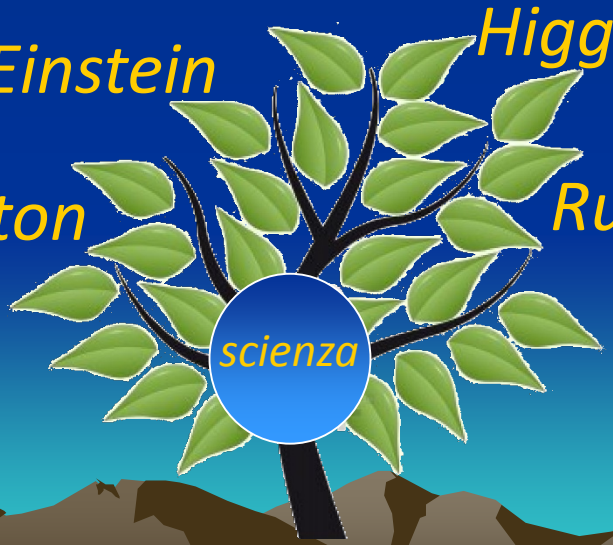
Le ultime scoperte della Fisica

L'università di Fisica di Bologna

Un giro tra l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande



... e tanti altri

Alessandro Goti
alessandro.goti@studio.unibo.it

roberto spighi, INFN Bologna
spighi@bo.infn.it

Liceo Scientifico C. Livi, 22/3/2016

GLI ULTIMI ANNI DELLA FISICA

4/7/2012 annuncio della scoperta del Bosone di Higgs

Infinitamente piccolo

11/2/2016 annuncio della scoperta delle onde gravitazionali

Infinitamente grande

Studi fortemente connessi
studi il piccolo → ottieni informazione sul grande
studi il grande → ottieni informazione sul piccolo

DOMANDE
- Cosa sono?
- Sono utili?
- Ci cambiano la vita?

IMPORTANZA DELLE DUE SCOPERTE

Bosone di Higgs

previsto nel 1964
(~50 anni fa)

Infinitamente piccolo (particelle) descritto dal Modello Standard

- Funziona benissimo
- Domanda non risposta: perché le particelle hanno massa?

Risposta: Bosone di Higgs

Onde gravitazionali

previsto nel 1915
(~100 anni fa)

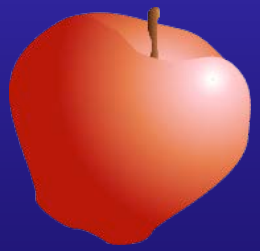
Infinitamente grande (universo) descritto dalla Relatività Generale

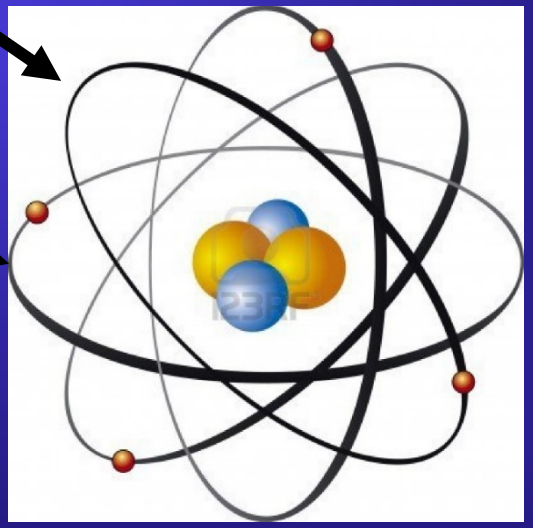
- Funziona benissimo
- descrive curvatura luce
- Chi può dare la conferma definitiva?

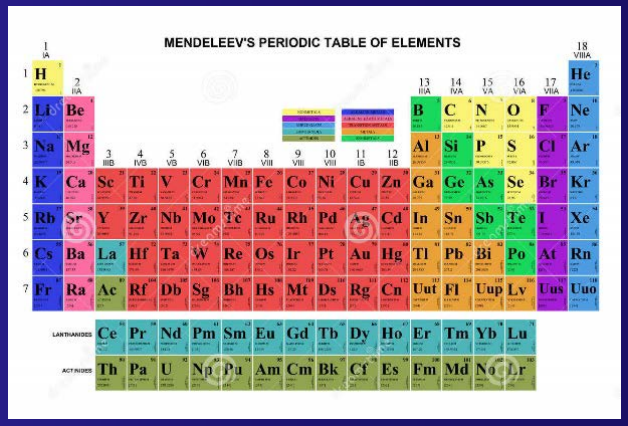
ONDE GRAVITAZIONALI

PARTIAMO DAL BOSONE DI HIGGS

Per comprenderlo bisogna partire dal «piccolissimo»







(p, n, e^-)

Film Atomo

SONO I COSTITUENTI ULTIMI?

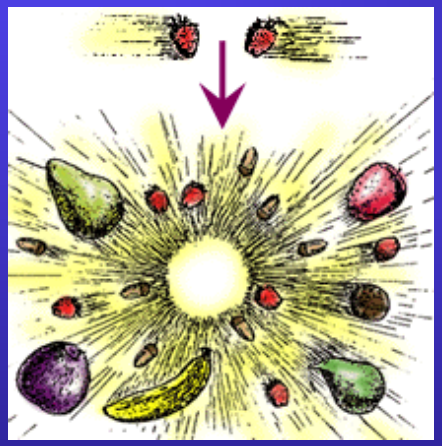
OPPURE SONO COMPOSTI DA ALTRE PARTICELLE?

SM

OLTRE LA MATERIA

ANNI ’50: STUDIO RAGGI COSMICI

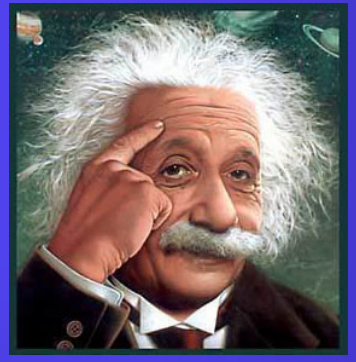
PARTICELLE URTANO L’ATMOSFERA
→ ALTRE PARTICELLE



PIONI, KAONI, MUONI
≠ PROTONI, NEUTRONI, ELETTRONI

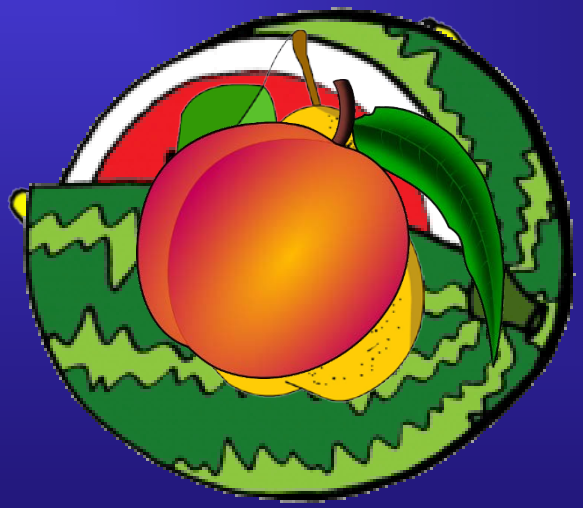
ALTRI TIPI DI PARTICELLE OLTRE LA MATERIA ORDINARIA

STRUTTURA INTERNA NEI PROTONI E NEUTRONI



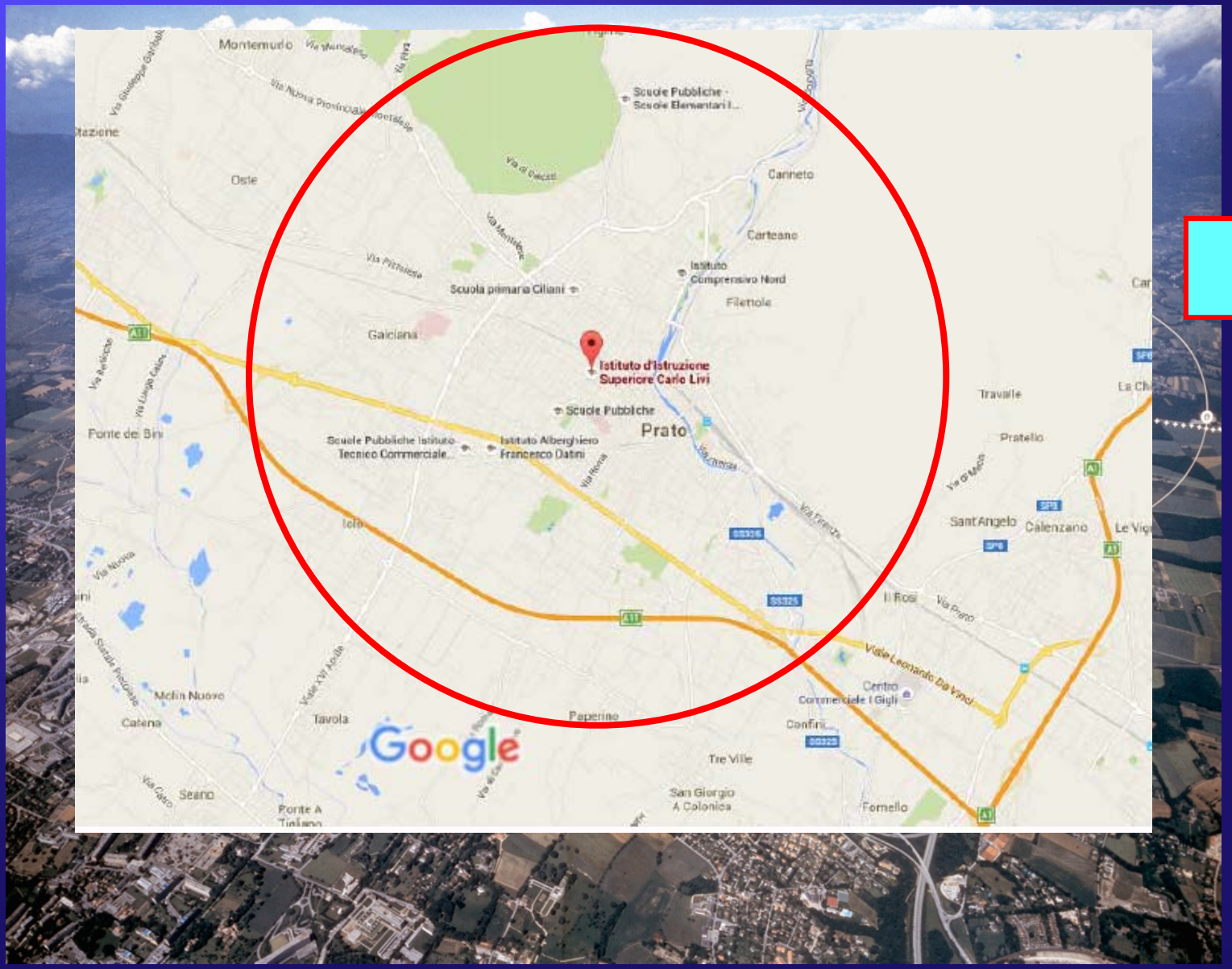
$$E = M c^2$$

ENERGIA ⇄ MASSA



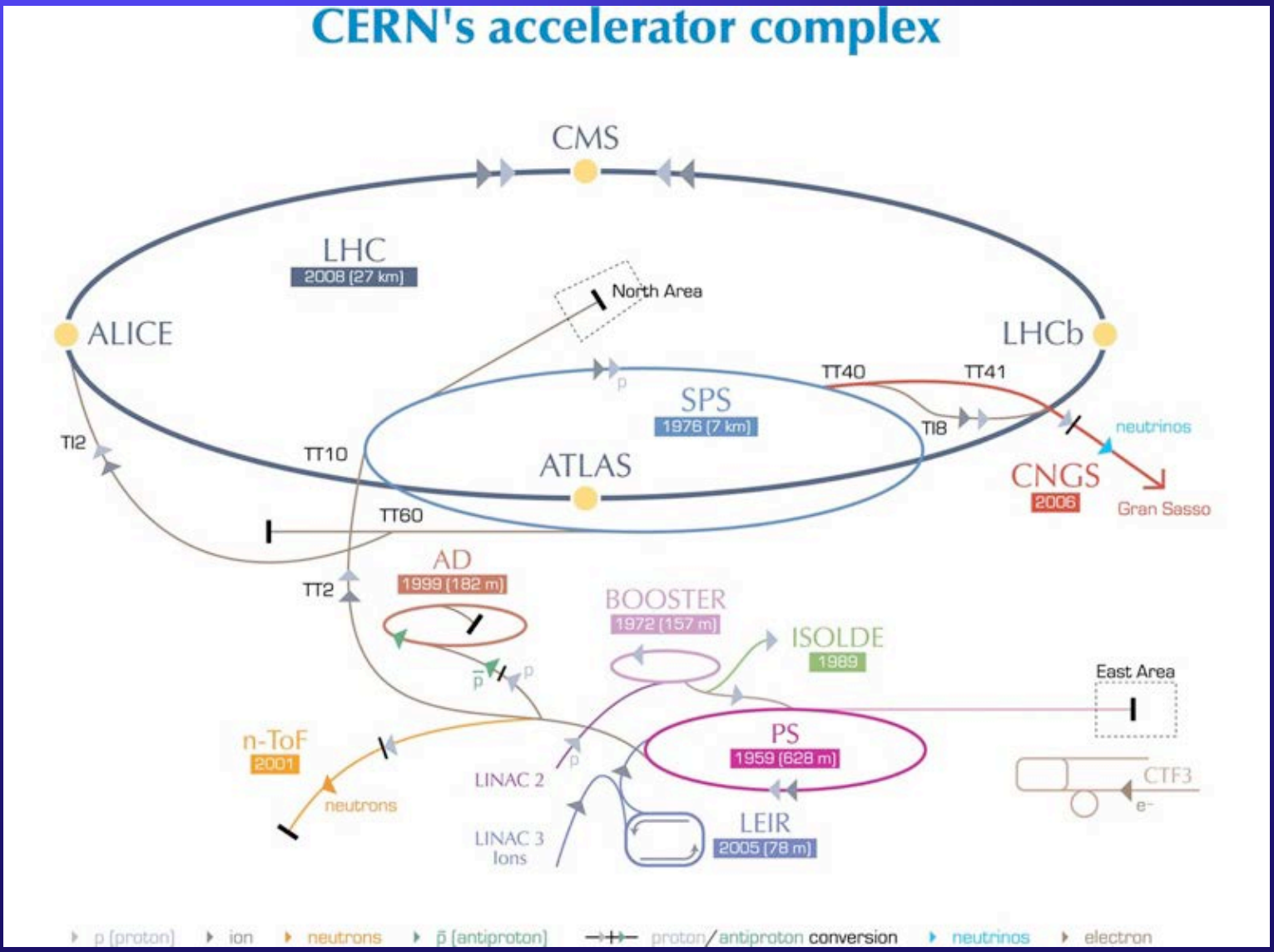
+ ACCELERATORE POTENTE → PRODUCO PARTICELLE NUOVE → STUDIO L'INFINITAMENTE PICCOLO → BIG BANG

LHC


Montemurlo
Oste
Canneto
Carteano
Filettole
Galciana
Istituto d'Istruzione Superiore Carlo Livi
Scuole Pubbliche
Prato
Istituto Alberghiero Francesco Datini
Scuole Pubbliche Istituto Tecnico Commerciale
Ponte de' Bini
Traviale
Pratello
Sant'Angelo
Calenzano
Il Rosi
Viale Leonardo Da Vinci
Centro Commerciale I Gigli
Confini
Tre Ville
Paperino
Tavola
Catena
Molin Nuovo
Seano
San Giorgio A Colonica
Fornello
Google

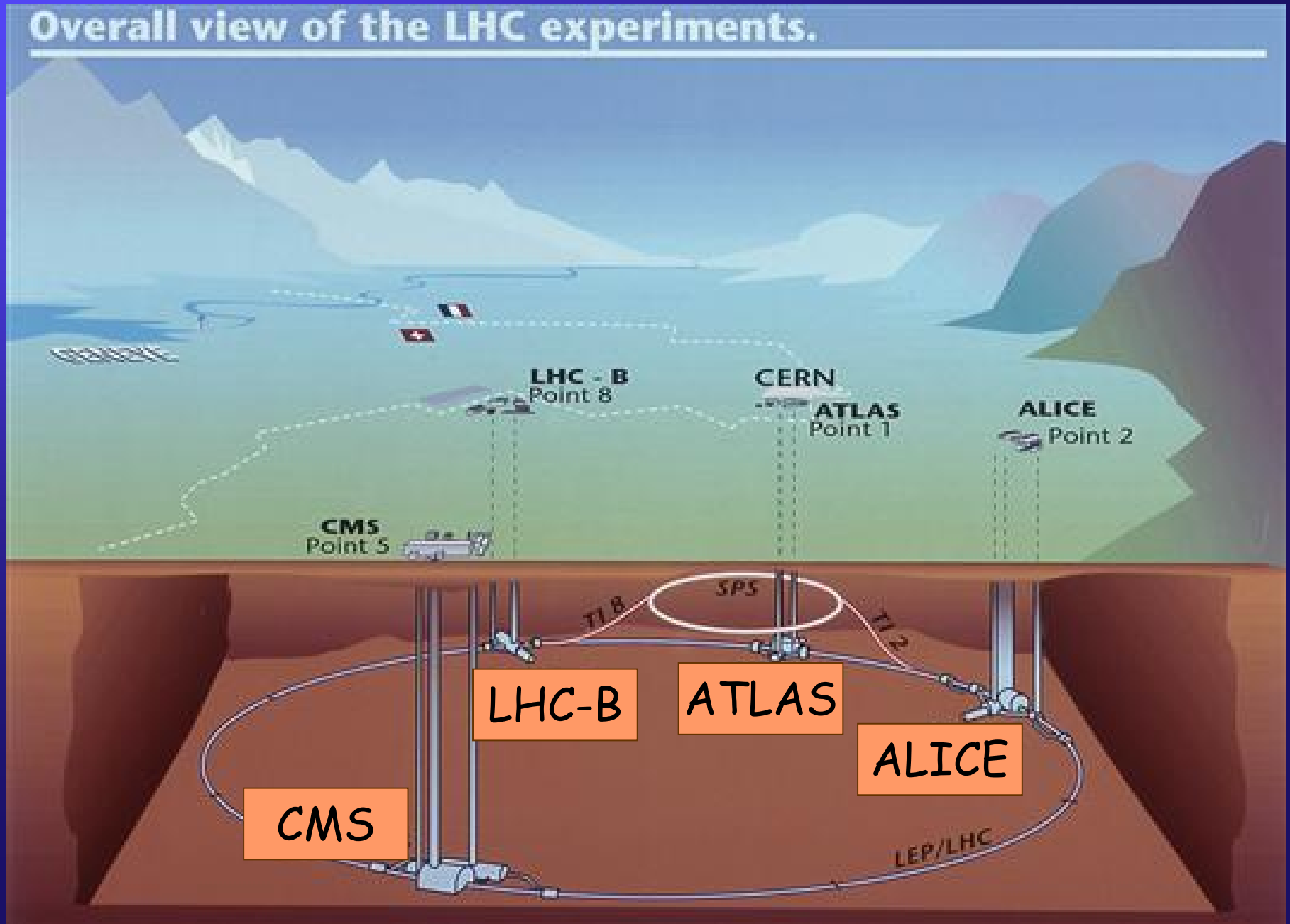
CERN

LHC

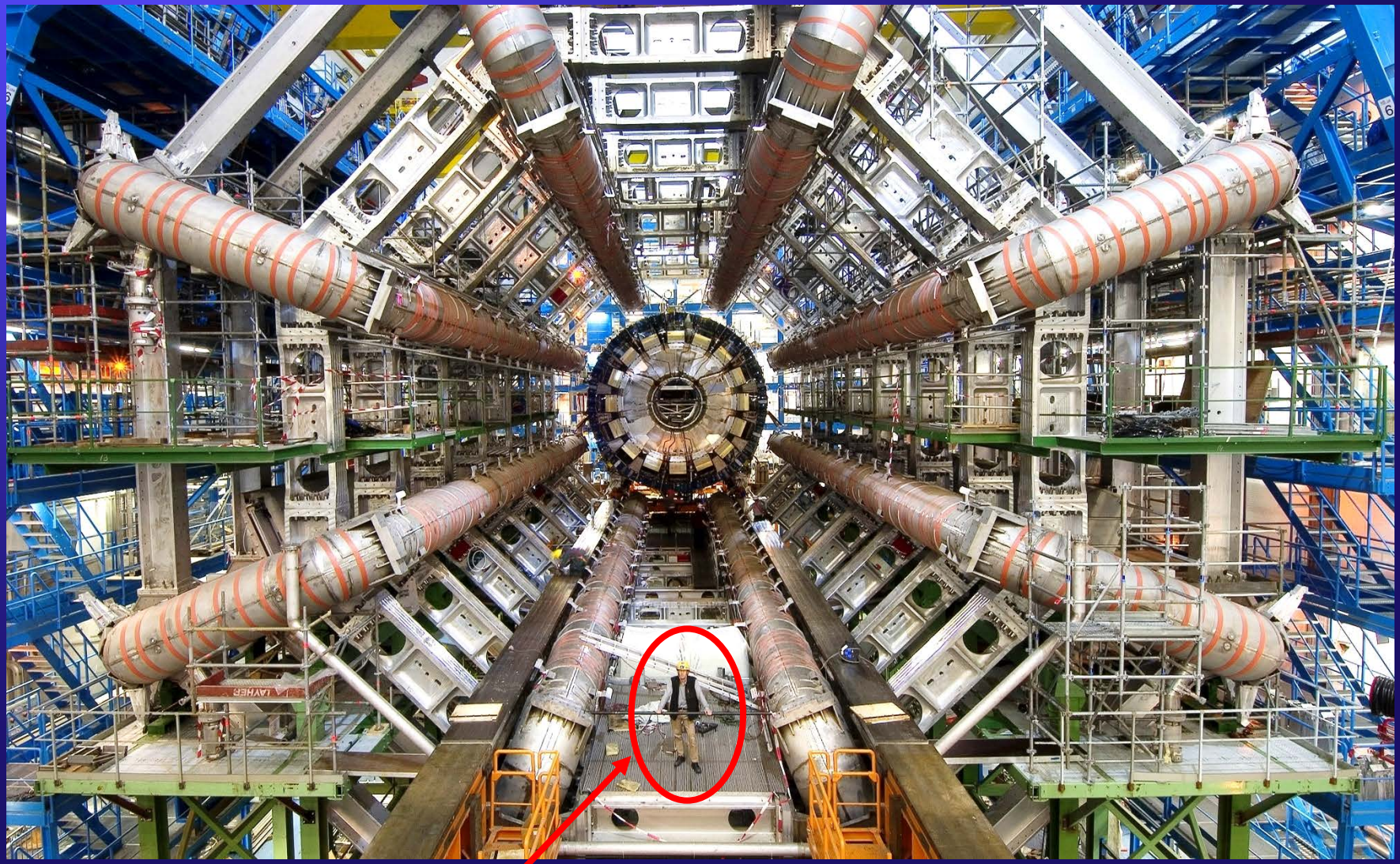

CERN's accelerator complex
CMS
LHC
2008 (27 km)
North Area
ALICE
LHCb
TT40
TT41
SPS
1976 (7 km)
TI8
neutrinos
TI2
TT10
ATLAS
CNGS
2006
Gran Sasso
TT60
AD
1999 (182 m)
TT2
BOOSTER
1972 (157 m)
ISOLDE
1989
East Area
n-ToF
2001
PS
1959 (628 m)
CTF3
LINAC 2
neutrons
LEIR
2005 (78 m)
LINAC 3
Ions
p (proton)
ion
neutrons
p̄ (antiproton)
proton/antiproton conversion
neutrinos
electron

LHC

I 4 esperimenti di LHC



ESPERIMENTO ATLAS



ESPERIMENTO CMS

L’esperimento CMS contiene piu’ ferro della Torre Eiffel !

LHC in 10 minuti

10 Settembre 2008: si parte

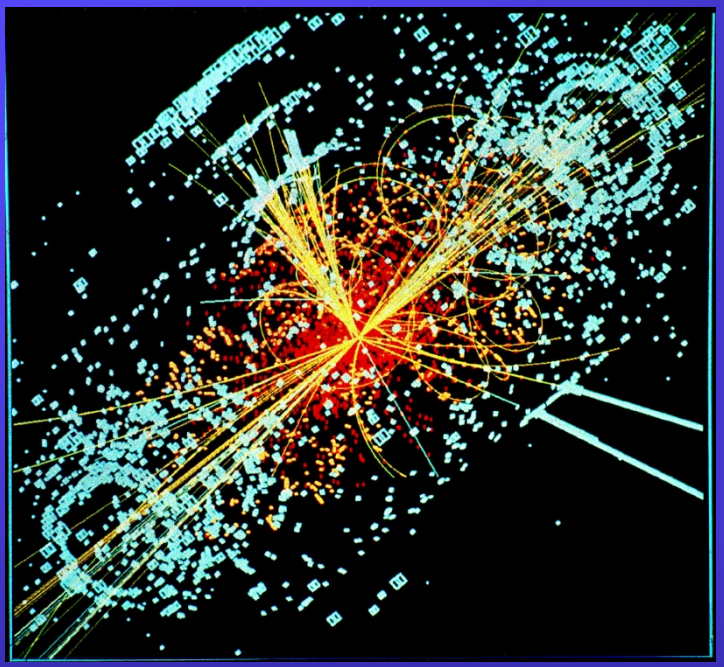
evento visto da ~ 1 Miliardo di persone !!!

… e dopo un “piccolo” incidente

19/9/2008

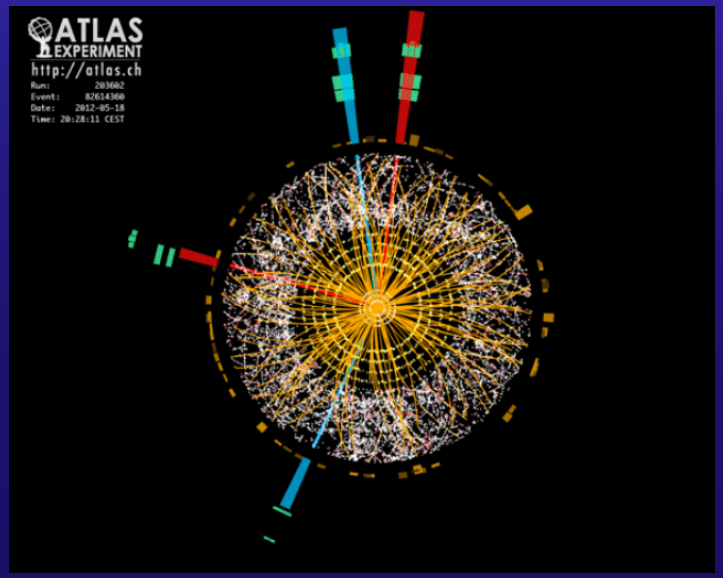
Problema a delle piccolissime saldature → esplosione (magneti di 30 T spostati di metri)

poi tutto bene



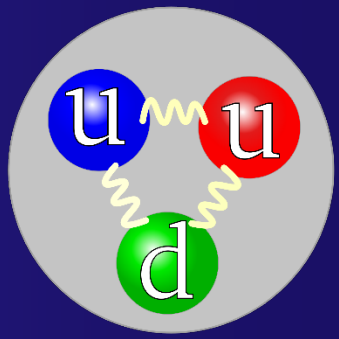
tipiche collisioni

CMS and ATLAS:
Higgs candidate



Chi sono i costituenti ultimi?

Atomi, p, n?



Mi aspetto che il MS mi dica che ci sono 3 particelle fondamentali: u, d, e

Modello Standard

ordinaria

	Leptoni			Quark		
Materia	e^-	μ^-	τ^-	u	c	t
	ν_e	ν_μ	ν_τ	d	s	b
Antimateria	e^+	μ^+	τ^+	$\bar{u}$	$\bar{c}$	$\bar{t}$
	$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$	$\bar{d}$	$\bar{s}$	$\bar{b}$

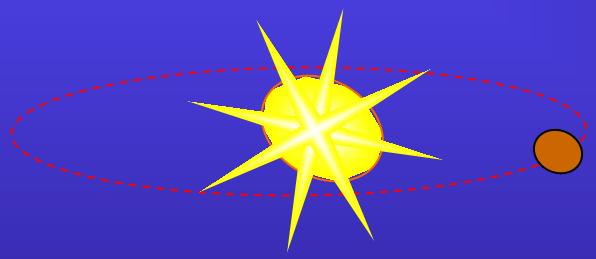
NON ordinaria

tutte le masse sono diverse: chi ha dato loro le masse?

Le 4 forze fondamentali

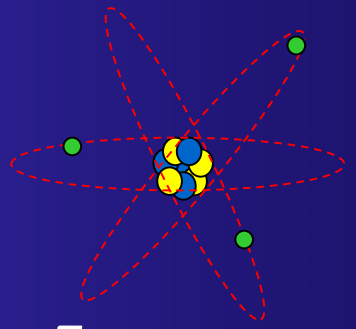
SM: le particelle interagiscono attraverso 4 forze

GRAVITA': UNISCE CORPI



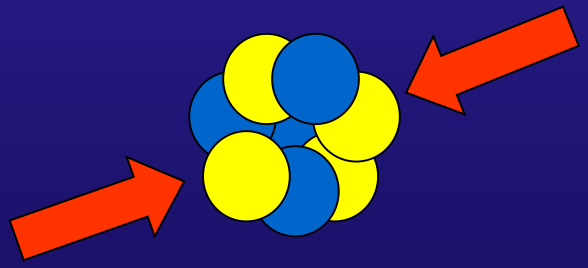
Gravitone G

E.M.: UNISCE ATOMI



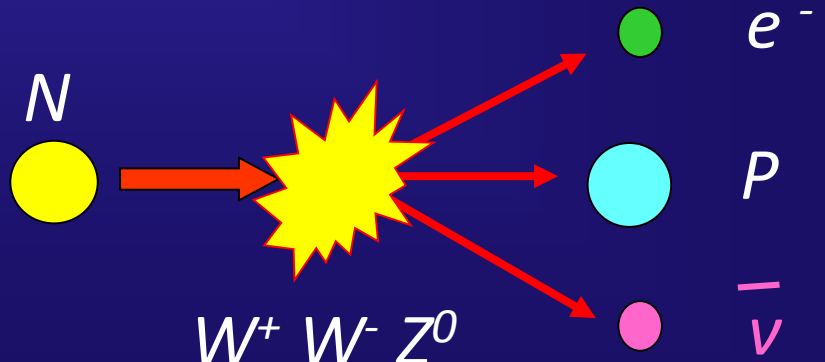
Fotone γ

FORTE: UNISCE NUCLEI



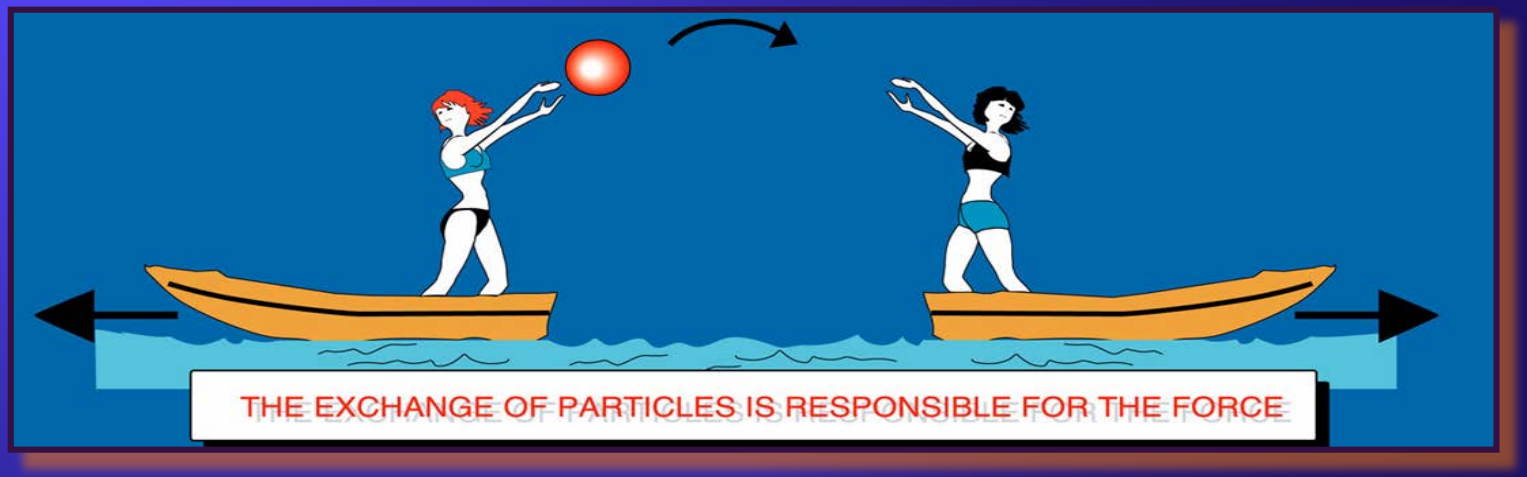
Gluoni g^k

DEBOLE: DECADIMENTO



I mediatori delle 4 forze

FORZE TRA PARTICELLE = SCAMBI DI PARTICELLE → AZIONE A DISTANZA



Forze		
	Gravitazionale	G
	Elettromagnetica	γ
	Debole	$W^+ W^- Z^0$
	Forte	g^k

NON INCLUSA NELLO SM

Il vuoto

Rimane un campo (ad es.gravitazionale)

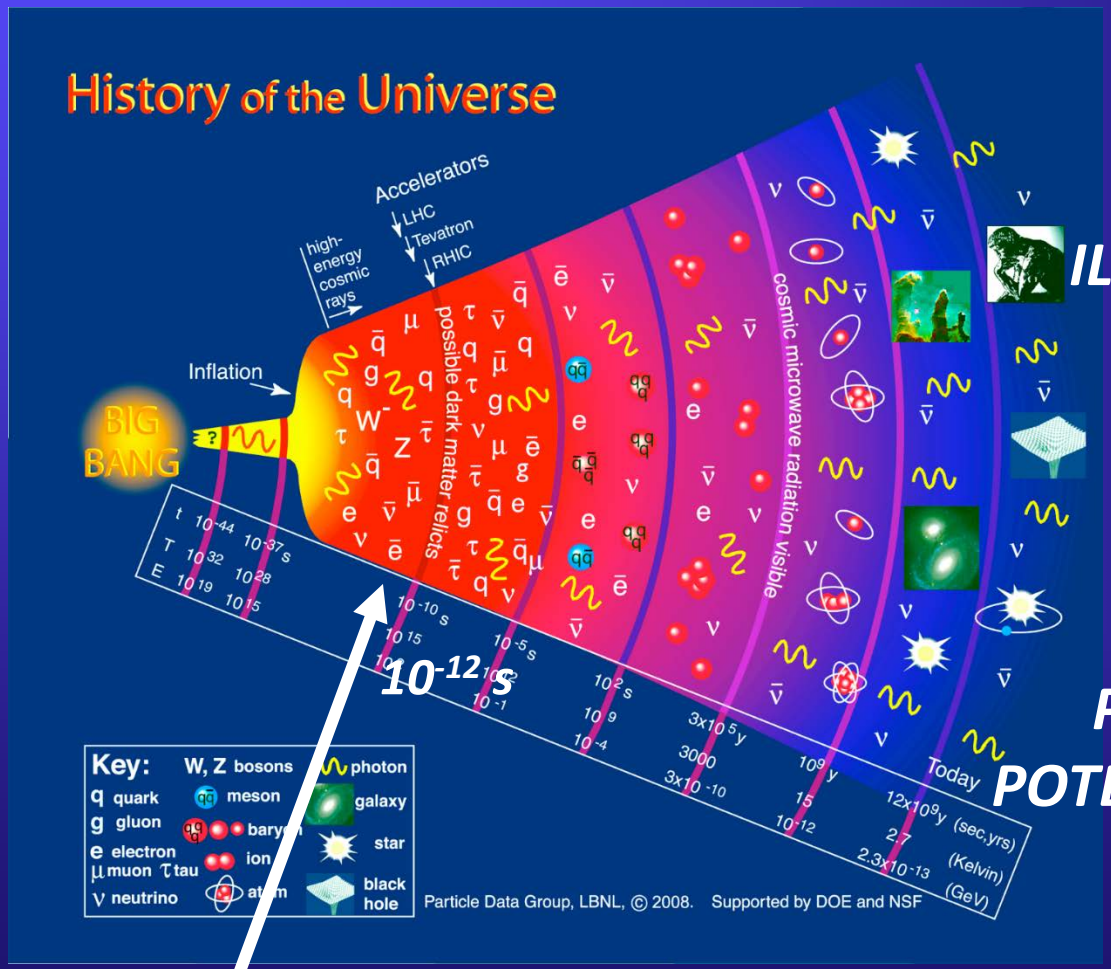
Il vuoto é un ~ campo

che scambia delle particelle

Il bosone di Higgs

Higgs

L'importanza del Bosone di Higgs



10^{-12} s

LHC Higgs

IL BOSONE DI HIGGS HA UN RUOLO FONDAMENTALE NELL'EVOLUZIONE DELL'UNIVERSO

PIU' UN ACCELERATORE E' POTENTE PIU' SI AVVICINA AL BIG BANG

L'INFINITAMENTE PICCOLO SPIEGA L'INFINITAMENTE GRANDE

QUESTIONI APERTE

UNIVERSO CHIUSO O APERTO?

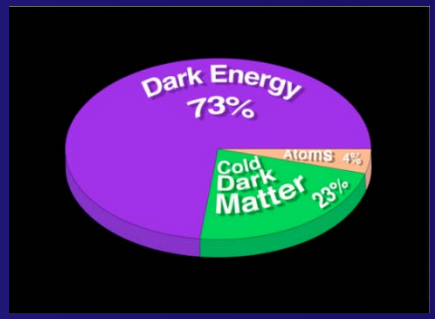
*Se vi é massa > ~5 atomi /m^3 → UNIVERSO CHIUSO → si espande e poi ricollassa (**BIG CRUNCH**)*

Big Crunch

*Altrimenti, espansione infinita (**UNIVERSO APERTO**)*

Misure non chiare, ma sembra favorito UNIVERSO APERTO

QUANTO CONOSCIAMO DELL'UNIVERSO?



MATERIA ORDINARIA (p, e, n) → 4%

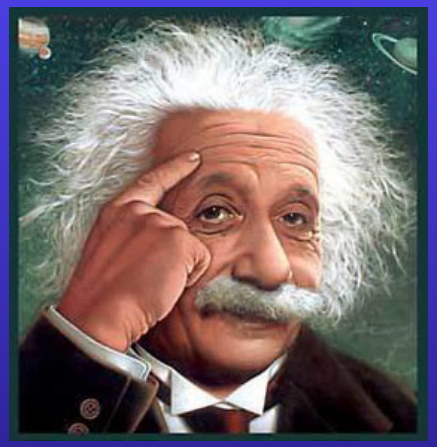
MATERIA OSCURA → 23% { *NEUTRALINI , WIMP*
PARTICELLE SUPERSIMMETRICHE

ENERGIA OSCURA → 73% { *CAMBIARE RELATIVITA' GEN*

LE ONDE GRAVITAZIONALI

11/2/2016 annunciata la scoperta delle onde gravitazionali

FONDAMENTALE perché



Ulteriore conferma
della relatività generale
di Einstein (1916)

Oltre curvatura della luce

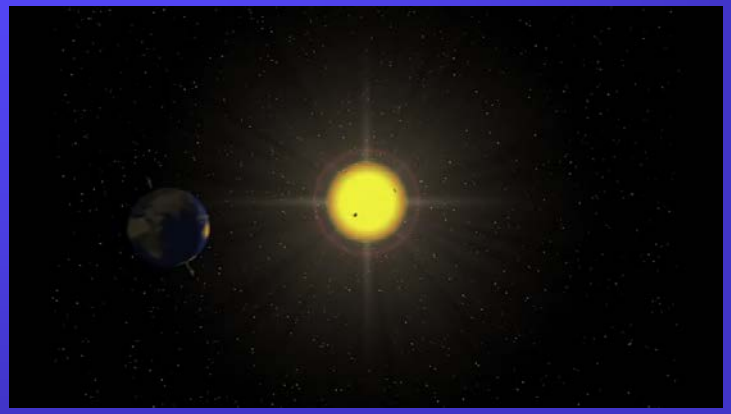
Apre un nuovo modo di
scoprire l'universo

La luce può non arrivare,
invece le onde gravitazionali
oltrepassano tutti i corpi

Relatività generale

avanti

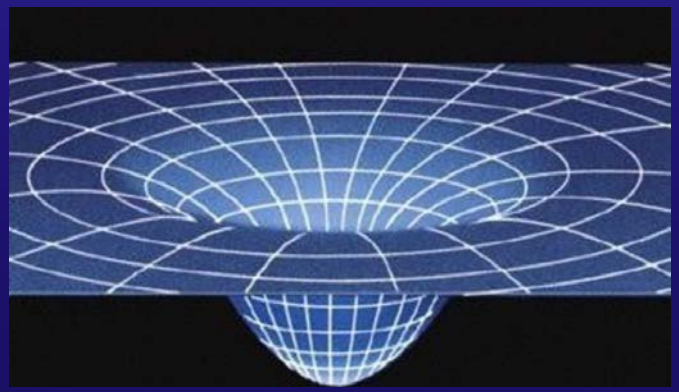
LA RELATIVITA' GENERALE



NEWTON: 2 CORPI SI ATTRAGGONO TRAMITE FORZA GRAVITAZIONALE (FUNZIONA BENISSIMO)

EINSTEIN: NON SI PARLA PIU' DI FORZA, MA OGNI MASSA PERTURBA LO SPAZIO-TEMPO

Più una massa è grossa, più incurva lo spazio-tempo circostante → i corpi intorno risentono della curvatura

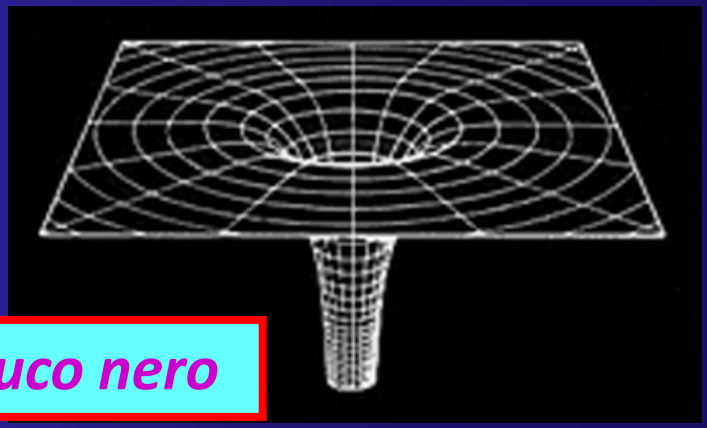


«Tessuto Spazio-Tempo»

Onde gravitazionali

BUCO NERO

oggetto densissimo → campo gravitazionale così forte e niente può uscire



Curvatura del buco nero

corpo denso → velocità di fuga è >c (terra è 11.2 Km/s)

COME SI FORMA

STELLA finisce il carburante per la fusione nucleare implode per la forza di gravità

PICCOLA (Sole)
nana bianca

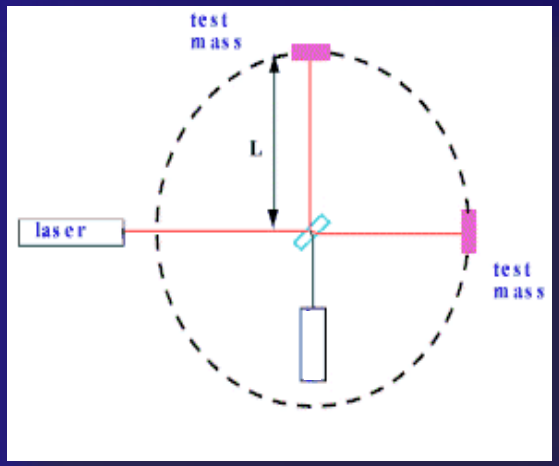
GRANDE
Esterno → esplode (supernova)
Interno → stella neutroni o buco nero

LE ONDE GRAVITAZIONALI

Ogni corpo accelerato produce onde gravitazionali

Increspature dello spazio-tempo

TERRA si espande (comprime) di quantità impercettibili



EVENTO DISASTROSO

STRUMENTI SENSIBILISSIMI

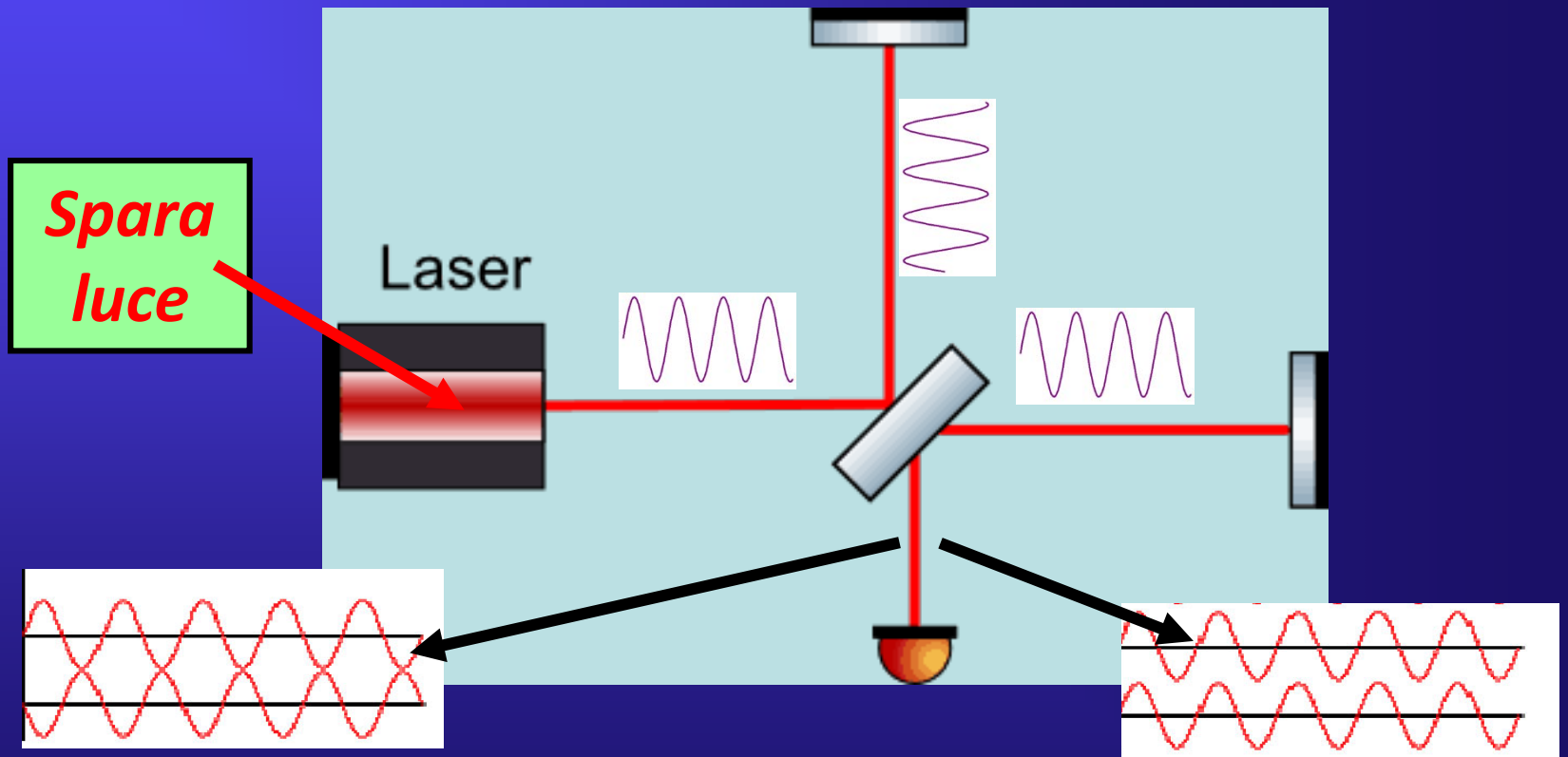
QUELLO RIVELATO

(10^{-18} m) per metro → su tutta la terra << di miliardesimo di metro

INTERFEROMETRI

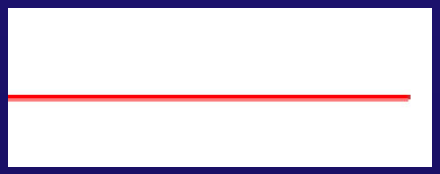
INTERFEROMETRO

2 braccia molto lunghe (aumenta effetto) perpendicolari



Interferenza distruttiva

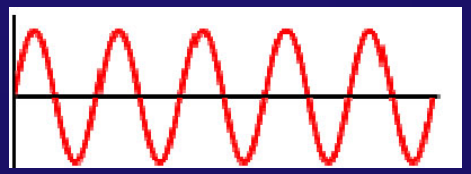
BUIO



Vediamo meglio

Interferenza costruttiva

LUCE



SEGNALE PICCOLO RUMORE ALTO

Onda Gravitazionale → segnale piccolissimo (<< nucleo)

Ogni vibrazione (camion, scossa terremoto, …) dà falsi segnali

Vari rivelatori sparsi per il mondo

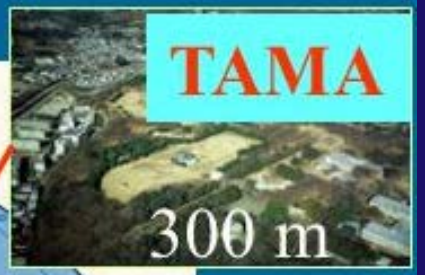
Tanti sviluppi tecnologici per ridurre al minimo il rumore

- Vuoto spinto
- sistema sospeso
- criogenia
- Uso di specchi …

Virgo 1 ***Virgo 2*** ***Virgo 3*** ***Virgo 4***

vai

INTERFEROMETRI IN COINCIDENZA



Rivelato l'onda gravitazionale

In fase di miglioramento

torna

VIRGO

Cascina Pisa

Braccia lunghe 3 km

Collaborazione italo-francese (CNRS - INFN)
> 300 ricercatori

Progetto approvato nel 1994 e finito 2007

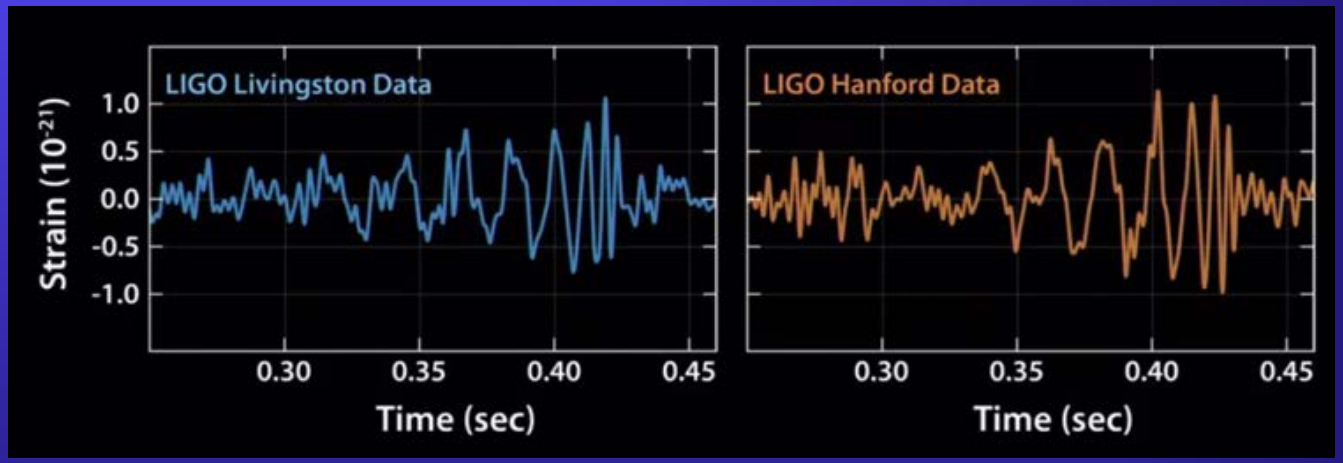
Ha cercato onde gravitazionali dal 2007 al 2011

Attualmente è in fase di miglioramento per aumentare la sensibilità (a settembre dovrebbe ripartire)

LA SCOPERTA

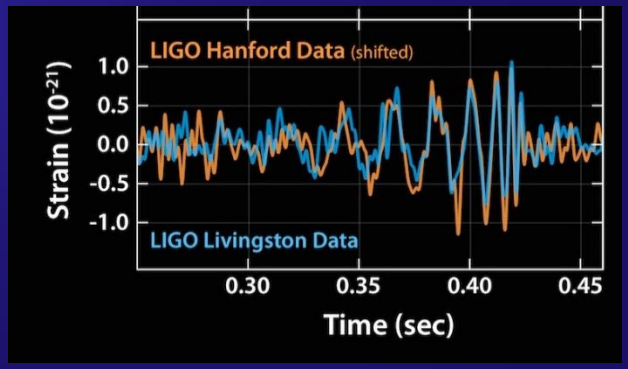
14/9/2015 ore 10.50 e 45’’ ora italiana

2 segnali identici e contemporanei nei due LIGO (USA)



Segnale

- 2 buchi neri di massa ~29 e ~36 Ms
- velocità di rotazione ~ 0.5 c
- Liberata energia ~ 3 Ms
- 1.3 miliardi di anni fa



Definitiva conferma della relatività generale

LA RICERCA IN FISICA E' SERVITA AL MONDO?

Alcune delle invenzioni degli ultimi 100 anni

- Il transistor
- Il laser
- La microelettronica
- Il computer
- L'energia nucleare
- I raggi X
- Le tecniche di diagnostica medica (RMN, PET, etc)
- Il WEB
- La Adroterapia
- Il GPS

.....

Ovviamente non posso parlare di tutte

Ricadute tecnologiche

medicina
adroterapia,
pet,tac ...

informatica
web

Tecnologia
elettronica,
telefonia ...

Conoscenza
... è sempre ut

nanotecnologie

PET (POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY)

Quando G
stimolò i nervi di
e mosse le zampe.

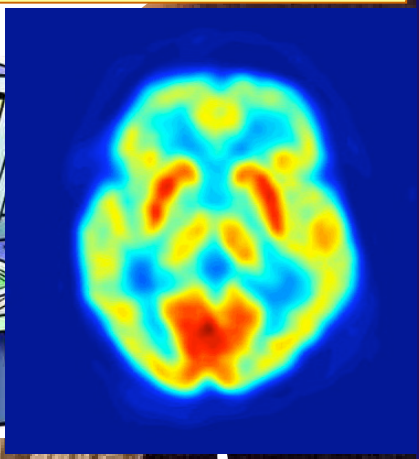
Co

EMETTE UN e^+

19

telefonin

$e^+e^- \rightarrow \gamma\ \gamma$



computer3D

ISOTOPO CHE
DECADE

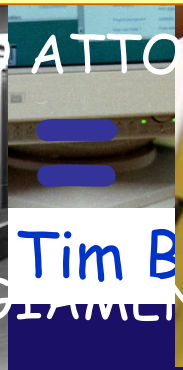
non pensava di
all'inizio di una

< 40 anni

MACCHINA

TAC (TOMOGRAFIA ASSIALE COMPUTERIZZATA)

RAGGI X CHE RUOTANO ATTORNO AL PAZIENTE



ADROTERAPIA

Tim B

CURA DEI TUMORI → IRRAGGIAMENTO CON PROTONI

CONCLUSIONE

TANTE QUESTIONI APERTE, MA TANTE COMPRESE

STUDIARE L'IMMENSAMENTE PICCOLO

CAPIRE L'IMMENSAMENTE GRANDE

FARE RICERCA (IN TUTTI I CAMPI) E' FONDAMENTALE

Grazie a tutti

SLIDES DI RISERVA

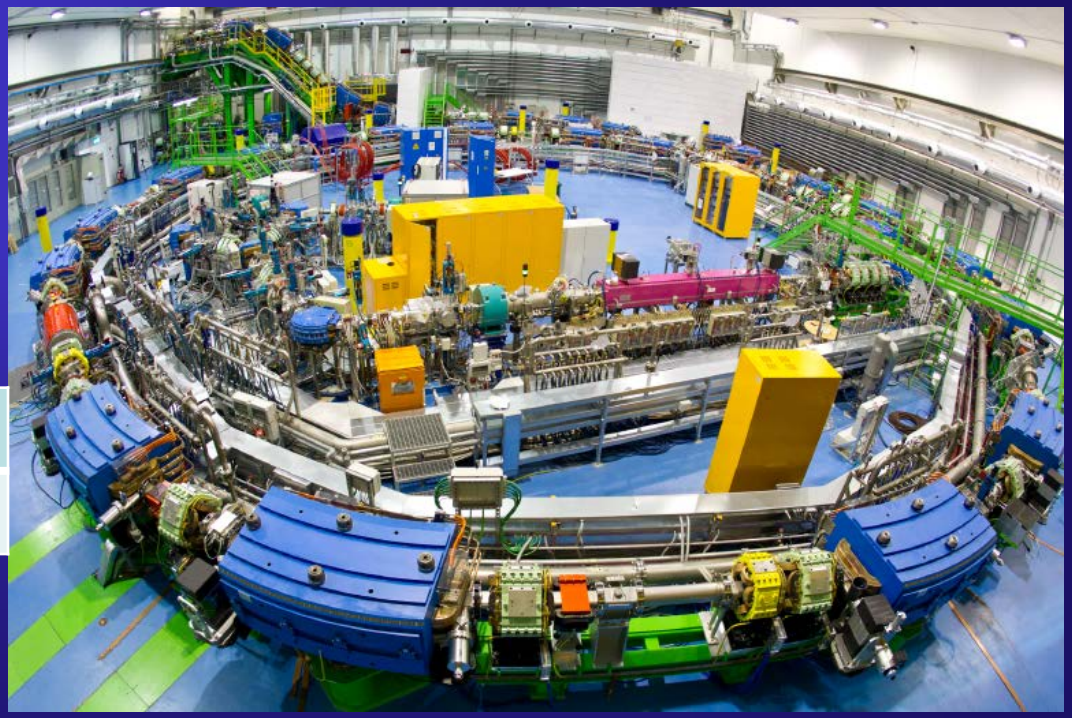
CNAO (PAVIA)

Protoni o ioni per distruggere DNA cellule tumorali

Molto preciso e non crea danni nelle zone sane

Molto costoso

Ciclo intero ~ 25 Keuro



Anni	2014	2015 (fino 6/11)
Pazienti	219	283

Catania → tumore all'occhio

Trento

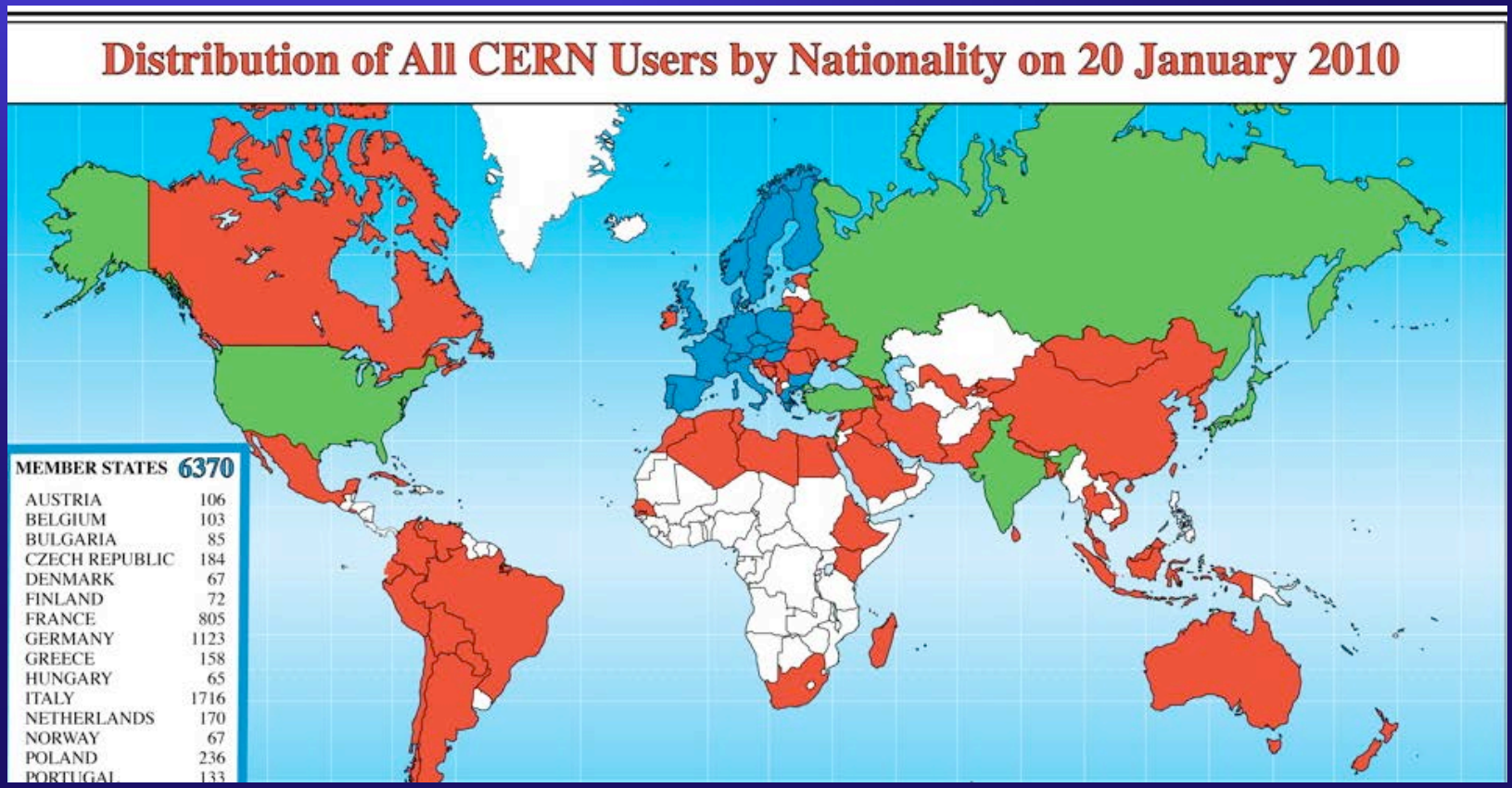
LHC

I numeri di LHC

- *Macchina più grande al mondo*
  - *27 km (100 m profondità)*
    - *protone fa 11000 giri/s*
    - *40 milioni di collisioni al secondo*
    - *9300 magneti superconduttori*
  - *posto più freddo e più caldo dell'universo*
    - *magneti superconduttori -271 C = 1.9 K*
    - *nell'urto la "temperatura" è 1000 miliardi > T sole*
  - *ogni anno 1 exp acquisisce dati = 100 milioni di* DVD

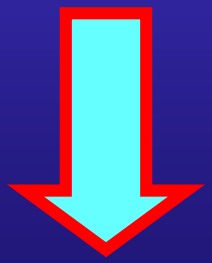
Le persone al CERN (1954)

- *2600 dipendenti*
- *10000 ricercatori da piu' di 500 universita' in 80 paesi*
- *700 ricercatori italiani coinvolti*



I costi

- *tot 6 miliardi € (budget annuo: 600 milioni €)*
- *sovvenzionato da 20 stati membri*
  - *ITALIA ~700 milioni € →ritorno di ~1.5 volte*
  - *70 milioni € /anno (con un indotto di 1.5 volte)*



E' tanto? Sicuramente, però ...

confronti

Una settimana di guerra in Iraq

6 miliardi € = *Quattro bombardieri B-2*

Un centesimo dei soldi per salvare le banche USA

ITALIA

Costo Parlamento italiano Montecitorio 940 M€/anno

1 km di alta velocita’ (60-65 M€) = budget CERN per 1 anno

COSTO PER OGNI ITALIANO

1 euro e 20 centesimi l’anno, per 10 anni.

LA RELATIVITA'

RISTRETTA (1905)

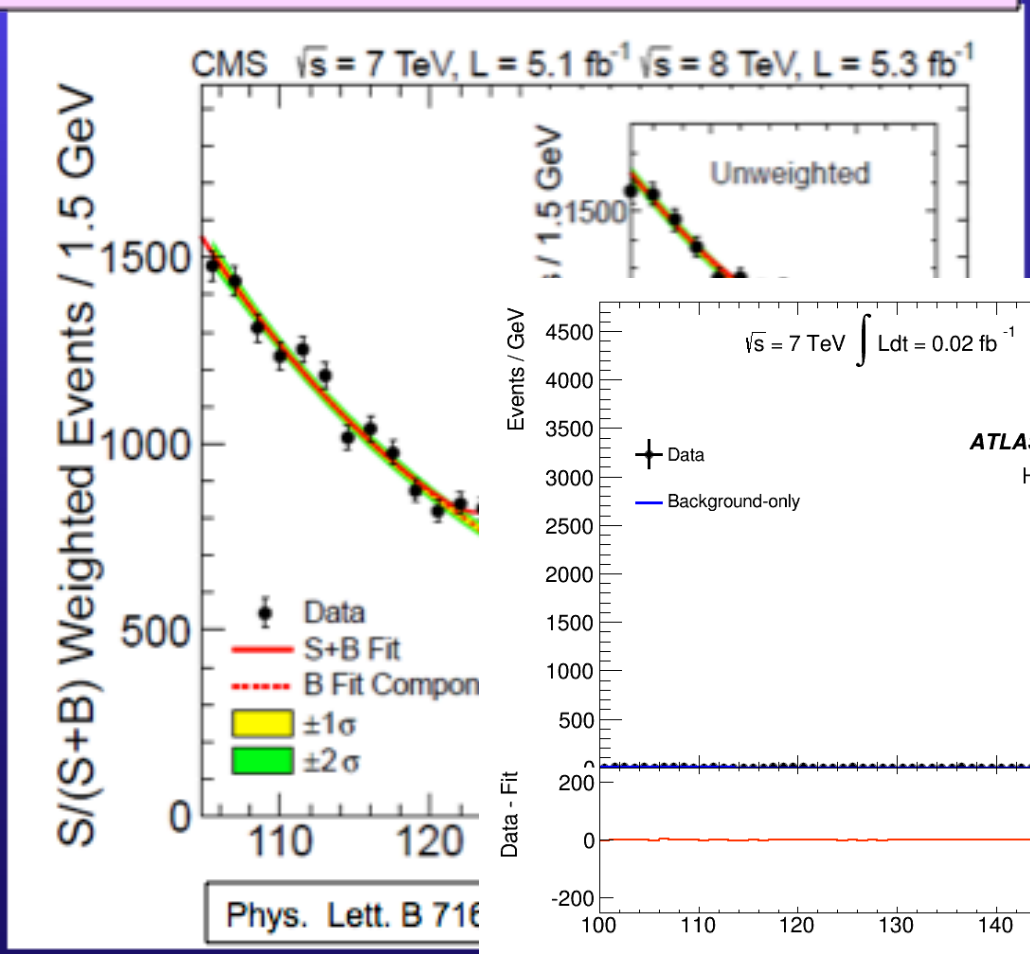
- *Spazio e tempo relativi*
- *Velocità della luce è costante*
- $E = M c^2$

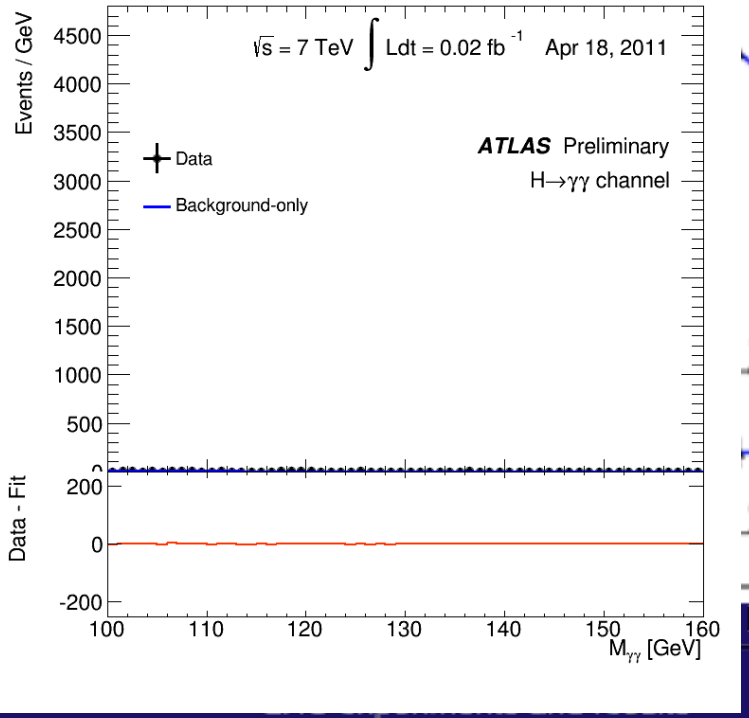
GENERALE (1915)

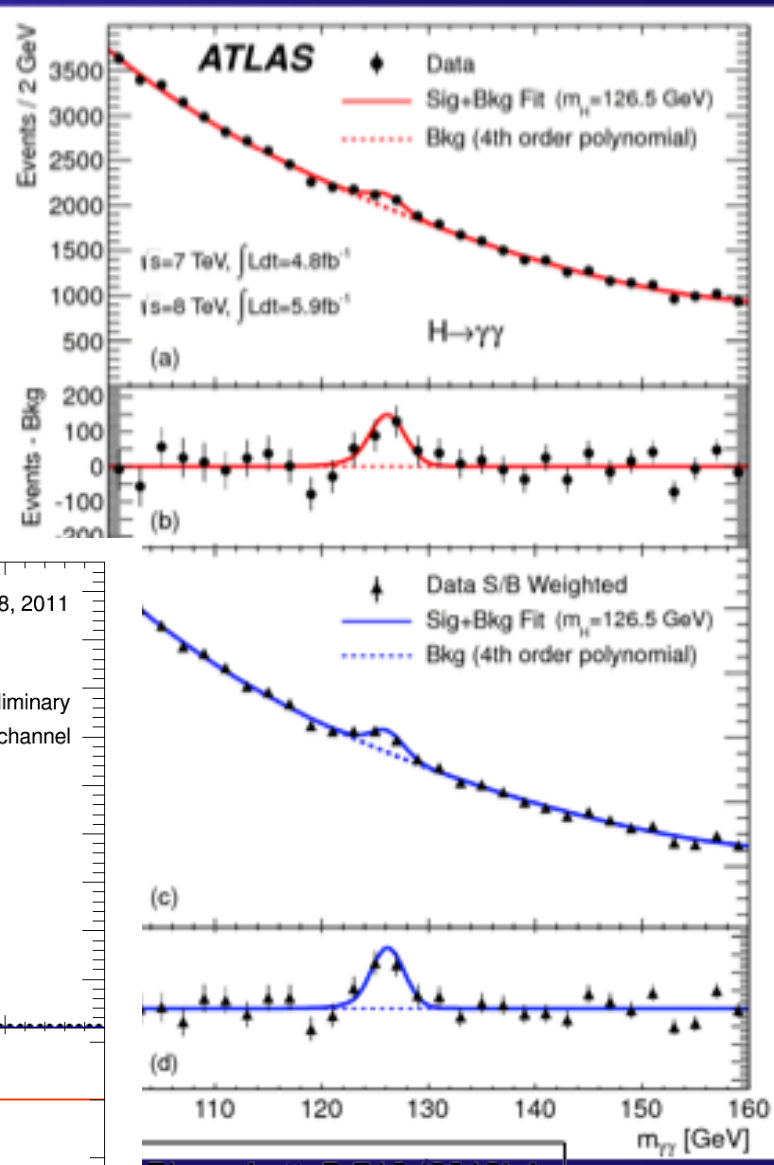
- *Teoria della Gravitazione*
- ~~*Forza tra corpi (Newton)*~~
- *Curvatura dello Spazio Tempo*

H → γγ

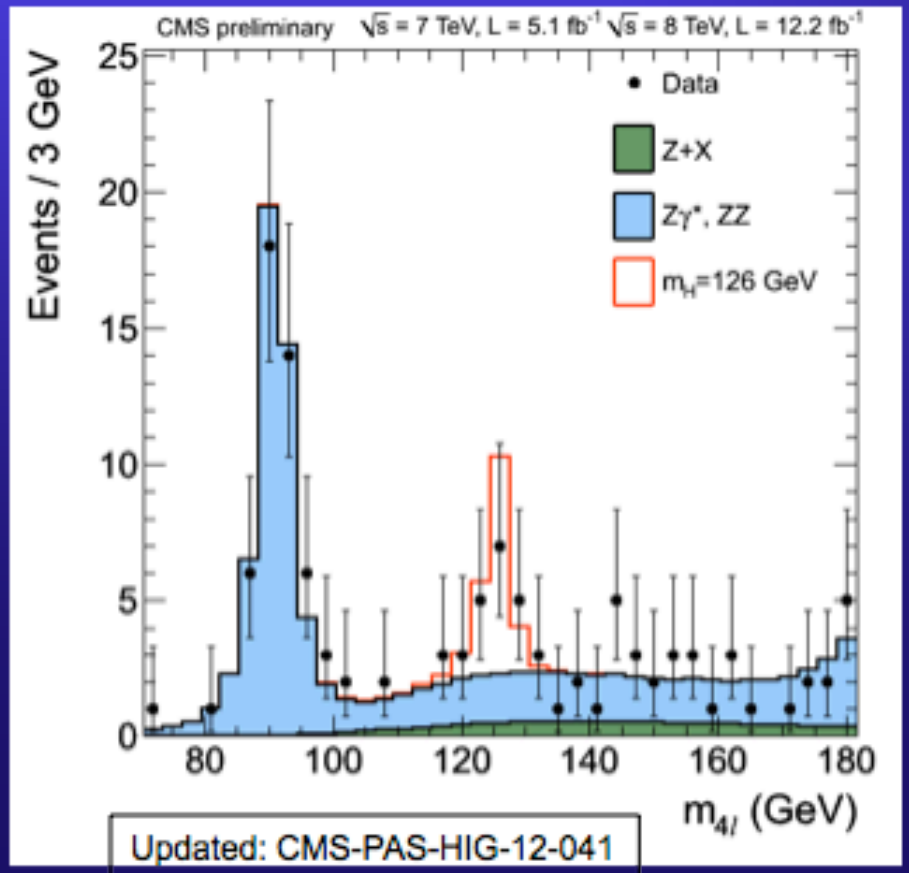
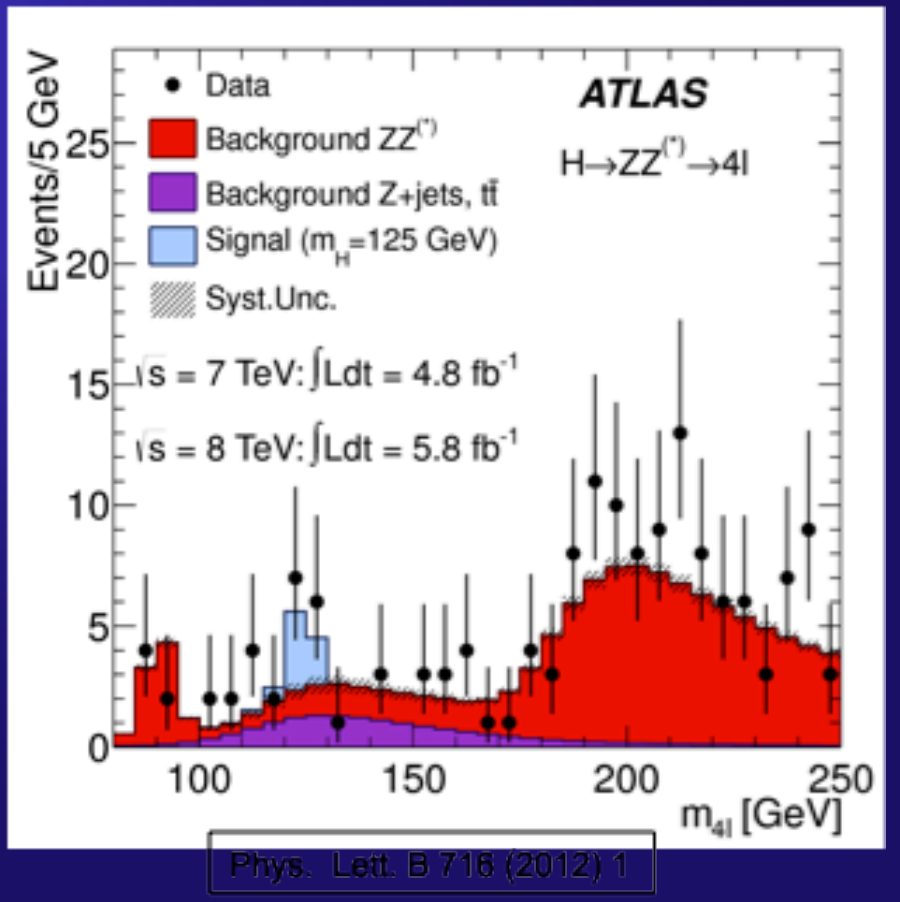
- Small cross-section: σ ~ 40 fb
- Expected S/B ~ 0.02
- Simple final state: two high-p_T isolated photons
- Main background: γγ continuum (irreducible) and fake γ from γj and jj events (reducible)







$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$ (4e, 4μ, 2e2μ)

- Rare process, small cross section: σ ~ 2-5 fb
- However: pure: S/B ~ 1
- 4 leptons:
- Main background: $ZZ^{(*)}$ (irreducible)

  In addition: Zbb, Z+jets, tt with two leptons from b-quarks or jets