

IL BOSONE DI HIGGS E LE PARTICELLE ELEMENTARI



Salone degli Incanti

Trieste, 17/10/2020

VIERI CANDELISE

Ricercatore all'Università degli Studi di Trieste

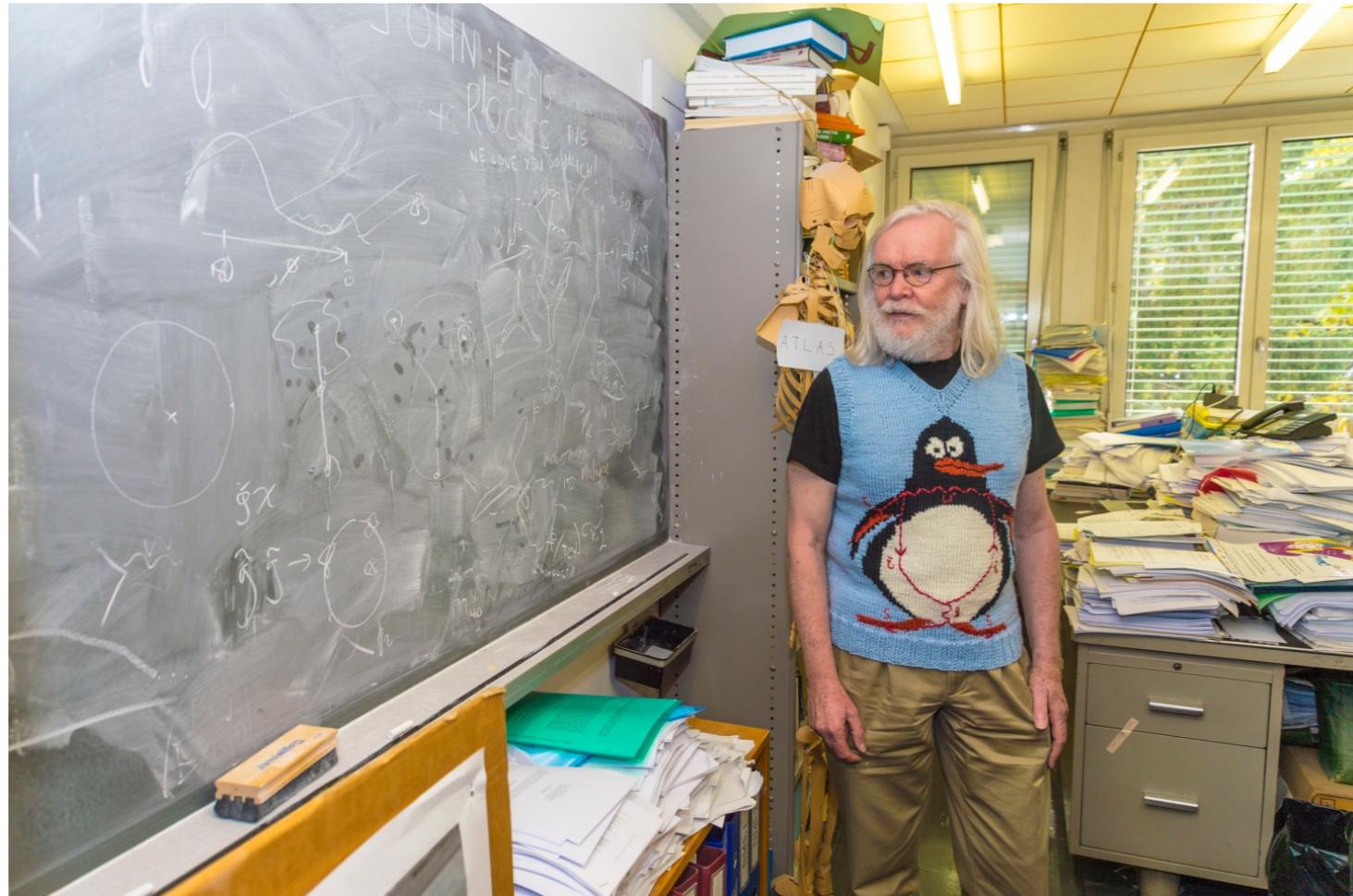


IL MESTIERE DEL FISICO

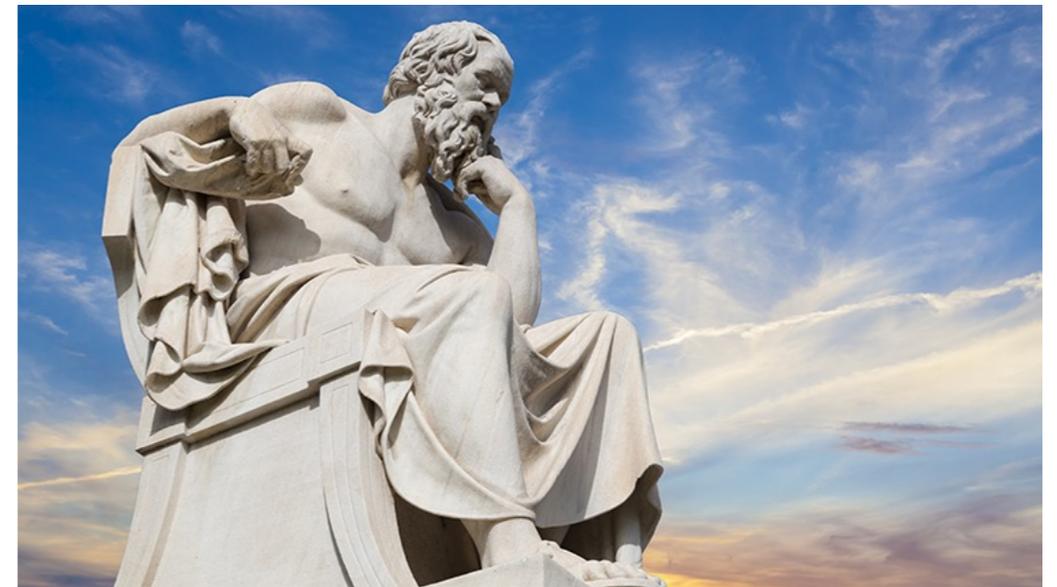


“ma quindi cosa fai esattamente?”

— *cit.* mia madre almeno una volta l'anno negli ultimi dieci anni



tipico fisico delle particelle col suo sobrio gilet raffigurante un diagramma a pinguino



di cosa sono fatte le cose?

o meglio

di cosa è fatto l'Universo?

da dove veniamo? (e quando?)

qual è il destino dell'Universo?

cosa esiste oltre la nostra percezione?

DI COSA SONO FATTE LE COSE?

DI COSA SONO FATTE LE COSE?



DI COSA SONO FATTE LE COSE?



UNA PINTA

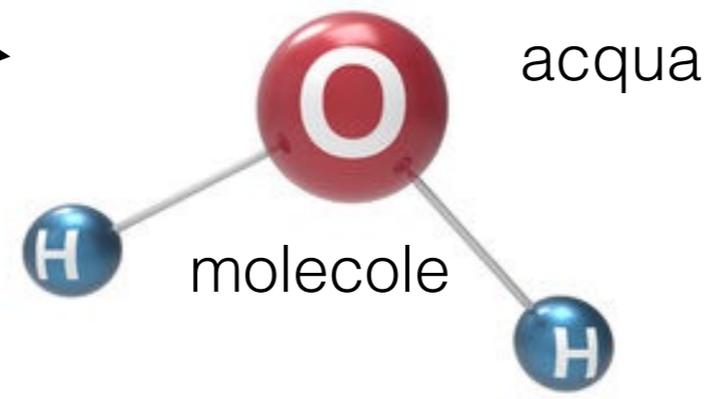
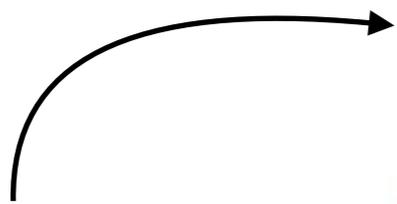
92% acqua

5% alcol

3% carboidrati



DI COSA SONO FATTE LE COSE?



UNA PINTA

92% acqua

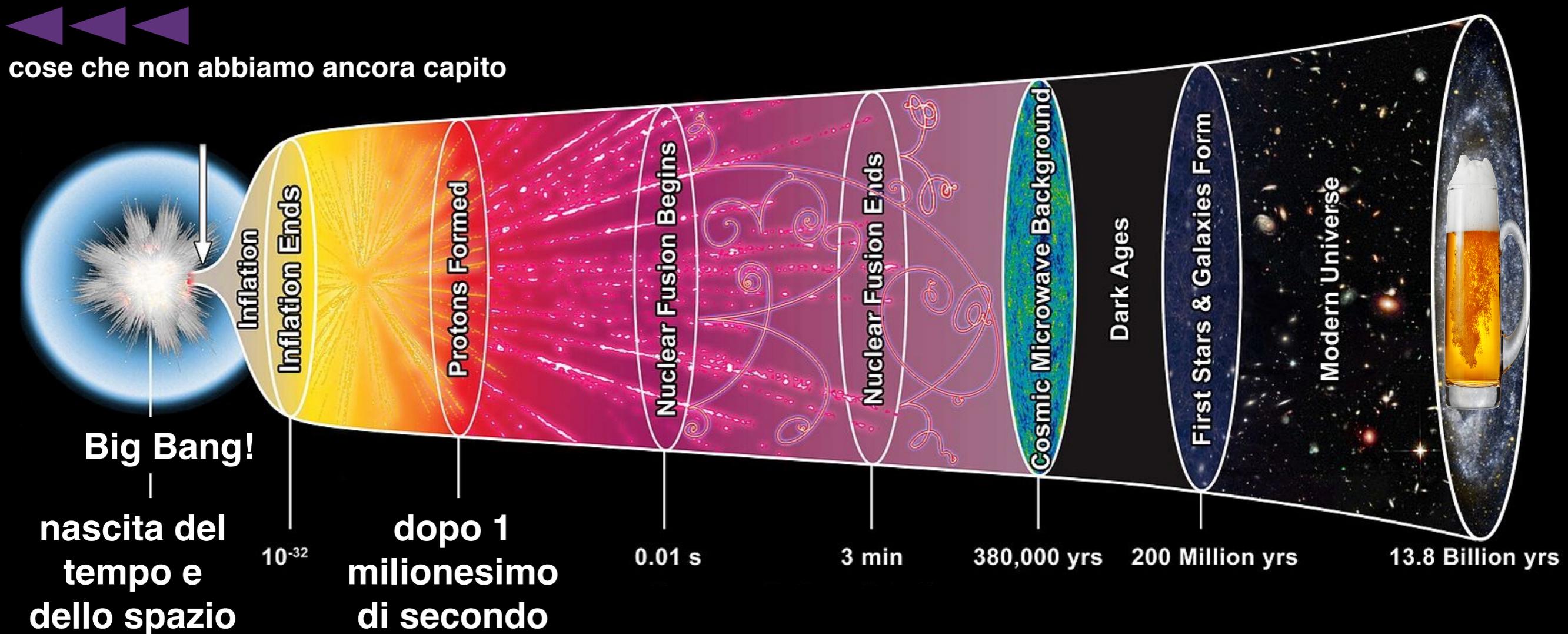
5% alcol

3% carboidrati



DA UNA PINTA AL BIG BANG

BREVE STORIA DELL'UNIVERSO



UNIVERSO MACRO & MICRO

400 miliardi di stelle nella nostra Galassia, la Via Lattea



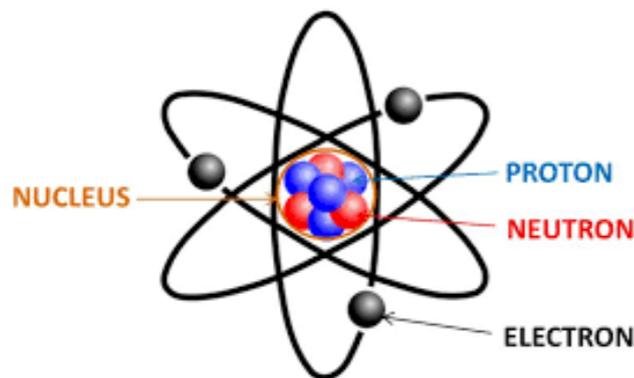
...sono comunque molto meno
del numero di atomi contenuti
in una pinta di birra!



UN MONDO DI PARTICELLE

Quante particelle ci sono?

Nella nostra vita terrestre abbiamo a che fare *quasi* solo con atomi e molecole: quindi elettroni, protoni e neutroni.

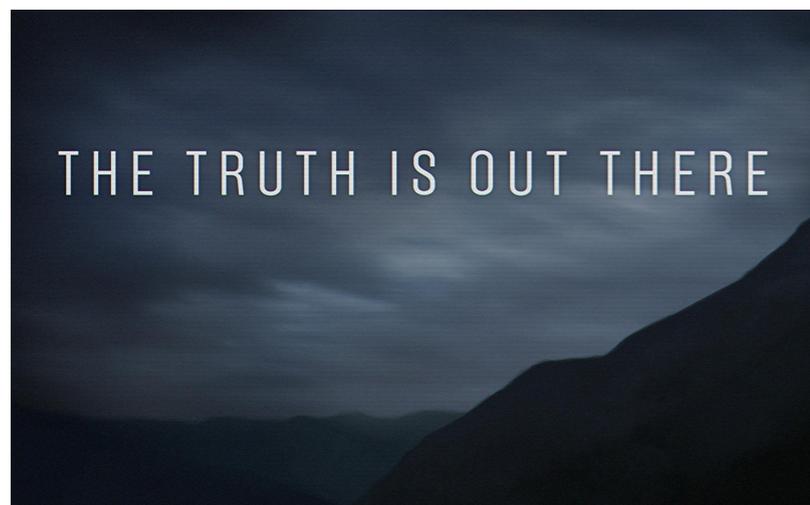


ma è davvero tutto qui?

	1 st	2 nd	3 rd
Quarks	u up	C charm	t top
	d down	S strange	b beauty
Leptons	e electron	μ muon	τ tau
	ν_e neutrino electron	ν_μ neutrino muon	ν_τ neutrino tau

Tre Famiglie
Tre Generazioni

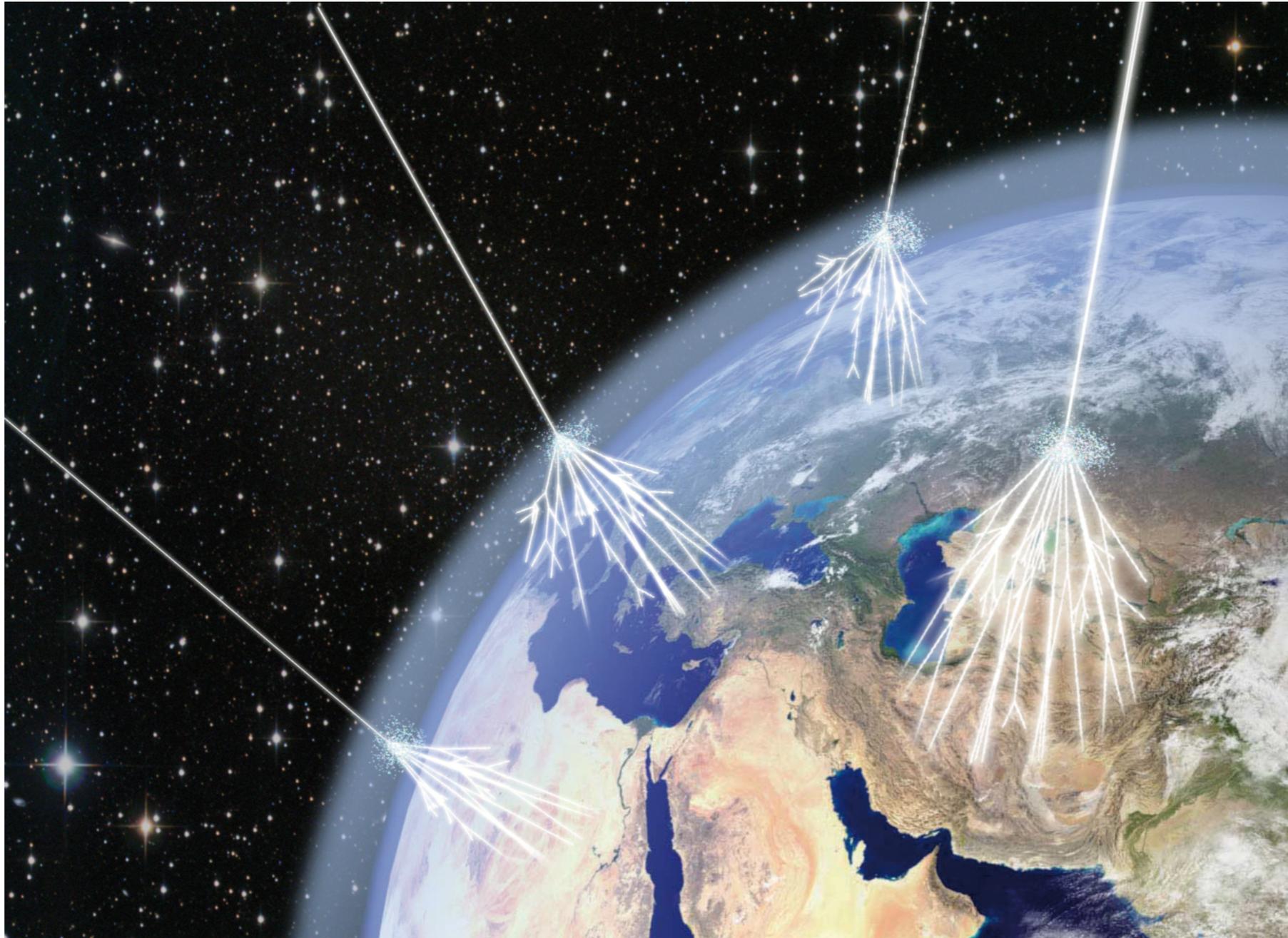
tutte queste particelle
sono state “scoperte”
dagli anni 60 ad oggi!



Là fuori, nell'Universo, è
pieno di particelle!

→ come facciamo a vederle noi terrestri? L'Universo ci viene incontro... →

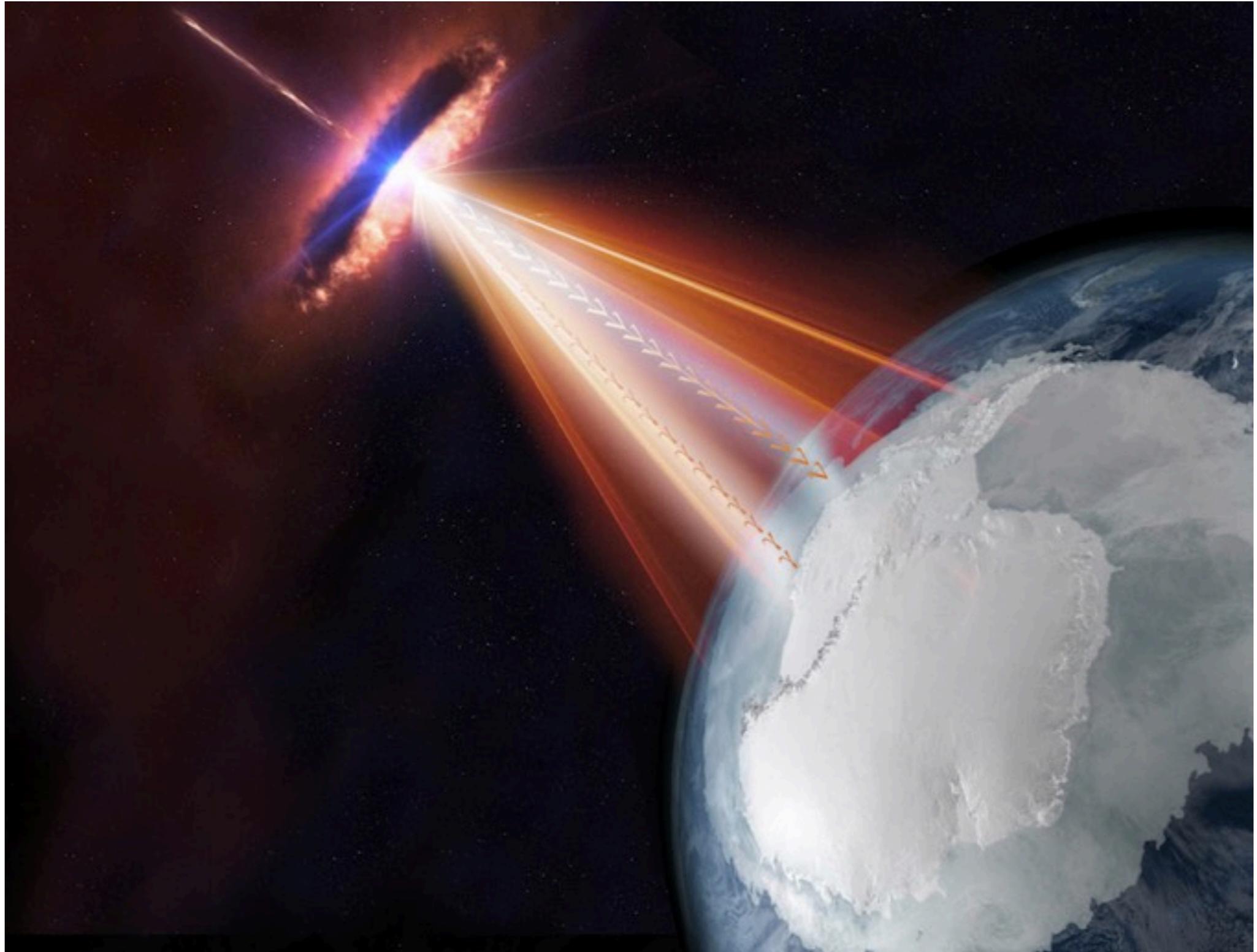
BOMBARDAMENTI COSMICI



a livello del mare, ogni essere umano è attraversato da circa 30 particelle cosmiche, ognuna accompagnata da due altre particelle invisibili che attraversano tutto il pianeta uscendo fuori e tornando nello spazio

BOMBARDAMENTI COSMICI

...da dove vengono??



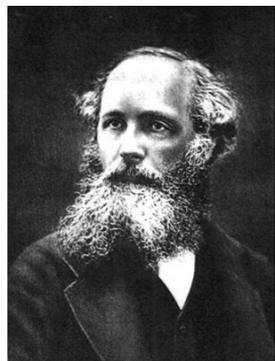
COSA TIENE TUTTO INSIEME: LA FORZA

— o meglio: *Le 4 Forze Fondamentali dell'Universo* **THE FORCE IS STRONG WITH THIS ONE**

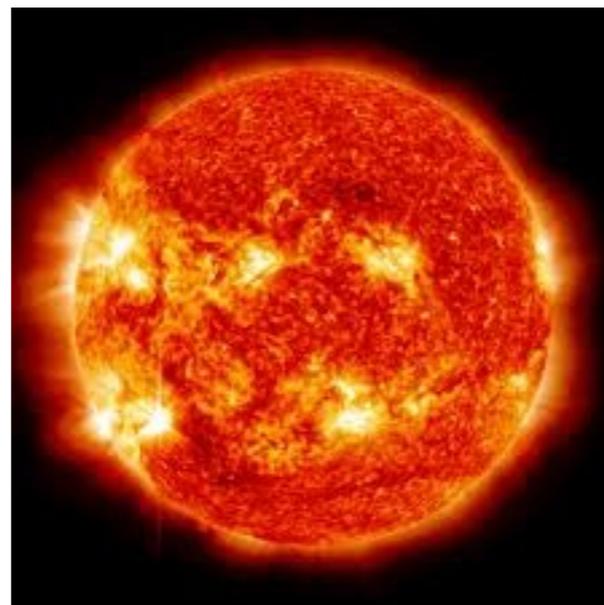
ELETTROMAGNETICA



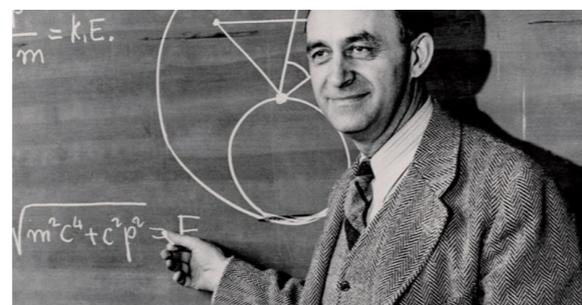
luce, radiazione,
elettromagnetismo



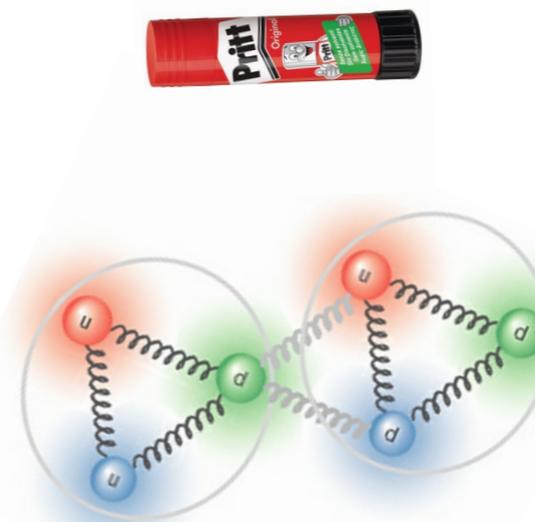
NUCLEARE DEBOLE



decadimenti,
trasformazioni,
radioattività



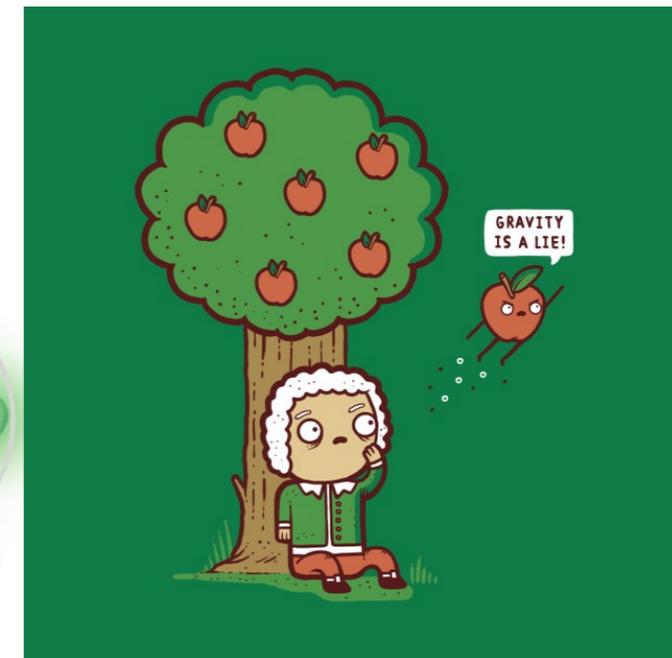
NUCLEARE FORTE



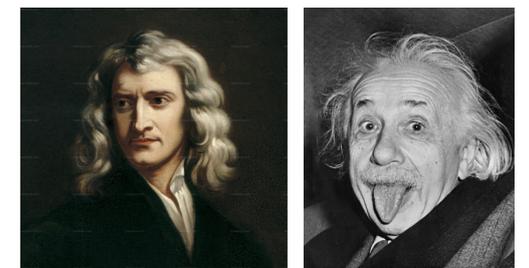
tiene insieme i quark nei
protoni e i neutroni nel
nucleo!



GRAVITÀ



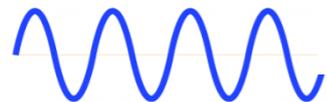
agisce su tutto, ma
soprattutto sui pianeti, le
stelle e i corpi celesti!



COSA TIENE TUTTO INSIEME: LA FORZA

— per ogni forza una particella: I Messaggeri delle Forze Fondamentali: **I BOSONI**

ELETTROMAGNETICA



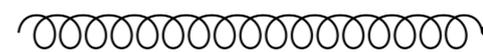
γ

NUCLEARE DEBOLE



W e Z

NUCLEARE FORTE



gluone

GRAVITÀ

Error 404 Not Found

Murder Palace x Darku J

December Twenty Third at Ten P.M. Upstairs at
The Fur Shop, 520 E 3rd St, Tulsa, OK

Get more Info at : <http://bit.ly/2BwUyfS>

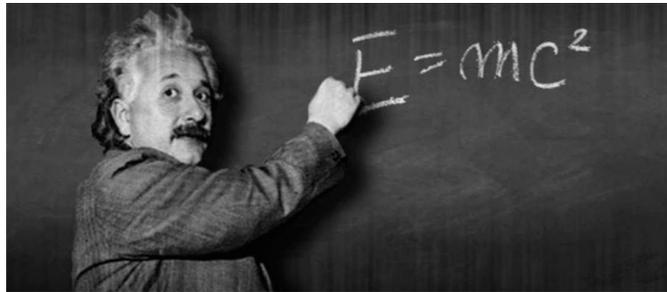
(ops!)

L'interazione dei bosoni con tutte le altre particelle rende possibile l'Universo come lo conosciamo (e quindi la vita!)

... ma come facciamo a sapere tutto questo?

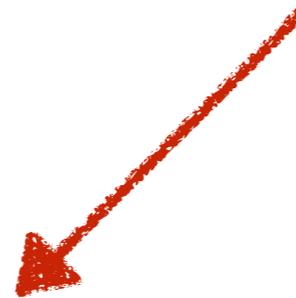
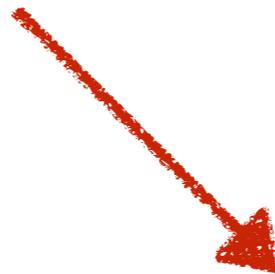
IL MODELLO STANDARD

1905 TEORIA DELLA RELATIVITÀ



1927 MECCANICA QUANTISTICA

$$H(t) |\psi(t)\rangle = i\hbar \frac{d}{dt} |\psi(t)\rangle$$



MODELLO STANDARD

Teoria quantistica relativistica della dinamica di particelle e delle forze fondamentali

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + h.c. \\ & + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + h.c. \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \end{aligned}$$

← elettromagnetismo

← quark e leptoni

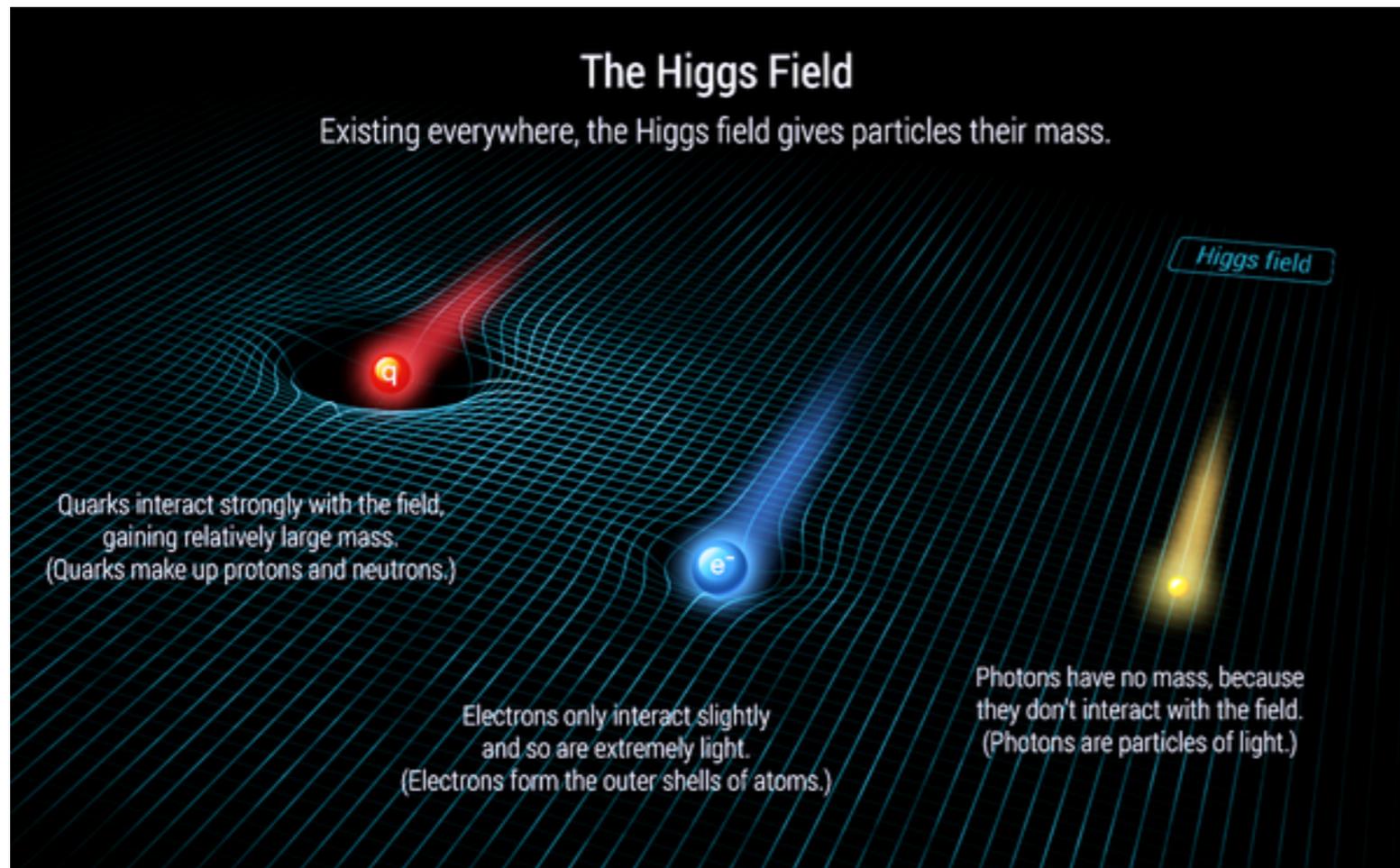
← interazioni forti

← il pezzo mancante....



IL BOSONE DI HIGGS

Problema: il Modello Standard prevede un mondo fatto di
particelle senza massa!
invece noi osserviamo massa in tutte le cose...

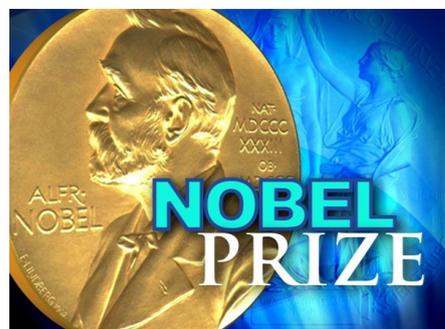


Soluzione: l'Universo è permeato da un "campo" e tutto si muove attraverso esso **divenendo massivo.**

campo = forza = particella



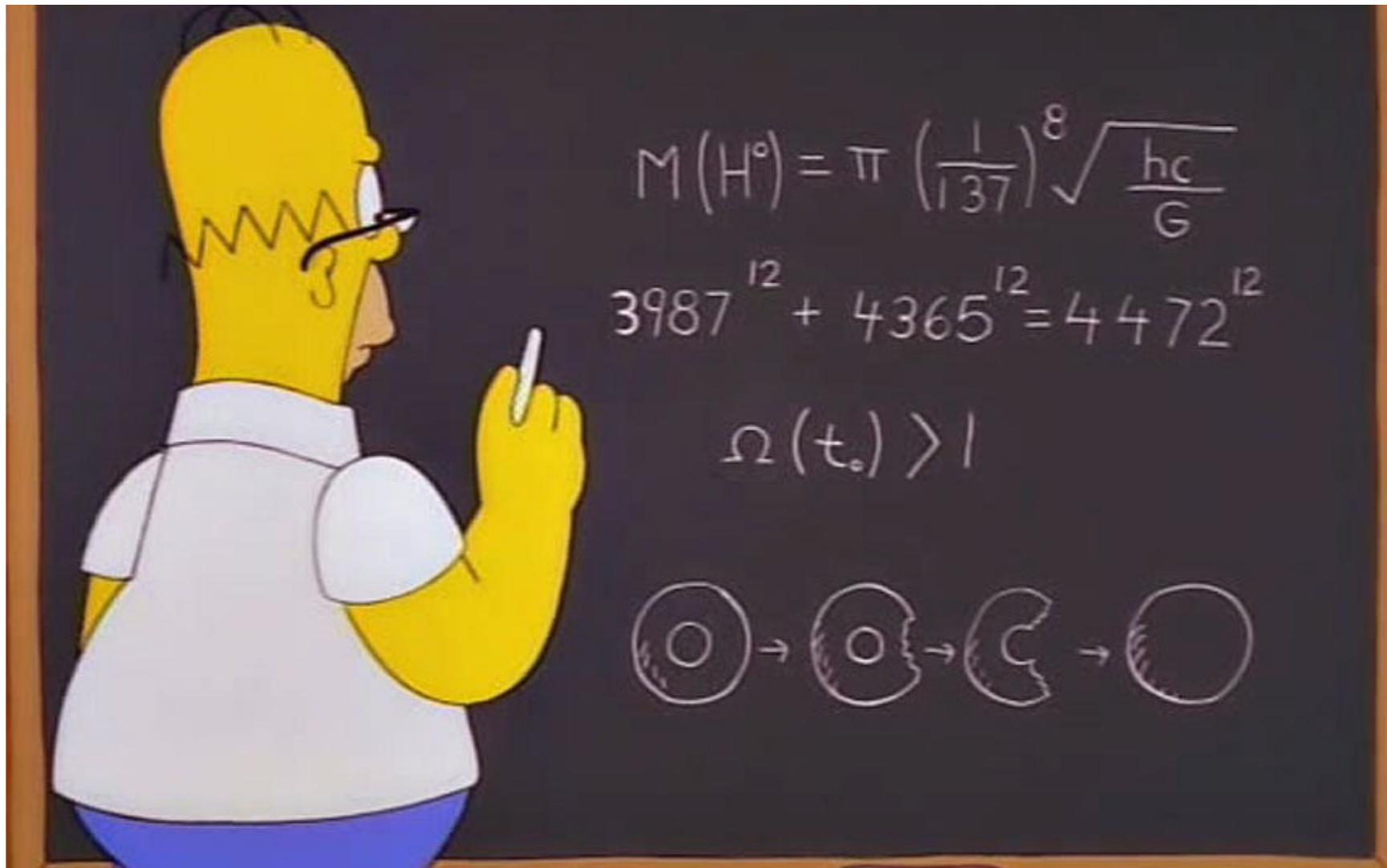
il bosone di Higgs!



teorizzato negli anni 60 da Peter Higgs, fu scoperto solo nel 2012 al CERN dagli esperimenti ATLAS e CMS!

IL BOSONE DI HIGGS

La caccia al bosone di Higgs è stata una delle maggiori sfide tecnologiche del secolo, durata oltre 20 anni... ha spinto la tecnologia a limiti inimmaginabili

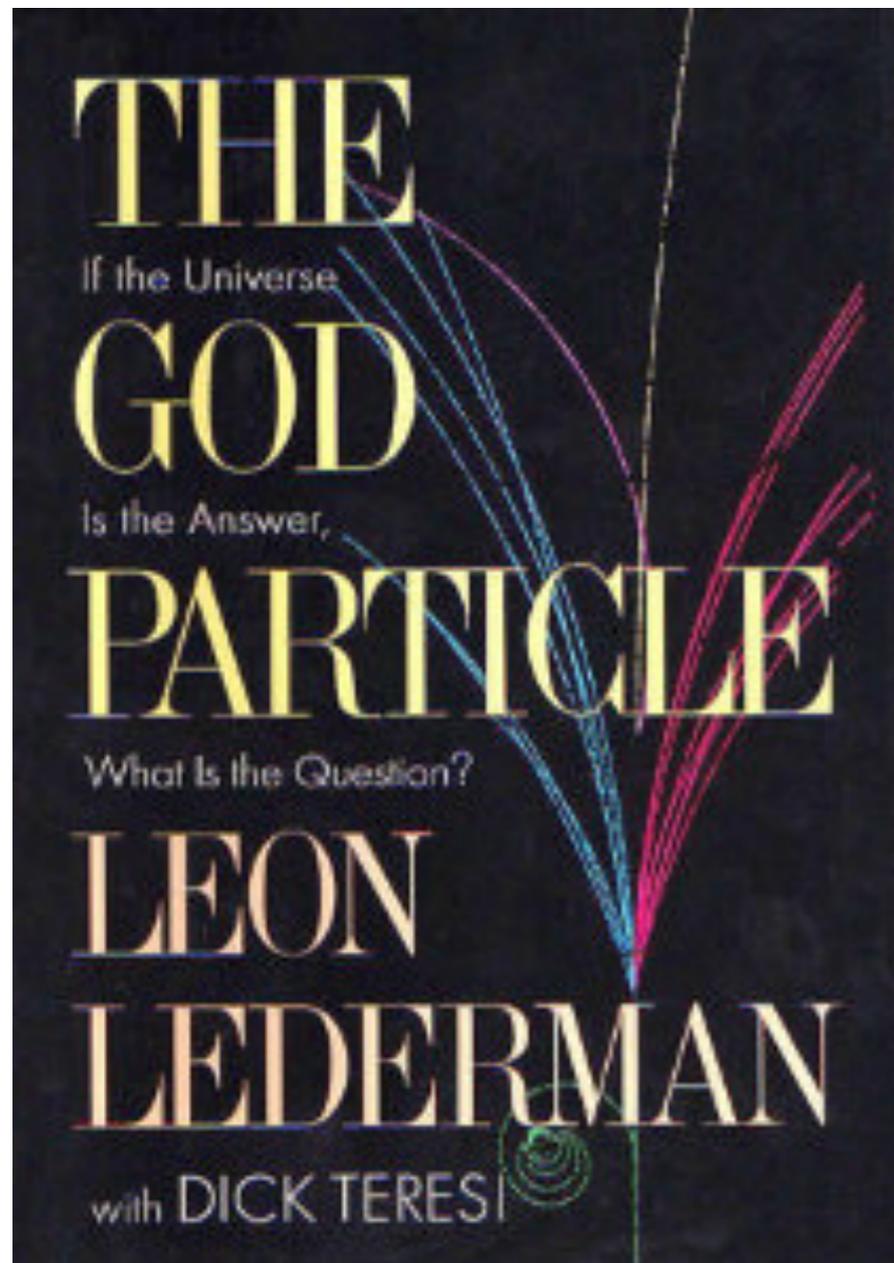


(Homer predice la massa del bosone di Higgs in un episodio dei Simpsons del 1998 con 14 anni di anticipo)

<https://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/11444055/Homer-Simpson-discovered-the-Higgs-boson.html>

IL BOSONE DI HIGGS E DIO

La “Particella di Dio”? No!!



Nel 1993 il premio Nobel Leon Lederman pubblica il libro divulgativo “La particella di Dio”. Tuttavia...

L'editore non ci ha permesso di chiamarla "particella maledetta" (goddamn particle), anche se questo potrebbe essere un titolo più appropriato, data la sua natura perfida e i costi che sta causando

In italia Mondadori traduce ulteriormente male il titolo, trasformando “La particella-Dio” in “La particella *di* Dio”

L'ACCELERATORE PIÙ POTENTE DELLA TERRA AL CERN DI GINEVRA



Ok, le particelle, il Modello Standard, il bosone di Higgs...
ma come faccio a “vedere” queste cose microscopiche?

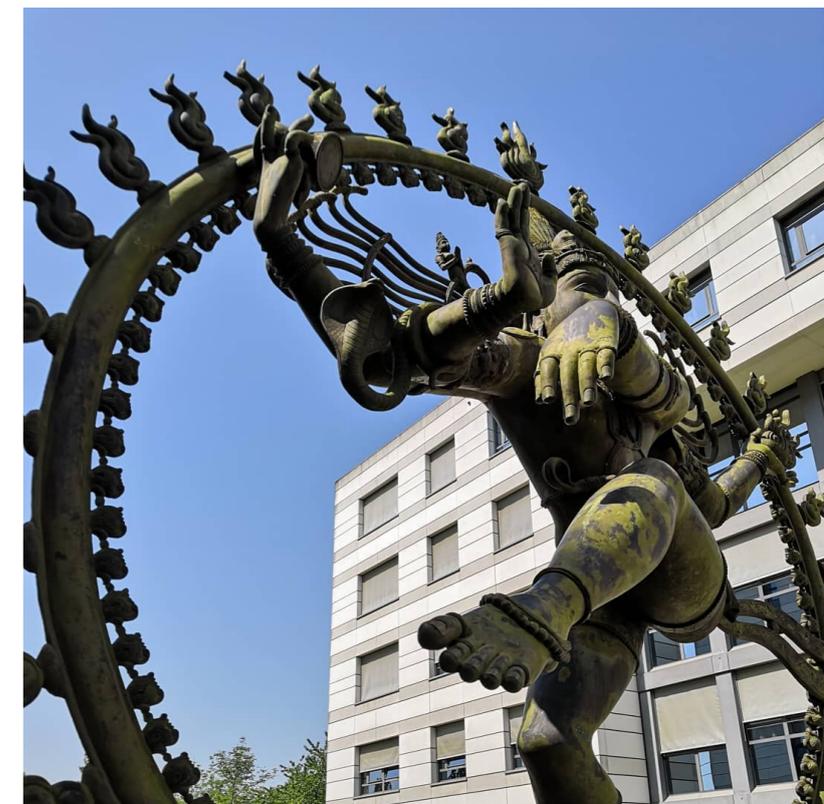


Risposta: venite al **CERN**, a Ginevra! (*)
Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

Fondato nel 1954 con l'idea di creare un
laboratorio di pace e unione tra popoli

20 stati membri, 133 nazionalità coinvolte
608 istituti/università (tra cui Trieste!)

Il CERN non è solo Fisica: dall'informatica
alla tecnologia, alla fisica medica e all'ingegneria,
centinaia di fisici, ingegneri, chimici e tecnici
da tutto il mondo lavorano insieme

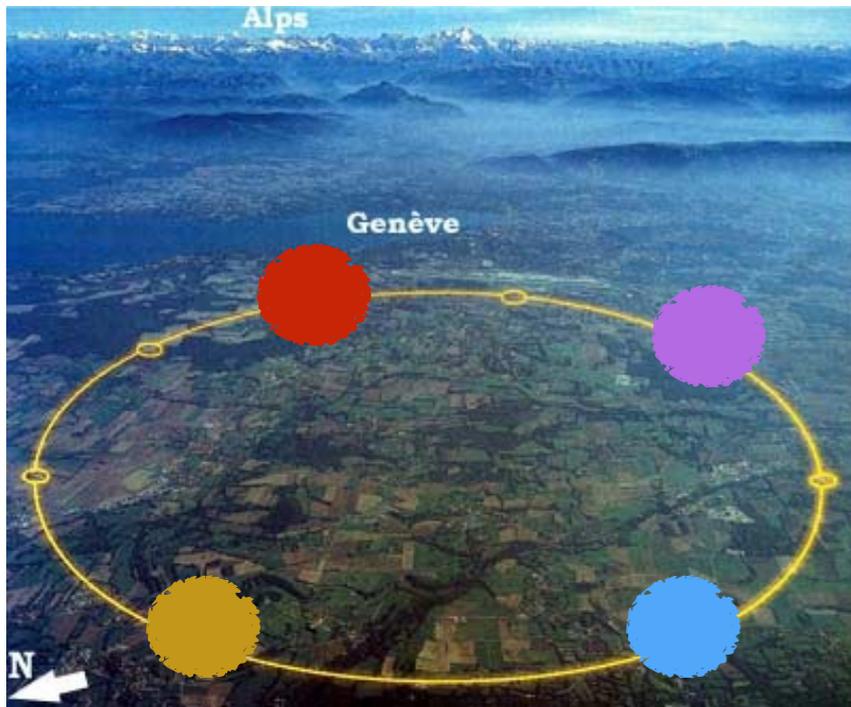


(*) davvero! <https://visit.cern/tours/guided-tours-individuals>

L'ACCELERATORE PIÙ POTENTE DELLA TERRA

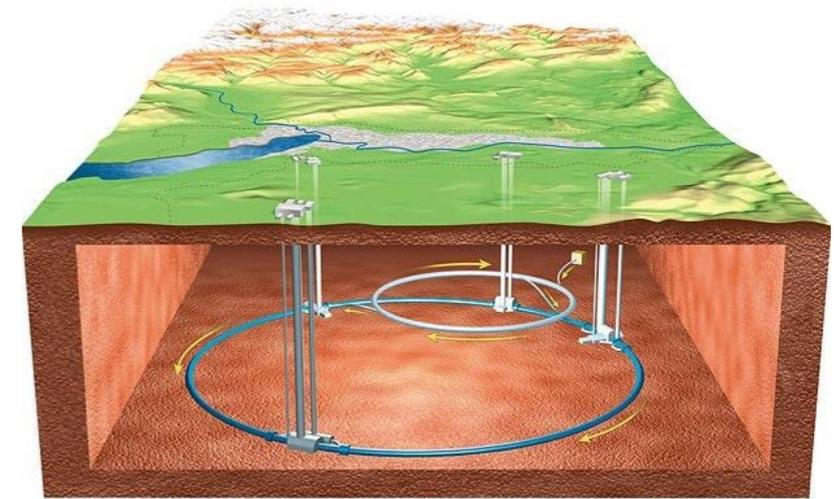
L'ACCELERATORE DOV'È?

visto dall'alto...



...175 metri sotto terra!

un anello sotterraneo di 30 Km
al confine tra Francia e Svizzera



I fisici accelerano dentro questo
anello due "fasci" di protoni usando magneti super
conduttori

I protoni si scontrano in corrispondenza
dei **4 grandi esperimenti**

visto dal "basso"

Energia più
grande
mai creata sulla
terra: 13 Tera
elettronVolt
(TeV)

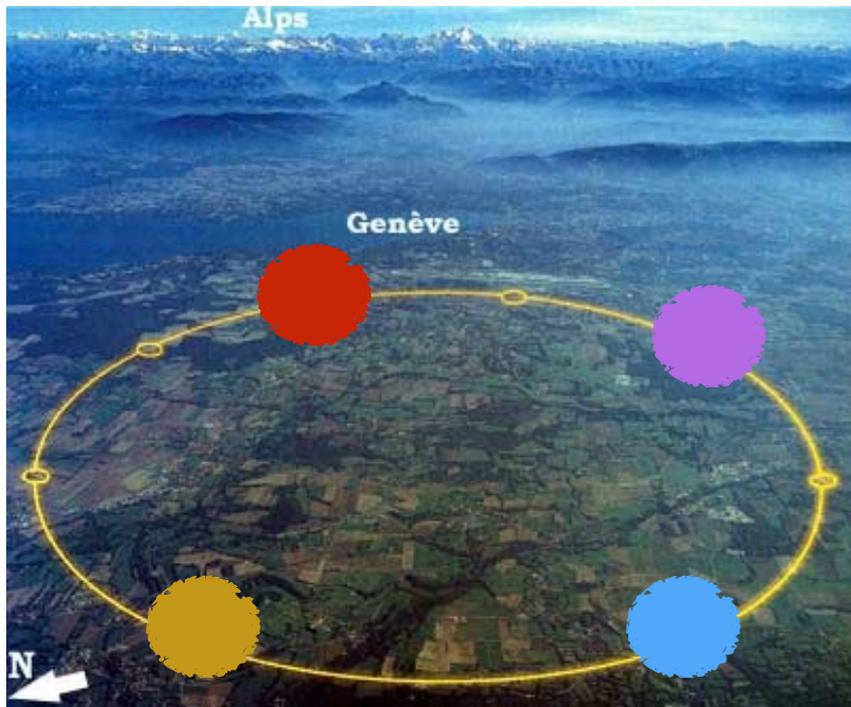
$$E = mc^2$$



L'ACCELERATORE PIÙ POTENTE DELLA TERRA

L'ACCELERATORE DOV'È?

visto dall'alto...

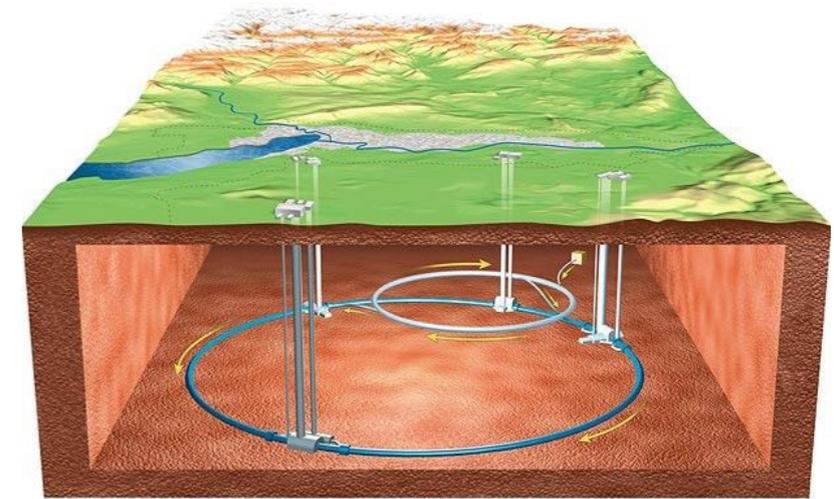


...175 metri sotto terra!

un anello sotterraneo di 30 Km
al confine tra Francia e Svizzera

I fisici accelerano dentro questo
anello due "fasci" di protoni usando magneti super conduttori

I protoni si scontrano in corrispondenza
dei **4 grandi esperimenti**



100.000 milioni di protoni

"impacchettati" in 64 μm

(64 milionesimi di metro,
pari allo spessore di un
capello umano!)

I pacchetti di protoni **si incrociano ogni 25 ns**
(1 miliardesimo di secondo)

...ci troviamo con **600 milioni di collisioni al secondo!**

**come far scontrare l'intera popolazione degli USA
concentrata dentro un capello ogni secondo!**

L'ACCELERATORE PIÙ POTENTE DELLA TERRA

I TITANI SOTTERRANEI

Enormi “macchine fotografiche” catturano il risultato delle collisioni di LHC, e misurano le migliaia di particelle prodotte nella collisione

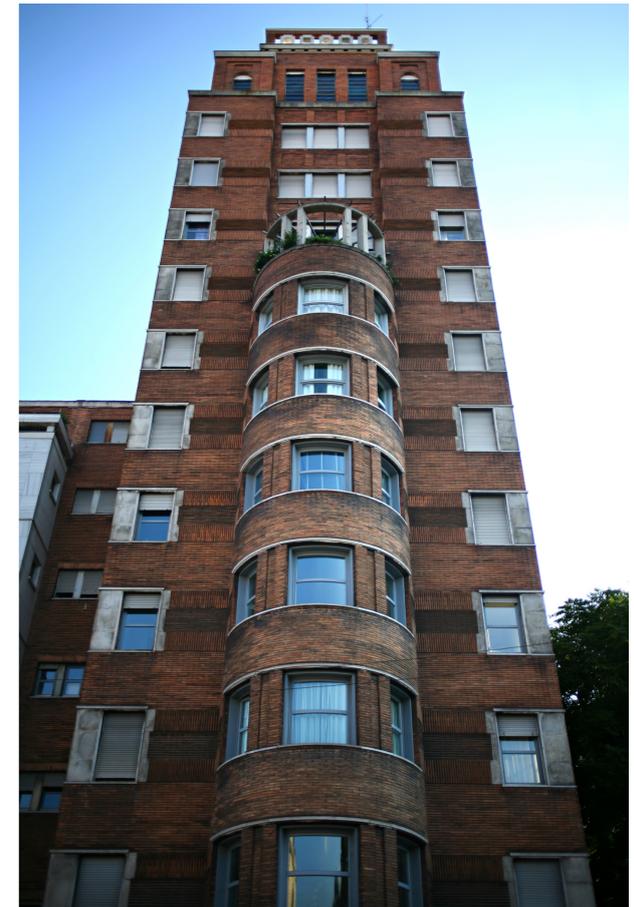
Esperimento CMS



Alto **22 metri**, largo **15 metri**

Pesa **14 mila tonnellate**

3800 persone coinvolte



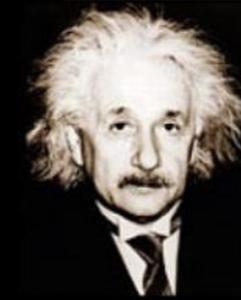
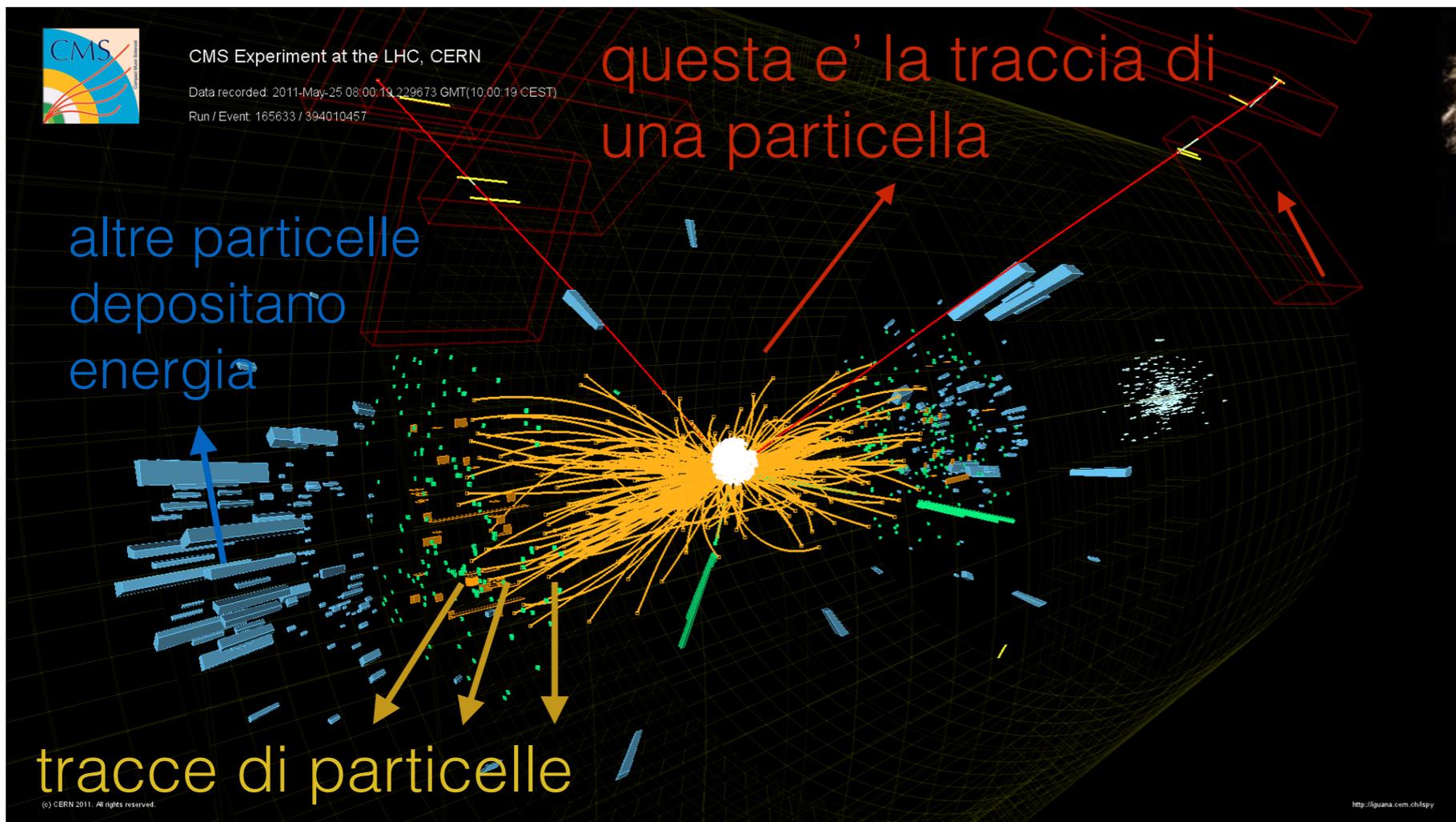
Compact Muon Solenoid

Diversi sotto strati “a cipolla” di materiali diversi permettono di misurare le particelle prodotte
L'esperimento CMS prenderà dati (ovvero le collisioni di LHC) fino al 2024!

L'ACCELERATORE PIÙ POTENTE DELLA TERRA

GLI ESPERIMENTI

Enormi “macchine fotografiche” catturano il risultato delle collisioni di LHC, e misurano le migliaia di particelle prodotte nella collisione



GOD DOESN'T PLAY DICE.
- ALBERT EINSTEIN

È proprio come giocare a dadi invece! l'esito delle collisioni è casuale, e fenomeni rari (nuove particelle?) sono *statisticamente* rari!

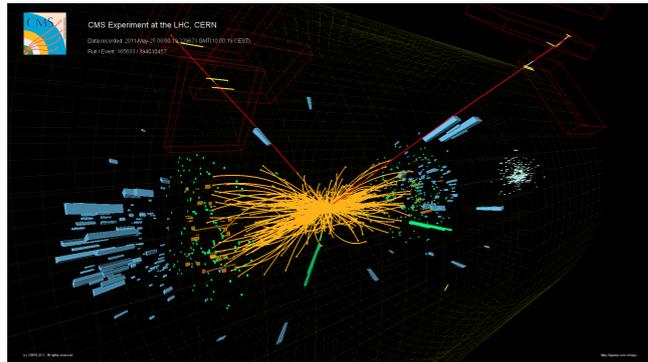
“Non è impossibile, solo estremamente improbabile”
— La Guida Galattica per Autostoppisti

Centinaia di migliaia di “fotografie” vengono scattate ogni secondo... non sappiamo mai cosa ci farà vedere la Natura: siamo alla ricerca di fenomeni nuovi mai visti (quindi **molto improbabili!!**)

è un pò come giocare compulsivamente al gratta e vinci...

UN COMPUTER GRANDE QUANTO LA TERRA

“A GRANDI ACCELERATORI CORRISPONDONO GRANDI COMPUTER”

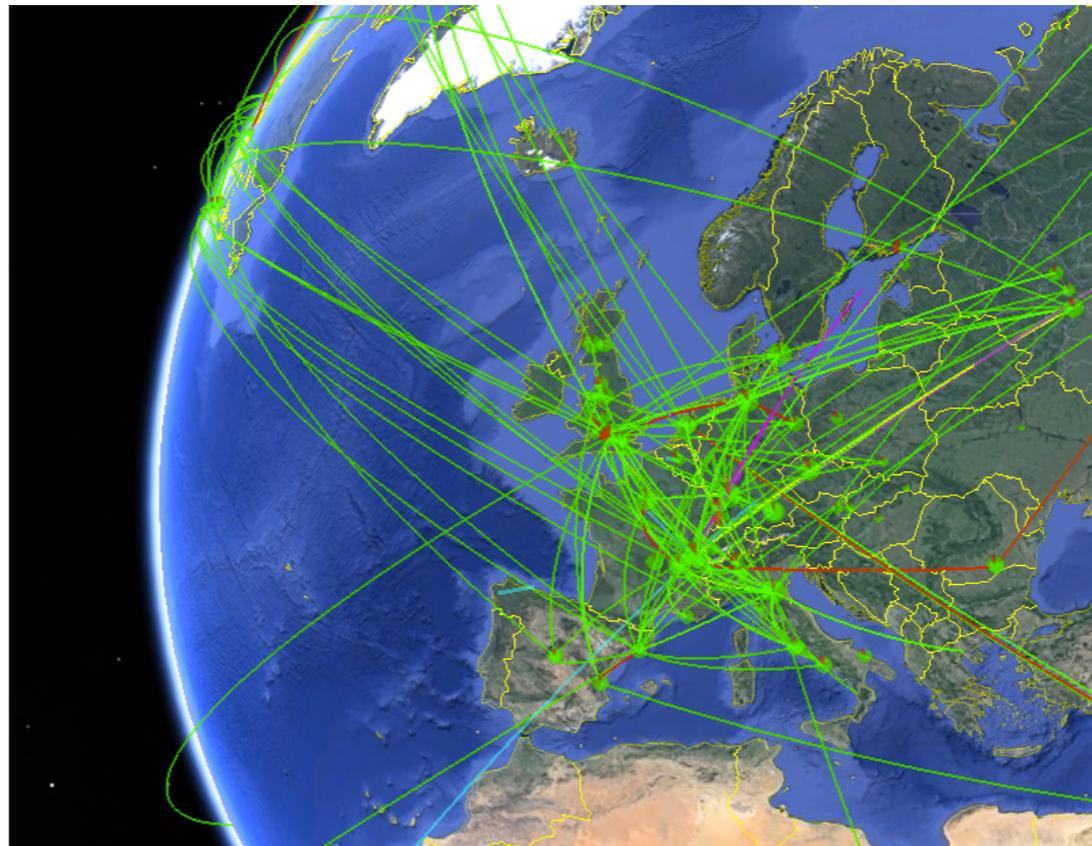
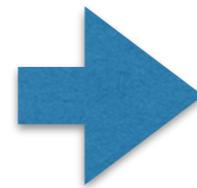


DATI

One year's data from LHC would fill a stack of CDs 20km high

Concorde (15 Km)

Mt. Blanc (4.8 Km)



PROCESSATI



ANALIZZATI



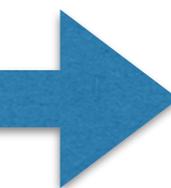
(tipico dottorando che lavora di notte)

LA GRID

Grid è una rete planetaria che utilizza contemporaneamente la potenza di calcolo e la memoria di decine di migliaia di differenti computer sparsi nel mondo



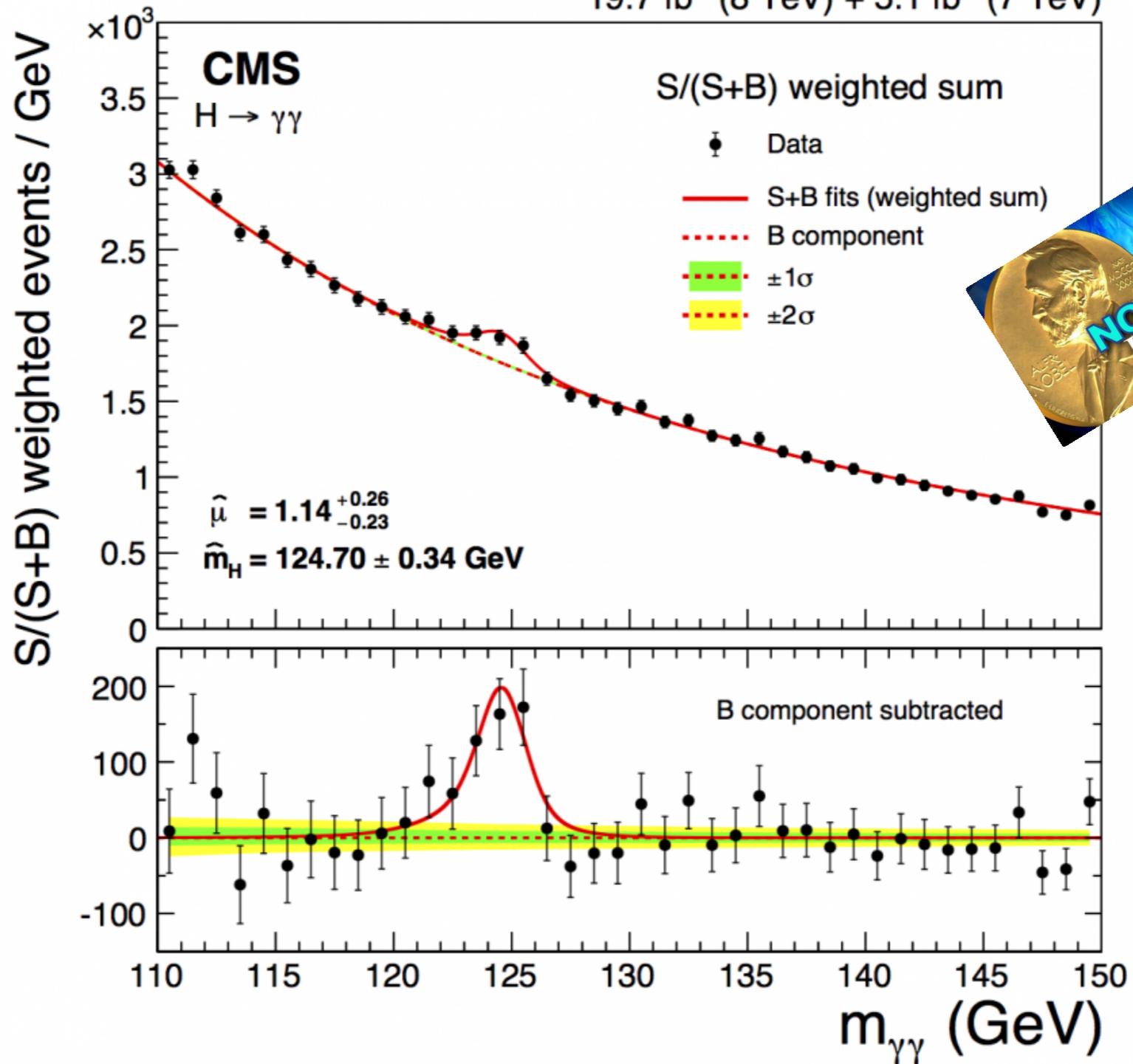
**A VOLTE
L'ANALISI
RICHIEDE ANNI...**



LA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS

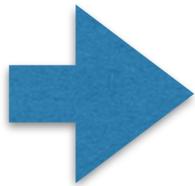
2012

19.7 fb⁻¹ (8 TeV) + 5.1 fb⁻¹ (7 TeV)



YEE!

....



LA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS

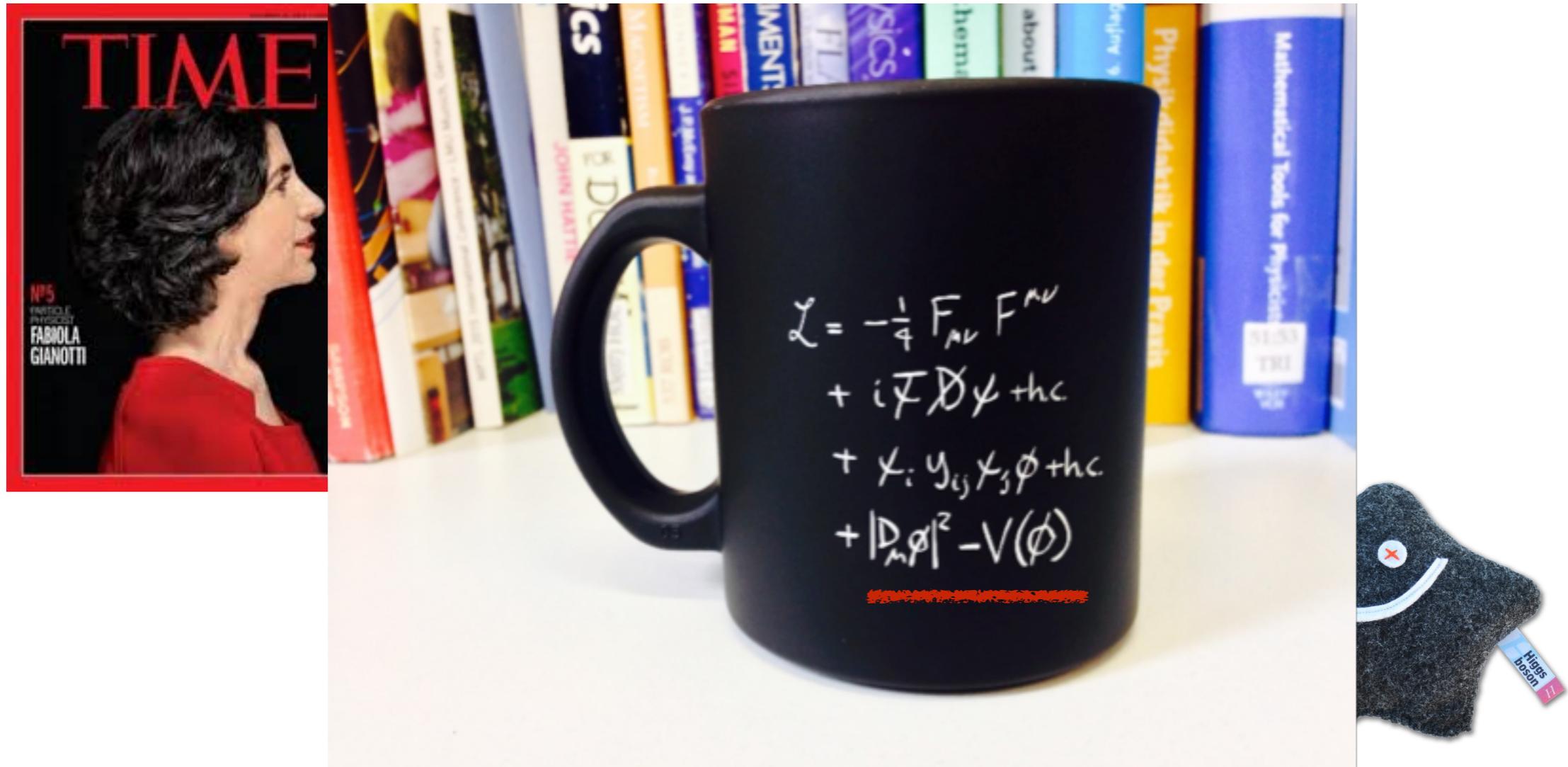
2012



Fabiola Gianotti (attuale Direttore del CERN) e Peter Higgs
nel 2012 durante l'annuncio della scoperta ad opera di ATLAS e CMS

LA SCOPERTA DEL BOSONE DI HIGGS

L'ANELLO MANCANTE È STATO TROVATO!



... ED ORA?

LA GRAVITÀ (DELLA SITUAZIONE)

la gravità non si riesce ad inserire nel modello standard!

GRAVITONI?

**DIMENSIONI
AGGIUNTIVE?**



QUANTUM GRAVITY?

**GRAVITÀ
MODIFICATA?**

manca una teoria che descriva la gravità a livello microscopico

BLACKOUT COSMICO

LA MATERIA OSCURA

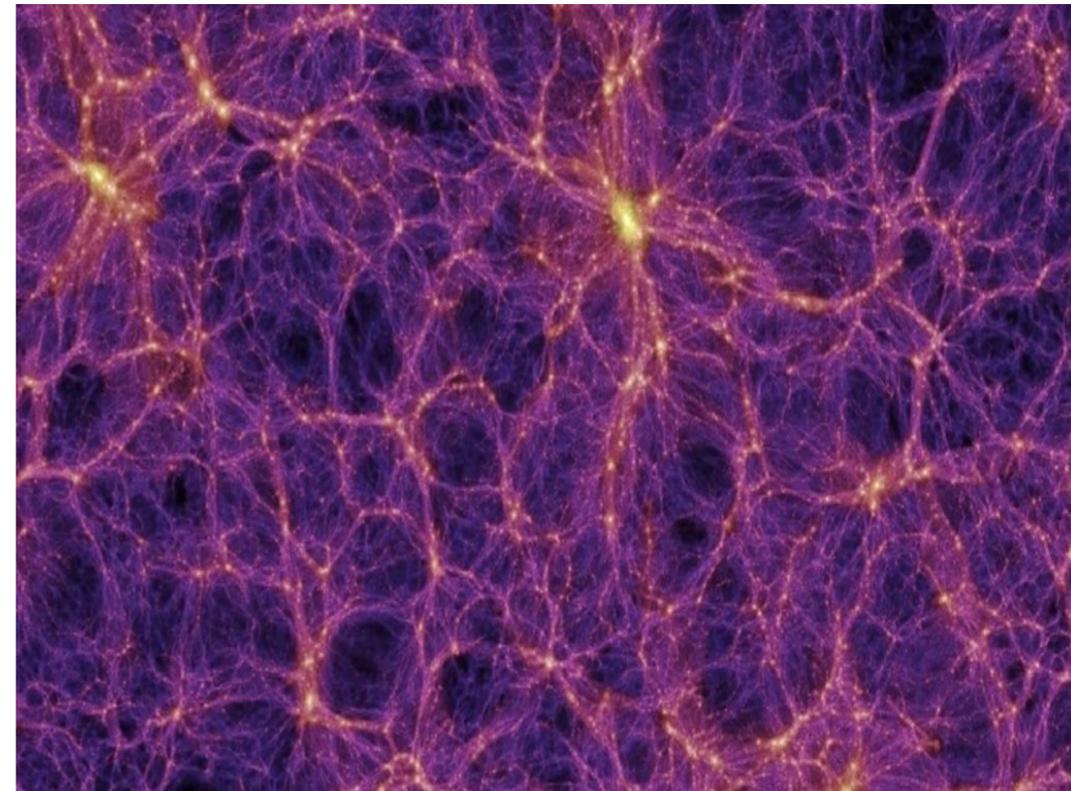
The Universe
is Made of...

74% DARK
ENERGY

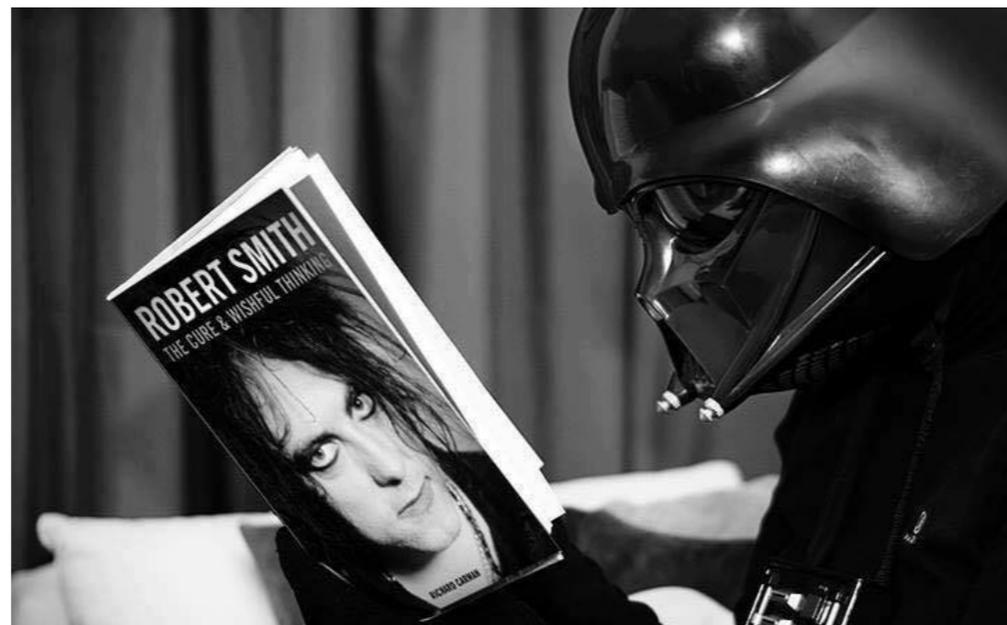
4% NORMAL
MATTER

21% DARK
MATTER

ENERGY.GOV



Il nostro universo è dominato (90%!) da un tipo di materia di cui non **sappiamo niente**, invisibile e che non abbiamo mai “scoperto” direttamente!



Tanti modelli per spiegare la natura della materia oscura, e tanti esperimenti nel mondo dedicati, ma al momento siamo persi nel buio!

IL MONDO PERDUTO

L'ASIMMETRIA MATERIA/ANTIMATERIA



Dopo il Big Bang la materia e l'antimateria convivevano felicemente in un mondo di serena uguaglianza e rispetto... a un certo punto l'antimateria si è "estinta" lasciandoci in un mondo fatto prevalentemente di materia!

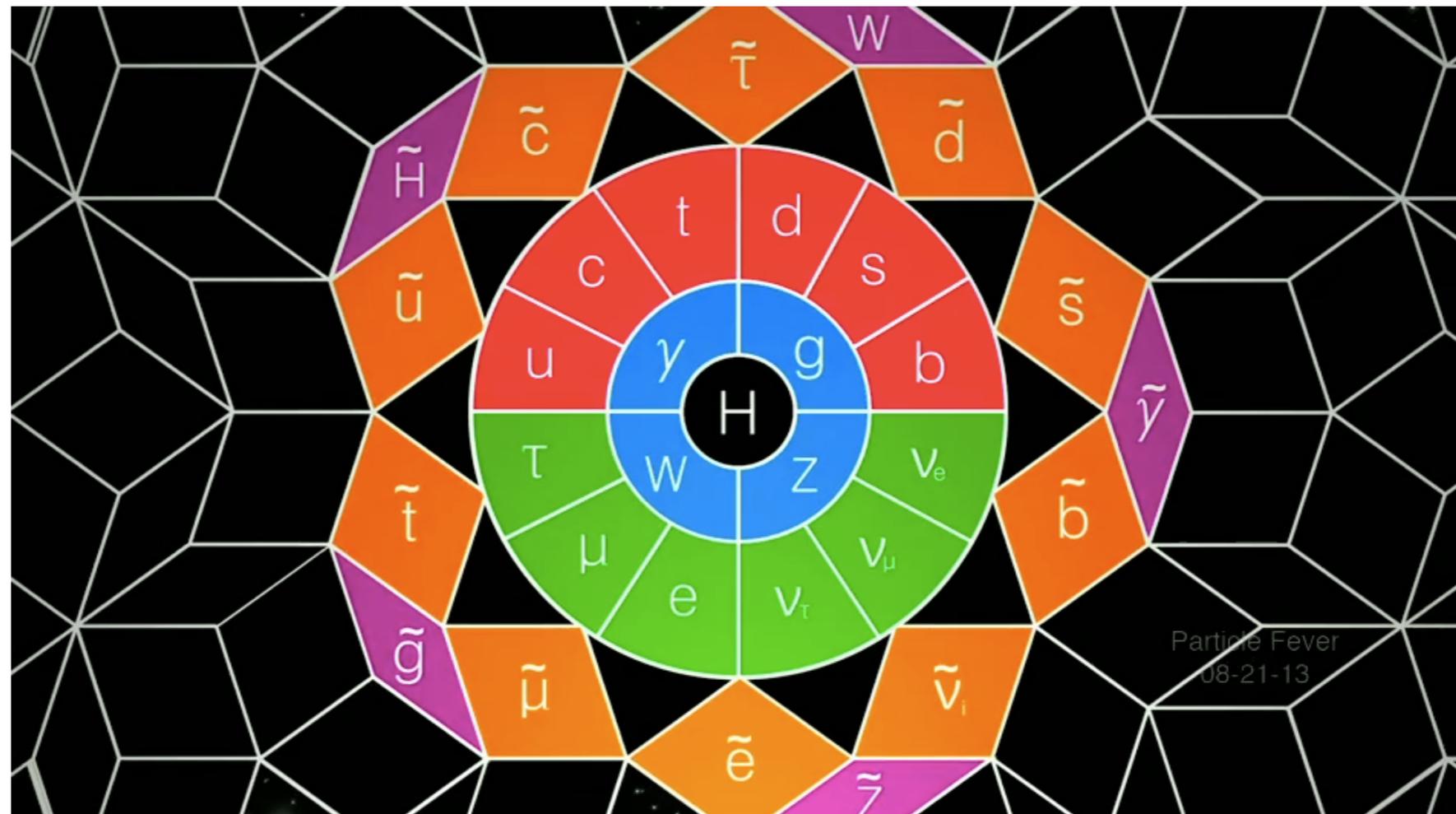
IL BOSONE DI HIGGS...

...ANCORA??

$$M = m + \Delta m$$

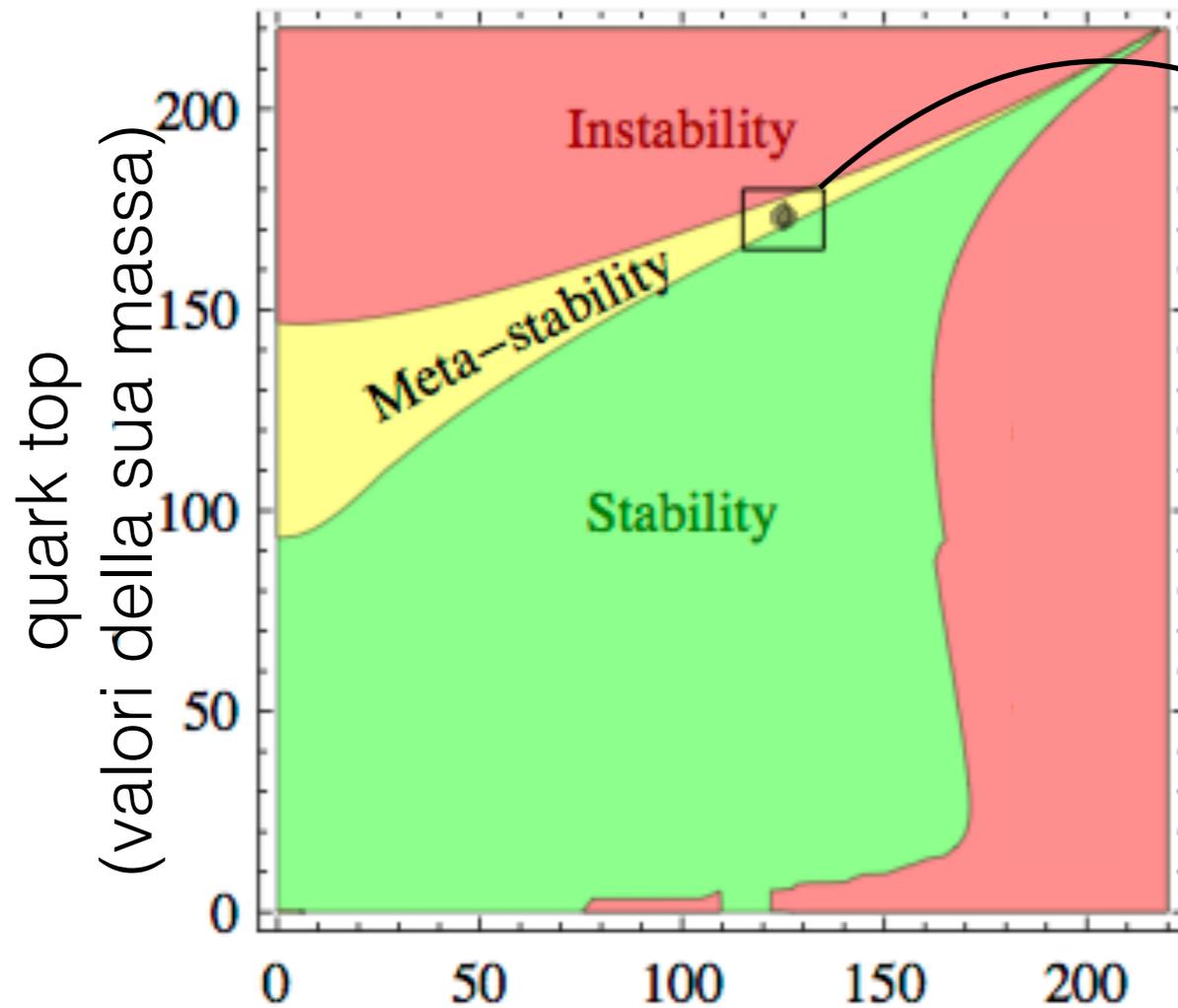


“SUPERSIMMETRIA”

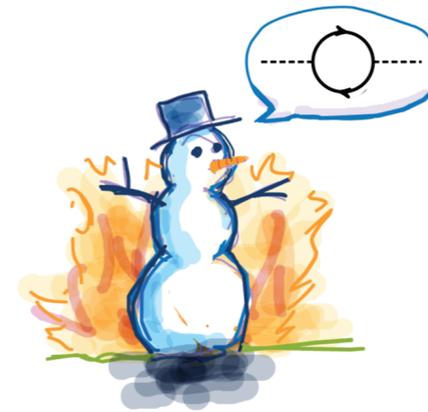


Nella teoria la massa del bosone di Higgs riceve “correzioni quantistiche” che farebbero esplodere il suo valore... qualcosa deve cancellarle!!

IL DESTINO DELL'UNIVERSO E IL BOSONE DI HIGGS



questo punto siamo noi



una "fiammata quantistica" potrebbe modificare la massa dell'Higgs spostare questo punto...

bosone di Higgs
(valori della sua massa)



where do we go now?

**ED ORA LO SPAZIO DEDICATO AD UNA FIGURA IMPORTANTE
DELLA NOSTRA SOCIETÀ**



**L'ODIOSO COMPIOTTISTA
E LE SUE SCOMODE DOMANDE**

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

quanto e' costato al cittadino indignato?

= 700 milioni in 10 anni di costruzione / 60 milioni di italiani ~1 euro **all'anno**

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

quanto e' costato al cittadino indignato?

= 700 milioni in 10 anni di costruzione / 60 milioni di italiani ~1 euro **all'anno**

costo di LHC = costo di **3 bombardieri B-2**

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

quanto e' costato al cittadino indignato?

= 700 milioni in 10 anni di costruzione / 60 milioni di italiani ~1 euro **all'anno**

costo di LHC = costo di 3 bombardieri B-2

costo di LHC = costo di 1 anno di serie A

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

quanto e' costato al cittadino indignato?

= 700 milioni in 10 anni di costruzione / 60 milioni di italiani ~1 euro **all'anno**

costo di LHC = costo di **3 bombardieri B-2**

costo di LHC = costo di **1 anno di serie A**

costo di LHC = 1 miliardo meno di **un anno di auto blu**

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

quanto e' costato al cittadino indignato?

= 700 milioni in 10 anni di costruzione / 60 milioni di italiani ~1 euro **all'anno**

costo di LHC = costo di **3 bombardieri B-2**

costo di LHC = costo di **1 anno di serie A**

costo di LHC = 1 miliardo meno di **un anno di auto blu**

costo F-35 in Italia: 18,3 miliardi di dollari (pari a **6 LHC**)

RICERCA FONDAMENTALE E COSTI

SI MA TUTTA QUESTA FANTASCIENZA INUTILE QUANTO CI COSTA??

LHC da solo: 3 miliardi di franchi svizzeri (1CHF~1EUR)

totale = 6 miliardi

costo totale dei 4 esperimenti: 3 miliardi di franchi svizzeri



chi paga tutto questo?

ogni stato membro paga una quota
proporzionale al suo PIL

L'Italia paga l'11%

(ovvero ~700 milioni di Euro, 70 per anno)

quanto e' costato al cittadino indignato?

= 700 milioni in 10 anni di costruzione / 60 milioni di italiani ~1 euro **all'anno**

costo di LHC = costo di **3 bombardieri B-2**

costo di LHC = costo di **1 anno di serie A**

costo di LHC = 1 miliardo meno di **un anno di auto blu**

costo F-35 in Italia: 18,3 miliardi di dollari (pari a **6 LHC**)

costo ponte sullo stretto di Messina: 18 miliardi (pari a **6 LHC**)

Physics is not
religion. If it were
we'd have a much
easier time raising
money. Leon
Lederman

#SuyQuotable

RICERCA FONDAMENTALE E PRIORITÀ SOCIALI

OK MA NON SAREBBE MEGLIO SPENDERE SOLDI PER PROBLEMI “VERI” COME CURARE LE MALATTIE, TROVARE FONTI PULITE DI ENERGIA, INVENTARE UN CELLULARE CHE PRENDE LINEA ANCHE A SAN GIUSTO

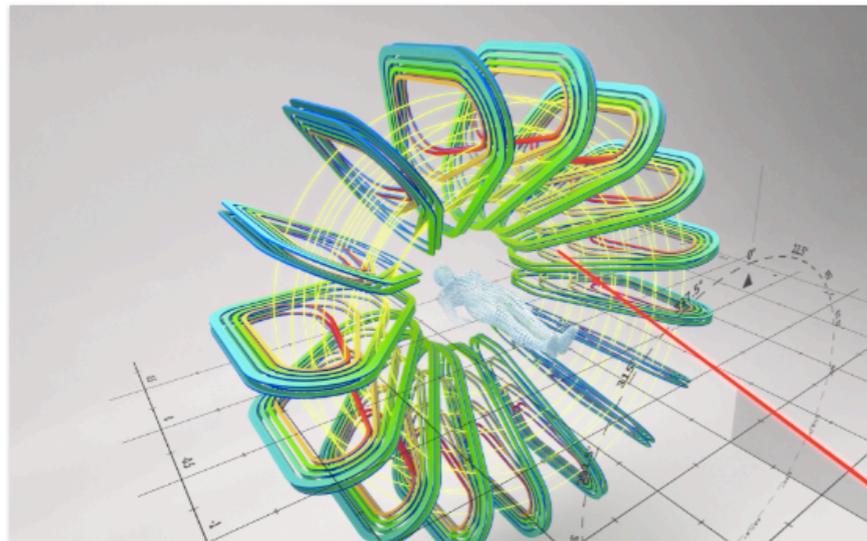


RICERCA FONDAMENTALE E PRIORITÀ SOCIALI

Using CERN magnet technology in innovative cancer treatment

A new “gantry” design using CERN magnet technology has the potential to revolutionise hadron therapy

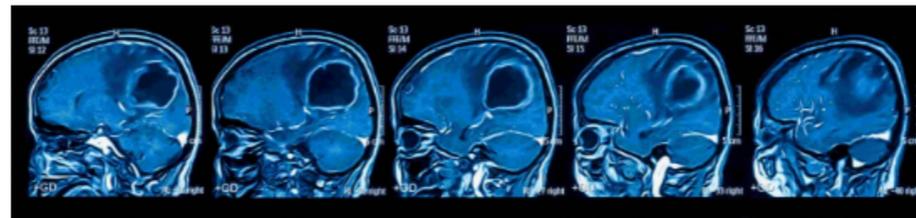
27 NOVEMBER, 2018 | By Linn Tvede & Giovanni Porcellana



How the LHC could help us peek inside the human brain

Superconducting technology developed for the HL-LHC and FCC could improve our understanding of the human brain

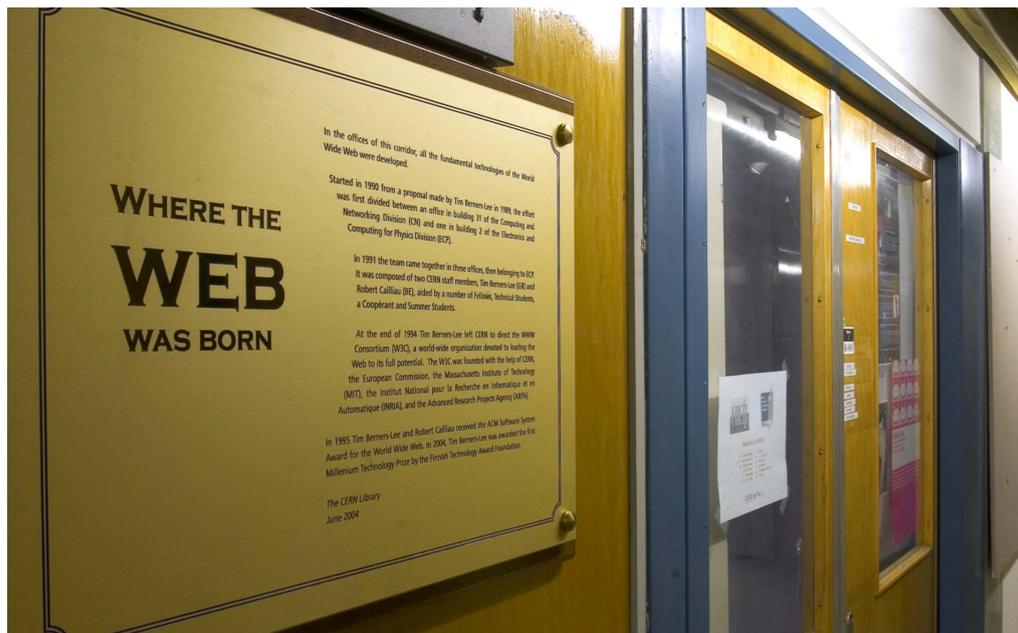
29 NOVEMBER, 2016 | By Anaïs Rassat



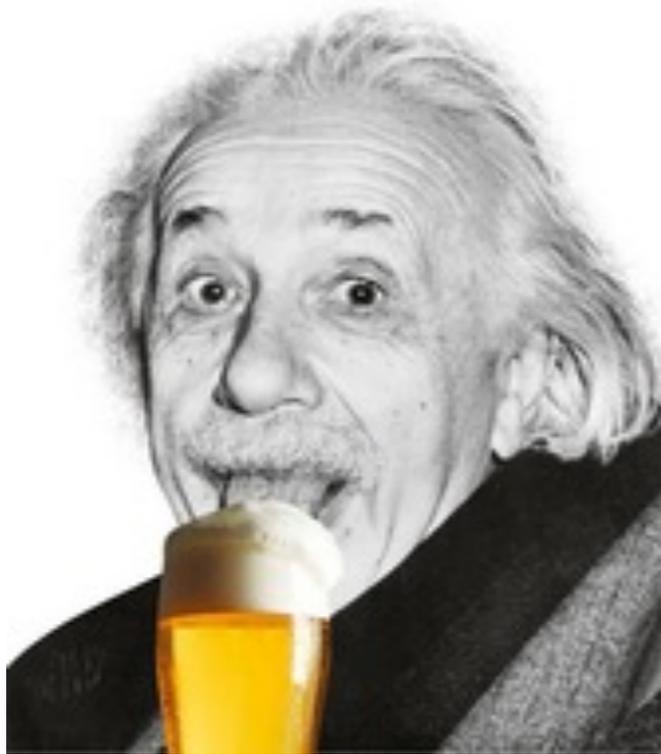
How does CERN help other areas of society?

CERN technologies and expertise are applied to a wide range of fields:

- Contributing to a better planet, with novel and more efficient technologies
- Industry 4.0, increasing automation and efficiency
- Cultural heritage through art restoration
- Developing technologies expected to have significant impact in the future



THE END



*“Look deep into nature,
and then you will
understand everything
better” —A. Einstein*

