



Il **Large Hadron Collider** e l'esperimento CMS

Davide Piccolo
Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN

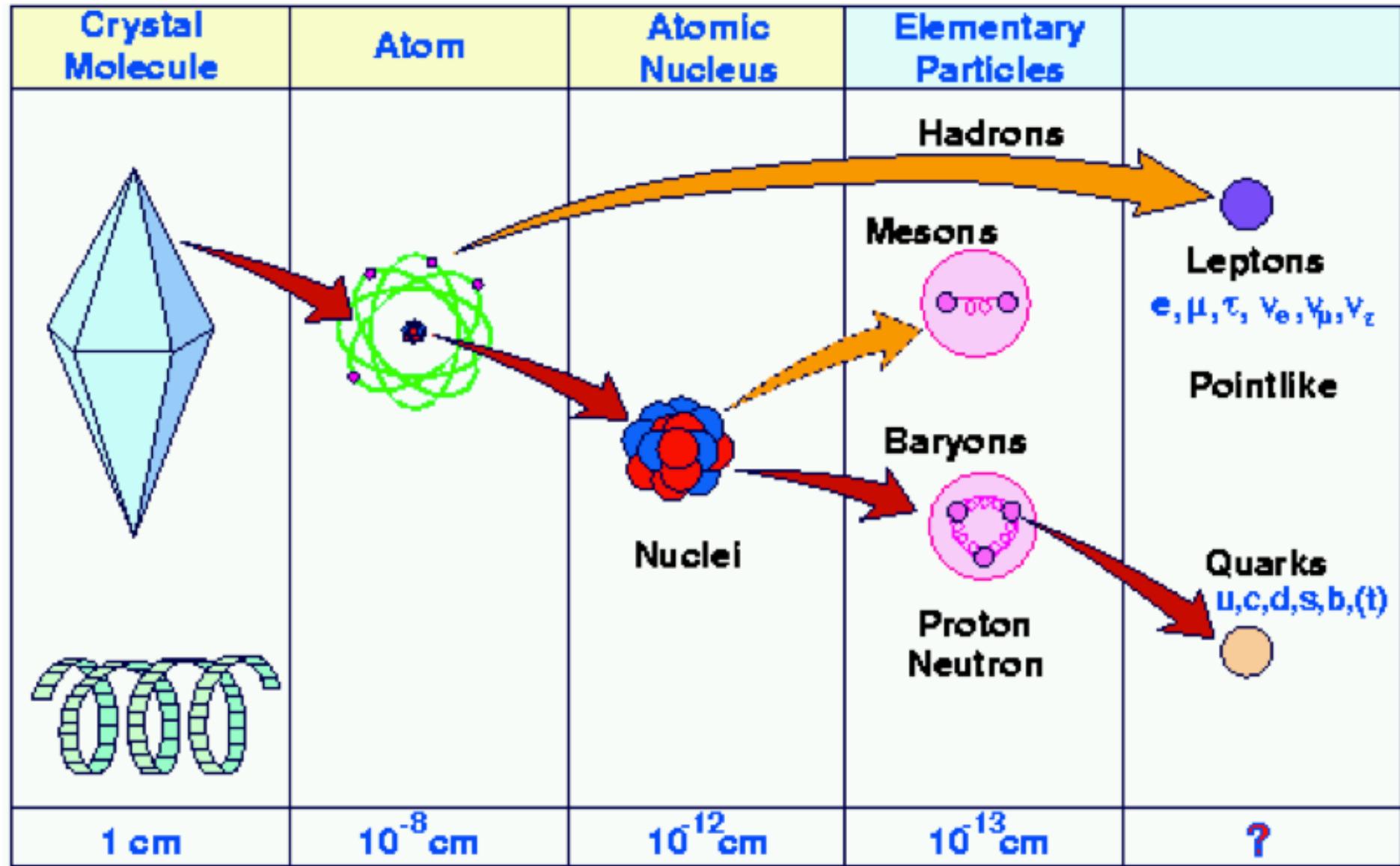
LHC
A cosa serve?
Quali
problemi di
fisica
vogliamo
affrontare ?

Cosa studiano i fisici delle particelle

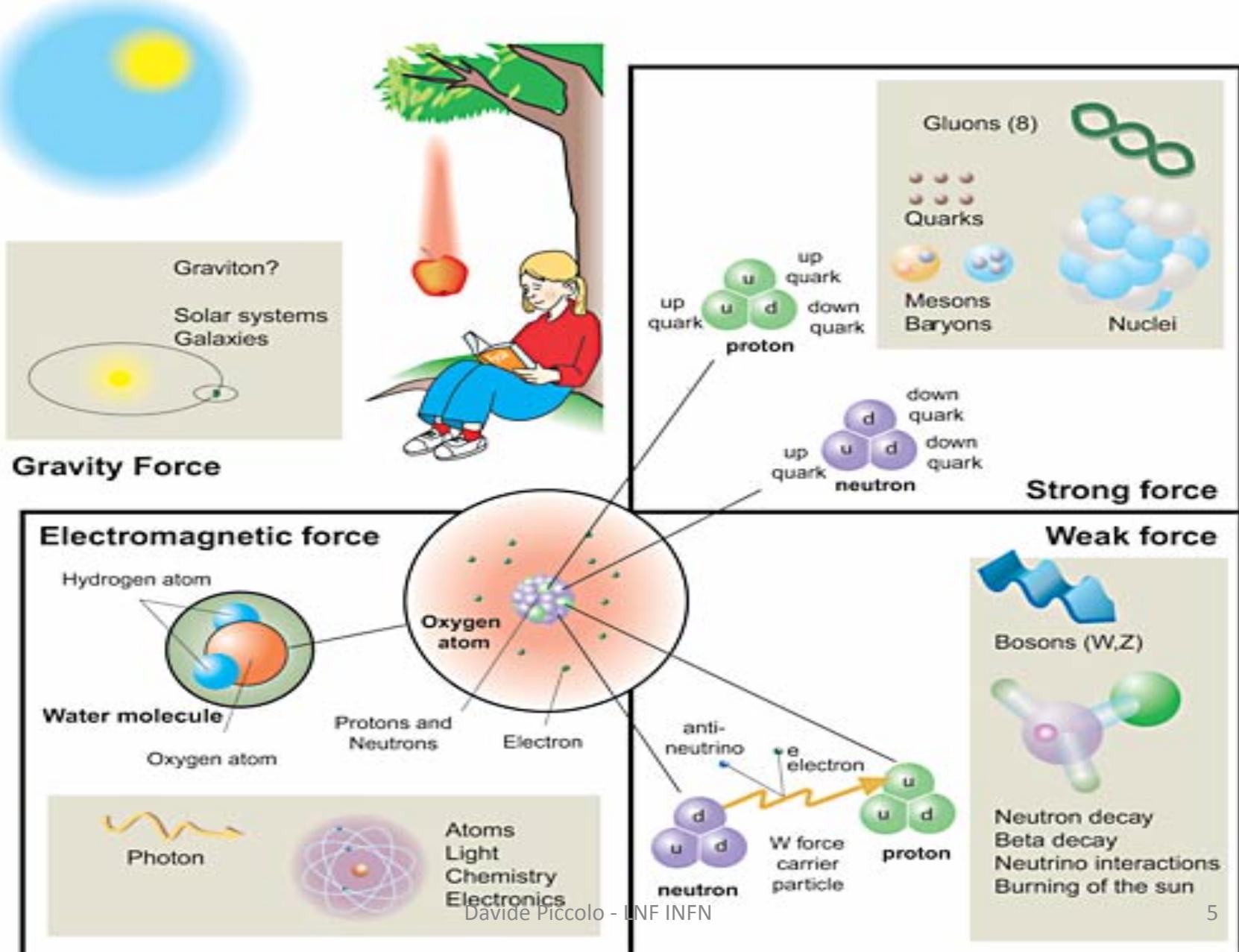
1. Come e' nato l'Universo ?
2. Da cosa e' composta la materia ?
3. Quali sono I mattoni fondamentali della materia ?
4. Quali forze tengono assieme l'universo ?
5. Esistono forze ancora sconosciute ?
6. Che cosa e' la materia oscura ?
7. Ed altro ancora



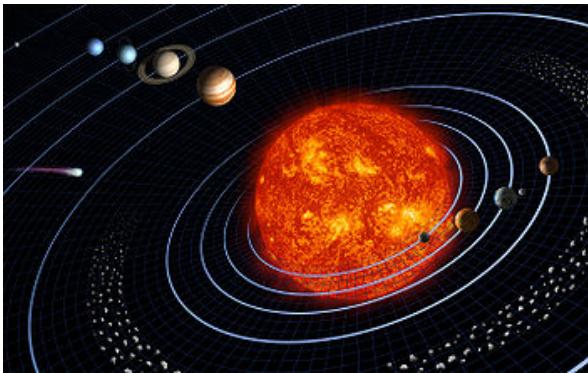
Di cosa e' fatta la materia ?



Quali sono le forze della natura?



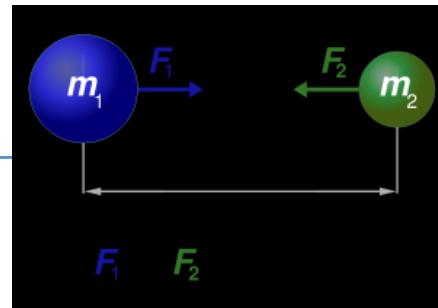
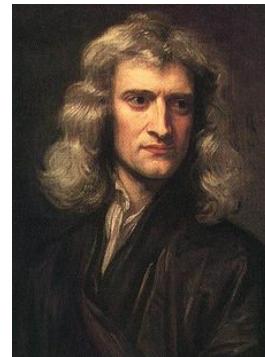
Le forze – Interazione Gravitazionale



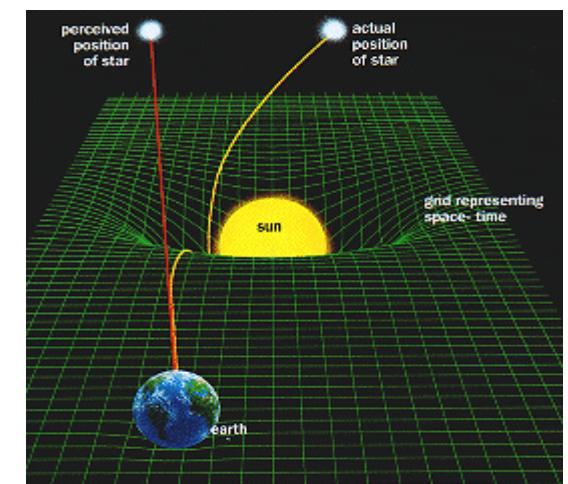
Mantiene i pianeti
attorno al sole



Responsabile della caduta dei gravi

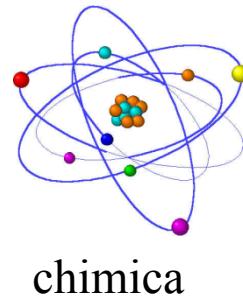


Si deve a Newton
L'intuizione che I due
fenomeni siano regolati dalla
stessa legge
**La legge di Gravitazione
universale**

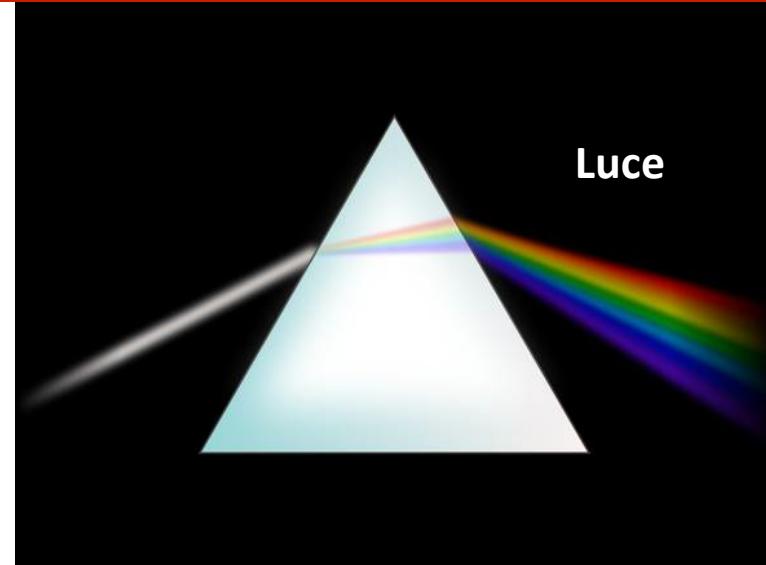


Si deve ad Einstein
aver interpretato la
gravità come curvatura
dello spazio-tempo
**Teoria della Relatività
Generale**

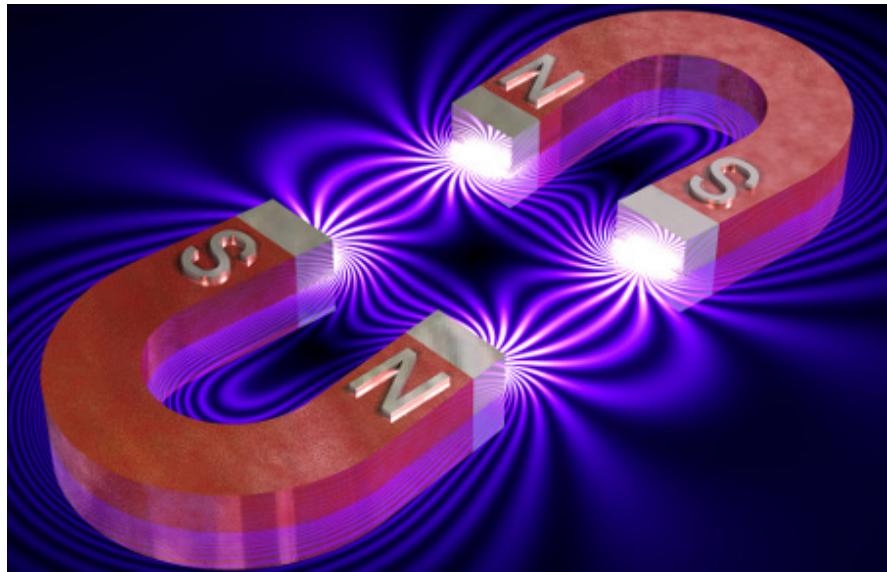
Le forze – Interazione Elettromagnetica



chimica



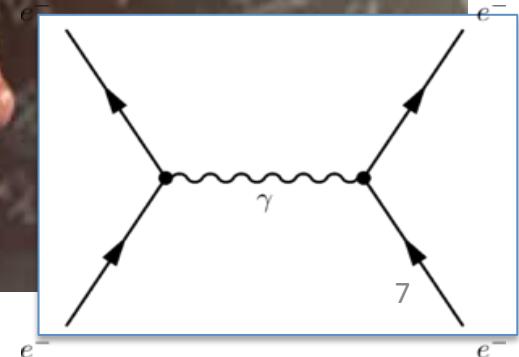
Elettricità



Magnetismo



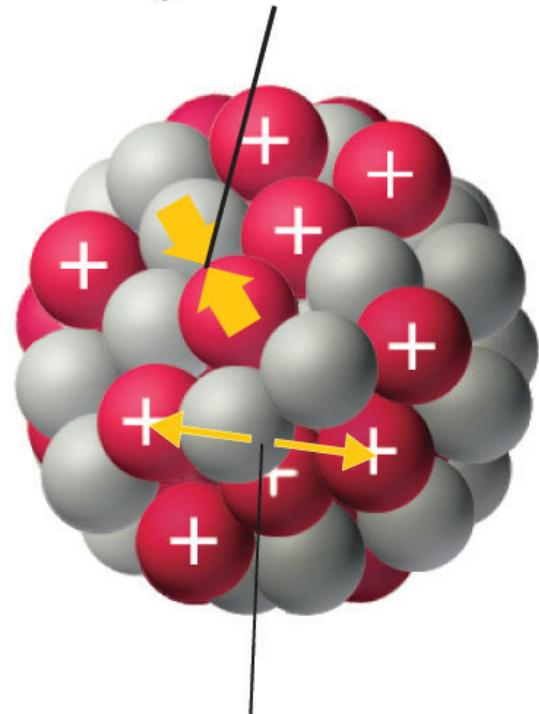
Davide Piccolo - LNF INFN



Le forze – L'interazione Nucleare Forte

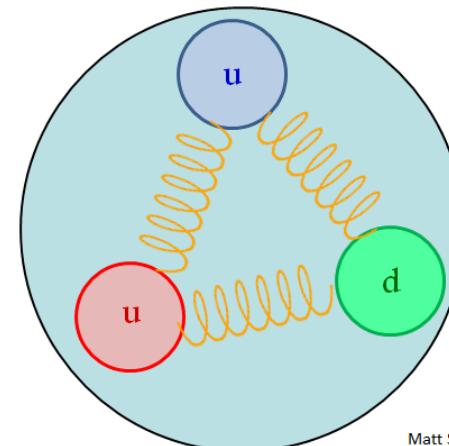
Ma cosa tiene assieme I protoni e I neutroni nel nucleo

Strong nuclear force

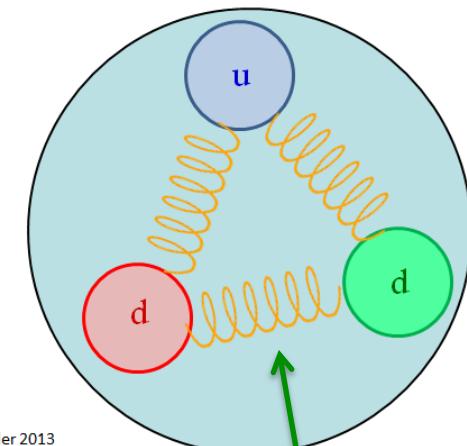


..... e I quark all'interno di neutroni e protoni ?

proton



neutron



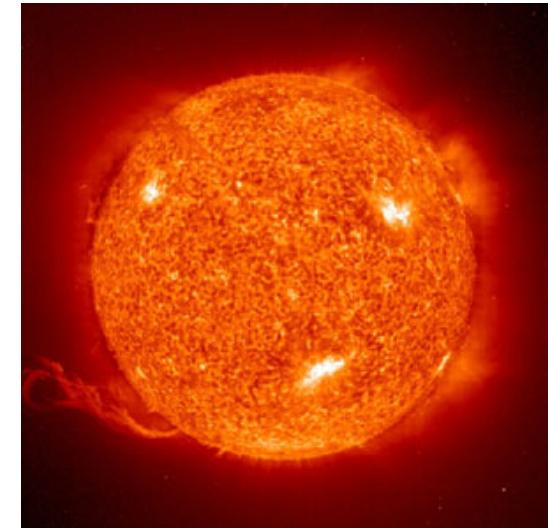
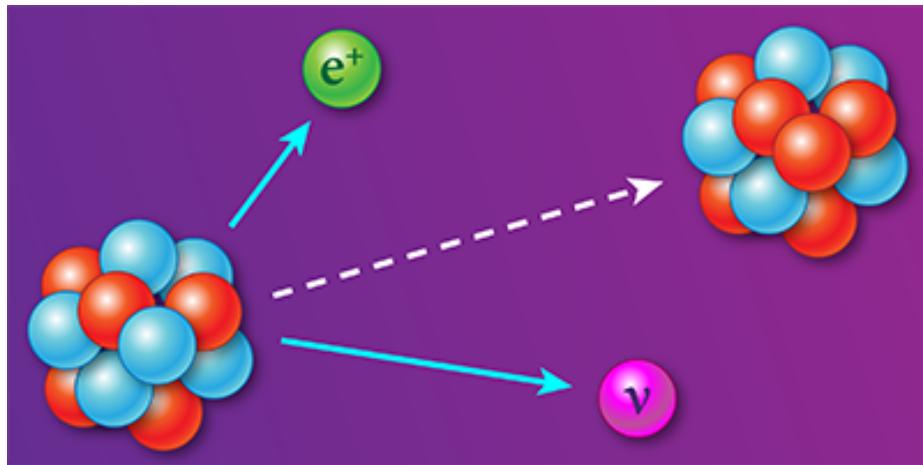
Matt Strassler 2013

Electrostatic repulsion

Nella teoria quantistica dei campi,
l'interazione forte e' mediata dai GLUONI

Le forze – L'interazione debole

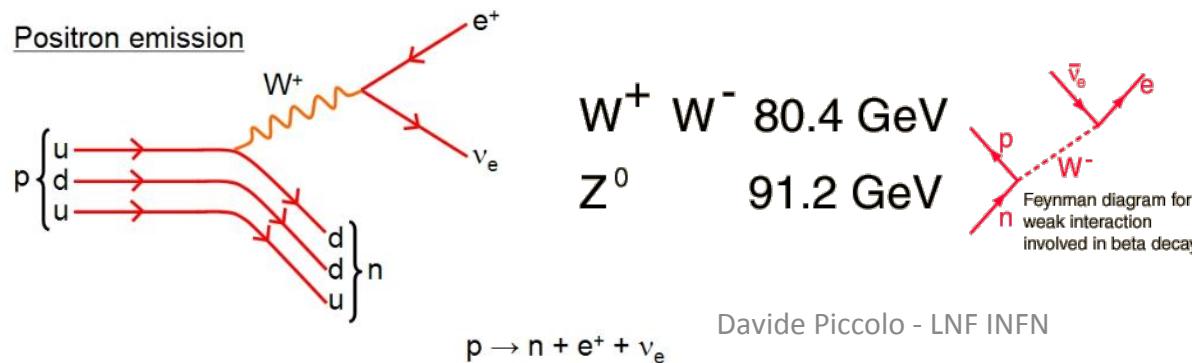
E' l'interazione meno immediata da comprendere,
ma e' fondamentale per il ciclo delle stelle



... ha un ruolo fondamentale nelle reazioni che avvengono nelle stelle

Radioattività: decadimento β del neutrone

Nella teoria quantistica dei campi, l'interazione debole e' mediata dai bosoni W^+W^- e Z^0



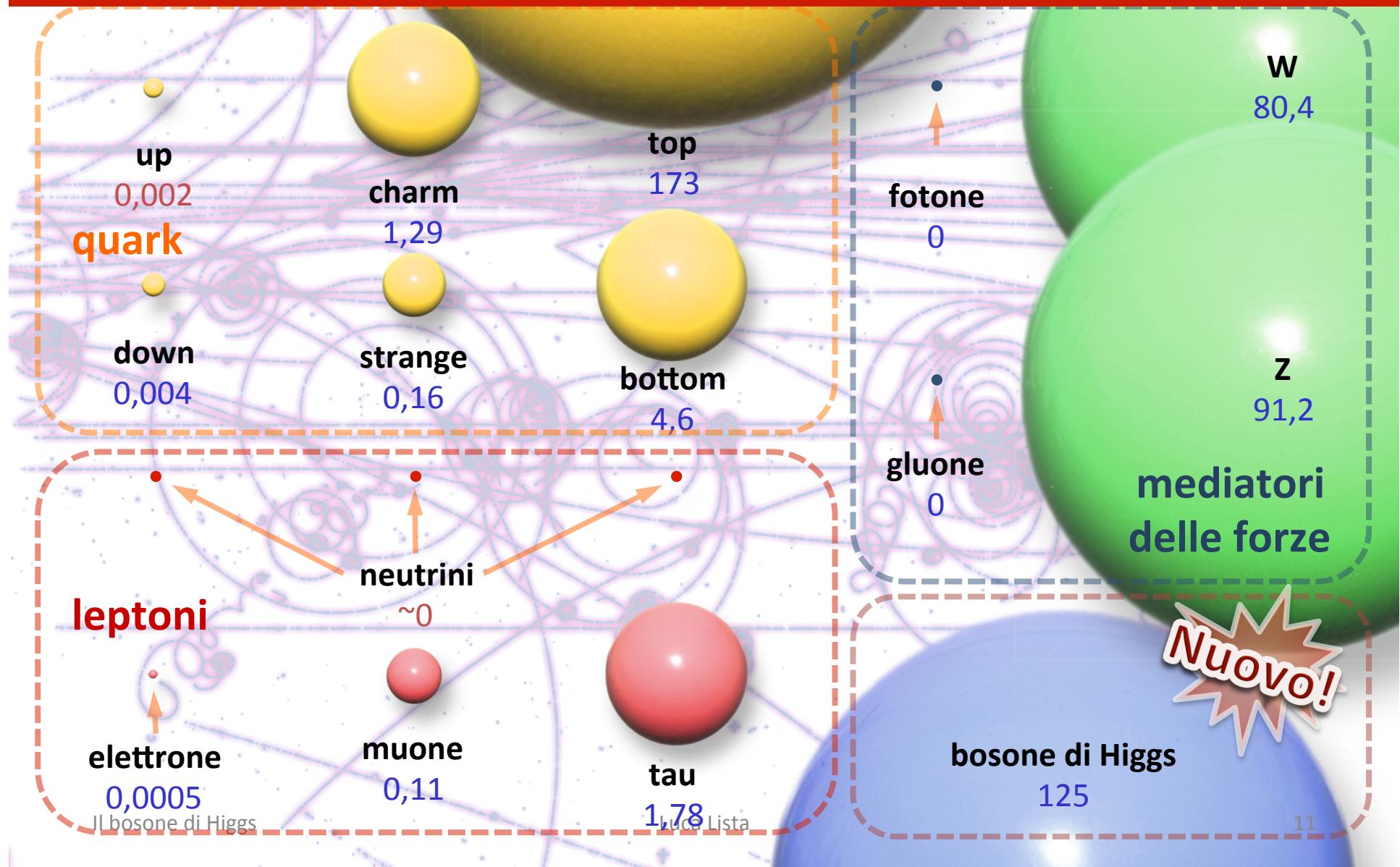
Il Modello Standard

Il Modello Standard fornisce una descrizione completa (o quasi) delle particelle e delle forze

| materia | QUARKS | | | | | | Forze | | |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------|---|--|-------|--|--|
| | u | c | t | g | H | | | | |
| mass → | $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ | | | | | | |
| charge → | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 0 | 0 | | | | |
| spin → | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 | | | | |
| up | charm | top | gluon | Higgs boson | | | | | |
| d | s | b | γ | | | | | | |
| down | strange | bottom | photon | | | | | | |
| LEPTONS | e | μ | τ | Z | | | | | |
| 0.511 MeV/c^2 | 105.7 MeV/c^2 | 1.777 GeV/c^2 | 91.2 GeV/c^2 | | | | | | |
| -1 | -1 | -1 | 0 | | | | | | |
| 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | | | | | | |
| electron | muon | tau | Z boson | | | | | | |
| ν_e | ν_μ | ν_τ | W | | | | | | |
| <2.2 eV/c^2 | <0.17 MeV/c^2 | <15.5 MeV/c^2 | 80.4 GeV/c^2 | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | ± 1 | | | | | | |
| 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | | | | | | |
| electron neutrino | muon neutrino | tau neutrino | W boson | | | | | | |

Materia e forze in un'unica tabella

Le particelle elementari hanno masse molto diverse tra di loro, anche se sono tutte “puntiformi”!



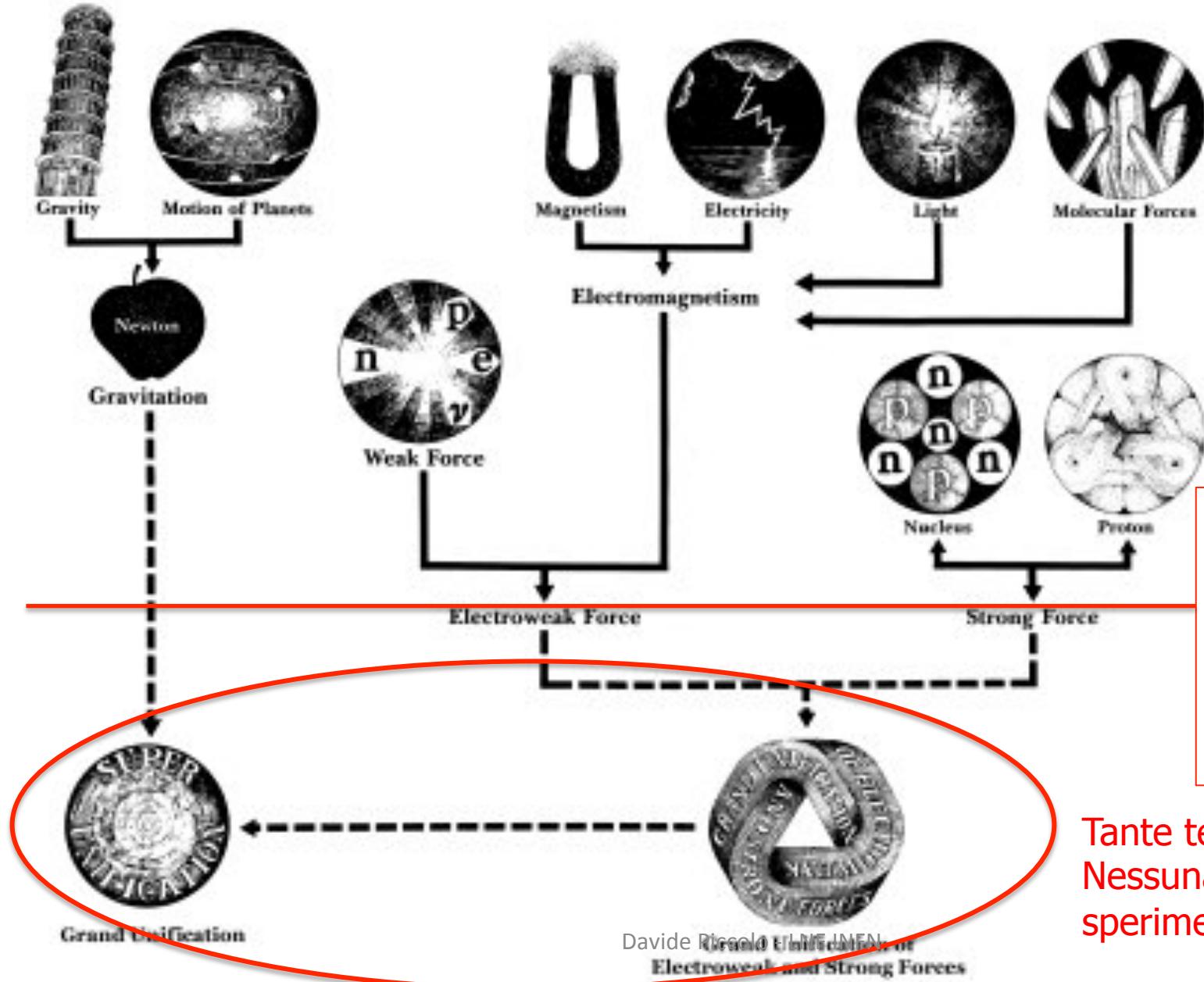
Alcuni misteri della materia

FERMIONI

| | mass → ≈2.3 MeV/c ² | ≈1.275 GeV/c ² | ≈173.07 GeV/c ² |
|----------|---|---|--|
| charge → | 2/3 1/2 | 2/3 1/2 | 2/3 1/2 |
| spin → | up | charm | top |
| QUARKS | ≈4.8 MeV/c ² -1/3 1/2 down | ≈95 MeV/c ² -1/3 1/2 strange | ≈4.18 GeV/c ² -1/3 1/2 bottom |
| LEPTONS | 0.511 MeV/c ² -1 1/2 electron | 105.7 MeV/c ² -1 1/2 muon | 1.777 GeV/c ² -1 1/2 tau |
| | <2.2 eV/c ² 0 1/2 electron neutrino | <0.17 MeV/c ² 0 1/2 muon neutrino | <15.5 MeV/c ² 0 1/2 tau neutrino |

Perche' ci sono 3 famiglie ? Nessuno lo sa !

Alla ricerca dell'unificazione



Il modello Standard e il bosone di Higgs

Le equazioni del Modello Standard

$$\begin{aligned}
L_{SM} = & -\frac{1}{2}\partial_\mu g_\nu^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^d g_\nu^e - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - \\
& M^2 W_\nu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\mu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\nu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\nu^0 - \frac{1}{2}\partial_\mu A_\mu \partial_\mu A_\nu - i g c_w (\partial_\nu Z_\mu^0) (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\mu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\nu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+) - \\
& i g 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_\nu^- - \\
& W_\nu^- \partial_\nu W_\mu^+)) - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^- 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^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\mu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\
& W_\nu^+ W_\mu^-) - 2 A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^- W_\nu^+) - \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial_\mu H - 2 M^2 c_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 + H \phi^0 \phi^0 + 2H \phi^+ \phi^-) \right) + \frac{2M^2}{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) - \\
& g M W_\mu^+ W_\nu^- H - \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\nu^0 H - \\
& \frac{1}{2} i g (W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - 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^+) - i g \frac{1}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + i g s_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - \\
& W_\mu^- \phi^+) - i g \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + i g s_w A_\mu (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\
& \frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- (H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-) - \frac{1}{4} g^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 Z_\nu^0 (H^2 + (H^2 + (\phi^0)^2 + 2(s_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} g^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} g^2 s_w A_\mu \phi^+ \phi^- + \frac{1}{2} i g s_w \lambda_{ij}^0 (q_i^\mu \gamma^\nu q_j^\sigma) g_\nu^\sigma - e^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) \bar{e}^\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 + i g s_w A_\mu ((\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{1}{3} (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3} (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)) + \\
& \frac{i g}{4c_w} Z_\mu^0 \{ (\bar{v}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) - (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{1}{3} s_w^2 - 1 - \gamma^5) d_j^\lambda) + \\
& (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{1}{3} s_w^2 + \gamma^5) u_j^\lambda) + \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ \{ (\bar{v}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) U^{lep} \gamma_\mu e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\lambda) \}) + \\
& \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^- \{ (e^\kappa U^{lep} \gamma_\kappa \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\lambda \mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) \}) + \\
& \frac{i g}{2\sqrt{2}} \phi^+ \{ (-m_e^{\lambda\kappa} (\bar{v}^\lambda U^{lep} \gamma_\kappa (1 - \gamma^5) e^\lambda) + m_e^{\lambda\kappa} (\bar{e}^\lambda U^{lep} \gamma_\kappa (1 + \gamma^5) e^\lambda) + \\
& \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^- \{ (m_e^{\lambda} (\bar{e}^\lambda U^{lep} \gamma_\kappa (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) - m_e^{\lambda} (\bar{e}^\lambda U^{lep} \gamma_\kappa (1 - \gamma^5) \nu^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} H (\bar{\nu}^\lambda \nu^\lambda) - \\
& \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu \nu^\lambda) - \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) - \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \bar{\nu}_\kappa - \\
& \frac{1}{4} \bar{\nu}_\lambda M_{\lambda\kappa}^R (1 - \gamma_5) \bar{\nu}_\kappa + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^+ \{ (-m_d^{\lambda} (\bar{u}_\lambda^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_\kappa^\lambda) + m_u^{\lambda} (\bar{u}_\lambda^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_\kappa^\lambda) + \\
& \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^- \{ (m_d^{\lambda} (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\lambda (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) - m_u^{\lambda} (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\lambda (1 - \gamma^5) u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} H (\bar{u}_\lambda^\lambda u_\lambda^\lambda) - \\
& \frac{g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_\lambda^\lambda) + \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_\lambda^\lambda) - \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda^2}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_\lambda^\lambda) + G^a \partial^\mu C^a + g_s f^{abc} \partial_\mu C^b g_\nu^c + \\
& X^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^- + X^0 (\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + Y \partial^2 Y + i g c_w W_\mu^+ (\partial_\mu X^0 X^- - \\
& \partial_\mu X^+ X^0) + i g s_w W_\mu^+ (\partial_\mu X^- Y - \partial_\mu Y X^+) + i g c_w Z_\mu^0 (\partial_\mu X^+ X^+ - \\
& \partial_\mu X^- X^-) + i g s_w A_\mu (\partial_\mu X^+ X^- - \\
& \frac{1}{2} g M (X^+ X^+ H + X^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} X^0 X^0 H) + \frac{1-2c_w^2}{2c_w} i g M (X^+ X^0 \phi^+ - X^- X^0 \phi^-) + \\
& \frac{1}{2c_w} i g M (X^0 X^- \phi^+ - X^0 X^+ \phi^-) + i g M s_w (X^0 X^- \phi^+ - X^0 X^+ \phi^-) + \\
& \frac{1}{2} i g M (X^+ X^+ \phi^0 - X^- X^- \phi^0) .
\end{aligned}$$

BROKEN SYMMETRY AND THE MASS OF GAUGE VECTOR MESONS*

F. Englert and R. Brout

Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium
(Received 26 June 1964)

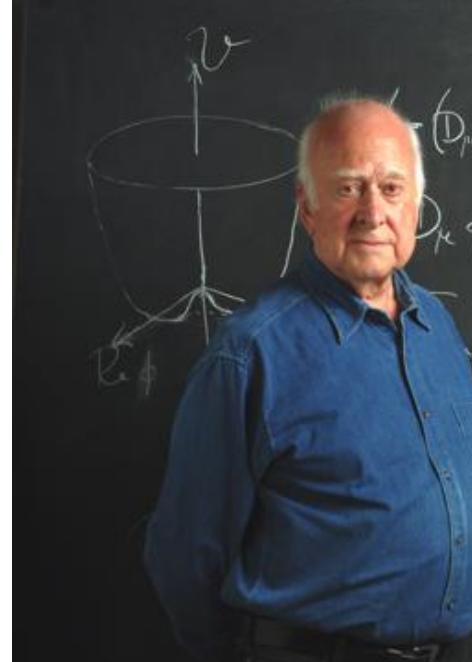
It is of interest to inquire whether gauge vector mesons acquire mass through interaction¹; by a gauge vector meson we mean a Yang-Mills field² associated with the extension of a Lie group from global to local symmetry. The importance of this problem resides in the possibility that strong-interaction physics originates from massive gauge fields related to a system of conserved currents.³ In this note, we shall show that in certain cases vector mesons do indeed acquire mass when the vacuum is degenerate with respect to a compact Lie group.

Theories with degenerate vacuum (broken symmetry) have been the subject of intensive study since their inception by Nambu.⁴⁻⁶ A

those vector mesons which are coupled to currents that "rotate" the original vacuum are the ones which acquire mass [see Eq. (6)].

We shall then examine a particular model based on chirality invariance which may have a more fundamental significance. Here we begin with a chirality-invariant Lagrangian and introduce both vector and pseudovector gauge fields, thereby guaranteeing invariance under both local phase and local γ_5 -phase transformations. In this model the gauge fields themselves may break the γ_5 invariance leading to a mass for the original Fermi field. We shall show in this case that the pseudovector field acquires mass.

In the last paragraph we sketch a simple argument which renders these results reason-



Modello Standard verificato sperimentalmente con una precisione di una parte su 10000 già negli anni 90'

Ma per funzionare ha bisogno del meccanismo di Higgs

BROKEN SYMMETRIES AND THE MASSES OF GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs
Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland
(Received 31 August 1964)

In a recent note¹ it was shown that the Goldstone theorem,² that Lorentz-covariant field theories in which spontaneous breakdown of symmetry under an internal Lie group occurs contain zero-mass particles, fails if and only if the conserved currents associated with the internal group are coupled to gauge fields. The purpose of the present note is to report that, as a consequence of this coupling, the spin-one quanta of some of the gauge fields acquire mass; the longitudinal degrees of freedom of these particles (which would be absent if their mass were zero) go over into the Goldstone bosons when the coupling tends to zero. This phenomenon is just the relativistic analog of the plasmon phenomenon which Anderson³ has drawn attention: that the scalar zero-mass excitations of a superconducting neutral Fermi gas become longitudinal modes of finite mass when the gas is charged.

about the "vacuum" solution $\varphi_1(x) = 0$, $\varphi_2(x) = \varphi_0$:

$$\delta^\mu_{\mu} \{ \delta_{\mu} (\Delta \varphi_1) - e \varphi_0 A_\mu \} = 0, \quad (2a)$$

$$\{ \delta^2 - 4 \varphi_0^2 V''(\varphi_0^2) \} (\Delta \varphi_2) = 0, \quad (2b)$$

$$\delta_\nu F^{\mu\nu} = e \varphi_0 \{ \delta^\mu (\Delta \varphi_1) - e \varphi_0 A_\mu \}. \quad (2c)$$

Equation (2b) describes waves whose quanta have (bare) mass $2\varphi_0 \{ V'(\varphi_0^2) \}^{1/2}$; Eqs. (2a) and (2c) may be transformed, by the introduction of new variables

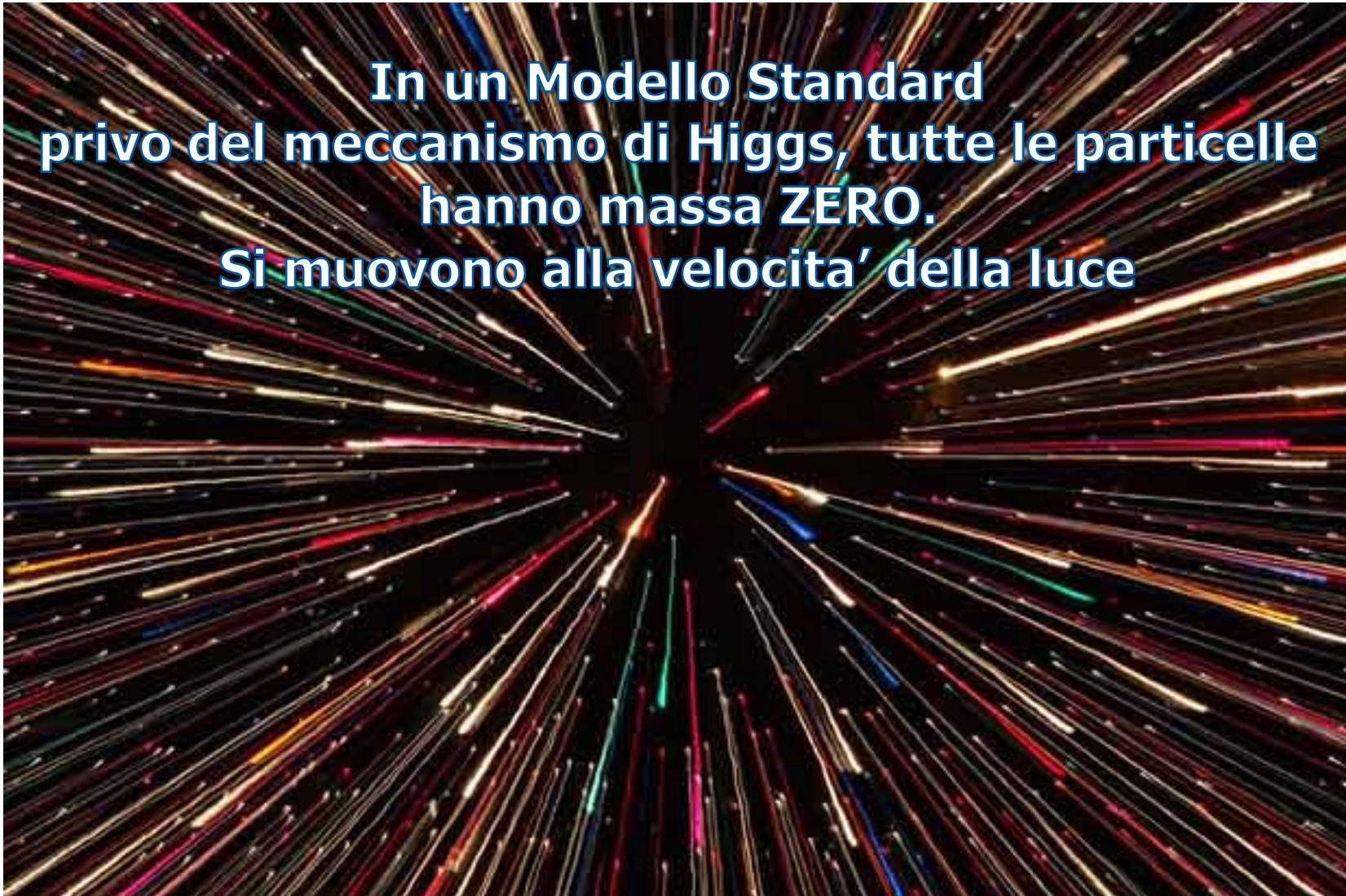
$$B_\mu = A_\mu - (e \varphi_0)^{-1} \delta_\mu (\Delta \varphi_1),$$

$$G_{\mu\nu} = \delta_\mu B_\nu - \delta_\nu B_\mu = F_{\mu\nu}, \quad (3)$$

into the form

$$\delta_\mu R^\mu = 0, \quad \delta_\mu G^{\mu\nu} + \delta_\nu G^{\mu\nu} = 0. \quad (4)$$

Ma cosa e' il meccanismo di Higgs ?



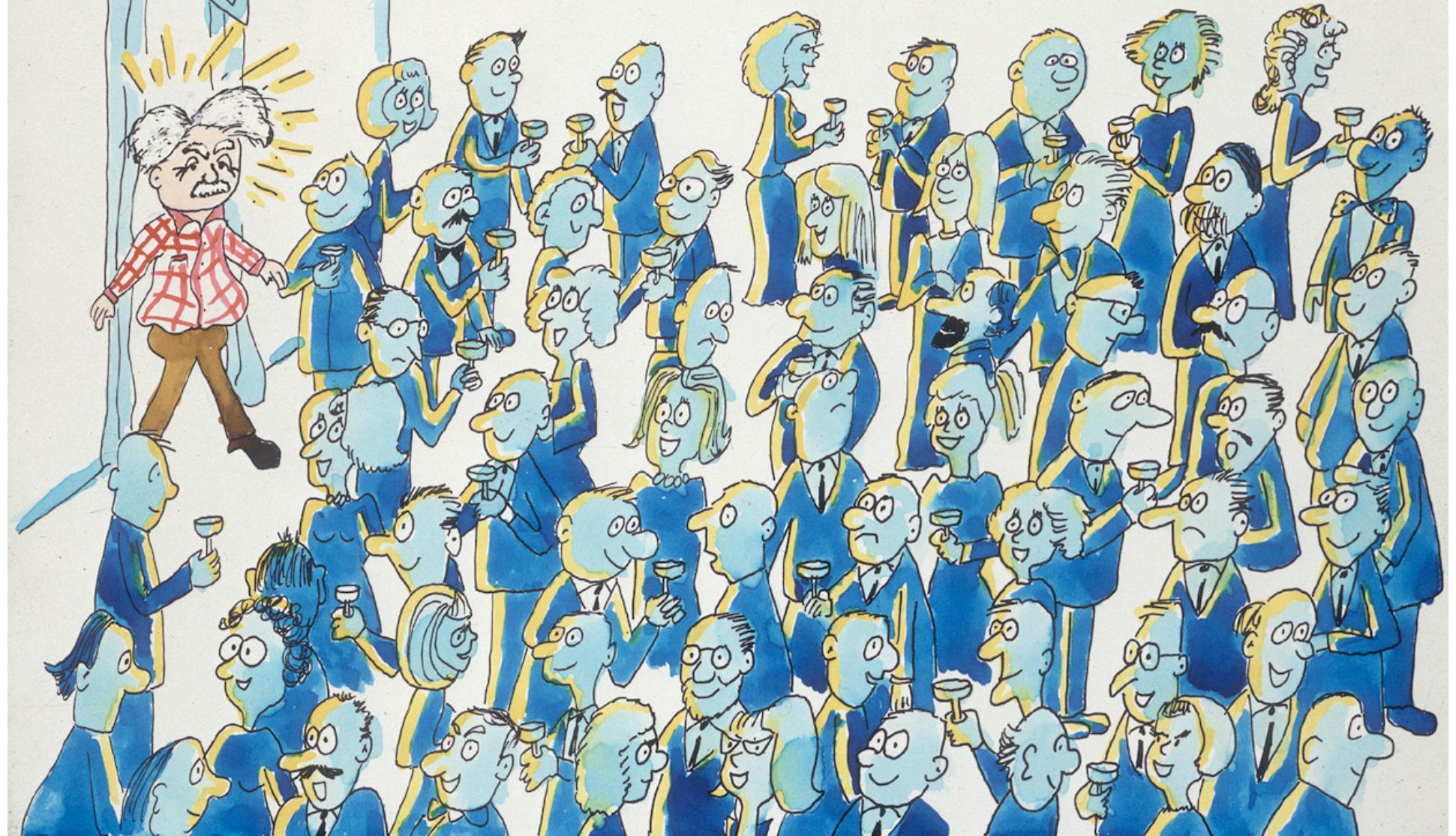
**In un Modello Standard
privo del meccanismo di Higgs, tutte le particelle
hanno massa ZERO.
Si muovono alla velocita' della luce**

Lo spazio e' permeato da un campo (campo di Higgs) che permette di dare massa alle particelle.
Immaginiamo una stanza piena di fisici

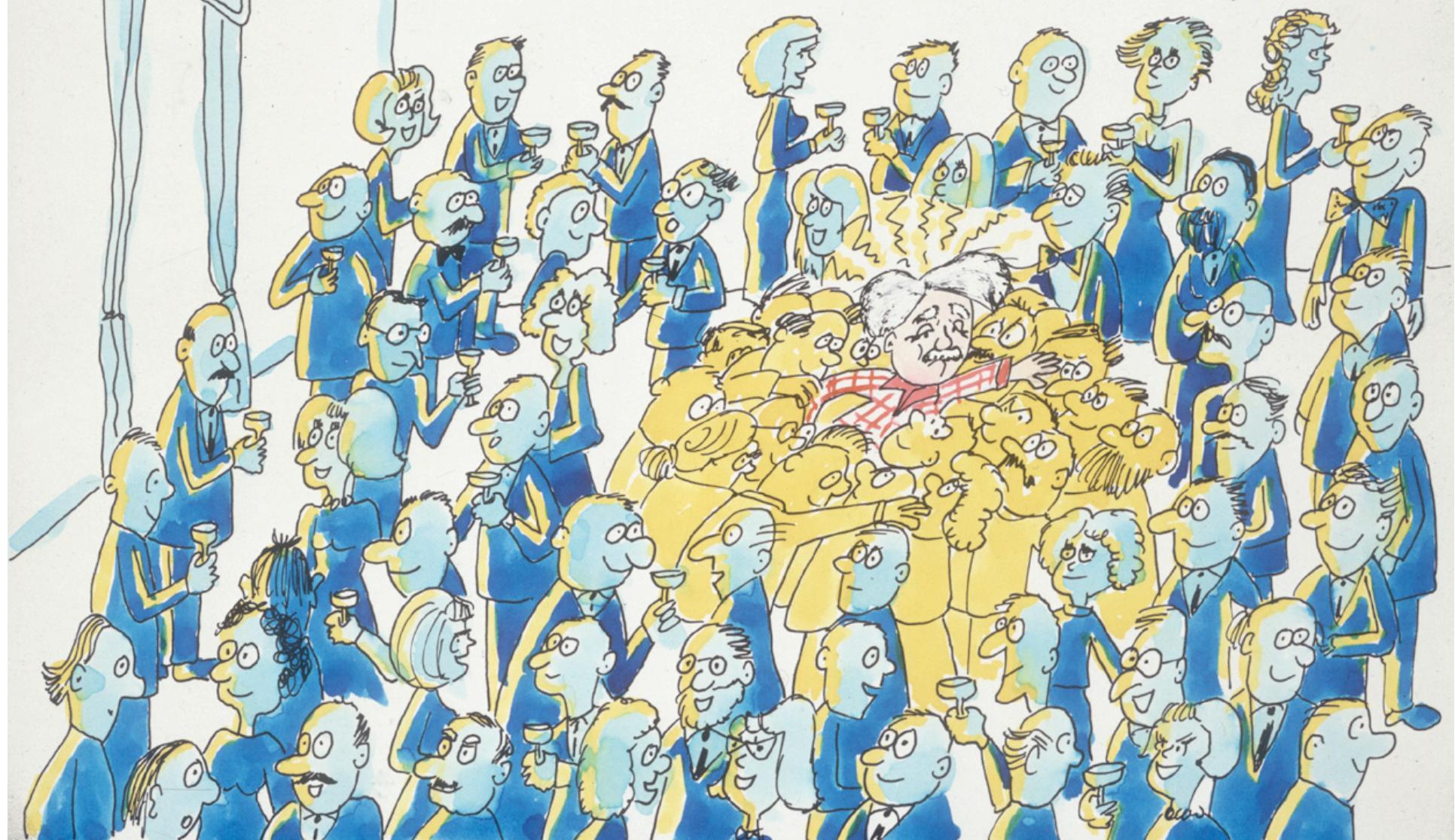


David Miller, UCL
premio 1993 per la miglior
spiegazione del bosone di
Higgs

Uno scienziato famoso attraversa la stanza e suscita l'interesse e l'attenzione dei fisici presenti che si avvicinano.



L'interazione aumenta la resistenza al suo moto, quanto più il personaggio è famoso: acquisisce "massa" come una particella nel campo di Higgs.





Anche un pettigolezzo può attraversare la sala.

... e causa raggruppamenti di fisici: le particelle di Higgs.



Perche' abbiamo costruito LHC ?

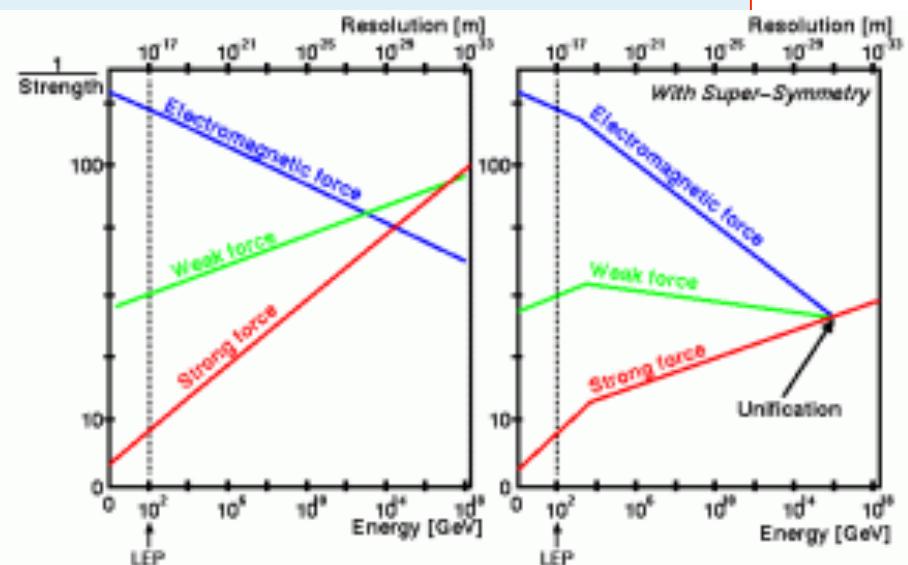
Scoprire il Bosone di Higgs

- Il Modello Standard funziona benissimo, ma se non si fosse trovato il Bosone di Higgs, non poteva essere corretto

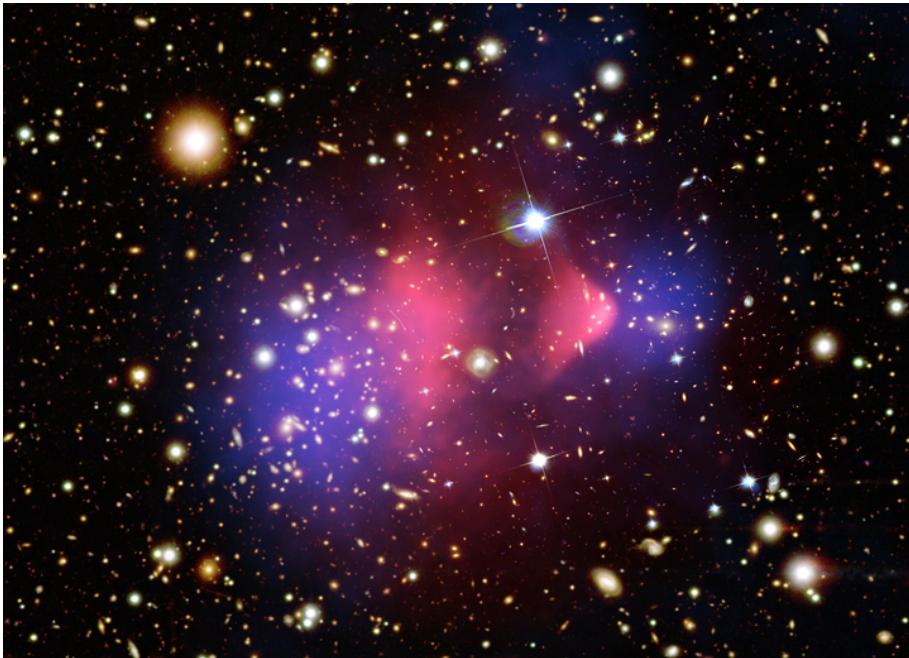
Grande Unificazione e SuperSimmetria

Le interazioni elettromagnetiche, deboli e forti non si unificano esattamente ad alta energia.
La Superimmetria modifica la Teoria in maniera da unificarle Esattamente

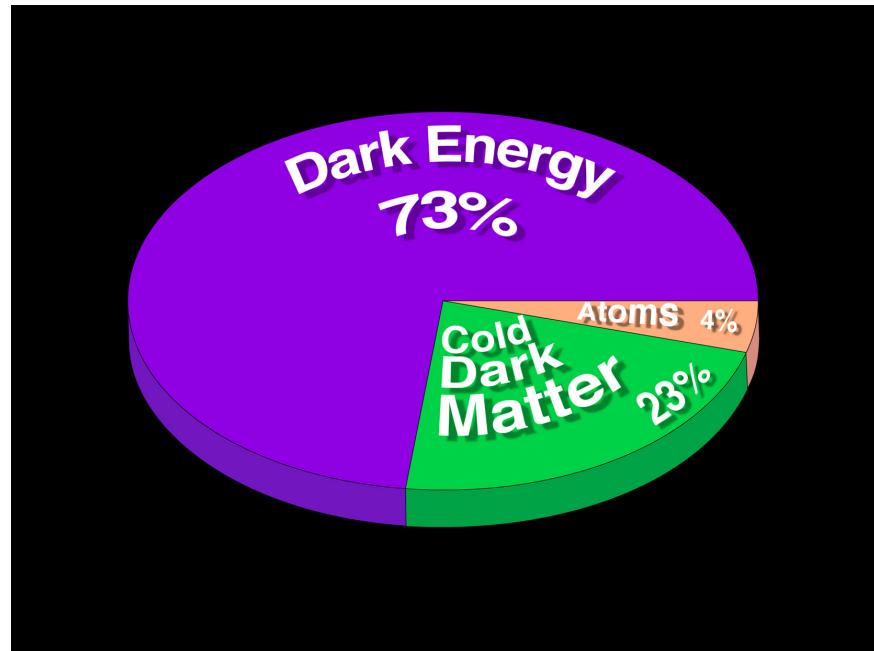
Inoltre da una spiegazione più naturale all'esistenza del Bosone di Higgs



... altri misteri – La materia oscura



Il cluster Bullet (1E 0657-56). Due galassie in collisione. In rosso la concentrazione di materia visibile. In blu la materia oscura dedotta dall'effetto della lente gravitazionale

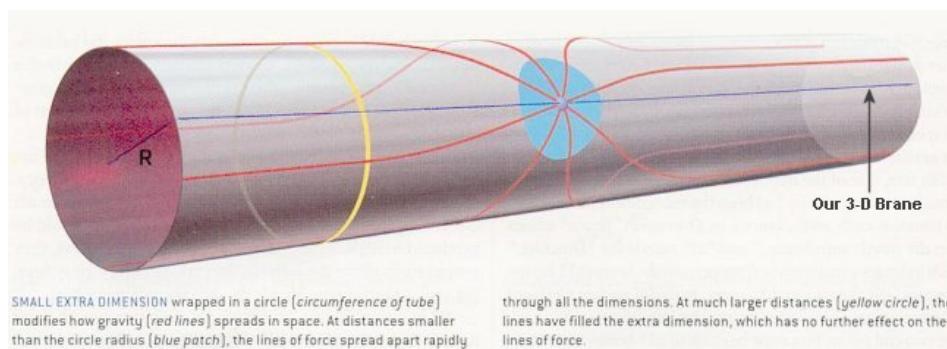
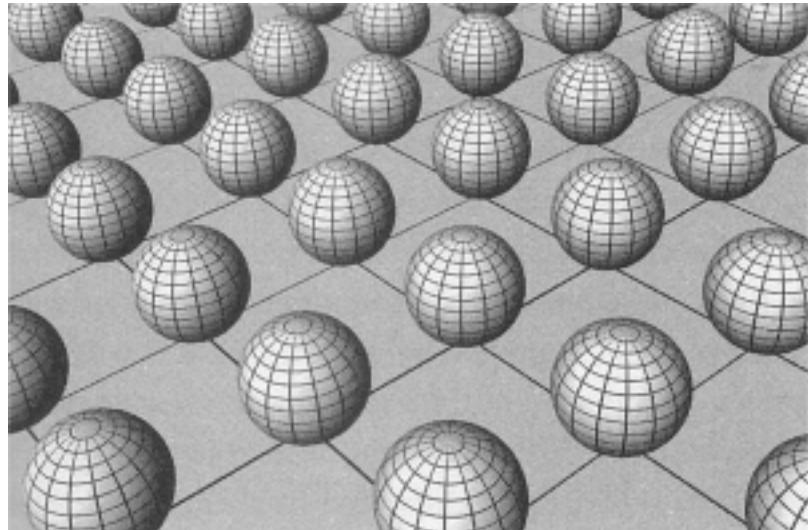


La materia ordinaria e' solo il 4%. Cio' che NON sappiamo e' molto piu' di cio' che sappiamo

Da cosa e' formata la materia oscura ?

Le particelle Supersimmetriche che potrebbero essere scoperte ad LHC rappresentano dei possibili candidati

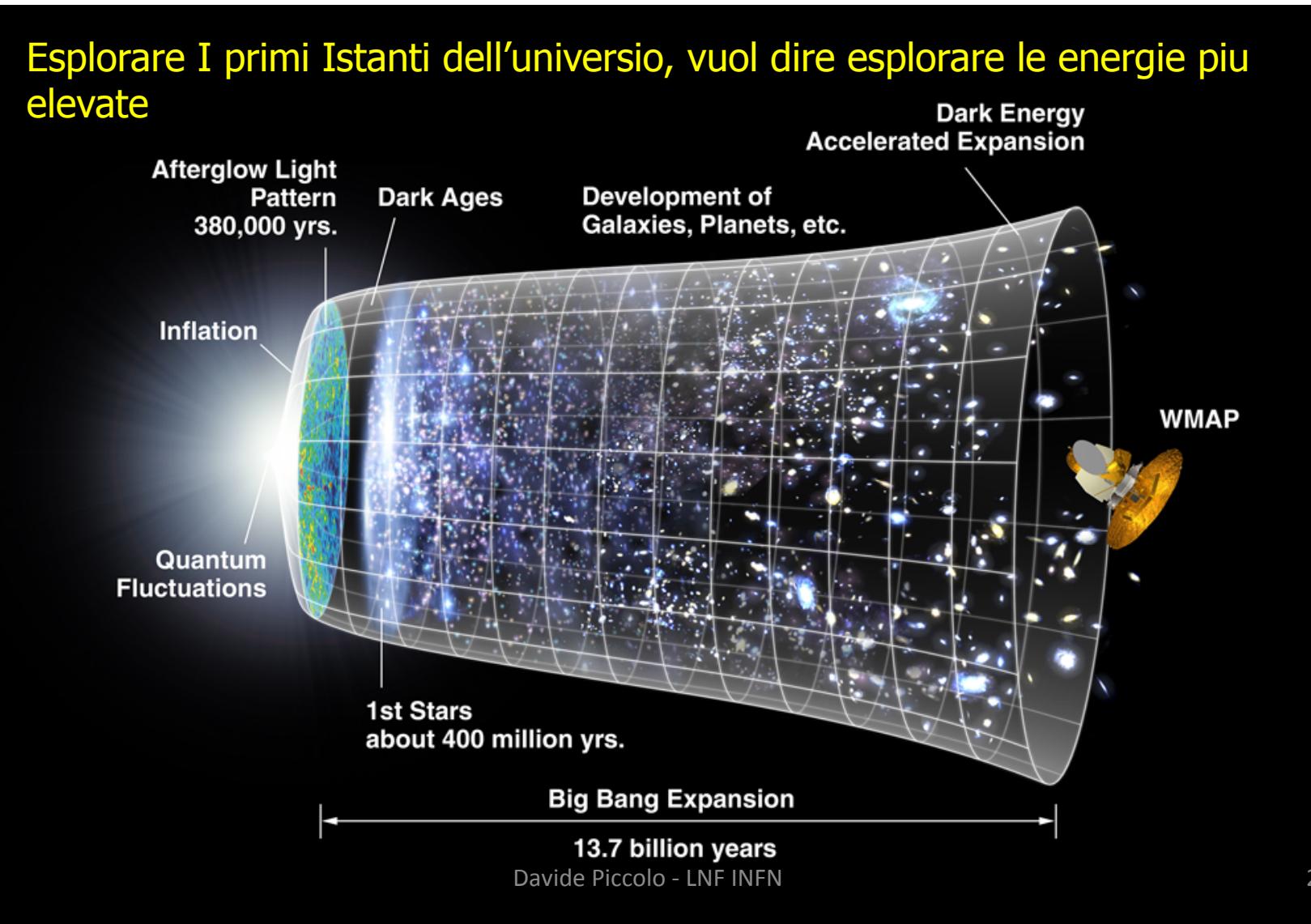
Esistono dimensioni extra ? Ma soprattutto ... qualcosa che non sospettiamo minimamente ?



**La cosa piu eccitante
sarebbe scoprire qualcosa
di completamente inatteso**

Obiettivo di LHC

Riprodurre le condizioni dell'universo $\sim 10^{-6}$ secondi dopo il big-bang per studiare fenomeni fisici mai osservati.



Gli strumenti per esplorare Il microcosmo



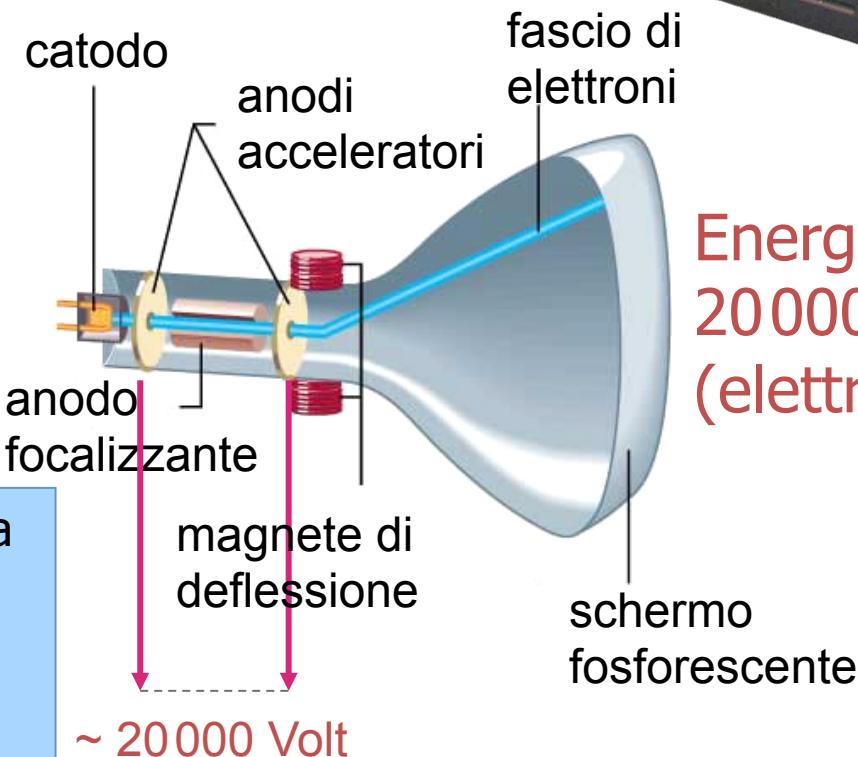
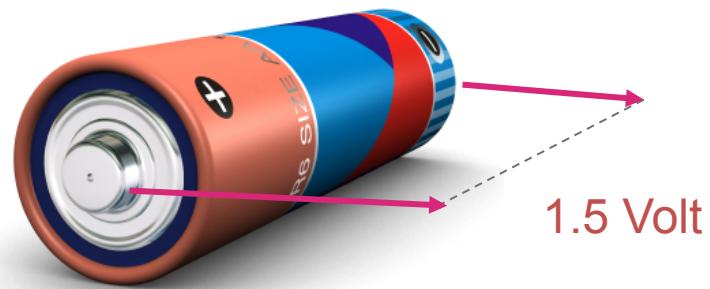
CERN – European Centre for Nuclear Research

Laboratorio mondiale situato al confine tra Svizzera e Francia



Gli acceleratori

- Anche un vecchio televisore col tubo catodico è un acceleratore di elettroni!



1 eV = Energia cinetica acquistata da un elettrone accelerato in un campo elettrostatico di potenziale 1 Volt

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

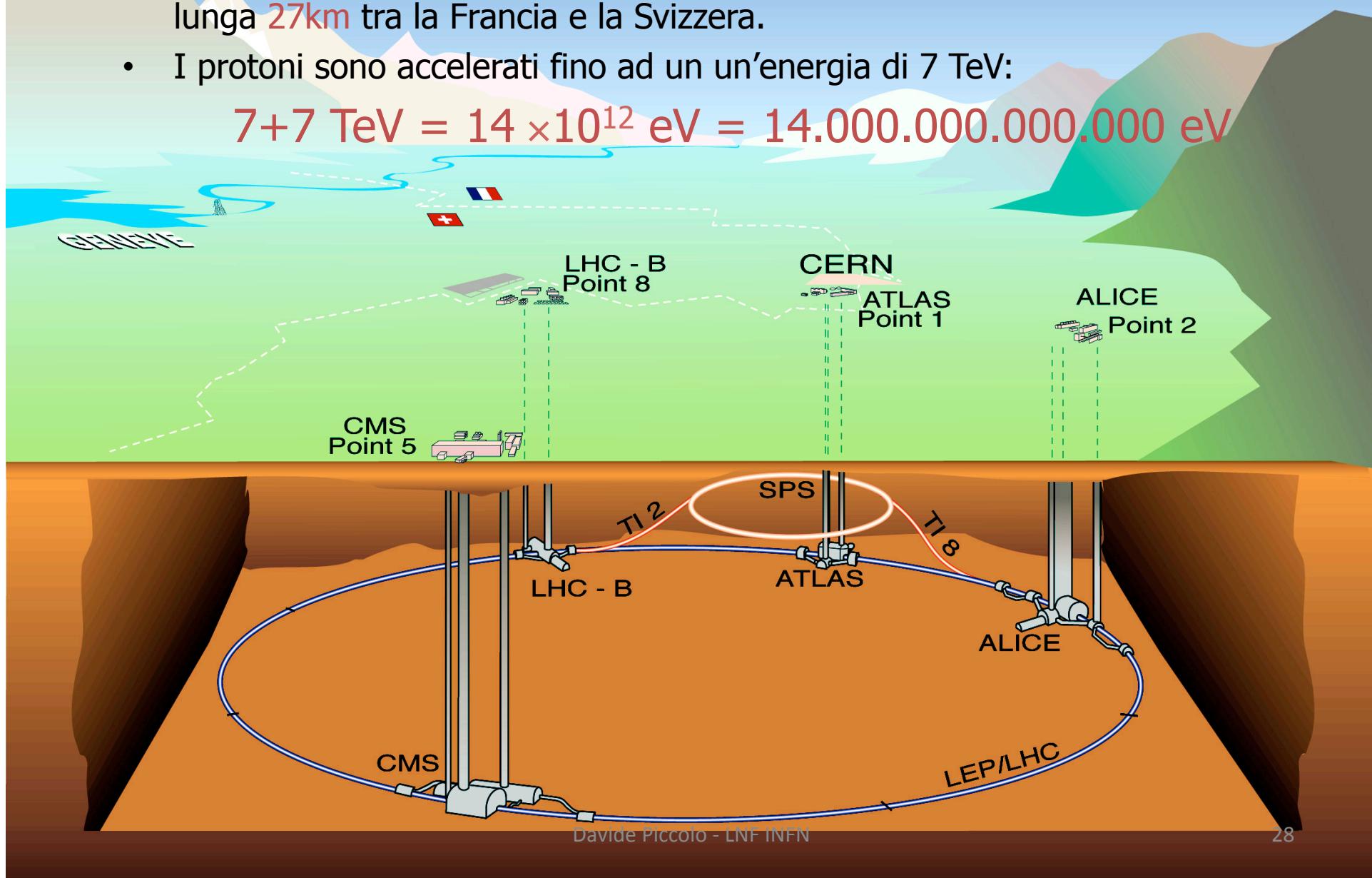
Energia \approx
20000 eV
(elettron \times Volt)



Il Large Hadron Collider

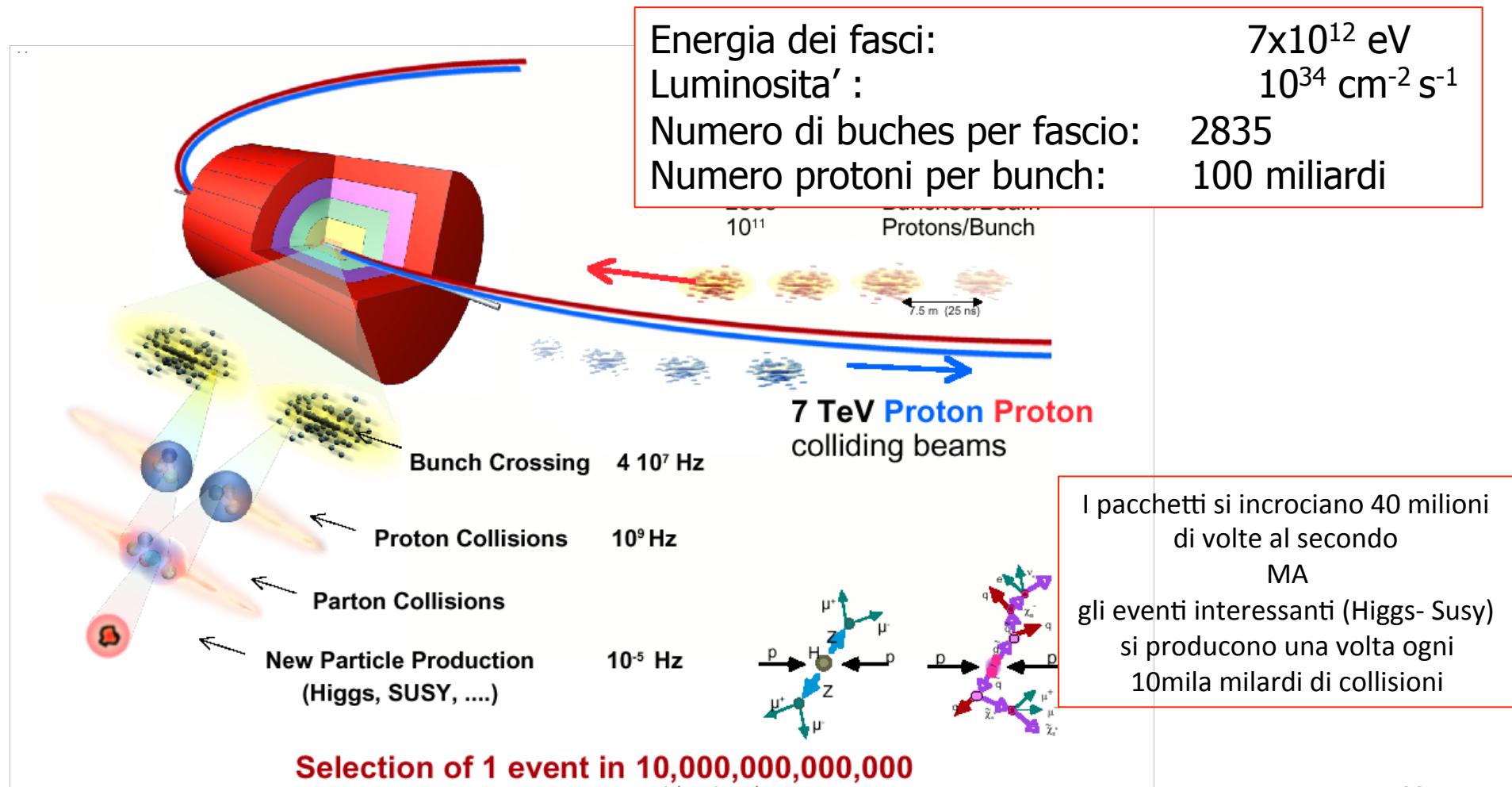
- LHC è un acceleratore di protoni costruito in una galleria sotterranea lunga 27km tra la Francia e la Svizzera.
- I protoni sono accelerati fino ad un'energia di 7 TeV:

$$7+7 \text{ TeV} = 14 \times 10^{12} \text{ eV} = 14.000.000.000.000 \text{ eV}$$



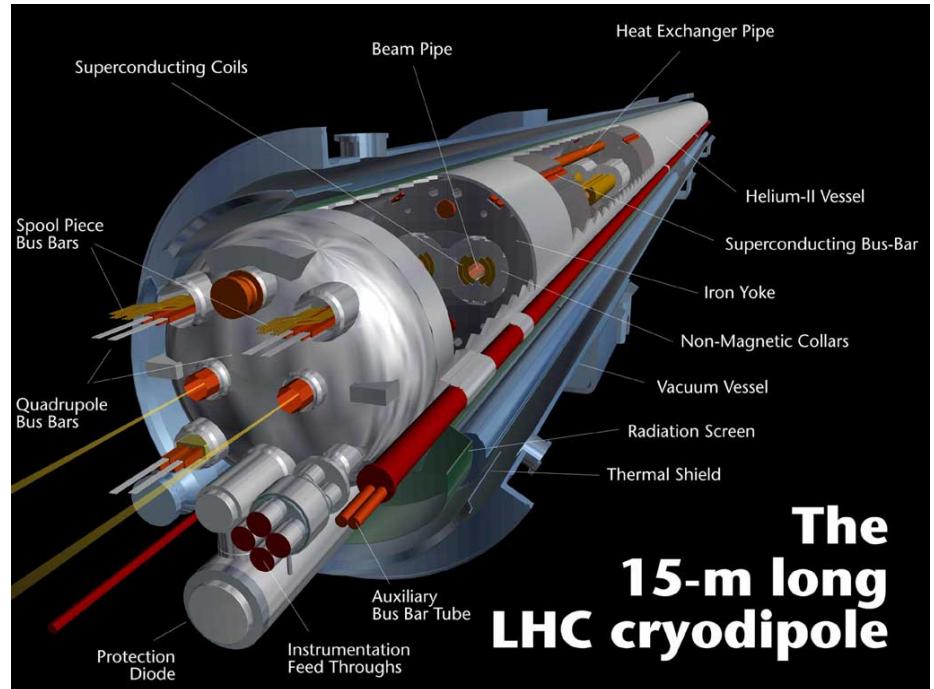
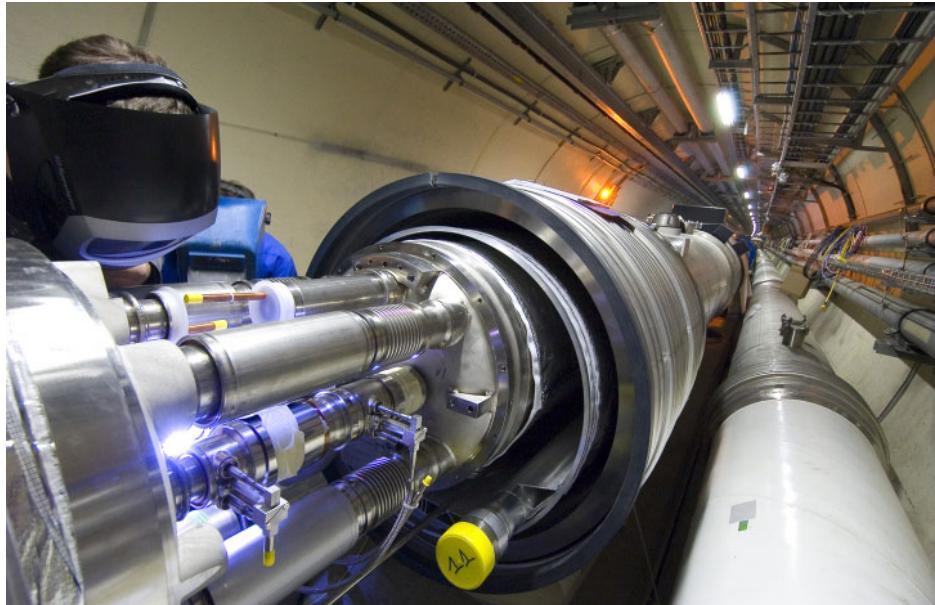
LHC in numeri

LHC fa collidere protoni che vengono accelerati nel tunnel di 27 km ad una velocità pari al 99.999999% di quella della luce



LHC estremo - 1

LHC e' il luogo piu vuoto dell'universo



Per evitare che nel loro viaggio i protoni colpiscono molecole di aria ,
all'interno dell'acceleratore viene prodotto un vuoto piu spinto di
quello presente nello spazio interstellare

LHC estremo - 2

LHC e' il luogo piu freddo dell'universo

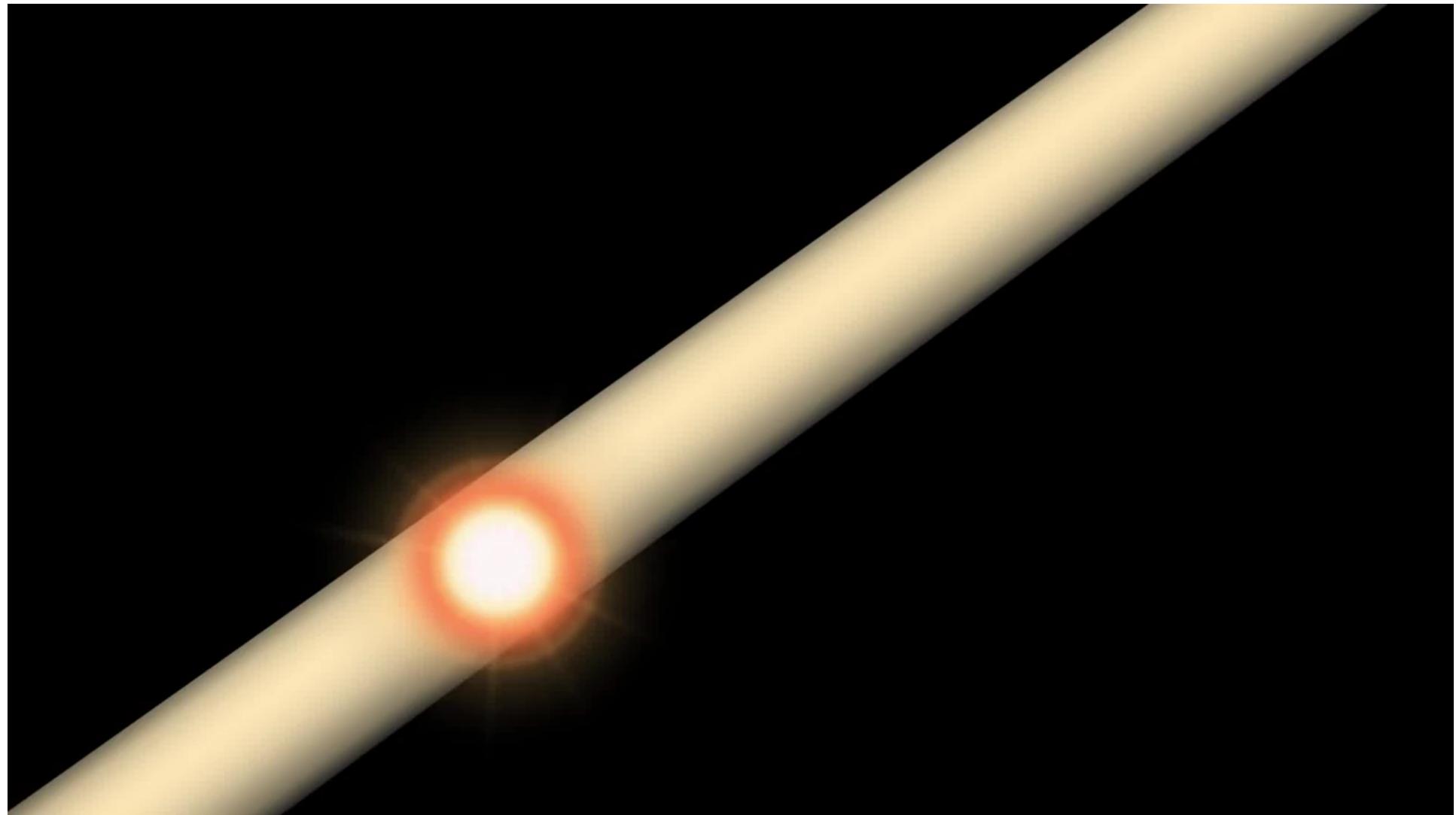


Per permettere di mantenere i fasci di protoni in circolo, vengono usati 1600 magneti superconduttori che producono campi magnetici 80000 volte piu intensi di quello terrestre.

Essi devono essere raffreddati da elio liquido superfluido mantenuto a -271.3 C (1.9 K)

Questa e' una temperatura leggermente piu bassa di quella che si misura nello spazio interstellare

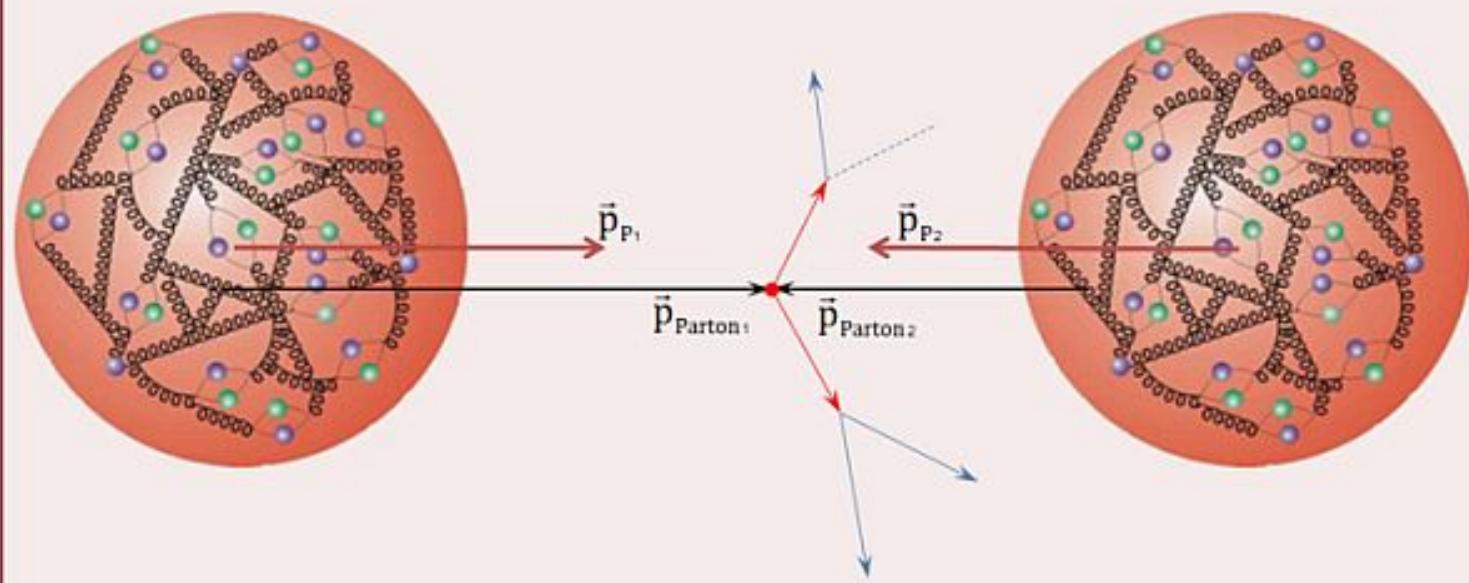
Il viaggio dei protoni dentro LHC



Collassione tra protoni

Il protone e' un oggetto molto più complicato di una semplice pallina.

Sono i suoi costituenti base ossia quark e gluoni (chiamati genericamente partoni) che collidono



\vec{p}_{P_1} ... momentum proton 1

\vec{p}_{P_2} ... momentum proton 2

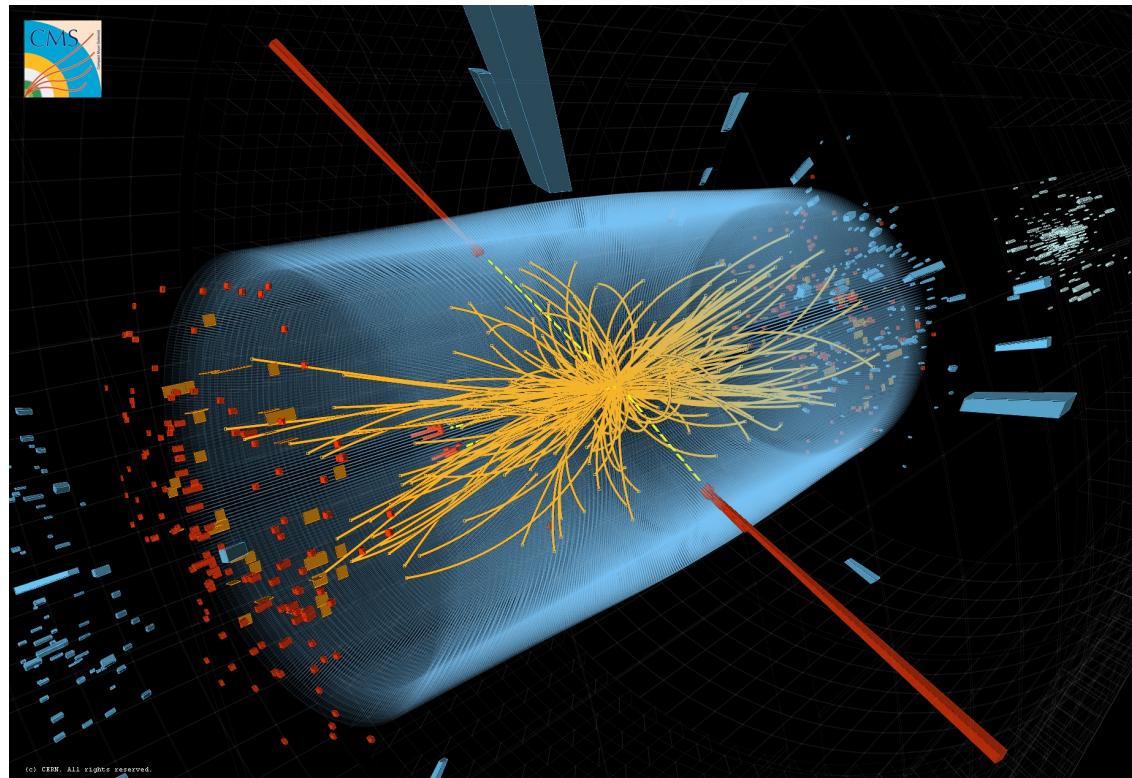
• interaction vertex

$\vec{p}_{\text{Parton}_1}$... momentum parton 1

$\vec{p}_{\text{Parton}_2}$... momentum parton 2

$$E = mc^2 \text{ ma anche } m = E/c^2$$

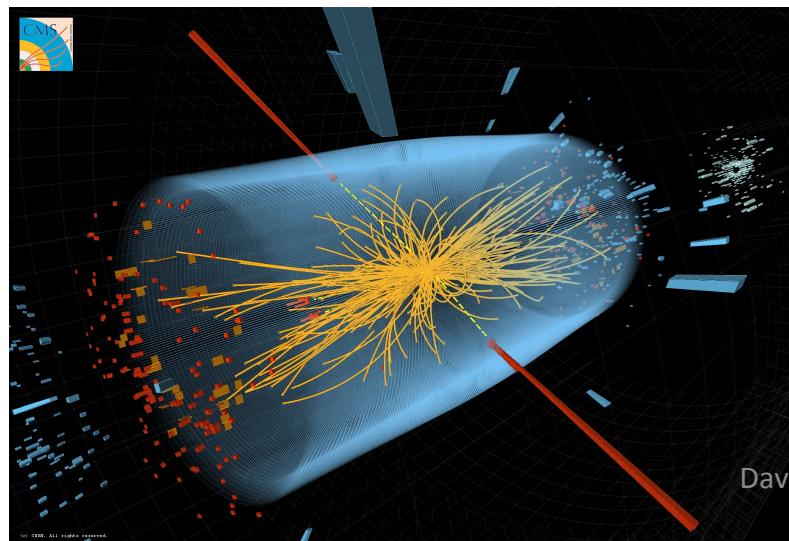
L'energia della collisione si puo' trasformare in massa. Particelle di massa molto elevate
Possono essere prodotte (Higgs, susy)



Le nuove particelle generate non vivono abbastanza per essere identificate,
ma decadono in altre particelle stabili che possiamo rivelare e fotografare

La nostra macchina fotografica: I rivelatori

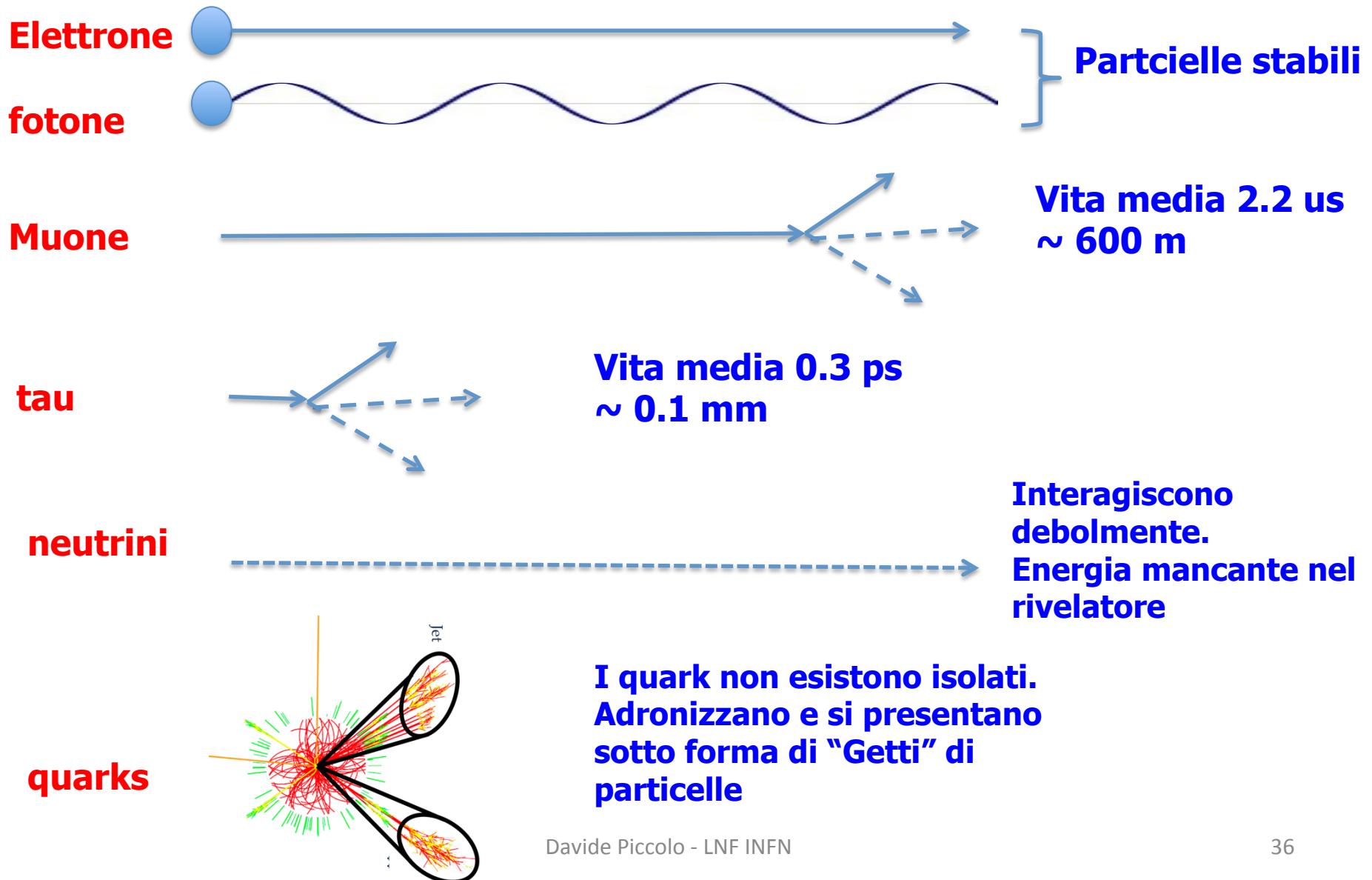
**Abbiamo bisogno
Di una potente macchina
fotografica**



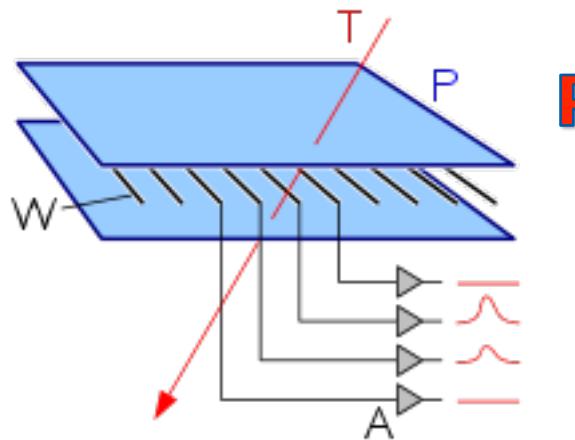
rivelatori di particelle

Davide Piccolo - LNF INFN

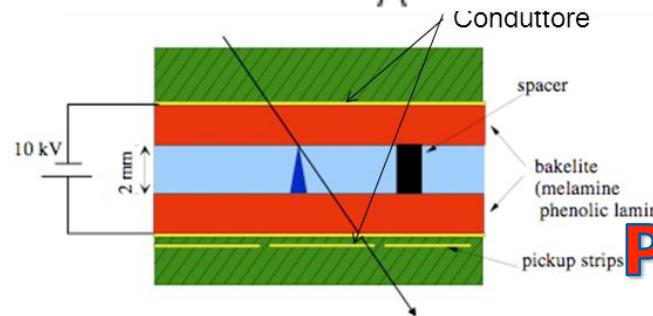
Quali particelle posso rivelare ?



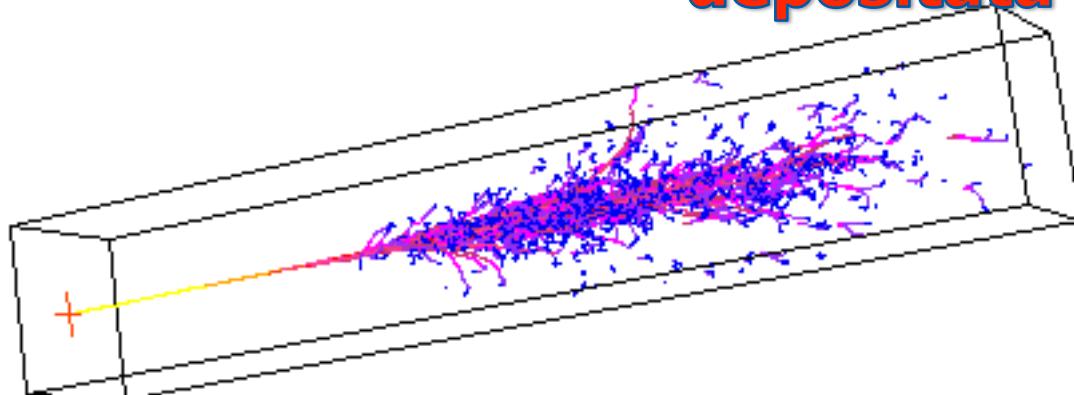
Cosa sono i rivelatori di particelle ?



**Possono misurare la posizione
di passaggio della particella**



**Possono misurare l'energia
depositata dalla particella**



Misurare la quantita' di moto

$$\vec{F} = q * (\vec{v} \times \vec{B})$$

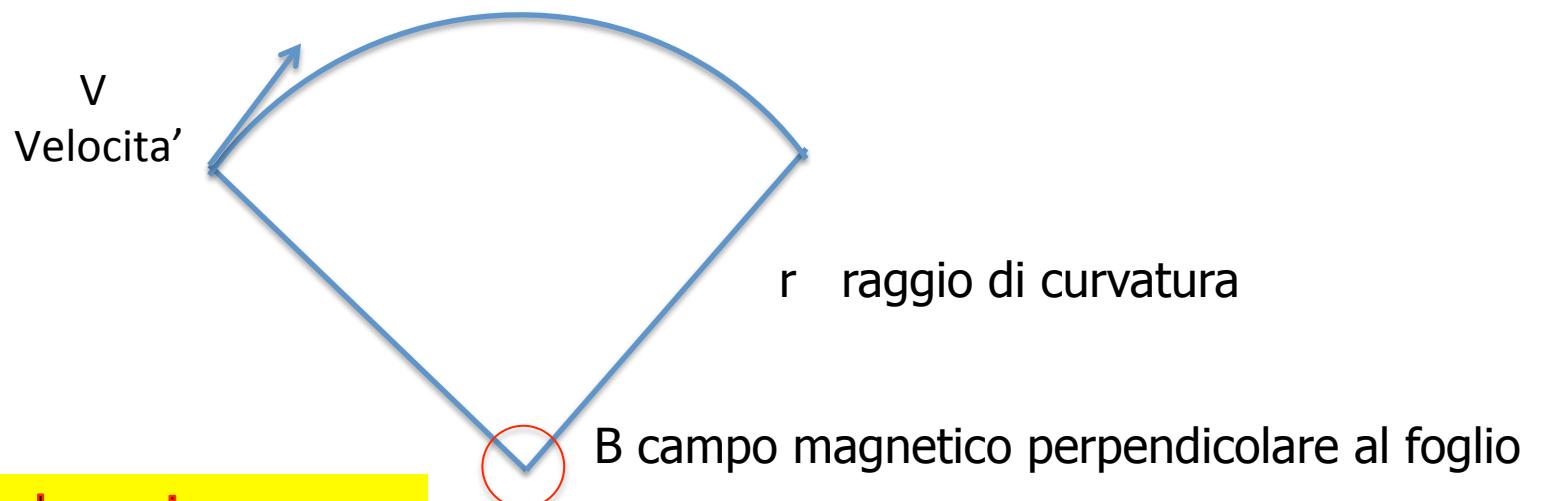
Nel piano perpendicolare al campo magnetico una particella carica percorre una traiettoria circolare

$$F = m v^2/r$$

Forza centripeta

$$P_T = mv = q r B$$

$$r = P_T / qB$$

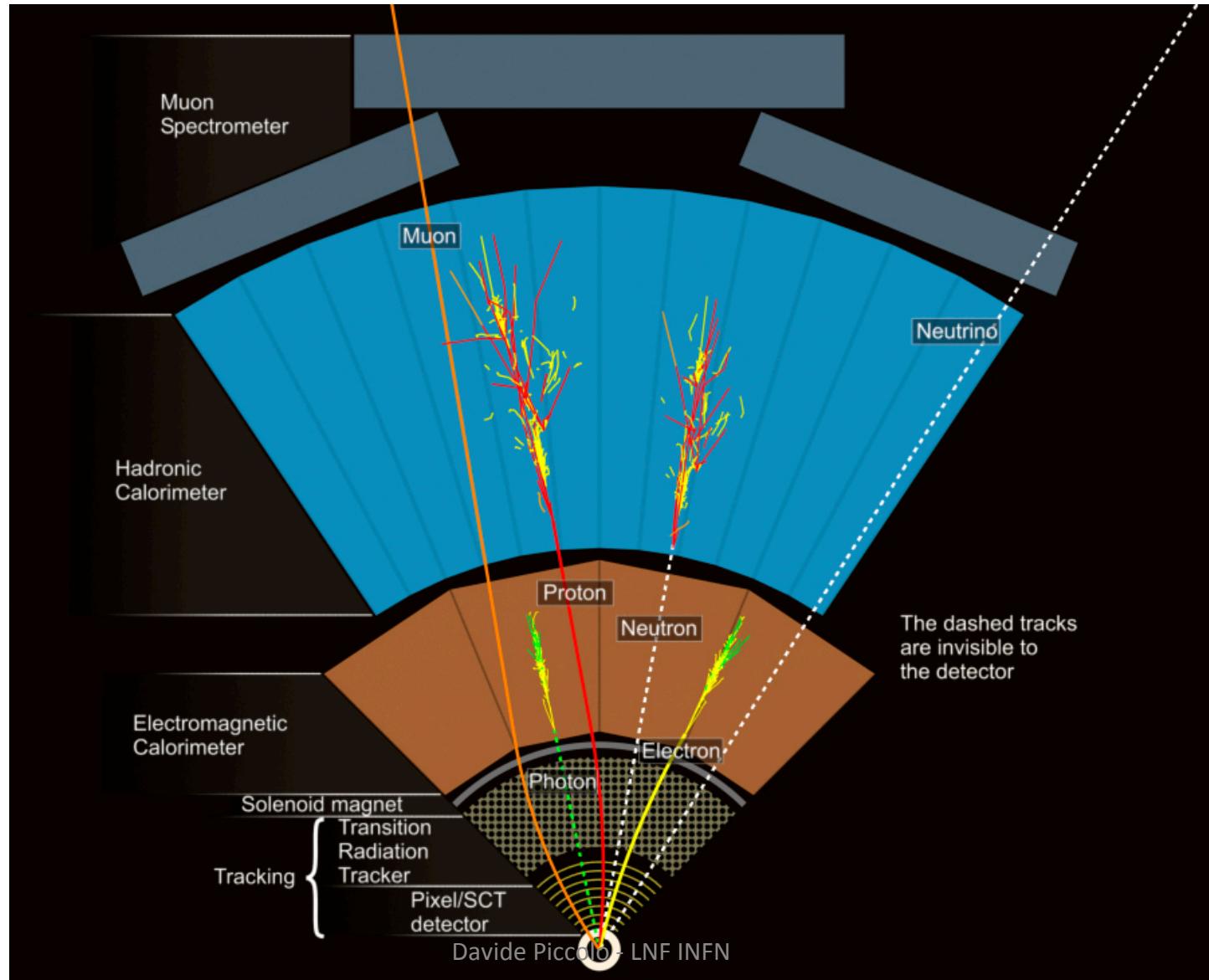


Se la partciella ha carica positiva si muove in senso orario altrimenti in senso antiorario

Maggiore e' la quantita di moto della particella
Maggiore il raggio di curvatura

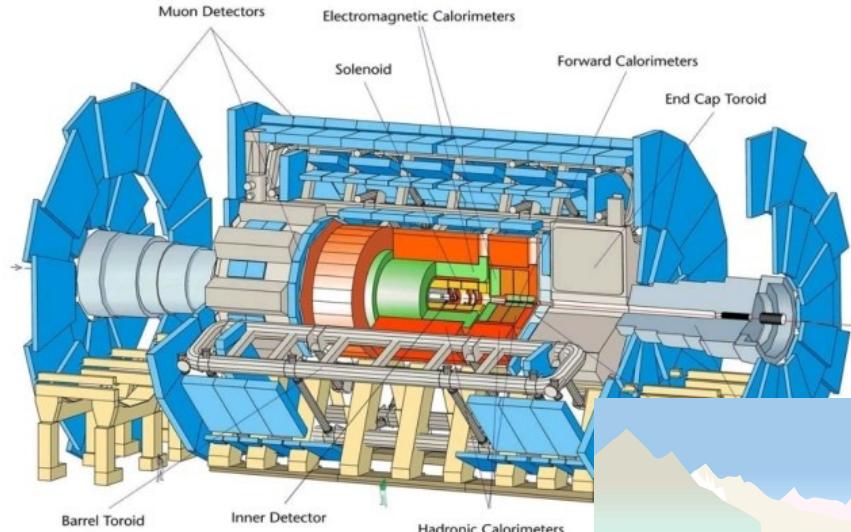
Organizzare i rivelatori

CMS come esempio generale

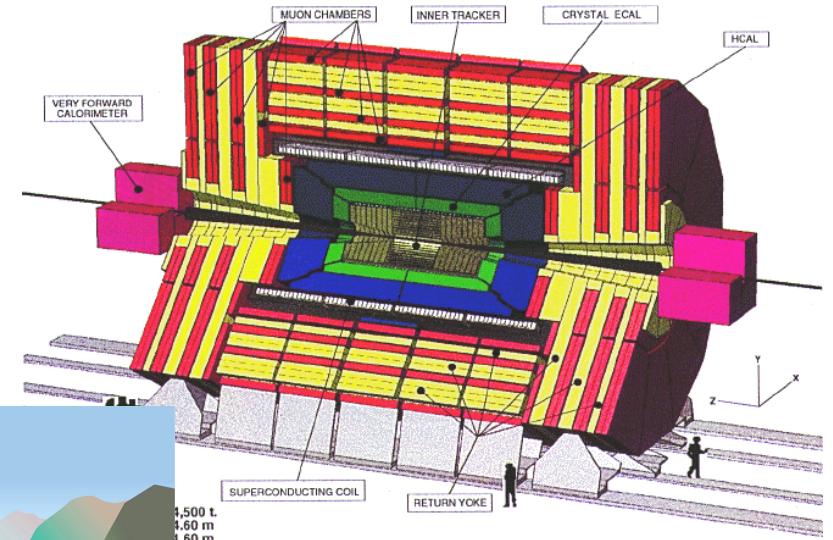


[https://www.i2u2.org/elab/cms/graphics/
CMS_Slice_elab.swf](https://www.i2u2.org/elab/cms/graphics/CMS_Slice_elab.swf)

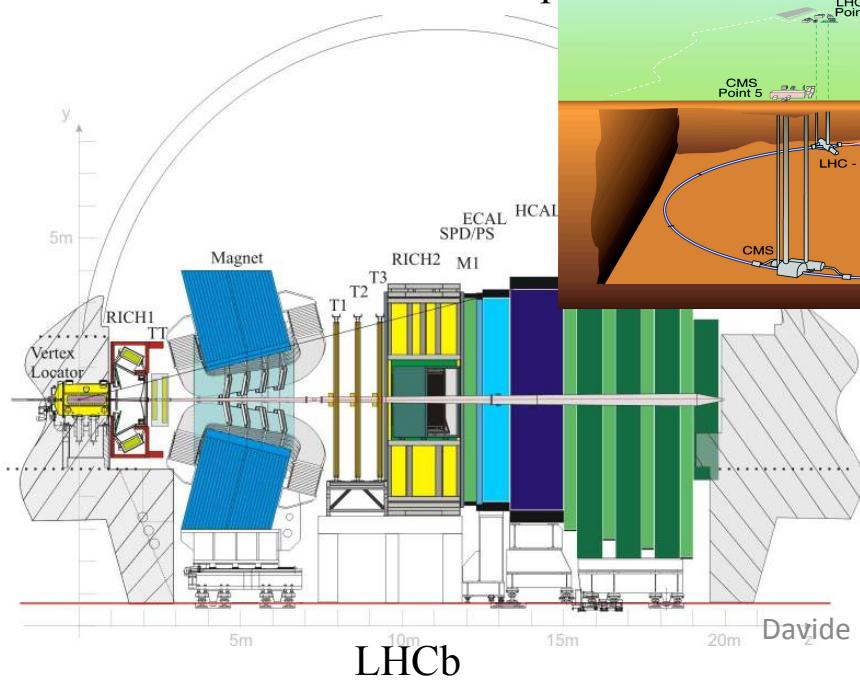
ATLAS, CMS, ALICE ed LHCb



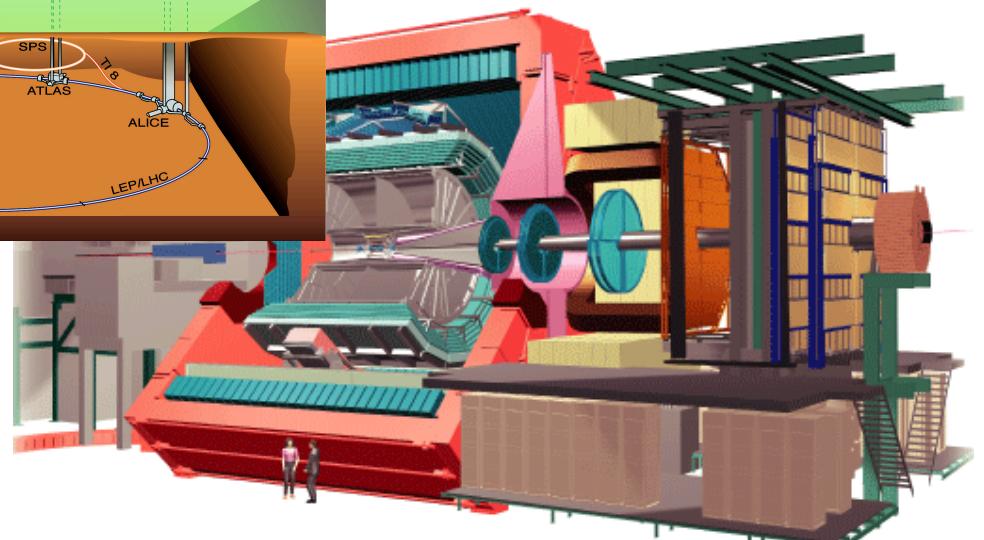
ATLAS – A Toroidal LHC Ap



– Compact Muon Solenoid



Davide Piccolo - LNF INFN



ALICE – A Large Ion Collider Experiment

CMS una macchina fotografica molto complessa

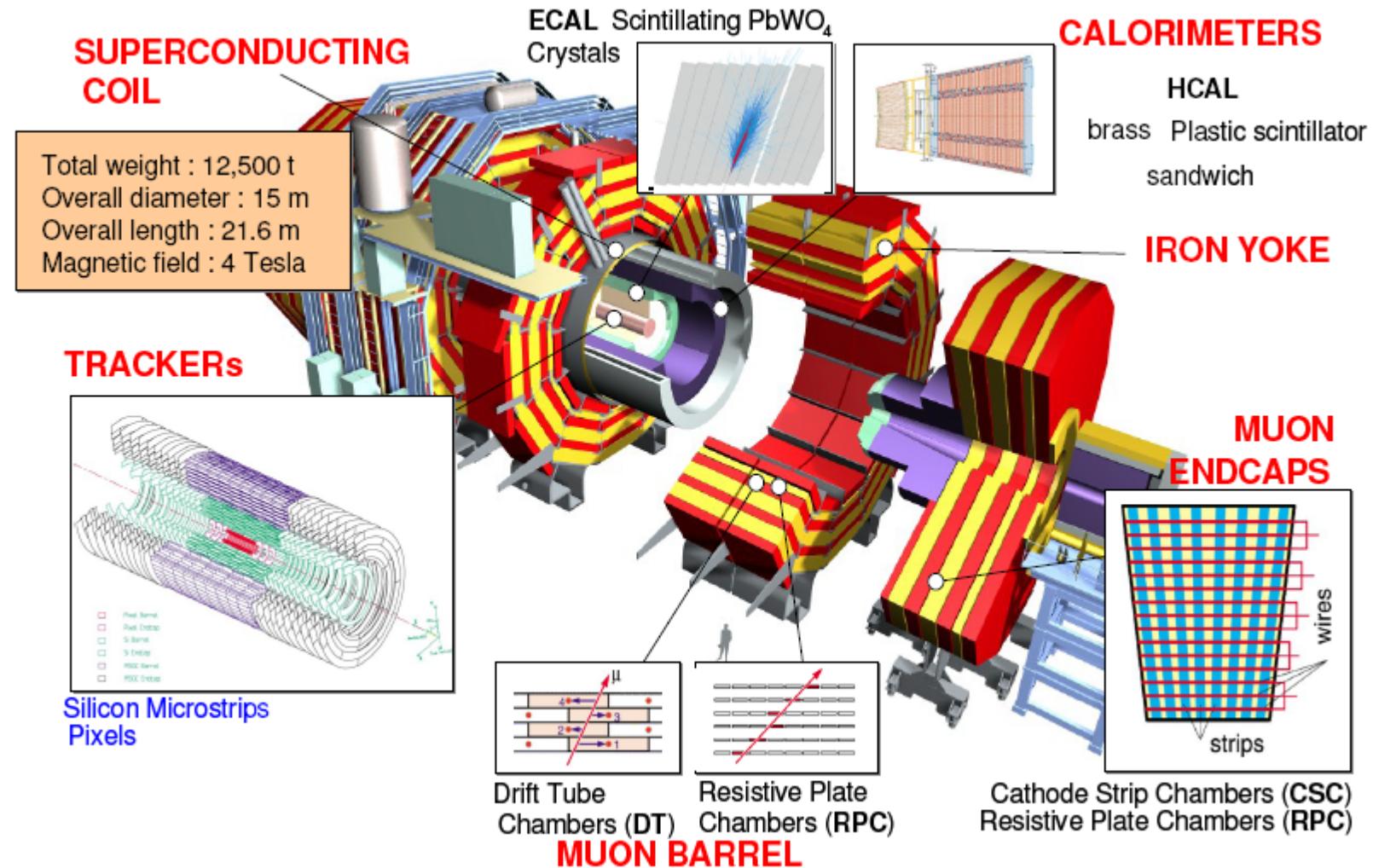


Un rivelatore con 140 milioni di canali
che scatta 40 milioni di foto al secondo

Davide Piccione - INFN/INFN

41

CMS

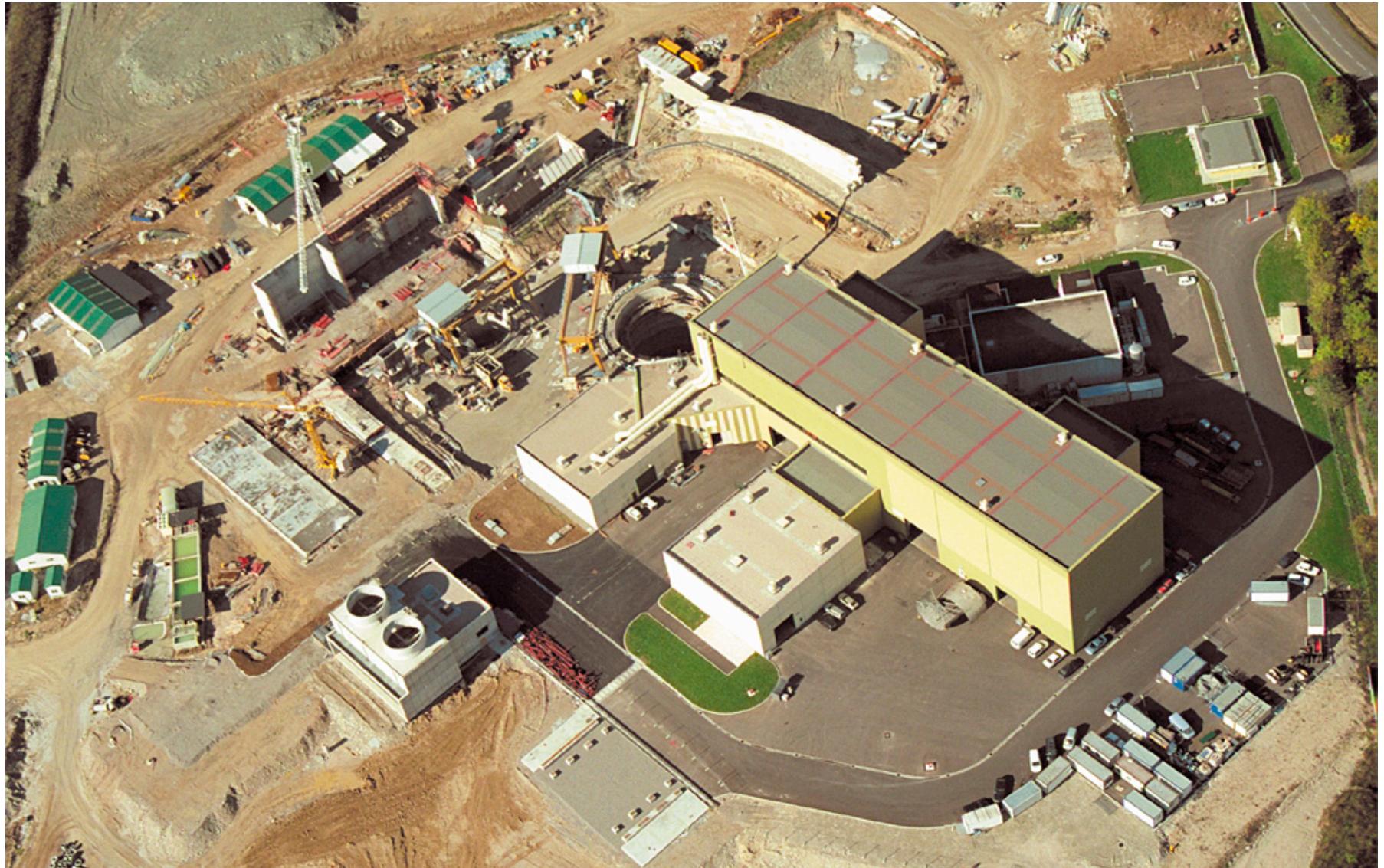


Il sito di CMS nel 1999



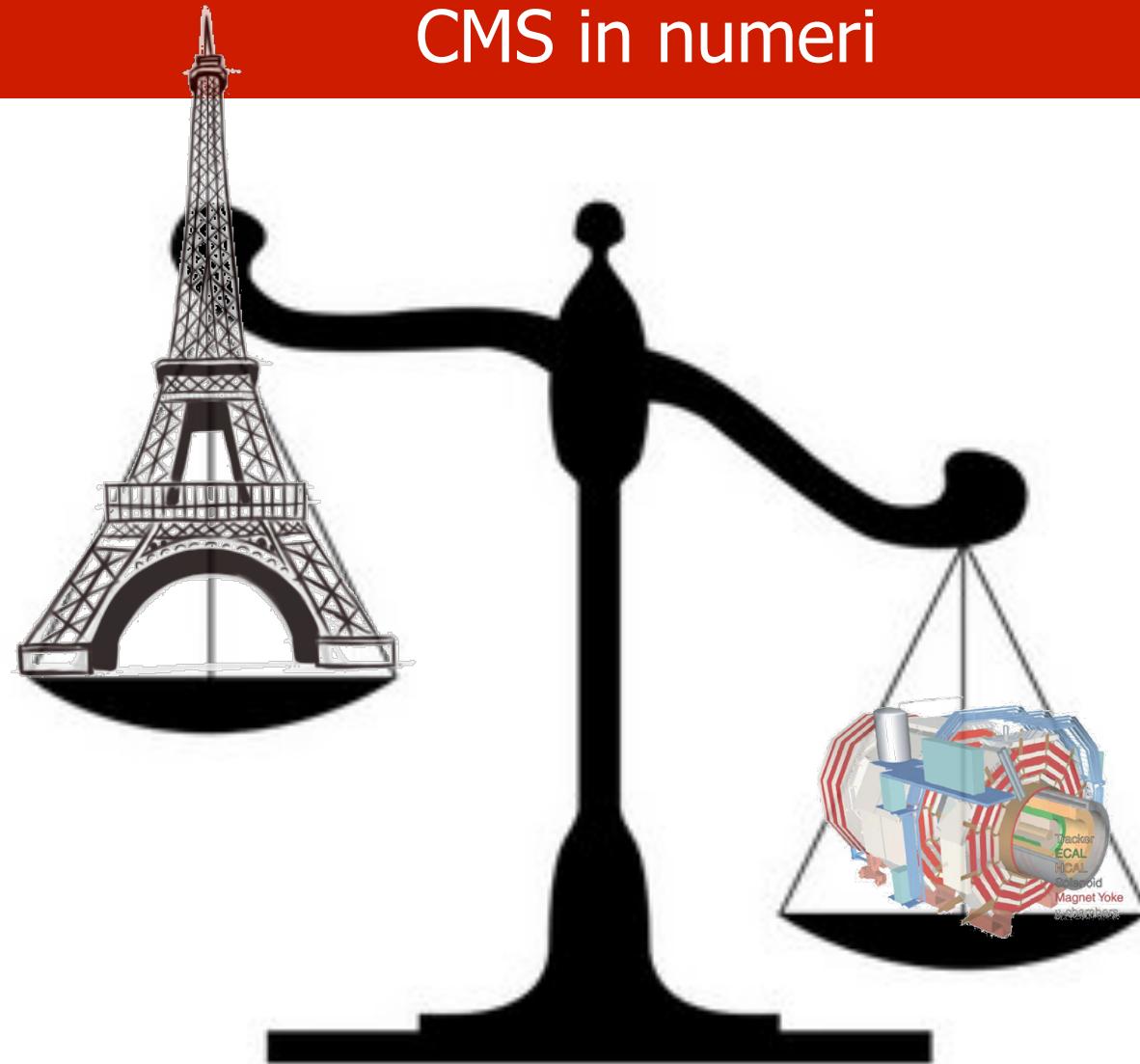
Davide Piccolo - INFN/EN

Il sito di CMS nel 2000



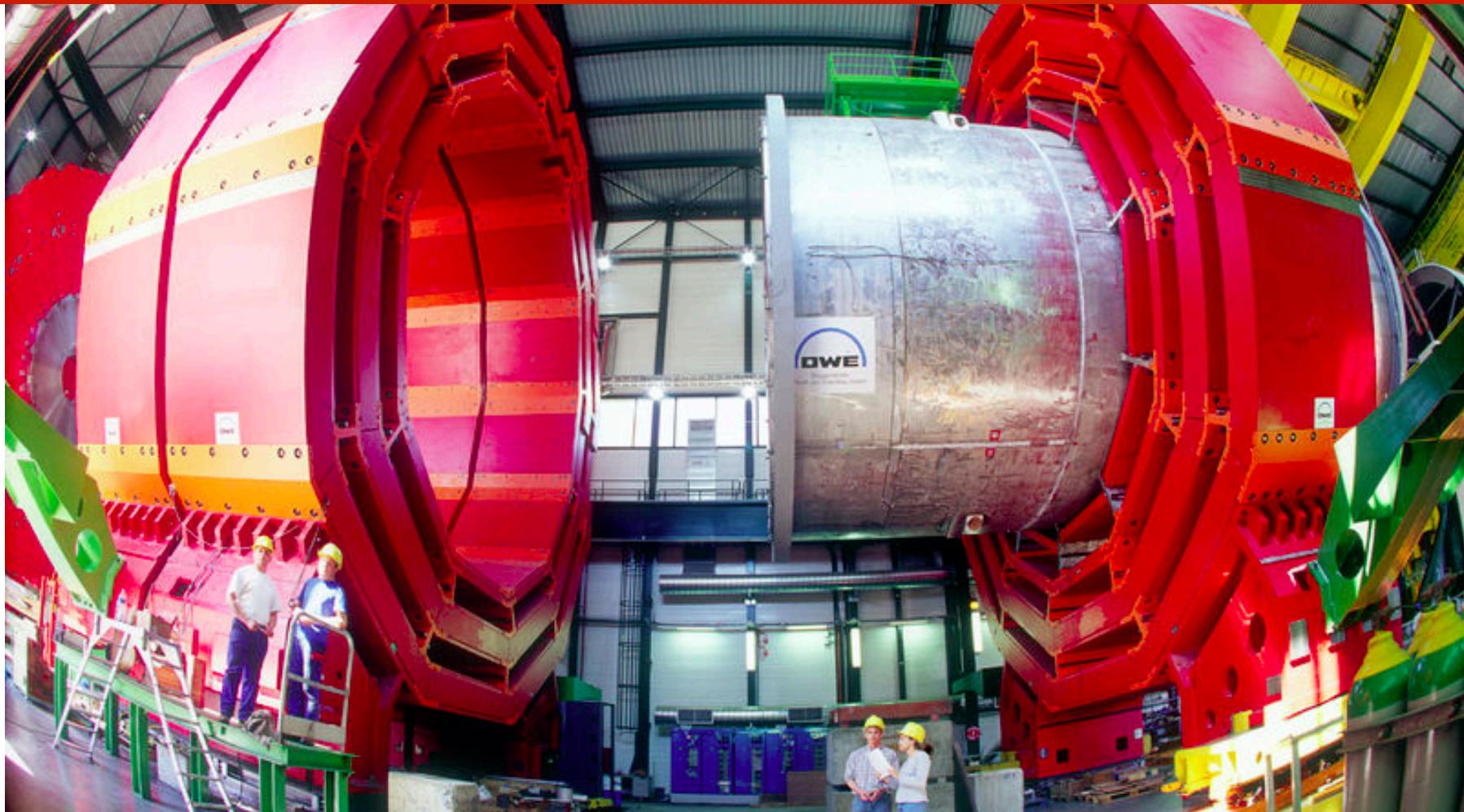
Davide Piccolo - LNF INFN

CMS in numeri



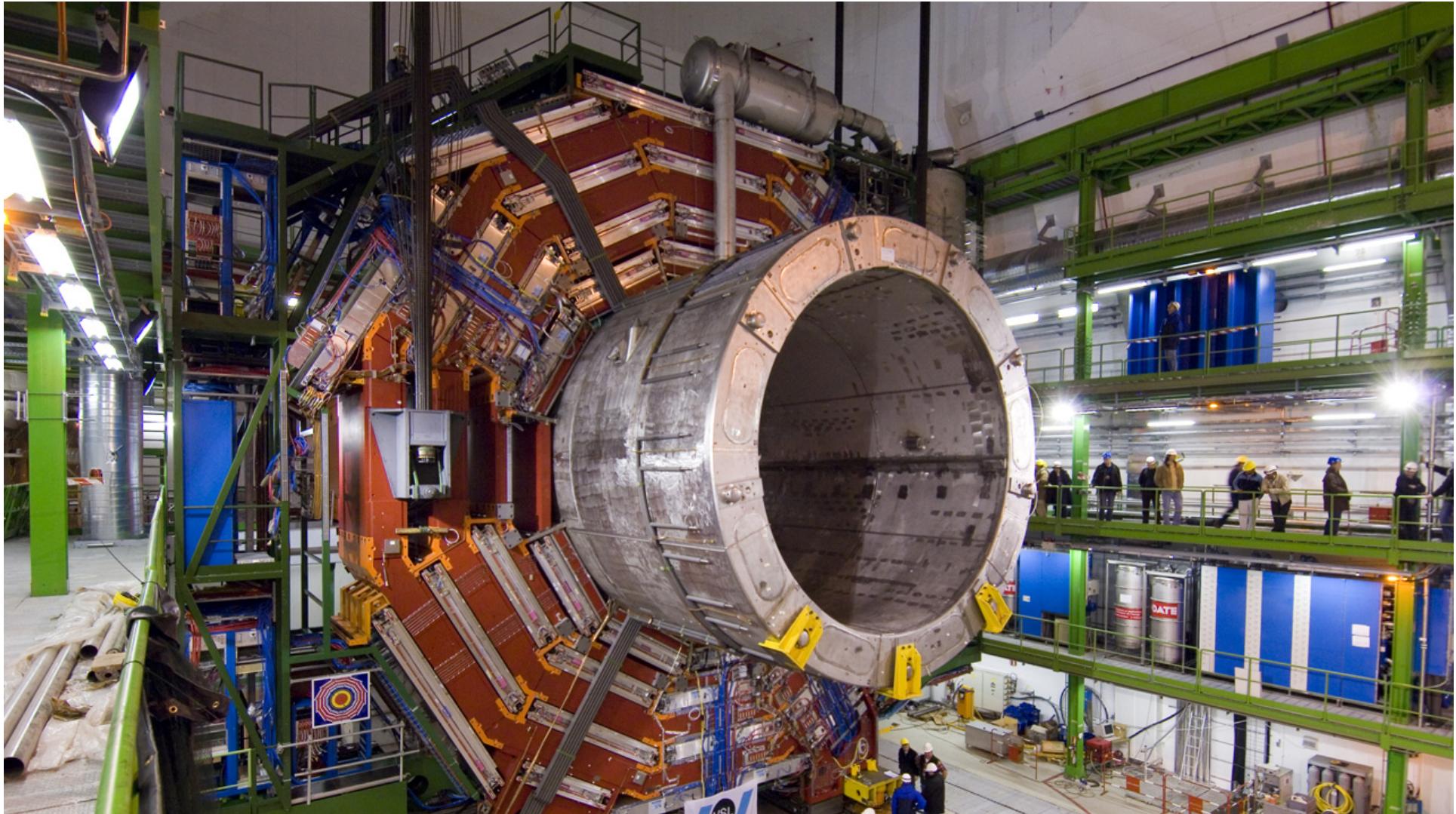
CMS con le sue quasi 14000 tonnellate e` l'esperimento piu` pesante dell'LHC. Pesa quasi il doppio della Torre Eiffel ma, misurando 15 metri di diametro e 21.5 metri di lunghezza, occupa un volume 400 volte piu' piccolo

CMS e` stato costruito in 15 grandi sezioni e molti altri pezzi piu` piccoli. Ogni parte dell'esperimento forma uno strato attorno al tubo del fascio



Ogni pezzo e' assemblato in superficie e poi calato nel pozzo a 100 mt di profondita'

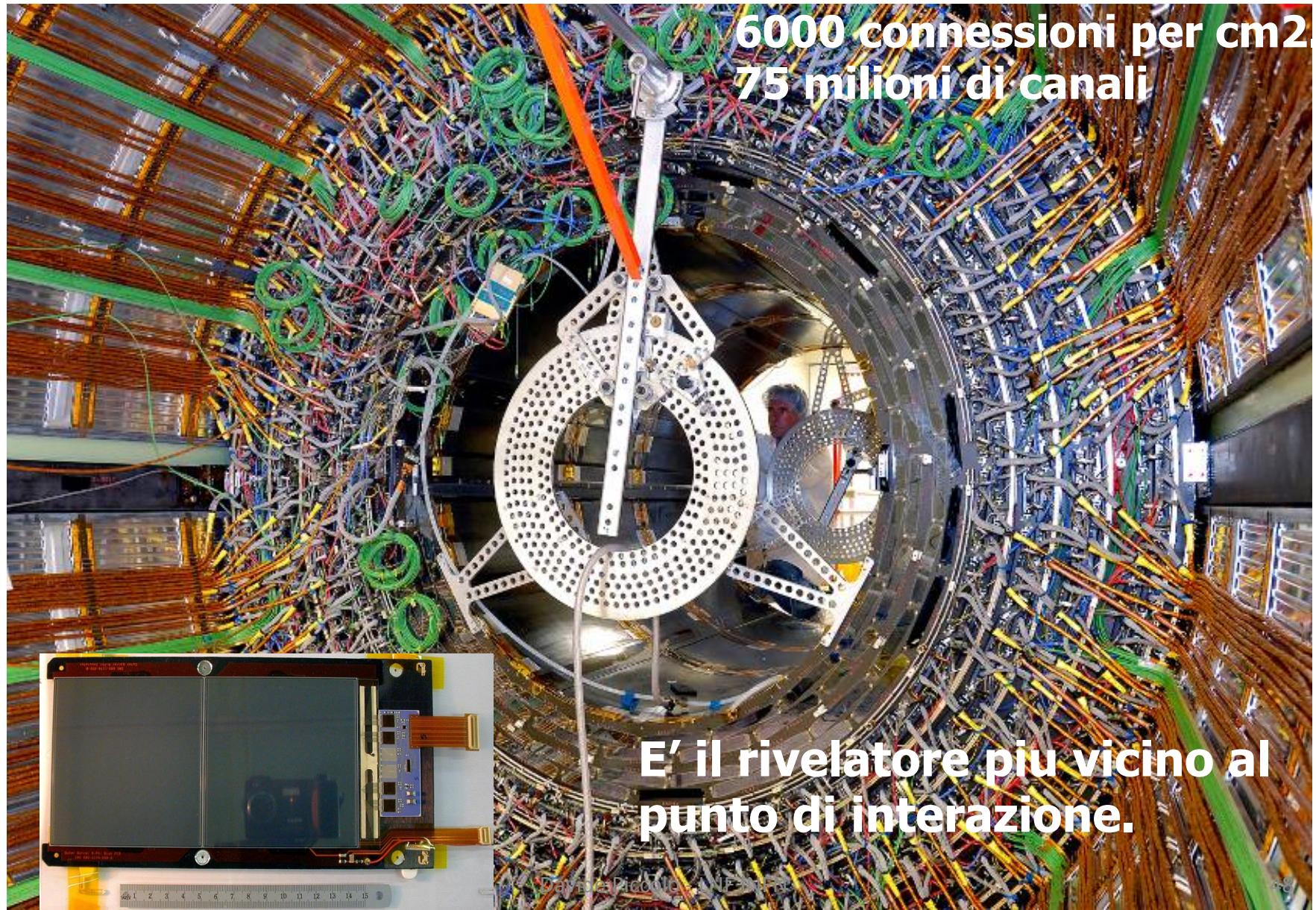
Il pezzo più grande è giù (2006)



La sezione piu` pesante arriva a quasi 2000 tonnellate e ci sono volute 12 ore per farla scendere dal momento che c'erano solo 10 centimetri di margine con le pareti del pozzo.

Davide Piccolo - LNF INFN

Il tracciatore a silici



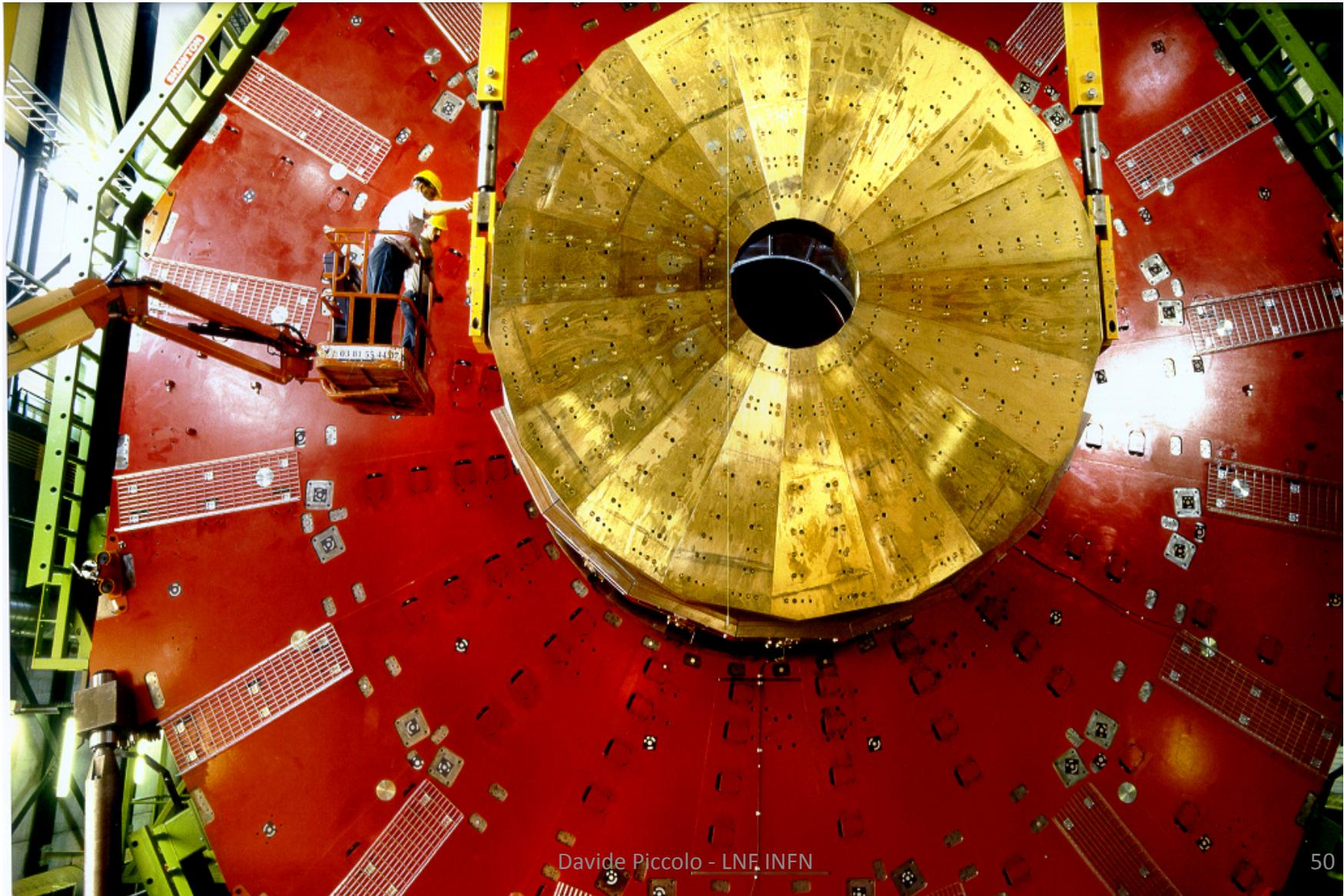
Il calorimetro adronico e l'iniziativa dei fisici



Un milione di bossoli di ottone
della marina russa



Il calorimetro adronico endcap

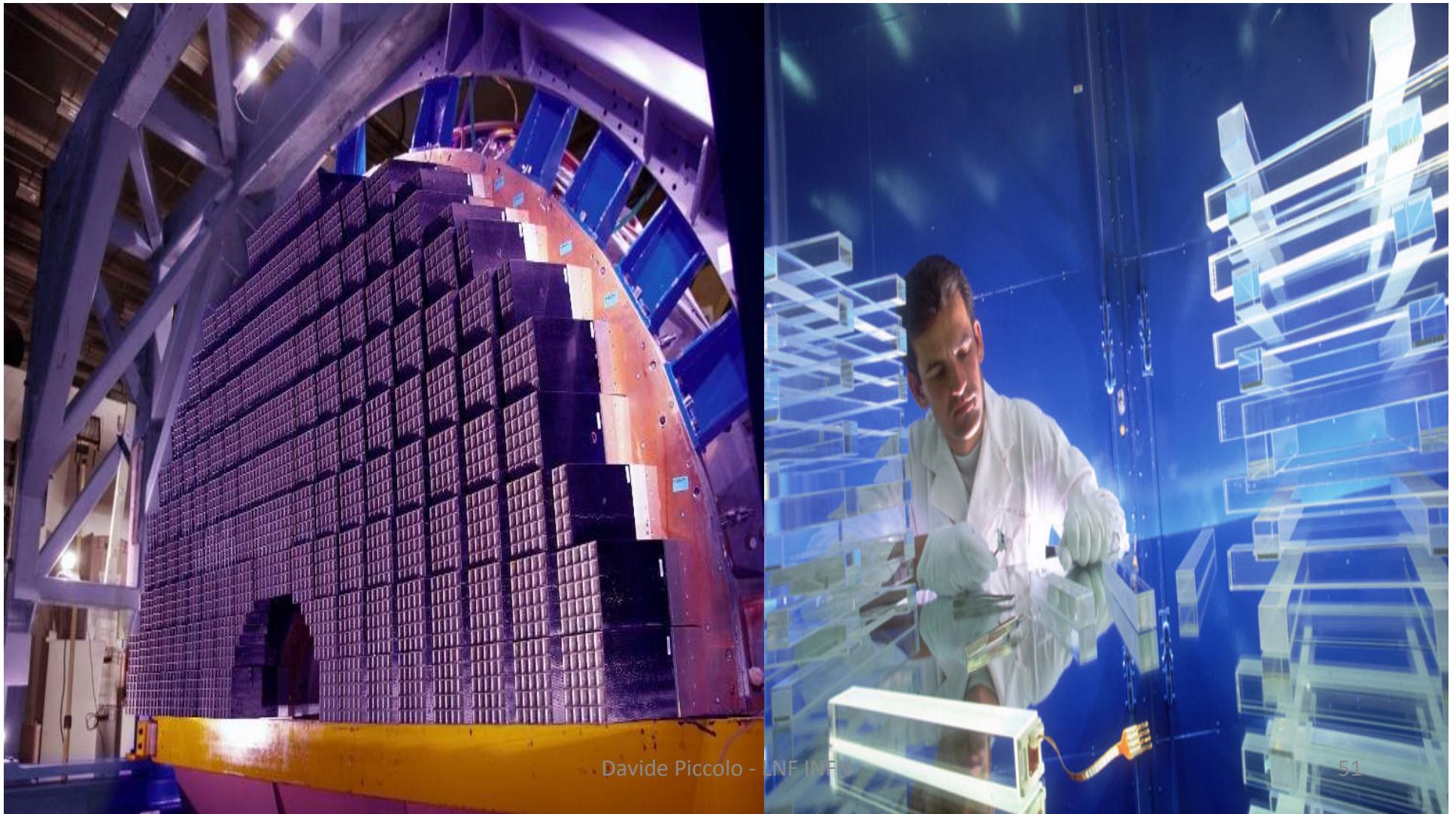


Davide Piccolo - LNF INFN

50

CMS – il calorimetro elettromagnetico

**75648 cristalli di tungstato di piombo.
Nonostante siano costituiti per l'86% da metallo, sono
perfettamente trasparenti**



Il sistema dei Muoni

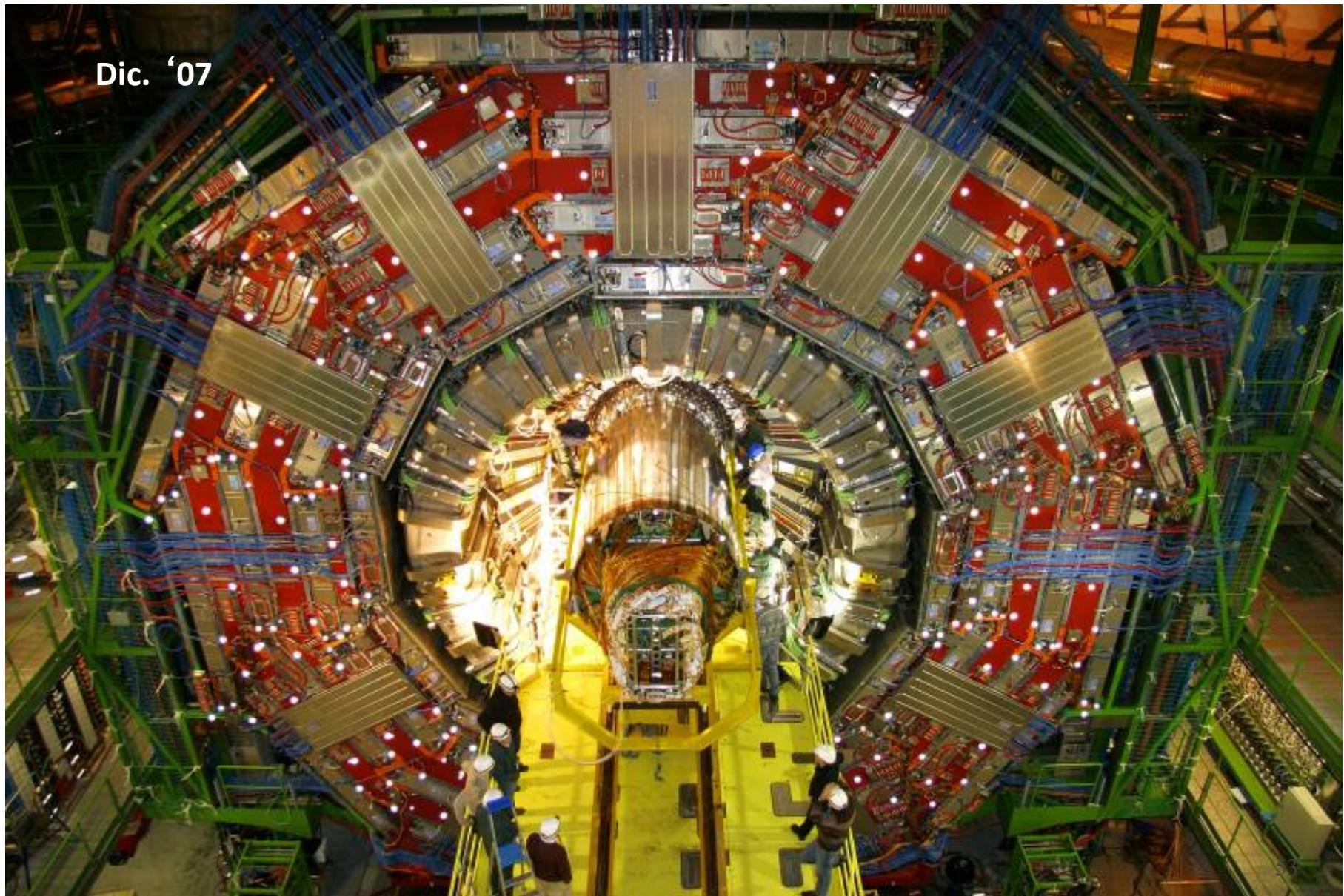


1400 camere di rivelazione:

2 milioni di fili sottilissimi come un capello che misurano la posizione del passaggio delle particelle con una precisione inferiore al millimetro.

~ 200000 canali che individuano il passaggio delle particelle con una precisione di pochi miliardesimi di secondo

Ora è tutto completo !

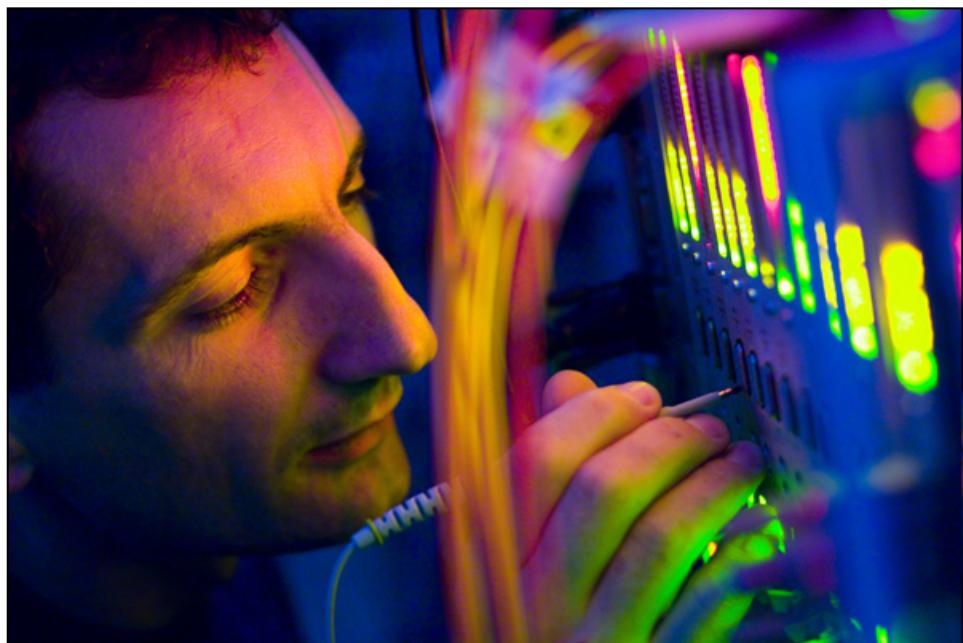


Il trigger di CMS

CMS e' una macchina fotografica che deve acquisire immagini 3-dimensionali di 100 Mpixel ciascuna delle collisioni dei protoni.

1 Miliardo di collisioni al secondo.

CMS deve capire quali siano di interesse in pochi miliardesimi di secondo



Elettronica sofisticatissima permette
di identificare solo 100 eventi al secondo
Che vengono poi memorizzati su disco

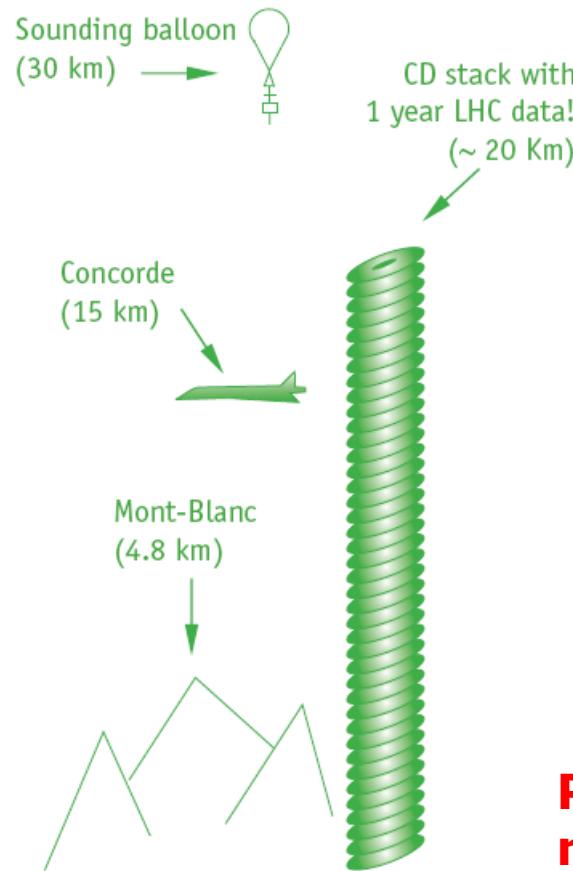
Conservare I dati e analizzarli: La griglia

100 eventi/ sec:

~ 30000 Encyclopedia Britannica ogni secondo

15 milioni di GB per anno:

una pila di 20 km di CD ogni anno



La Griglia



Per analizzare una tale quantità di dati, occorre una rete di PC a livello mondiale

E alla fine

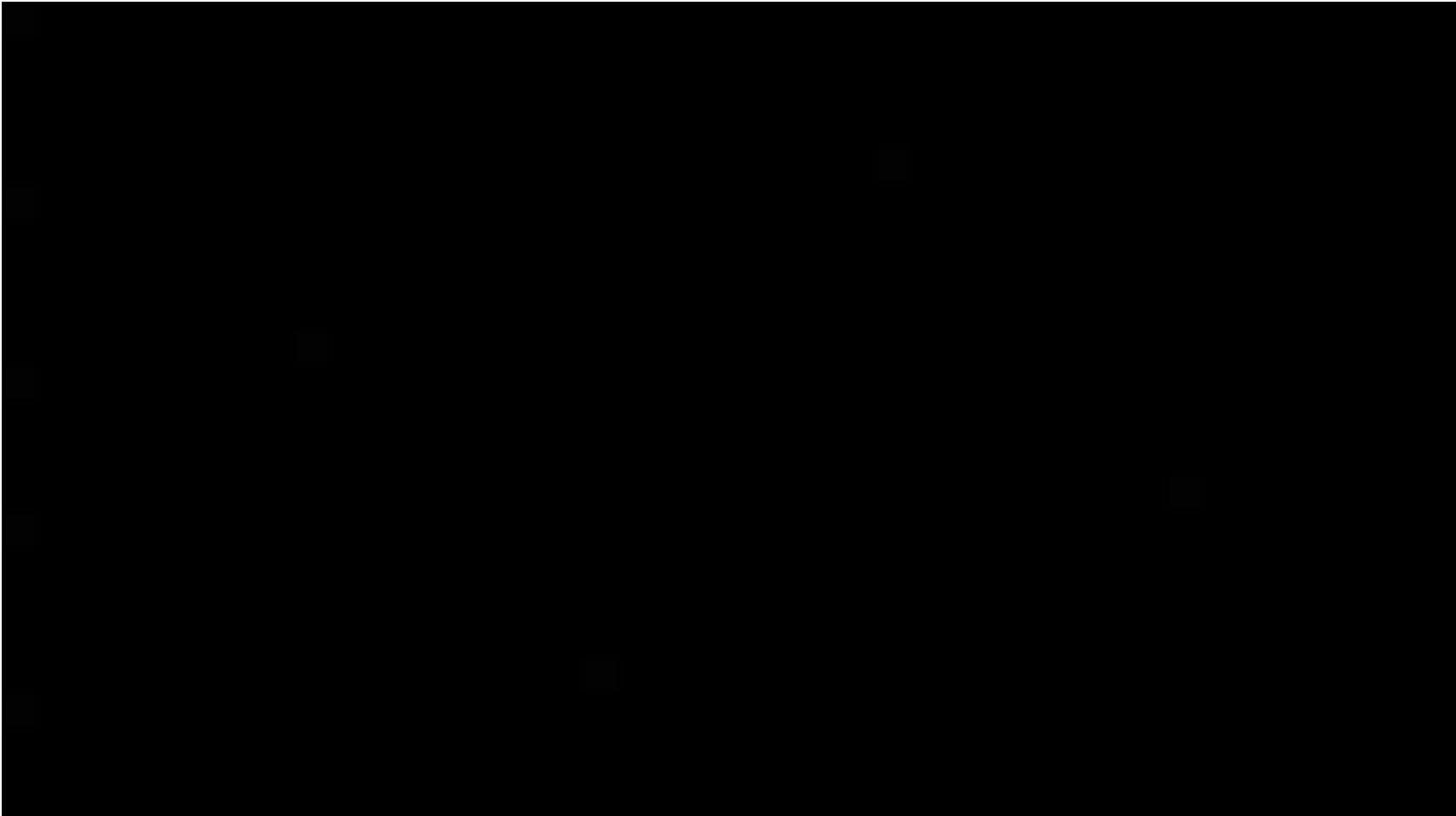
Abbiamo l'acceleratore di particelle più
potente al mondo: **LHC**

Abbiamo apparati sperimentali di altissimo
livello: **CMS e ATLAS**

Abbiamo un sistema di computer
potentissimo

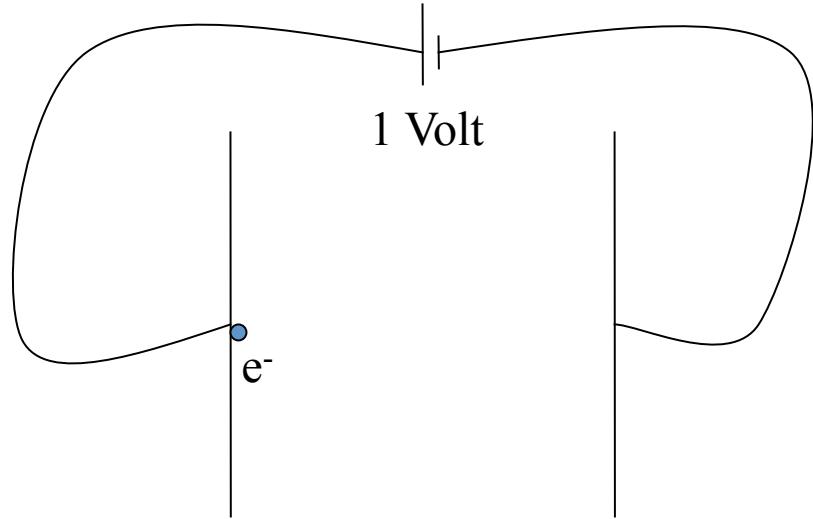
Abbiamo collaborazioni di fisici motivati,
entusiasti, preparati e organizzati

4 luglio 2012
Annuncio della scoperta del bosone di Higgs



SPARES

Mass and Energy in Electron Volts



1 eV = kinetic energy gained by an electron when it accelerates through an electrostatic potential of 1 volt

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Einstein's mass-energy equivalence allows us to quote mass in terms of energy.

The mass of subatomic particles are quoted in eV, MeV (million electron volts), GeV (billion electron volts) and TeV (thousand billion electron volts).

$$\text{mass of a proton} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938 \text{ MeV}/c^2 \approx 1 \text{ GeV}$$