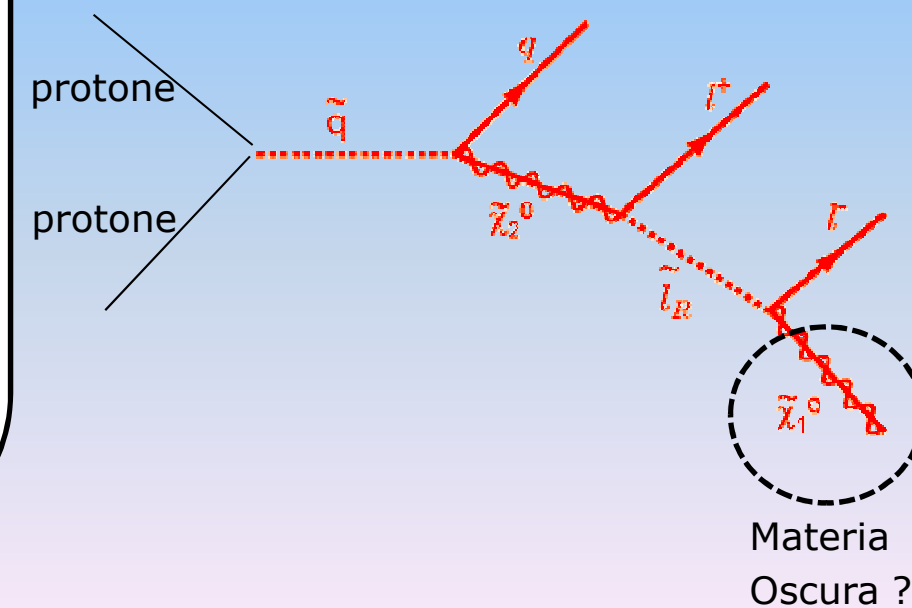
particella
acquisire
nde
acella è insensibile
esto campo di forza,
resta di massa nulla

Materia Oscura

Idea teorica: Supersimmetria:

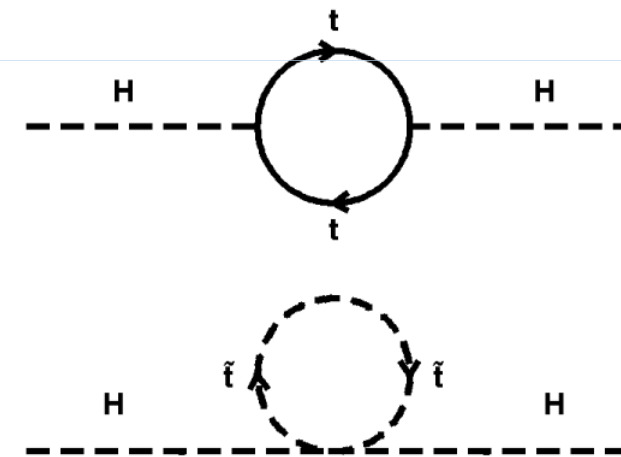
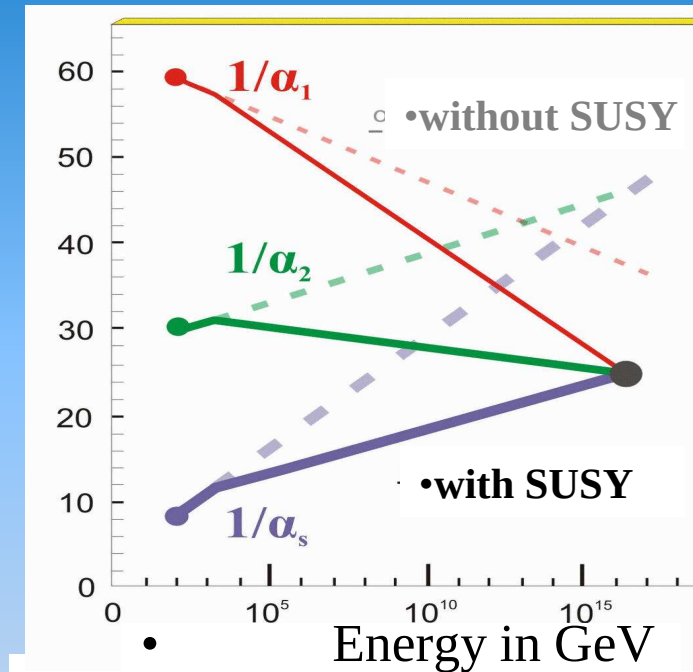


Ad LHC possiamo produrre particelle supersimmetriche, e identificare l'antimateria

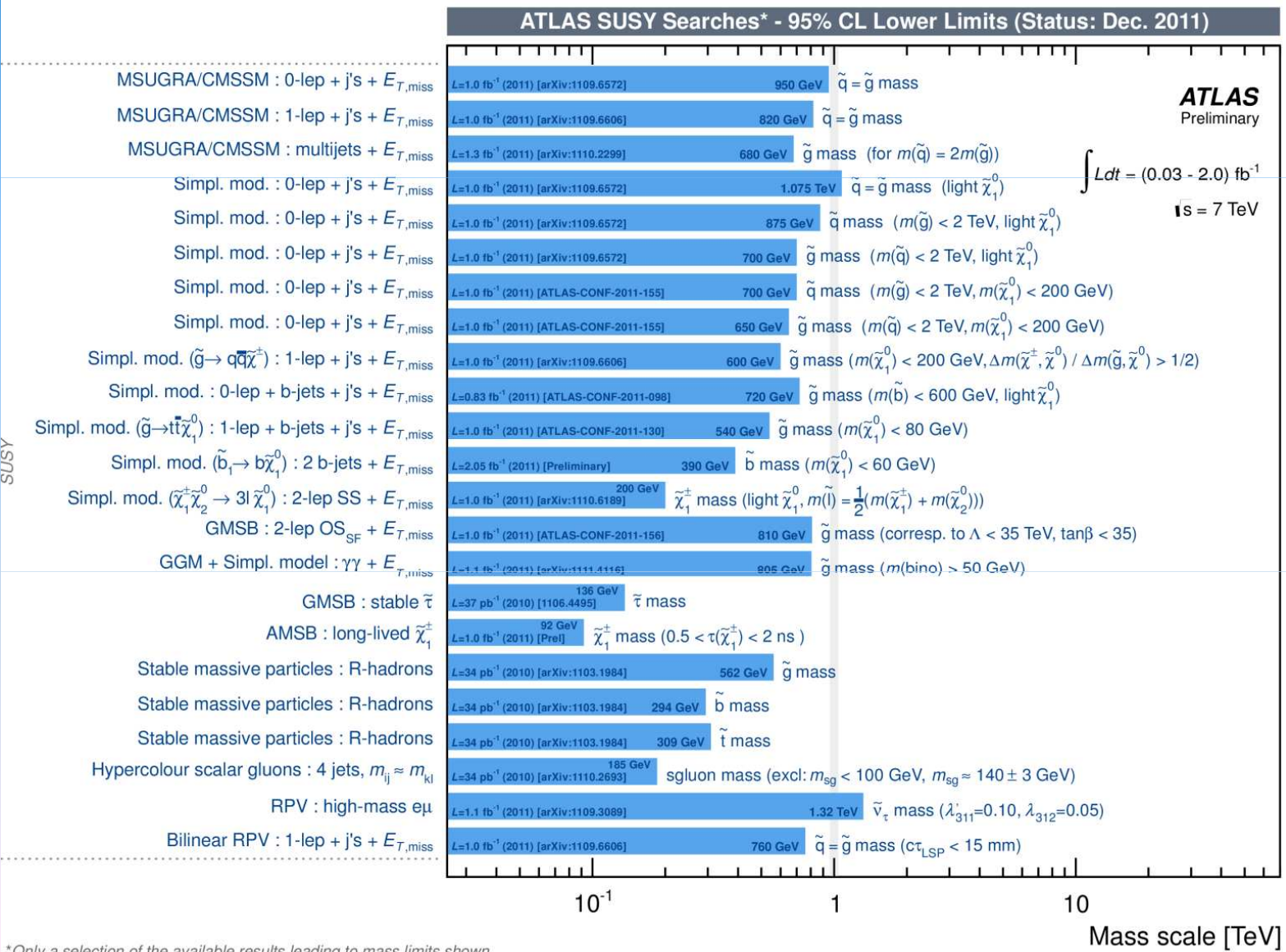


SUSY può risolvere diversi problemi

- Supersymmetry (SUSY)
 - Ogni particella SM ha un partner che differisce di $\frac{1}{2}$ nello spin
- Unificazione delle forze possibile
 - SUSY modifica il running delle costanti di accoppiamento
- Esistono i candidati per dark matter
 - Il partner neutro dei bosoni di gauge più leggero
- Si riduce anche il problema del fine-tuning
 - Radiative corrections to Higgs acquire SUSY corrections
 - Cancellation of fermion and sfermion loops



Ricerche di Supersimmetria

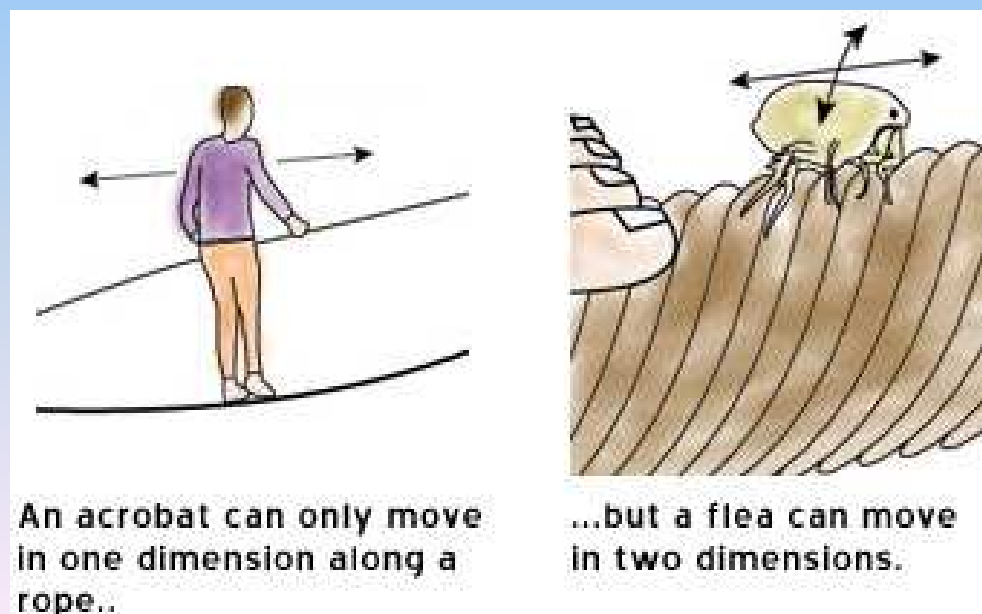


Comprendere la gravità: le extradimensioni

Interesse teorico nelle extra-dimensioni

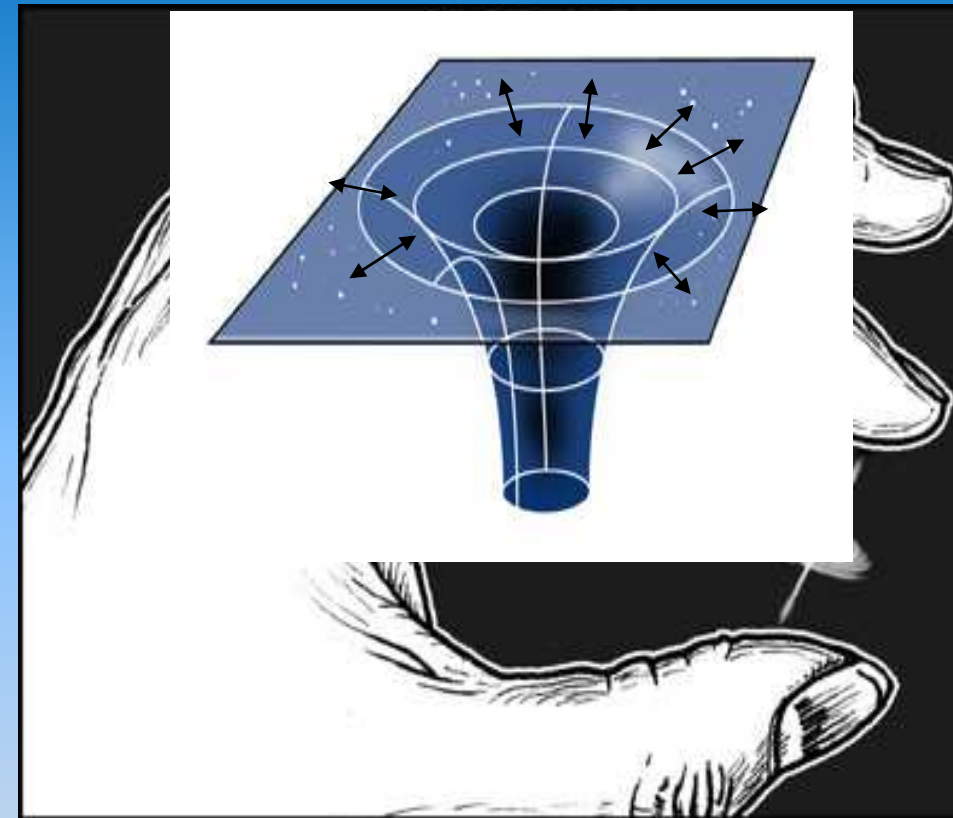
- Tutte le particelle SM sono confinate in 4D
- Solo la gravità vede le dimensioni addizionali
- La gravità ha la stessa intensità delle altre forze, ma "diluata" in più dimensioni

I gravitoni possono essere prodotti e identificati a LHC



Buchi Neri ad LHC

- Extra dimensioni hanno un raggio molto piccolo -> la gravità diventa forte a piccole distanze
- Se si concentrano $\sim \text{TeV}$ di energia in una piccola regione di spazio, si può formare un buco
- I buchi neri decadono spontaneamente ed evaporano a causa della radiazione di Hawking



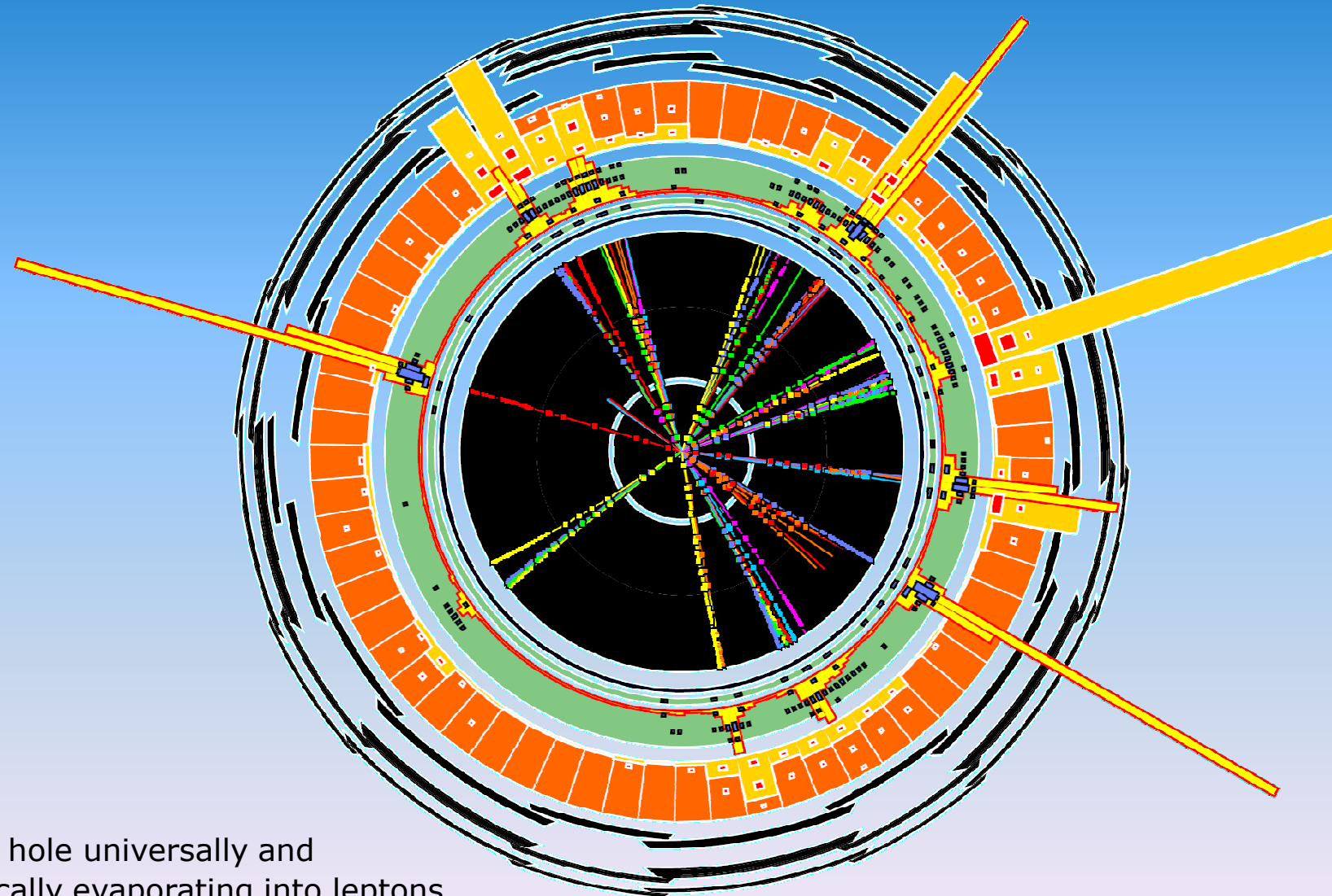
•'Normal' BH:

- mass: $\sim m_{\text{sun}}$
- size: $\sim \text{Km}$
- T: $\sim 0.01 \text{ K}$
- Lifetime: $\sim \text{forever}$

•'Mini' BH:

- mass: $\sim 1000 m_p$
- size: $\sim 10^{-18} \text{ m}$
- T: $\sim 10^{16} \text{ K}$
- Lifetime: 10^{-27} s

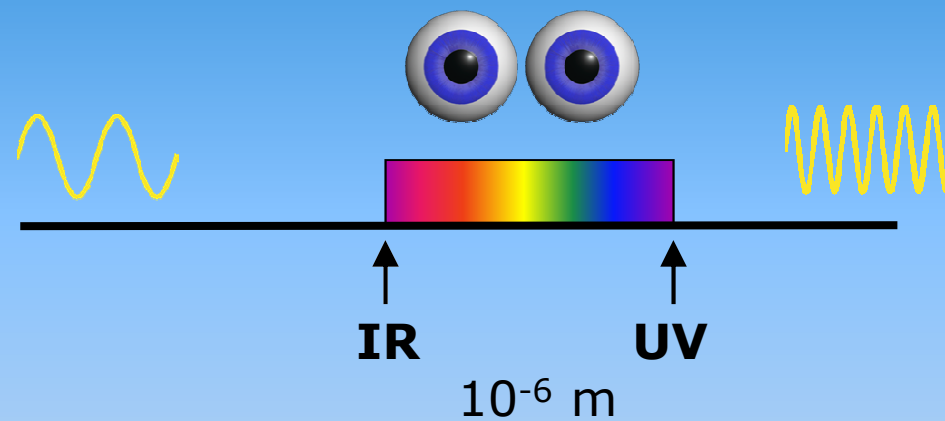
Buchi Neri ad LHC



- Black hole universally and spherically evaporating into leptons, photons and jets in ATLAS. Final state multiplicity increases with M_{BH}

1] Vedere con la

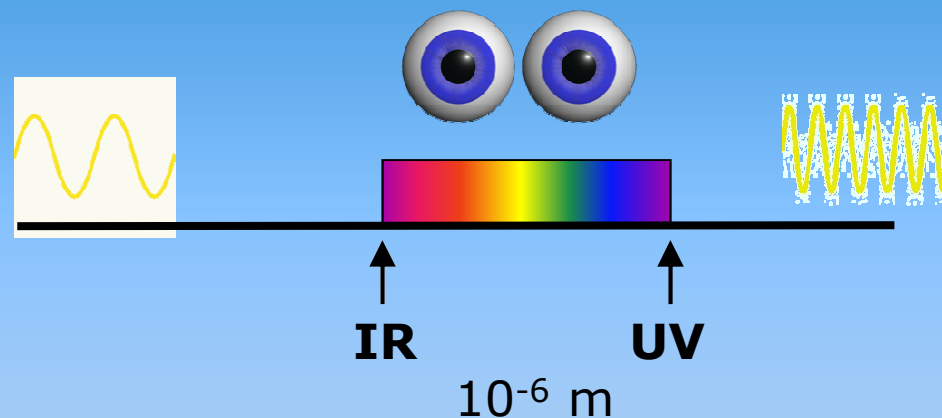
luce
La luce si disperde per oggetti che sono più grandi della lunghezza d'onda



Con i nostri occhi non possiamo vedere tutto ciò che è inferiore a 10^{-6} m

1] Vedete con la luce

La luce si disperde per oggetti che sono più grandi della lunghezza d'onda



Con i nostri occhi non possiamo vedere tutto ciò che è inferiore a 10^{-6} m

2] Vedere con le particelle

Idea: far rimbalzare particelle di piccole dimensioni sull'oggetto

→ Microscopio a particelle:

- piccolo: microscopio elettronico
- più piccolo: microscopio a protoni (LHC)

Microscopi in HEP

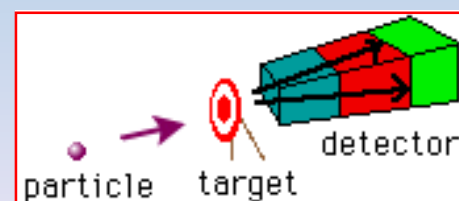
In quantomeccanica ogni particella ha una Lunghezza d'onda associata: $\lambda \propto 1/p$

Object	Size	Energy of Radiation
Atom	10^{-10} m	0.00001 GeV (electrons)
Nucleus	10^{-14} m	0.01 GeV (alphas)
Nucleon	10^{-15} m	0.1 GeV (electrons)
Quarks	?	> 1 GeV (electrons?)



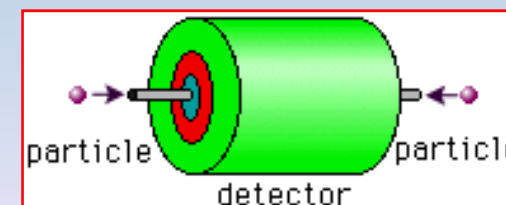
1 eV = energia di un elettrone accelerato da un potenziale di 1V
1 GeV = 1000000000 eV
1 GeV = 0.016 g (m/s)²

•Fixed target



Più vasta scelta di proiettili e bersagli
Energia parzialmente sprecata

•Colliders



Massimizzazione energia
Scelta limitata di particelle



Urti classici

Collisioni Quantomeccaniche

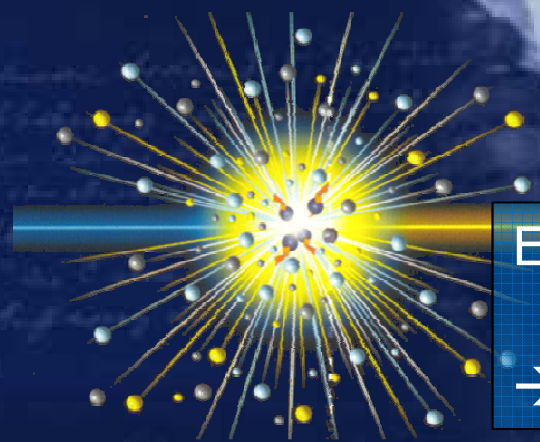


Albert Einstein

$$E = mc^2$$

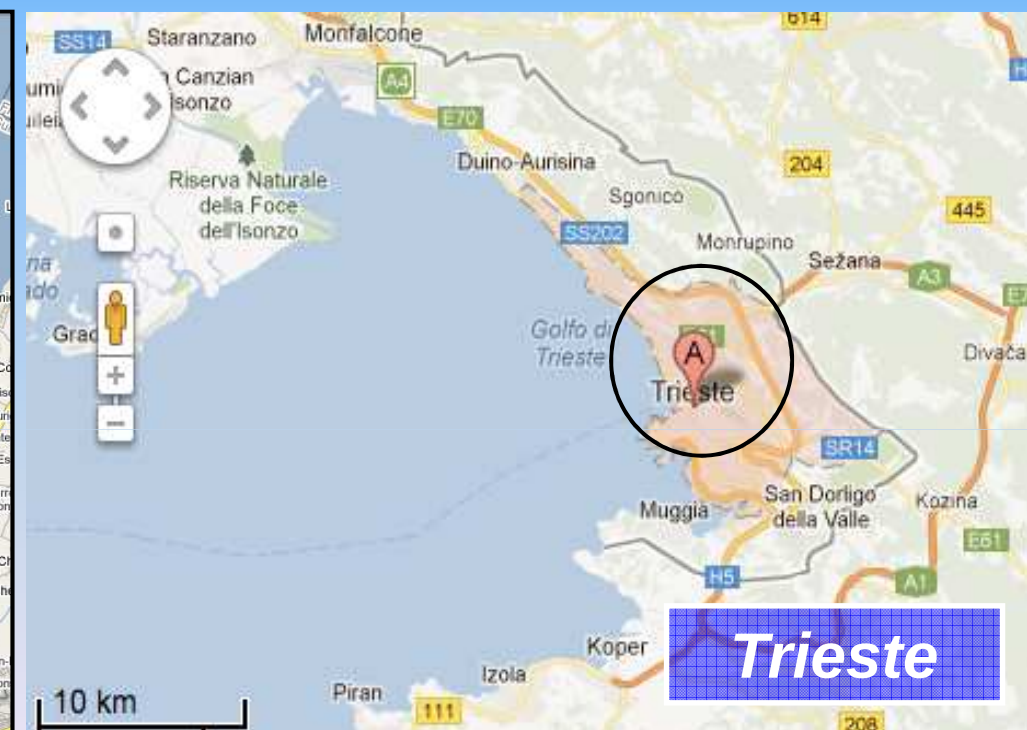
Energia e massa sono equivalenti

→ si possono produrre nuove particelle

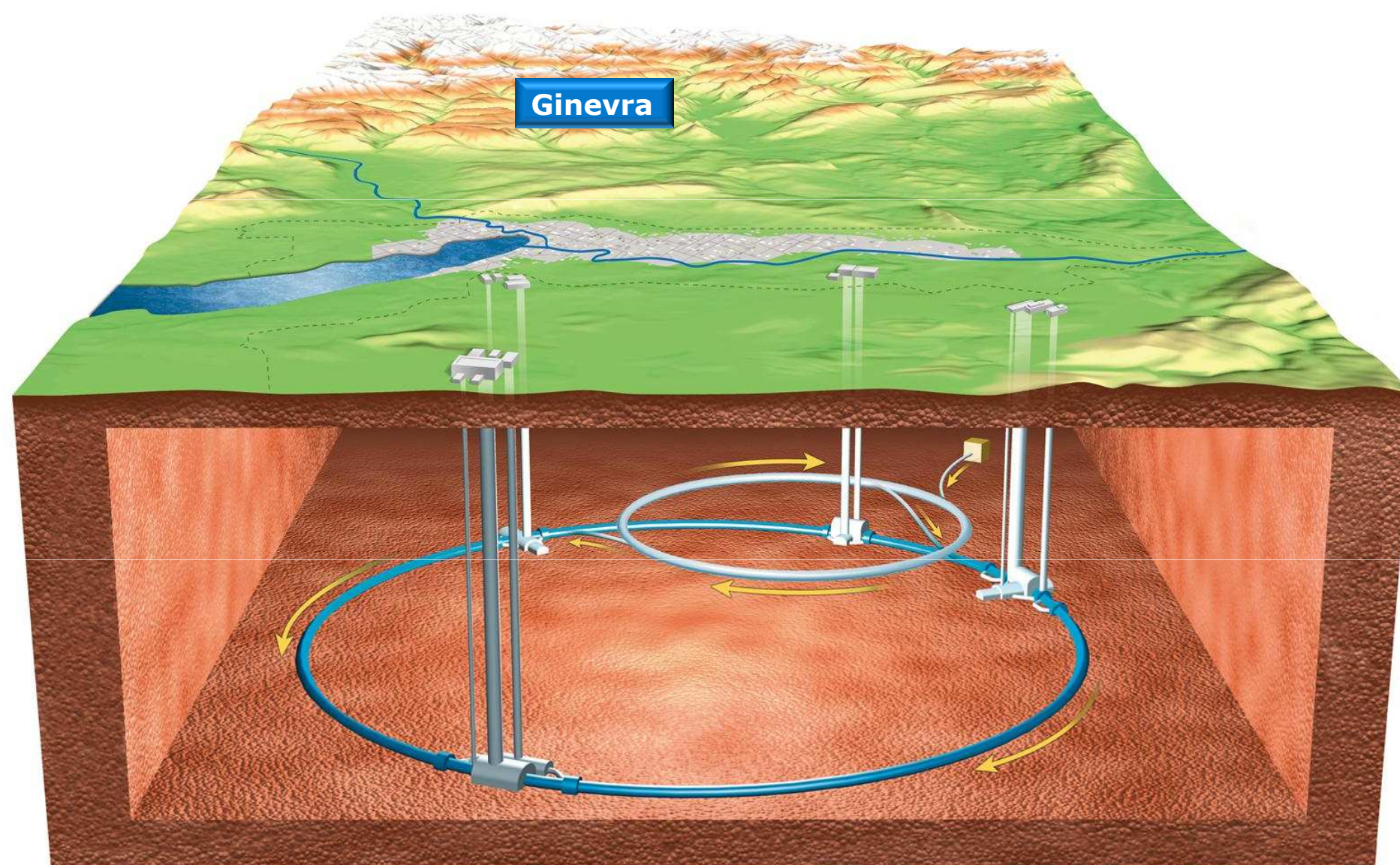


Il Large Hadron Collider

LHC: 27 km



Il Collisionatore LHC



LHC

Massima Energia nel CM: 14 TeV

energia limitata dalla resistenza dei 1232 magneti a dipolo, con $B = 8.4 \text{ T}$ a 1.9 K
→ *produzione di particelle pesanti (max 4 TeV)*

→ 7 x Tevatron

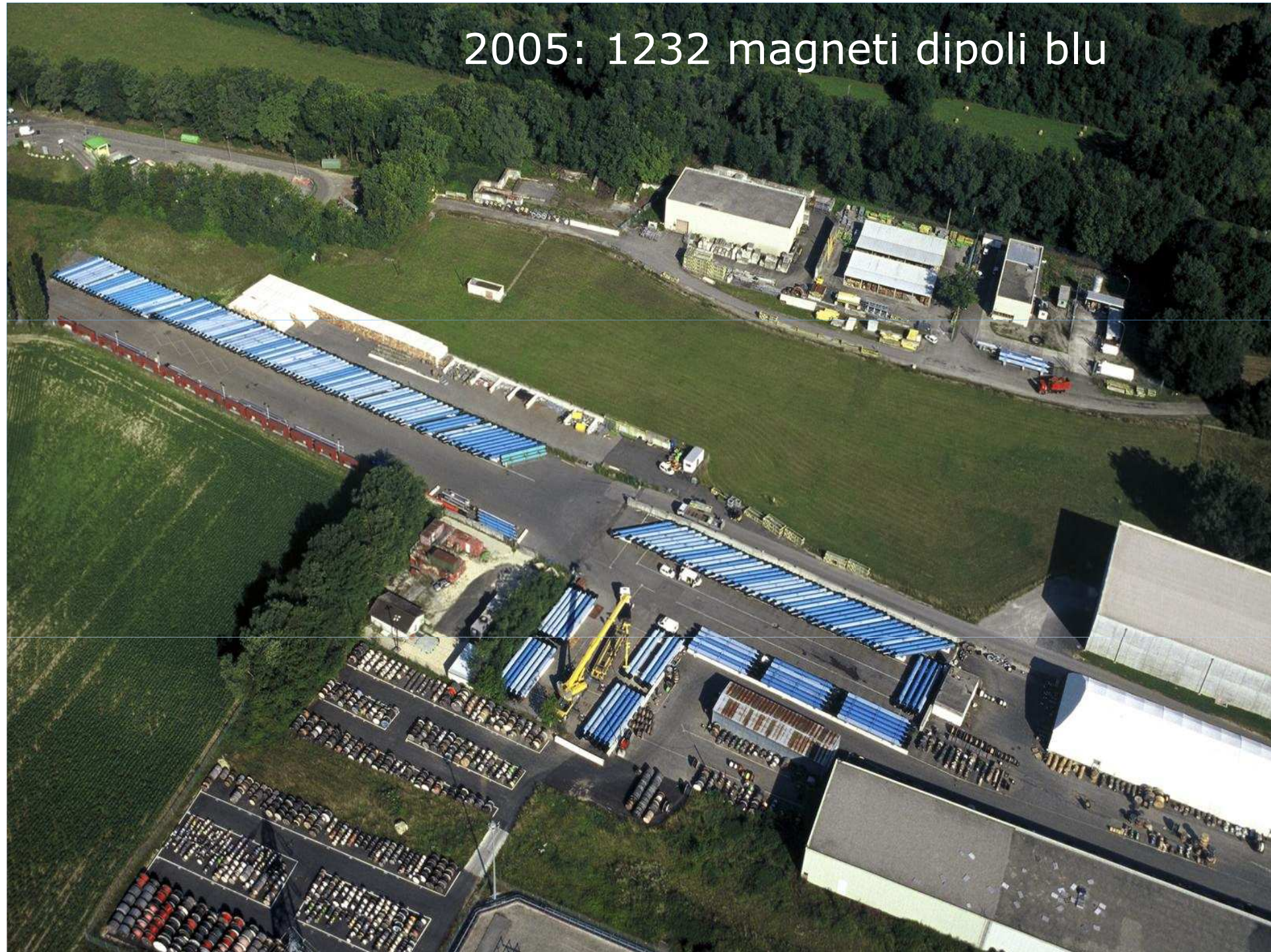
Alta intensità: $10^{33/34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (40 M bits/sec)

→ *Ricerca di eventi rari*

→ 100 x LEP & Tevatron

<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>

2005: 1232 magneti dipoli blu



A 100 metri sottoterra in una grotta di grandi dimensioni

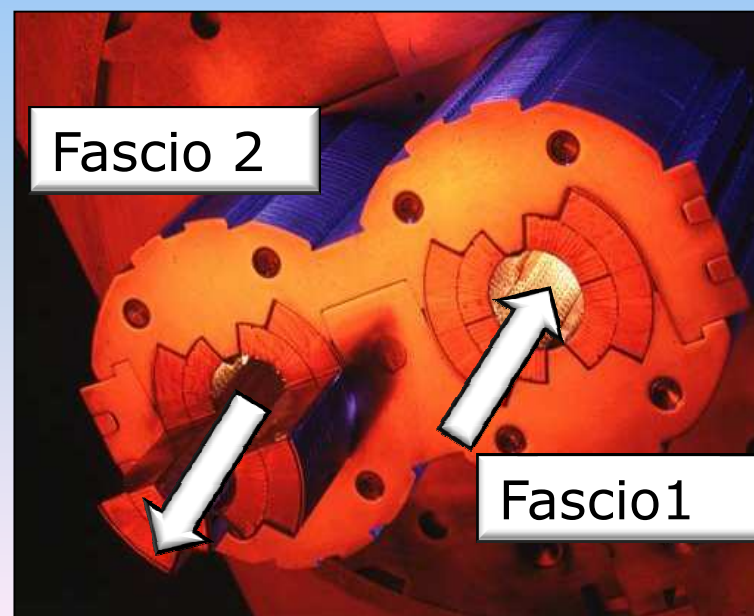




Energia di 1 protone
(LHC)

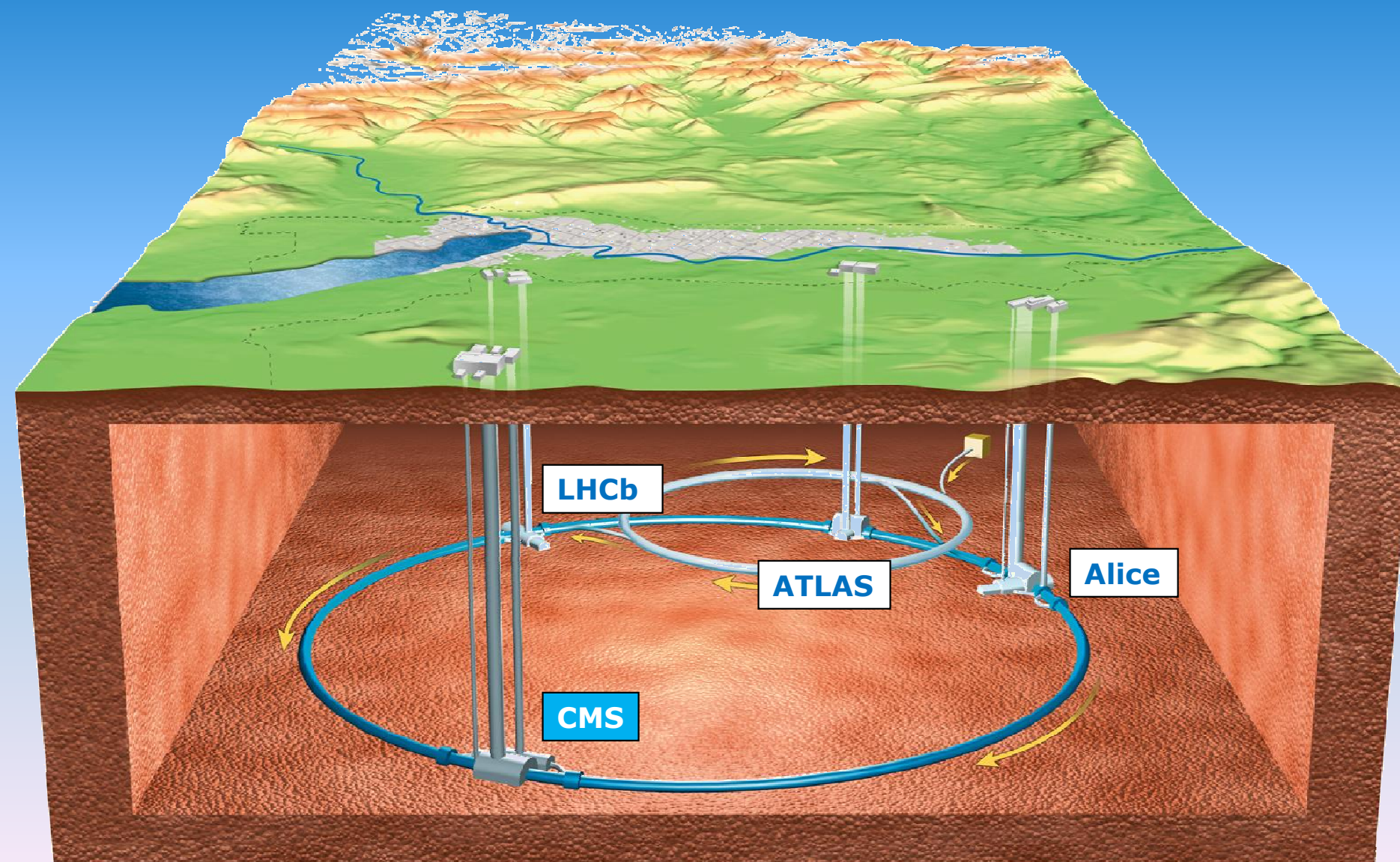


Energia del fascio di LHC
 $3000 \times 100.000.000.000$ protoni

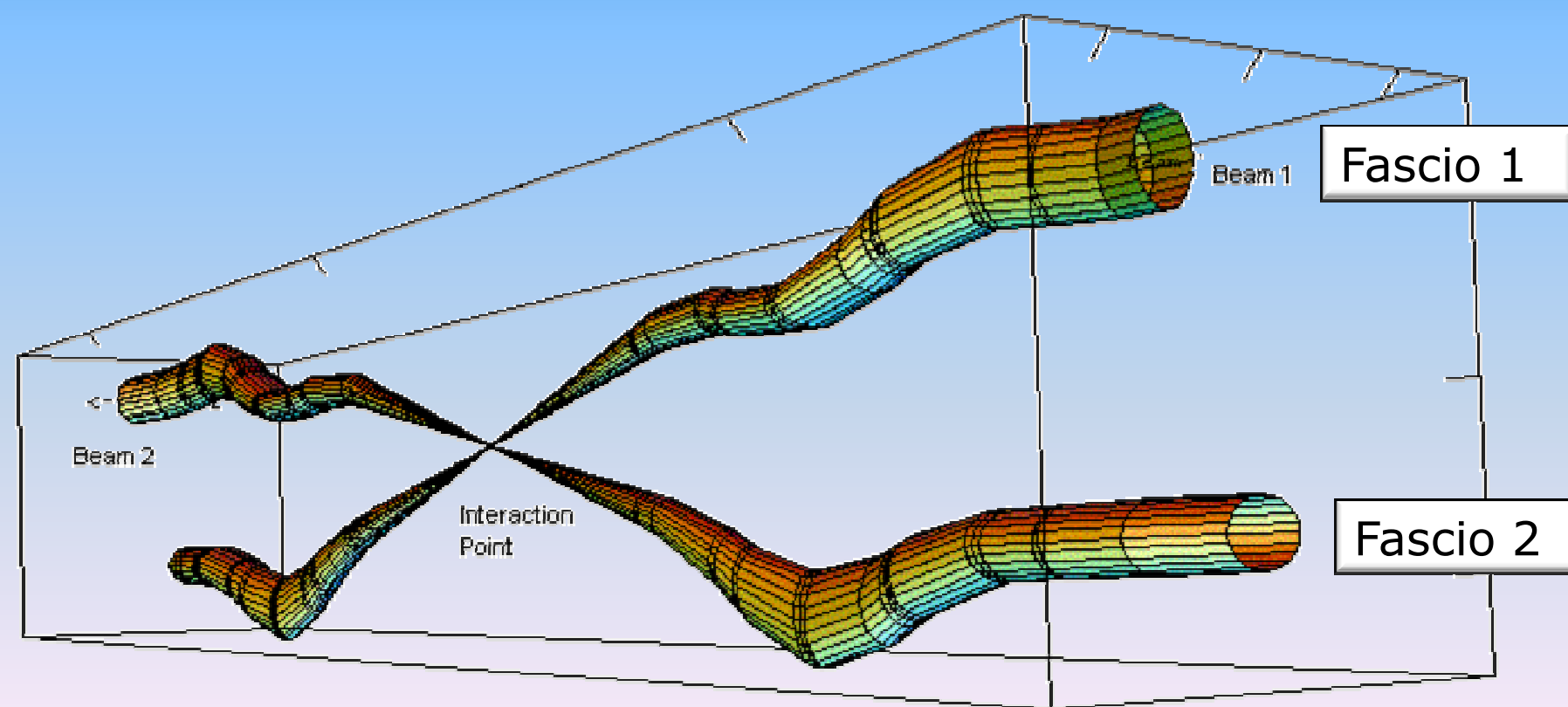


*Tubi a vuoto dove
corrono i fasci di LHC*

I quattro esperimenti

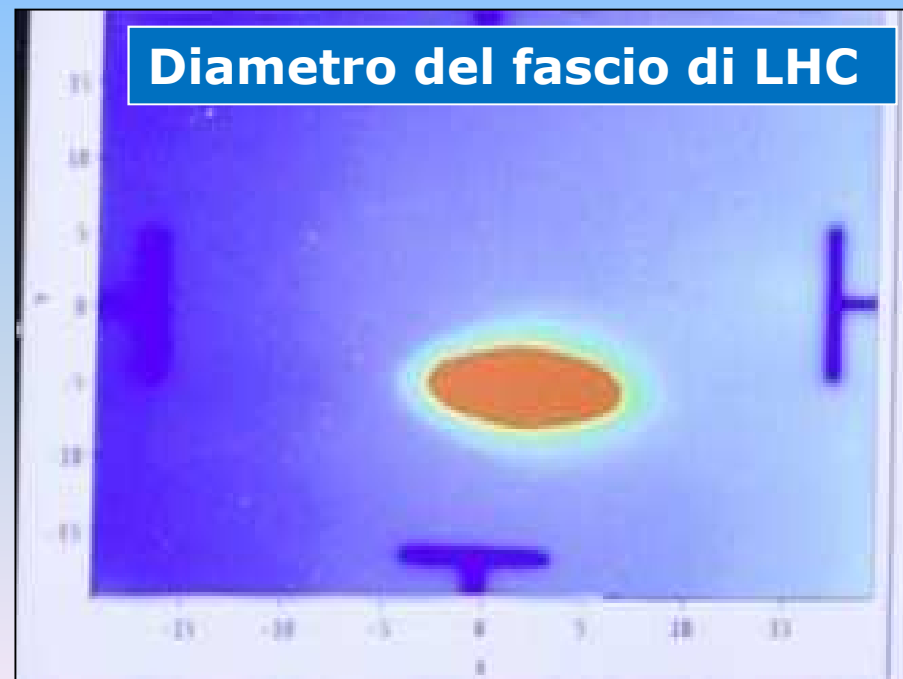


40 milioni di collisioni al secondo



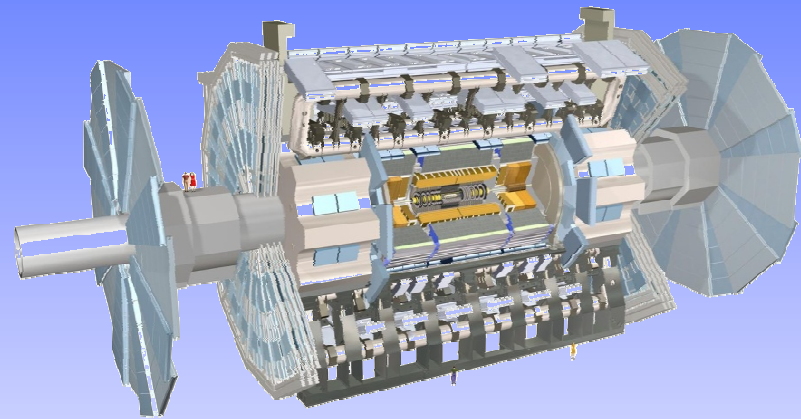
LHC funziona!

“Il 10 settembre 2008, fasci di protoni hanno percorso la circonferenza di LHC”

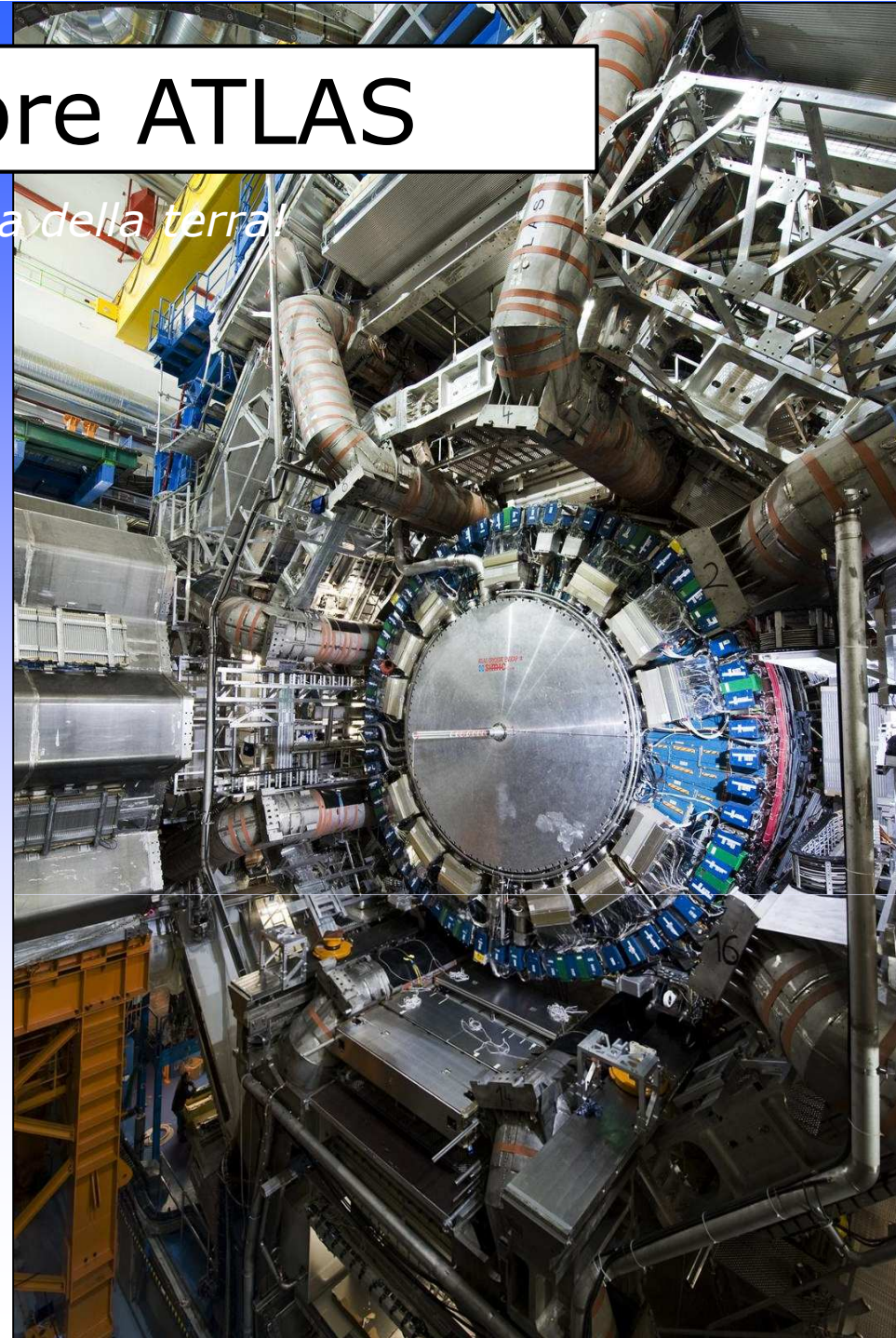


Il rivelatore ATLAS

La più grande telecamera della terra

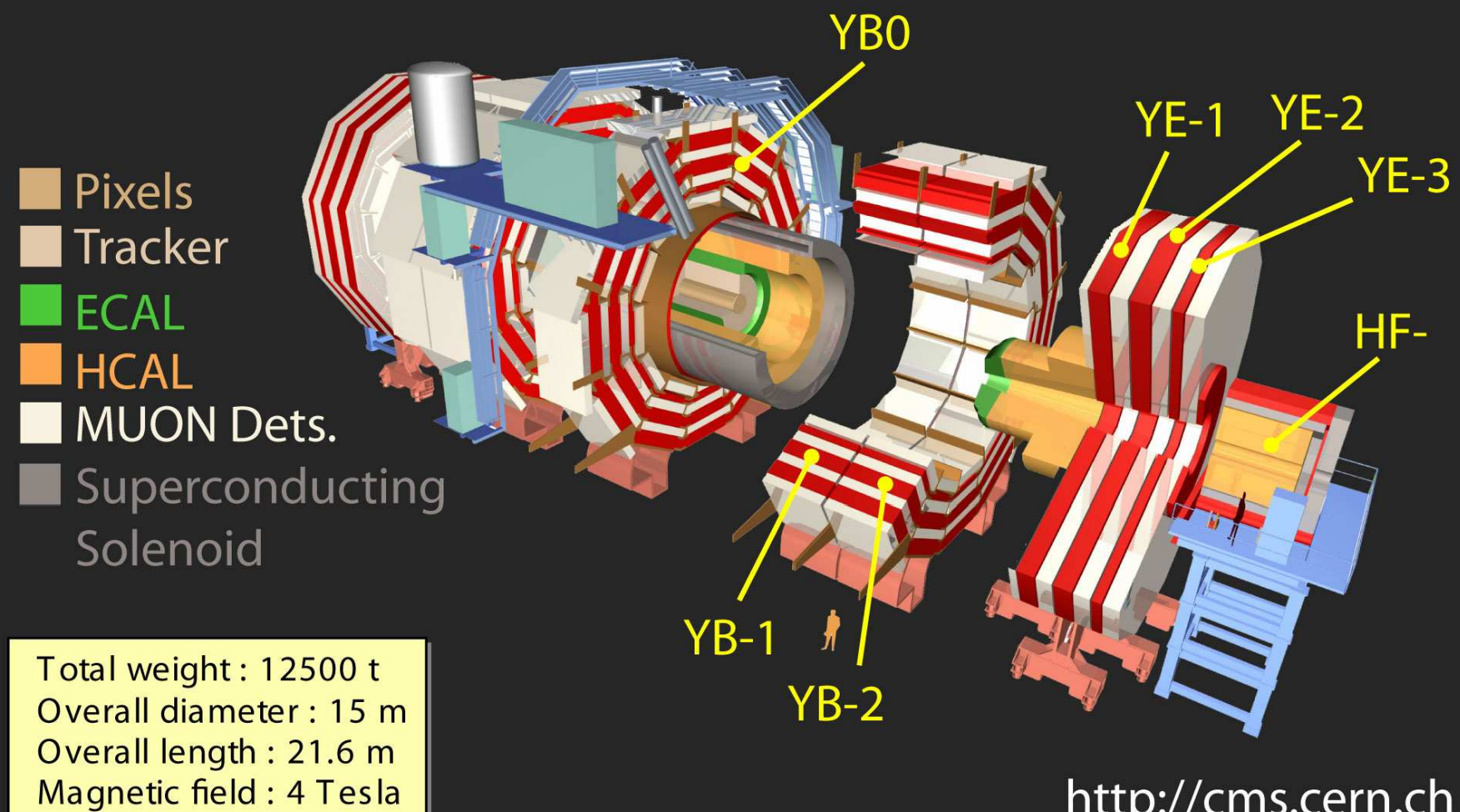


Lunghezza: 45 m, altezza: 25 m
peso: 7000 ton



The CMS Detector

- Collaborazione internazionale di 2500 scienziati



Luminosità

- Critica per poter produrre nuove particelle rare:
 - Dipende dalla macchina

$$L = \frac{f_{\text{rev}} n_{\text{bunch}} N_p^2}{4 \pi \sigma_x \sigma_y}$$

- Frequenza rotazione: $f_{\text{rev}} = 11245.5/\text{s}$
- #pacchetti: $n_{\text{bunch}} = 2808$
- #protoni / pacchetto: $N_p = 1.15 \times 10^{11}$
- Area fascio: $4\pi\sigma_x\sigma_y \sim 40 \mu\text{m}$

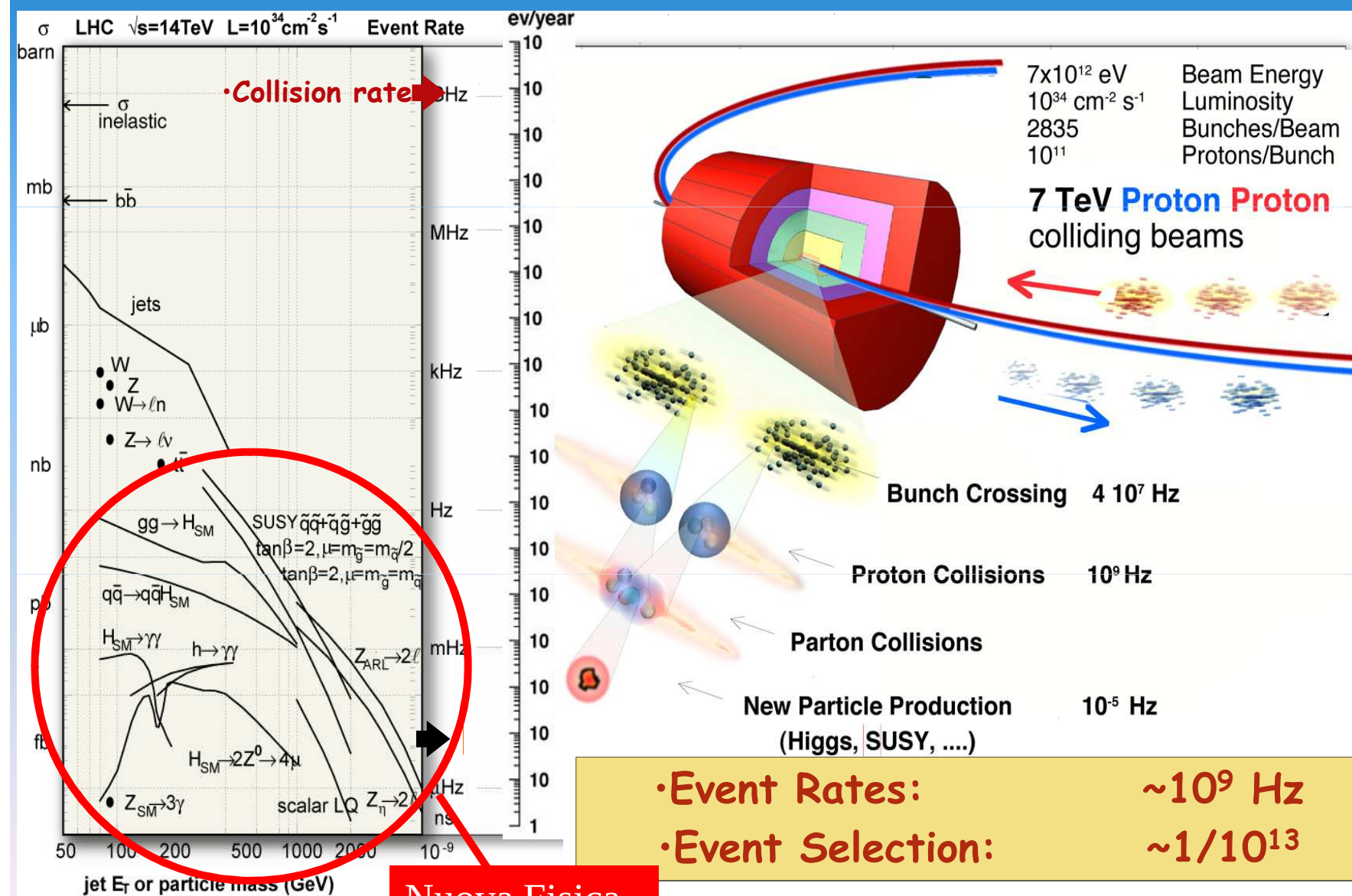
$$\bullet N_{\text{obs}} = \int L dt \cdot \epsilon \cdot \sigma$$

Efficienza:
Ottimizzata dagli
sperimentali

Sezione d'urto σ :
Dalla natura
(calcolata dai teorici)

Poter osservare qualcosa di nuovo dipende da N_{obs}

Frequenza di eventi e selezione ad LHC



Rivelatore di LHC

• I muoni sono identificati per tracciatura dopo aver attraversato i calorimetri ed il traferro del magnete

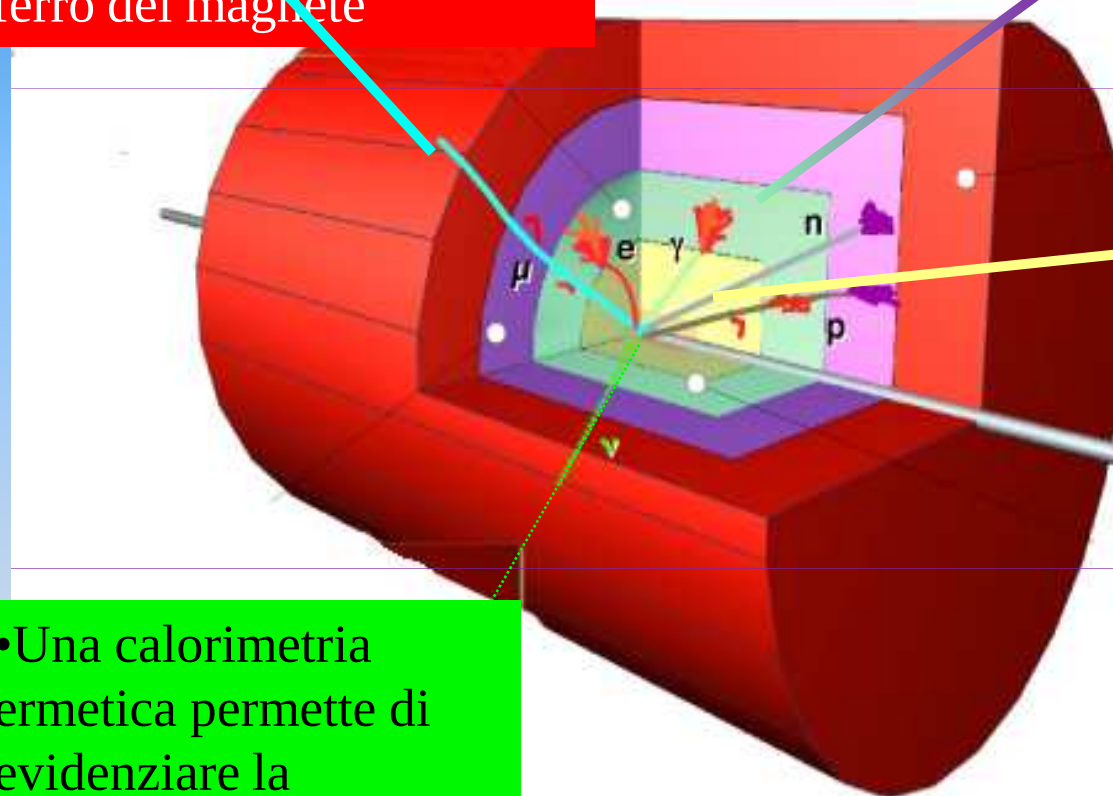
• I calorimetri, rivelatori di materiale ad alta densità e segmentati, misurano tutte le particelle che vengono assorbite

• Rivelatori a bassa densità per tracciare le particelle cariche che idealmente interagiscono solo per ionizzazione

• Una calorimetria ermetica permette di evidenziare la produzione di neutrini come energia trasversa mancante

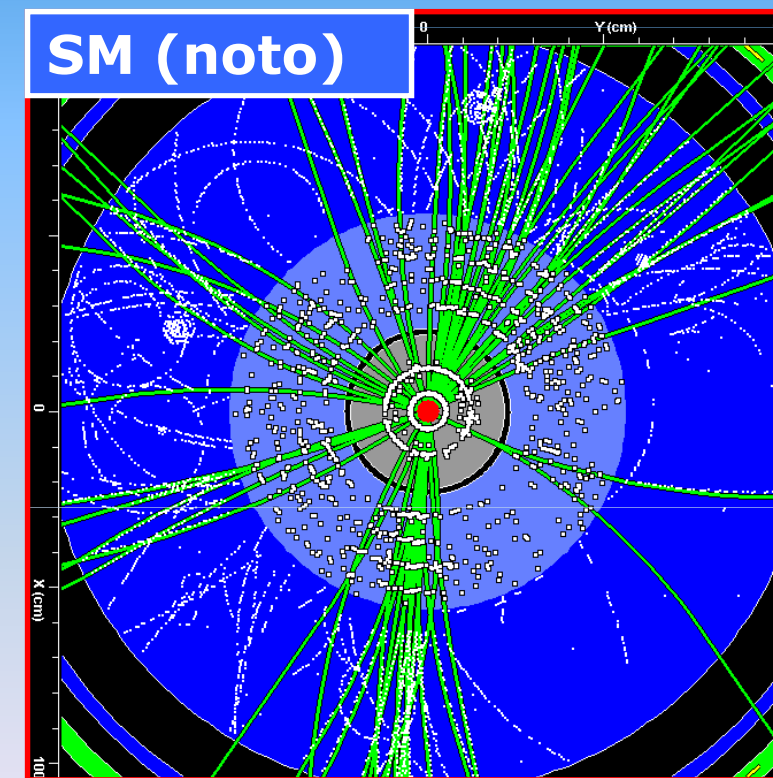
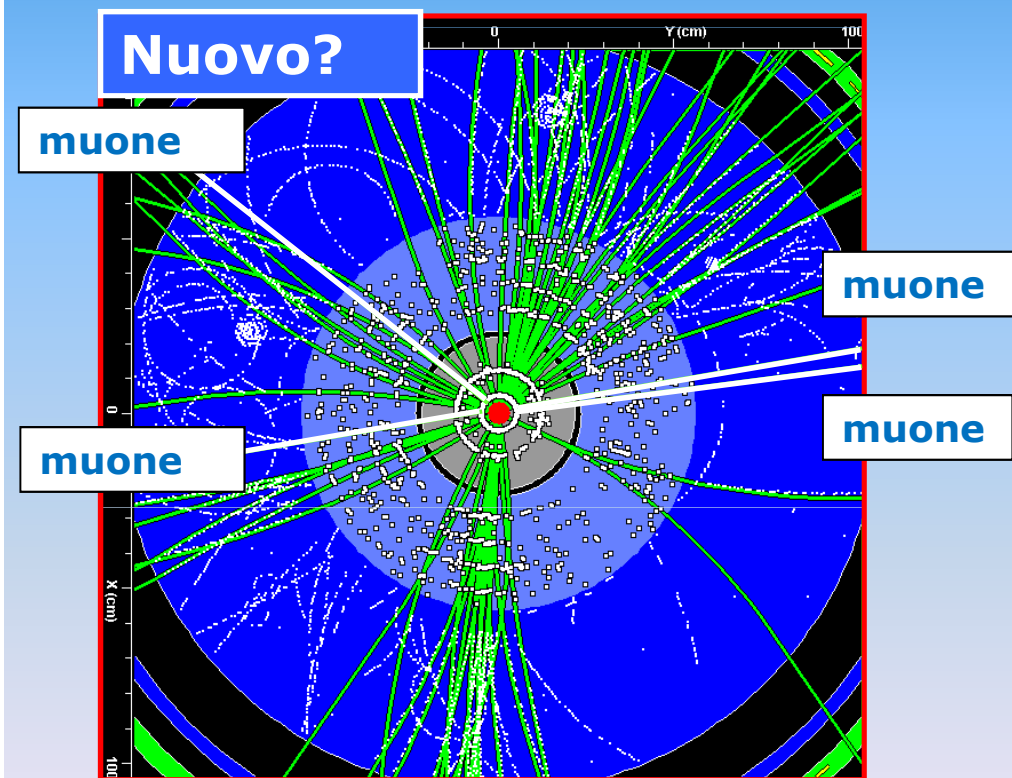
• Campo magnetico per curvare particelle cariche

• Tipicamente decine di milioni di canali di elettronica



Cosa andremo a vedere?

Nuovi processi in un nuovo rivelatore!

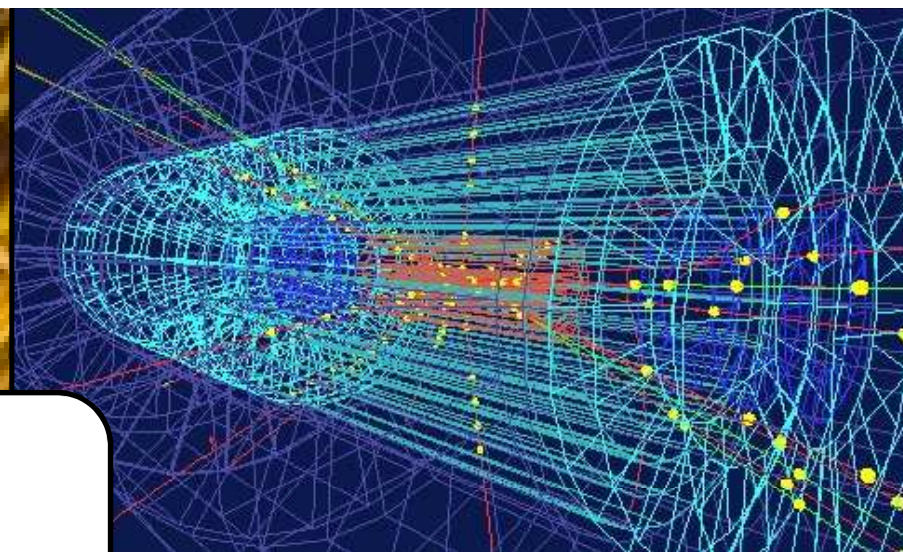


Particella di Higgs?

La ricerca

40 milioni di collisioni al secondo

Possibile registrare solo 200 collisioni/s

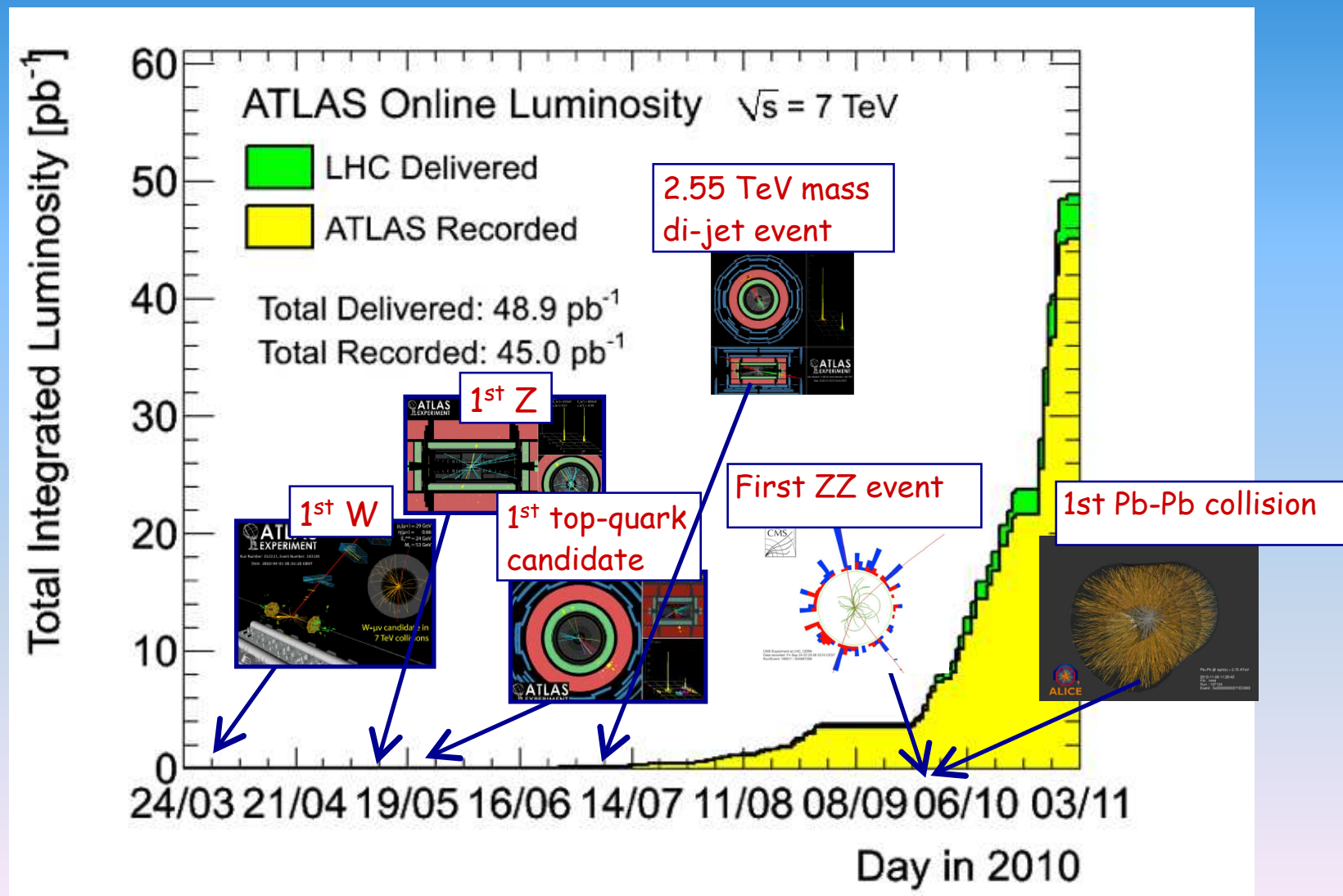


1 ago in un pagliaio 40 milioni di volte...al secondo !

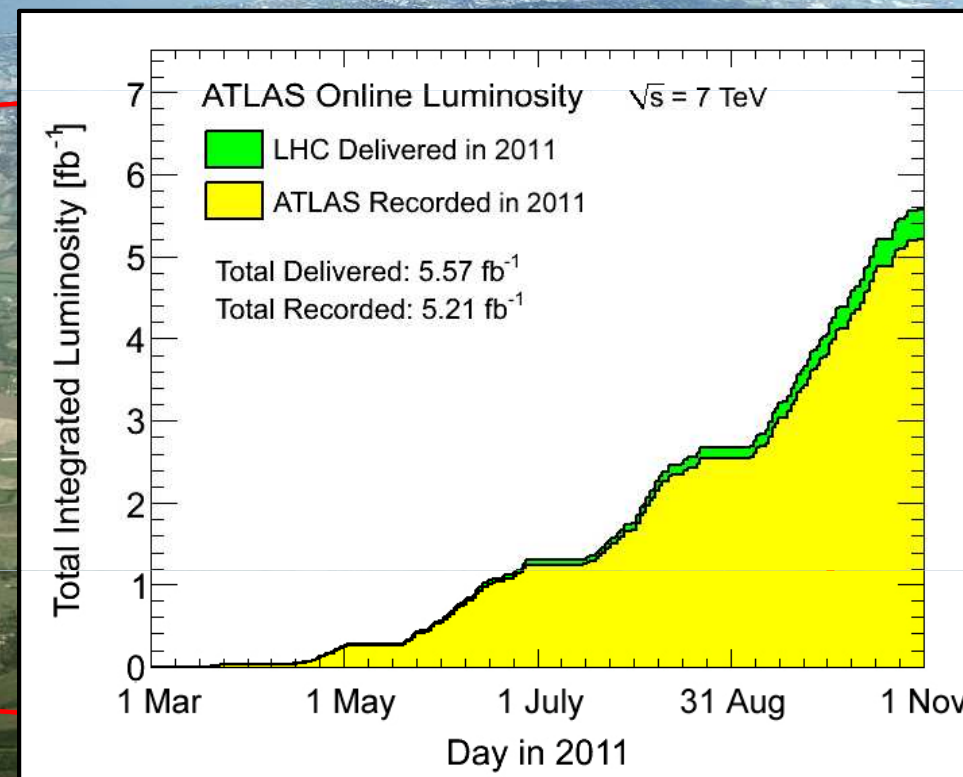
Circa 1 bosone di Higgs al giorno



Cosa abbiamo fatto nel primo anno?!

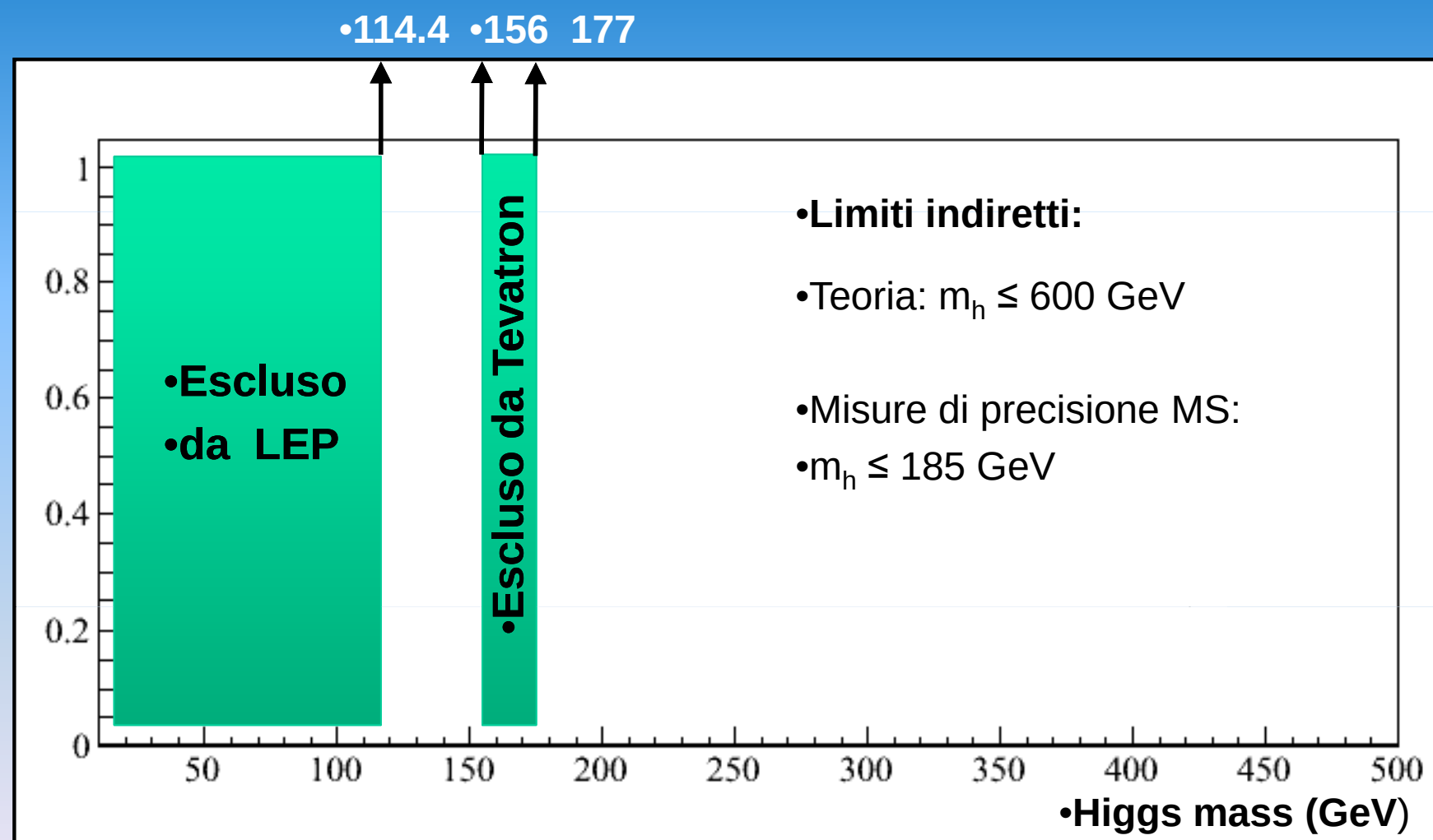


•Large Hadron Collider:
Luminosity in 2011



- LHC: 5.57 fb^{-1}
- ATLAS: 5.21 fb^{-1} 93.5% data taking efficiency

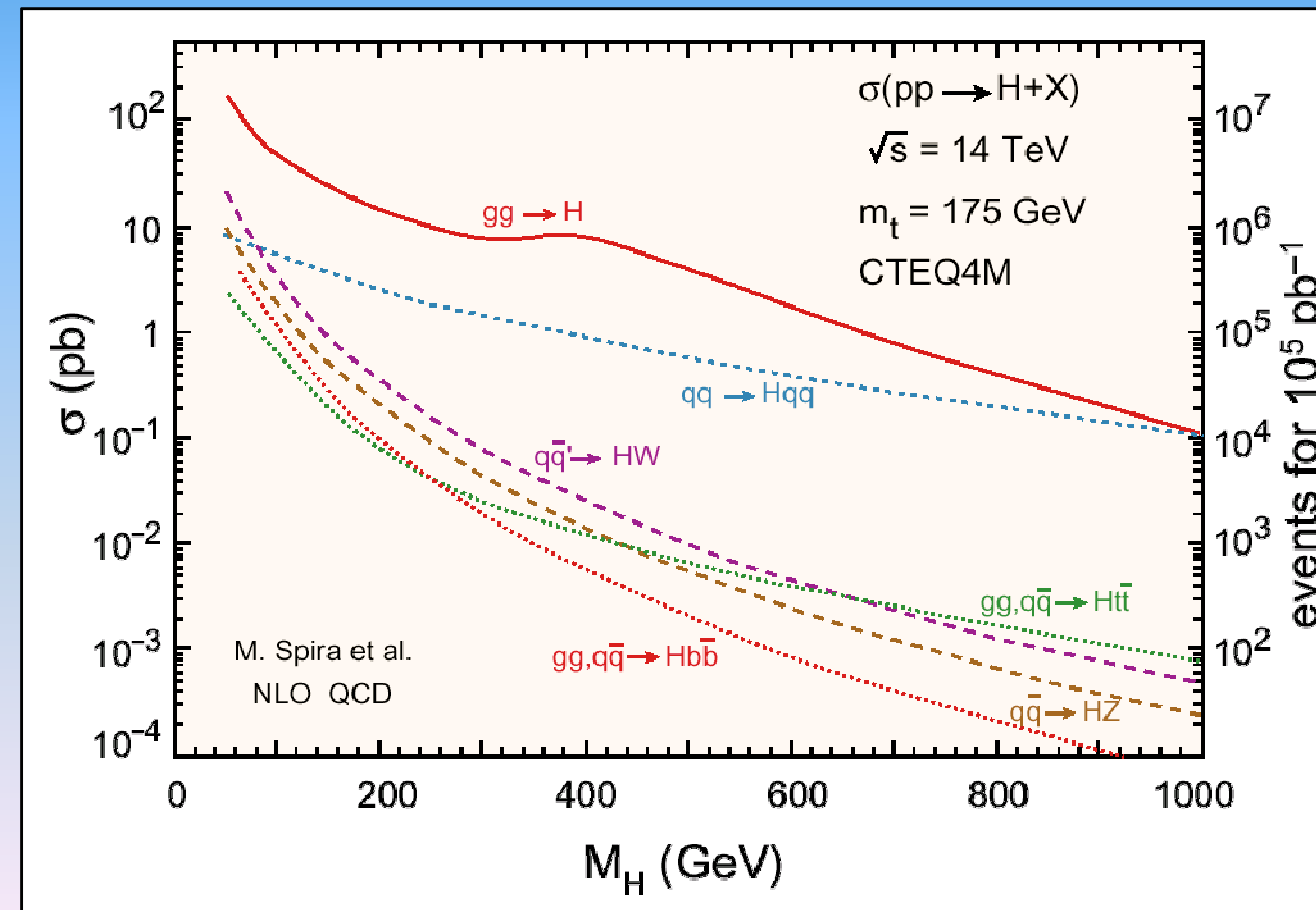
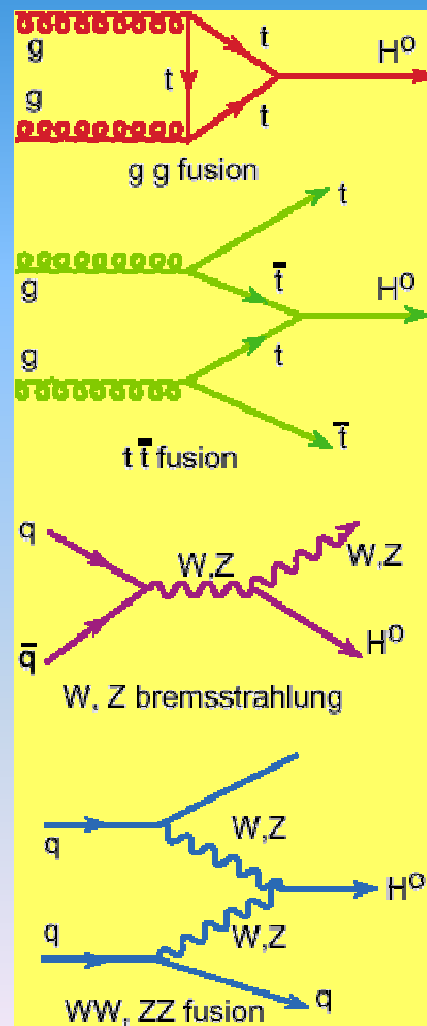
Ricerca dell'Higgs a Lep e Tevatron



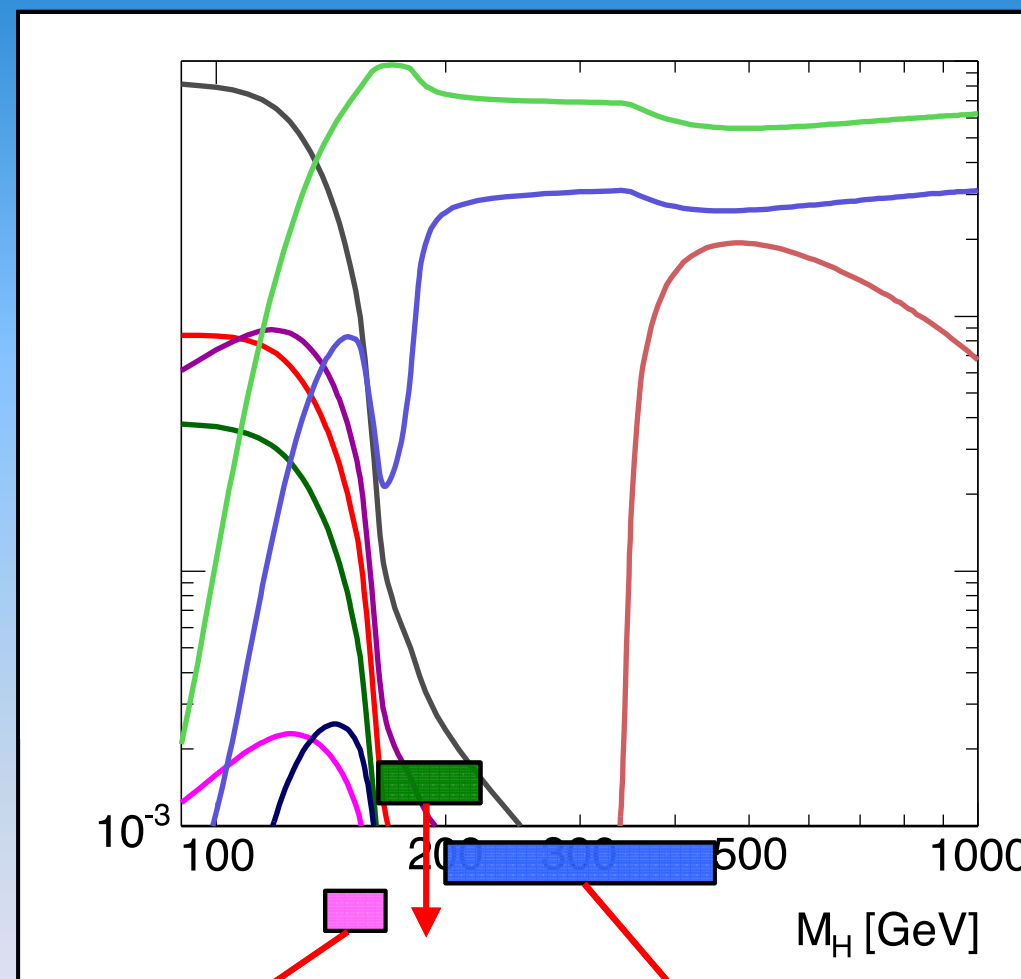
•LHC può coprire tutta la regione di massa 114-1000 GeV

Produzione dell'Higgs a LHC

La massa dell' Higgs non è conosciuta
Le sezioni d'urto sono molto piccole!



Decadimento del bosone di Higgs



Canali più sensibili:
(leptoni o fotoni)

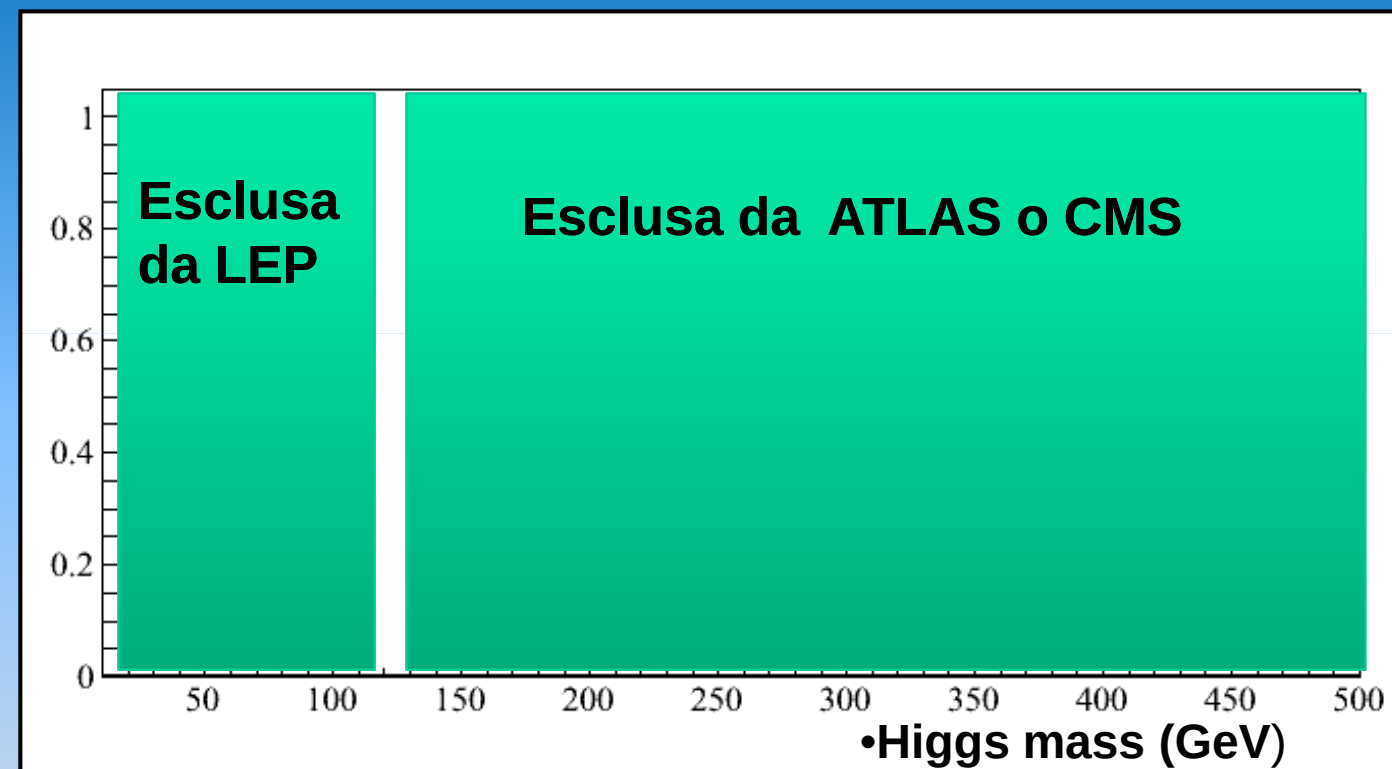
- Masse basse ($m_h < 130$)
 $h \rightarrow \gamma\gamma$
- Masse medie
($130 < m_h < 200$)
 $h \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$
- Alte masse:
($m_h > 200$)
 $h \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ leptoni}$

$h \rightarrow \gamma\gamma$

$h \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$

$h \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ leptoni}$

Masse dell' Higgs escluse a LHC

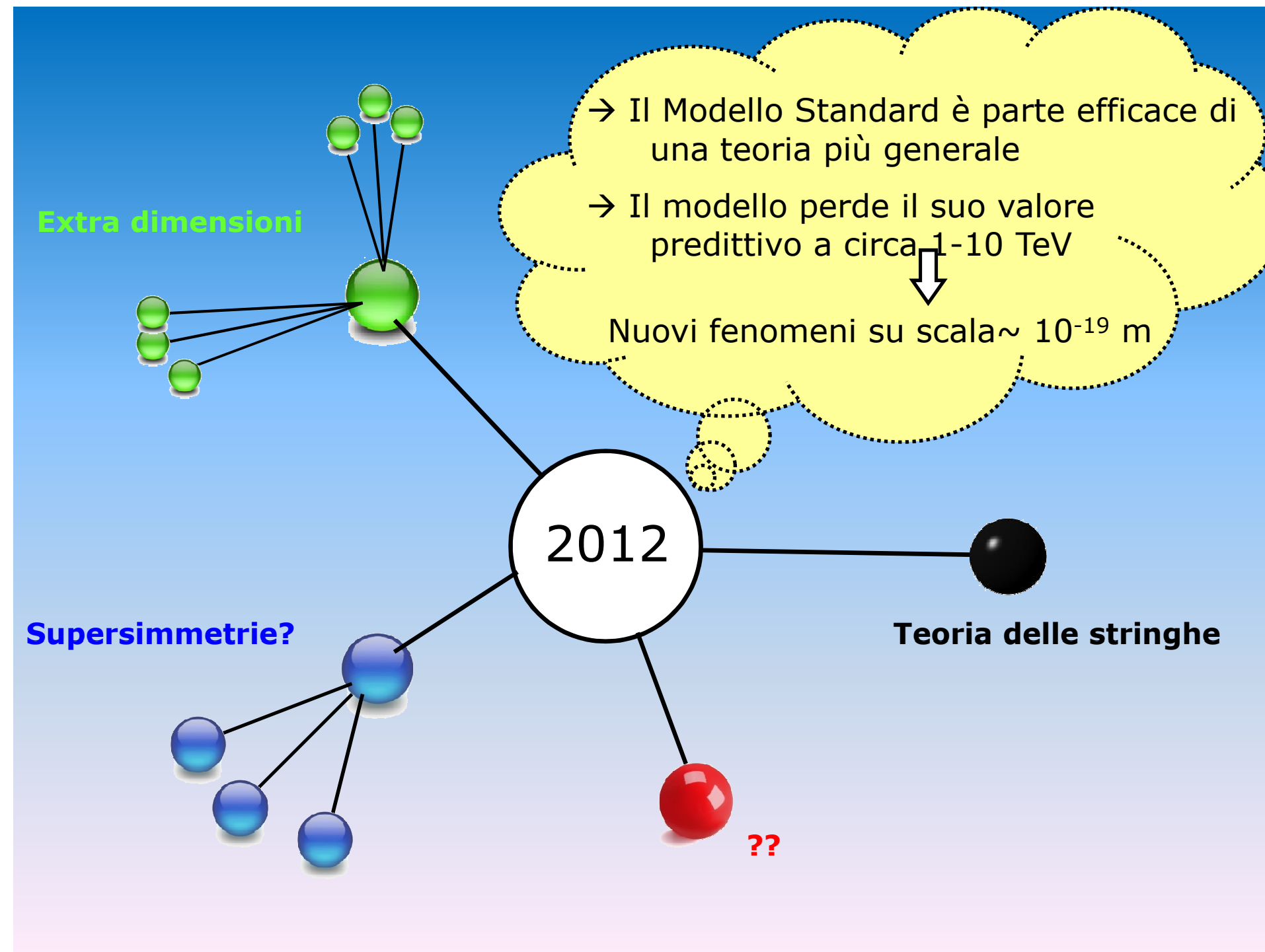


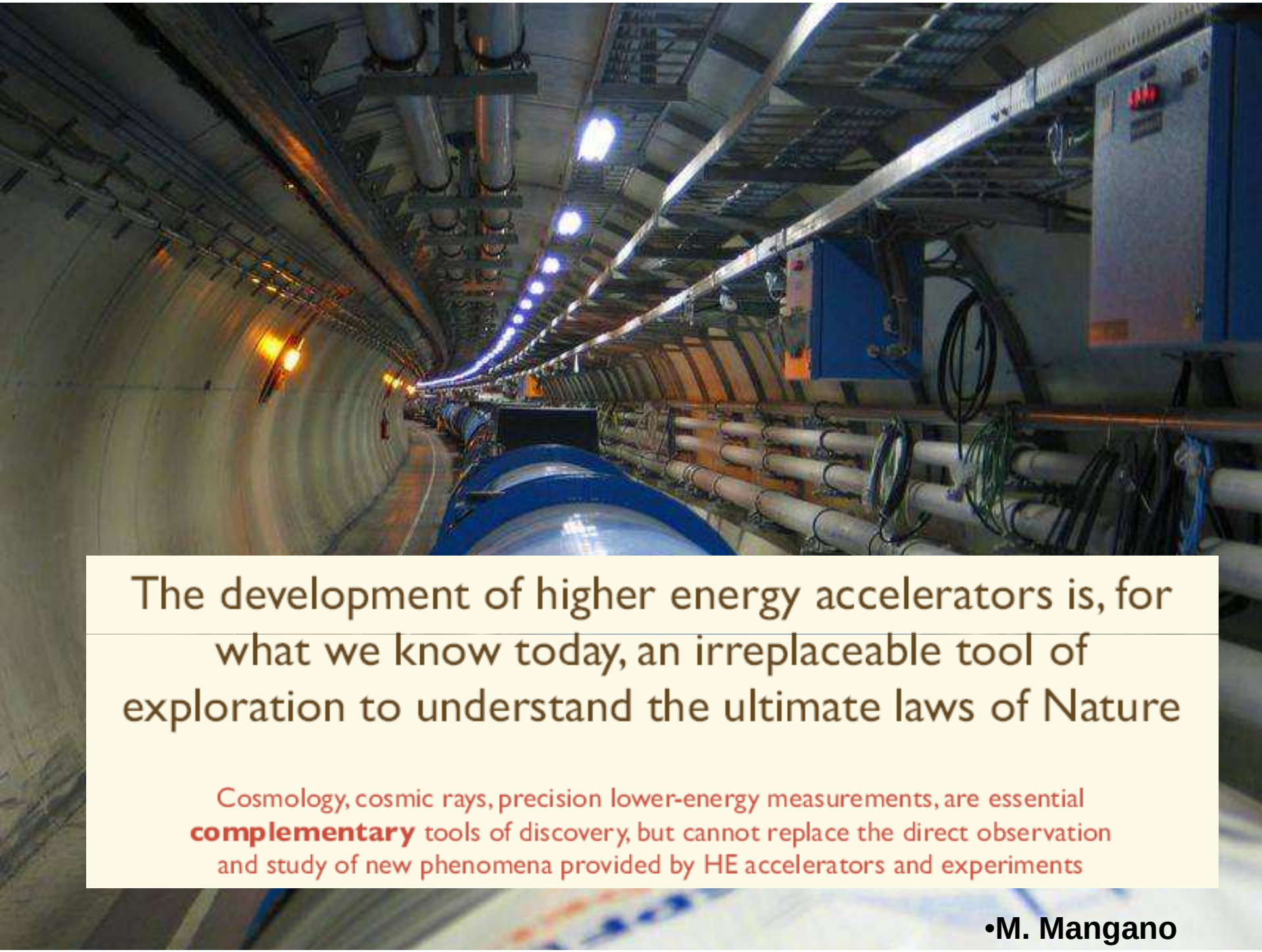
Escluso @ 95% CL:

- Tra 127–600 GeV (CMS)
- 112.9–115.5 GeV, 131–238 GeV and 251–466 GeV (ATLAS)

Eccesso:

@ $m_H \sim 126$ (124) GeV a 3.5 (3.1) σ in ATLAS (CMS)





The development of higher energy accelerators is, for what we know today, an irreplaceable tool of exploration to understand the ultimate laws of Nature

Cosmology, cosmic rays, precision lower-energy measurements, are essential **complementary** tools of discovery, but cannot replace the direct observation and study of new phenomena provided by HE accelerators and experiments

•M. Mangano