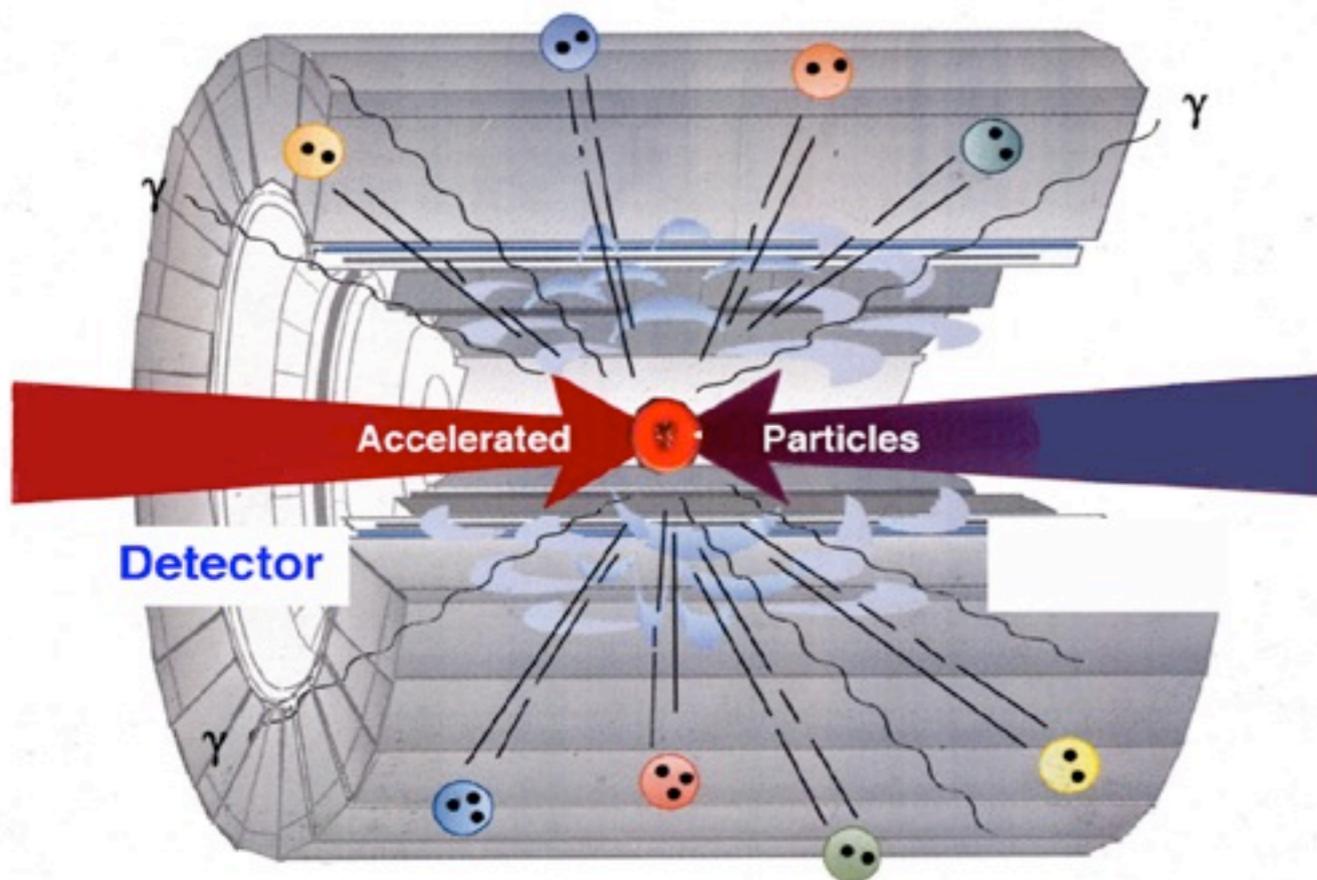


La fisica ai collisori



1) Concentrare energia sulle
particelle nell' Acceleratore

2) Fare collidere le
particelle

3) Identificare i prodotti
dell'interazione nel rivelatore

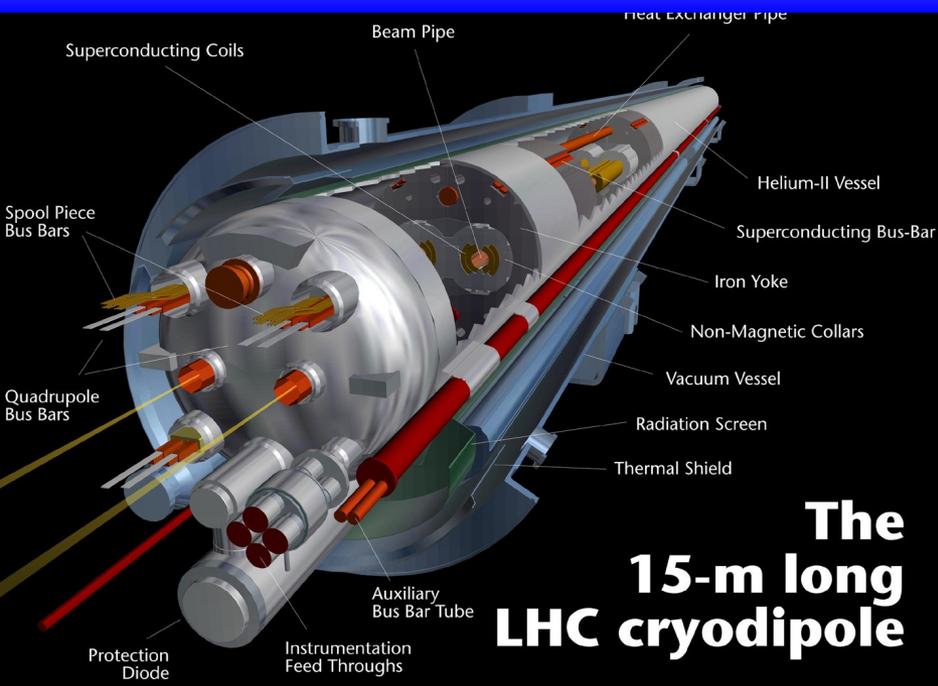
$E=mc^2$: la massa si può trasformare in energia e viceversa
(annichilazione e produzione coppie)

LHC

LHC è l'acceleratore di particelle più grande e potente mai realizzato dall'uomo, progettato per far collidere protoni ad un'energia nel centro di massa di 14 TeV, mai raggiunta fino ad ora in laboratorio.

I componenti più importanti del LHC sono gli oltre 1600 magneti superconduttori raffreddati alla temperatura di 1.9 K (-271,25 °C) da elio liquido superfluido che realizzeranno un campo magnetico di circa 8 Tesla, necessario a mantenere in orbita i protoni all'energia prevista. Il sistema criogenico di LHC è il più grande che esista al mondo oltre ad essere il luogo più freddo dell'universo.

LHC magnets



Dipoles	1232
Quadrupoles	400
Sextupoles	2464
Octupoles/decapoles	1568
Orbit correctors	642
Others	376
Total	~ 6700

The LHC magnets are the most powerful mankind can build today on industrial scale.

They use superconductivity at 1.9°K (-271°C) in a bath of superfluid He.

Spin-off: research on superconductivity (cables, alloys).



LHC tunnel 2002



4 m

LHC tunnel 2006



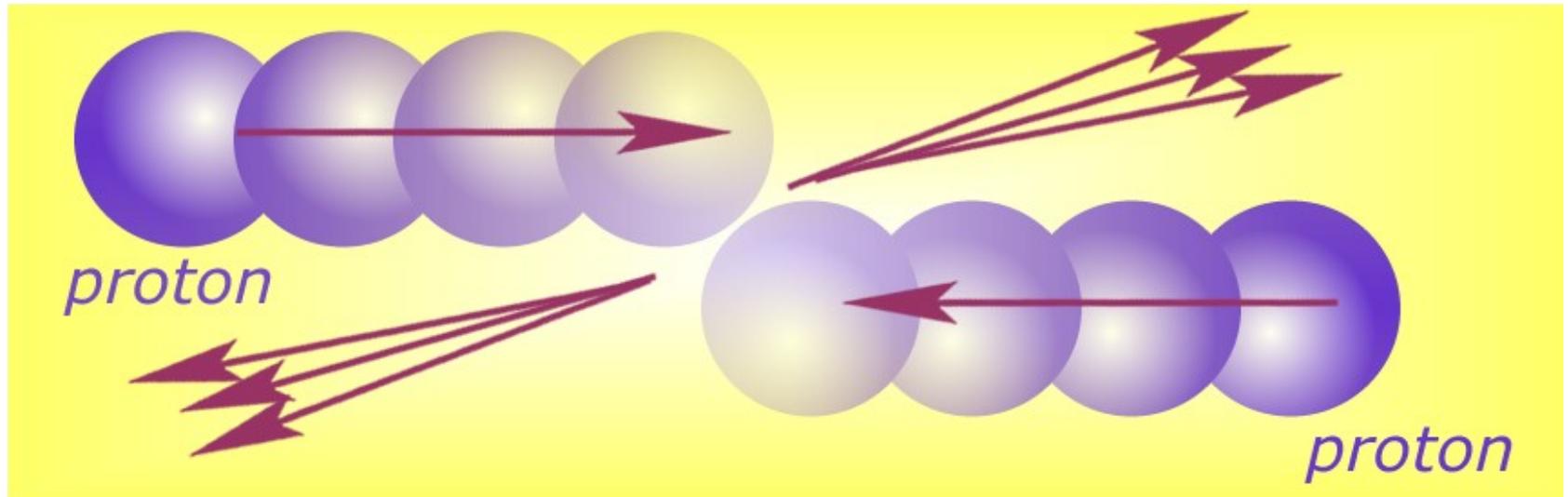
**1232 dipoli principali
+ 3700 magneti correttori
multipoli**

Proton-proton collisions

Two different interactions:

Soft collisions

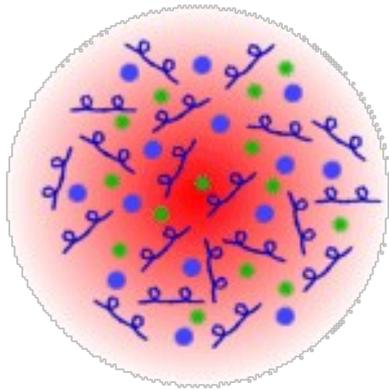
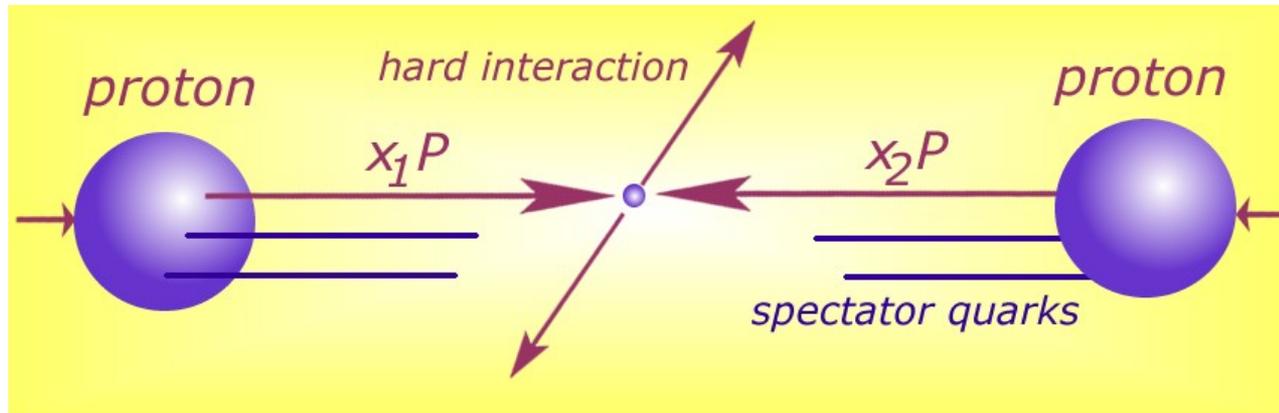
The proton participates to the collision



Proton-proton collisions

Hard collisions

The protons are made of quarks and gluons and these head on collisions may bring away quarks



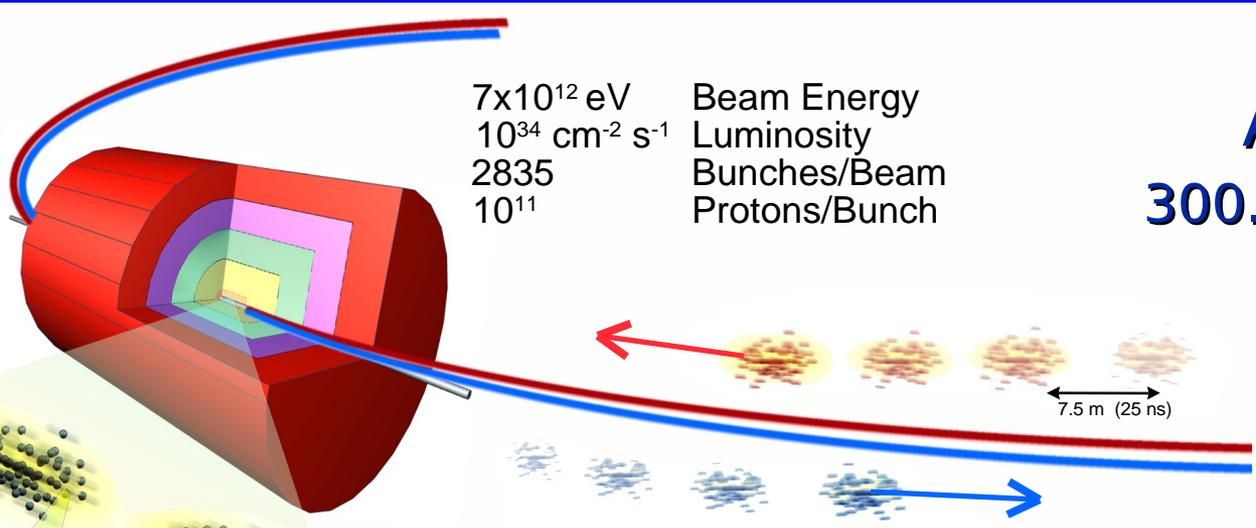
~1000 charged particles/interaction
LHC detector: quick response
radiation resistance

Colliders: the case of the LHC



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

A beam has
 300.000.000.000.000
 protons!
 corresponds to the
 kinetic energy of a
 flying mosquito



7 TeV Proton Proton

Bunch Crossing 4×10^7 Hz (40 millions per second)

Proton Collisions 10^9 Hz

Parton Collisions

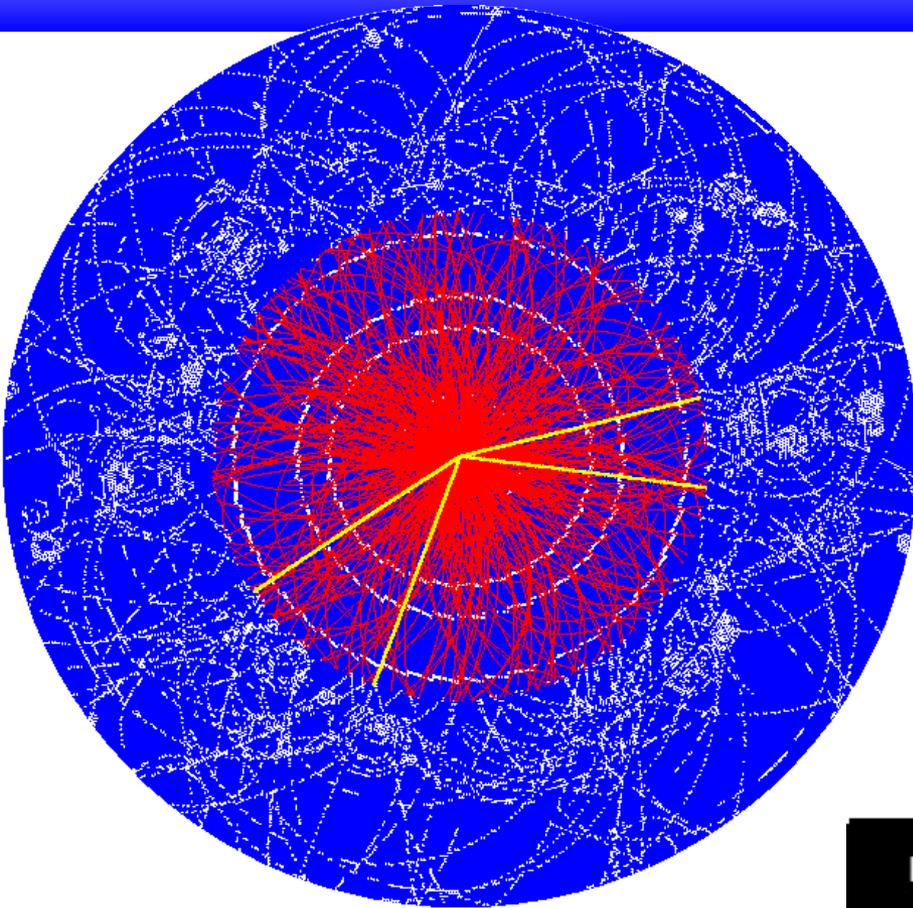
New Particle Production 10^5 Hz

The energy of the LHC beam equals the kinetic energy of 100 10 tons trucks at a speed of 100 Km/h

or of a Boeing 777 (50 tons) at takeoff (450 Km/h)



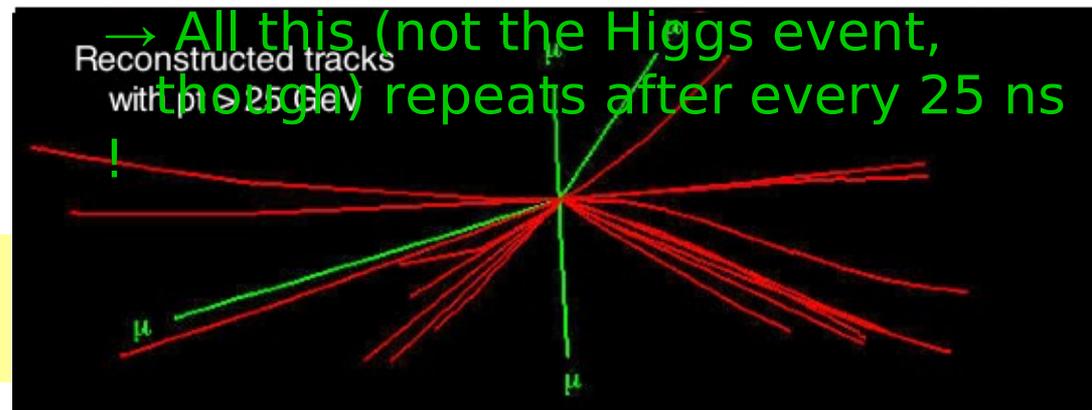
Event reconstruction



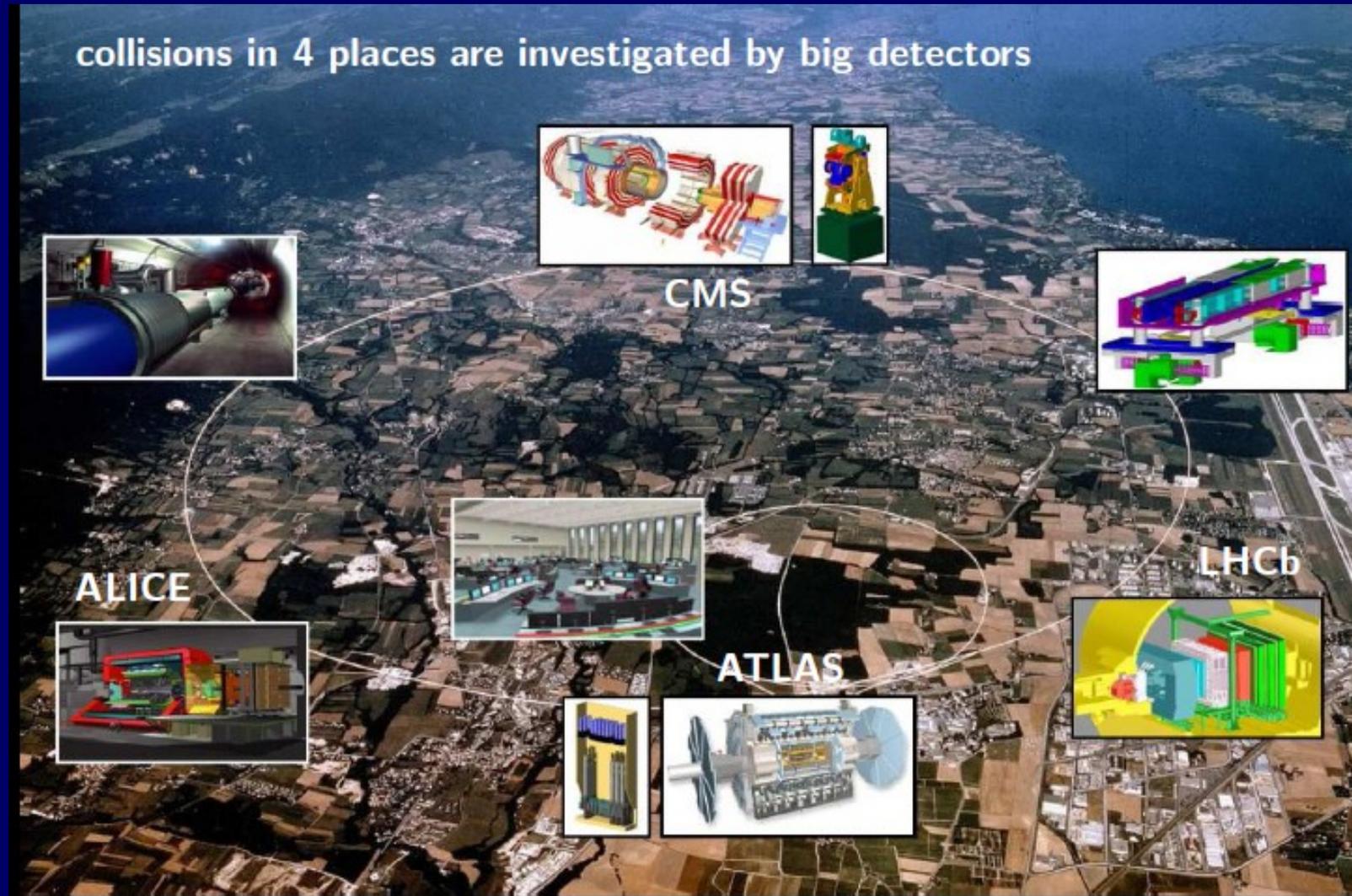
- Beams cross every 25 ns !
- Every beam crossing there are ~25 interactions of 'minimum-bias' (MB).
- A 'good' event (for instance $H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu\mu\mu\mu$) is always accompanied by ~25 overlapping MB events.

F thousands of particles every triggered event, mostly with low E

Properties of particles are then determined on a statistical basis



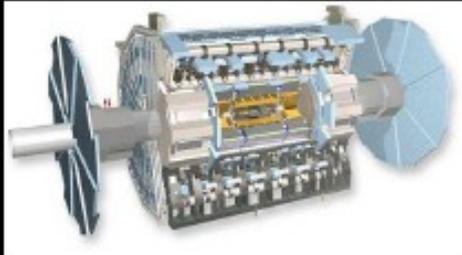
Aggiungiamo i rivelatori



4 esperimenti



the four large LHC detectors



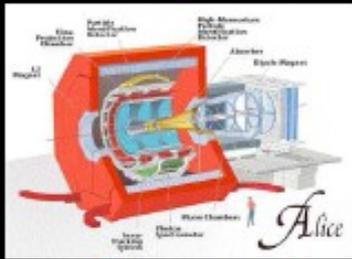
ATLAS (general purpose)
7000 tons, 25m diameter, 46m length
2500 scientists & engineers



CMS (general purpose)
14500 tons, 15m diameter, 22m length
3000 scientists & engineers

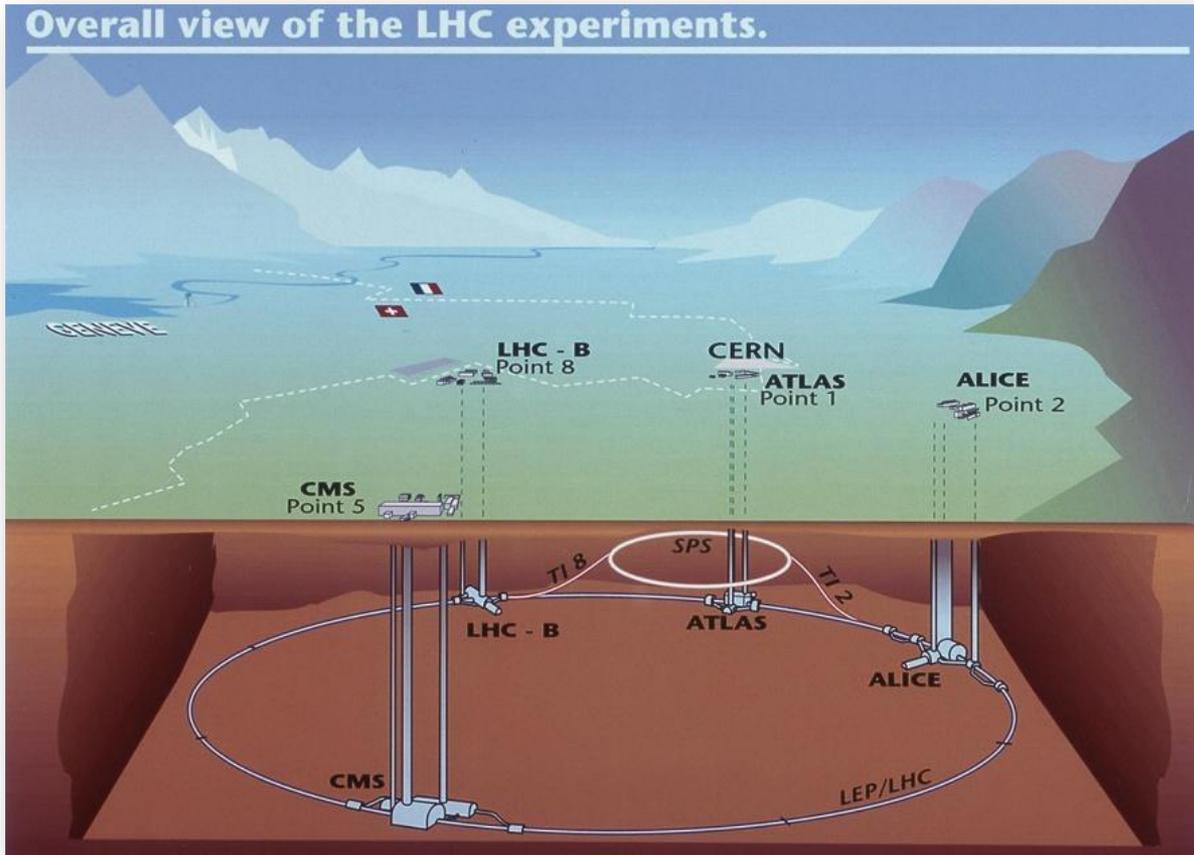


LHCb (b physics)
5600 tons, 13m width, 21m length
700 scientists & engineers



ALICE (heavy ion physics)
10000 tons, 16m diameter, 26m length
1000 scientists & engineers

RAL involvement

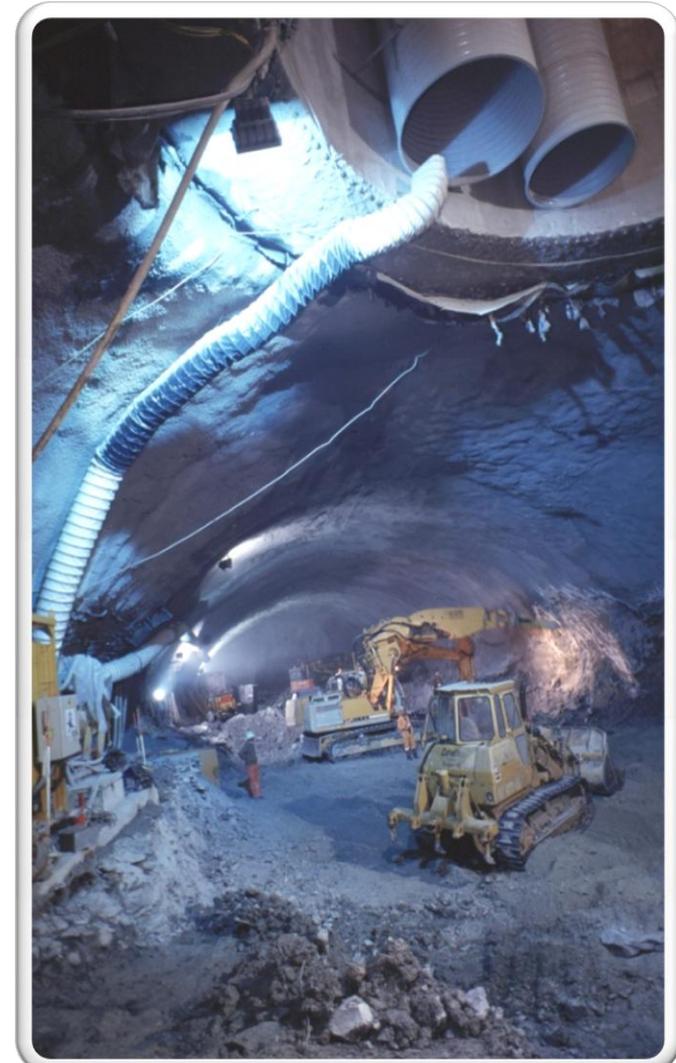
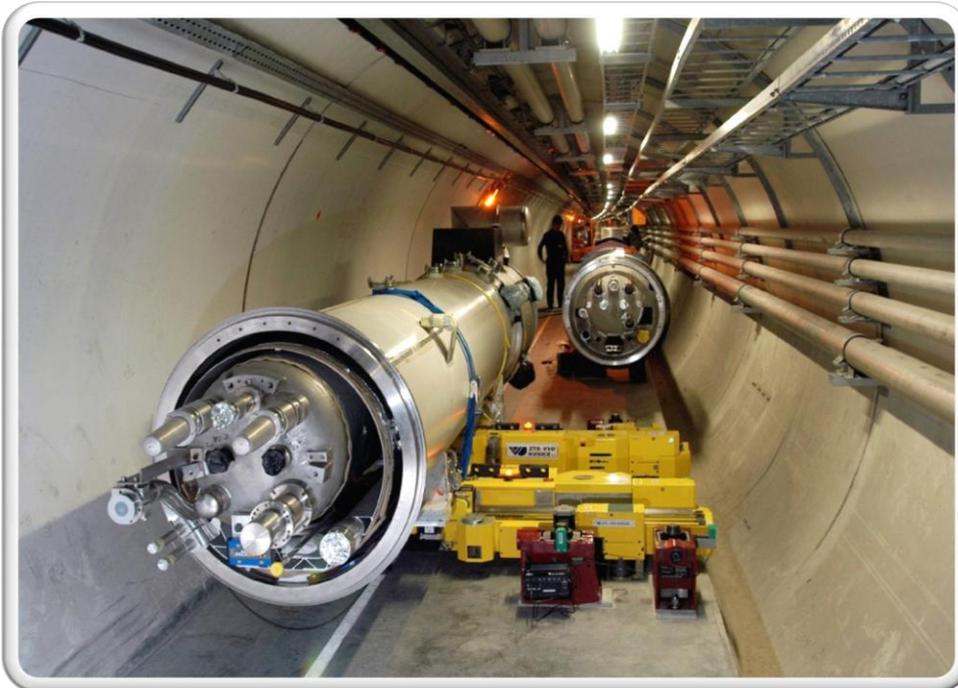


GENERALITÀ SUI RIVELATORI AD LHC

Perché "seppellire" i rivelatori?



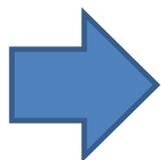
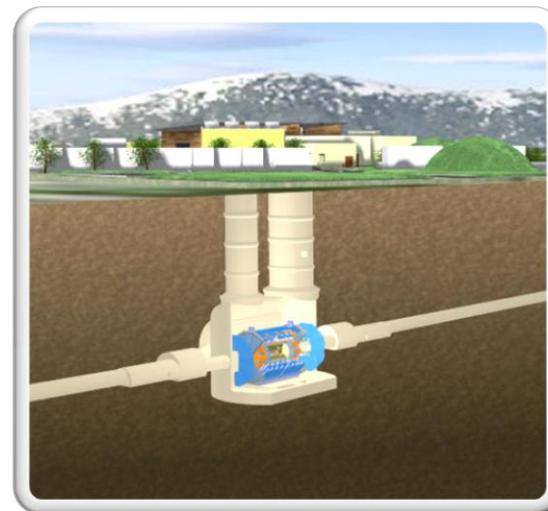
- ✓ Sia acceleratore che rivelatori sono 100m sotto terra
 - per proteggere loro dall'ambiente (vibrazioni, ΔT , ...)
 - per proteggere l'ambiente da loro (radiazioni emesse durante il funzionamento)



Un rivelatore per LHC



- ✓ I rivelatori sono posti nei punti in cui i due fasci vengono fatti collidere
- ✓ Devono essere in grado di:
 - identificare le particelle che si formano
 - misurare l'energia, la carica e la direzione di ciascuna particella
- ✓ A complicare:
 - Molte particelle pesanti che si formano nelle interazioni (Z, W, top, Higgs) decadono immediatamente in particelle più leggere
 - Alcuni costituenti fondamentali (i quarks) non sono capaci di stare da soli e formano immediatamente particelle composte



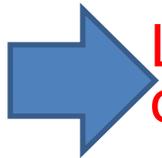
è dalle particelle secondarie che si deducono le proprietà di quelle genitrici e dei processi elementari

Un rivelatore per LHC



✓ A complicare ancora di più:

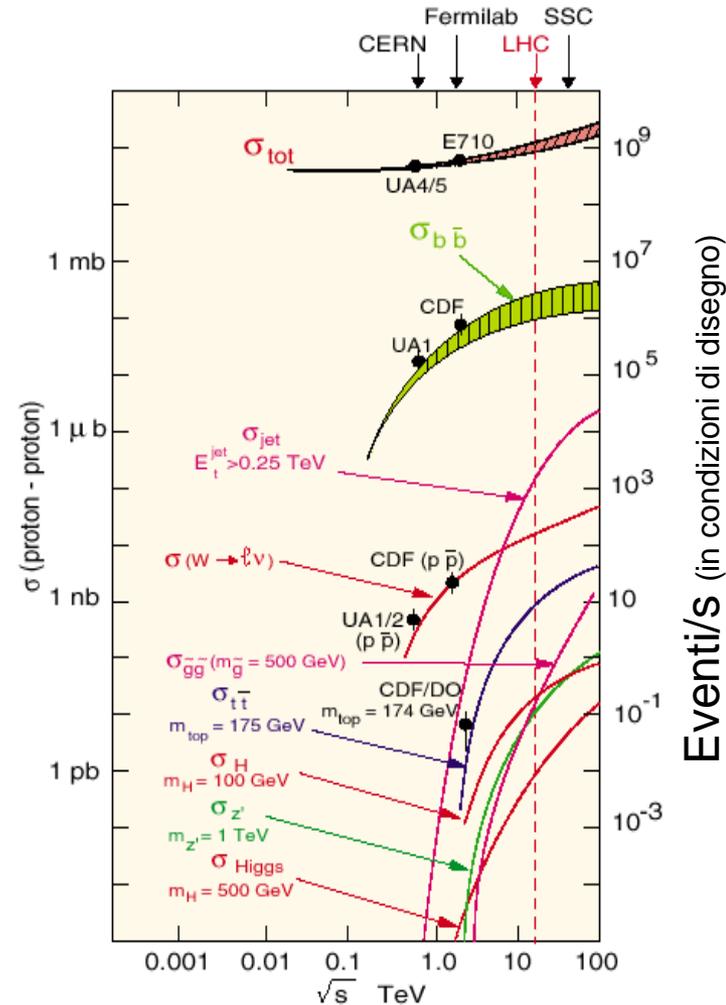
- Collisioni a 40 MHz
- Ogni secondo ~100 miliardi di particelle
- Gli eventi realmente interessanti sono pochi



Le interazioni nel rivelatore ATLAS creano un enorme flusso di dati

✓ Per digerire questi dati servono:

- un sistema di trigger: seleziona 100 eventi interessanti /secondo a partire da 1000 milioni/secondo
- un sistema di acquisizione dati: deve incanalare i dati dal detector al sistema di storage (disco)
- un sistema di computing: deve analizzare 1000 milioni di eventi/anno registrati



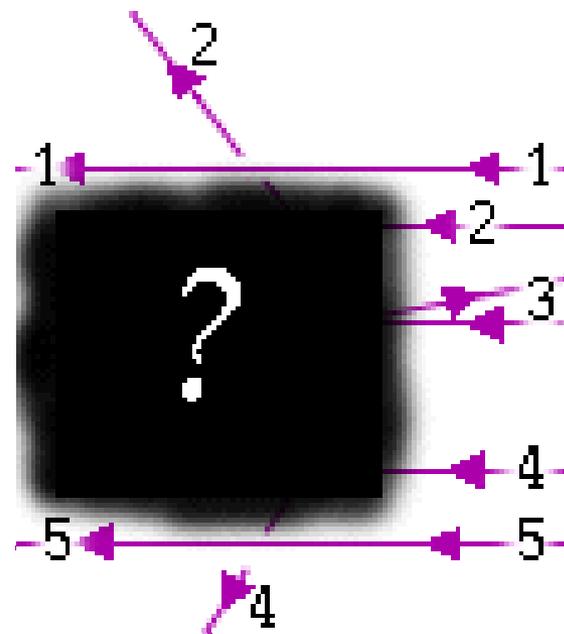
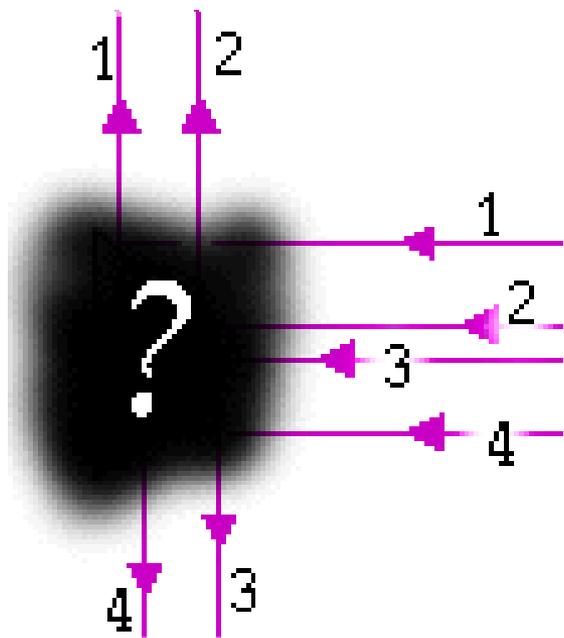
Rivelare le particelle

- Se le particelle interagiscono con del "materiale sensibile" è possibile studiarne le caratteristiche
- **materiale sensibile = rivelatore di particelle**
- Due tipi di misure possibili:
 - **Non distruttive**: si vuole studiare la traiettoria di una particella senza disturbarla troppo
 - **Distruttive**: si vuole misurare l'energia di una particella, per cui facciamo in modo che trasferisca tutta la sua energia al rivelatore





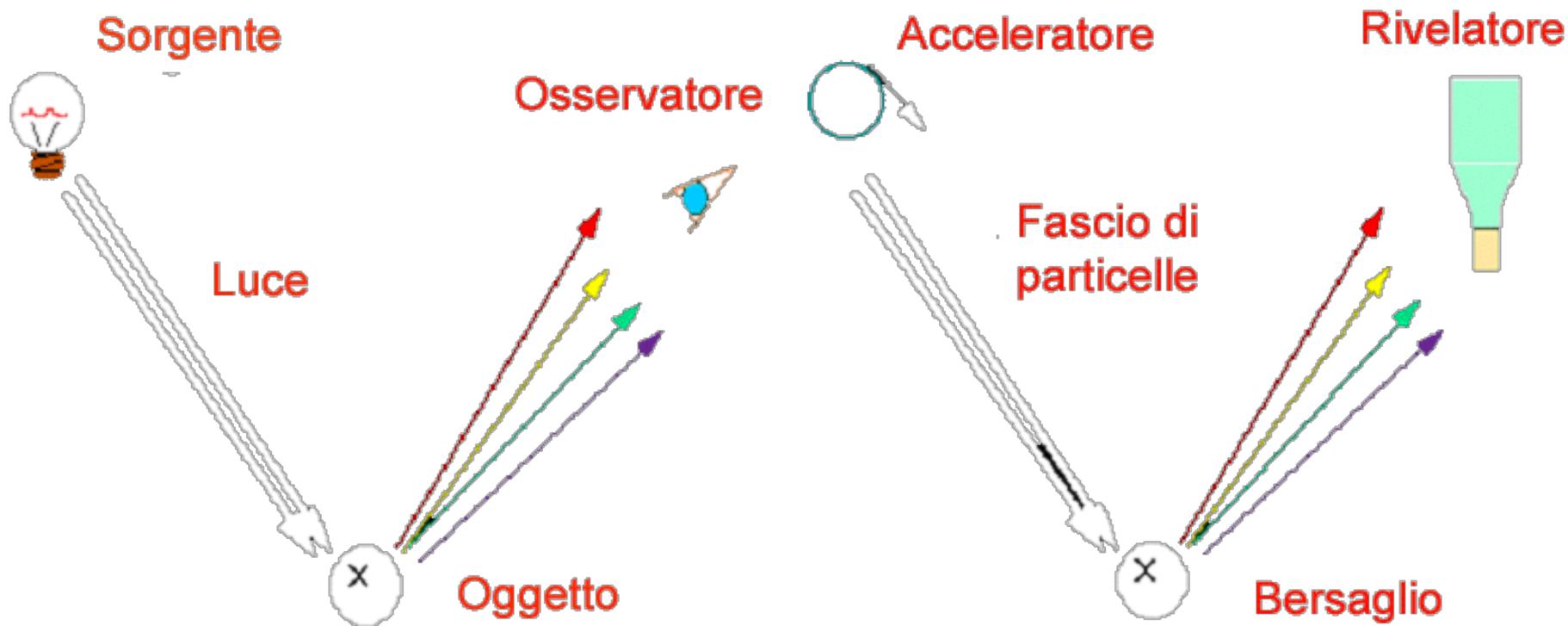
Dal modo in cui rimbalzano riusciamo a capire molte caratteristiche delle particelle





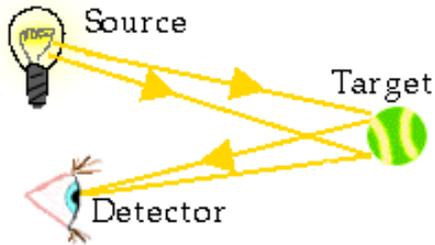
Premessa

Noi "vediamo" la **materia subatomica** perché la colpiamo con particelle prodotte dagli **acceleratori** che rimbalzano sui **rivelatori**

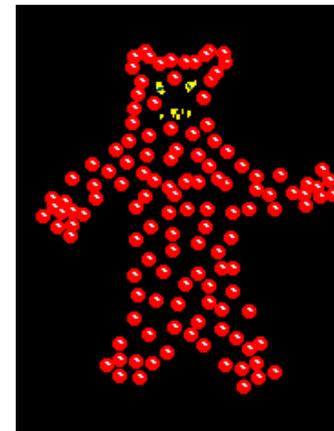
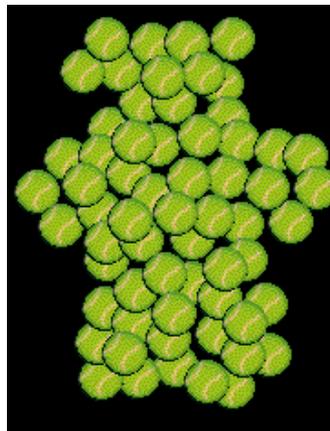
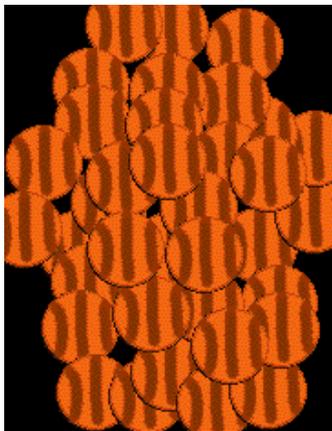
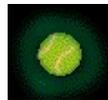
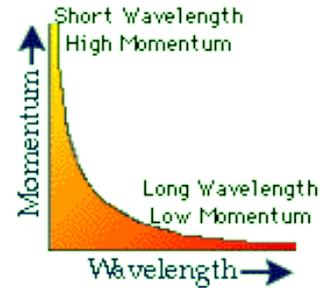




Perché energie sempre maggiori ?



$$\lambda = h/p$$



Più energetica la sonda, più fine il particolare accessibile

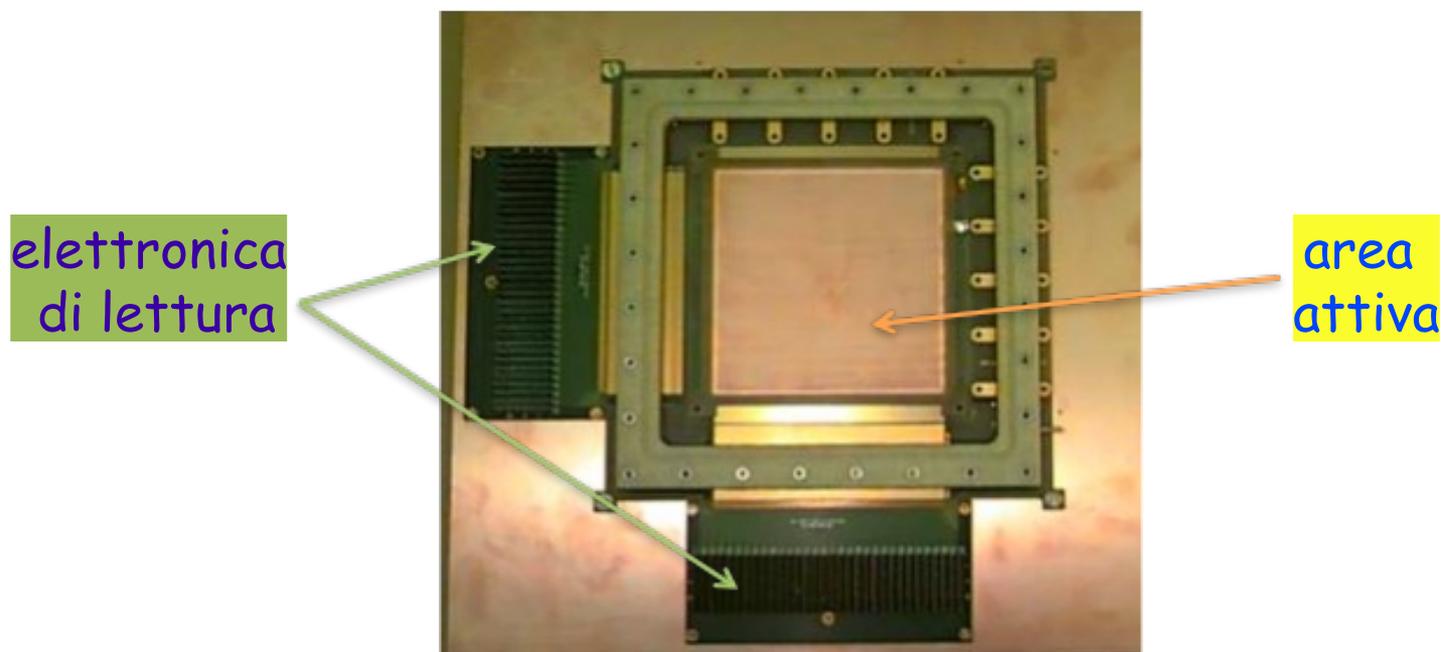


Einstein in the 21st Century

Rivelatori di particelle



Nella fisica sperimentale, un rivelatore di particelle o rivelatore di radiazione è uno strumento usato per rivelare, tracciare e identificare particelle. (Wikipedia)



I rivelatori di particelle sono strumenti che producono un segnale osservabile quando vengono colpiti da una particella. Sono solitamente costituiti da un elemento attivo (con cui interagisce la radiazione) e da un sistema di lettura (che forma il segnale e lo invia all'acquisizione dati)



Tutte le particelle, attraversando la materia, perdono una parte della loro energia.

- Particelle cariche: urti anelatici con gli elettroni degli atomi che incontrano;
- Tutti gli adroni (carichi e neutri) per reazioni nucleari con i nuclei che incontrano;
- Elettroni emettono luce "frenando"
- Fotoni possono creare coppie $e^+ e^-$
- Neutrini hanno solo l'interazione debole.... "sfuggono" ai nostri rivelatori lasciando "poche tracce"!
- Muoni perdono poca energia, sono più penetranti



- Alla base di tutti i rivelatori c'è il principio di convertire questa energia rilasciata in "segnali" concreti da "rivelare".
- Tecniche diverse a seconda del tipo di particella da rivelare.
- Ad esempio un rivelatore di fotoni deve essere necessariamente diverso da un rivelatore di muoni.



Einstein in the 21st Century

Caratteristiche dei rivelatori



Sensibilità: capacità di produrre un segnale utile per un certo tipo di radiazione e di energia. Nessun rivelatore può essere sensibile a tutti i tipi di radiazione. Ogni rivelatore è progettato per essere sensibile ad un tipo di radiazione in un certo intervallo di energia.

Risposta: tipo di segnale utile prodotto. Spesso il segnale prodotto da un rivelatore è un impulso di corrente la cui ampiezza è proporzionale all'energia rilasciata dalla particella.

Risoluzione: differenza minima di una grandezza fisica misurata (es. energia) necessaria perché il rivelatore possa distinguere due misure vicine. Si esprime in termini di deviazione standard della distribuzione della grandezza misurata.

Es.: Risoluzione spaziale. E' la distanza minima alla quale un rivelatore distingue il passaggio di due particelle.



Einstein in the 21st Century

Caratteristiche dei rivelatori



Efficienza: efficienza assoluta: frazione di particelle rivelate dal rivelatore rispetto a quelle emesse dalla sorgente. Efficienza intrinseca: frazione di particelle rivelate dal rivelatore rispetto a quelle che lo colpiscono.

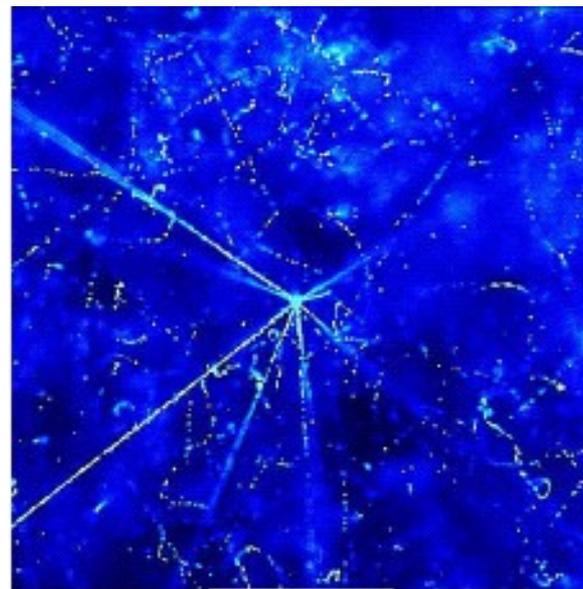
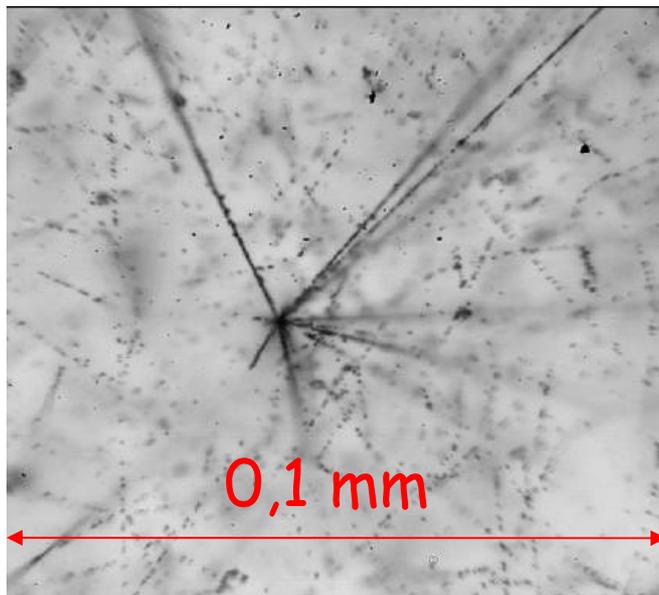
Tempo morto: tempo necessario al rivelatore per formare il segnale dopo che è passata la particella. Dipende molto dall'elettronica di lettura. Il tempo morto può ridurre l'efficienza se il rivelatore non è in grado di rivelare una particella perchè ancora impegnato a processare l'evento precedente. Questo fenomeno aumenta quanto più è elevata la frequenza di arrivo delle particelle.



Emulsioni Fotografiche

Nei primi esperimenti con i raggi cosmici si inviavano lastre fotografiche sui palloni aerostatici.

Le particelle cariche "impressionano" le lastre fotografiche lasciando una scia del loro passaggio.





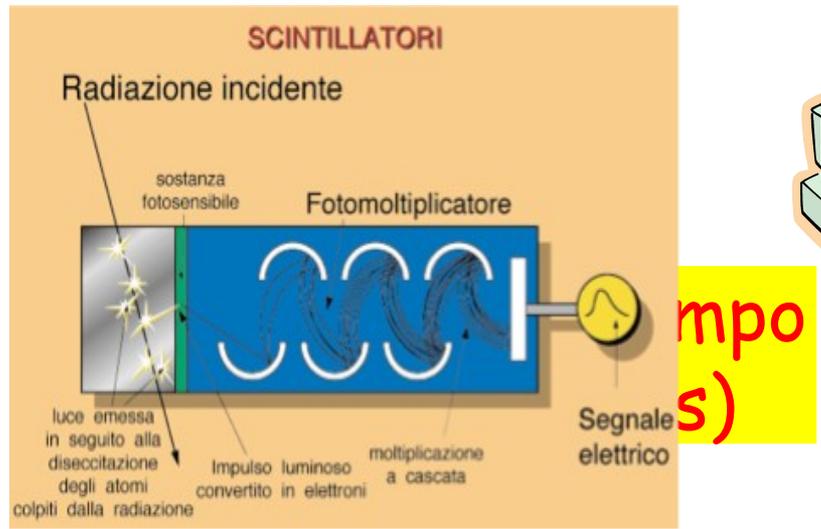
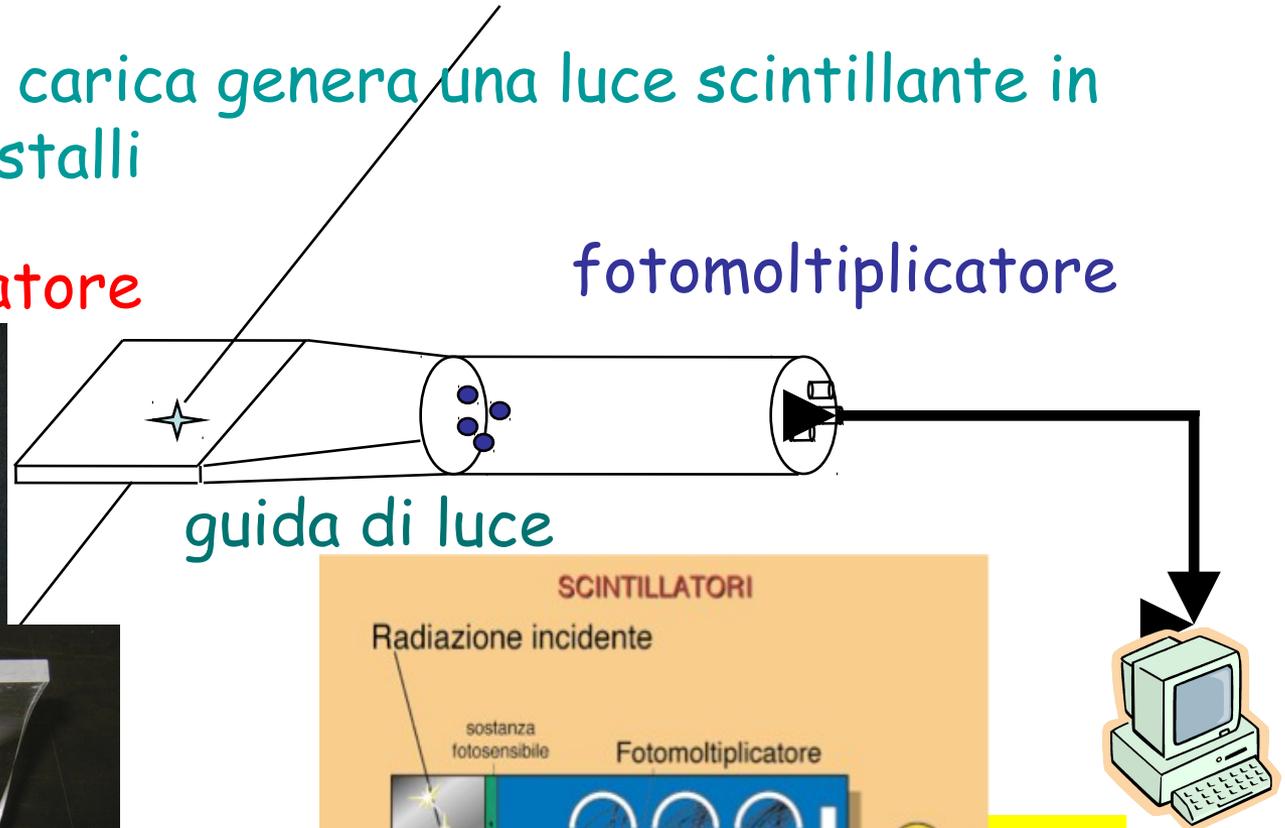
Scintillatori

Una particella carica genera una luce scintillante in particolari cristalli

Scintillatore

fotomoltiplicatore

guida di luce

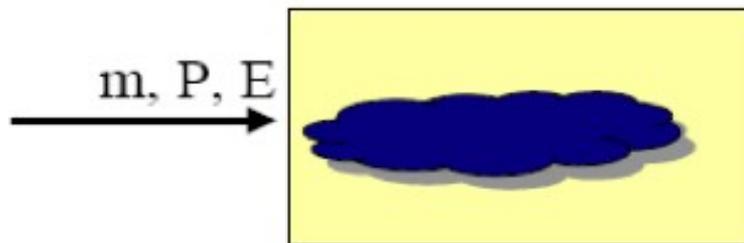




Esistono molti diversi tipi di rivelatore, ottimizzati per rivelare e misurare **tipi diversi di particelle** ed **informazioni fisiche diverse** (energie, momenti...)

2 famiglie fondamentali: **tracciatori** e **calorimetri**

Sistema calorimetrico



Un sistema calorimetrico determina l'energia della particella

La particella viene completamente assorbita

A differenza di sistemi di tracciatura può rivelare anche particelle neutre (**fotoni, neutroni**)

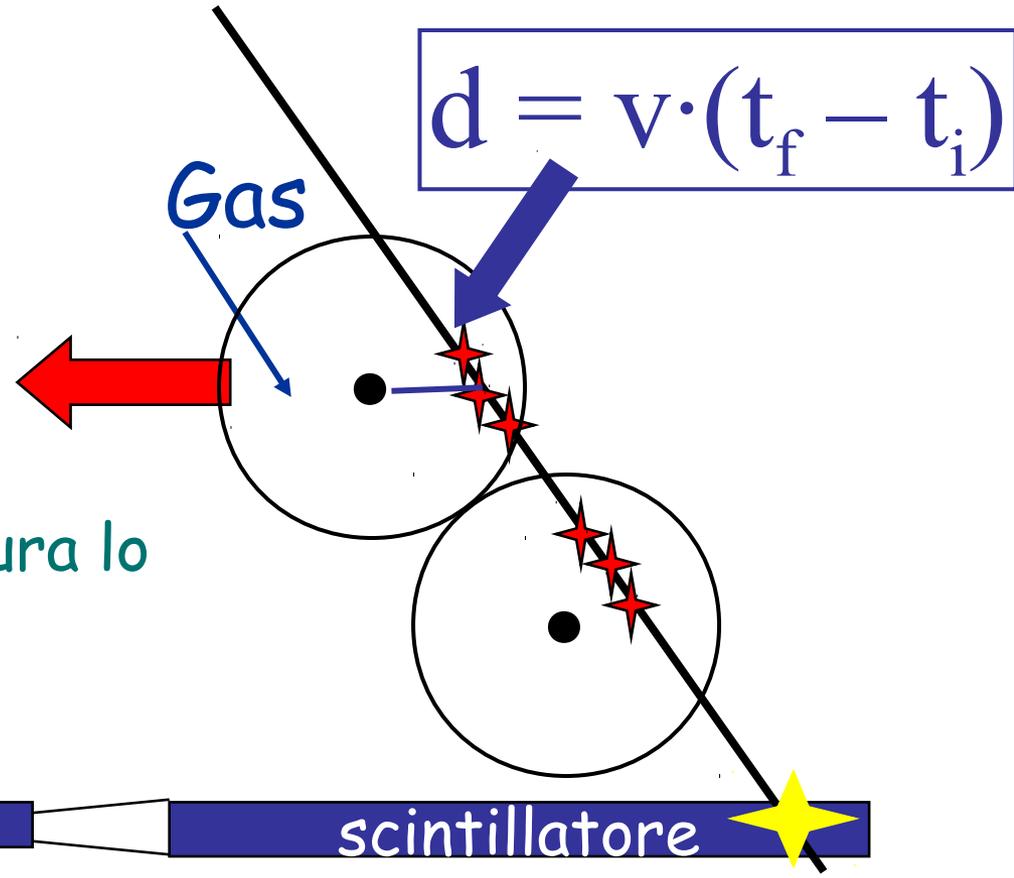
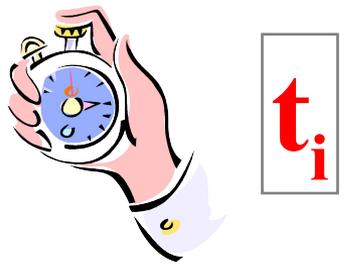


Le particelle cariche ionizzano il gas

Gli elettroni prodotti vengono raccolti sull'anodo



Dal tempo di "deriva" si misura lo spazio percorso

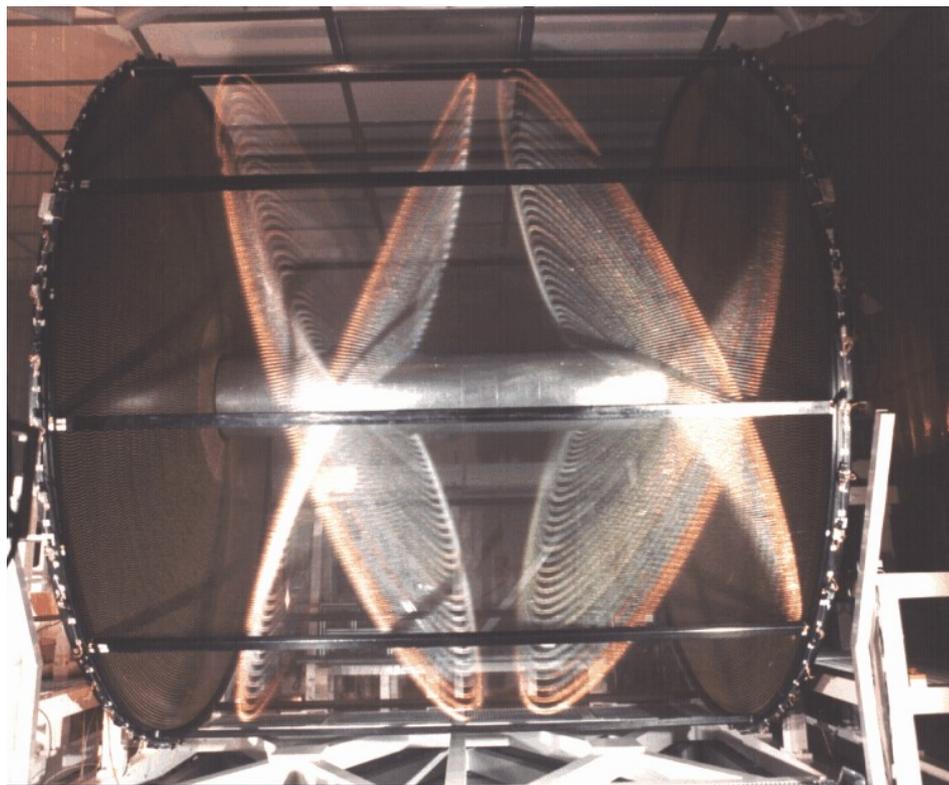




Camere a filo



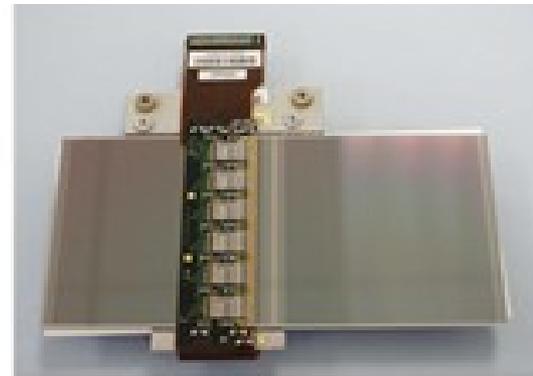
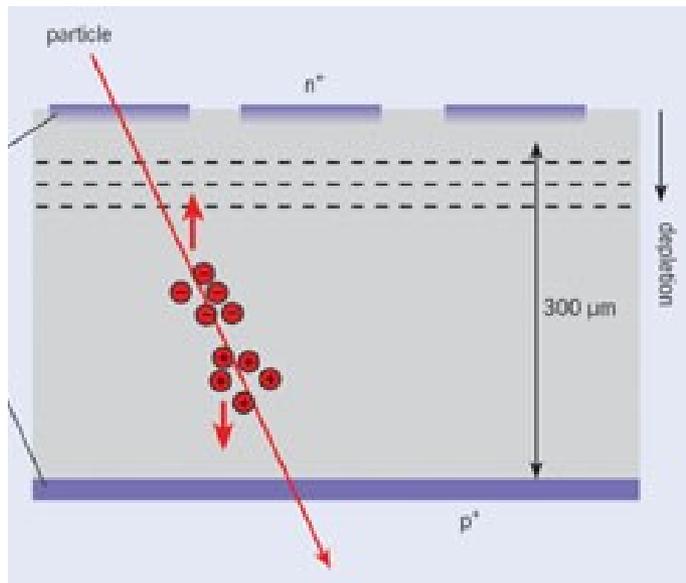
Prof. Charpak Premio Nobel del 1992 per l'invenzione delle camere a multifilo (1968)



Camera a fili di KLOE

Rivelatori di silicio

- Una particella ionizzante crea coppie elettroni/buche nel semiconduttore, dalla divisione di carica tra gli elettrodi si calcola la posizione (risoluzione di pochi micron)



A Bar

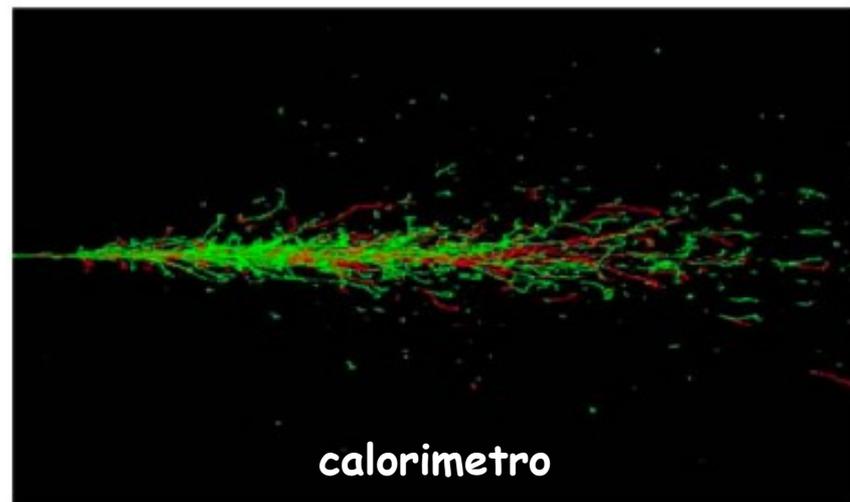
- 2 da
- The over
- The side





Un **calorimetro** è un rivelatore di particelle che misura l'energia di una particella

particella incidente



La particella interagendo con il calorimetro crea uno **sciame** e viene completamente assorbita

Il segnale prodotto è proporzionale all'energia della particella:

$$S = kE$$

Esistono 2 tipi di calorimetri:

Calorimetri Elettromagnetici

(rivelazione di elettroni, positroni e fotoni)

Calorimetri Adronici (rivelazione di adroni carichi e neutri: p,n, π ,K)



Cosa manca?

I neutrini !

Interagiscono così poco con la materia che sono capaci di attraversare indisturbati la terra da parte a parte

Energia e Impulso si conservano!

Si possono però ottenere informazioni su di loro per differenza tra l'energia e impulso iniziale e quelle misurate



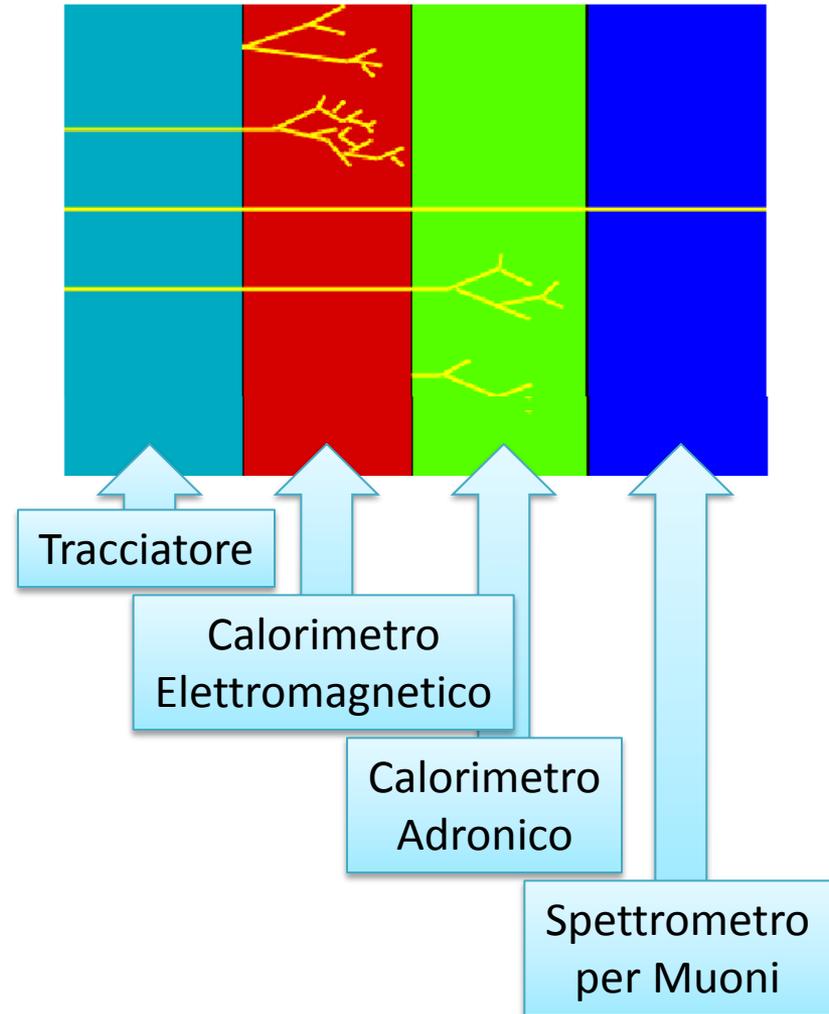
Un "microscopio" a strati specializzati



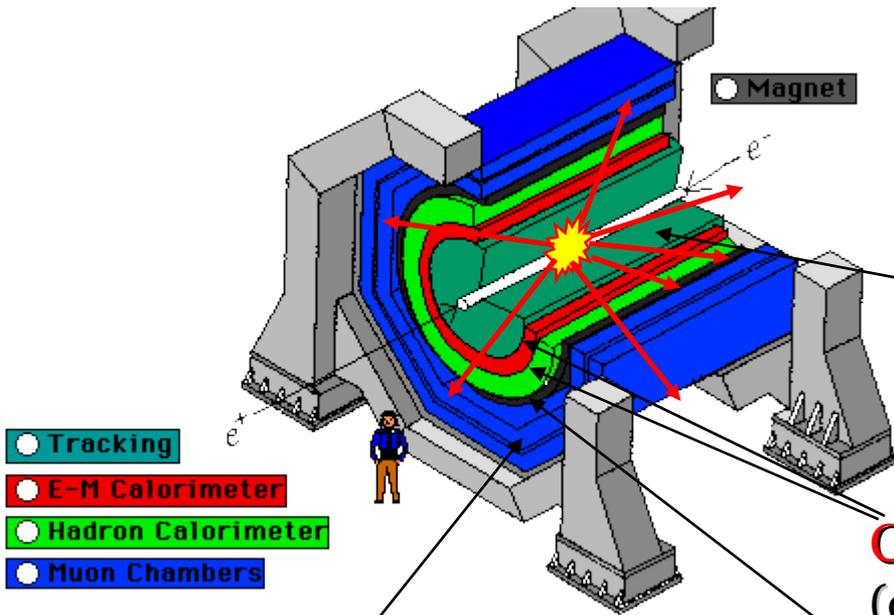
- ✓ Particelle "stabili" da distinguere e misurare:

fotoni
elettroni
muoni
adroni carichi (p, pioni, K...)
adroni neutri (n, K⁰...)
neutrini (e neutralini?) ...

- ✓ Il rivelatore è costruito "a cipolla", con strati sovrapposti specializzati che utilizzano diverse tecnologie



Detectors on colliders



We want to measure:

direction, energy, momentum,
electric charge, identity.

Tracking: measure trajectories of
charged particles
(as lighter as possible)

Calorimeters: measure deposited energy
(dense, must stop particles)

Muon chambers: measure charged
particles not stopped by the other
detectors
(only muons are known to do so)

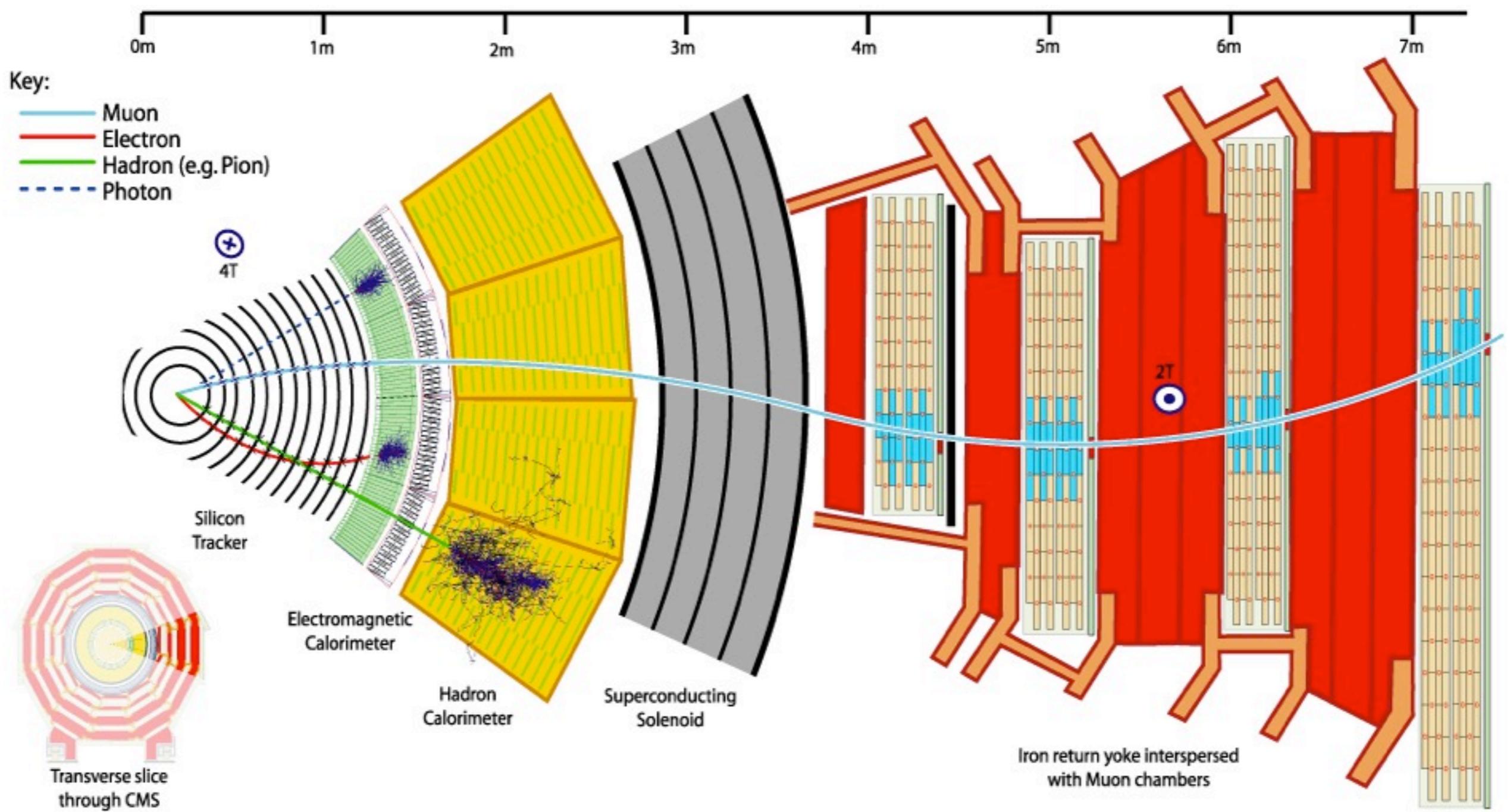
Magnetic field to bend charged
particles

The detector must be able to take the 'picture' of the event before the next bunch crossing. This is very demanding at the LHC (25 ns).

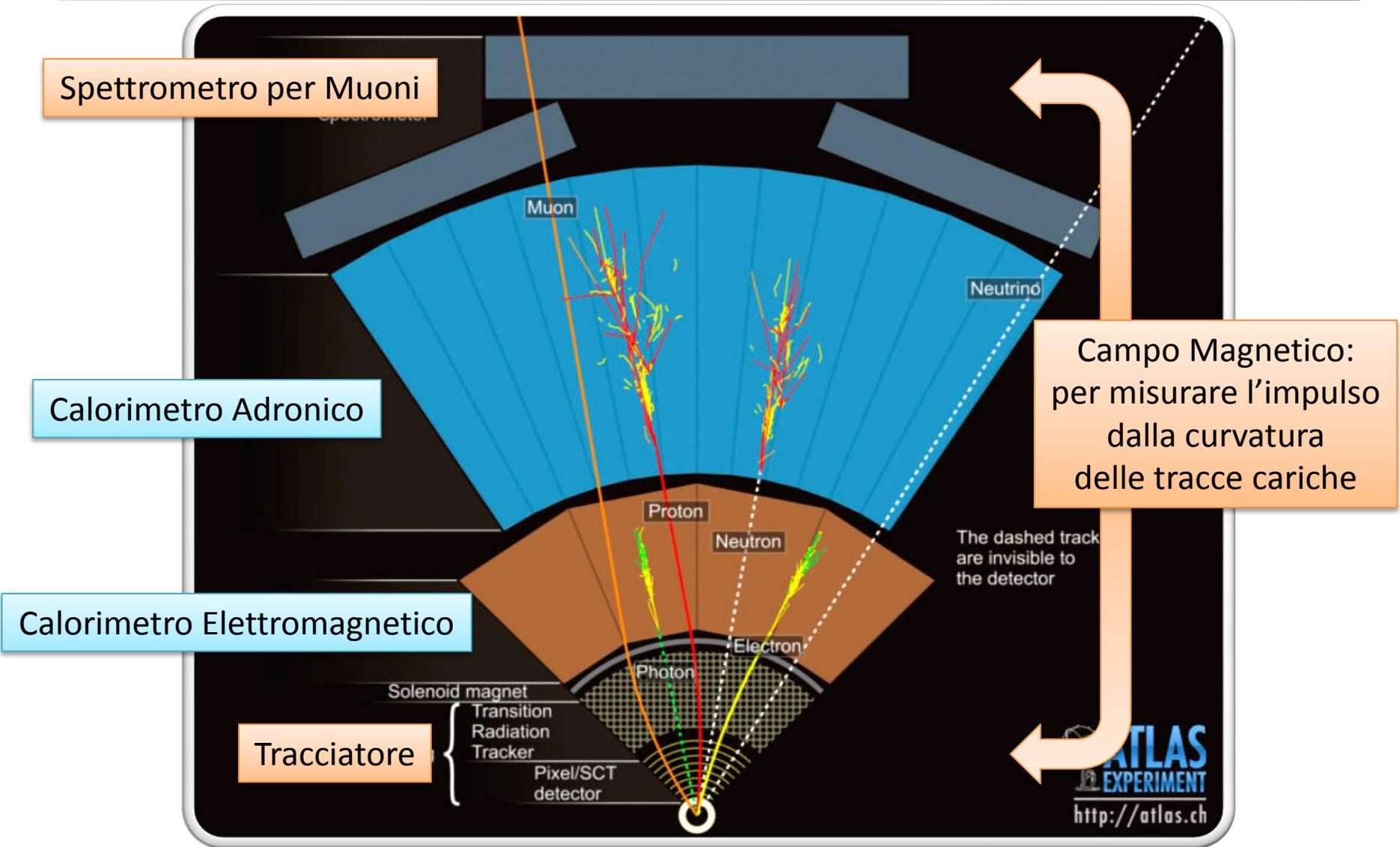
Statistical distributions give information on average behaviour/properties.

Rivelazione di particelle in CMS

riassumendo...



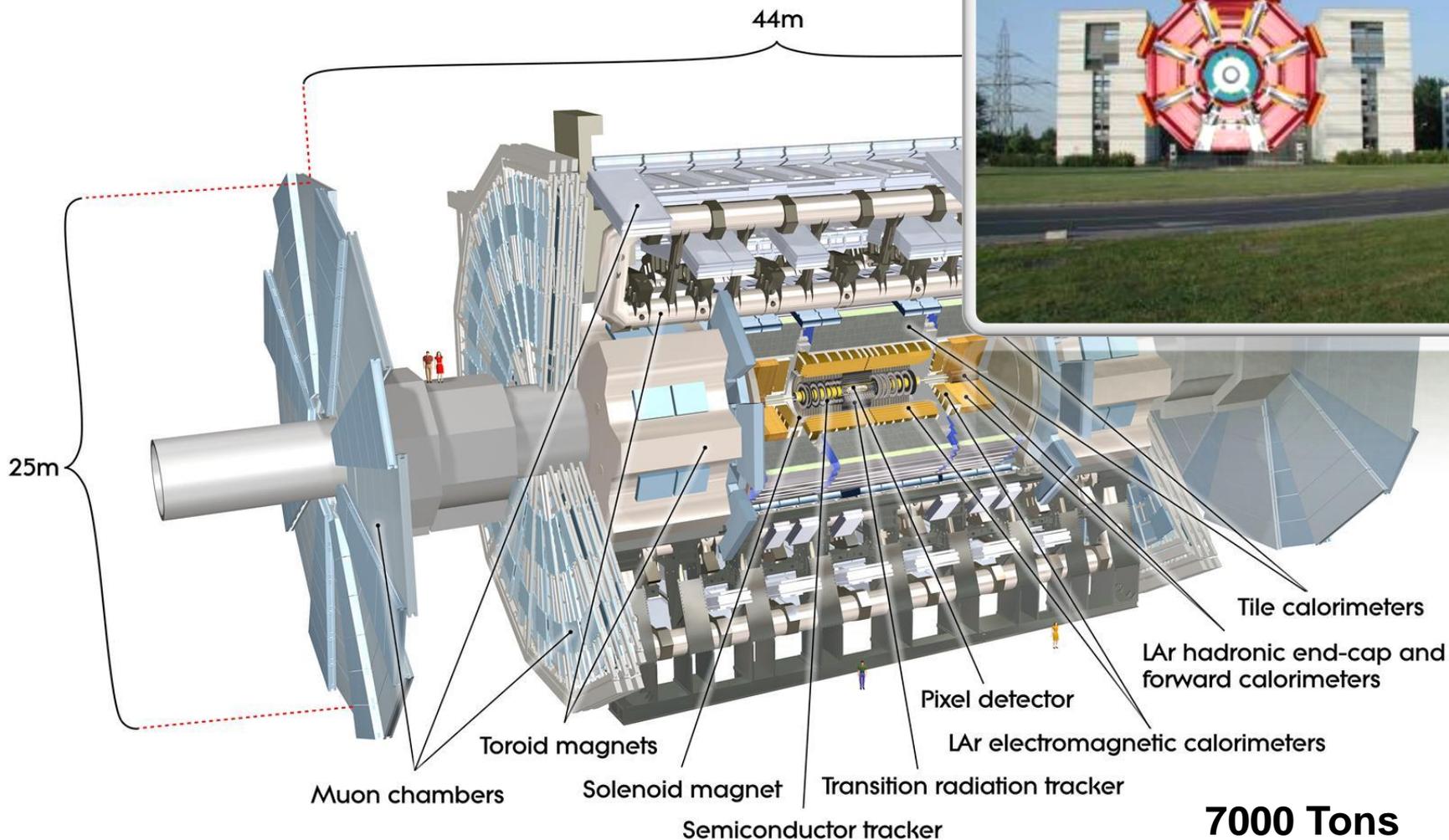
Un "microscopio" a strati specializzati



Più grande è l'energia:



✓ Più grande è il rivelatore:

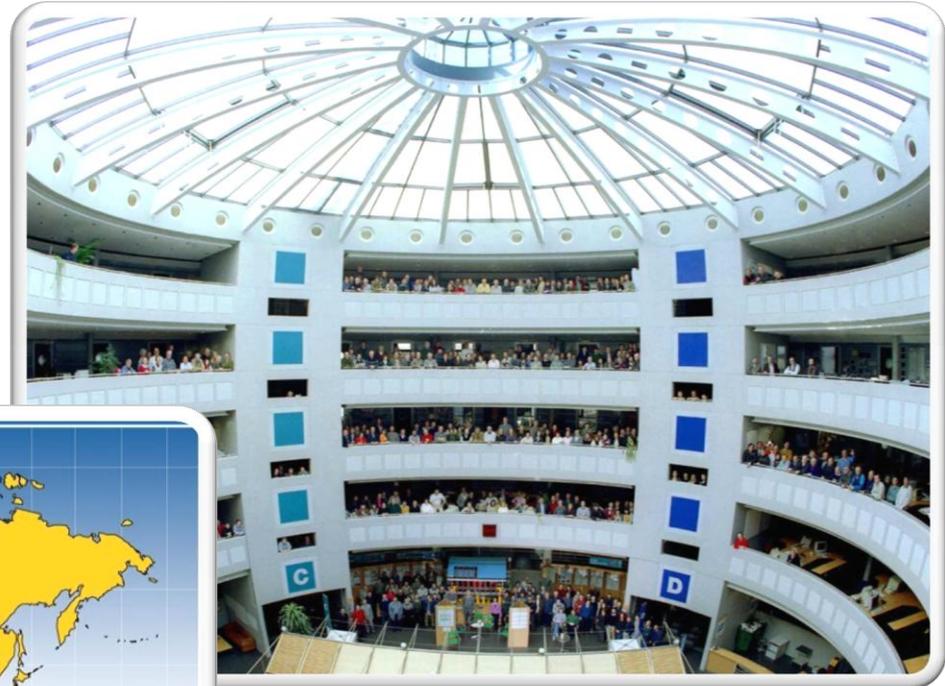


Più grande è l'energia:



✓ Più sono le persone:

- 173 università e laboratori
- 37 nazioni
- 3000 scienziati
- di cui 1000 studenti



Più grande è l'energia:



- ✓ Più tempo è necessario per realizzare il rivelatore:
 - 15 anni tra progettazione e costruzione

- ✓ Più alti sono i costi:
 - ~500 M euro

Più grande è l'energia:



✓ Più grande deve essere la potenza di calcolo:

- per selezionare gli eventi in tempo reale (da 109/s → 100/s)
- per studiare ognuno dei 100/s rimasti (1 anno = 2 10¹⁵ Bytes = 4 milioni di CD...)



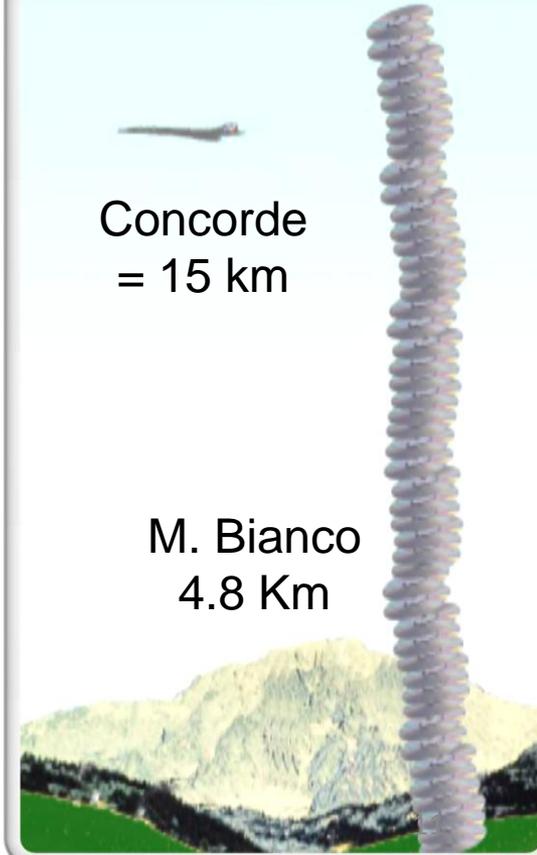
Pallone = 30 km

Pila di CD x 1 anno
= 20 km



Concorde
= 15 km

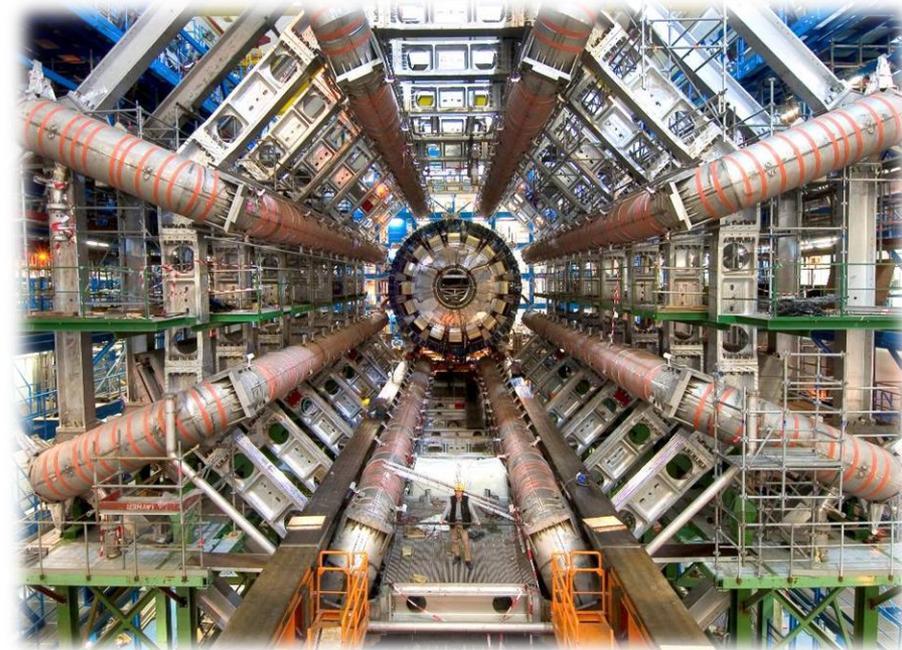
M. Bianco
4.8 Km



Sistema Magnetico



- ✓ Nel complesso:
 - 20 m diametro x 25 m lunghezza
 - 12000 m³ volume
 - 20.5 kA a 4.1 T nel toroide
 - 1.6 GJ energia immagazzinata
 - superconduttore a 4.8 K

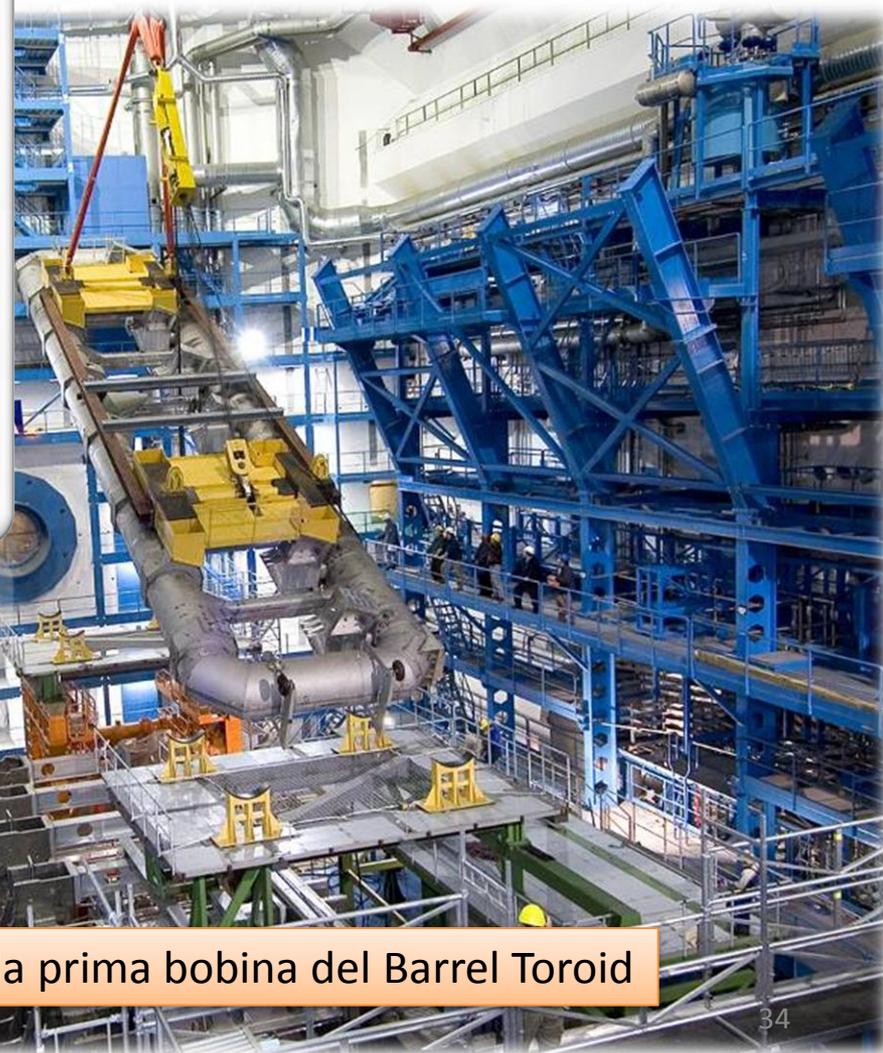


- ✓ E' cruciale per la misura dell'impulso delle particelle conoscere:
 - la posizione delle bobine
 - la mappatura del campo magnetico
- ✓ Migliaia di sensori assolvono a questi compiti

Sistema Magnetico



Trasporto di un End-Cap Toroid

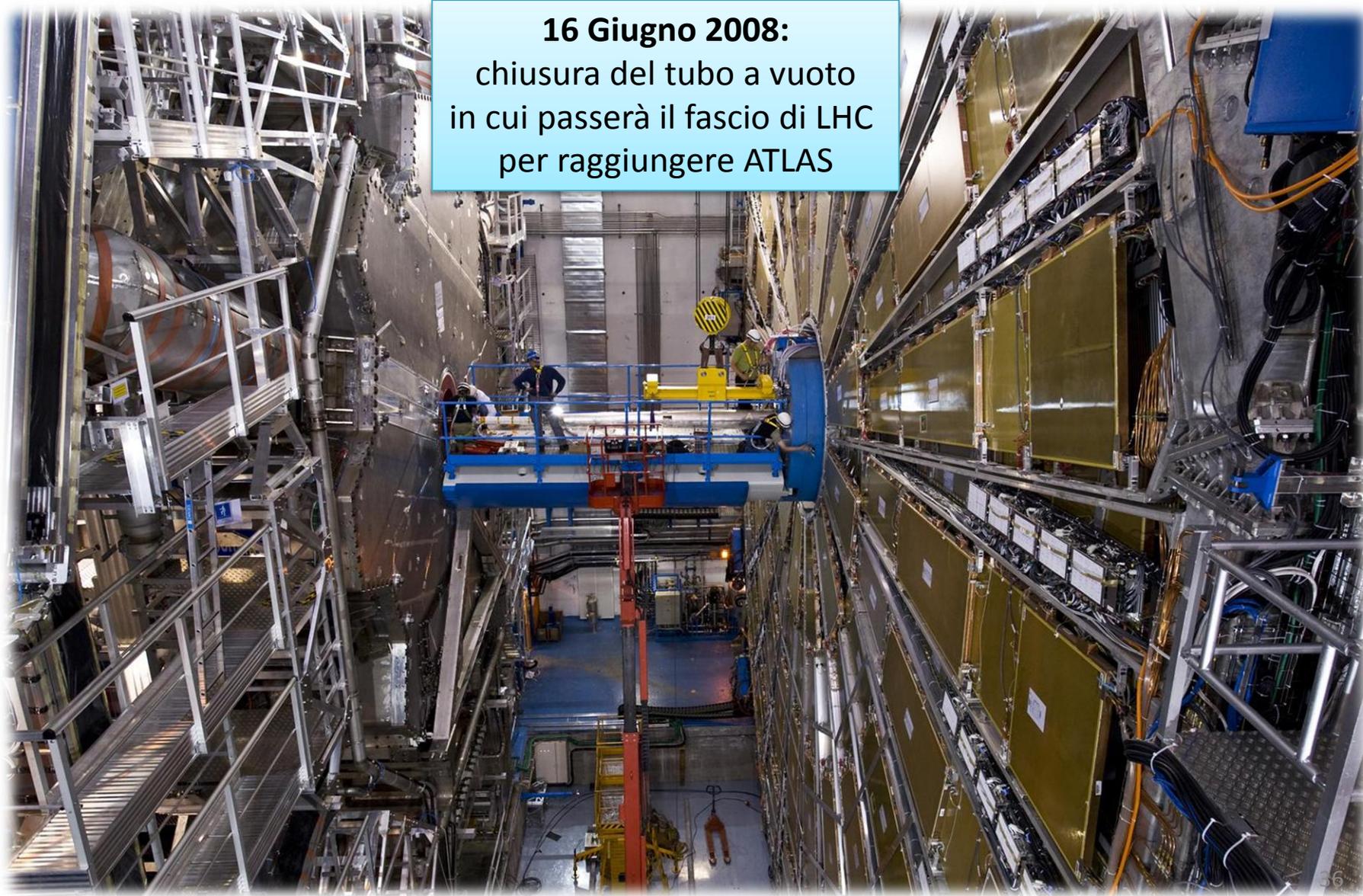


Installazione della prima bobina del Barrel Toroid

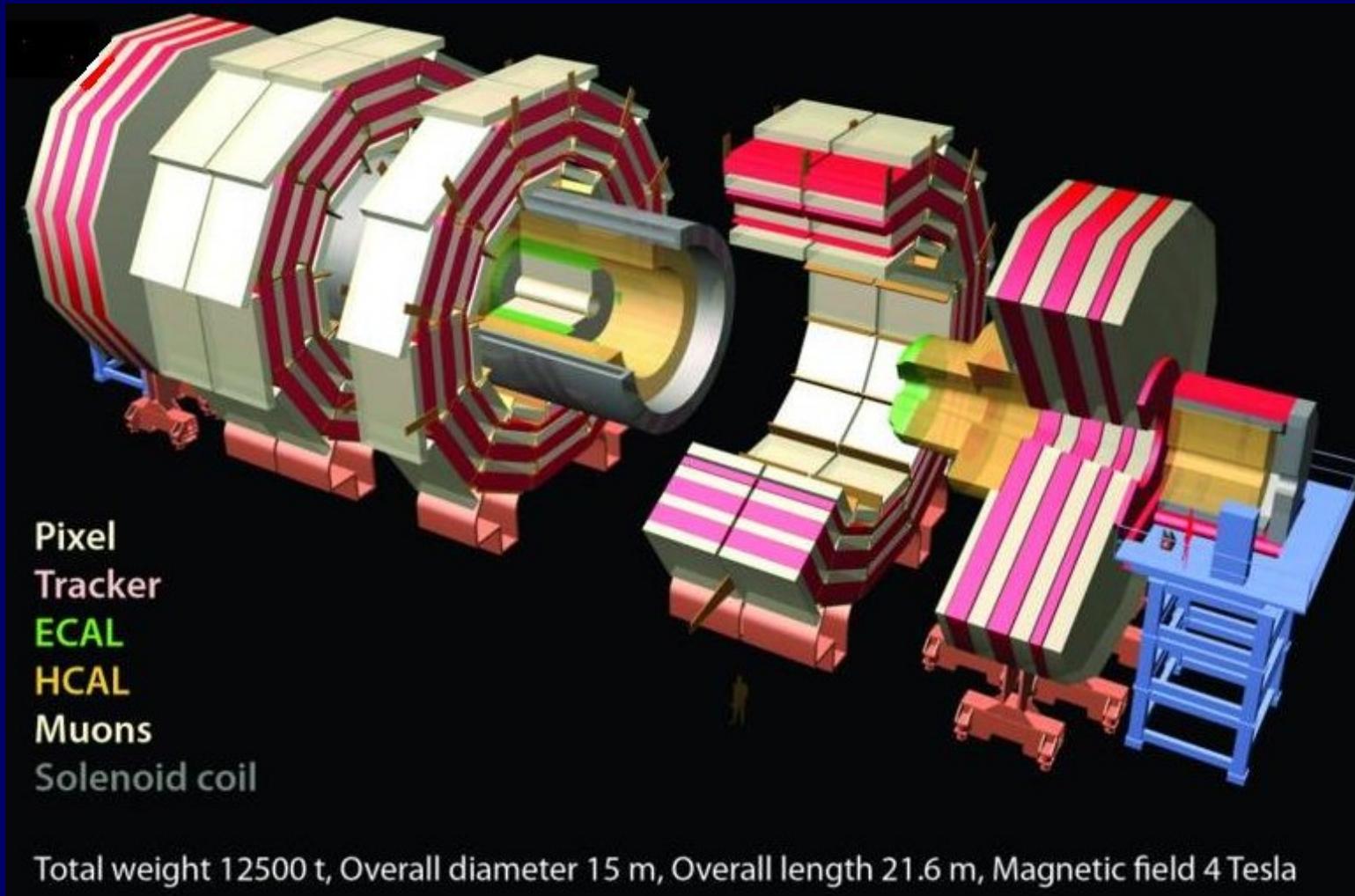
Momento Storico



16 Giugno 2008:
chiusura del tubo a vuoto
in cui passerà il fascio di LHC
per raggiungere ATLAS



CMS

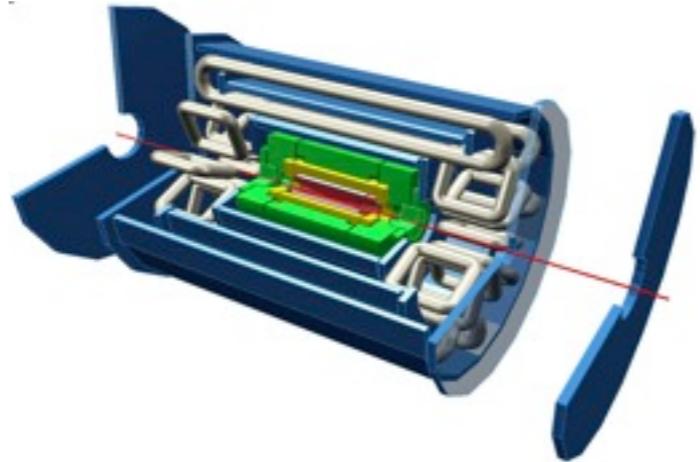


Il campo solenoidale

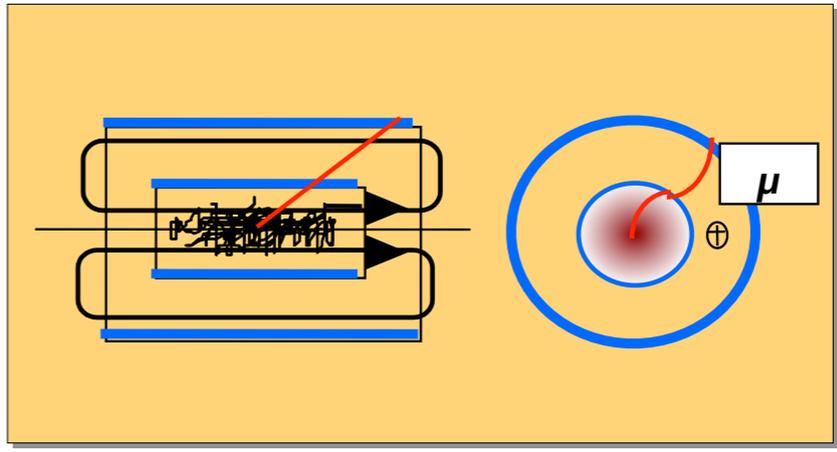
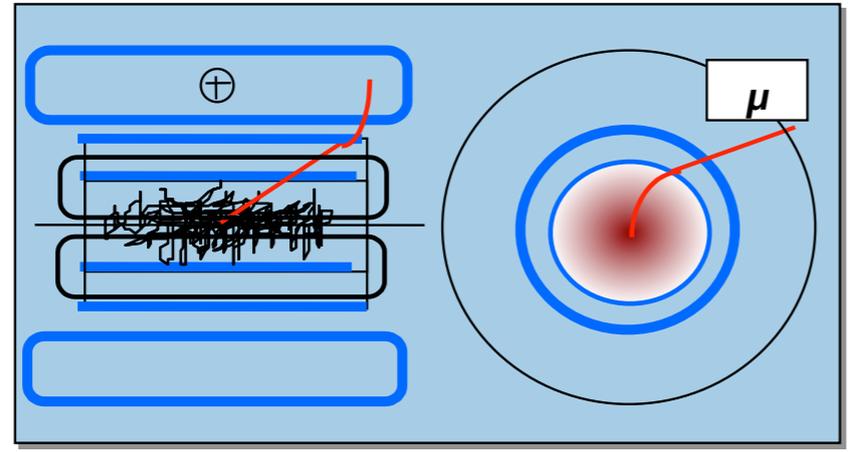
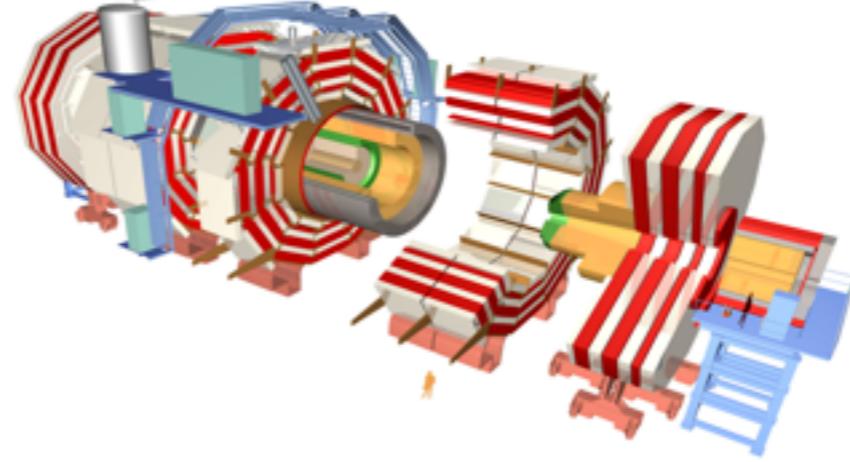
Il Magnete

Rispetto ad ATLAS il campo solenoidale curva le tracce solo nel piano trasverso. Questo rende la vita piu' facile ai fisici! Inoltre il grande diametro del magnete (5.9m) permette di contenere il sistema di tracciamento e i calorimetri al suo interno -> se ne sfruttano meglio le potenzialita'.

ATLAS A Toroidal LHC Apparatus



CMS Compact Muon Solenoid



Compact Muon Solenoid (CMS)

BOBINA SUPERCONDUTTIVA

ECAL: cristalli PbWO₄

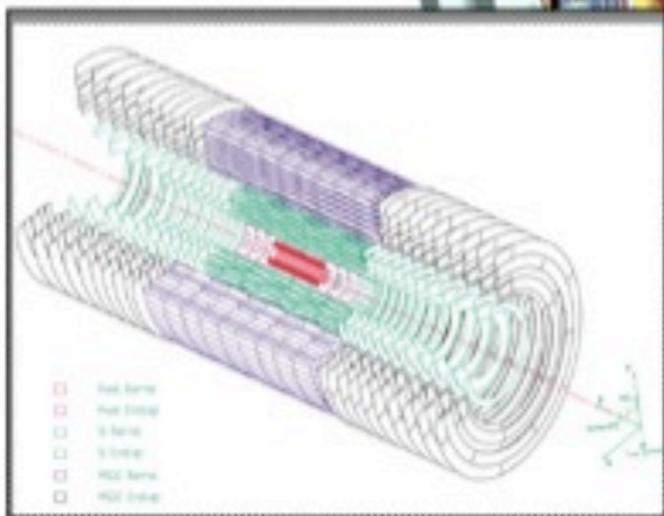
HCAL: scintillatore plastico

Numero di scienziati: 1961
Numero di istituti: 180
Numero di nazioni: 37

CALORIMETRI

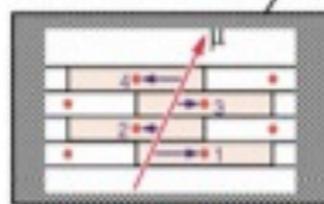
GIOGO RITORNO

TRACKER

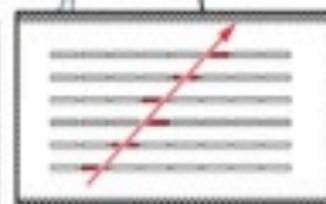


Microstrisce Silicio
Pixels

MUONI BARREL

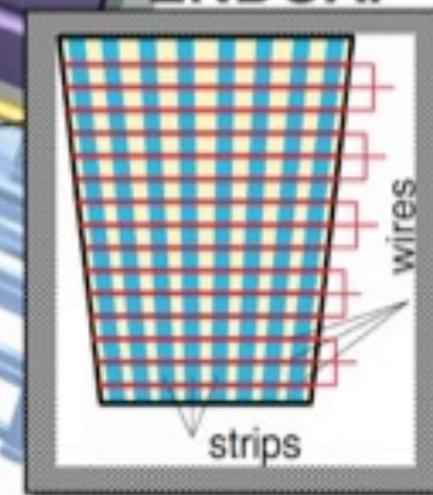


Drift Tube
Chambers (DT)



Resistive Plate
Chambers (RPC)

**MUONI
ENDCAP**



Cathode Strip Chambers (CSC)
Resistive Plate Chambers (RPC)

Peso totale : 12,500 t
Diametro : 15 m
Lunghezza : 21.6 m
Campo Magnetico : 3.8 Tesla

Qualche numero

- 12500 tonnellate
- 150 m sotto terra
- Dimensioni: 22x15x15 m³ (ATLAS è 8 volte più grande)
- 220 m² di silicio (una piscina non olimpionica)
- 100 milioni di canali di acquisizione
- Campo magnetico 100.000 volte quello terrestre, su un volume di decine di metri cubi
- Ferro per il giogo del magnete nella stessa quantità di quello usato per costruire la torre Eiffel

Il tracciatore

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

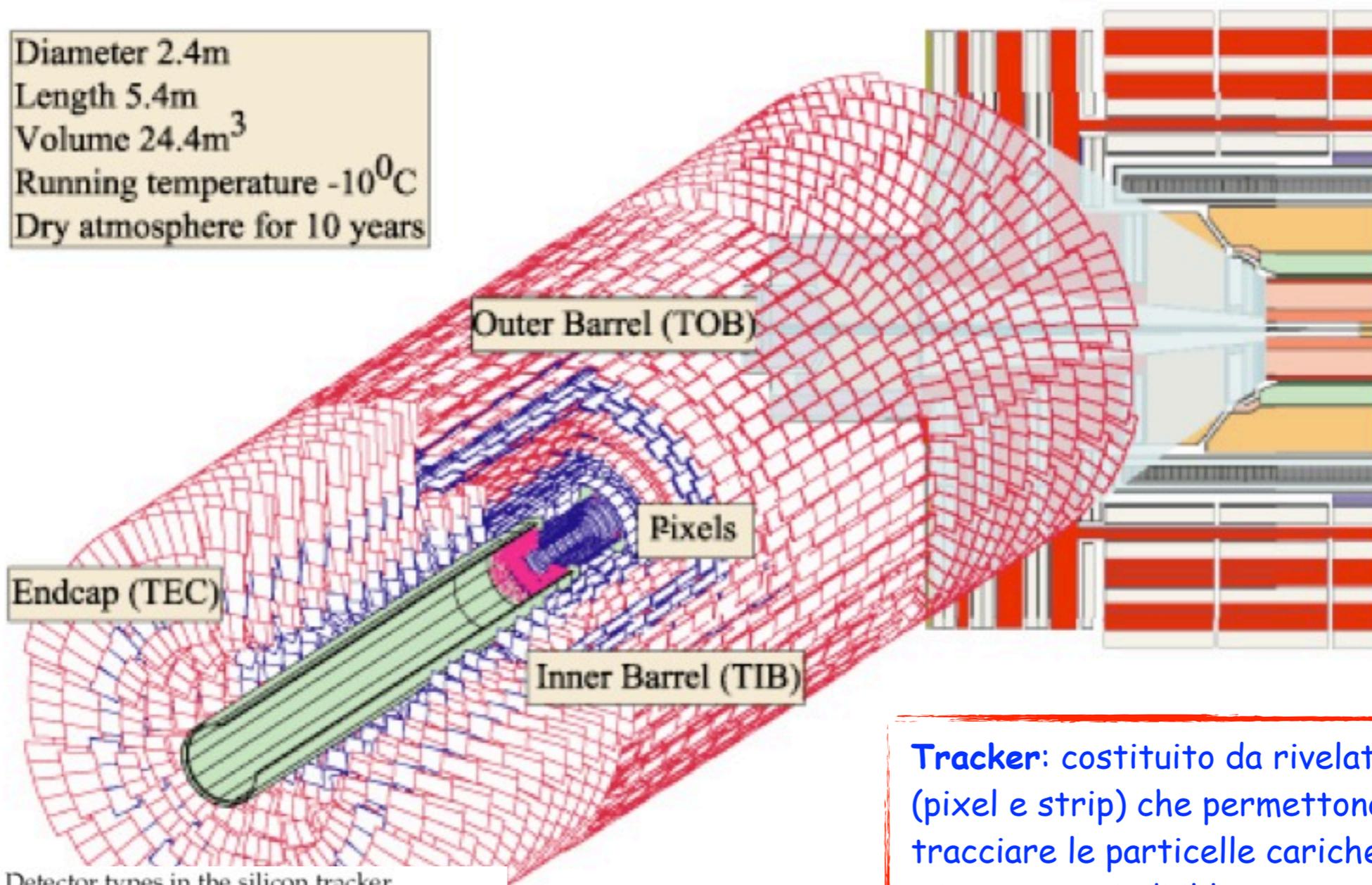


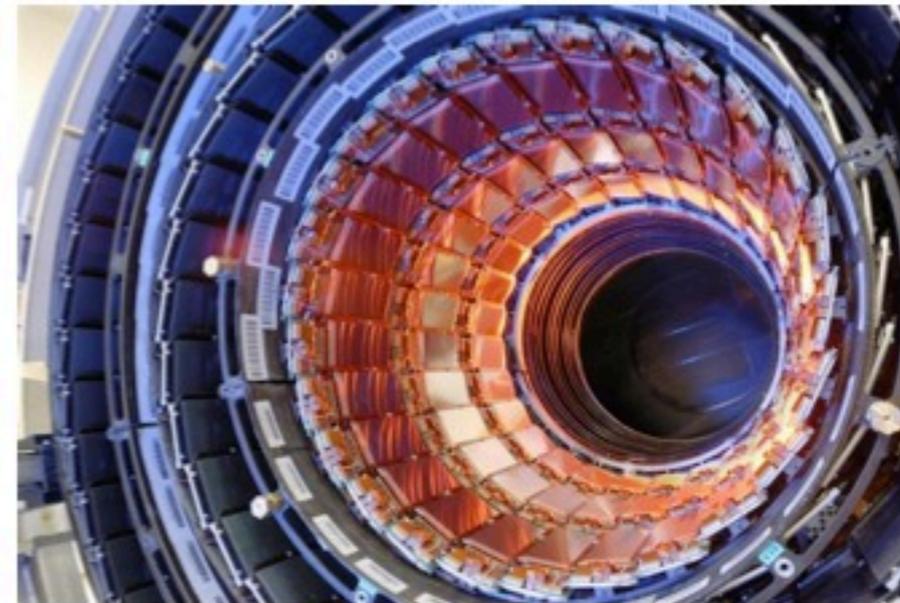
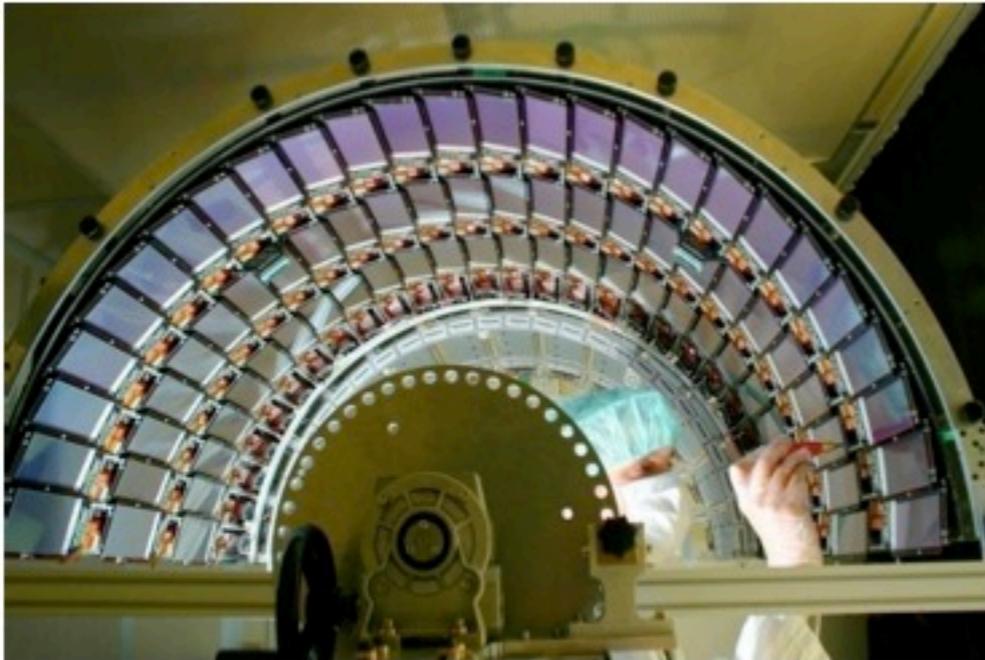
Table 1.4: Detector types in the silicon tracker

part	No. detectors	thickness (μm)	mean pitch (μm)
TIB	2724	320	81/118
TOB	5208	500	81/183
TID	816	320	97/128/143
TEC	2512	320	96/126/128/143
TEC(2)	3888	500	143/158/183

Tracker: costituito da rivelatori al silicio (pixel e strip) che permettono di tracciare le particelle cariche e di misurarne quindi il loro momento. E' possibile inoltre ricostruire i vertici secondari delle particelle non stabili a vita lunga.

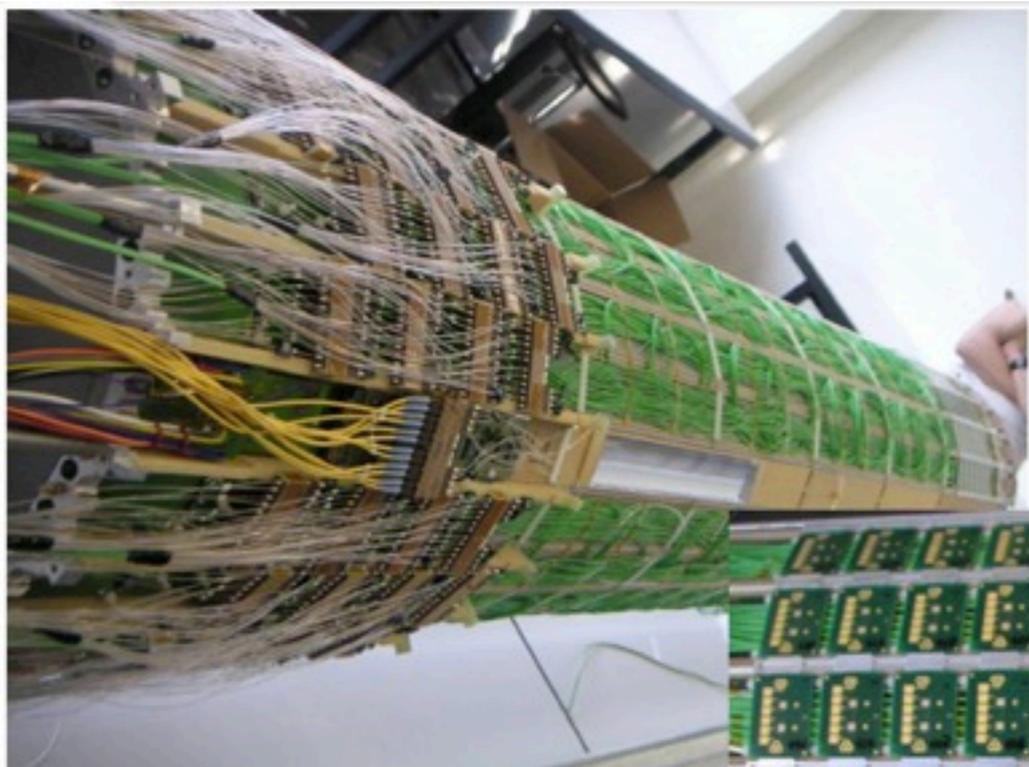
Microstrip - Barrel

Il tracciatore



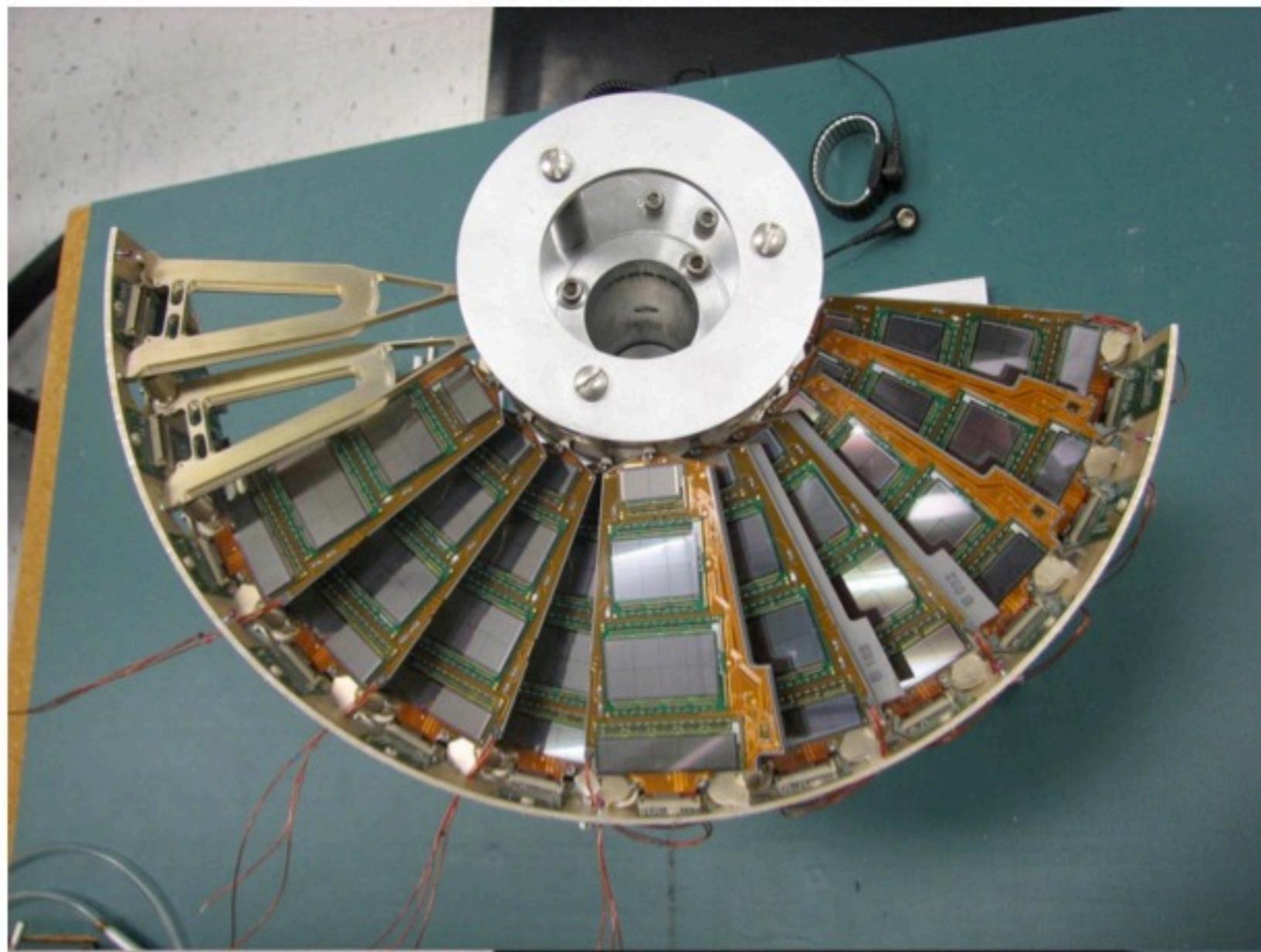
Pixels - Barrel

Il tracciatore

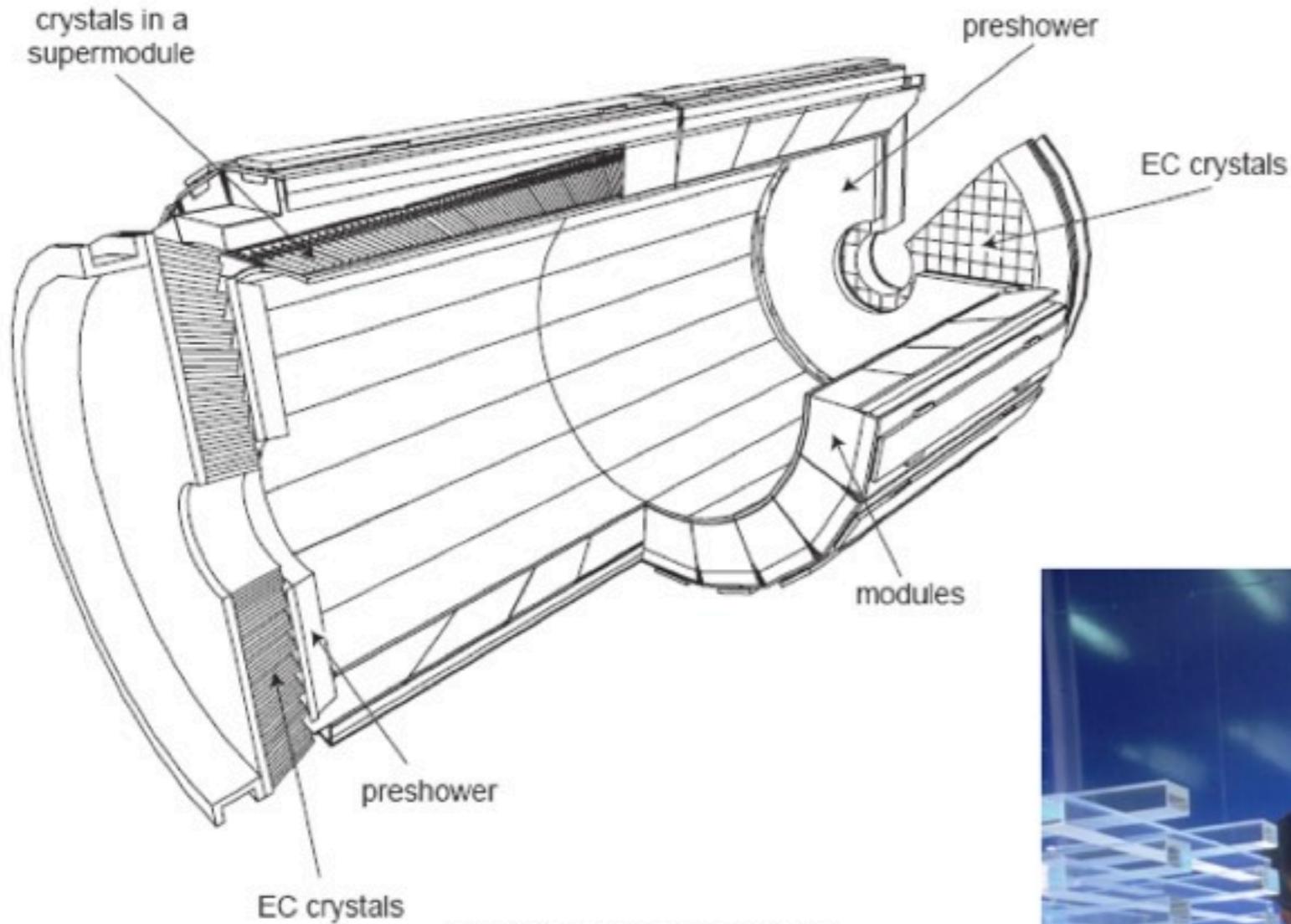


Pixels - Endcap

Il tracciatore

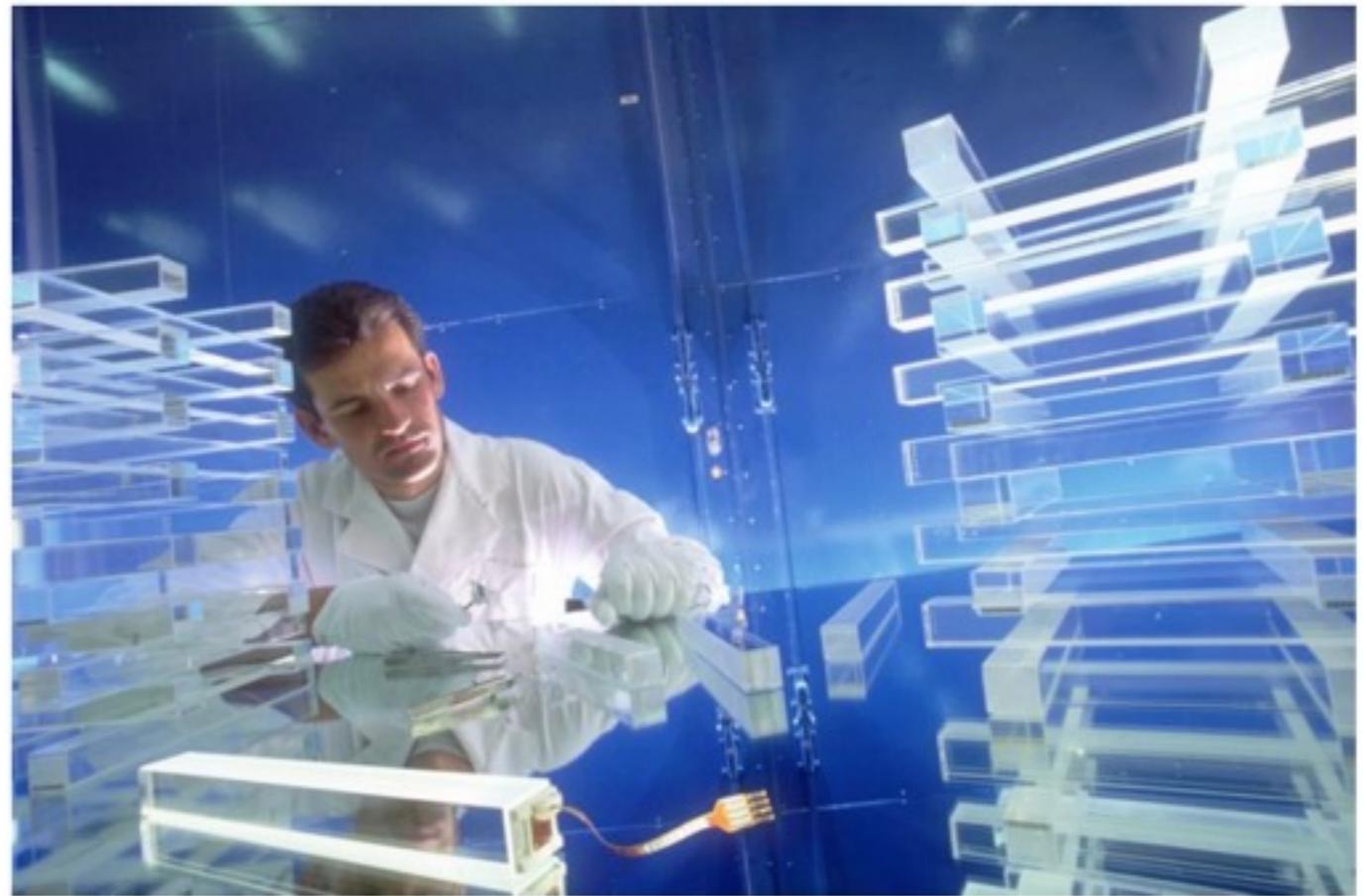


ECAL



ECAL: quasi 80000 cristalli scintillanti di tungstato di piombo sono usati per la rivelazione di elettroni e fotoni. Un preshower aiuta a identificare le particelle negli endcaps.

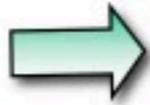
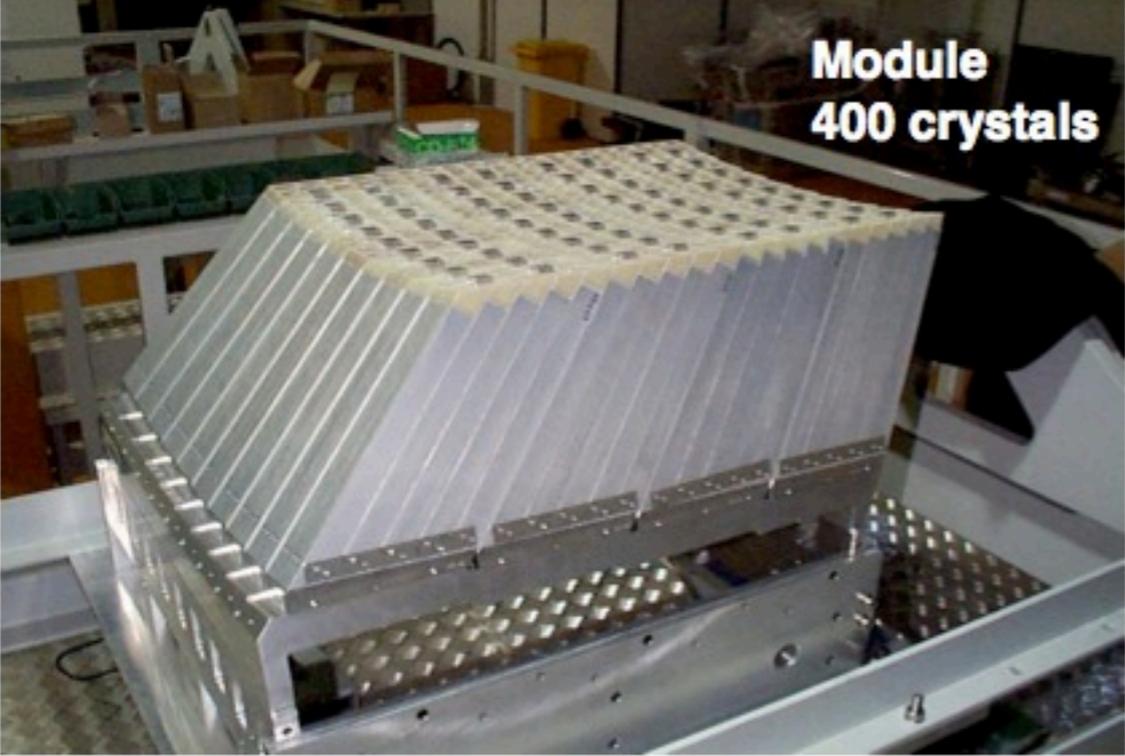
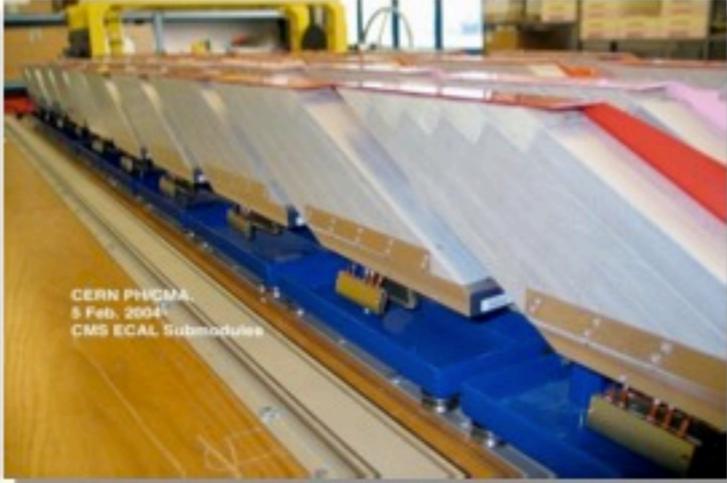
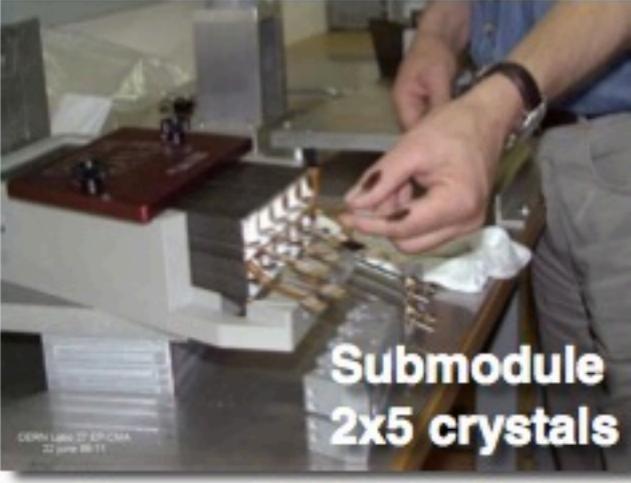
Fig. 3.2: Artist's view of ECAL.



Cristalli - Barrel

ECAL

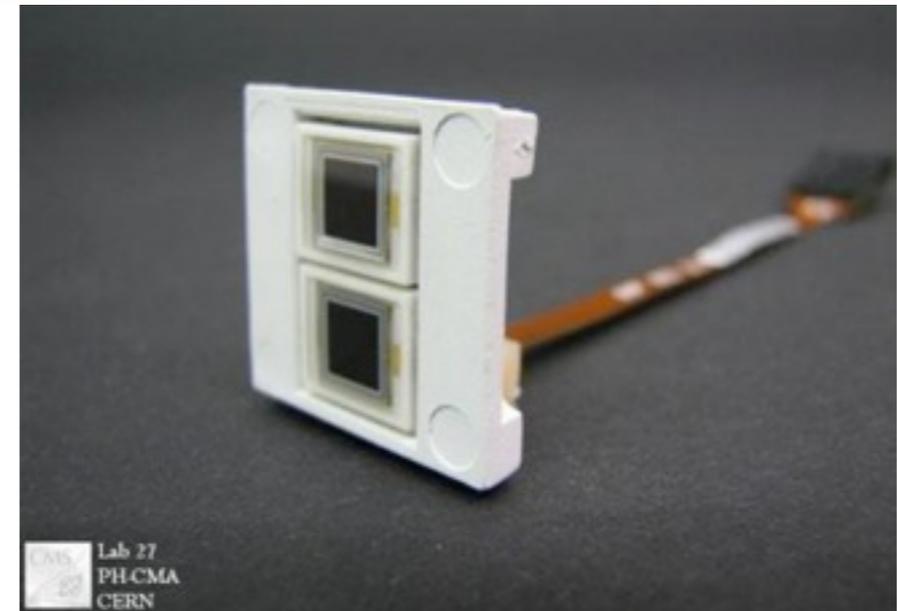
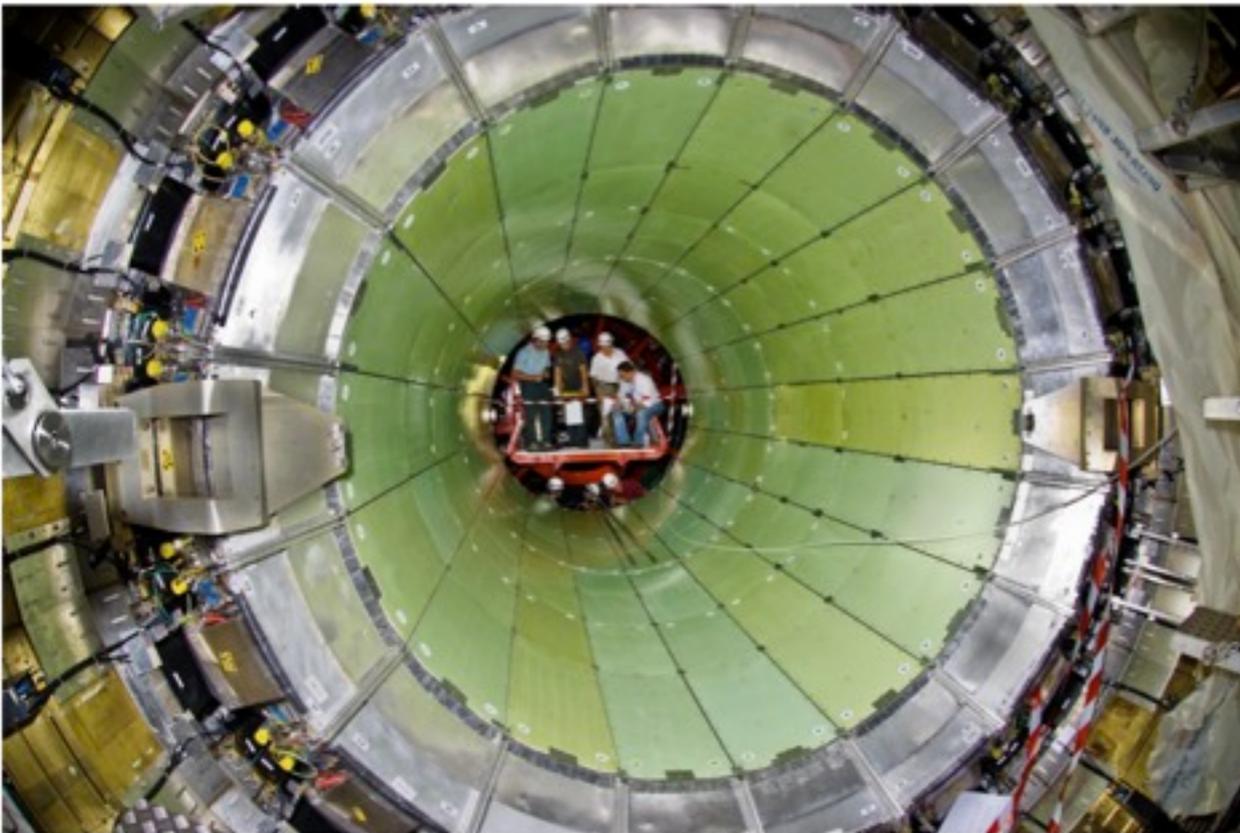
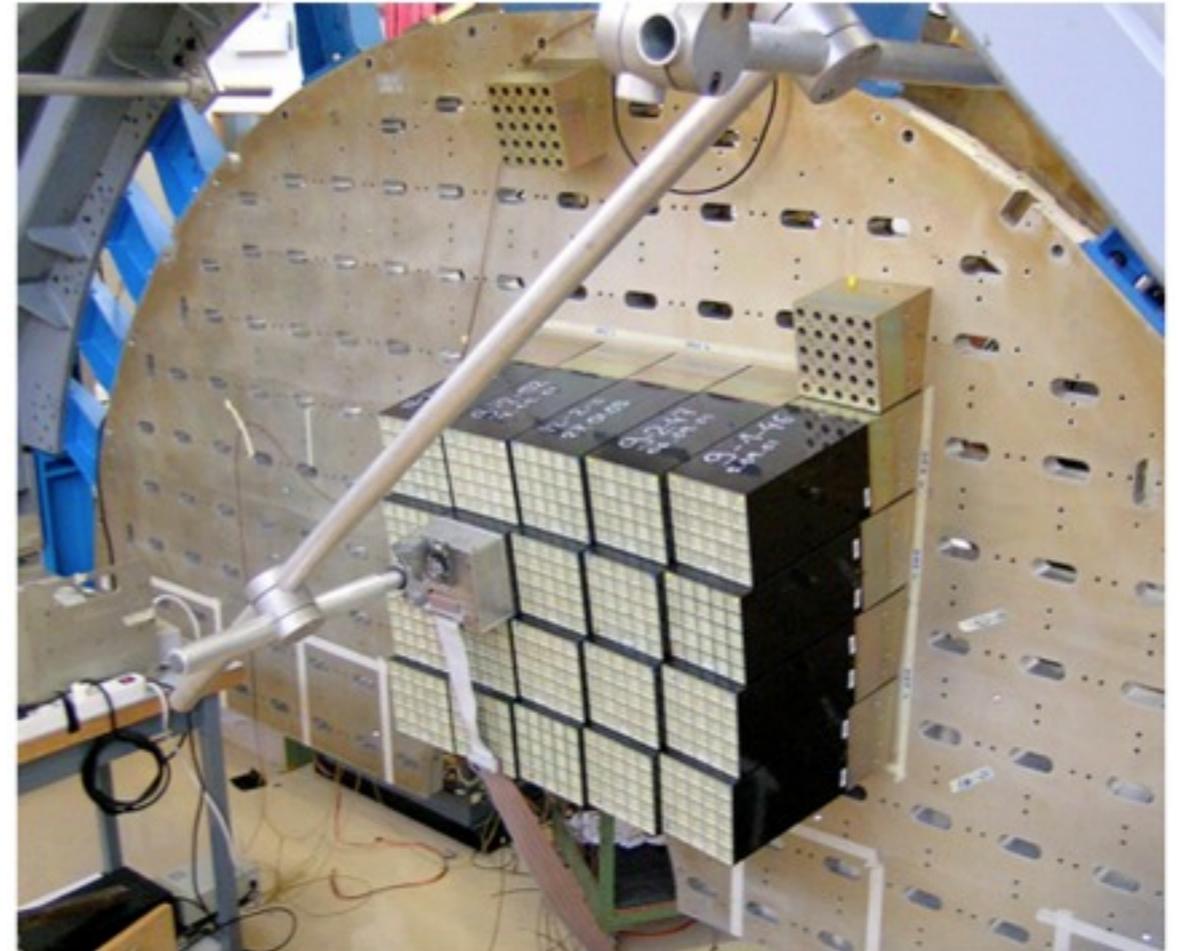
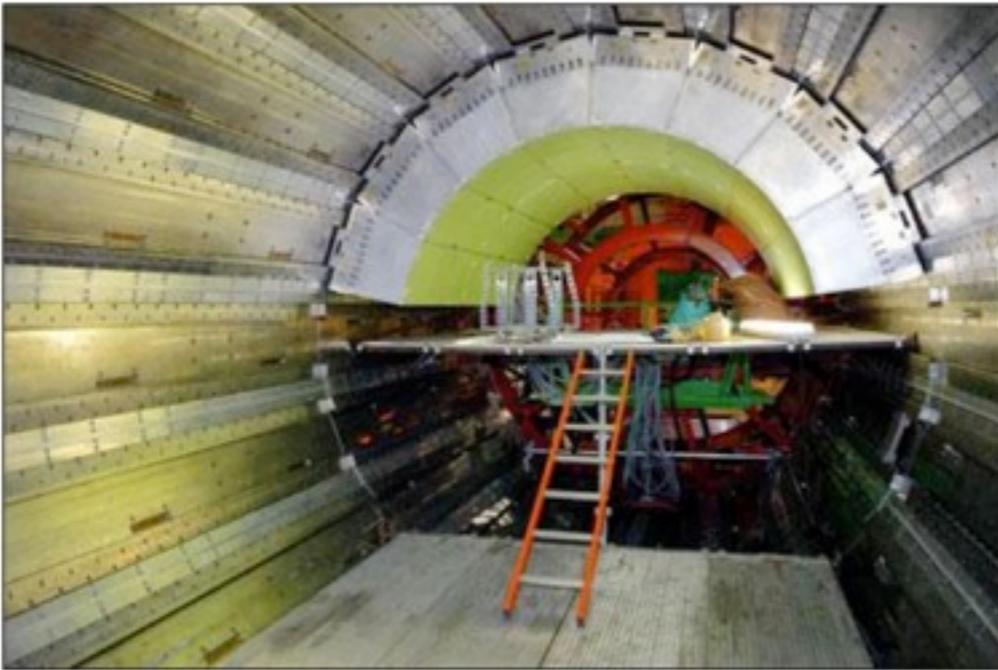
Barrel: 36 supermoduli con 1700 cristalli ciascuno. Luce rivelata da Avalanche Photo Diodes
Endcaps: ~16000 cristalli organizzati in matrici 5x5. Luce rivelata da Vacuum Photo Triodes



Total 36 Supermodules

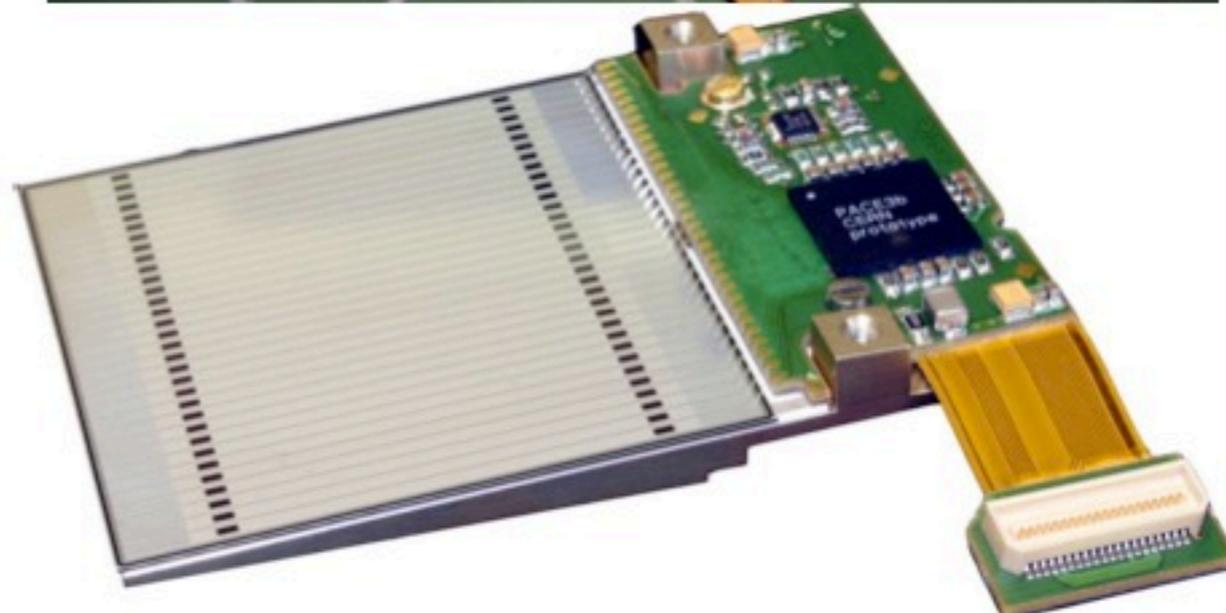
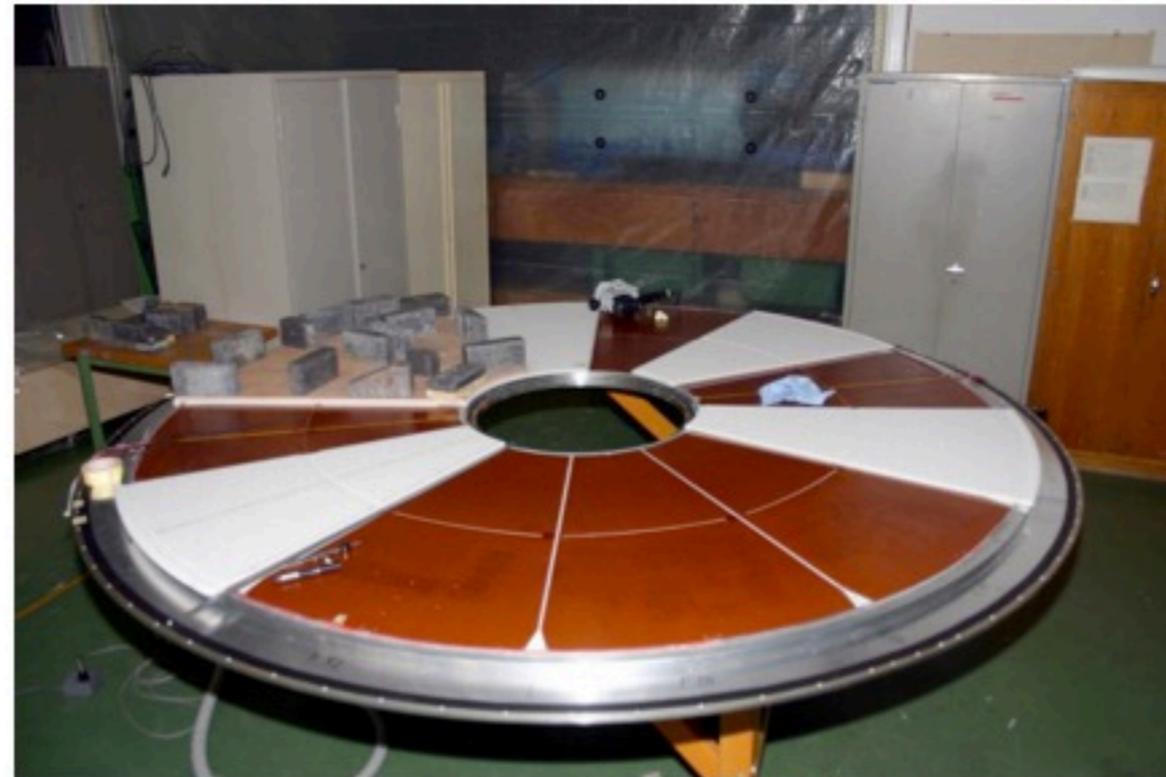
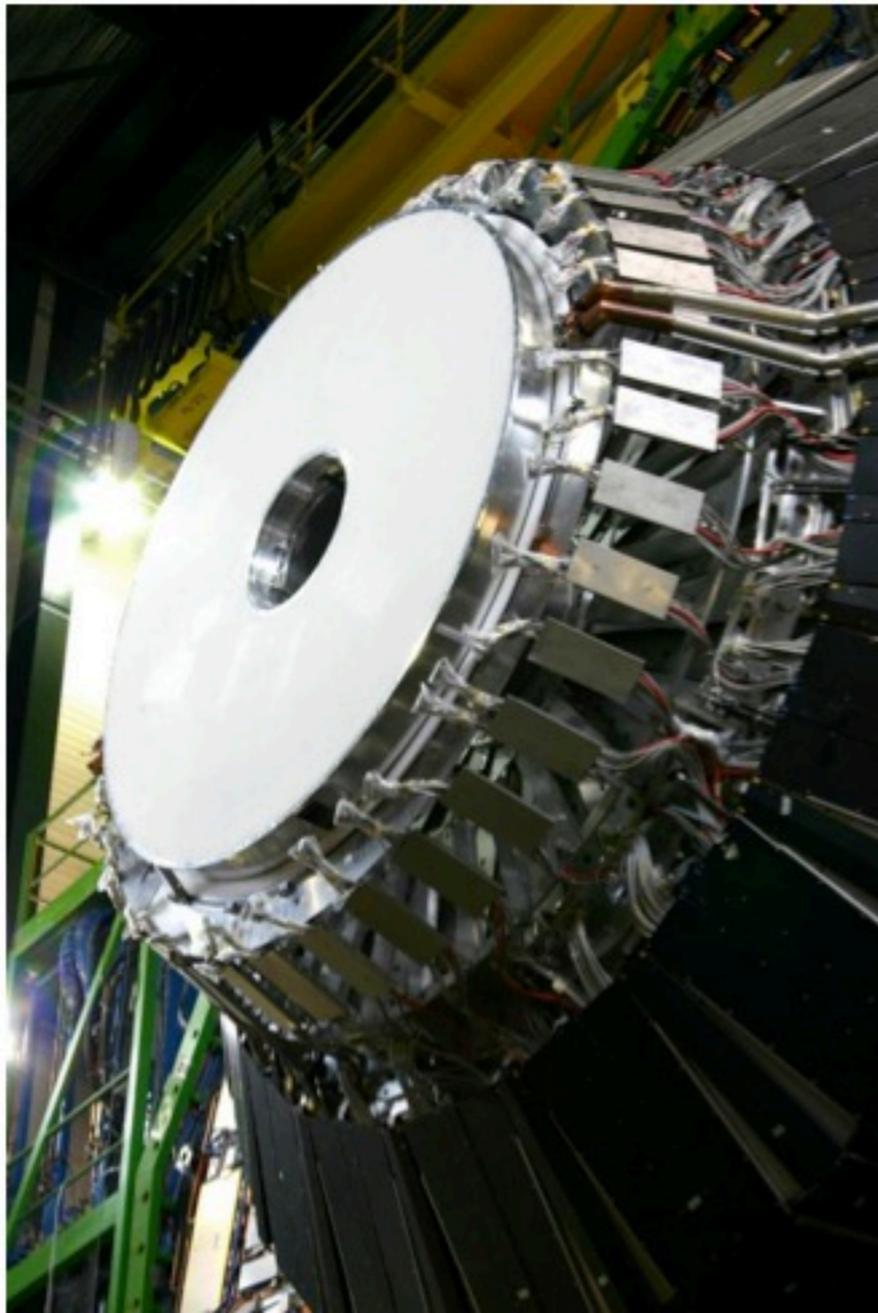
Cristalli e Supermoduli

ECAL



Il preshower

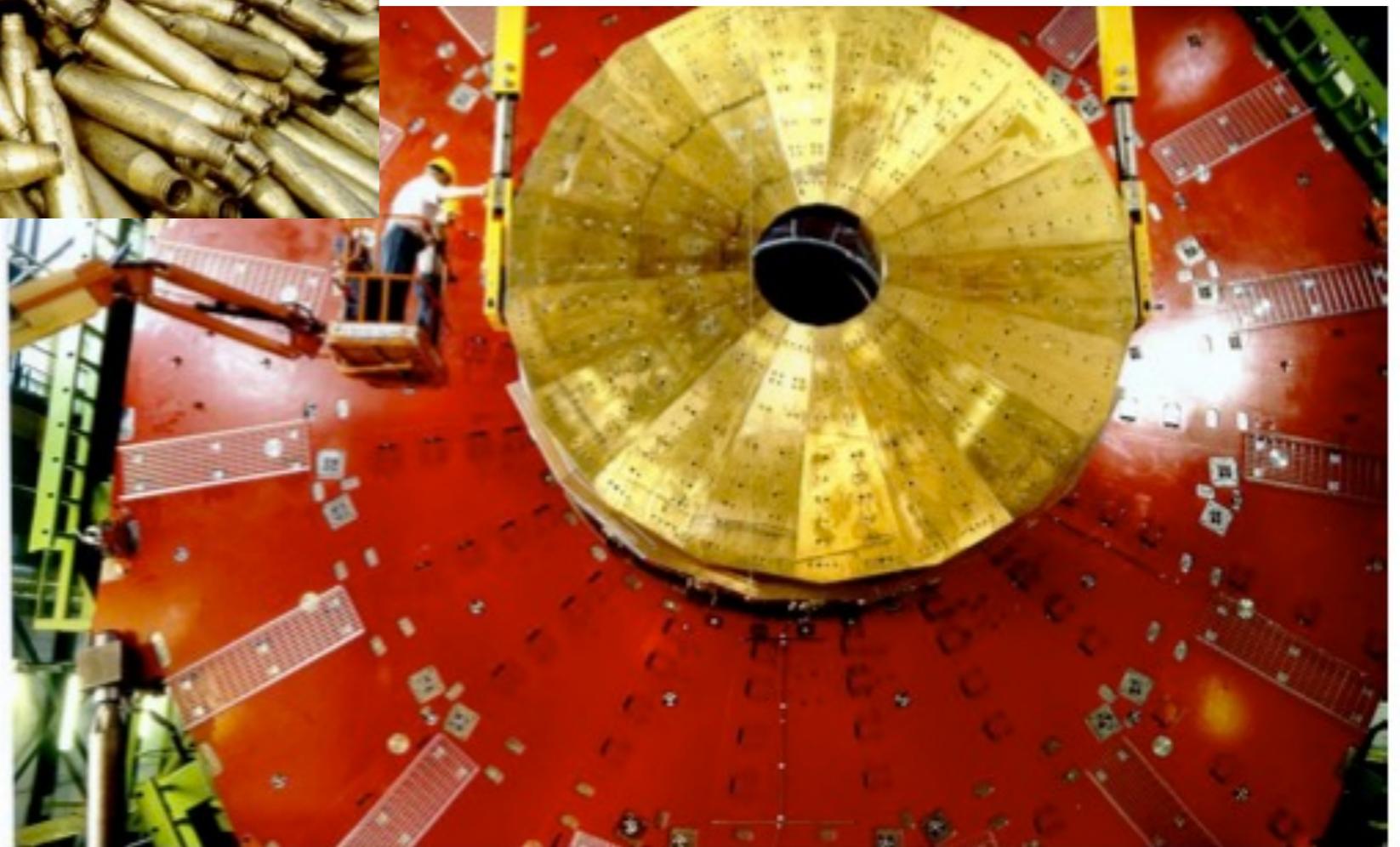
ECAL





HCAL: strati di ottone e acciaio intervallati da scintillatori permettono di misurare l'energia di adroni (protoni, neutroni, pioni, kaoni...)

Ottone recuperato da armamenti militari russi



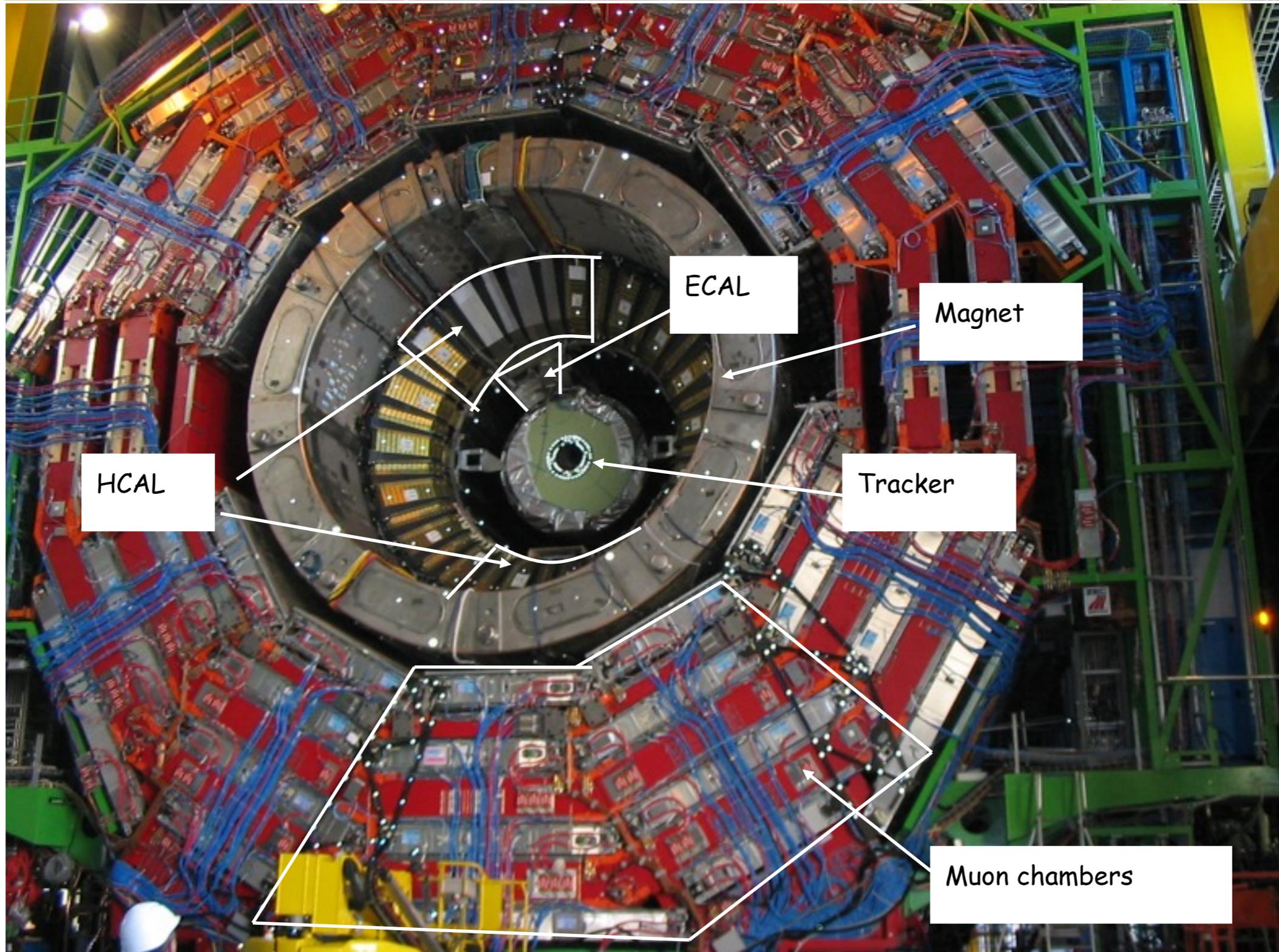
HCAL Barrel



Il Magnete



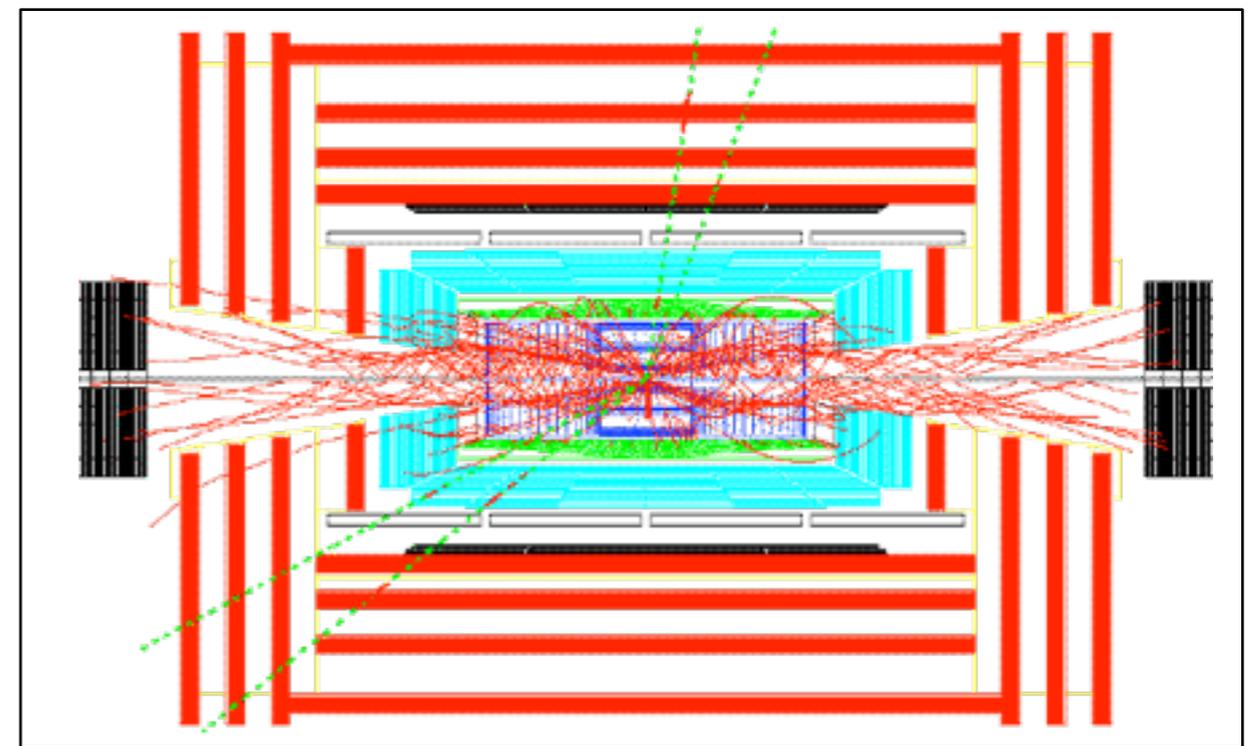
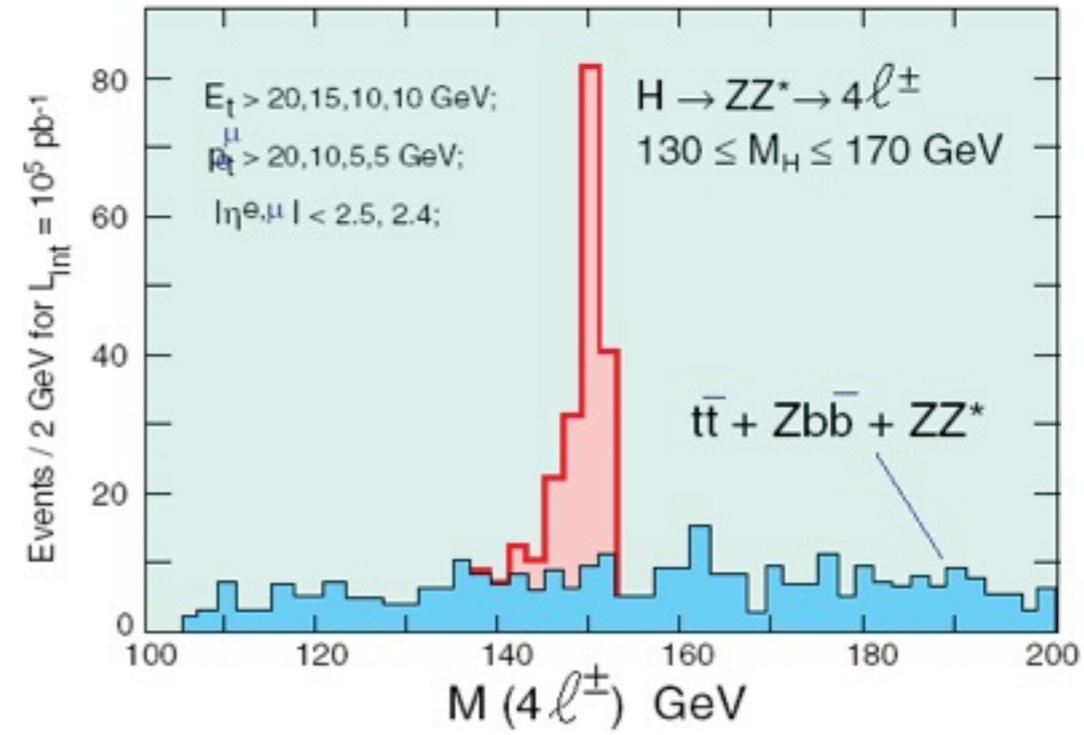
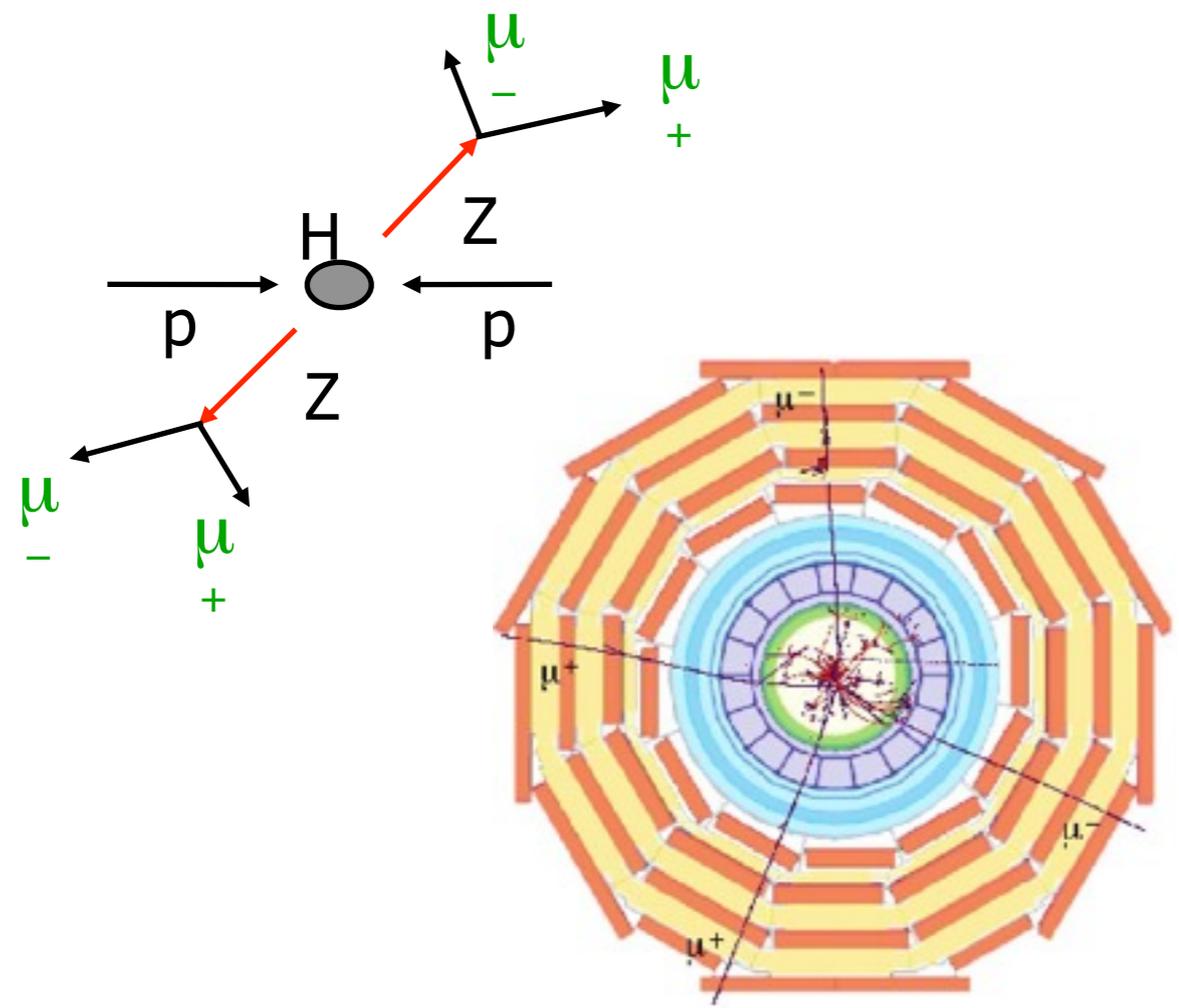
Magnete: una corrente di 20.000A attraverso superconduttore di niobio-titanium a -270°C produce un campo magnetico di 3.8T. Permette di incurvare le tracce cariche e di misurarne il momento.



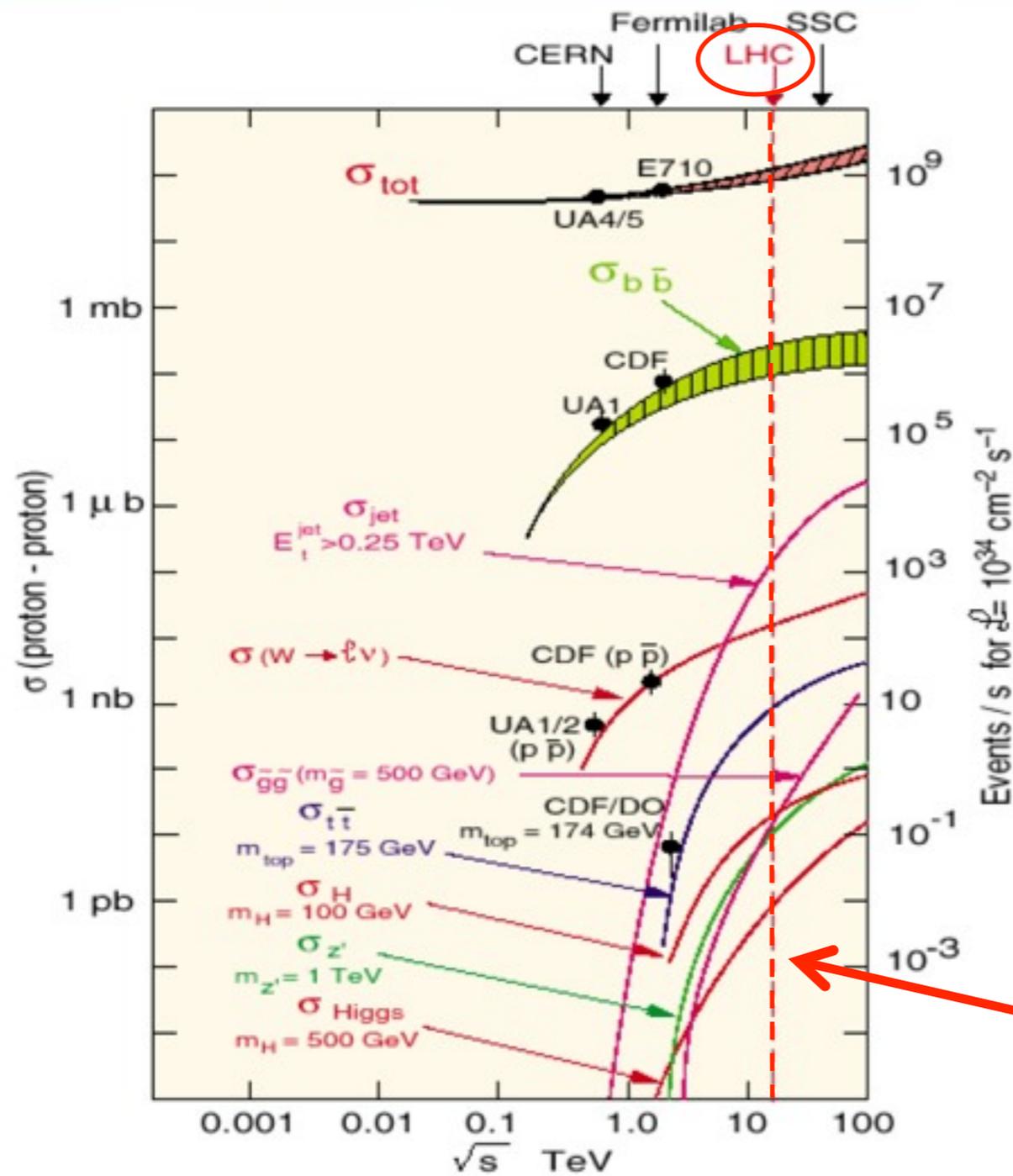
L'identificazione dell'Higgs ad LHC

fino ad ora solo simulazione

L'Higgs decade subito (10^{-22} secondi) e lo puo' fare in quattro muoni.
La scommessa e' riconoscere i segnali interessanti, distinguerli dal fondo e salvarli per permetterne il processamento offline.



Cosa ci aspettiamo di vedere?

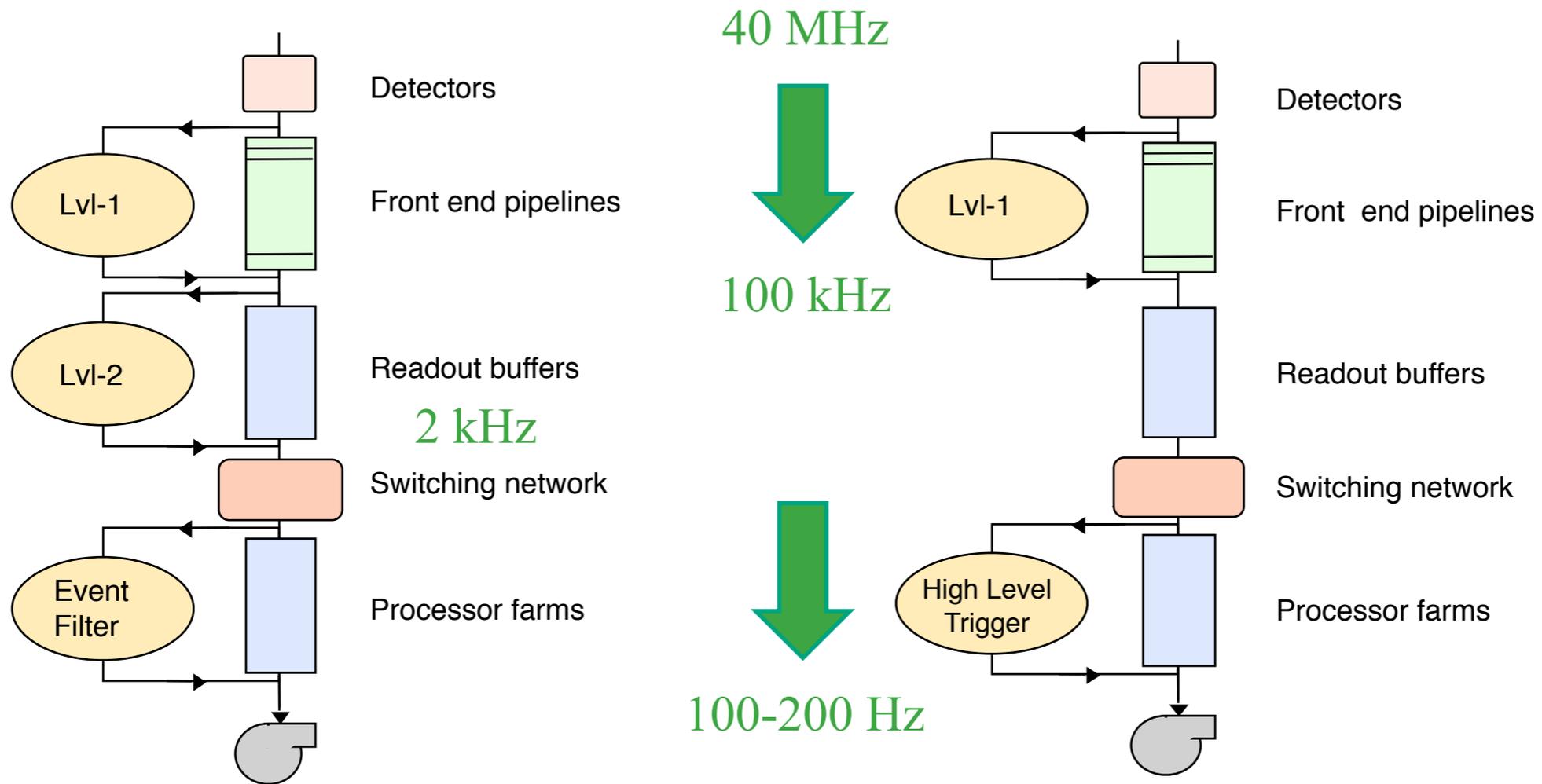


$$\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Process	σ (nb)	Production rates (Hz)
Inelastic	10^8	10^9
bbar	5×10^5	5×10^6
$W \rightarrow \ell \nu$	15	100
$Z \rightarrow \ell \ell$	2	20
$t\bar{t}$	1	10
$H(100\text{GeV})$	0.05	0.1
$Z'(1\text{TeV})$	0.05	0.1
$gg(1\text{TeV})$	0.05	0.1
$H(500\text{GeV})$	10^{-3}	10^{-2}

You are here

Trigger: Atlas VS CMS



ATLAS

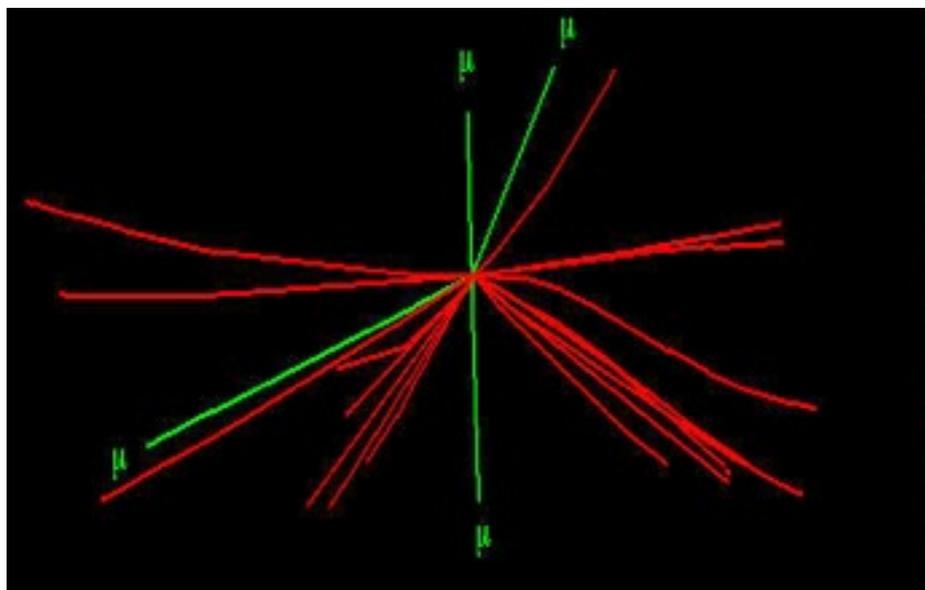
- 3 levels (traditional design)
- L1: hardware, firmware
- L2 + EvF: high-level software

CMS

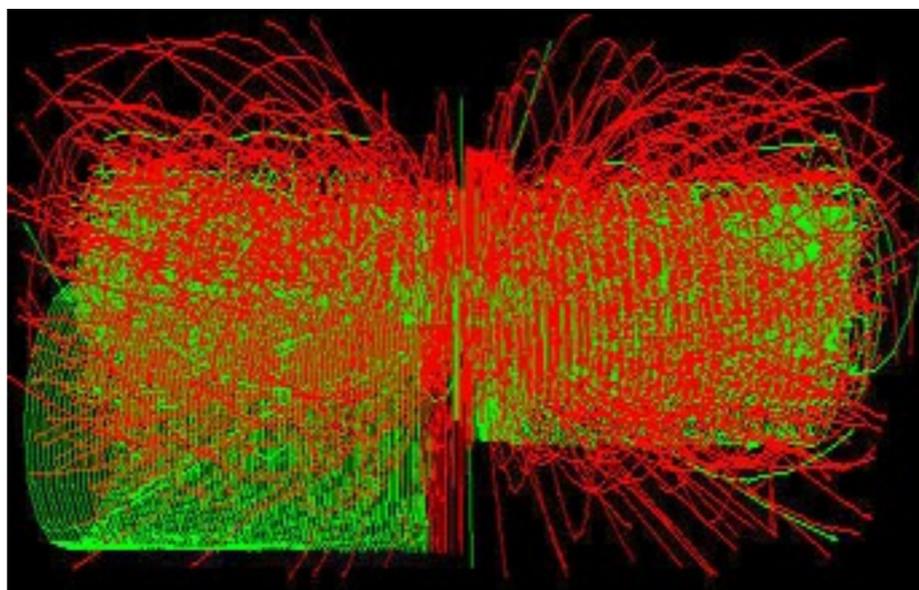
- L2, L3: merged into HLT
- L1: hardware, firmware
- HLT: high-level software

- **40 milioni di volte al secondo** si incontrano pacchetti di protoni provenienti dai 2 fasci, producendo 20 interazioni sovrapposte per ogni incontro.
- **Flusso di dati "vergini": 80 TeraBytes al secondo.** Una torre di 100 metri di CD al secondo! (114.000 cd/s)
- Con algoritmi di preselezione (trigger) si riesce a scrivere su disco molto meno: **200 MBytes/s (150 - 300Hz).** -> sono comunque 6Pbyte/anno!!!
- La "nuova fisica" arriva con frequenze inferiori all'Hertz e sommersa dalla "vecchia fisica".

Reconstructed tracks with
 $p_T > 25 \text{ GeV}$



Reconstructed tracks with
 $p_T > 2 \text{ GeV}$



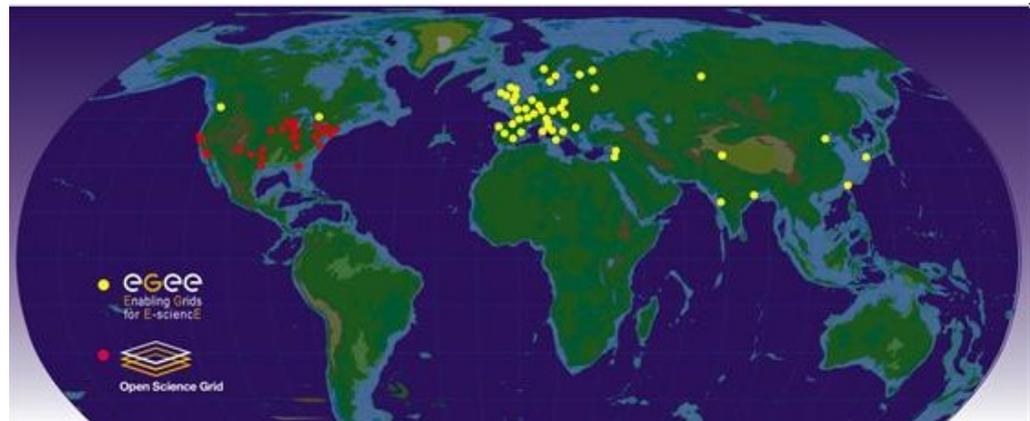
For every exciting
interaction...
...expect 20 non-exciting
overlaid interactions
(at ~1000 tracks per
event)

Che computer serve ?

- Per 10 000 TB di dati
- Per 1000 scienziati di tutte le nazioni
- Un grande centro di calcolo ?

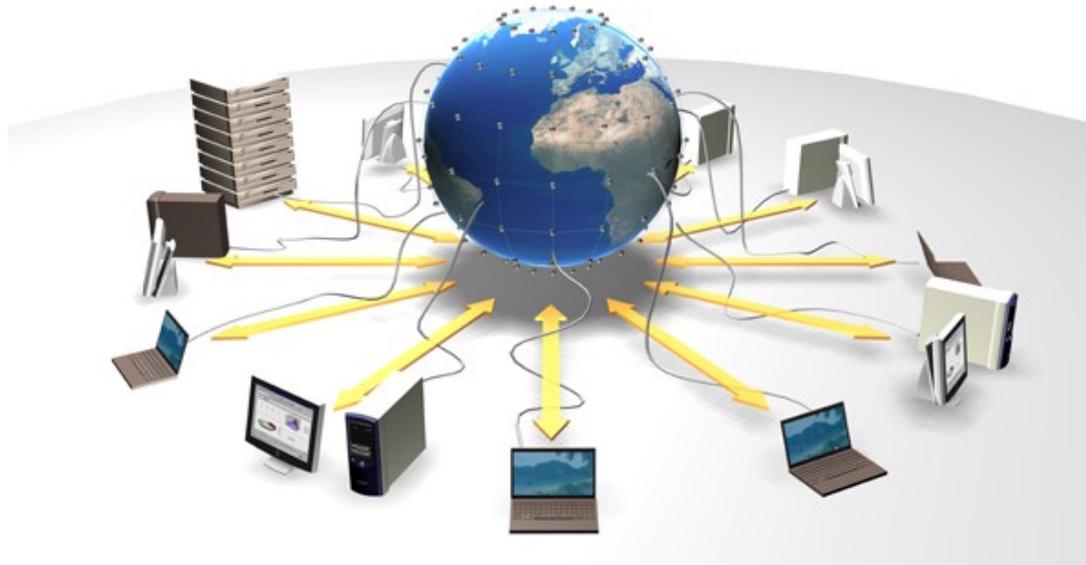


- Quasi... in realta' 100 di questi, sparsi in tutto il mondo



LHC Computing Grid

- Usare 100 centri di calcolo come una cosa sola
- Lo scienziato (user di questa gigantesca struttura) non sa e non si cura di dove sono i dati e dove viene eseguito il suo programma
- Nuove tecniche, modi di lavorare, tipi di organizzazione
- Sono personalmente orgoglioso di aver dato un grande contributo



Il nostro contributo

- **Un gruppo dell'Universita' di Udine e' in Atlas da molti anni**
 - Rivelatore a pixel per il tracker
 - Upgrade dello stesso per il futuro
 - Data Acquisition
- **Il gruppo INFN – Trieste e' entrato in CMS a costruzioni finite**
 - Offline (simulazione, generazione)
 - Data Quality
 - Calcolo
- **Tutti facciamo/faremo/vogliamo fare Analisi**
 - Analisi e' un diritto/divertimento di tutti, non ci sono responsabilita' istituzionali
 - Ma come in tutti gli esperimenti, l'analisi dei dati la fanno in primo luogo gli studenti