Ricerca Scientifica di frontiera a LHC del CERN e trasferimento tecnologico alla societa`

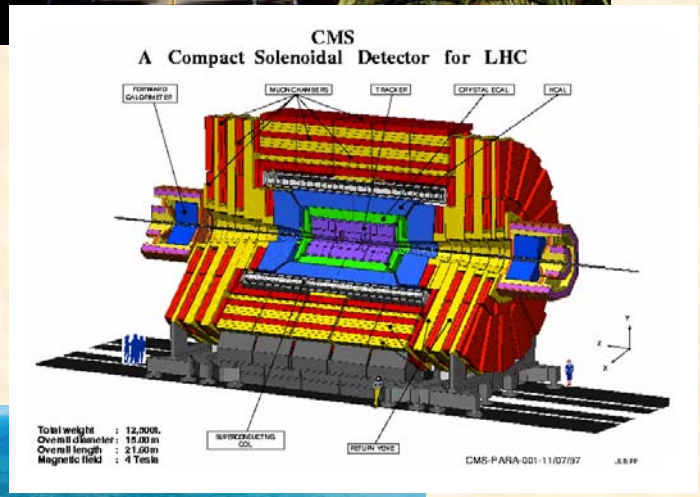
Gian Mario Bilei

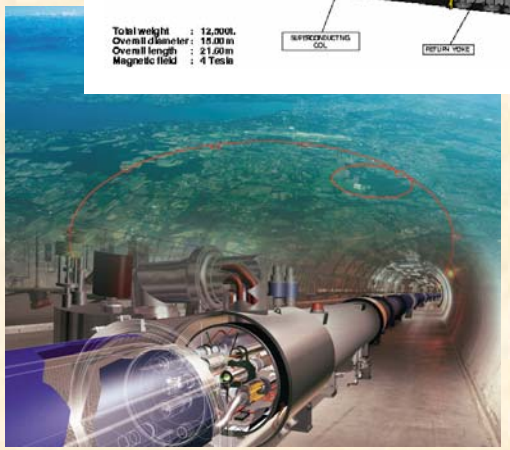
Istituto Nazione di Fisica Nucleare (INFN) – Perugia
Centro Europeo Ricerche Nucleari (CERN) – Ginevra

gian.mario.bilei@cern.ch

Breve biografia

- Nato a Fabriano
- Laurea in Fisica – Perugia (1983)
- Borsista e Visiting Scientist Stanford University California (1985-1990)
  Esperimento di Fisica SLD per studio bosone Z scoperto da Rubbia ’83 (nobel 1984)
- Ricercatore Istituto Naz. Fisica Nucleare INFN Perugia (1989-oggi)
  1990-94 Esperimento al CERN LEP3
  Guidato premio Nobel Fisica prof. Ting
- Ricercatore distaccato al CERN – Ginevra (2001-10)
  Esperimento CMS a LHC
  Coordinatore Costruzione Tracciatore 2002-06
  Project Manager Tracciatore 2009-10
  ~ 600 fisici da 55 Universita`





Le questioni che affronta la Fisica moderna sono le stesse che hanno guidato lo sviluppo del pensiero filosofico nel corso dei millenni.

- Quale e` l'origine e come funziona l'universo?

  Da dove viene?

  Dove va?

- Quali sono i componenti ultimi della materia?

  Come si "muovono"?

  Che cosa li "muove"?

- Esistono altre dimensioni spaziali oltre le 3 note?

La Fisica : la piu` ambiziosa di tutte le scienze da sempre cerca di dare risposte a queste domande

Per affrontare queste domande i fisici moderni
- cosi' come gli antichi pensatori -
seguono un semplice criterio:

Identificare pochi principi fondamentali, dai quali derivare le proprietà di tutti i fenomeni naturali, sia quelli pertinenti al macro cosmo (il cielo, l'universo), che quelli pertinenti alla scala umana e al micro cosmo.

Questo esercizio porta all'identificazione di due categorie:

1. **Componenti Fondamentali (elementari, indivisibili) della materia**
2. **Le Forze che ne governano il comportamento**

La scienza e` stata sempre con l'uomo ed associata alla sua curiosita`.

Anche i nostri ancestori cercarono di organizzare il mondo intorno loro in componenti fondamentali.

Componenti:

aria, acqua, fuoco terra

Forze:

aria e fuoco spinti verso l'alto

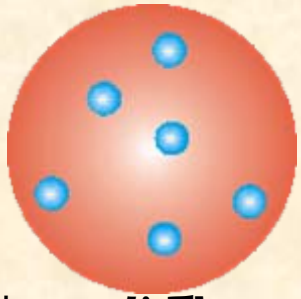
acqua e terra spinti verso il basso

Ma gia` Democrito nel ~ 400 A.C. teorizzo` esistenza di "*atoma*" (evvero elementi indivisibili).

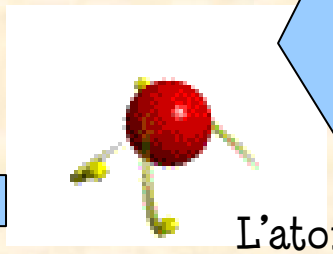
Inizi 1900 venne provata da Rutherford l'esistenza di strutture interne agli atomi nuclei ed elettroni orbitanti.

Progresso del secolo scorso

L'atomo all'inizio del '900

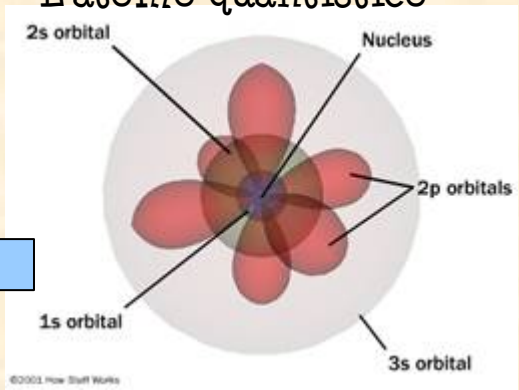


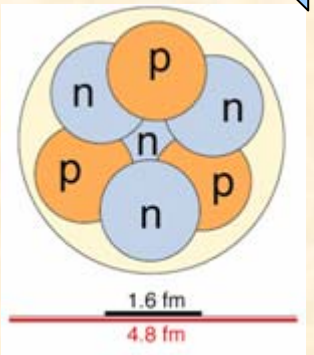
L'atomo di Thompson



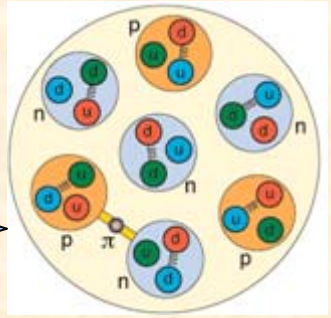
L'atomo di Rutherford e Bohr

L'atomo quantistico





La struttura del nucleo



Il nucleo oggi

Il Modello Standard (oggi)

	Fermioni			Bosoni	
Quarks	u up	c charm	t top	g gluone	Mediatori di Forze
	d down	s strange	b bottom	γ fotone	
Leptoni	ν_e e-neutrino	ν_μ μ-neutrino	ν_τ τ-neutrino	W bosone	
	e elettrone	μ muone	τ tau	Z bosone	
	I	II	III	Bosone di Higgs ?	
	Famiglie di materia				

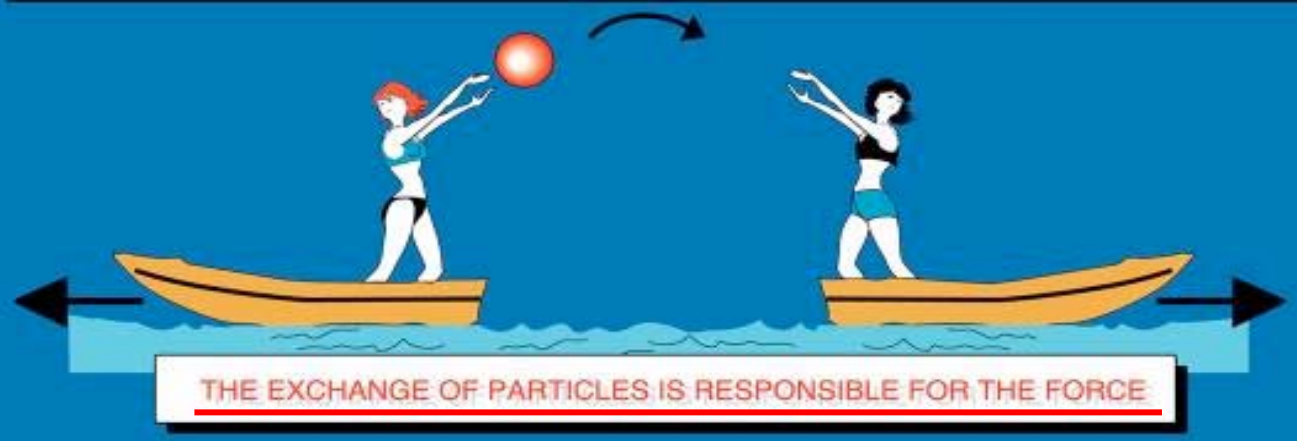
Gravità

il fantasma dell'opera

Solo quattro Forze Fondamentali governano la natura

The forces in Nature

Tipi di Forze	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	Si manifestano:
Forza Nucleare	~ 1	GLUONS (NO MASS)	Nucleo Atomo
Elettromagnetismo	~ 10^{-3}	PHOTONS (NO MASS)	Cariche
Forze Deboli	~ 10^{-5}	BOSONS Z^0, W+, W- (HEAVY)	Radioattivita`
Gravita`	~ 10^{-38}	GRAVITONS (?)	Corpi pesanti

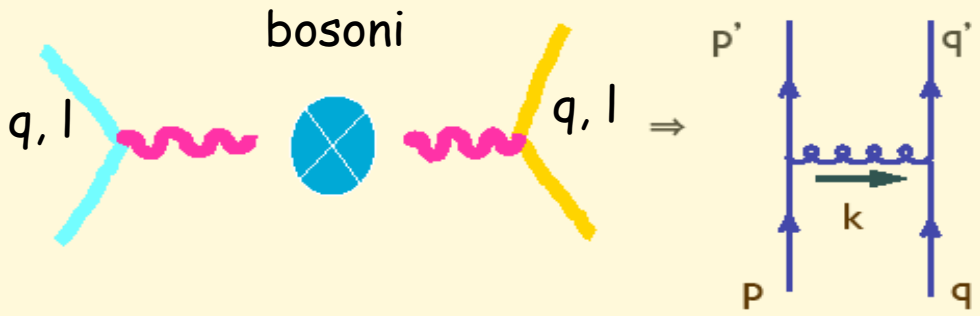


CERN AC _Z04_ V25/8/1992

Interazioni tra particelle

Le interazioni tra particelle (fermioni) avvengono tramite lo scambio di particelle chiamate bosoni per appunto ‘mediatori’ di forza’.

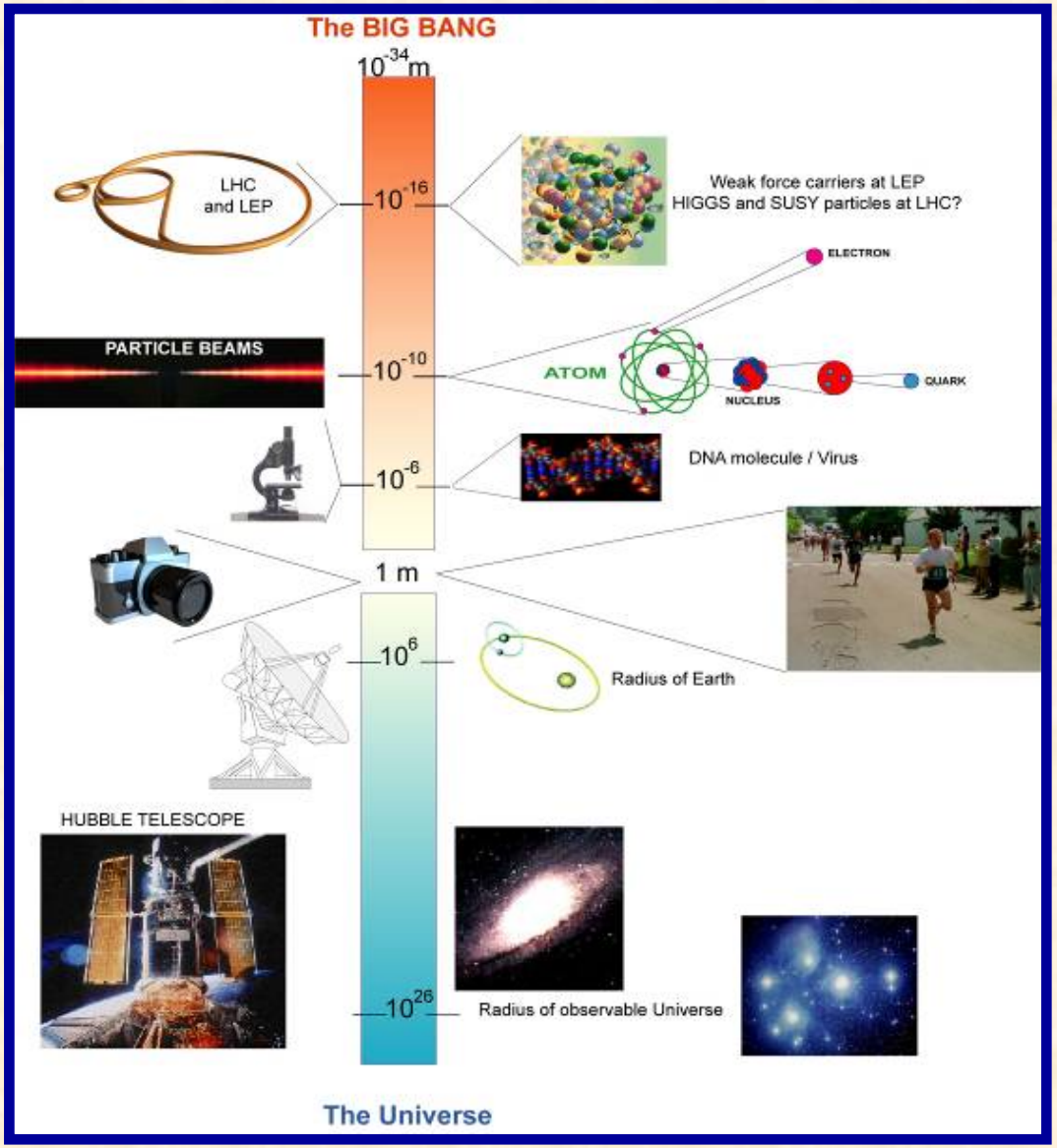
Dunque, dopo essere stata emessa, la particella che trasmette la forza deve essere riassorbita al piú presto. Puó essere riassorbita da una particella distinta rispetto all’emettitrice, dando luogo ad un’interazione fra le due:



In questo caso l’impulso trasportato dalla particella scambiata corrisponde al cambiamento di impulso delle particelle coinvolte nell’interazione:

$$\mathbf{k} = \mathbf{p'} - \mathbf{p} = \mathbf{q} - \mathbf{q'}$$

Come e` possibile studiare il mondo che ci circonda e quali strumenti vengono utilizzati?

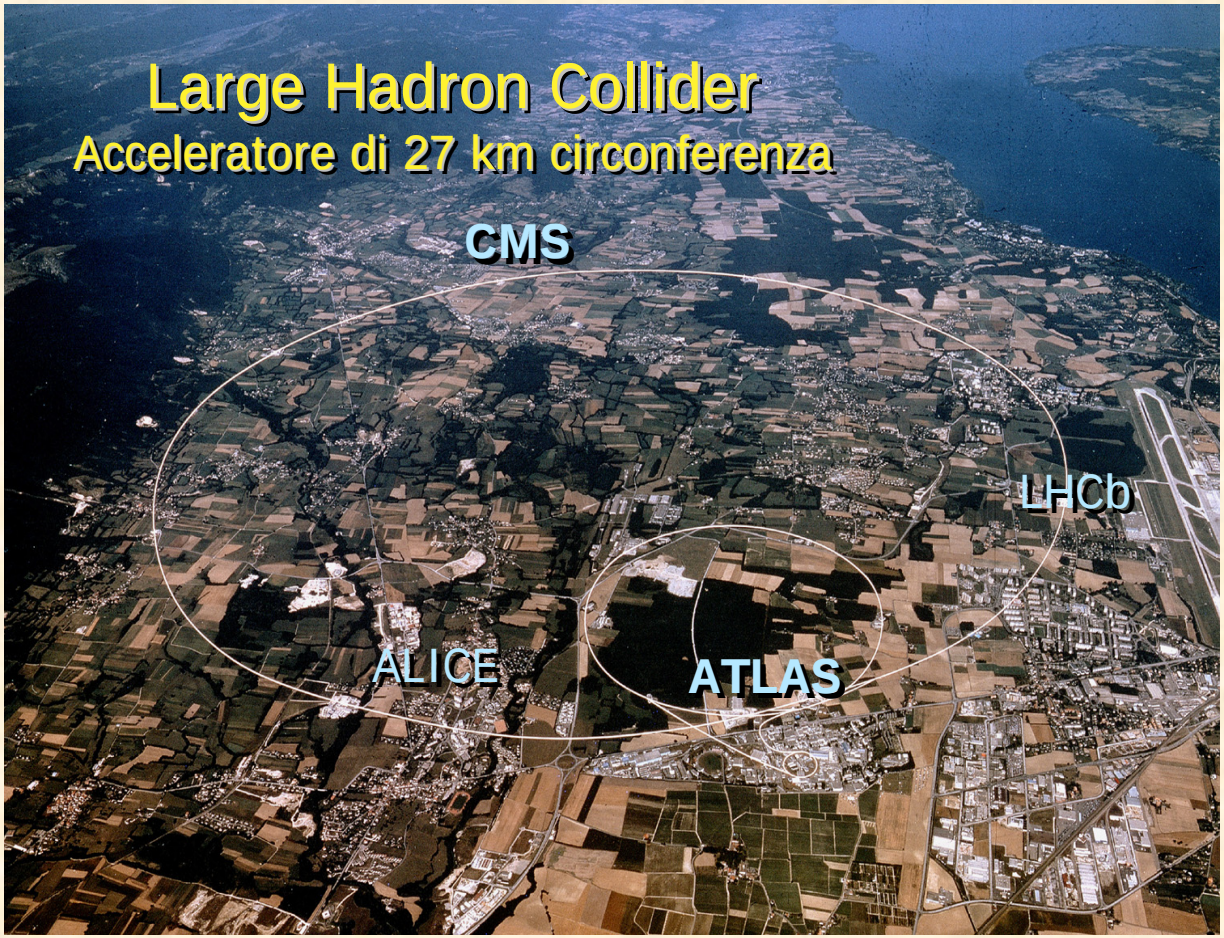


Strumenti diversi sono necessari per osservare fenomeni e oggetti di diversa grandezza.

Per capire come è nato l'universo e come è fatta la materia che ci circonda sono necessari strumenti molto sofisticati.

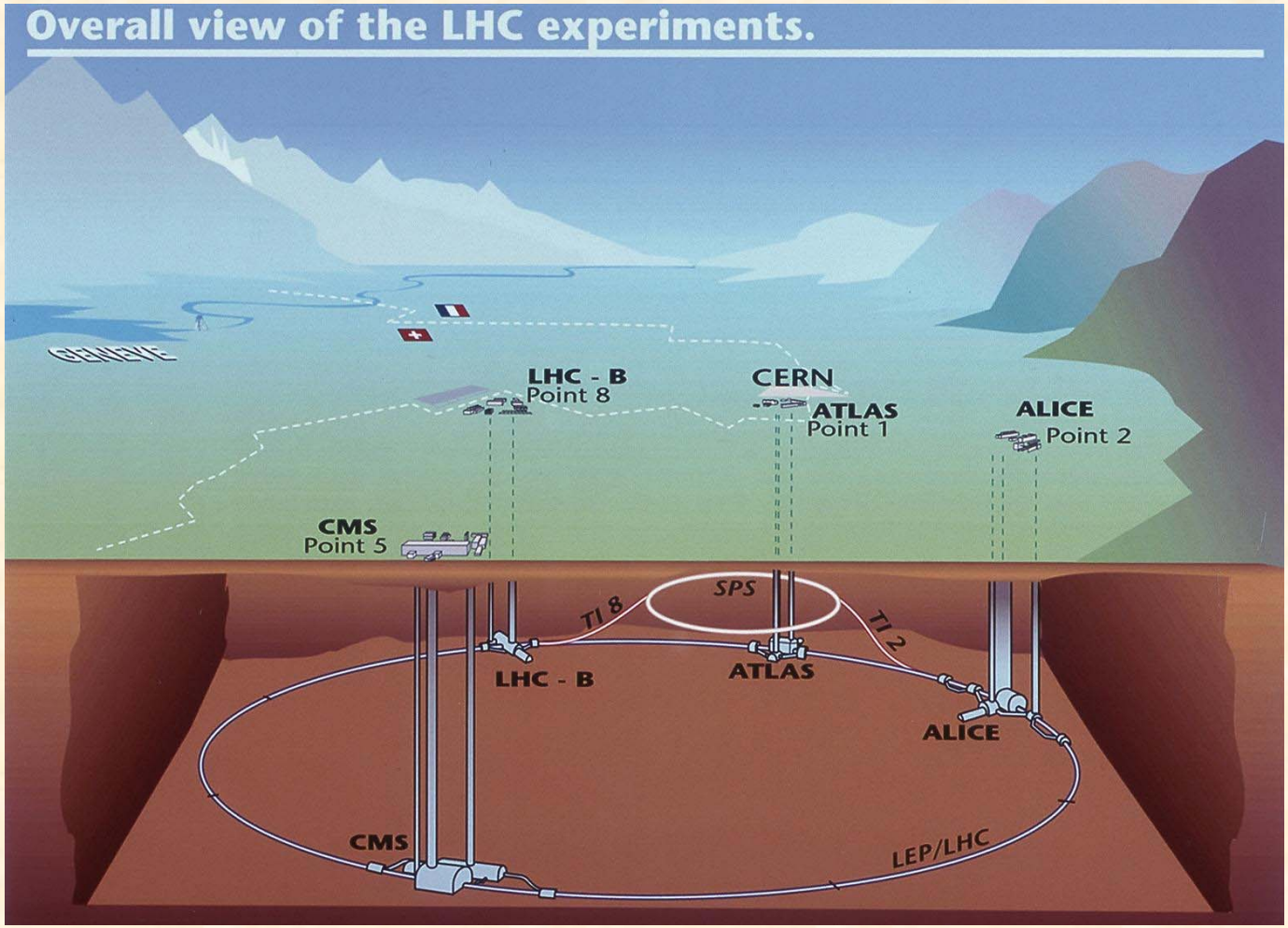
Per studiare gli oggetti più piccoli che conosciamo (le particelle elementari) usiamo gli acceleratori.

Oggi a Ginevra, tra la Svizzera e la Francia



Il Centro Europeo per la Ricerca Nucleare (CERN) da piu` di un anno ha dato il via al più grande strumento scientifico mai costruito dall'uomo: il Large Hadron Collider – LHC

Le collisioni avvengono in 4 punti dove sono stati collocati 4 rivelatori CMS, Atlas, Alice, LHCb con obbiettivo di studiare fenomeni diversi

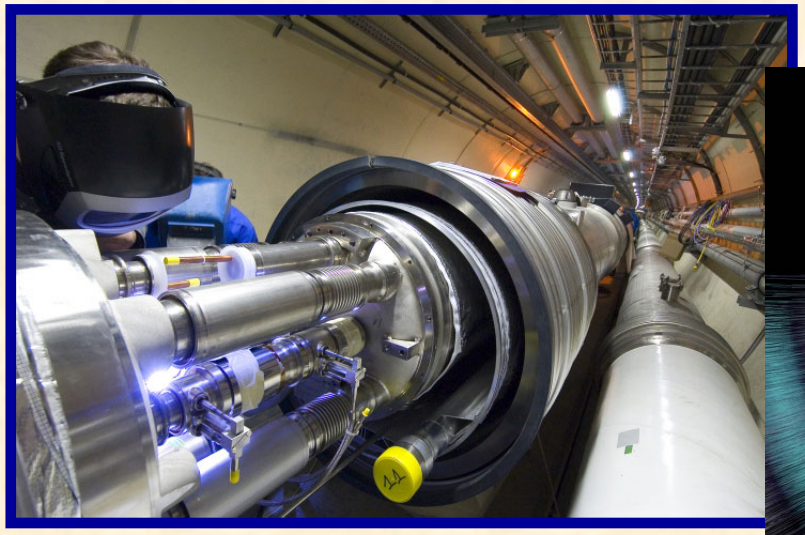


Un anello di 27 Km di circonferenza a 100 m di profondita`

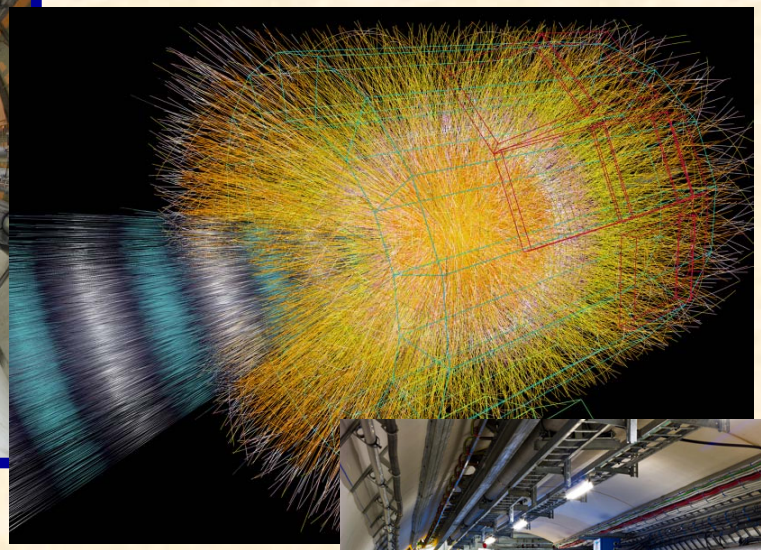
2 fasci con miliardi di protoni sono accelerati da potenti campi elettrici ad una velocità prossima a quella della luce e fatti scontrare 40 milioni di volte al secondo.

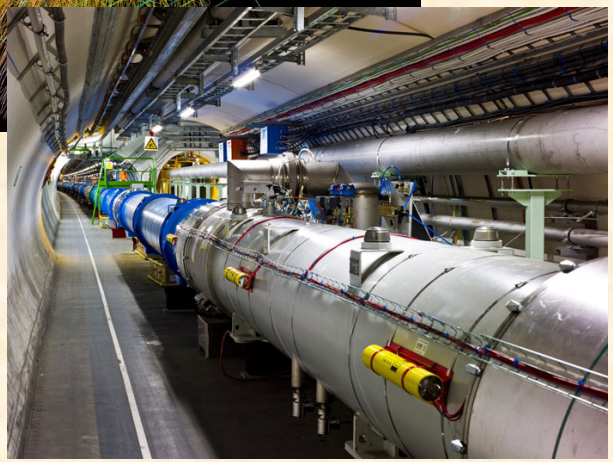
LHC la ‘macchina’ piu` grande mai costruita dall’umanita`
Un ‘condensato’ di altissima tecnologia

Uno dei posti Più Freddi della galassia.
I magneti superconduttori di LHC operano a - 271 ° C.



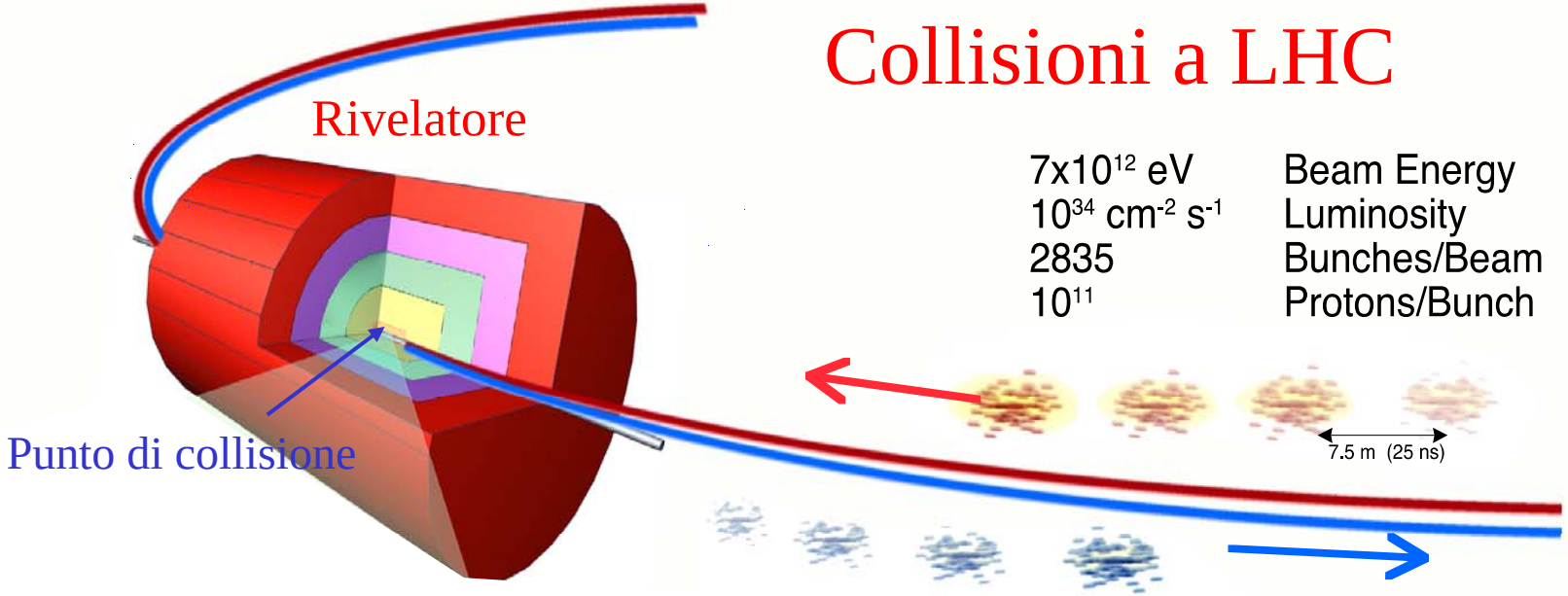
Più Caldi dell’Universo.
La temperatura raggiunta nel punto di collisione è più di 100.000 volte la temperatura al centro del sole.





Più Vuoti del Sistema Solare.
Il fascio di protoni corre dentro ad un tubo a vuoto di 27 km con una pressione 10 volte più bassa di quella sulla luna (10^{-13} Atm).

Collisioni a LHC



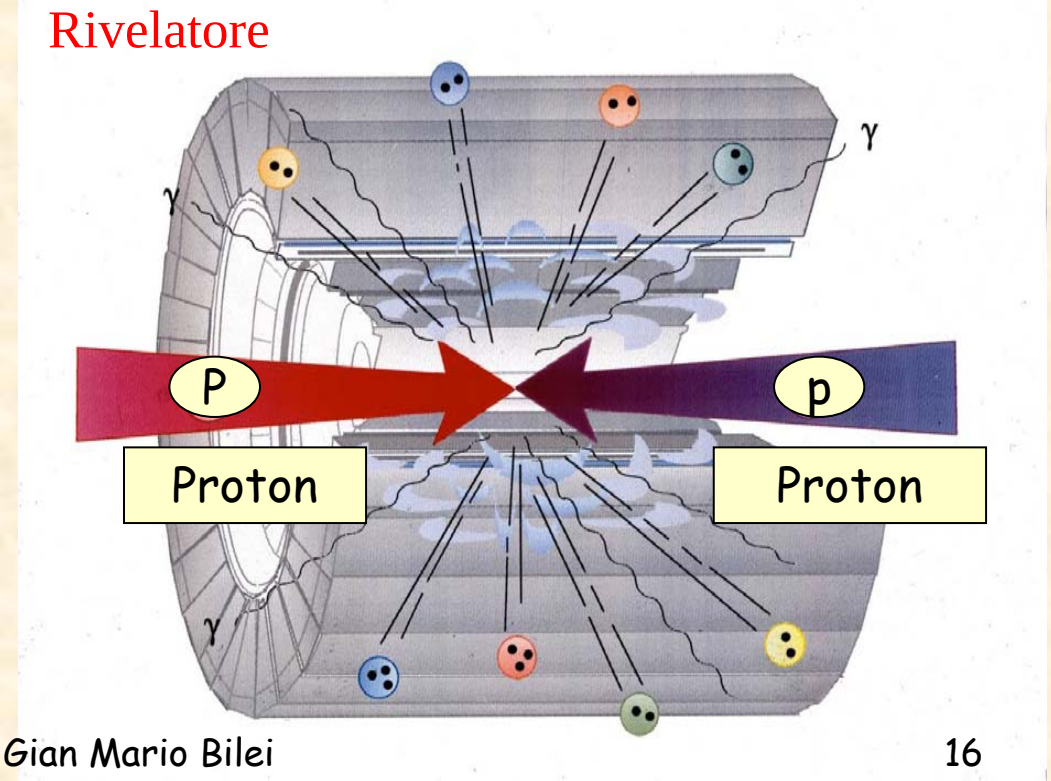
7×10^{12} eV	Beam Energy
10^{34} cm^{-2} s^{-1}	Luminosity
2835	Bunches/Beam
10^{11}	Protons/Bunch

7 TeV Proton Proton
colliding beams

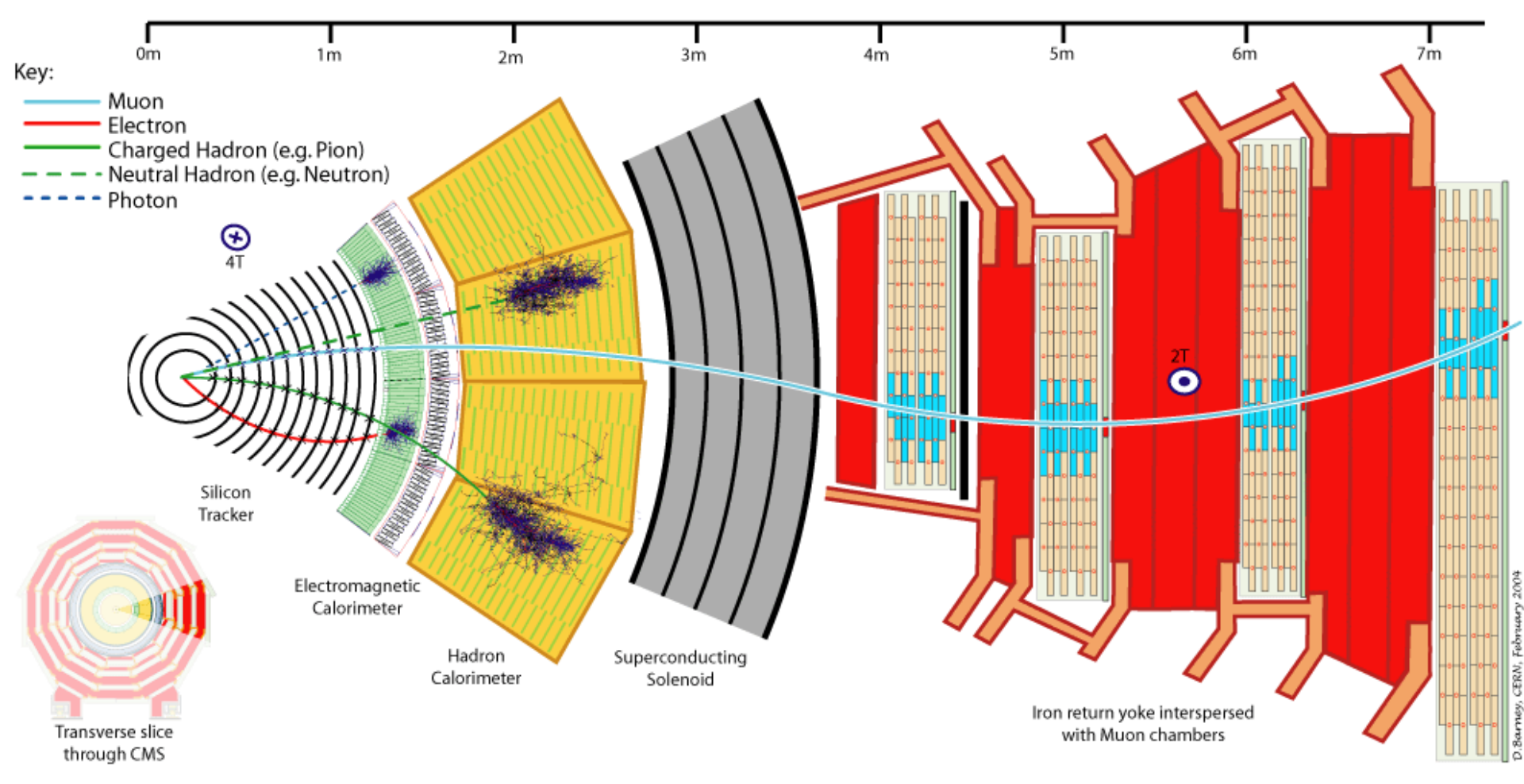
- Nel punto di collisione la densita` di Energia e` altissima, quasi da riprodurre le condizioni primordiali dell'origine dell'universo.
(Energia di ogni fascio sarebbe sufficiente per fondere ~500 kg di rame!)

- Nelle collisioni di protoni, parte dell'energia converte in massa ($E = mc^2$) creando nuove particelle che erano comuni ~13 miliardi di anni fa dopo il Big Bang.

- Lo studio di queste particelle che vivono tempo brevissimo potra` darci molte indicazioni sull'origine dell'universo, la sua evoluzione e l'origine della massa.

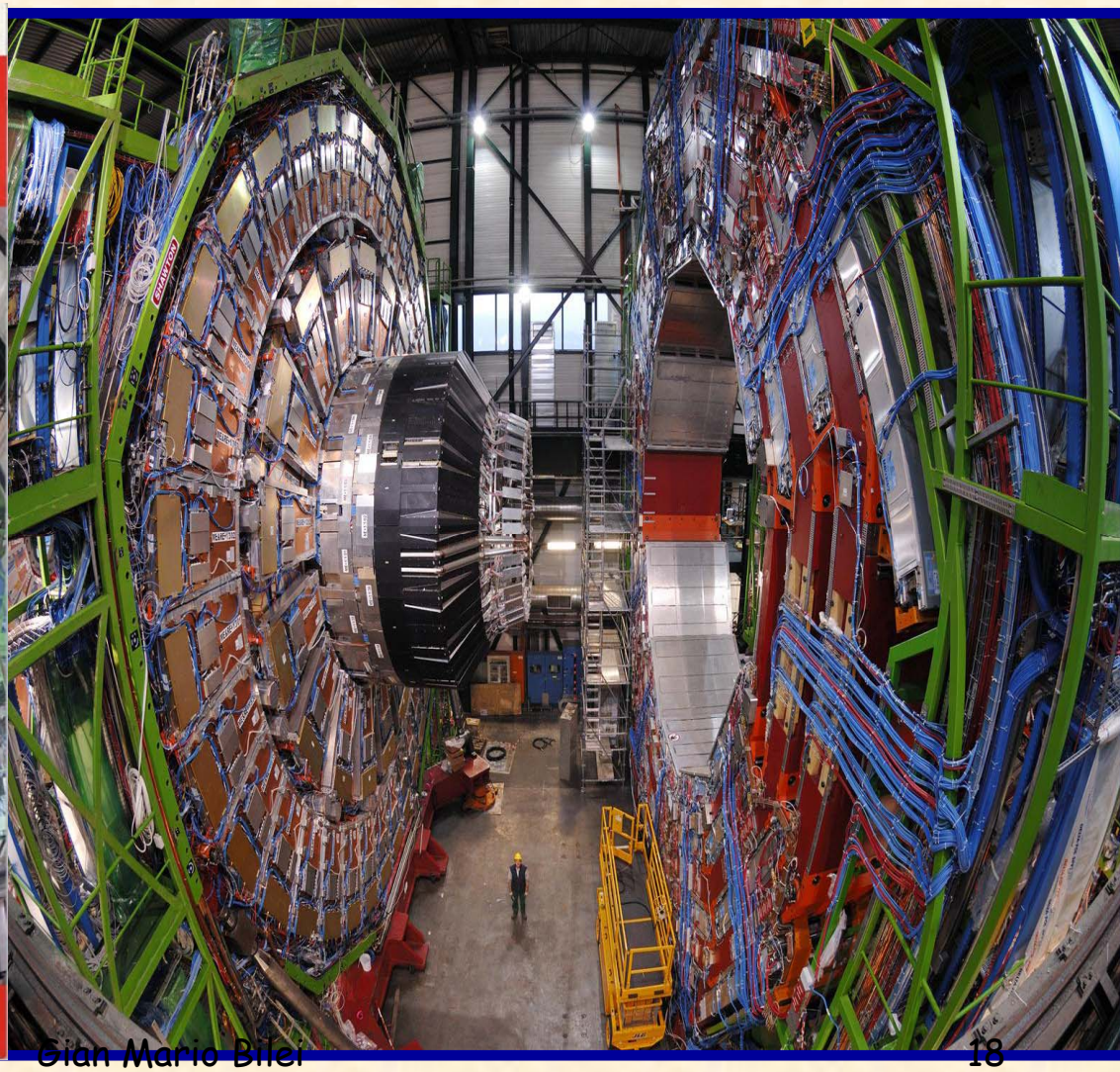


I principi di rivelazione di particelle di CMS



CMS – Uno dei 4 rivelatori per studiare collisioni a LHC

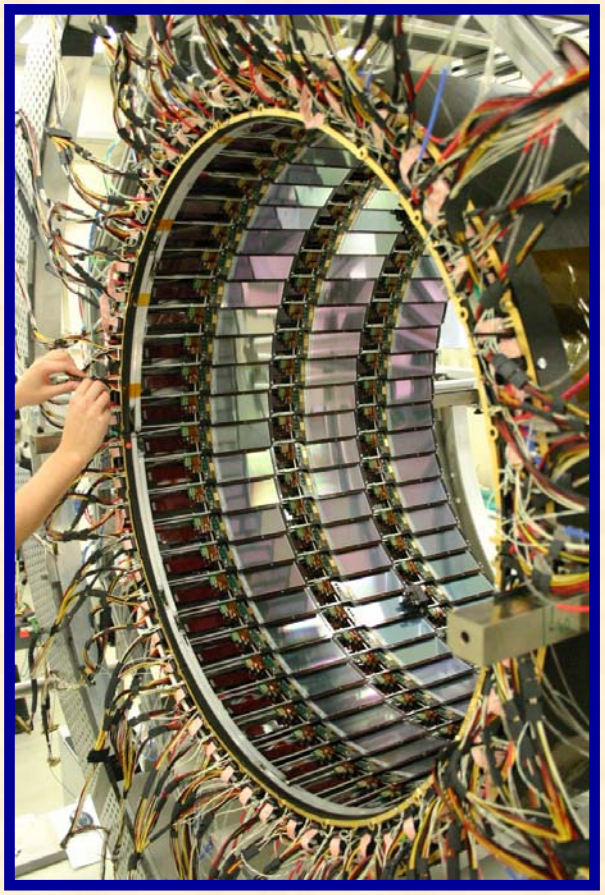
L'esperimento scientifico più grande mai costruito dall'uomo



CMS Perugia INFN e Dip. Fisica Universita`

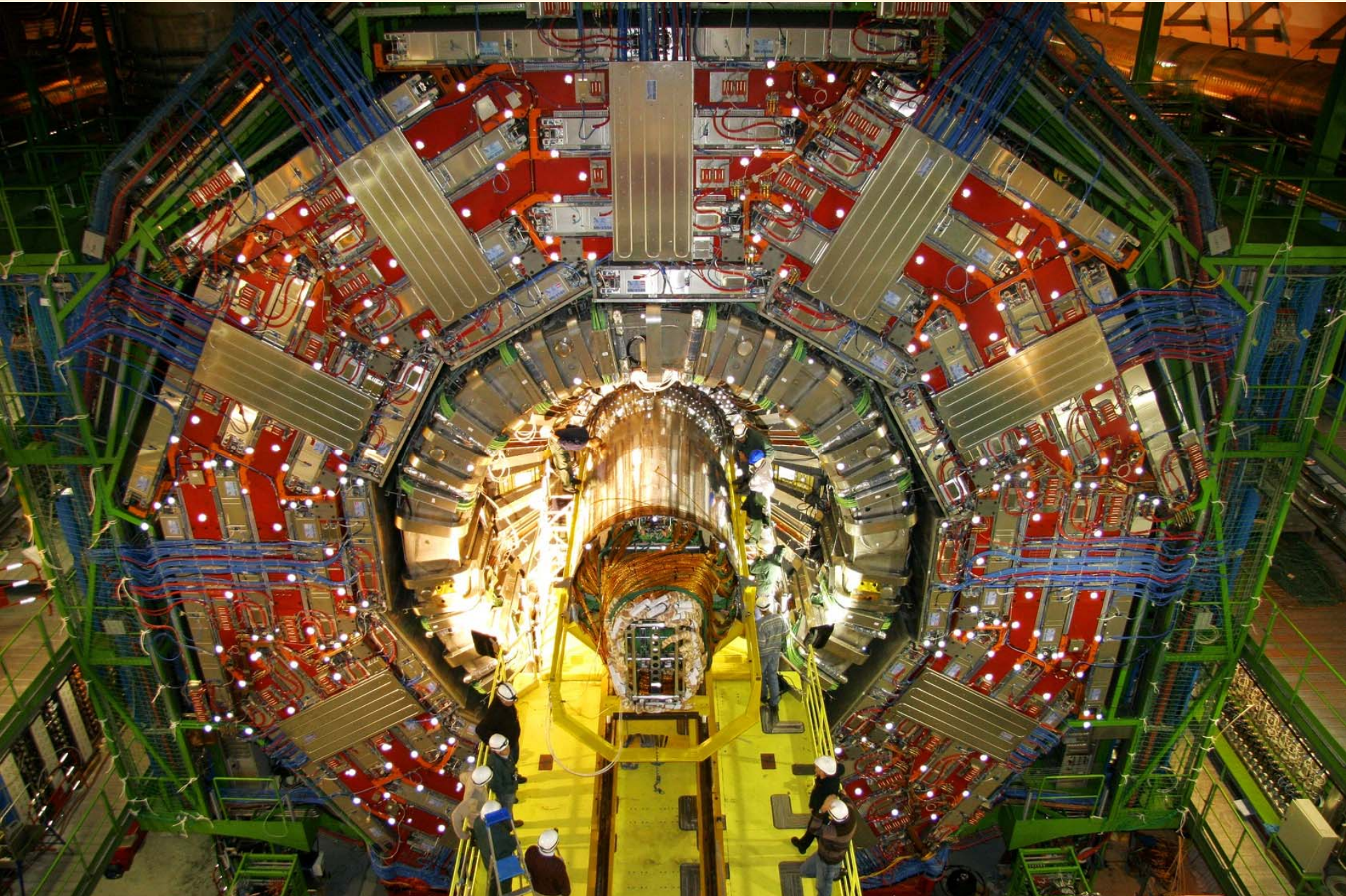
Abbiamo contribuito considerevolmente con strutture, risorse e competenze di avanguardia allo sviluppo e costruzione della parte piu` tecnologica del progetto:

Tracciatore Centrale al Silicio

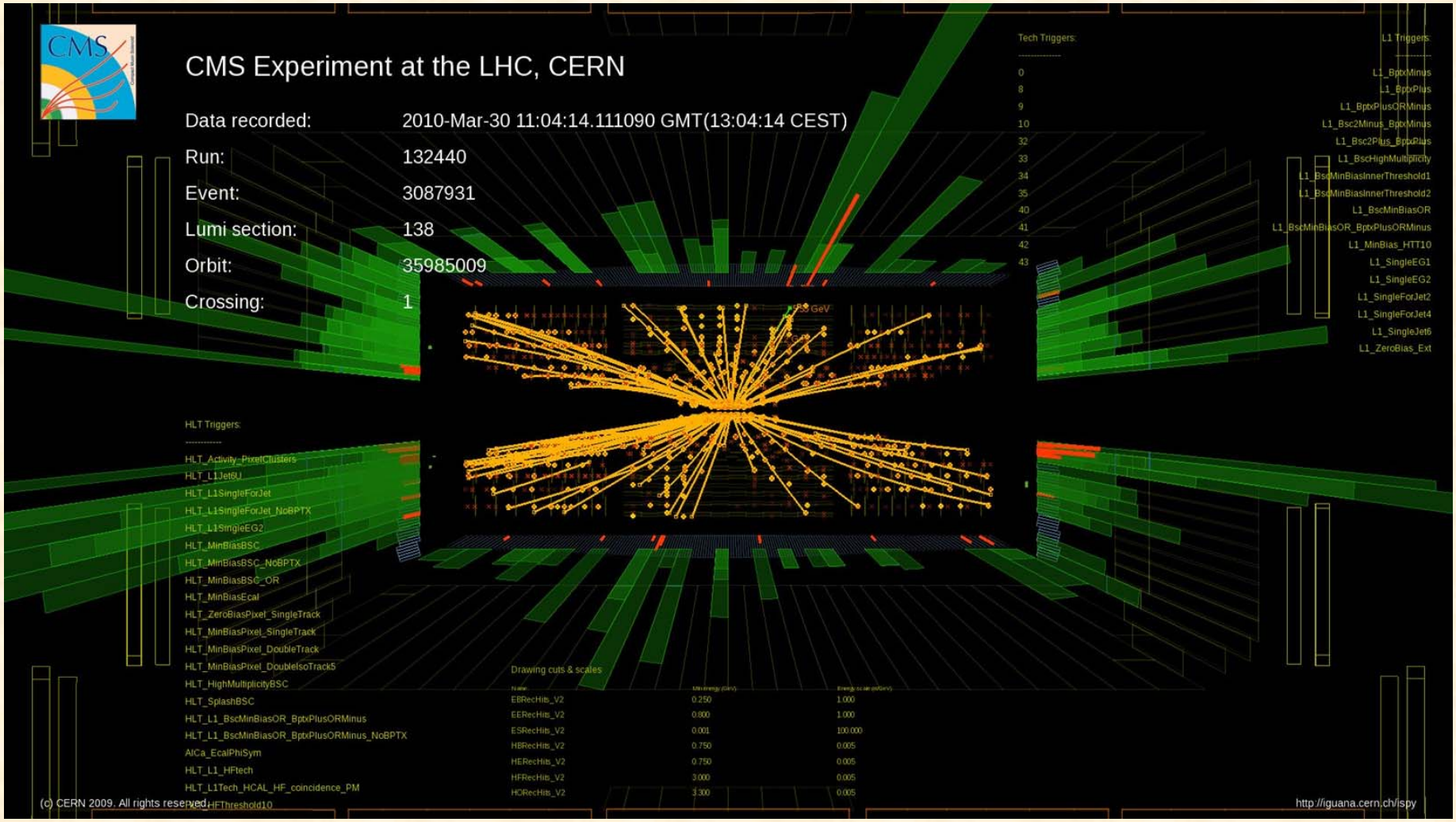


Il rivelatore Tracciante a Silicio viene utilizzato per misurare con altissima precisione la traiettoria di milioni di particelle cariche che ogni secondo vengono prodotte nelle collisioni di LHC.

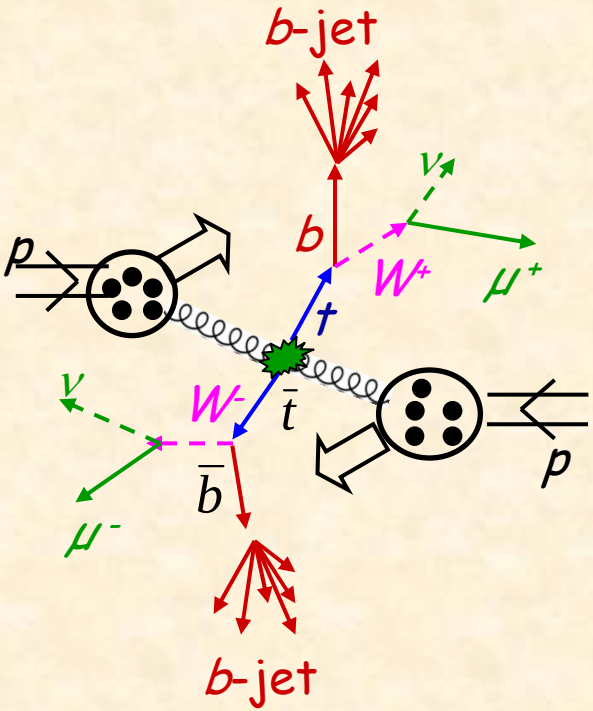
Il Tracciatore infine installato al centro di CMS (2007)

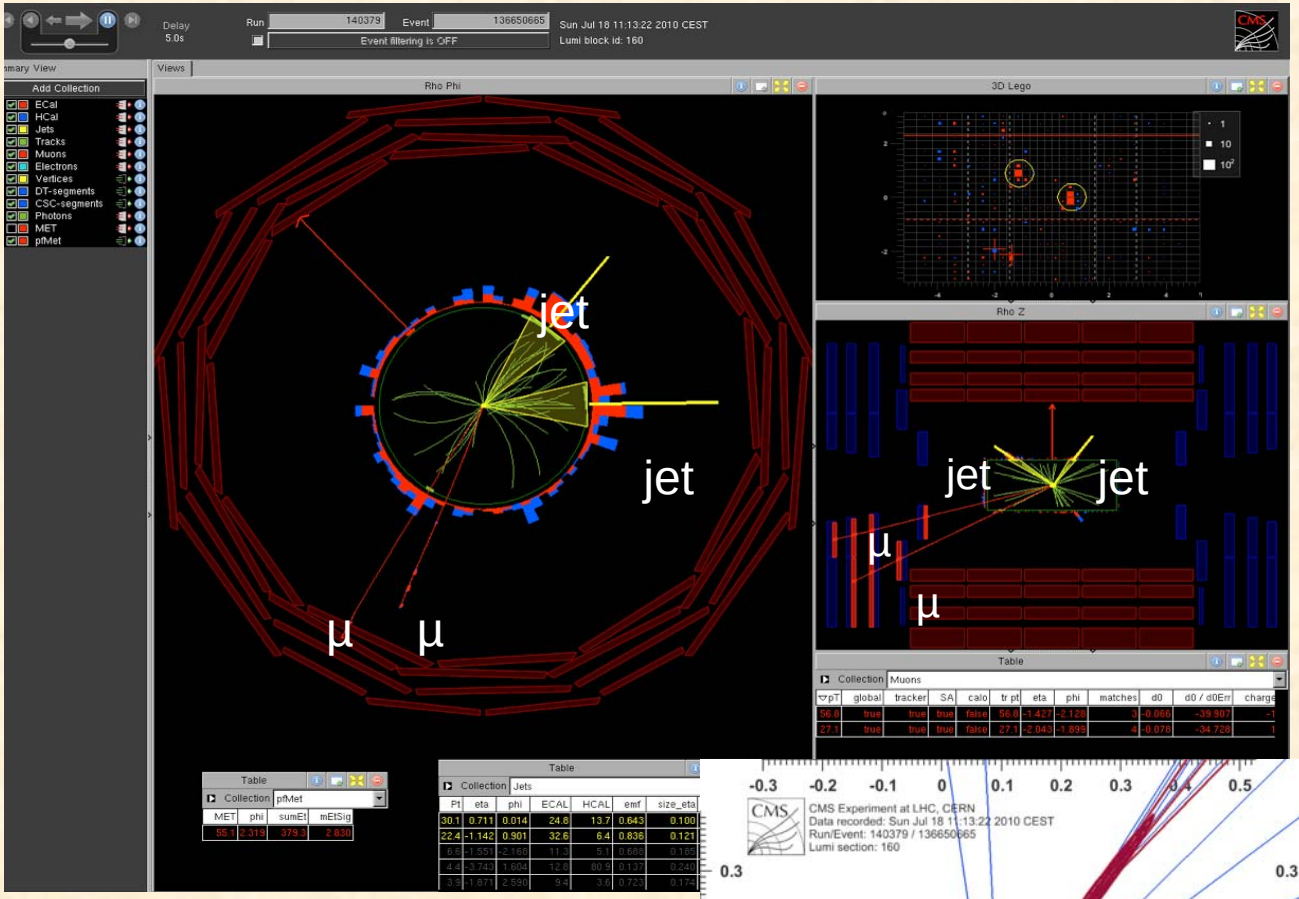


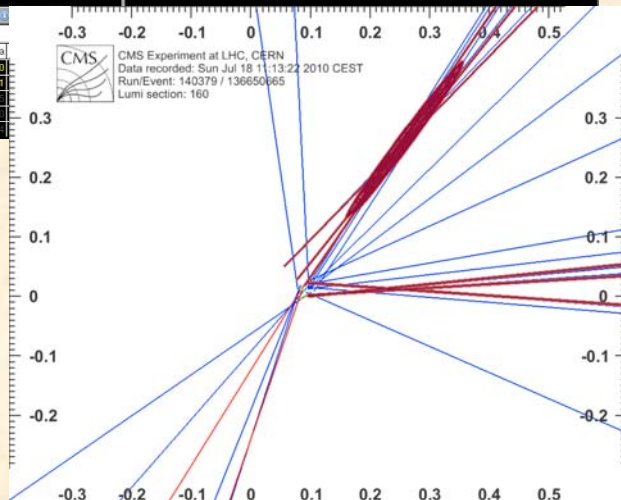
Uno dei primi eventi collisione protone - protone registrati il 30 Mar. 2010 con Energia dei fasci a 7 TeV



.. ed infine prime misure di Fisica: top quark

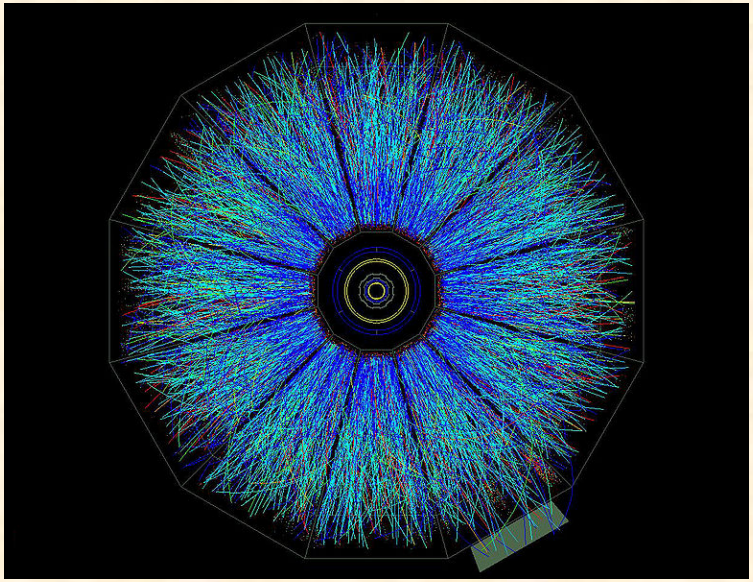


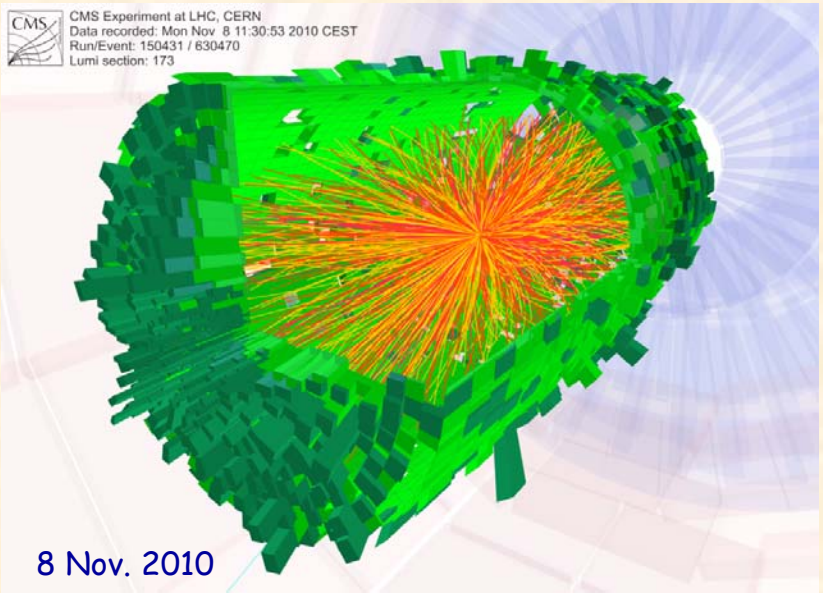


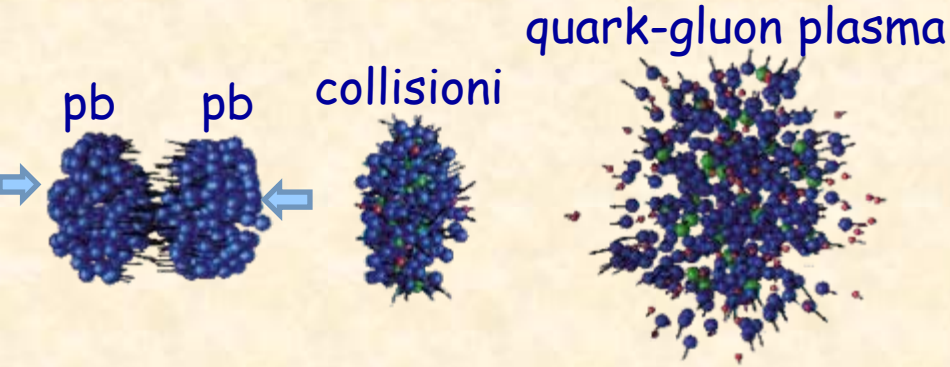


$$\text{top} - \overline{\text{top}} \rightarrow \mu\,\mu + 2\text{jets}$$

Eventi prodotti da collisioni di nuclei di piombo

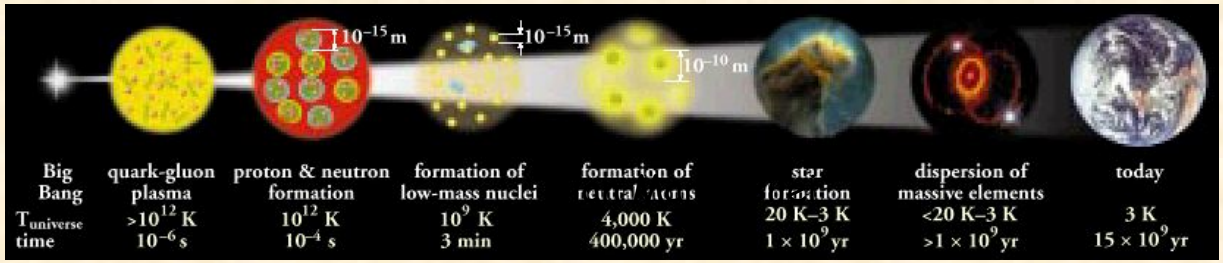






Formazione di un plasma (~ gas) quark e gluoni quasi liberi ad energia Termica equivalente a temperature di circa 1.000 miliardi di gradi C.

Condizioni simili al 10^{-6} sec dopo big-bang



Sistema di acquisizione e selezione dati di CMS

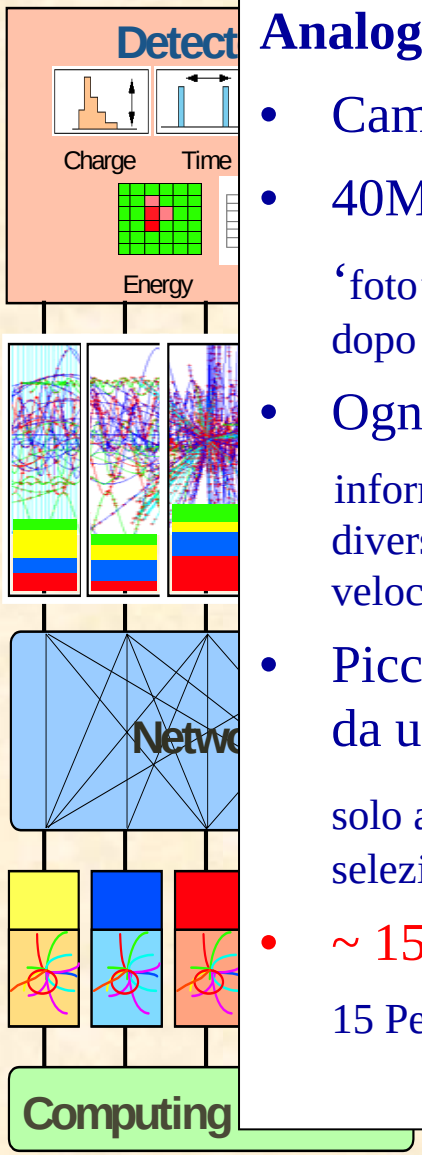
40 MHz
COLLISION RATE

100 kHz
LEVEL-1 TRIGGER

1 Terabit/s
(50000 DATA CHANNELS)

500 Gigabit/s

Gigabit/s SERVICE LAN



Analogia

- Camera Digitale 3-D e 100 Mpixel
- 40Milioni ‘foto’/sec

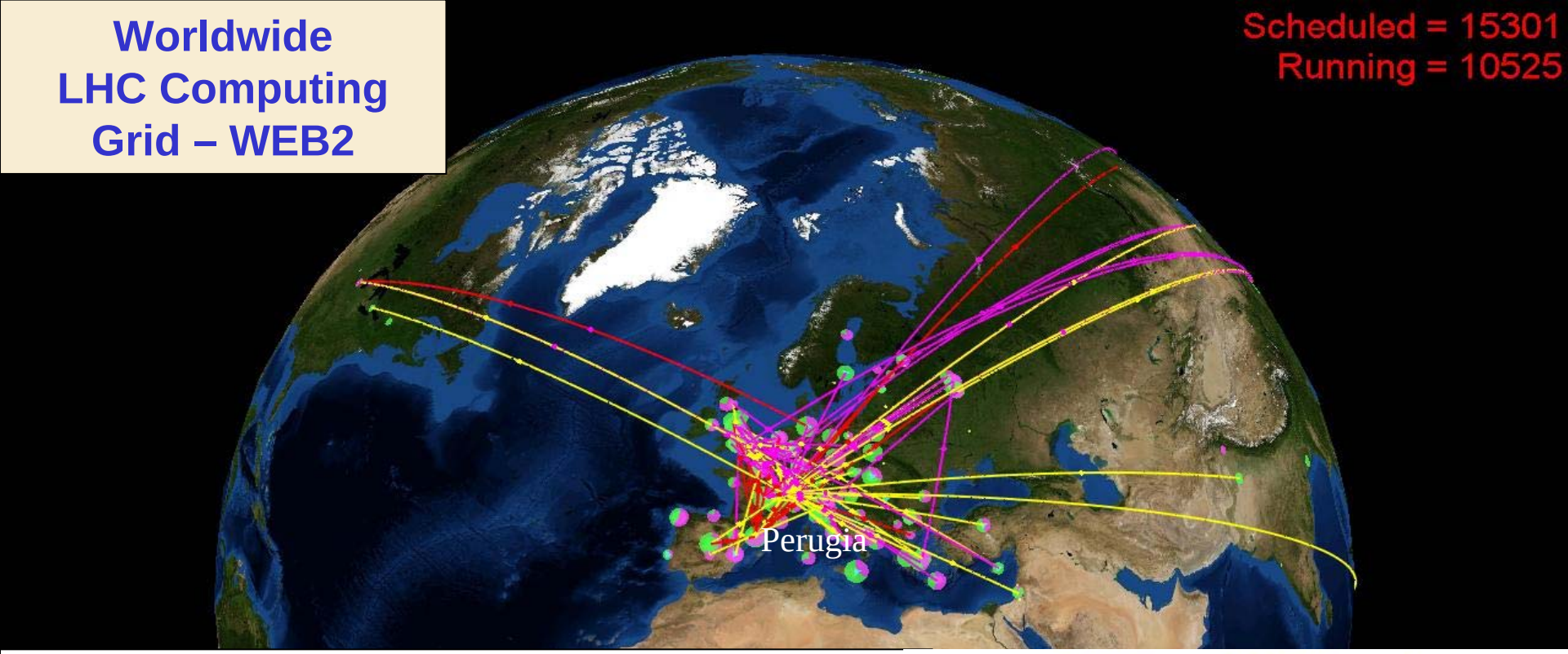
  ‘foto’ di eventi che accadono 1 milionesimo di secondo dopo Big Bang
- Ogni ‘foto’ ~ 300 MByte

  informazioni di ogni ‘foto’ provengono da ~500 parti diverse assemblate da uno switch di comunicazioni ultra veloce
- Piccola frazione delle ‘foto’ e` selezionata da una farm di 50.000 CPU

  solo alcune centinaia di ‘foto’ al secondo vengono selezionate e memorizzate per ulteriore analisi
- ~ 15 PB per anno mole di dati raccolti

  15 Petabyte =15.000.000 Gigabyte

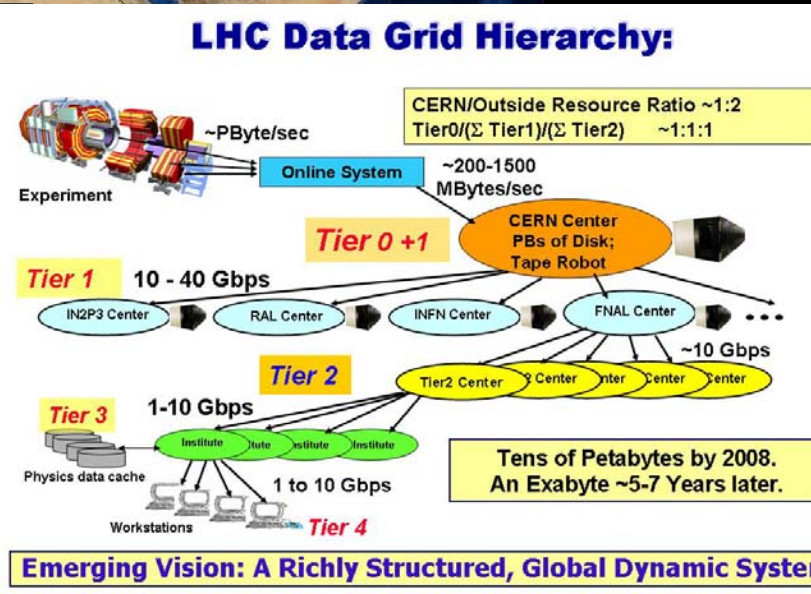
Worldwide LHC Computing Grid – WEB2



Gli esperimenti a LHC produrranno 15 Million Gigabytes di dati Ogni anno - circa 5 milioni di DVDs

La potenza di calcolo richiesta per l'analisi dati LHC e` ~100,000 PC computers distribuiti nel mondo.

<u>Volume di dati prodotti dagli esperimenti in un 1 giorno e` simile al volume del traffico mondiale telefonico annuale.</u>



Scienza e Tecnologia di frontiera

Questi sviluppi tecnologici di frontiera trovano sempre piu` spesso impiego in applicazioni molto innovative in diversi ambiti con forte impatto nel miglioramento della qualita` della vita di noi tutti.
Alcuni esempi:

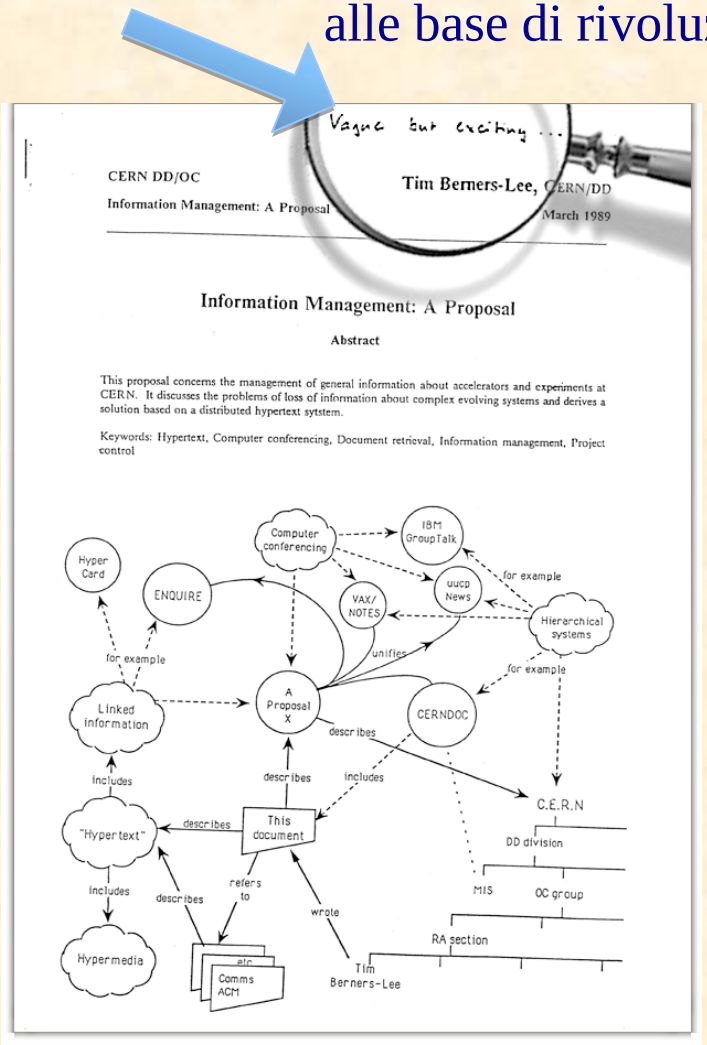
- Information Technology e Comunicazioni
- Salute
- Beni culturali
- Energia ed Ambiente
- Materiali e Processi Industriali
- Sicurezza e Protezione Ambientale
- ..

La ricerca di base e` una fonte considerevole di sviluppo di alta tecnologia. Provoca anche profondo cambiamento nell' organizzazione sociale, il nostro modo di comunicare ed essere.

Uno spin-off molto noto..

La nascita del WEB WWW al CERN nel 1990

..idee all'apparenza vaghe o poco significative a volte sono alle base di rivoluzioni epocali



Vague but exciting ...

CERN DD/OC

Information Management: A Proposal

Tim Berners-Lee, CERN/DD

March 1989

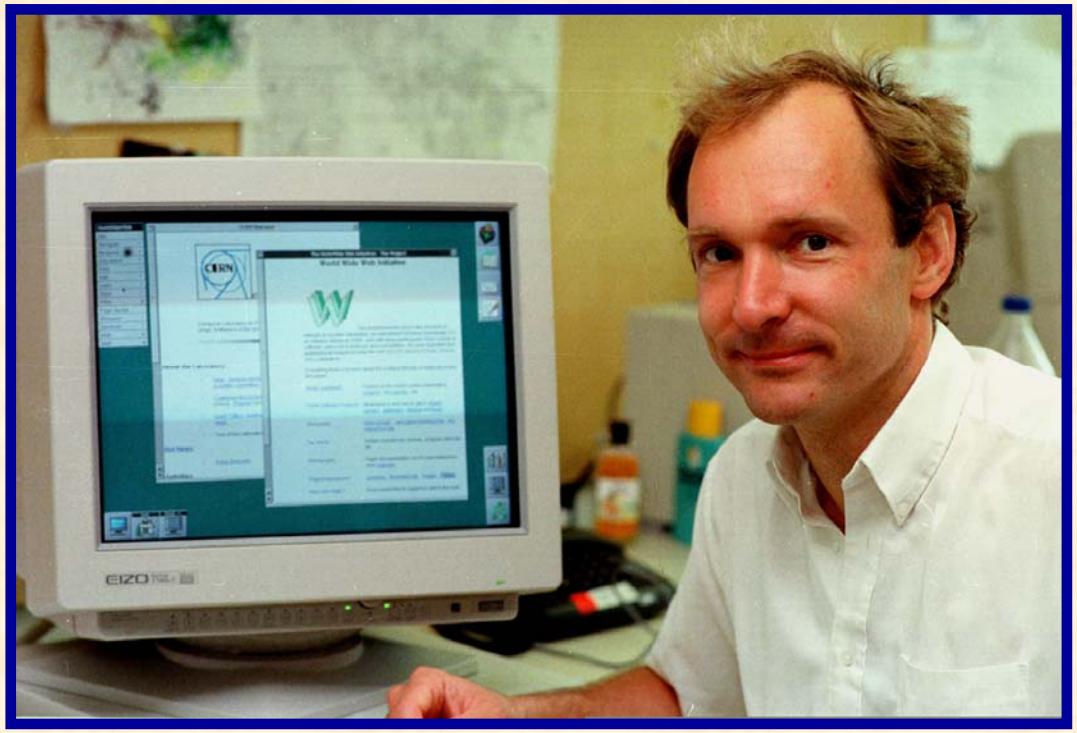
Information Management: A Proposal

Abstract

This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext sytstem.

Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control

Tim Berners-Lee al CERN.

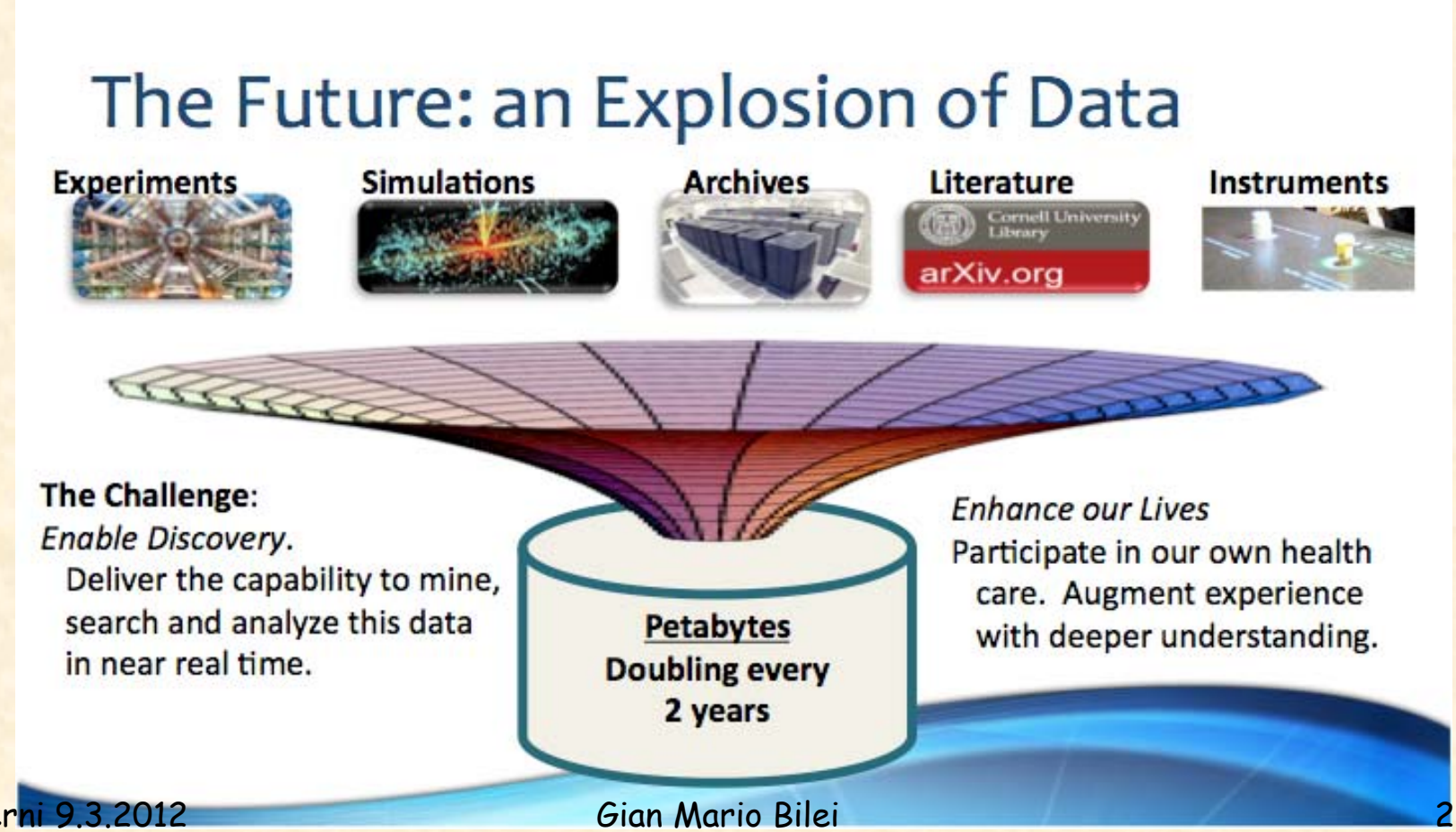


Questo e` il passato …

La mole di dati digitali prodotta nel mondo sta oggi crescendo verticosamente

sfida del futuro:

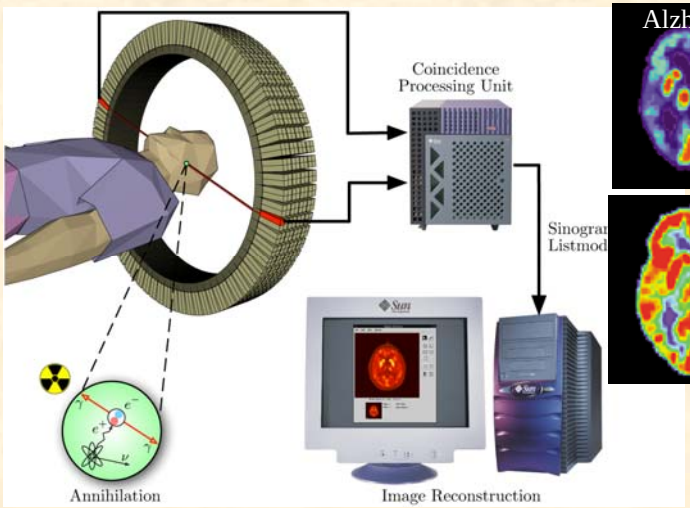
Accedere ed analizzare in tempo reale quantita` di dati enormi provenienti da molti archivi

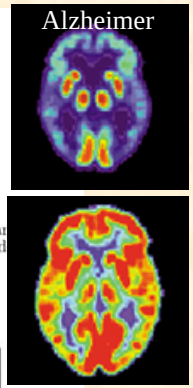


INFN e Dipartimento di Fisica Perugia e la GRID

- Perugia è un nodo GRID dal 2003 ed e` sorto per analizzare dati di CMS
- Abbiamo formato 15 persone in 7 anni su tematiche di calcolo distribuito.
- Alcuni dei nostri giovani ricoprono ora ruoli di responsabilita` al CERN.
- A Perugia abbiamo a disposizione oltre 200 CPU per il calcolo parallelo e distribuito e oltre 50TB di spazio disco

PET (Position Emission Tomography) – Imaging funzionale





Una piccola dose di materiale radioattivo (radionulide) viene introdotto per via endovenosa nel paziente.

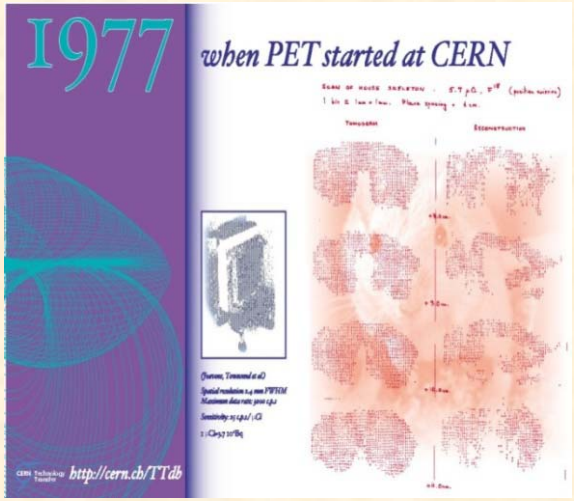
Positroni emessi dal radionulide interagisco con molecole emettendo 2 fotoni direzione opposta.

Rivelatori di fotoni registrano le posizioni dalle quali vengono originate queste emissioni.

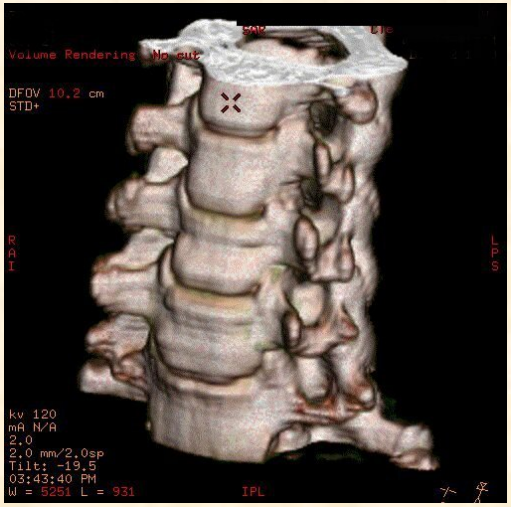
Immagini 3-dimensionali vengono ricostruite basandosi sulla frequenza di queste emissioni

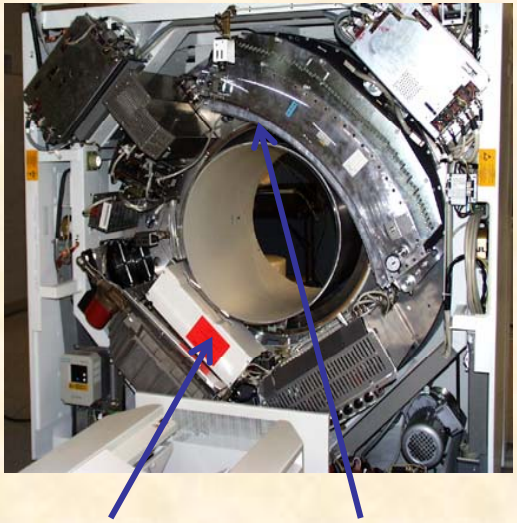
PET e` solo un esempio.

Tecnologie dei rivelatori di particelle sono ampiamente impiegati anche per tecniche di immagine medicale avanzato in molti strumenti diagnostici



Imaging Morfologico – Computer Tomography (CT)





1901 - Il Fisico Röntgen riceve il Nobel per aver scoperto i raggi X

Progressi enormi negli ultimi anni: Imaging Morfologico

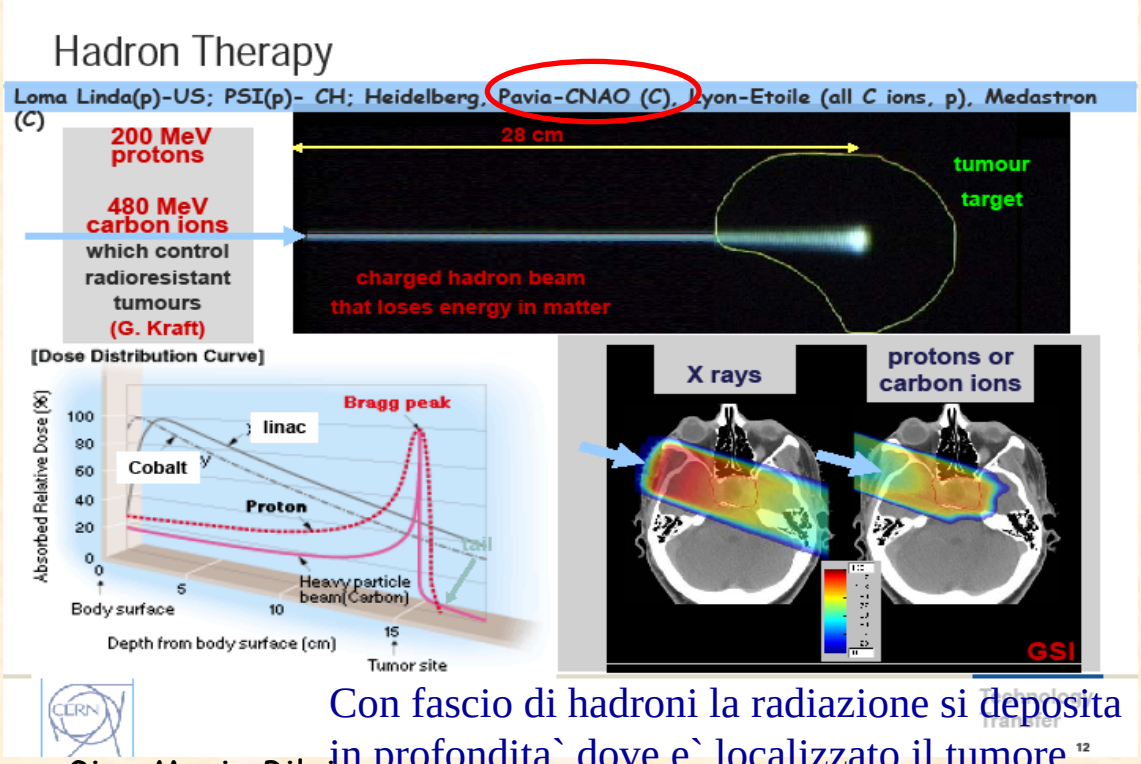
La sorgente di raggi X ed il rivelatore ruotano intorno il corpo.

Immagine 3-D e` ricostruita dal computer assemblando tante immagini 2-D ottenute da diverse angolazioni.

Terapia Adronica: offre notevoli vantaggi nella cura dei tumori ‘profondi’

~ 9.000 acceleratori in tutto il mondo sono usati in medicina

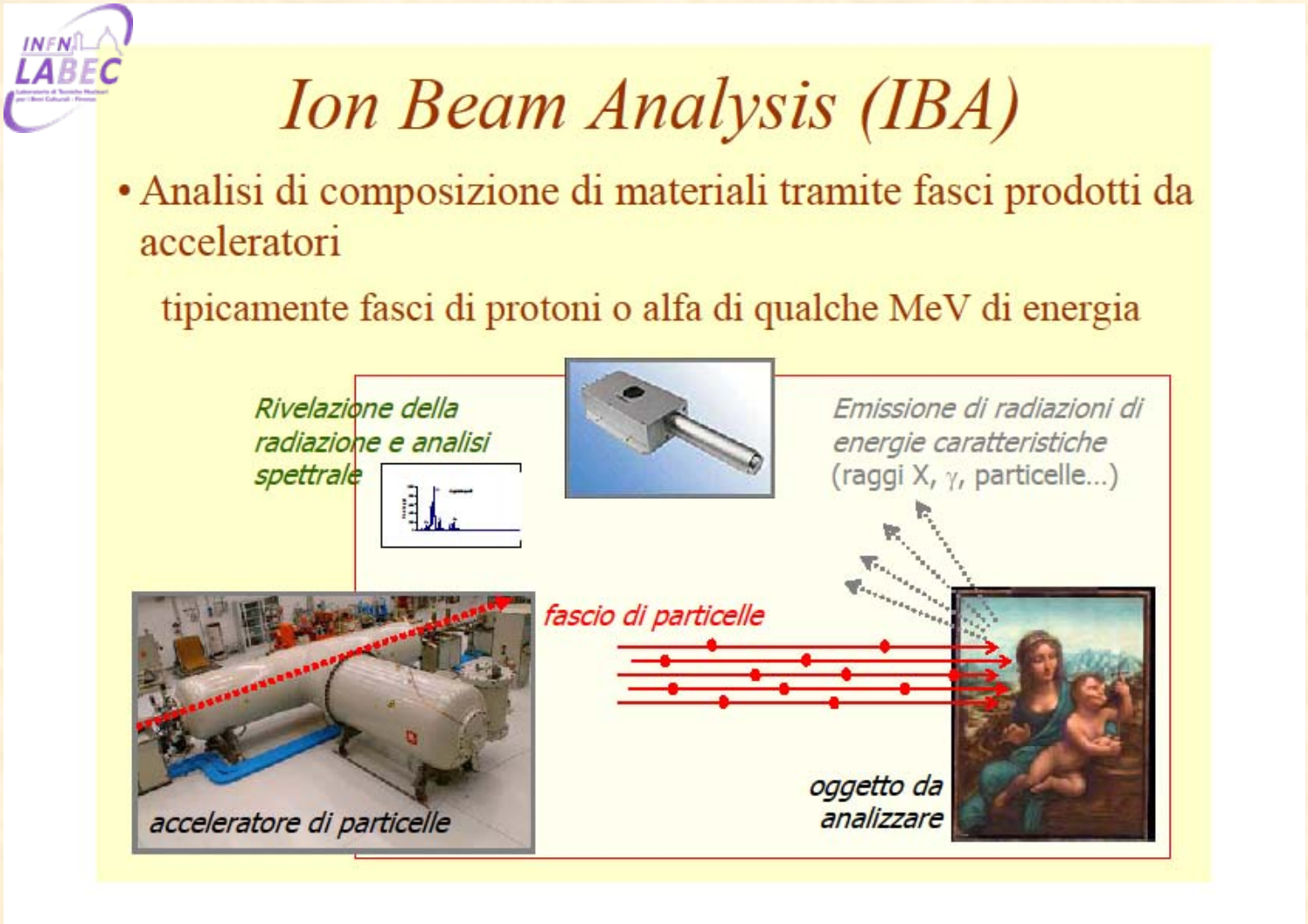
Acceleratori di ioni sono grande e recente innovazione e offrono miglior beneficio trattamento tumori profondi.
Un solo centro presente in Italia (CNAO) a Pavia sta iniziando i primi trattamenti.

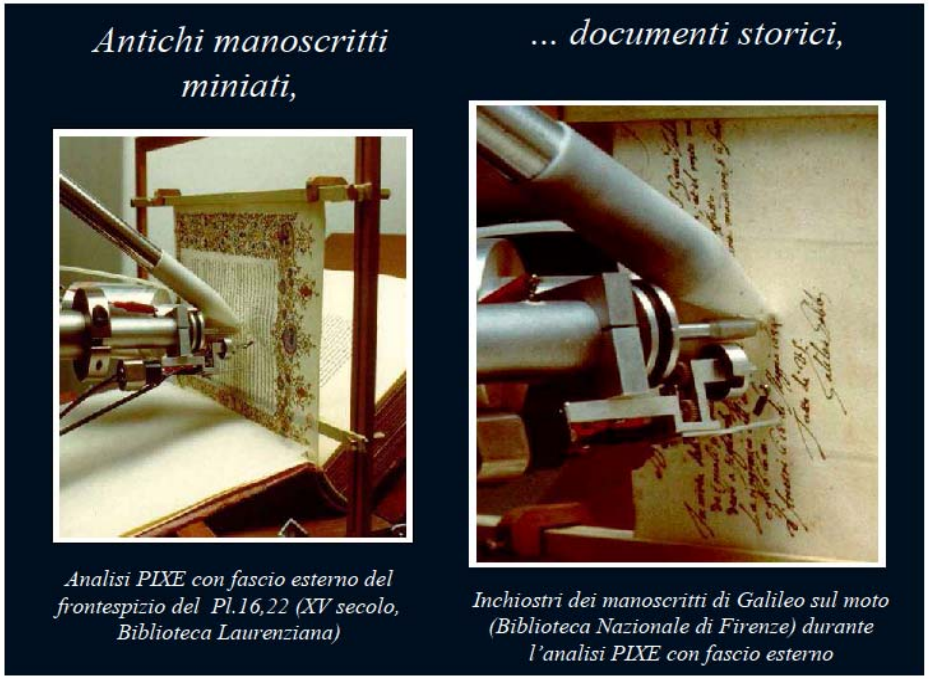


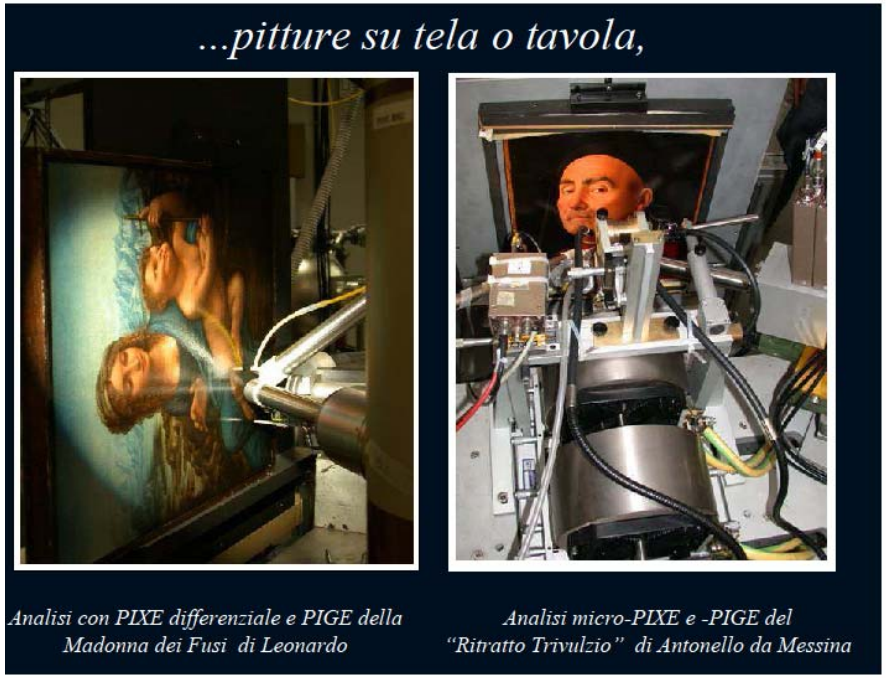
Con fascio di hadroni la radiazione si deposita in profondita` dove e` localizzato il tumore

Applicazione acceleratori nell' analisi dei beni culturali

Con un fascio di particelle esterno si può determinare in modo completamente non-distruttivo e quantitivamente la composizione di qualunque materiale







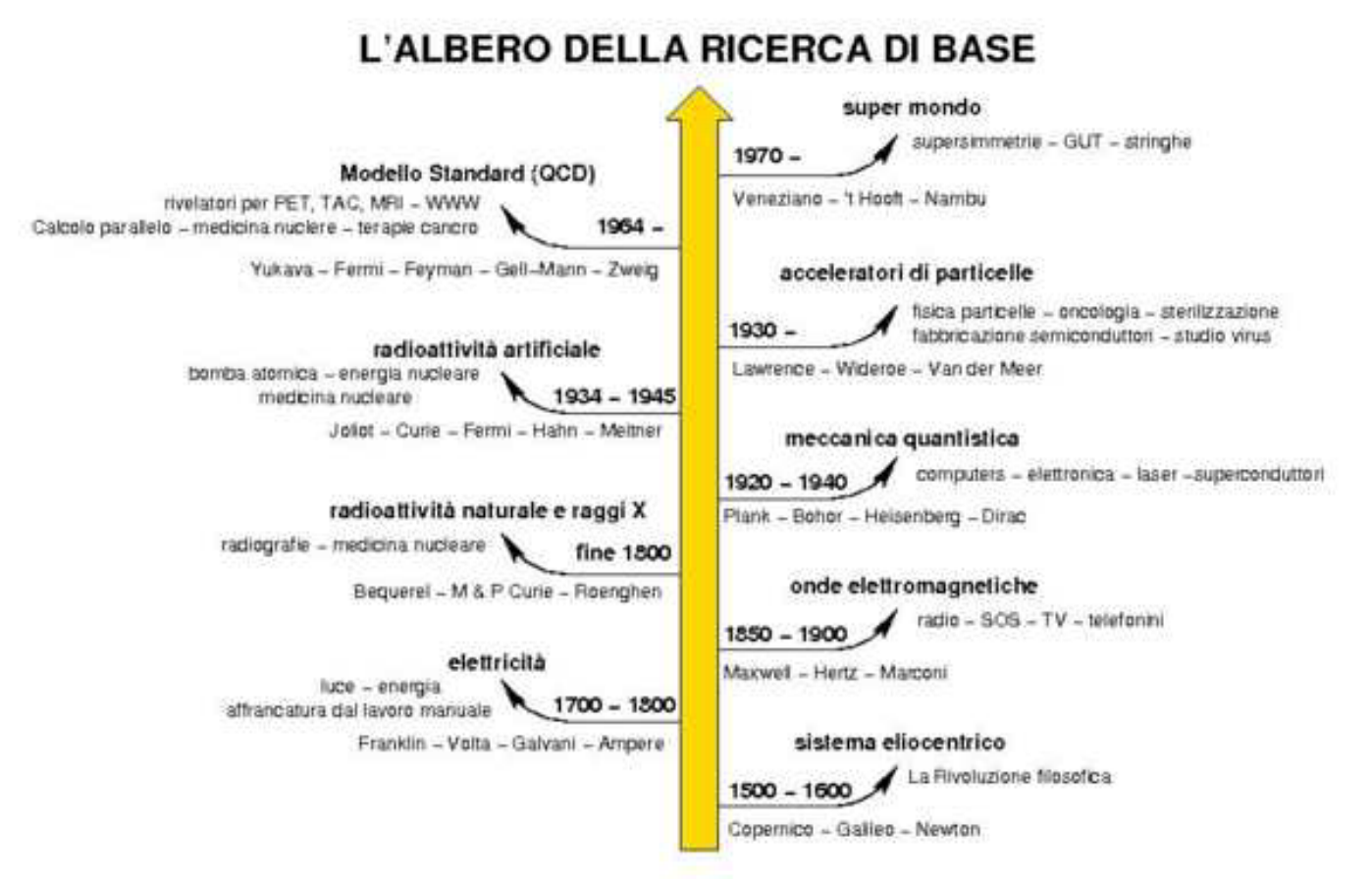
Utenti di queste tecnologie :

- Storici dell'arte, archeologi, storici della scienza o delle tecnologie, etc.
  Chiarire dubbi di attribuzione, cronologia, informazioni su specifiche tecniche impiegate
- Restauratori e conservatori
  Chiarire la conoscenza dello stato di degrado delle opere e del materiale sul quale intervenire

Considerazioni finali sulla Ricerca di base (o ‘curiosity driven’)

La storia ci insegna che le grandi scoperte scientifiche (ad esempio elettricita`, penicillina, struttura dell’atomo, transistor etc.) che hanno rivoluzionato la vita umana a volte sono nate dall’osservazione di piccoli ed insignificanti eventi.

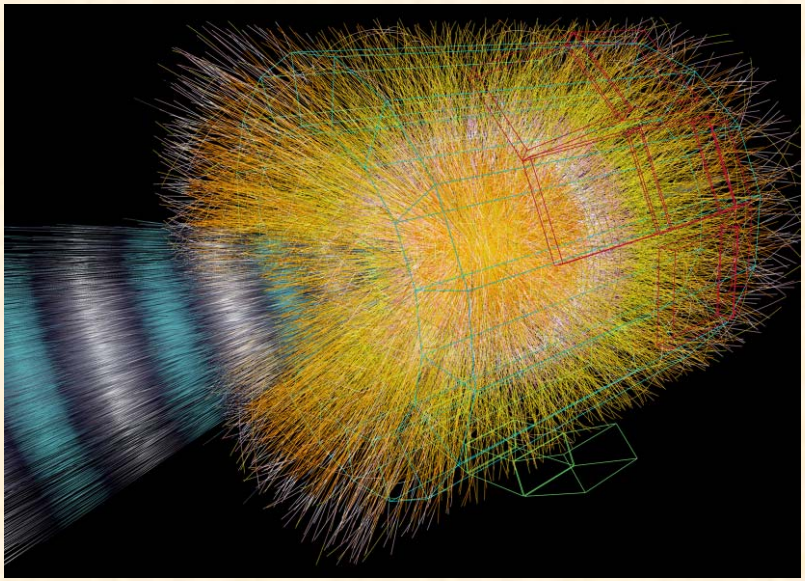
Provare curiosita` per la natura intorno a noi, l’universo, e cercare modi per esplorarlo e` il modo migliore per fare scoperte destinate a cambiare la vita di noi tutti.



Conclusioni

Siamo agli albori di una nuova Era Scientifica e Tecnologica

Mai l'uomo fino ad ora e` stato in grado di riprodurre in laboratorio condizioni simili a quelle dell'origine dell' Universo.



Tecnologie e metodologie di ricerca molto innovative a sostegno di queste attivita` sono state e sono tuttora in sviluppo.

La tecnologia computazionale GRID o WEB2 potrebbe cambiare in maniera rivoluzionaria il nostro modo di far ricerca in diversi ambiti scientifici (in particolare nelle scienze che investigano sistemi complessi: scienze biologiche, naturali e fisiche.

Molti ritengono che sta emergendo anche un nuovo modo di fare Ricerca Scientifica.

Importanti opportunita` nel migliorare la comprensione della Natura che ci circonda sono di fronte a noi!

“L’esperienza piu’ bella che possiamo avere e’ il mistero.

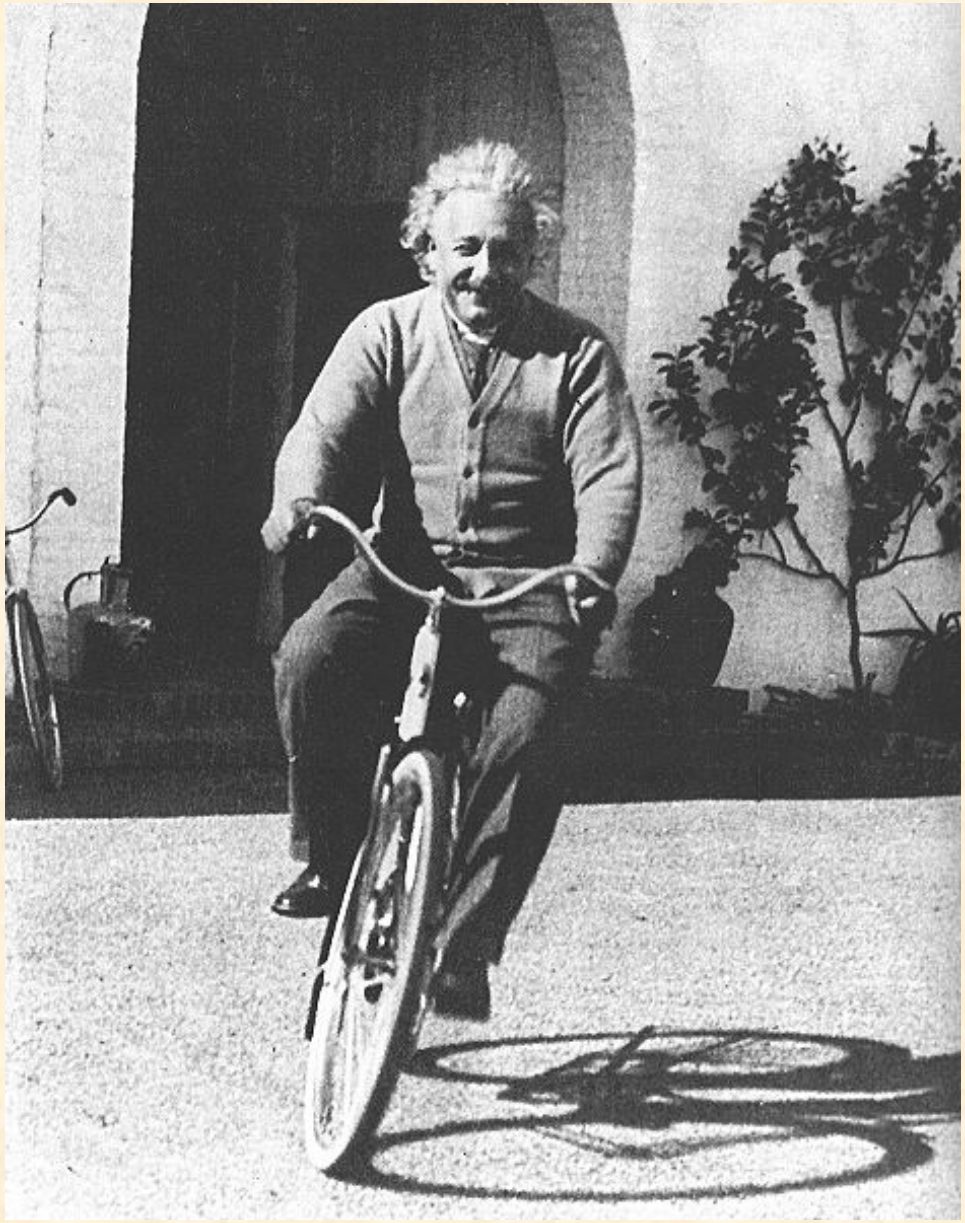
Esso e` alla base della vera arte e della vera scienza.

Chi non sa cos’e’ o non sa piu’ sognare o meravigliarsi, e’ come morto, e il suo sguardo e’ spento.”

-Albert Einstein

Auguro a tutti voi di essere sempre curiosi e di cercare di dare risposte alle tante domande ancora aperte.

Grazie per l’attenzione ed in bocca al lupo !!

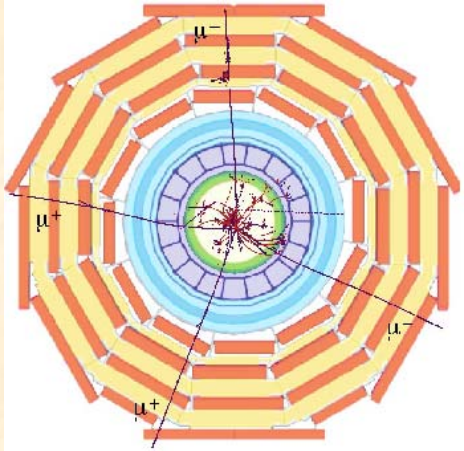


Slides aggiuntive

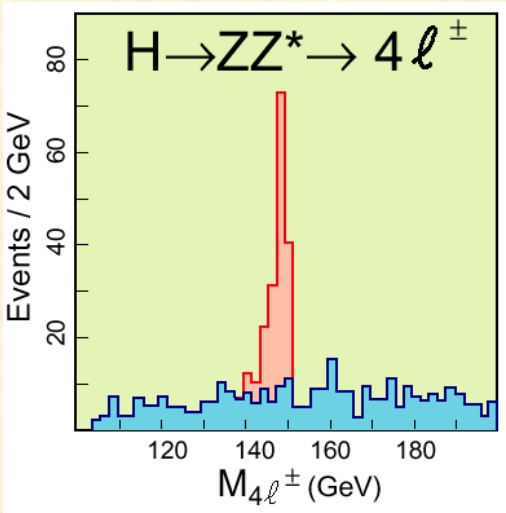
Che cosa e` la massa?

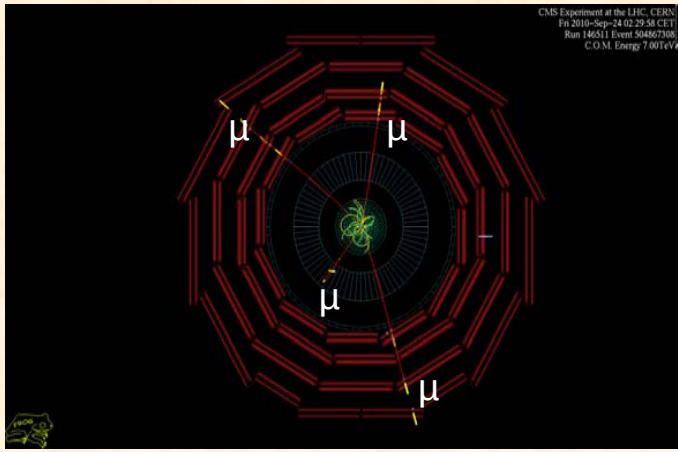
Uno dei grandi enigmi che speriamo di poter risolvere.

Il bosone e teoria di Higgs se osservati potrebbero darci una possibile spiegazione



Evento simulato





Evento reale molto simile ma purtroppo di ‘fondo’

Come affrontare questa sfida?
Il WEB 2 ovvero GRID (Griglia) sara` la risposta

Quale e` la differenza tra il WEB WWW e GRID Computing?

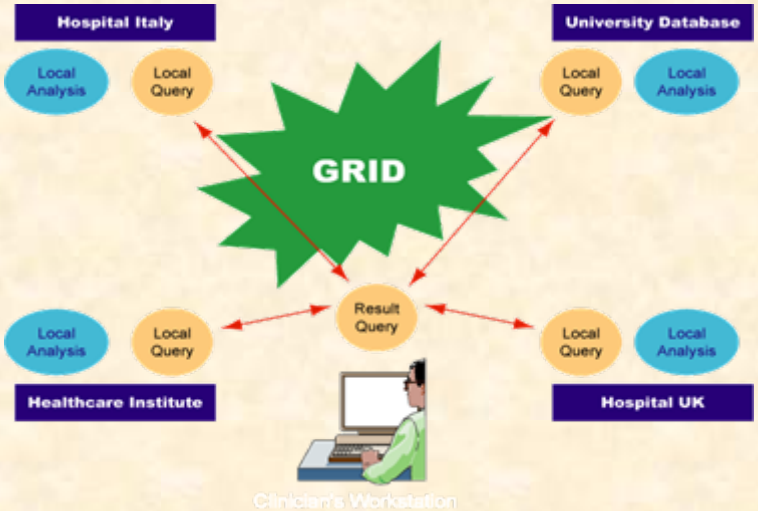
GRID Computing utilizza Internet per condividere **potenza di calcolo** mentre il **WEB** utilizza Internet per condividere semplicemente **informazioni**.

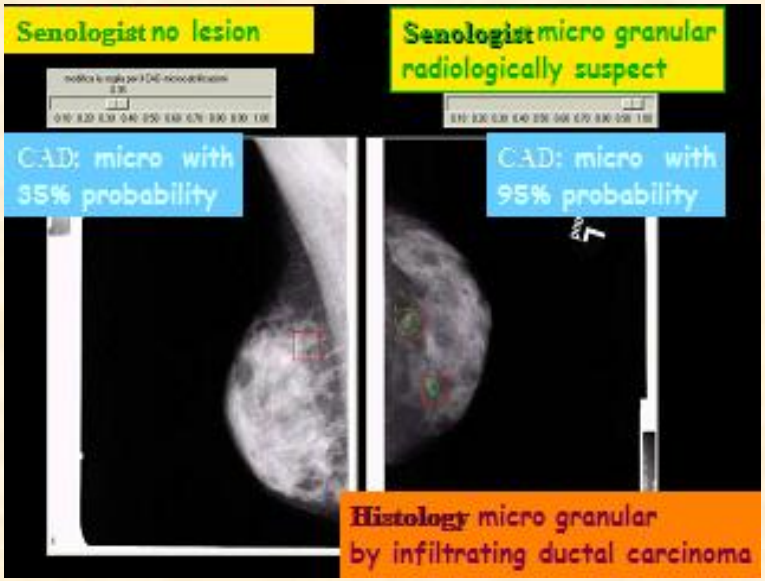
GRID Computing e` un servizio per condividere grande potenza di calcolo ed enorme volume di dati distribuiti in Internet e sta dando un grande contributo alla ricerca scientifica di punta.

Oggi si intravedono prime applicazioni di GRID ma non e` ancora del tutto chiaro (come alla nascita del WEB nel 1990) quale sara` l'impatto sociale.
Grande opportunita`!

Esistono gia` applicazioni GRID sperimentali in corso in Italia e nel mondo

Mammo-Grid Project



Implementazione di un Database di mammografie distribuito in Europe basato su tecnologie GRID

- Fornisce ai dottori accesso a decine di migliaia di immagini diagnostiche.
- Fornisce possibilita` di diagnosi da remoto.
- Fornisce un software (pattern recognition, algoritmi ricostruzione immagine avanzati) per estrarre informazioni utili per analisi e studi clinici d'avanguardia.