



LHC e il CERN

Riccardo Paramatti

19/06/2008

Indice della lezione

- Il Cern di Ginevra
- Il Modello Standard delle particelle elementari
- Il bosone di Higgs
- L'acceleratore e gli esperimenti LHC
- Qualche esempio sulle misure con i rivelatori
- Il trigger

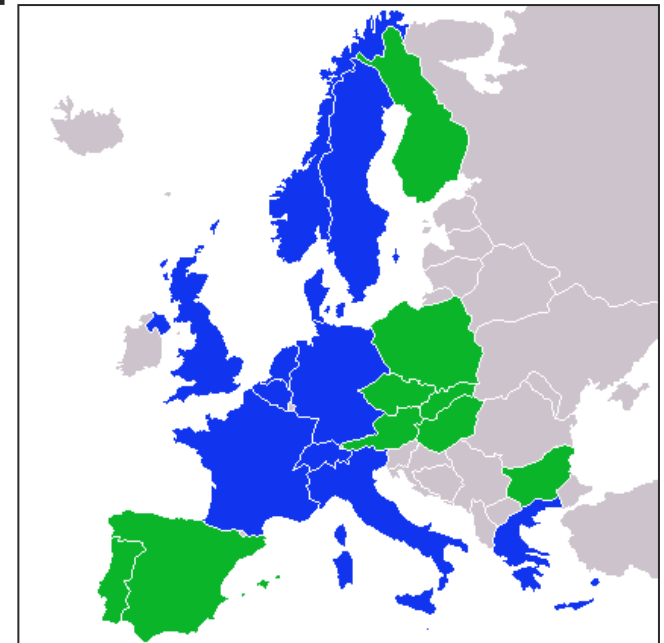
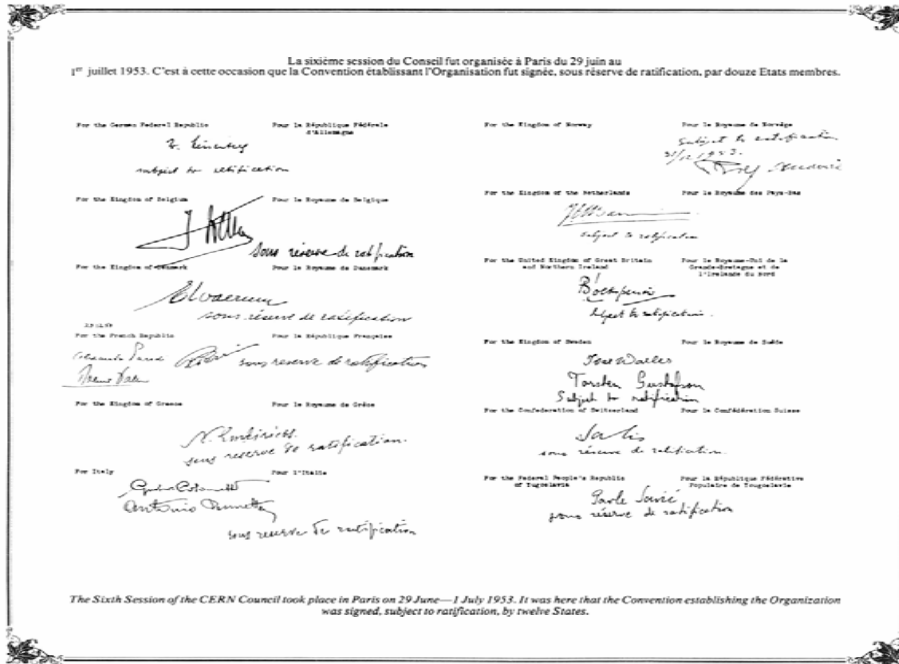
Una nuova visione del futuro...

- “...abbiamo rivolto la nostra attenzione alla creazione di questo **nuovo ente internazionale**, un laboratorio o un istituto dove sia possibile **effettuare ricerca scientifica al di là del quadro nazionale dei vari stati membri** [...] un ente dotato di risorse maggiori di quelle disponibili ai laboratori nazionali che possa quindi farsi carico di compiti le cui dimensioni e la cui natura siano tali che i singoli stati non possono svolgerli da soli...”

(Louis de Broglie, 1949)

[Il Cern]

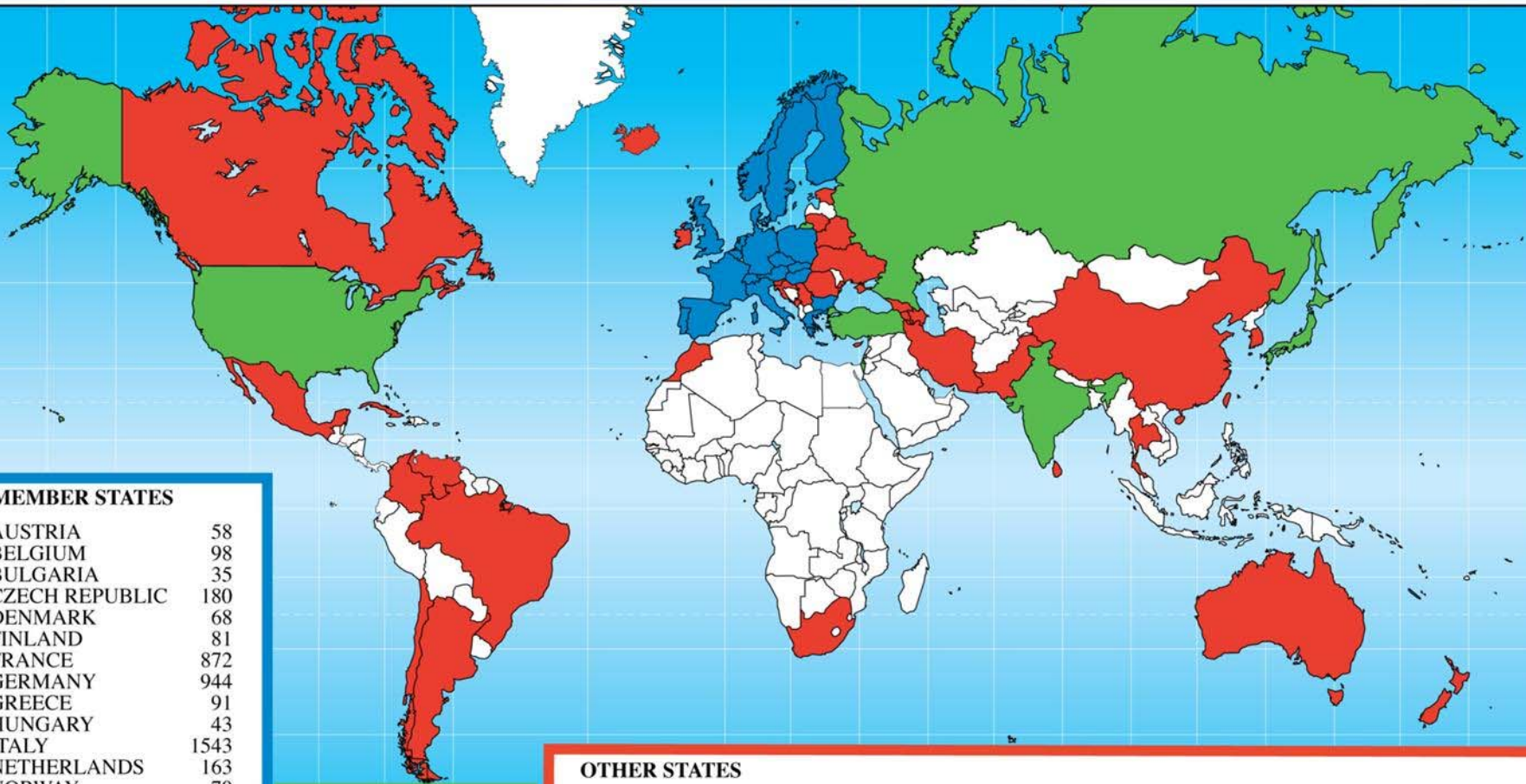
- European Organization for Nuclear Research
- Fondato nel 1954 da 12 stati europei
- Oggi: 20 stati membri e ~8000 user
- ~1000 MCHF/anno di budget



stati fondatori

nuovi stati membri

Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 5 February 2008



MEMBER STATES

AUSTRIA	58
BELGIUM	98
BULGARIA	35
CZECH REPUBLIC	180
DENMARK	68
FINLAND	81
FRANCE	872
GERMANY	944
GREECE	91
HUNGARY	43
ITALY	1543
NETHERLANDS	163
NORWAY	70
POLAND	175
PORTUGAL	109
SLOVAKIA	46
SPAIN	270
SWEDEN	74
SWITZERLAND	344
UNITED KINGDOM	645

5909

OBSERVER STATES

INDIA	93
ISRAEL	64
JAPAN	182
RUSSIA	940
TURKEY	35
USA	1278

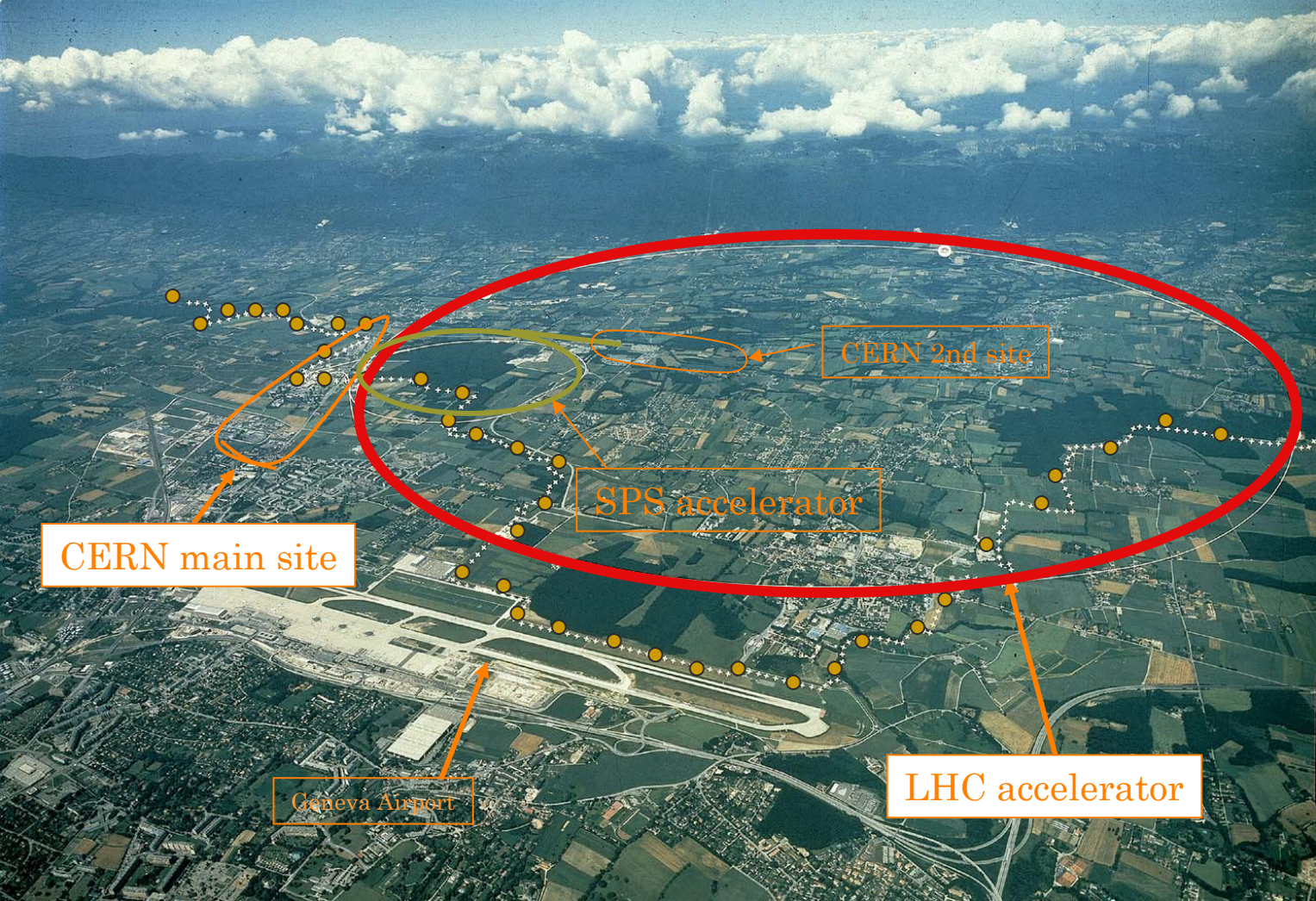
2592

OTHER STATES

ARGENTINA	8	CROATIA	17	MEXICO	23	TAIWAN	40
ARMENIA	17	CUBA	3	MONTENEGRO	1	THAILAND	1
AUSTRALIA	13	CYPRUS	6	MOROCCO	6	UKRAINE	17
AZERBAIJAN	1	ESTONIA	10	NEW ZEALAND	7		
BELARUS	23	GEORGIA	9	PAKISTAN	23		
BRAZIL	68	ICELAND	1	ROMANIA	46		
CANADA	119	IRAN	6	SERBIA	16		
CHILE	4	IRELAND	14	SLOVENIA	16		
CHINA	60	KOREA	44	SOUTH AFRICA	2		
COLOMBIA	5	LITHUANIA	5	SRI LANKA	1		

632

II Cern



[La storia del Cern in pillole]

Referendum nel cantone di Ginevra per approvare la realizzazione del Cern (giugno 1953)

Sur le terrain du futur institut nucléaire



Sous la conduite de M. A. Picot, les membres du Conseil européen pour la recherche nucléaire se sont rendus hier à Meyrin pour reconnaître le terrain où s'éleva le Centre nucléaire (voir en Dernière heure)

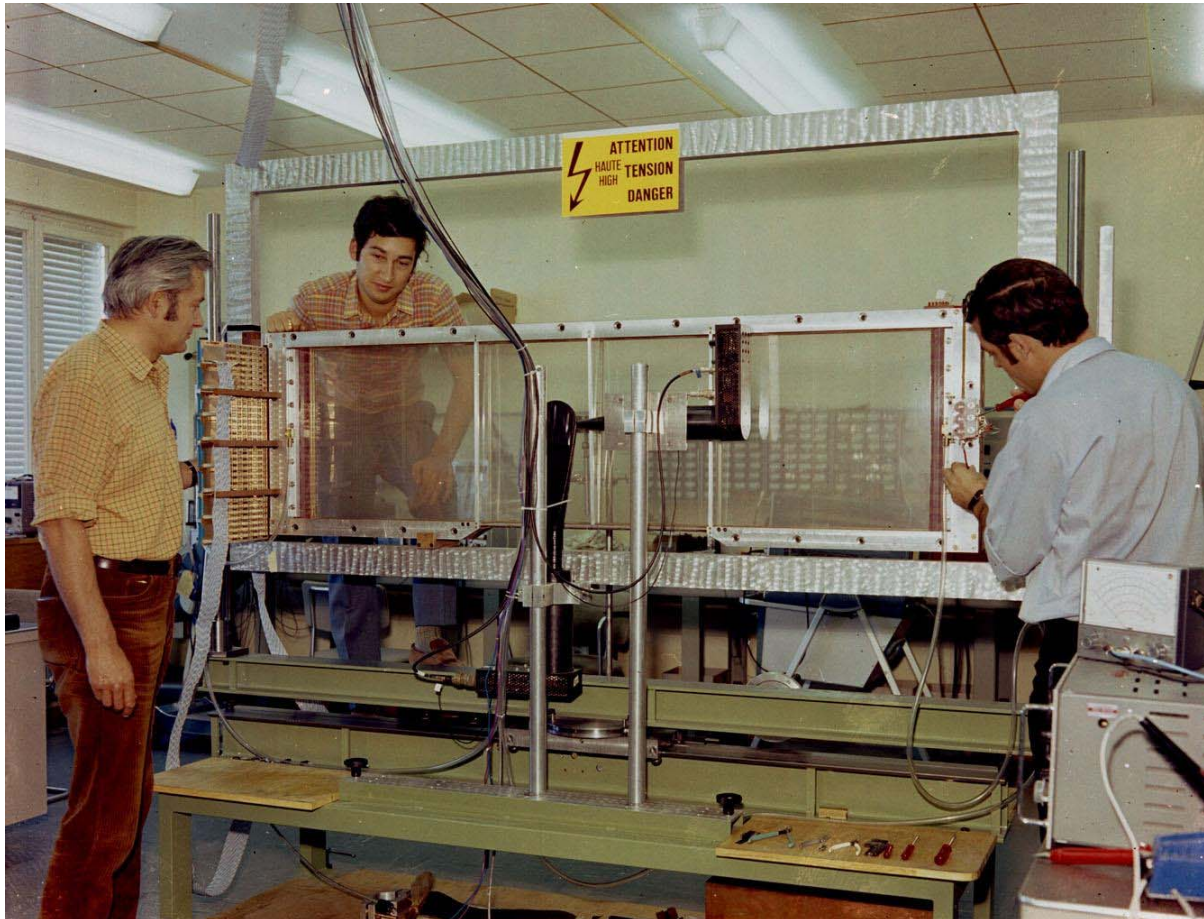
(Photo Freddy Bertrand, Genève)

La Suisse du 30 octobre 1953



Carlo Rubbia e Simon Van Der Meer
Premi Nobel 1984

[La storia del Cern in pillole]



Nel 1968 Georges Charpak sviluppa la "multiwire proportional chamber"

un rivelatore che ha fatto la storia della fisica delle particelle ed ha portato Charpak a vincere un premio Nobel

Il World Wide Web

Inventato al Cern nel 1990 da Tim Berners-Lee

Help us improve Wikipedia by [supporting it financially](#).

[article](#) [discussion](#) [edit this page](#) [history](#)

[Log in / create account](#)

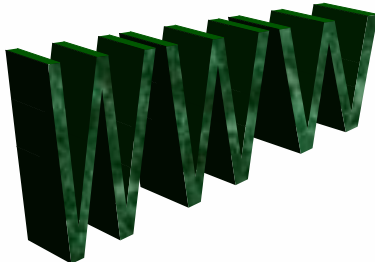
Tim Berners-Lee

From Wikipedia, the free encyclopedia

Sir Timothy John Berners-Lee *OM KBE FRS FEng FRSA* (born **8 June 1955**) is an [English](#) computer scientist who, with the help of [Robert Cailliau](#), and a young student staff at [CERN](#), implemented on **25 December 1990**, the first successful communication between an [HTTP](#) client and server via the Internet. He was ranked Joint First in [The Telegraph's](#) list of [100 greatest living geniuses](#) . However, following [Albert Hoffman's](#) death he is now solely first. He is also the director of the [World Wide Web Consortium](#) or [W3C](#) (which oversees its continued development), and a senior researcher and holder of the [3Com Founders Chair](#) at the [MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory](#) ([CSAIL](#)).^[1]

Contents [hide]

- Biography
 - Background and early career
 - Inventing the World Wide Web
 - Current Life
- Criticising Domain Extensions
- Personal life
- Recognition
- Works
- See also
- Notes
- References
- External links



Biography

[\[edit\]](#)


Background and early career

[\[edit\]](#)

His parents, both [mathematicians](#), were employed together on the team that built the [Manchester Mark I](#), one of the earliest computers. They taught Berners-Lee to use mathematics everywhere, even at the dinner table. Berners-Lee attended Sheen Mount Primary School, before moving on to study his O-Levels and A-Levels at [Emanuel School](#) in [Battersea](#), where a computer centre is dedicated in his name.

He is an [alumnus](#) of [The Queen's College, Oxford](#) where he played table tennis for Oxford, against rival Cambridge. While at Queen's, Berners-Lee built a [computer](#) with a [soldering iron](#), [TTL gates](#), an [M6800](#) processor and an old television. During his time at university, he was caught hacking with a friend and was subsequently banned from using the university computer. He graduated in 1976 with a degree in physics.

Tim Berners-Lee



Tim Berners-Lee on 18 November 2005.

Born	Timothy Berners-Lee <div>8 June 1955 (age 53)</div> London, England
Residence	Lexington, Massachusetts, USA
Other names	Tim
Education	The Queen's College, Oxford
Occupation	Computer Scientist
Employers	World Wide Web Consortium and University of Southampton
Title	Senior Researcher
Known for	Inventing the World Wide Web
Religious beliefs	Unitarian Universalism
Spouse	Nancy Carlson (remarried)

navigation

- Main Page
- Contents
- Featured content
- Current events
- Random article

interaction

- About Wikipedia
- Community portal
- Recent changes
- Contact Wikipedia
- Donate to Wikipedia
- Help

search

toolbox

- What links here
- Related changes
- Upload file
- Special pages
- Printable version
- Permanent link
- Cite this page

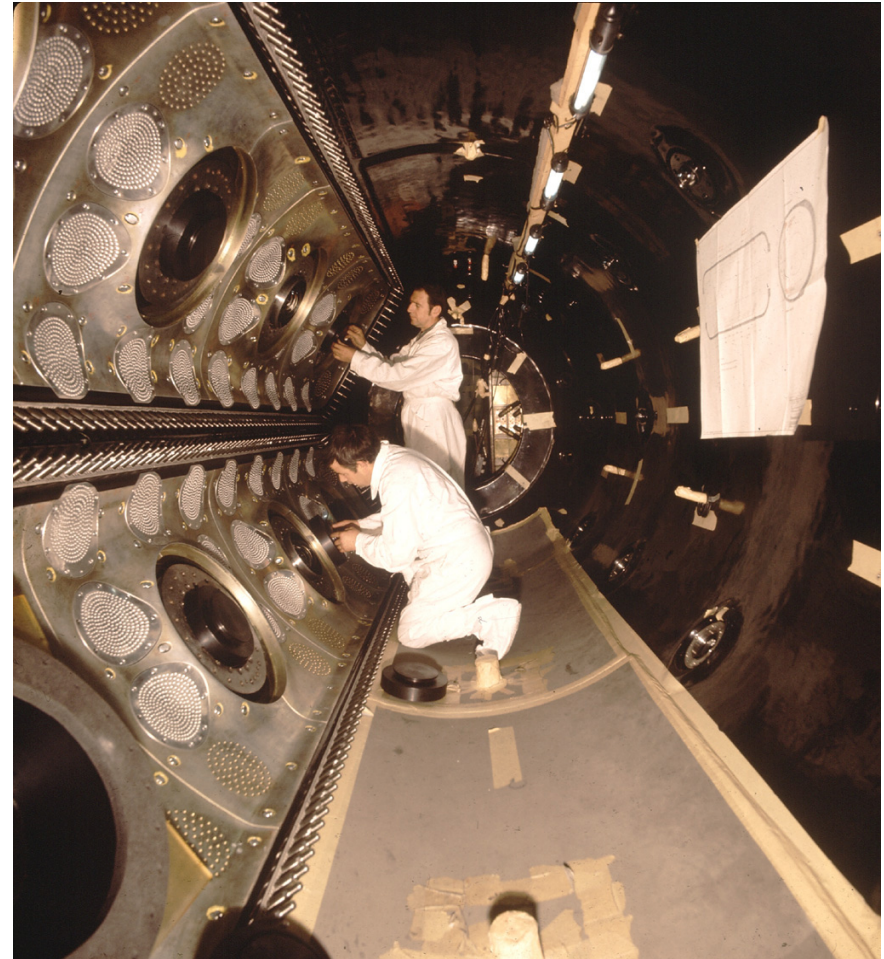
languages

- Afrikaans
- العربية

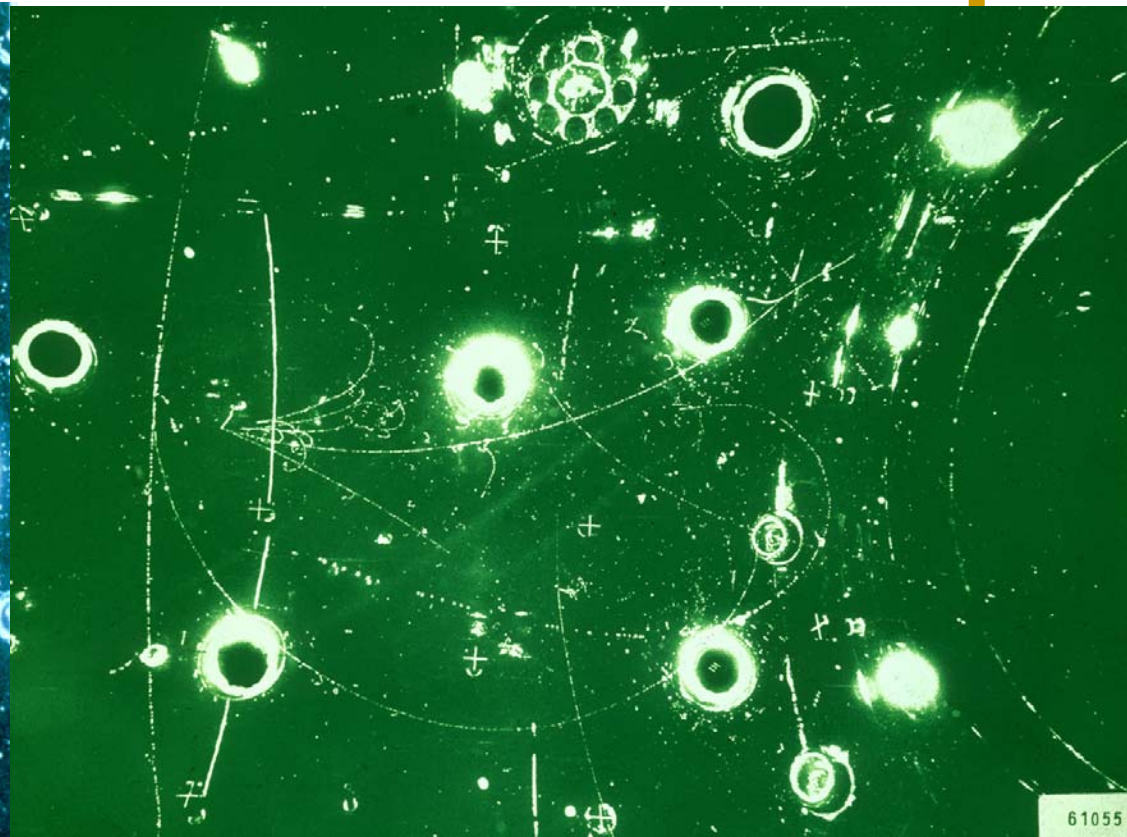
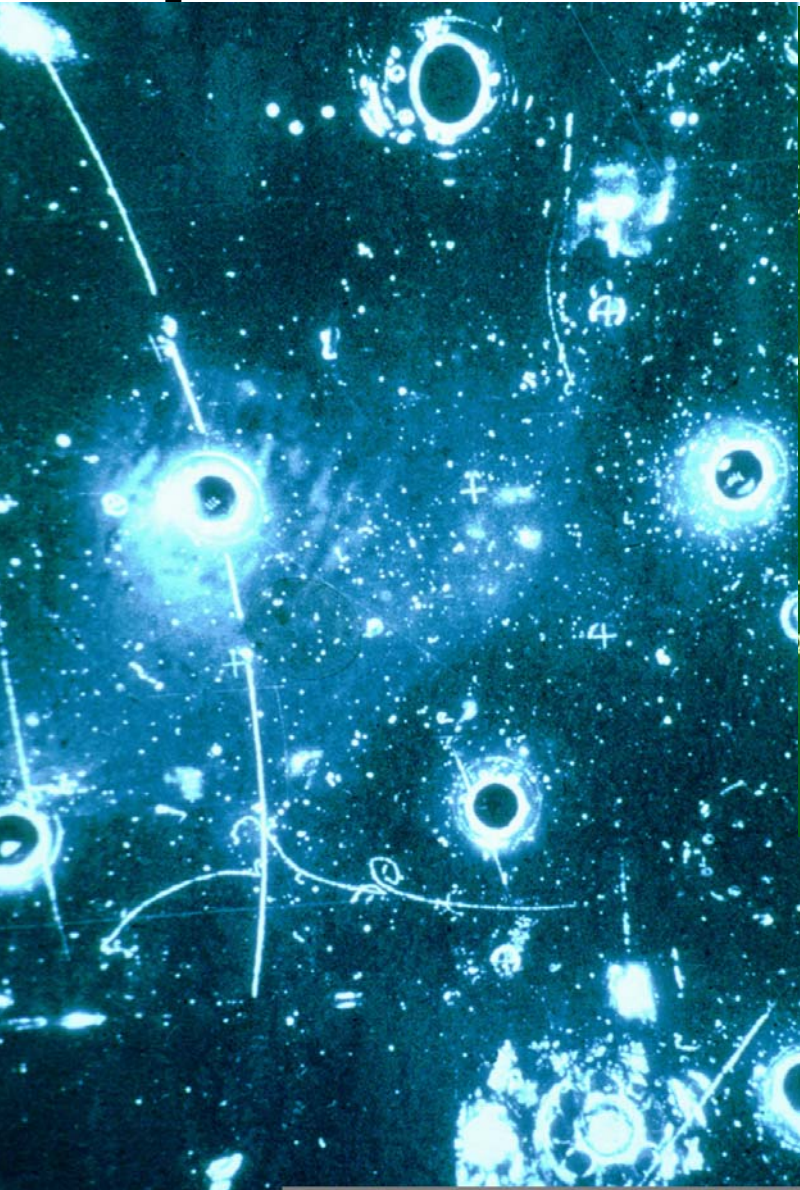
Contributi del CERN alla fisica delle particelle

- ↪ Fra i contributi importanti forniti dal CERN:
- La scoperta delle correnti neutre (Gargamelle 1973)
 - L'osservazione dei bosoni W e Z (C.Rubbia & S.Van der Meer, 1983)
 - La conferma dell'esistenza di 3 famiglie di neutrini (esperimenti LEP 1991)

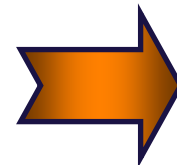
[La camera a bolle Gargamelle]



Osservazione delle interazioni dei neutrini nella camera Gargamelle

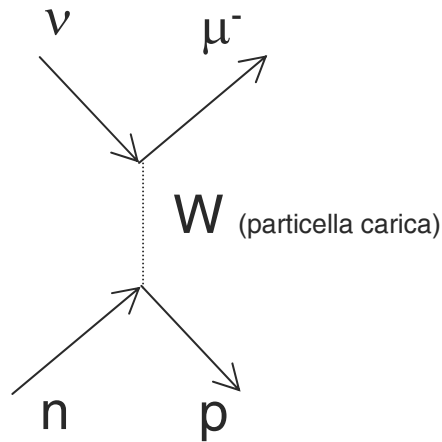


Due eventi in interazione di neutrini in cui non si osservano muoni carichi (μ) nello stato finale

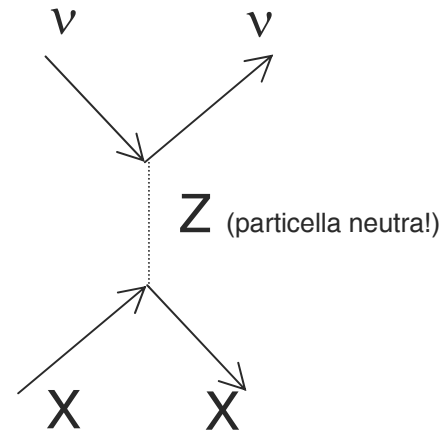


Scoperta delle
"correnti neutre"

Correnti deboli cariche e neutre



Correnti cariche: la forza debole e' mediata dallo scambio di una particella carica (all'epoca non ancora osservata direttamente), il **W**. L'interazione del neutrino e' analoga al decadimento β .



Correnti neutre: la forza debole e' mediata dallo scambio di una particella neutra la **Z**. E' una sorpresa: non ci sono analogie con processi gia' noti.

[Scoperta di W e Z]

- Per poter osservare direttamente W e Z e' stato necessario attendere 10 anni che entrasse in funzione il super protosincrotrone (SpS) del CERN e che si riuscisse a trasformarlo in un collisore protone – antiprotone (SppS)

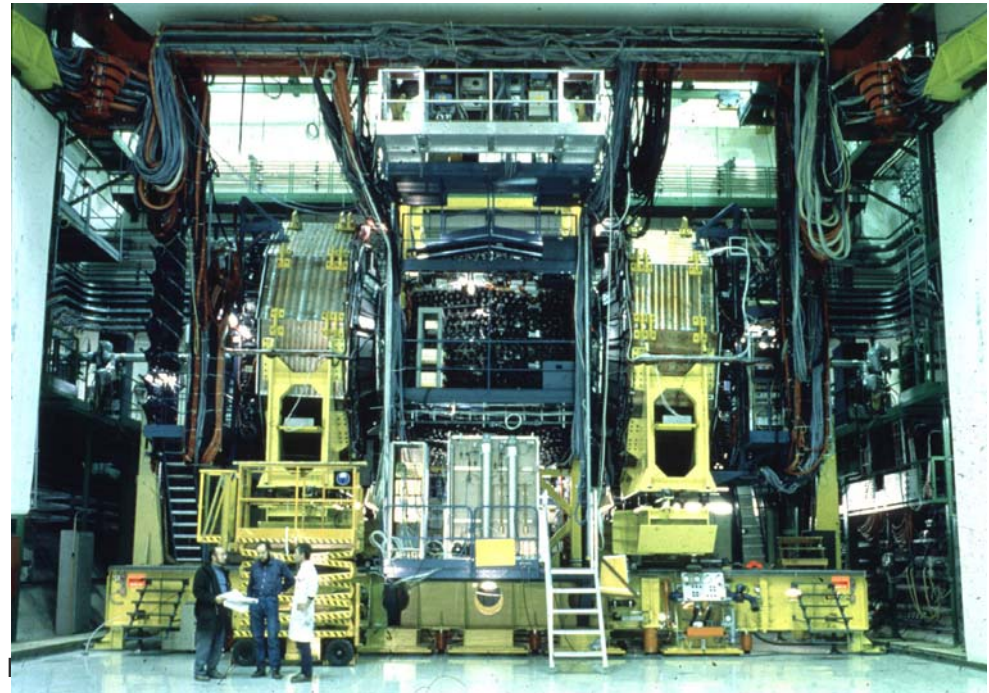
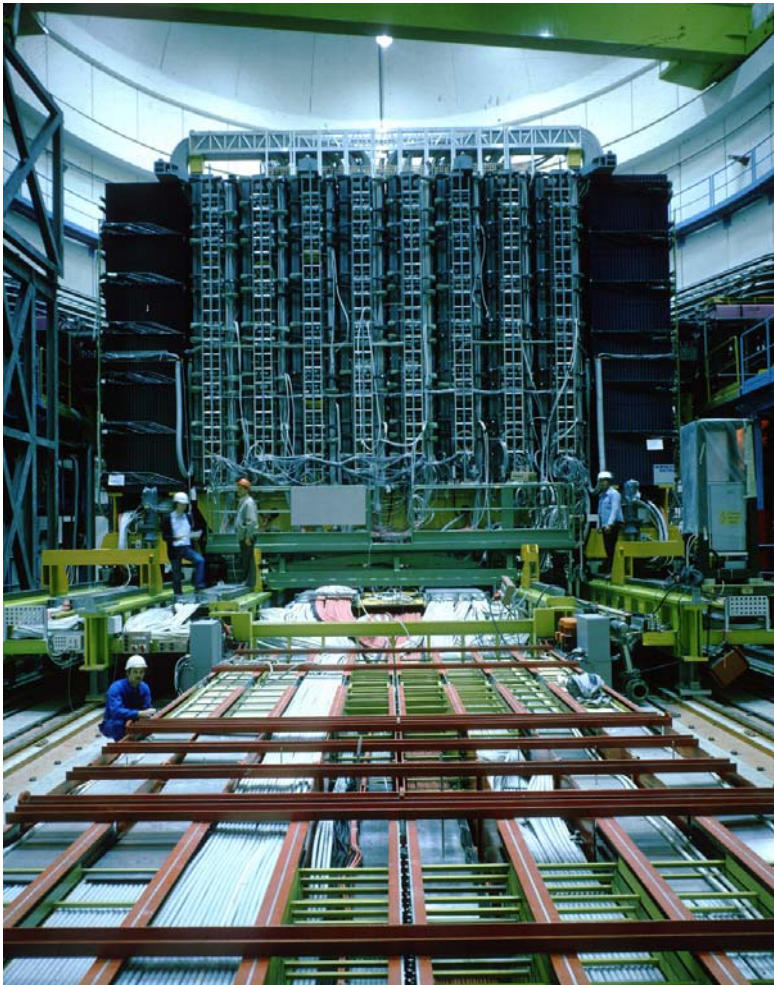
1972: inizio scavi SPS



1984: festeggiamenti per il premio Nobel



Scoperta di W e Z: gli esperimenti UA1 e UA2



Il Large Electron Positron collider: LEP



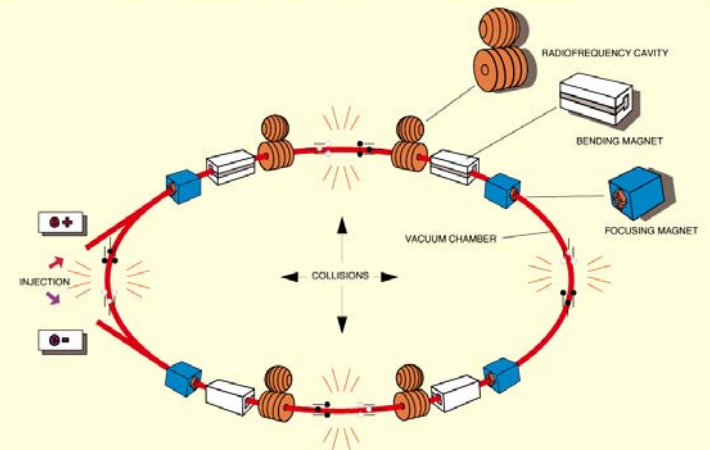
Un tunnel di 27 km di circonferenza, 100 m sotto terra

in cui fasci di elettroni e positroni da 45 GeV collidono in 4 punti

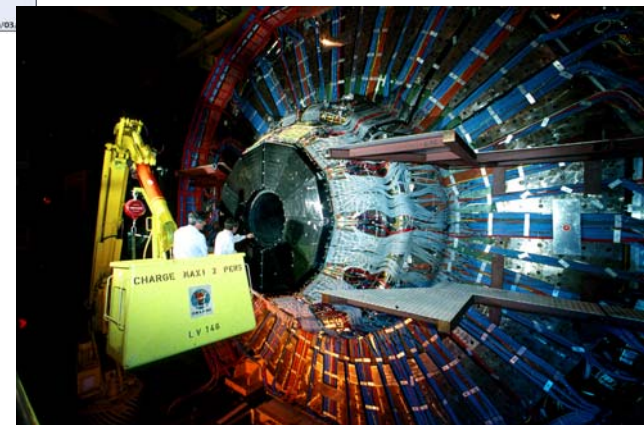
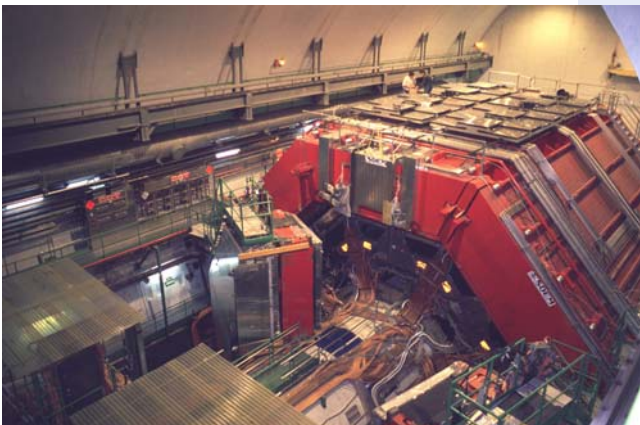
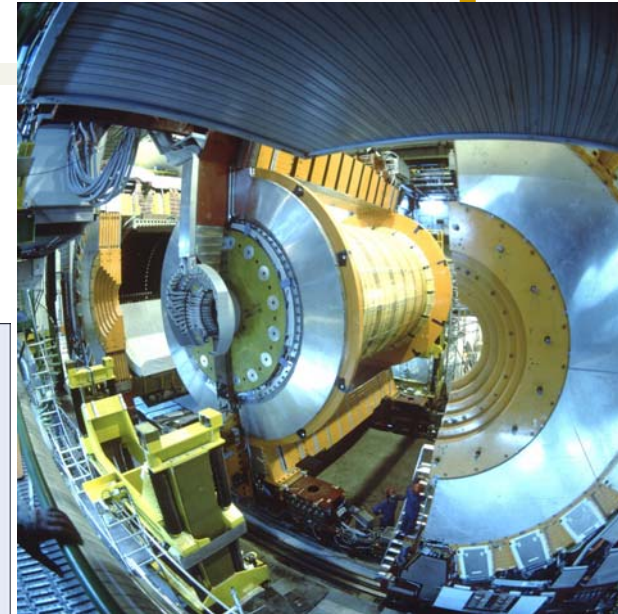
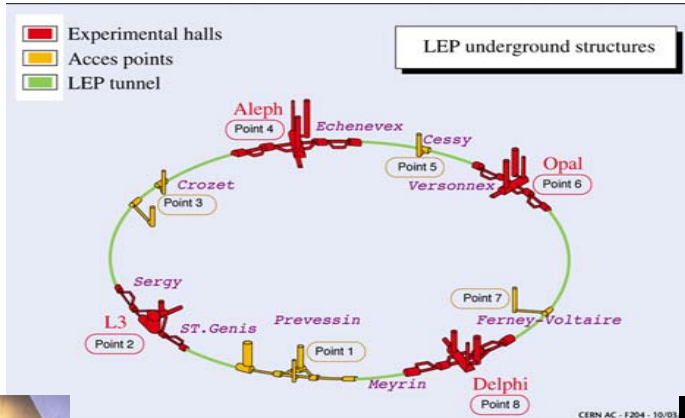
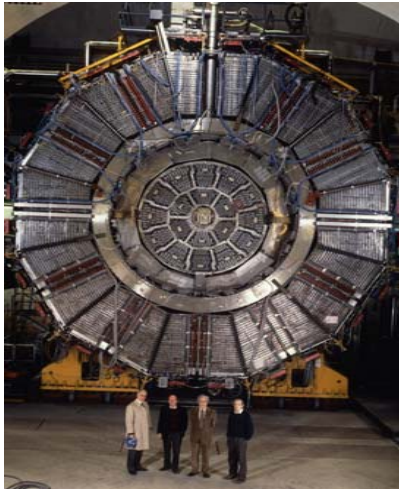
Fisica Nucleare e Subnucleare

Riccardo Paramatti

THE PRINCIPAL MACHINE COMPONENTS OF THE LEP ACCELERATOR.



[Gli esperimenti a LEP

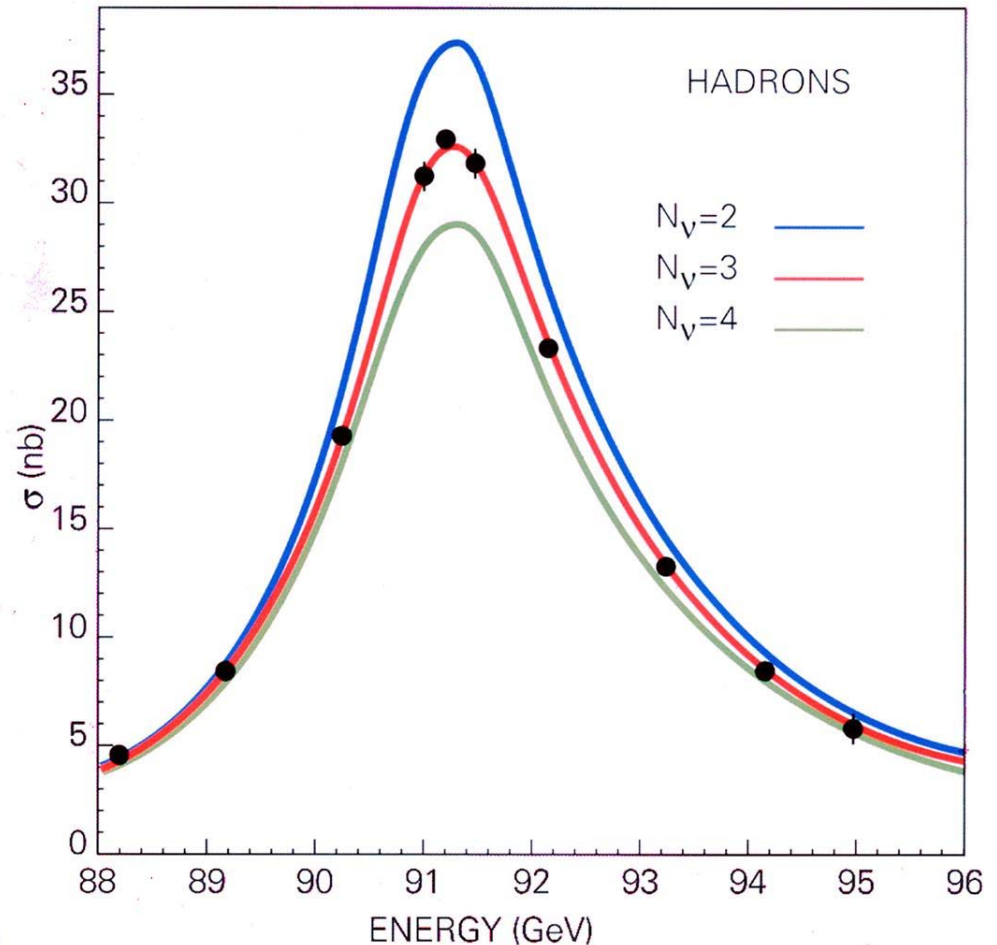


II LEP: risultati

La sezione d'urto σ , in funzione dell'energia nelle collisioni elettrone-positrone, mostra un picco in corrispondenza della massa della Z^0 .

Ma la Z^0 puo' decadere anche in neutrini e quindi non essere rivelata. In questa figura vengono mostrate le previsioni del Modello Standard per diverse ipotesi sul numero di famiglie di neutrini: i dati favoriscono nettamente $N_\nu=3$.

$$n_\nu = \frac{\Gamma_{invisible}}{\Gamma_{\nu\bar{\nu}}} = \frac{\Gamma_{TOT} - \Gamma_{HADR.} - 3 \cdot \Gamma_{l^+l^-}}{\Gamma_{\nu\bar{\nu}}}$$



[ed ora il Large Hadron Collider]



[La Sapienza ed il Cern]

I gruppi di ricerca (teorici e sperimentali) del dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza hanno sempre partecipato attivamente alle attività del Cern

Attualmente 3 grandi gruppi sperimentali La Sapienza-INFN Roma fanno parte delle collaborazioni LHC (Atlas, Cms e Lhc-b)

Da La Sapienza provengono:

- Edoardo Amaldi
primo direttore generale del Cern
- Luciano Maiani
direttore generale dal 1999 al 2003



Riccardo Paramatti



[L'informatica e il Cern]

Il World Wide Web è nato al CERN



Il progetto GRID:

una rete mondiale di computer per la condivisione della potenza di calcolo, sviluppata a partire dalle esigenze degli esperimenti internazionali di Fisica delle Particelle Elementari



[Il Cern e....]

- Nonostante quello che potete leggere in giro, il Cern è una organizzazione pacifica !

ESPOSTO CONTRO L'ACCELERATORE DI PARTICELLE DI GINEVRA. DECIDERÀ UN GIUDICE DELLE HAWAII

Il Cern finisce in tribunale

«Può distruggere la Terra»

L'accusa: il buco nero creato dagli esperimenti inghiottirà l'intero pianeta. Gli esperti: ipotesi infondate

MILANO — Il più grande e più costoso acceleratore del mondo costruito al Cern di Ginevra per decifrare la natura dell'Universo potrebbe non entrare in funzione nei mesi prossimi come stabilito per uno strano caso giudiziario nato, addirittura, alle Hawaii. Qui, due signori, Walter L.Wagner e Luis Sancho, hanno presentato un ricorso contro la supermacchina europea sostenendo che gli esperimenti immaginati «potrebbero creare un buco nero capace di mangiarsi la Terra e forse l'intero Universo». L'accusa è pesante. La Federal District Court di Honolulu, che non poteva ignorare l'esposto, ha avviato il 21 marzo il procedimento fissando un primo incontro con le parti il 16 giugno prossimo.

Uno dei due protagonisti, Wagner, ha un passato da fisico all'Università di California, ma laureatosi poi in legge ha preferito la vita tra i codici. Il personaggio è già noto alle cronache fisico-giudiziarie avendo intentato la stessa causa nel 1999 ad una macchina americana dei Brookhaven National Laboratory impegnata in ricerche analoghe ma ad energia più bassa. Di Luis Sancho si sa poco, ma si ritiene che sia un fisico di alto livello che ha lavorato al Cern di Ginevra.

Angels and Demons

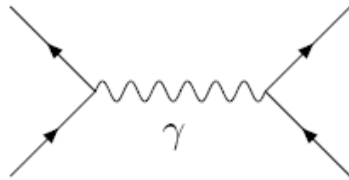
Dan Brown's book *Angels and Demons* is a detective story about a secret society that wants to destroy the Vatican using an antimatter bomb. In the book, the antimatter is stolen from CERN.



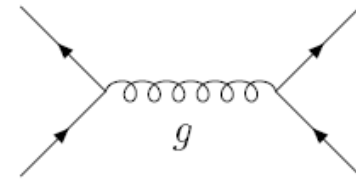
[II Modello Standard]

Four different forces act between the leptons and quarks:

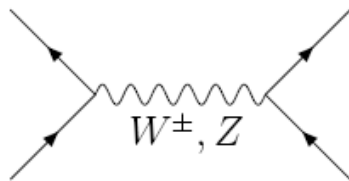
electromagnetic:



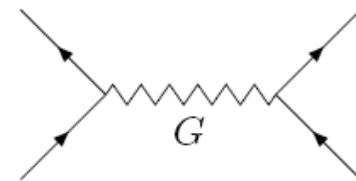
strong:



weak:



gravitational:



interazione	bosoni	intensità
interazione forte	gluoni	1
interazione elettromagnetica	fotoni	10^{-2}
interazione debole	bosoni W^\pm e Z	10^{-7}
gravità	gravitoni	10^{-42}

Il Modello Standard



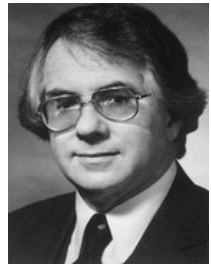
Richard P.
Feynman



Julian
Schwinger



Sin-Itiro
Tomonaga



Sheldon Lee
Glashow



Abdus
Salam



Steven
Weinberg



David J.
Gross



H. David
Politzer



Frank
Wilczek

QED

Premio Nobel per la Fisica 1965

(www.nobel.se/physics/laureates/1965/)

Interazioni elettrodeboli

Premio Nobel per la Fisica 1979

(www.nobel.se/physics/laureates/1979/)

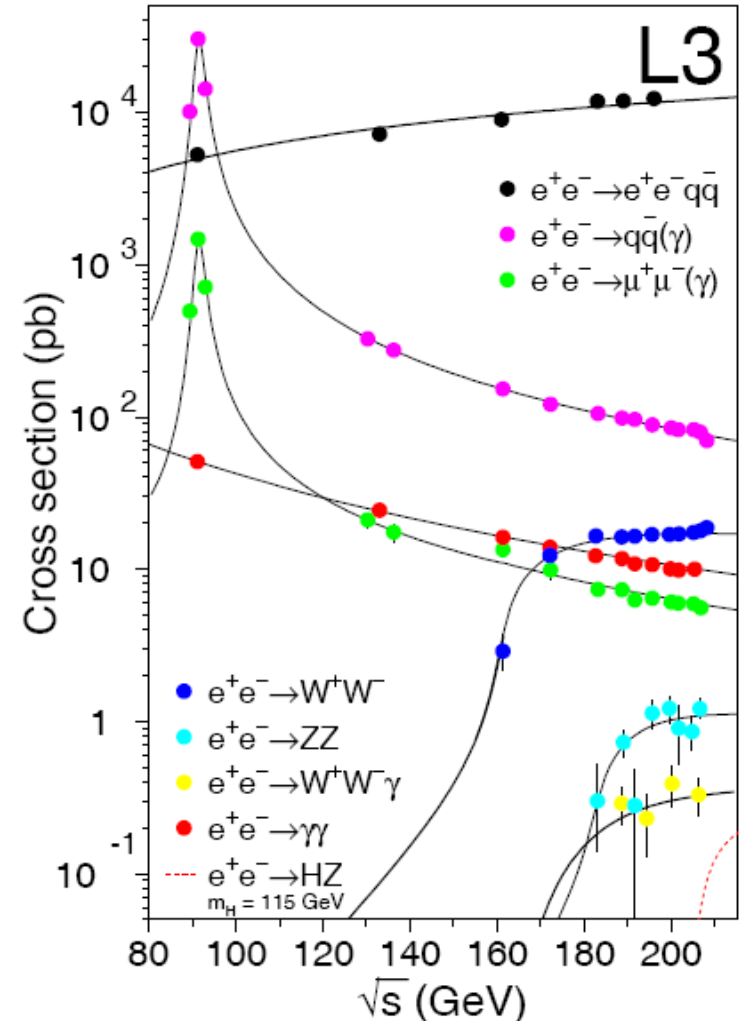
QCD

Premio Nobel per la Fisica 2004

(www.nobel.se/physics/laureates/2004/)

II Modello Standard

- Questa teoria ha mostrato finora una impressionante capacità predittiva
- Le previsioni teoriche coincidono con i risultati sperimentali con un elevato livello di precisione.
- Ma...



Il Modello Standard

- Perché i portatori delle diverse forze hanno masse così diverse fra loro ?
- Perché quark e leptoni delle tre famiglie hanno masse diverse ?



LEPTONS		QUARKS	
electron Electric charge - 1 Responsible for electricity and chemical reactions	electron neutrino Electric charge 0 . rarely interacts with other matter.	up Electric charge + 2/3 Protons have 2 up quarks... Neutrons have 1 up quark.	down Electric charge - 1/3 . Protons have 1 down quark Neutrons have 2 down quarks
muon A heavier relative of the electron.	muon neutrino Created with muons when some particles decay.	charm A heavier relative of the up.	strange A heavier relative of the down.
tau Heavier still.	tau neutrino Not yet observed directly	top recently observed	bottom Heavier still.

[Il bosone di Higgs]

- Il Modello Standard prevede che il vuoto sia permeato di un campo (Higgs field).
- Ogni particella, interagendo con questo campo, acquista massa. Le particelle che interagiscono maggiormente sono più pesanti.
- Il campo di Higgs è associato ad almeno una nuova particella, **il bosone di Higgs**, non ancora osservata sperimentalmente, alle energie sinora raggiunte dagli acceleratori...
- occorre cercarlo a energie più alte !

[Il bosone di Higgs]

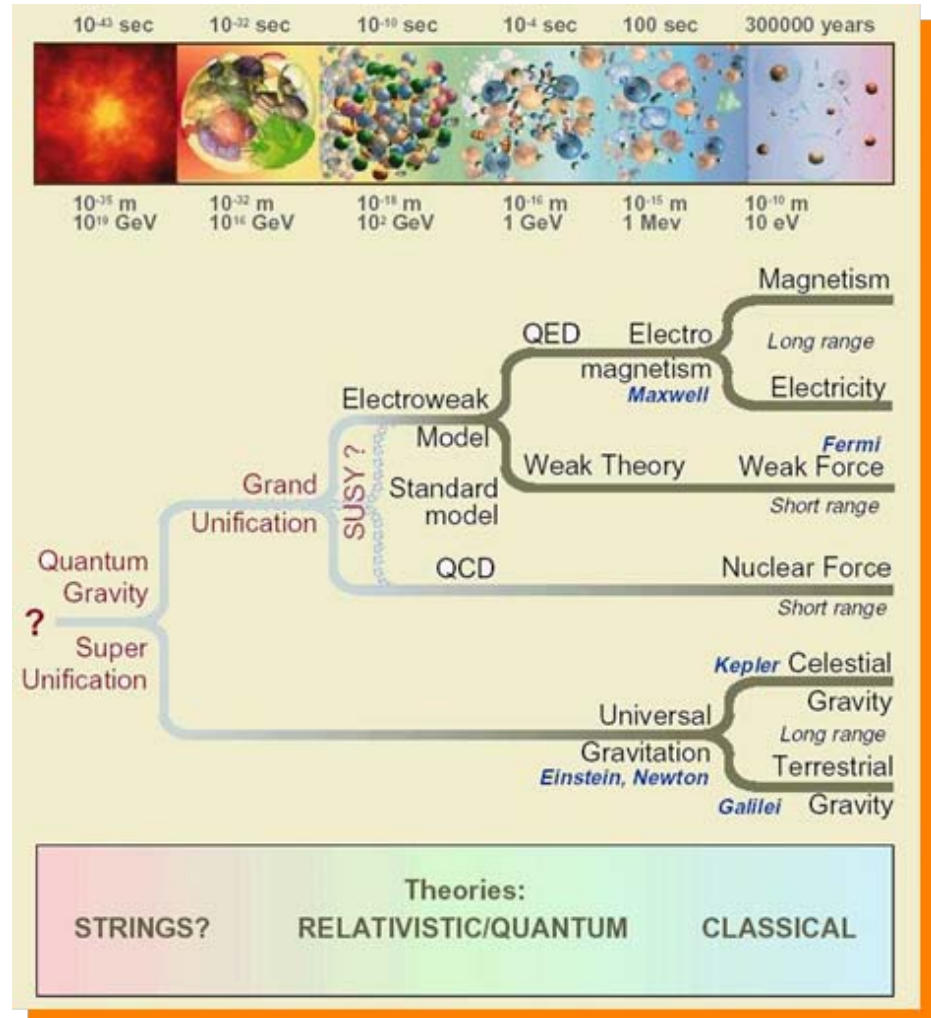
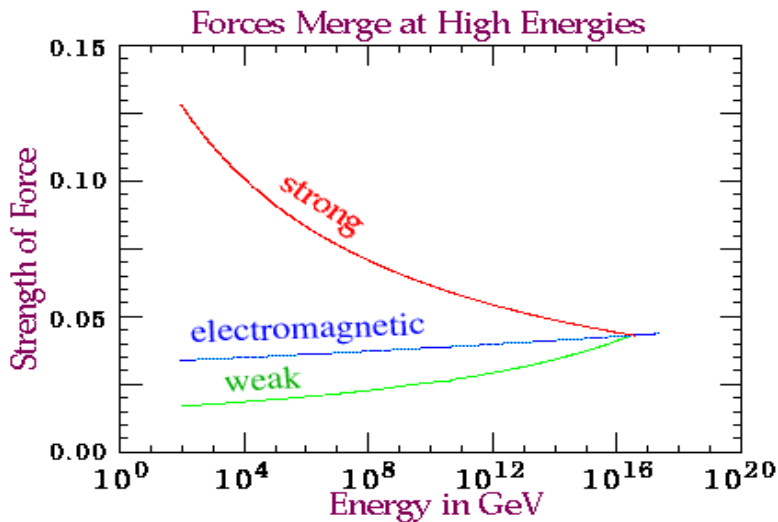
- Particella massless $\Rightarrow \frac{1}{q^2}$
- Particella con massa $\Rightarrow \frac{1}{q^2 - M^2}$
- Il vuoto non è poi così vuoto...

$$\begin{array}{ccccccc}
 \longrightarrow & \Rightarrow & \longrightarrow & + & \begin{array}{c} \times \\ \vdots \\ H \end{array} \longrightarrow & + & \begin{array}{c} \times \quad \times \\ \vdots \quad \vdots \end{array} \longrightarrow & + \dots \\
 \frac{1}{q^2} & & \frac{1}{q^2} & & \frac{1}{q^2}(\alpha) & & \frac{1}{q^2}(\alpha)^2 & + \dots = \frac{1}{q^2 - f(\alpha)}
 \end{array}$$

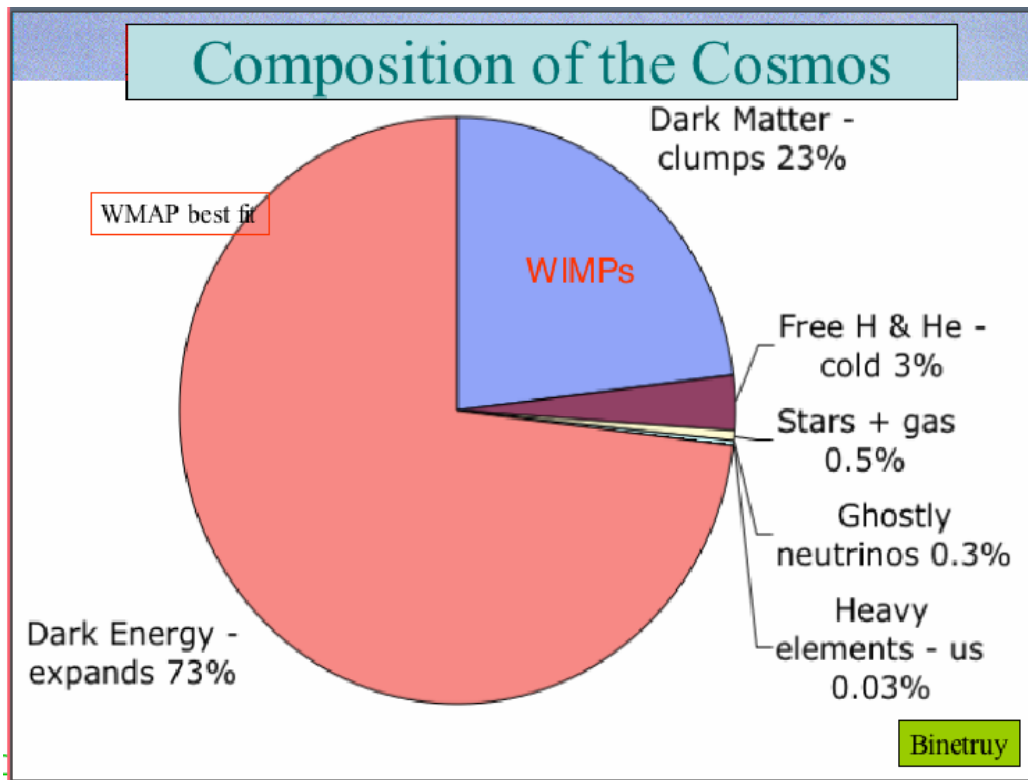
(questa è solo l'idea... e non una trattazione formale !)

Altre domande per LHC

- È possibile che le interazioni fondamentali siano diverse manifestazione a bassa energia di un'unica interazione ?



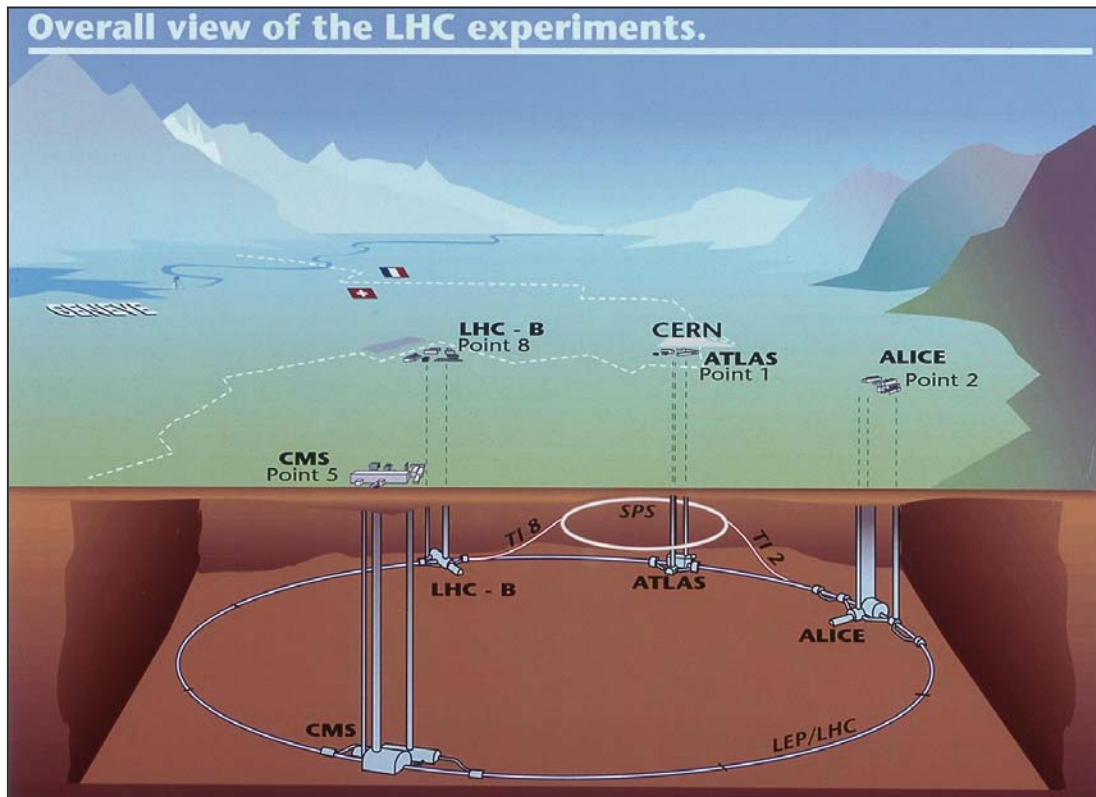
[Altre domande per LHC]



- Le particelle conosciute costituiscono solo una piccola parte dell'Universo
- Da che cosa è composta la “materia oscura” e l’“energia oscura”

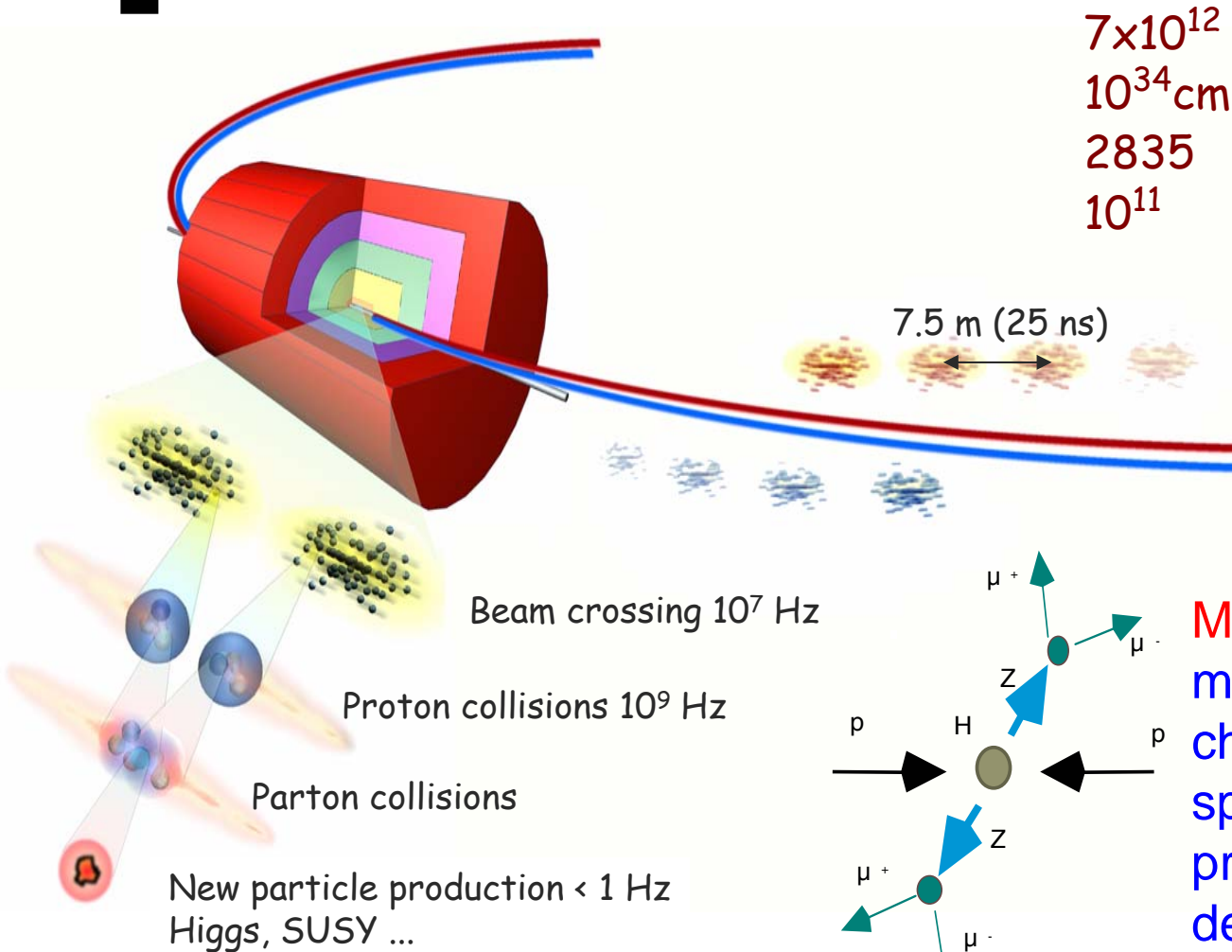
[Il Large Hadron Collider]

Il Large Hadron Collider (LHC) è lo strumento più potente mai costruito per studiare le particelle elementari



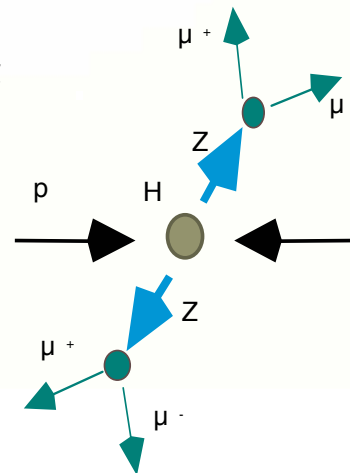
- ↪ 4 gigantesche caverne sotterranee per ospitare altrettanti rivelatori
- ↪ La più alta energia
- ↪ La più alta frequenza di collisione dei fasci
- ↪ Funzionerà ad una temperatura (-271.35°) inferiore a quella dello spazio interstellare

[II Large Hadron Collider]



7×10^{12} eV beam energy
 $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ luminosity
 2835 bunch/beam
 10^{11} protons/bunch

$$N_{ev} = \sigma_{ev} L$$



Measurement of:
 mass
 charge
 spin
 production cross section
 decay modes

[Beh... non tutto è ultrarelativistico]



Condizioni sperimentali estreme

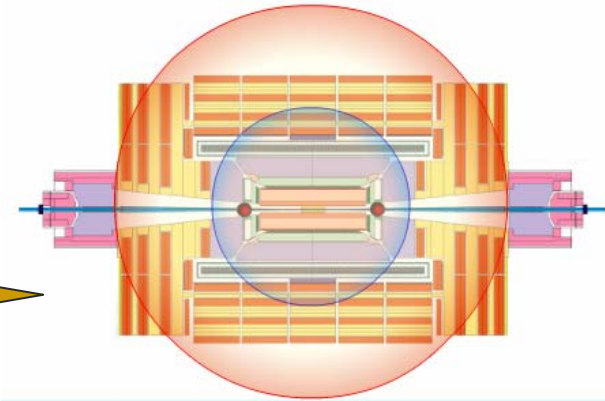
Machine luminosity $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-2}$

$\sigma_{\text{inel}} = 100 \text{ mb} \rightarrow 10^9 \text{ events/s}$

$\sigma_{\text{higgs}} = 1 \text{ pb} \rightarrow 10^{-2} \text{ events/s}$

20 events/crossing \rightarrow 1000 tracks

1 crossing/25ns



Neutrons: $2 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2$

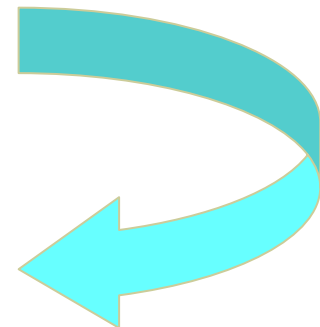
Gammas: $5 \cdot 10^3 \text{ Gy}$



in 10 years

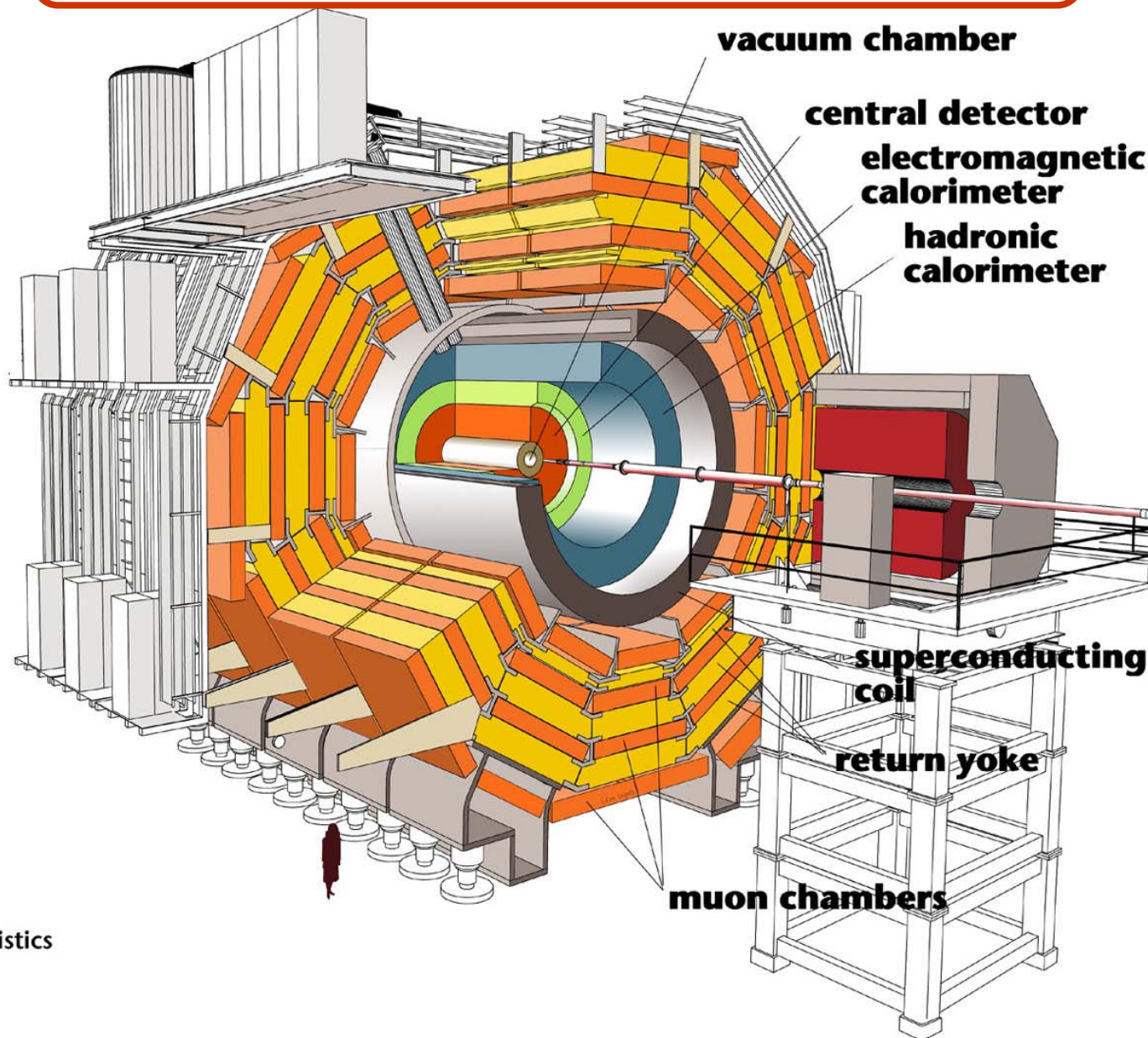
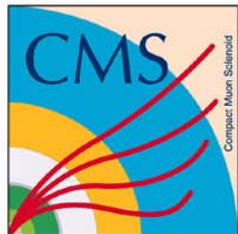
Extreme conditions for detectors

- Granularity ($10^5 \div 10^7$ channels)
- Speed of response
- DAQ + trigger ($10^9 \div 10^2 \text{ ev/s}$)
- High radiation resistance



Compact Muon Solenoid

1



Detector characteristics

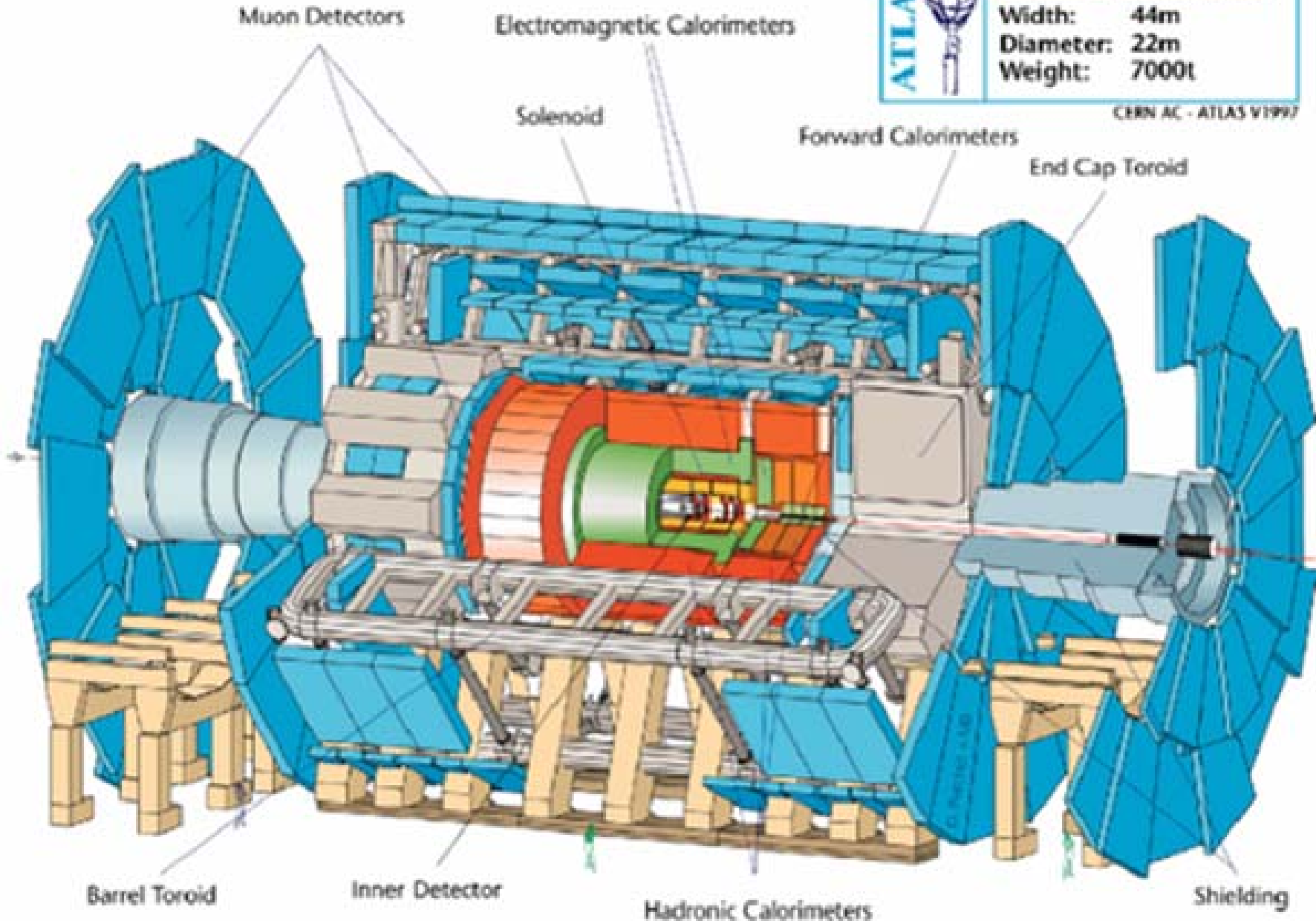
Width: 22m
Diameter: 15m
Weight: 14'500t

A Toroidal Lhc Apparatus

7

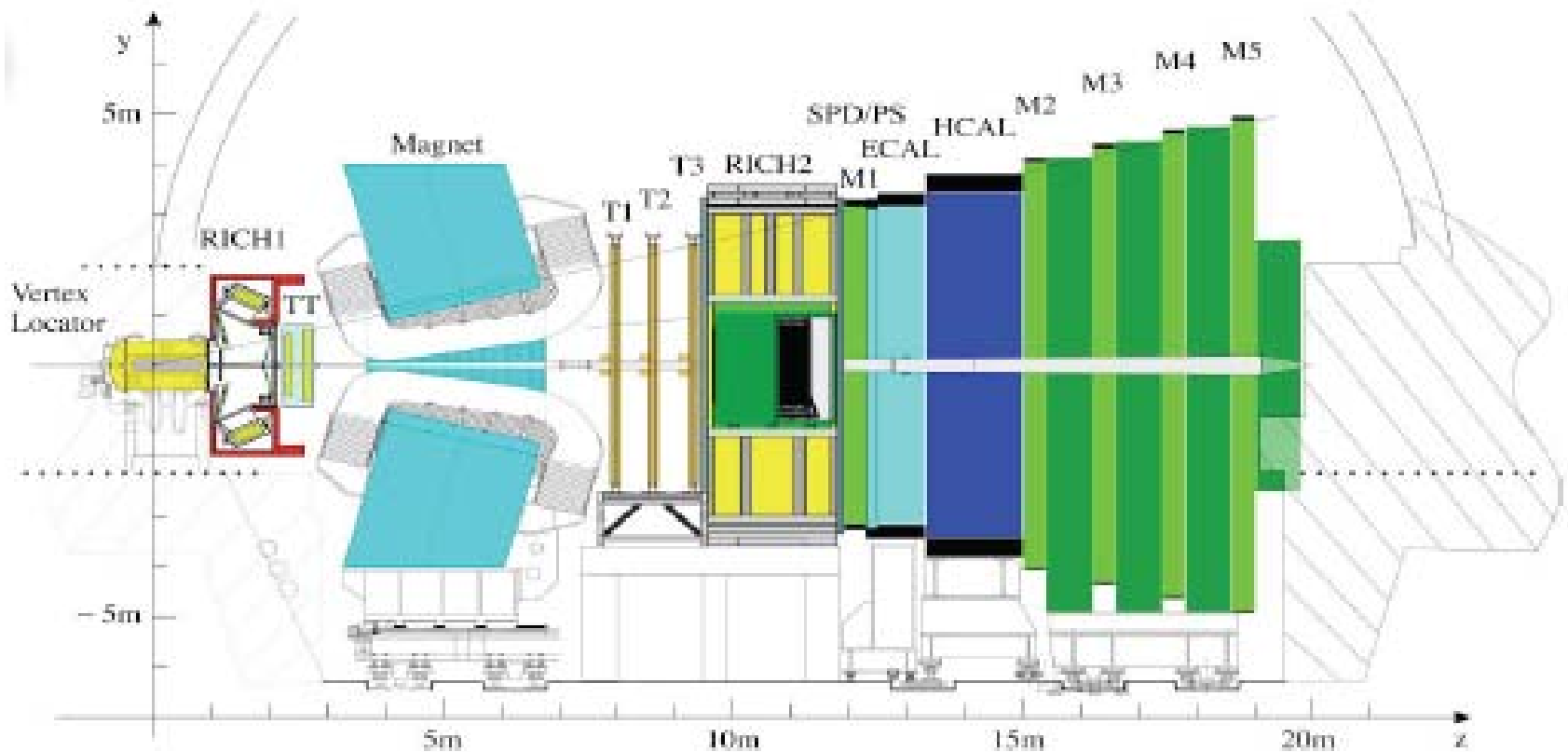
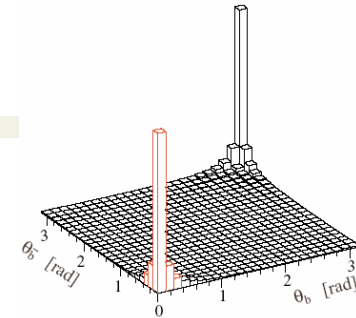
ATLAS		Detector characteristics	
		Width:	44m
		Diameter:	22m
		Weight:	7000t

CERN AC - ATLAS V1997



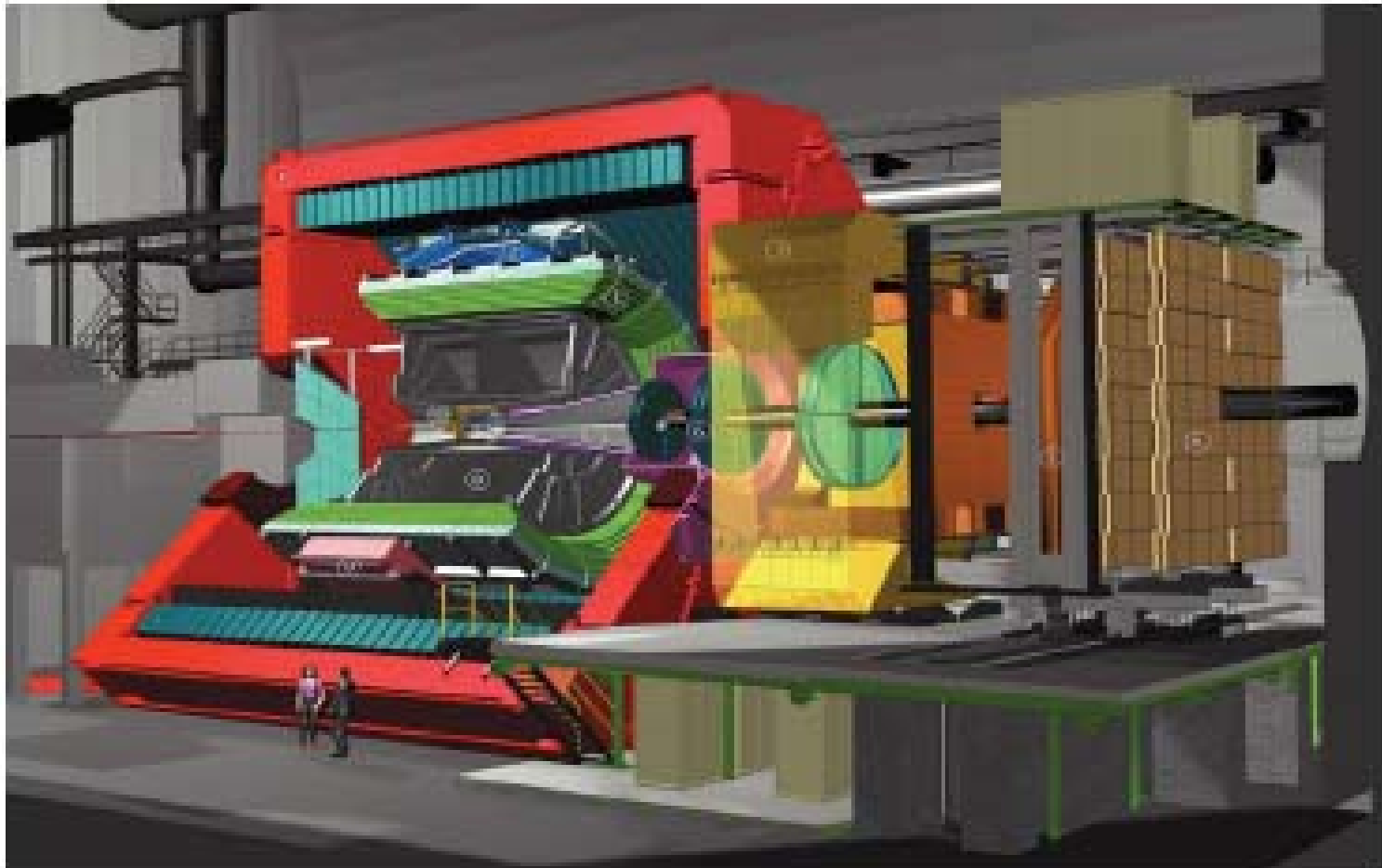
Il rivelatore LHC-b

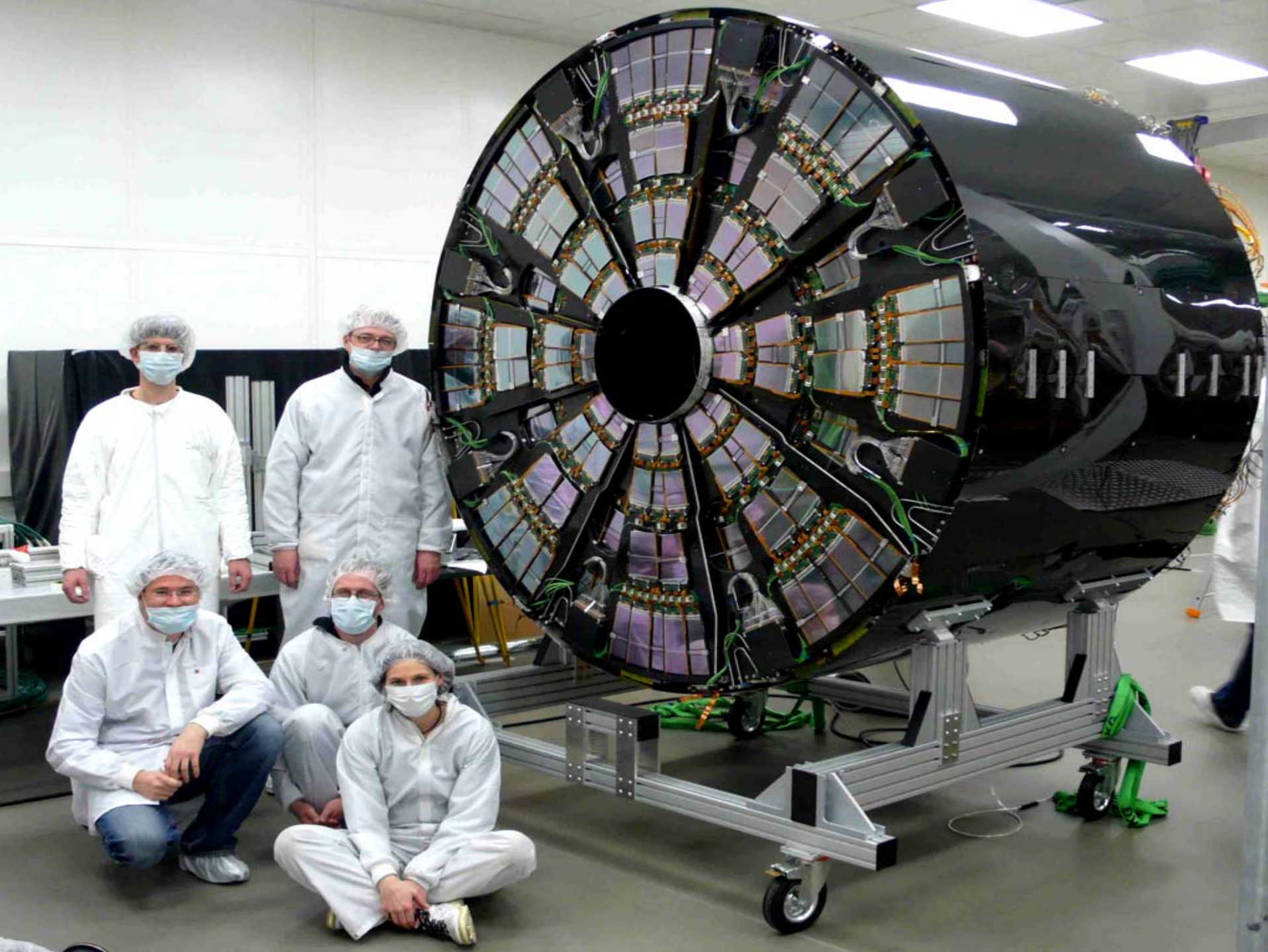
Rivelatore dedicato allo studio del b

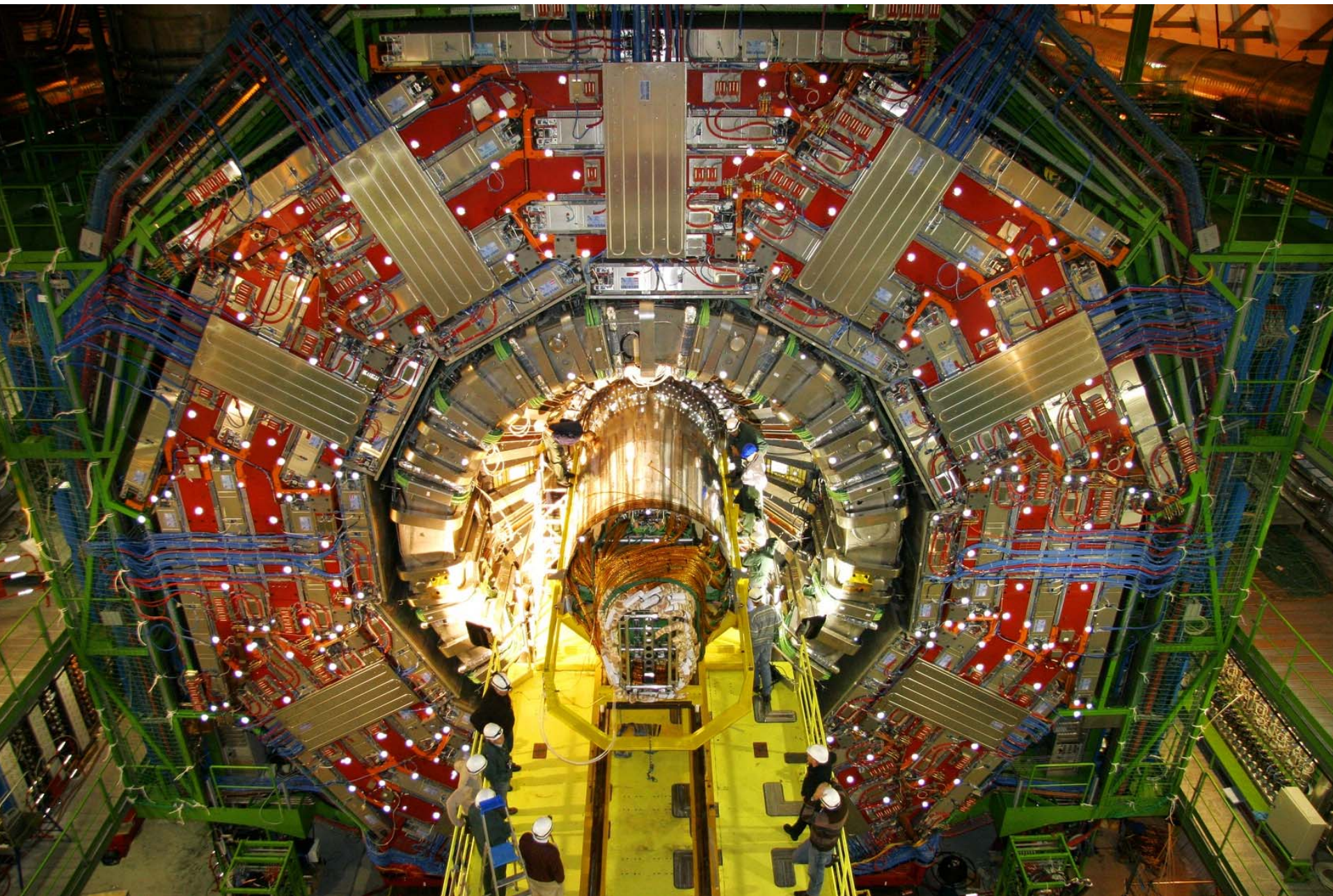


[Il rivelatore Alice]

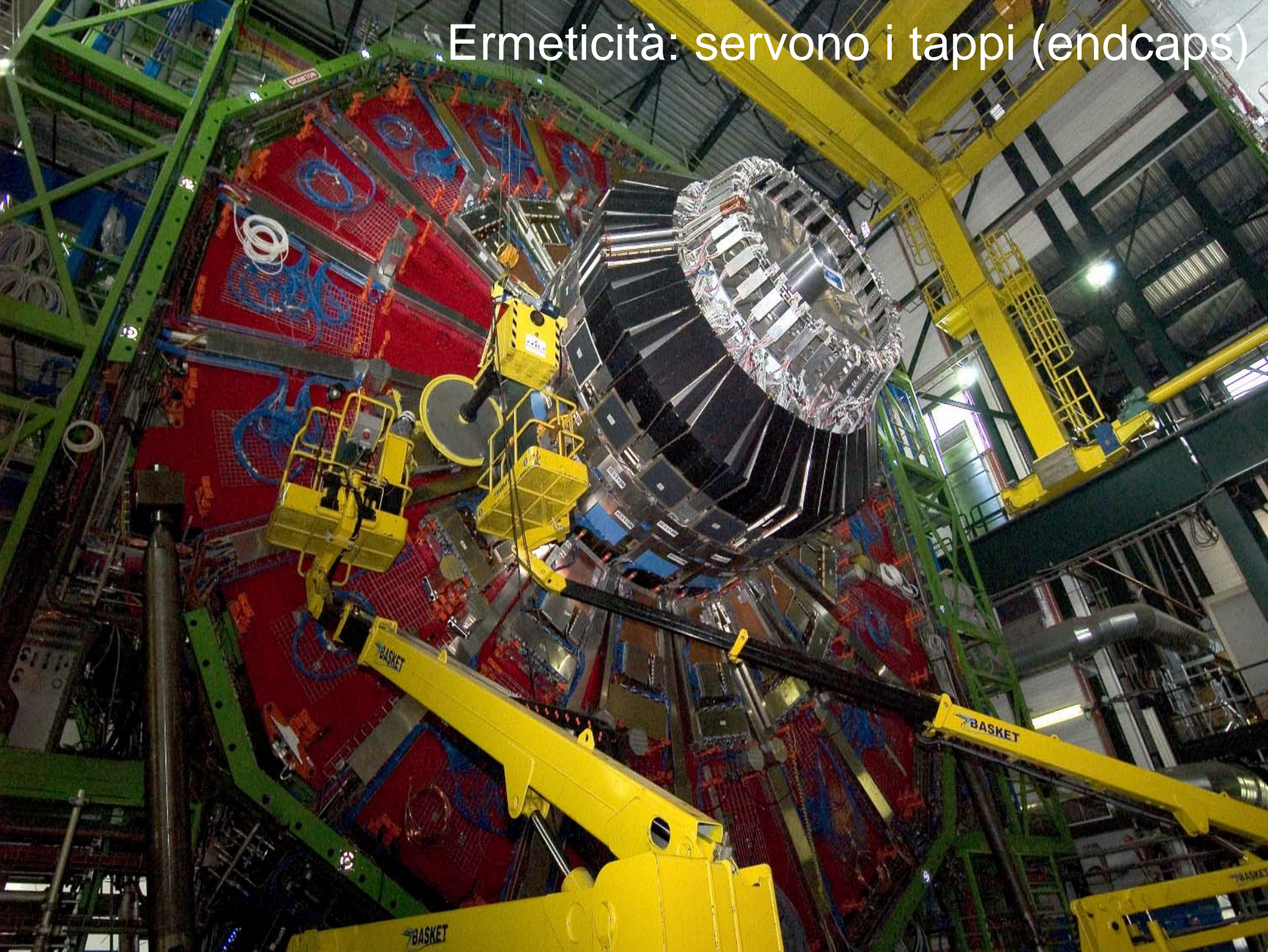
Rivelatore dedicato allo studio delle collisioni Pb-Pb



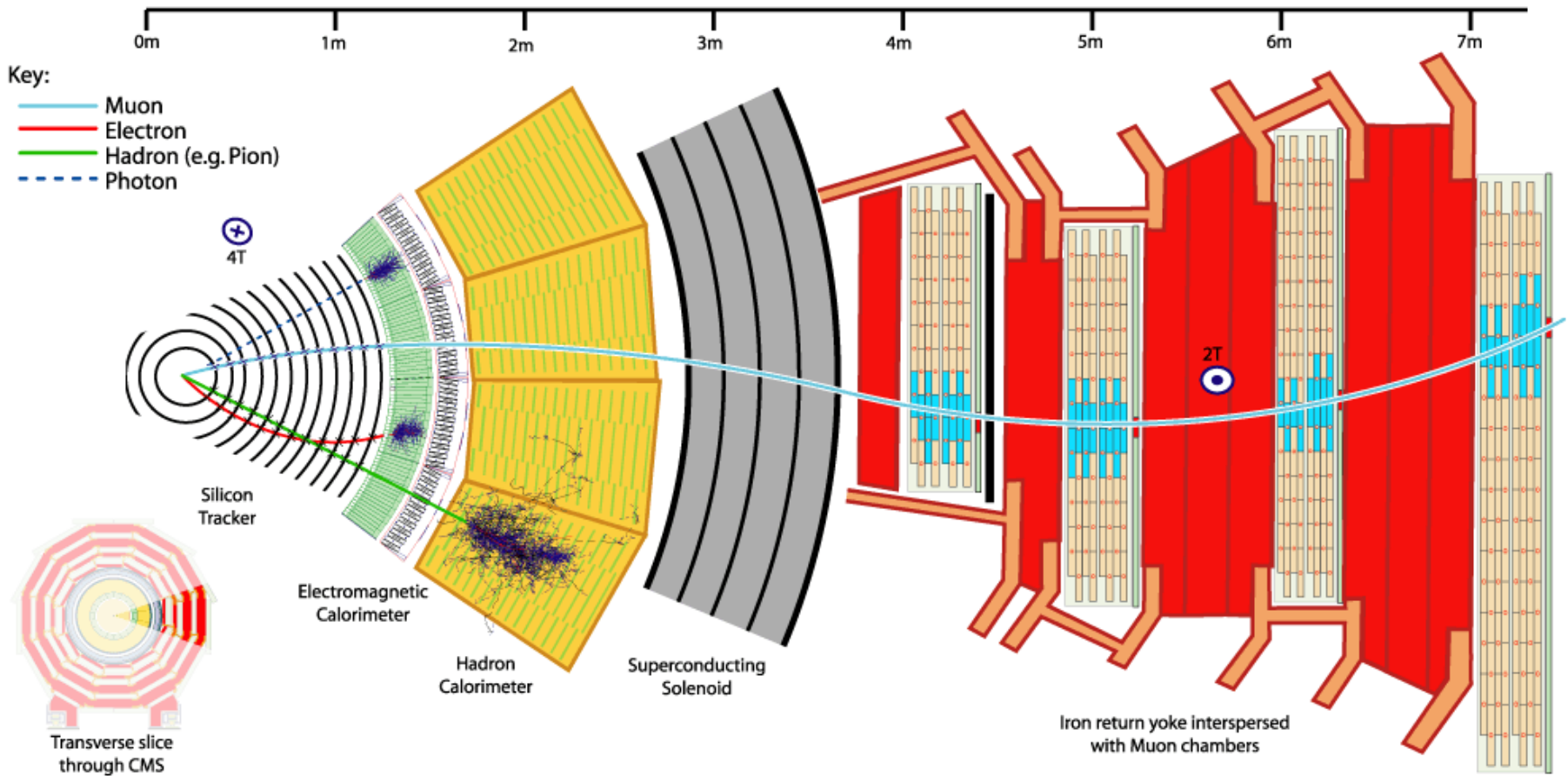




Ermeticità: servono i tappi (endcaps)



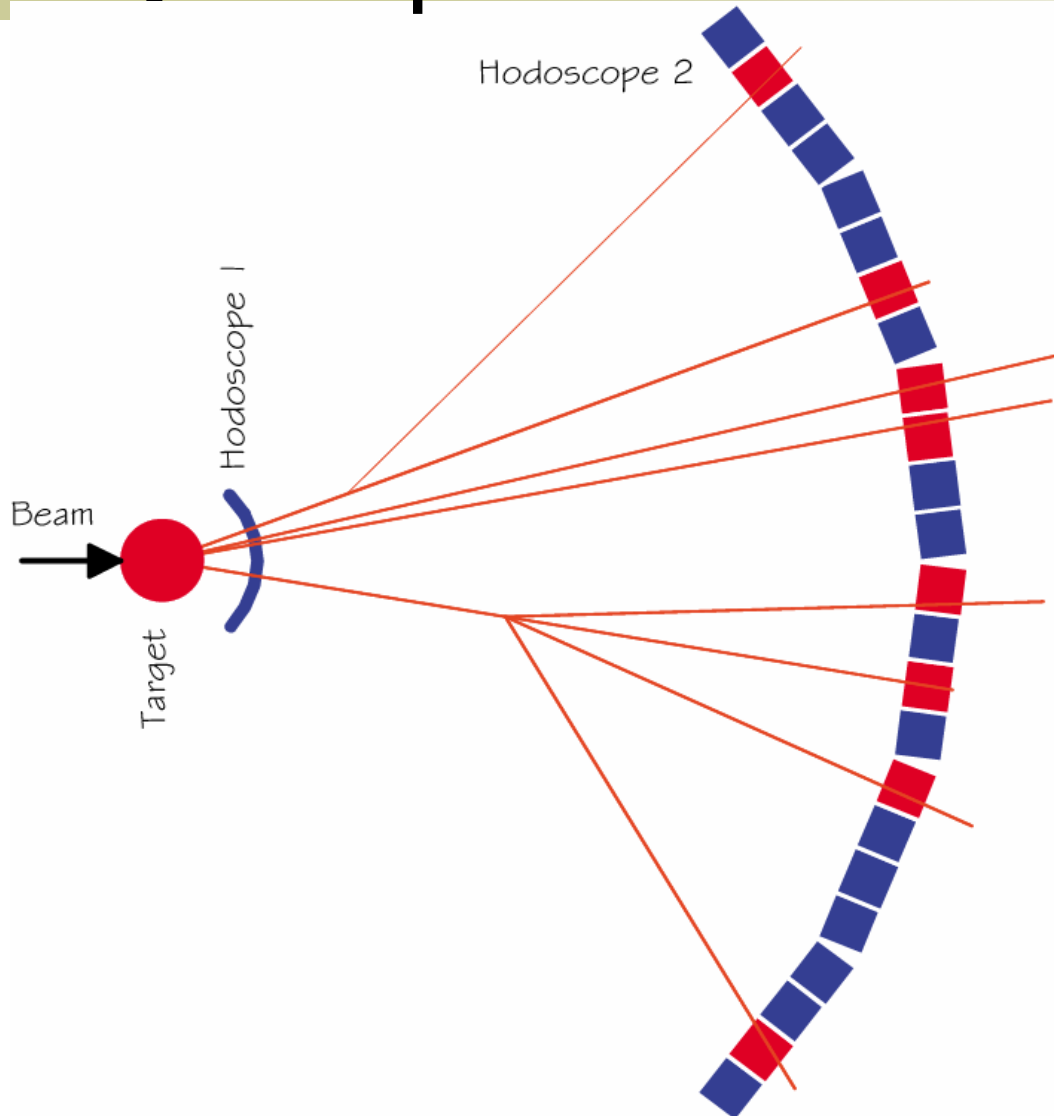
Le particelle nel rivelatore CMS



[Esempi di misure]

- Identificazione di particelle
 - attraverso un TOF e un dE/dx
- Misura dell'energia per particelle univocamente determinate
 - risoluzione di un calorimetro elettromagnetico

Tempo di Volo

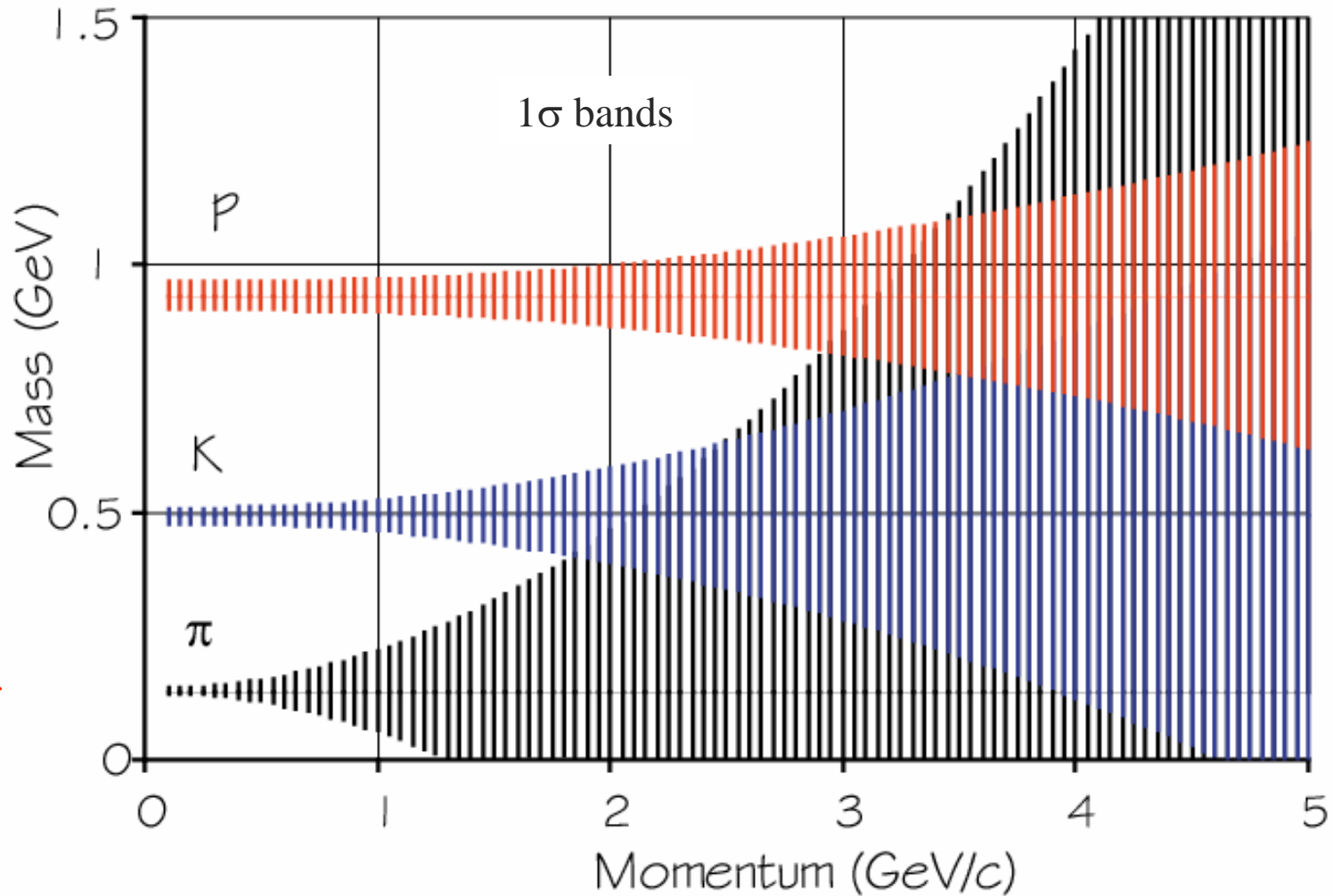


Il principio è quello di misurare l'intervallo di tempo tra il passaggio della radiazione in due rivelatori a distanza L ; insieme alla misura dell'impulso dal campo magnetico permette di determinare la massa.

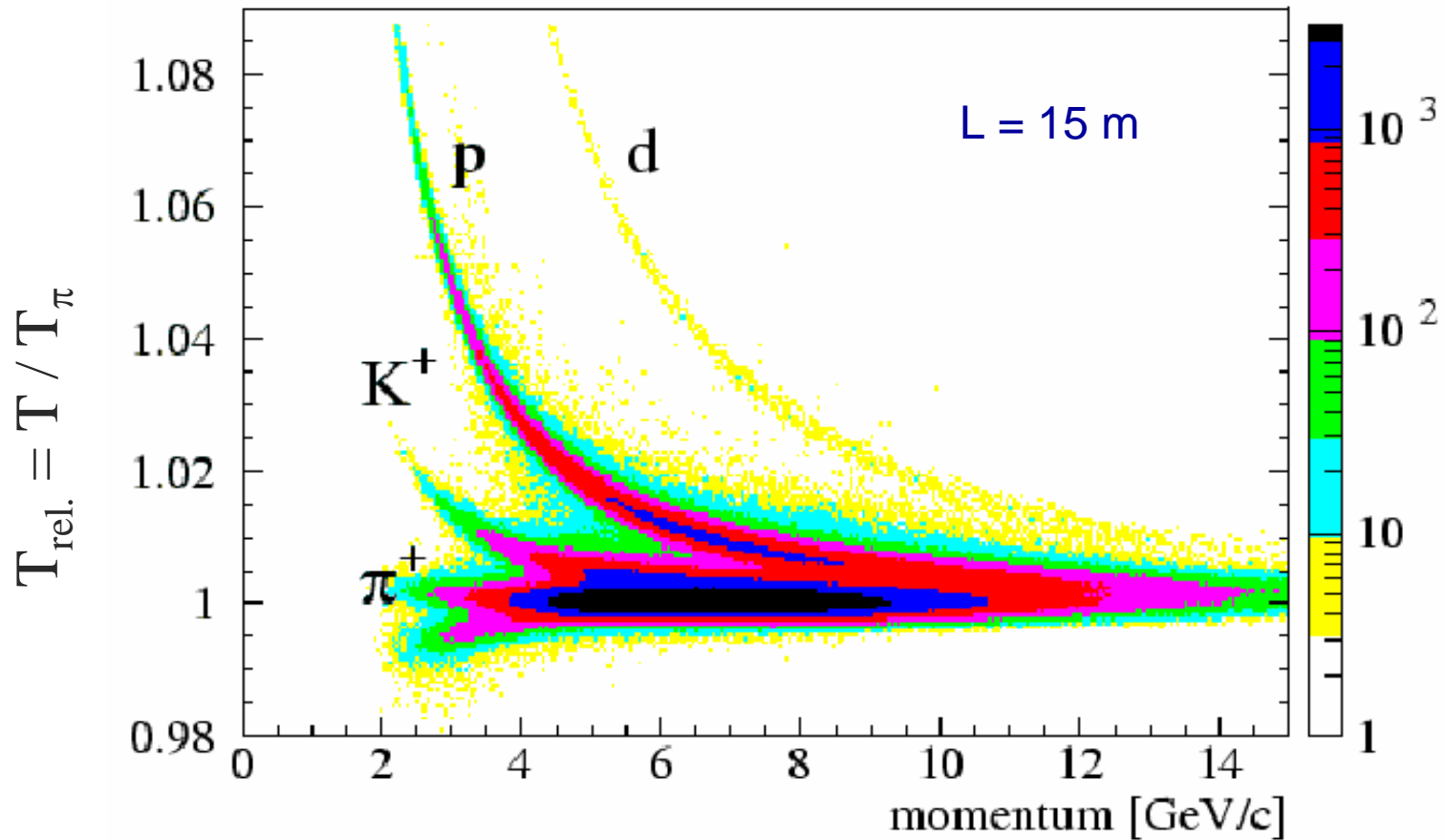
$$\left. \begin{aligned} \beta \cdot \gamma &= \frac{p}{m} \\ l &= v \cdot t \end{aligned} \right\} m^2 = \frac{p^2}{l^2} [c^2 t^2 - l^2]$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta p}{p} + \gamma^2 \left(\frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta l}{l} \right)$$

[Tempo di Volo]



Tempo di Volo



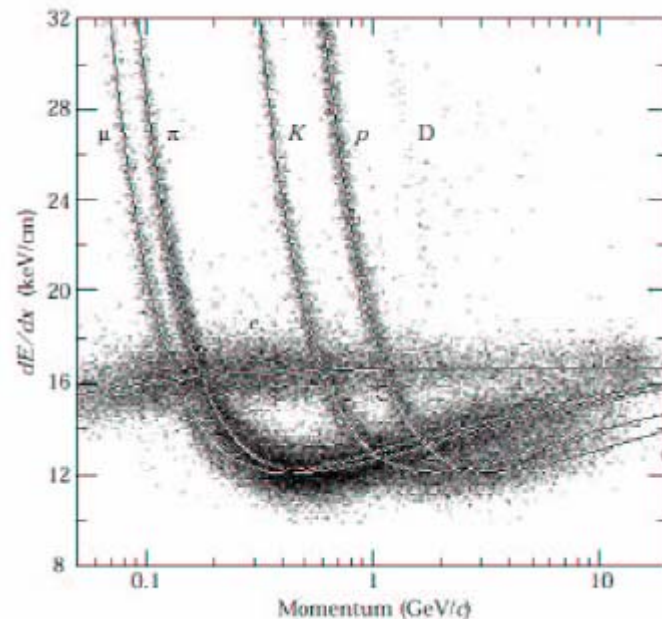
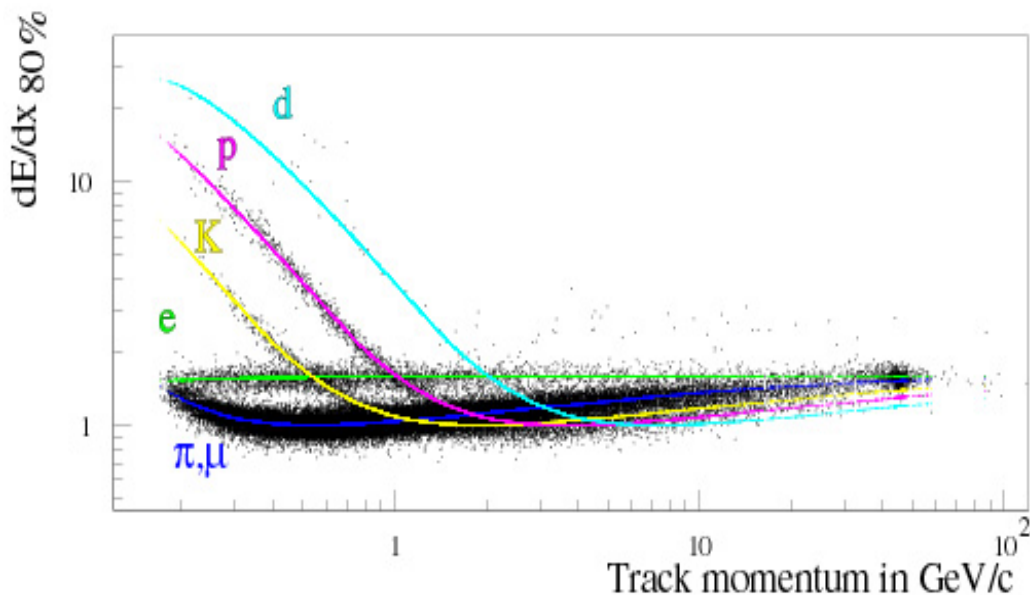
[dE/dx

Misurando l'impulso con il campo magnetico ed il dE/dx, si ricavano massa e velocità della particella.

Graficando il dE/dx in funzione dell'impulso, le particelle sono molto ben separate a basso impulso, mal separate nella regione di minima ionizzazione e poi per alte energie si ha una situazione intermedia.

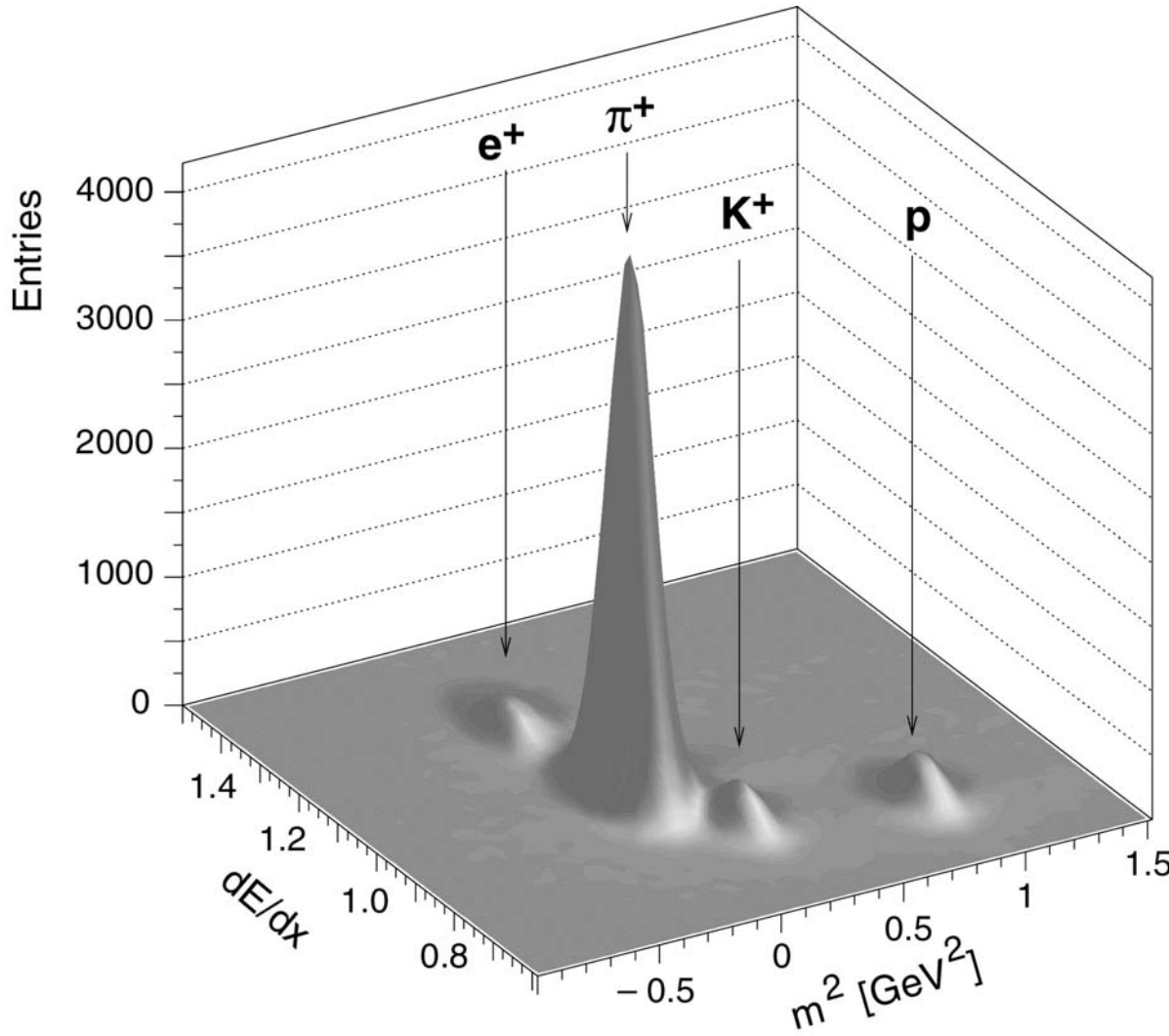
$$p = m_0 \beta \gamma c$$

$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{1}{\beta^2} \ln(\beta^2 \gamma^2)$$

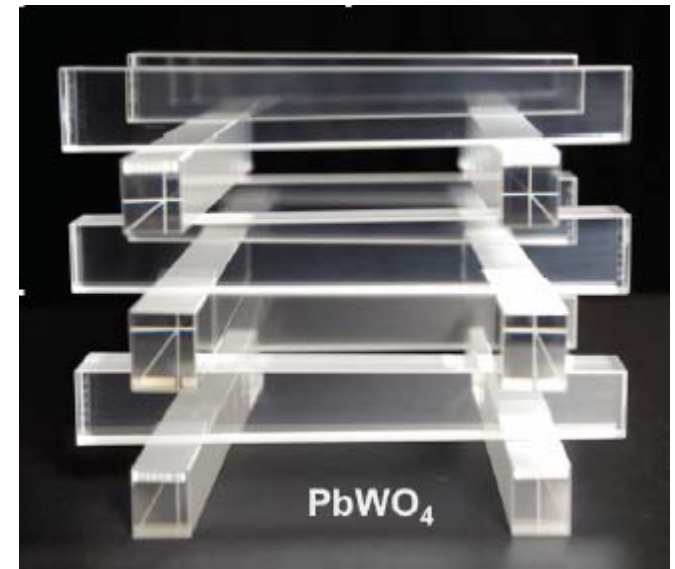
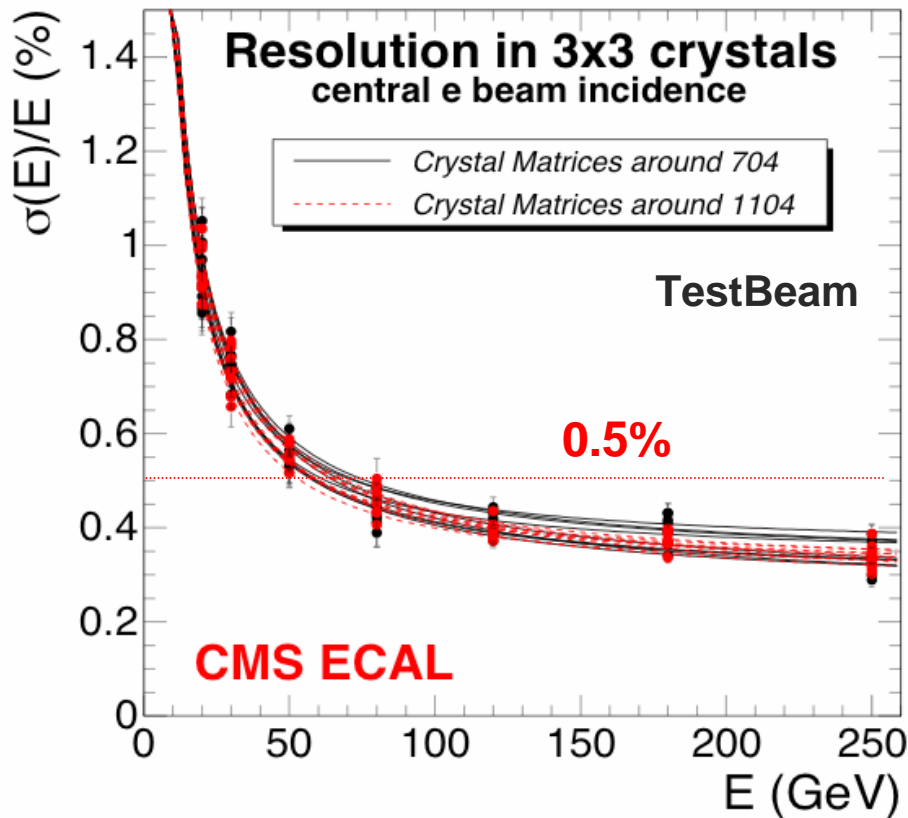


Combinazione delle due misure

Combinando l'informazione dal dE/dx con quella proveniente dal Time of Flight si ha una migliore identificazione delle particelle (**Particle ID**)

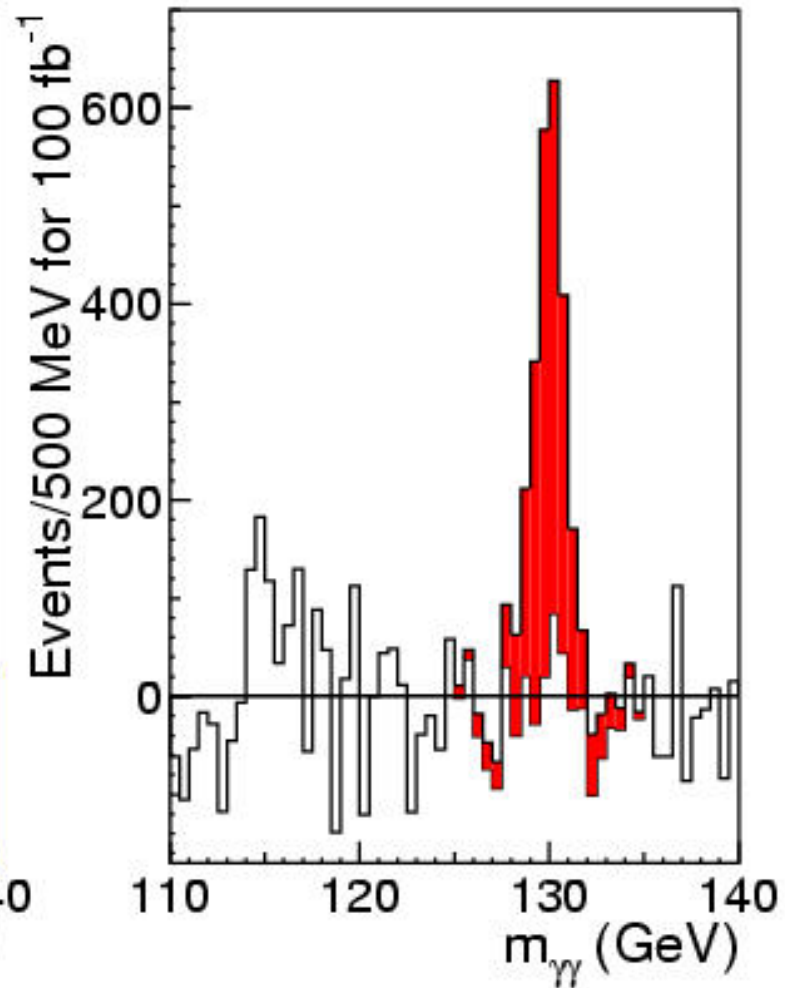
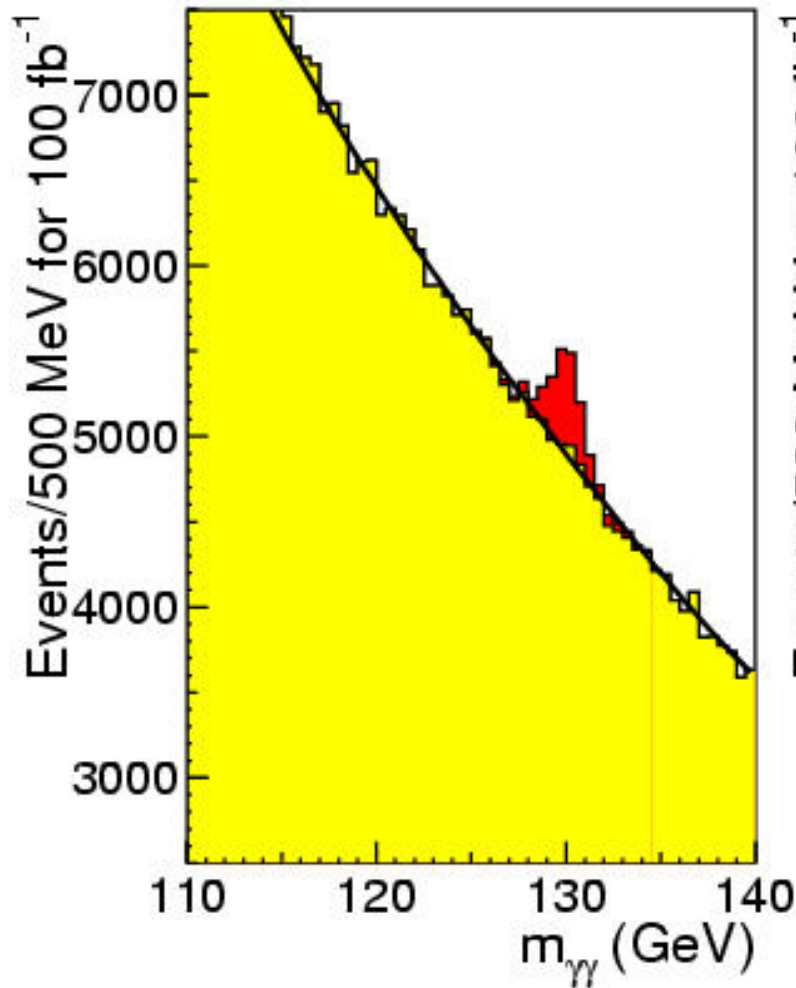


Risoluzione di un calorimetro elettromagnetico a cristalli



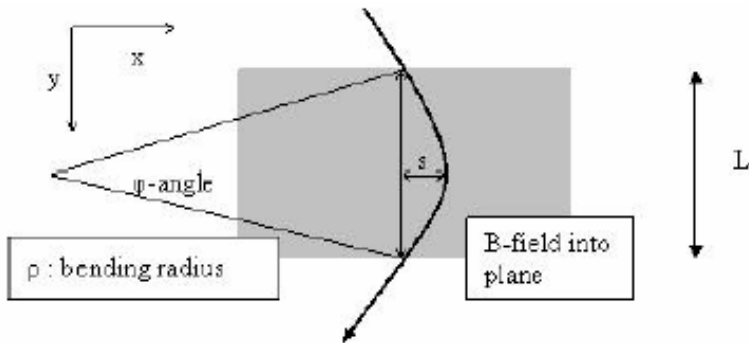
$$\frac{\sigma}{E} = \frac{2.8\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \frac{125}{E(\text{MeV})} \oplus 0.3\%$$

[La risoluzione dei rivelatori]



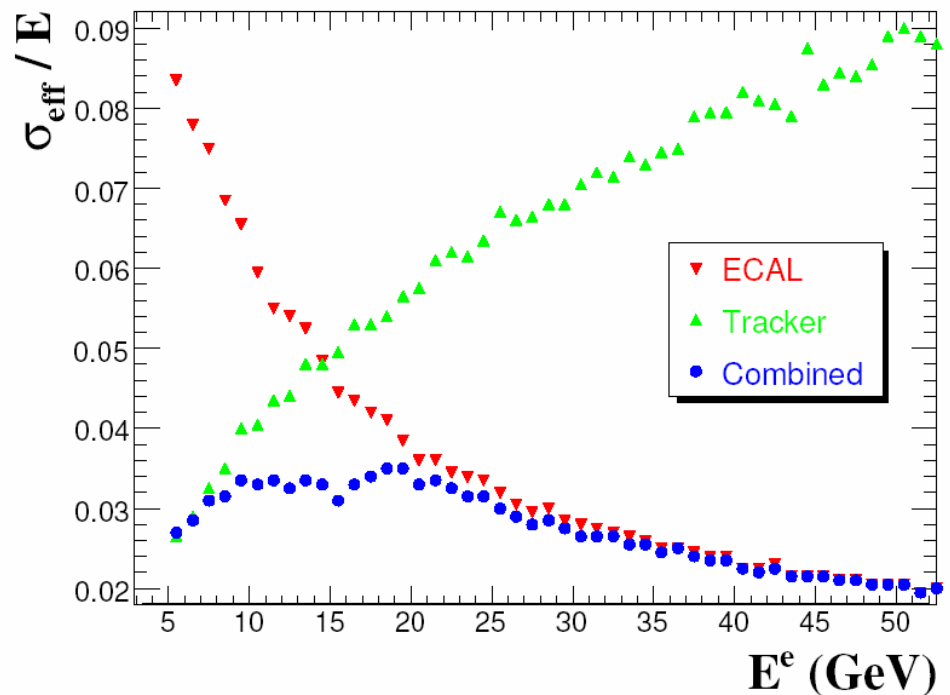
[Combinazione delle misure]

tracker momentum measurement with the sagitta method



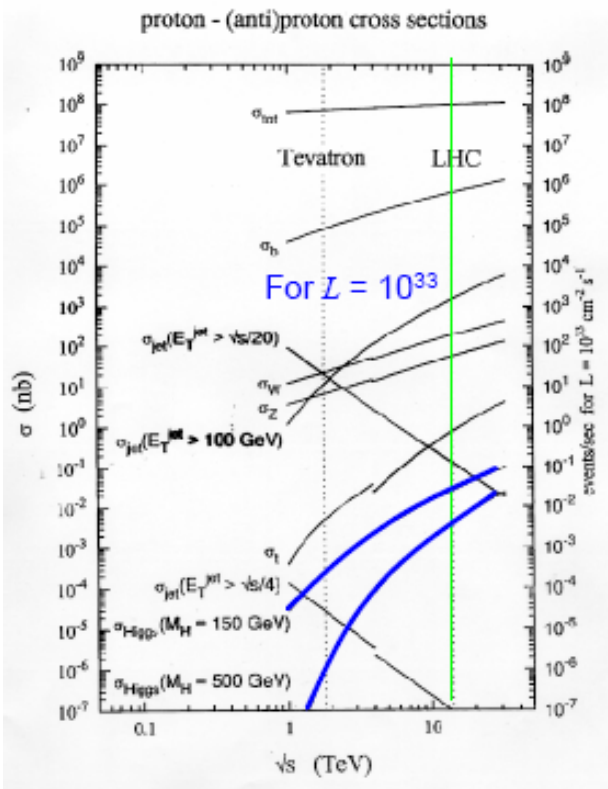
$$\frac{\sigma(p_T)}{p_T} = \frac{\sigma(x) p_T}{0.3BL^2} \sqrt{720/(N+4)}$$

Considering low energy electron (≈ 10 GeV), tracker momentum helps to improve energy measurements.



Il Trigger

Trigger: seleziona gli eventi interessanti fra tutte le collisioni. Decide se l'evento deve essere letto ed immagazzinato.



LHC

Interaction rate:
 $\sim 10^9$ events/second
 An experiment can record
 ~ 100 events/second
 (event size 1 MB)

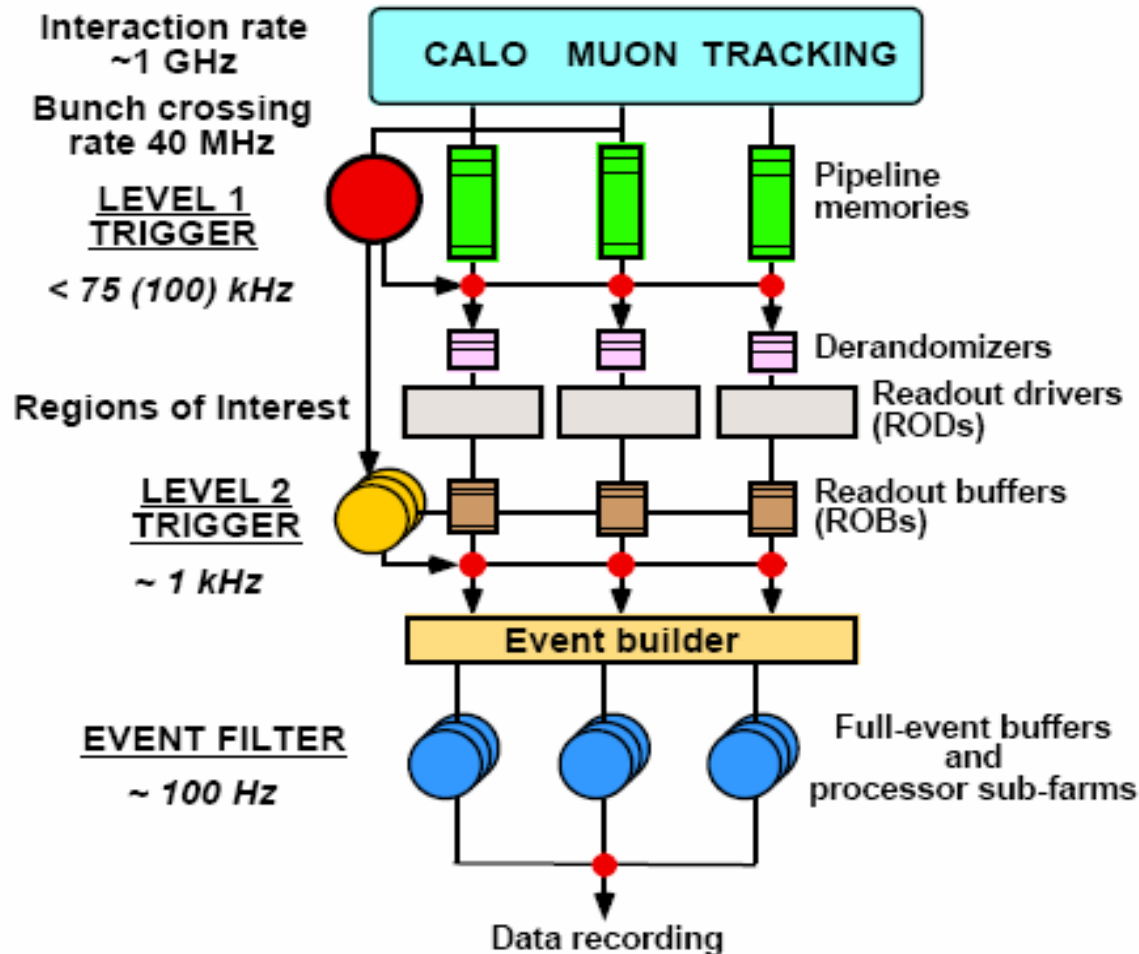
\Rightarrow necessary
 trigger rejection

$\sim 10^7$

“interesting” event
 rate (H, t, Susy):
 very few events/sec.

- ❖ Seleziona gli eventi interessanti
- ❖ Sopprime il fondo
- ❖ Riduce le dimensioni dei dati raccolti
- ❖ L'acquisizione dati richiede un tempo τ_{rec} che tipicamente è di parecchi ms per evento.
- ❖ Se il rate R degli eventi selezionati dal trigger non è piccolo se paragonato a $1/\tau_{rec}$ si ha del tempo morto. Il rate di eventi immagazzinati sarà quindi minore del rate totale degli eventi

[II Trigger]



La caccia alle nuove particelle comincia alla fine di quest'anno...

