



#LHCIMC17 @physicsIMC @UffComINFN



@IstitutoFisicaNucleare
@InternationalParticlePhysicsMasterclasses



Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

INTERNATIONAL



MASTERCLASSES

hands on particle physics



ALICE



21 Giugno 2017

Programma odierno

- 9:00** Benvenuto dei direttori INFN e dipartimento di Fisica
- 9:30** Lezione di fisica delle particelle (1h, Andrea)
- 10:30** Pausa/domande (30')
- 11:00** Descrizione della parte sperimentale (1h, Riccardo)
- 12:00** Pranzo (1h)
- 13:00** Attività di Laboratorio (2.30h)
- 16:00** Video Conferenza con il CERN
- 17:00** Consegnati attestati e chiusura (30')



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



- Presente presso le maggiori Università italiane
 - con proprie strutture: le sezioni
- 4 Laboratori Nazionali
 - A disposizione della comunità italiana e internazionale



La fisica delle particelle elementari



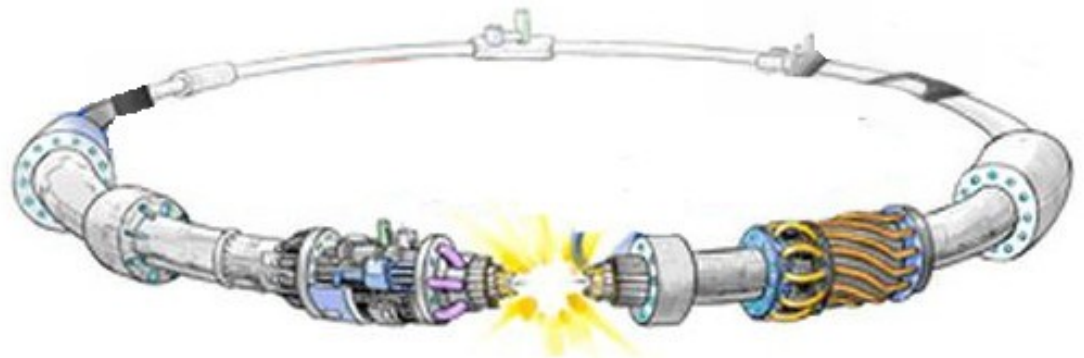
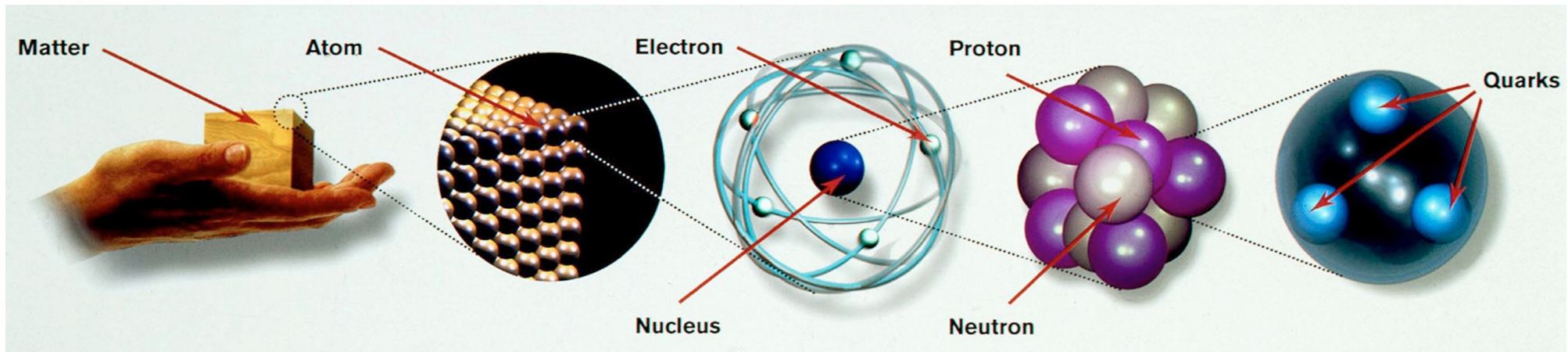
Indivisibile



- what statement would contain the most information in the fewest words?
- **Richard Feynman:**
... all things are made of atoms ...
In that one sentence there is an enormous amount of information about the world

Fisica delle particelle

Studio costituenti elementari della materia e le loro interazioni: **fisica delle alte energie**



Fauna



**Teorici
Thinkers**



**Sperimentali
Makers**

Fauna

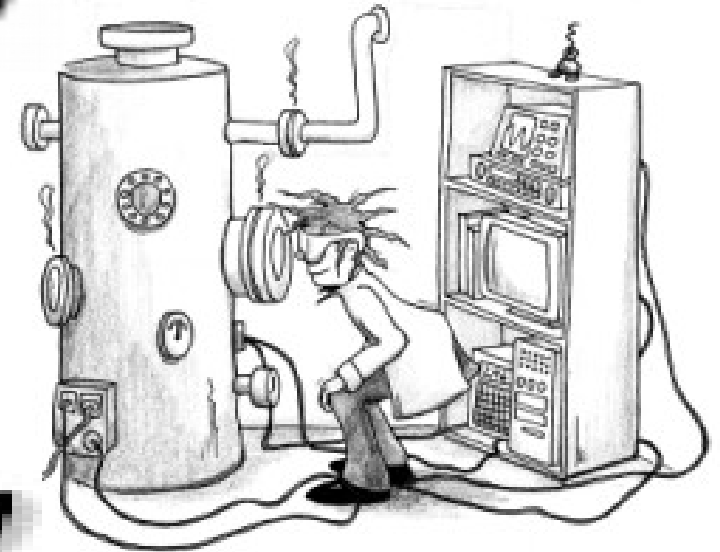


Teorici
Thinkers

Sperimentali
Makers



$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + h.c. \\ & + \Psi_i\gamma_{ij}\Psi_j\Phi + h.c. \\ & + |D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi)\end{aligned}$$



Fauna

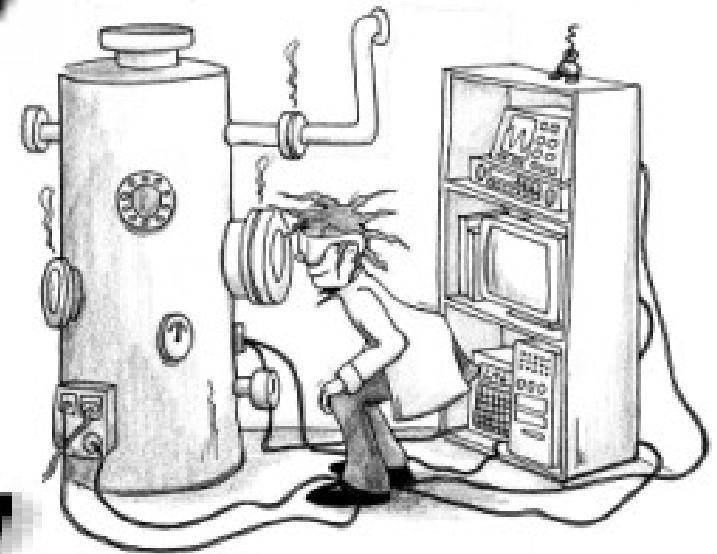


Teorici
Thinkers

Sperimentali
Makers



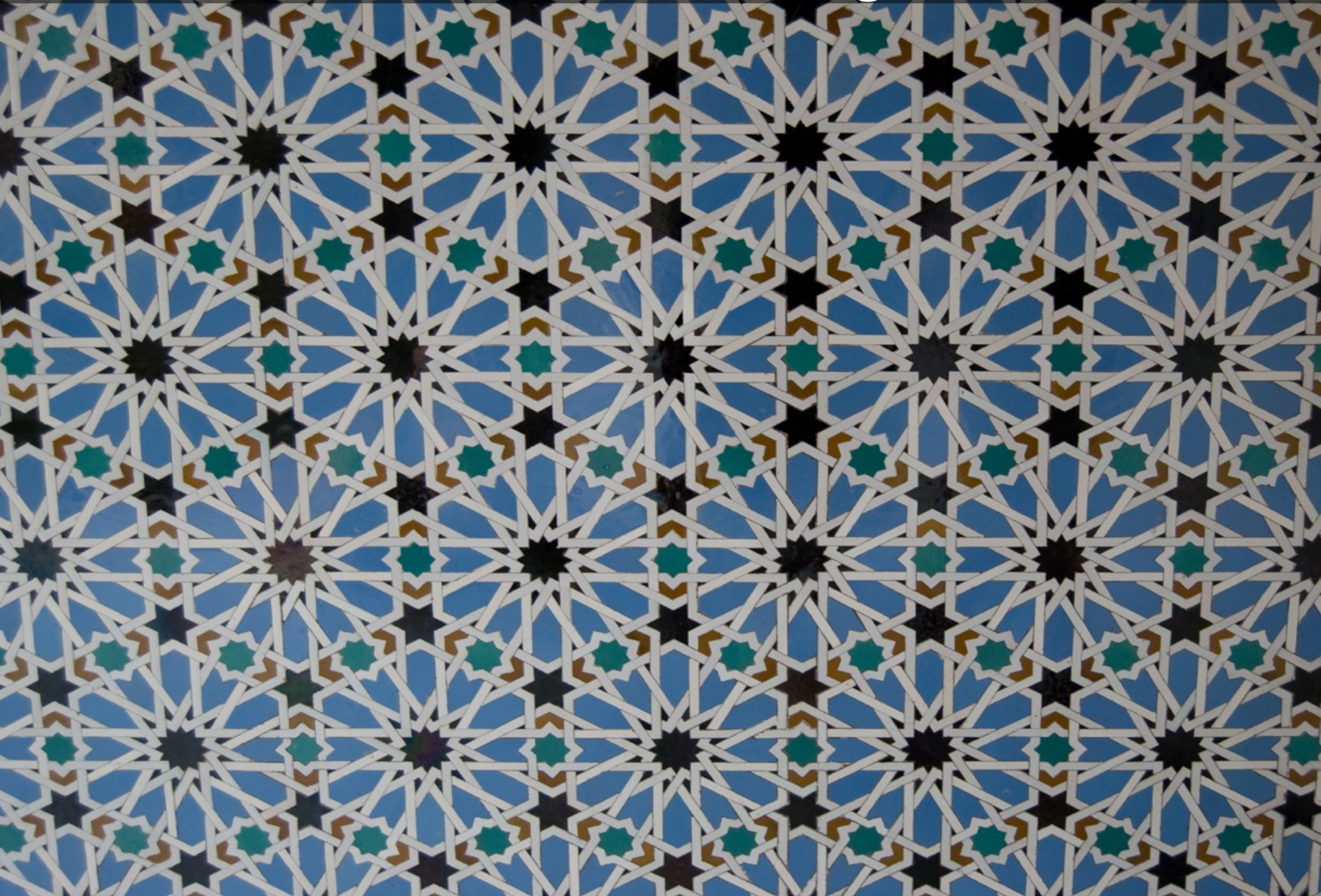
$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + h.c. \\ & + \Psi_i y_{ij} \Psi_j \Phi + h.c. \\ & + |D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi) \end{aligned}$$



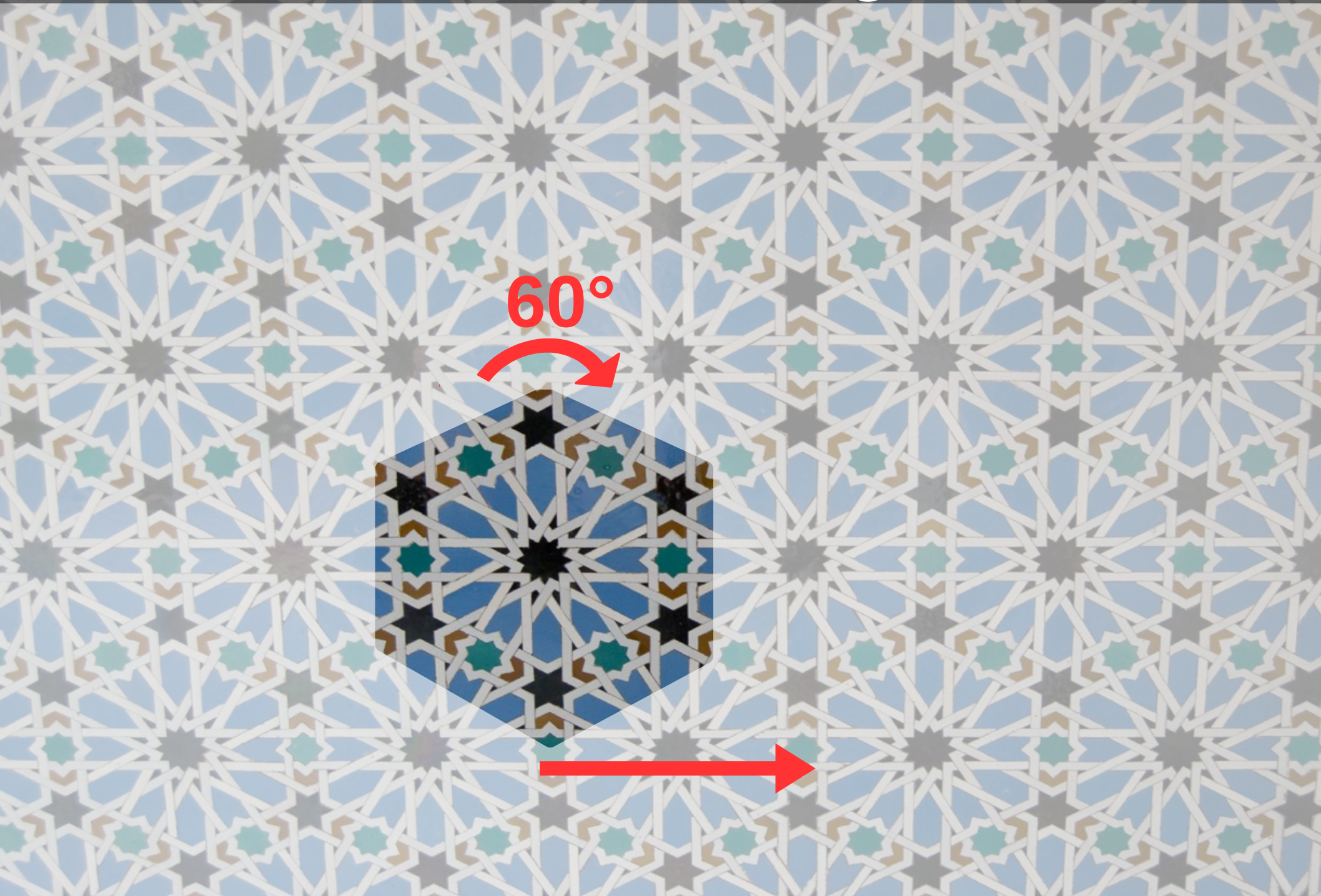
Alhambra, Granada



Simmetria ed eleganza



Simmetria ed eleganza



Simmetria ed eleganza

- Alla base delle equazioni della fisica ci sono considerazioni di simmetria
 - La simmetria è un trasformazione che lascia invariato un oggetto

Riflessione



Traslazione
spaziale o temporale

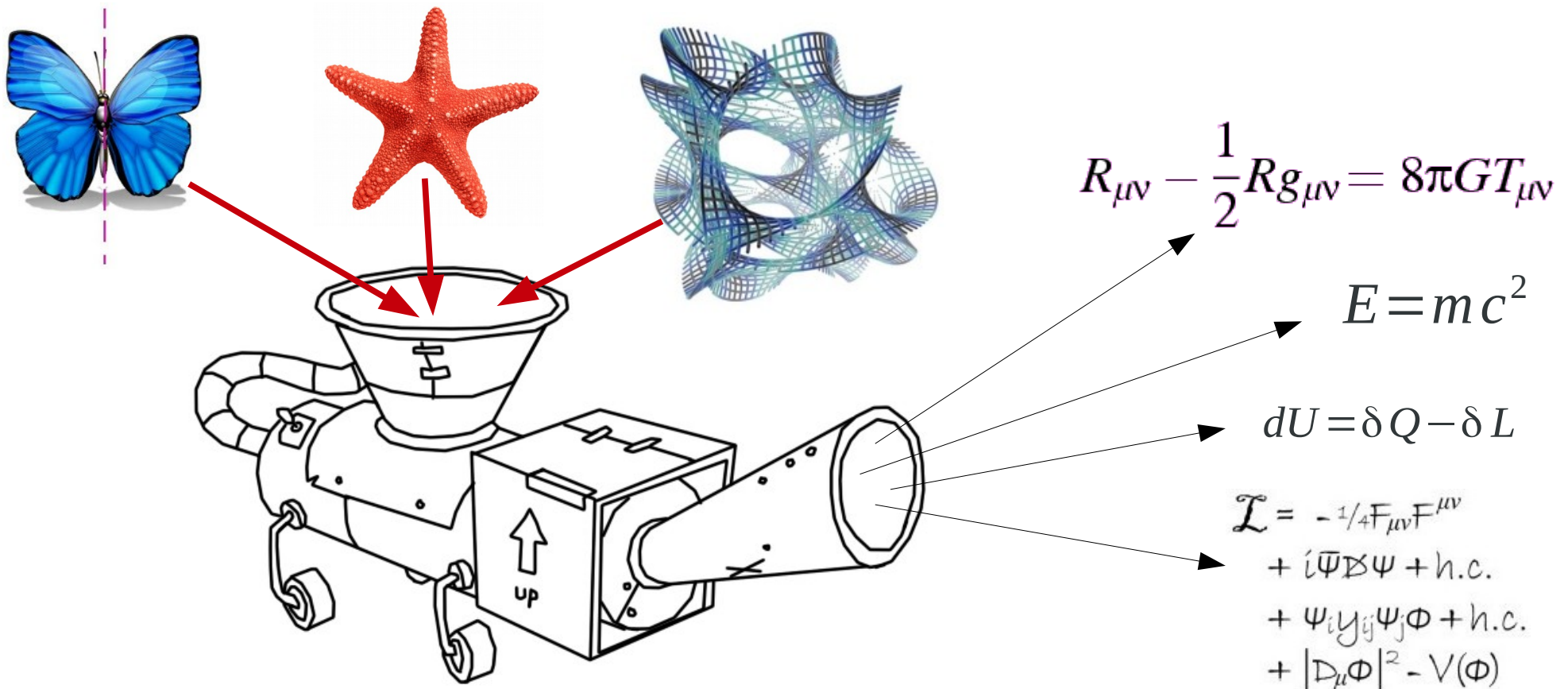


Rotazione



Macchina per Teorie

- I fisici teorici hanno sviluppato strumenti matematici che trasformano le simmetrie in equazioni
 - Con le quali fare previsioni verificabili



Fisica classica

- Teorema di Nother 1915
 - Imponendo l'invarianza delle equazioni della fisica per traslazioni temporali
 - → Principio di conservazione dell'energia

$$\vec{F} = m \vec{a}$$



$$\vec{F} = m \vec{a}$$



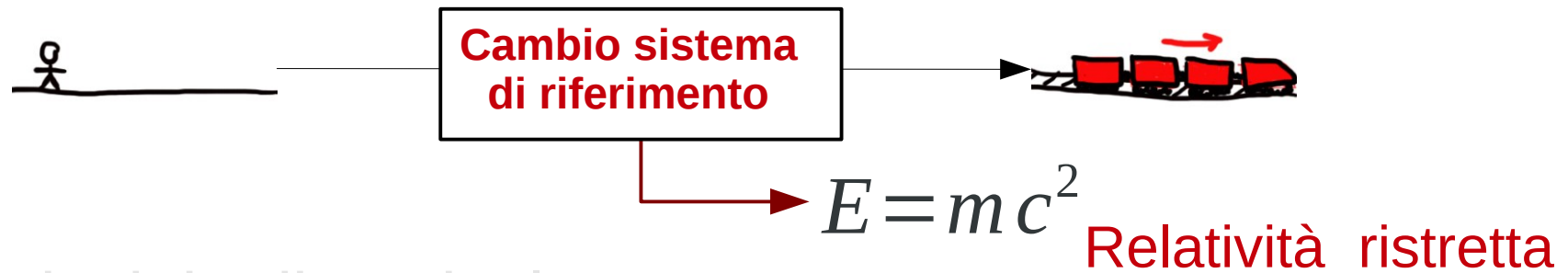
Emmy Noether

$$dU = \delta Q - \delta L$$

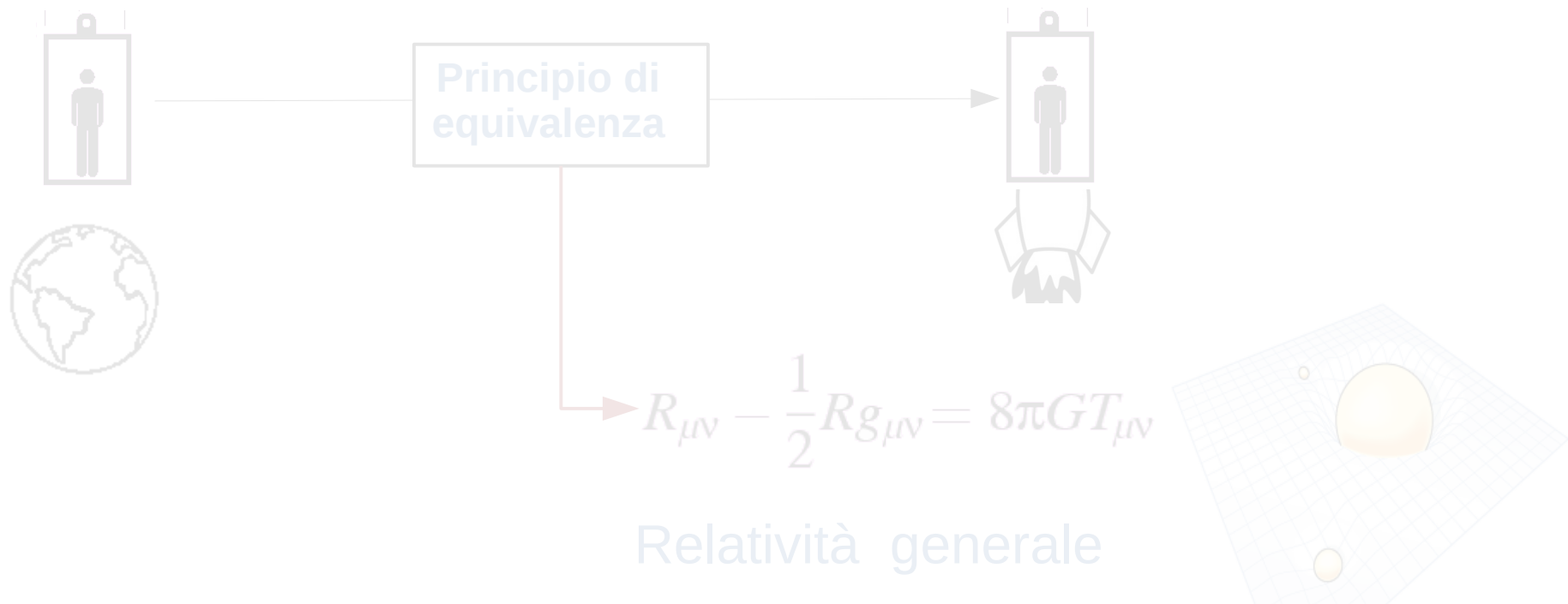
Principio di
conservazione dell'energia

Relatività

- Invarianza delle leggi in sistemi di riferimento inerziali

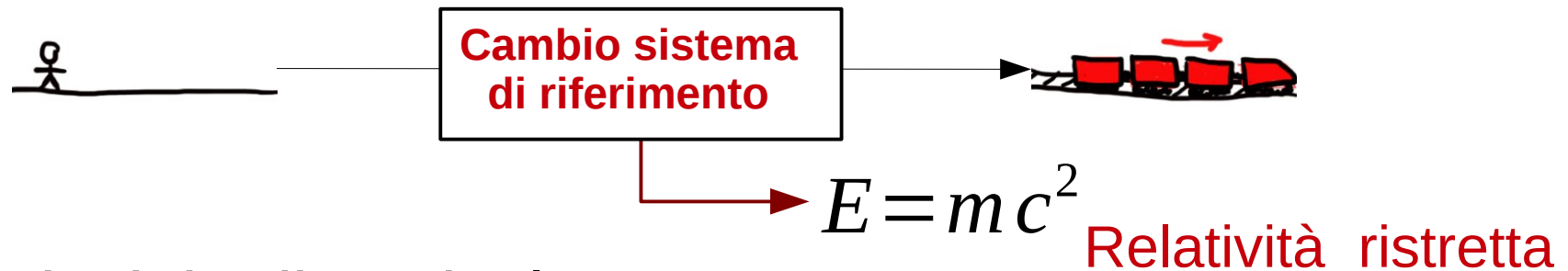


- Principio di equivalenza

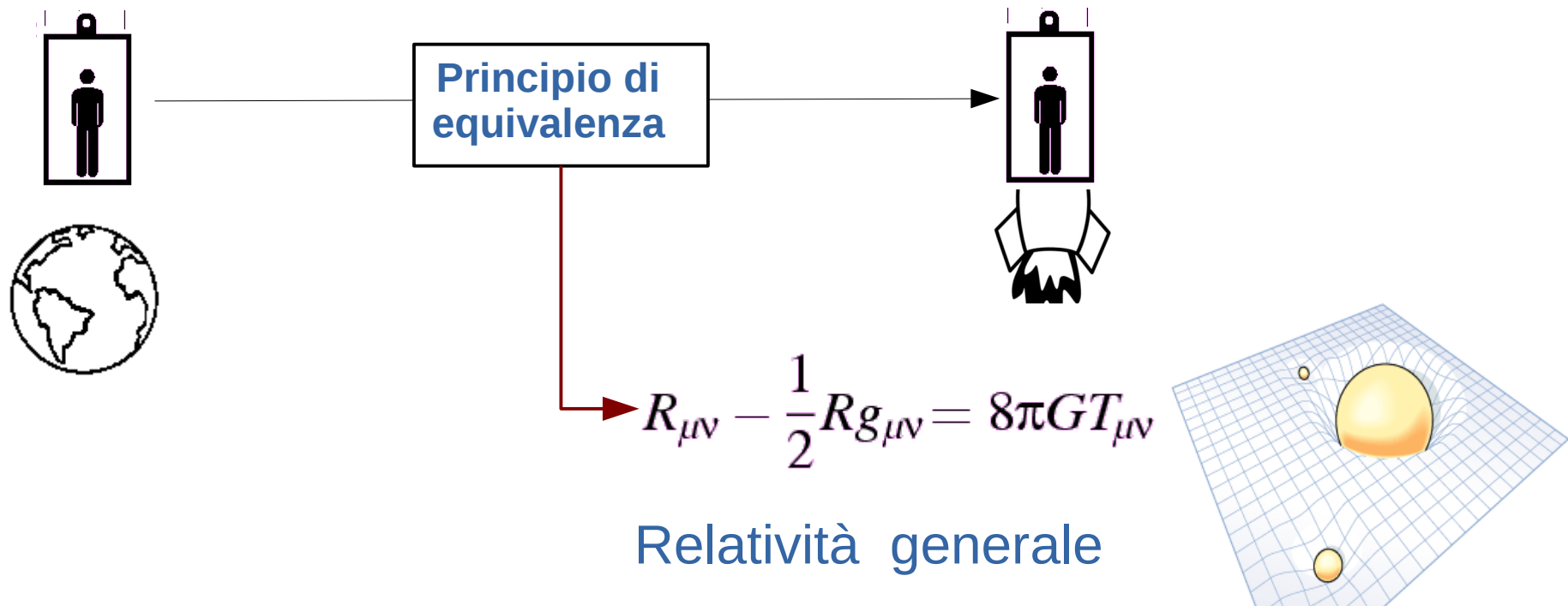


Relatività

- Invarianza delle leggi in sistemi di riferimento inerziali



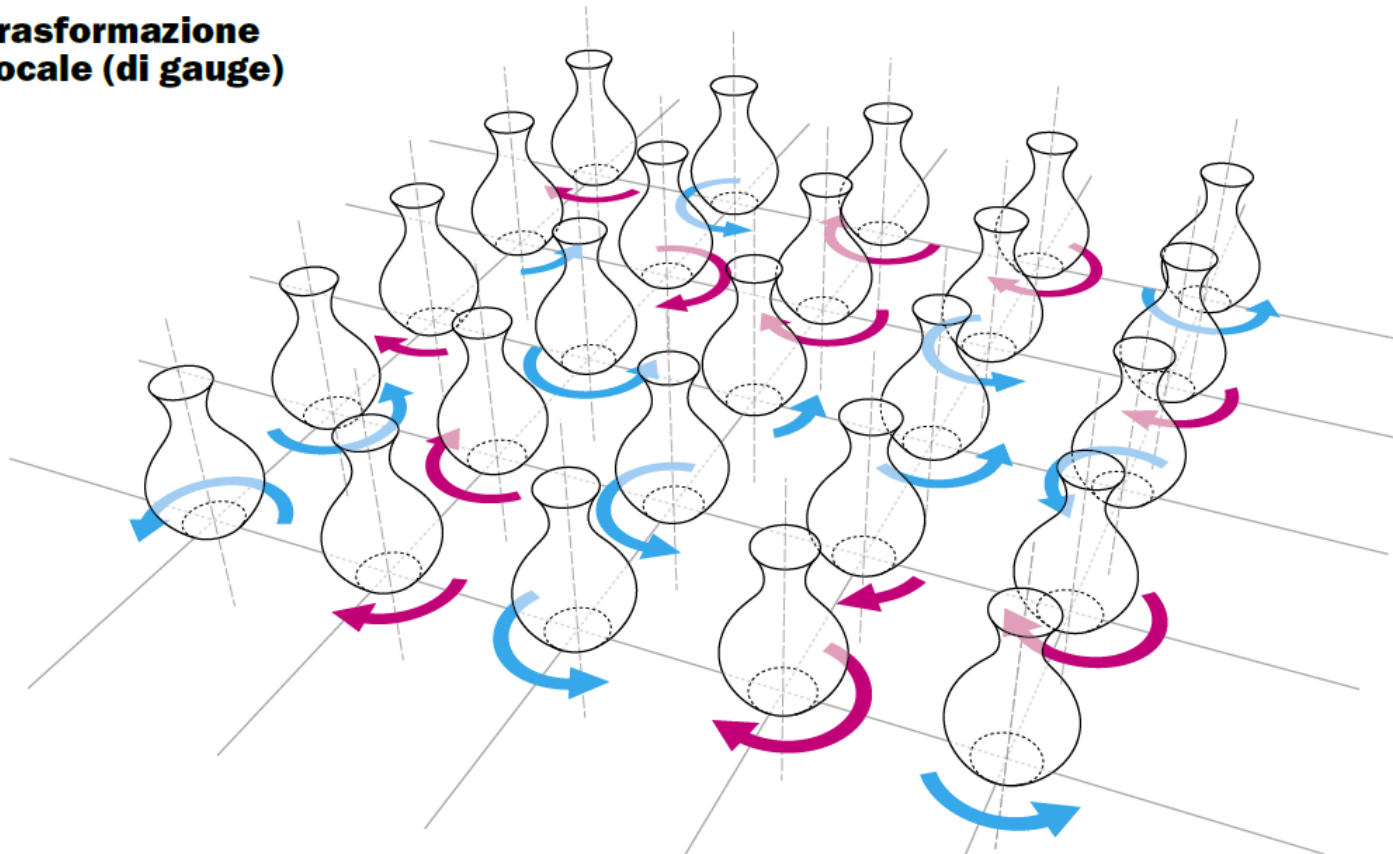
- Principio di equivalenza



Simmetria: meccanica quantistica

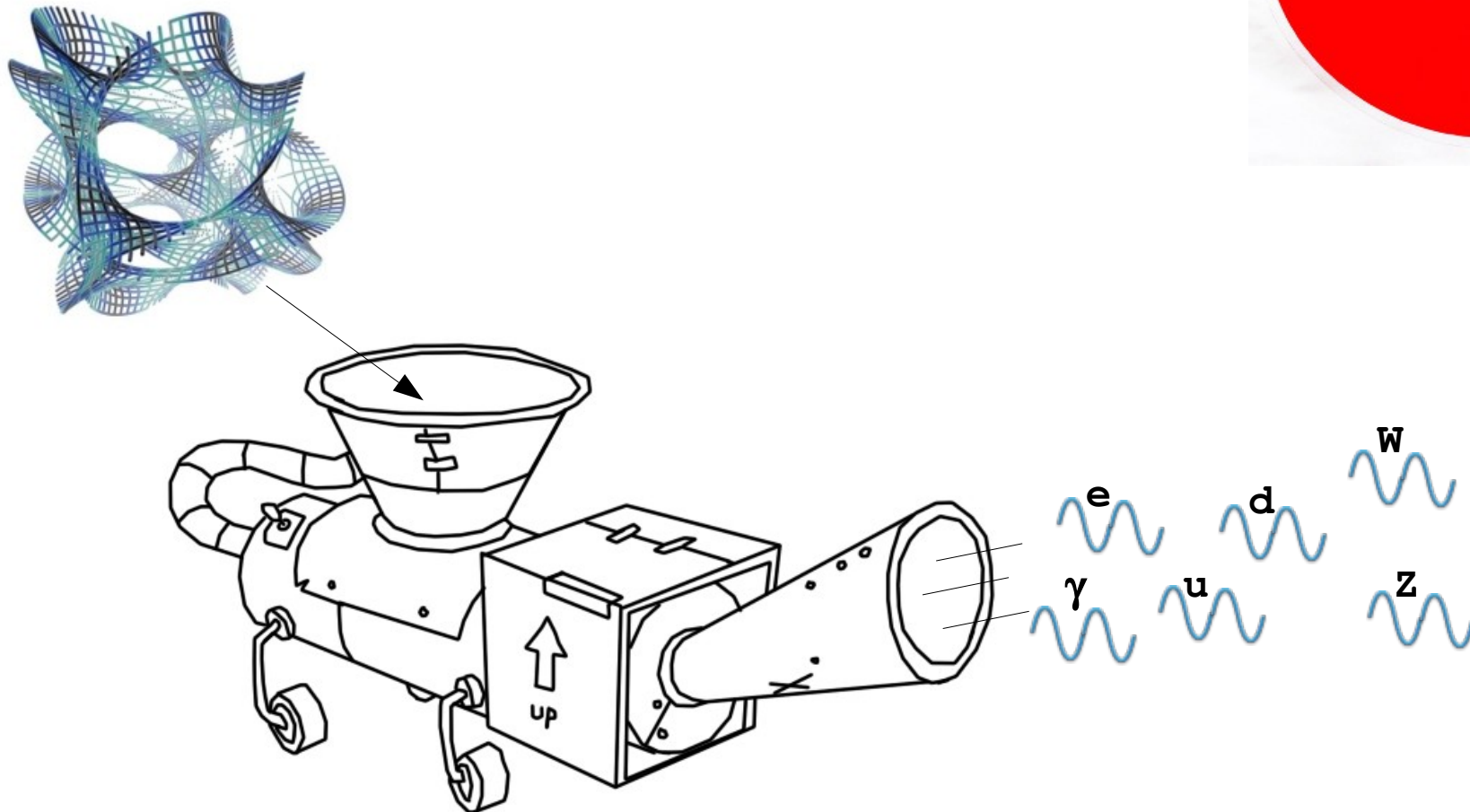
- Simmetrie più astratte
 - Es: presupporre che le leggi della fisica rimangano invariate per cambi arbitrari delle fasi delle funzione d'onda del sistema in ogni punto dello spazio

**trasformazione
locale (di gauge)**



Il modello standard (SM)

- Simmetria $SU(2)_L \times U(1)$
 - Descrive tutte le particelle
 - Ma .. tutte con massa nulla

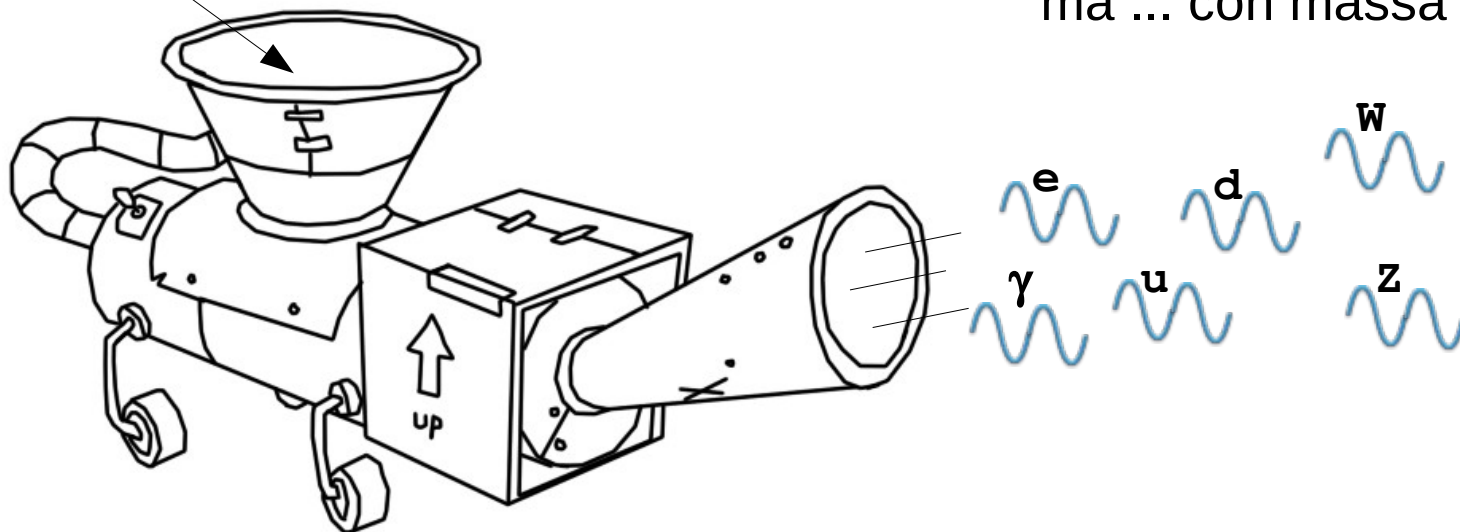
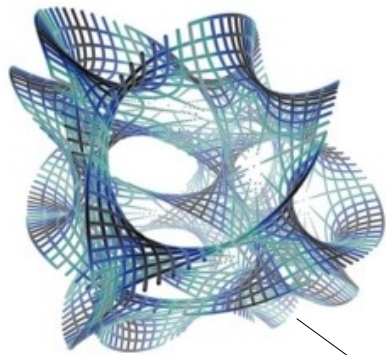


Il modello standard (SM)

- Simmetria $SU(2)_L \times U(1)$
 - Descrive tutte le particelle
 - Ma .. tutte con massa nulla



Descrive tutte le particelle
ma ... con massa nulla



Cos'è la massa?

- Una misura dell'inerzia di un corpo



- Proprietà che impedisce di andare a $v \neq c$



Cos'è la massa?

- Una misura dell'inerzia di un corpo

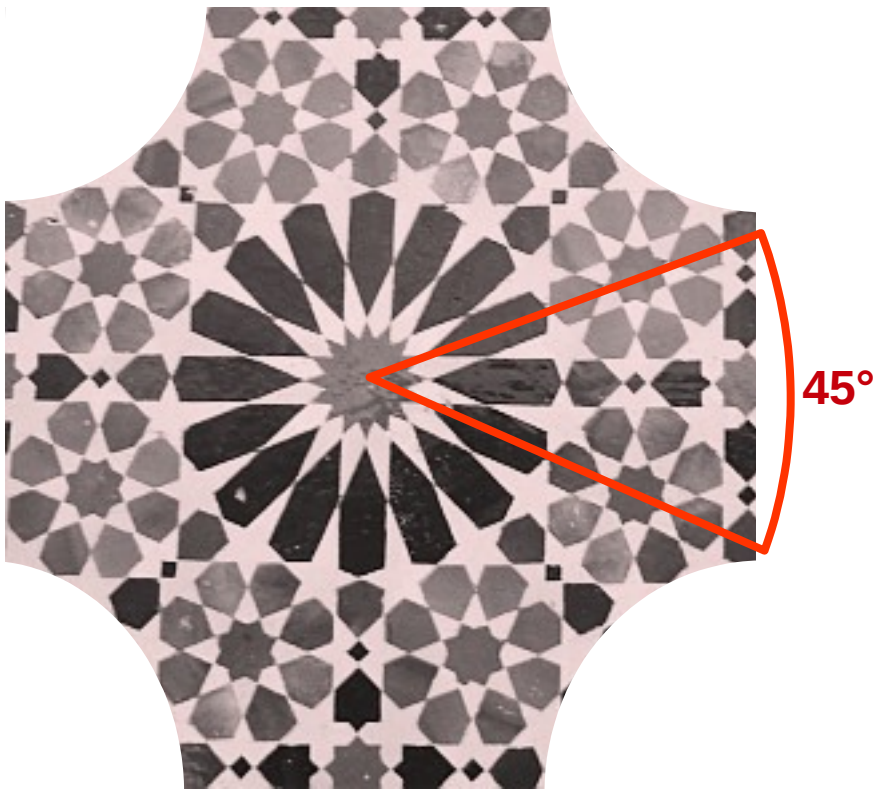


- Proprietà che impedisce di andare a $v \neq c$



Rottura spontanea di simmetria

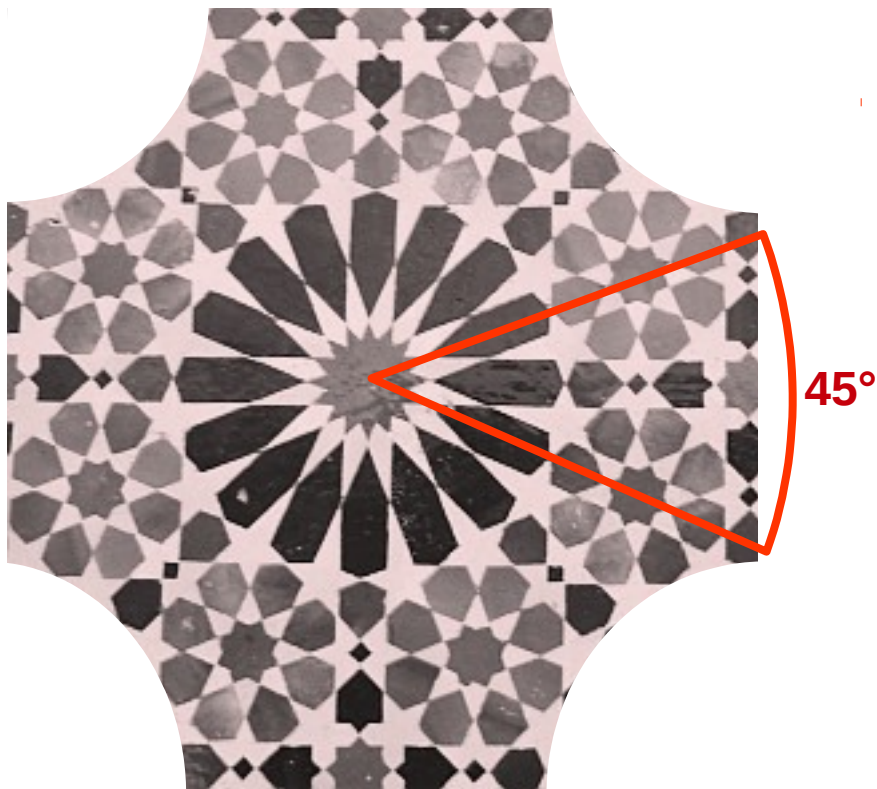
- Forse in natura la simmetria non è perfetta
 - Magari, in certe condizioni, è “rotta” da qualcosa



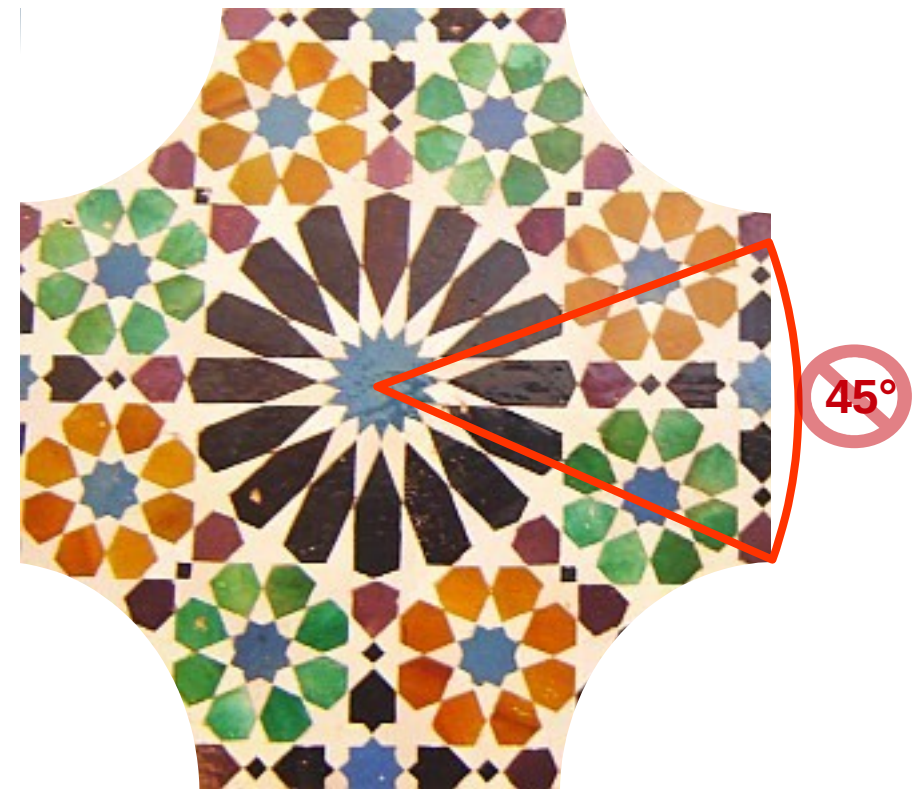
Simmetria 45° “perfetta”
Invarianza per rotazioni di 45°

Rottura spontanea di simmetria

- Forse in natura la simmetria non è perfetta
 - Magari, in certe condizioni, è “rotta” da qualcosa



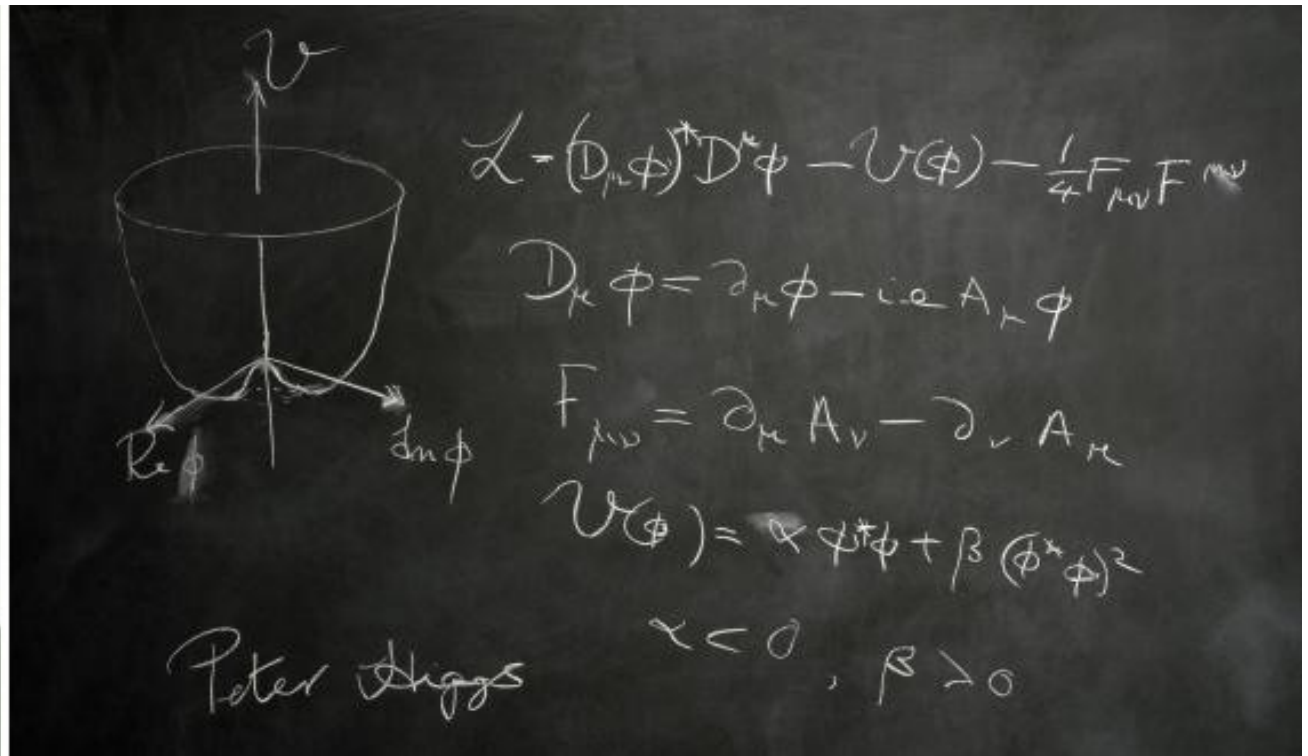
Simmetria 45° “perfetta”
Invarianza per rotazioni di 45°



Simmetria 45° “rotta” dal colore
Rimane invarianza per rotazioni di 90°

Meccanismo di Higgs '64

- Robert Brout, François Englert, **Peter Higgs**
- Termine addizionale nelle equazioni di campo
 - Rompe la simmetria $SU(2)_L \times U(1)$
 - E questo fornisce massa alle particelle elementari

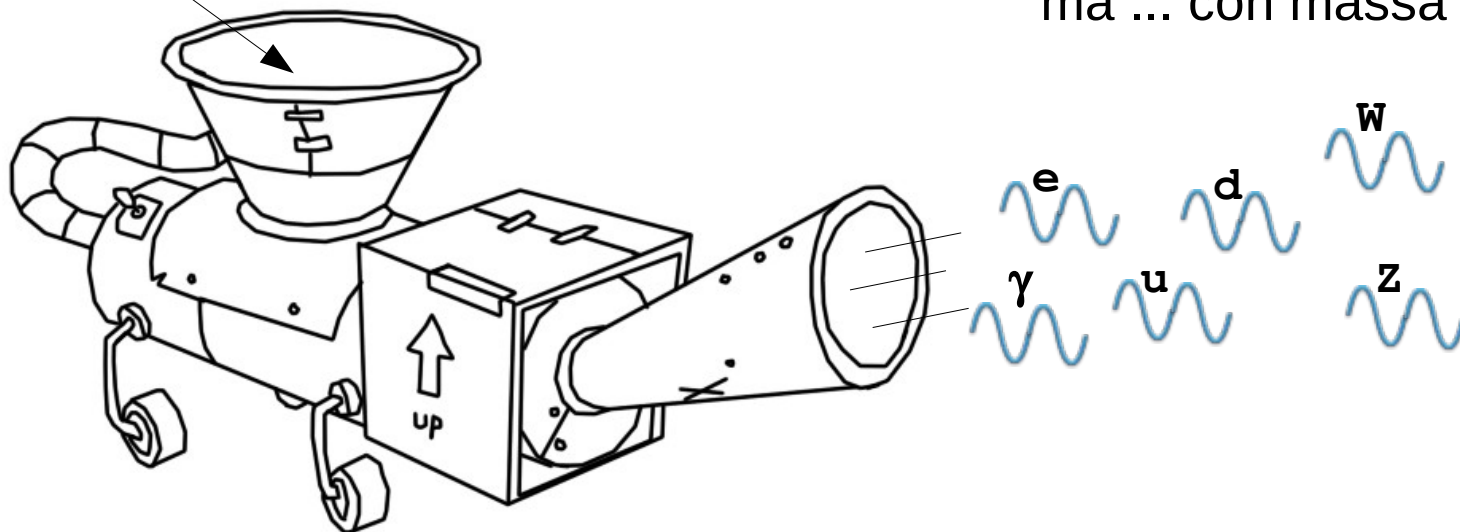
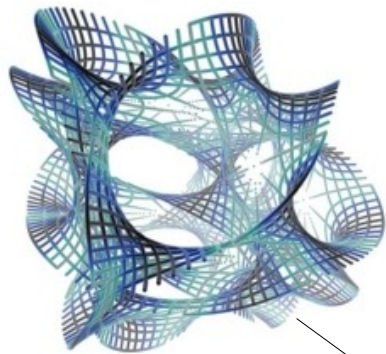


Il modello standard (SM)

- Simmetria $SU(2)_L \times U(1)$
 - Descrive tutte le particelle
 - Ma .. tutte con massa nulla

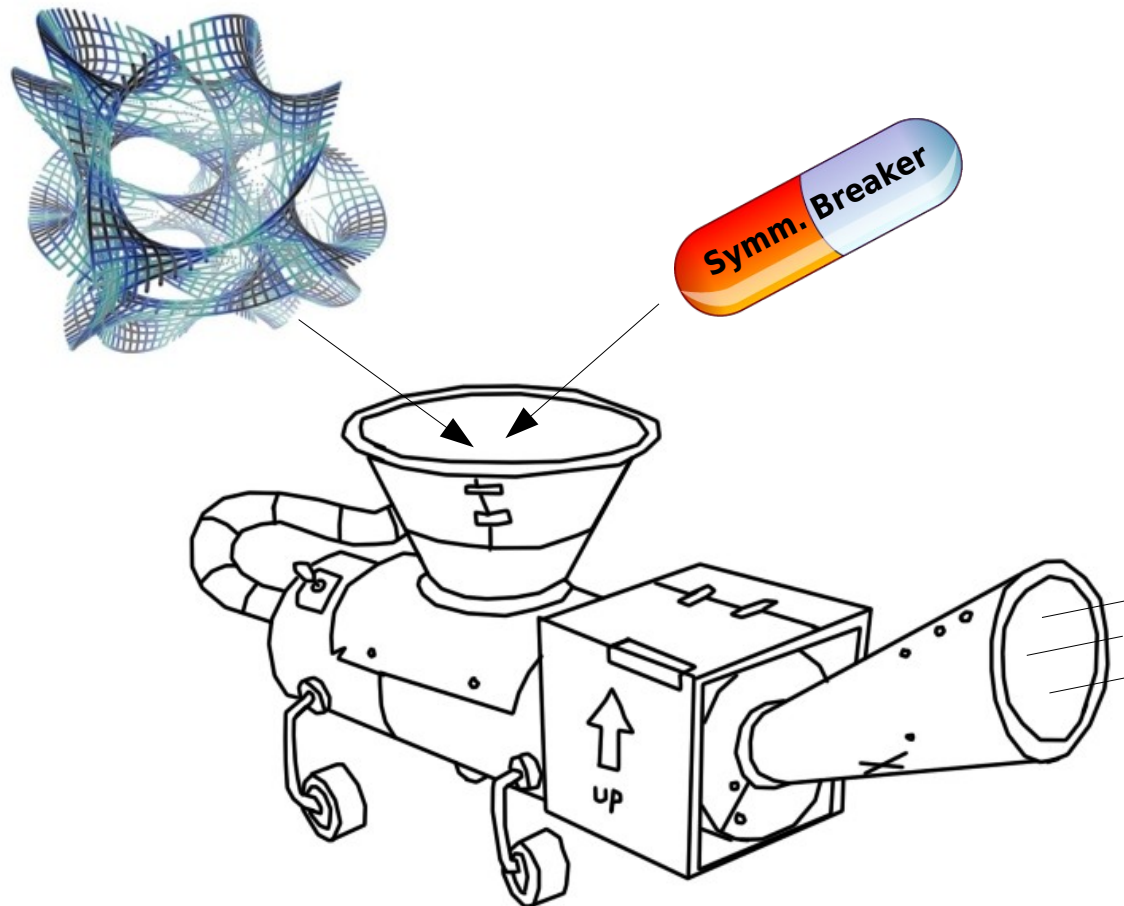


Descrive tutte le particelle
ma ... con massa nulla

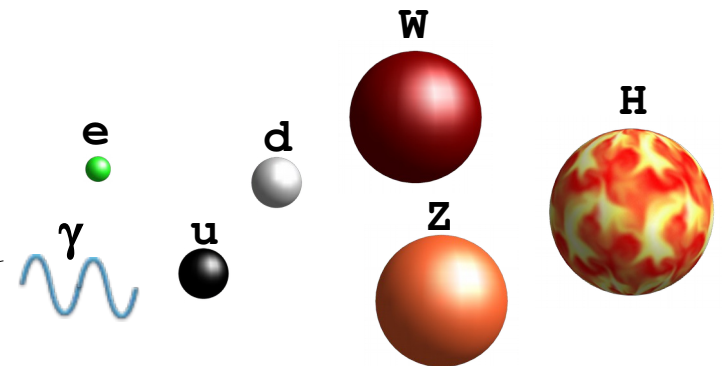


Il modello standard (SM)

- Simmetria $SU(2)_L \times U(1)$
 - Meccanismo di Higgs: in natura la simmetria è “rotta”

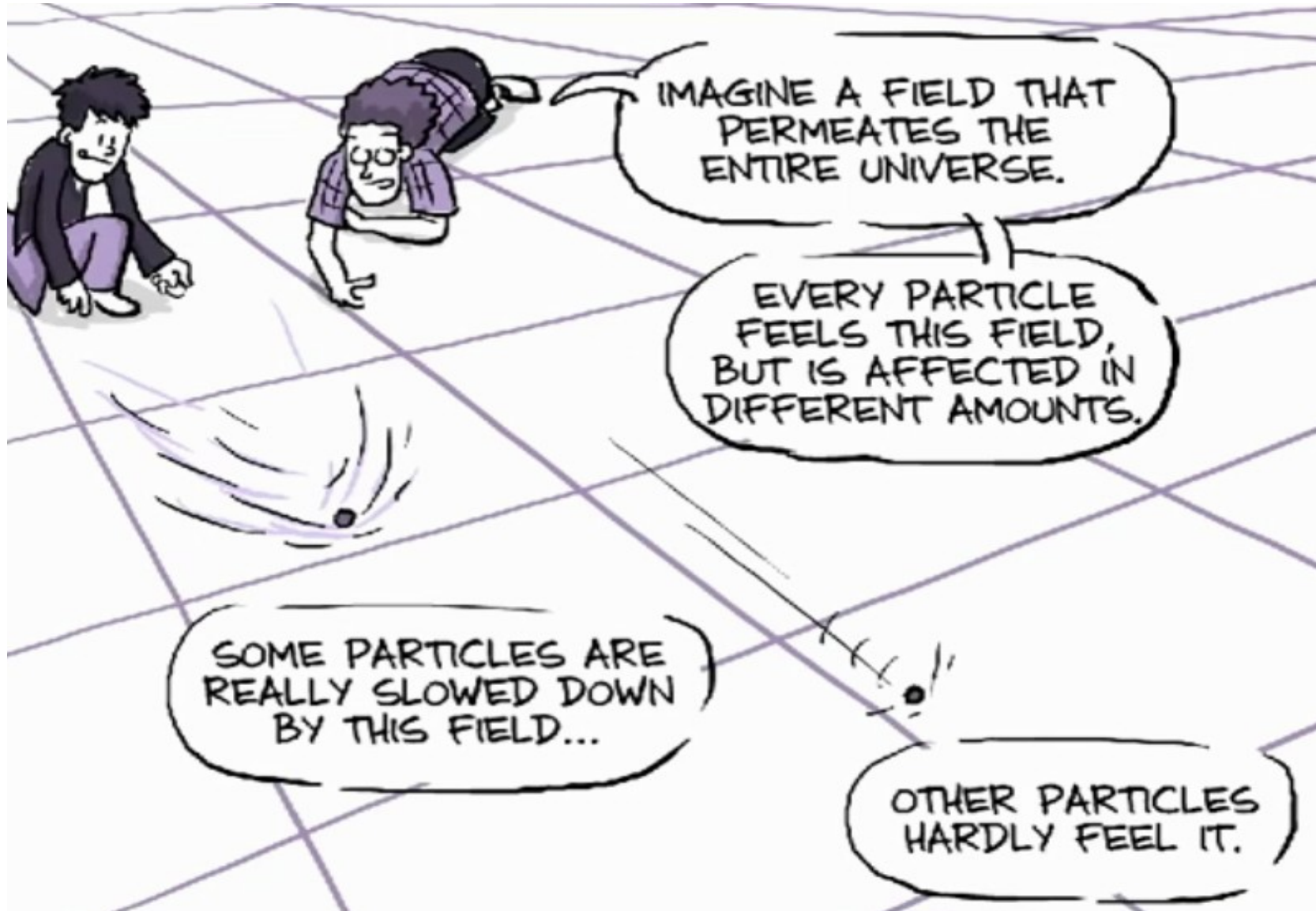


Descrizione corretta delle particelle note + ... una nuova

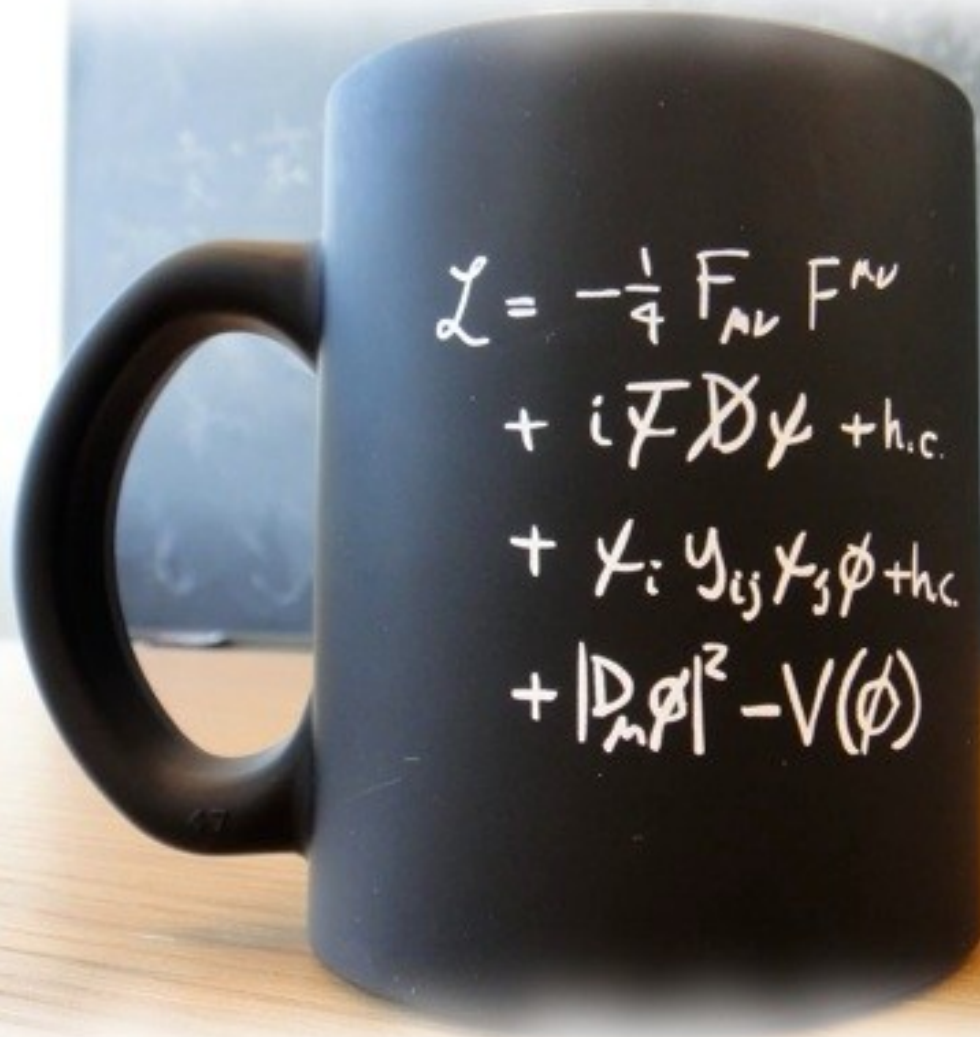


Il bosone di Higgs

- Fornisce la massa alle particelle elementari



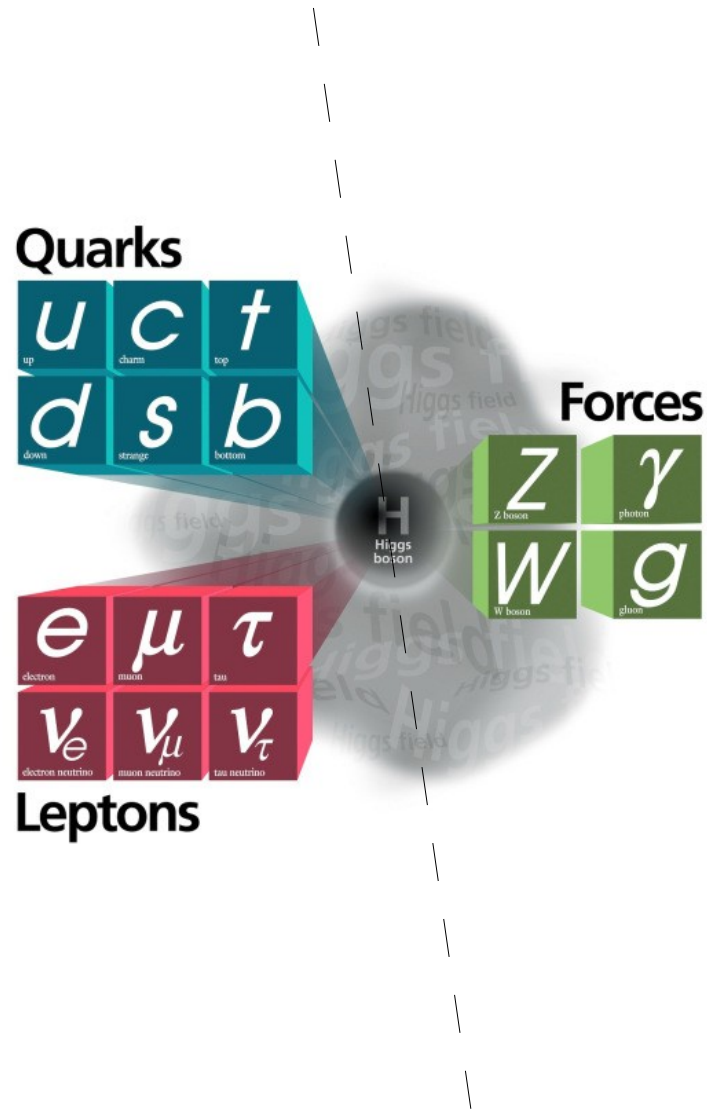
Equazione SM



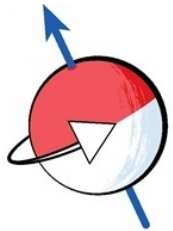
Equazione SM

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}_{SM} = & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - igc_w (\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)) - \\
& ig s_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^+)) - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - \\
& Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) - \frac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - 2M^2 \alpha_h H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\
& \beta_h \left(\frac{2M^2}{g^2} + \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2}(H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right) + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - \\
& g\alpha_h M (H^3 + H\phi^0 \phi^0 + 2H\phi^+ \phi^-) - \\
& \frac{1}{8}g^2 \alpha_h (H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2) - \\
& gM W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \\
& \frac{1}{2}ig (W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)) + \\
& \frac{1}{2}g (W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) + W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H)) + \frac{1}{2}g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) + \\
& M (\frac{1}{c_w} Z_\mu^0 \partial_\mu \phi^0 + W_\mu^+ \partial_\mu \phi^- + W_\mu^- \partial_\mu \phi^+)) - ig \frac{s_w^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + ig s_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - \\
& W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + ig s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\
& \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- (H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-) - \frac{1}{8}g^2 \frac{1}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 (H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-) - \\
& \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\
& W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
& g^2 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- + \frac{1}{2}ig_s \lambda_{ij}^a (\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma) g_\mu^a - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda (\gamma \partial + m_\nu^\lambda) \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + \\
& m_u^\lambda) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + ig s_w A_\mu (-\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda) + \text{eccetera ...}
\end{aligned}$$

SM: il cast



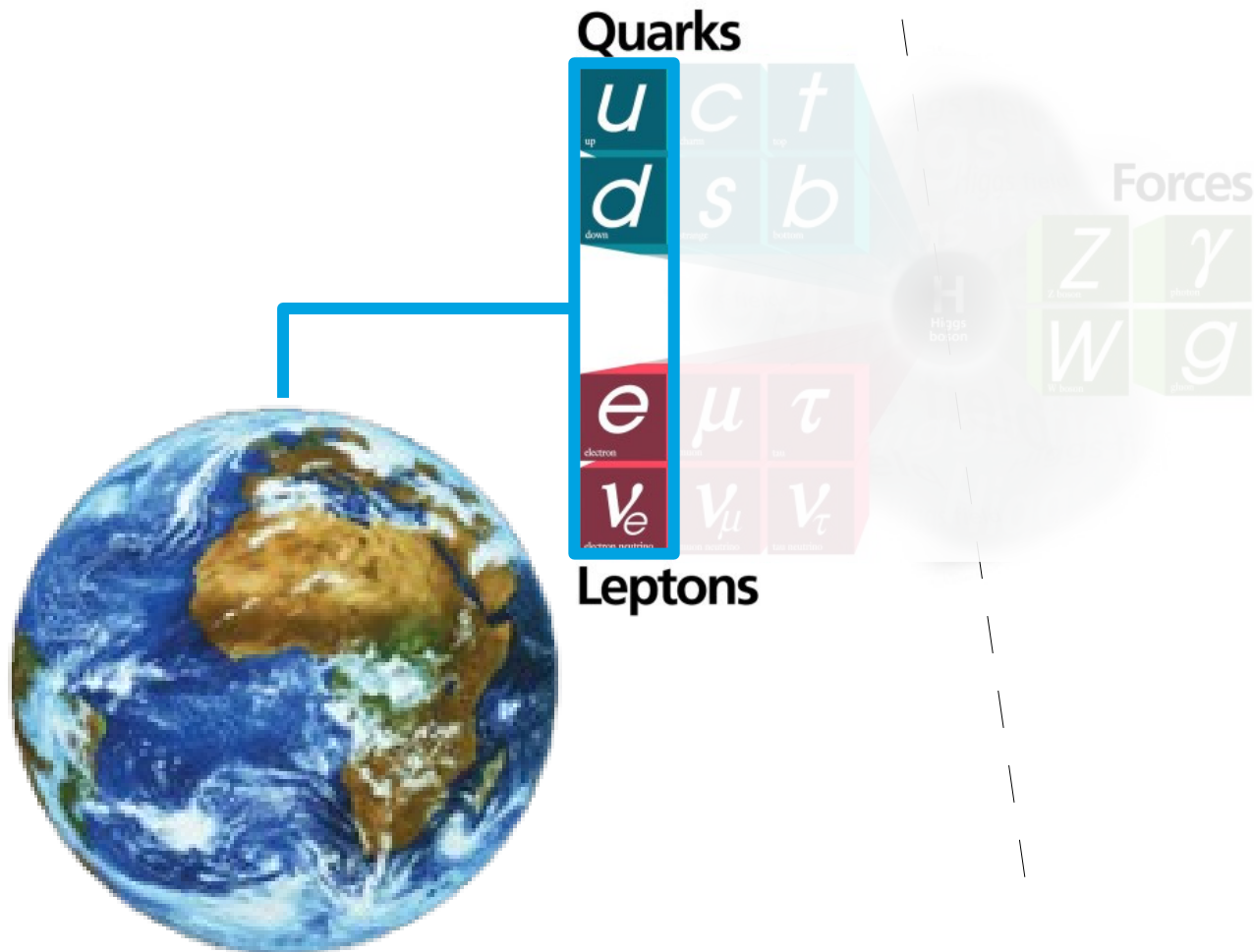
SM: la materia



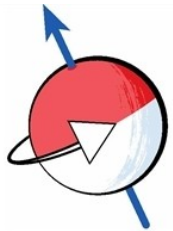
Spin 1/2

I fermioni

La materia



SM: la materia



Spin 1/2

I fermioni

La materia

Quarks

u <small>up</small>	c <small>charm</small>	t <small>top</small>
d <small>down</small>	s <small>strange</small>	b <small>bottom</small>

e <small>electron</small>	μ <small>muon</small>	τ <small>tau</small>
ν_e <small>electron neutrino</small>	ν_μ <small>muon neutrino</small>	ν_τ <small>tau neutrino</small>

Leptons

Forces

Z <small>Z boson</small>	γ <small>photon</small>
W <small>W boson</small>	g <small>gluon</small>



SM: le forze



I fermioni
La materia

I bosoni
Le forze



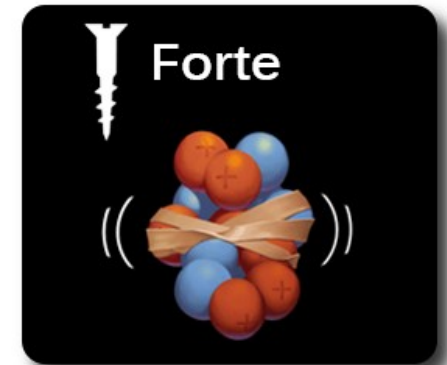
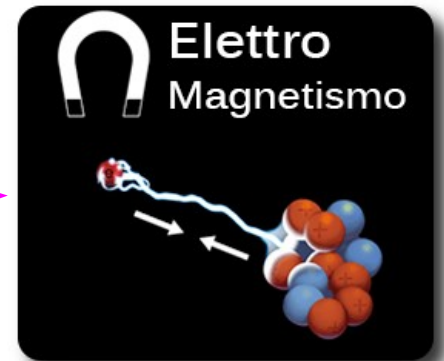
Quarks



Leptons

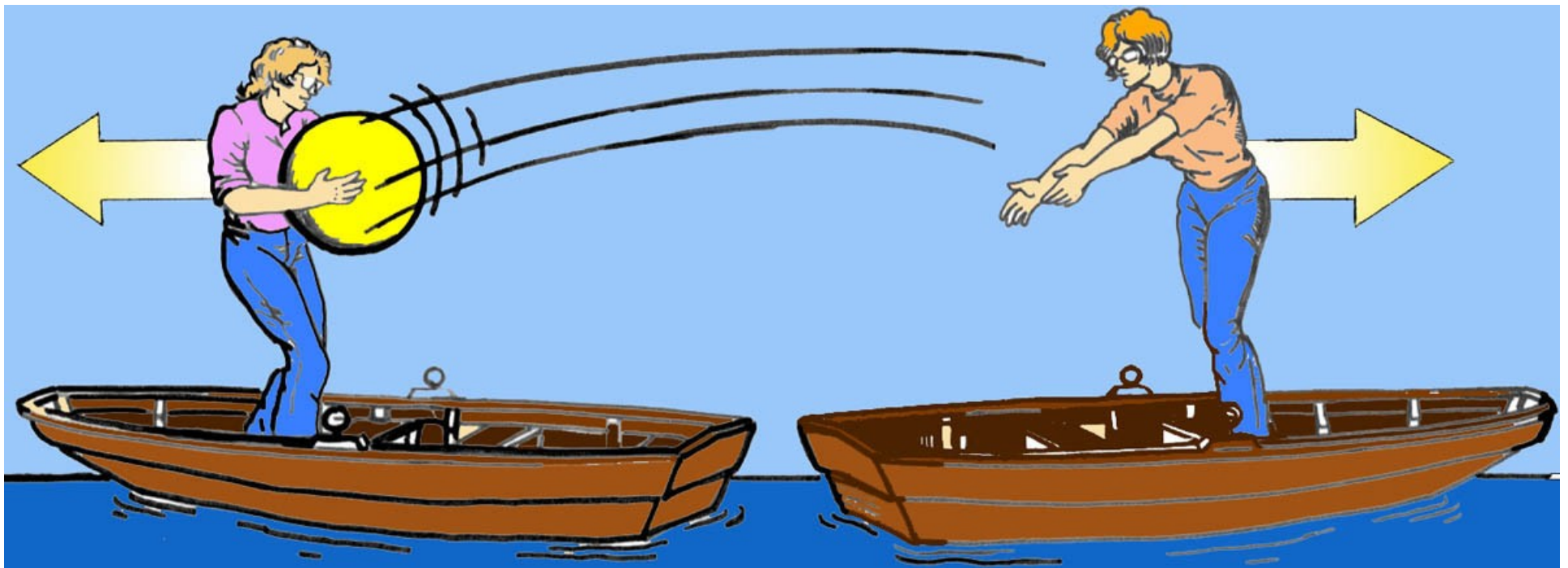


Forces



Interazione e mediatori

- Interazioni mediate da **bosoni**
 - “**mediatori**” che sono scambiati tra le particelle coinvolte nell'interazione



- E in alcuni casi la particella che emette si trasforma
 - Es: nel caso dell'interazione forte

Interazione e mediatori

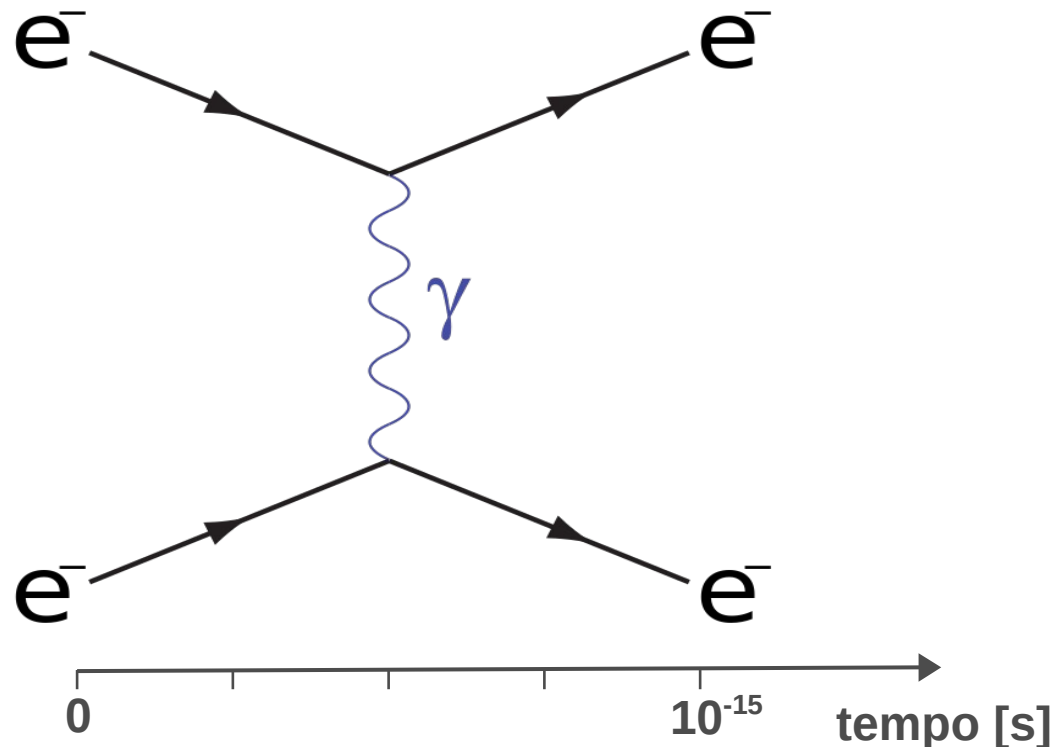
- Interazioni mediate da **bosoni**
 - “**mediatori**” che sono scambiati tra le particelle coinvolte nell'interazione



- E in alcuni casi la particella che emette si trasforma
 - Es: nel caso dell'interazione forte

Diagrammi di Feynman

- Rappresentazione grafica delle interazioni
 - Ogni elemento rappresenta un pezzo dell'equazione
 - Conservazione di carica, energia, impulso
 - Es: scattering elettrone-elettrone mediato da fotone



SM masse

- Unità di misura: electronvolt (eV)

- Energia cinetica di un elettrone in un campo di un Volt

- $1.6 \cdot 10^{-19}$ Joule

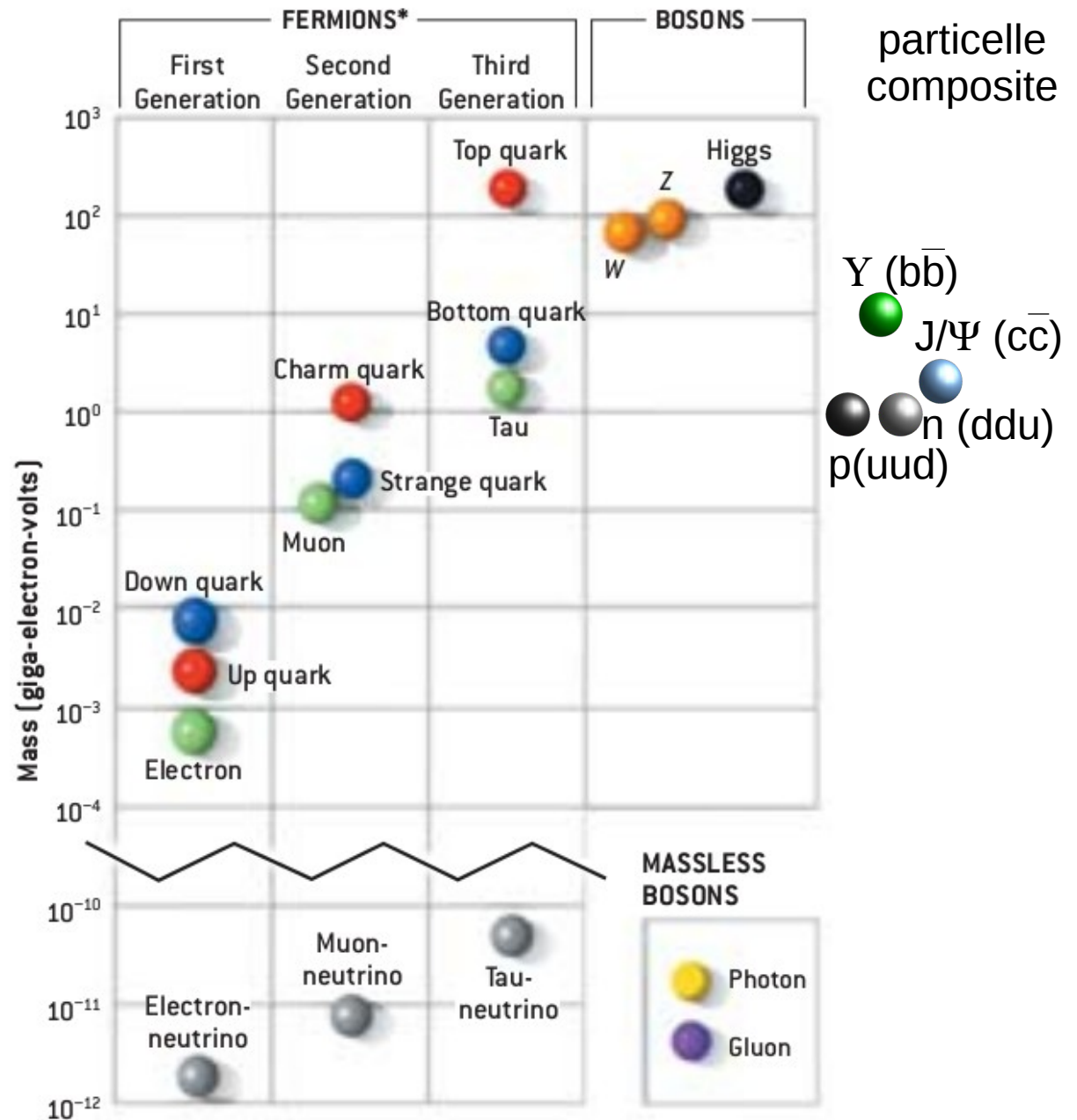
- Multipli

- MeV = 10^6 eV

- GeV = 10^9 eV

- TeV = 10^{12} eV

- Protone = 1 GeV



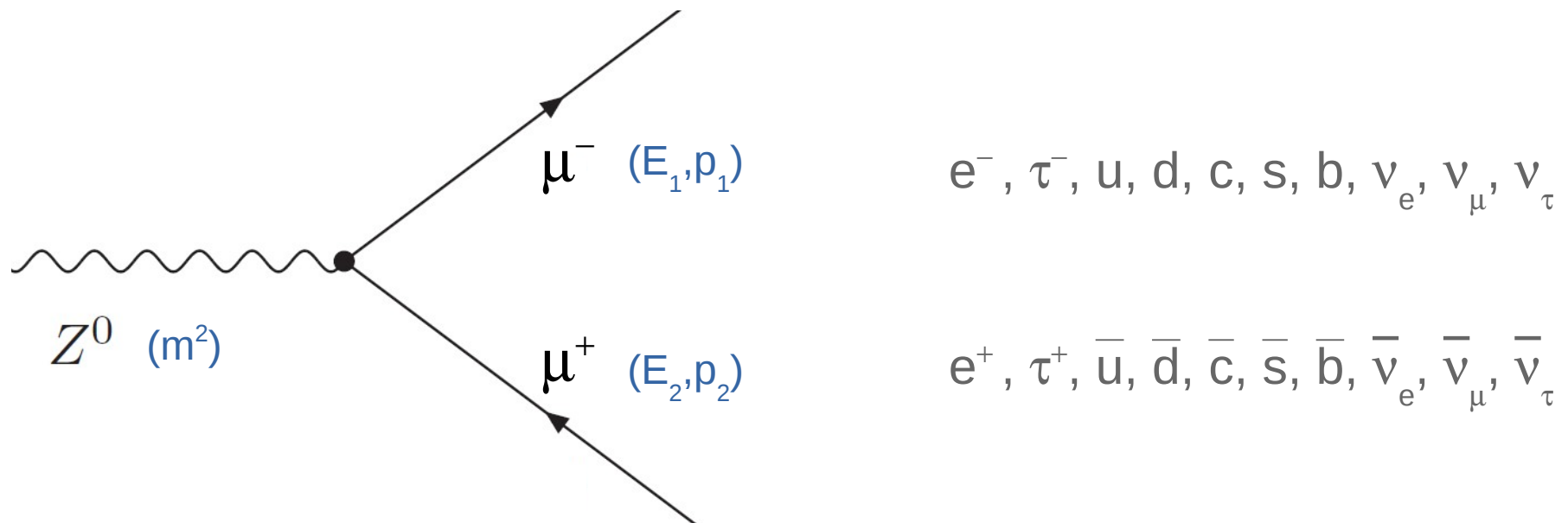
Decadimenti

- Poche particelle elementari sono stabili
 - Elettrone, quark leggeri, “neutrini”
- Le altre decadono in quelle più stabili
 - Con un tempo caratteristico
 - Es: $\mu^- \rightarrow e^- \nu_\mu \bar{\nu}_e$ in ~ 2 microsecondi (NB: per noi è quasi stabile)
- Delle particelle composte solo il protone è stabile
 - $Z \rightarrow e^+e^-$, $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$, ...
 - $J/\Psi(c\bar{c}) \rightarrow e^+e^-$, $J/\Psi(c\bar{c}) \rightarrow \mu^+\mu^-$, ...
 - $Y(b\bar{b}) \rightarrow e^+e^-$, $Y(b\bar{b}) \rightarrow \mu^+\mu^-$, ...



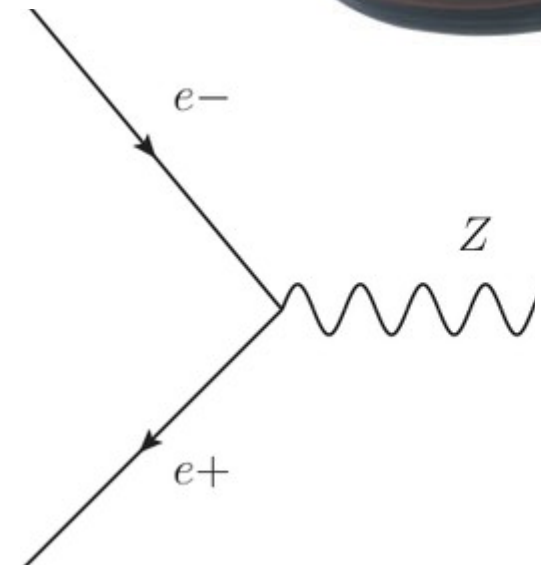
Decadimento Z

- Quando una particella decade si conservano energia, impulso e carica
 - Misurando energia e impulso dei prodotti di decadimento si può risalire alla massa della particella iniziale: $m^2 = (E_1 + E_2)^2 - (p_1 + p_2)^2$
 - Esempio: decadimento del bosone Z



Antimateria

- Per ogni particella → anti-particella
 - stessa massa ma carica opposta
- Ipotizzata teoricamente da Dirac nel '28
 - Per motivi di simmetria delle equazioni
 - Scoperta da Anderson nel '32
- Se una particella e la sua anti-particella si incontrano si **annichilano**
 - Il prodotto dell'annichilazione sono altre particelle a carica neutra: fotoni, gluoni o il bosone Z

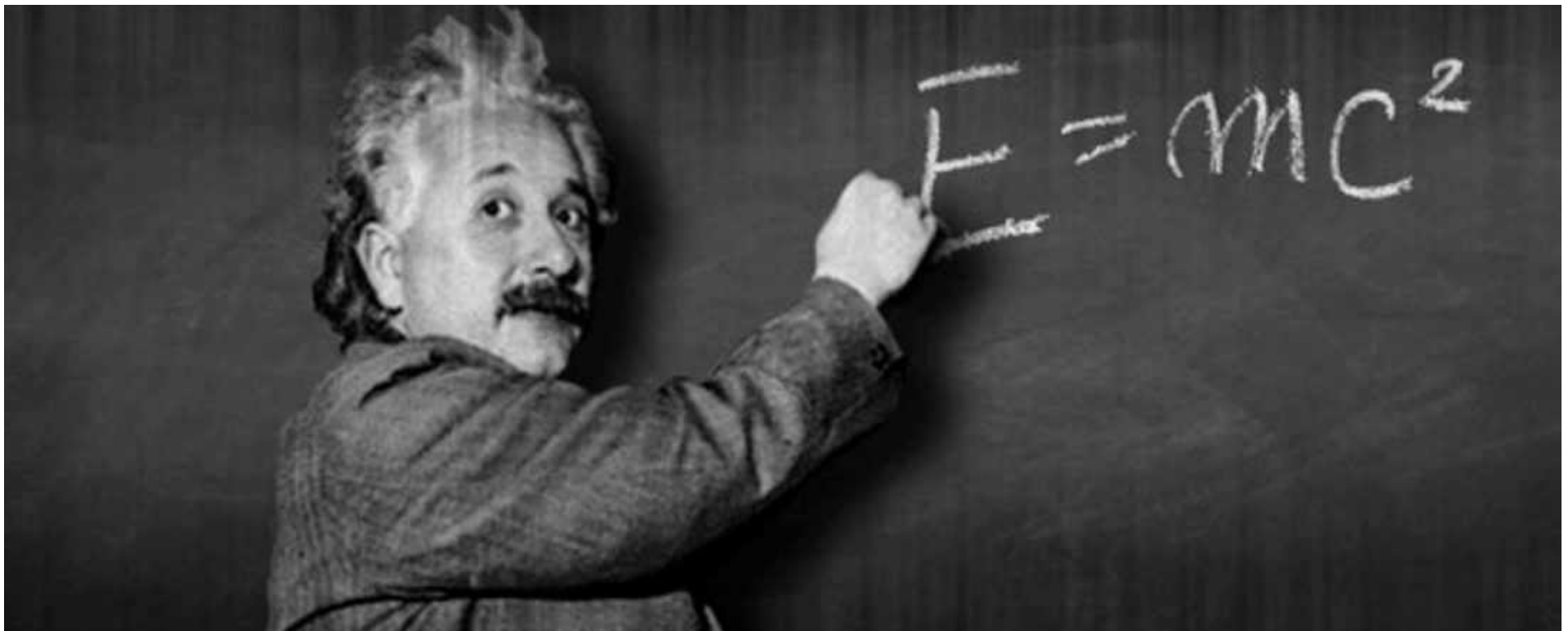
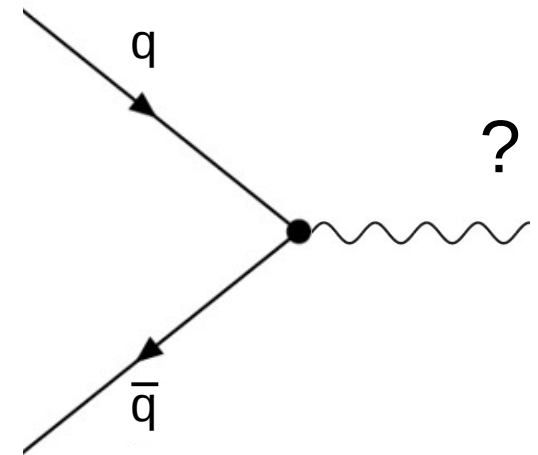


Come produrre nuove particelle?

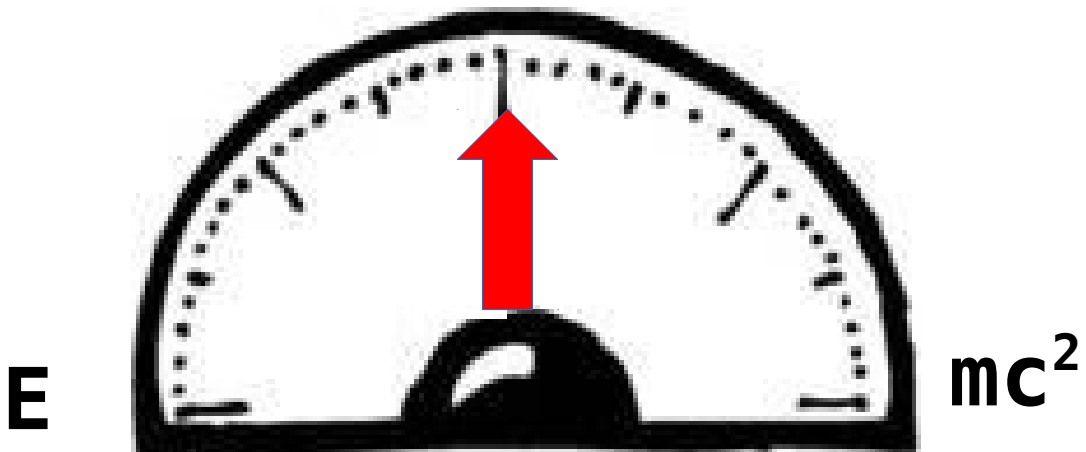
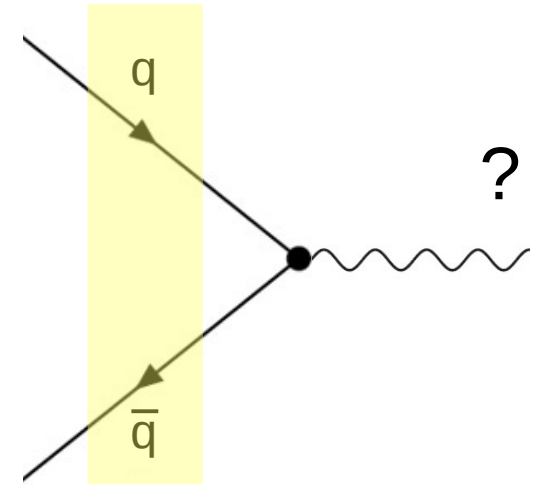
- Due elementi chiave

Come produrre nuove particelle?

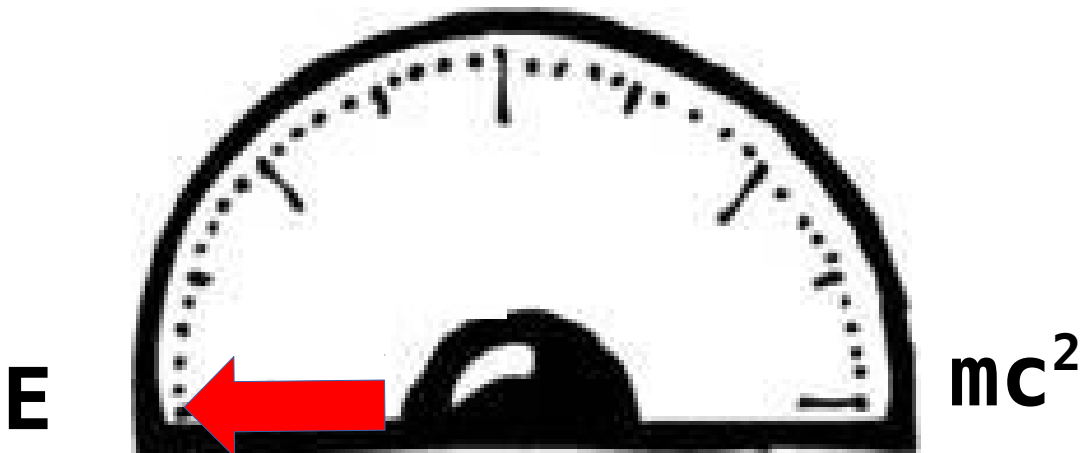
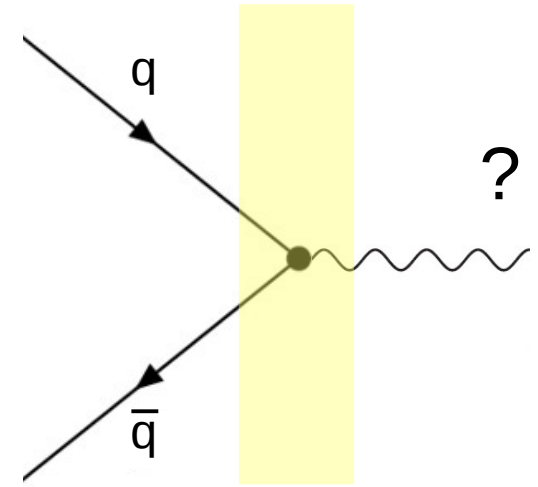
- Due elementi chiave
 - Annichilazione
 - Equivalenza massa energia



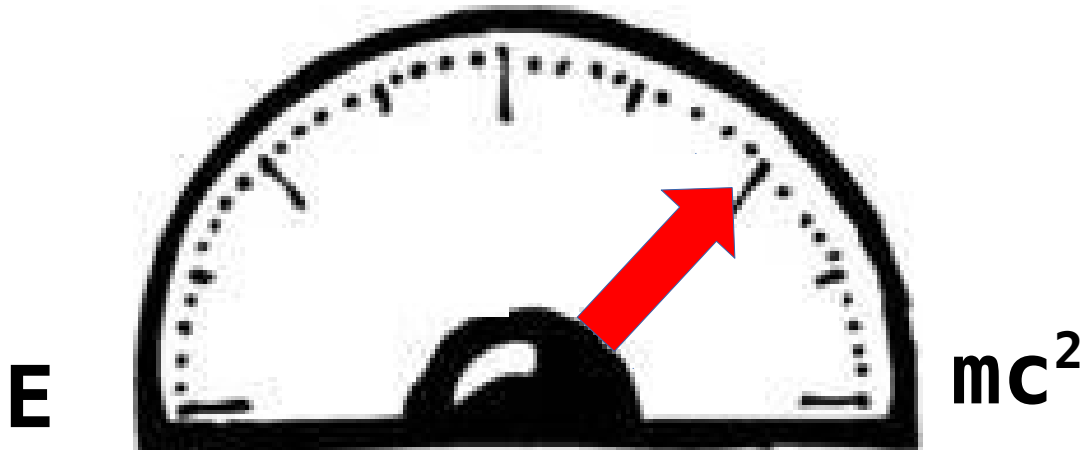
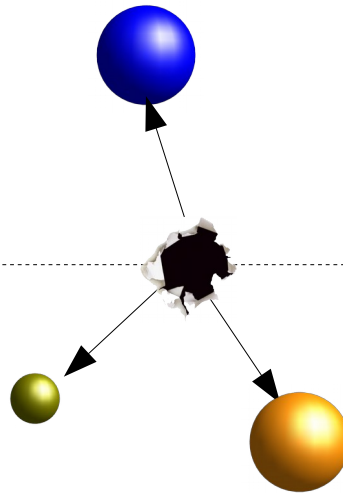
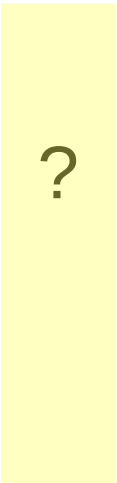
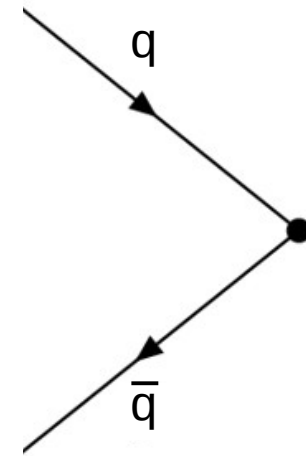
Collider



Collider



Collider



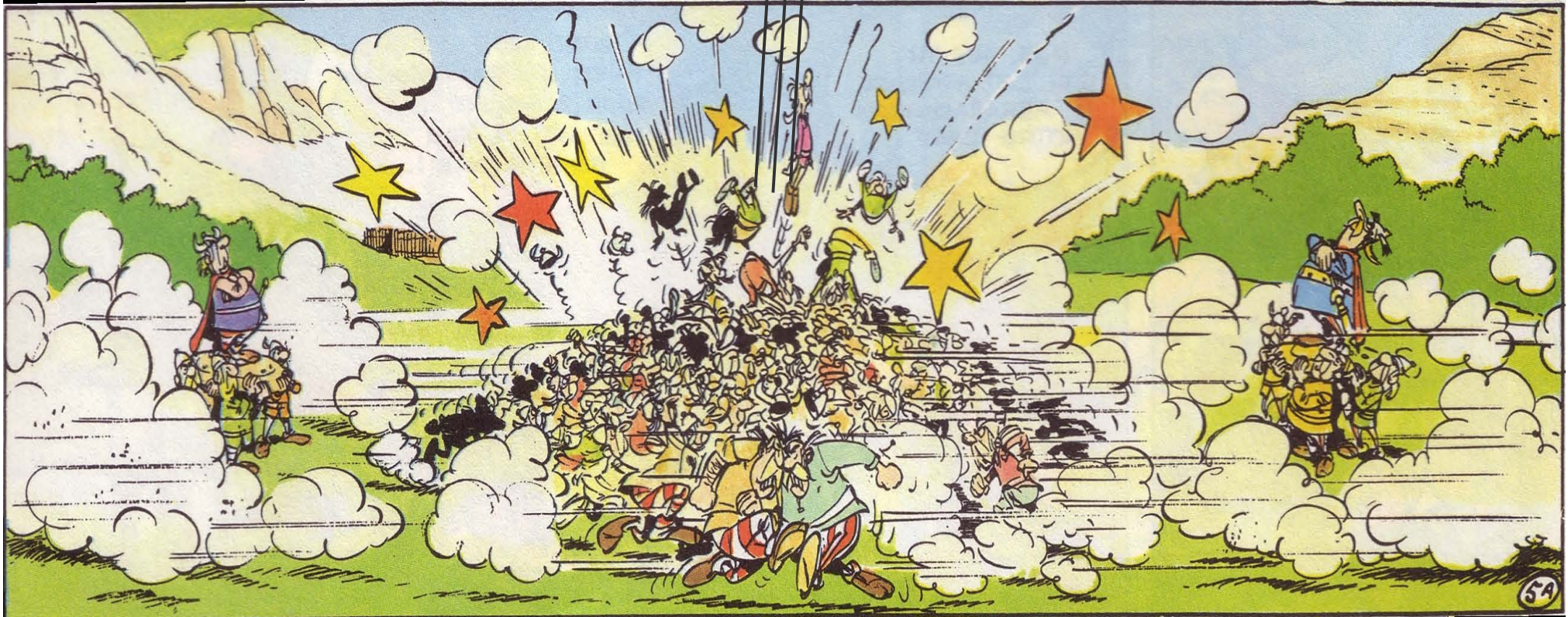
Forza bruta

- Scontri tra particelle elementari alla massima energia cinetica possibile
- Le particelle annichilano e l'energia prodotta diventa disponibile per la produzione di nuove particelle

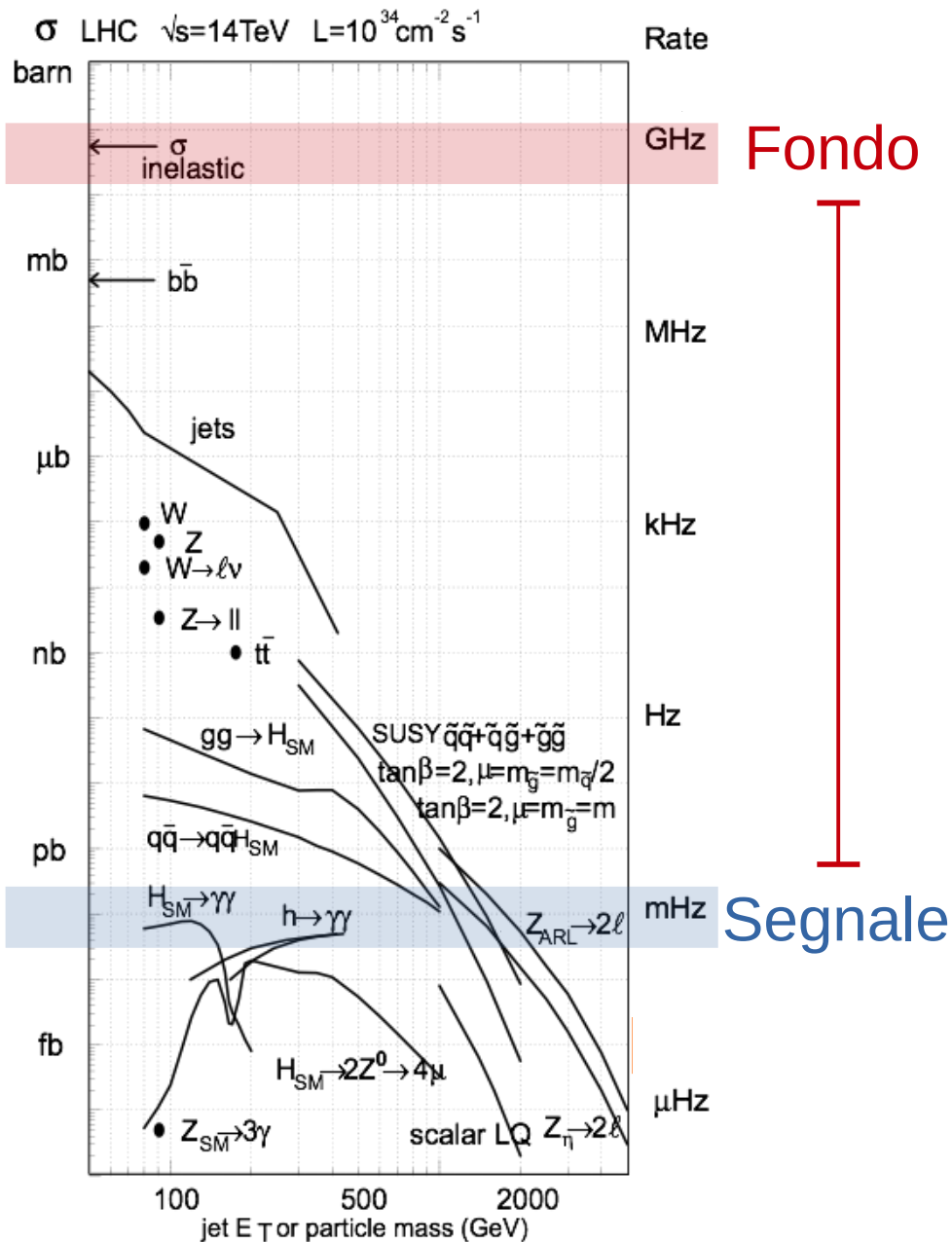


Collider

- E ogni 10 miliardi di scontri



Eventi rari



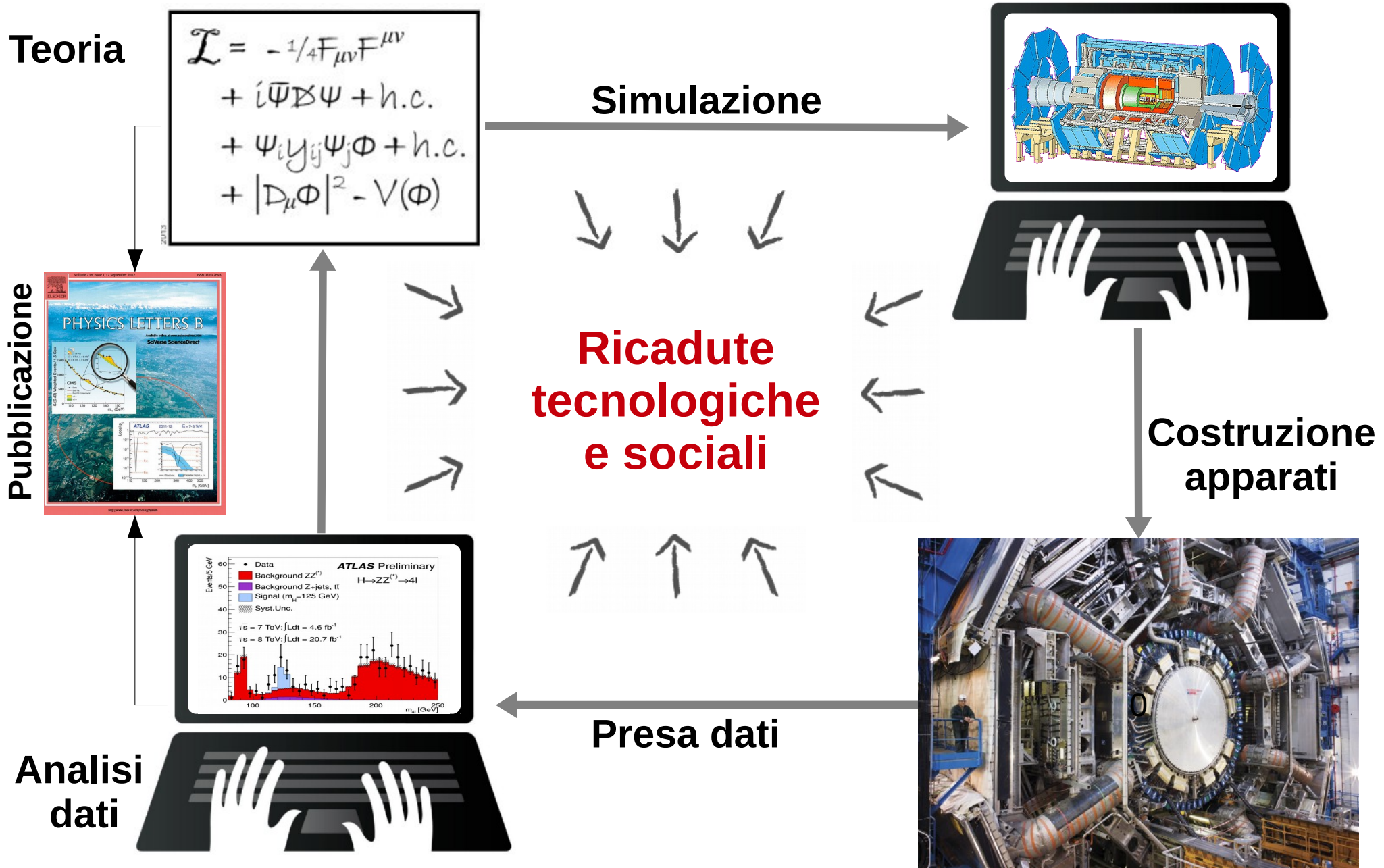
- Segnale/fondo

$$1/10^{10}$$

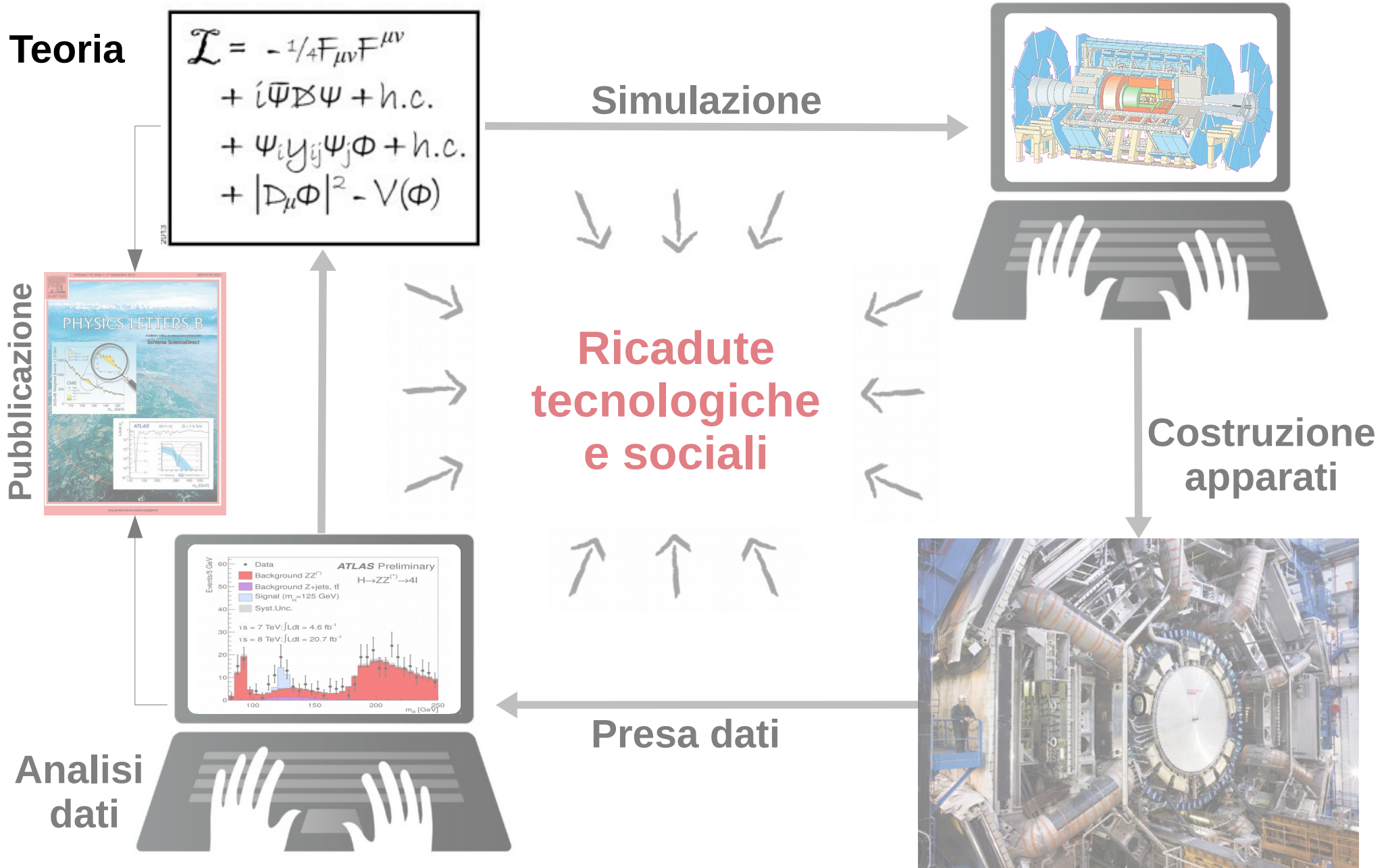
- 1 granello di sabbia ogni 400 secchielli



Modello di lavoro



Modello di lavoro



Cognome **Bosone**

Nome **Higgs**

nato il $\sim 10^{-30}$ s dopo il BigBang

(atto n. P. S.)

a **Ovunque** (.....)

Cittadinanza **Nostro universo**

Residenza **Ovunque**

Via.....

Stato civile **Assai poligamo**

Professione **Spacciatore di massa**

CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI

Statura **Da 100 a 1000 GeV**

Spin **0**

Parità **+1**

Segni particolari **Sfuggente**

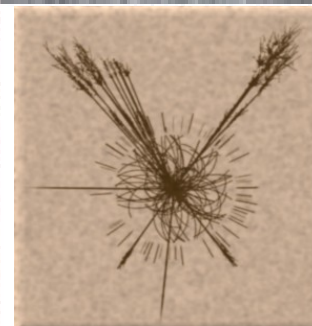
Accoppiamento con le particelle
proporzionale alla loro massa



Firma del titolare **Decado in $\gamma\gamma$, WW ,**

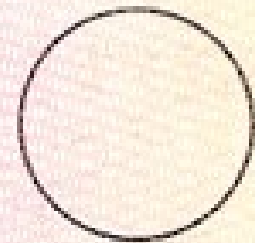
ZZ , bb , cc , $t\tau$, ecc

Impronta del dito
indice sinistro

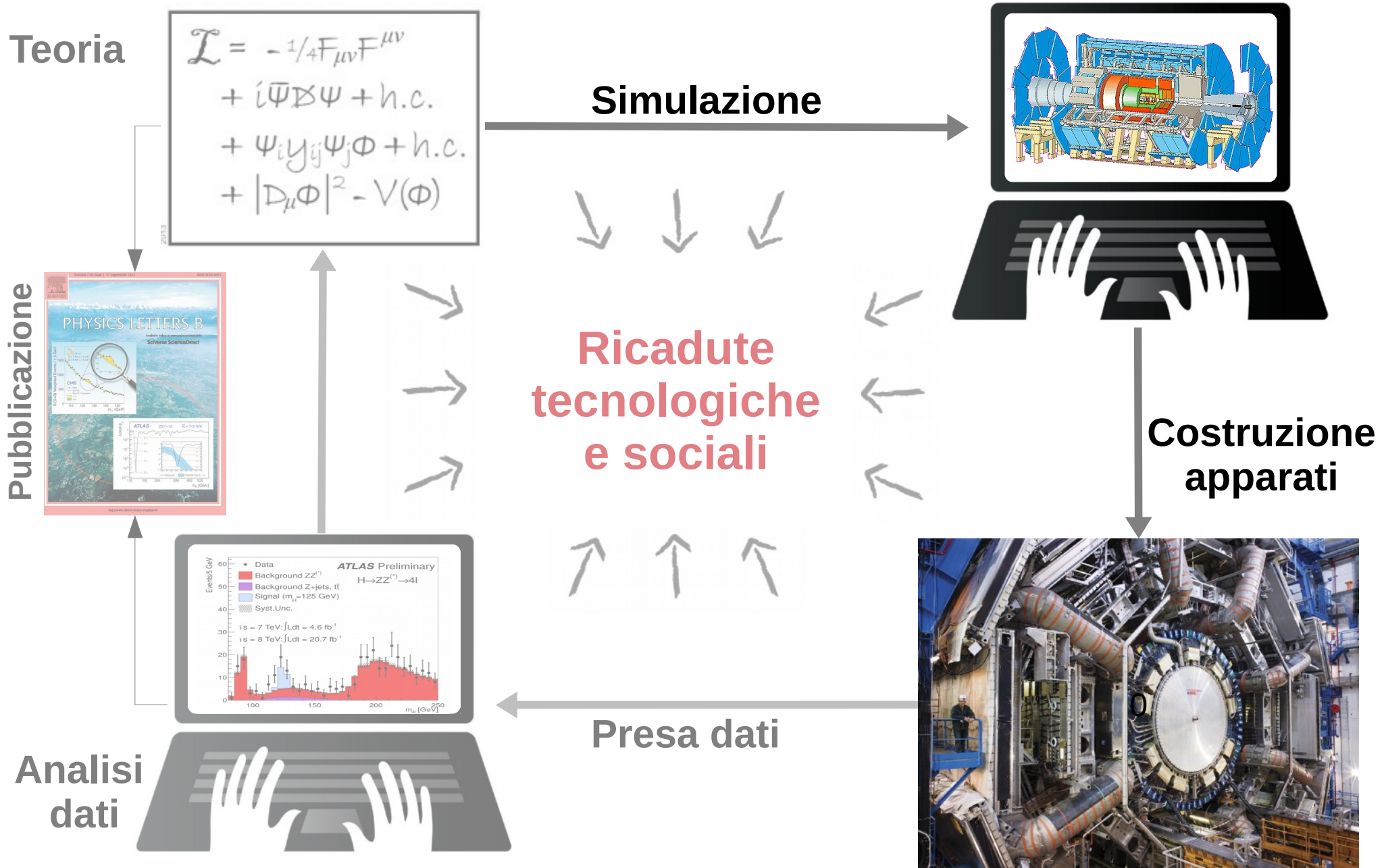


IL SINDACO

Peter Higgs



Modello di lavoro



Realizzazione apparati

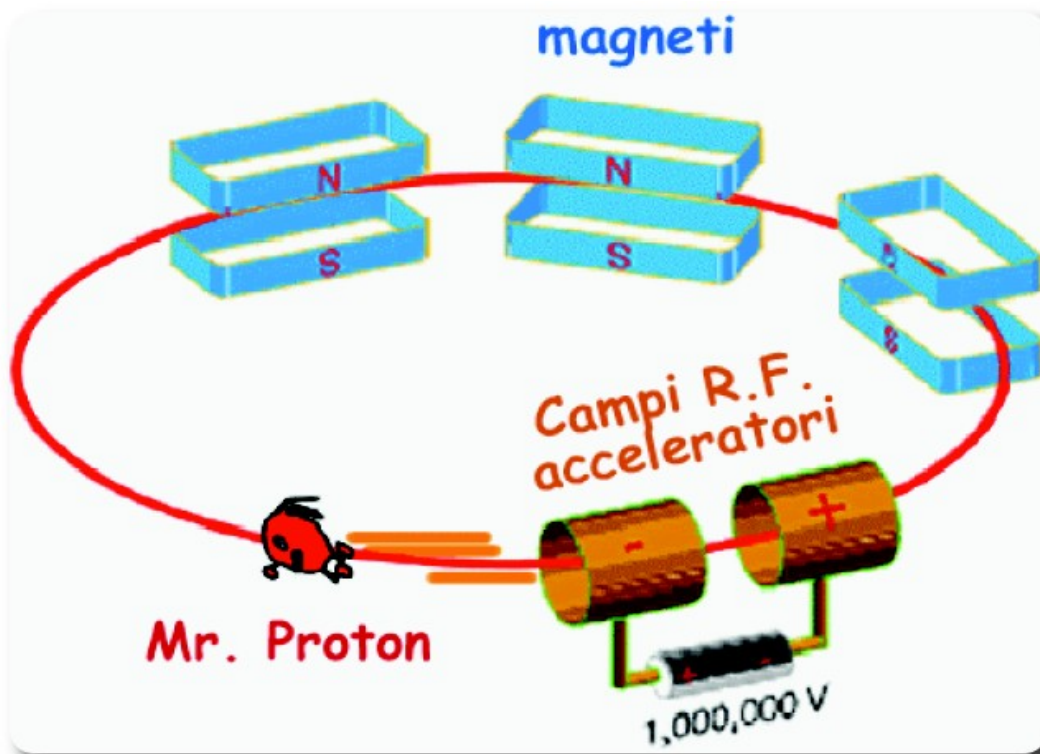
- Spostare in avanti i limiti della tecnologia
- Per esempio, per scoprire il bosone di Higgs
 - Vent'anni di lavoro di migliaia di scienziati e tecnici
 - Collider da ~ 10 TeV: 10x energia, 100x “intensità”
 - Rivelatori di particelle di nuova generazione



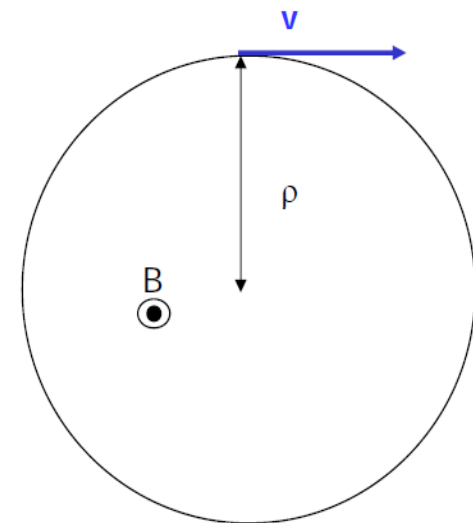
Energia: 10 TeV

- \vec{B} : per deviare e focalizzare i fasci
- \vec{E} : per accelerare

$$\vec{F} = e \cdot \vec{E} + q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

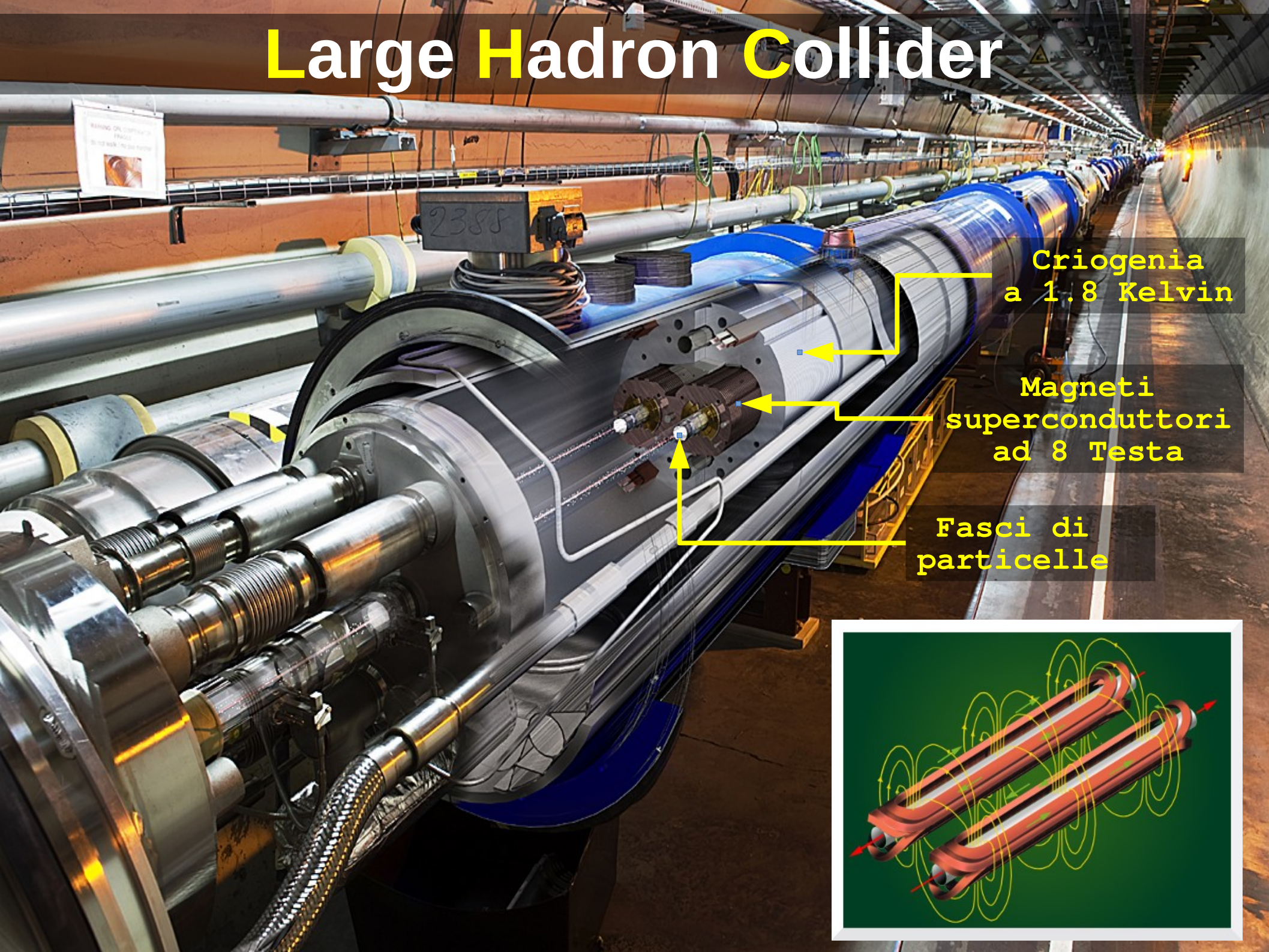


$$F_{centr} = m \gamma \frac{v^2}{\rho} = evB = F_{Lor}$$



$$p [GeV/c] = 0.3 \cdot B [T] \rho [m]$$

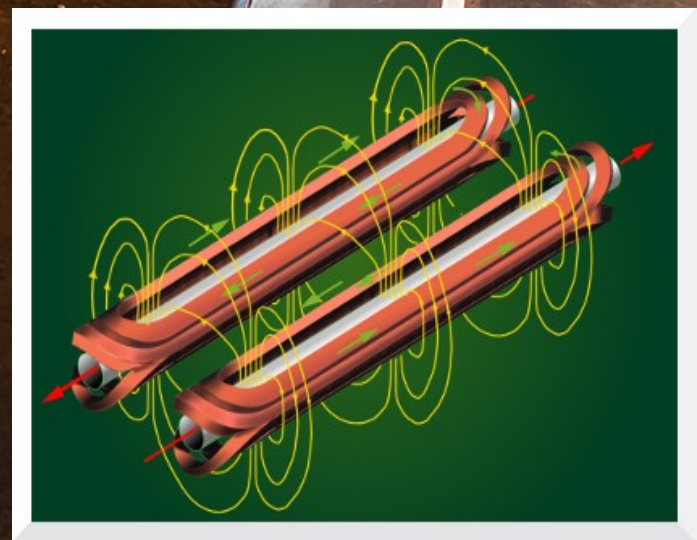
Large Hadron Collider



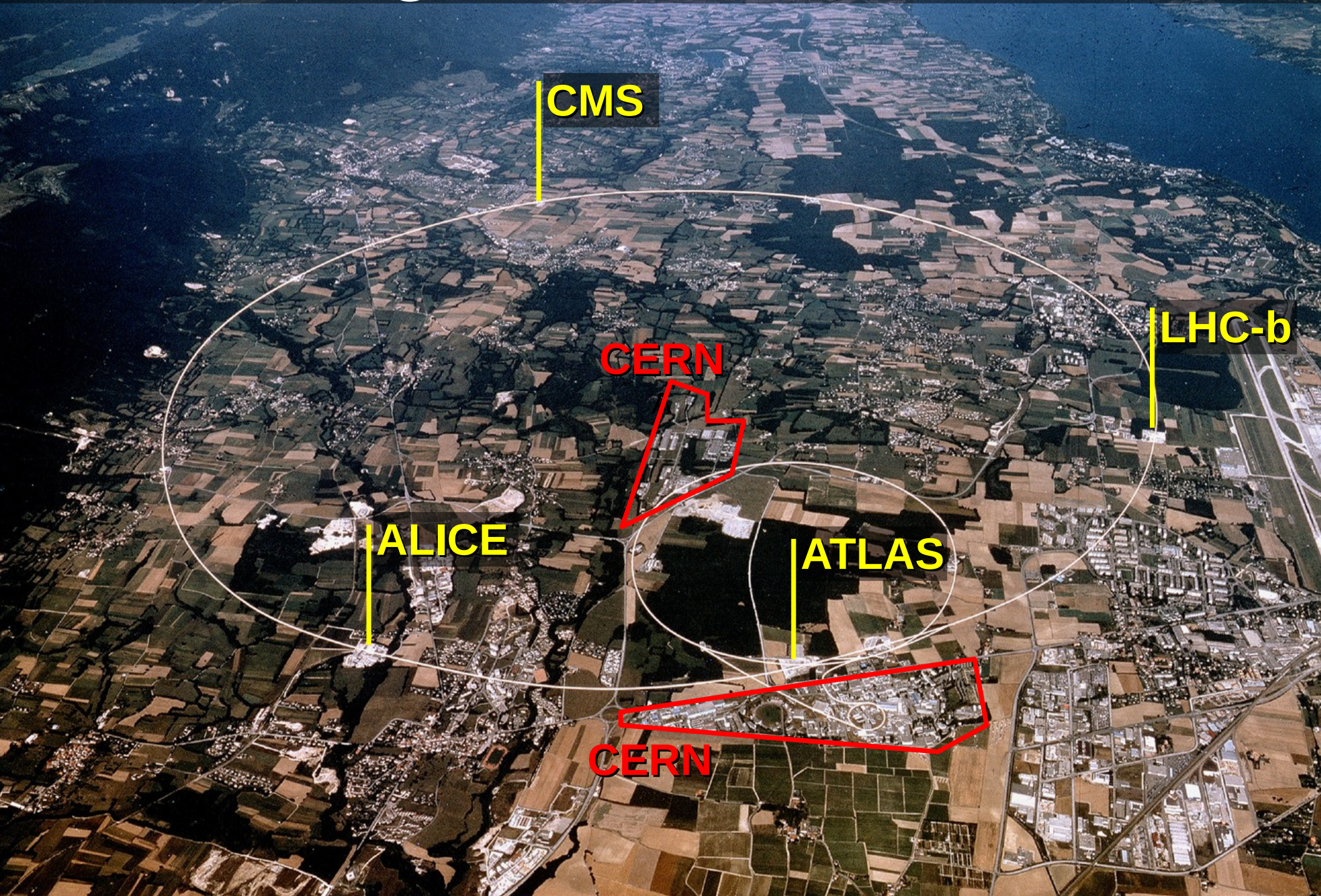
Criogenia
a 1.8 Kelvin

Magneti
superconduttori
ad 8 Testa

Fasci di
particelle



Large Hadron Collider



CMS

LHC-b

CERN

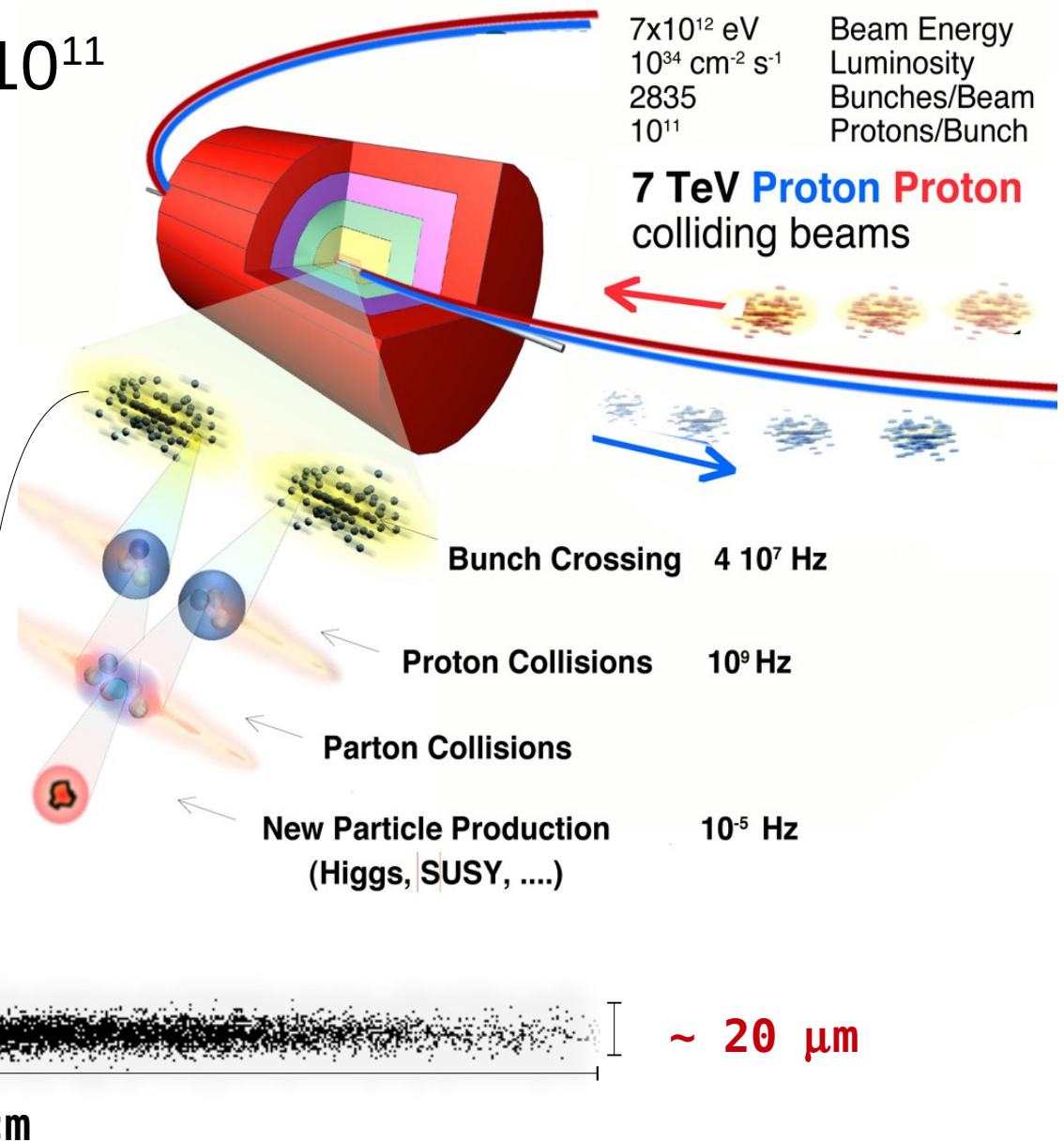
ALICE

ATLAS

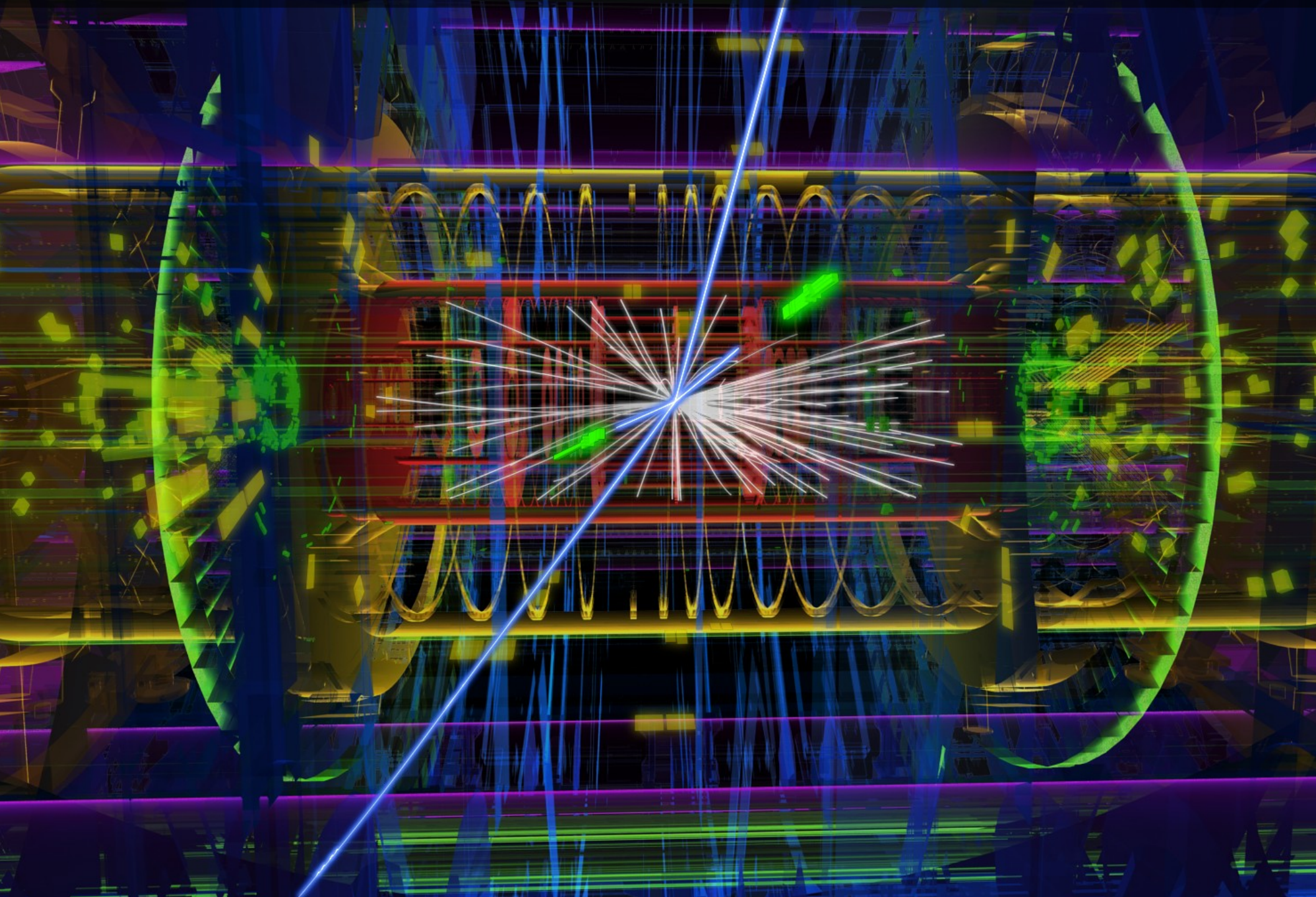
CERN

Collisioni

- Protoni in pacchetti da 10^{11}
- ~3000 pacchetti per ogni fascio
=> 40 milioni di collisioni/s (**40 MHz**)
- Occorre far collidere, ogni **25 ns**, le punte di 2 spilli che viaggiano a $v \sim c$



Collisioni



Rivelazione delle particelle

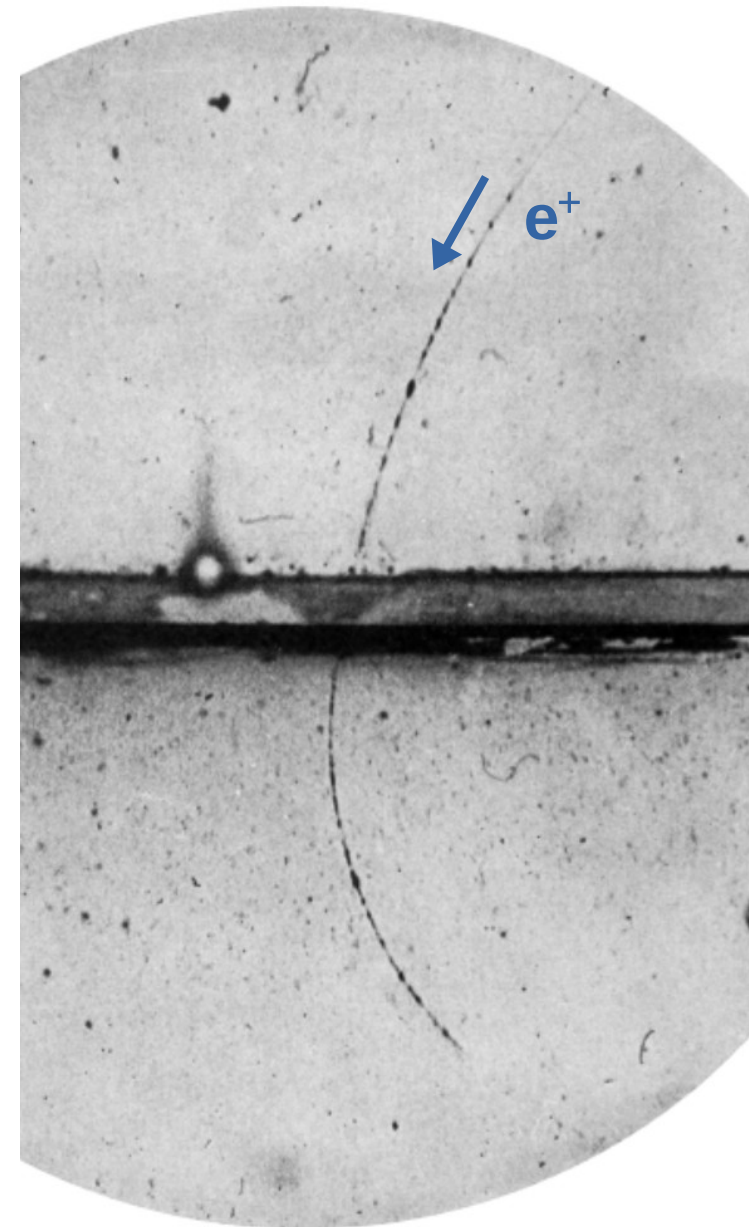
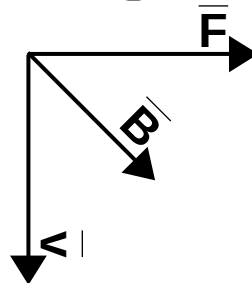
- Seguire le scie :-)
 - Le particelle ad alta energia interagiscono con gli atomi del mezzo che attraversano
 - Se il mezzo ha caratteristiche opportune, possiamo vedere le scie lasciate dalle particelle



Es: scoperta positrone

- Scoperta del positrone nei raggi cosmici: Anderson '32
- Camera a nebbia:
 - vapore sovrassaturo
 - passaggio particella → goccioline di condensa
- Campo magnetico per identificare la carica
 - Perpendicolare all'immagine

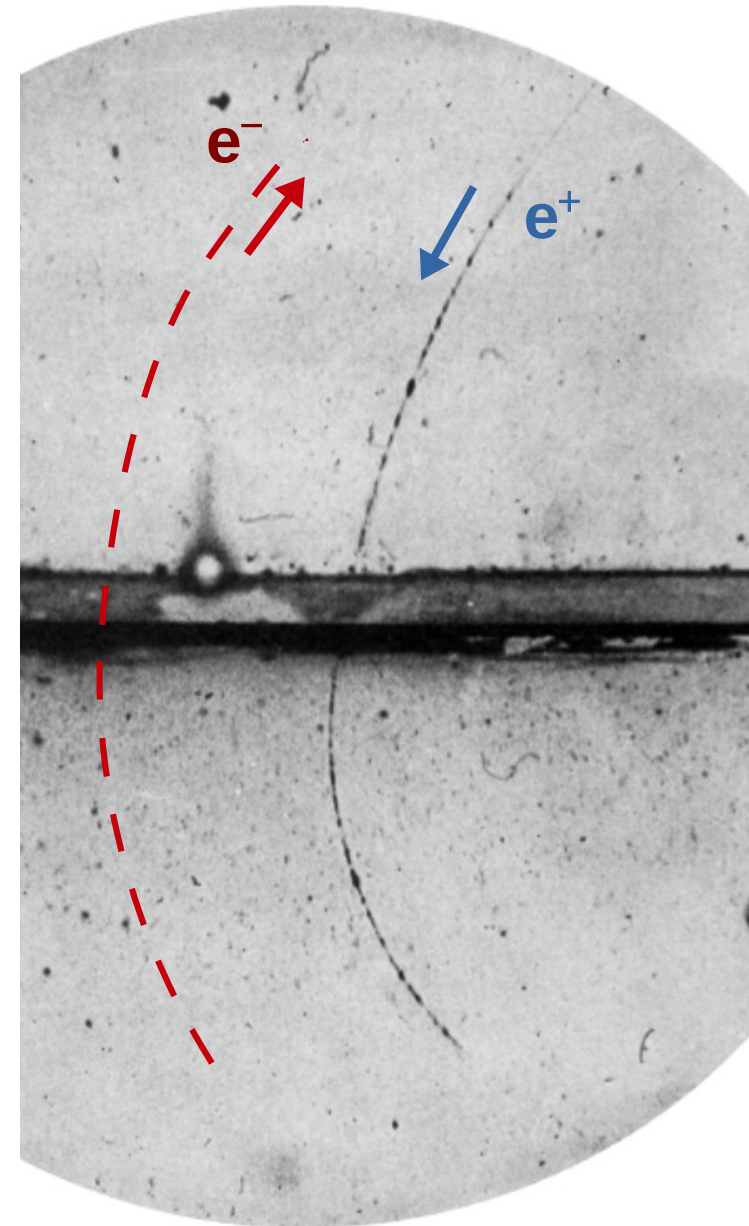
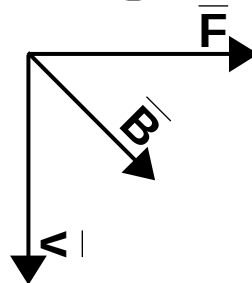
$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$



Es: scoperta positrone

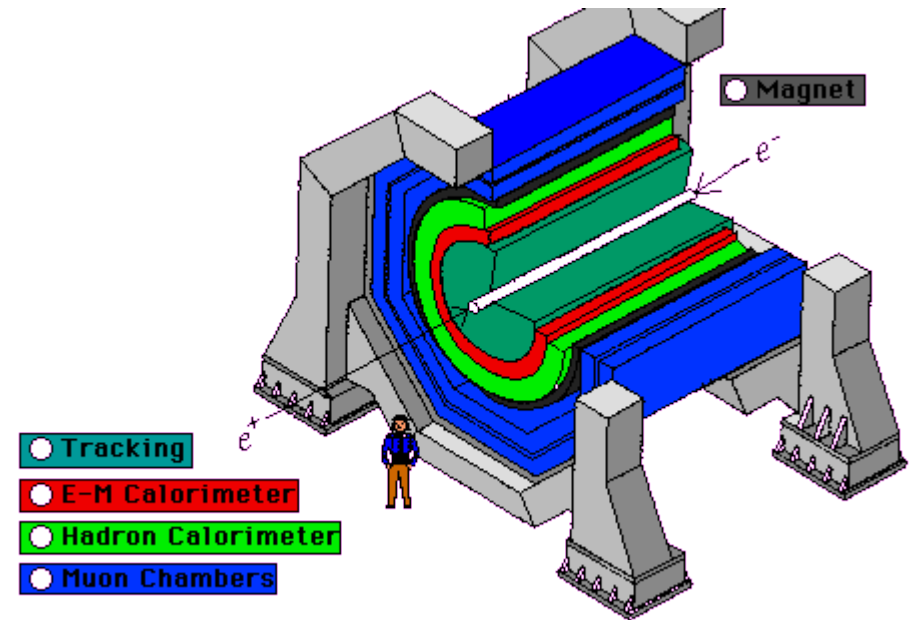
- Scoperta del positrone nei raggi cosmici: Anderson '32
- Camera a nebbia:
 - vapore sovrasaturato
 - passaggio particella → goccioline di condensa
- Campo magnetico per identificare la carica
 - Perpendicolare all'immagine

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

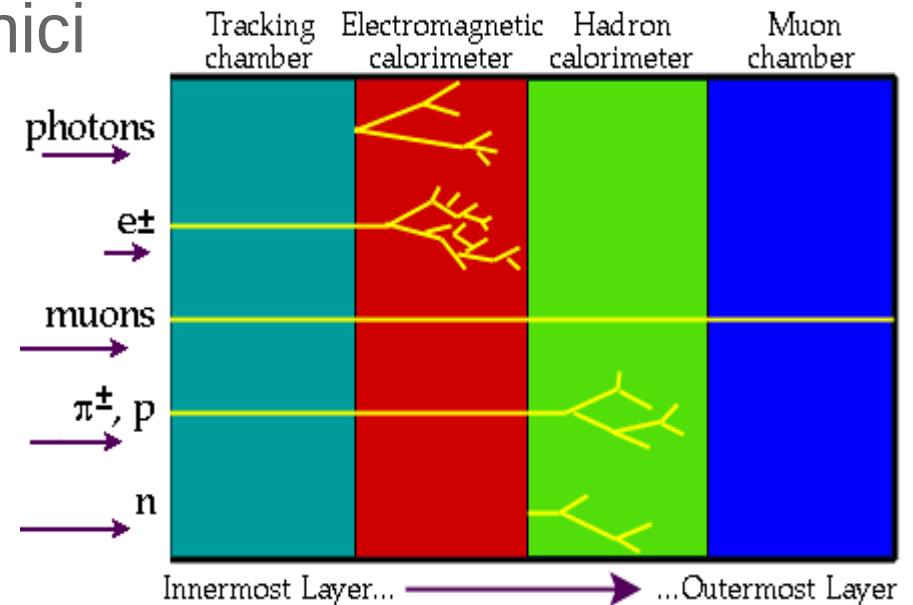


Rivelatore moderno

- Meccanismo base
 - Particelle ad alta energia interagiscono con la materia ionizzandola o creando cascate di altre particelle
 - Elettroni o fotoni prodotti possono essere raccolti e trasformati in segnali elettronici



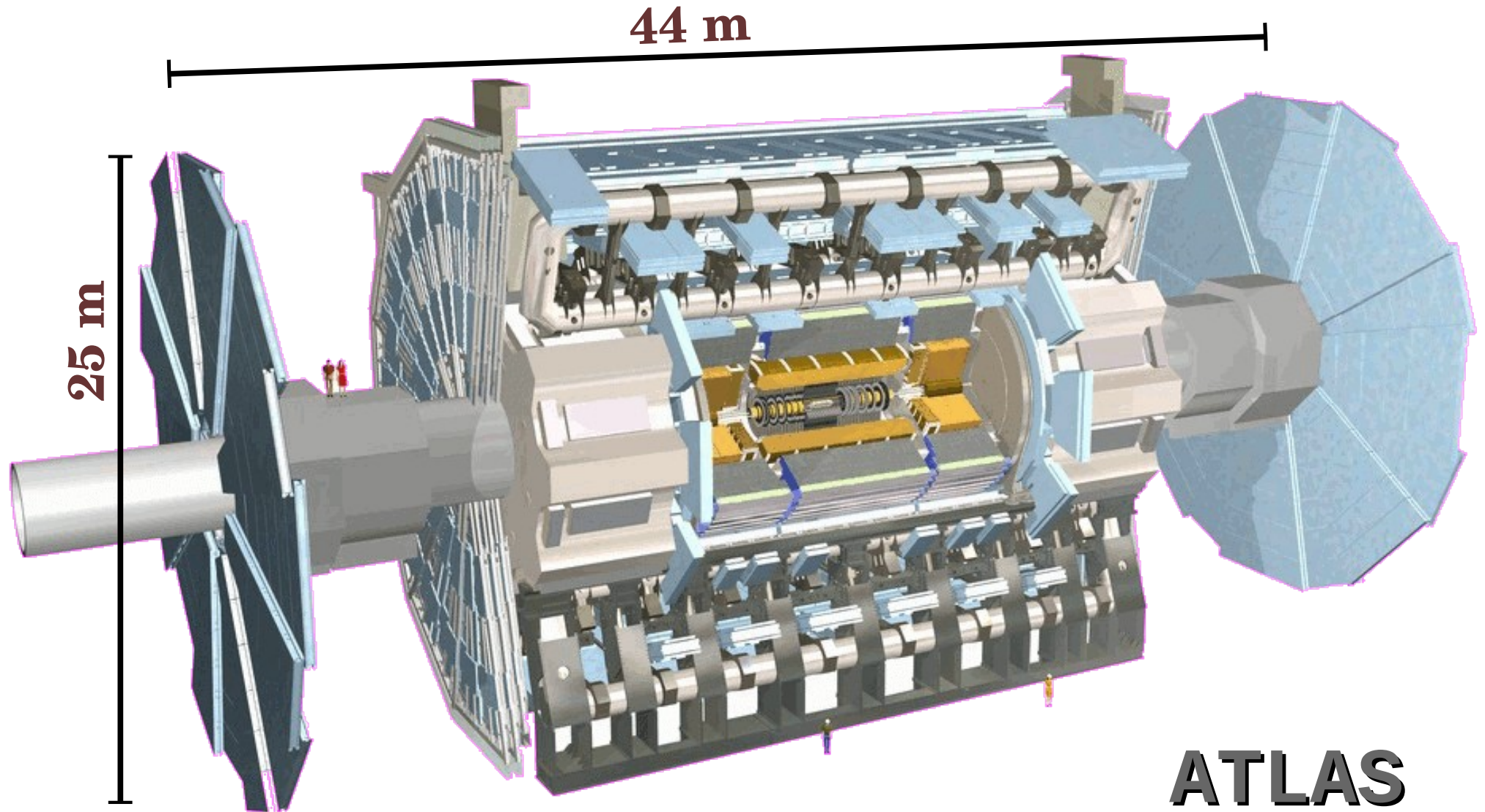
- Sotto-rivelatori basati su tecnologie diverse
 - +/- adatte a rivelare un determinato tipo di particella
 - disposti in cilindri concentrici



Rivelatori: 1932



Rivelatori oggi



ATLAS

Home made

- La tecnologia necessaria non si trova sul mercato
 - Occorre inventarla e costruire i componenti

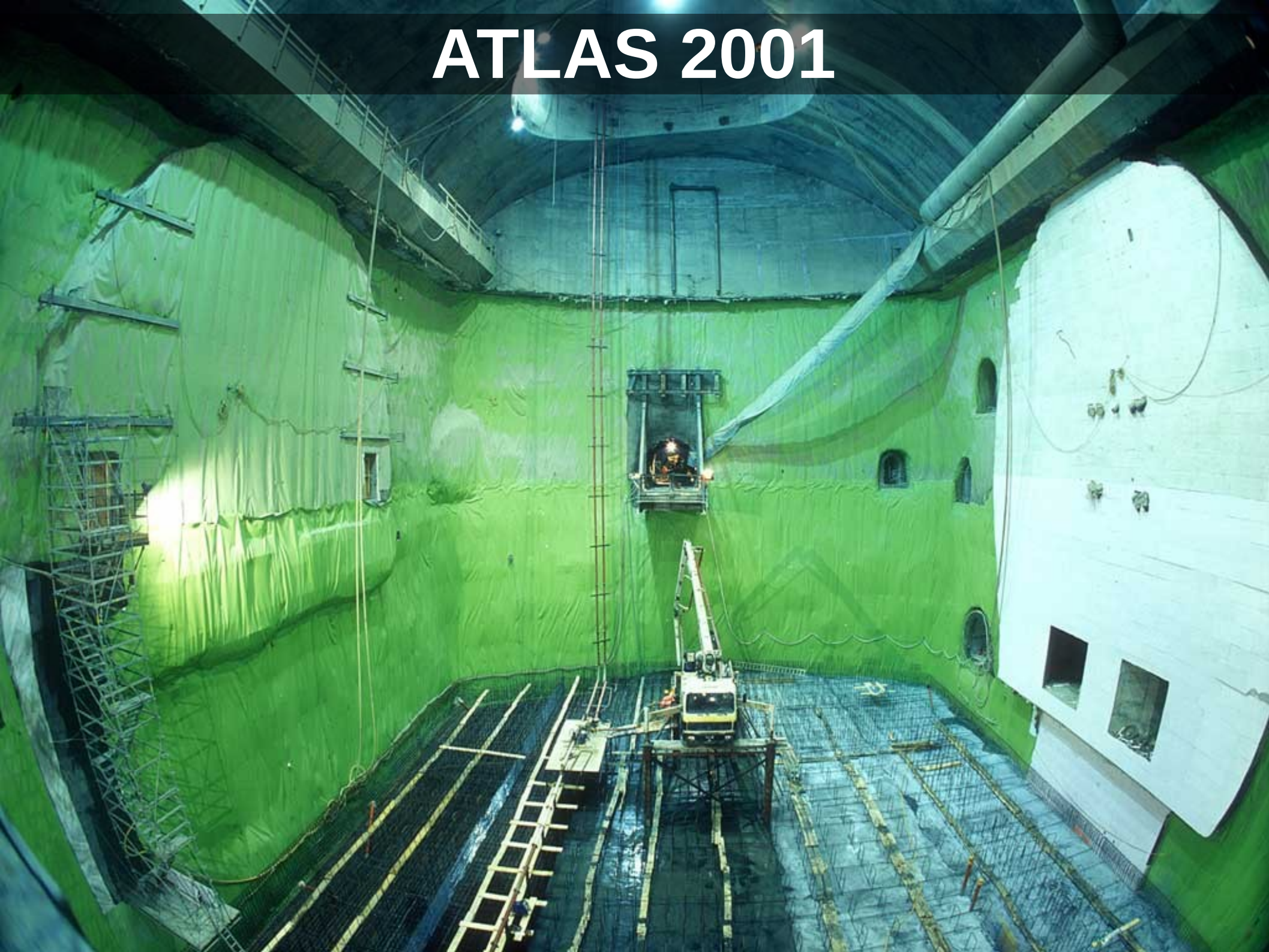


Home made

- La tecnologia necessaria non si trova sul mercato
 - Occorre inventarla e costruire i componenti



ATLAS 2001



ATLAS 2002



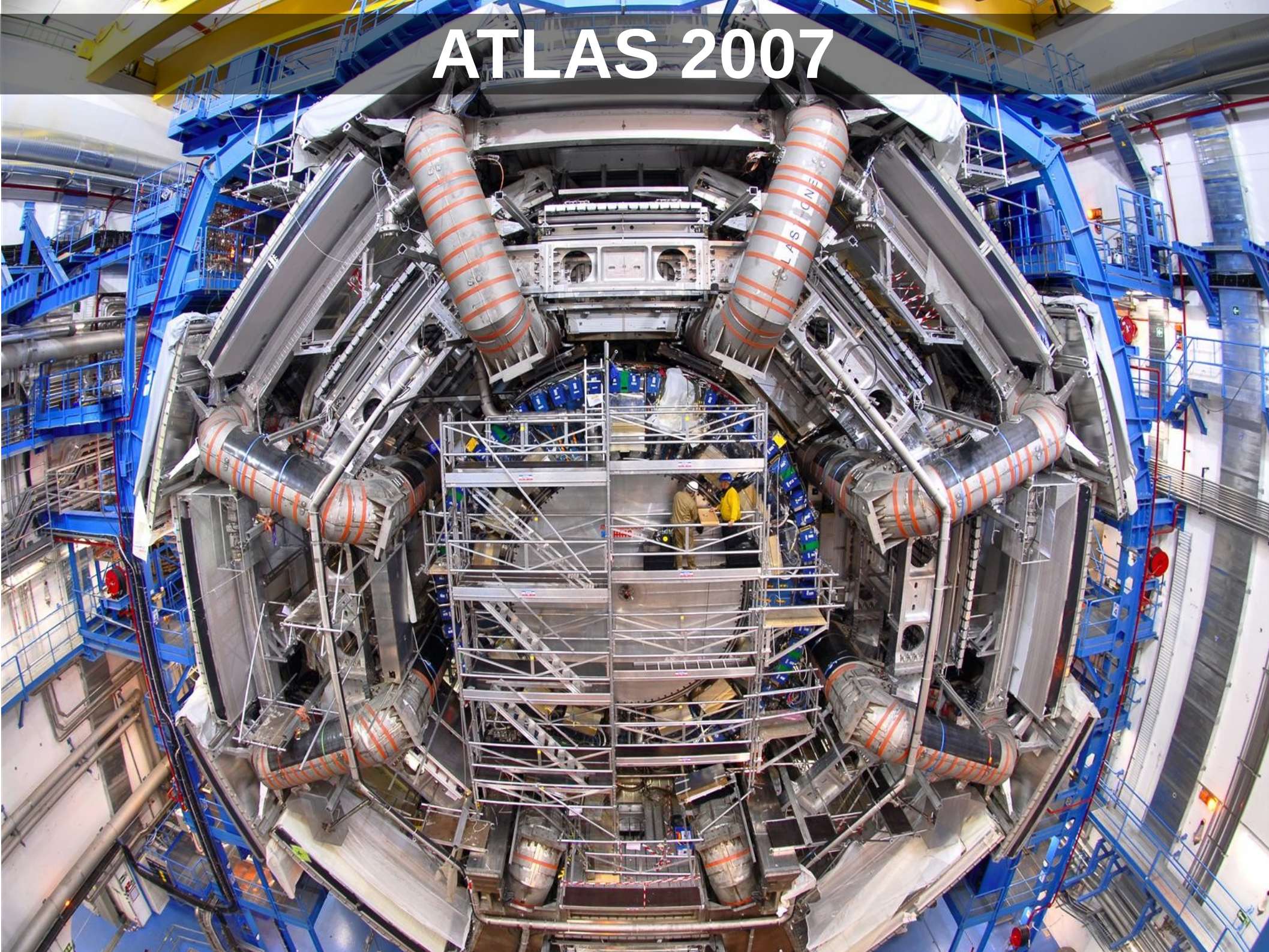
ATLAS 2006



Gabriella 2006



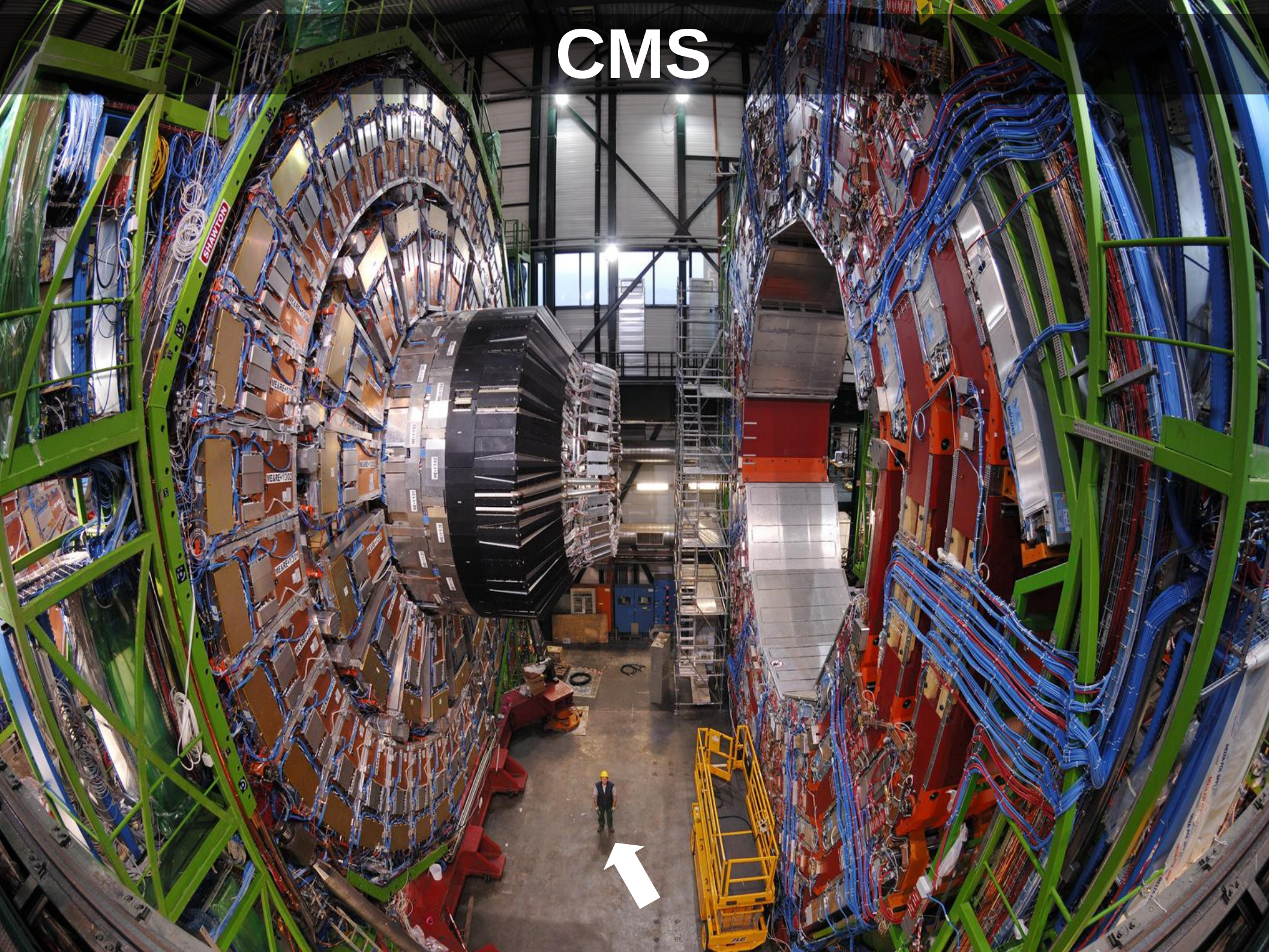
ATLAS 2007



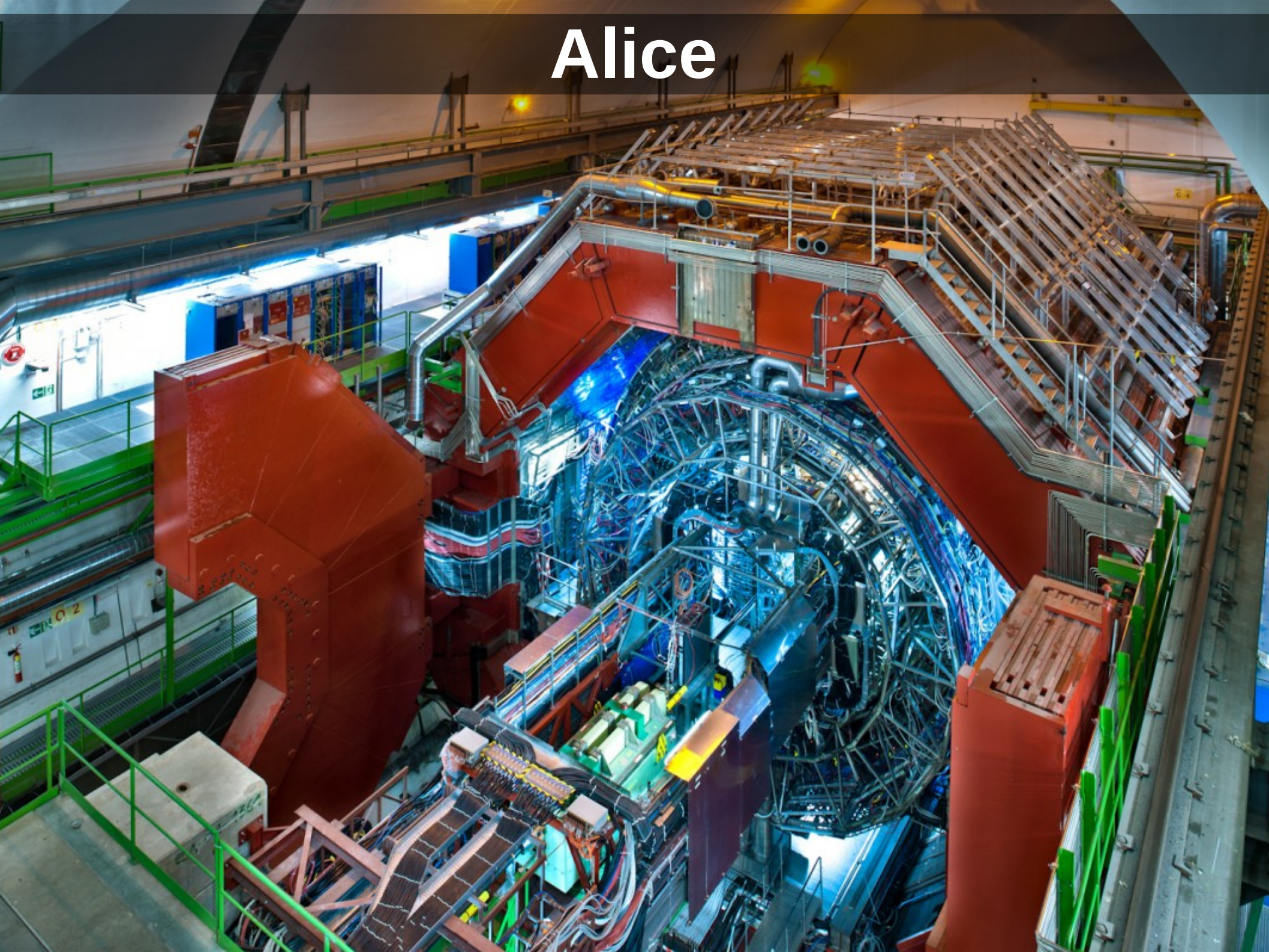
ATLAS oggi



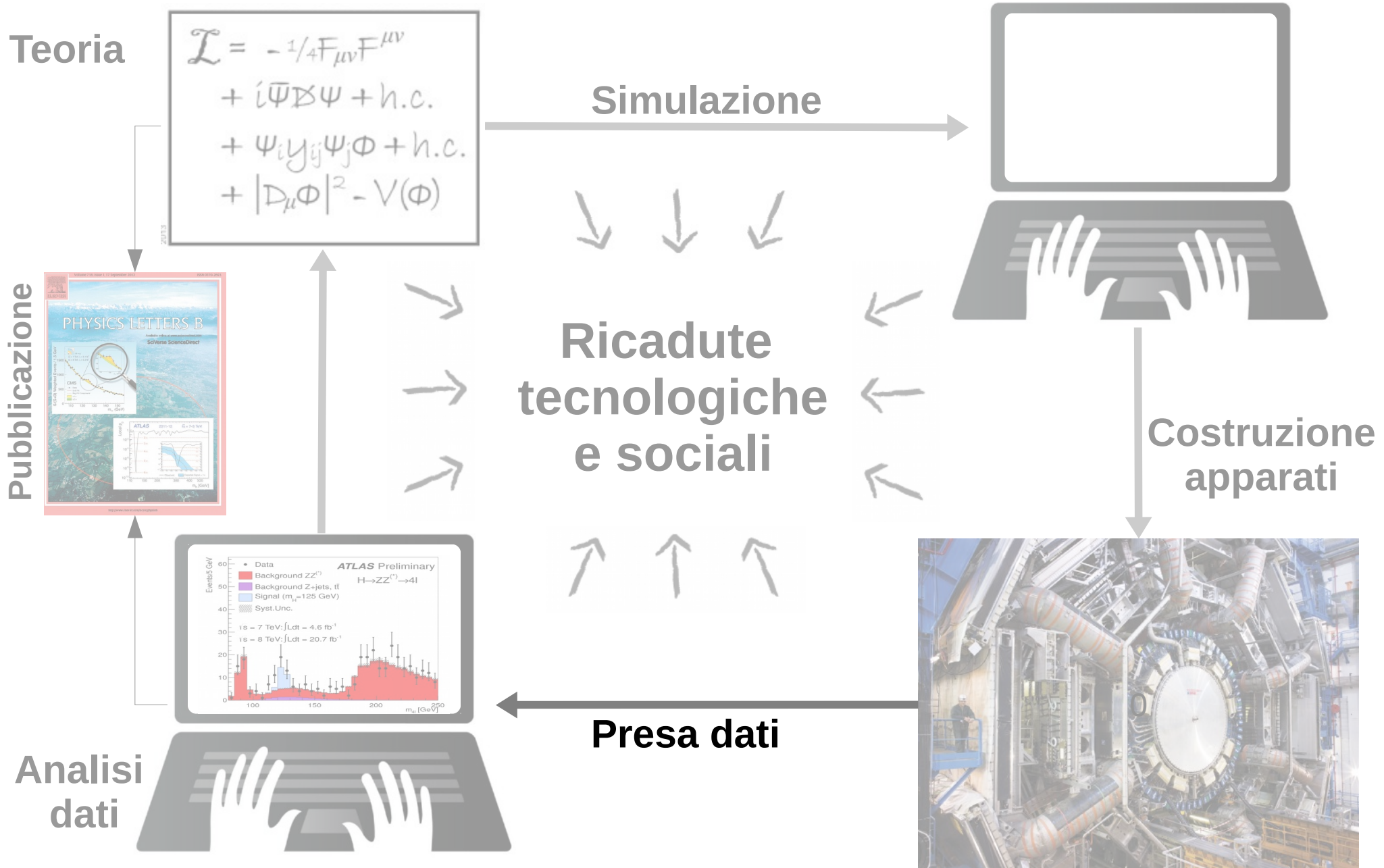
CMS



Alice



Modello di lavoro




Presena dati: 2010-12, 2015-18, 2020-...



100 milioni di canali di elettronica



100 milioni di canali di elettronica



10^8 canali @40 MHz : ~60 TB/s

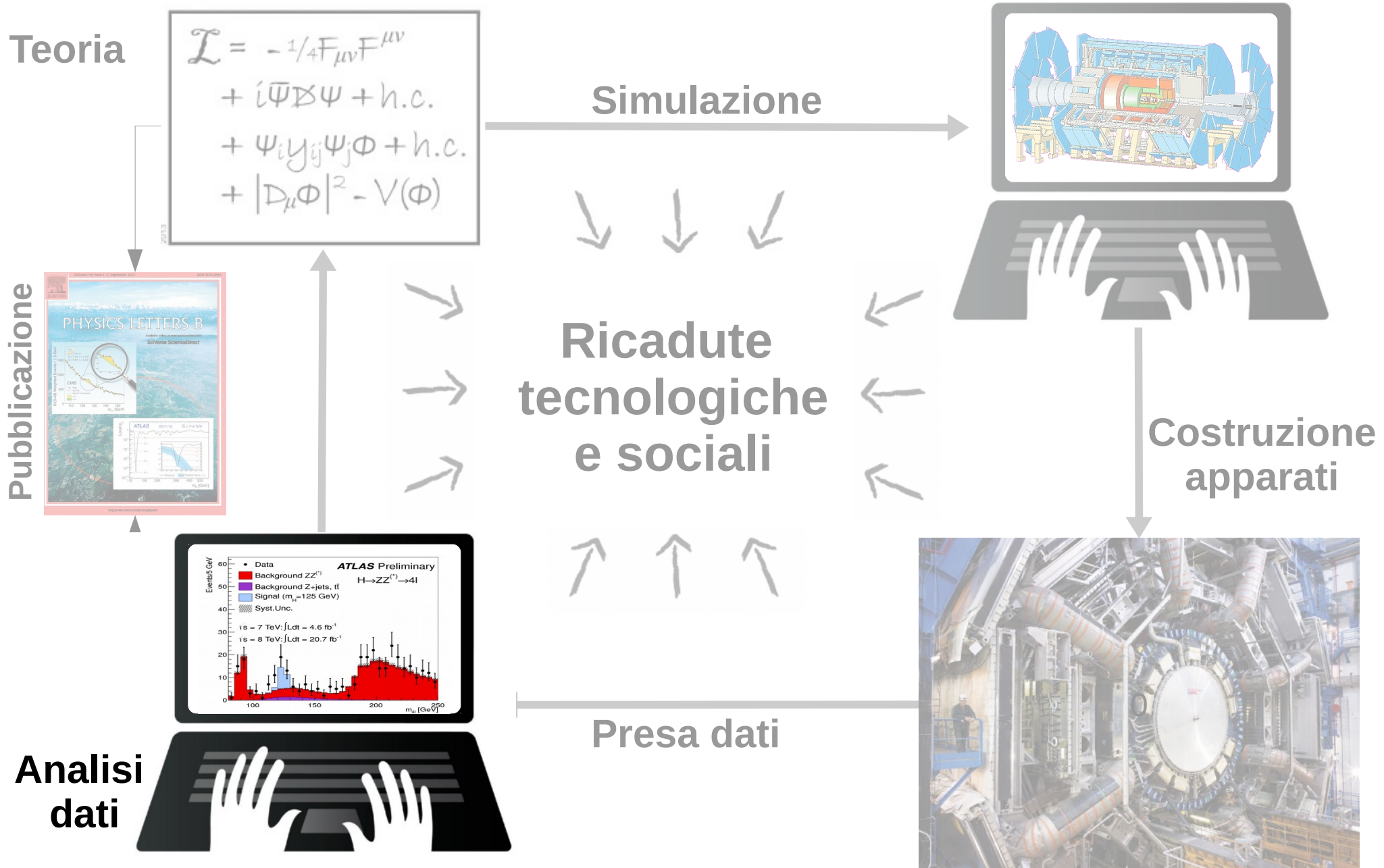
~500 milioni di film in streaming (in contemporanea)



~2000 PC

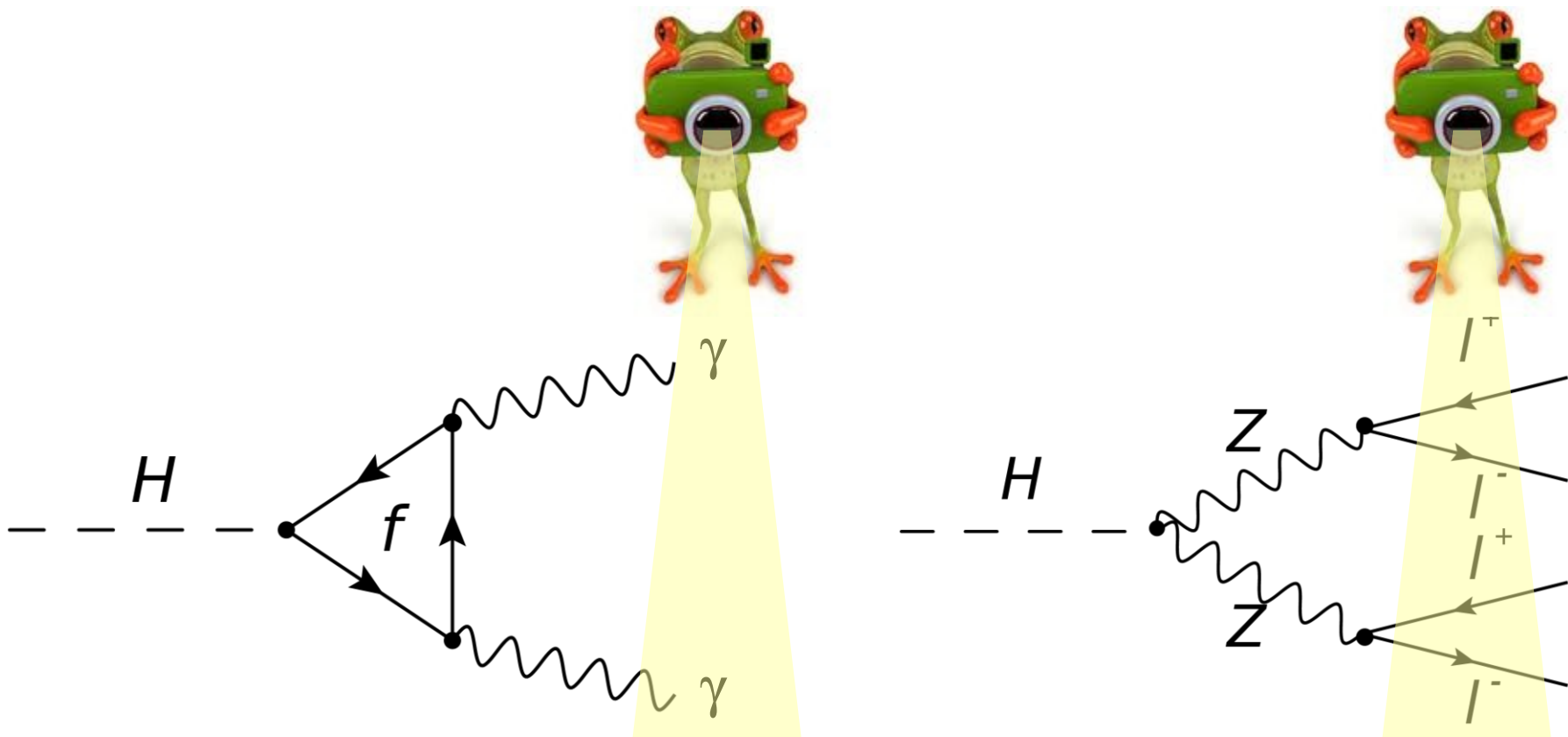
~30000 core

Analisi dati



Ricerca bosone di Higgs

- L'Higgs non è stabile, decade in particelle più leggere
 - Viene quindi “identificato” partendo dai prodotti che ci aspettiamo dal suo decadimento
 - Per esempio 2 fotoni o 4 leptoni ($eeee$, $\mu\mu\mu\mu$, $ee\mu\mu$)

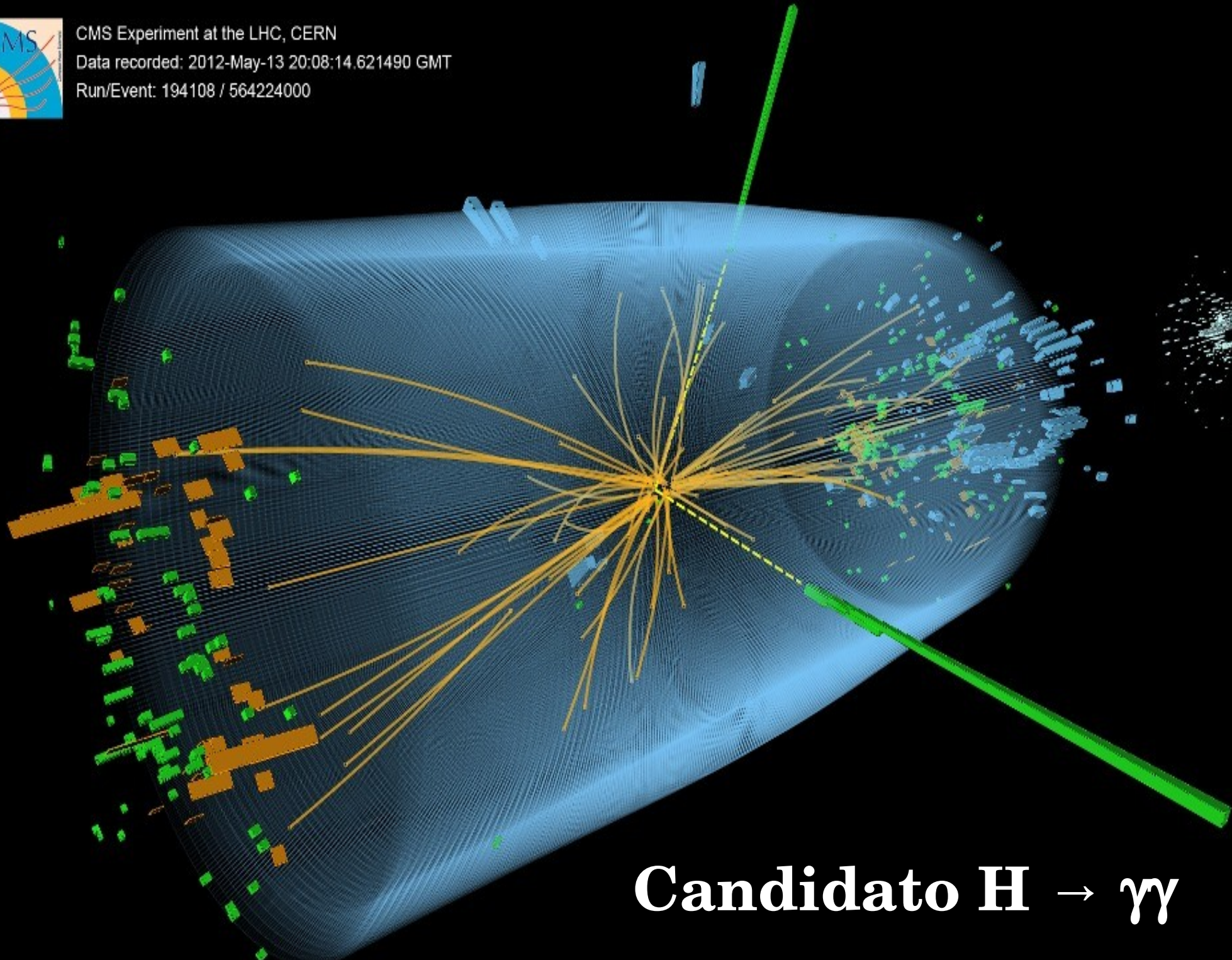




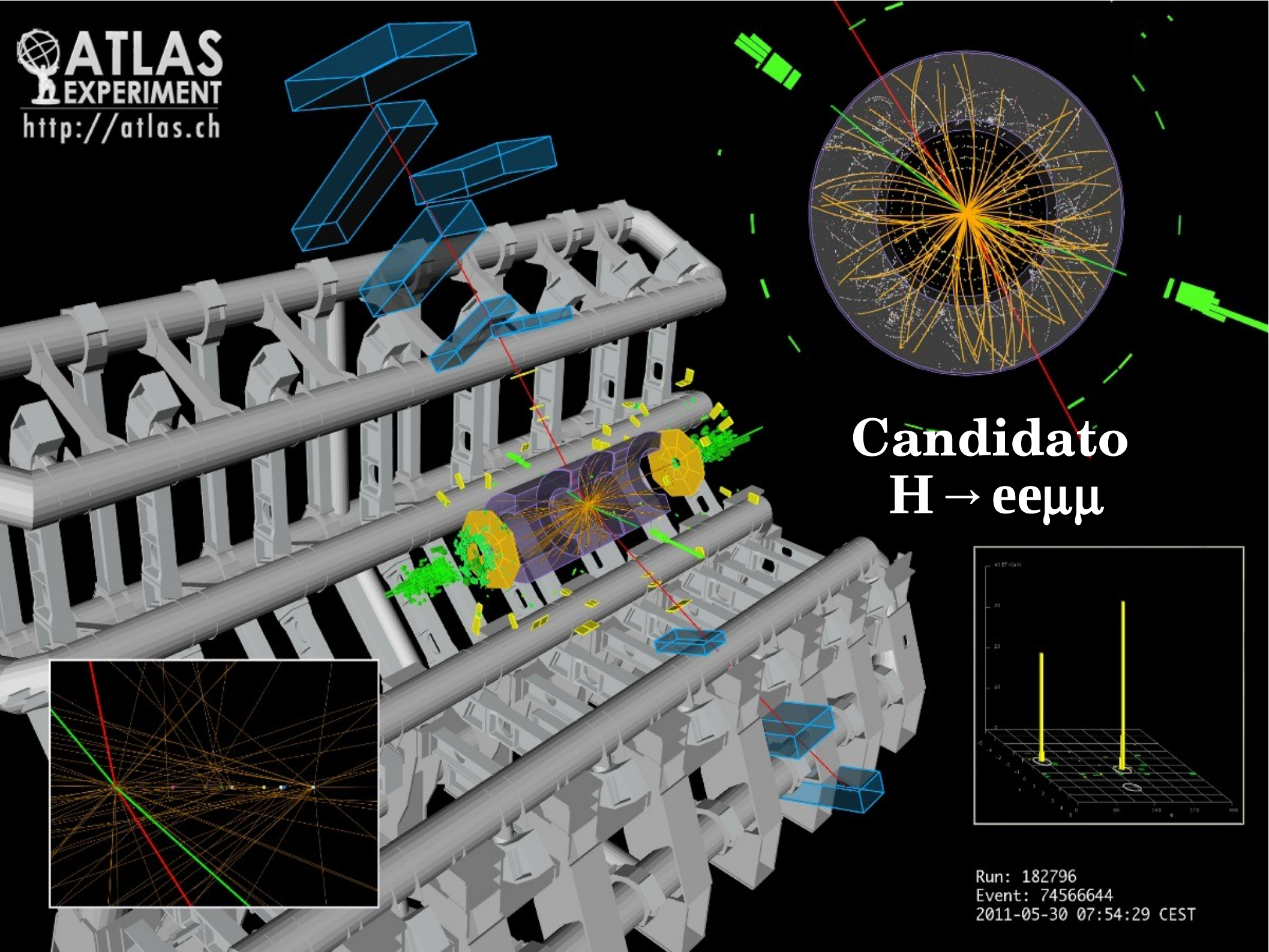
CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT

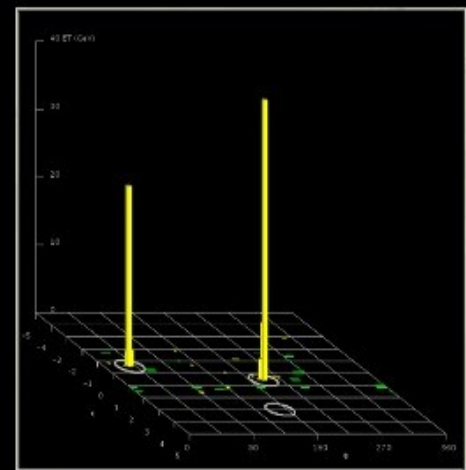
Run/Event: 194108 / 564224000



Candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$



Candidato $H \rightarrow ee\mu\mu$



Run: 182796
Event: 74566644
2011-05-30 07:54:29 CEST

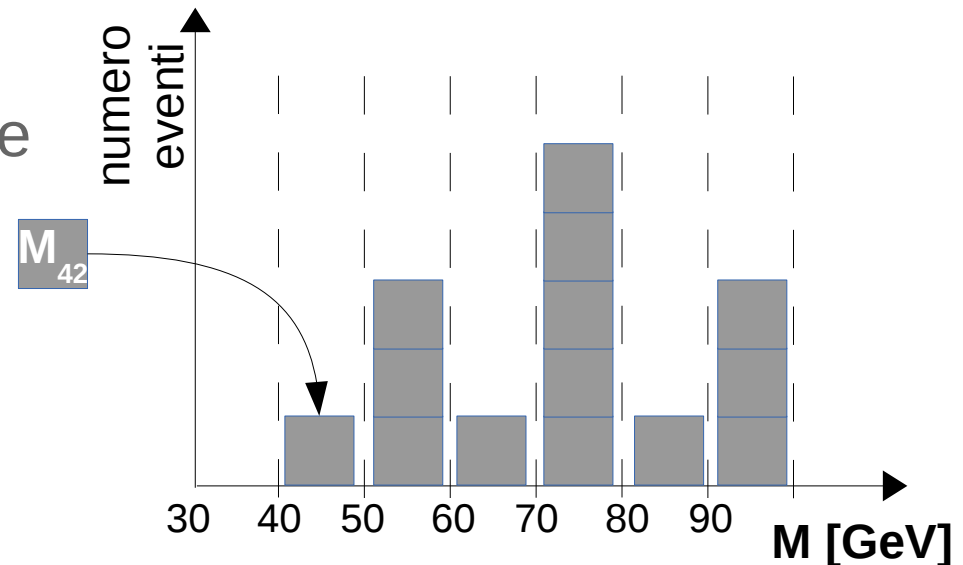
Eventi candidati

- Impossibile catalogare univocamente una data collisione (**evento**)
 - Il **fondo** può avere la stessa segnatura del **segnale**
 $qq \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$ $qq \rightarrow H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$

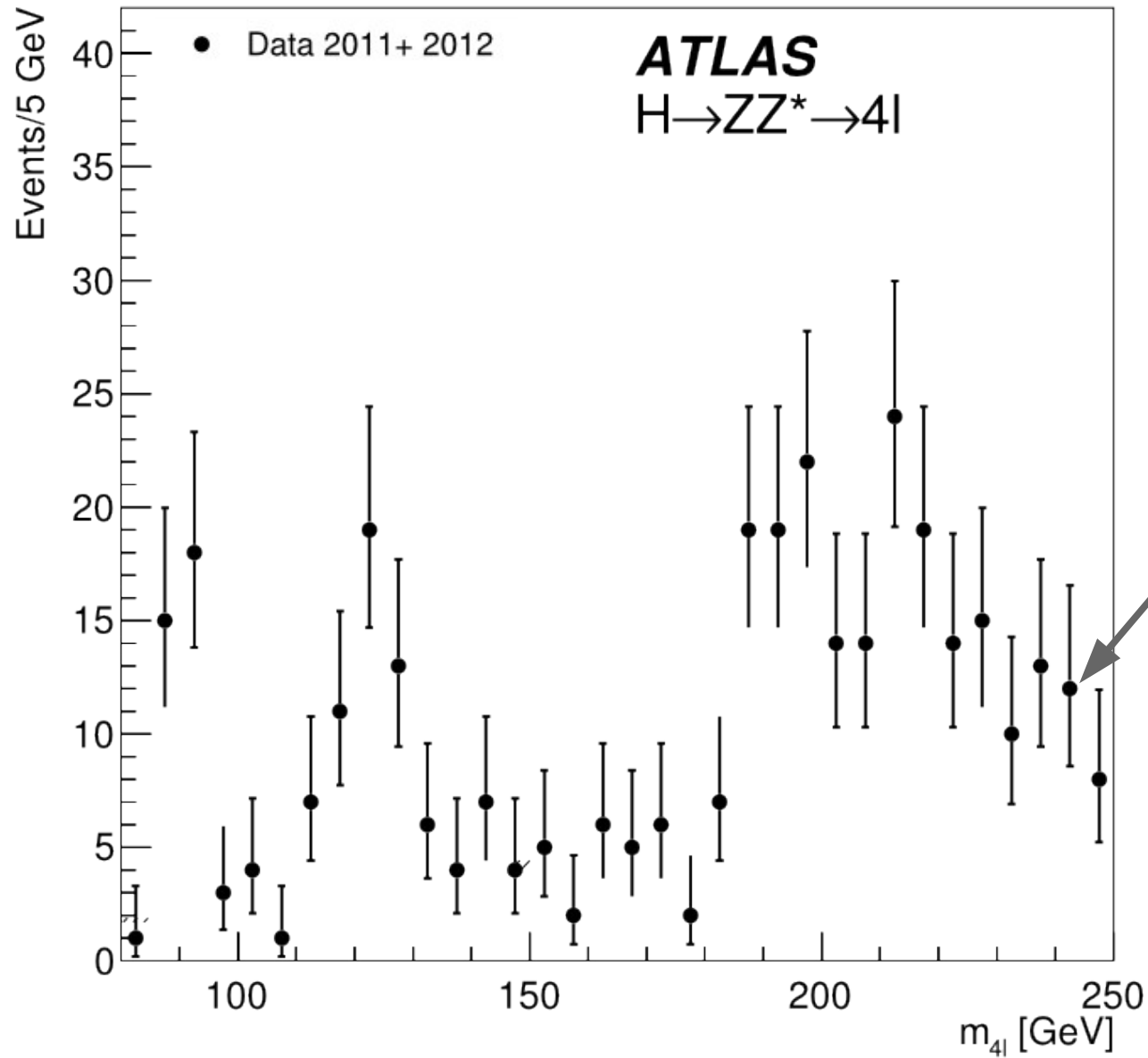
- Necessario un **approccio statistico**

- Basato sul concetto di **istogramma**
- Per ogni evento

- calcolo la massa invariante del sistema finale M_i
- Aggiungo un conteggio al canale dell'istogramma corrispondente ad M_i

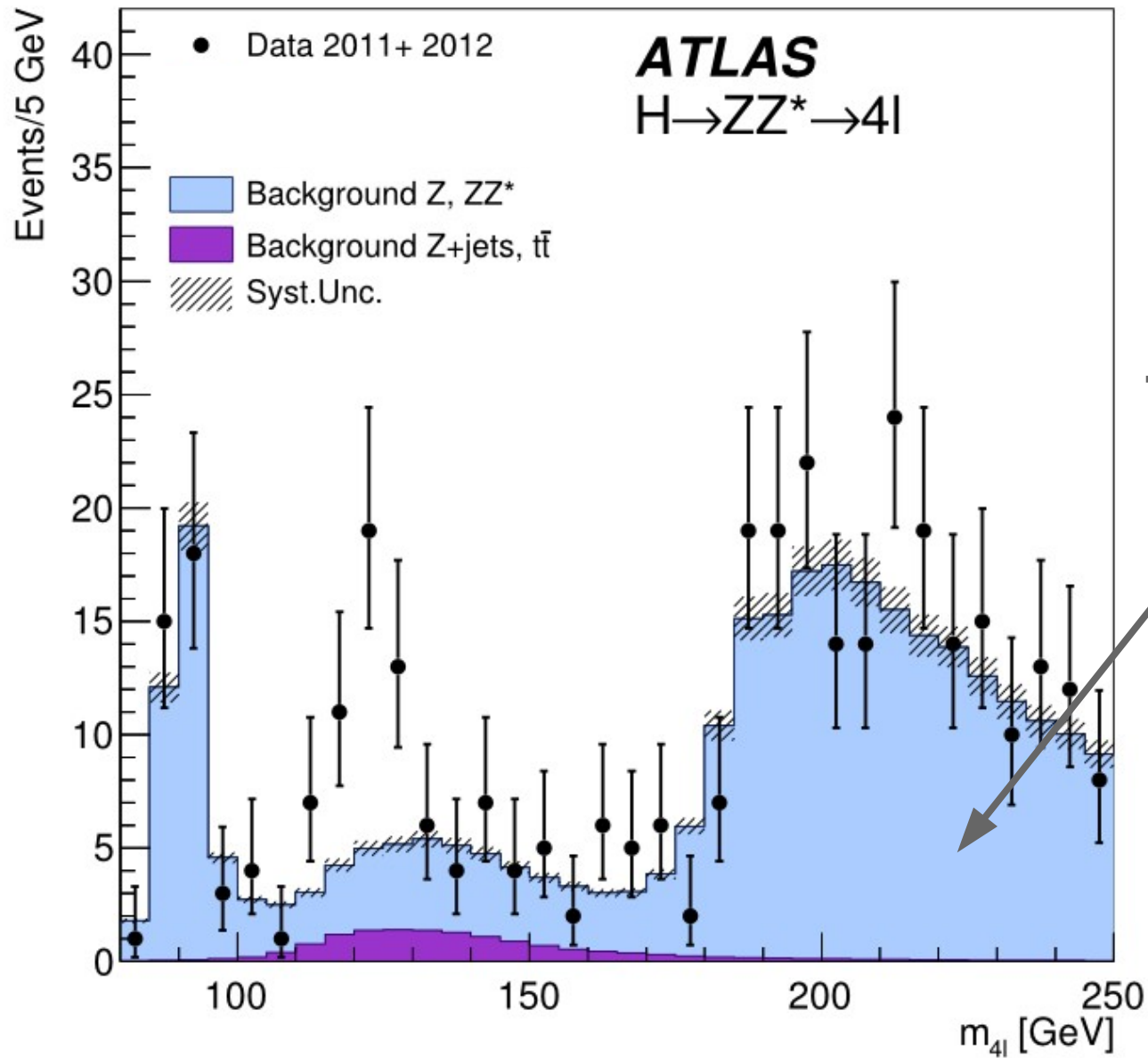


Dati veri ATLAS



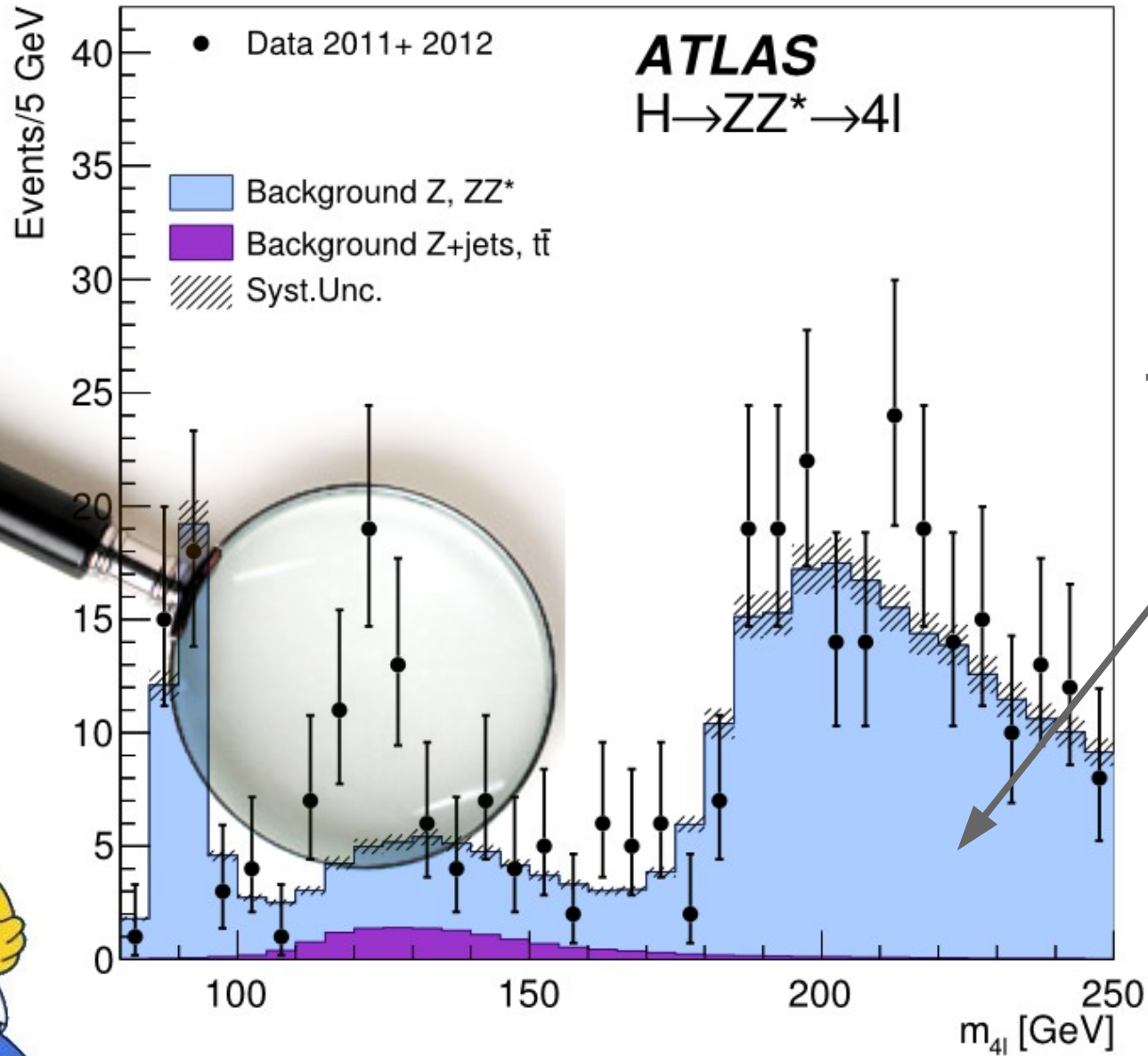
**I punti sono
i dati
sperimentali**

Dati veri ATLAS



L'area blu
è il fondo
atteso

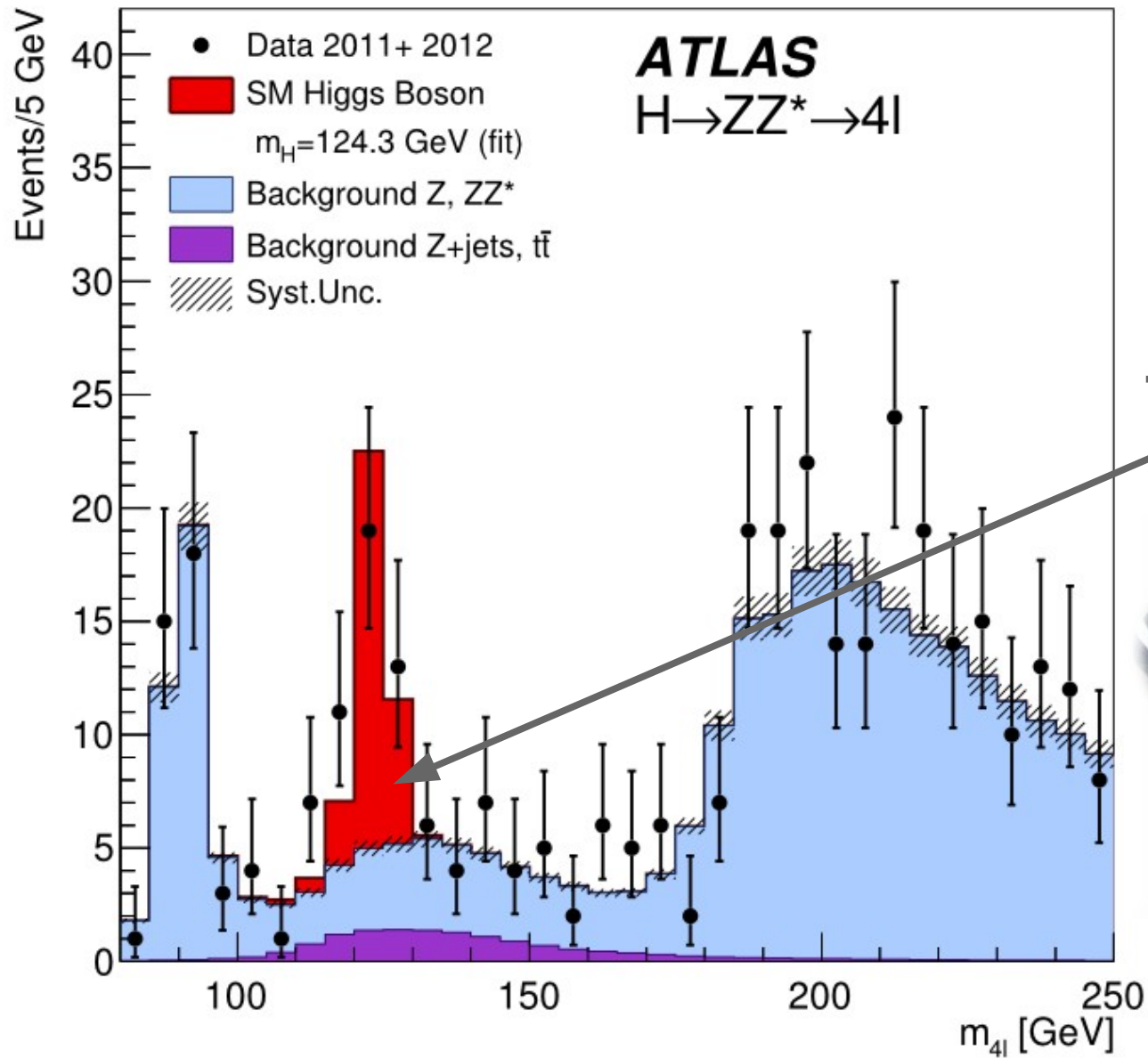
Dati veri ATLAS



L'area blu
è il fondo
atteso



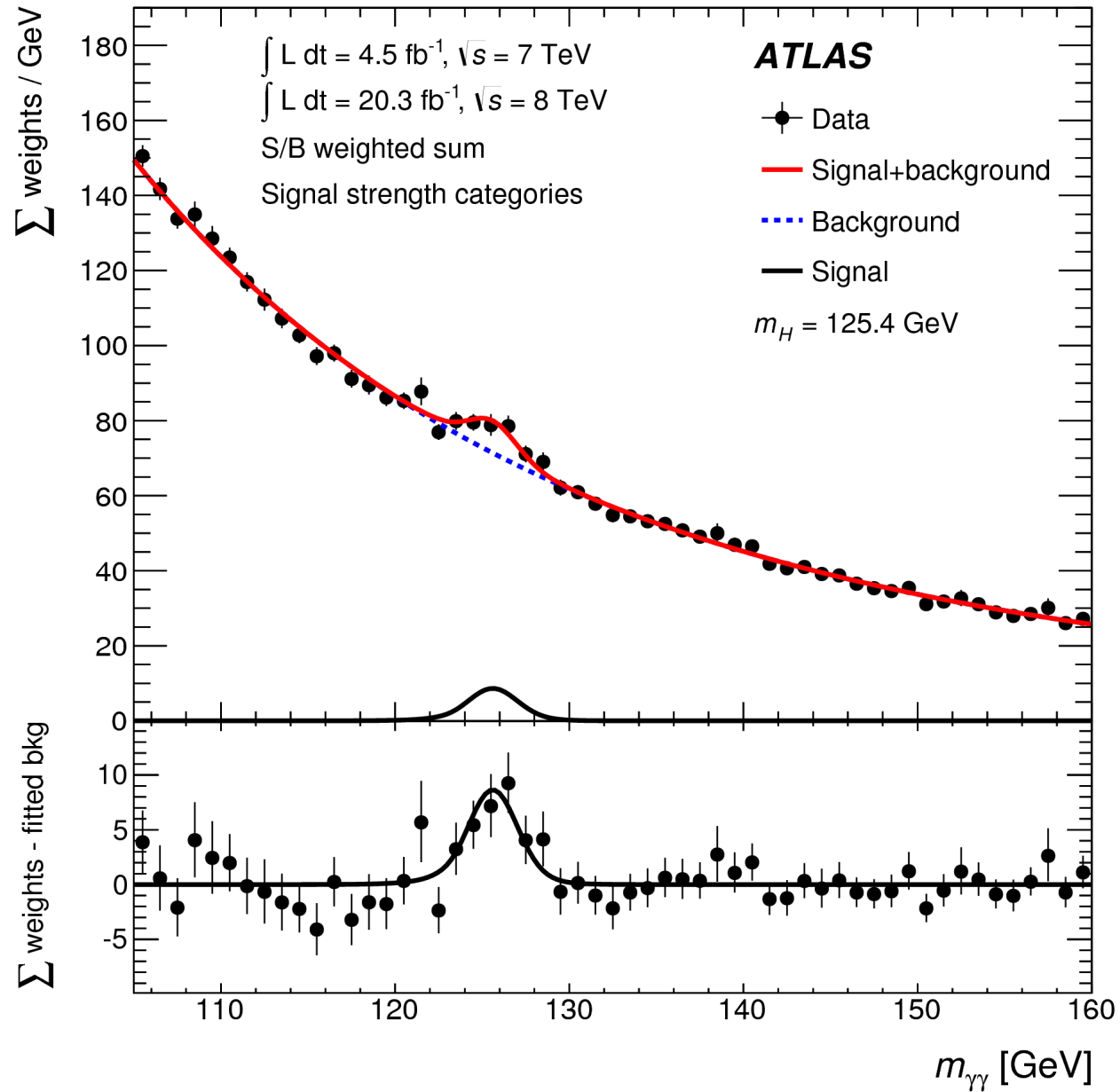
Dati veri ATLAS



L'area rossa è il segnale atteso se ci fosse l'Higgs



H \rightarrow $\gamma\gamma$



Publicazioni

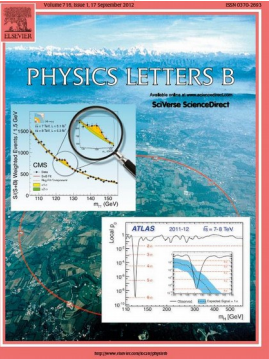
Teoria

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + h.c. + \Psi_i y_{ij} \Psi_j \Phi + h.c. + |D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi)$$

Simulazione



Publicazione

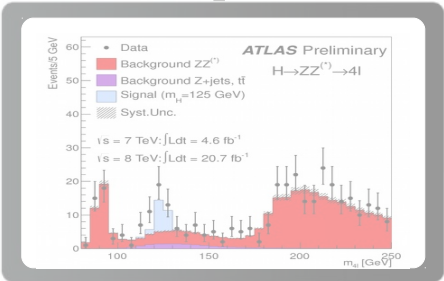


Ricadute tecnologiche e sociali

Costruzione apparati



Analisi dati



Presca dati

Luglio 2012



Prof. Peter Higgs



Prof. Peter Higgs

- 20 anni di lavoro di migliaia di persone, l'LHC, le collaborazioni ATLAS e CMS, la GRID, ...
 - hanno permesso al prof. Higgs, a 48 anni dalla sua teoria, di ricevere il massimo dei riconoscimenti



Prof. Peter Higgs



Ottobre 2013

PRESSMEDDELANDE
Press release

8 October 2013

The Nobel Prize in Physics 2013

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics for 2013 to

François Englert

Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

Peter W. Higgs

University of Edinburgh, UK

“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”



Ottobre 2013

PRESSMEDDELANDE
Press release

8 October 2013

The Nobel Prize in Physics 2013

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics for 2013 to

François Englert

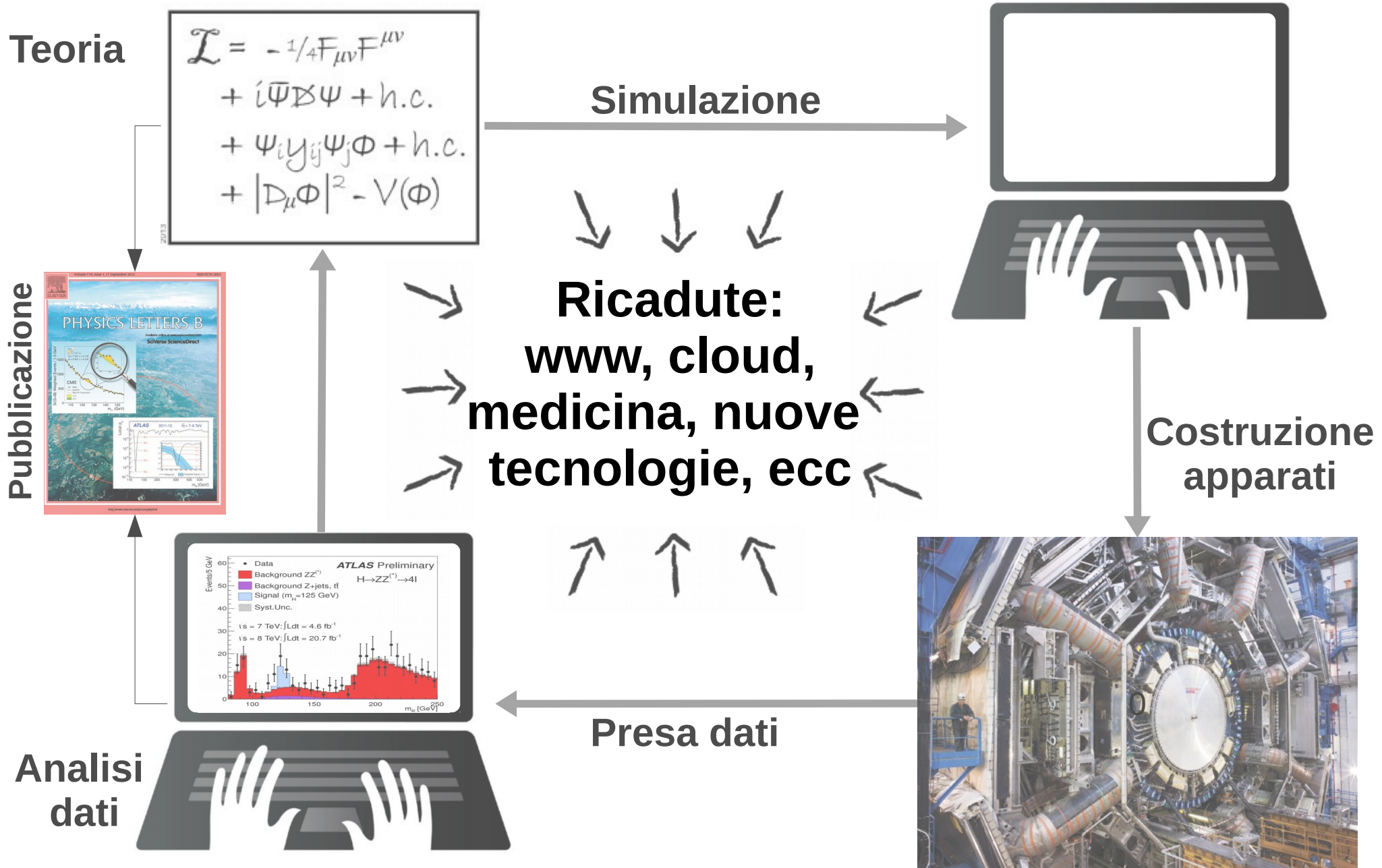
Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

Peter W. Higgs

University of Edinburgh, UK



Ricadute

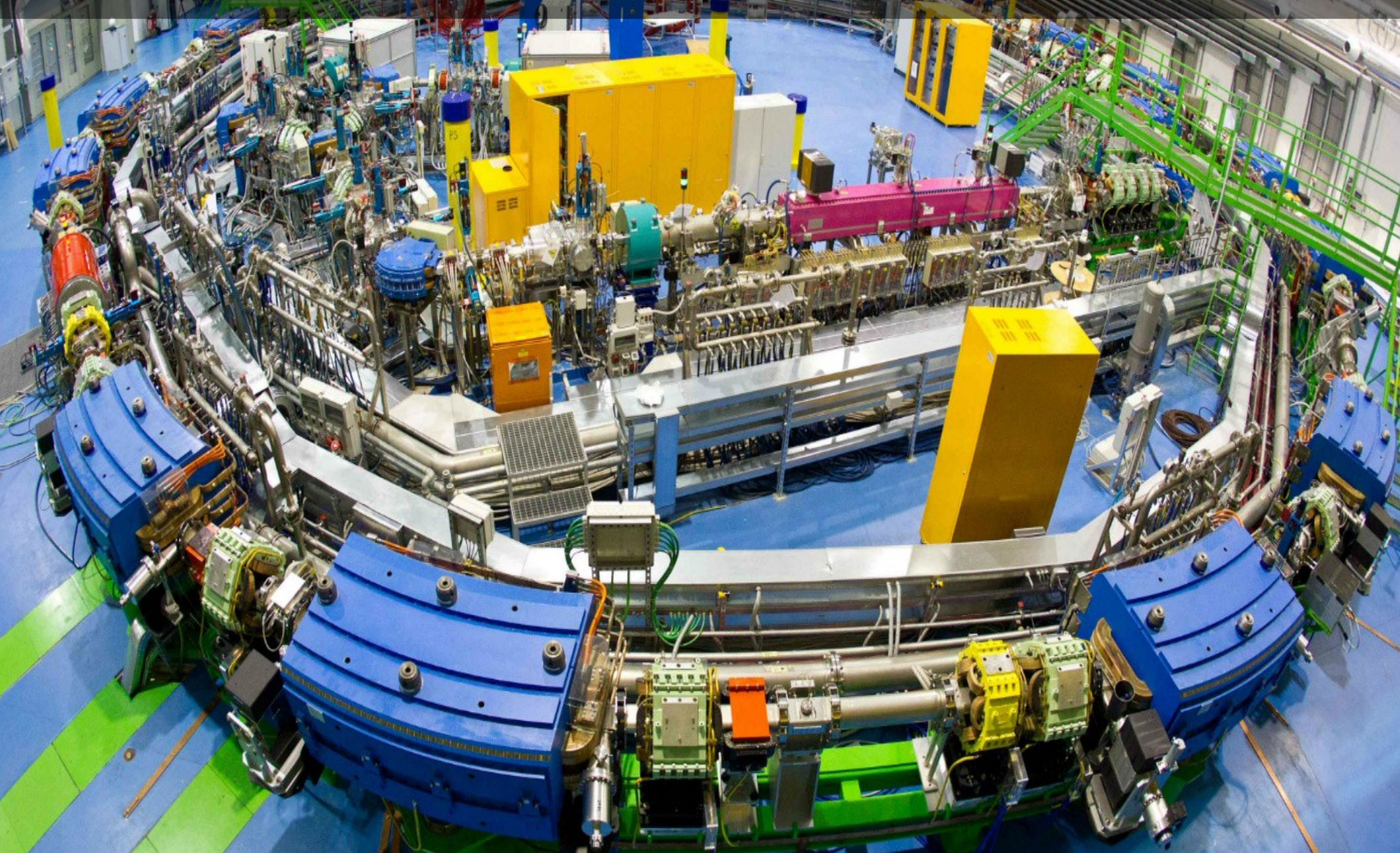


WWW

- La ricerca **di base** forza i limiti tecnologici
 - molla per lo sviluppo e un'incubatrice di nuove idee
- Es: 1989 al CERN era in funzione il LEP
 - Occorreva condividere istantaneamente le informazioni tra tutti i membri della collaborazione
 - Tim Berners-Lee ebbe un'idea: fondere le tecnologie di network, computing e ipertesto in un unico sistema di informazione globale: nasceva il WWW

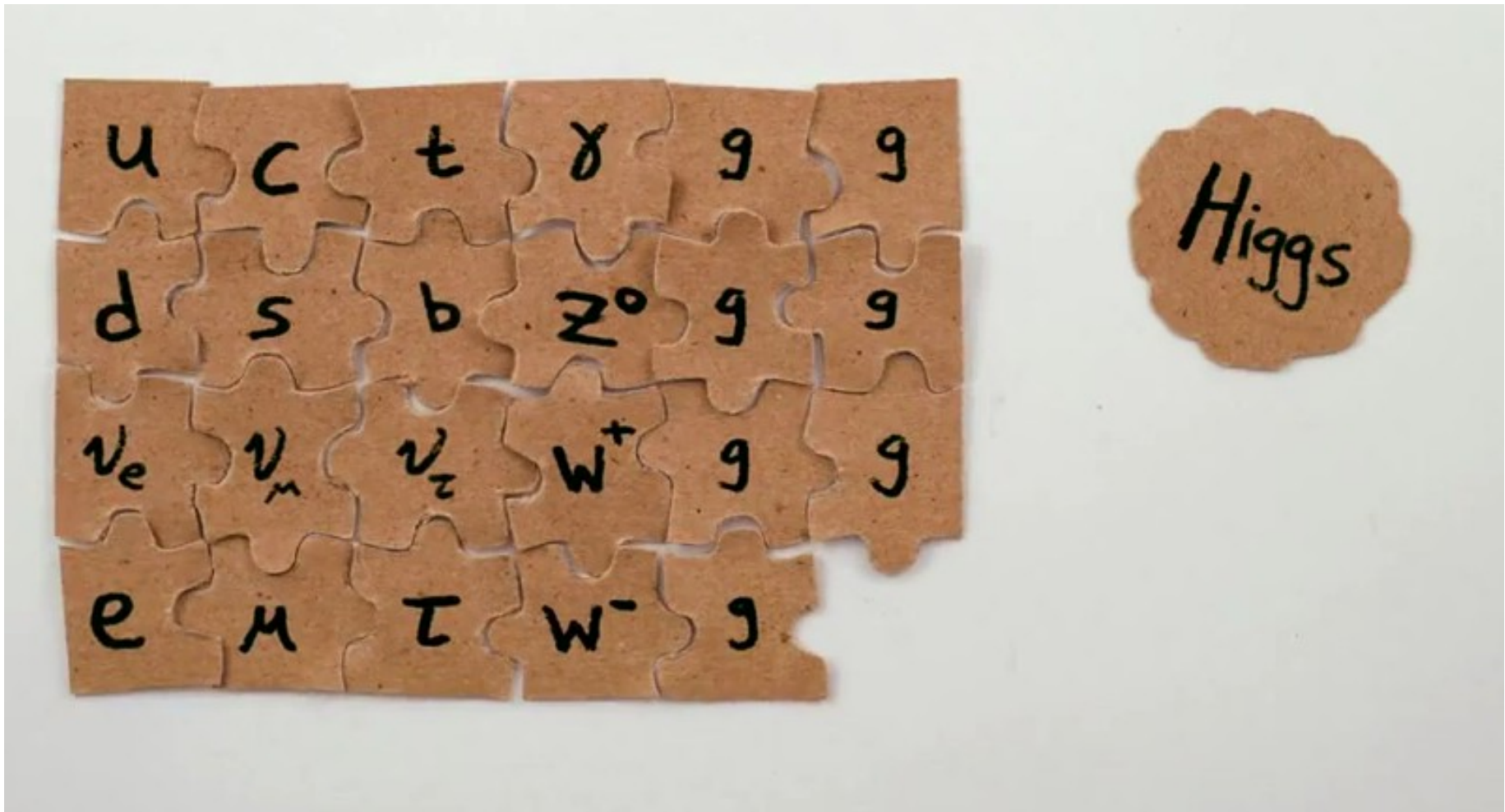


Centro Nazionale Adroterapia Oncologica



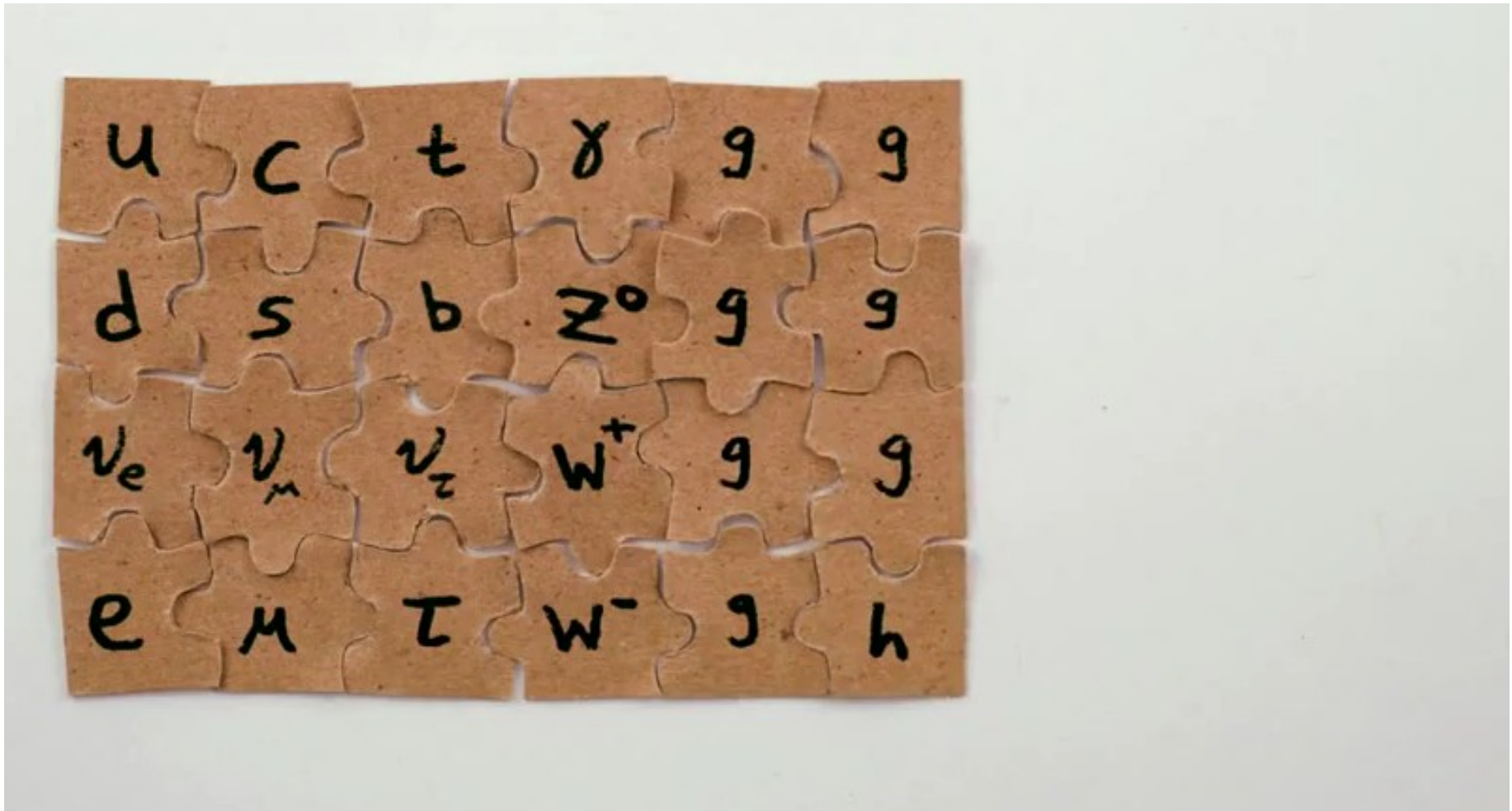
Trovato l'Higgs,

- Modello standard delle particelle elementari



Trovato l'Higgs, sappiamo tutto?

- Modello standard delle particelle elementari



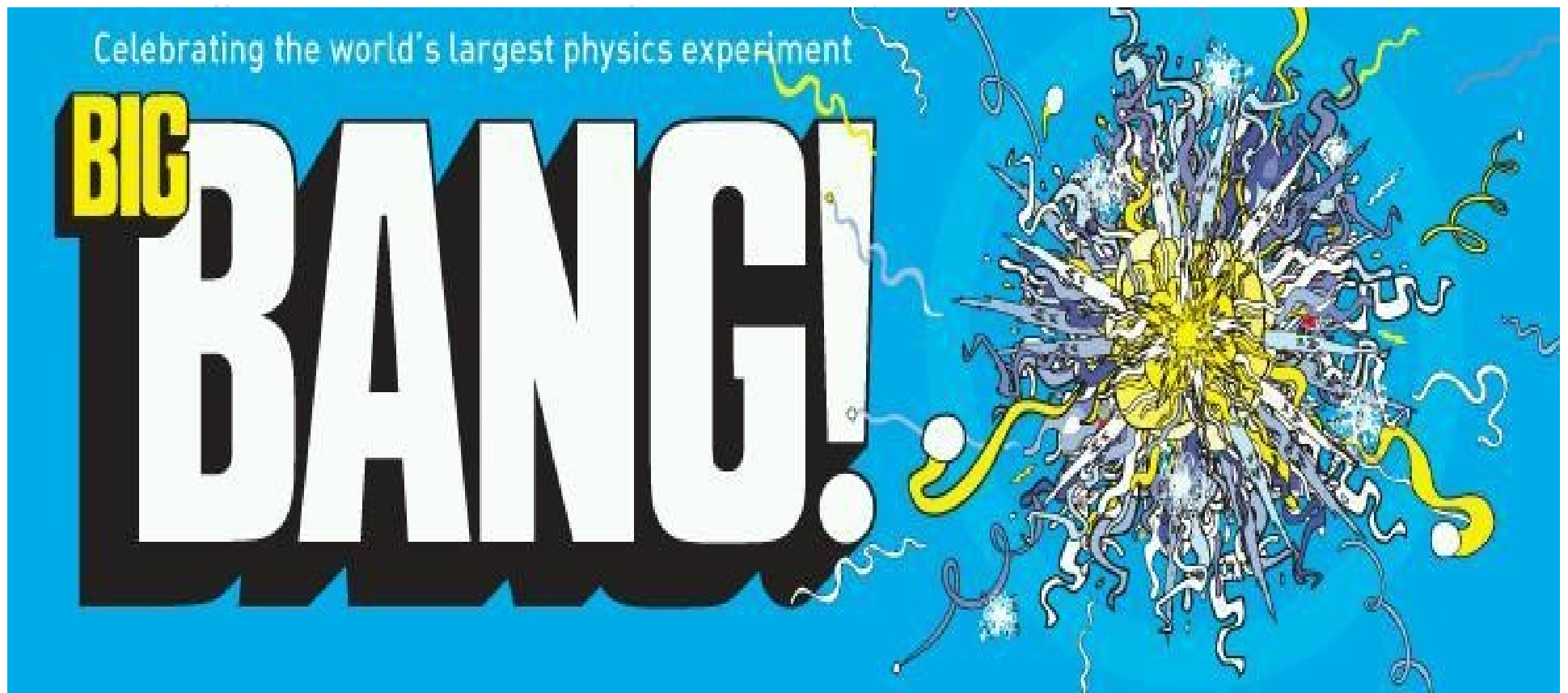
Sappiamo molto poco!

- I quark sono **indivisibili**?
- Dov'è finita l'antimateria?
- Esistono altre **dimensioni**?
- Esiste una teoria che unisca tutte le forze fondamentali?
- Cos'è la **materia oscura** ?
- Cos'è l' **energia oscura** ?



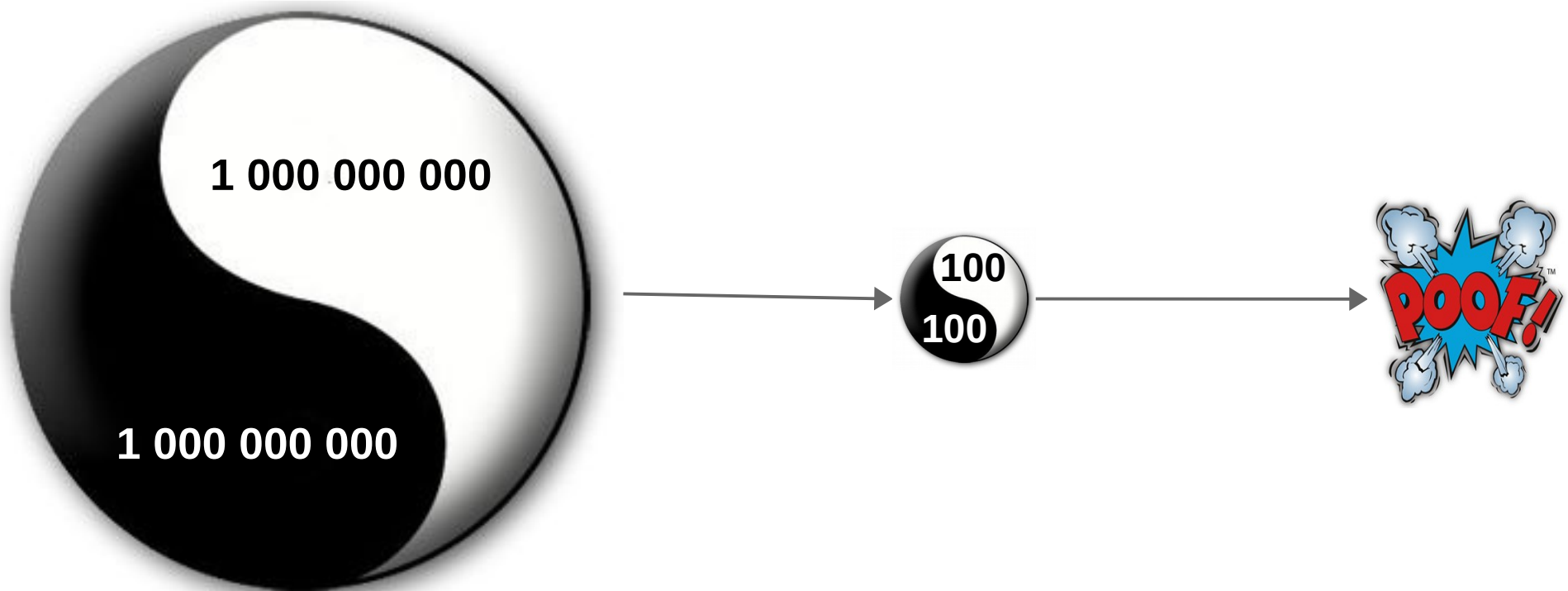
Dov'è finita l'antimateria?

- Il Big Bang ha creato tanta materia quanta antimateria
- Che avrebbero dovuto annichilarsi e dare pura energia
- Ma è successo qualcosa di strano nei primissimi istanti
 - Si è creata un'asimmetria di 1 su un miliardo



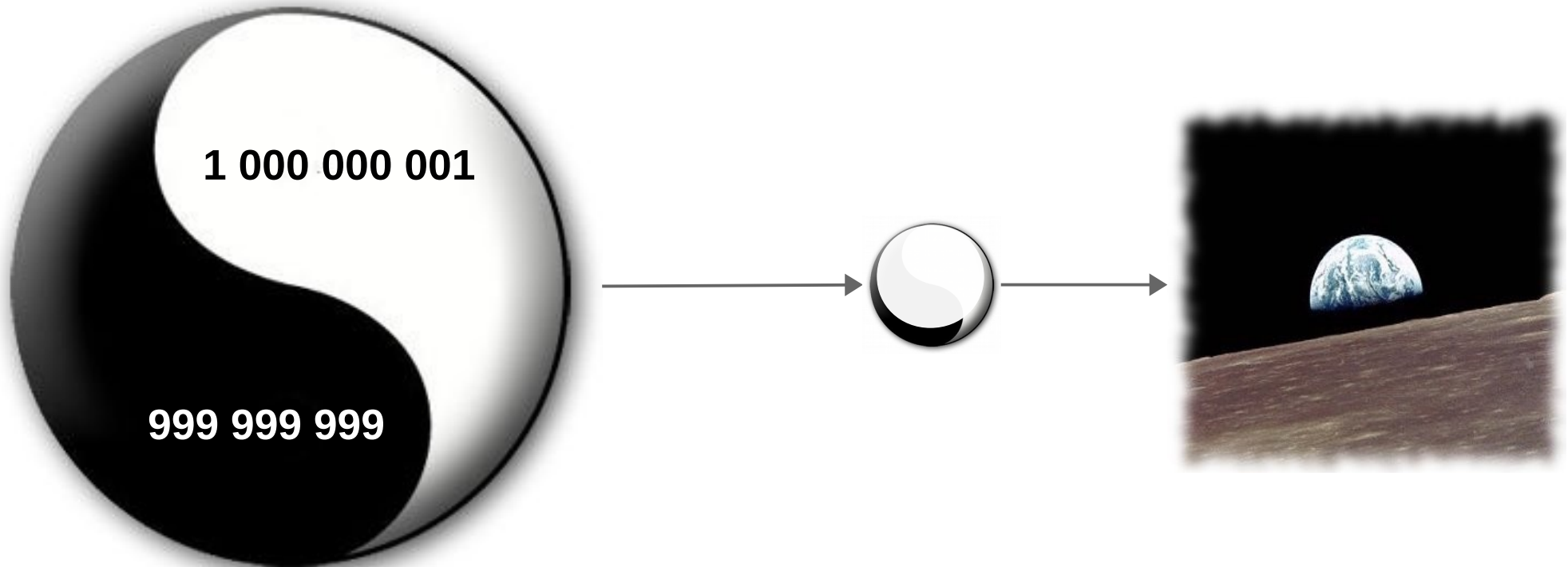
Dov'è finita l'antimateria?

- Il Big Bang ha creato tanta materia quanta antimateria
- Che avrebbero dovuto annichilarsi e dare pura energia
- Ma è successo qualcosa di strano nei primissimi istanti
 - Si è creata un'asimmetria di 1 su un miliardo
 - Quell'eccesso permette la nostra esistenza



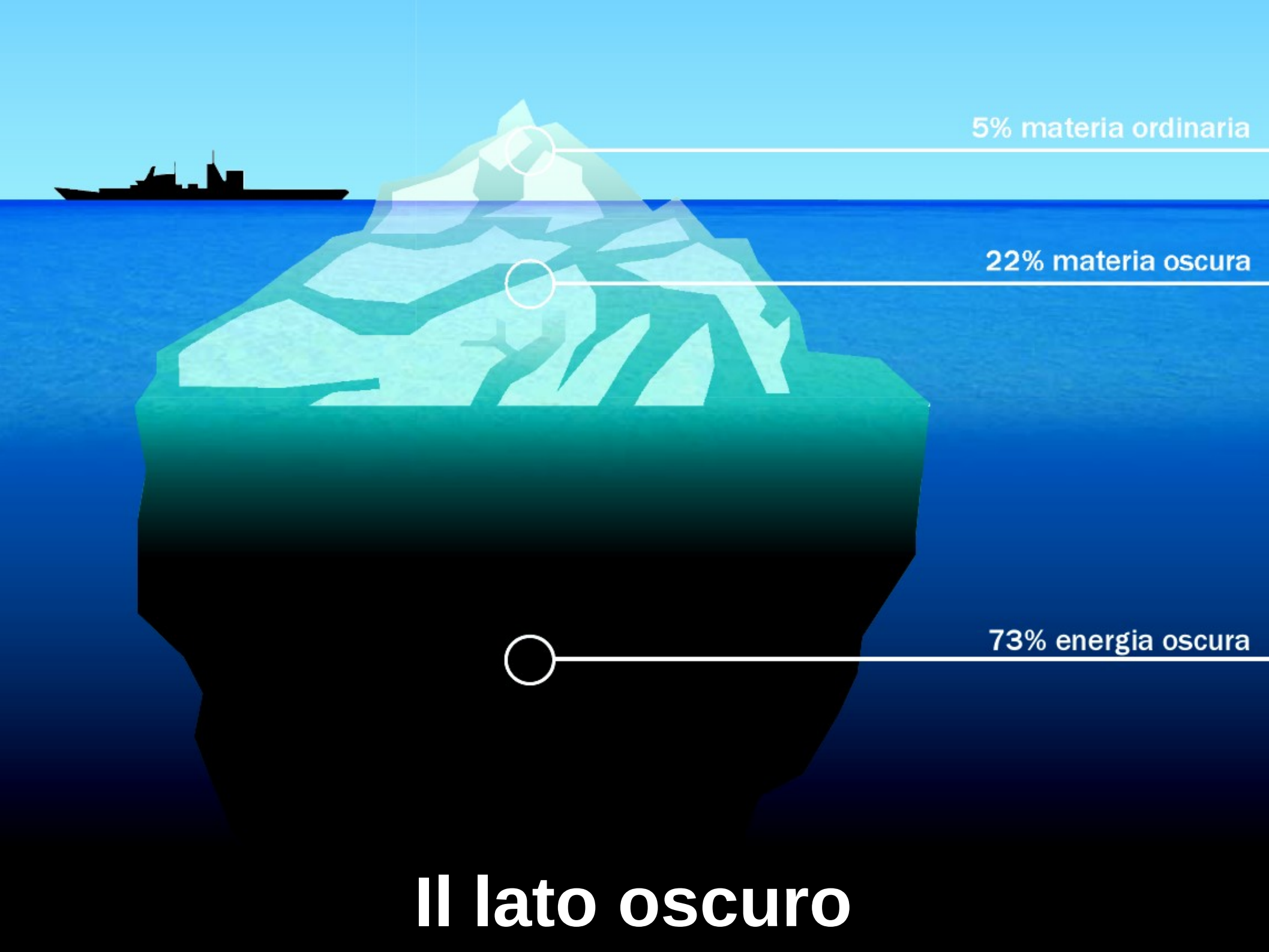
Dov'è finita l'antimateria?

- Il Big Bang ha creato tanta materia quanta antimateria
- Che avrebbero dovuto annichilarsi e dare pura energia
- Ma è successo qualcosa di strano nei primissimi istanti
 - Si è creata un'asimmetria di 1 su un miliardo
 - Quell'eccesso permette la nostra esistenza



IL LATO OSCURO





5% materia ordinaria

22% materia oscura

73% energia oscura

Il lato oscuro

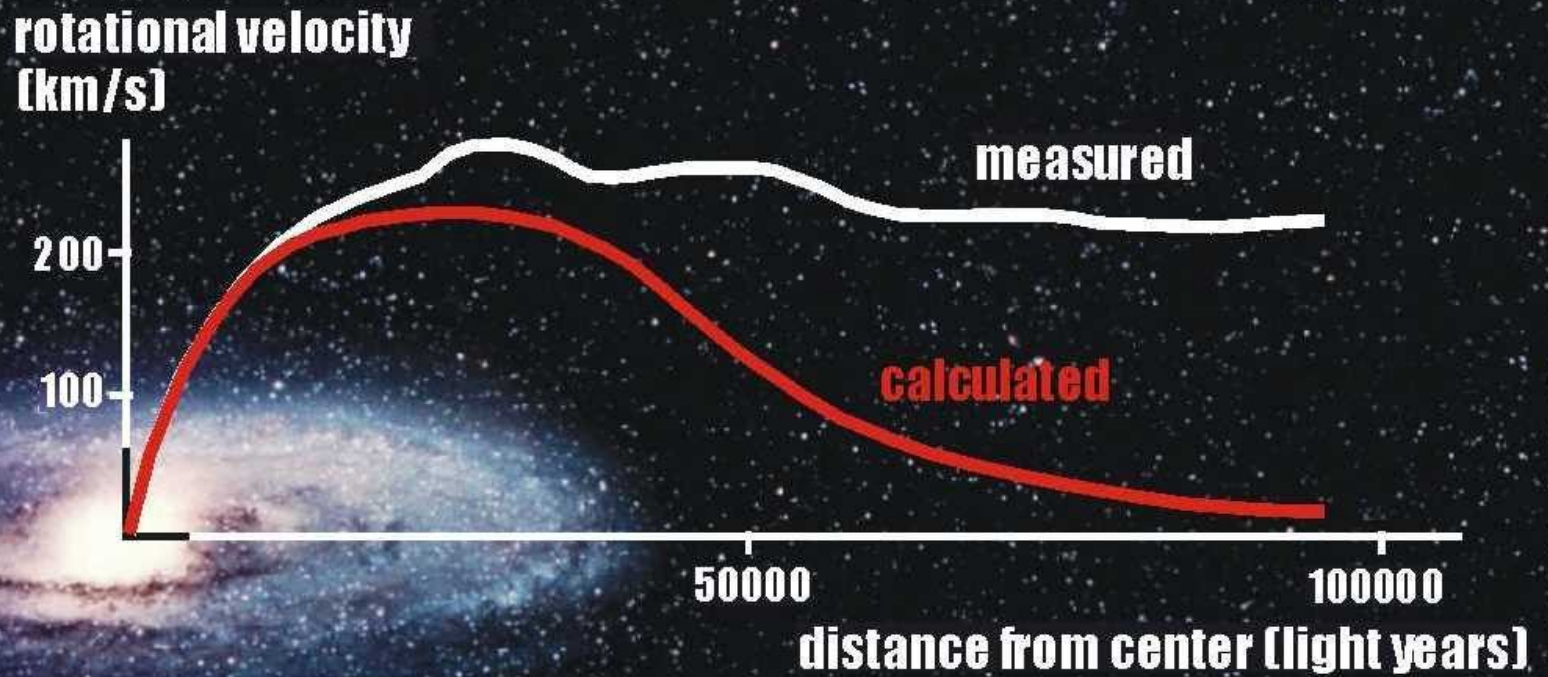
La massa mancante



'30: Ian Ort, Fritz Zwicky

'60: Vera Rubin

I conti non tornano



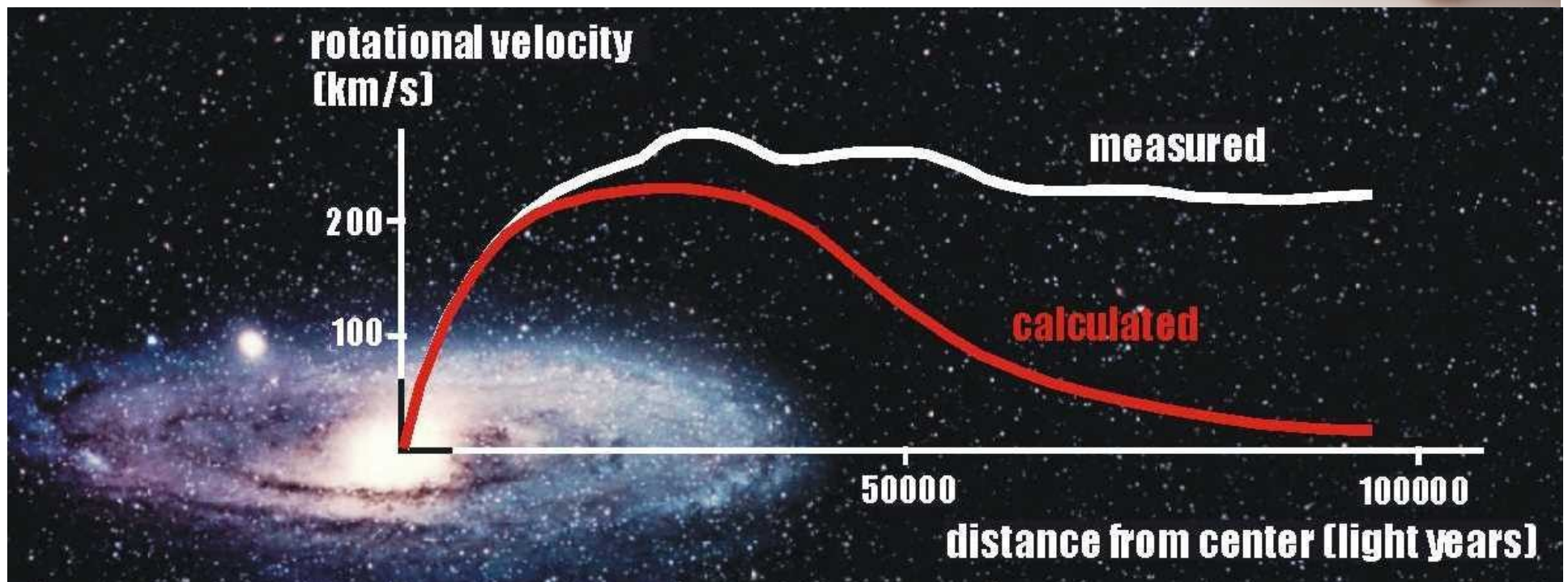
'30: Ian Ort, Fritz Zwicky

'60: Vera Rubin

Possibili soluzioni

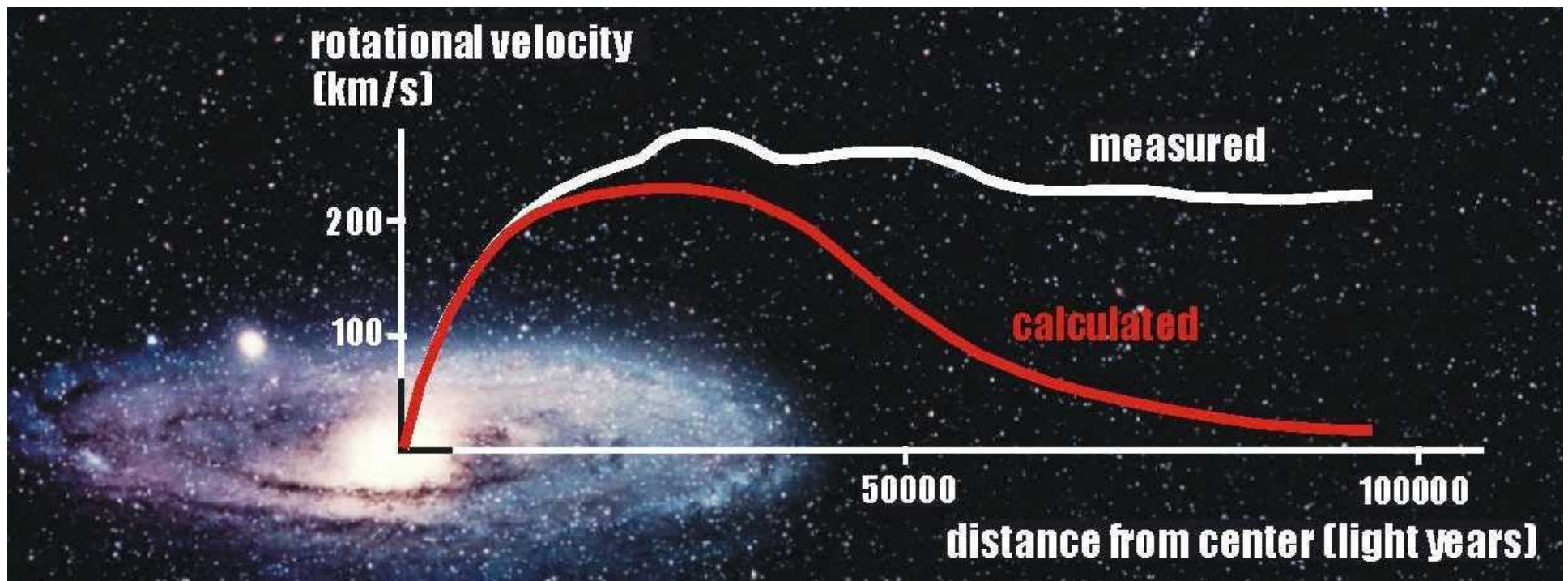
- Modificare le formule di gravitazione
 - Per renderle compatibili con i dati

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$



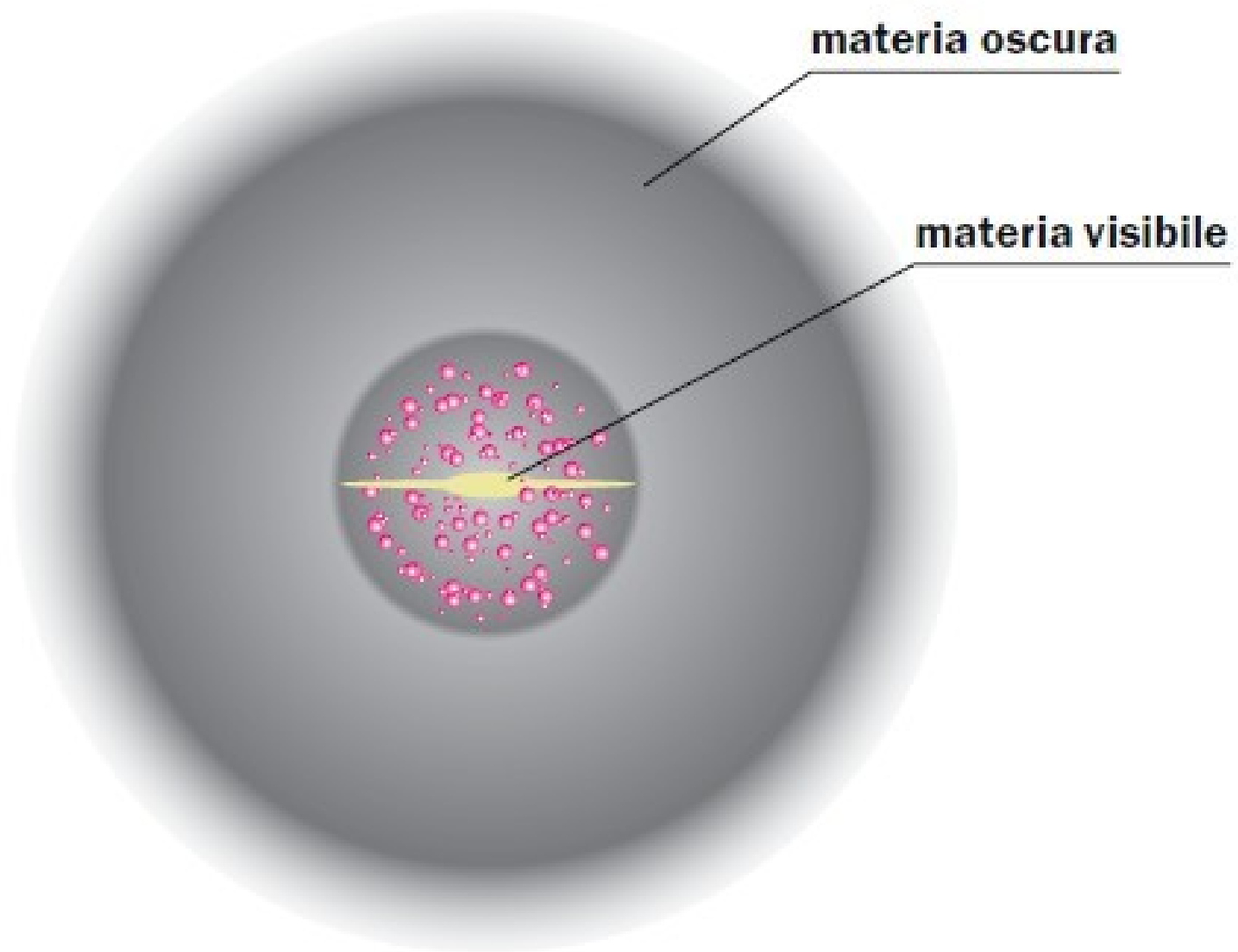
Possibili soluzioni

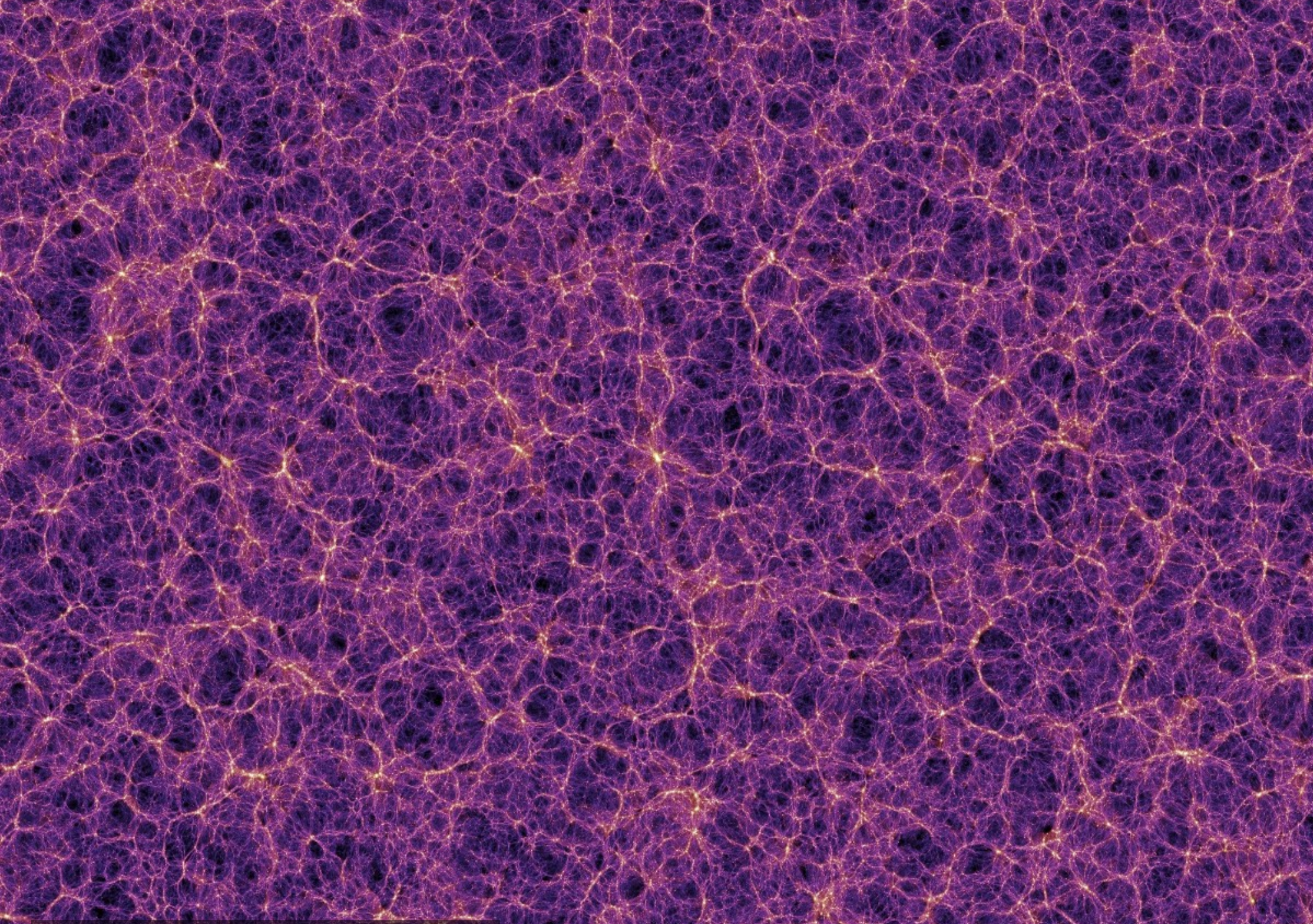
- Ipotizzare nuovo tipo di materia
 - che interagisca solo attraverso forza gravitazionale



Materia oscura

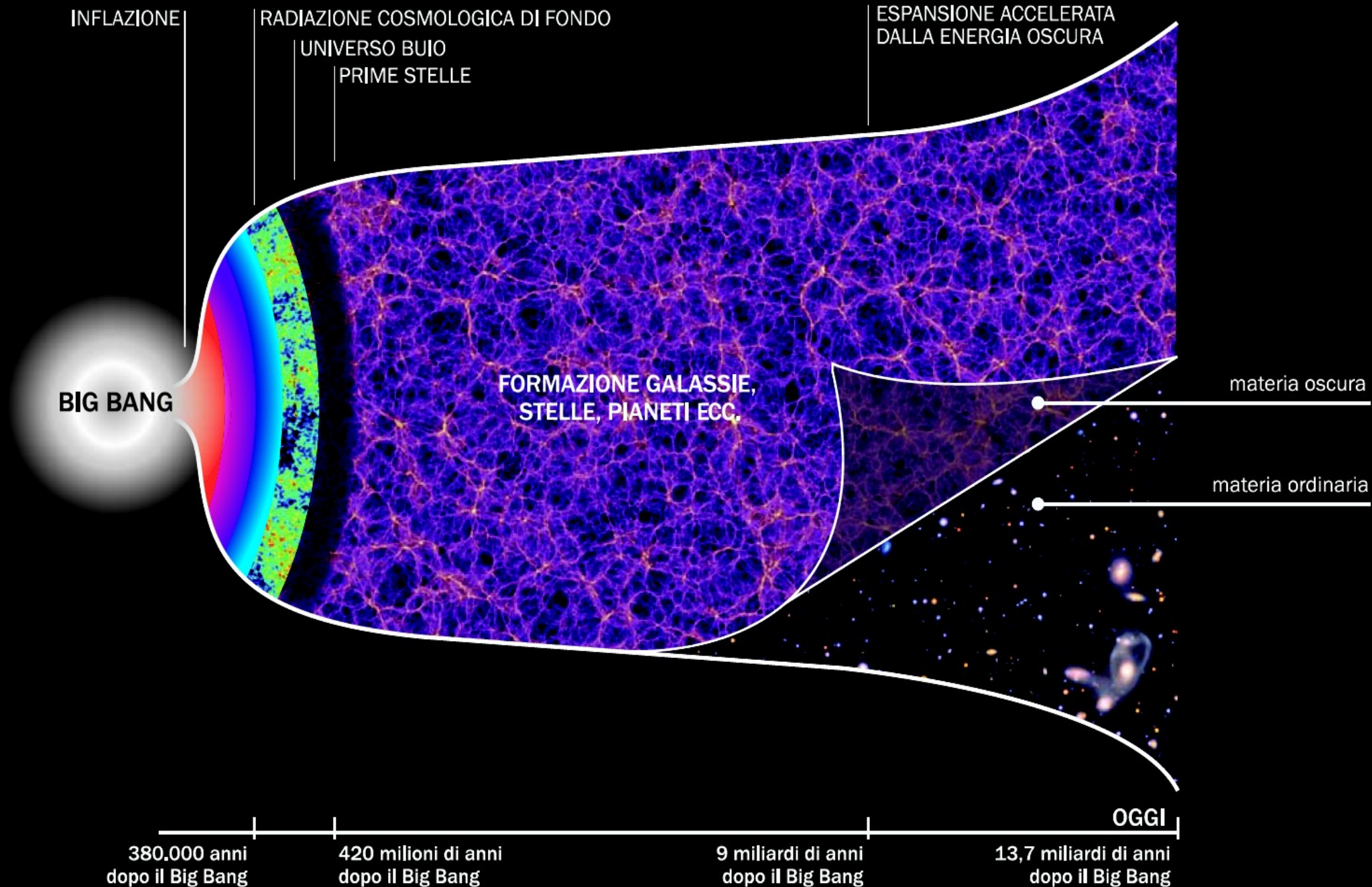
Interagisce solo attraverso la forza gravitazionale





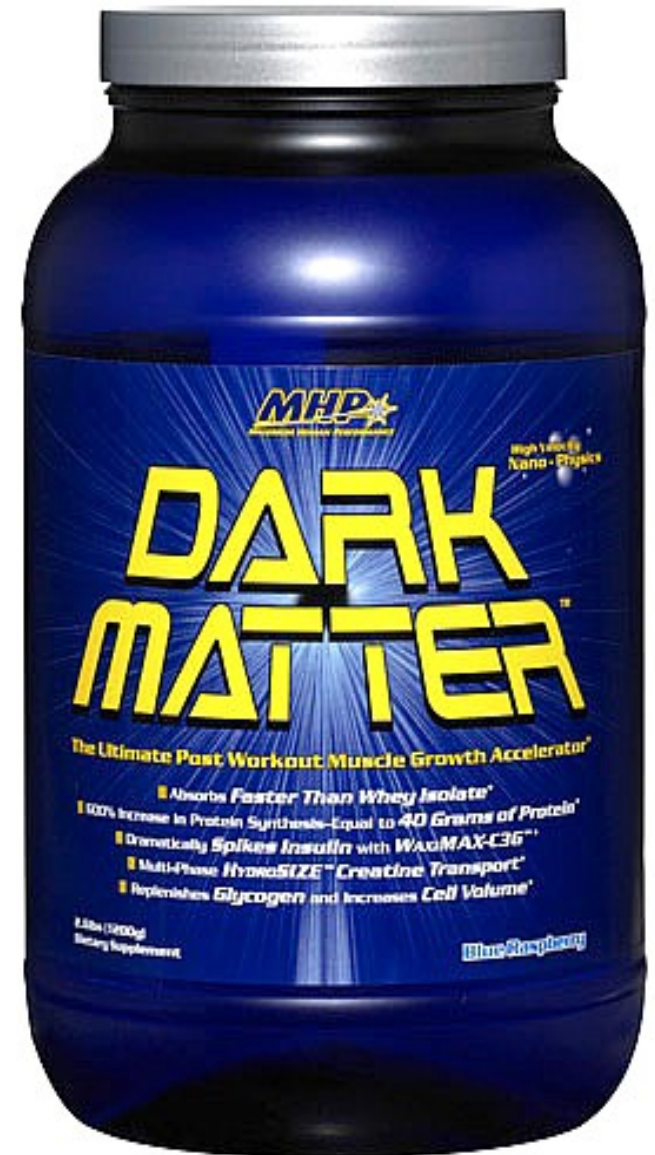
Millenium simulation © Max Plank

La storia dell'universo



Materia oscura: cosa sappiamo?

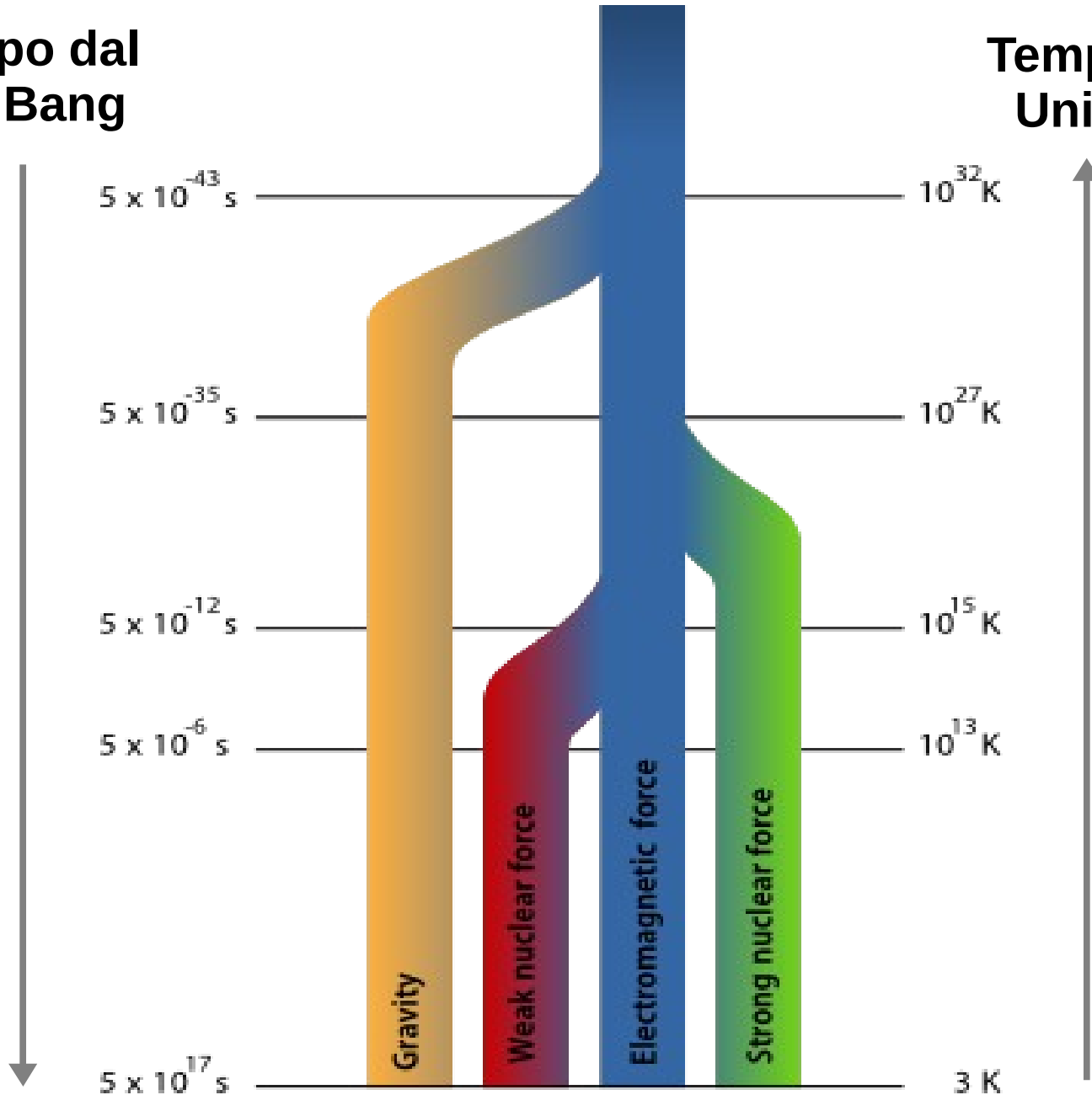
- Permea lo spazio
- Interagisce solo gravitazionalmente
- Ha permesso la formazione delle galassie
- Non è compatibile con il modello standard delle particelle elementari
 - Possibili spiegazioni nelle teorie di unificazione delle forze



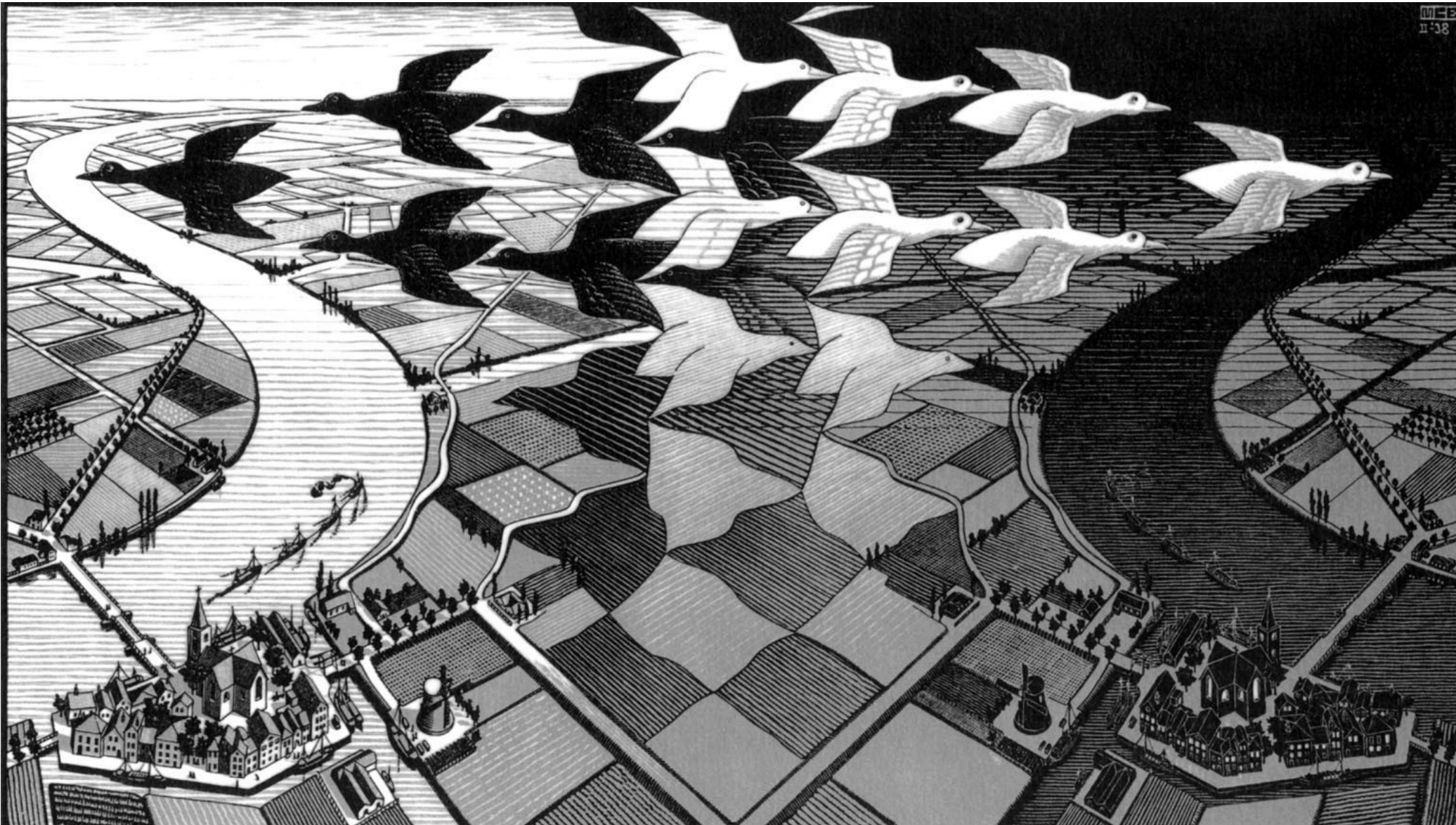
Teorie di unificazione delle forze

Tempo dal
Big Bang

Temperatura
Universo

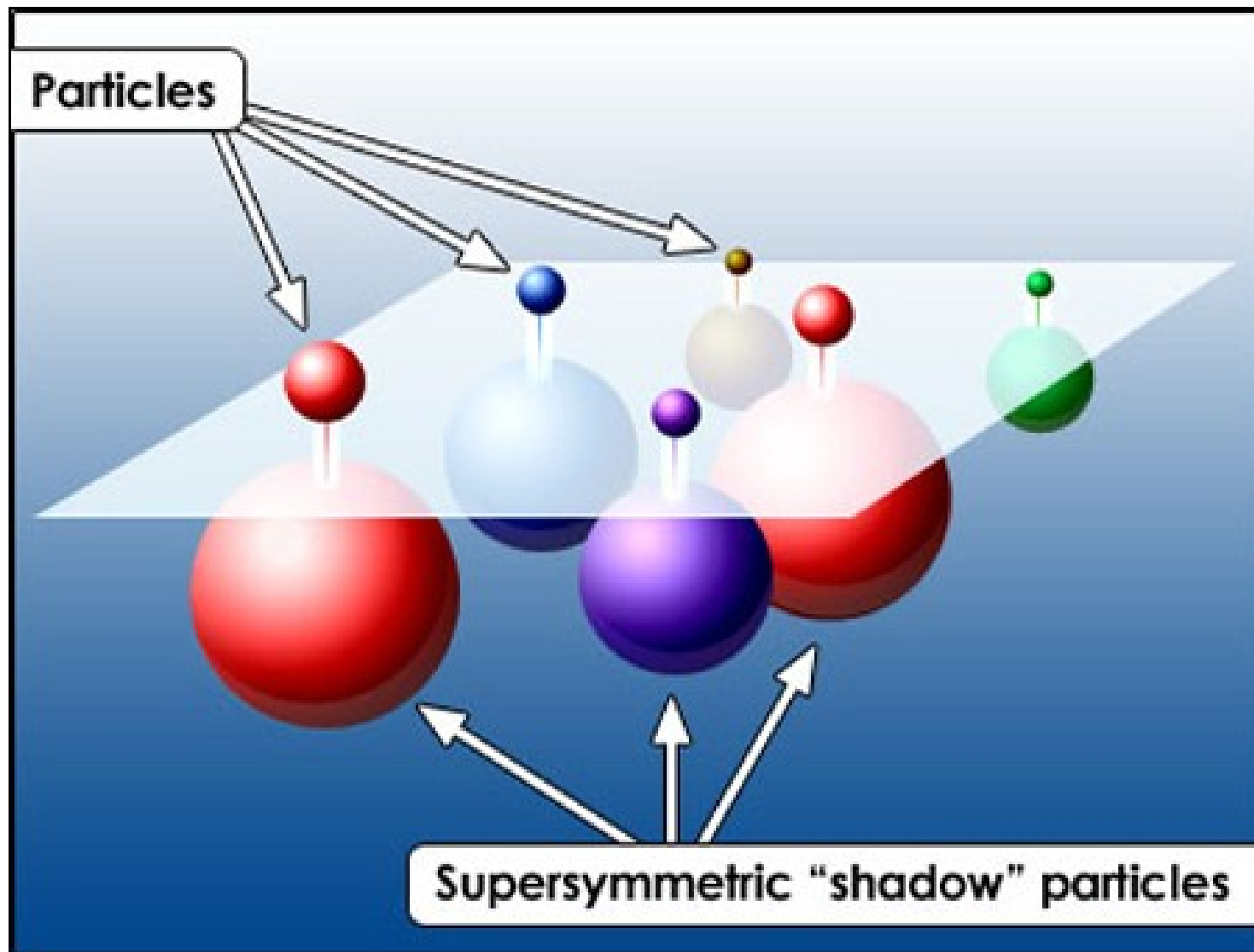


Super-simmetria



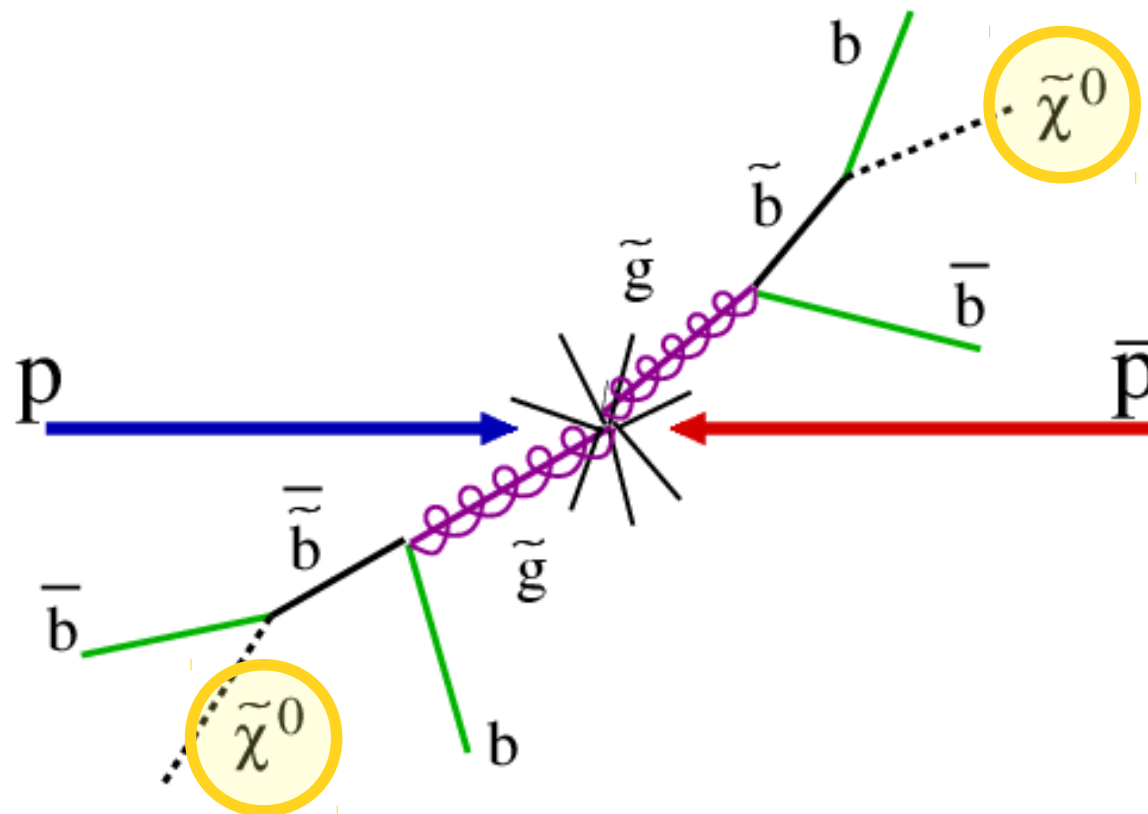
Super-simmetria

- Simmetria tra fermioni e bosoni



Neutralino $\tilde{\chi}^0$

- La particella supersimmetrica più leggera e neutra, il sospetto ideale di materia oscura
 - Possibile produzione ai collider



Cosa ci dice questo della gravità?

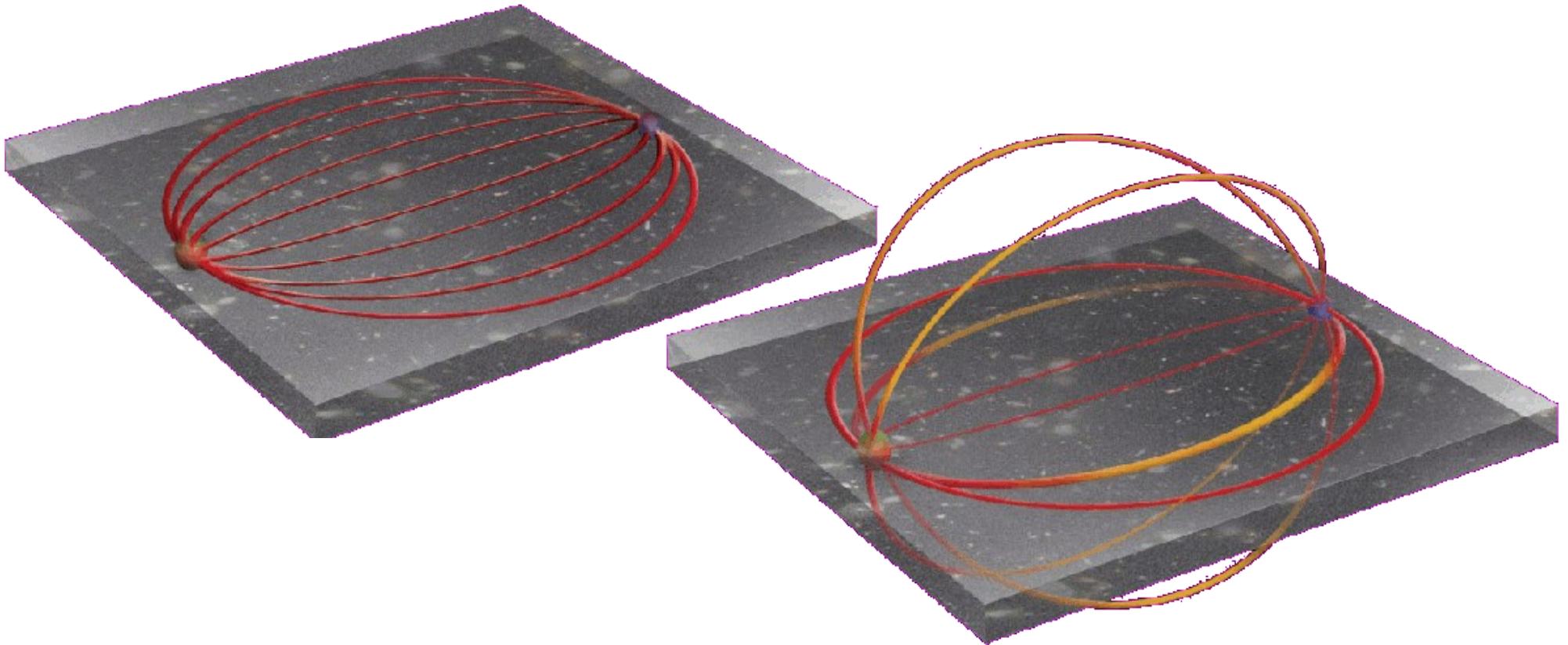


La gravità è debole



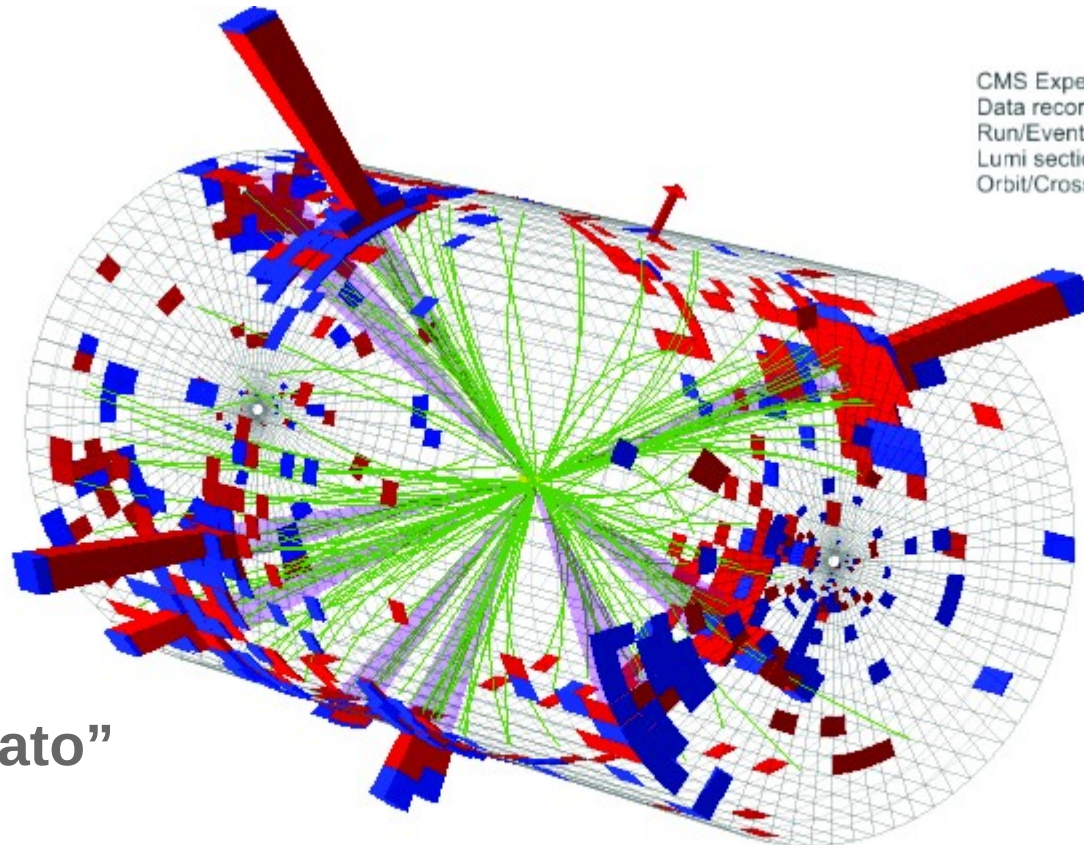
Dimensioni aggiuntive

- La teoria delle stringhe prevede **11 dimensioni**
- Potrebbe spiegare debolezza forza gravitazionale
 - Le altre forze sono confinate in 3D
 - La gravità si distribuisce invece in tutte le dimensioni



LHC

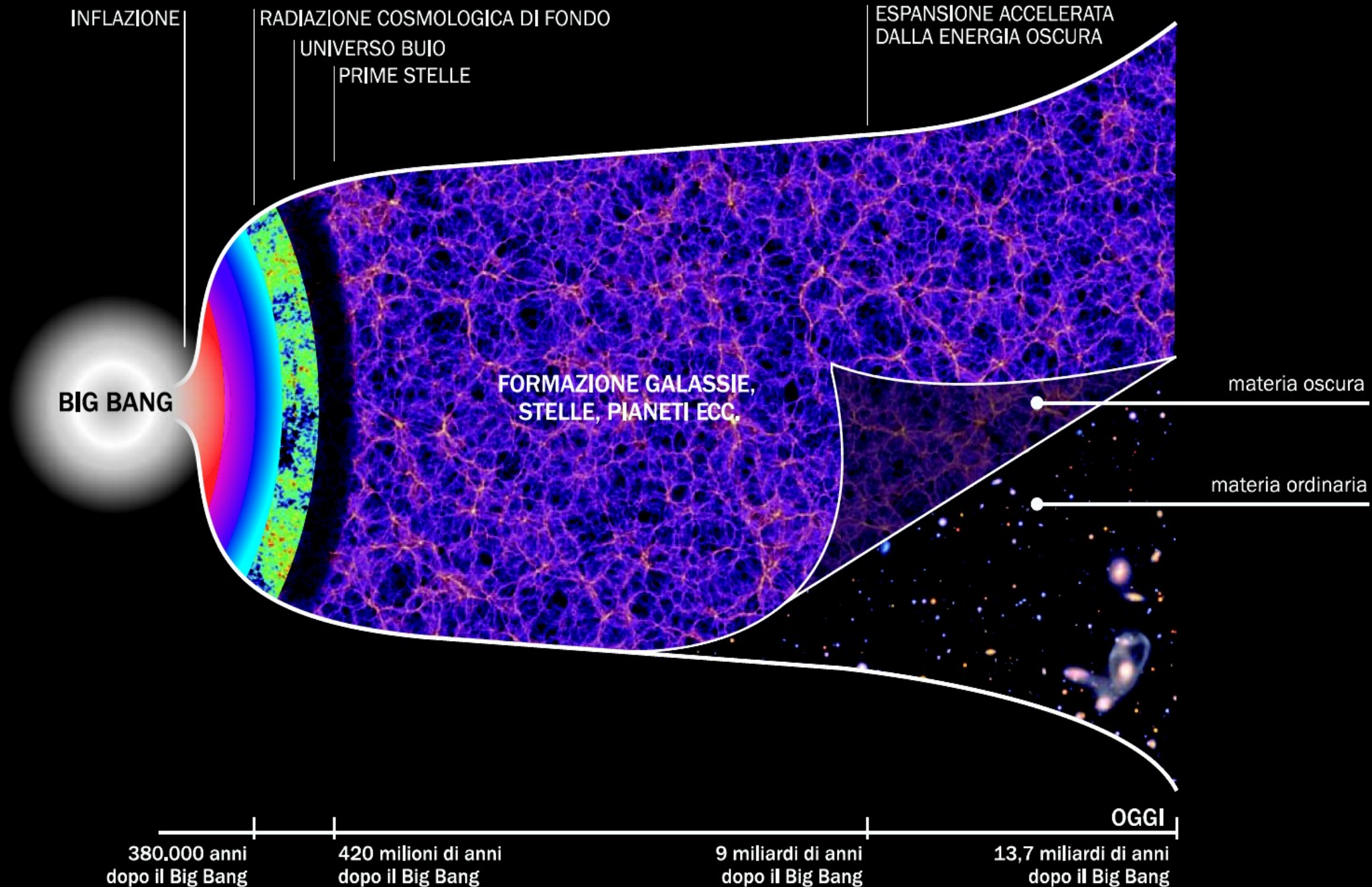
- Ad LHC si stanno cercando segnali di
 - particelle supersimmetriche
 - dimensioni aggiuntive dello spazio tempo



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 23 21:46:26 2011 EDT
Run/Event: 165567 / 347495624
Lumi section: 280
Orbit/Crossing: 73255853 / 3161

**Evento “candidato”
evaporazione
micro buco nero**


Energia oscura

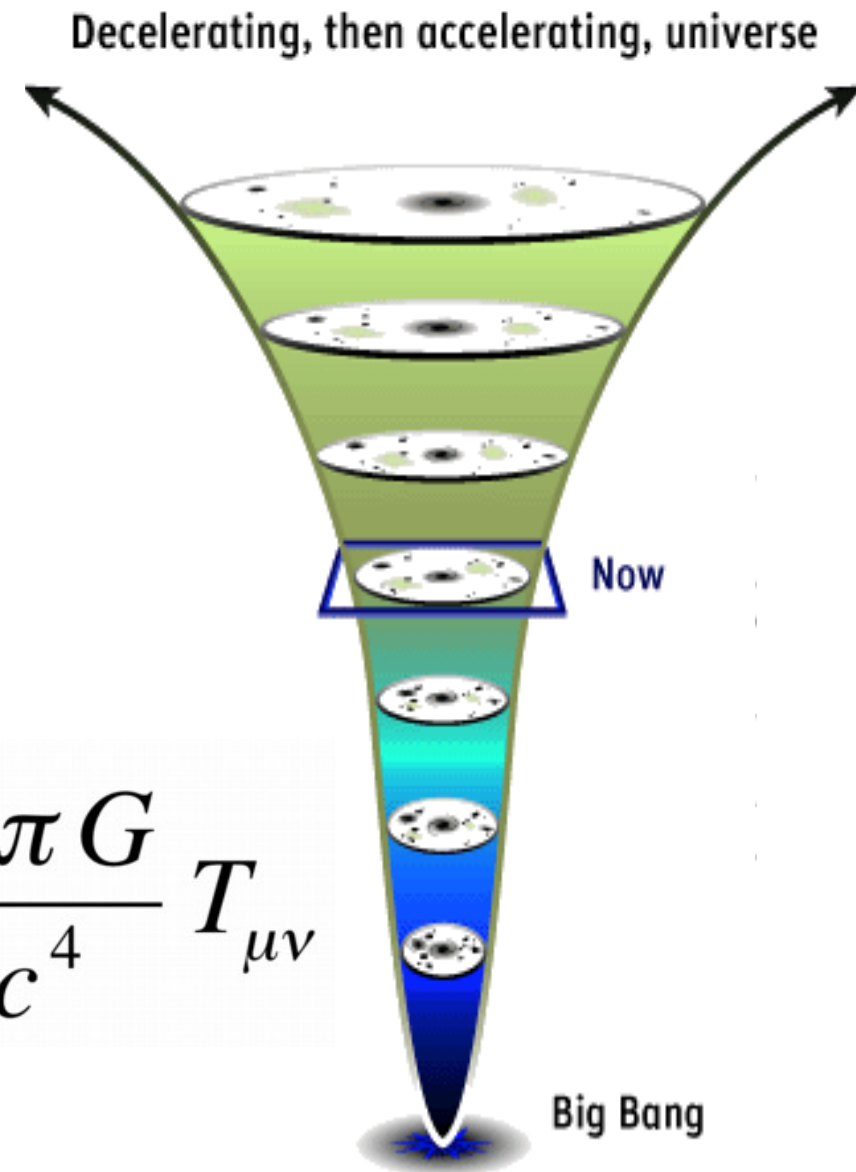


Il più grande “abbaglio” di Einstein

Costante cosmologica Λ

- Introdotta per compatibilità con universo statico
- Permea lo spazio generando una pressione negativa che estende la trama dello spazio tempo

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$




Quanto ne sappiamo di Λ ?

Teoria


$$\Lambda \approx 1$$

Esperimento

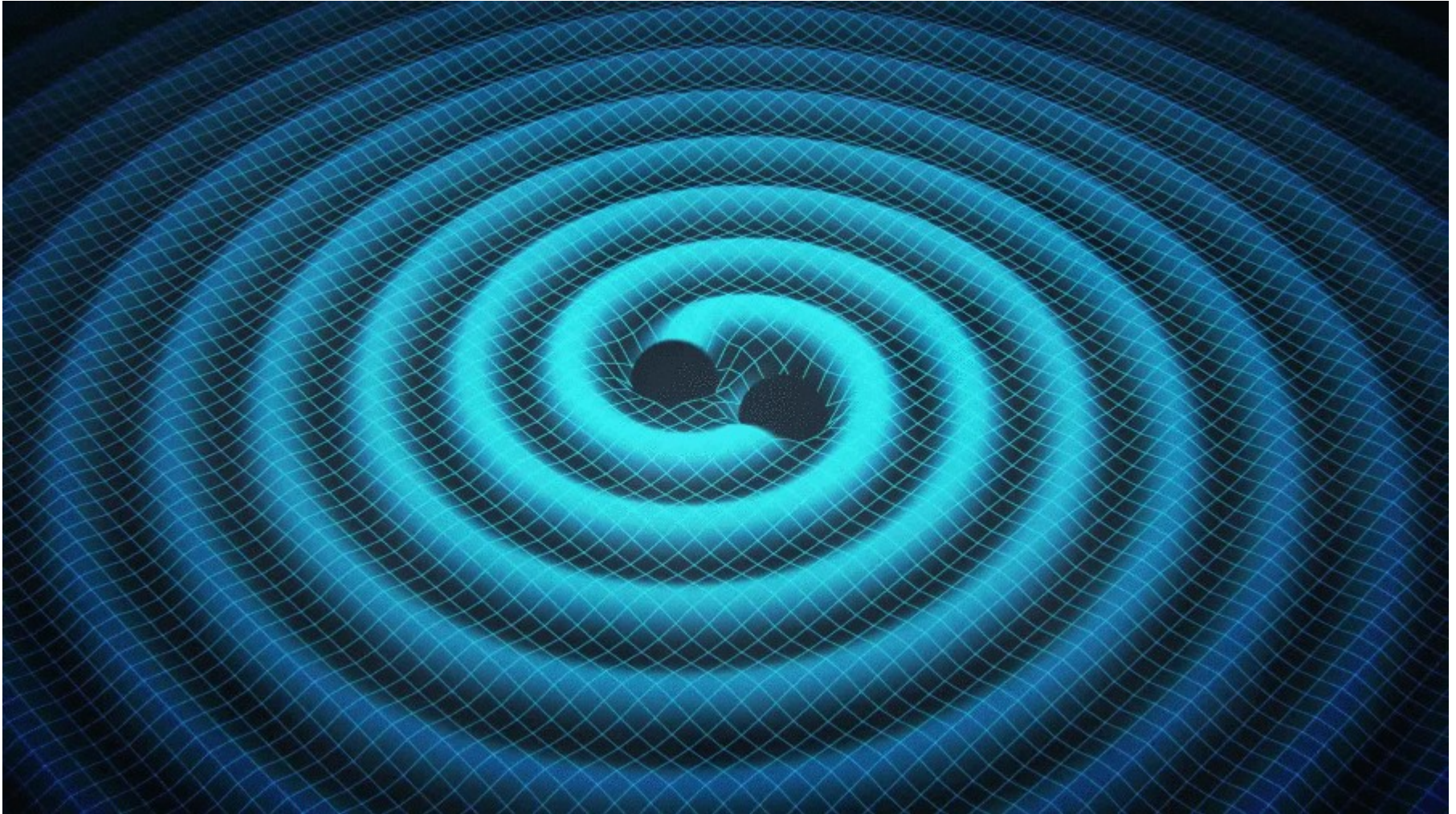

$$\Lambda =$$

Backup

Onde gravitazionali



Onde gravitazionali

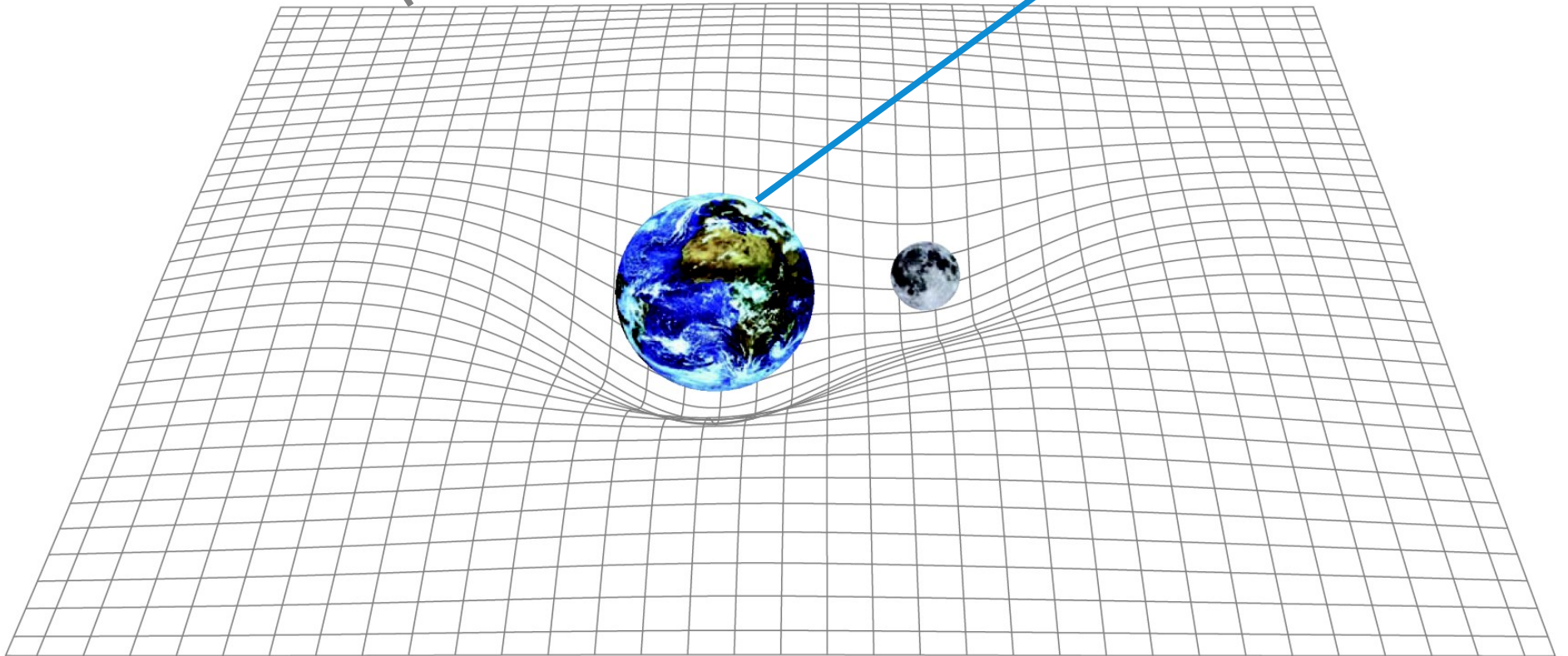


Simmetria ed eleganza

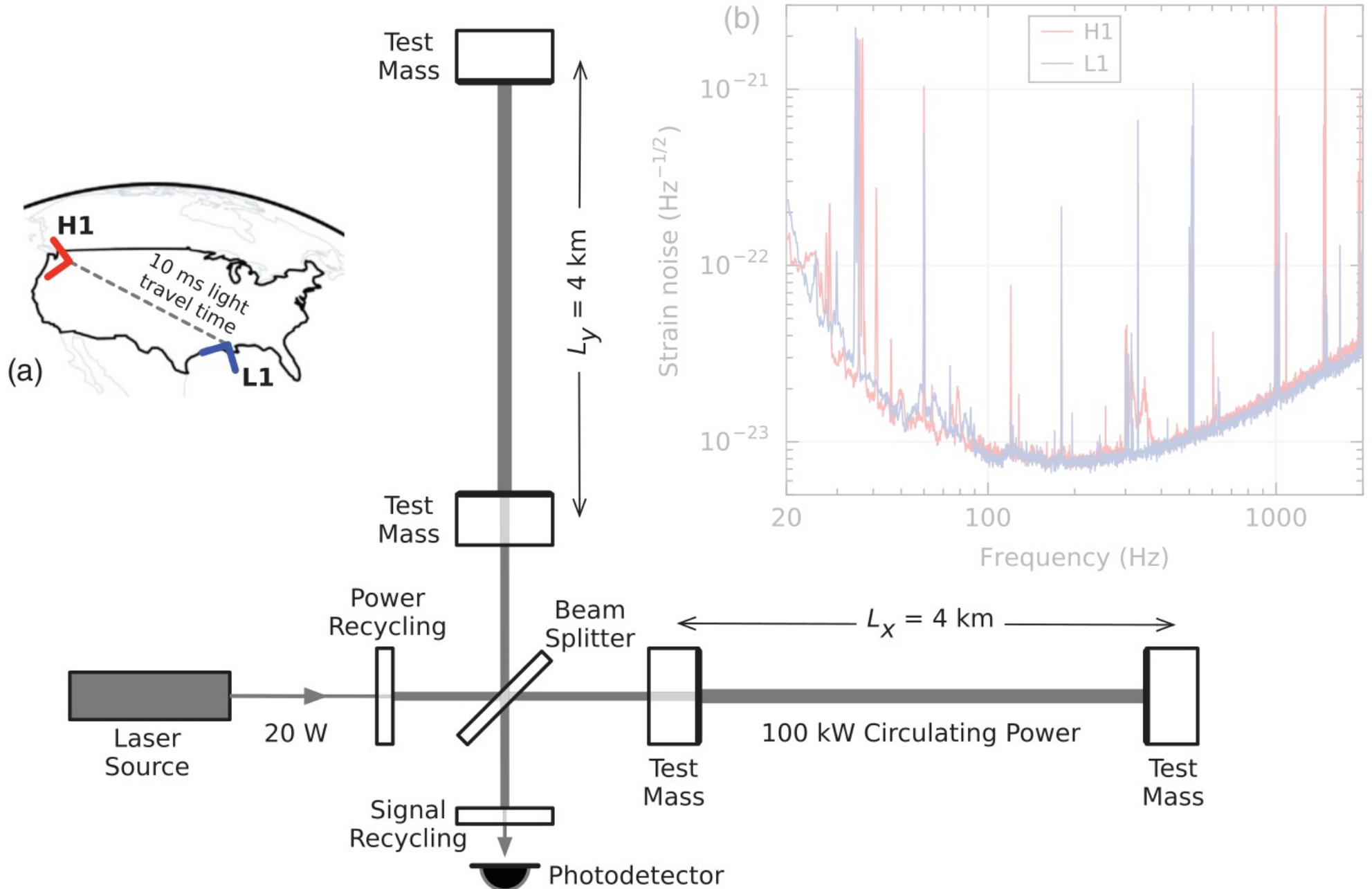
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Curvatura dello
spazio tempo

Distribuzione di
massa-energia



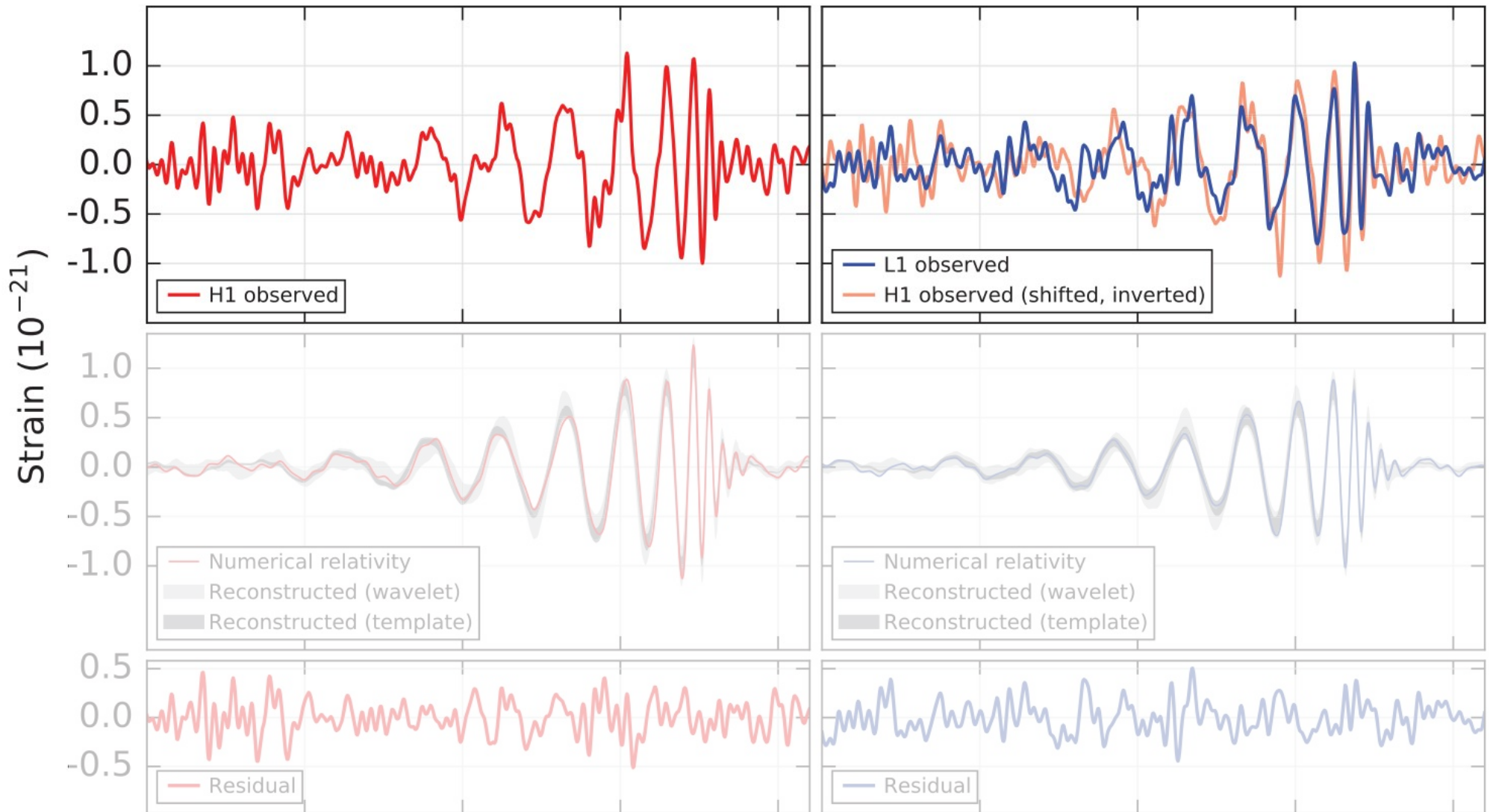
Rivelatori: 2 LIGO



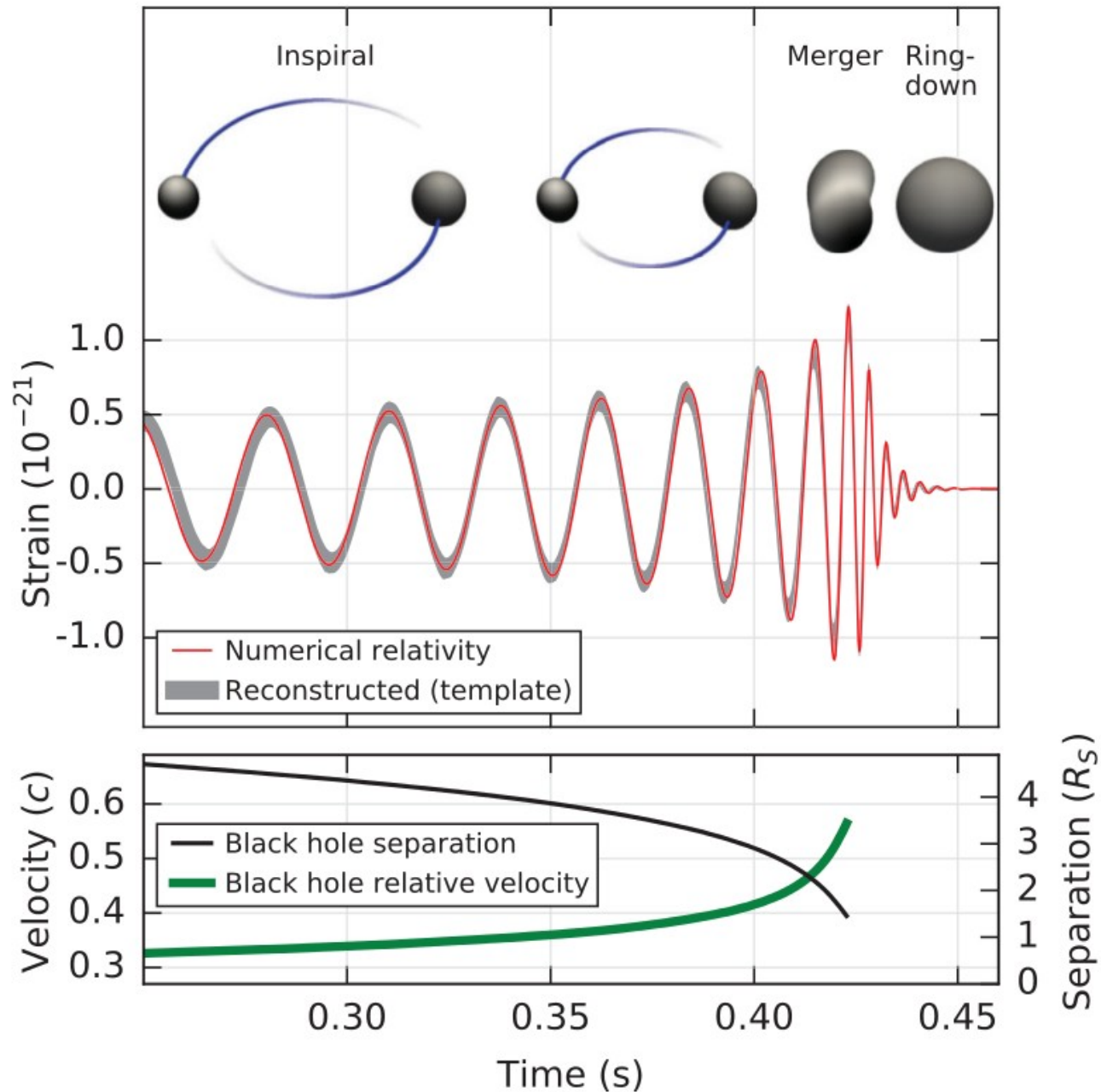
Segnali registrati

Hanford, Washington (H1)

Livingston, Louisiana (L1)



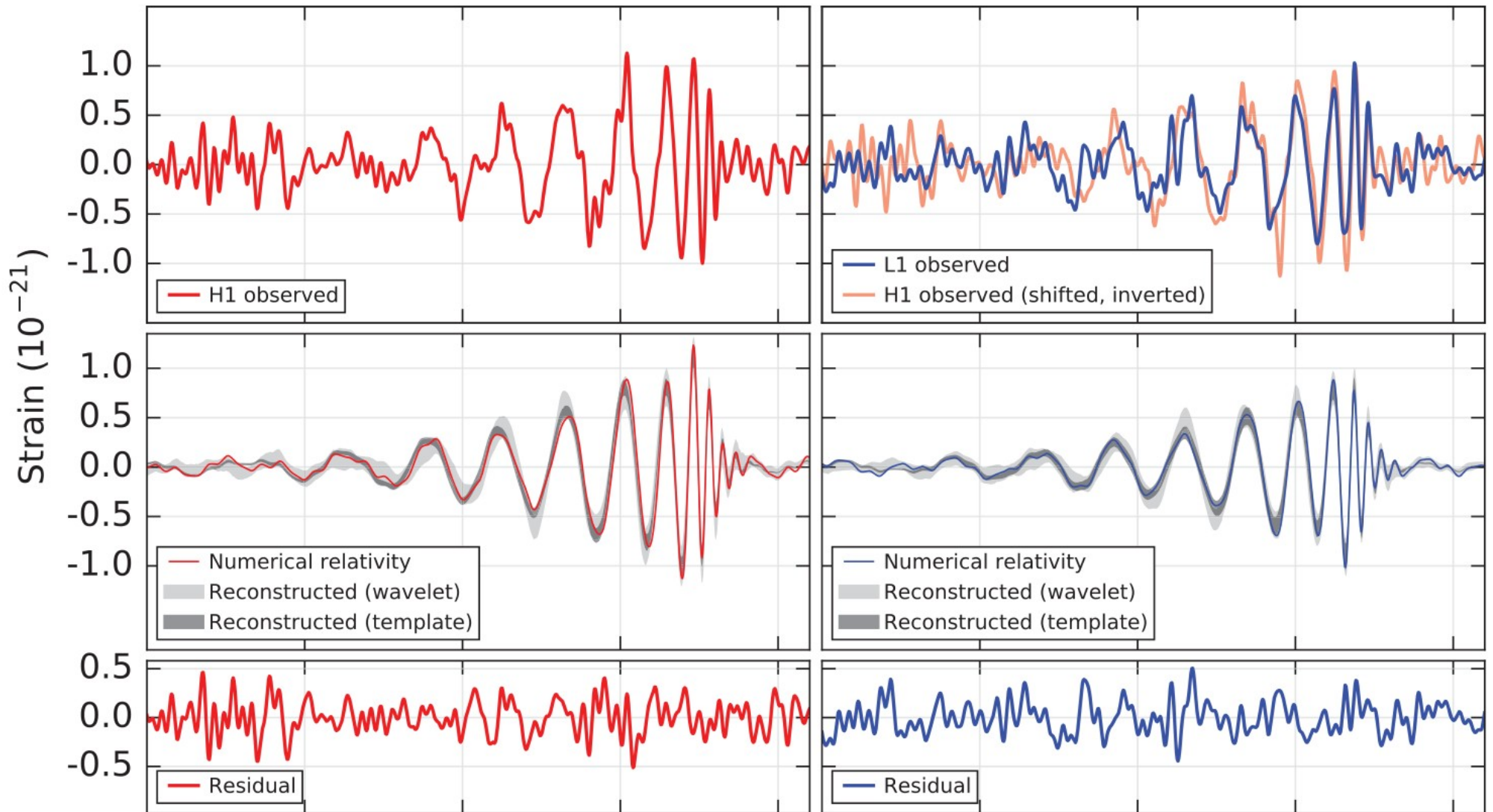
Coalescenza 2 buchi neri



Segnali registrati

Hanford, Washington (H1)

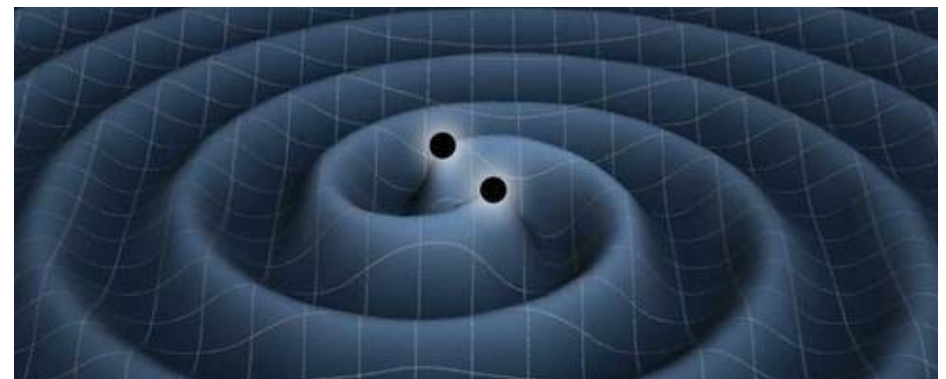
Livingston, Louisiana (L1)



Sommario

- 14 Settembre 2015, 09:50:45 UTC
 - Segnale compatibile con il passaggio di onde gravitazionali rivelato da due diversi rivelatori
 - Significanza 5.1σ : cioè un falso allarme di quel tipo può accadere solo ogni 203000 anni
- **Compatibile con coalescenza di due buchi neri**
 - Distanza: 1.3 miliardi di anni luce
 - $36 M_{\odot} + 29 M_{\odot} \rightarrow 62 M_{\odot} + 3 M_{\odot}$
 - Max potenza emessa pari a 50 volte quella di tutte le stelle dell'universo visibile

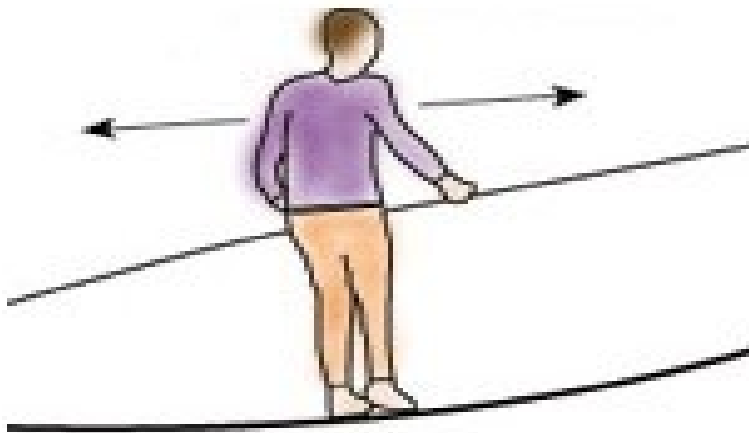
Energia emessa
sotto forma di
onde gravitazionali



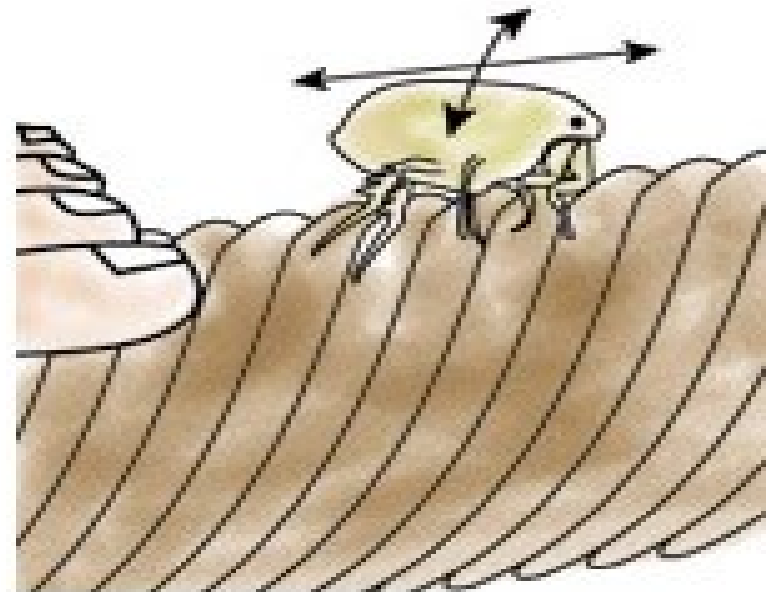
Dimensioni extra

Dimensioni aggiuntive

- Dove sono queste dimensioni aggiuntive?
 - Sono **avvolte** su loro stesse e noi non possiamo avvertirle



An acrobat can only move in one dimension along a rope..



...but a flea can move in two dimensions.

Ricerca di base

Ricerca di base/applicata

- Inizio XIX secolo, siete al governo di un paese in piena rivoluzione industriale
- Volete risolvere il problema dell'illuminazione investendo il 2% del PIL!!
- In che tipo di ricerca investite?

1. Ricerca applicata

2. Ricerca di base

Ricerca di base/applicata

- Inizio XIX secolo, siete al governo di un paese in piena rivoluzione industriale
- Volete risolvere il problema dell'illuminazione investendo il 2% del PIL!!
- In che tipo di ricerca investite?
 1. Ricerca applicata
 - **Sviluppo nella tecnologia della candela e delle lampade a gasolio**
 2. Ricerca di base



Ricerca di base/applicata

- Inizio XIX secolo, siete al governo di un paese in piena rivoluzione industriale
- Volete risolvere il problema dell'illuminazione investendo il 2% del PIL!!
- In che tipo di ricerca investite?

1. Ricerca applicata

- **Sviluppo nella tecnologia della candela e delle lampade a gasolio**

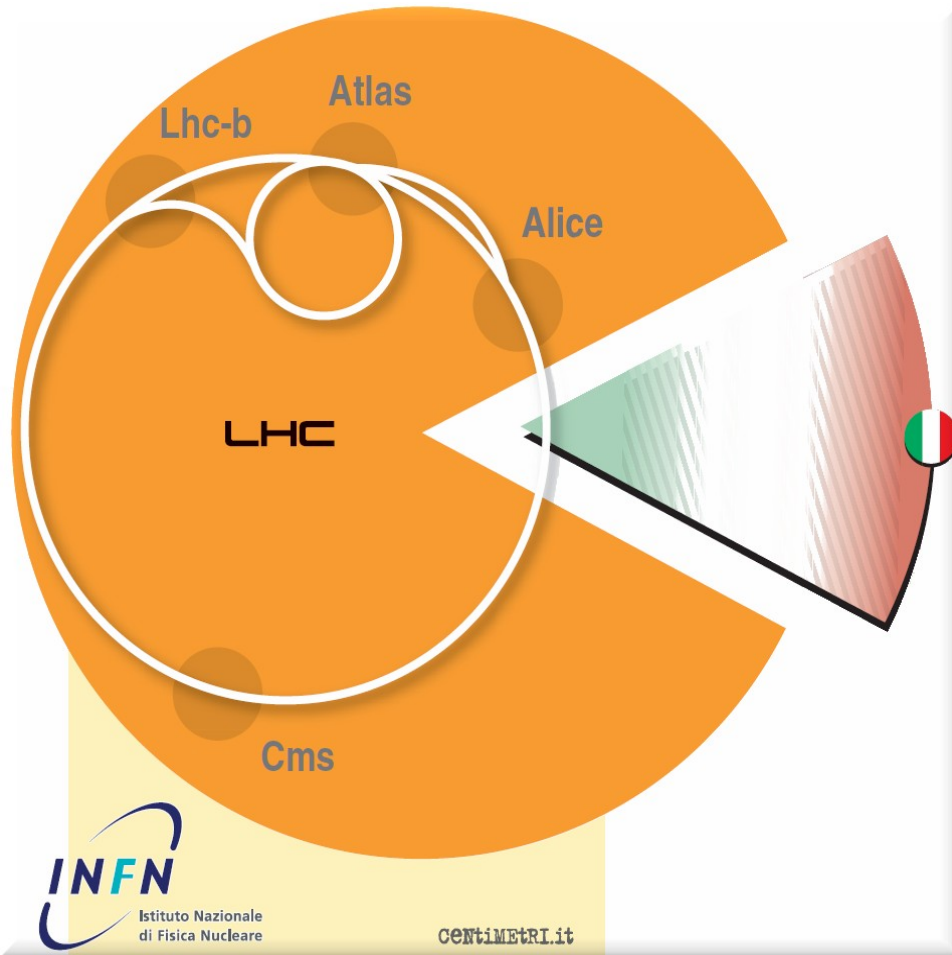


2. Ricerca di base

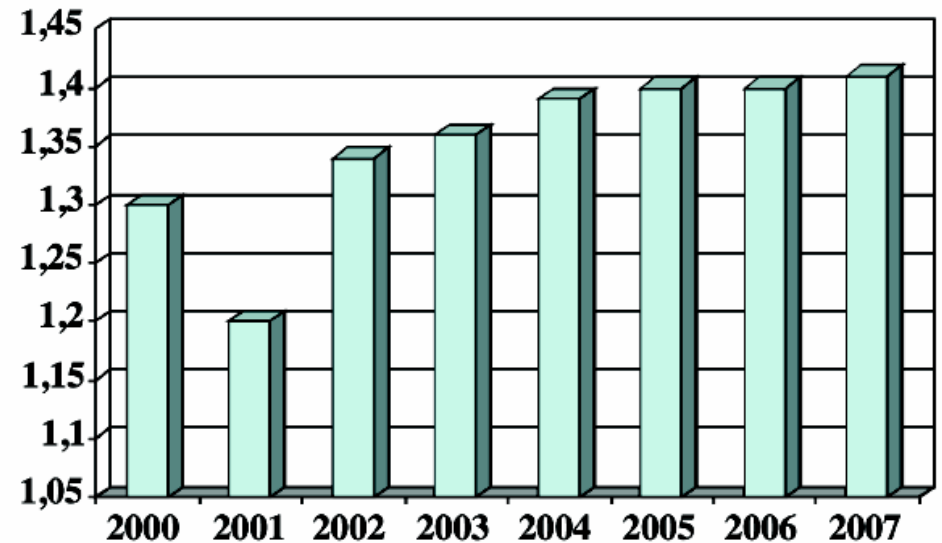
- **Ricerca che porterà all'elettricità, anche se non lo sapete ancora!**



Investimenti e ritorno



Coefficiente di ritorno industriale



Ogni 100€ investiti → ritorno 135€

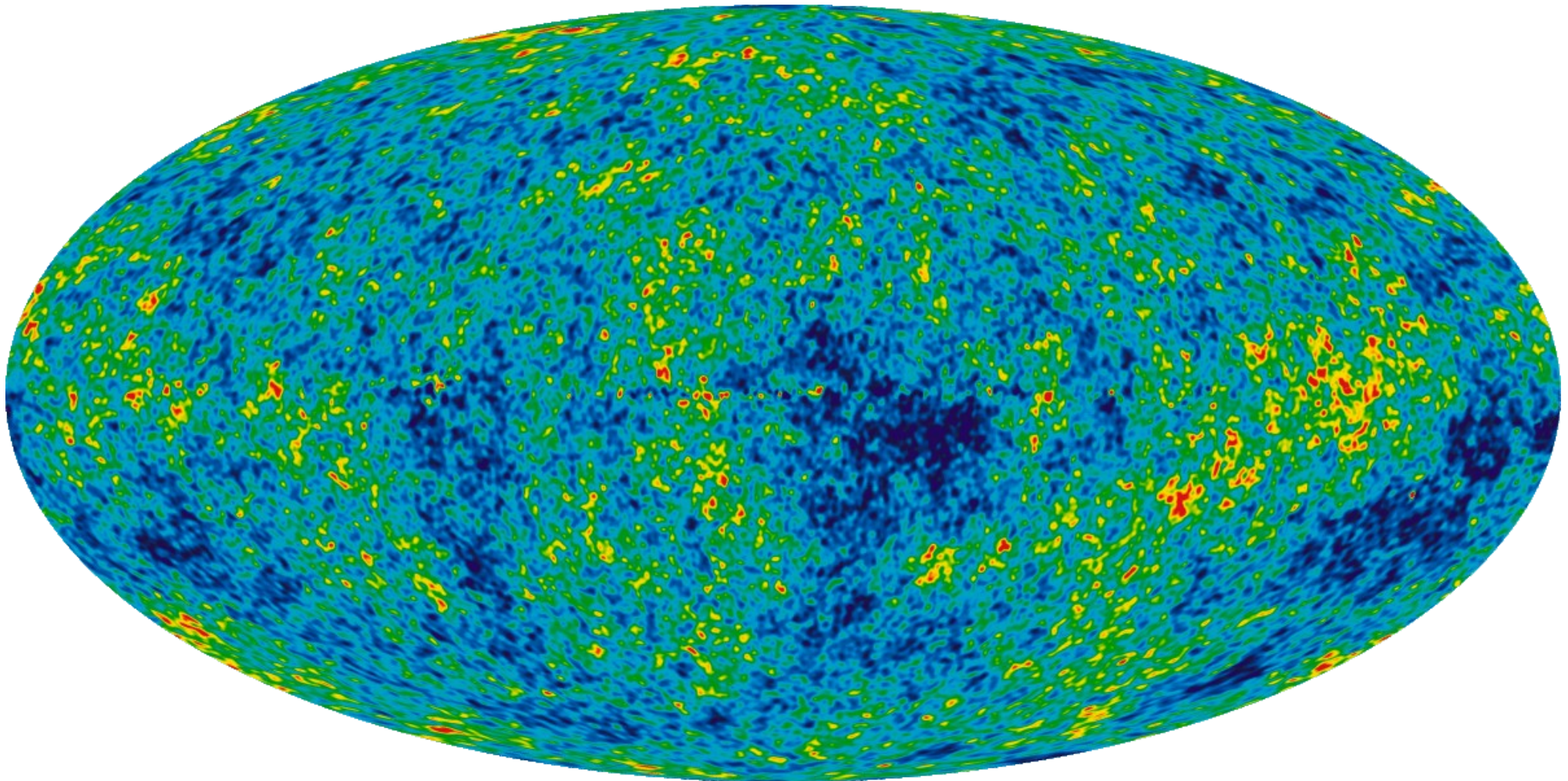
CBR

Hubble Ultra Deep Field



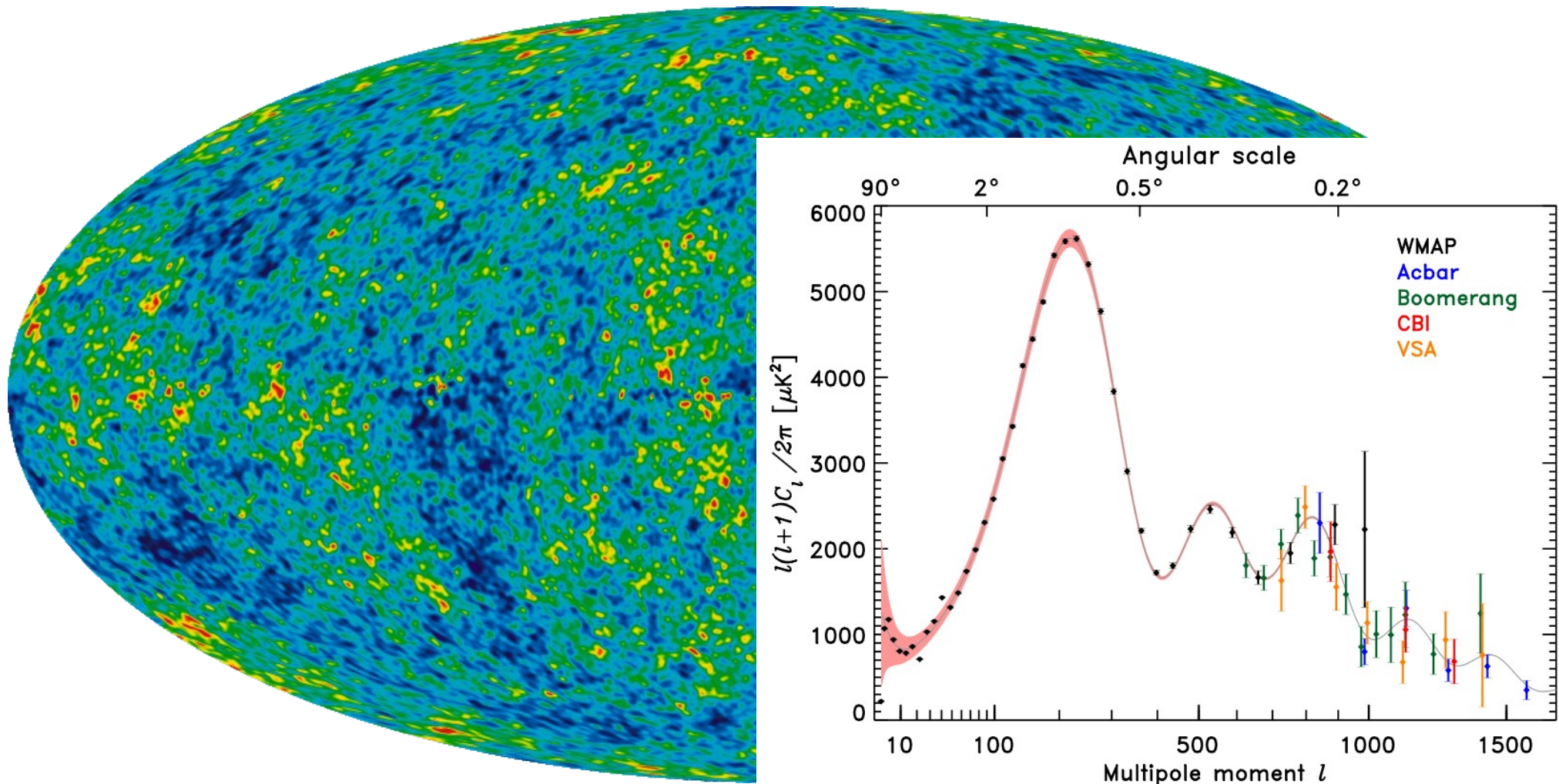
Radiazione Cosmica di Fondo

Impronta fluttuazioni quantistiche del vuoto

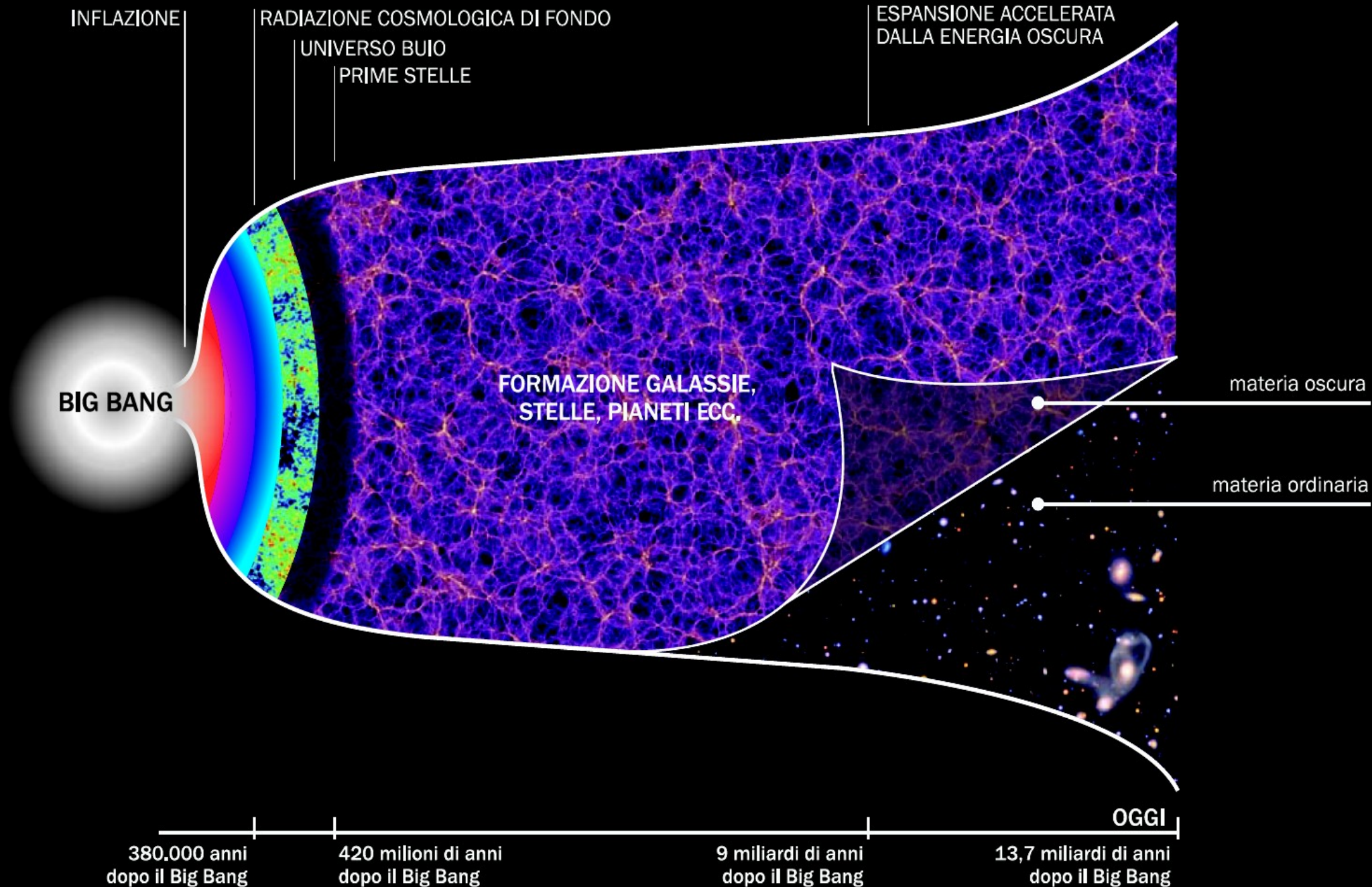


Radiazione Cosmica di Fondo

Impronta fluttuazioni quantistiche del vuoto



La storia dell'universo

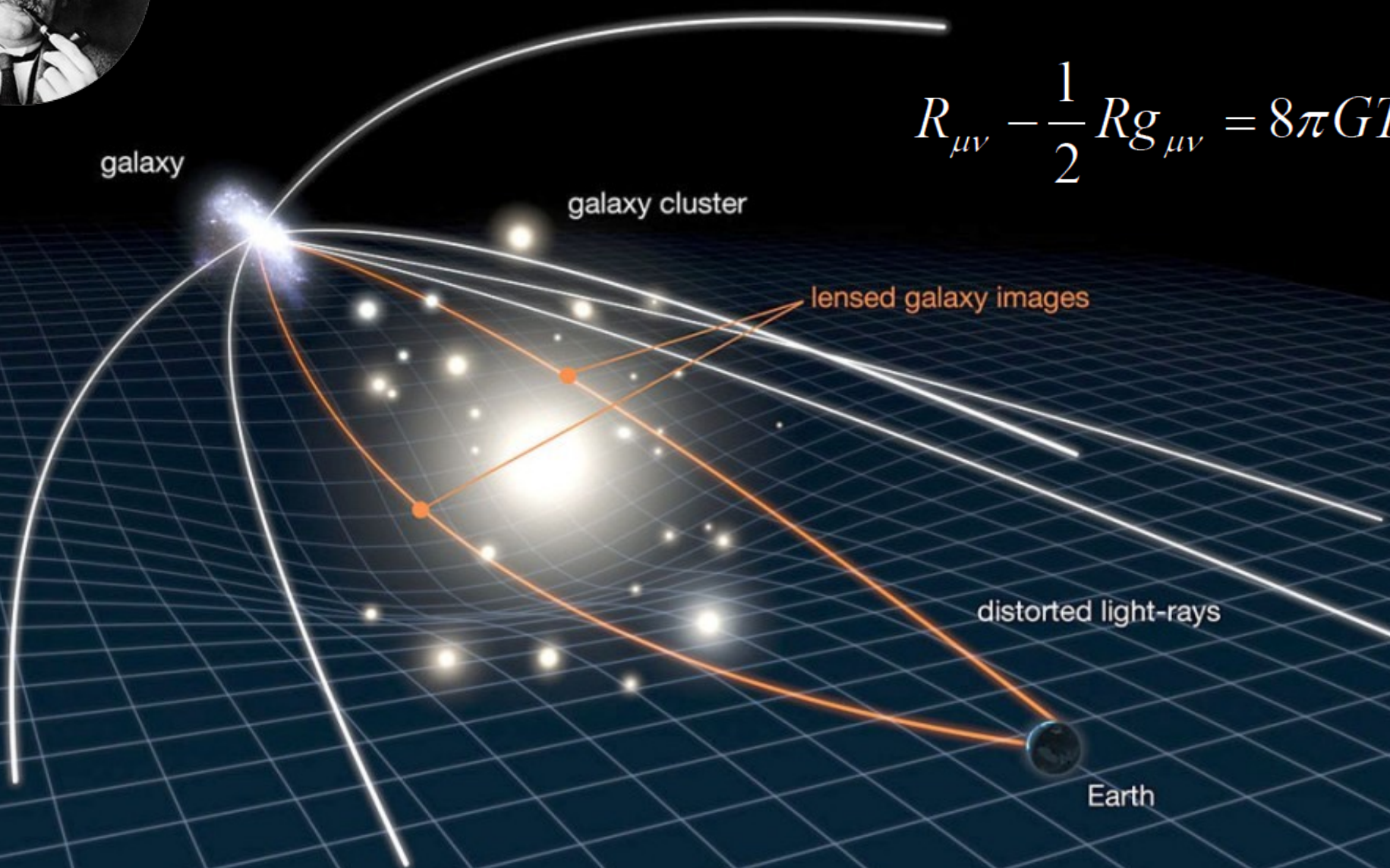


Bullet cluster

Lente gravitazionale

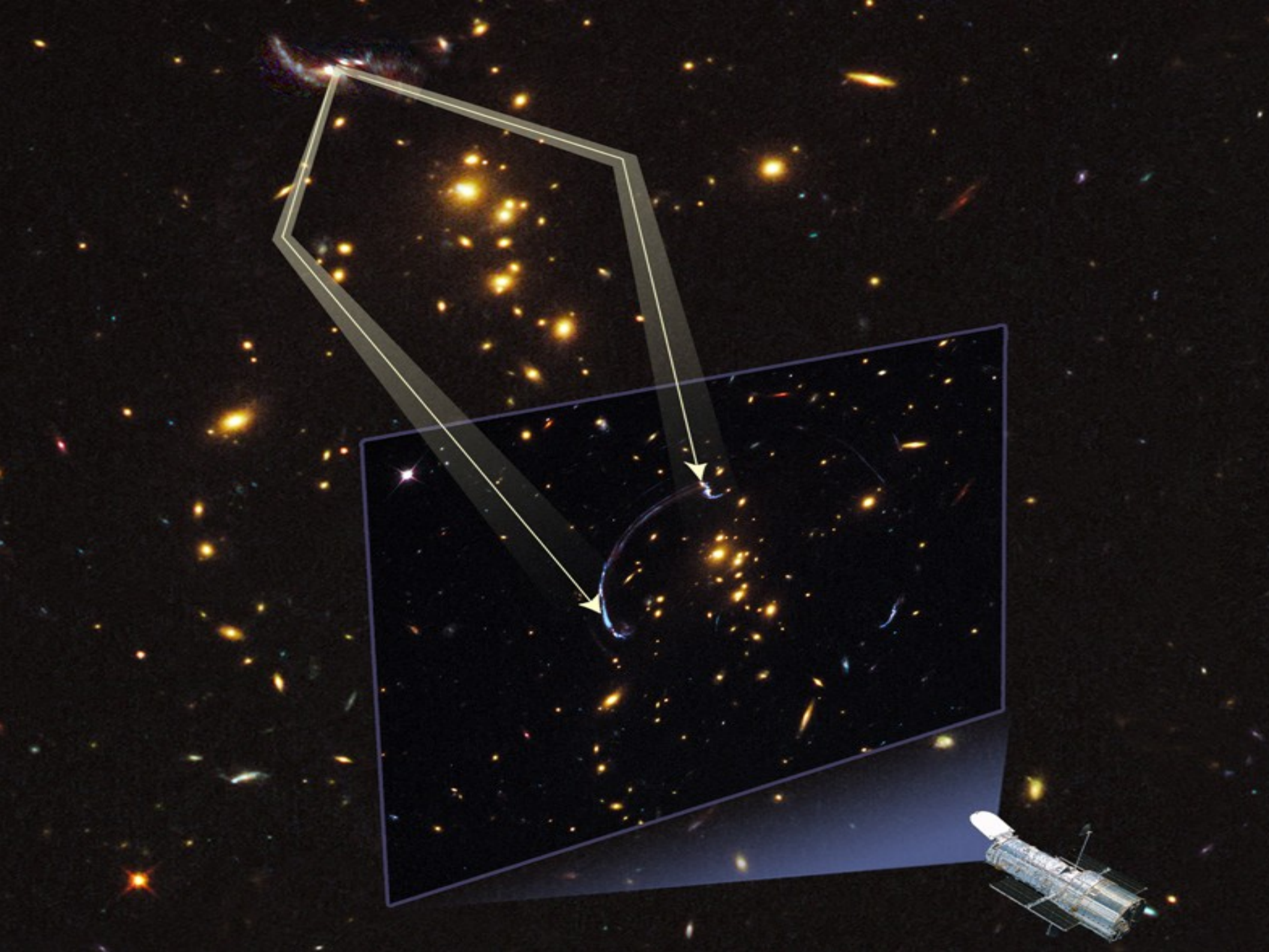


$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$$

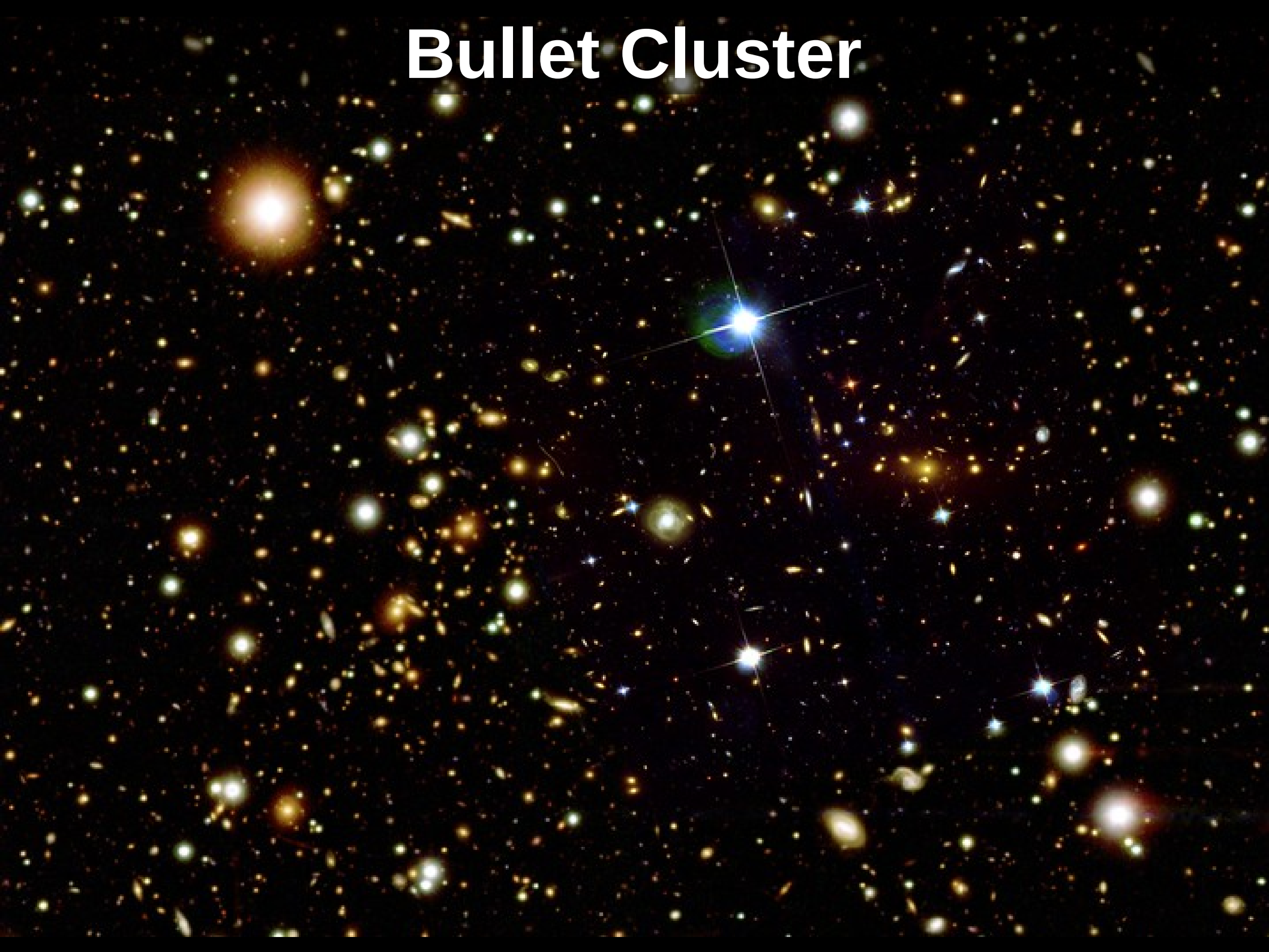


Effetto lente gravitazionale





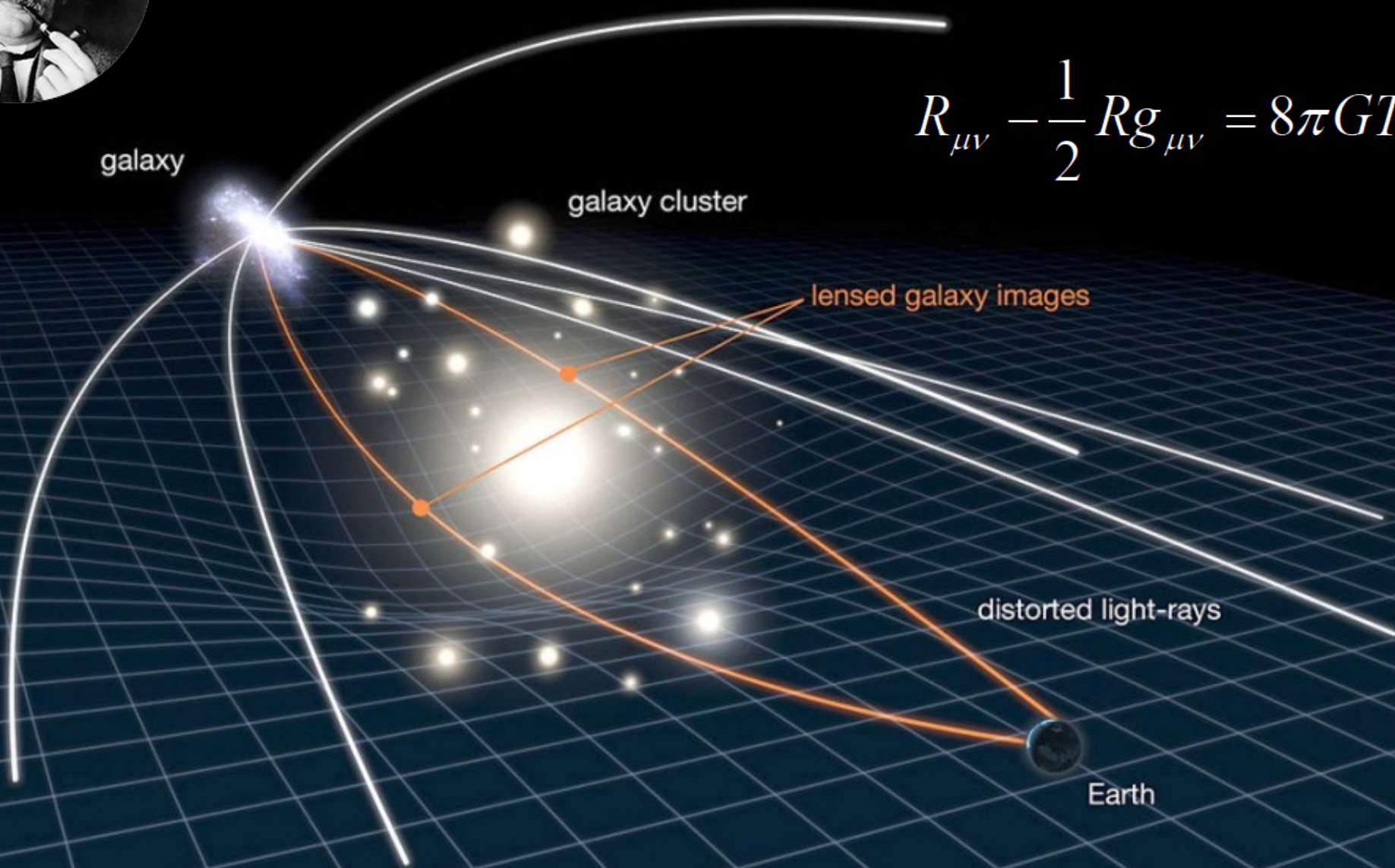
Bullet Cluster



Lente gravitazionale



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$$



Effetto lente gravitazionale



Distribuzione della massa

Microonde

Distribuzione materia ordinaria



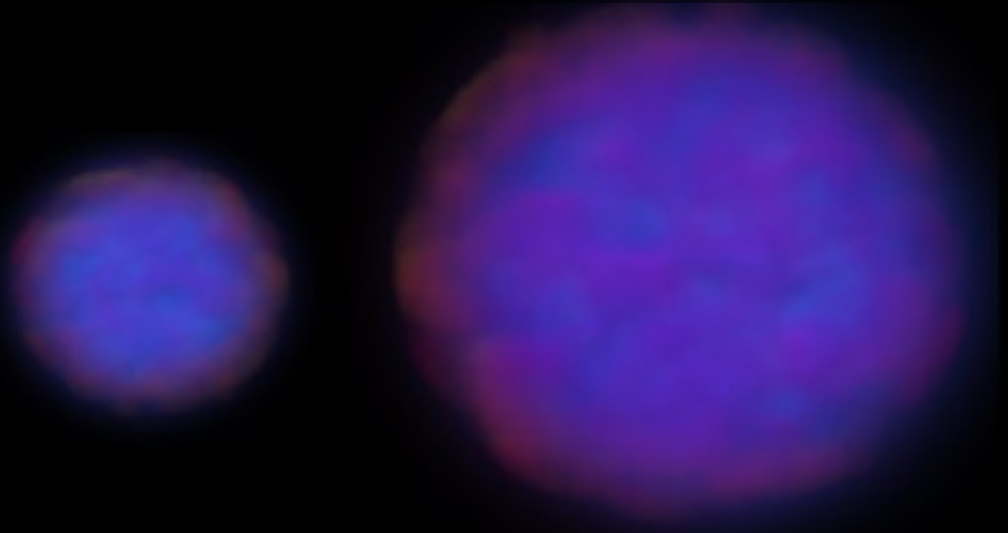
Distribuzione della massa



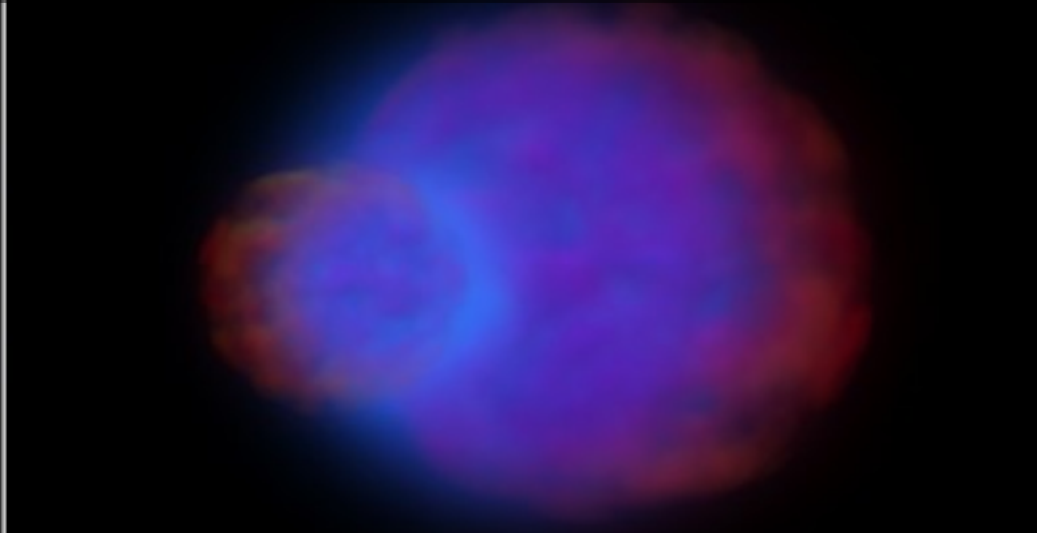
Distribuzione materia ordinaria

Distribuzione della massa

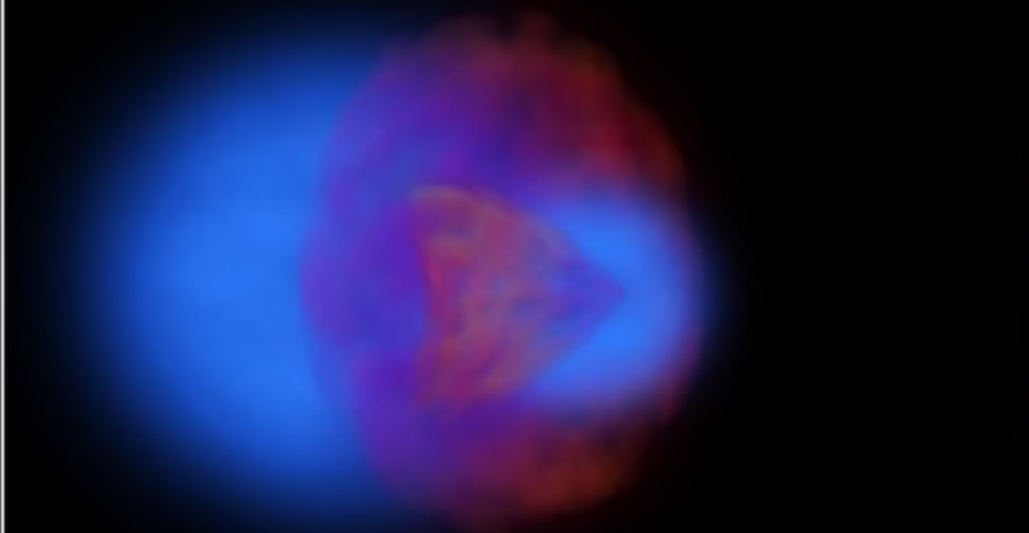
1



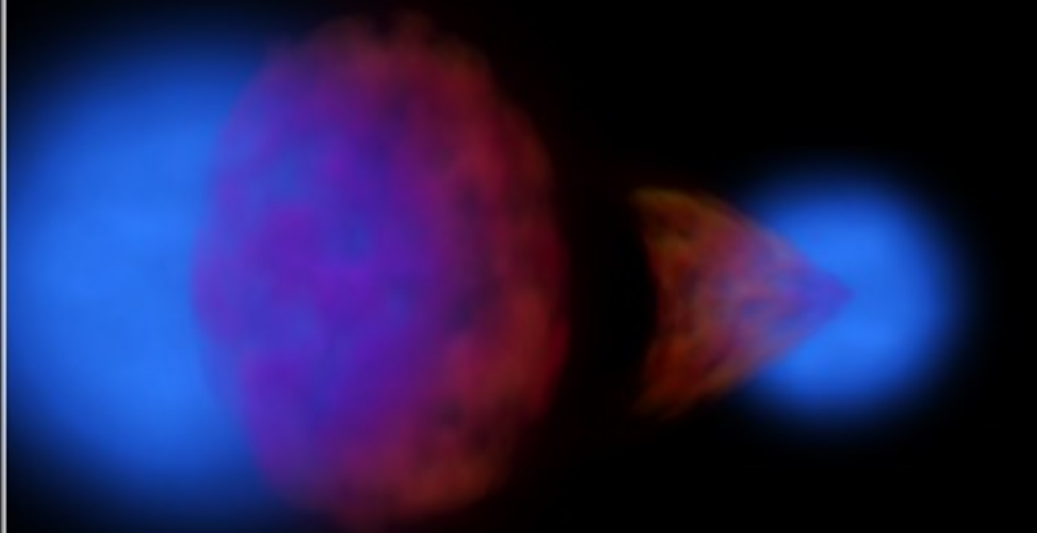
2



3



4

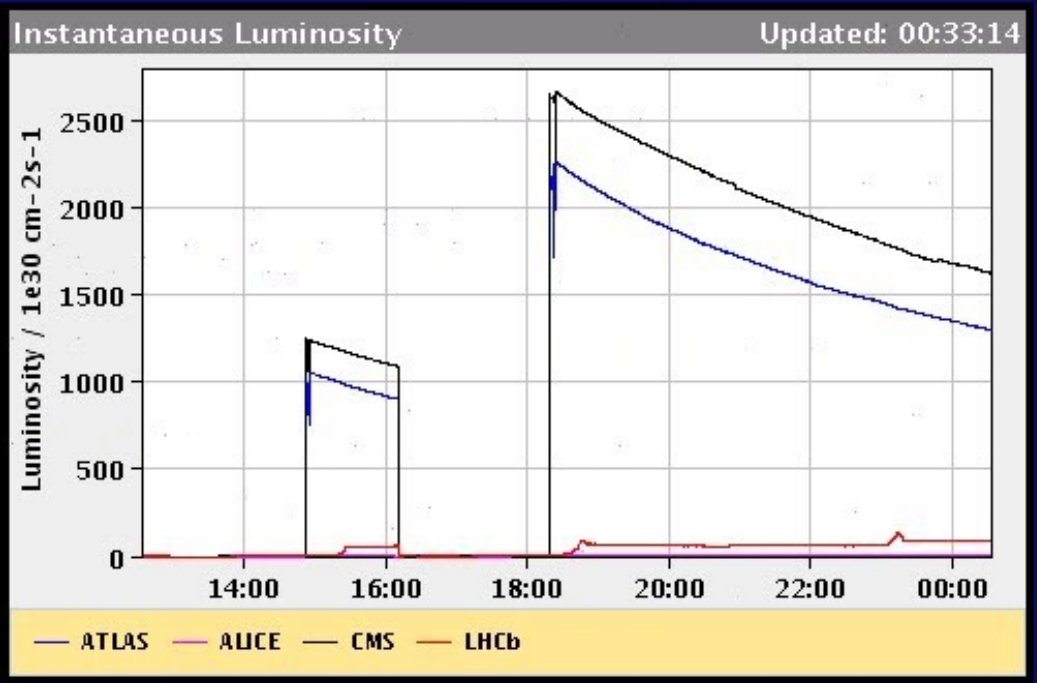
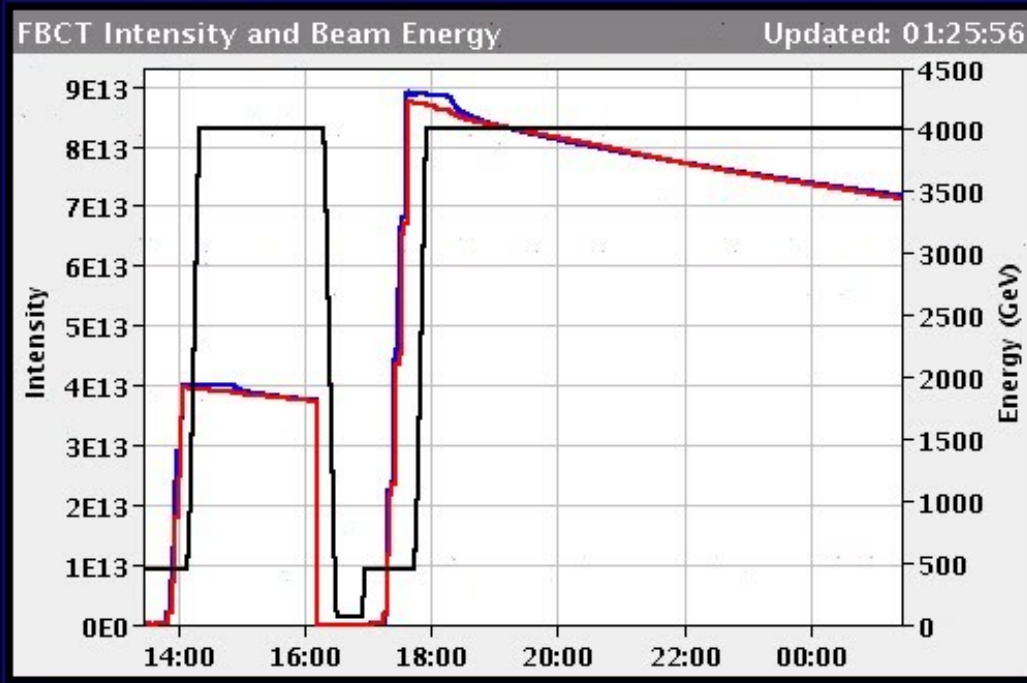


Distribuzione materia ordinaria

LHC

PROTON PHYSICS: STABLE BEAMS

Energy: 4000 GeV I(B1): 7.13e+13 I(B2): 7.18e+13



Comments 08-04-2012 18:22:17 :

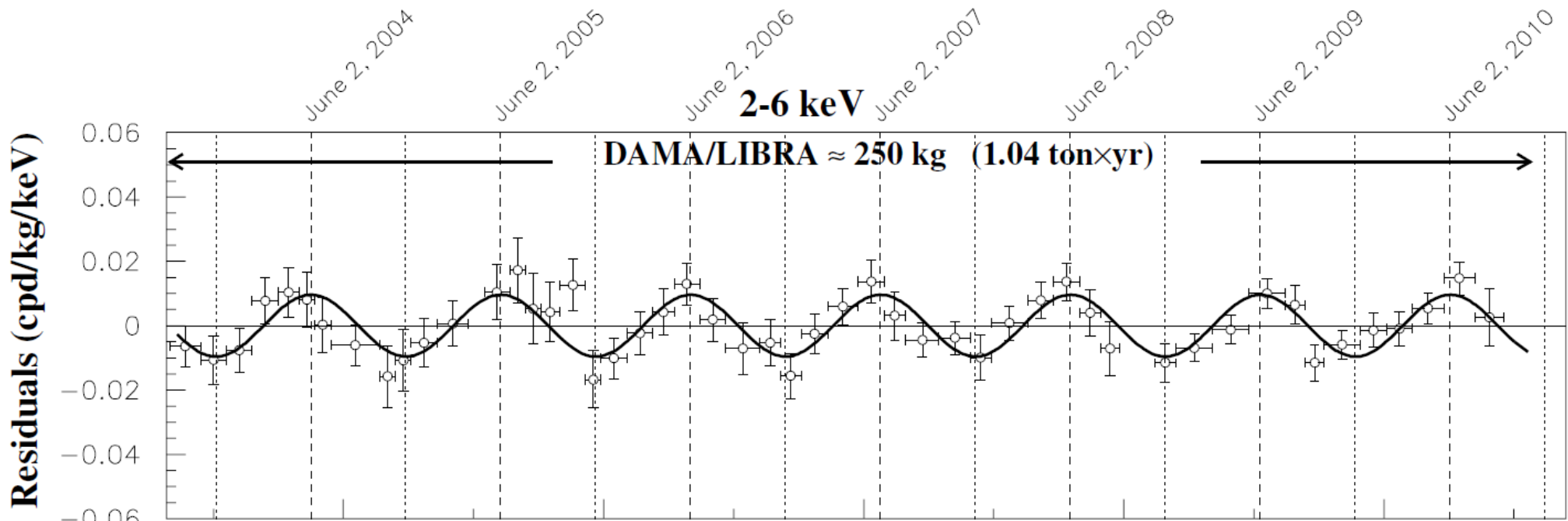
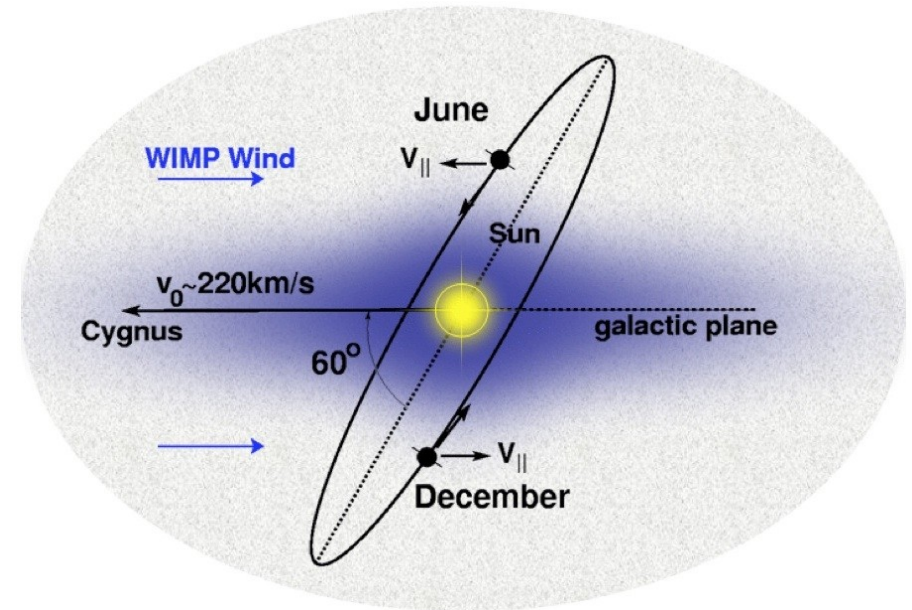
*** STABLE BEAMS ***
This fill with 624b

BIS status and SMP flags	B1	B2
Link Status of Beam Permits	true	true
Global Beam Permit	true	true
Setup Beam	false	false
Beam Presence	true	true
Moveable Devices Allowed In	true	true
Stable Beams	true	true

Ricerca materia oscura

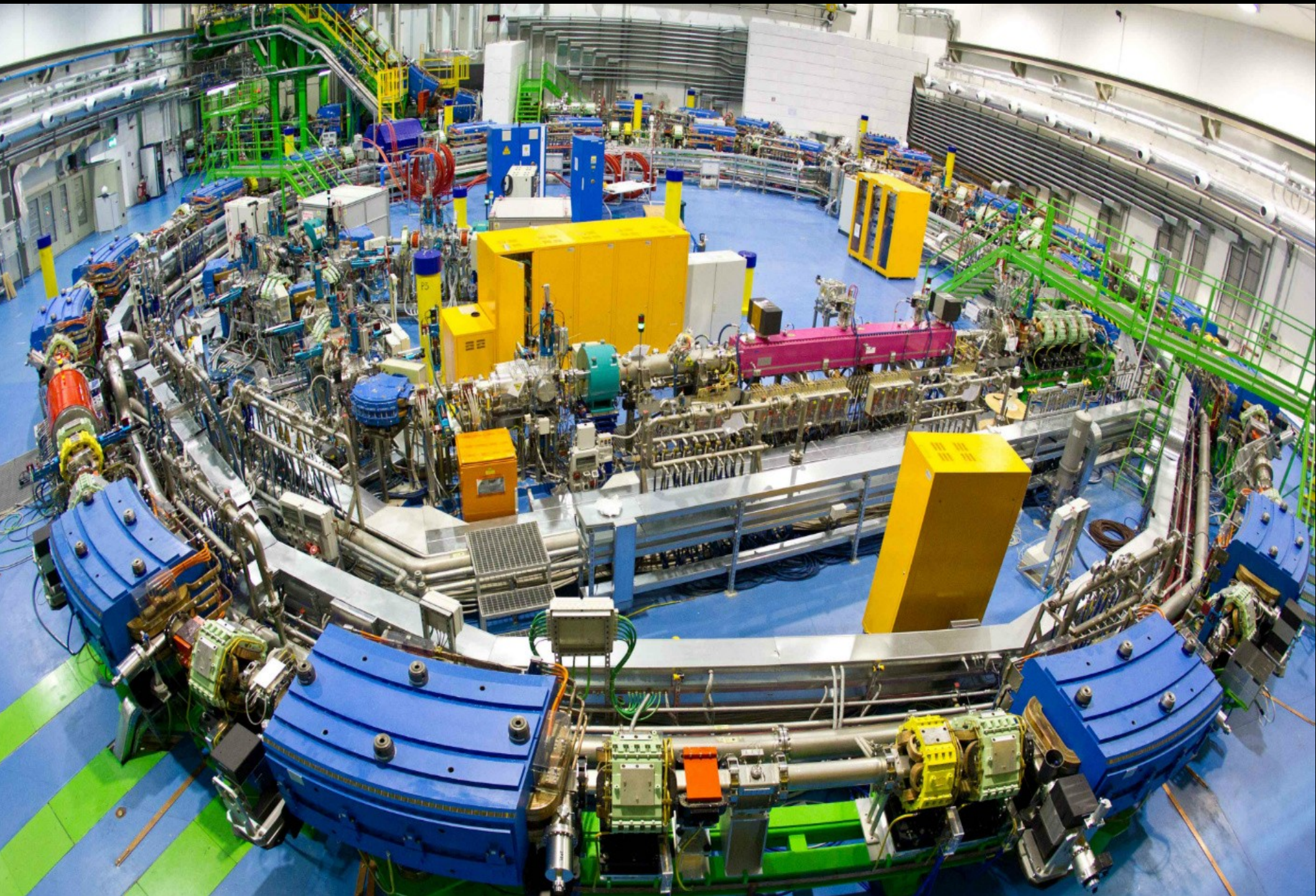
DAMA/LIBRA @GranSasso

- Segnale con modulazione annuale
 - Nessuna conferma da altri esperimenti



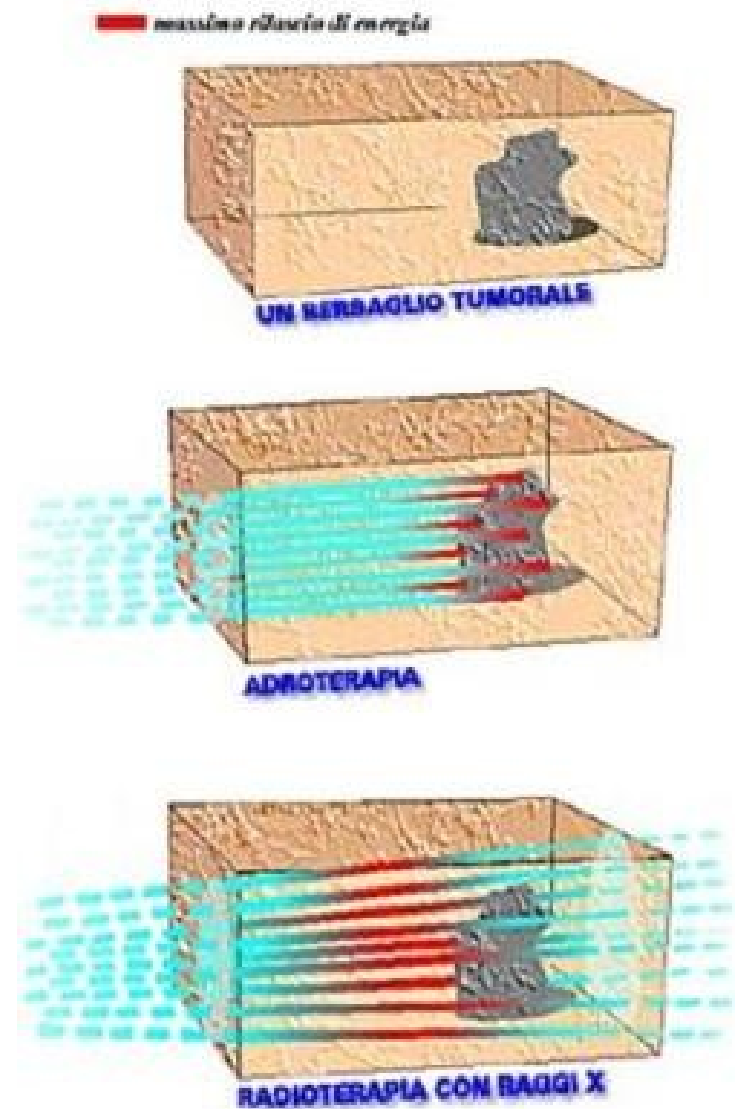
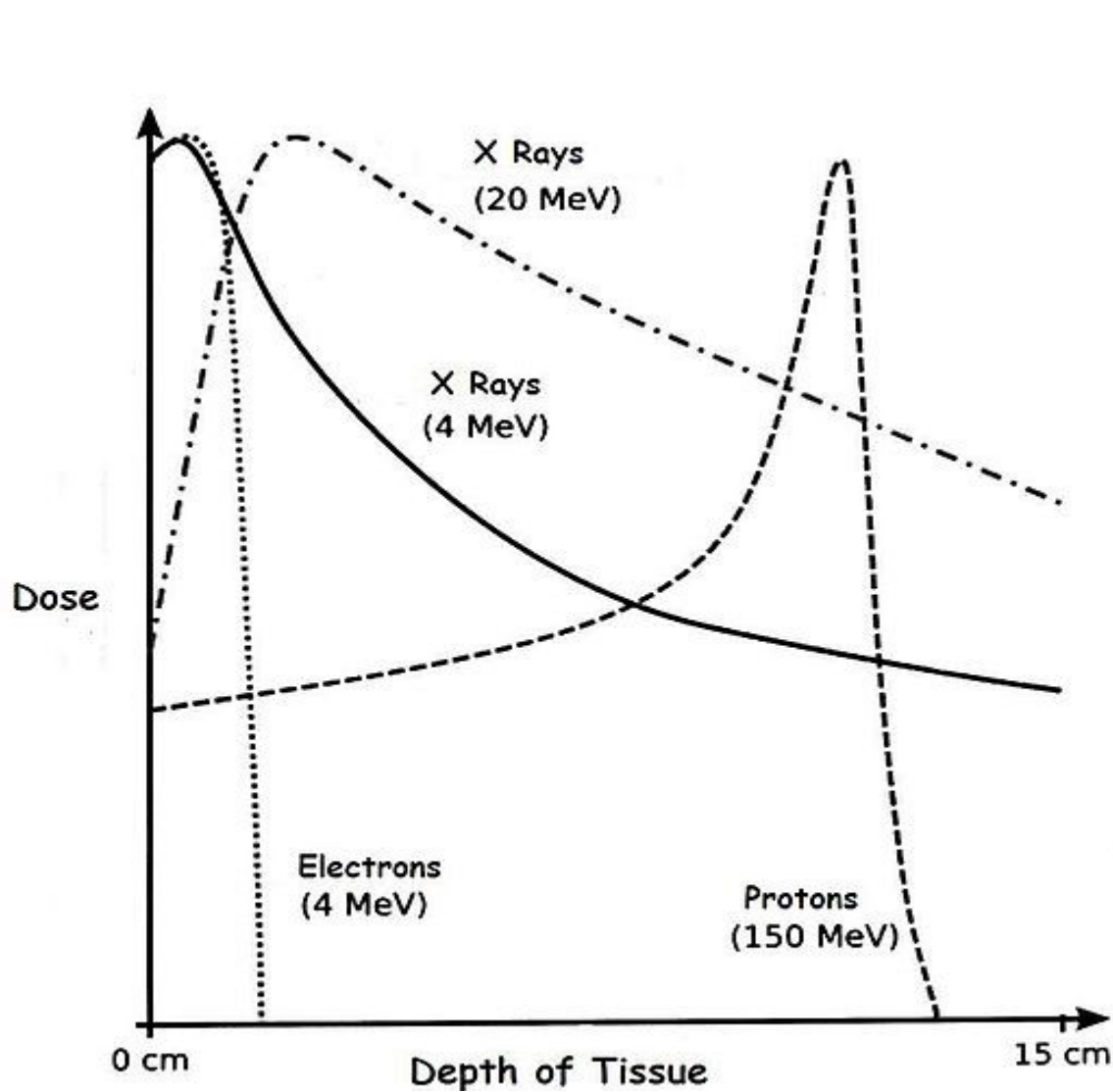
Adroterapia

CNAO



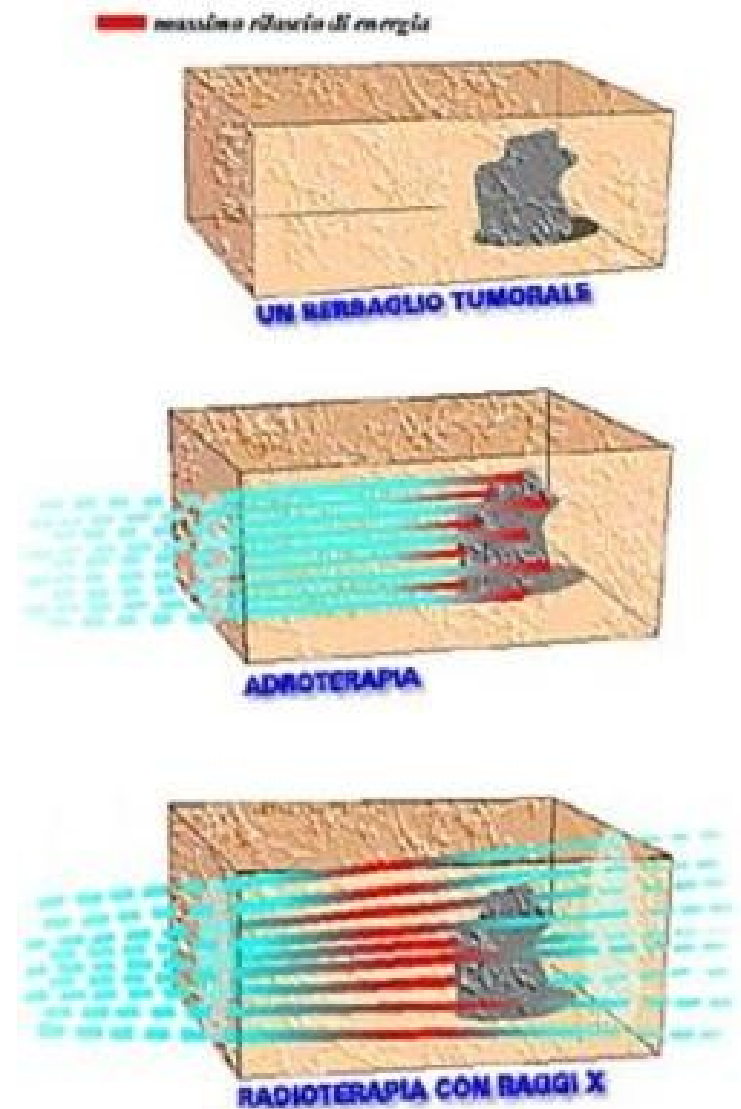
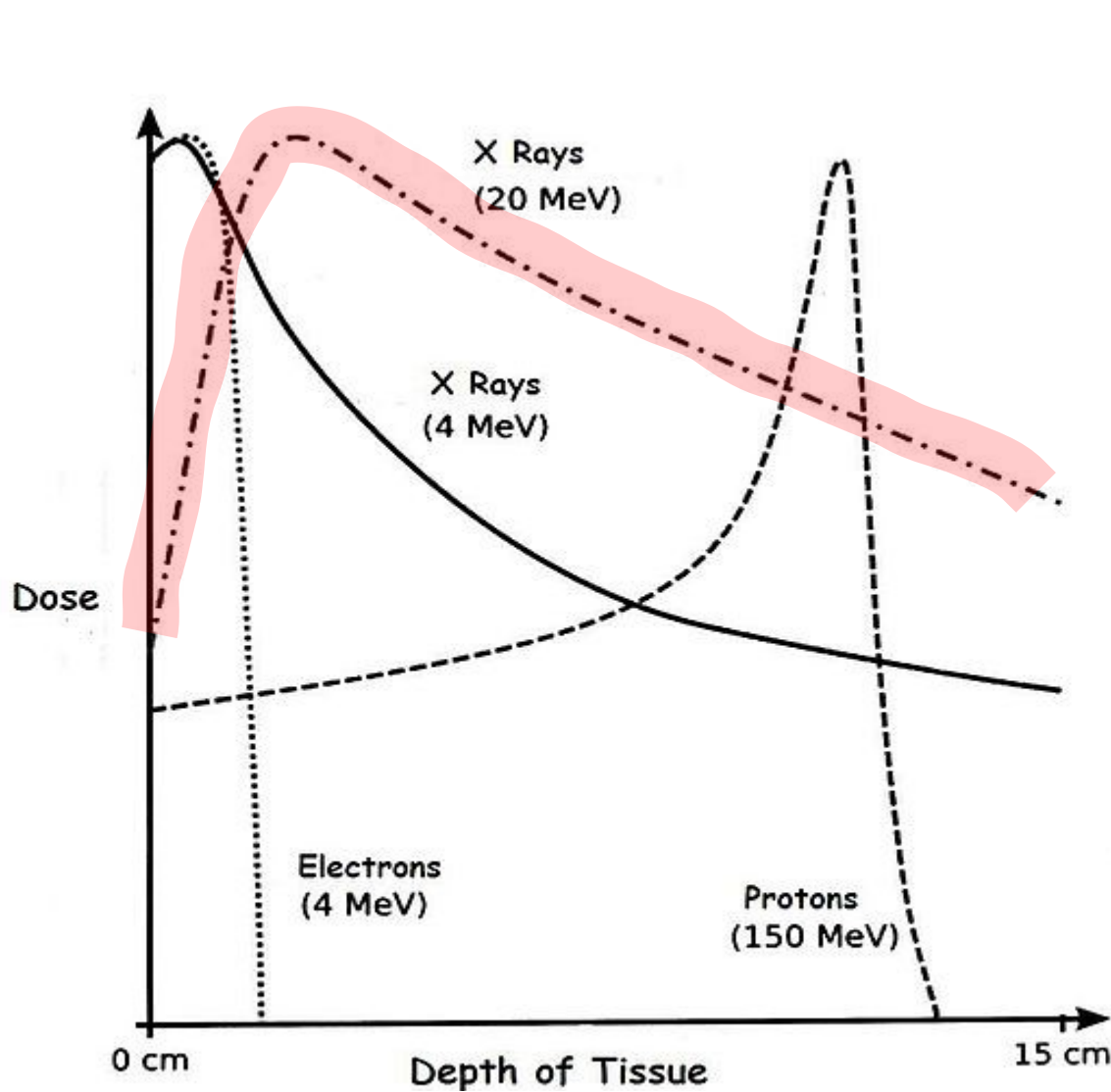
Adroterapia

- Adroni vs elettroni/fotoni



Adroterapia

- Adroni vs elettroni/fotoni



Adroterapia

- Adroni vs elettroni/fotoni

