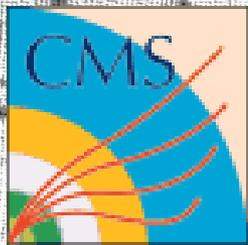


Il rivelatore Compact Muon Solenoid di LHC



Amedeo Staiano
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare





Obiettivi e Sfide



Obiettivi scientifici: CMS e' un General Purpose Experiment, disegnato per trovare risposte a molti degli interrogativi irrisolti dall'attuale teoria delle interazioni fondamentali (lo "Standard model"): bosone di Higgs, supersymmetrie, Z' ... Extra dimensioni rispetto allo spazio-tempo: gravitoni, buchi neri, etc., ?

Caratteristiche dell'apparato sperimentale:

- eccellente identificazione, misura della carica, misura dell'impulso ($\Delta p/d < 10\%$), capacita' di triggering dei muoni prodotti con energie di $O(1\text{TeV})$
- eccellente identificazione e misura di energia di elettroni e fotoni (risoluzione del 0.5% @ $E_T \sim 50\text{GeV}$), trigger
- tracciamento interno con alta risoluzione spaziale
- ermeticita' dell'apparato
- costo

Condizioni al contorno:

- Opertivita' ad alta frequenza: 10^9 collisioni p-p/sec. I fasci si incrociano alla frequenza di 40MHz , il trigger ne seleziona 100kHz
- alta molteplicita' di tracce, $\sim \langle 20 \rangle$ eventi sovrapposti per bunch, $\sim 10^3$ tracce prodotte ogni 25 ns \rightarrow elevato numero di canali ($\sim 100\text{ M ch}$)
- resistenza alle radiazioni (dose int. in 10 anni $\sim 10\text{Mrad}$) per rivelatori e elettronica



Compact Muon Solenoid



TRIGGER, DATA ACQUISITION & OFFLINE COMPUTING

Austria, Brazil, CERN, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Korea, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

TRACKER

Austria, Belgium, CERN, Finland, France, Germany, Italy, Japan*, Mexico, New Zealand, Switzerland, UK, USA

CRYSTAL ECAL

Belarus, CERN, China, Croatia, Cyprus, France, Italy, Japan*, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

PRESHOWER

Armenia, CERN, Greece, India, Russia, Taiwan

RETURN YOKE

Barrel: Czech Rep., Estonia, Germany, Greece, Russia
Endcap: Japan*, USA

SUPERCONDUCTING MAGNET

All countries in CMS contribute to Magnet financing in particular: Finland, France, Italy, Japan*, Korea, Switzerland, USA

FEET

Pakistan, China

FORWARD CALORIMETER

Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

HCAL

Barrel: Bulgaria, India, Spain*, USA
Endcap: Belarus, Bulgaria, Georgia, Russia, Ukraine, Uzbekistan
HO: India

MUON CHAMBERS

Barrel: Austria, Bulgaria, CERN, China, Germany, Hungary, Italy, Spain
Endcap: Belarus, Bulgaria, China, Colombia, Korea, Pakistan, Russia, USA

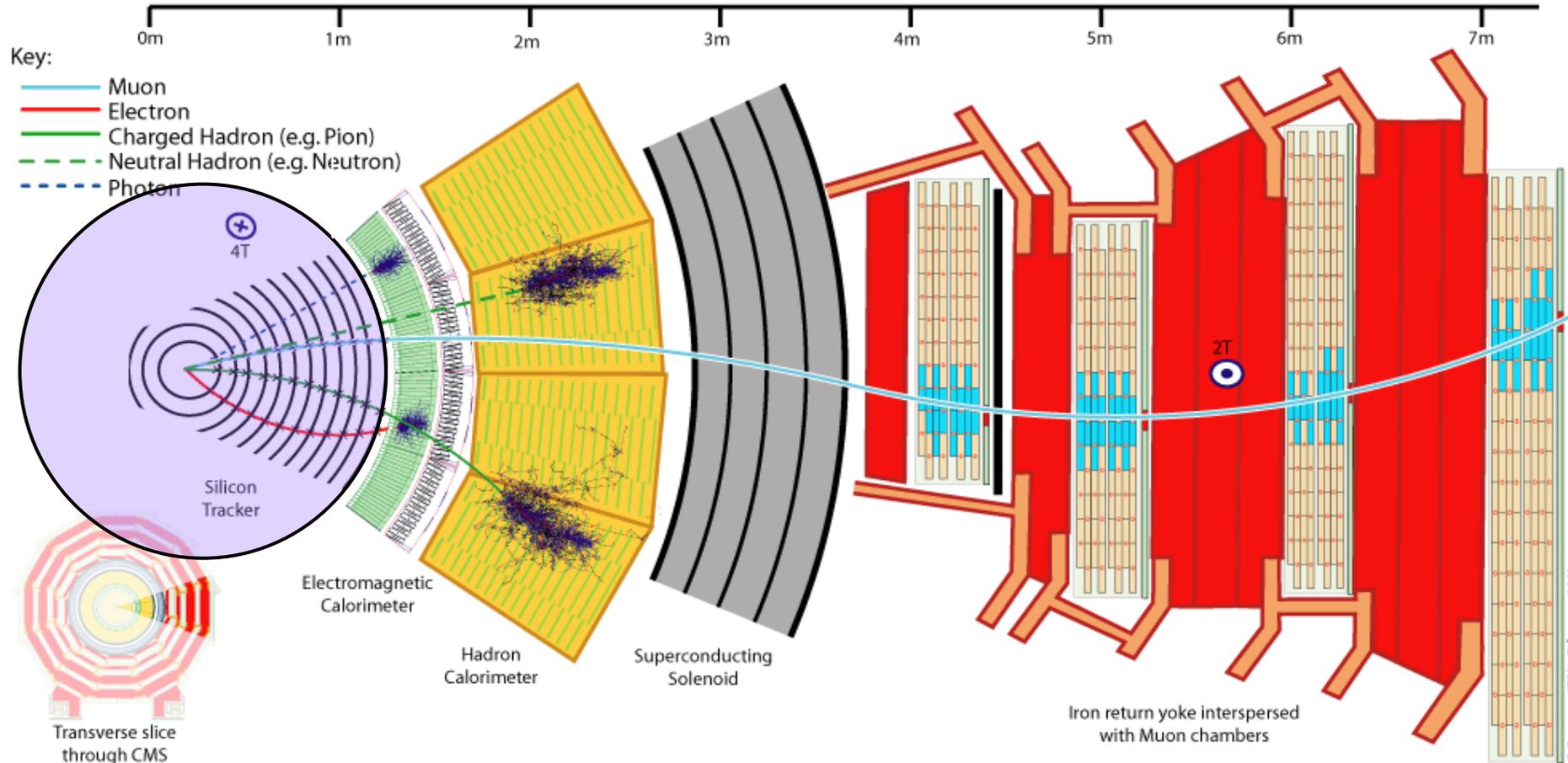
Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

~2400 Scientific Authors
38 Paesi
175 Istituti
INFN e Univ. Torino cont.

* Only through industrial contracts



Il tracciamento interno



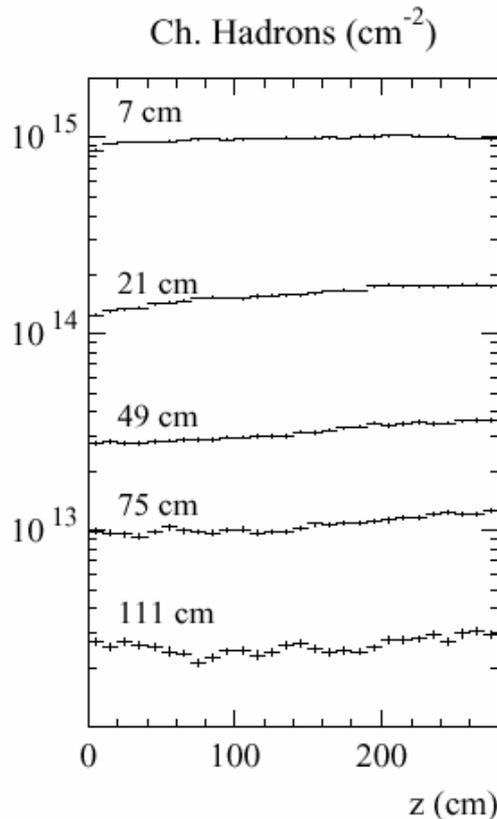


Il tracciamento interno



La sfida: ricostruire la traccia di 1000 particelle che vengono formate ogni 25nsec (ad ogni interazione)

Fluenza dopo 10 anni di operazioni



$\leq 4 \cdot 10^7 \text{ h}^\pm/\text{cm}^2/\text{s}$
pixels ($\approx 10^4 \mu\text{m}^2$)
occupancy $\approx 10^{-4}$

$\leq 4 \cdot 10^6 \text{ h}^\pm/\text{cm}^2/\text{s}$
Si μ -strip det.
($\approx 10 \text{ mm}^2$)
occupancy $\approx 1\%$

$\leq 4 \cdot 10^5 \text{ h}^\pm/\text{cm}^2/\text{s}$
Si or Gas detectors.
($\approx 1 \text{ cm}^2$)
occupancy $\approx 1\%$

L'evoluzione della tecnologia ha reso possibile la scelta di realizzare l'intero tracciamento interno ($\sim 250\text{m}^2$) con rivelatori al silicio

- tecnologia 6 pollici
- implementazione industriale di tecnologie sub micron per la realizzazione dei VLSI di FE
- automatizzazione nei laboratori internazionali dei processi di assemblaggio e bonding dei moduli
- riduzione dei costi di produzione di riv al Si / unit area

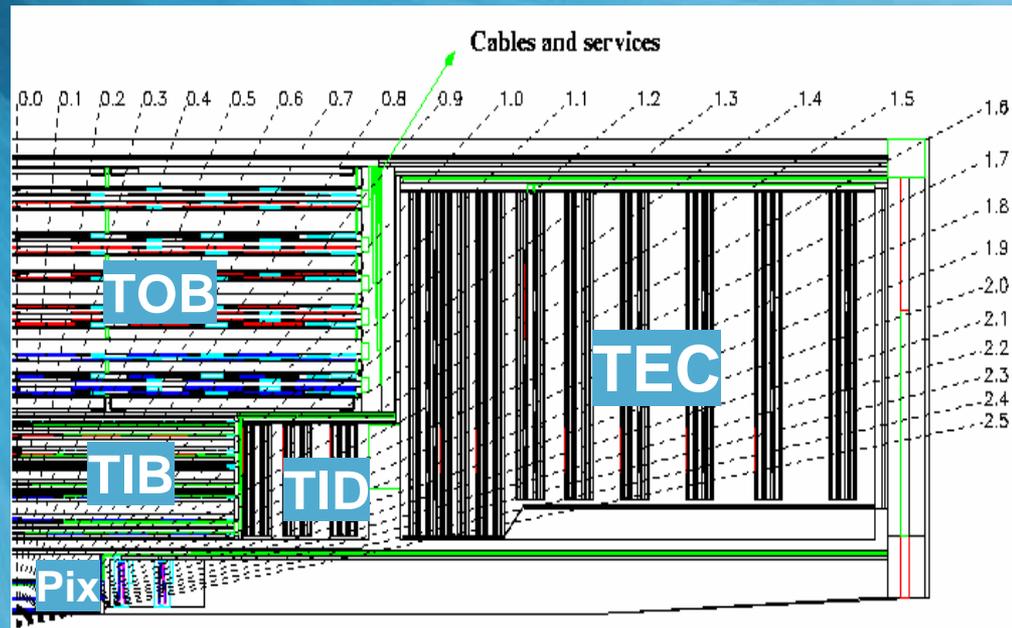


Il "Tracker"



120 cm

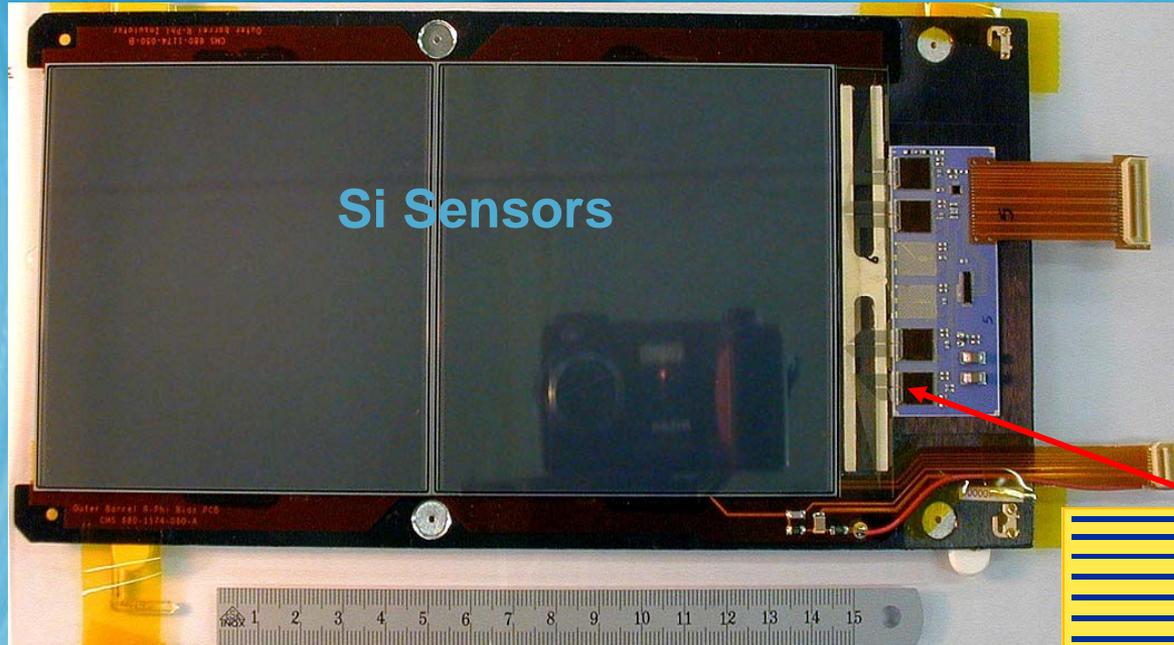
Sezione trasversale
dei rivelatori
costituenti il
tracciamento
interno "Inner
tracker"



300 cm

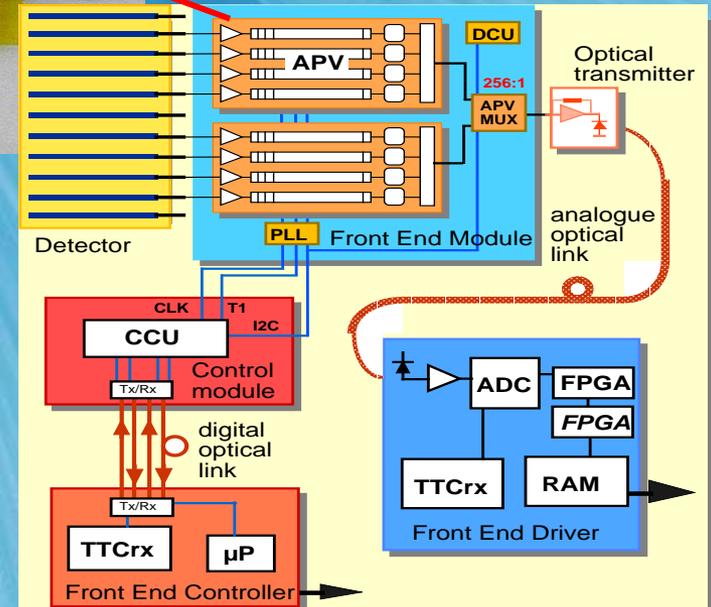
PIX ~ 1 m² di sensori al silicio, 65 M pixels, 100x150 μm², r = 4, 7, 11 cm
TOB, TEC, TIB, TID 223 m² di sensori al silicio, 10 M strips, 10 pts, r = 20 – 120 cm
Strip pitch da 80μm (TIB) fino a 180μm (TOB). Spessore del rivelatore inner-outer 300-500μm.

Il "Tracker"



15148 moduli
24244 sensori

75k VLSI costruiti
usando la tecnologia
0.25 μ m CMOS



Il lab. dell'INFN Torino e' stato uno dei siti di produzione di questo rivelatore (500 moduli realizzati a Torino).

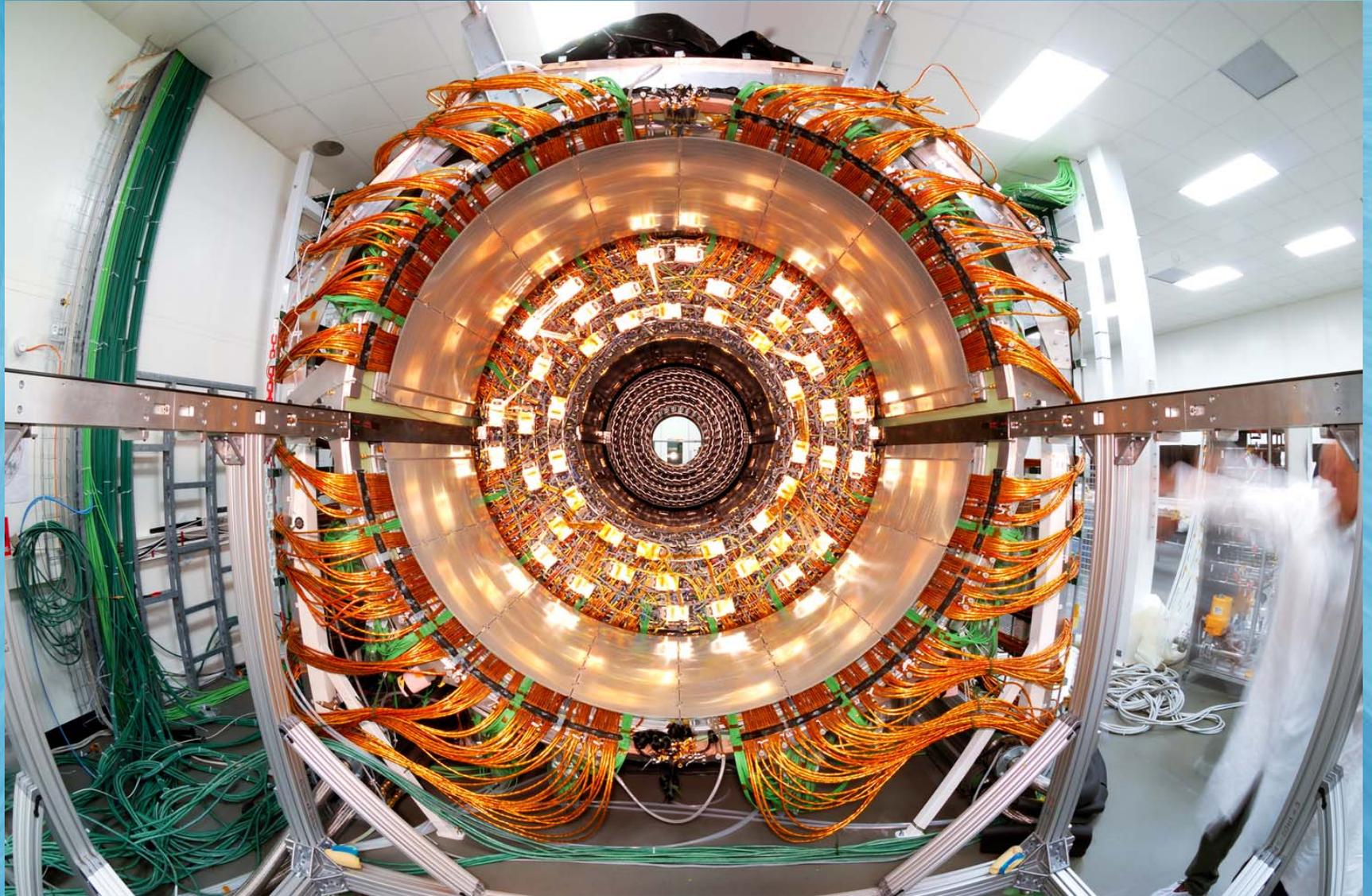


Il "Tracker"



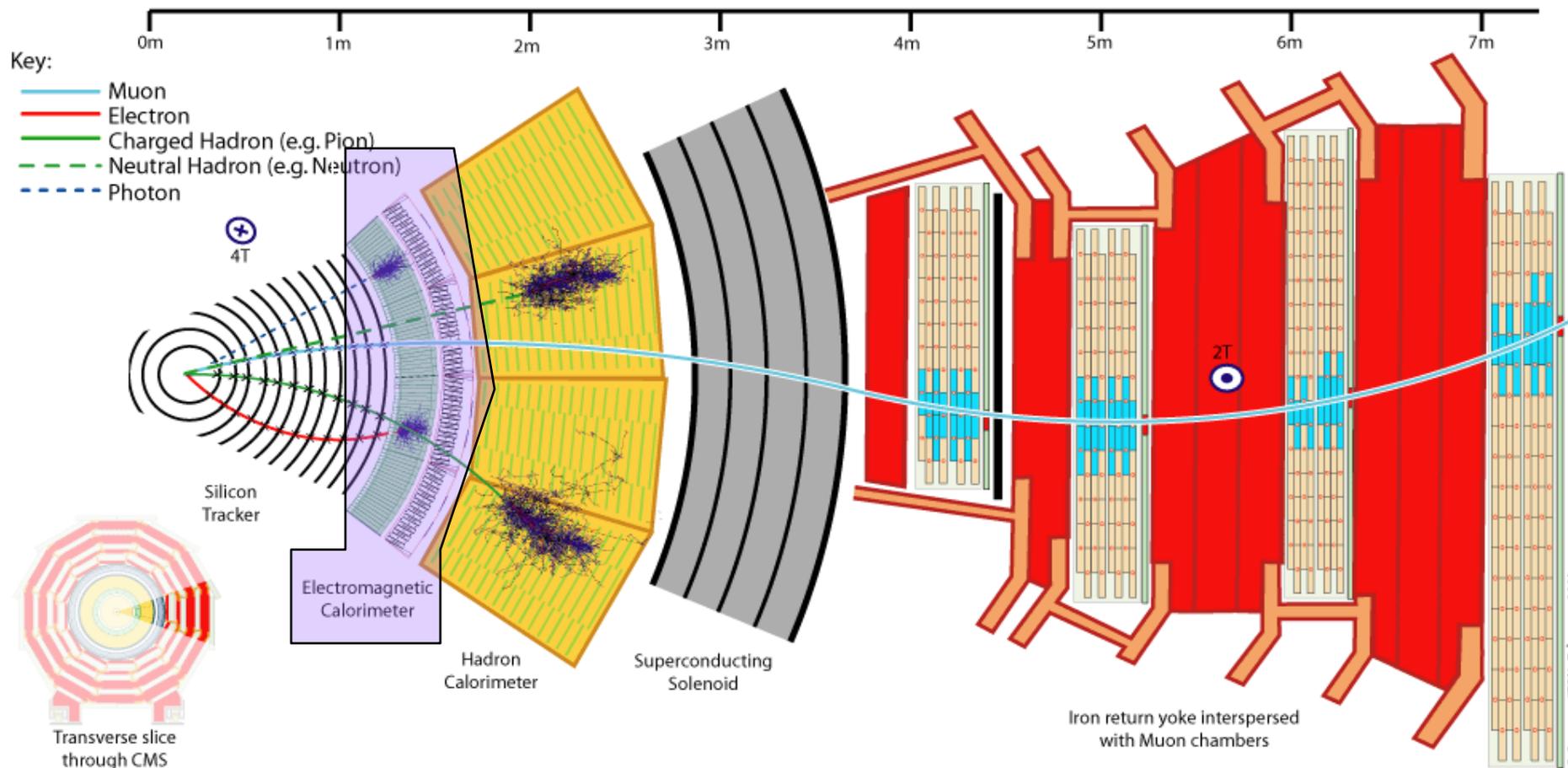


Il "Tracker"





Il calorimetro elettromagnetico (ECAL)

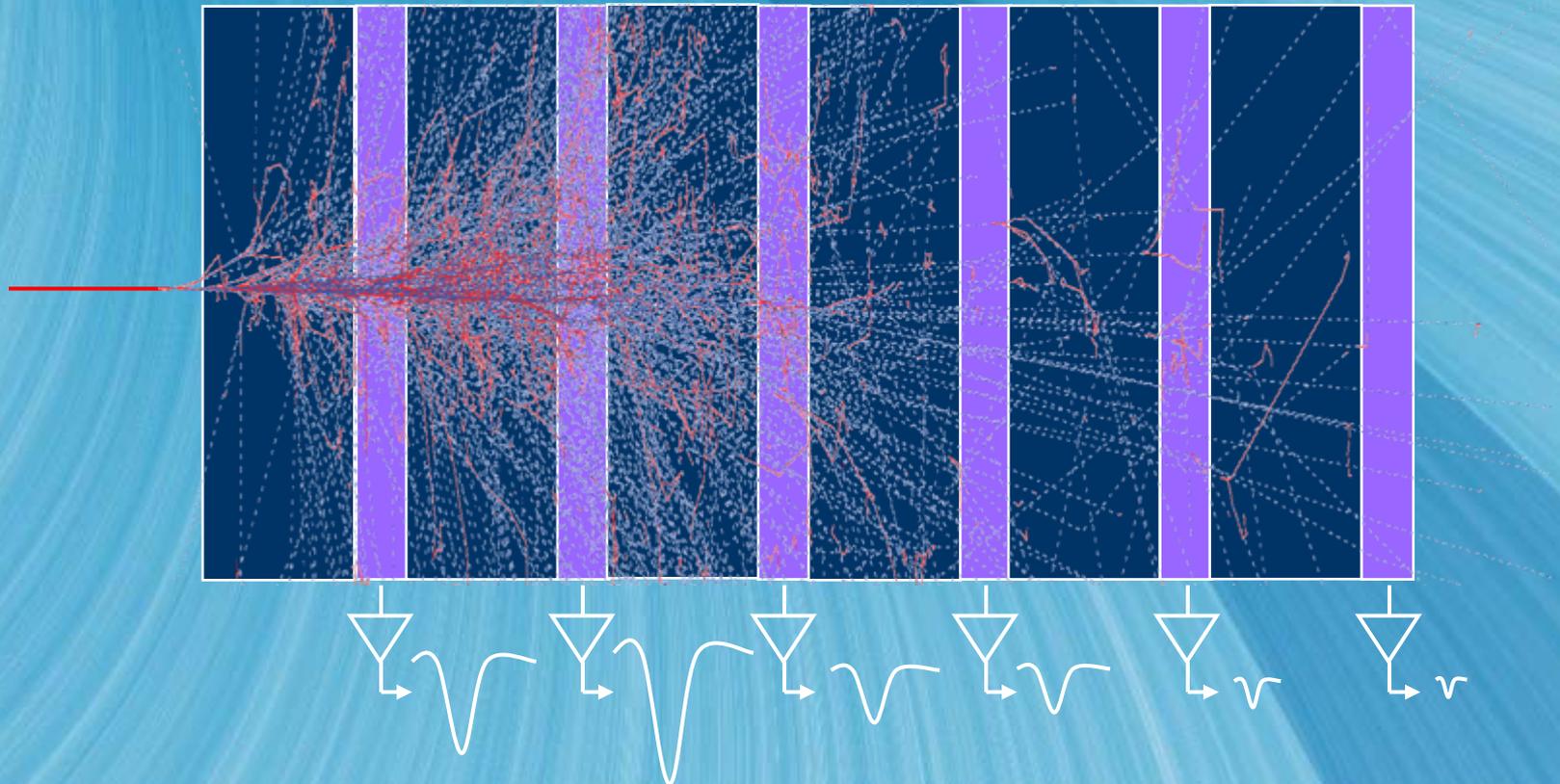




I calorimetri - il funzionamento



- Obiettivo: misura dell'energia della particella incidente
- possono essere a "sampling" (alternando strati di materiale assorbitore e rivelatore, o omogenei (cristalli ad alta densita' in grado di generare segnali luminosi al passaggio delle particelle)
- la risposta del segnale e' proporzionale al numero di particelle che a sua volta e' proporzionale all'energia della particella incidente





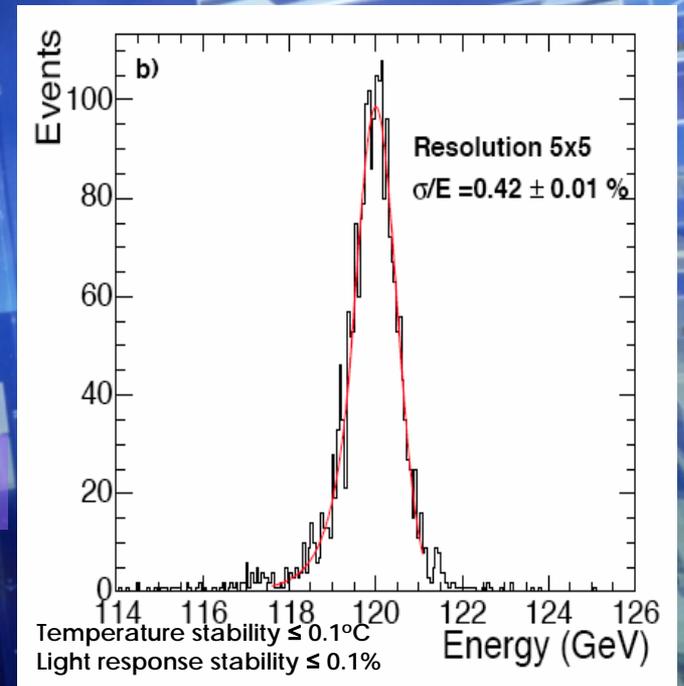
Il calorimetro elettromagnetico (ECAL)



Obiettivo: misurare l'energia di elettroni, positroni e fotoni con una risoluzione migliore del 0.5%.
80000 cristalli di PbWO_4 (tungstato di piombo).
~80% metallo – trasparente!

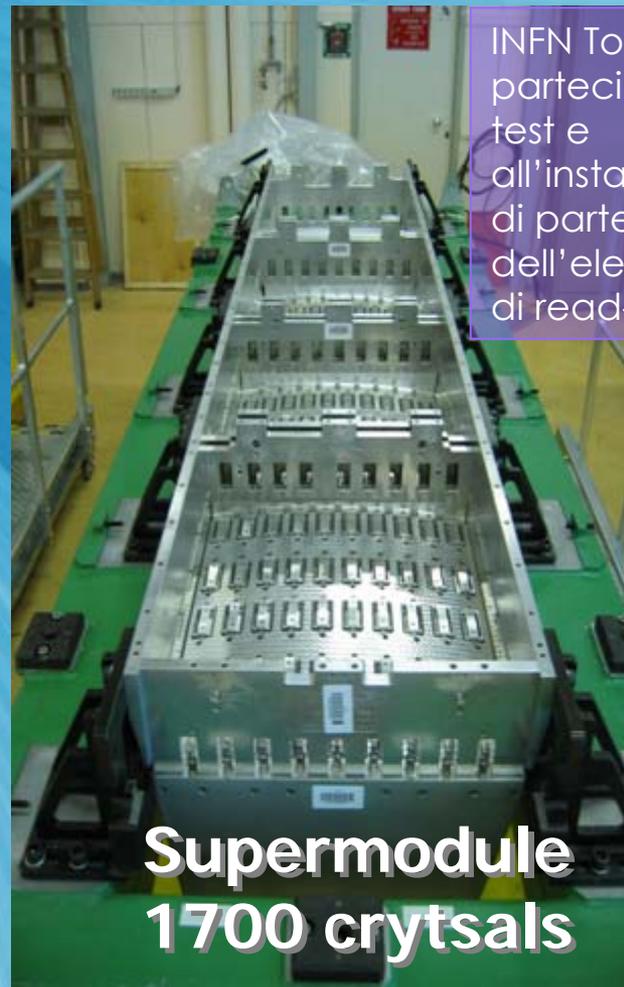
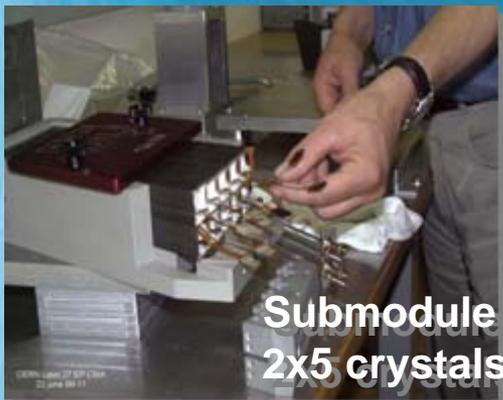


Avalanche Photo Diode
Rivela 4 fotoel./MeV





Il calorimetro elettromagnetico (ECAL)

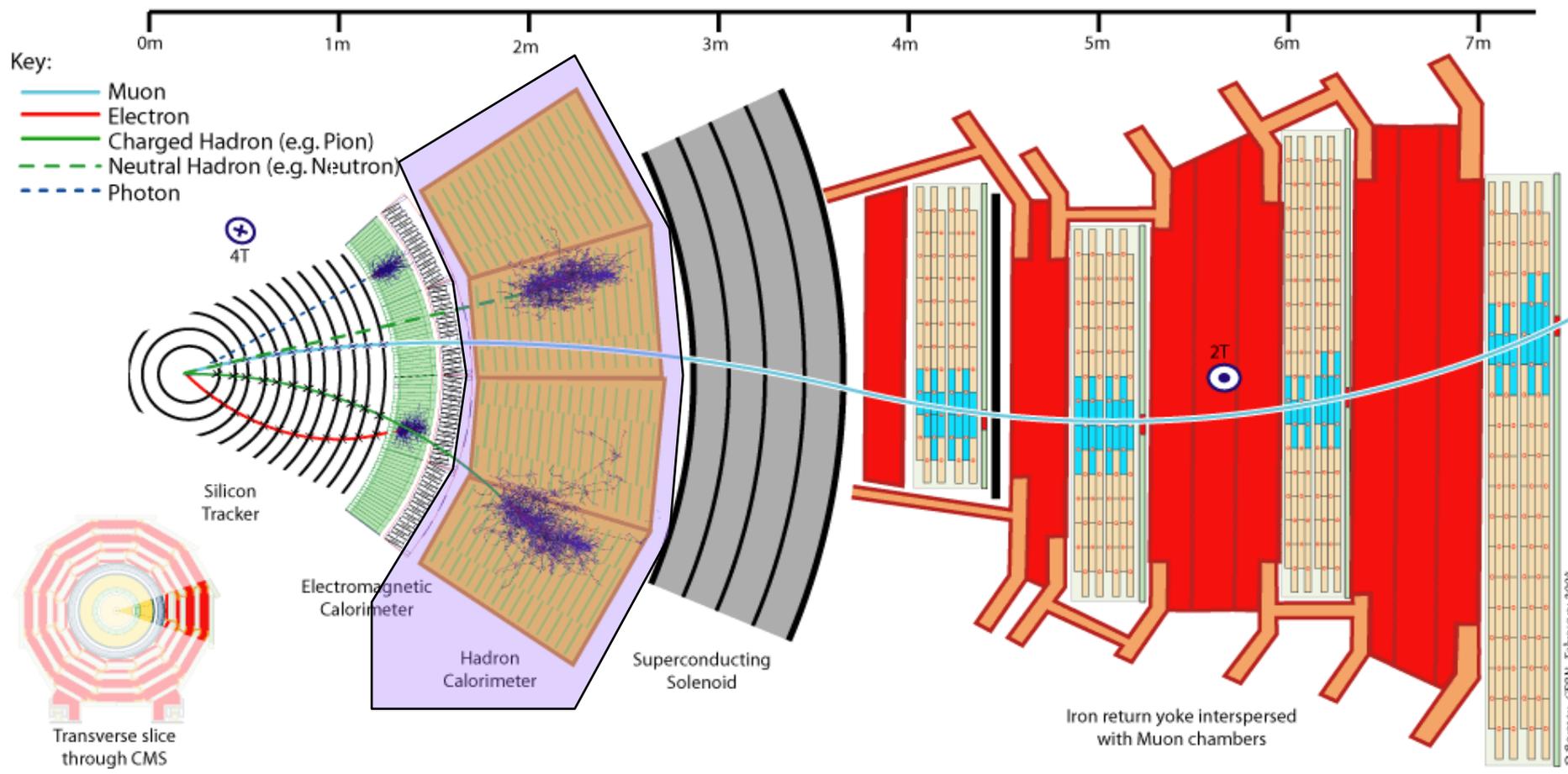


INFN Torino ha partecipato ai test e all'installazione di parte dell'elettronica di read-out

Total 36 Supermodules

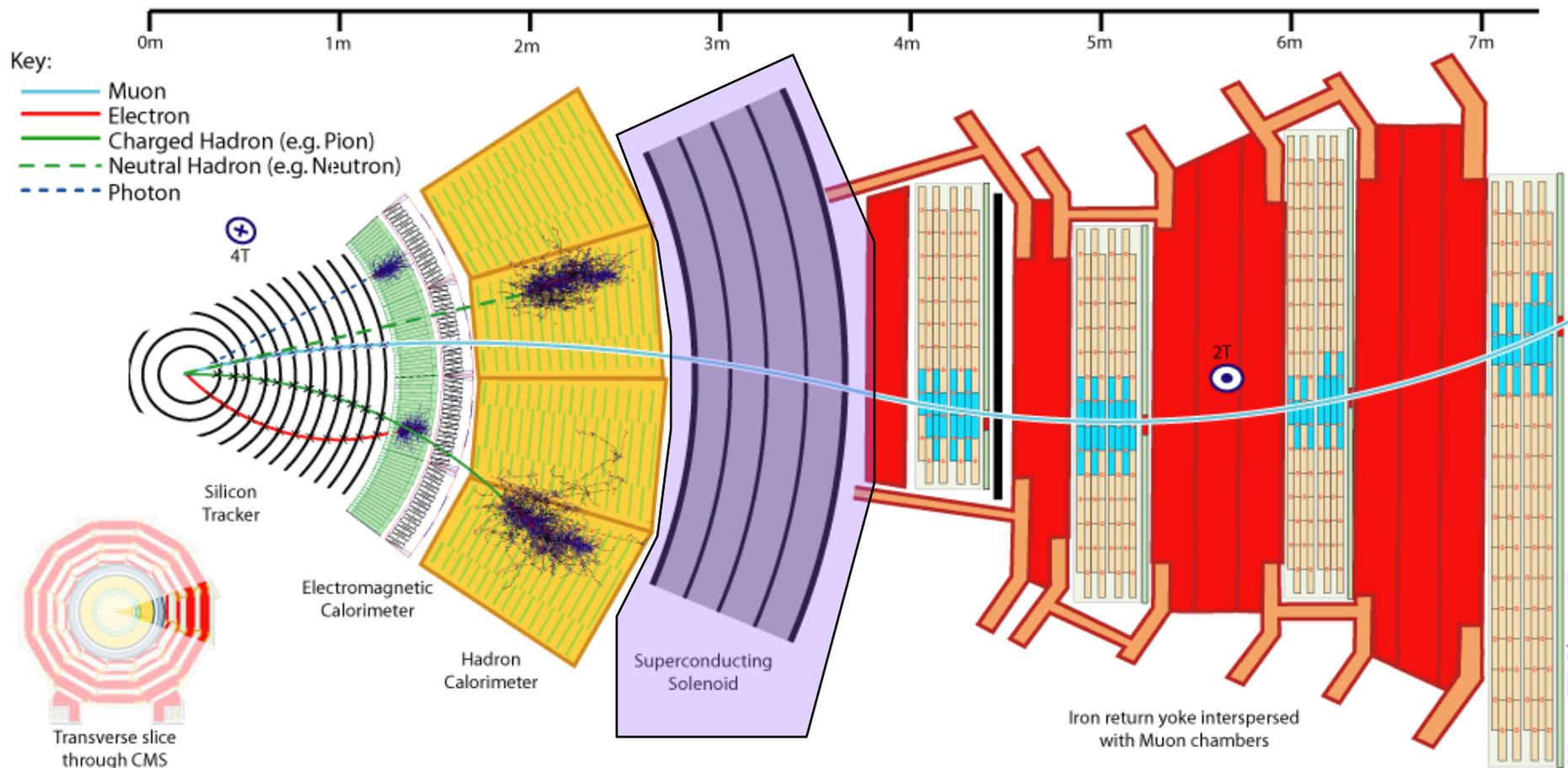


Il calorimetro adronico (HCAL)





Il magnete

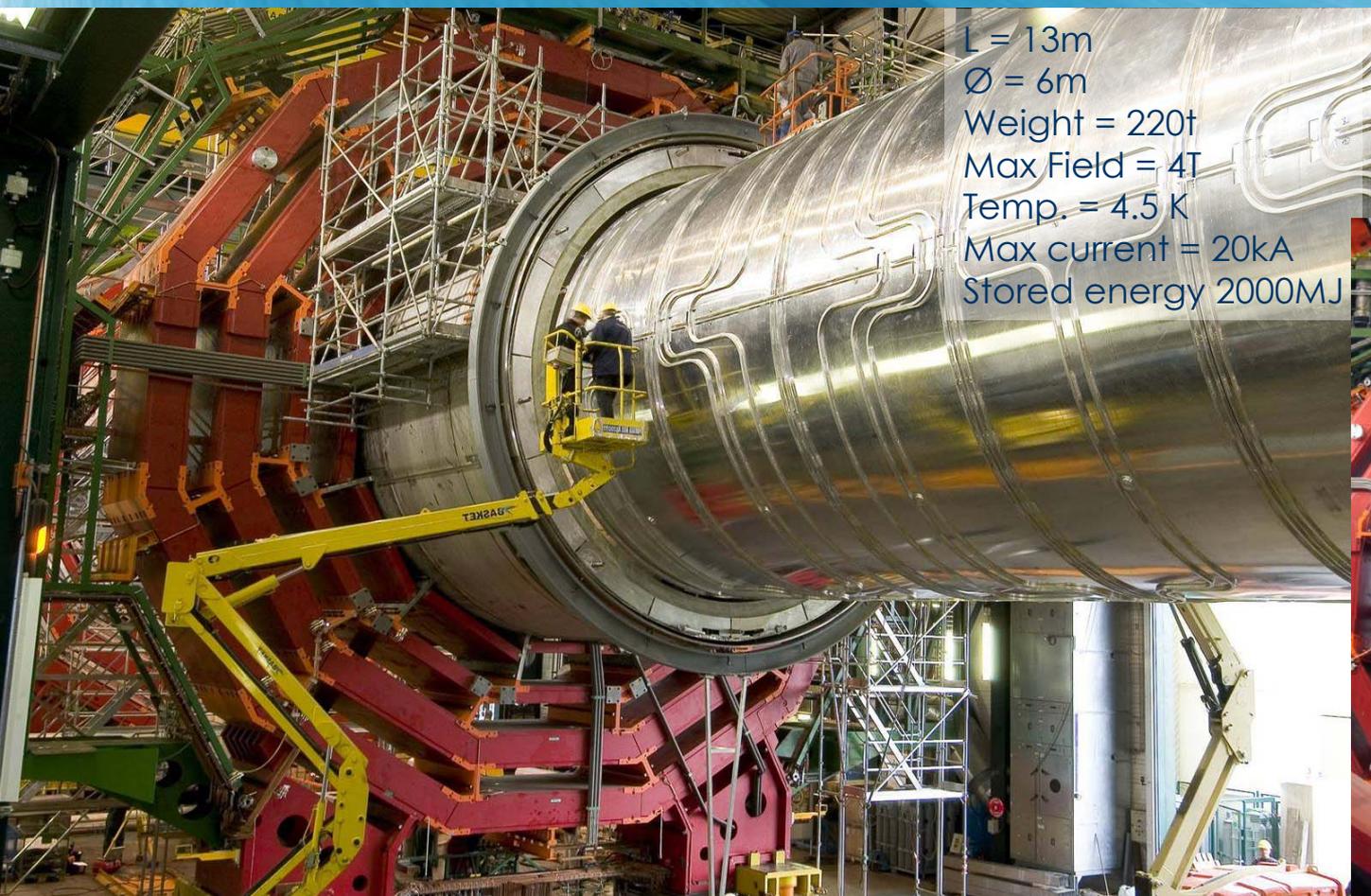




Il magnete - la struttura



L'obiettivo: misurare il momento di una traccia di **1 TeV** con la risoluzione del **10%** → il piu' grande solenoide superconduttore del mondo





Il magnete - la bobina



Aluminium alloy -
mechanical stabilizer



Importante contributo
dell'industria italiana
(Ansaldo - Genova) e
INFN - Genova

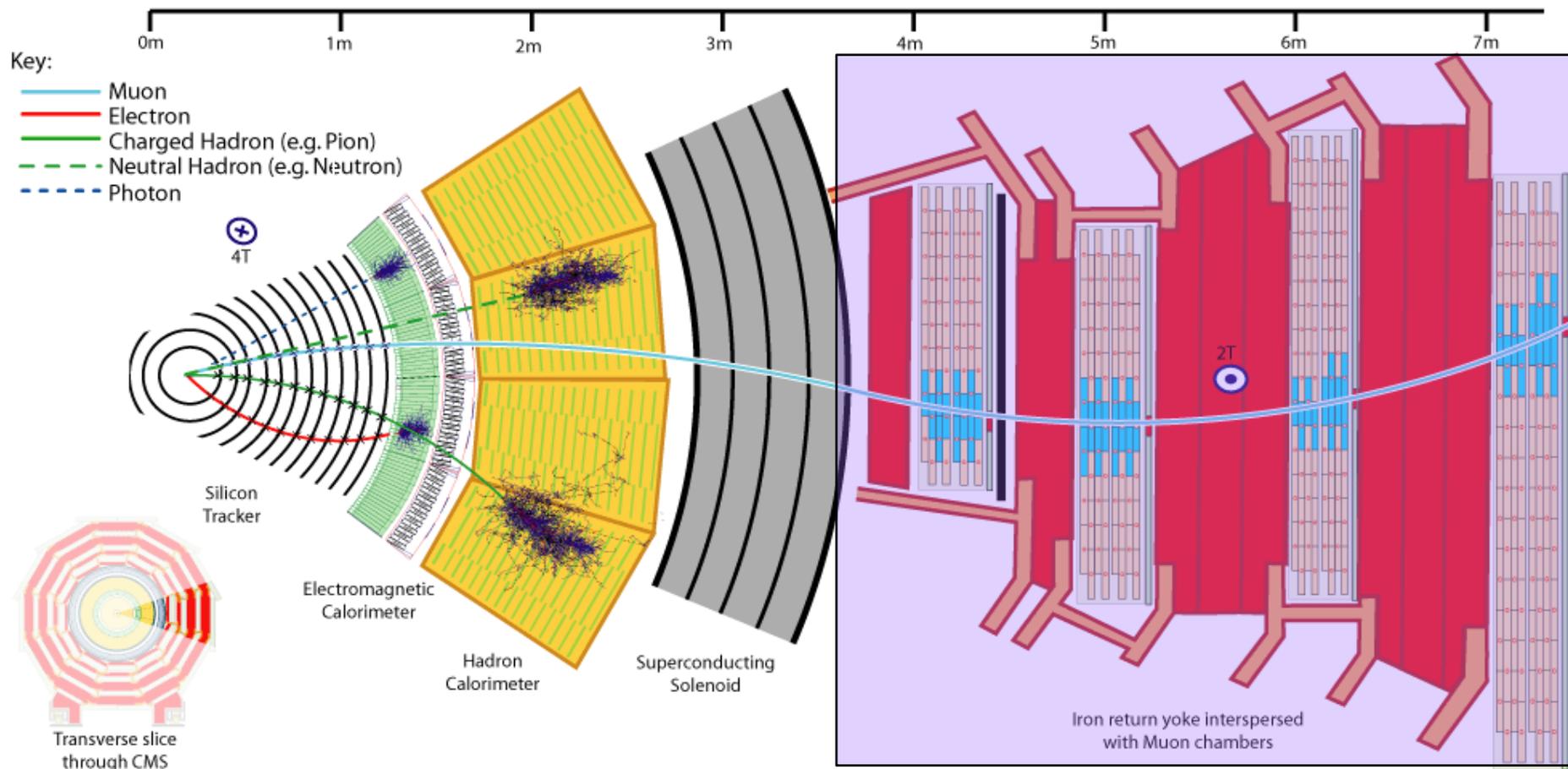
Ultra-pure
Aluminium -
magnetic
stabilizer

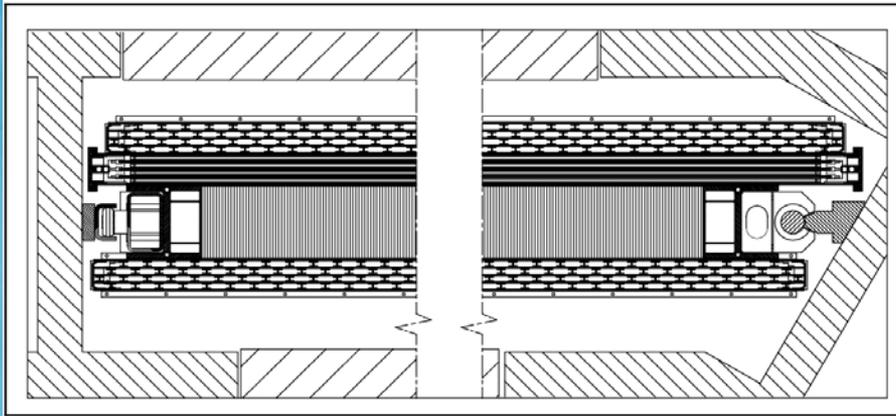
Superconducting
cable - NbTi
 $T_c = 9.25\text{K} @ B=0$

~ 1 milione di km di filamenti NbTi ($\varnothing 6 \mu\text{m}$)

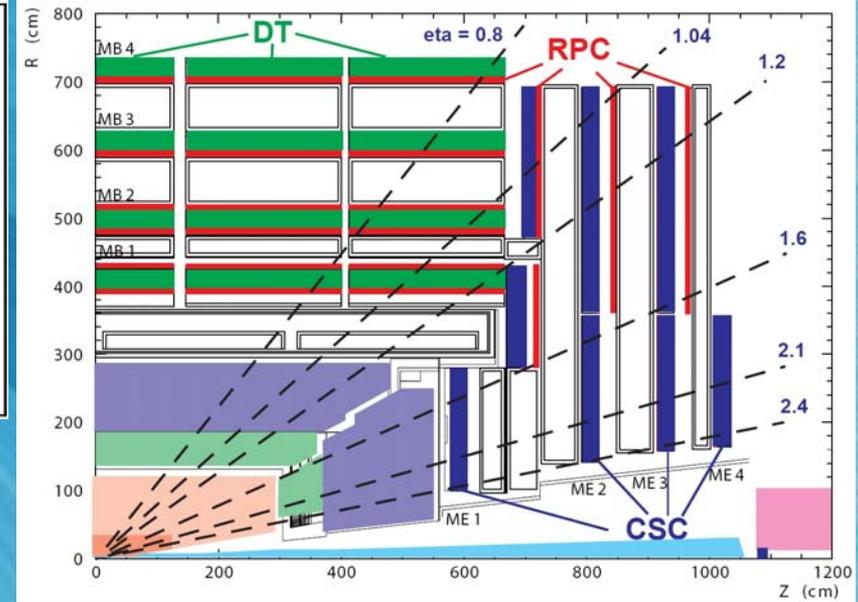


Rivelatore di muoni





3 Super Layer (2 ϕ e 1 θ per le prime 3 stazioni)
 2 Super Layer (2 ϕ per la quarta stazione)
 4 strati per ogni Super Layer



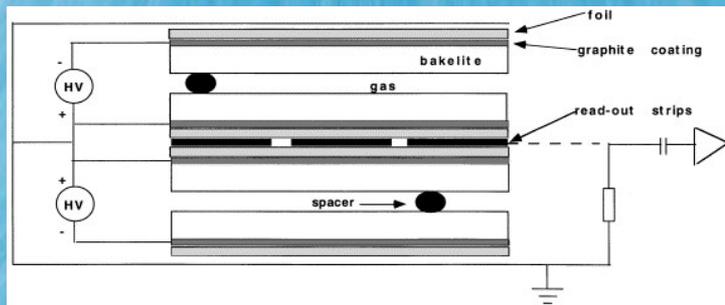
DT

Drift
Tubes

RPC

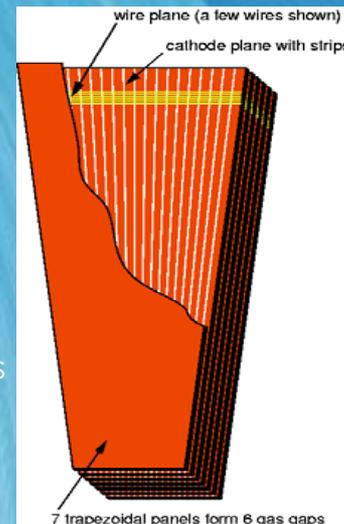
Resistive
Plate

Chambers



CSC

Cathode
Strip
Chambers



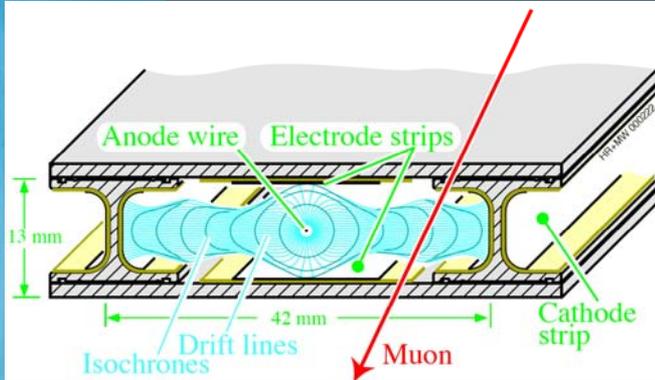
Rivelatori a gas

- buona risoluzione spaziale
- bassa densita' di canali (grandi superfici)
- basso costo
- capacita' di trigger

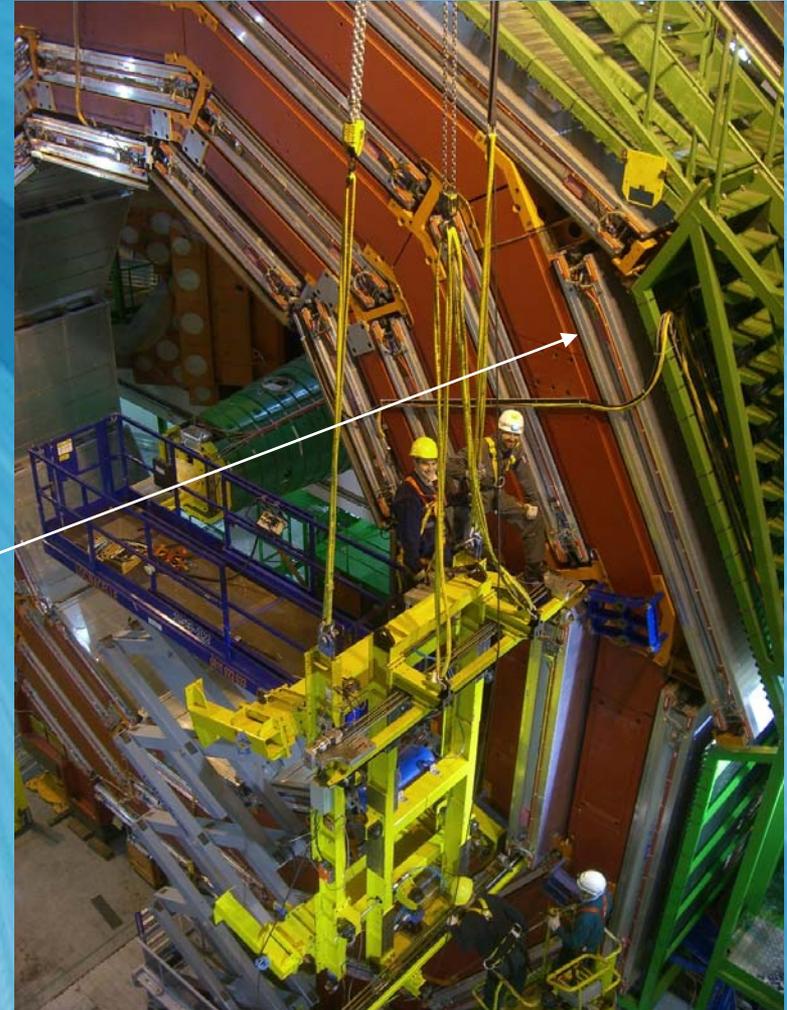
2 RPC per le prime due 2 stazioni DT
 1 RPC per le ultime due stazioni DT e per le CSC fino a
 | \square | < 1.6



Rivelatore di muoni (centrale)



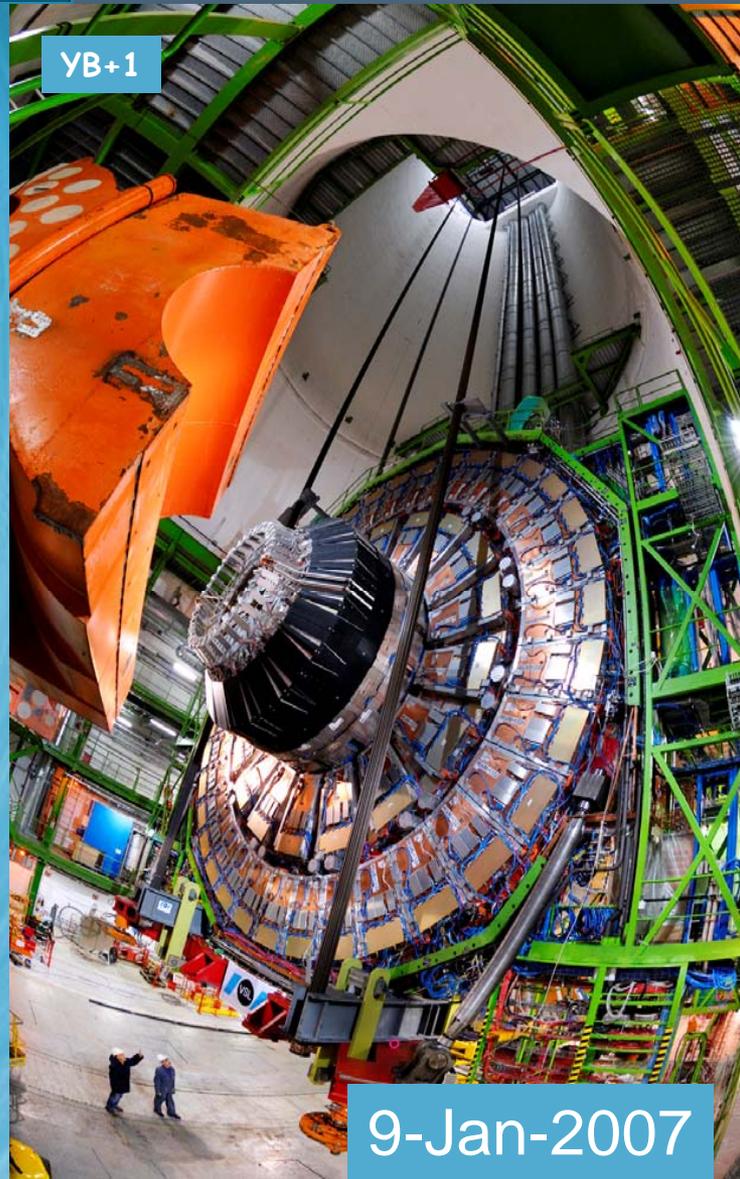
Gain $\sim 10^5$
Max drift time (T_{max}) = 380 ns
single cell spatial resolution $\sim 250 \mu\text{m}$
Gas mixture: Ar(85%)+CO₂(15%) at atm. pressure



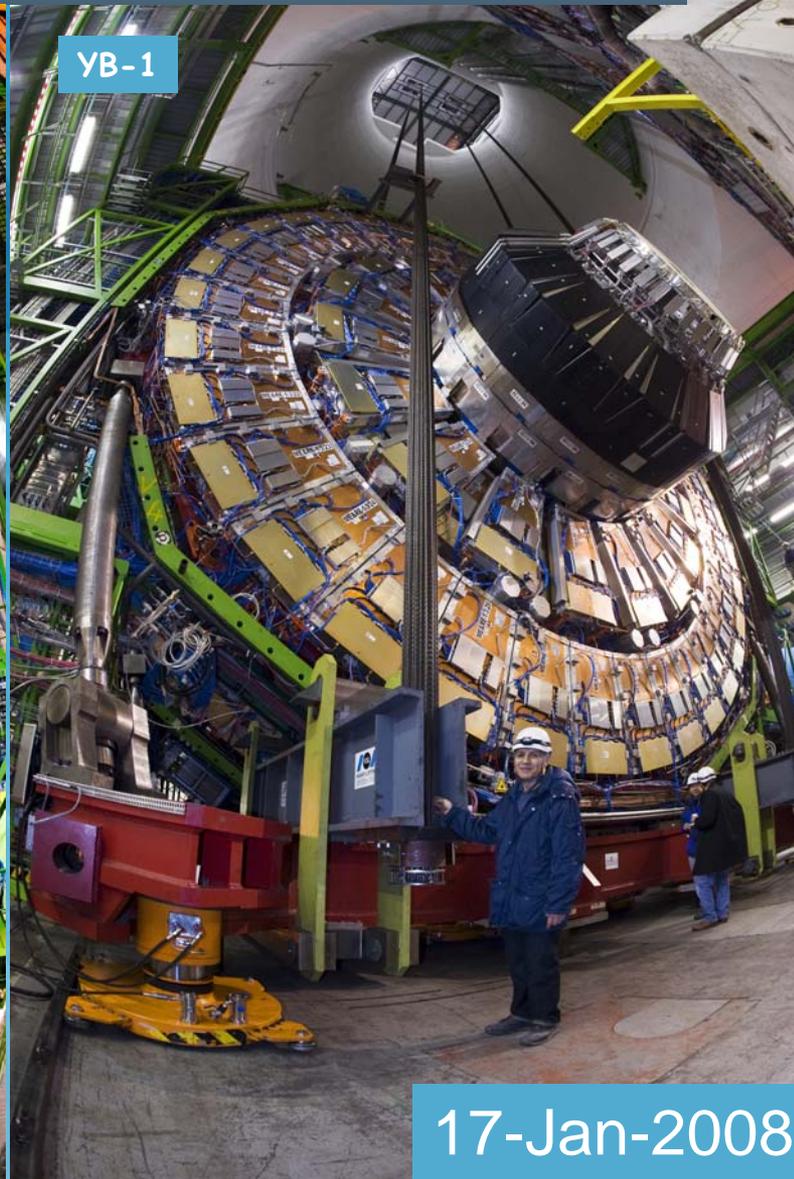
250 camere costruite in 4 laboratori internazionali (Aachen, Madrid, INFN Padova e INFN Torino).



Rivelatore di muoni (in avanti)



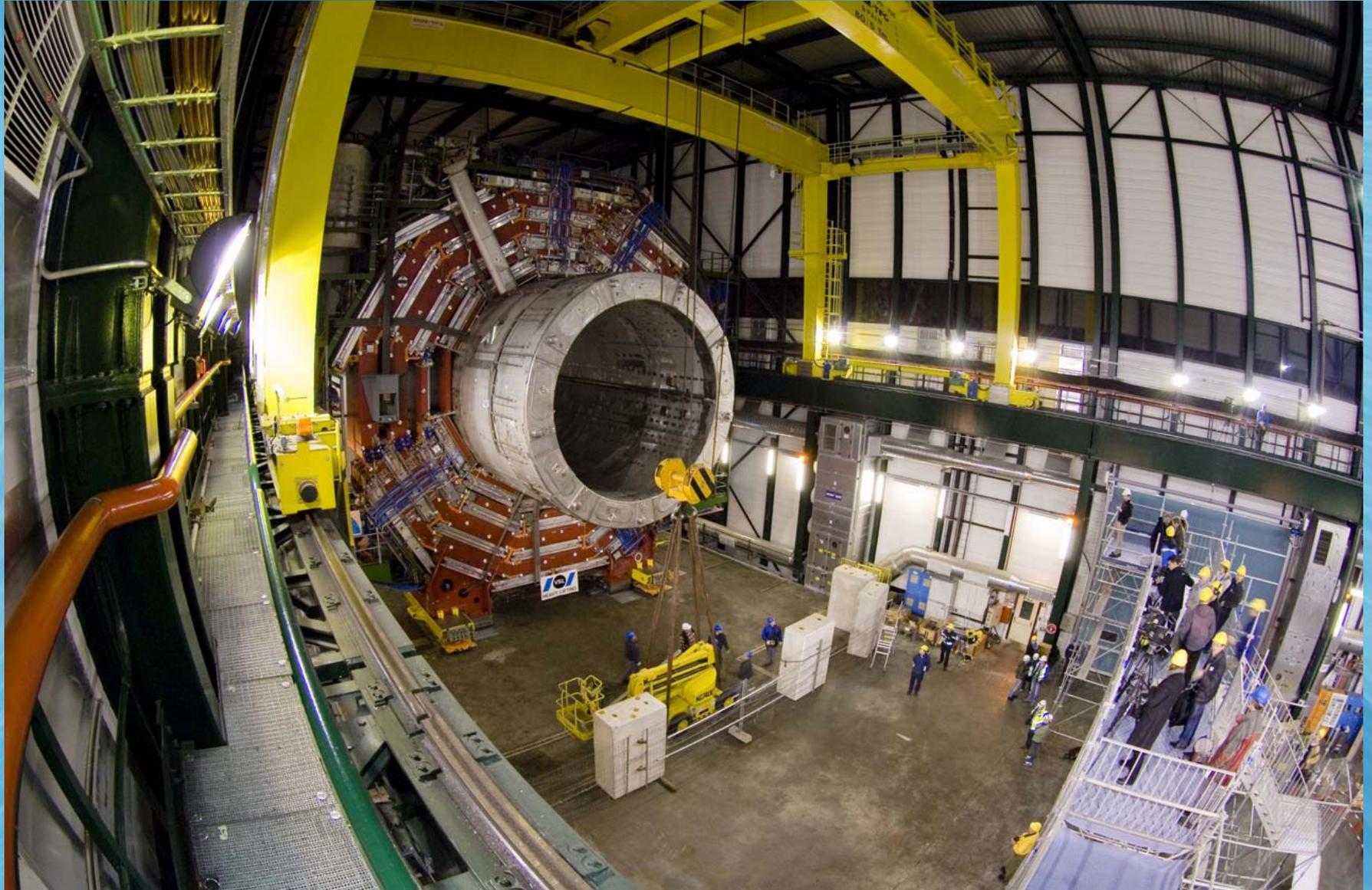
9-Jan-2007



17-Jan-2008

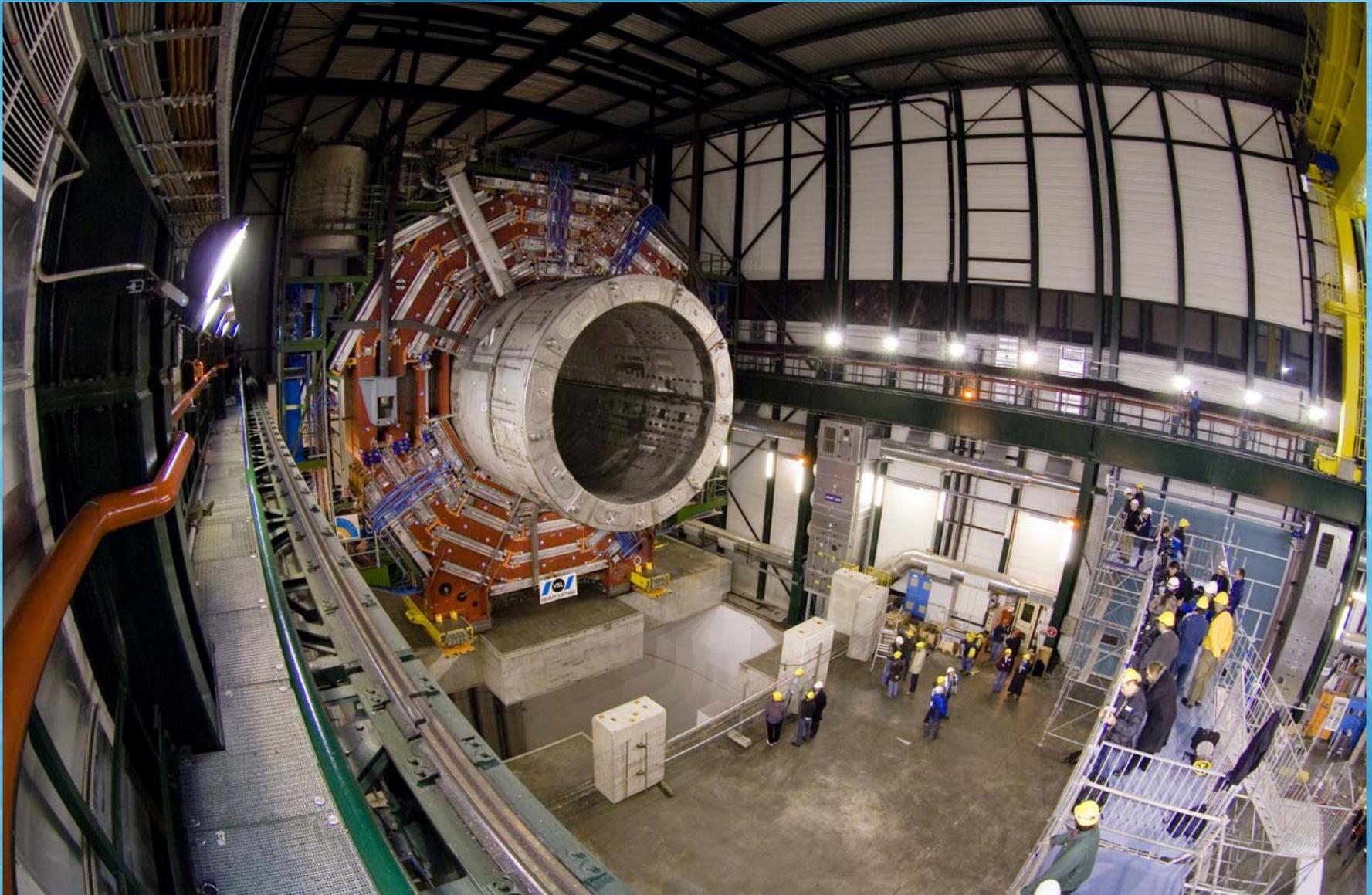


Installazione in caverna



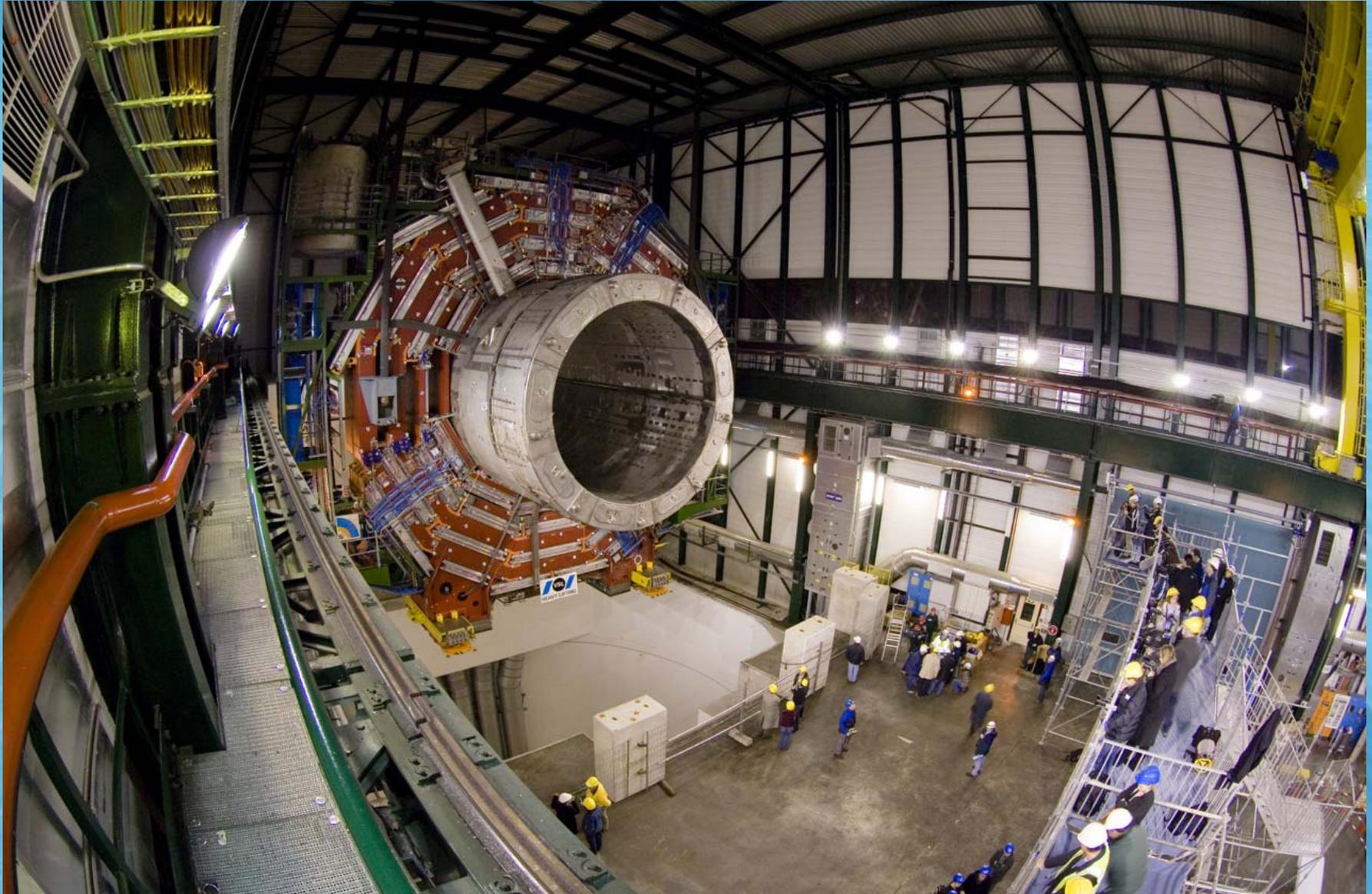


Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna





Installazione in caverna



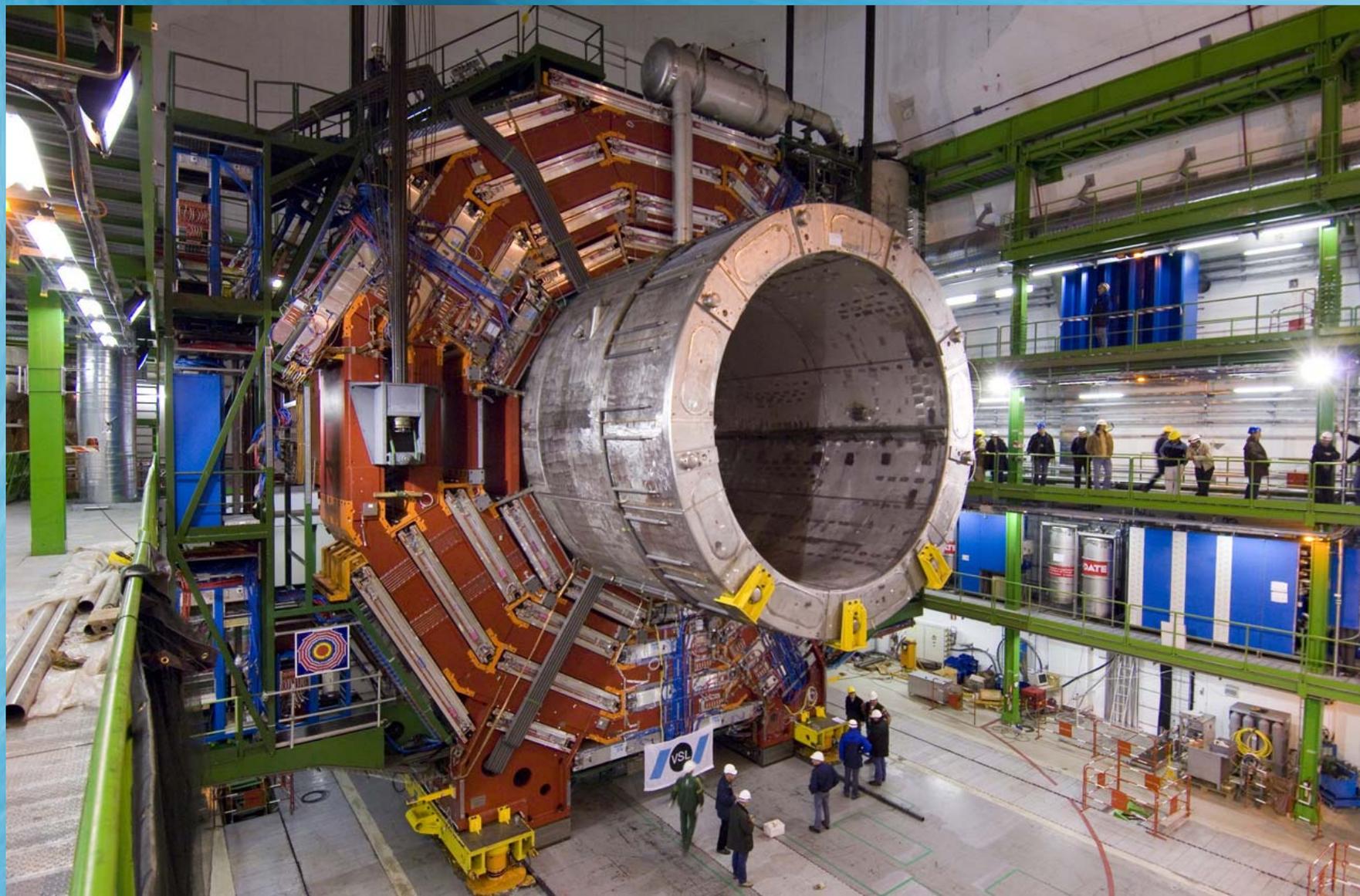


Installazione in caverna



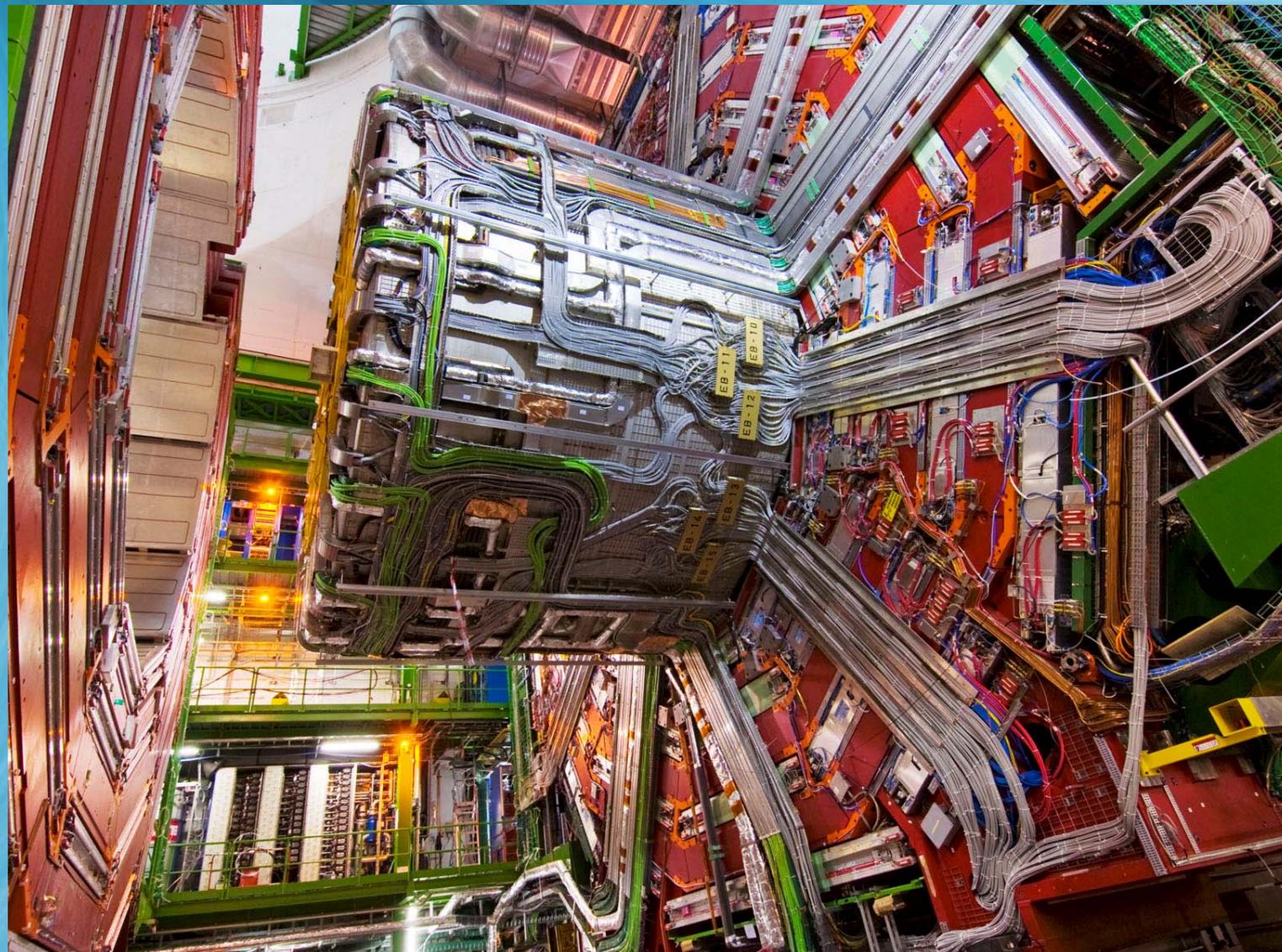


Installazione in caverna



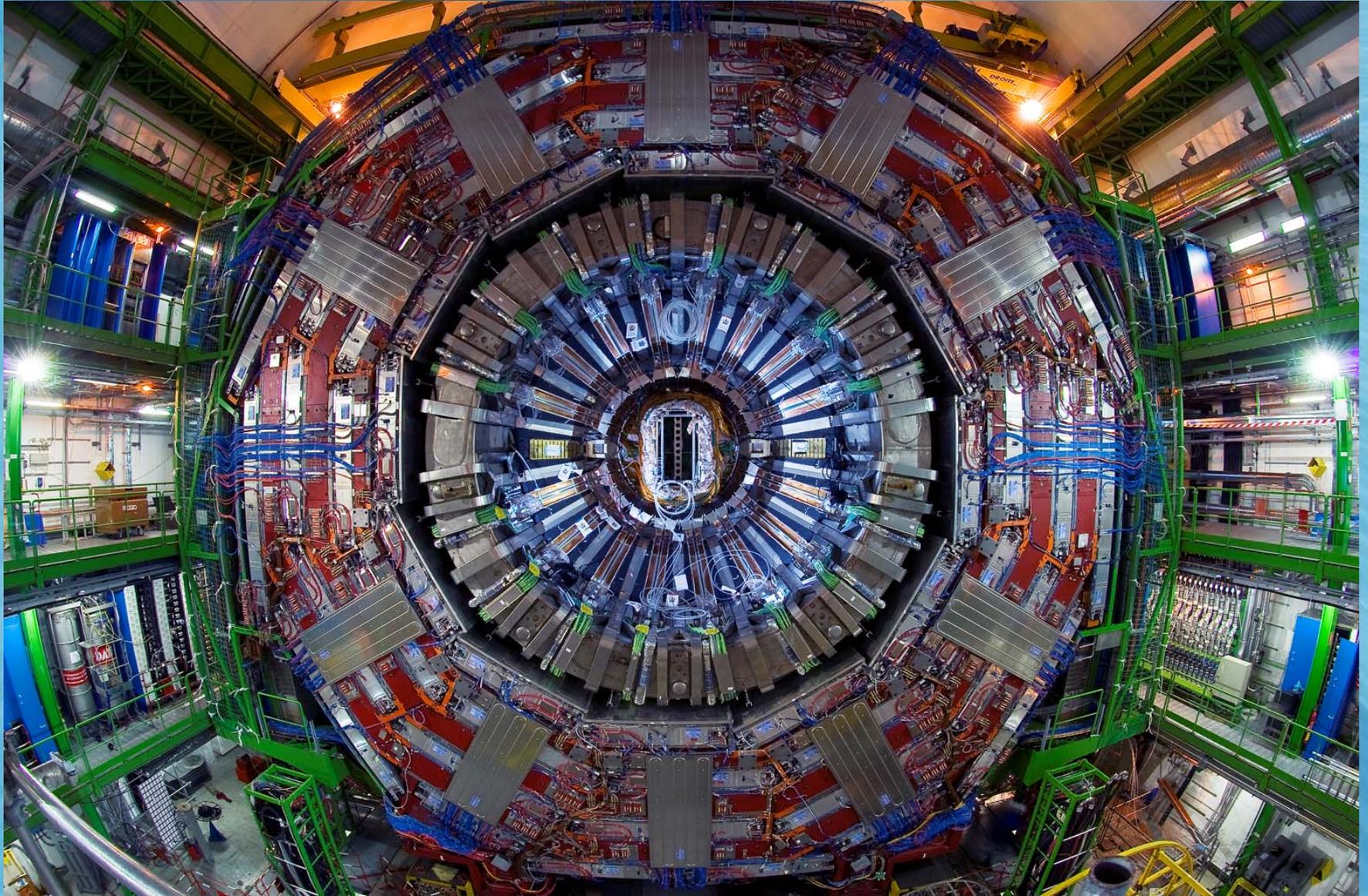


Cablaggio e completamento dei servizi





La struttura completa





Attivita' in CMS



2006

2007

2008

computing commissioning

CSA06

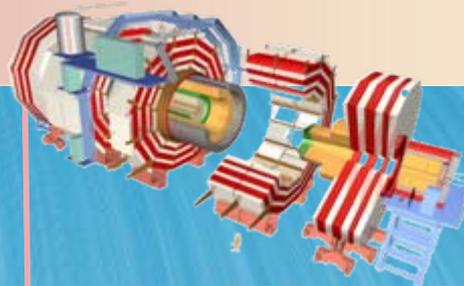
CSA07

CSA08
CCRC08

surface commissioning

MTCC

heavy lowering



Tracker installed

Beam pipe bake-out

ECAL endc installed
Pixel installed

CMS closed

CRAFT

Global Runs

CRUZETs

1st beams

underground commissioning

I. Mikulec

CMS dictionary:

CSA – Computing, Software and Analysis challenge

CCRC – Common Computing Readiness Challenges

MTCC – Magnet Test and Cosmic Challenge

CRUZET – Cosmic RUN at Zero Tesla

CRAFT – Cosmic Run At Four Tesla



Cosmic Runs



~300M eventi raccolti a novembre per il completo debugging dell'apparato
~600TB di dati processati nella grid



Conclusioni



- a 16 anni di distanza dal concepimento dell'esperimento, e a 11 dall'inizio della sua costruzione, CMS e' completo e pronto per prendere dati
- dopo i primi vagiti di LHC, il 10-9-08, e successivamente la rottura di una sezione criogenica che ha causato l'interruzione dell'attivita', ci si attende di rientrare in funzione nell'estate di quest'anno
- non solo l'hardware ma anche tutta la catena di acquisizione e i processi di analisi dei dati offline sono stati intensivamente testati con una massiccia raccolta di dati da raggi cosmici (~300M eventi) che ha consentito il "debugging" del sistema
- la collaborazione internazionale e' pronta e in ansiosa attesa di accedere alla fisica della scala $O(1\text{TeV})$.



"Compact" Muon Solenoid



ATLAS

grandi dimensioni
"bassa" densita', 7000t



CMS

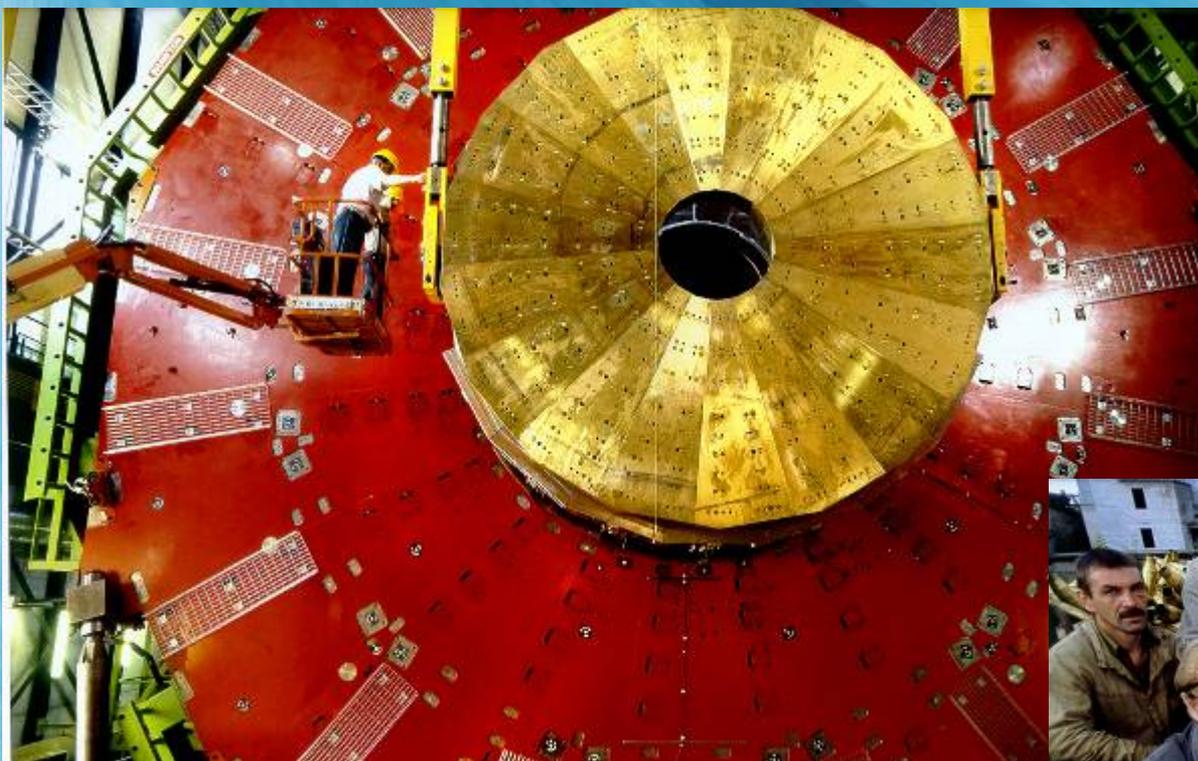
"piccole" dimensioni,
alta densita', 12500t



Il calorimetro adronico (HCAL)



Obiettivo: misurare l'energia degli adroni prodotti nell'interazione



Calorimetro a campionamento.
Piastre di ottone o acciaio alternate a strati di scintillatore plastico o fibre al quarzo.

Il materiale deriva dal riciclo di materiale bellico dell'ex URSS

