



Einstein in the 21st Century

Large Hadron Collider



- Perche' lo facciamo
- Cos'e'
- Cosa guardiamo
- Cosa speriamo di vedere
- Se siete curiosi: cosa sono gli acceleratori
- Se lo siete di più: cosa sono i rivelatori

Il tutto condito con un po' di Fisica

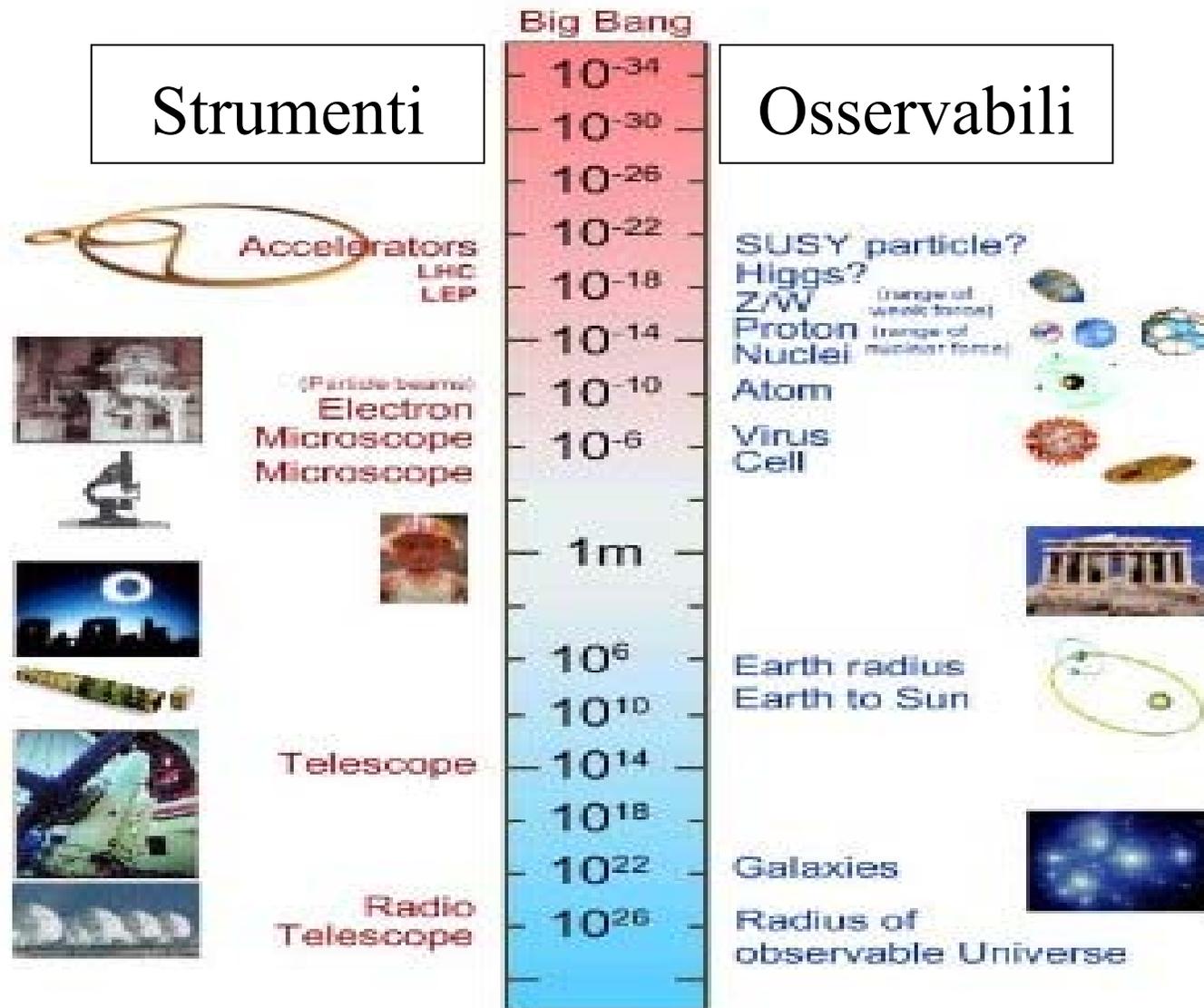


Comune di Padova
Politiche Giovanili



Einstein in the 21st Century

Strumenti e osservabili



Noi siamo da
queste parti



Einstein in the 21st Century

Come sono fatte le cose?



Bisogna guardare: con lo strumento giusto
La lunghezza d'onda λ della sonda deve essere piu' piccola
dell'oggetto da vedere



$$\lambda \sim 1/E$$

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

Virus: ($d \sim 10 \text{ nm} = 10^{-8} \text{ m}$): microscopio elettronico $E \sim \text{keV}$

Protone: ($d \sim 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$): acceleratore di particelle
 $E \sim \text{GeV}$

Quark: ($d < 10^{-18} \text{ m}$): LHC $E \sim 10 \text{ TeV}$ $d \sim 0.0002 \text{ fm}$

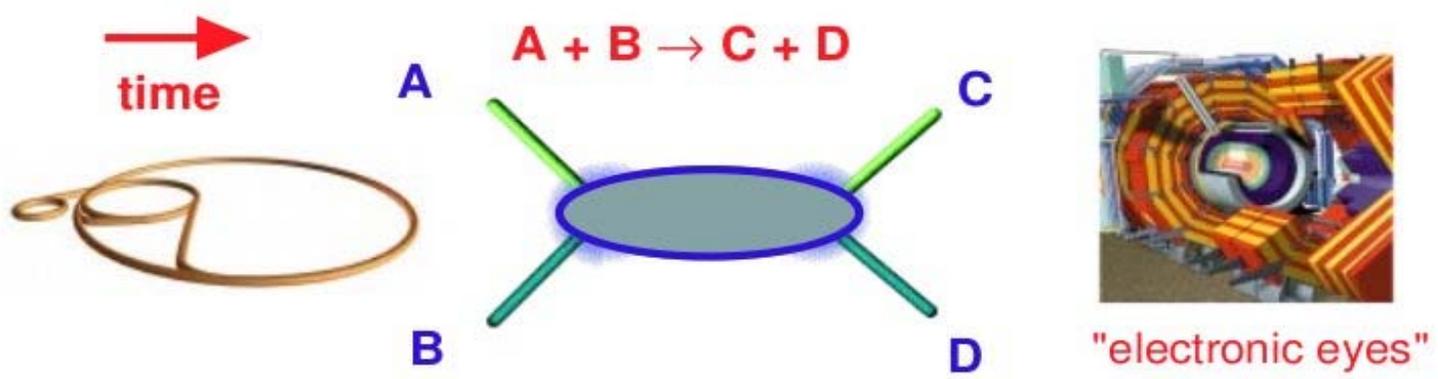


Einstein in the 21st Century

“Vedere” con gli acceleratori



- Non possiamo vedere davvero quello che succede in regioni così piccole
- Prendiamo due particelle note (**A e B**) e le facciamo scontrare e vediamo cosa esce fuori (**C e D**)
- Da quello che vediamo cerchiamo di capire cosa è successo nel “blob”

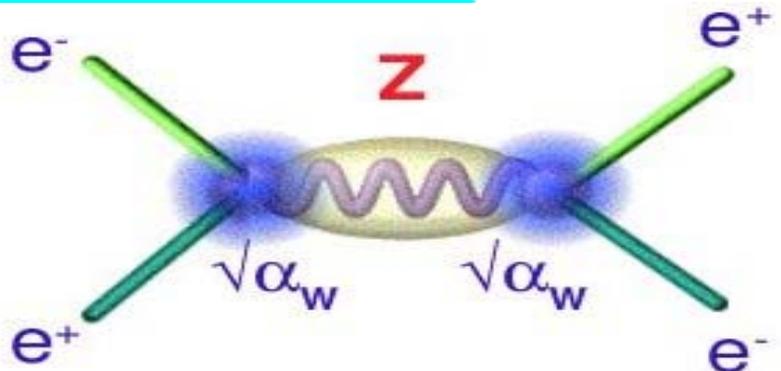
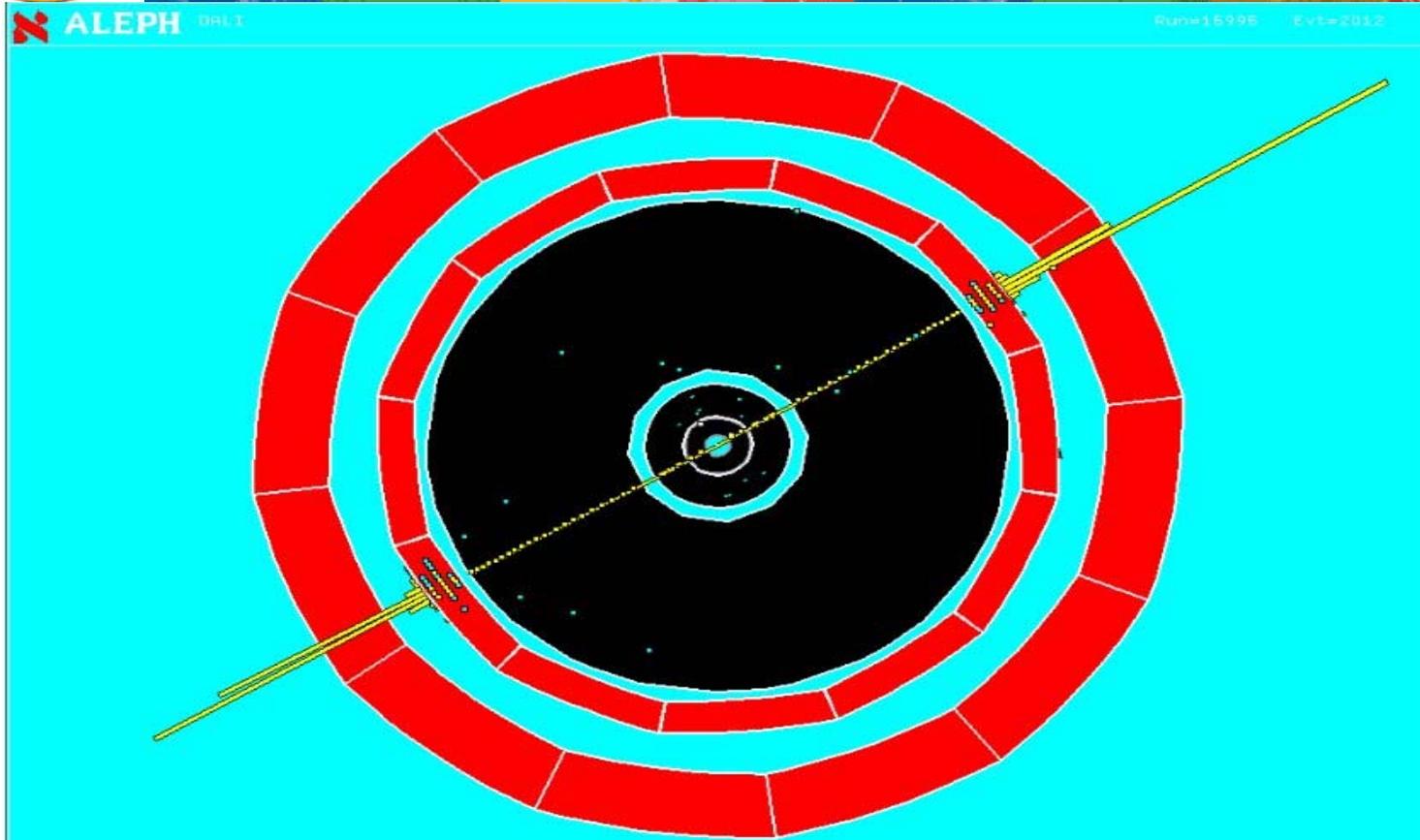




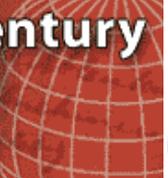
Einstein in the 21st Century

Esempio: Z a LEP

INFN
Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare



MC 1-2-3 Marzo 2010



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Einstein in the 21st Century

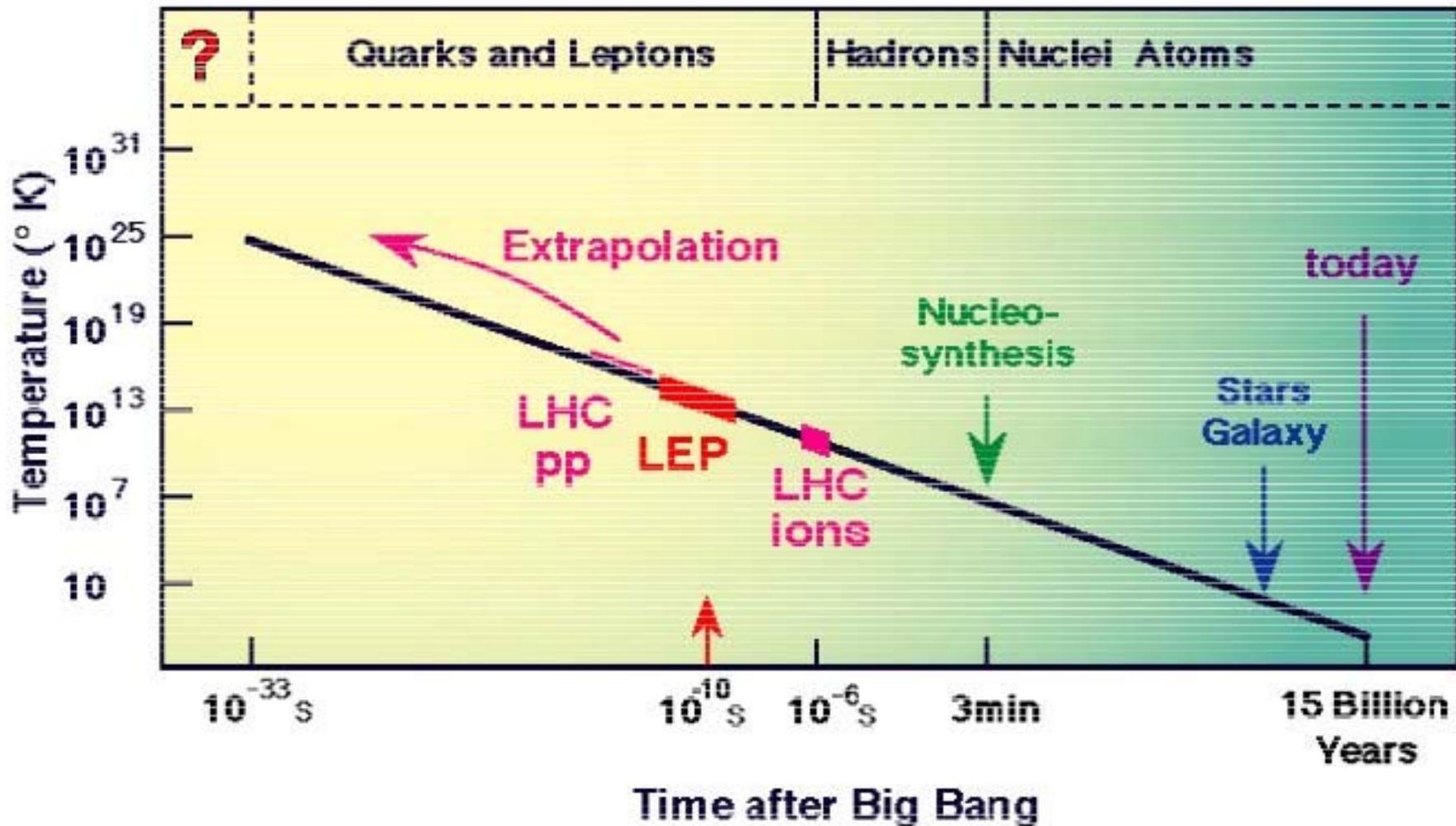
Energia e tempo

Metaphysics

Quantum
Gravitation ?

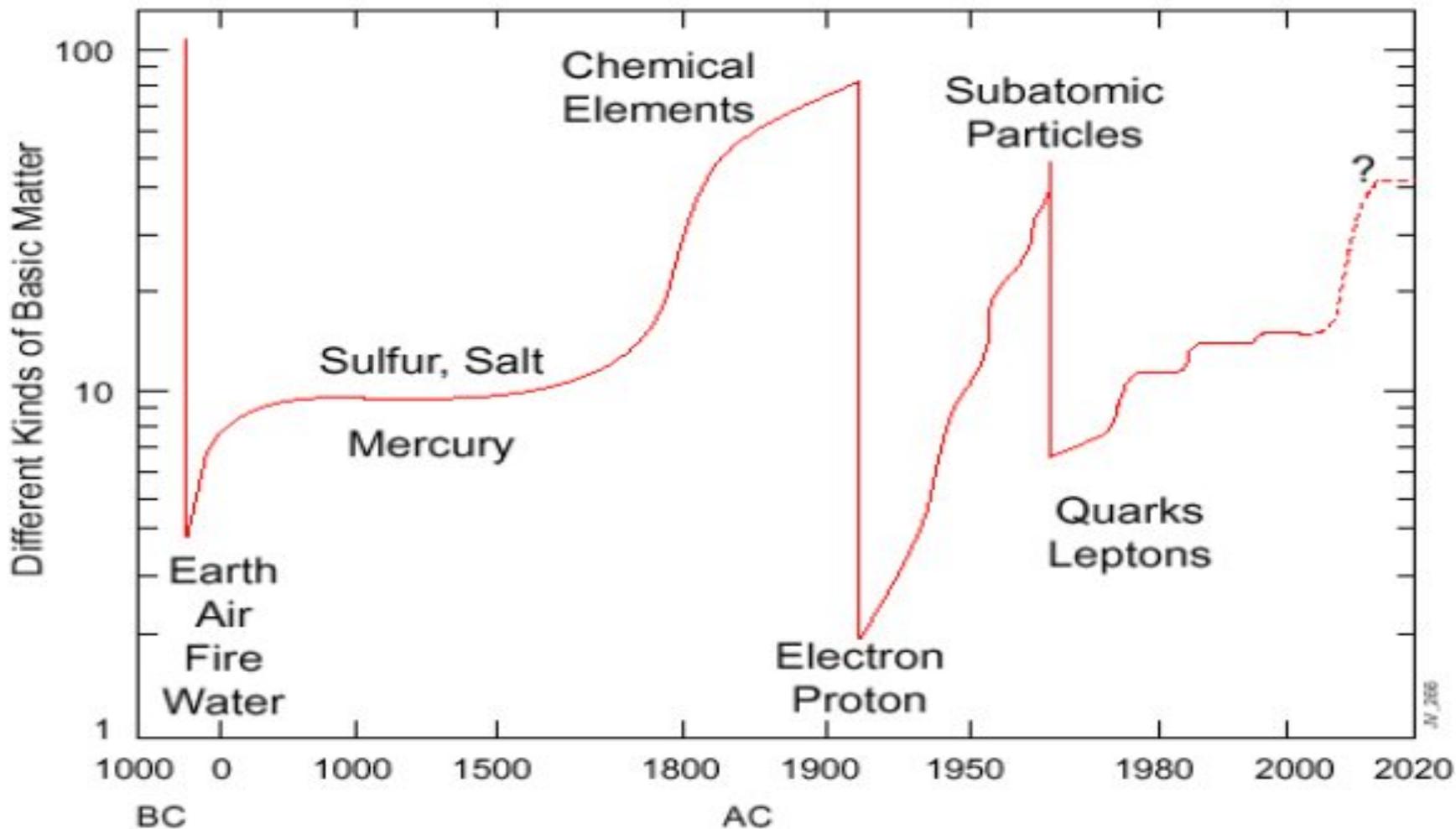
Grand
Unification ?

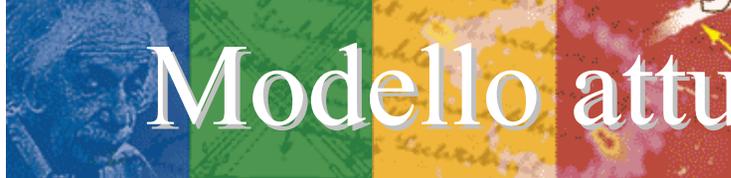
Electroweak
Transition



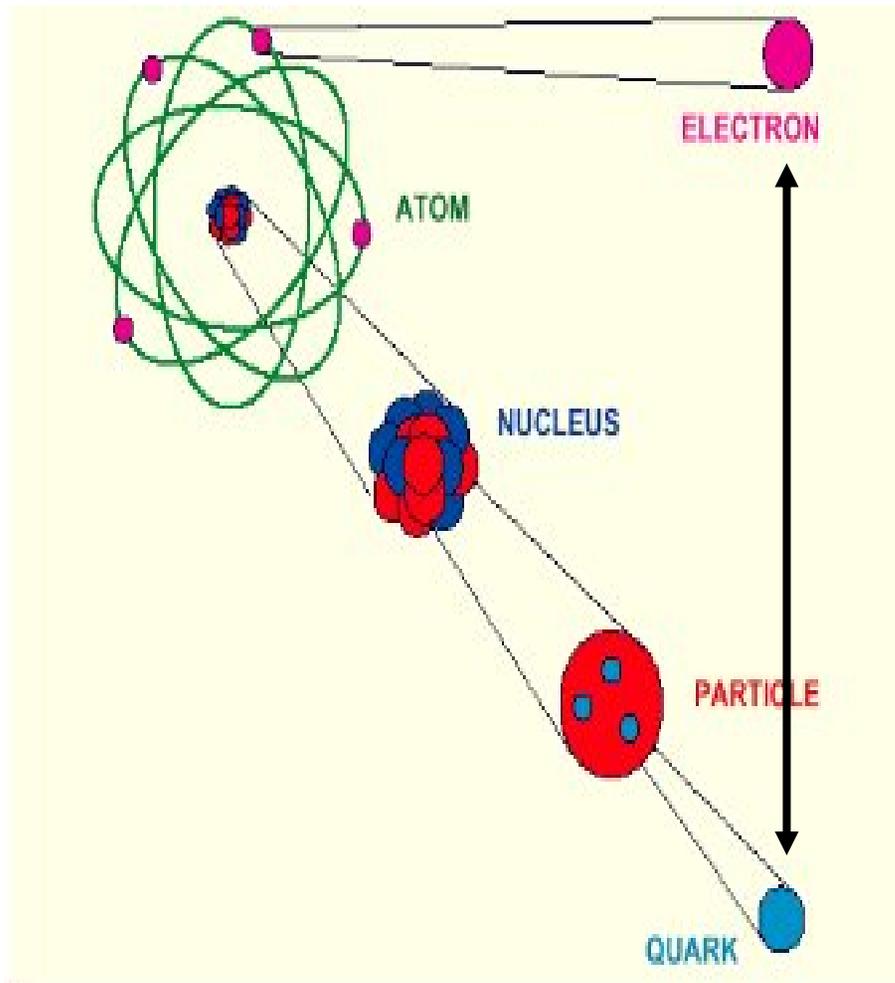


Quanti costituenti?





Modello attuale (Standard)



- Atomo: nucleo + **elettrone**
- Nucleo: protoni + neutroni (nucleoni)
- Nucleoni: **quark**
- Quark: ???

**Per ora quark e elettroni
son le particelle
elementari**



Einstein in the 21st Century Particelle



Quarks



up



down



charm



strange



top



beauty

Leptons



electron



neutrino e



muon



neutrino μ



tau



neutrino τ

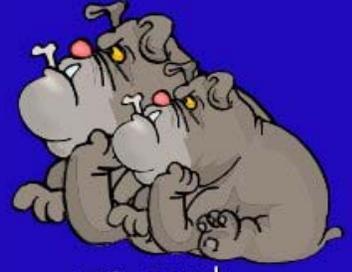
Bosons



photon



gluon



$Z^0 W^\pm$



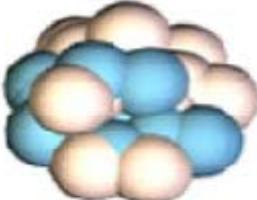
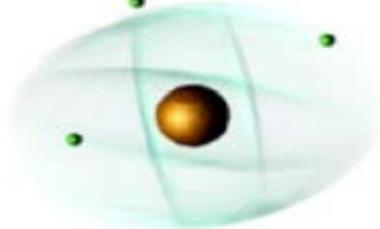
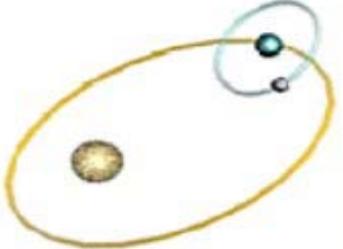
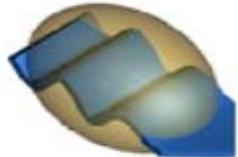
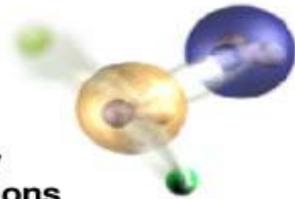
Higgs



Einstein in the 21st Century

4 forze



Strong		Electromagnetic	
<p>Gluons (8)</p>  <p>Quarks</p>  <p>Mesons Baryons</p>	  <p>Nuclei</p>	<p>Photon</p>   <p>Atoms Light Chemistry Electronics</p>	
Gravitational		Weak	
<p>Graviton ?</p>   <p>Solar system Galaxies Black holes</p>		<p>Bosons (W,Z)</p>   <p>Neutron decay Beta radioactivity Neutrino interactions Burning of the sun</p>	

The particle drawings are simple artistic representations



Einstein in the 21st Century

Modello attuale (Standard)



$$\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 + \frac{1}{2} i g_s^2 (\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma) g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^b g_\mu^c \\
 & - \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 - \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial_\mu H - \frac{1}{2} m_H^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- \\
 & - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2} \partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2} M \phi^0 \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 \\
 & - i g c_w \left[\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^+) \right] \\
 & - i g s_w \left[\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^+) \right] \\
 & - \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_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\mu W_\nu^+ W_\nu^-) \\
 & + g^2 s_w c_w \left[A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^- \right] - g \alpha \left[H^3 + H \phi^0 \phi^0 + 2H \phi^+ \phi^- \right] \\
 & - \frac{1}{8} g^2 \alpha_h \left[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 \right] - g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w^2} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H \\
 & - \frac{1}{2} i g \left[W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0) \right] + \frac{1}{2} g \left[W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H) \right] \\
 & + \frac{1}{2} g \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - i g \frac{s_w^2}{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^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- \left[H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^- \right] - \frac{1}{4} 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} i 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} i g^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^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - e^\lambda (\gamma \partial + m_e^\lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \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 + i g 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)] \\
 & + \frac{i g}{4c_w} Z_\mu^0 \left[(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda) \right] \\
 & + \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ \left[(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa) \right] + \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^- \left[(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) \right] \\
 & + \frac{i g}{2\sqrt{2}} \frac{m_e^\lambda}{M} \left[-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) \right] - \frac{g}{2} \frac{m_e^\lambda}{M} \left[H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda) \right] \\
 & + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^+ \left[-m_d^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) \right] + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^- \left[m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\kappa) \right] \\
 & - \frac{g}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{i g}{2} \frac{m_u^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{i g}{2} \frac{m_d^\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{\chi}^+ (\partial^2 - M^2) \chi^+ + \bar{\chi}^- (\partial^2 - M^2) \chi^- \\
 & + \bar{\chi}^0 \left(\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2} \right) \chi^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + i g c_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{\chi}^0 \chi^- - \partial_\mu \bar{\chi}^+ \chi^0) + i g s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} \chi^- - \partial_\mu \bar{\chi}^+ Y) + i g c_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{\chi}^- \chi^0 - \partial_\mu \bar{\chi}^0 \chi^+) \\
 & + i g s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{\chi}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} \chi^+) + i g c_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{\chi}^+ \chi^+ - \partial_\mu \bar{\chi}^- \chi^-) + i g s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{\chi}^+ \chi^+ - \partial_\mu \bar{\chi}^- \chi^-) - \frac{1}{2} g M [\bar{\chi}^+ \chi^+ H + \bar{\chi}^- \chi^- H \\
 & + \frac{1}{c_w^2} \bar{\chi}^0 \chi^0 H] + \frac{1 - 2c_w^2}{2c_w} i g M [\bar{\chi}^+ \chi^0 \phi^+ - \bar{\chi}^- \chi^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} i g M [\bar{\chi}^0 \chi^- \phi^+ - \bar{\chi}^0 \chi^+ \phi^-] + i g M s_w [\bar{\chi}^0 \chi^- \phi^+ - \bar{\chi}^0 \chi^+ \phi^-] \\
 & + \frac{1}{2} i g M [\bar{\chi}^+ \chi^+ \phi^0 - \bar{\chi}^- \chi^- \phi^0]
 \end{aligned}$$



Einstein in the 21st Century

Ma allora...

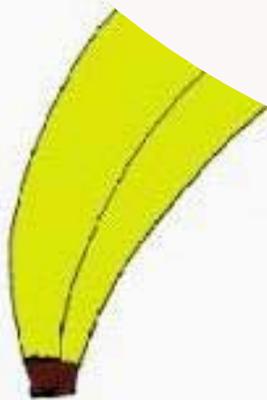


- Abbiamo le particelle, abbiamo le forze, abbiamo l'equazione: sappiamo già tutto!
- Molte caratteristiche sono apparentemente arbitrarie:
 - Perché 3 famiglie di particelle (e non 4 o 5 o 87?)
- ci manca il **bosone di Higgs**;
 - Ha un ruolo speciale nello SM: da massa a tutte le altre particelle
- Manca la gravità'.
- **Manca la maggior parte della materia**



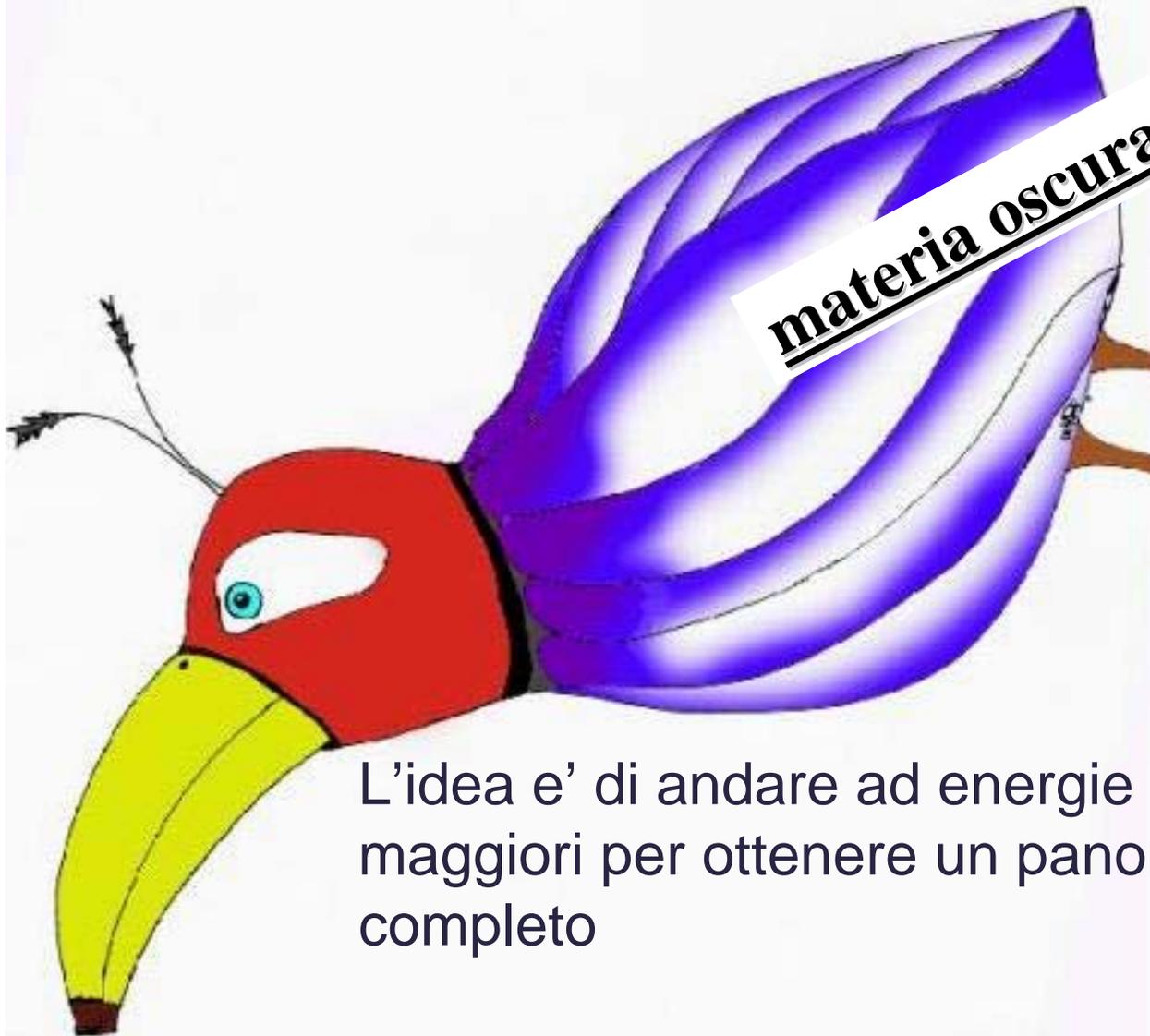
La “Big Picture”

Il Modello Standard descrive tutto ciò che abbiamo finora osservato con grande precisione!





La “Big Picture”

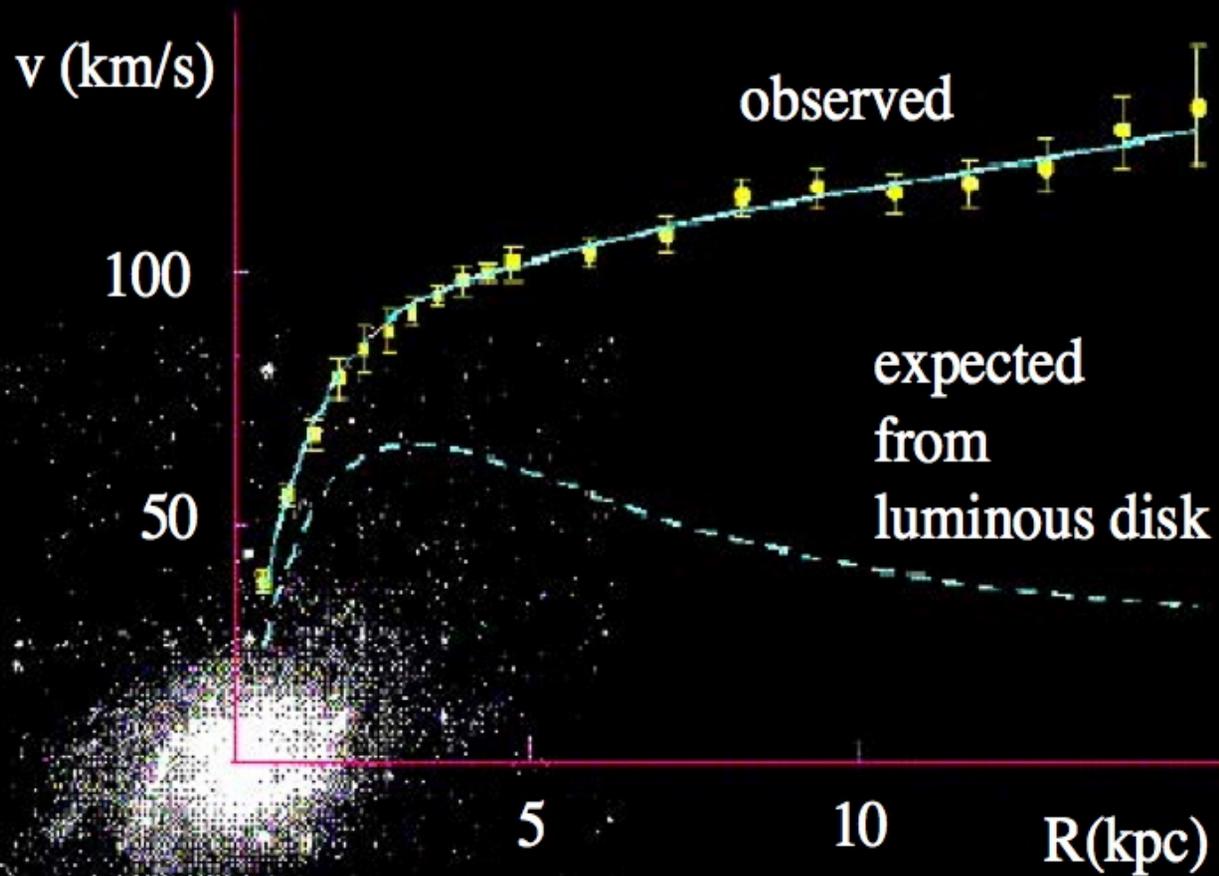


L'idea e' di andare ad energie sempre maggiori per ottenere un panorama piu' completo

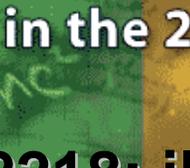


- Le particelle elementari (quark, elettroni) potrebbero avere una struttura
- Ci sono davvero solo 3 famiglie di quark e leptoni?
- Quale e' l'origine delle masse delle particelle
 - Perche' sono cosi' diverse?
- Ci sono altre particelle che non abbiamo ancora visto?
 - **Materia oscura?**
 - SUSY: Supersimmetria?
 - Altro?
- Perche' l'universo e' fatto di materia e non di antimateria?
- ...

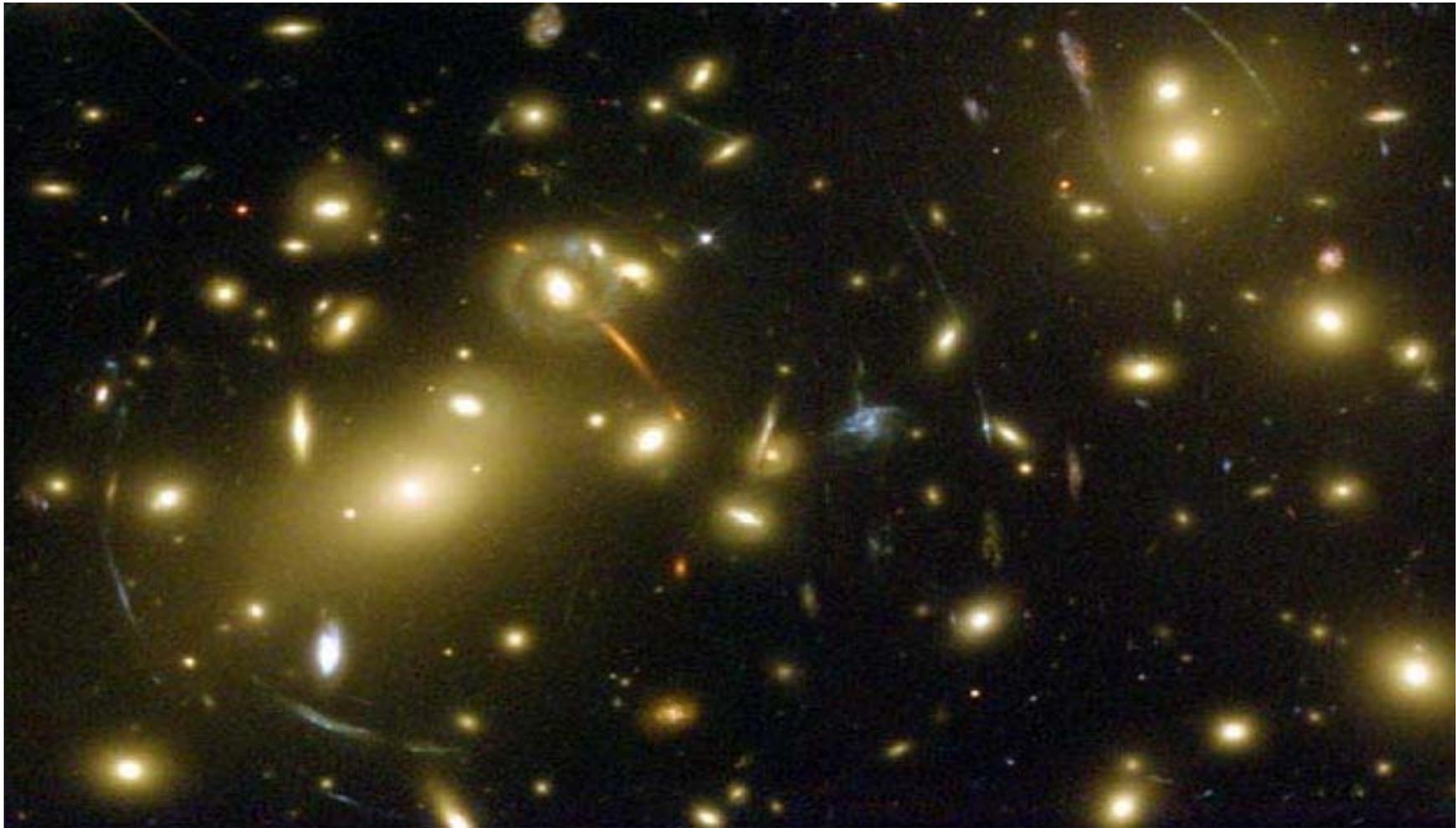
Di cosa è fatto l'Universo?



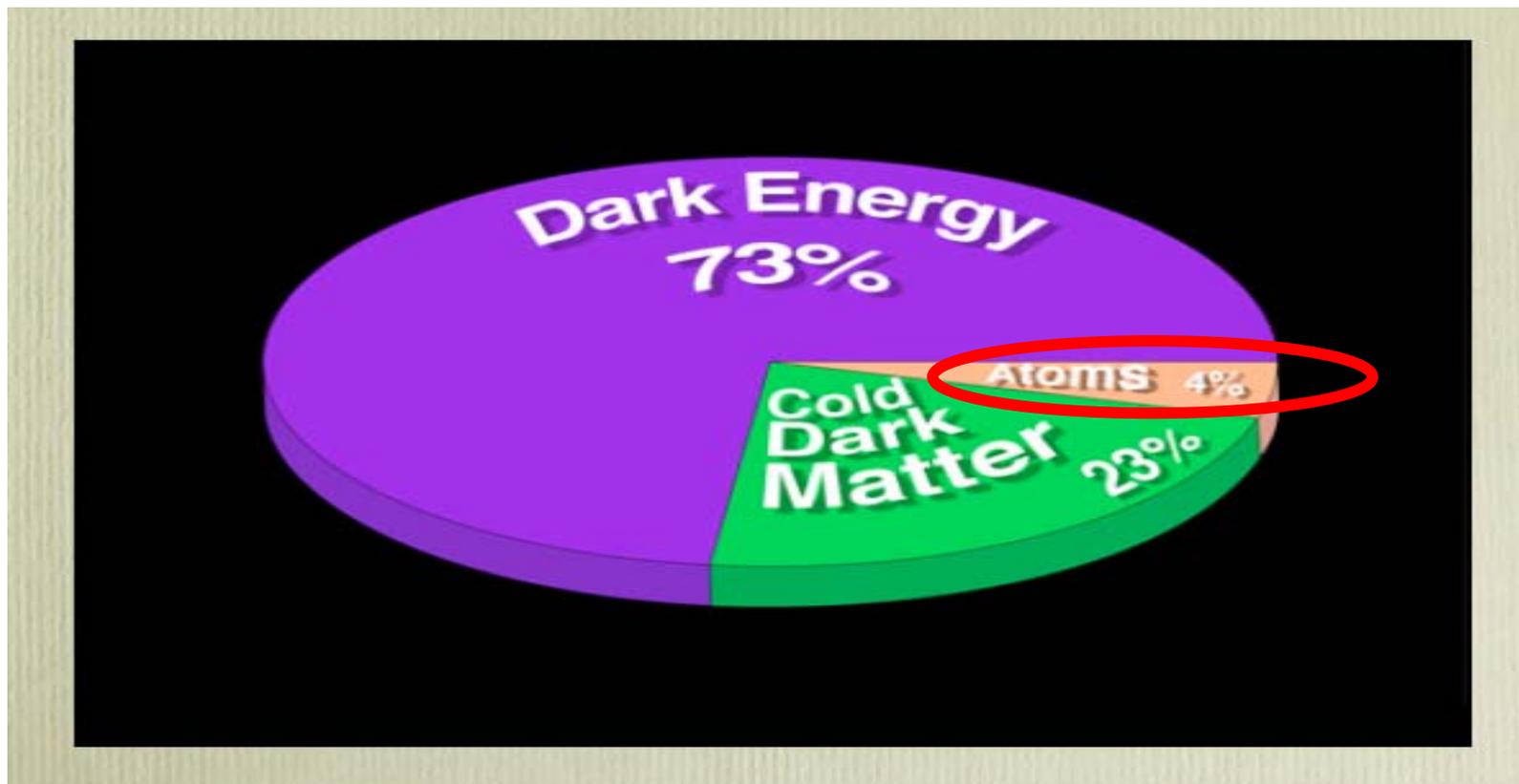
M33 rotation curve



L'AMMASSO DI GALASSIE ABELL 2218: il cluster ha una massa così grande da **piegare e focalizzare la luce proveniente da galassie che si trovano dietro ad esso**







La conoscenza che abbiamo riguarda solo il 4% dell'Universo il resto è ancora ignoto !!



Einstein in the 21st Century

Cosa ci serve



Un acceleratore per avere collisioni alla piu'
alta energia possibile **LHC @ CERN**

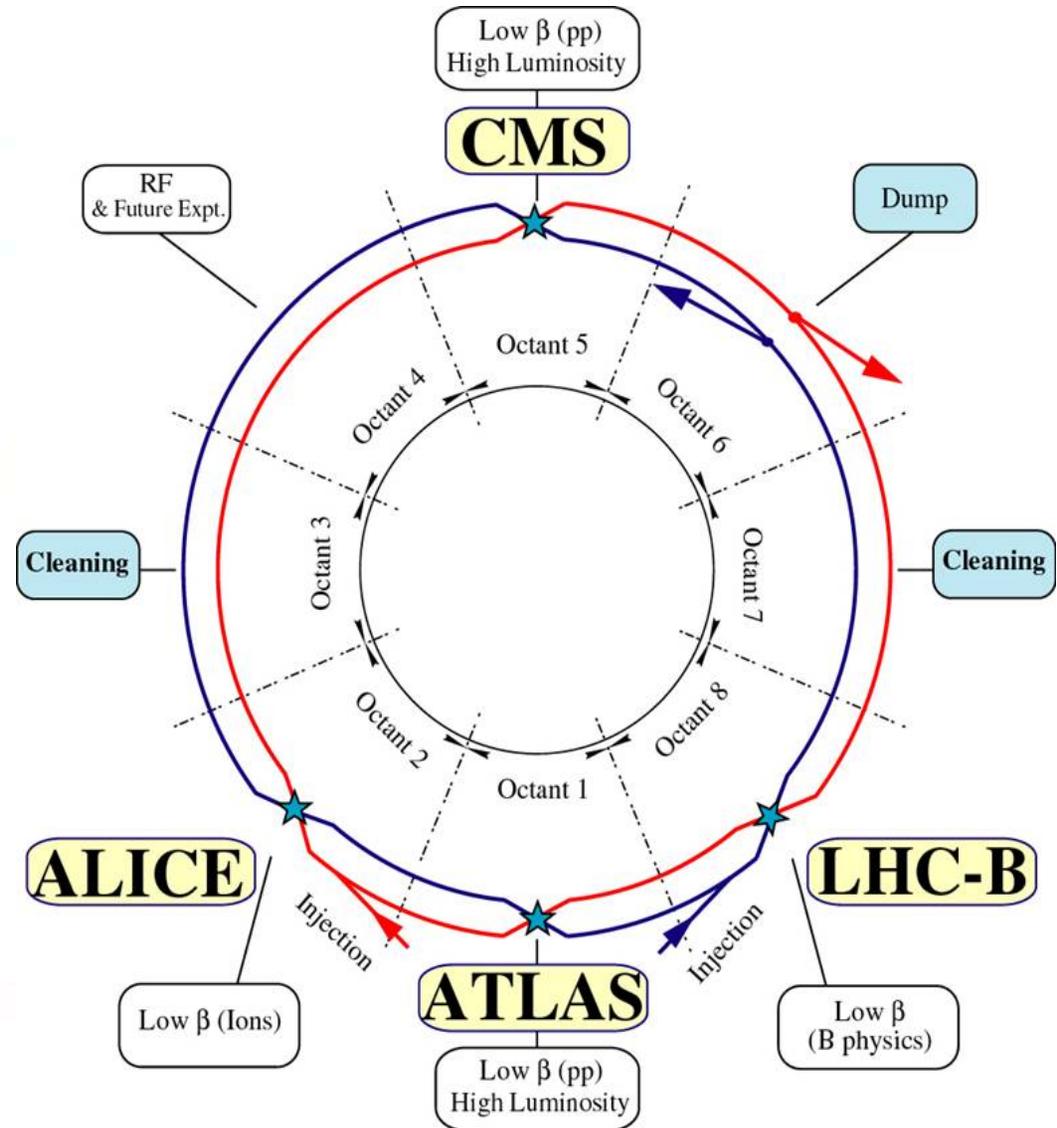
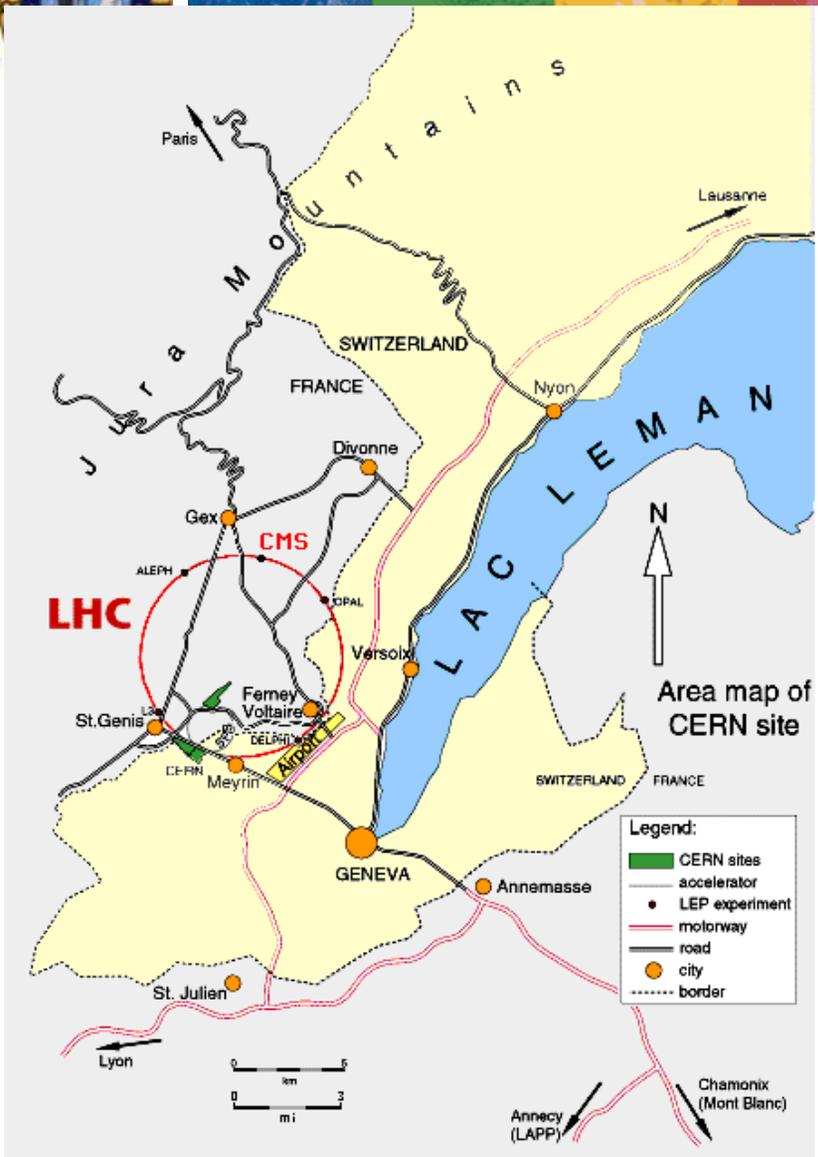
Un rivelatore (meglio di piu') in grado di
vedere quello che viene fuori dalle collisioni

CMS ATLAS ALICE LHCb



- **C**entro **E**uropeo per la **R**icerca **N**ucleare
- Organizzazione internazionale fondata nel 1954 (Italia e' un membro fondatore)
- Vicino a Ginevra (Svizzera) sul confine con la Francia
- 19 stati membri (+ osservatori)
- Dedicato a ricerca di base su elementi costitutivi della materia e le loro interazioni fondamentali
- www.cern.ch (WWW inventato al CERN!)

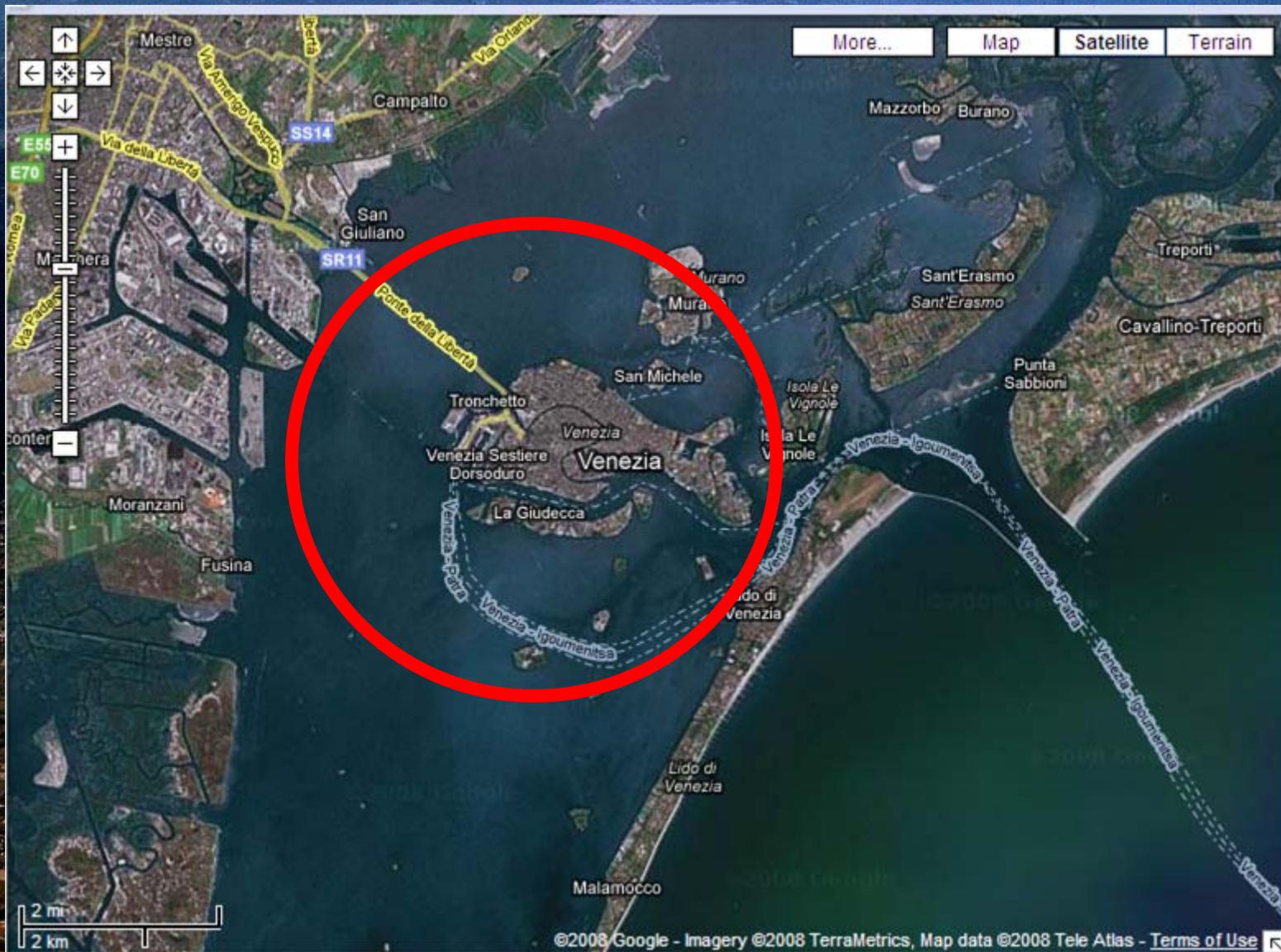
Einstein in the 21st Century





Einstein in the 21st Century

Quanto e' grande?

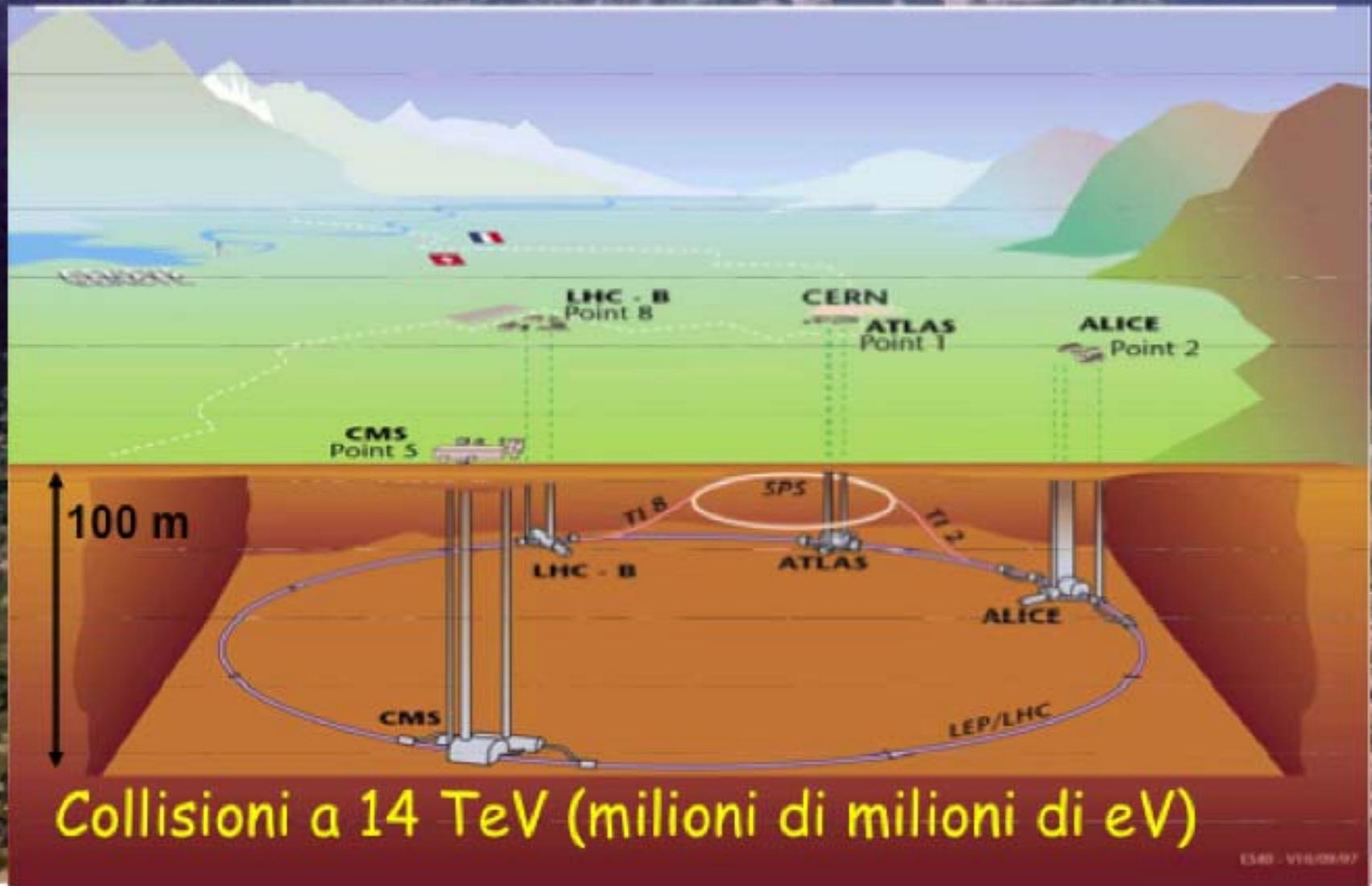




Il tunnel sotterraneo



LHC at CERN



Collisioni a 14 TeV (milioni di milioni di eV)



MC 1-2-3 Marzo 2010

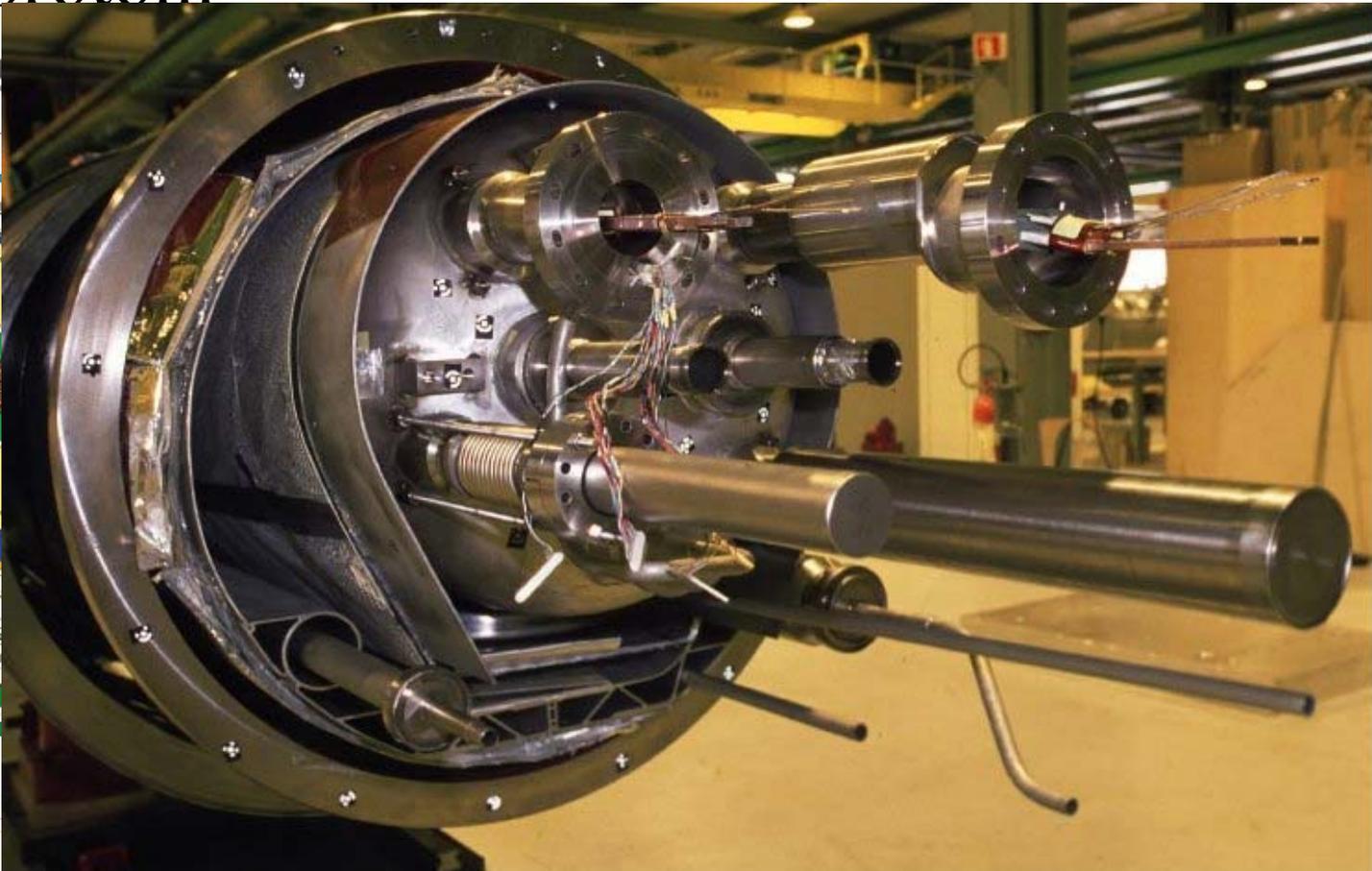
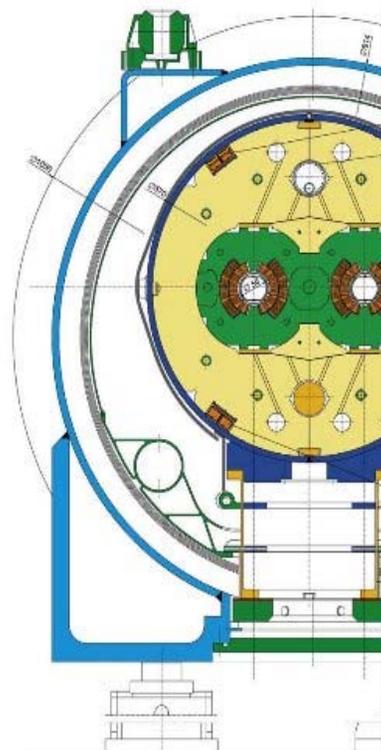


Einstein in the 21st Century Magneti @ LHC



- Acceleratore circolare: un po' di energia ad ogni giro
- Magneti superconduttori (elio liquido 1.9 K) per curvare i protoni

LHC DIPOLE : STANDARD
CERN/AC/02/043 - 18.107 - 10/04/1999



Einstein in the 21st Century



Istituto Nazionale
Nucleare

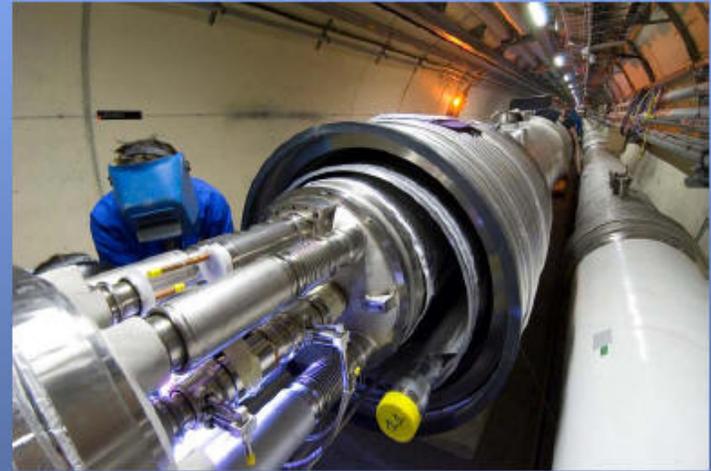


MC



onale
leare

Underground





Cosa vediamo?

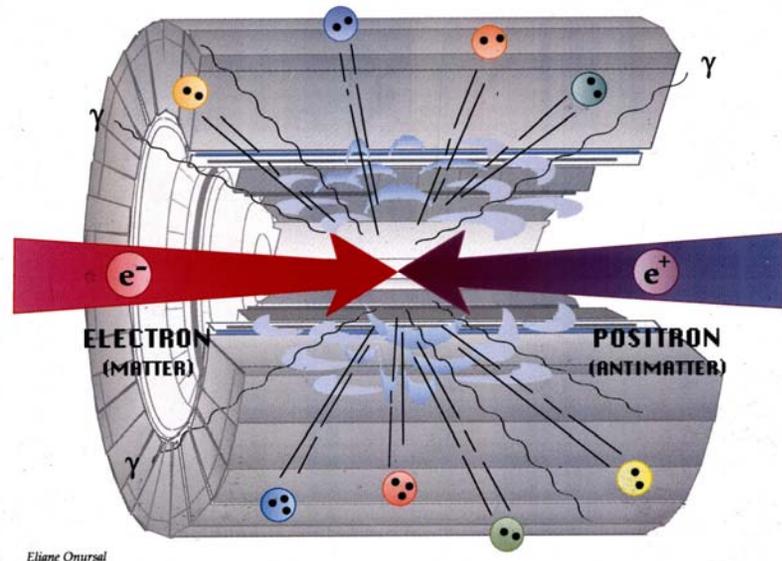
- I prodotti della collisione primaria
- Particelle stabili (o comunque con vita abbastanza lunga)
 - Elettroni e Muoni
 - Fotoni
 - Jets (quark) (particelle cariche e neutre)
 - Energia mancante (neutrini)
- Di tutte vogliamo ricostruire direzione e energia (momento) oltre ad identificarle



Rivelatori

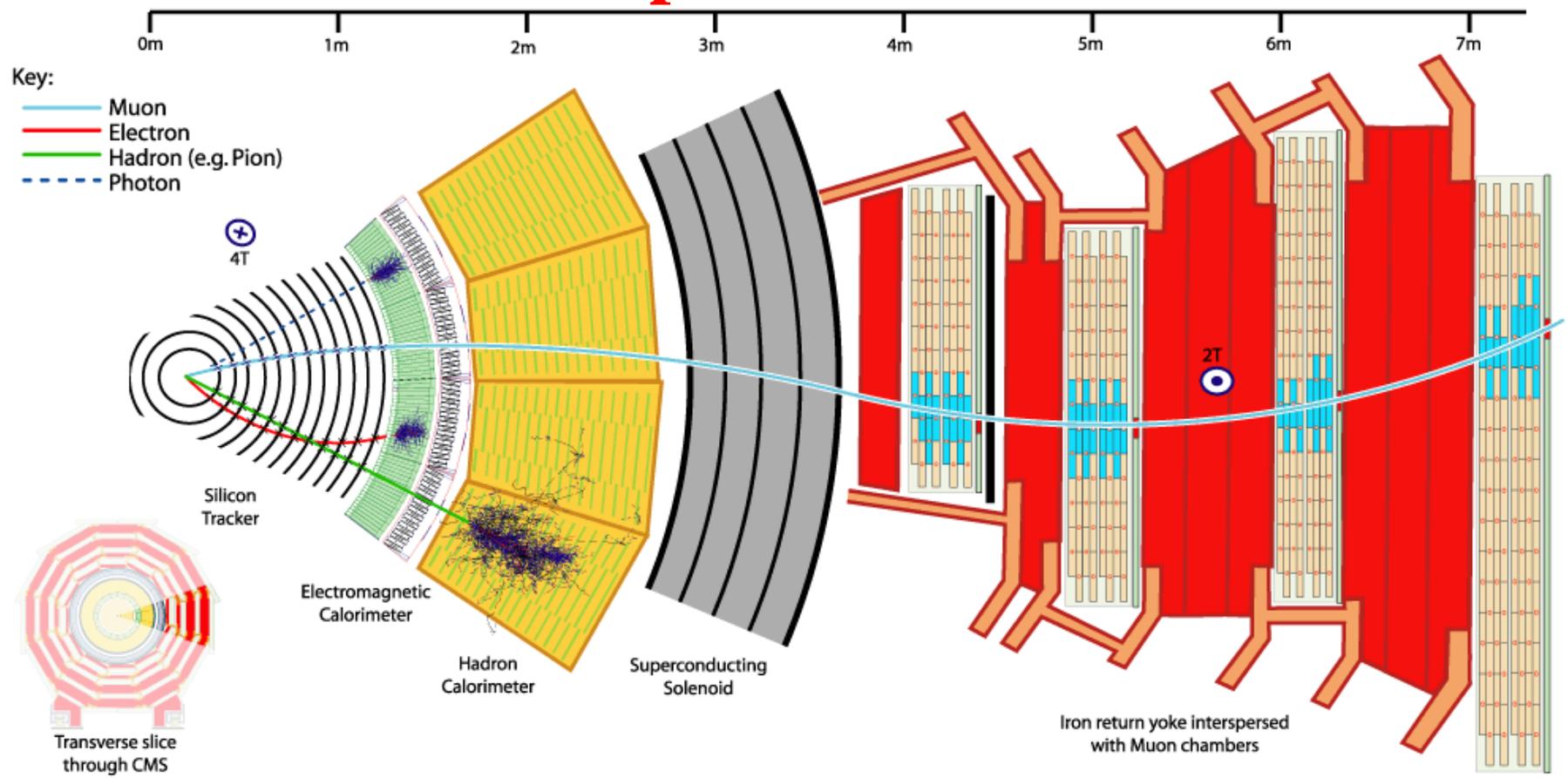
■ Una volta prodotte le particelle cosa dobbiamo misurare?

- Carica
- Direzione
- Energia
- Impulso
- Massa (tipo di particella)
- Tempo di vita

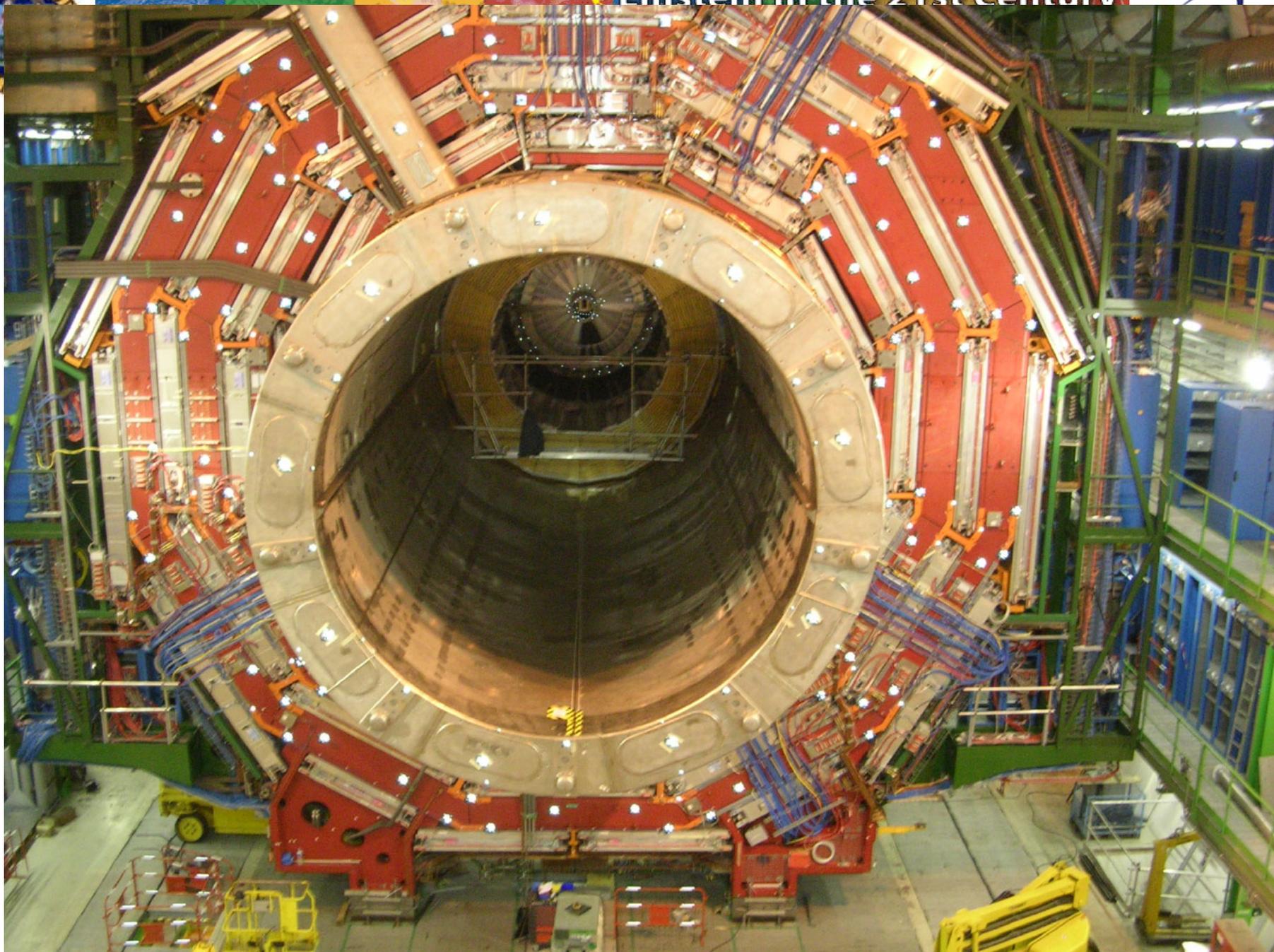




per LHC



12500 t

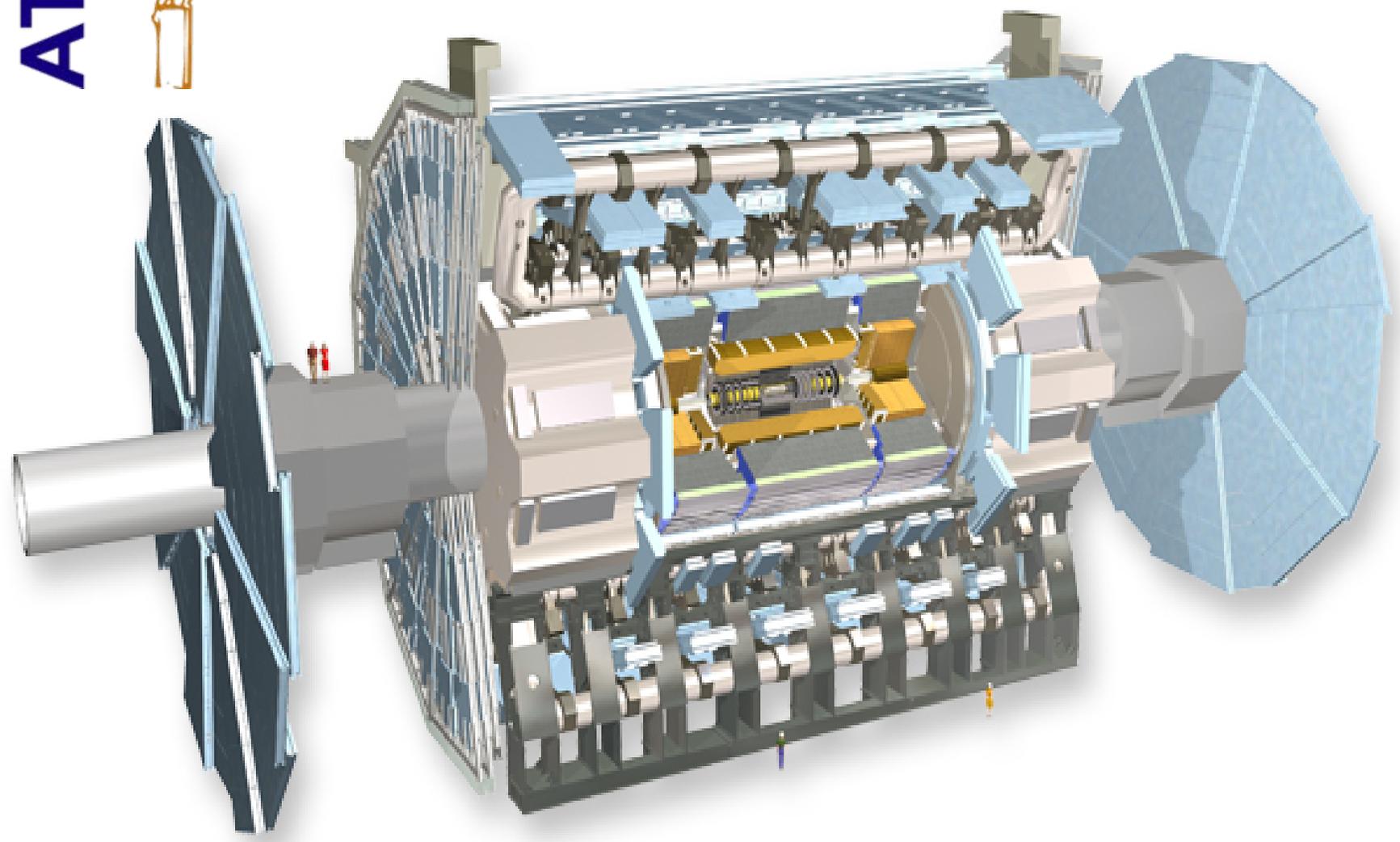


onale
cleare

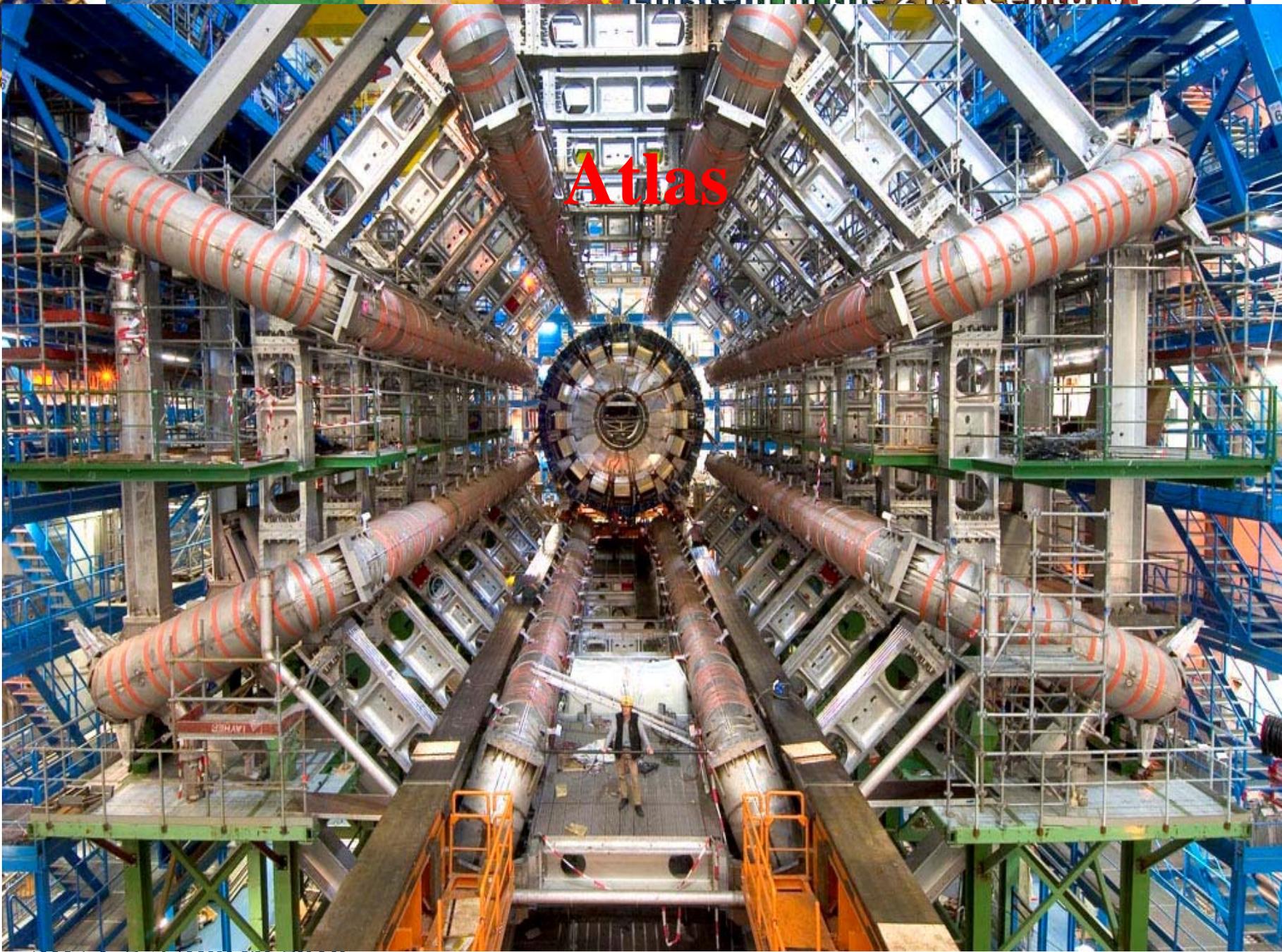
ATLAS



Einstein in the 21st Century A Toroidal Apparatus



Atlas

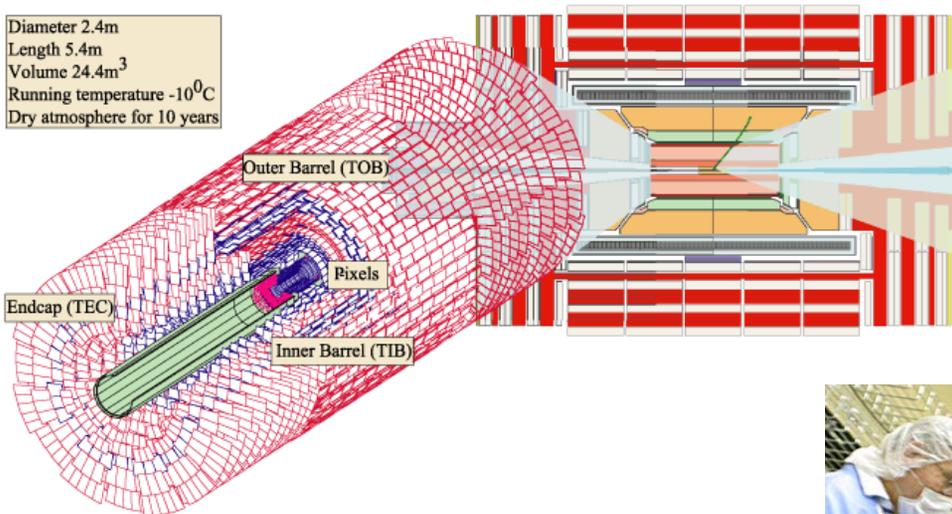


onale
cleare

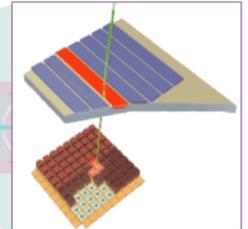


- Elementi sensibili a passaggio particelle cariche (silici)
- In campo magnetico: misuro traiettoria \Rightarrow curvatura \Rightarrow momento

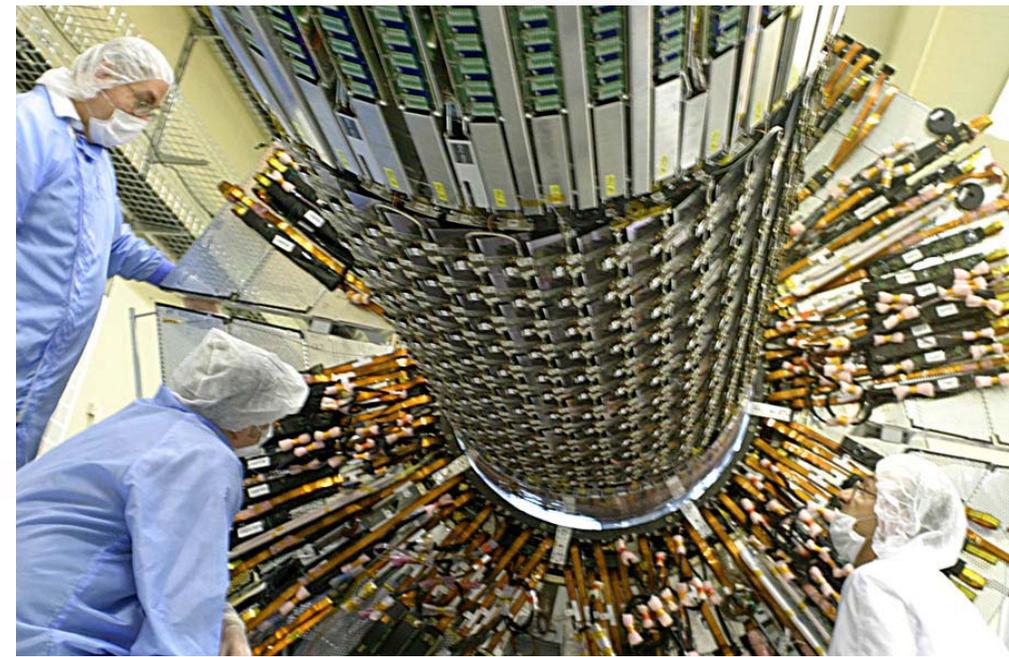
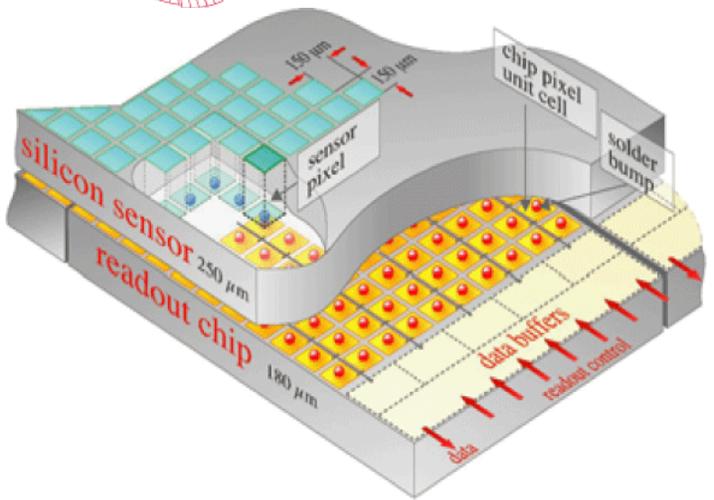
Diameter 2.4m
 Length 5.4m
 Volume 24.4m³
 Running temperature -10⁰C
 Dry atmosphere for 10 years



Silicon strip detector



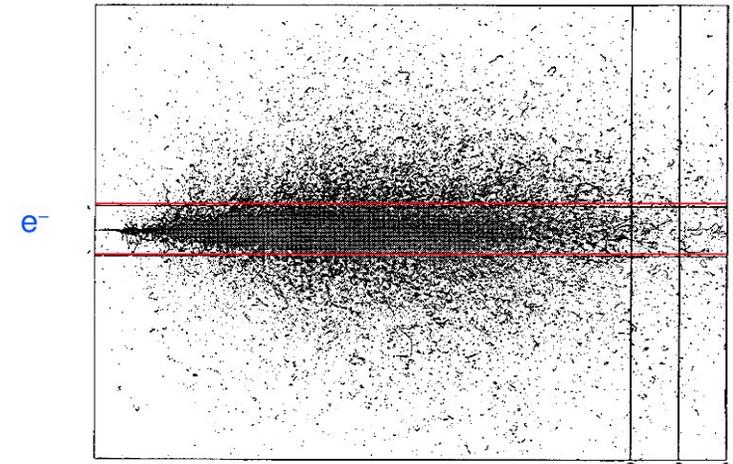
Pixel detector



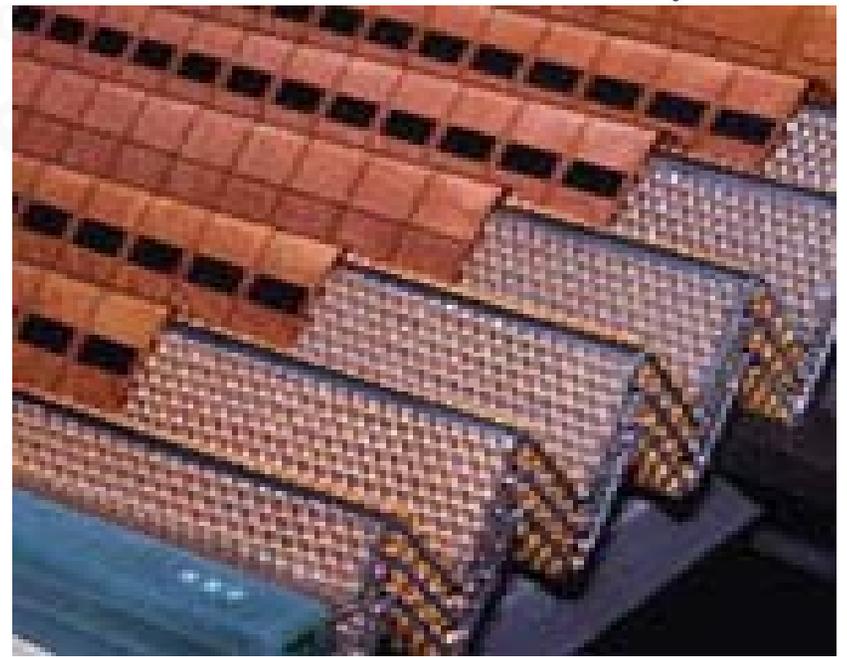
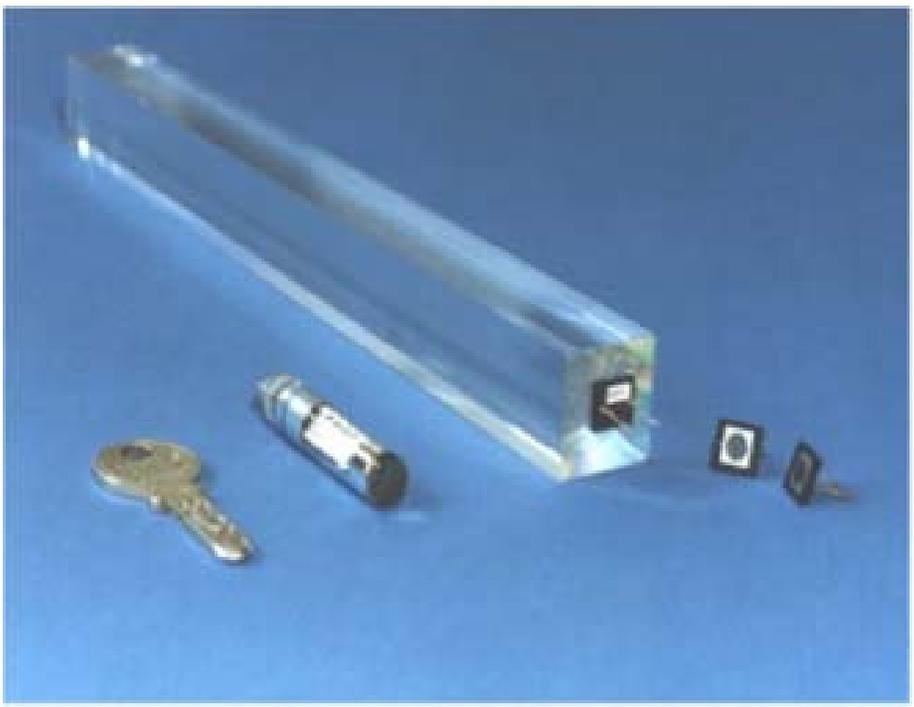


Calorimetro e.m. (e, γ)

- Elettroni e fotoni sono assorbiti dal calorimetro elettromagnetico
- Producono luce che viene raccolta e misurata
- La quantita' di luce e' proporzionale all'energia della particella



23 25 27 X_0
 1 X_0 = 0.9 cm



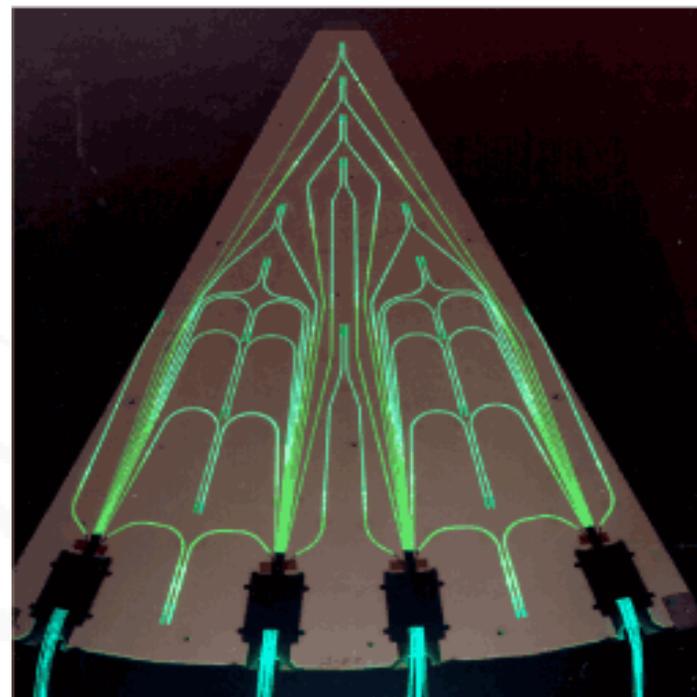


Einstein in the 21st Century

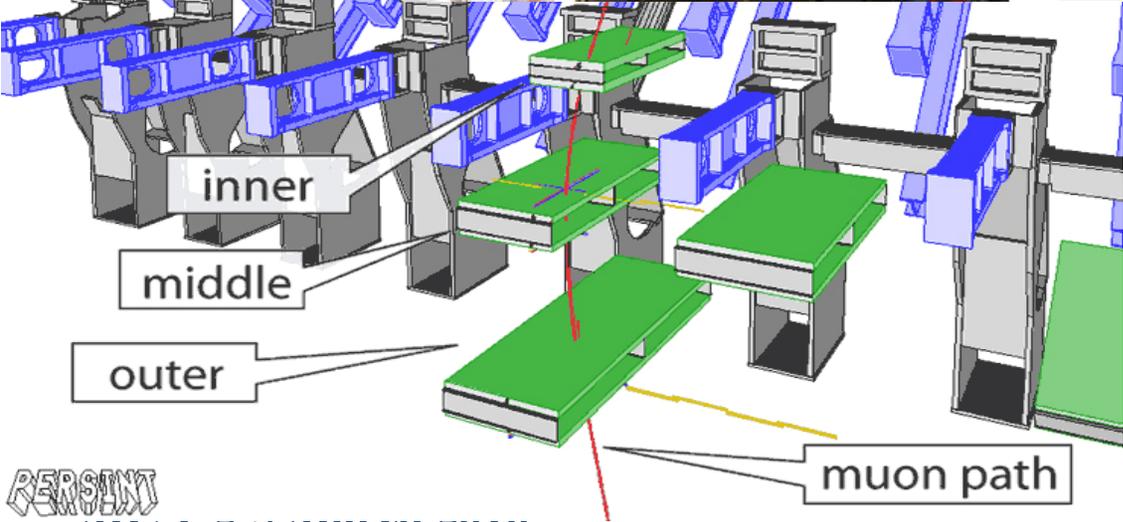
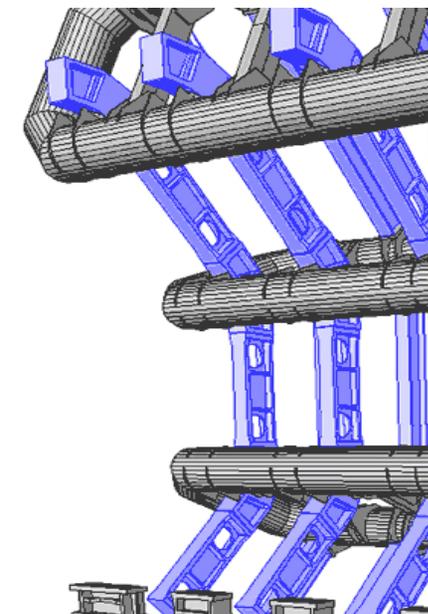
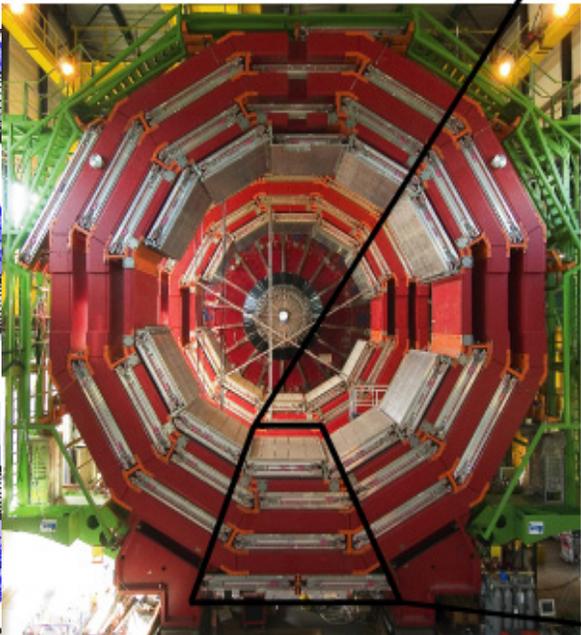
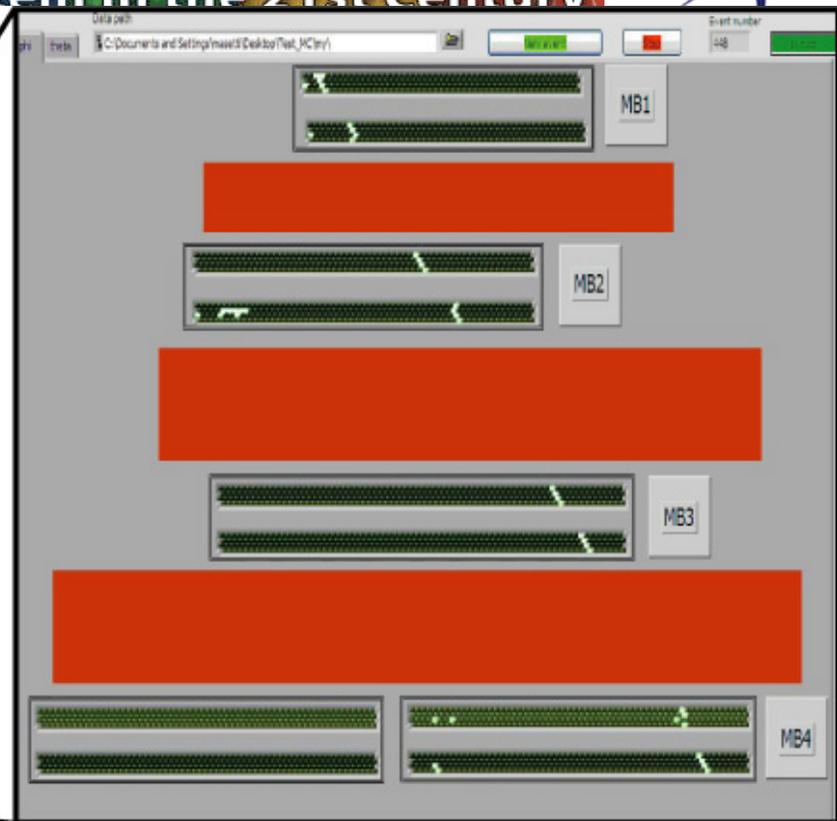
Calorimetro adronico



- Concettualmente simile a quello e.m.
- Serve piu' pesante e profondo (sciami adronici sono piu' profondi)
- Materiale assorbitore (Fe Cu) + materiale attivo (produce luce poi raccolta)

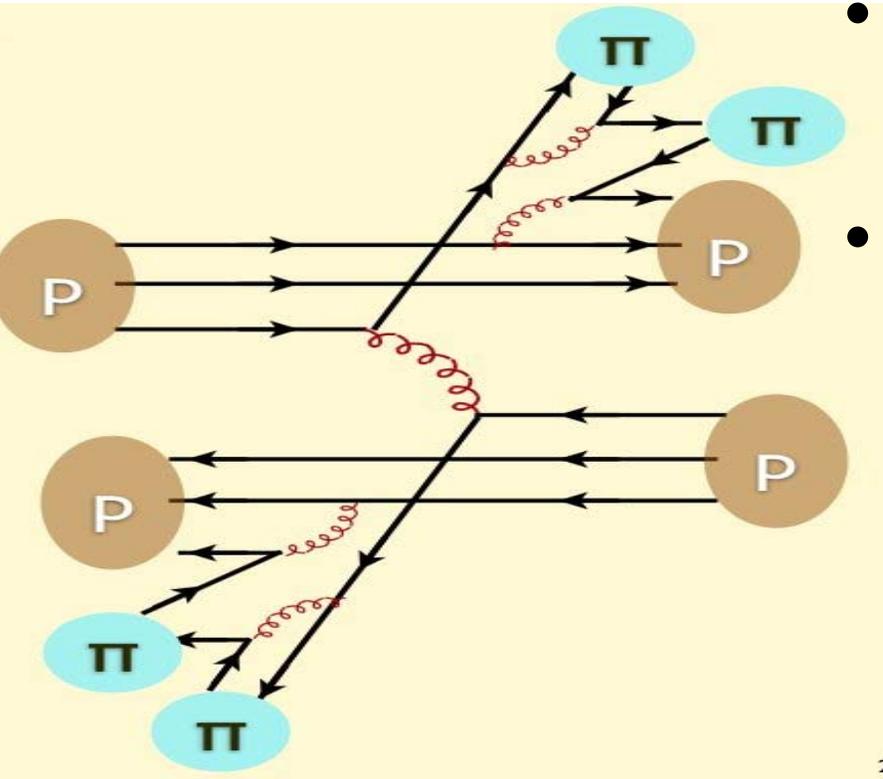


MC 1-2-3 Marzo 2010



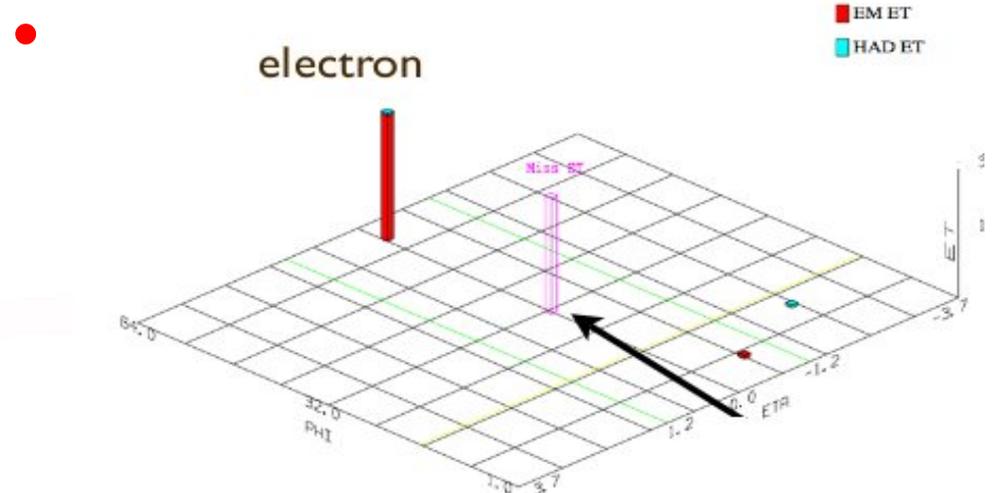
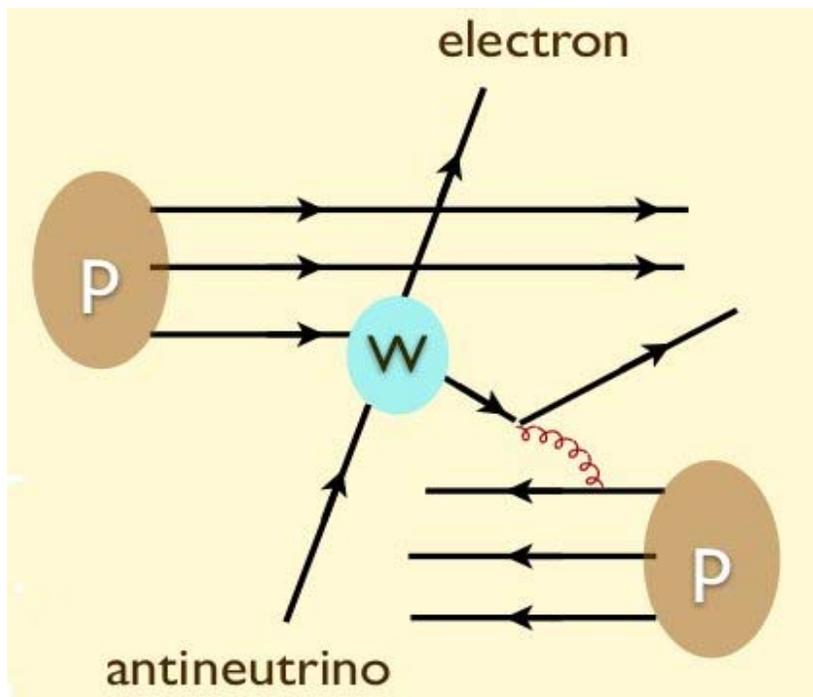


- Le interazioni primarie producono quark
- I quark non vivono da soli
- Si “rivestono” di adroni: ecco un Jet
- I Jet si “ricordano” del quark iniziale che li ha generati





- Vedere l'invisibile!
- Con i nostri rivelatori vediamo tutto **tranne i neutrini**
- E altre particelle che non interagiscono (vedi dopo)



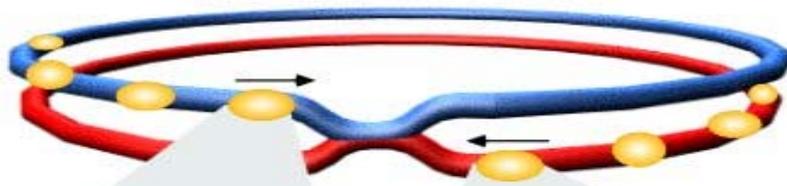


- Sommo tutto quello che vedo
(e , γ , h , μ , ...)
- Nel piano trasverso ai fasci l'energia si deve bilanciare
- Se manca, allora mi sono perso qualcosa in quella direzione (neutrino o altro)
- Rivelatore deve essere ermetico
- E' difficile da fare (cavi, tubi, servizi...): **bisogna stare attenti!**



Einstein in the 21st Century

Selezione (Trigger)



Proton-Proton
 Protons/bunch 10^{11}
 Beam energy 7 TeV (7×10^{12} eV)
 Luminosity 10^{34} cm⁻² s⁻¹

Bunch



Crossing rate 40 MHz

Proton



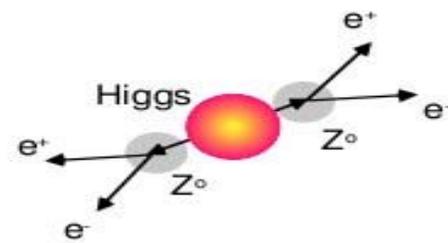
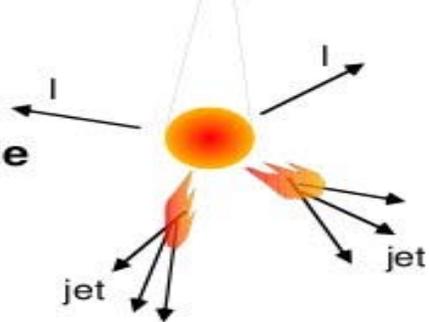
Collisions $\approx 10^7 - 10^9$ Hz

Parton

(quark, gluon)



Particle



Higgs

SUSY.....

Selection of 1 in 10,000,000,000,000



Einstein in the 21st Century Trigger



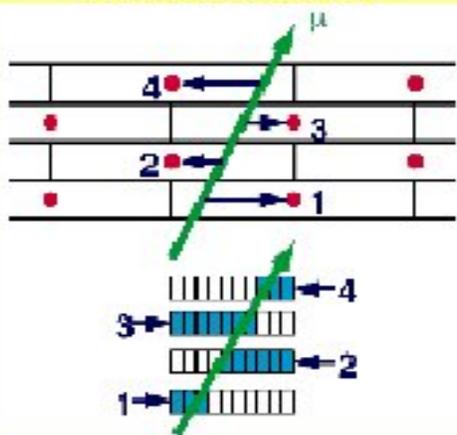
- Ogni 25 ns arriva una nuova interazione
40'000'000 al secondo
- Io ne posso salvare solo 100/200
- Devo selezionare 100 eventi su 40M
- Devo capire (velocemente) se un evento e'
interessante e vale la pena salvarlo oppure no
- Cerco e , μ , j , MET, ... (o combinazioni) con alta
energia
- Se li vedo, allora registro l'evento per l'analisi
successiva



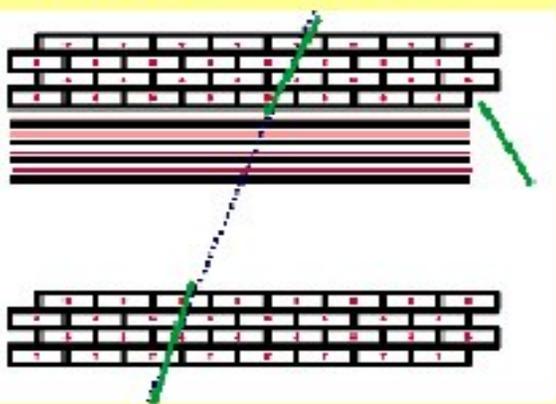
Einstein in the 21st Century Trigger Muoni



Drift Tubes

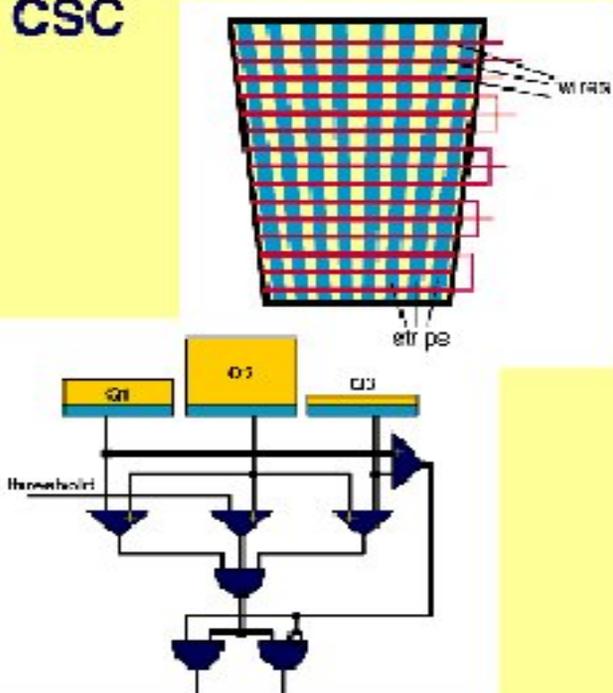


Meantimers recognize tracks and form vector / quartet.

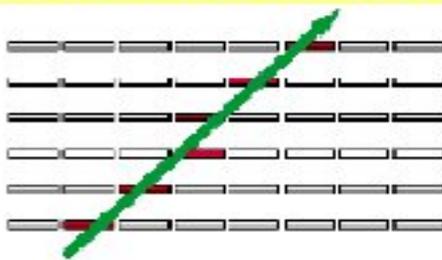


Correlator combines them into one vector / station.

CSC

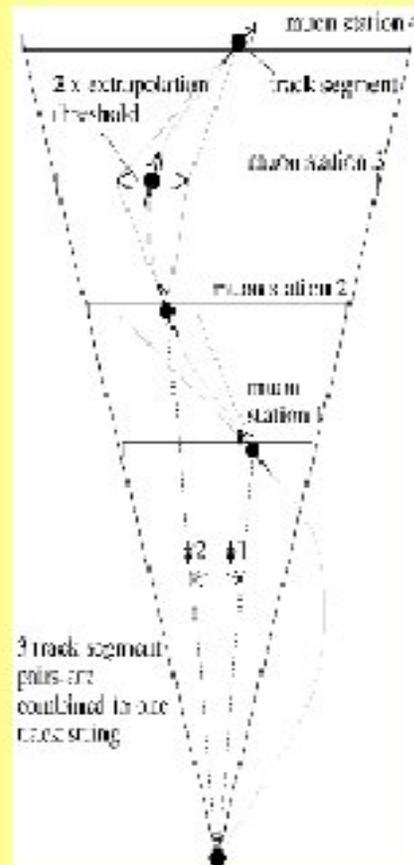


Comparators give 1/2strip resol.



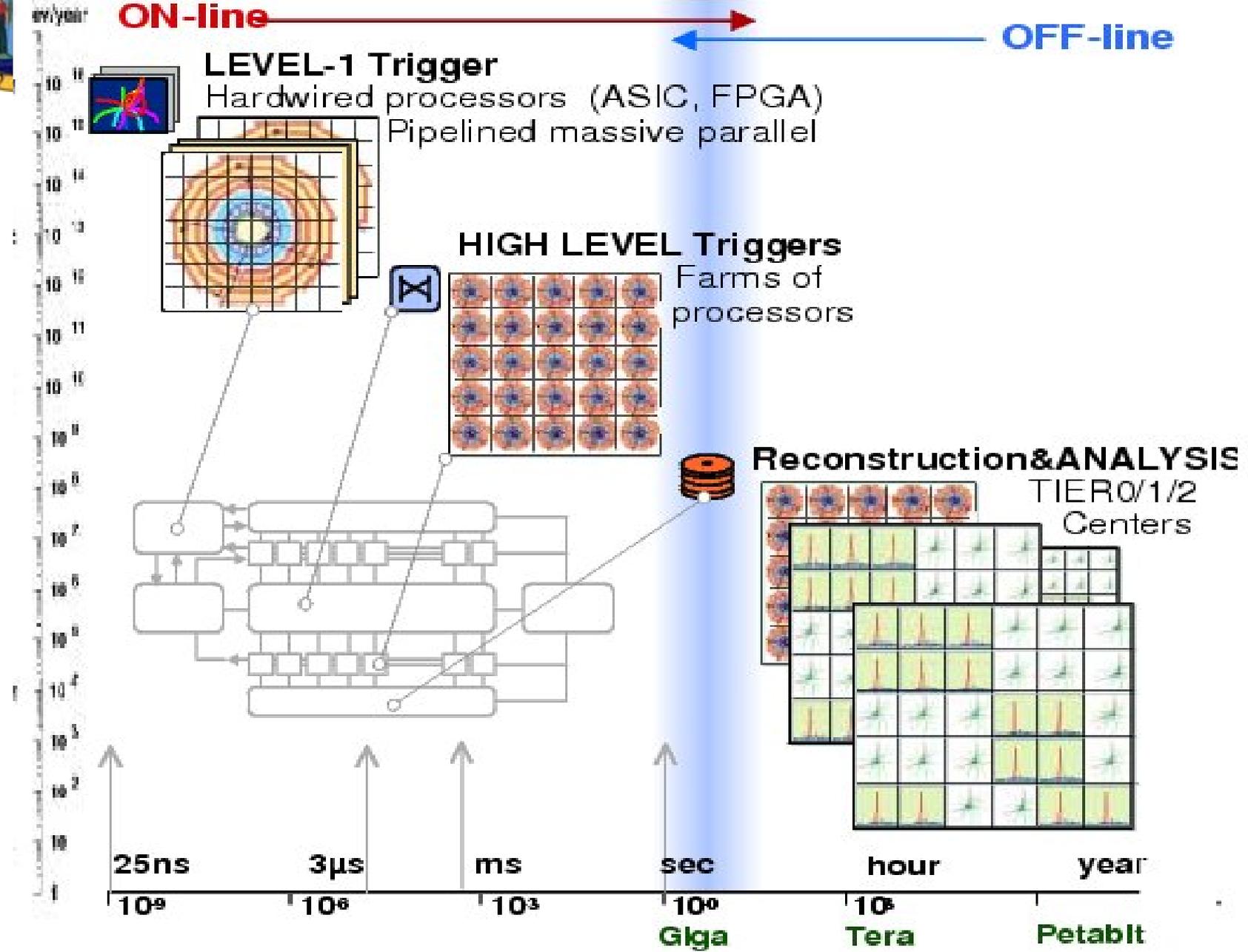
Hit strips of 6 layers form a vector.

Track Finder



3 track segment pairs are combined to one track string

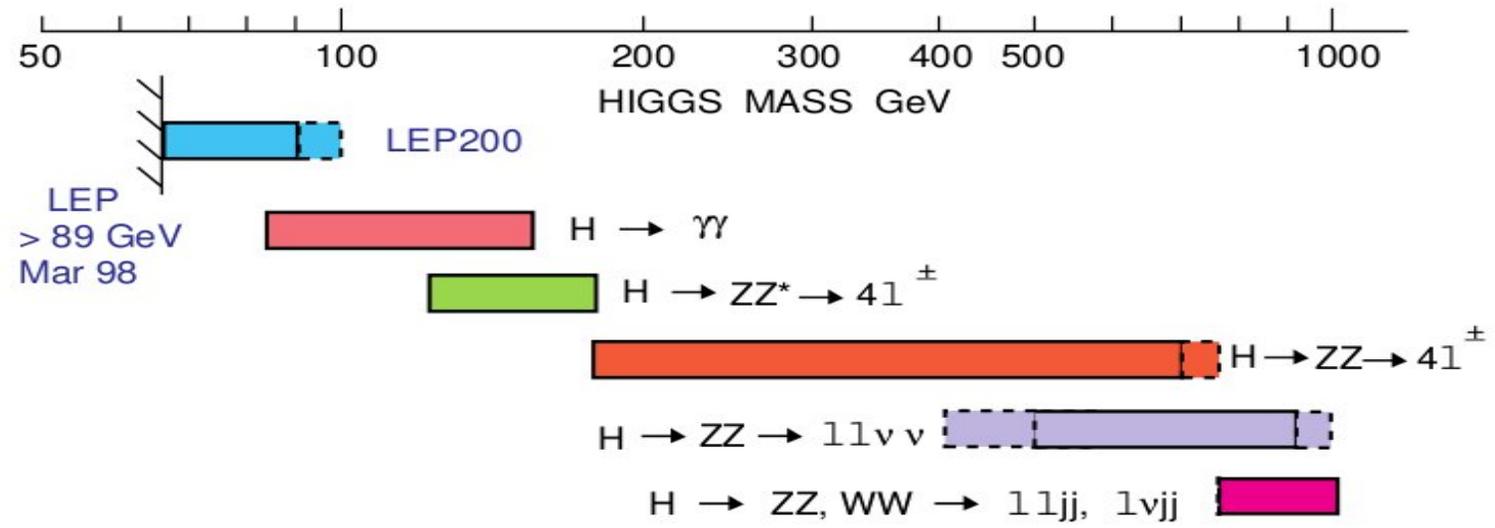
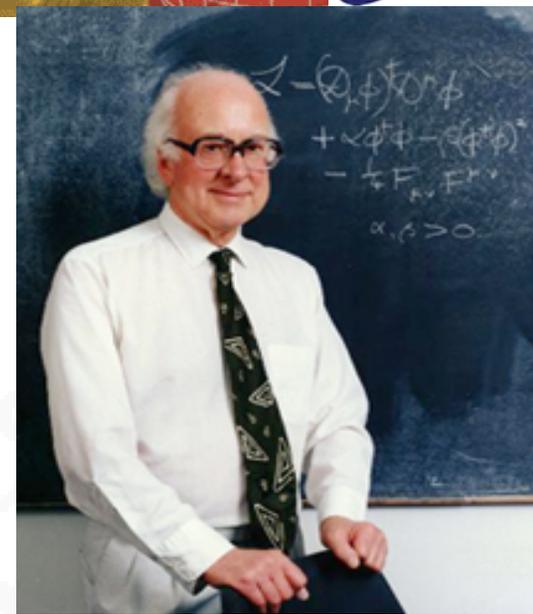
combines vectors, forms a track, assigns p_t value.





Cosa spero di vedere?

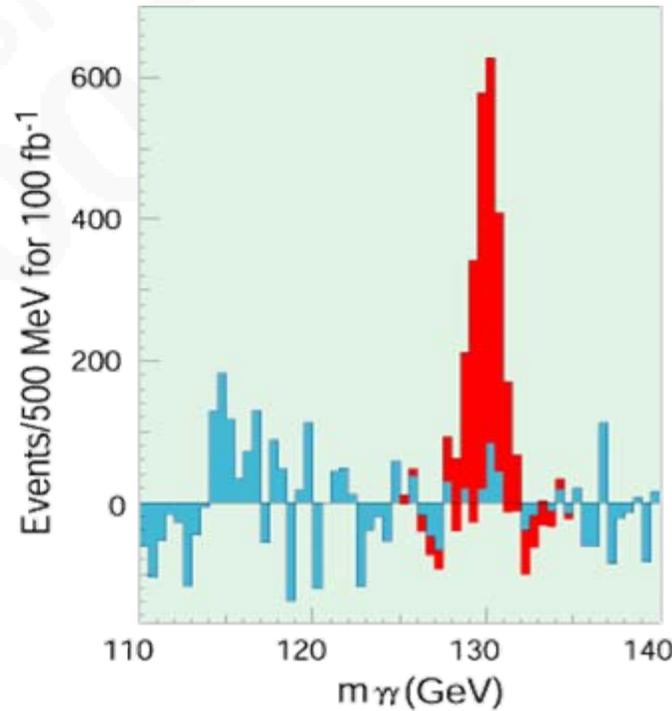
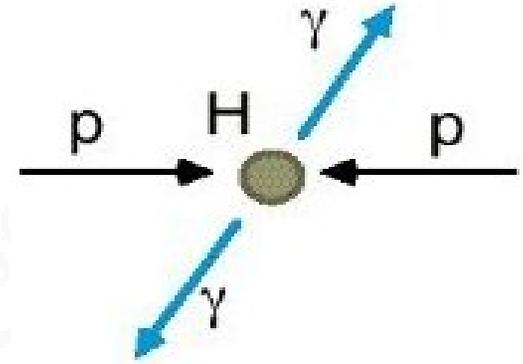
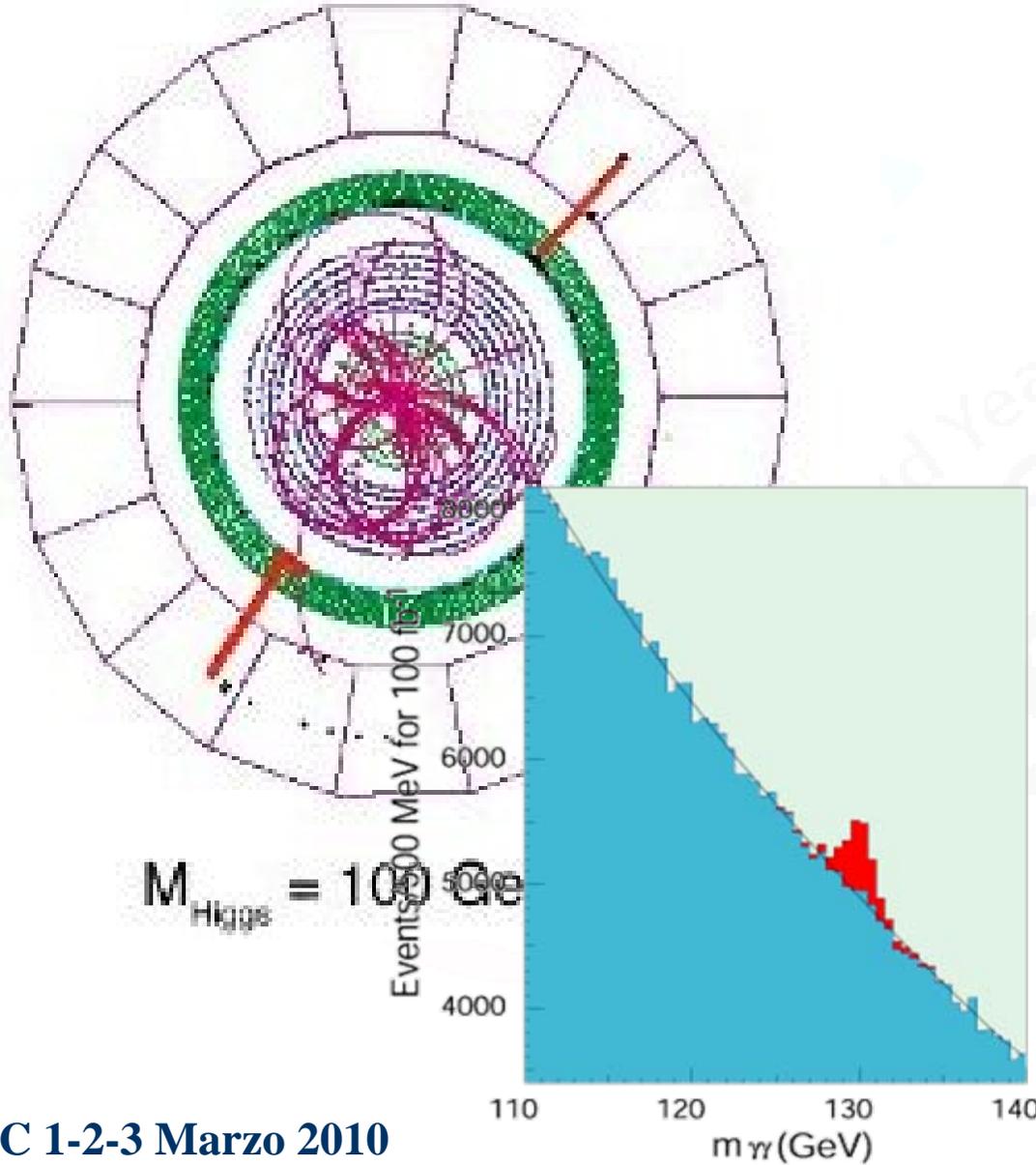
- **In primis: l'Higgs!**
- Come lo vedo?
- Prodotto da interazione p-p
- Osservo i prodotti del decadimento
- Diversi canali possibili





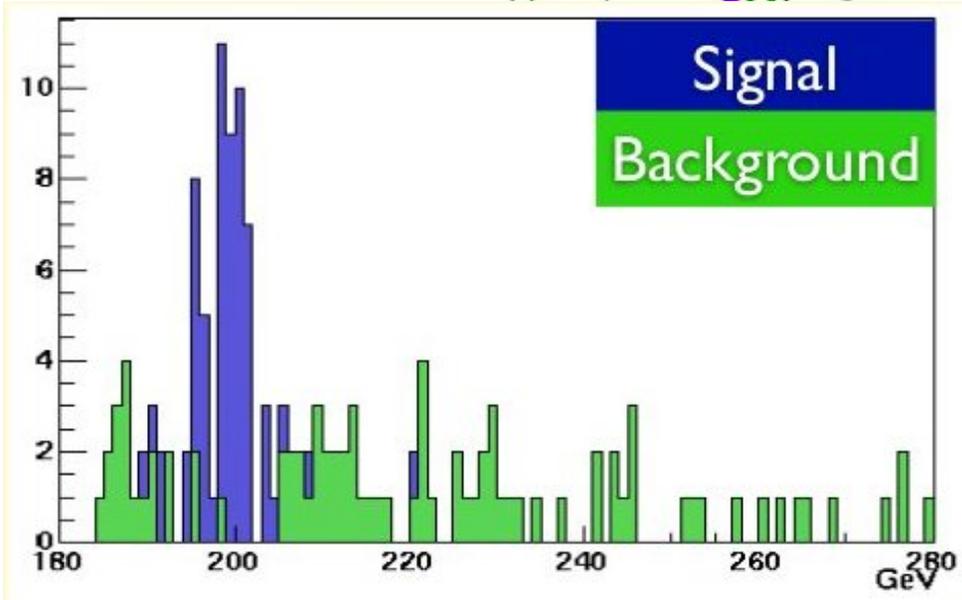
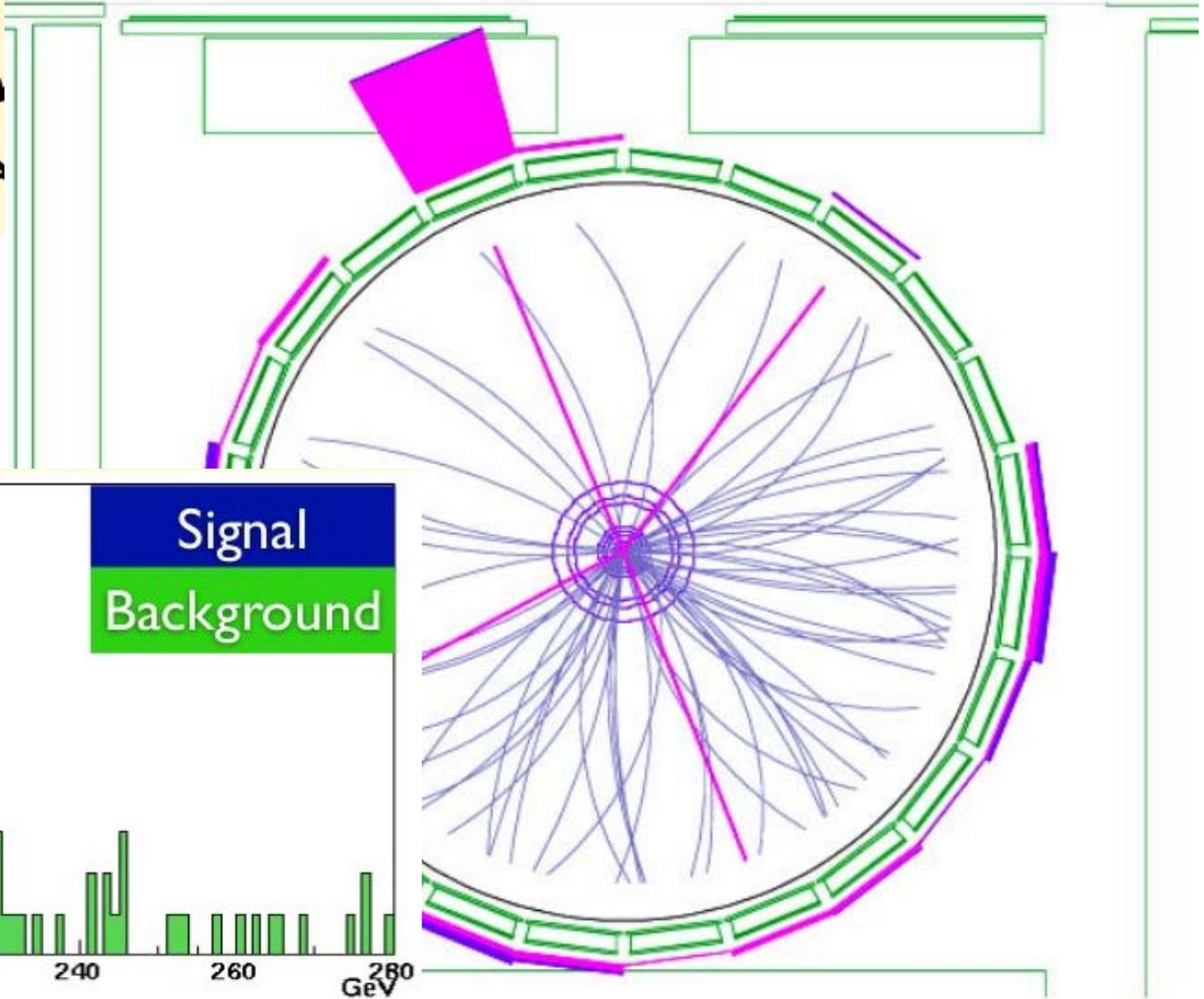
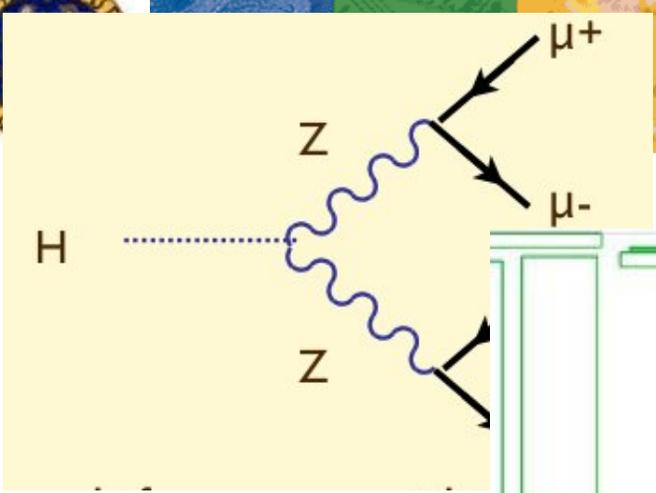
Einstein in the 21st Century

Esempio: $H \rightarrow \gamma\gamma$



Einstein in the 21st Century

$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$





Che altro? SuperSimmetria

Einstein in the 21st Century

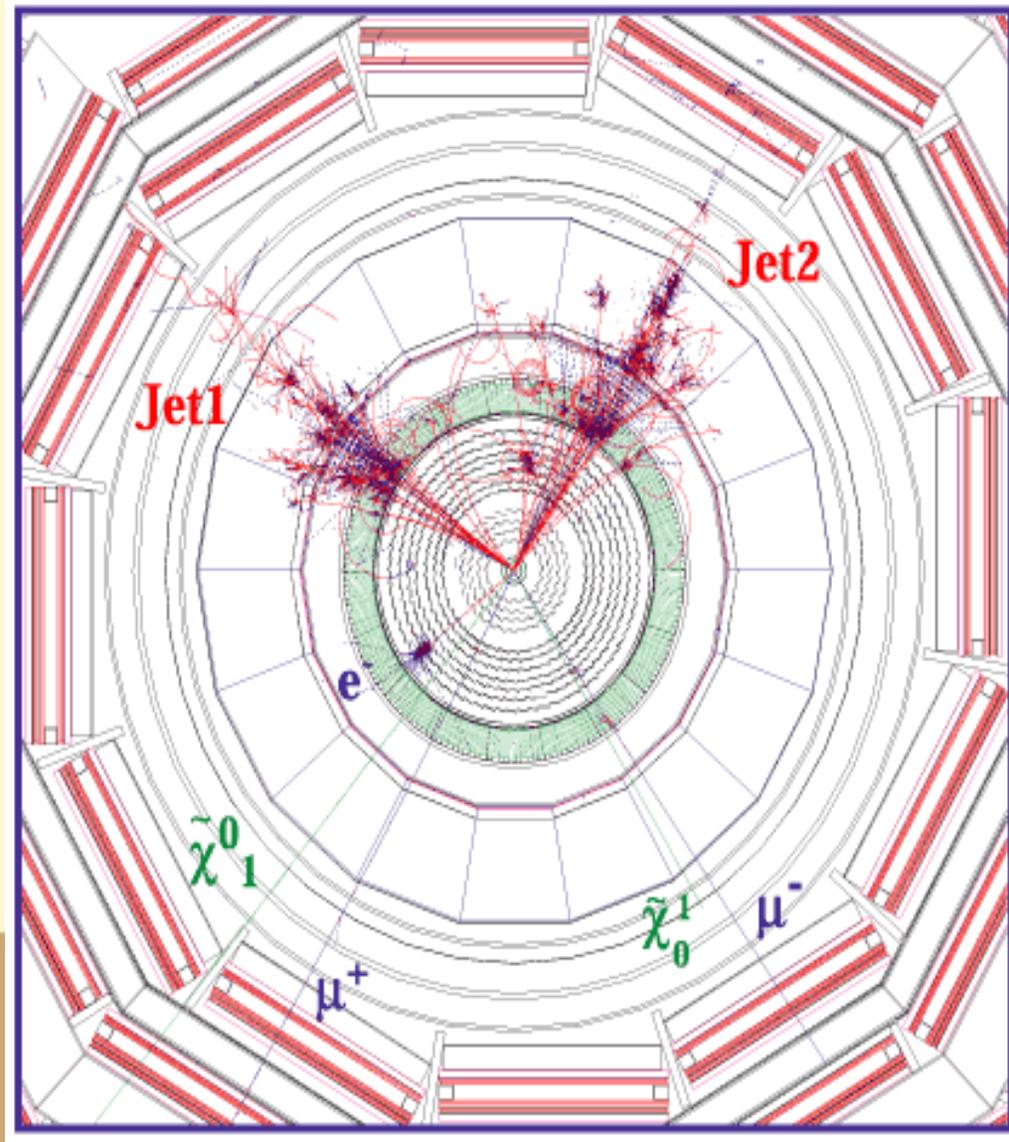
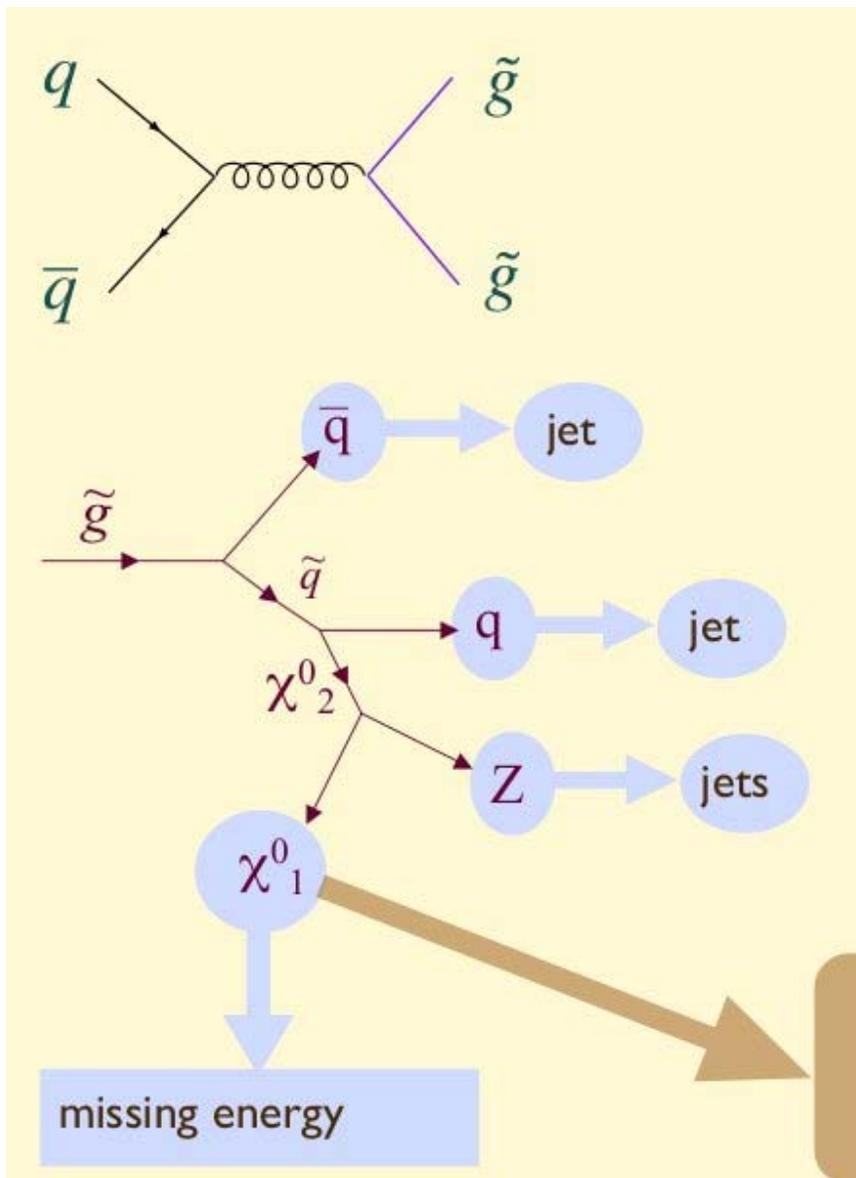


- Nuova teoria che sistema alcuni dei problemi del modello standard
- Prezzo da pagare: per ogni particella che conosciamo, esiste un partner supersimmetrico
 - Elettrone \rightarrow selettrone
 - Quark \rightarrow squark
 - Fotone \rightarrow fotino ...
- Abbiamo i nomi, ma non le abbiamo mai viste!
- Potremmo essere in grado di vederle a LHC
- La **s**particella piu' leggera e' stabile e interagisce poco: **Candidata** Materia Oscura



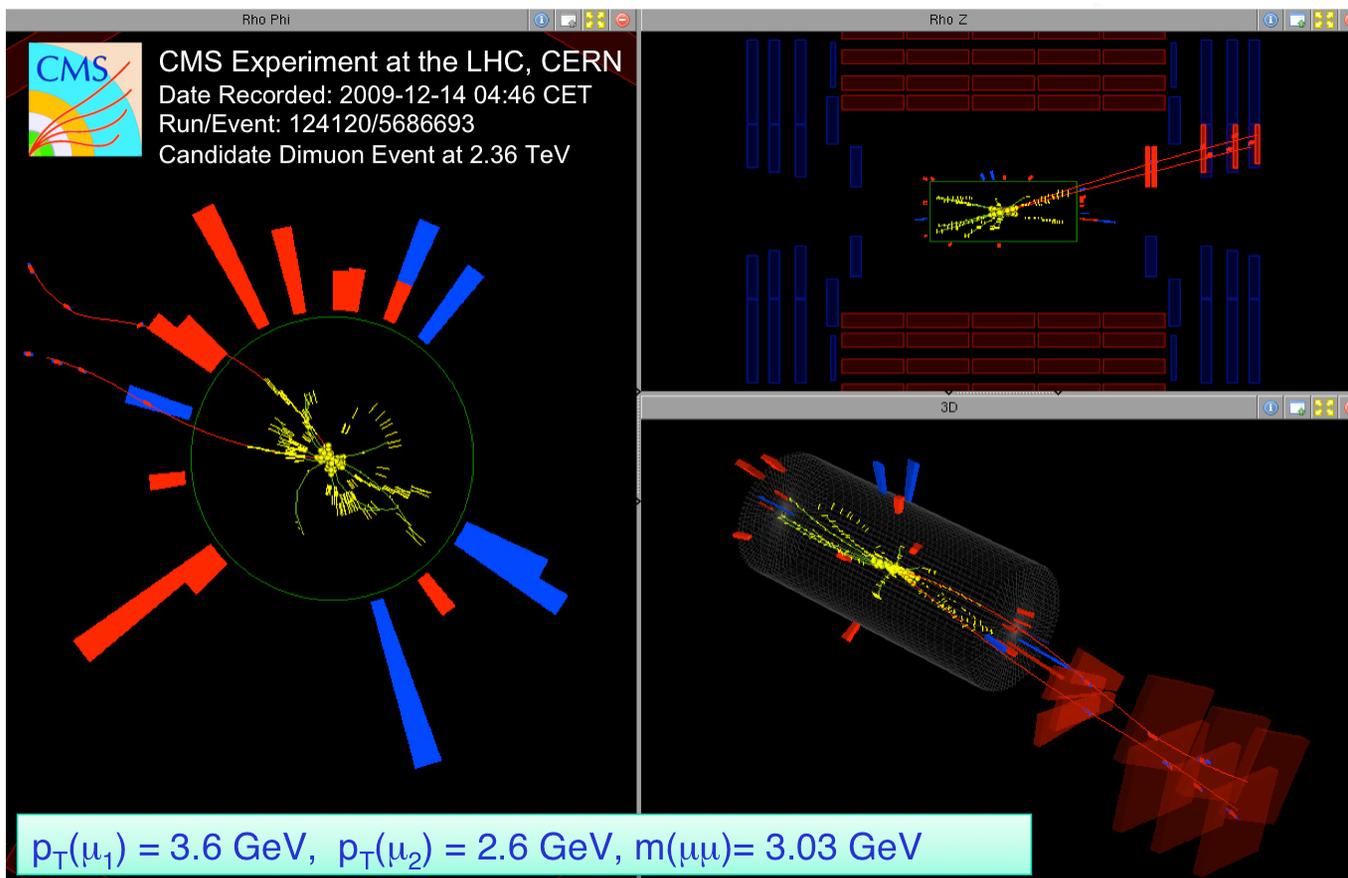
Einstein in the 21st Century

Esempio di Susy

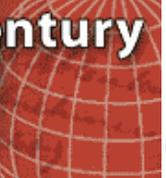
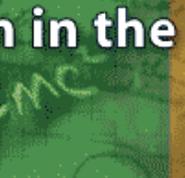
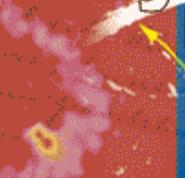




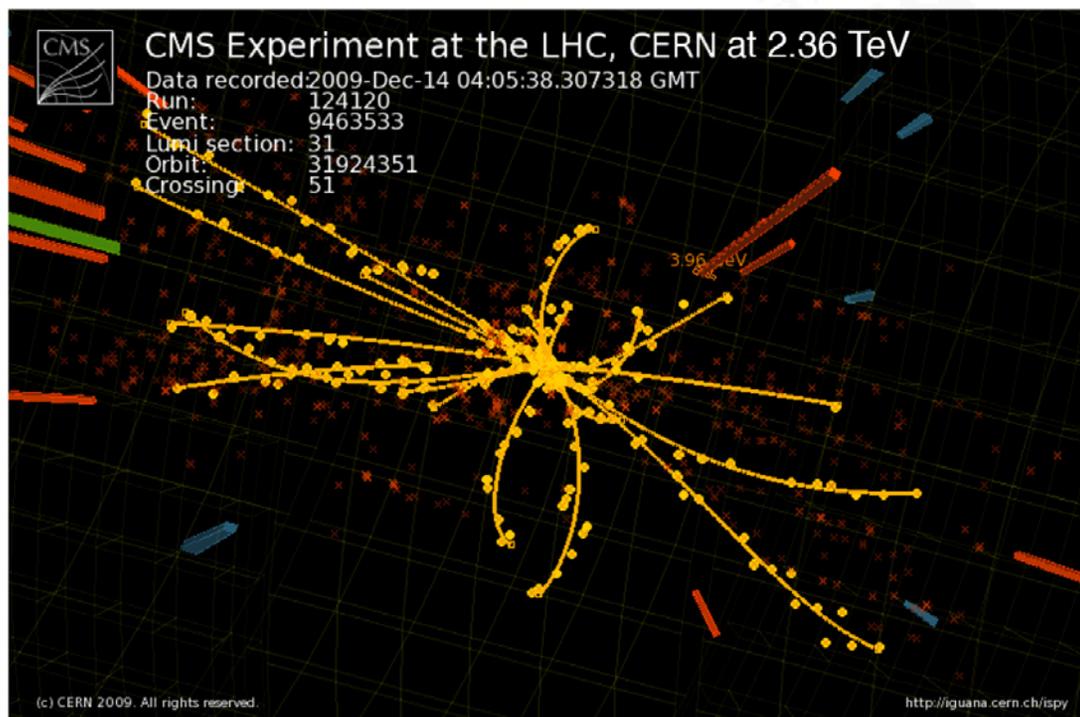
È partito LHC (novembre-dicembre 2009)!!!

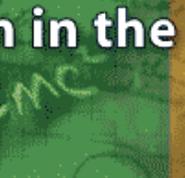
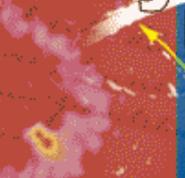


MC 1-2-3 Marzo 2010



Record di Energia: 2.36 TeV





- Guardando dentro il piu' grande microscopio del mondo
- **Potremmo vedere l'universo!**



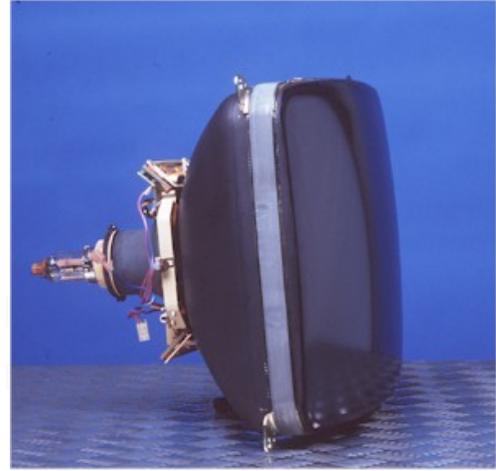
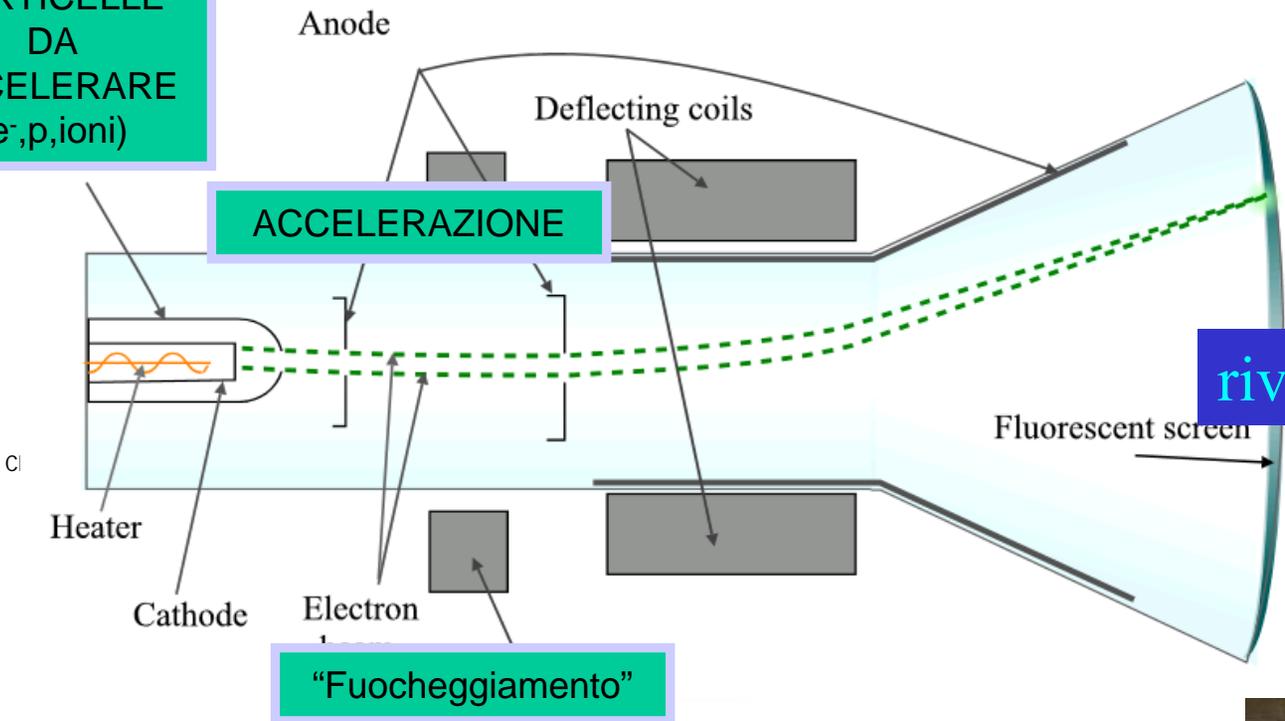


Cosa sono gli Acceleratori?

- Qual è l'acceleratore più comune?
il tubo catodico

From Wikipedia, the free encyclopedia.

GENERAZIONE PARTICELLE DA ACCELERARE (e⁻, p, ioni)

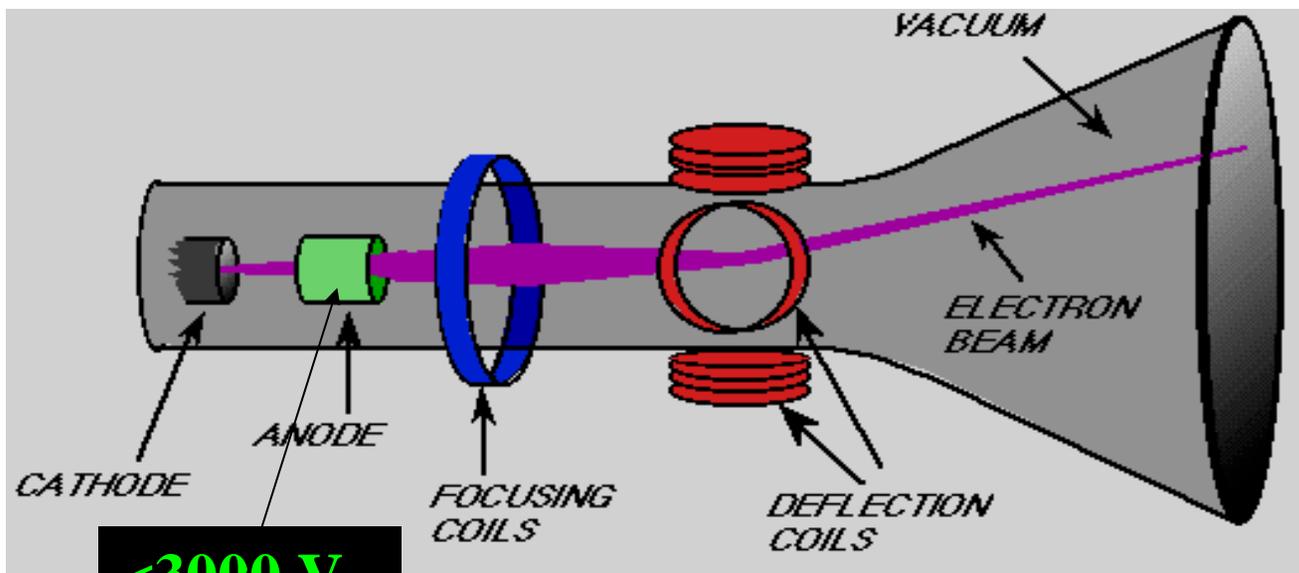


rivelatore





L'acceleratore di casa



<3000 V



Clip video

Una particella di carica e passando attraverso una differenza di potenziale ΔV acquista una energia cinetica $E = e \Delta V$.

Per comodita' l'energia si puo' misurare in **electron Volt** :

1 eV = energia acquistata da un elettrone (carica $e = 1.6 \times 10^{-19}$ Coulomb) nel passaggio attraverso una d.d.p. **$\Delta V = 1$ Volt.**

1 TeV = 10^{12} eV...

MC 1-2-3 Marzo 2010



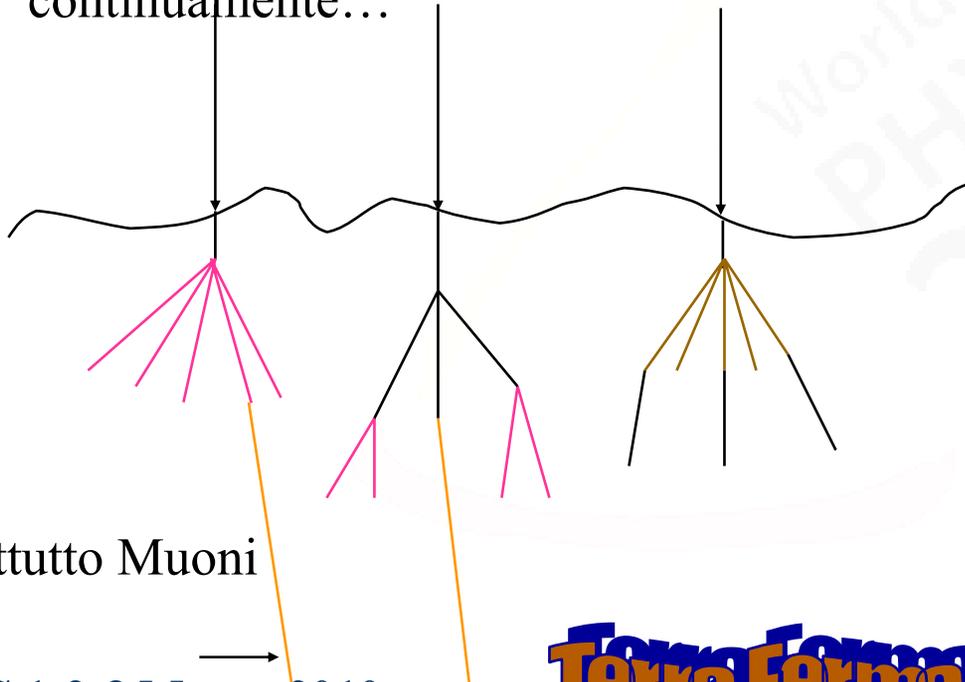
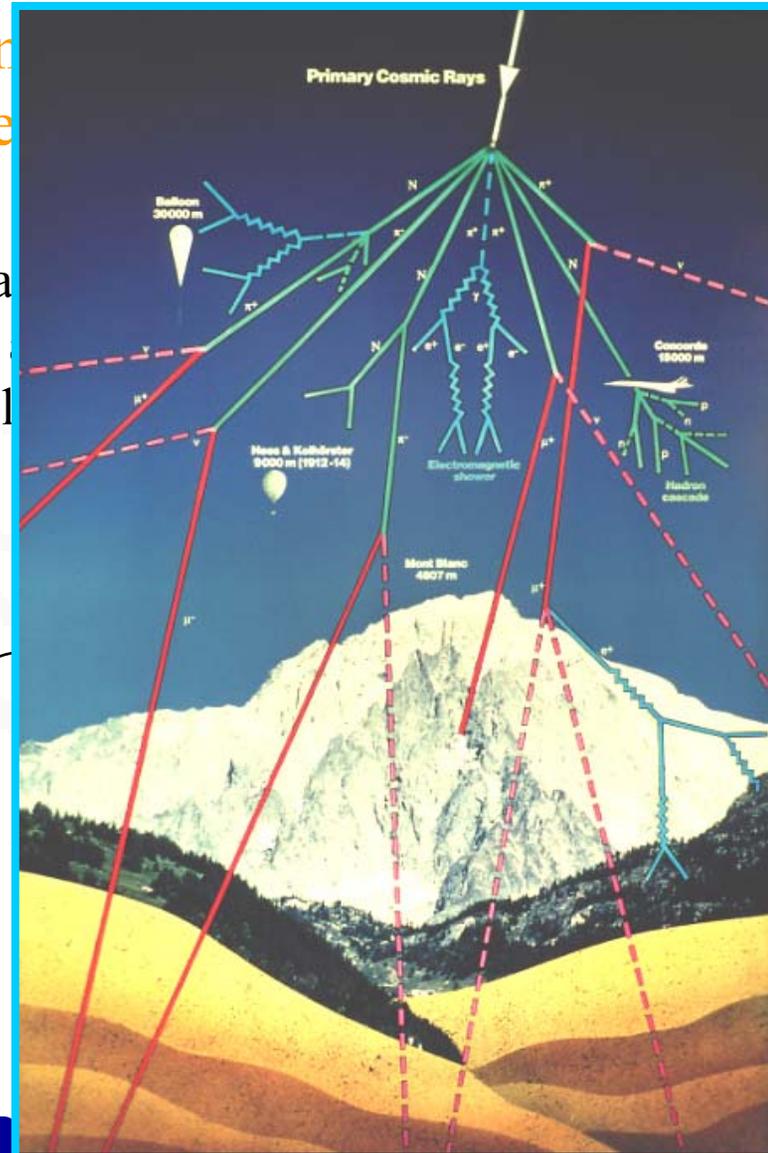
Einstein in the 21st Century

Una sorgente naturale di particelle



- I fisici delle particelle scoprirono ben prima di oggi che vi era una copiosa sorgente di particelle: i raggi cosmici

I raggi cosmici sono particelle cariche di alta energia che provengono dallo spazio e arrivano fino alla superficie della terra. Collisions fra raggi cosmici e molecole d'aria continuano a avvenire continuamente...



Soprattutto Muoni

MC 1-2-3 Marzo 2010





Perche' gli acceleratori ?



I primi acceleratori di particelle furono realizzati per studiare **i costituenti più piccoli della materia.**

Un fascio di particelle (elettroni, positroni, protoni, ioni,...) che colpisce un bersaglio o collide con un altro fascio produce reazioni nucleari, annichilazioni e **crea nuove particelle.**

Lo studio di questi fenomeni ci dà informazioni sui costituenti ultimi del nostro mondo.

Inoltre per ottenere altre “luci” (sonde) che ci permettano di “vedere” dove le altre non possono

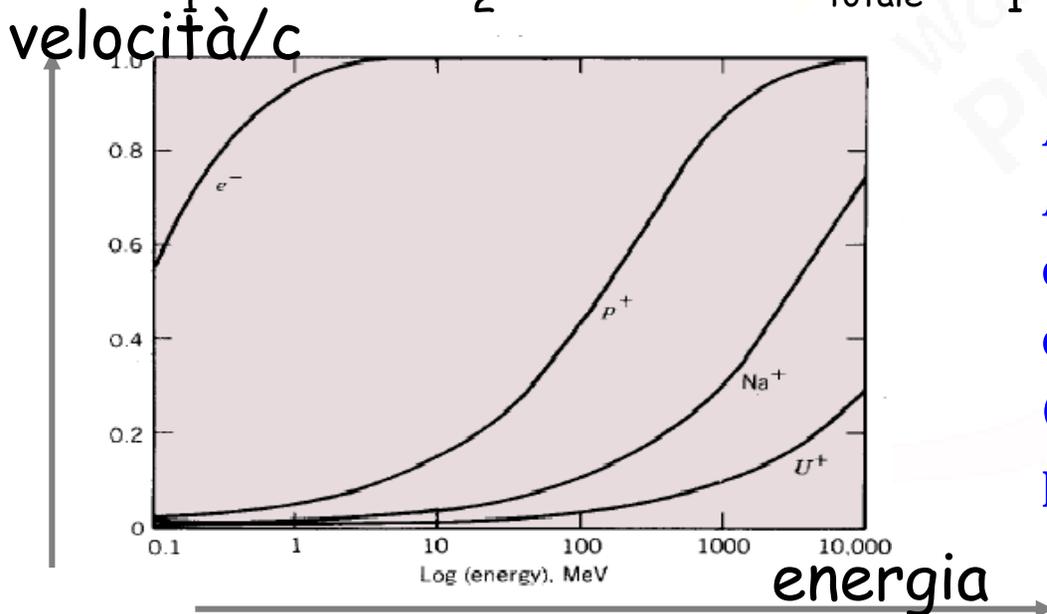
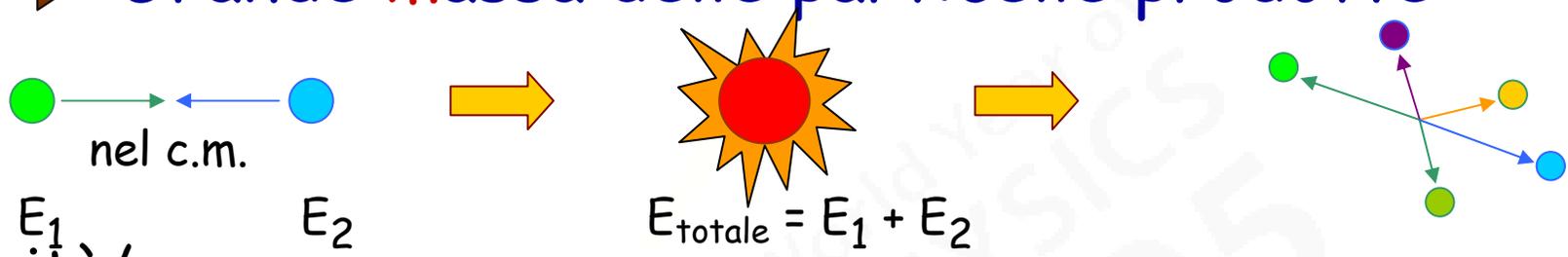


Perchè “alte energie” ?

$$E = mc^2$$

Grande energia delle particelle incidenti ($E_1 + E_2$)

Grande massa delle particelle prodotte



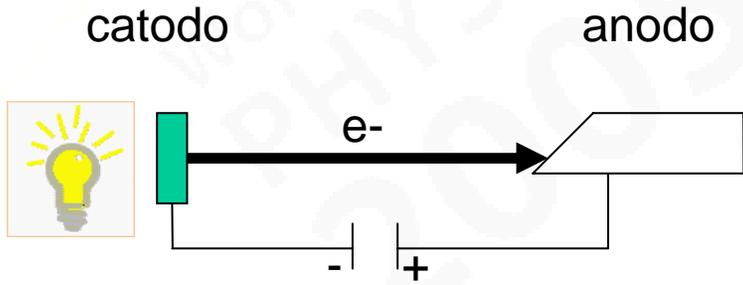
Alla crescita di energia è
 Anche associata una crescita
 di velocità entro i limiti imposti
 dalla relatività ristretta
 (importante per fare “correre”
 particelle che vivono poco).



L'esempio più semplice di generatore di elettroni è un filamento caldo, come quello di una lampadina

Gli elettroni sono estratti dal catodo e, viaggiando verso l'anodo positivo, acquistano un'energia uguale alla loro carica moltiplicata per la differenza di potenziale applicata tra catodo e anodo

I **protoni** sono il nucleo dell'atomo di idrogeno. Applicando la differenza di potenziale al gas di idrogeno si accelerano i protoni



La differenza di potenziale tra due elettrodi viene usata per accelerare le particelle.

$$\Delta E = q\Delta V$$

L'energia massima raggiungibile è data dal limite di tensione oltre il quale si possono avere scariche elettriche



Tipologie di acceleratori

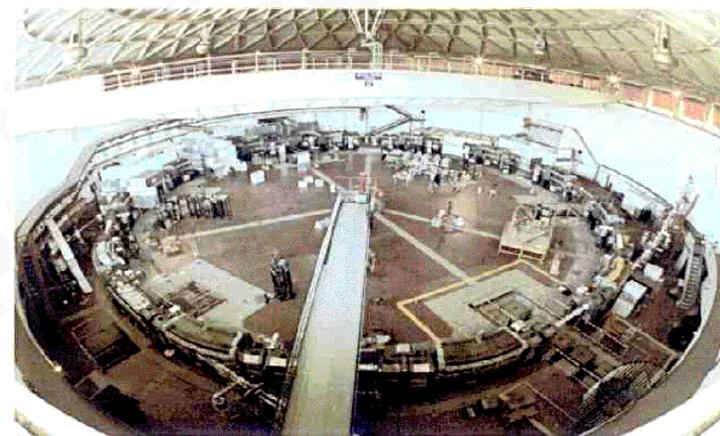
I diversi tipi di acceleratori si suddividono in base al processo di accelerazione in:

Lineari



Circolari

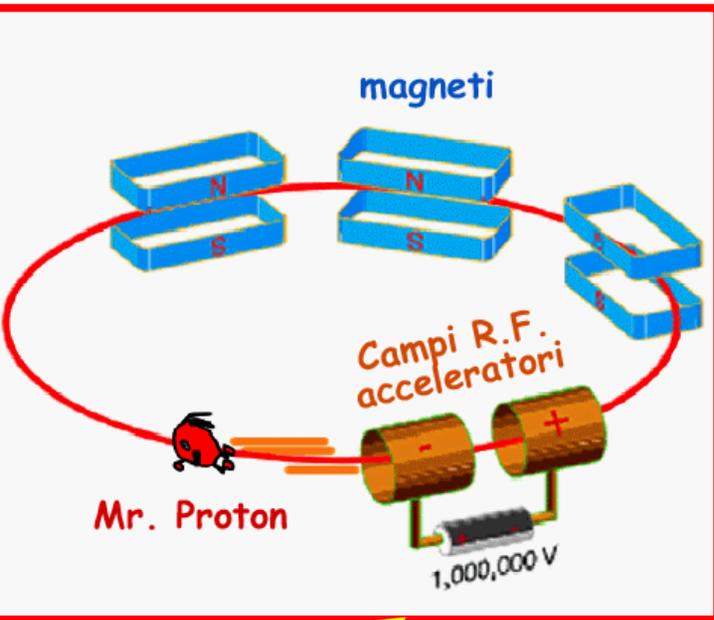
- Ciclotrone 1930*
- Betatrone 1940*
- Sincrotrone 1945*
- Microtrone 1946*





Tipologie di acceleratori

Circolari



Vantaggi: Le particelle attraversano più volte la stessa cavità. Ad ogni giro tali pacchetti acquistano energia grazie al campo elettrico accelerante (a radiofrequenza)

Svantaggio: ne perdono a causa della **RADIAZIONE DI SINCROTRONE EMESSA** (a sua volta costituisce una sonda utilizzata in vari campi) nei magneti curvanti.

Una particella carica che viaggia lungo una traiettoria curva **perde energia.**

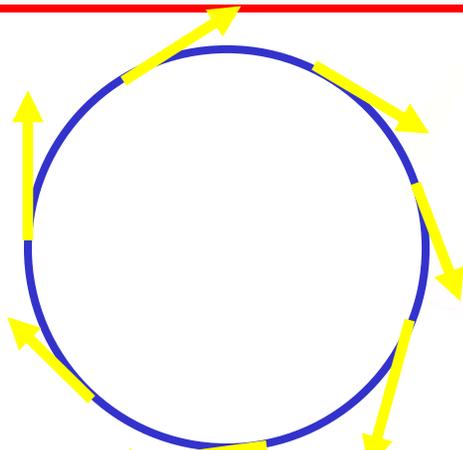
Energia persa per giro

$$U = \frac{4\pi}{3} \frac{r_o}{(mc^2)^3} \frac{E^4}{\rho}$$

Energia

Massa

Raggio di curvatura della traiettoria

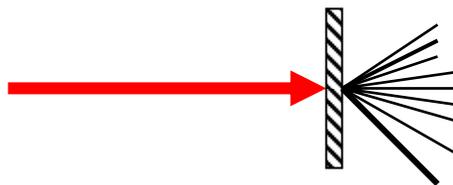




Servono energie sempre maggiori...

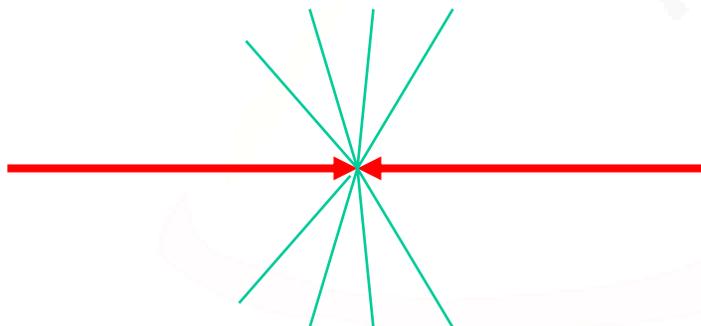
Per testare le nuove teorie i fisici delle particelle hanno bisogno di alte energie \Rightarrow
COLLISIONI FRA FASCI DI PARTICELLE!

TARGHETTA FISSA



Energia a disposizione per produrre nuove particelle: $\sim \sqrt{E_{\text{beam}}}$

COLLISIONI FASCIO-FASCIO



Energia a disposizione per produrre nuove particelle $\sim E_{\text{beam}}$

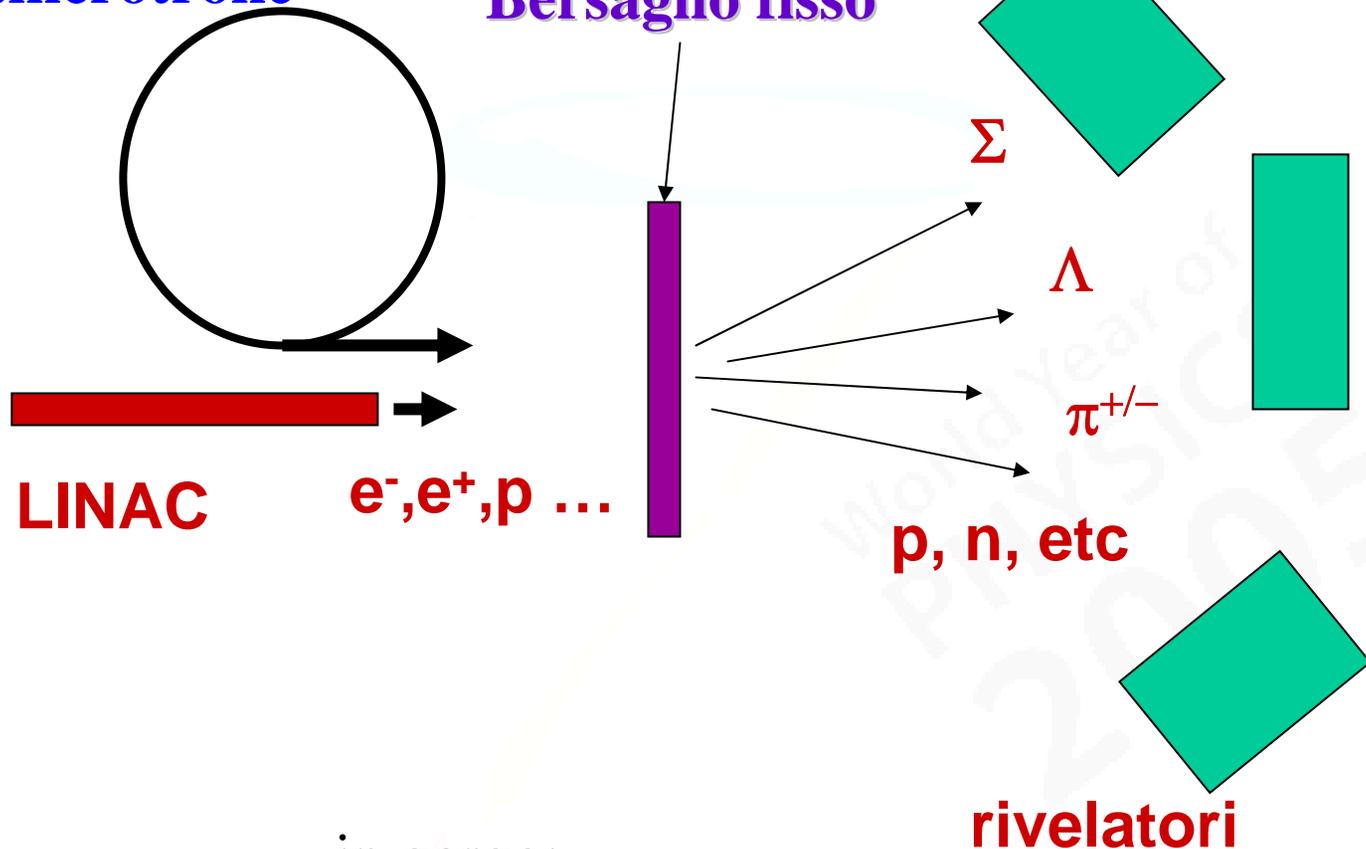


Einstein in the 21st Century Modo di utilizzo



sincrotrone

Bersaglio fisso

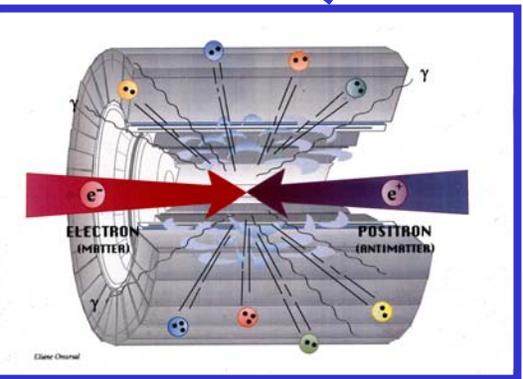
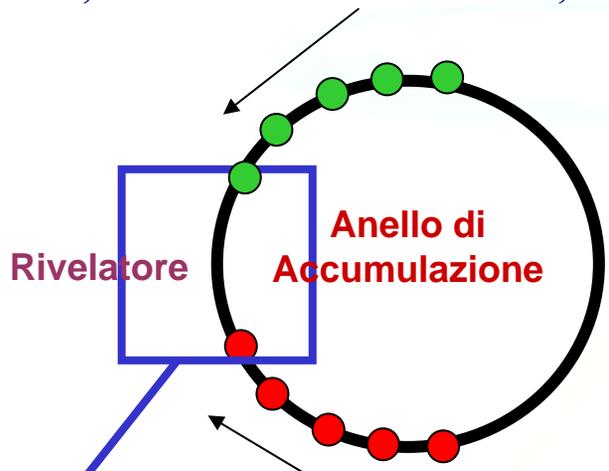


in gergo:
“targhetta” fissa



Modo di utilizzo : Collisori

La geniale idea di **Bruno Touschek** fu quella di utilizzare come particelle collidenti particelle ed antiparticelle che, nella loro annichilazione, avrebbero rilasciato tutta la loro energia per creare nuove particelle.



Fixed Target

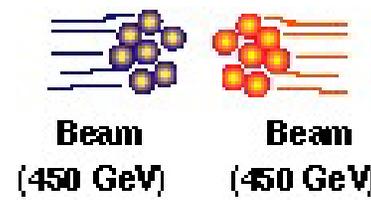


Available Energy

29 GeV

$$E_{CM} \approx \sqrt{2E_1m_2}$$

Colliding Beams



900 GeV

$$E_{CM} \approx 2E$$

diverso da ciò che avviene nel (nostro) mondo non relativistico (es.: auto contro auto)



Modo di utilizzo: Collisori



Collider elettrone-positrone (es. LEP)



$e^{+/-}$ sono particelle elementari

$$E_{\text{collisione}} = E_{e^-} + E_{e^+} = 2 E_{\text{fascio}}$$

es. in LEP, $E_{\text{collisione}} \sim 90 \text{ GeV} = m_Z$

Macchine "pulite", si può aggiustare l'energia dei fasci così da produrre la particella desiderata, ma l'energia massima raggiungibile è limitata dall'irraggiamento degli $e^{+/-}$.

Collider protone-protone (es. LHC)



p sono costituiti da quark e gluoni

le collisioni avvengono tra quark e gluoni

$$E_{\text{collisione}} < (E_{\text{protone1}} + E_{\text{protone2}})$$

Macchine complesse, si possono raggiungere energie per fascio molto alte ma la situazione finale è sperimentalmente "caotica".



Einstein in the 21st Century

Acceleratori nel mondo per HEP...



LEP al CERN di Ginevra 1988-2001

Il collisore e^+e^- a più alta energia: $E_{CM}=209$ GeV, Circonferenza
~ 27 Km



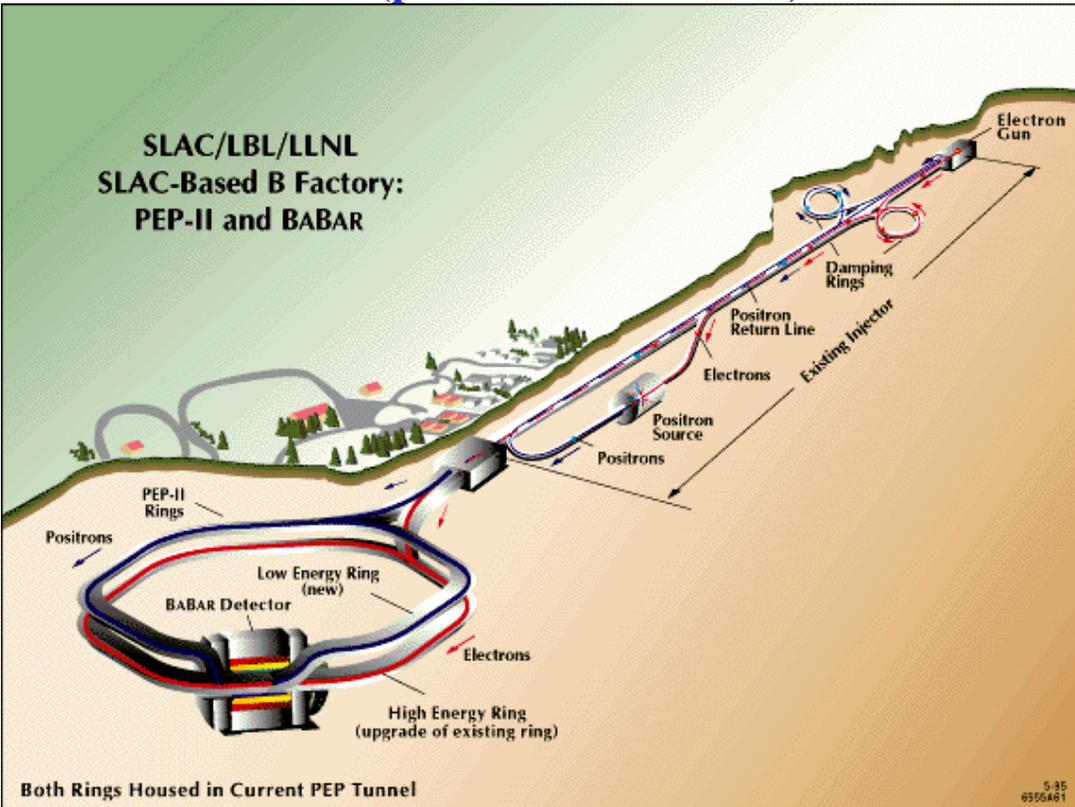


IL LINAC DI STANFORD (SLAC)



circonferenza=2.2Km

Linac L~ 3Km (per avere E serve L)



Due anelli di accumulazione di e^+/e^- uno sopra l'altro.

$E_{CM} \sim 10 \text{ GeV}$

L'annichilazione di e^+/e^- produce quarks-b, il cui decadimento è di interesse per i fisici sperimentali.



Einstein in the 21st Century

Il Tevatron



IL TEVATRON AL FERMILAB - Chicago

Il collisore protone-antiprotone a piu' alta energia:
2000 GeV





Einstein in the 21st Century

Large Hadron Collider



LHC al CERN - GINEVRA

Il collisore protone-protone a piu' alta energia:
14000 GeV (in funzione dal 2008)

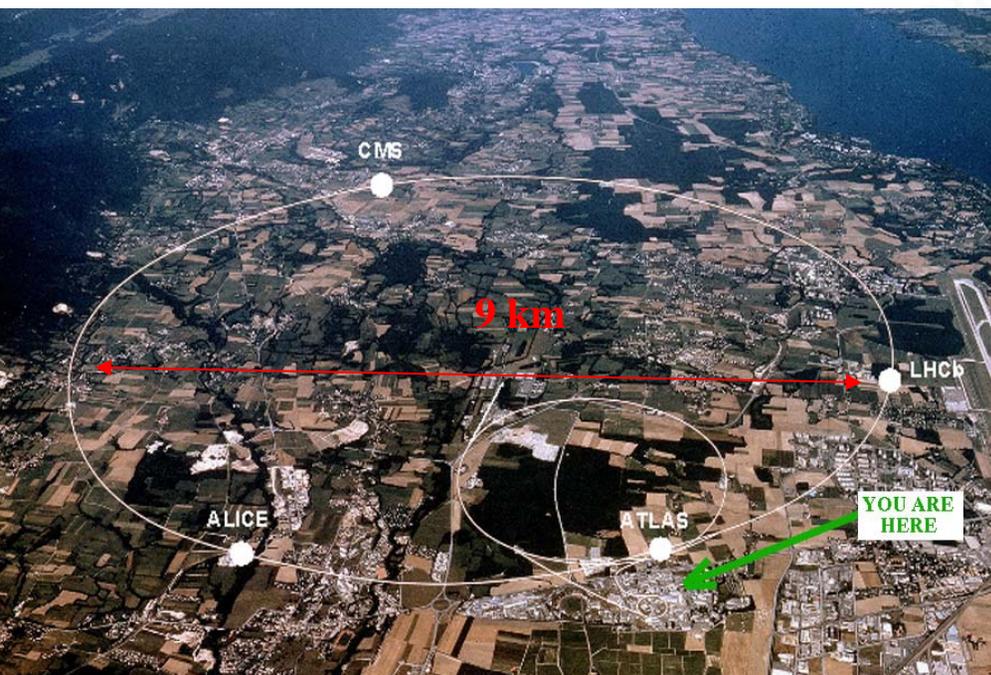


Circonferenza = 27 km



Il Large Hadrons Collider

- ✓ Accelera e fa collidere protoni ad un energia di 7+7 TeV (=14*10¹² eV)
- ✓ Accelera e fa collidere ioni pesanti (e.g. Pb) a 5.5 TeV
- ✓ Lunghezza totale > 27 Km. Profondita' ~ 100 m.
- ✓ Campo magnetico dei dipoli di 8.3 Tesla (piu' di 10⁵ volte maggiore campo della Terra)
- ✓ Temperatura in regime superconduttivo di 2.3 K
- ✓ Frequenza di collisione per p-p = 40 MHz

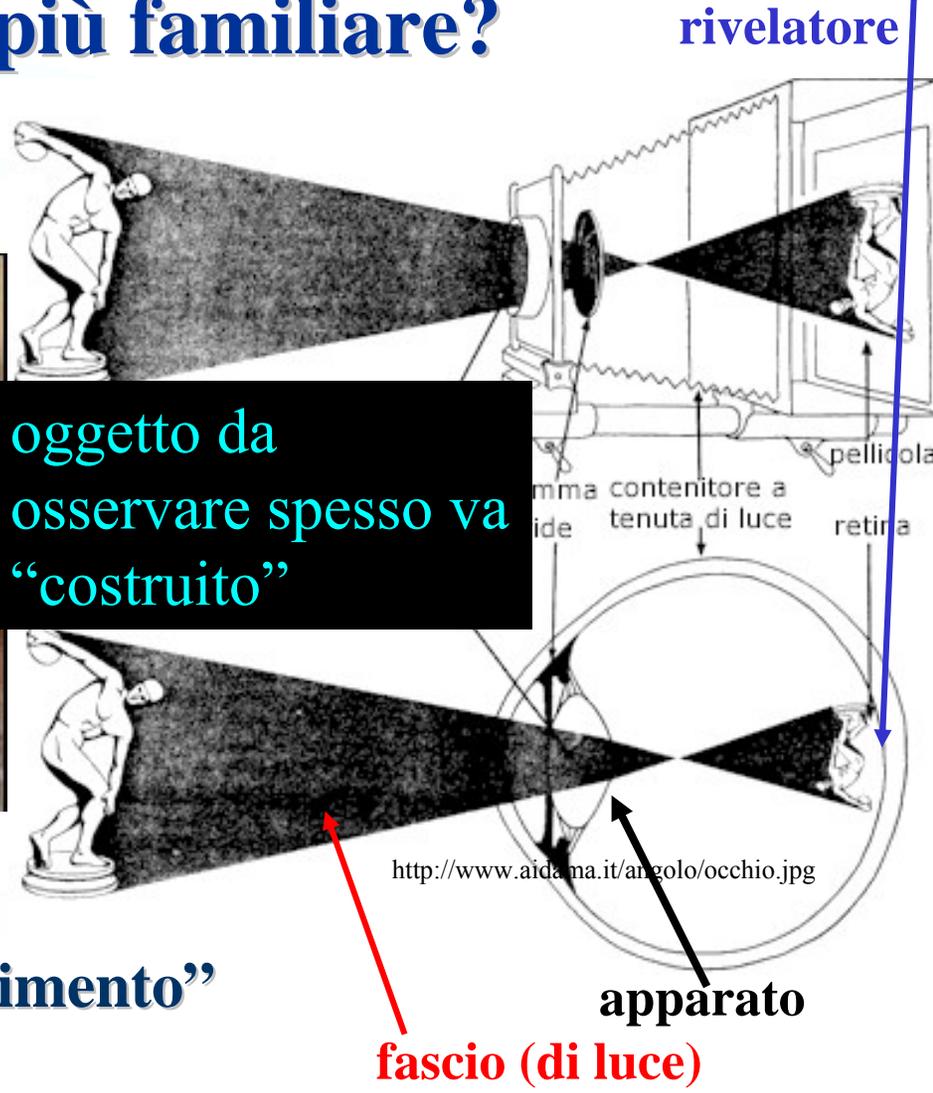
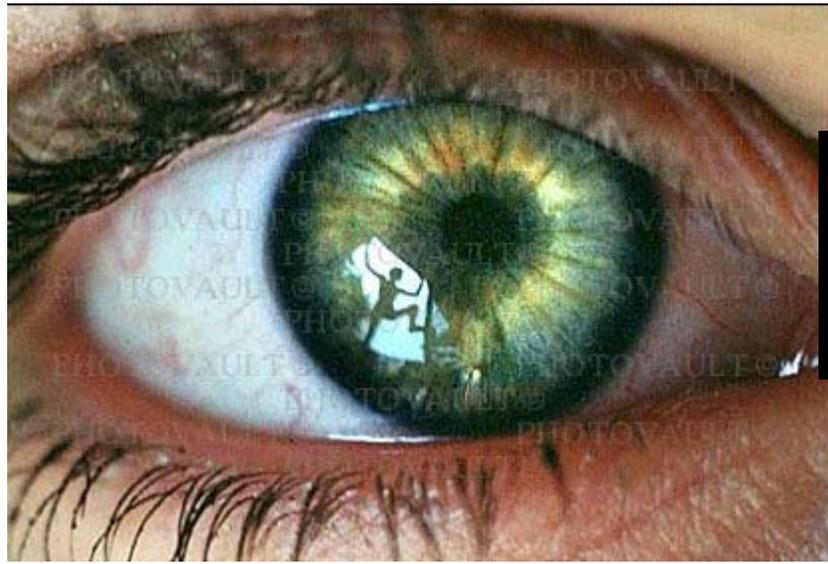




Due passi indietro

■ Qual è il “rivelatore” più familiare?

Cosa vuol dire vedere?



Non molto diverso da un “esperimento”



Due passi indietro



- Altri modi per “vedere”?
es.: per sottrazione



luce visibile



luce “energetica” (raggi x)



Due passi indietro



■ Altri modi per “vedere”?

non solo con la luce....

ecografia fetale



4D FETAL PROFILE



in questo caso gli oggetti da “vedere” non emettono un “fascio di suoni” ma ne vengono “illuminati” tramite un **emettitore** e si “vedono” le riflessioni (eco)

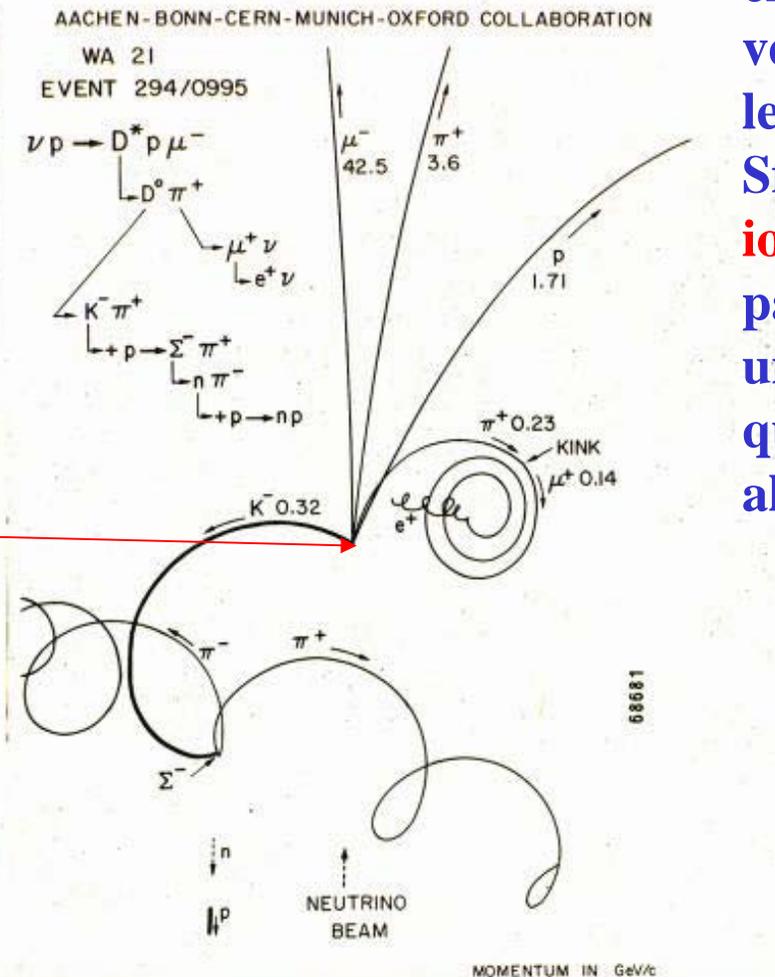
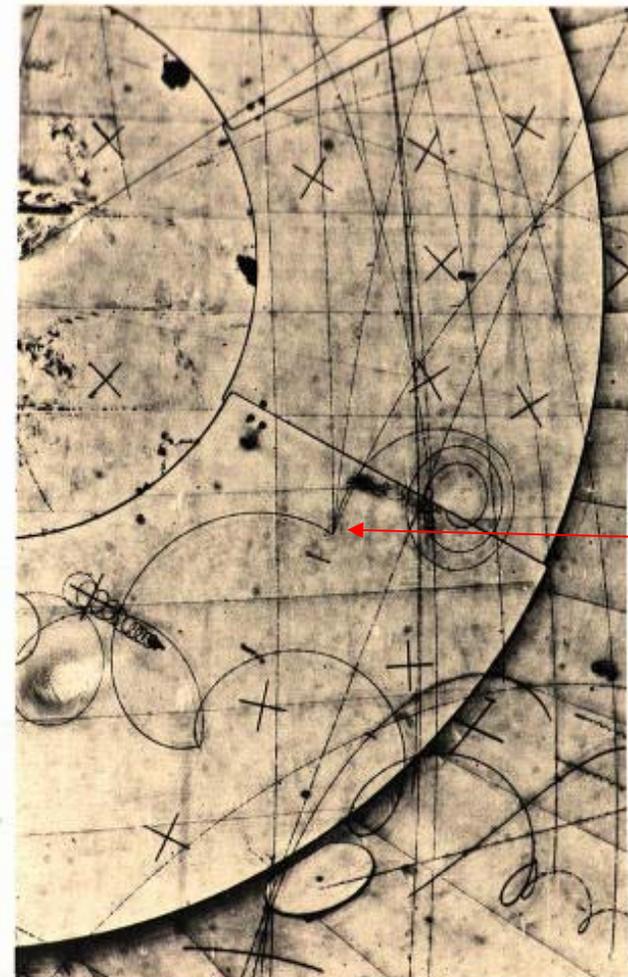
...ma anche col suono

domanda: perché si usano ultrasuoni e non suoni di bassa frequenza?



Camera a Bolle

strumento “glorioso”
che permetteva di
vedere e fotografare
le particelle.
Sfruttando la
ionizzazione delle
particelle cariche in
un liquido (H in
questo caso) prossimo
all’ebollizione

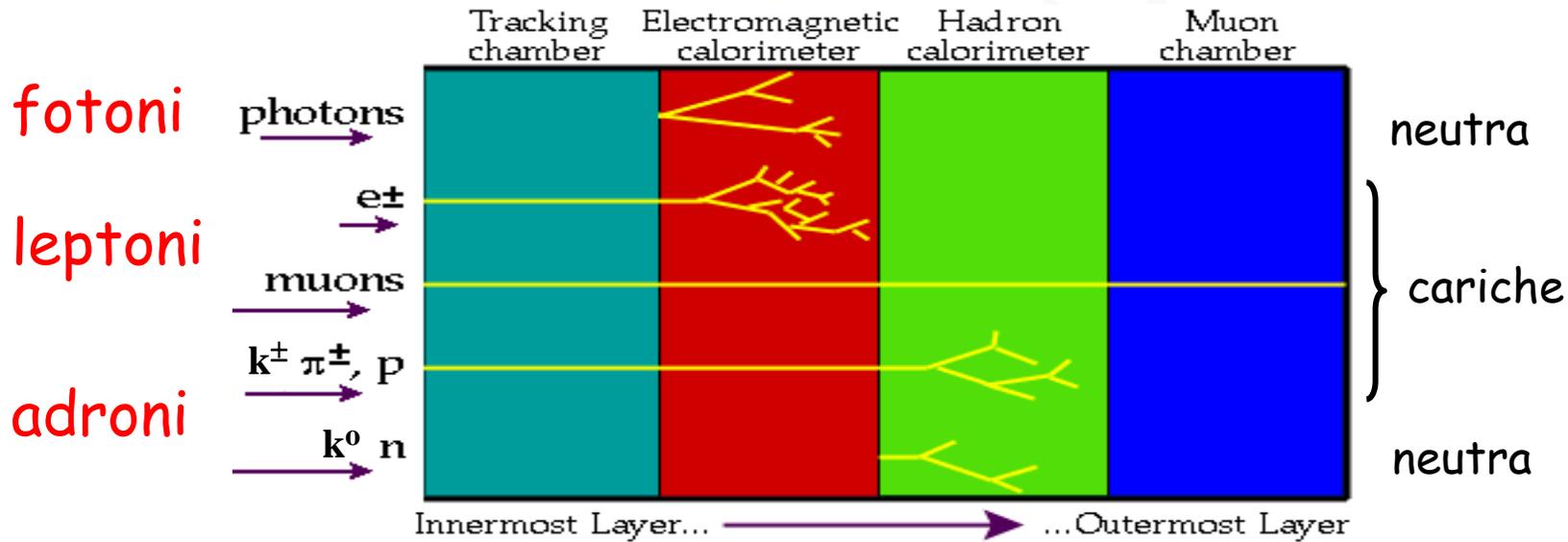




Tipologie di rivelatori

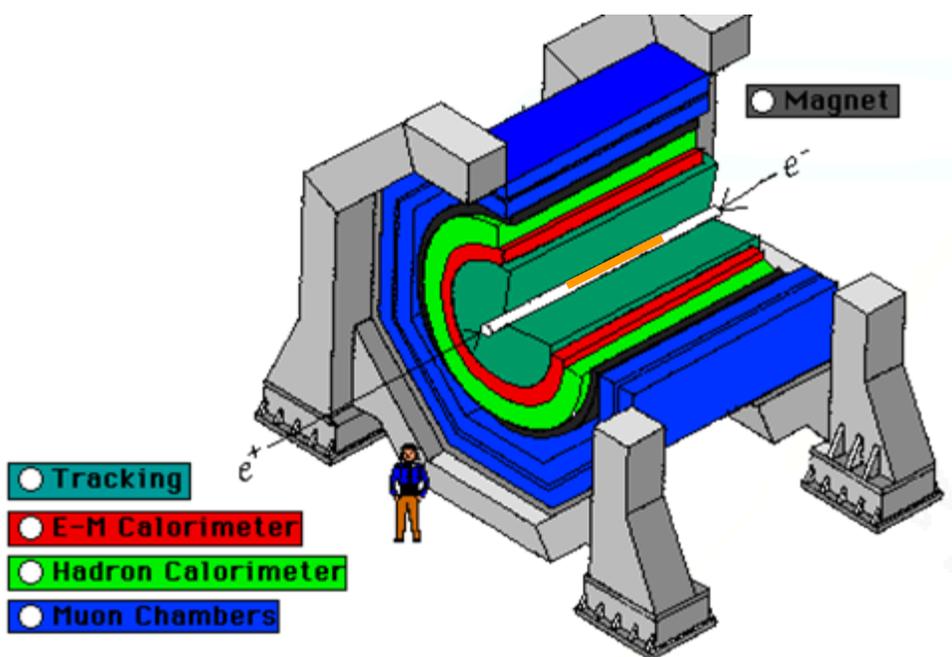


Le particelle visibili vengono misurate tramite rivelatori diversi ed identificate dai loro comportamenti caratteristici dovuti al tipo di interazione con la materia.

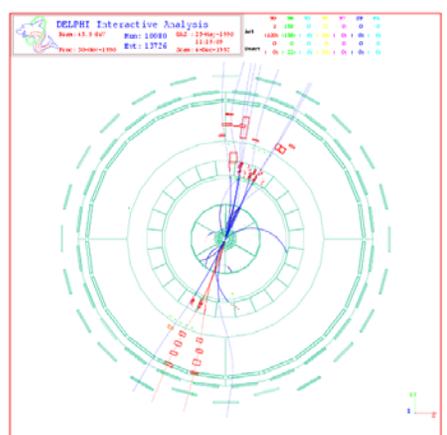




Un rivelatore tipico per collisori



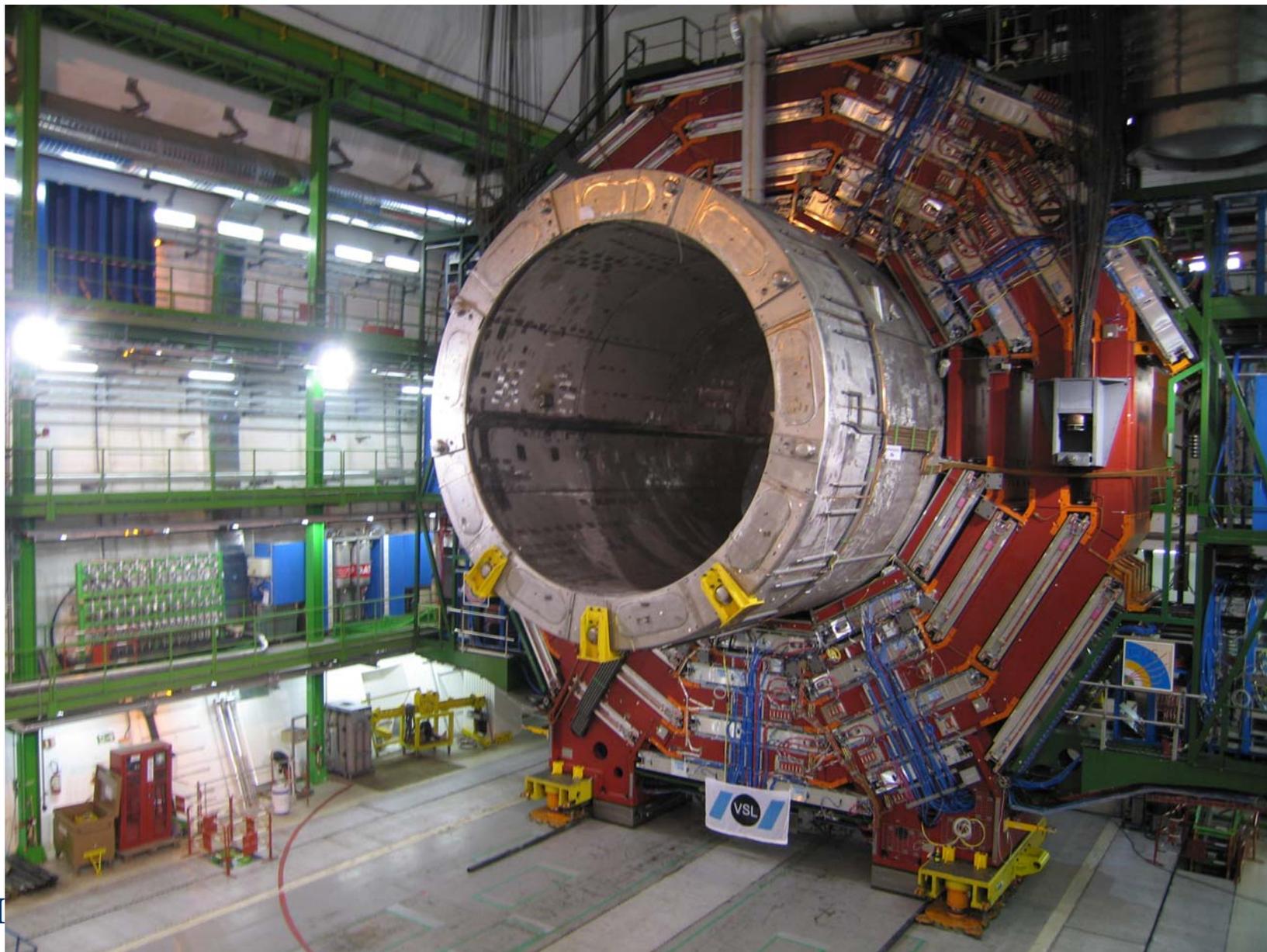
struttura “a cipolla”: **all’interno i rivelatori di vertice, poi i tracciatori, i calorimetri e.m. e adronico il magnete e...**
 il ferro (per costringere il campo magnetico) con i rivelatori di muoni (tipi di rivelatori di tracce che individuano i muoni sulla base del fatto che le altre particelle dovrebbero essere state assorbite)





Einstein in the 21st Century

CMS: un rivelatore





- **Gli acceleratori sono gli strumenti fondamentali per produrre e studiare le particelle elementari**
- **L'energia è indispensabile sia per produrre oggetti più pesanti che per ottenere strumenti di indagine più efficaci**
- **Le particelle ancorchè piccole si “vedono”**
- **Da tutto questo viene anche dell'altro.....**
(applicazioni in altri campi dalla Fisica dei materiali, Biologia, Medicina ecc. , oltre al caro e –ormai – vecchio web)