

Fisica moderna: particelle e acceleratori

*IIS Cambi Serrani
Liceo Cambi di Falconara Marittima*

Livia Soffi

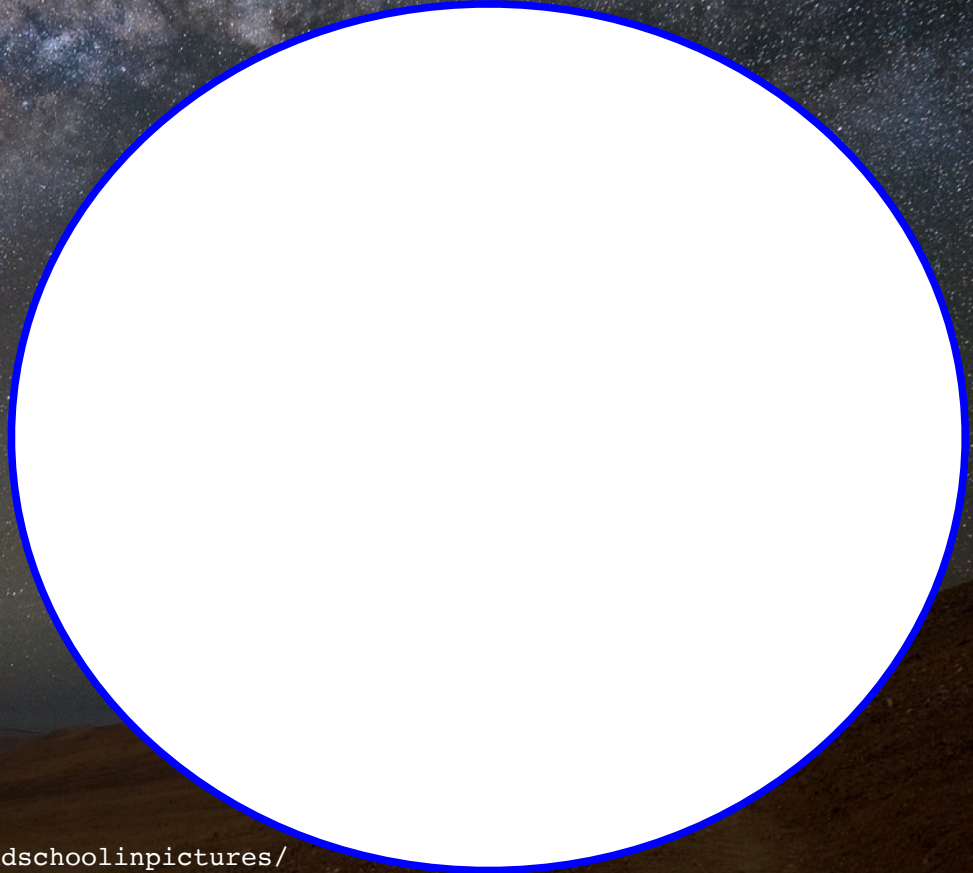
*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Universita` Sapienza Roma*



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

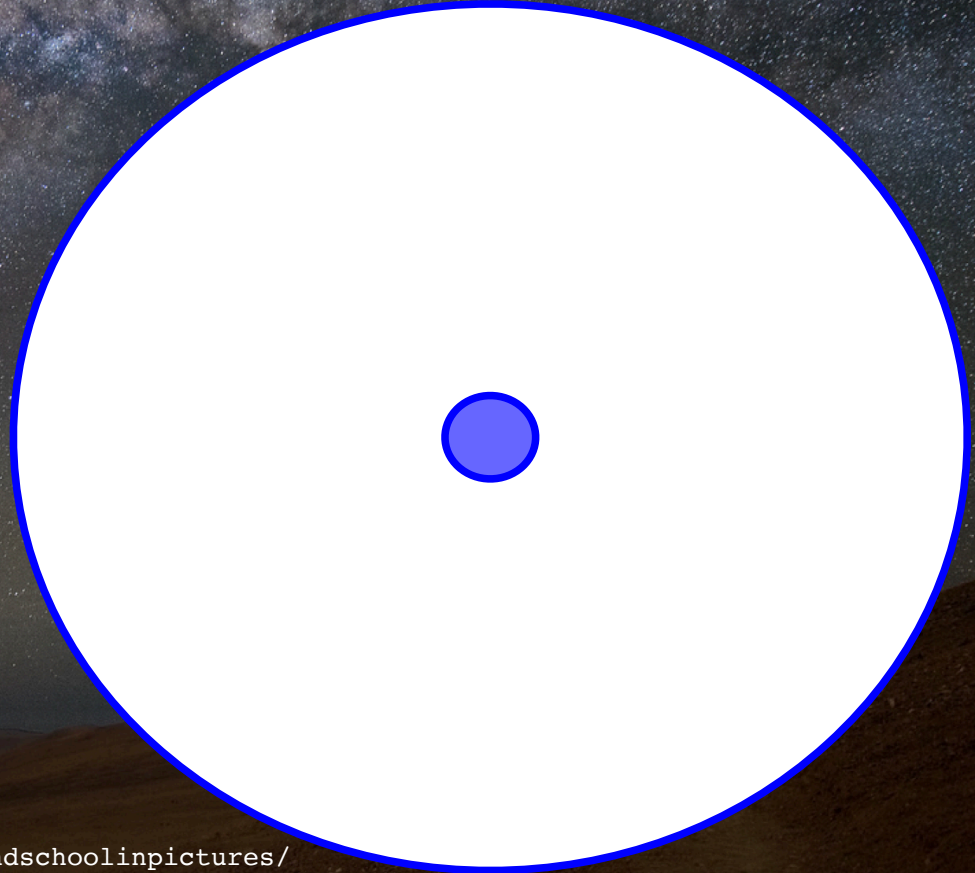
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

Imagine a
circle that
contains all of
human
knowledge:



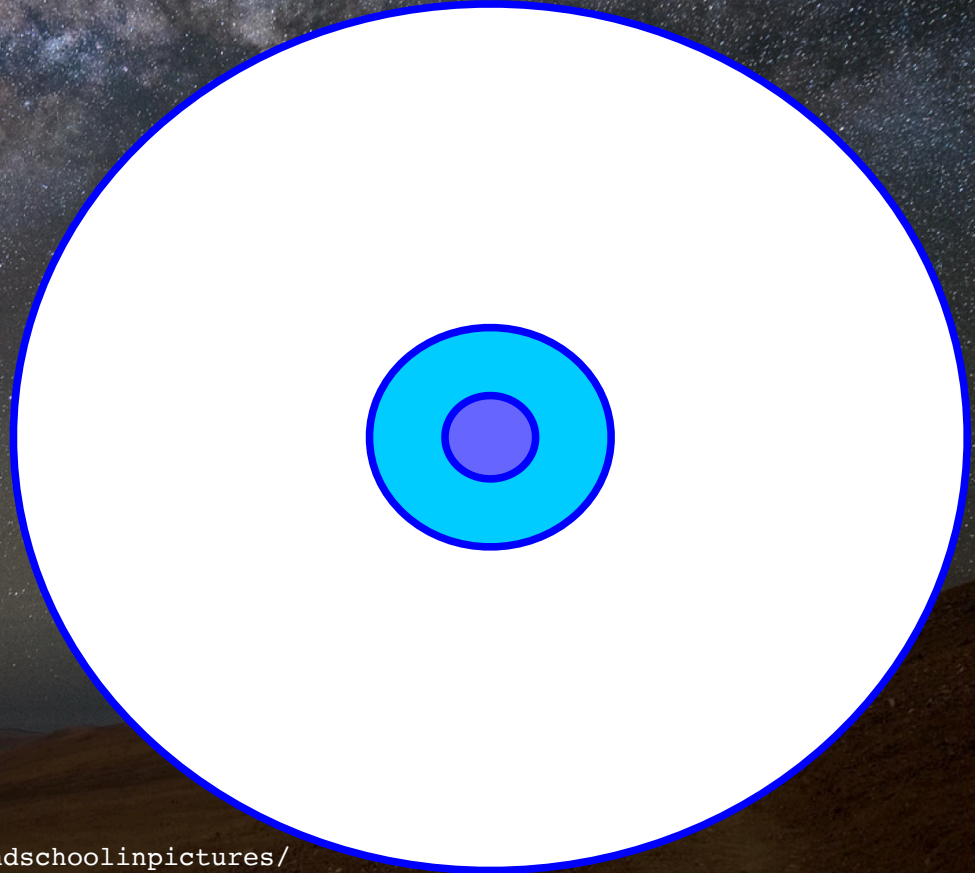
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

By the time
you finish
elementary
school, you
know **a little**:



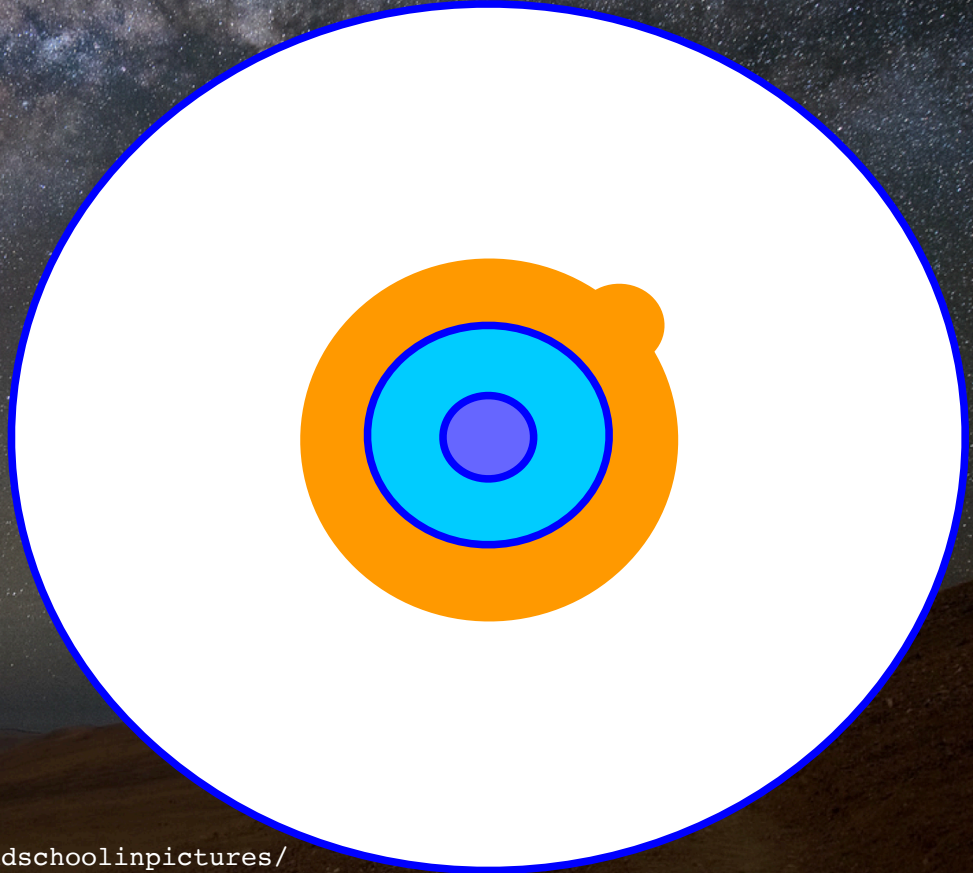
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

By the time
you finish high
school, you
know **a bit
more:**



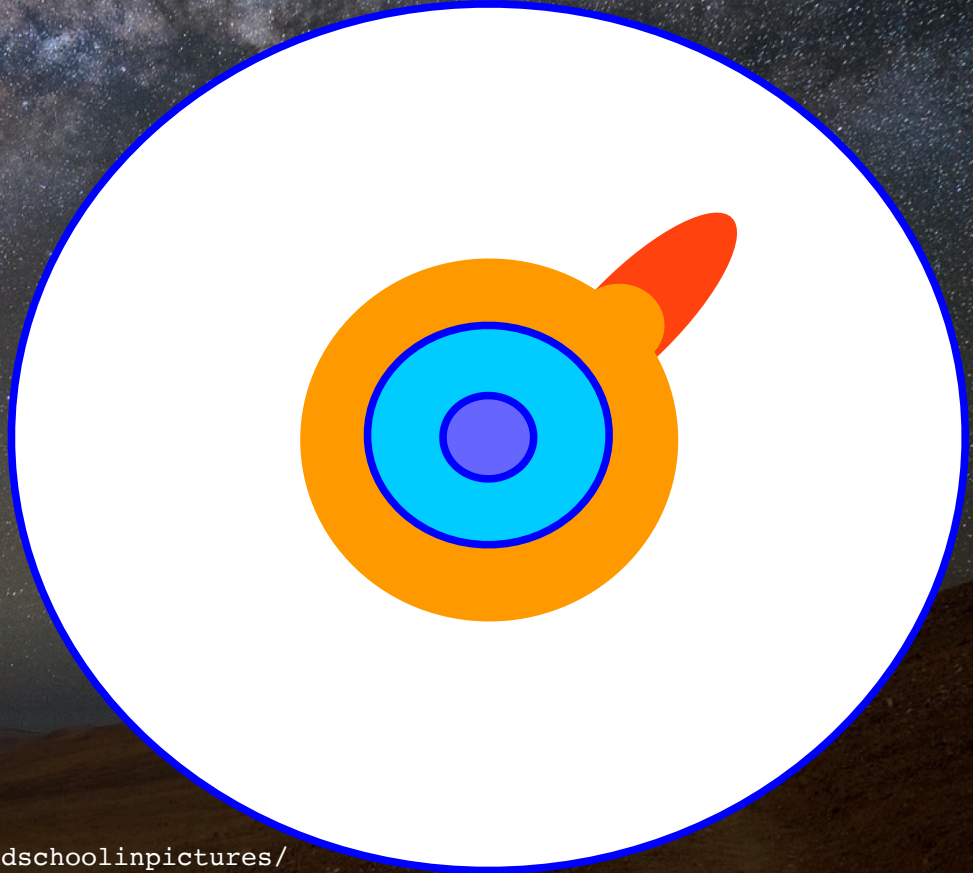
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

With a bachelor's degree, you gain **a specialty:**



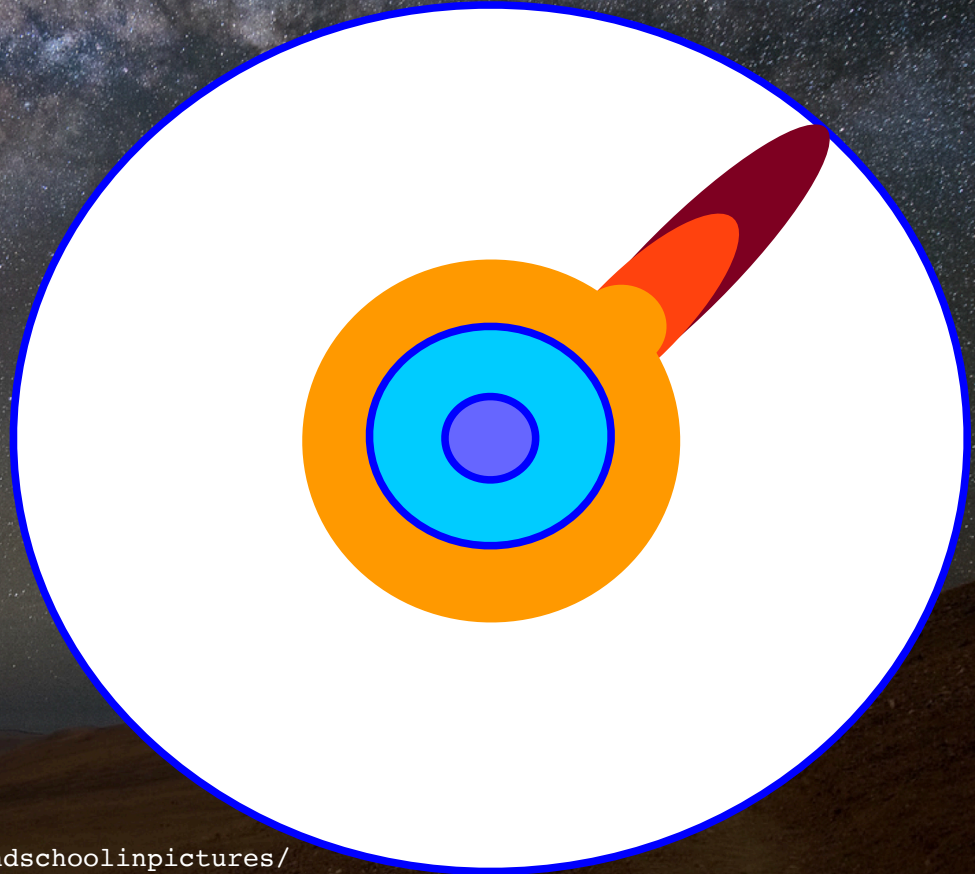
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

A master's
degree
deepens that
specialty:



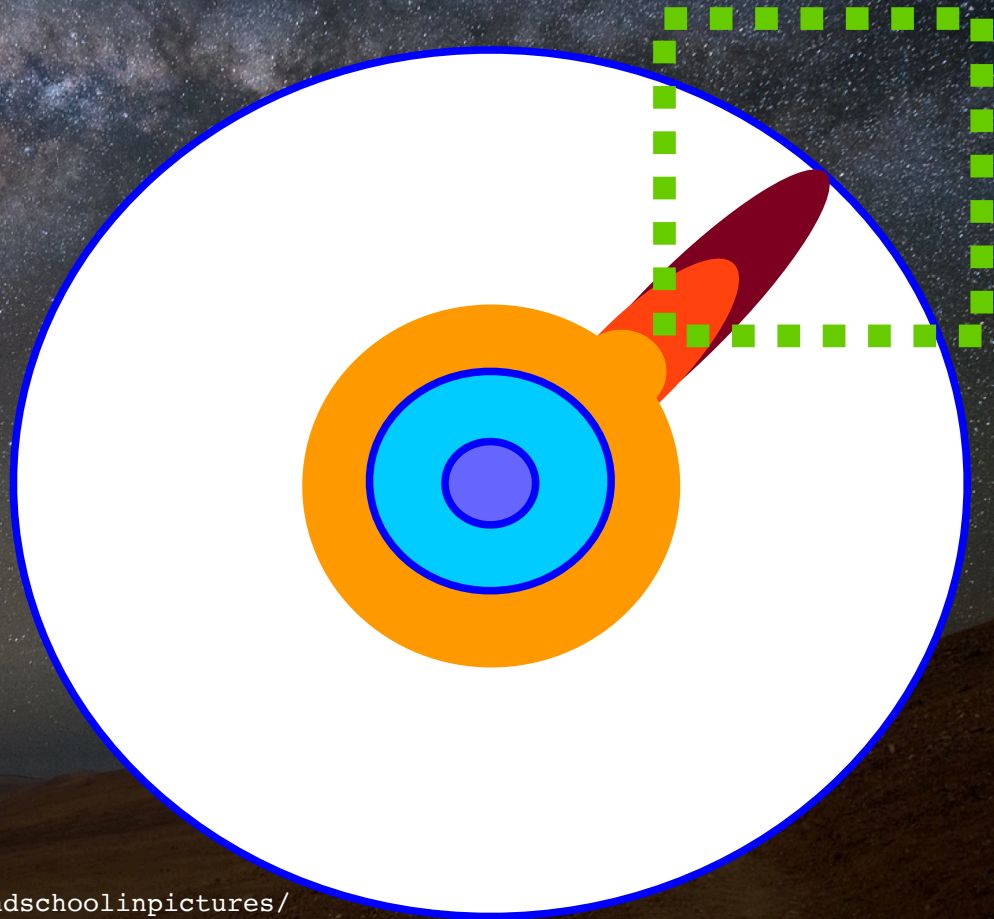
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

Reading
research
papers takes
you to the
**edge of human
knowledge:**



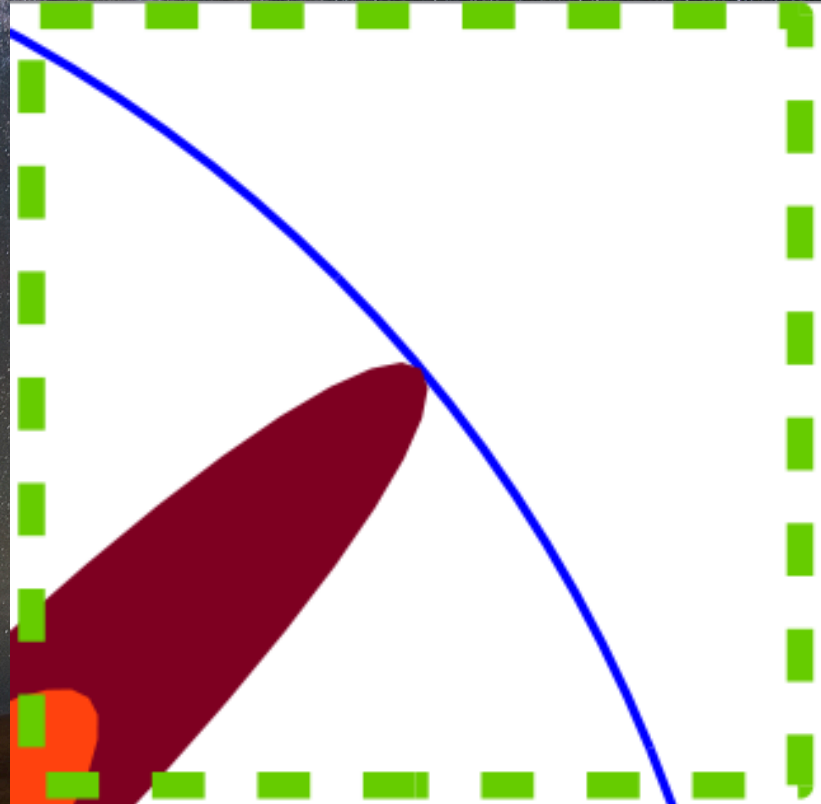
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

Once you are
at the
boundary you
focus:



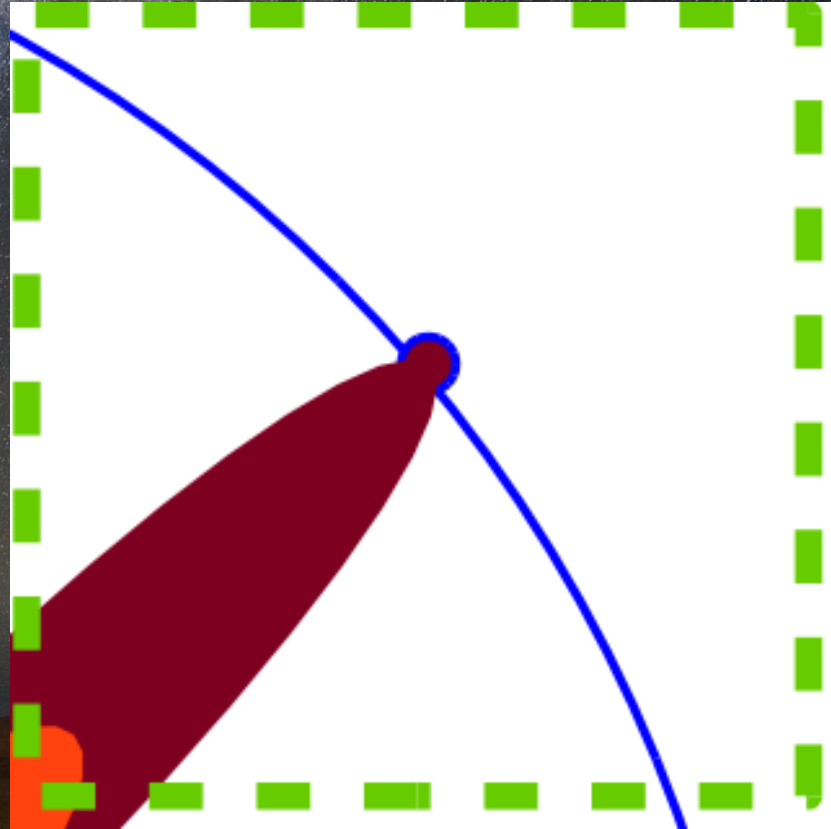
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

You push at
the boundary
for a few
years:



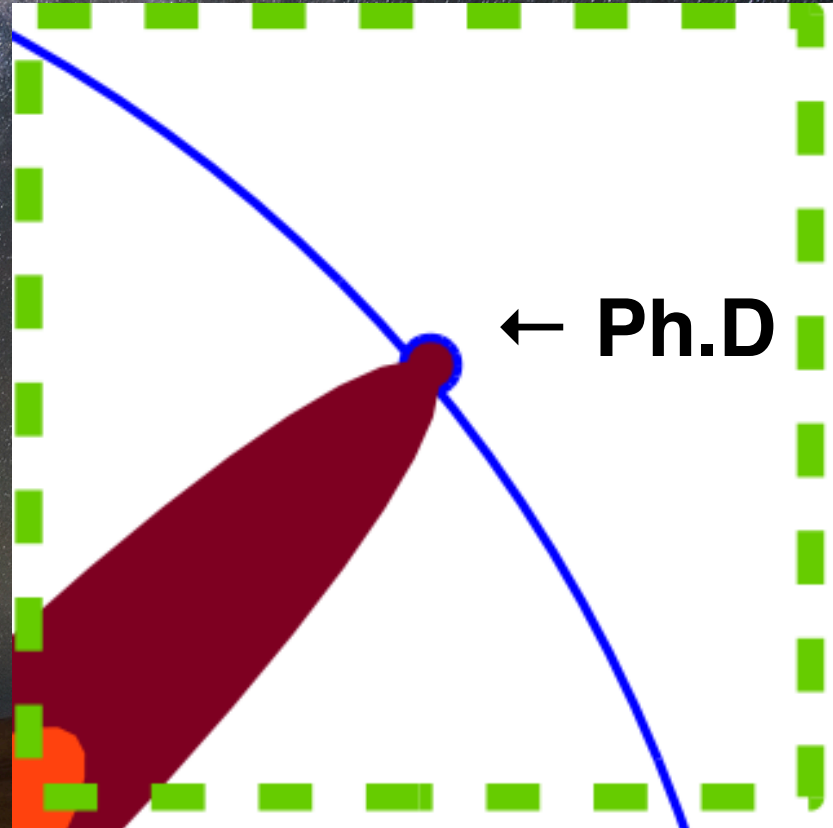
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

Until one day,
the boundary
goes away:



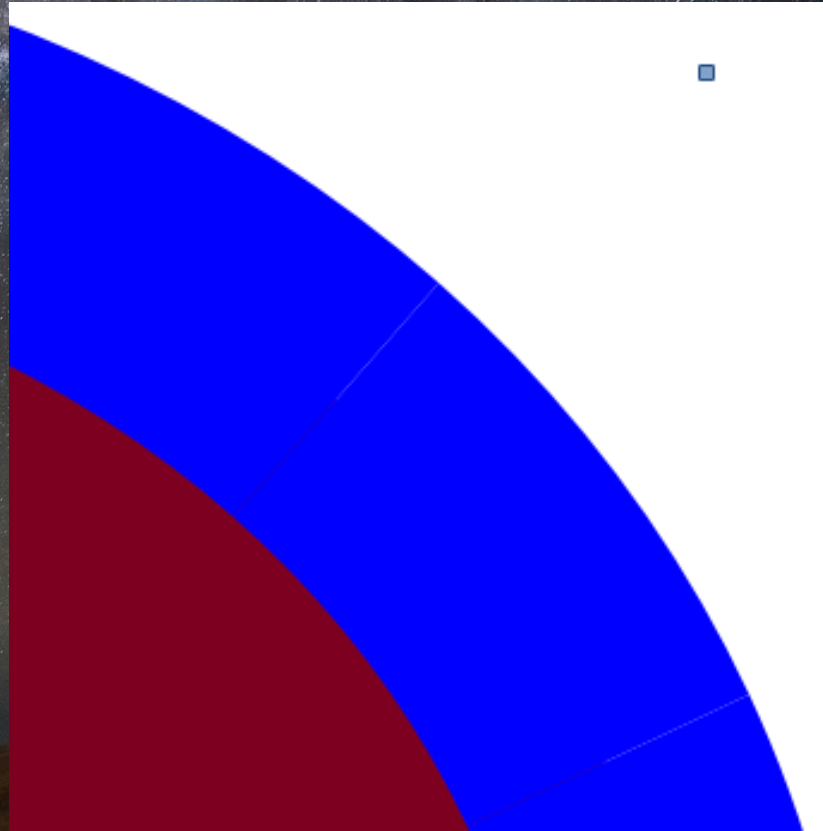
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

And, that dent you've made is called a **Ph.D.**:



Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

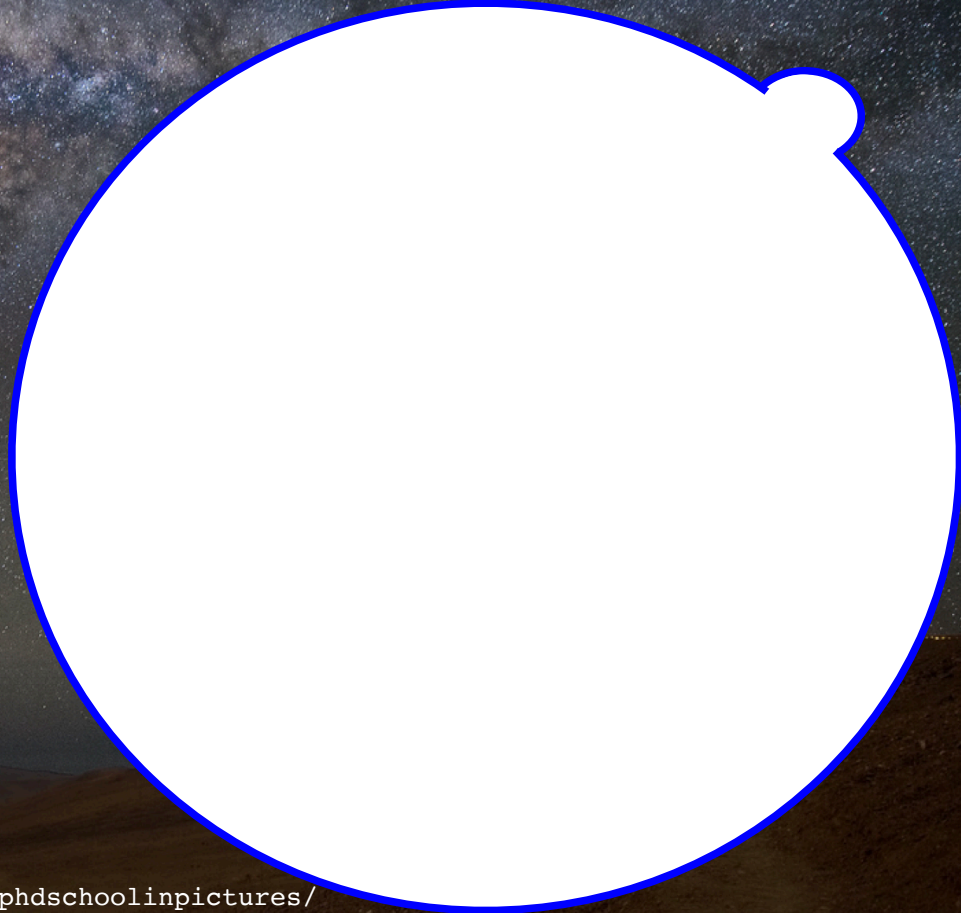
Of course, the **world** looks different to you now:



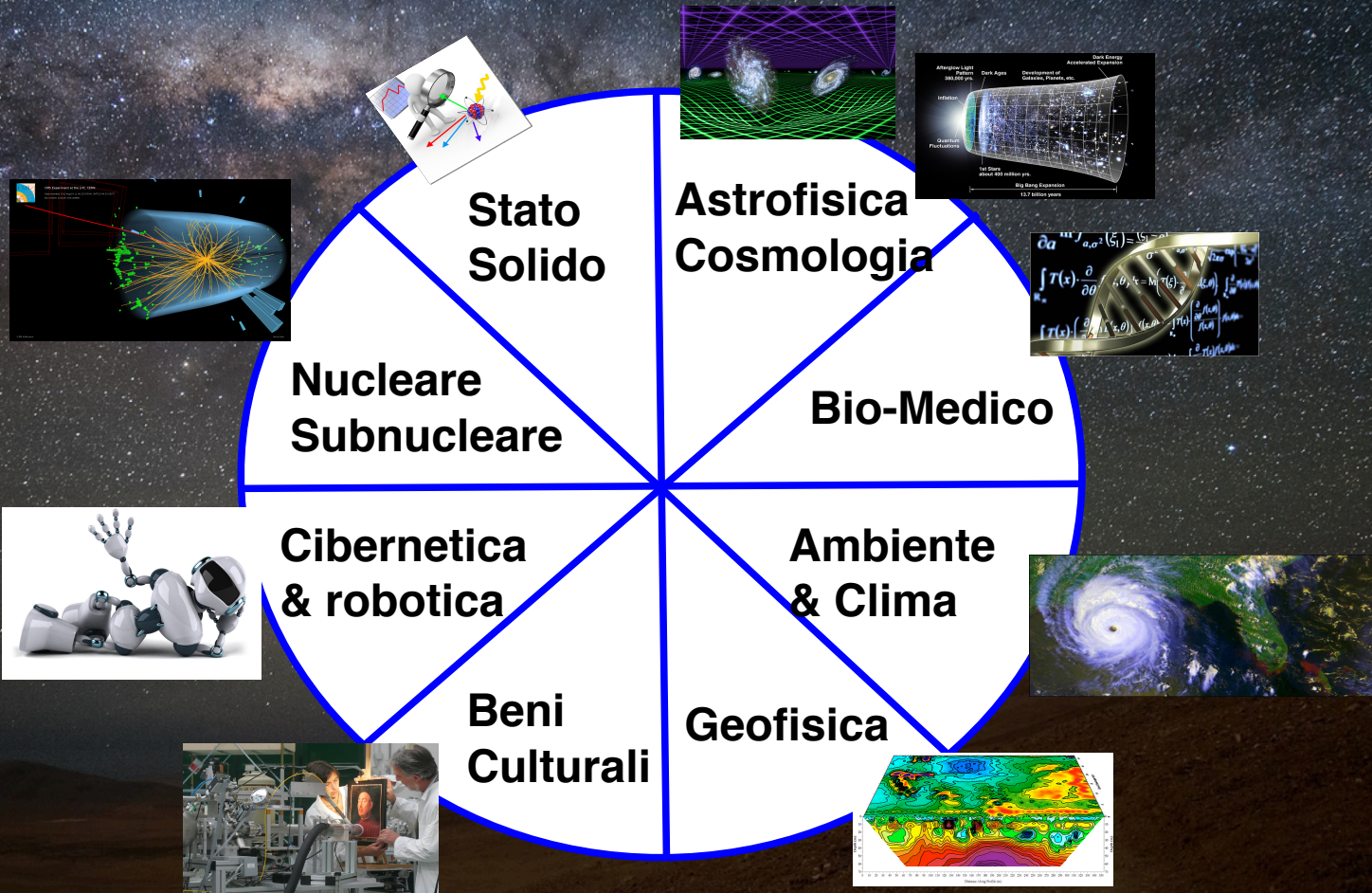
Guida Illustrata al lavoro del ricercatore

But don't
forget the
bigger picture:

**And Keep
Pushing!!**



I campi di Ricerca in Fisica



Un lavoro fondamentale e fondamentalmente (in)utile

Ricerca di Base  Ricerca Applicata

Oggi parleremo di **fisica delle particelle
elementari** e delle sue applicazioni

Particelle Elementari

1. Puntiformi = che non si possono più dividere

2. Composte, = che contengono altre particelle

Una particella può sembrare puntiforme ma non esserlo quando la si “guarda” meglio:



particelle che oggi riteniamo puntiformi possono in realta' essere composte.

L'atomo e' elementare?

Il Metodo "Tex Willer"



Un sacco contiene sabbia
l'altro pepite d'oro: come
faccio a scegliere senza
toccarli?

L'atomo e' elementare?

Il Metodo "Tex Willer"



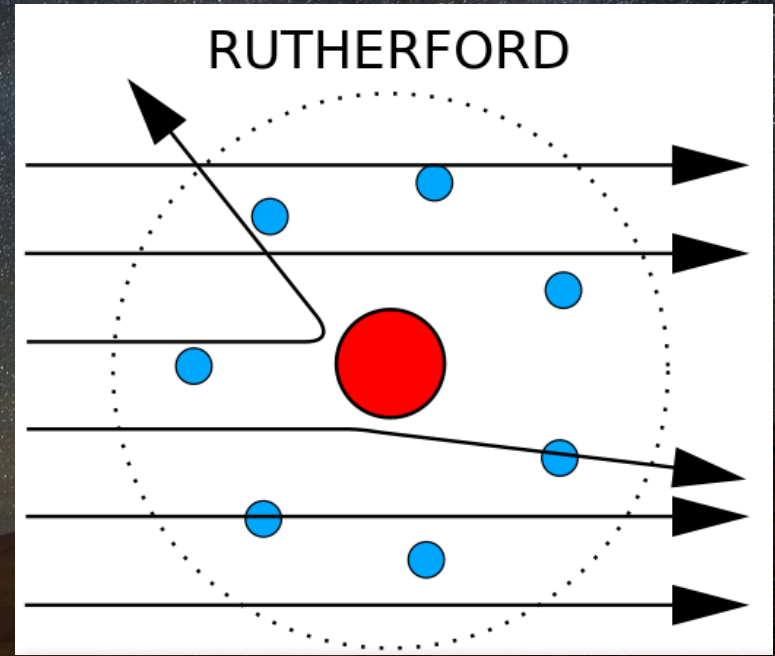
Un sacco contiene sabbia
l'altro pepite d'oro: come
faccio a scegliere senza
toccarli?

**OSSERVO LA
DEVIAZIONE
DEI
PROIETTILI**

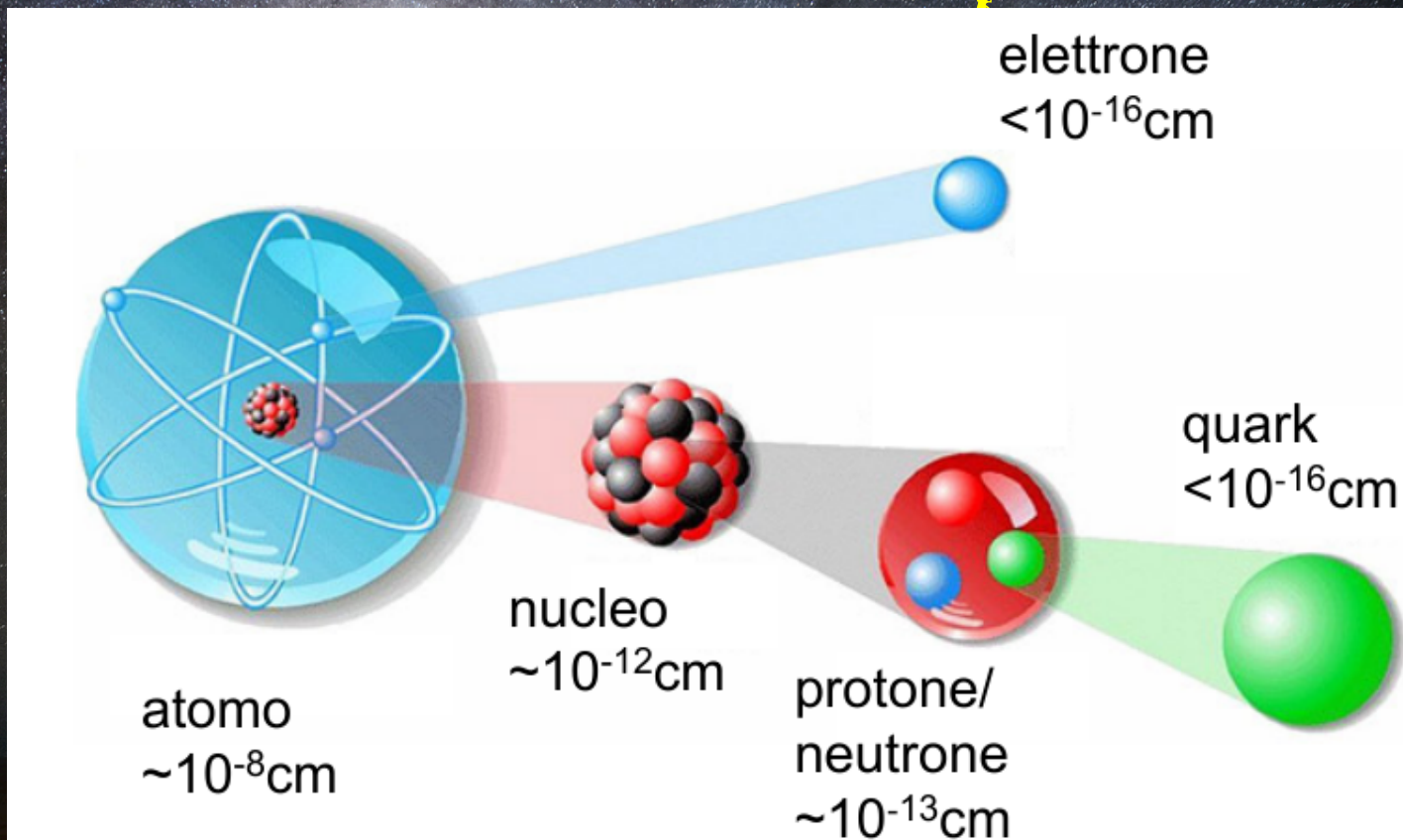
Rutherford, 1909

“Sparo” all'atomo, usando particelle α come proiettili e osservo la loro deviazione.

→ **L'atomo contiene un nucleo con carica positiva di raggio $<10^{-15}$ m**

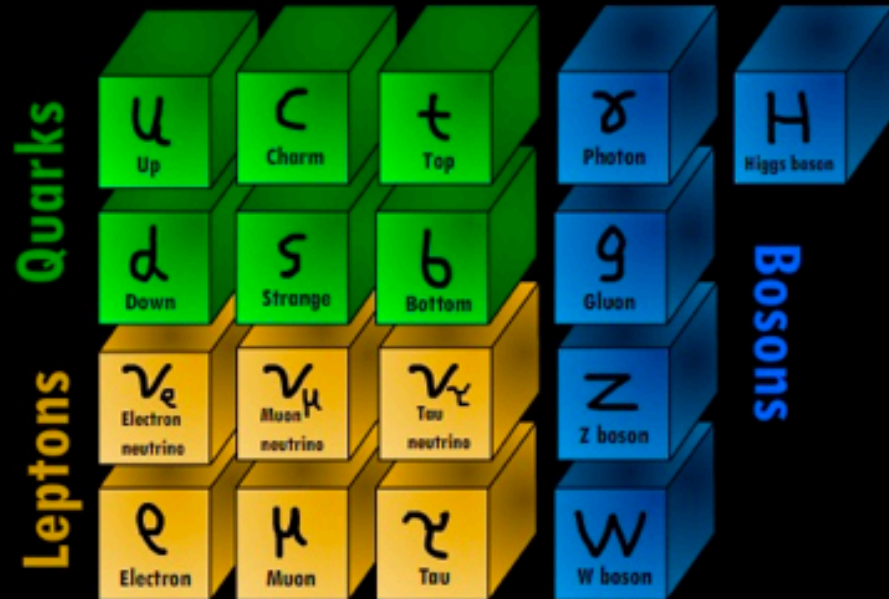


L'infinitamente piccolo

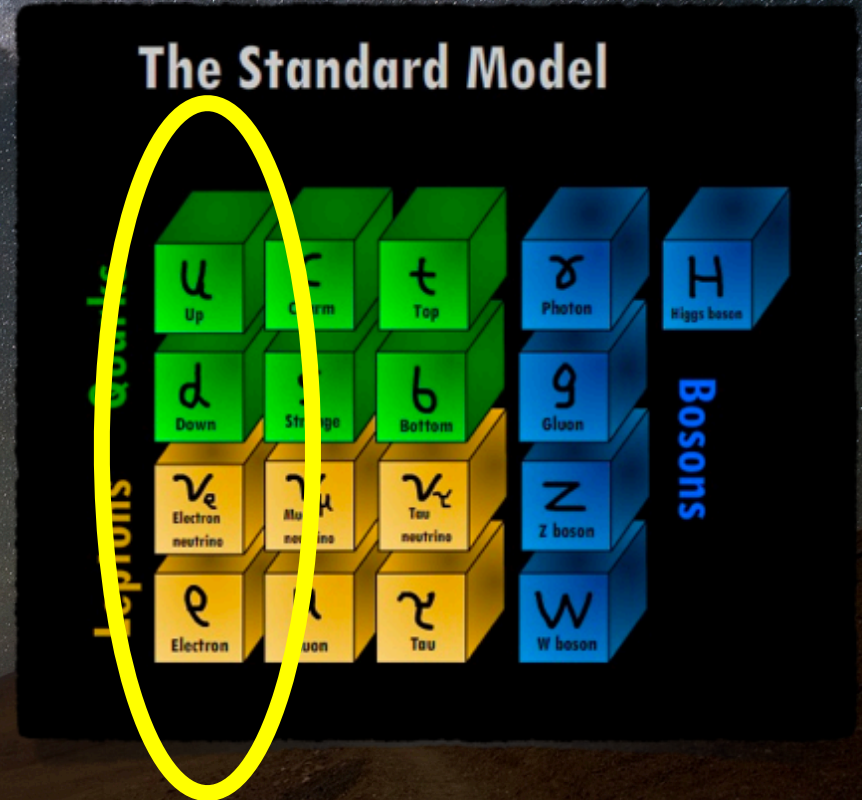
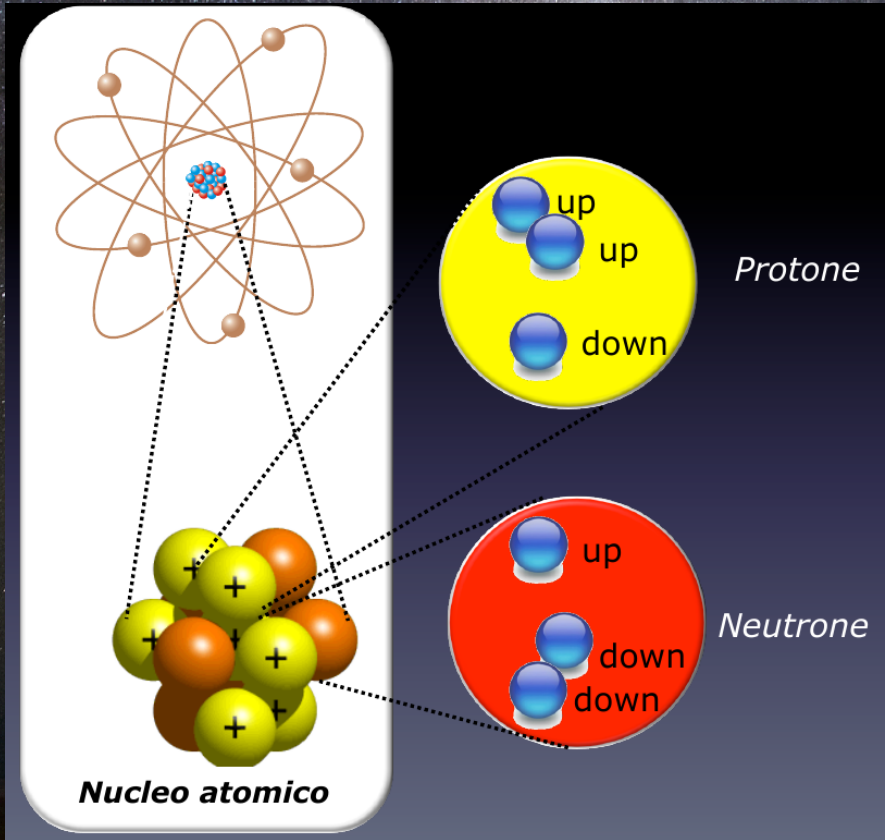


IL Modello Standard

The Standard Model



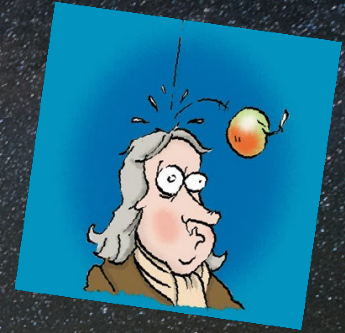
La Materia Ordinaria



La Massa delle Particelle

Meccanica classica (I. Newton, 1687):

massa = quantità di materia



Meccanica relativistica (A. Einstein, 1905):

massa = energia

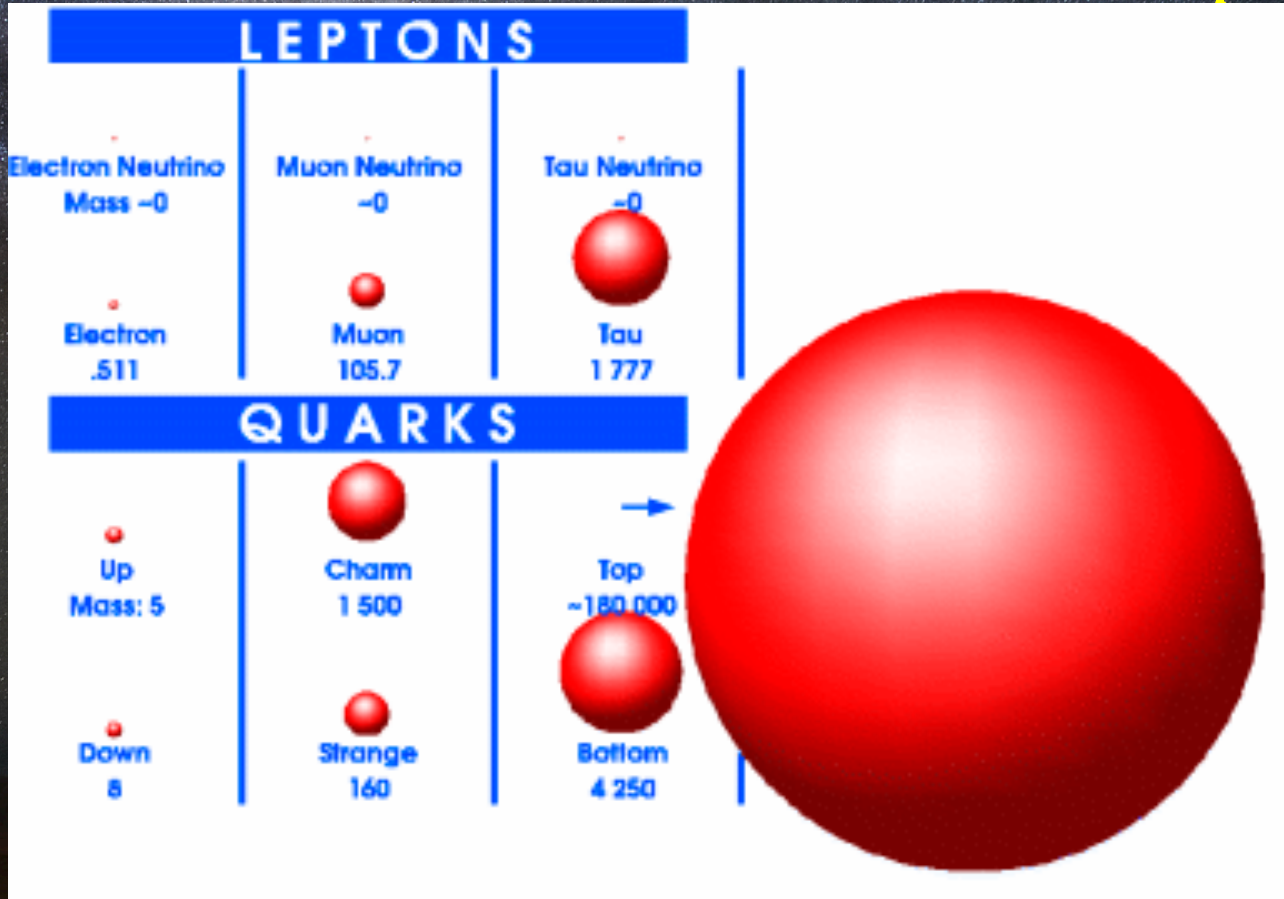


La Massa delle Particelle

**Per noi oggi la massa è una
proprietà intrinseca delle
particelle:**

**massa = energia di una particella
a riposo**

Particelle di un certo peso!



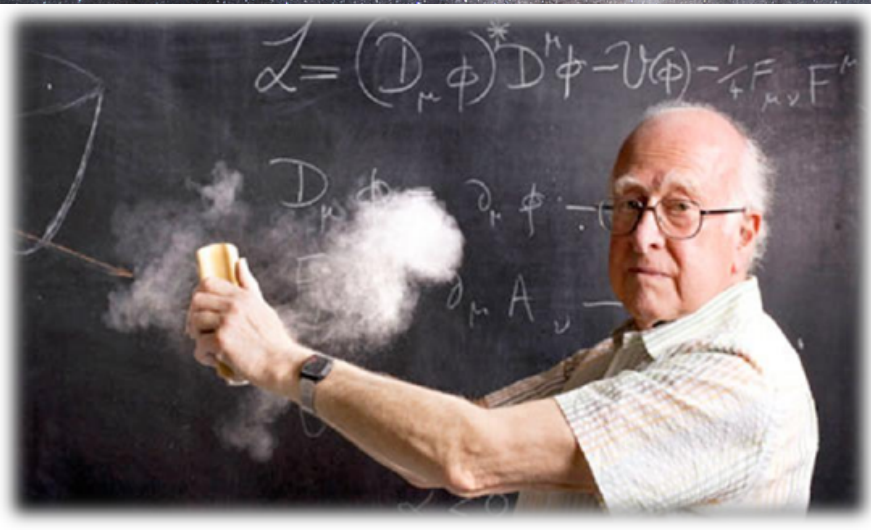
L'idea di Mr. Higgs

Le particelle che interagiscono con il campo di Higgs vengono rallentate



Più una particella “sente” il campo di Higgs, maggiore è la sua massa

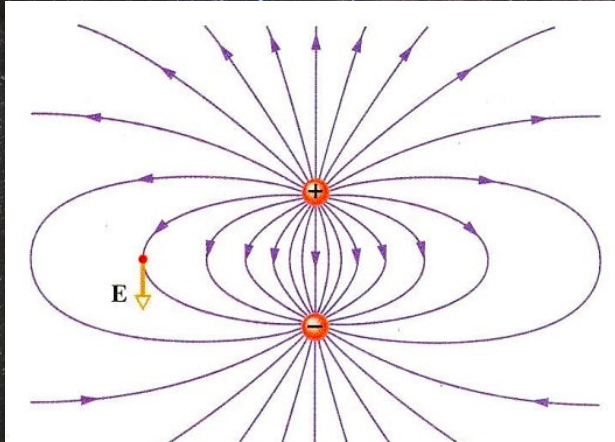
L'idea di Mr. Higgs



**Idea chiave:
Il campo di Higgs si
incolla alle particelle e
crea la loro massa**

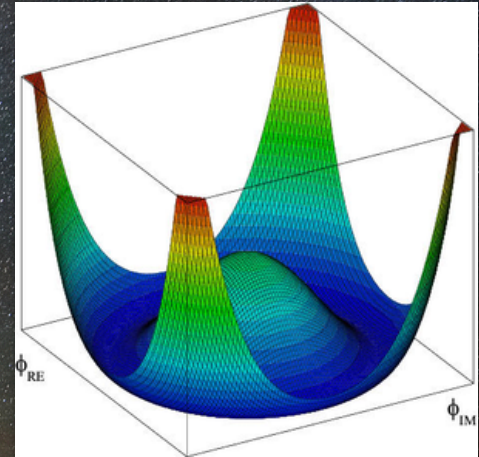
Campi e Particelle

Il **campo elettrico** ha una direzione.



Il **fotone** è la “prova” del campo elettromagnetico.

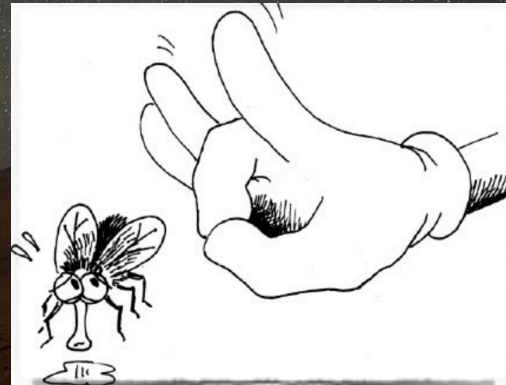
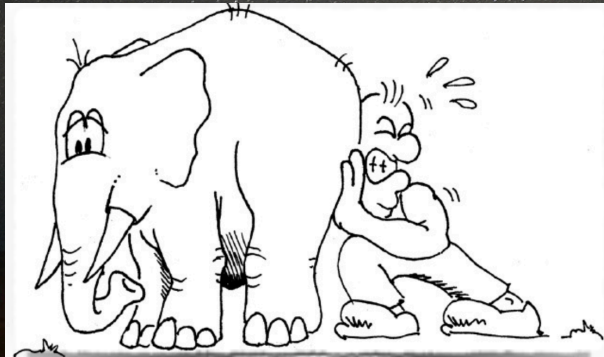
Il **campo di Higgs** è uno scalare.



La **particella di Higgs** è la “prova” del campo di Higgs.

Forze e Interazioni

- Le particelle di materia interagiscono tramite **le forze**
- Quando applichiamo una forza ad un oggetto **cambiamo il suo stato di moto**
- **Minore la massa piu` facile sara` "spostarlo"**



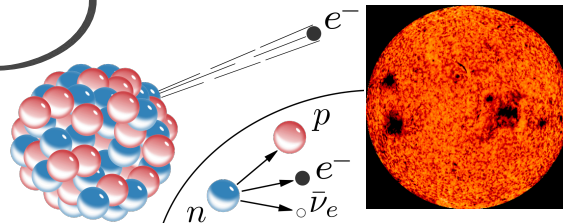
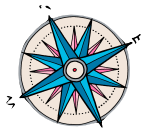
Fantastic four



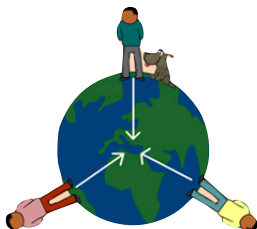
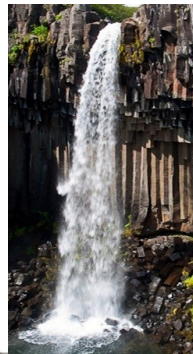
WEAK ($I=10^{-3}$)



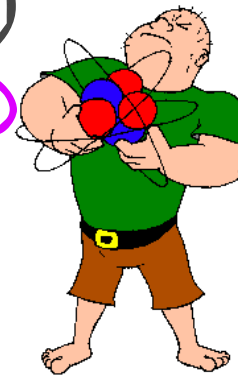
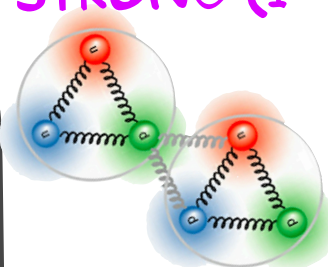
ELECTROMAGNETIC ($I=1$)



GRAVITATIONAL ($I=10^{-36}$)



STRONG ($I=100$)



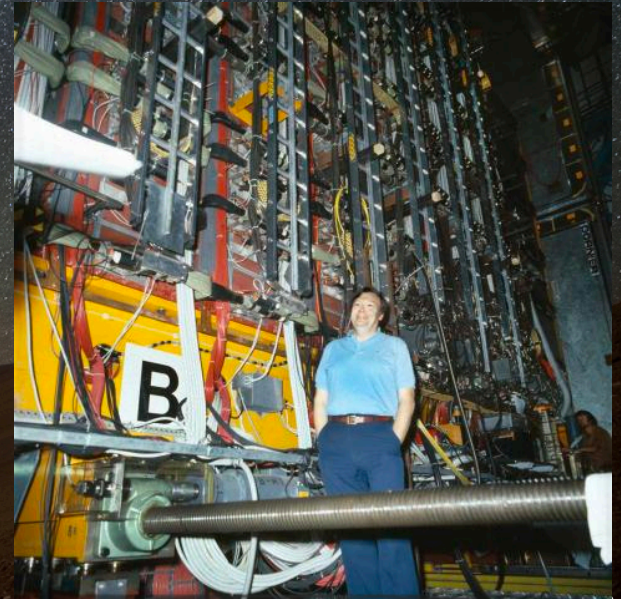
Forze come scambio di particelle

- Le forze tra componenti di materia sono dovute allo **scambio di altre particelle, i bosoni mediatori**
- Questi bosoni sono come palle da basket lanciate tra barchette



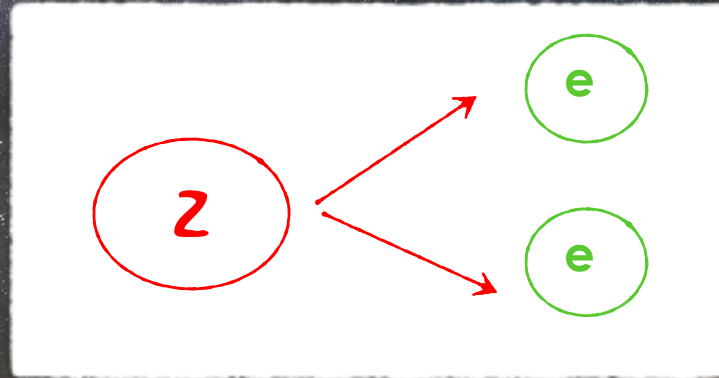
→ Z BOSONS IS ONE THE PARTICLES MEDIATOR OF THE WEAK FORCE

- **Predetto nel 1960** per spiegare i decadimenti beta di Fermi
- La teoria prevede la massa del **bosone Z** attorno a **90 GeV** e i fisici del **CERN nel 1980** costruirono il primo acceleratore in grado di produrlo e rivelarlo



Discovery of a new particle

- La Z non vive molto ma **si disintegra subito in due elettroni** che possono essere rivelati



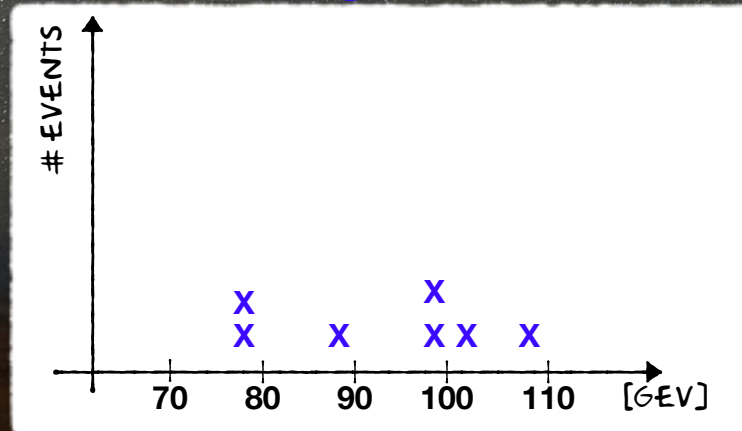
- Quando **produciamo una Z** in realta` nell'esperimento **vediamo due elettroni!**

Discovery of a new particle

- Misuriamo le **energie** e la **direzione** dei due elettroni e calcoliamo la massa della Z:

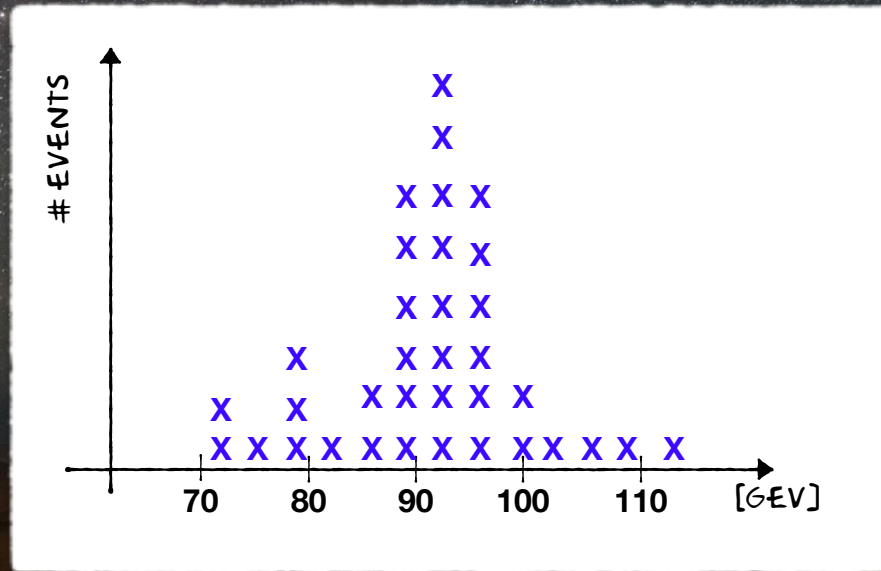
$$m_X = \sqrt{2E_1E_2(1 - \cos\theta)}$$

- Ripetiamo per **ogni evento** (collisione) in cui vediamo due elettroni e riempiamo un **istogramma**:



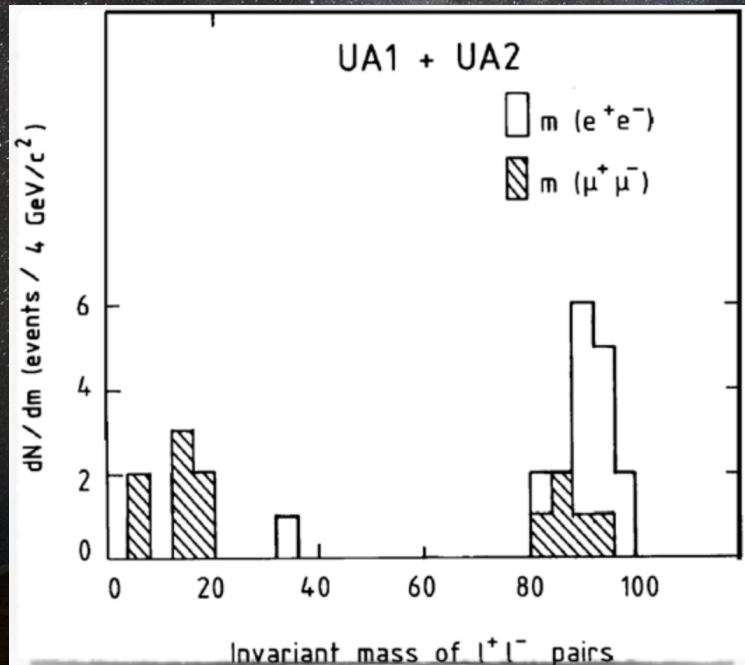
The Z boson mass reconstruction

- Un **picco di eventi** appare in prossimita` del **valore vero** della massa della Z
- Se l'eccesso di eventi e` molto grande **abbiamo scoperto una nuova particella**



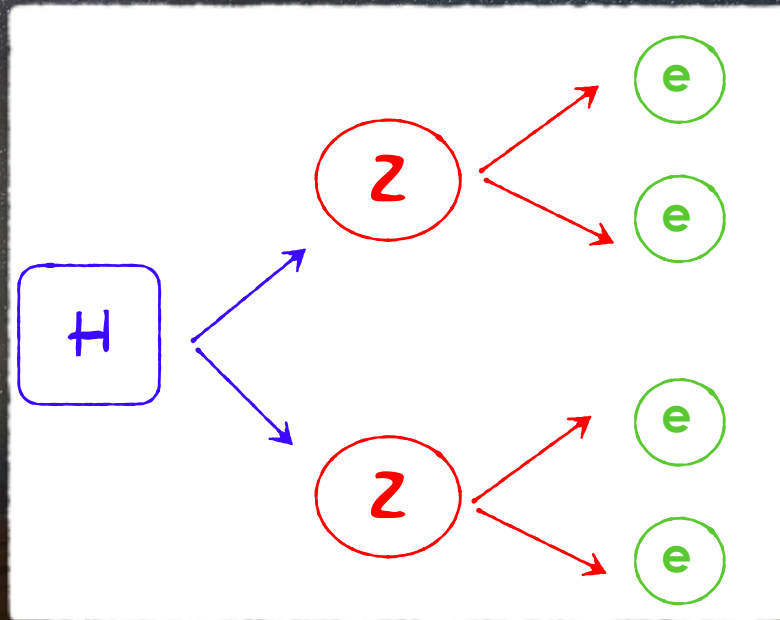
The Z boson mass reconstruction

- 1983 gli esperimenti UA1 e UA2 al CERN scoprono il bosone Z



How we use the Z boson to discover the Higgs

- Il **bosone Z** “ci serve” per cercare il **bosone di Higgs**:



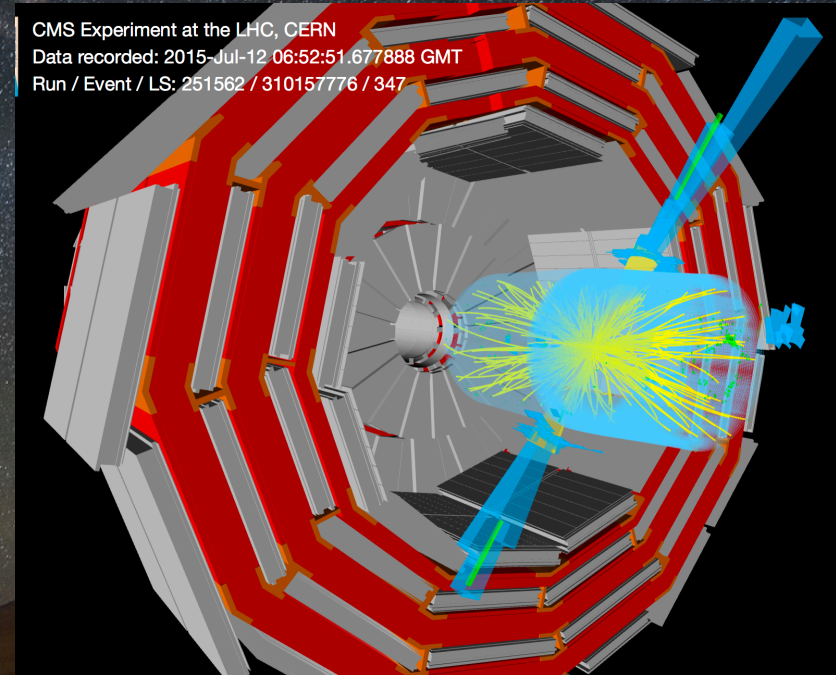
Microscopi Potentissimi

La **dimensione** che riesco a investigare e' **proporzionale a $1/E$**

E = energia della mia "sonda"

Cellula ($d \sim 10^{-5} \text{m}$): luce visibile $E \sim \text{eV}$

Quark ($d < 10^{-18} \text{m}$): LHC $E \sim 10 \text{ TeV}$



Angry Particles

L'idea di base in un **acceleratore di particelle**



Angry Particles

L'idea di base in un acceleratore di
particelle

$$E=mc^2$$



Laboratori del CERN di Ginevra: Centro Europeo per la Ricerca Nucleare



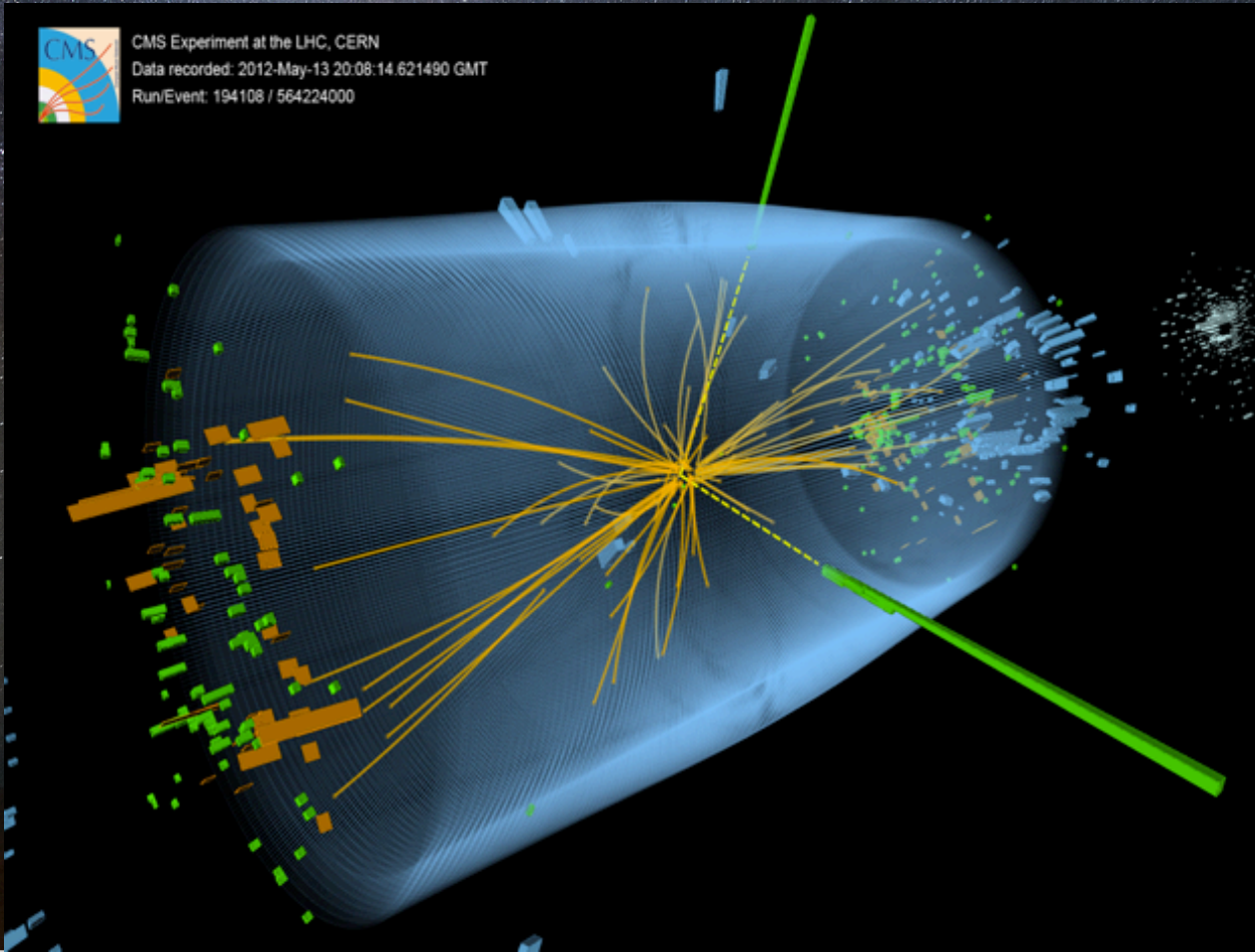
IL Large Hadron Collider LHC



→ Lungo 27 km

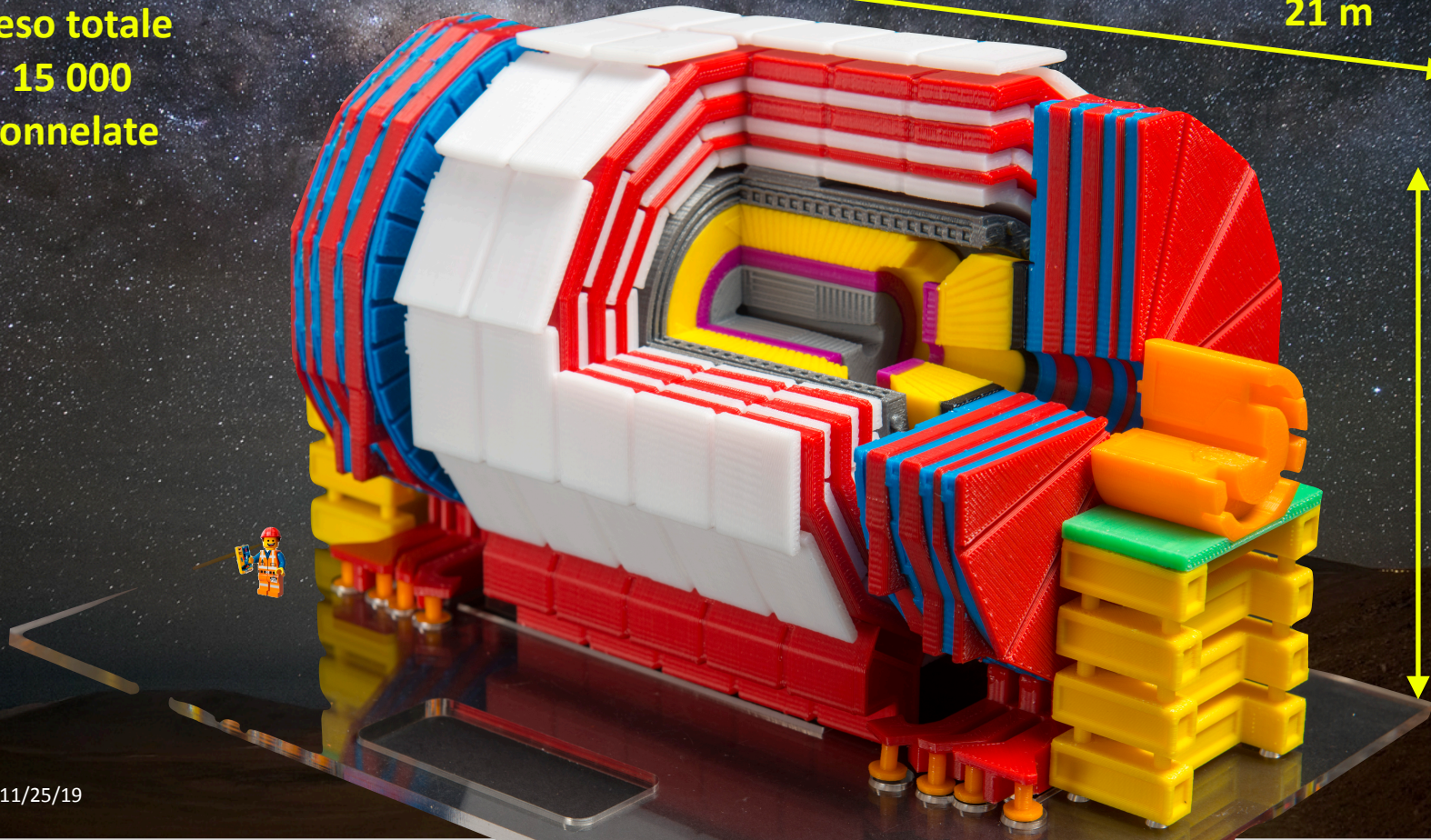
→ Posto a 100m di profondità` sottoterra

Le Collisioni nel LHC



L'esperienza CMS @ LHC

Peso totale
15 000
tonnelate



21 m

15 m

L'esperienza CMS @ LHC

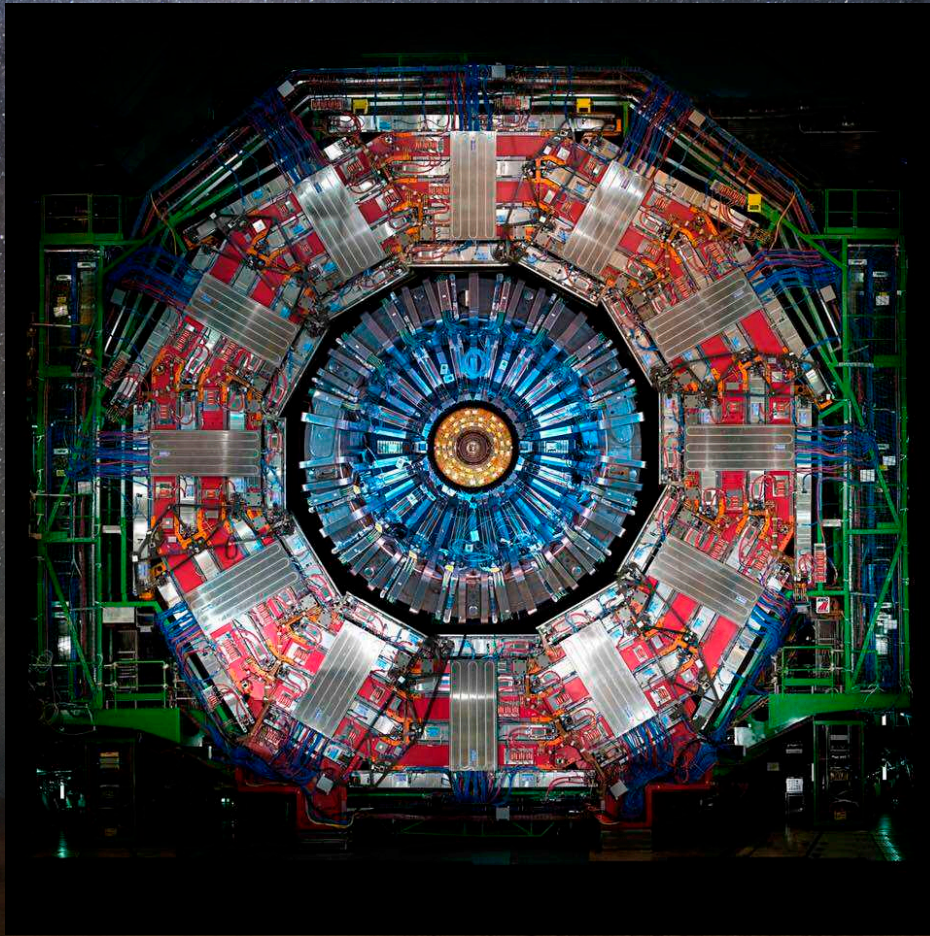
Peso totale
15 000
tonnelate

21 m

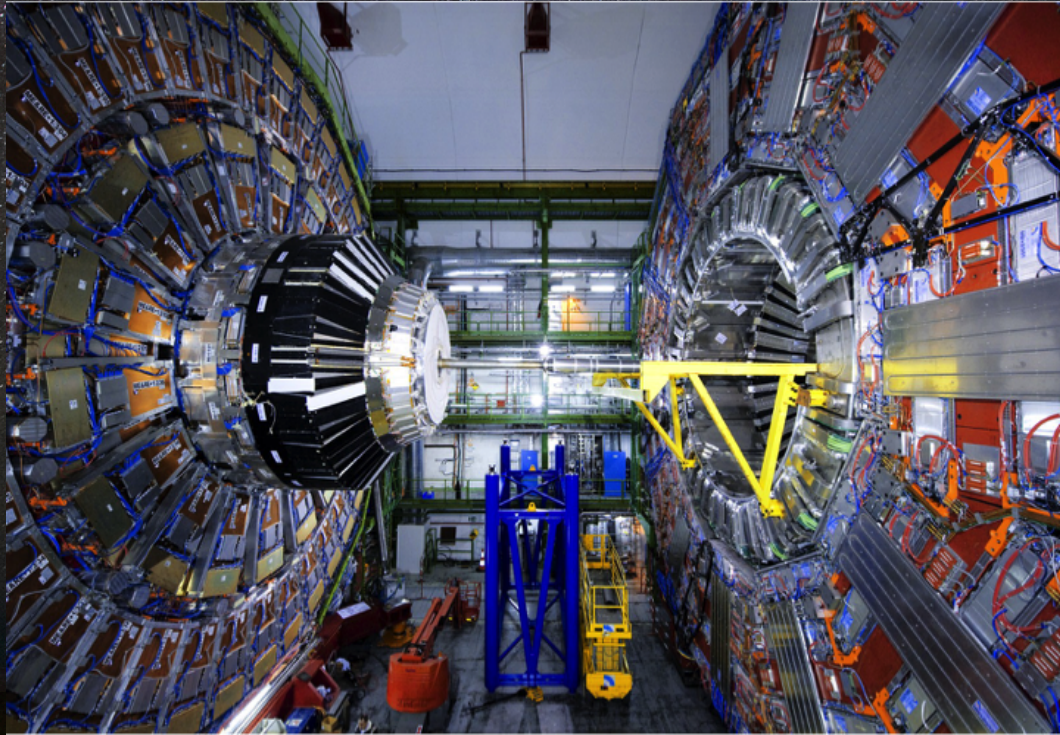
15 m



L'esperimento CMS @ LHC

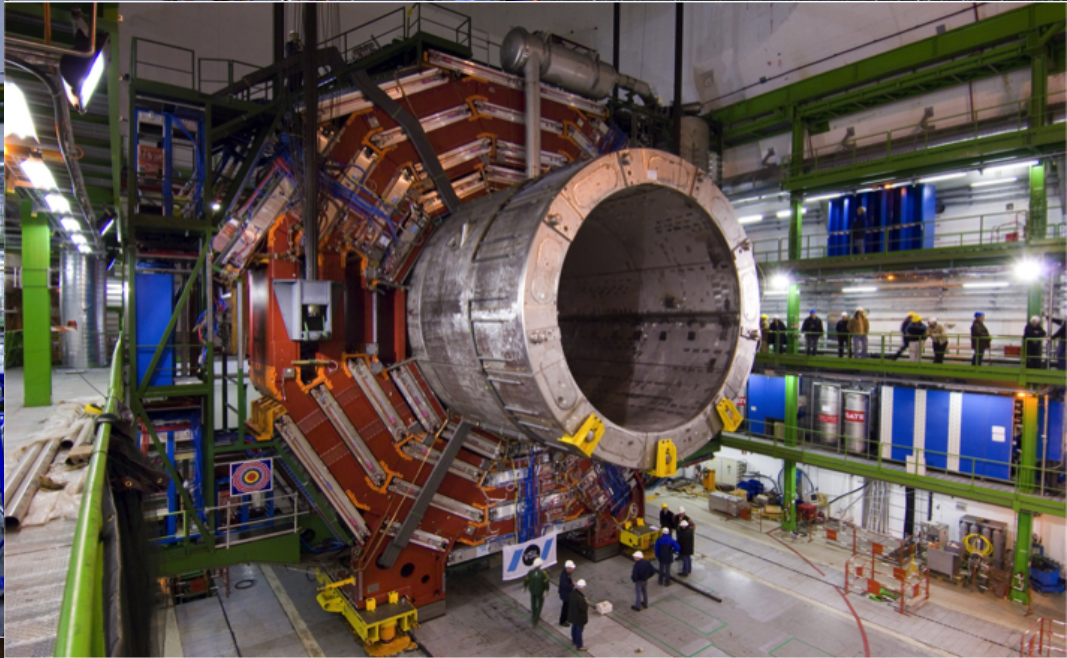
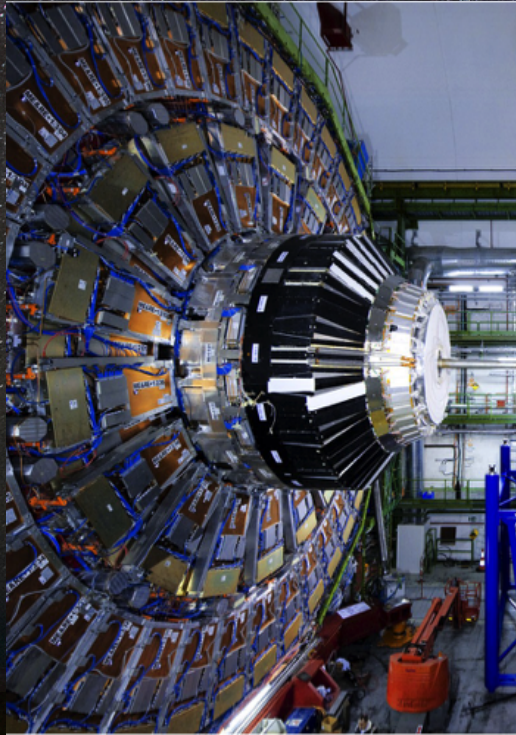


La costruzione di CMS

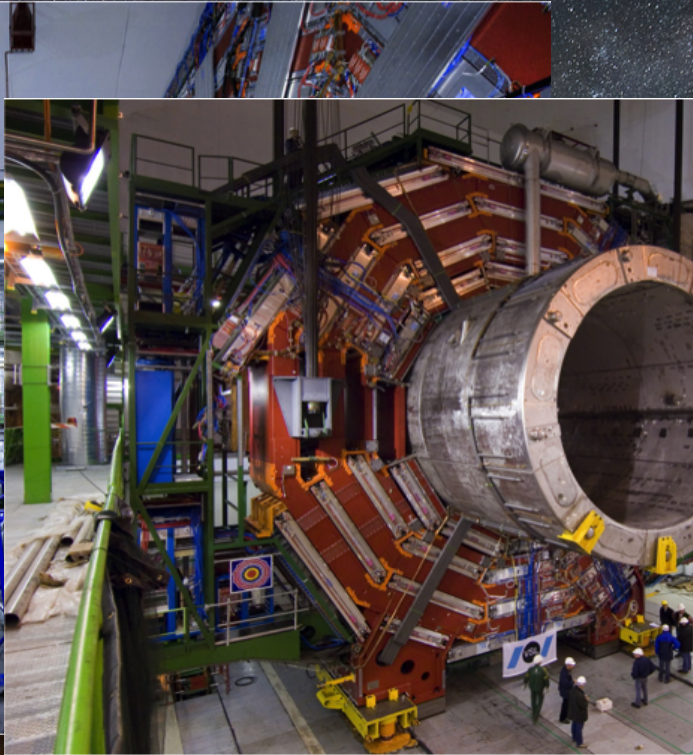
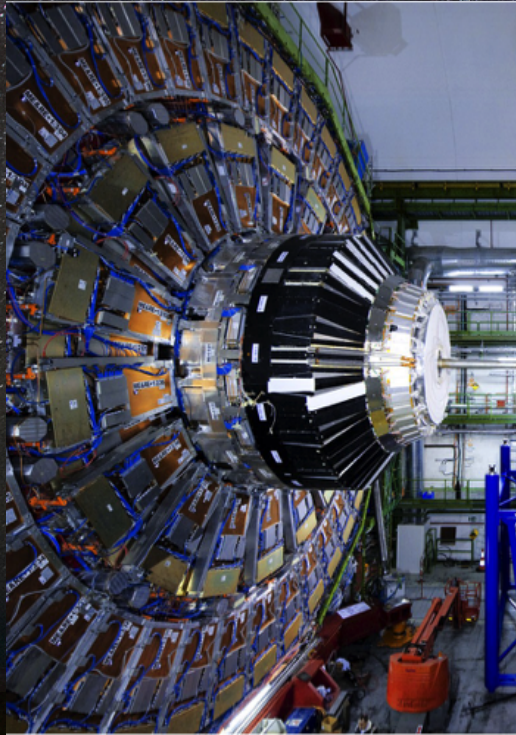


11/25/19

La costruzione di CMS

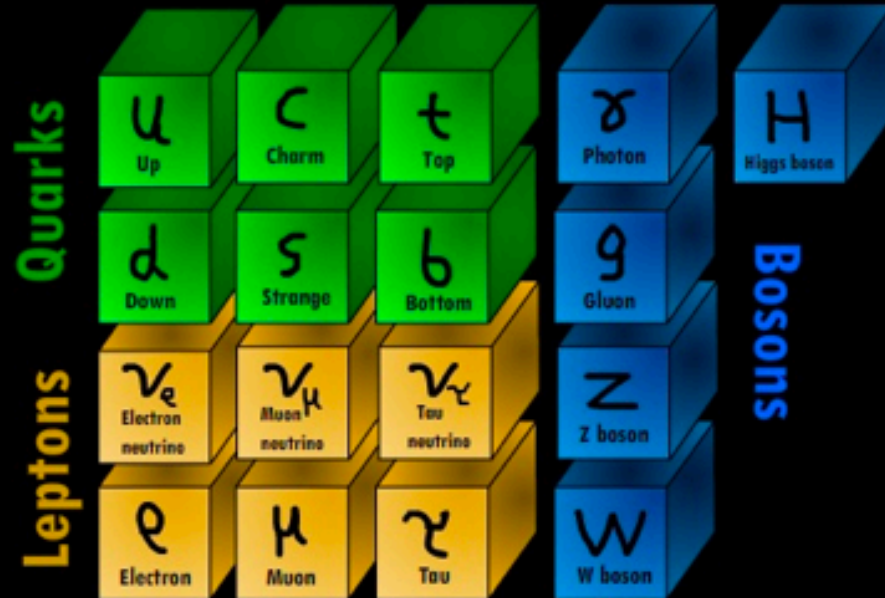


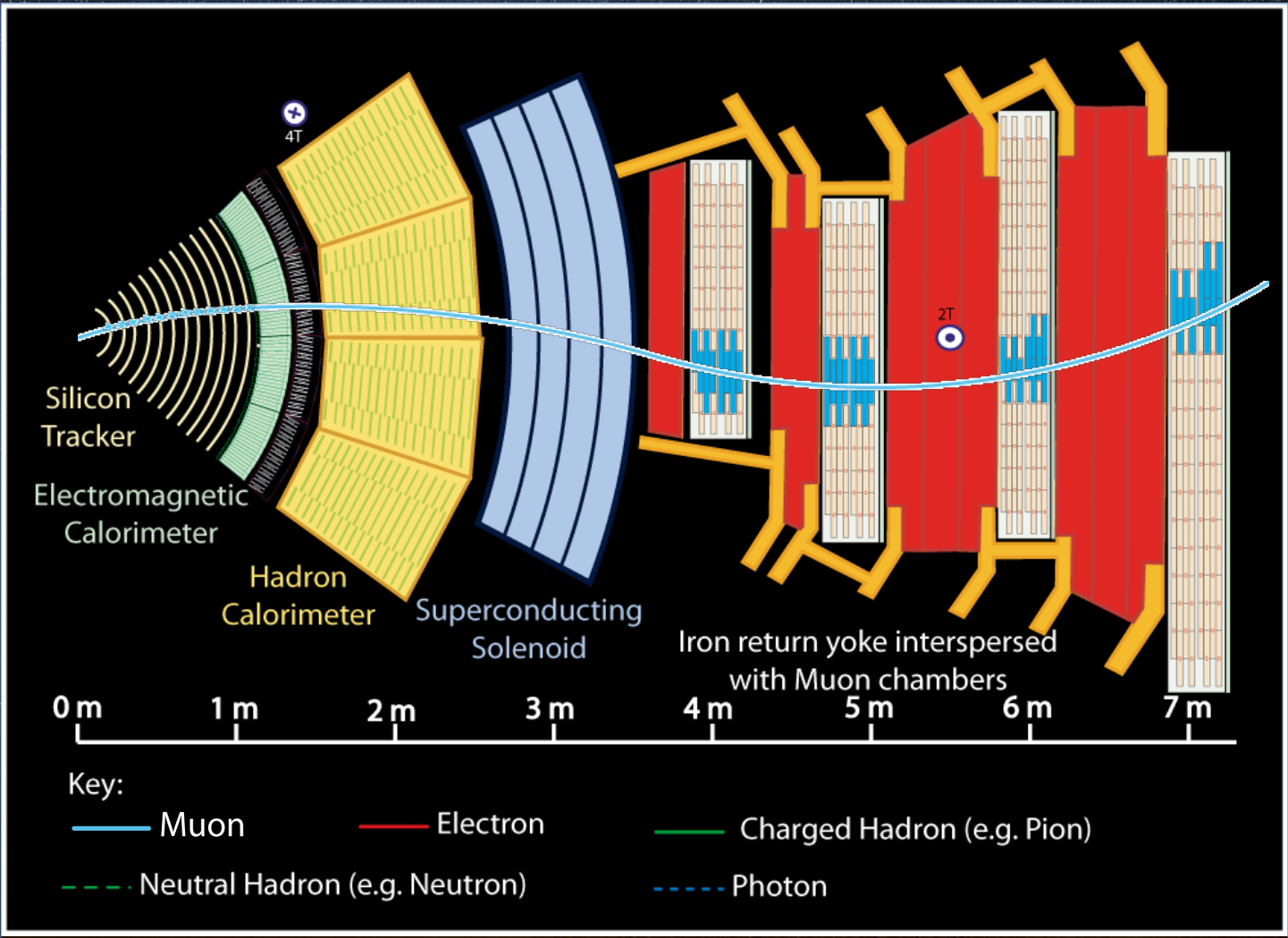
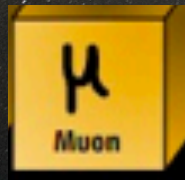
La costruzione di CMS

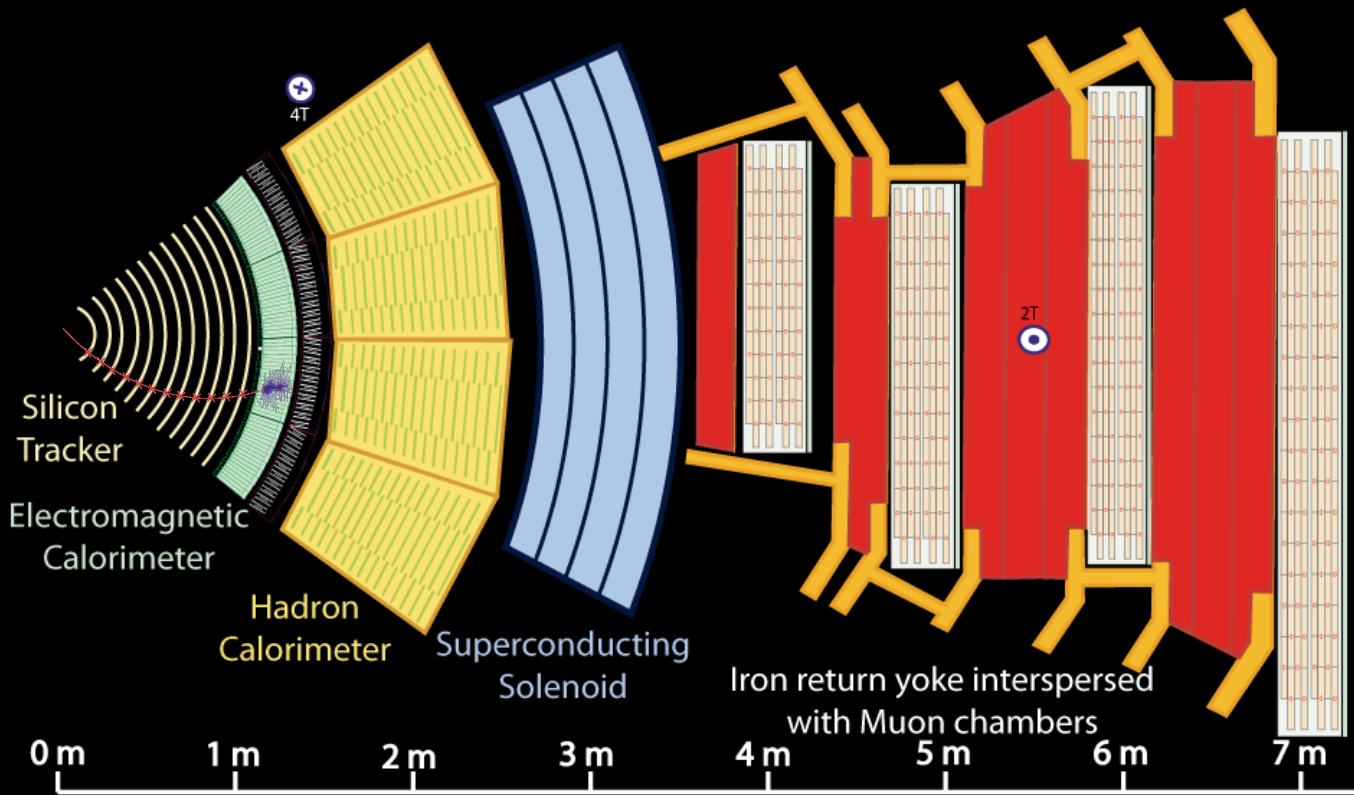


IL Modello Standard

The Standard Model



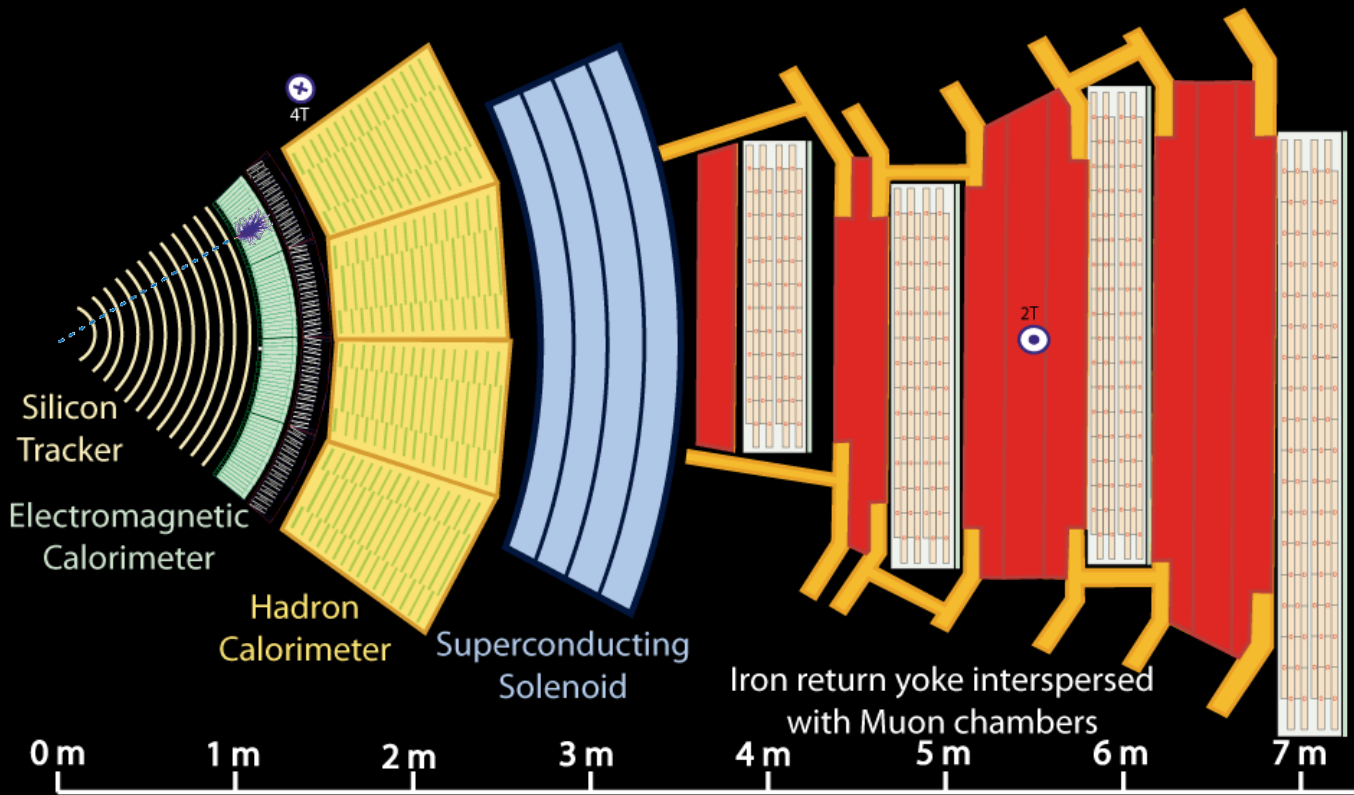




Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon





Key:

— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

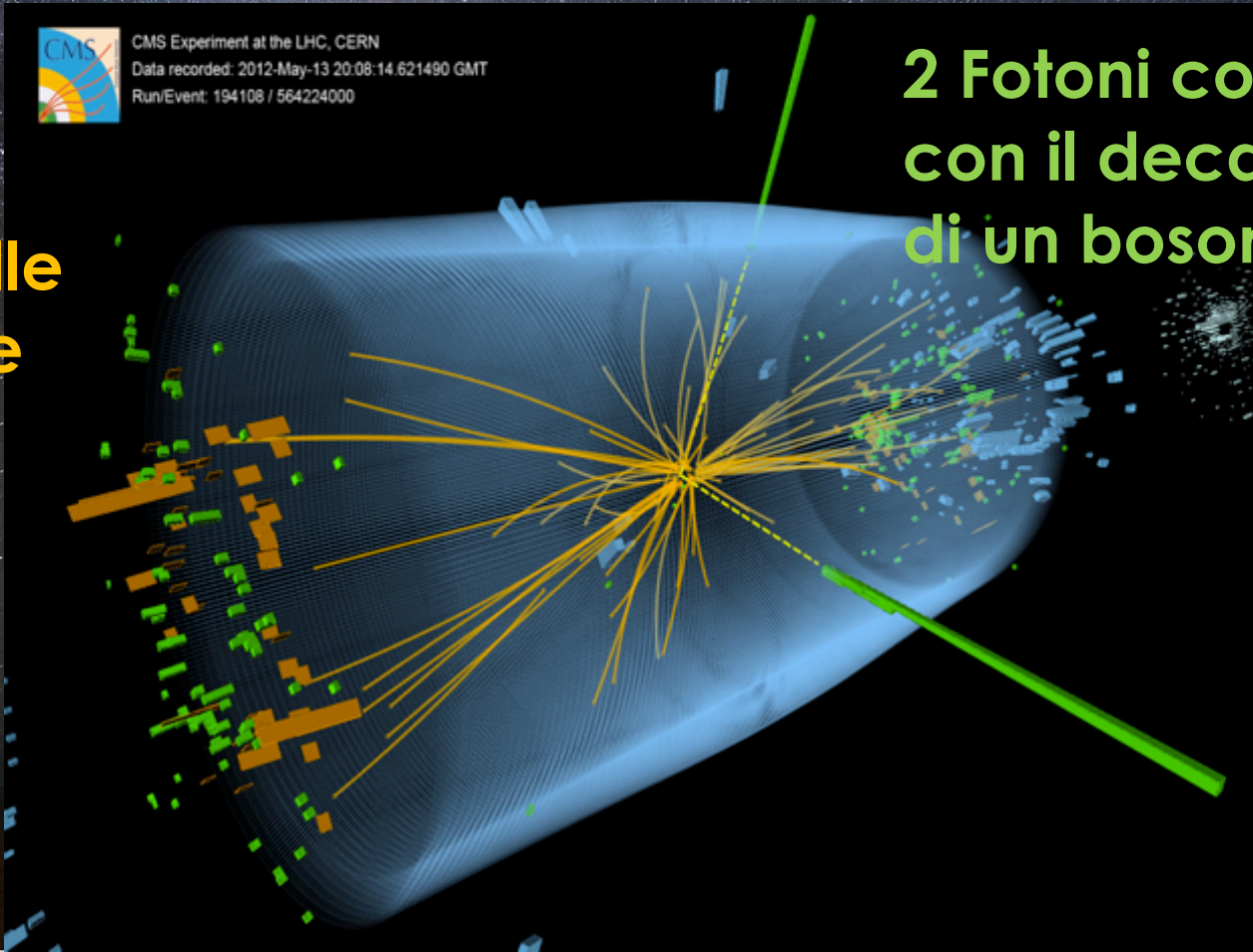
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Le Collisioni nel LHC

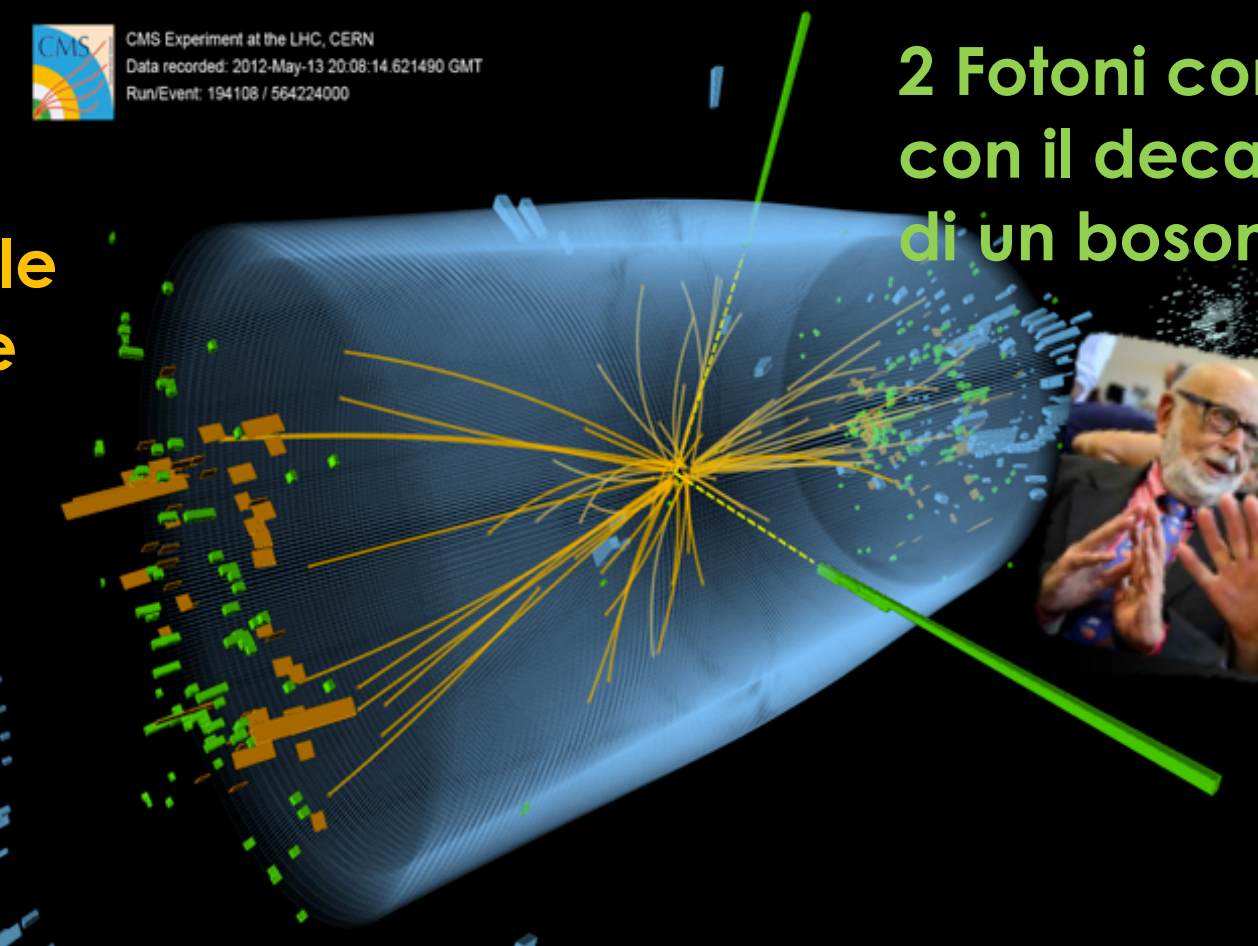
Tante
Particelle
Cariche



2 Fotoni compatibili
con il decadimento
di un bosone di Higgs

Un nobel portato a casa!

Tante
Particelle
Cariche



2 Fotoni compatibili
con il decadimento
di un bosone di Higgs



.. E ora?



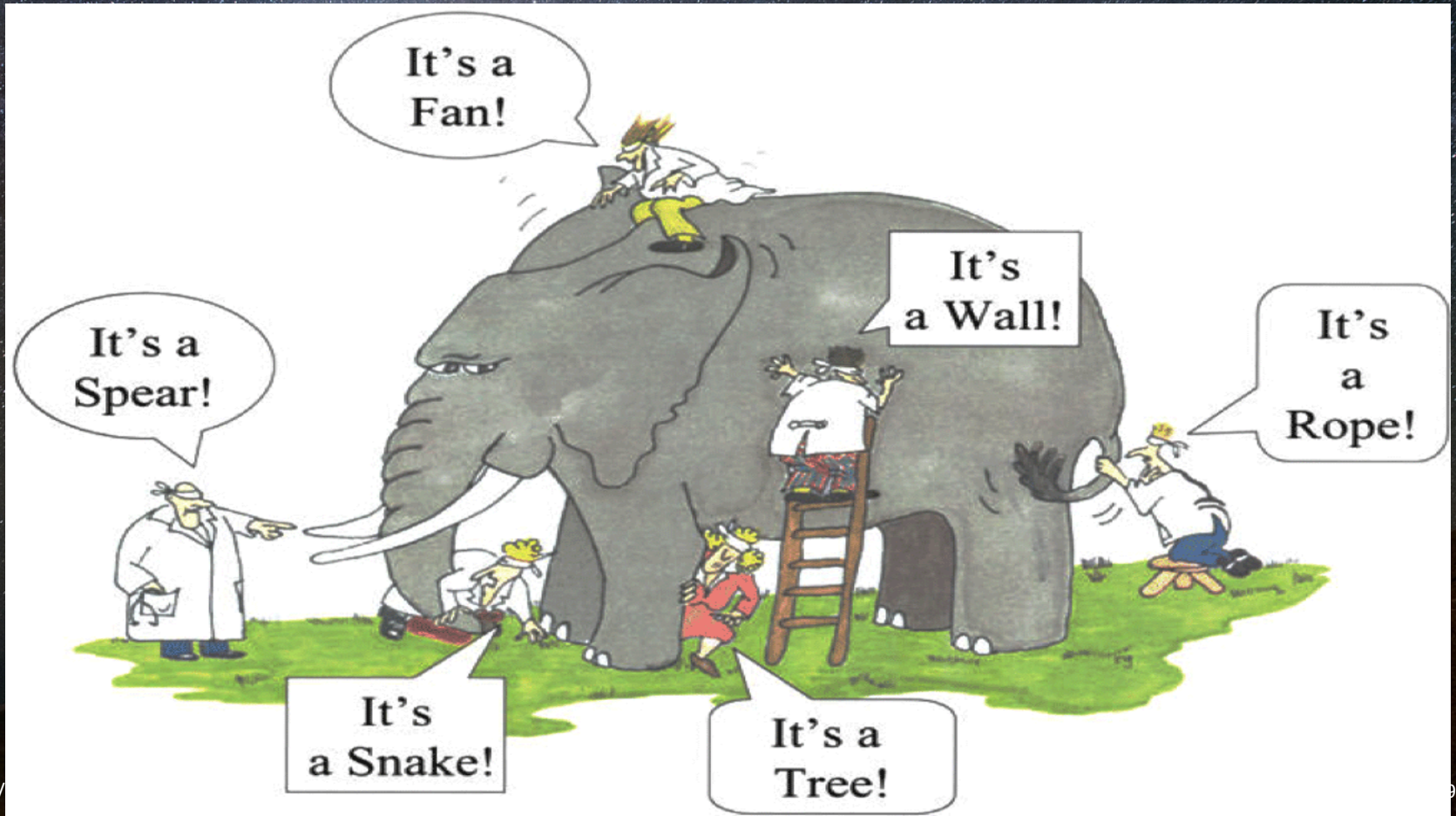
.. E ora?



.. E ora?



.. E ora?



Come non annoiarsi in tempi apocalittici

Art & **KIDS**
Science



[http://home.infn.it/it/comunicazione/
eventi/3952-particle-land-dirette-
facebook-per-le-scuole-dal-17-marzo-al-3-
aprile](http://home.infn.it/it/comunicazione/eventi/3952-particle-land-dirette-facebook-per-le-scuole-dal-17-marzo-al-3-aprile)



[https://www.facebook.com/avolteritornano/?
epa=SEARCH_BOX](https://www.facebook.com/avolteritornano/?epa=SEARCH_BOX)

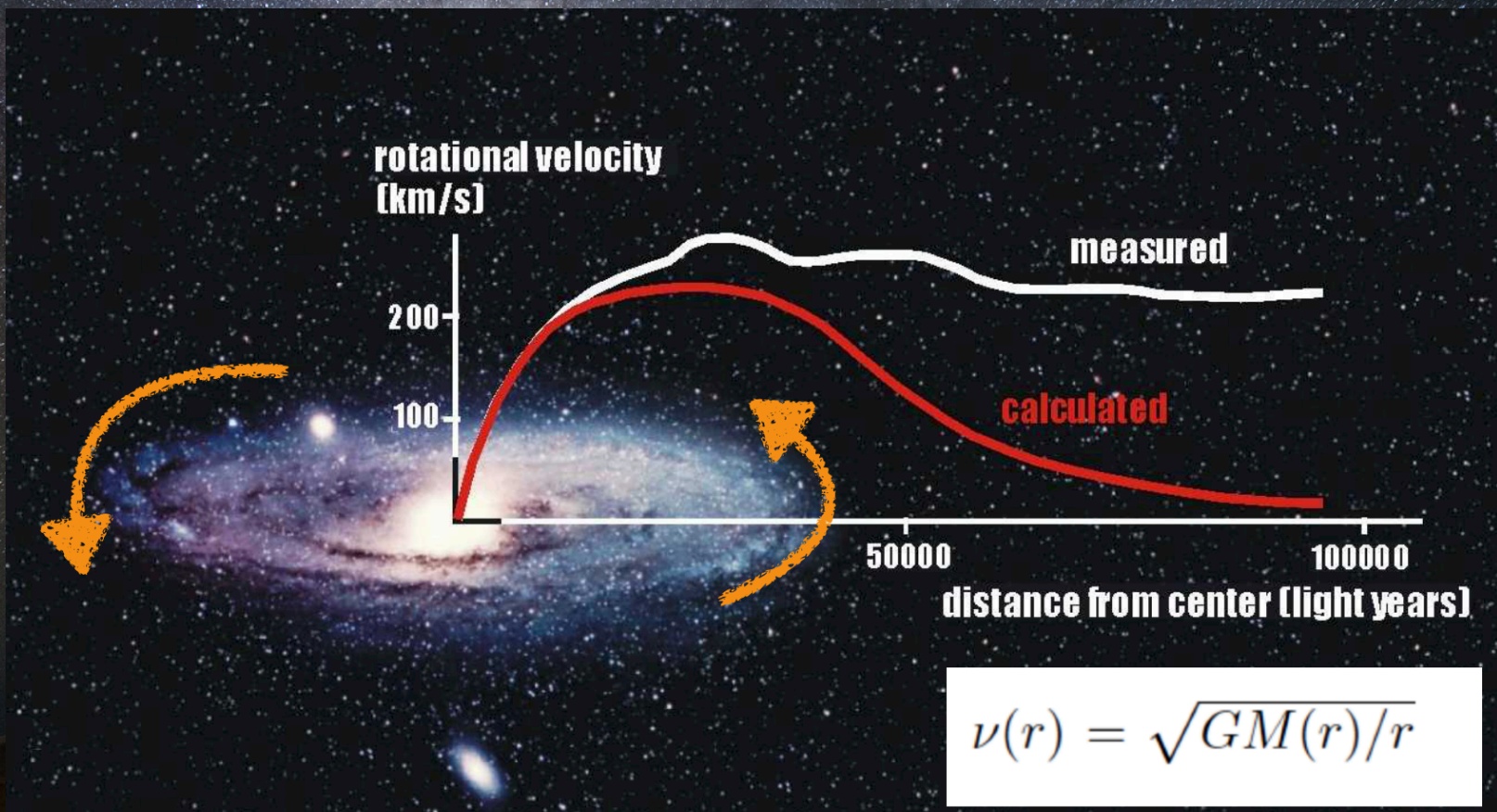


<https://www.radioscienza.it/fisicast/>

A night sky with the Milky Way galaxy and a desert landscape with sand dunes. The Milky Way is visible as a bright, cloudy band of stars stretching across the upper half of the frame. The foreground shows dark, rolling sand dunes under a starry sky.

Backup

La Materia Oscura



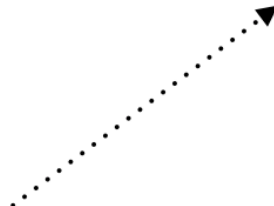
La Materia Oscura

- Un'**ipotetica particella di materia oscura** deve avere le seguenti caratteristiche:
 - elettricamente **neutra**
 - **stabile** rispetto all'età dell'universo
 - "**fredda**" (lenta)

???

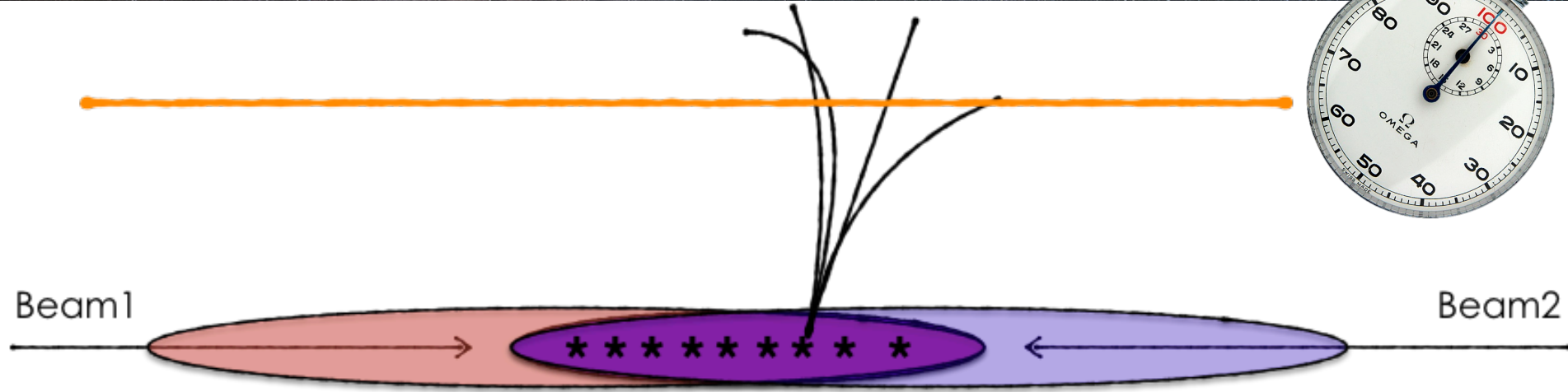


???



.. E mo? High Lumi LHC: 2026

Una Macchina Fotografica Gigante con un cronometro!



IL Timing Layer di CMS

