

# La scoperta del bosone di Higgs

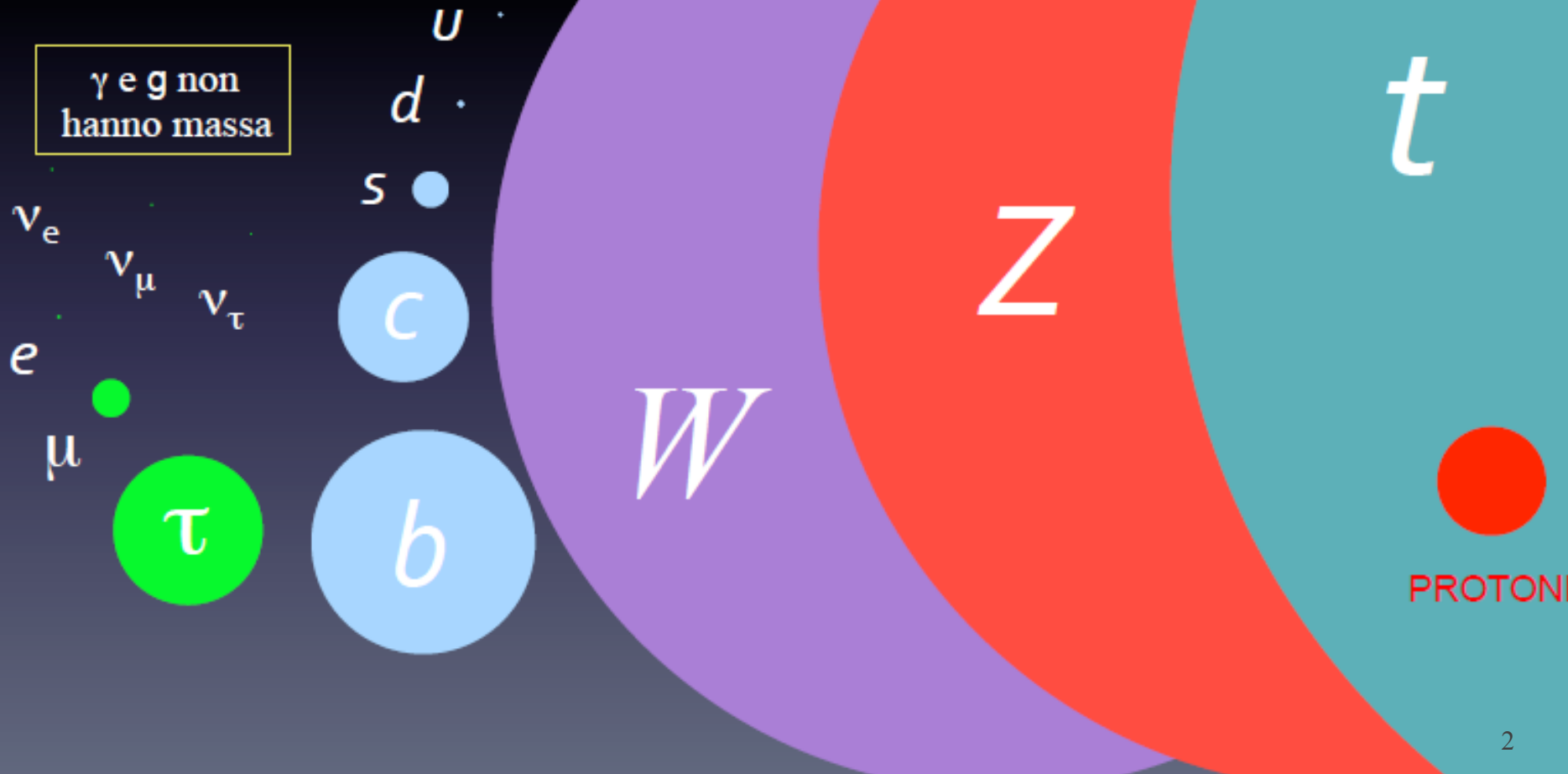


**Dott. Pierluigi Paolucci**

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di **Napoli** & CERN di Ginevra

# Il problema della massa

- Non c'è una spiegazione della massa delle particelle.
- Eppure tutte le cose e quindi le particelle hanno una massa!





# Cosa abbiamo capito (Forze, Campi...)



- Teoria che spiega “quasi” tutto quello che abbiamo capito fino ad oggi.
- Sicuramente non è completa.

## Modello Standard

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{GWS} = & \sum_f (\bar{\Psi}_f (i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f) \Psi_f - e Q_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu) + \\
 & + \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_i (\bar{a}_L^i \gamma^\mu b_L^i W_\mu^+ + \bar{b}_L^i \gamma^\mu a_L^i W_\mu^-) + \frac{g}{2c_w} \sum_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu (I_f^3 - 2s_w^2 Q_f - I_f^3 \gamma_5) \Psi_f Z_\mu + \\
 & - \frac{1}{4} |\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu - ie(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 - \frac{1}{2} |\partial_\mu W_\nu^+ - \partial_\nu W_\mu^+ + \\
 & - ie(W_\mu^+ A_\nu - W_\nu^+ A_\mu) + ig' c_w (W_\mu^+ Z_\nu - W_\nu^+ Z_\mu)|^2 + \\
 & - \frac{1}{4} |\partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu + ig' c_w (W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 + \\
 & - \frac{1}{2} M_\eta^2 \eta^2 - \frac{g M_\eta^2}{8 M_W} \eta^3 - \frac{g'^2 M_\eta^2}{32 M_W} \eta^4 + |M_W W_\mu^+ + \frac{g}{2} \eta W_\mu^+|^2 + \\
 & + \frac{1}{2} |\partial_\mu \eta + i M_Z Z_\mu + \frac{ig}{2c_w} \eta Z_\mu|^2 - \sum_f \frac{g}{2} \frac{m_f}{M_W} \bar{\Psi}_f \Psi_f \eta
 \end{aligned}$$

- **1964:** Una soluzione per l'origine della massa: **il meccanismo di Higgs**
- Le particelle acquistano massa nell'interazione con un nuovo ***campo che pervade lo spazio***
  - La massa di una particella dipende dall'intensità dell'interazione con il campo
- **In meccanica quantistica relativistica ci aspettiamo che al campo di Higgs sia associata una particella: il Bosone di Higgs**



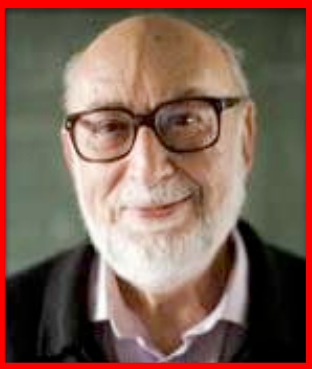
# Già, la massa...

## Cos'è la massa?

$$F = ma \quad \longrightarrow \quad m = \frac{F}{a}$$



R. Brout



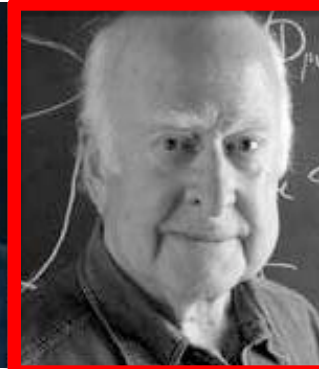
F. Englert



G. Guralnik



C.R. Hagen



P. Higgs



T. Kibble

Nel 1964 questi sei signori elaborano un meccanismo teorico mediante il quale le *particelle elementari* acquisiscono una sorta di riluttanza ad essere accelerate se sottoposte ad una forza...

Il meccanismo è molto (molto) astratto, descrivibile solo mediante un sofisticato linguaggio matematico,

Vediamo di capire questo fenomeno mediante opportuni esempi semplificati, imprecisi, ma in qualche modo comprensibili...









# Il bosone di Higgs



Possiamo pensare alla particella di Higgs come il  
messaggero del campo di Higgs, come un fiocco  
di neve.



quark top - pesante



Elettrone - leggero



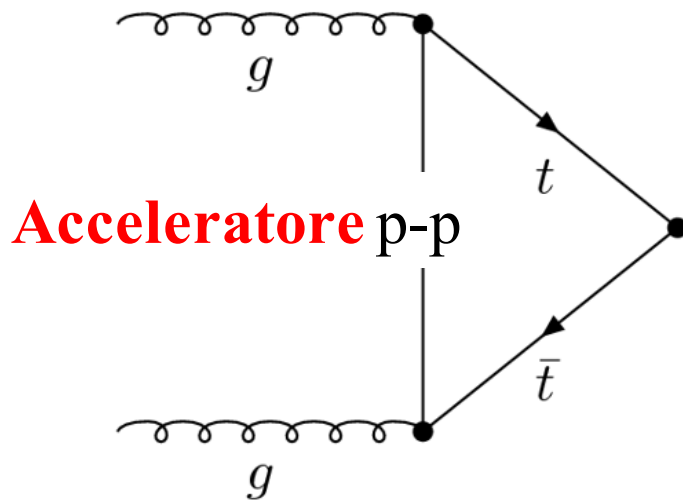


- Questo nuovo campo di Higgs responsabile della massa di tutte le particelle elementari corrisponde ad una particella fisica:
- Il bosone di Higgs.
- Tutto predetto teoricamente da Higgs ma....
- Mancava la conferma o meglio la scoperta del bosone di higgs.
- Vediamo ora come potrebbe essere visto

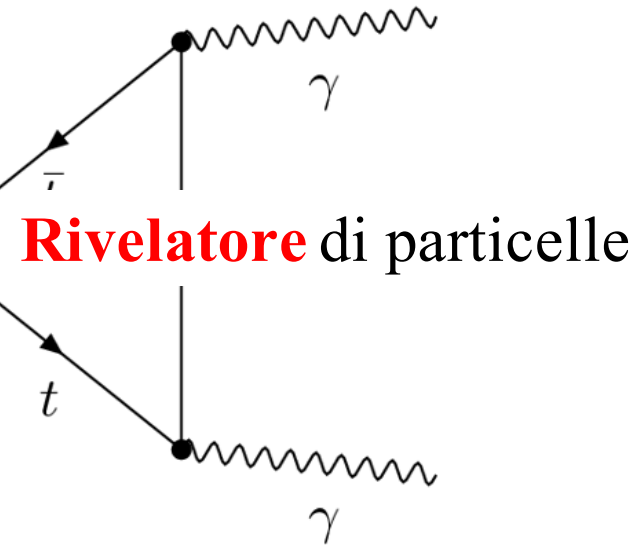
# Come si produce un bosone di higgs



## Produzione di un Higgs

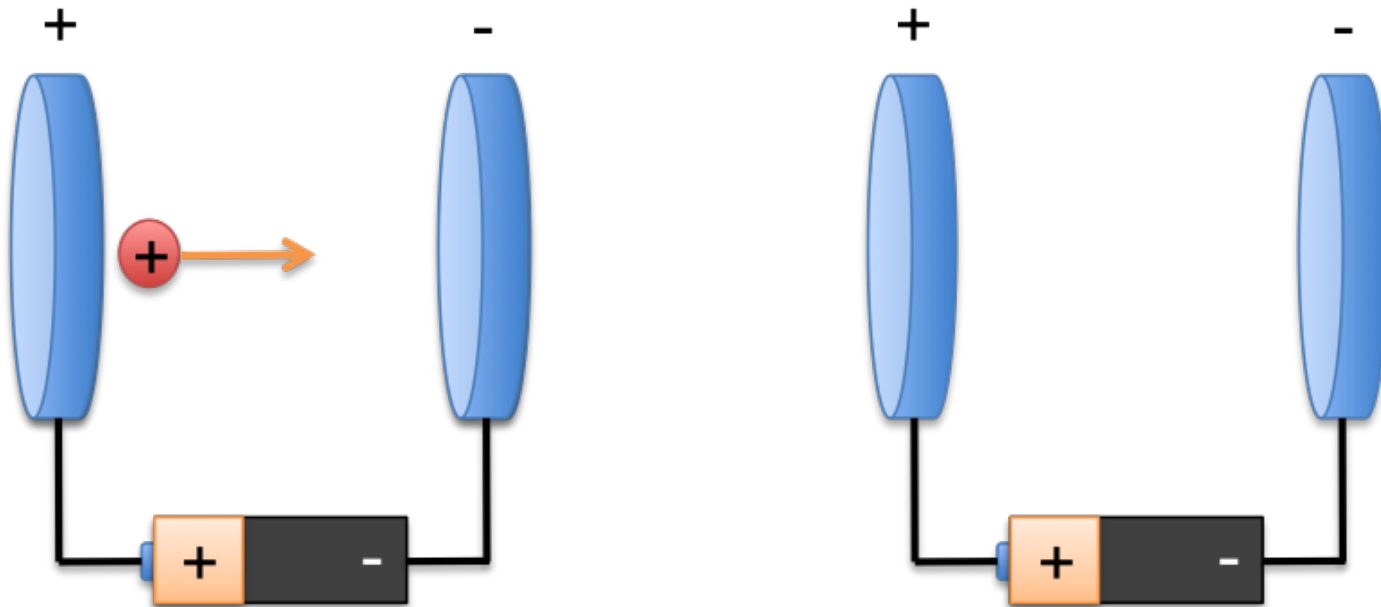


## Decadimento di un Higgs



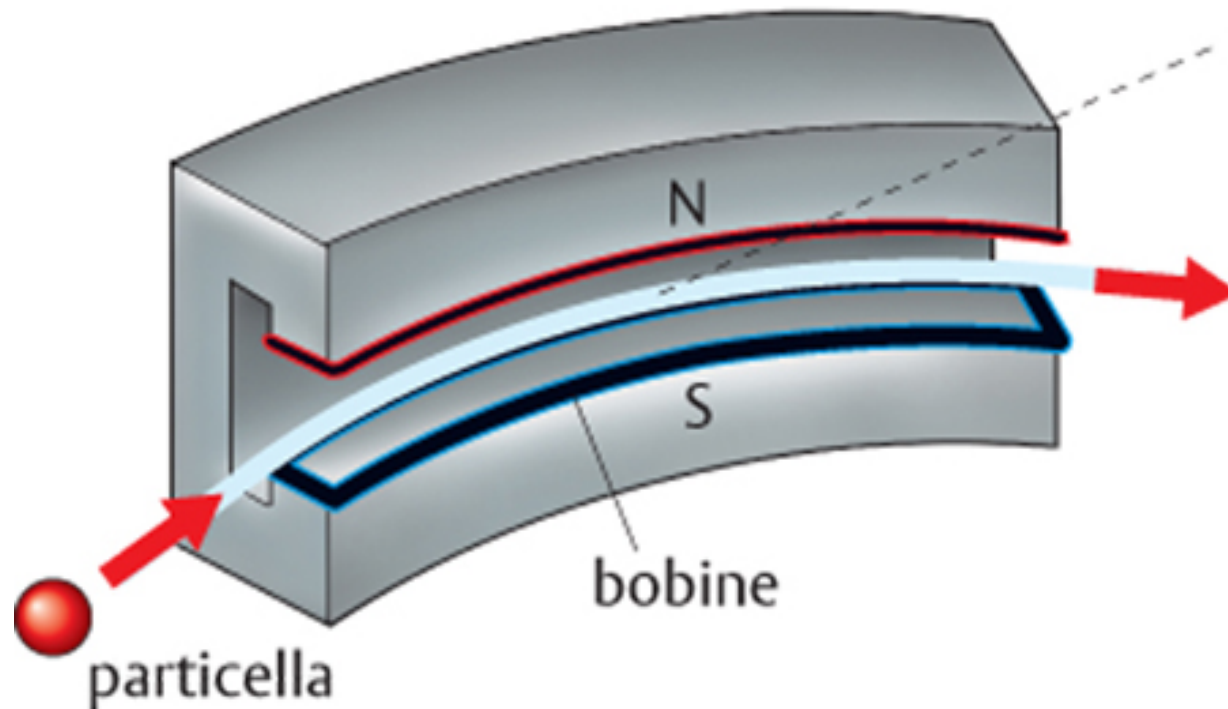
- Che energia devono avere i protoni x produrre un Higgs ?
- Quante volte dobbiamo far scontrare due protoni per poter produrre un Higgs ?
- Come facciamo a rivelare/fotografare i fotoni ?

- Una particella carica (elettrone o protone) viene accelerata quando sottoposta ad una differenza di potenziale  $V$ .

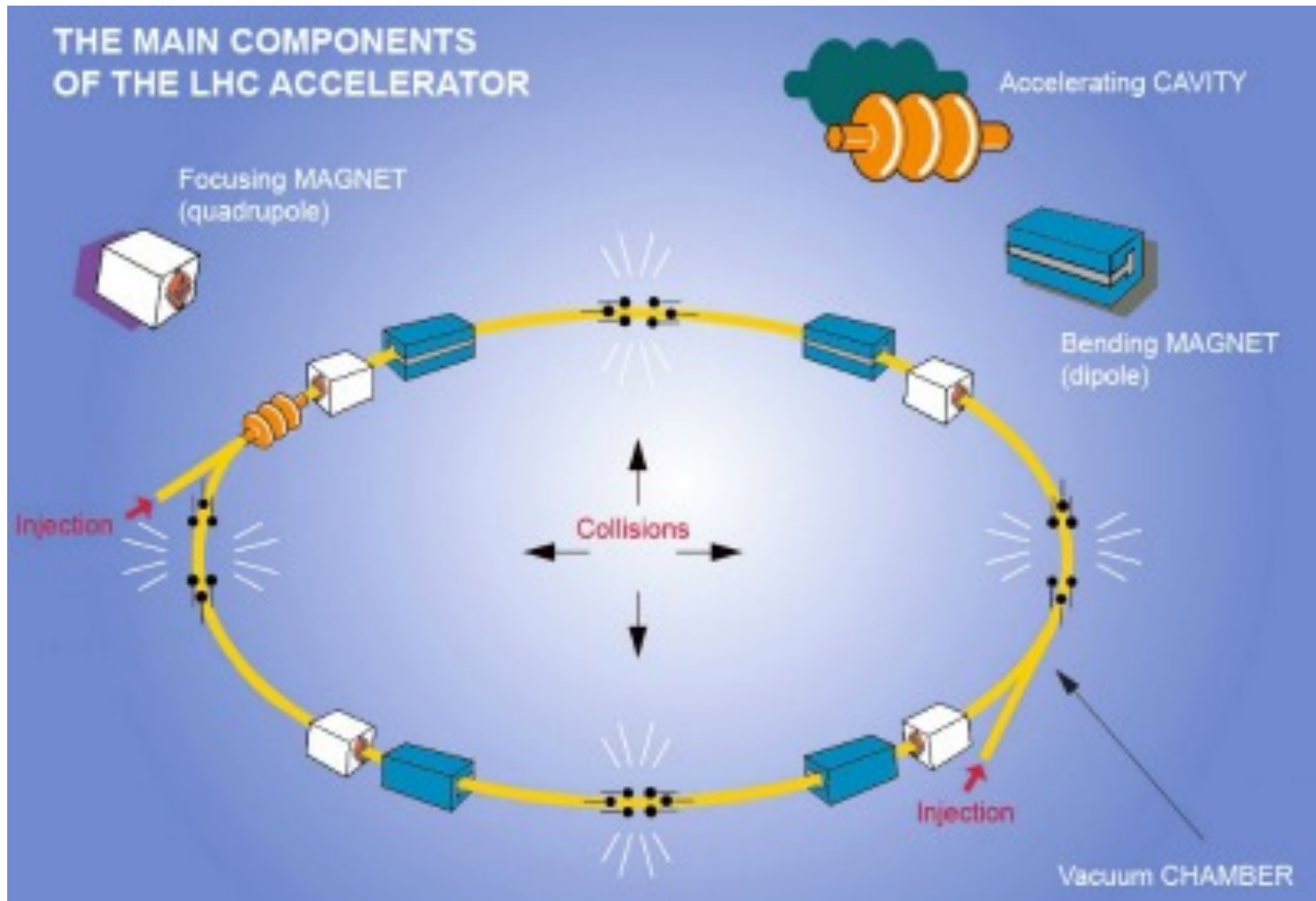




- Una particella carica (elettrone o protone) viene curvata quando posta in un campo magnetico.



# Come funziona un acceleratore III





# Dove si poteva costruire LHC ?



Large Hadron Collider  
27 km circumference

Lake Geneva

CMS

CERN

LHCb

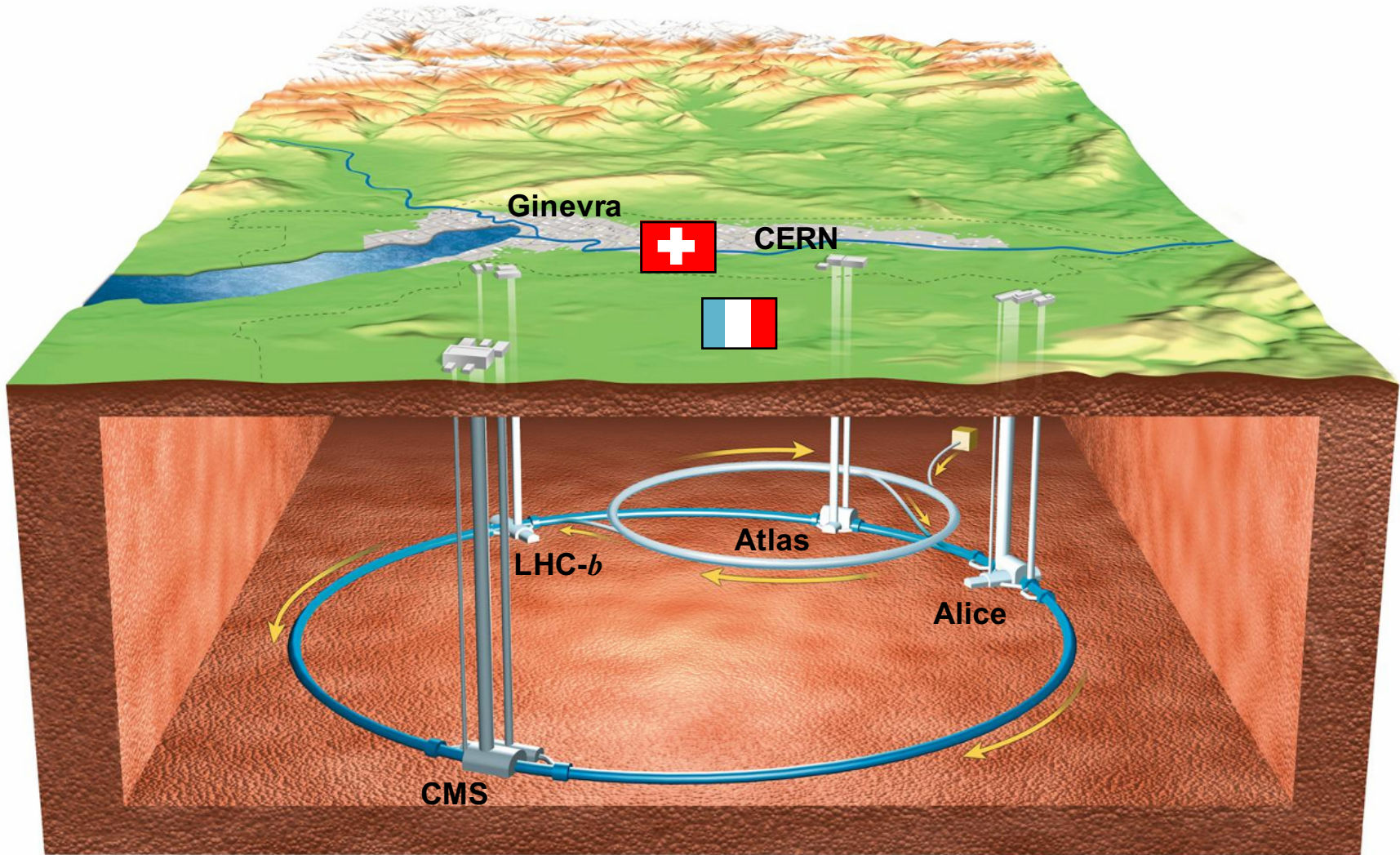
ALICE

ATLAS

	Beams	Energy	Luminosity	
LEP	$e^+ e^-$	200 GeV	$10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	
LHC	$p p$	14 TeV	$10^{34}$	
	$P_b P_b$	1312 TeV	$10^{27}$	



# Il Large Hadron Collider





# LHC in 3 minuti



# L'acceleratore LHC – lungo 27 Km



Per costruire i magneti di LHC sono stati necessari **750.000 km di filo superconduttore**, una lunghezza sufficiente per avvolgere il filo 6 volte intorno alla terra. **Migliaia di miliardi di filamenti di niobio-titanio** sono stati usati per creare ogni filo: essi sono spessi circa 7 millesimi di millimetro, cioè **10 volte più sottili di un capello umano**. **Allineando tutti i filamenti uno dopo l'altro si coprirebbe una distanza pari a più di 10 volte quella tra la terra e il sole.**



L'Italia ha costruito  
una grande parte dei magneti  
dei cavi e dell'elettronica



# LHC è una meraviglia delle tecnologia



I protoni viaggiano nel vuoto spinto pari a quello delle spazio interplanetario.

La pressione interna è di  $10^{-13}$  atm, **dieci volte inferiore a quella sulla luna!**



Quando due fasci di protoni collidono generano una **temperatura 100.000 volte quella del sole**, il tutto concentrato in uno spazio infinitesimale.

I dipoli lavorano a  $8.3\text{ T}$  &  $-271.3^\circ\text{ C}$  in elio superfluido

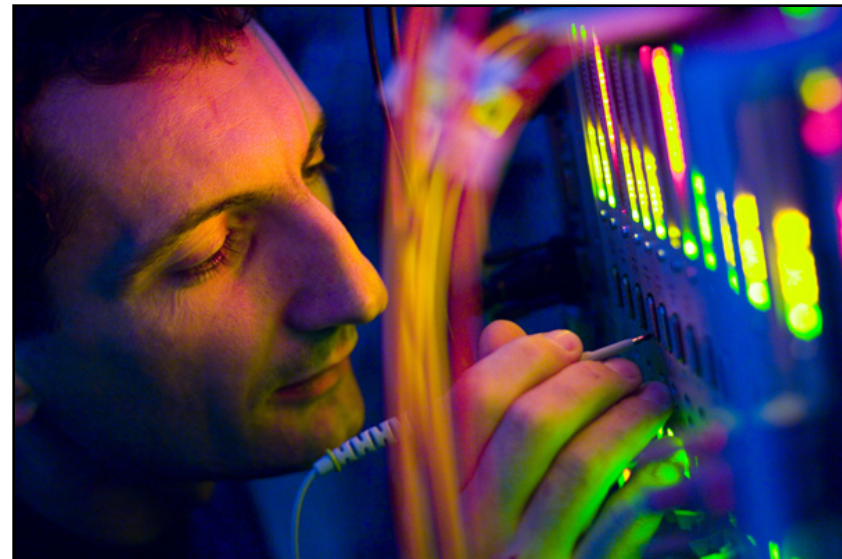
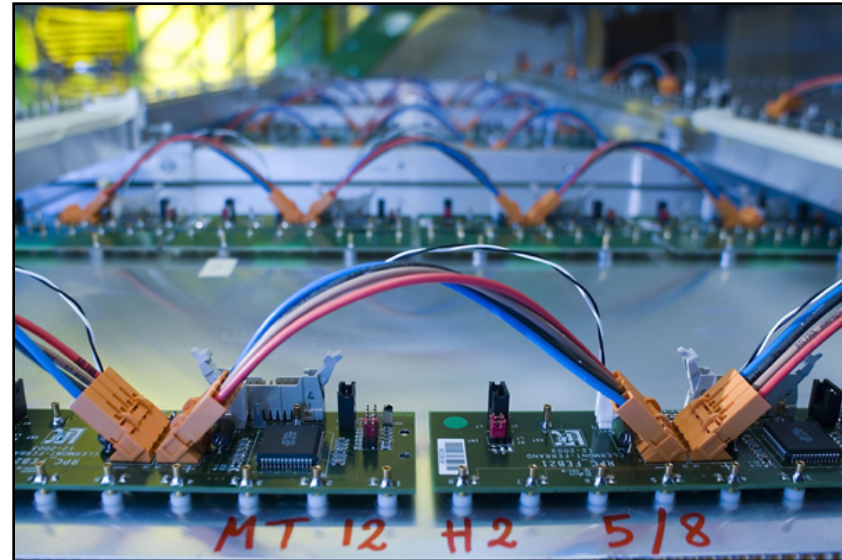
$10^{12}$  protoni percorrono 11.245 volte al secondo LHC, viaggiando al 99.99% la velocità della luce.

Progettiamo l'esperimento CMS  
(Compact Muon Solenoid) per  
rivelare il bosone di Higgs  
(1990-oggi)

# Ma cos'è in realtà CMS ?



- CMS è una “**macchina fotografica**” tridimensionale da **100 Mega-pixel**
- Fa circa **40 milioni di foto al secondo**
- Ogni foto è circa **10 MB**
- Si registrano **10 milioni di GB** in un solo anno → **3 milioni di DVD**



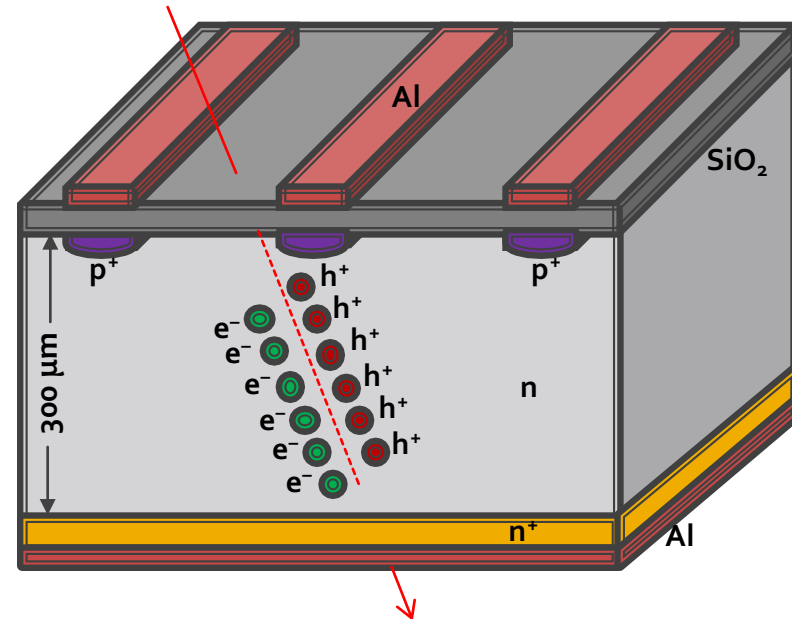
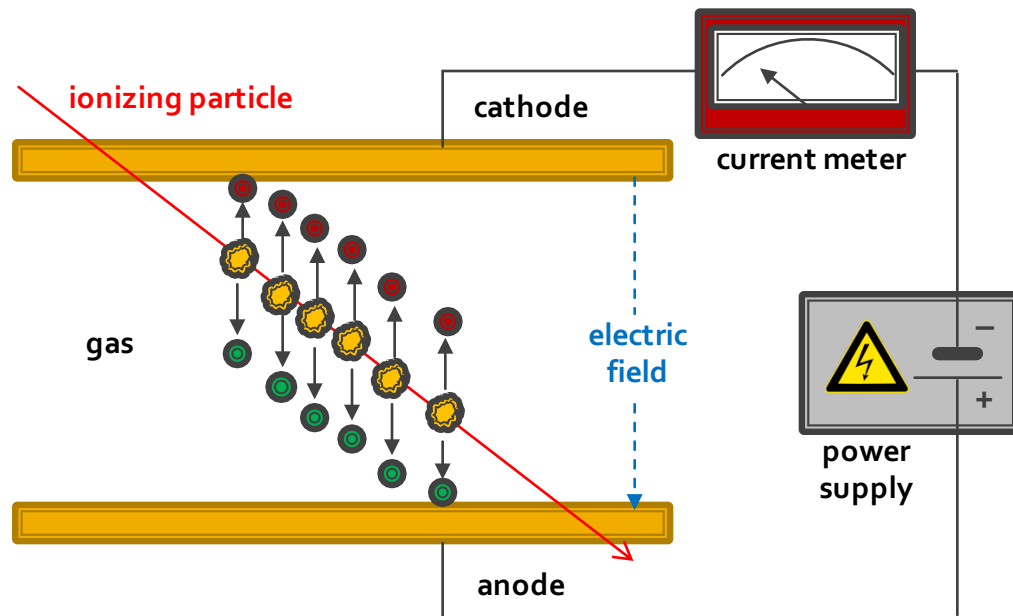


# Come funziona un rivelatore di particelle



La macchina fotografica è composta da tanti **rivelatori di particelle**.

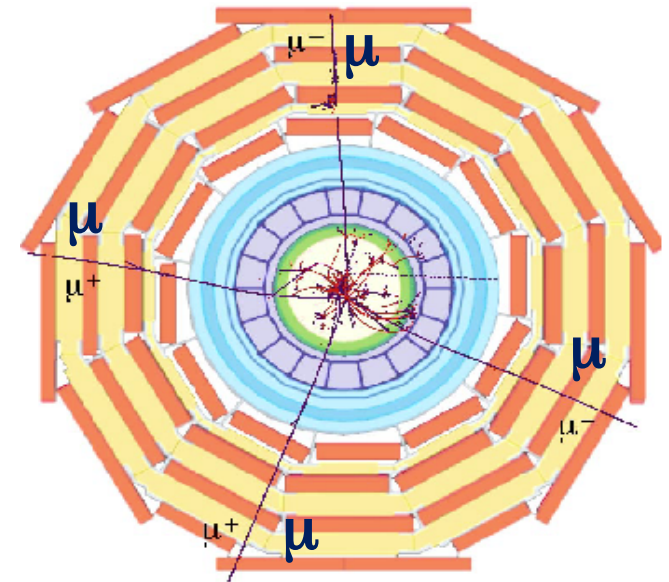
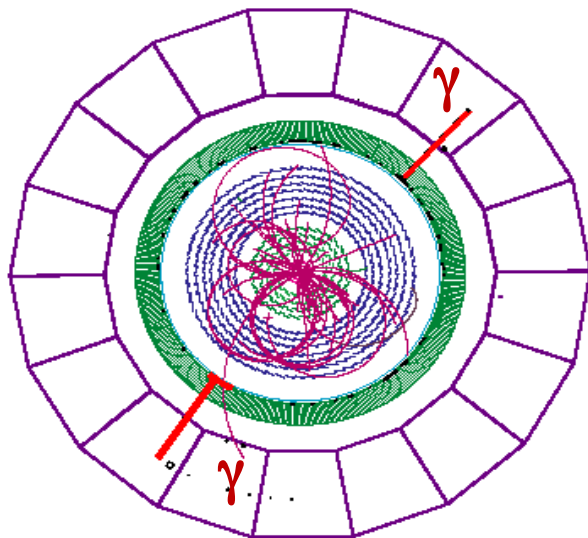
I rivelatori quando sono attraversati da una particella rilasciano un **segnale elettrico** che fornisce informazioni riguardo la loro: **posizione 3D, energia, tempo di passaggio, carica elettrica**.



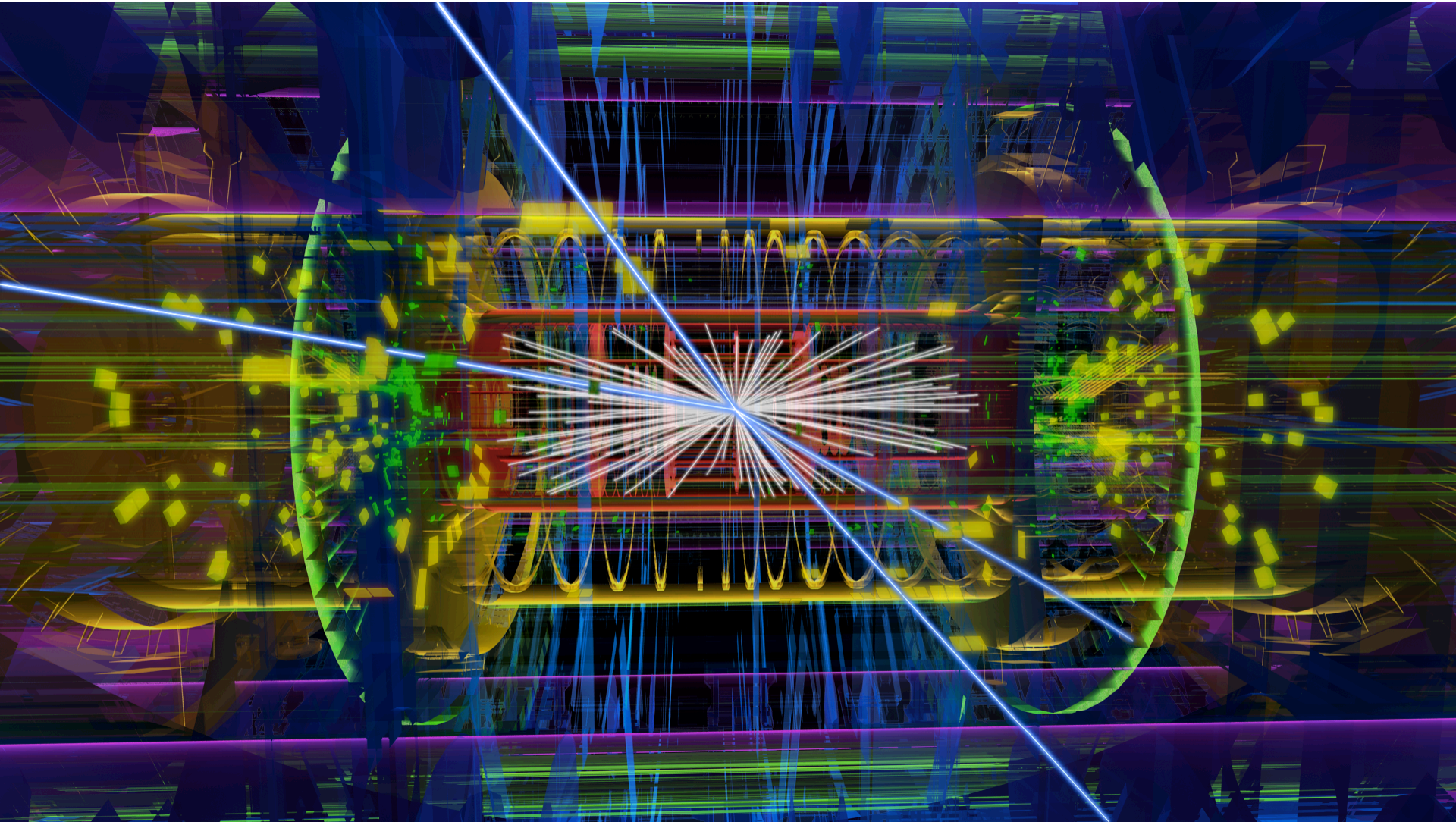
# Come vediamo noi un bosone di Higgs



- Il Bosone di Higgs ha una vita media piccolissima e quindi non può essere "fotografata".
- Quando decade/muore emette però delle figli/particelle visibile come fotonio elettroni o muoni.
- Quindi noi cerchiamo eventi in cui i figli possano provenire dall'Higgs.



# Bosone di Higgs nei rivelatori di CMS





# Sito di CMS nel 1999

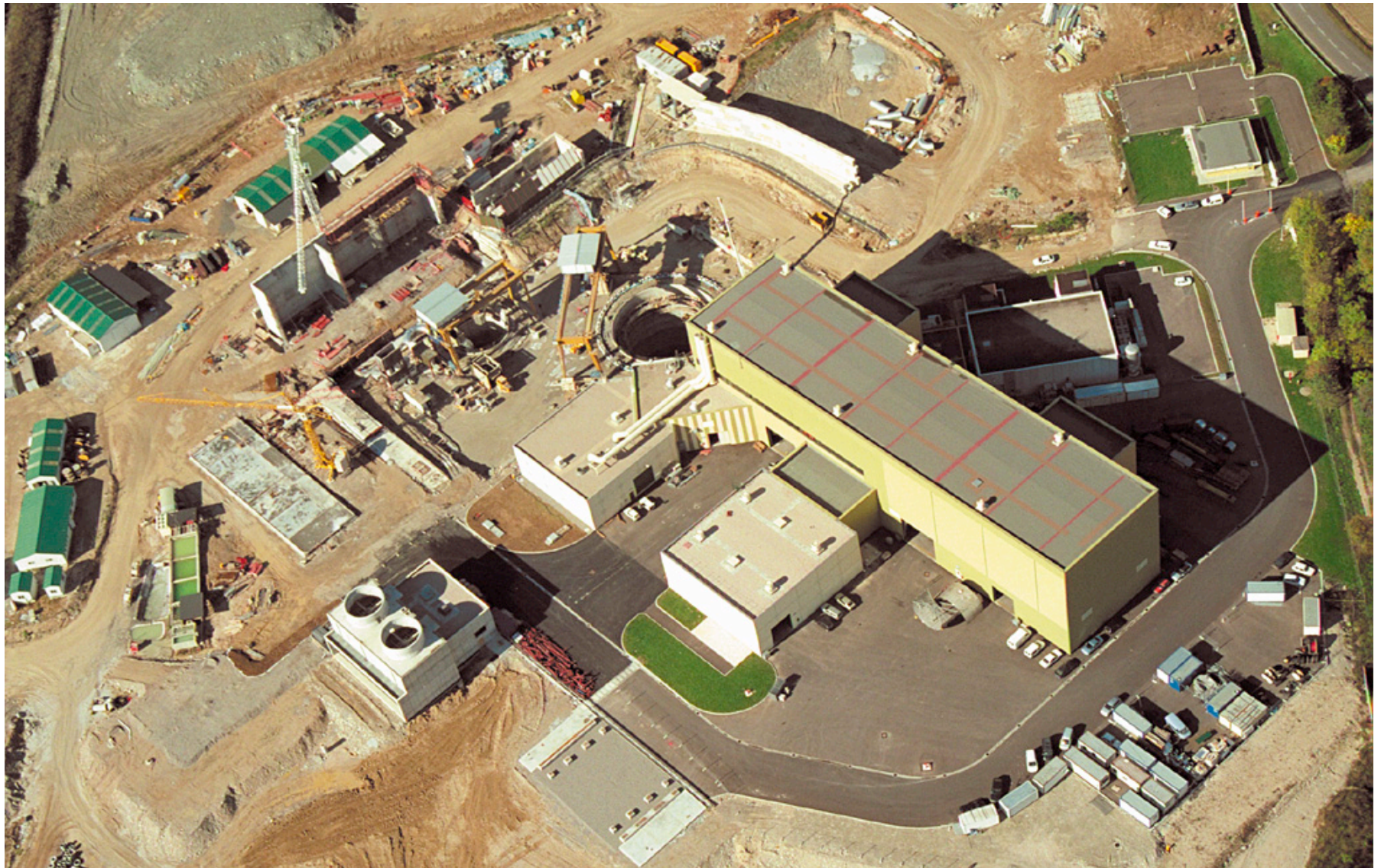


La progettazione iniziò nel 1990  
Il progetto fu finanziato poco dopo





# Sito di CMS nel 2000



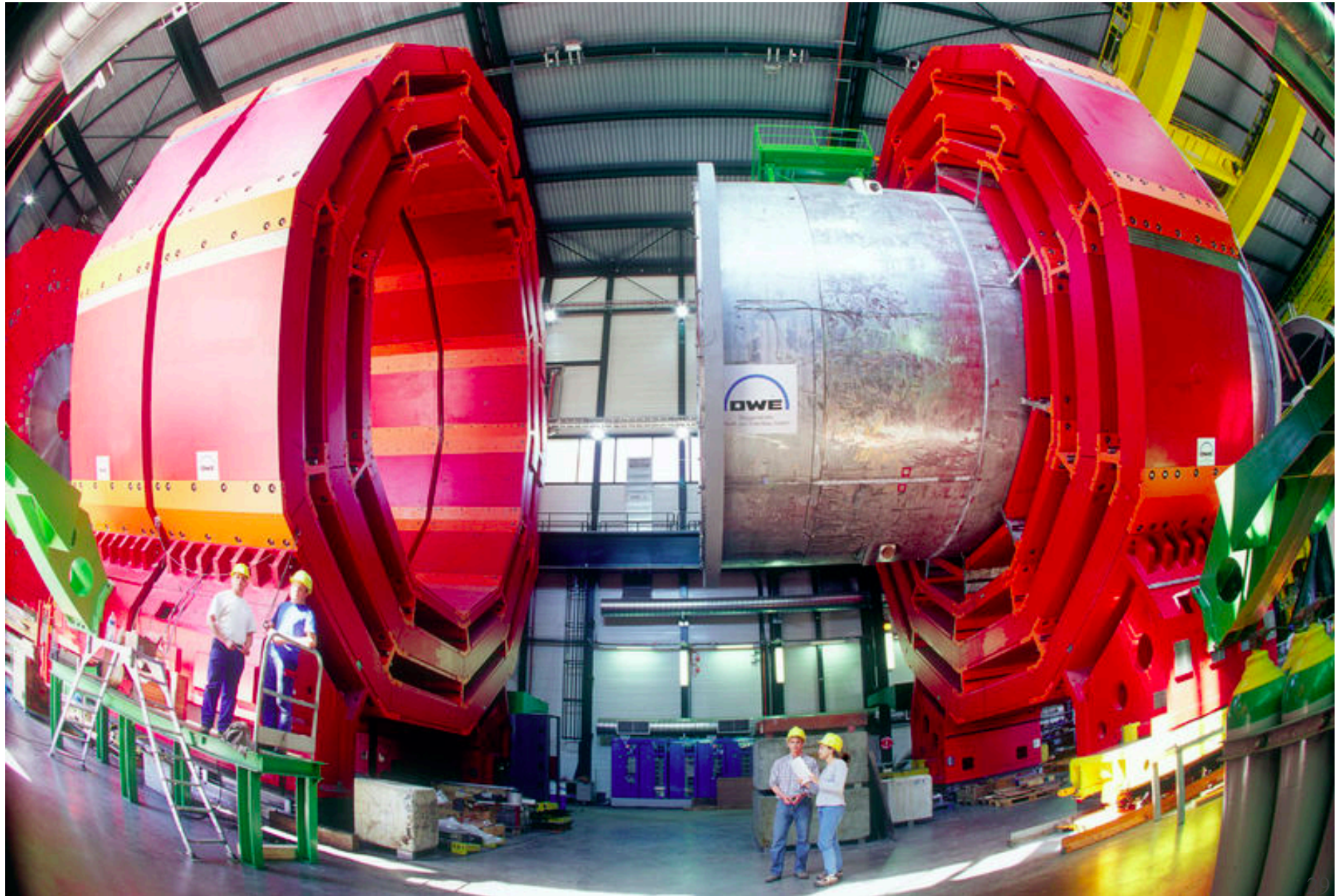


# Strutture di supporto



- CMS usa più 10.000 tonnellate di acciaio – Torre Eiffel ne usa 7.000
- I supporti costruiti in Pakistan e spediti al CERN via nave/tir

# Ferro di ritorno del campo magnetico (2003)



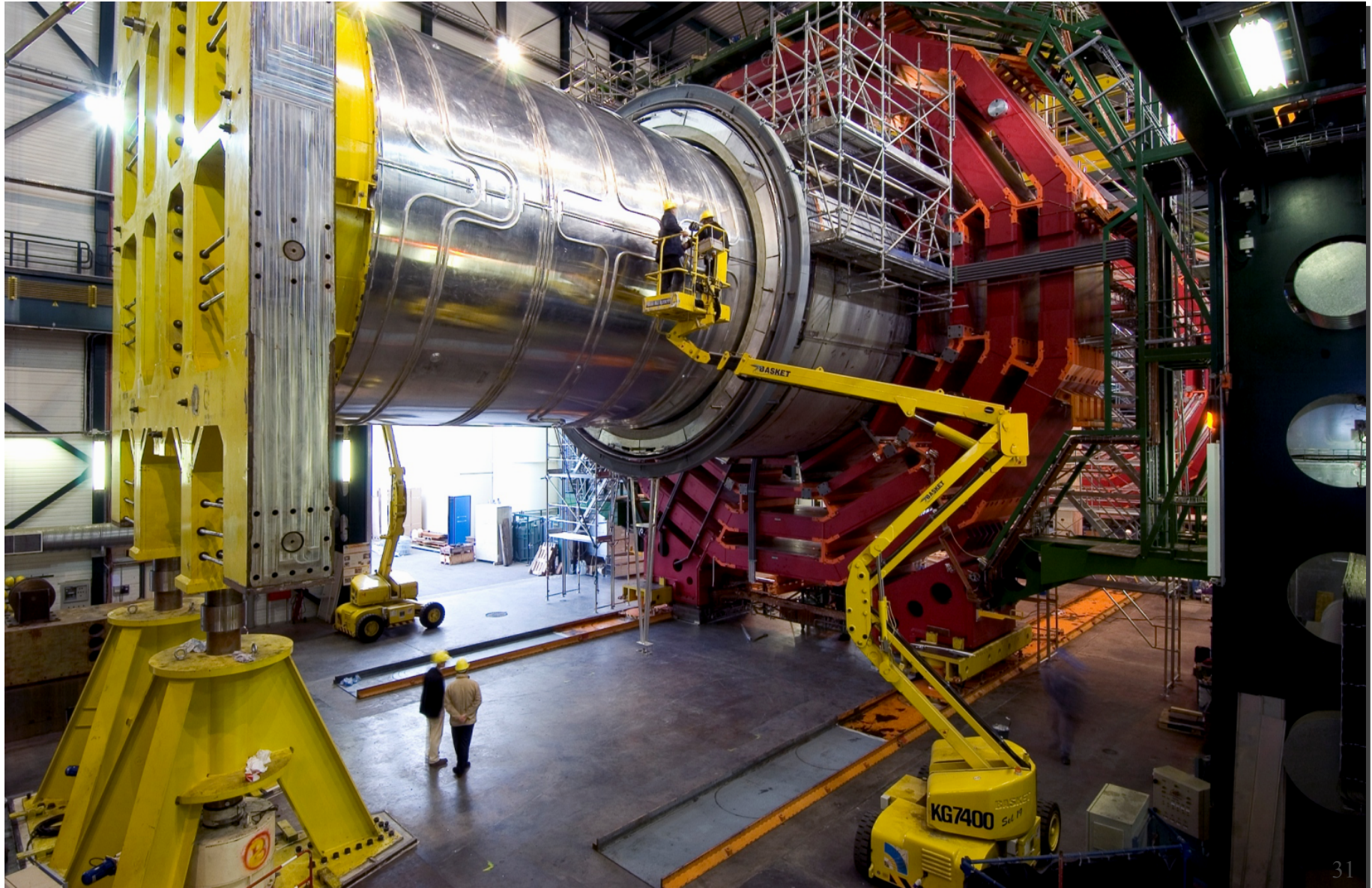


# Come arrivare a Ginevra !!



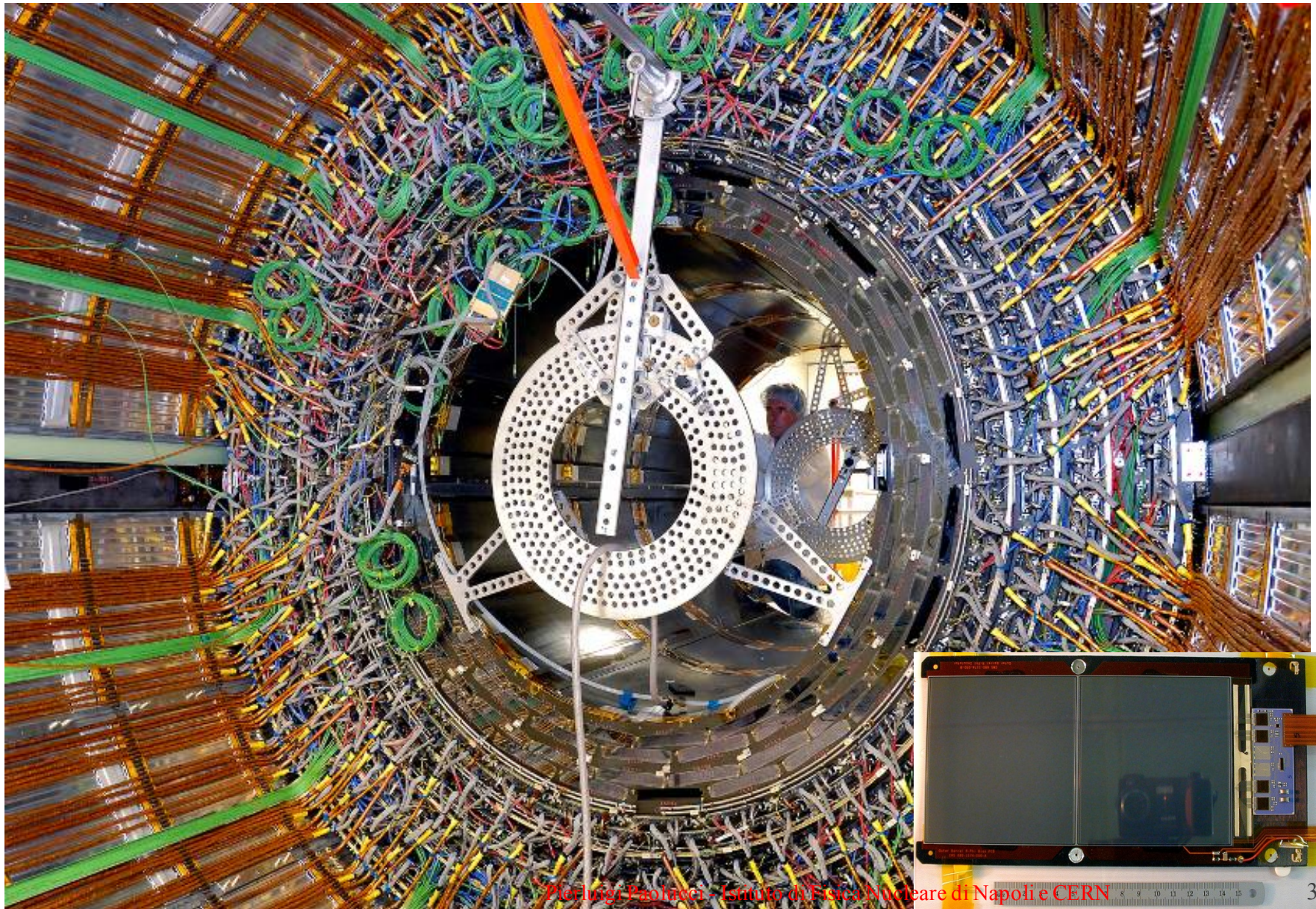


# Assemblaggio del solenoide (2004)





# Tracciatore a silici



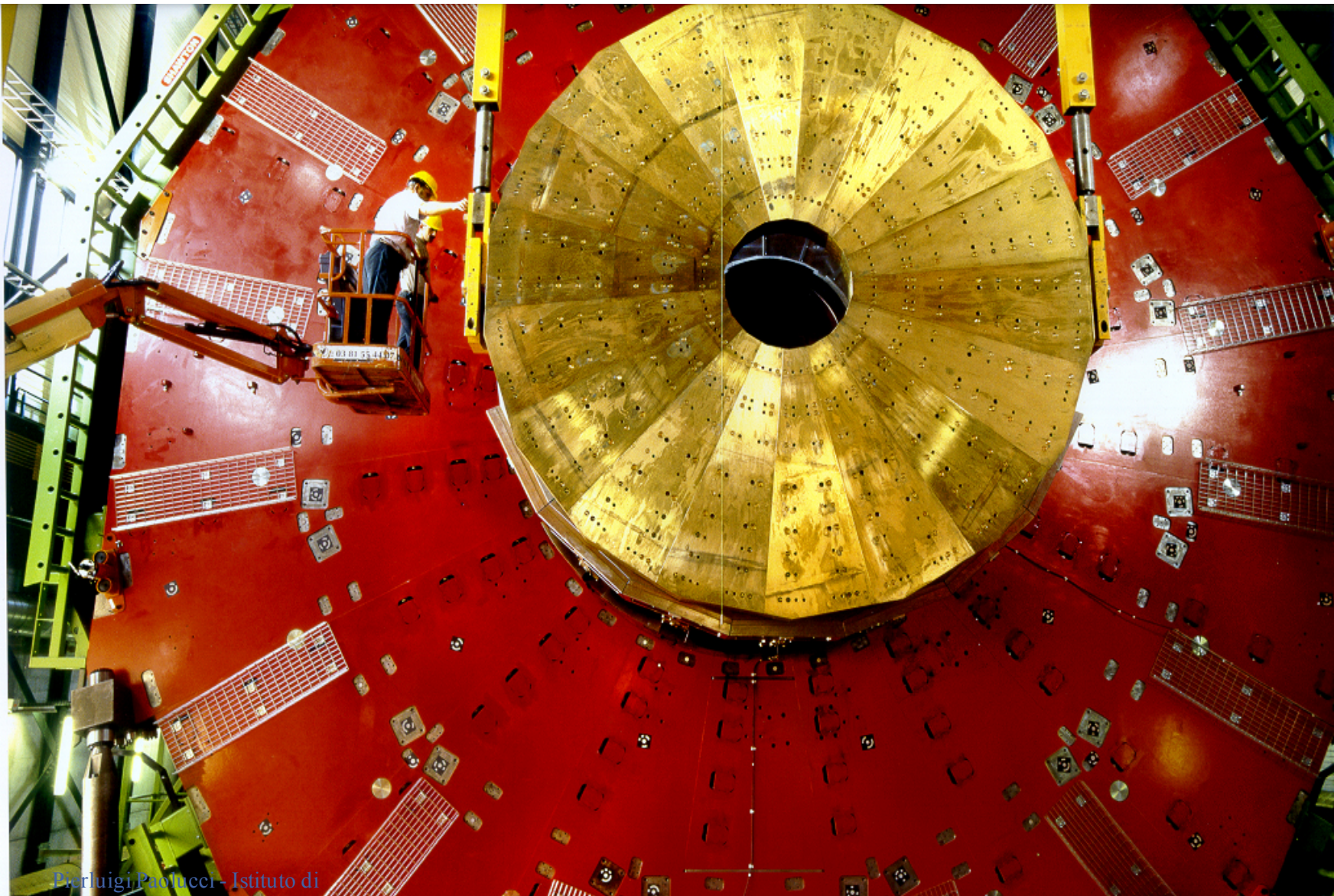


# L'inventiva dei fisici – come risparmiare





# HCAL Endcap





# Caverna di CMS



**2003**



**2004**



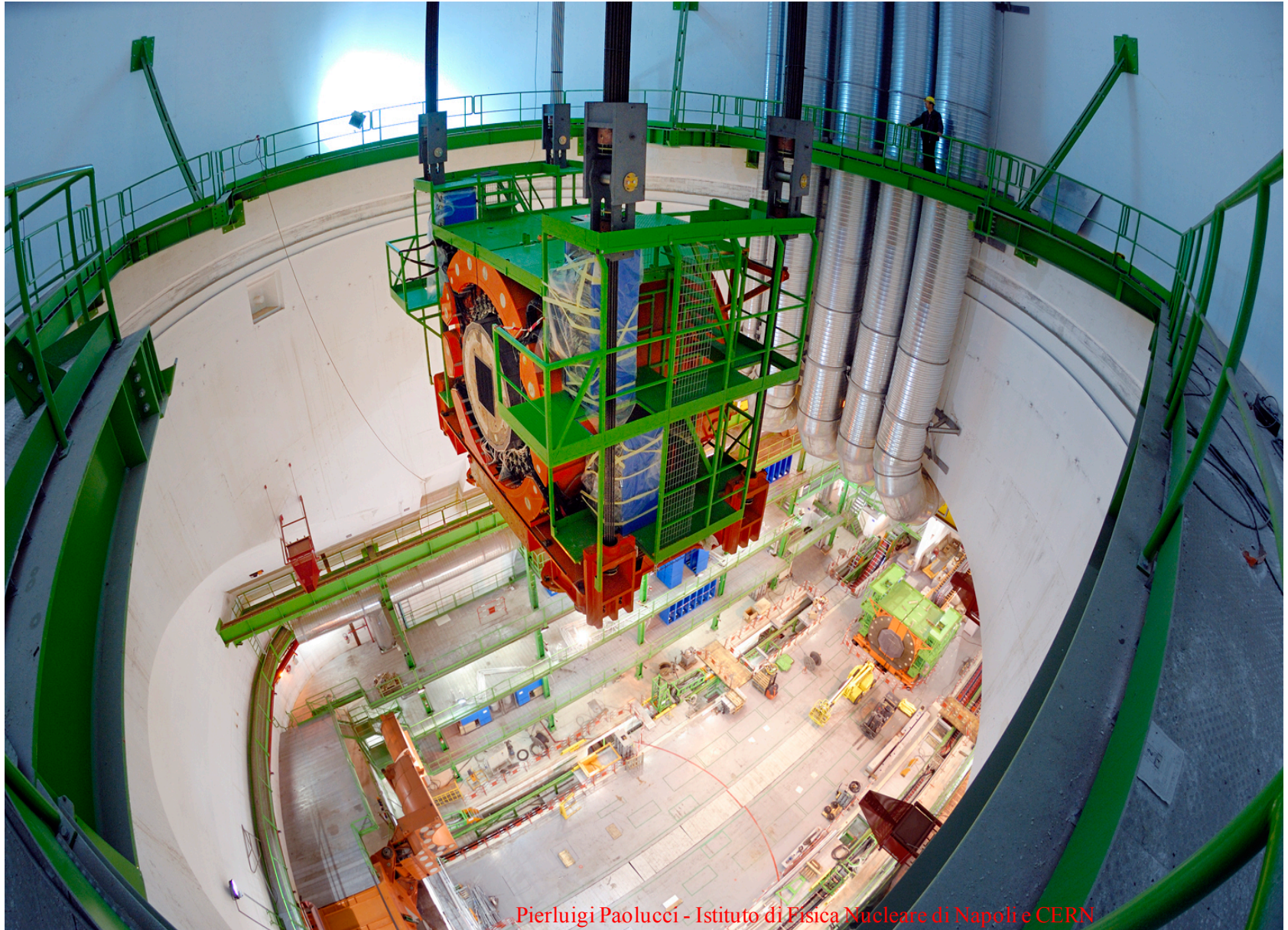


# Test di sicurezza in caverna





# Scende il primo pezzo (2006)



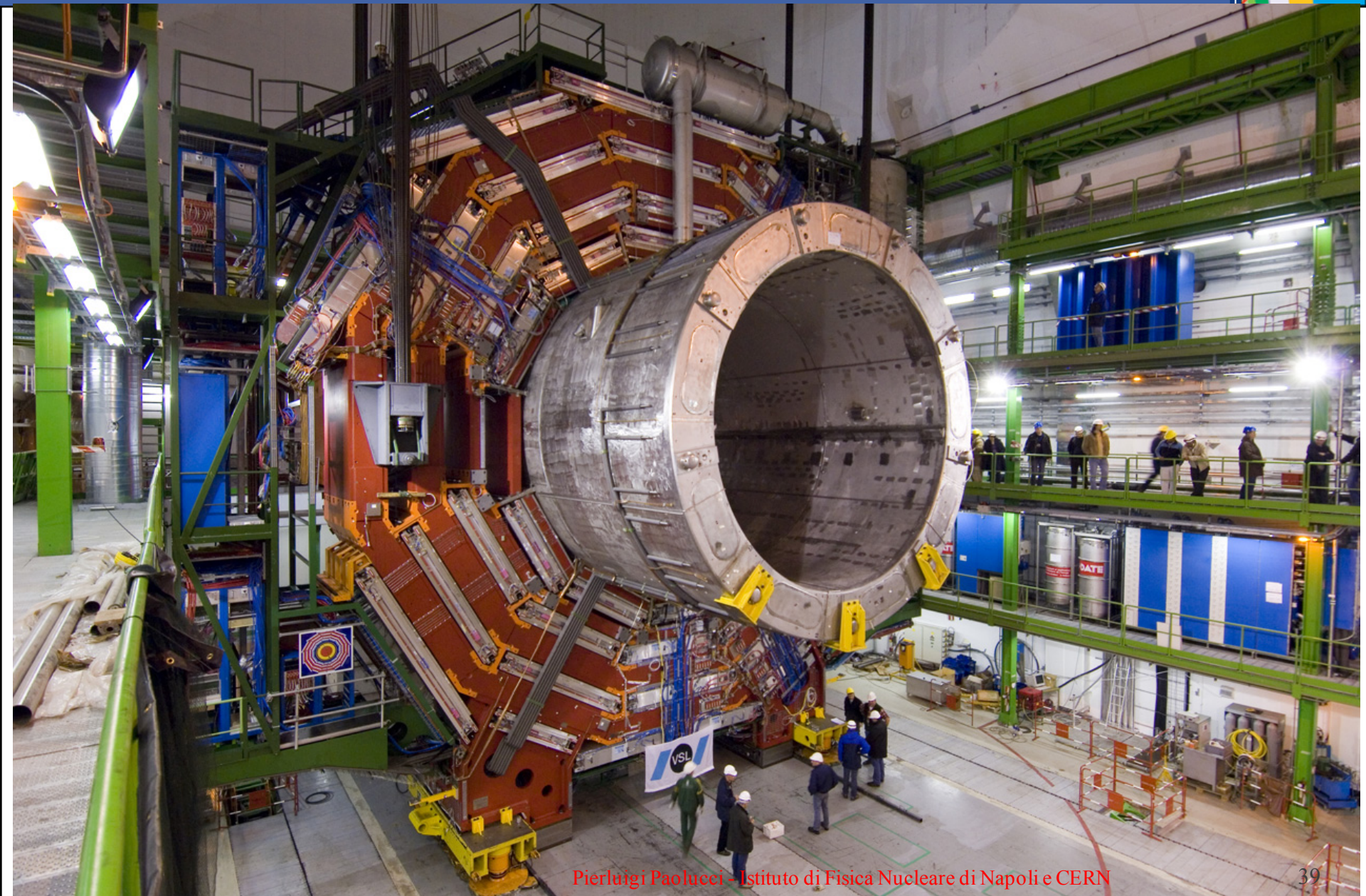


# La sala sperimentale vuota (2006)



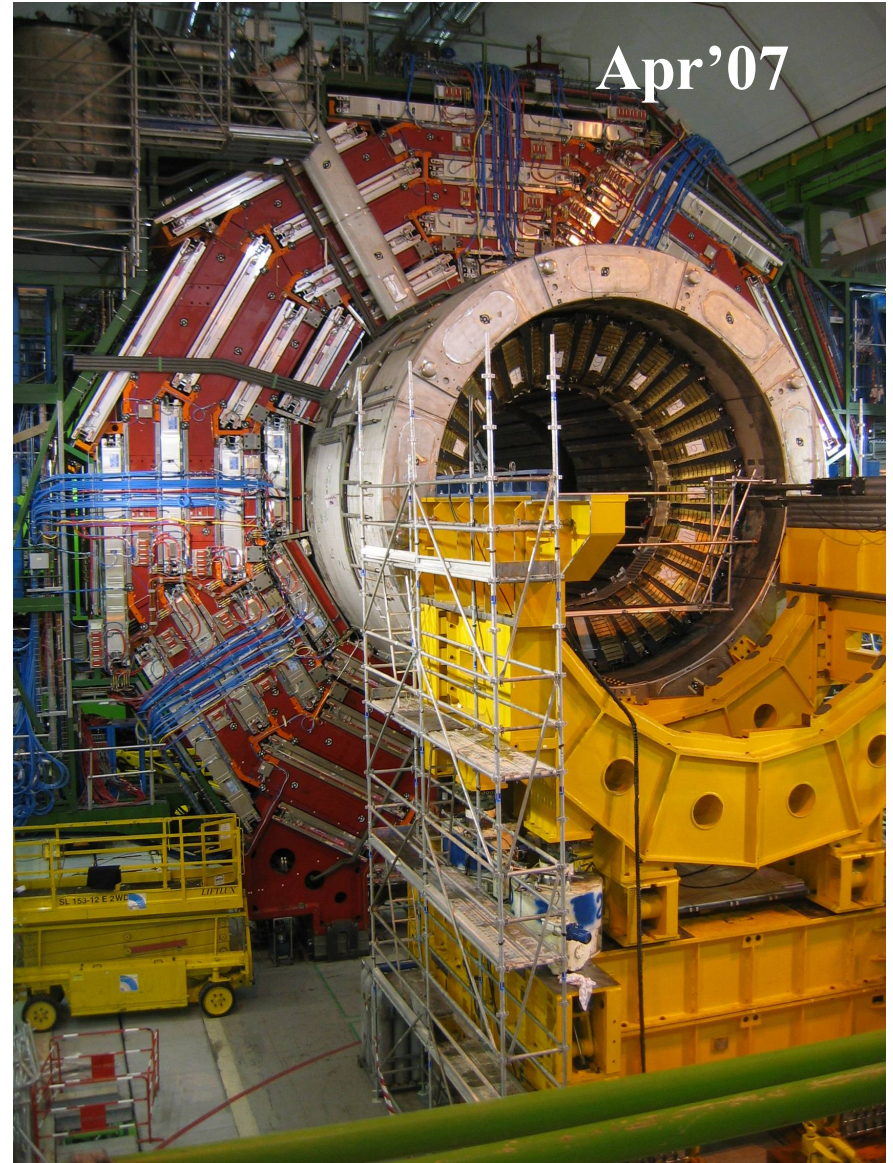
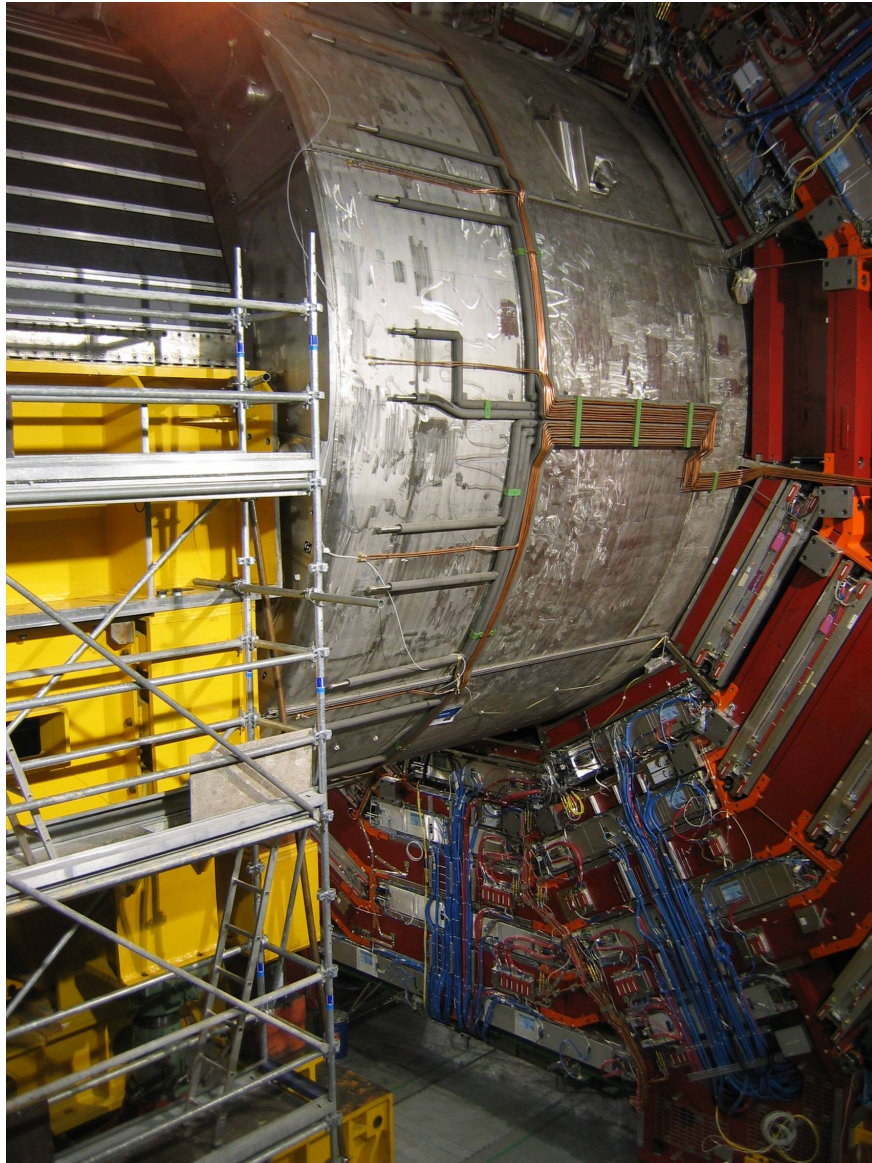


# Il pezzo più grande è giù (2006)



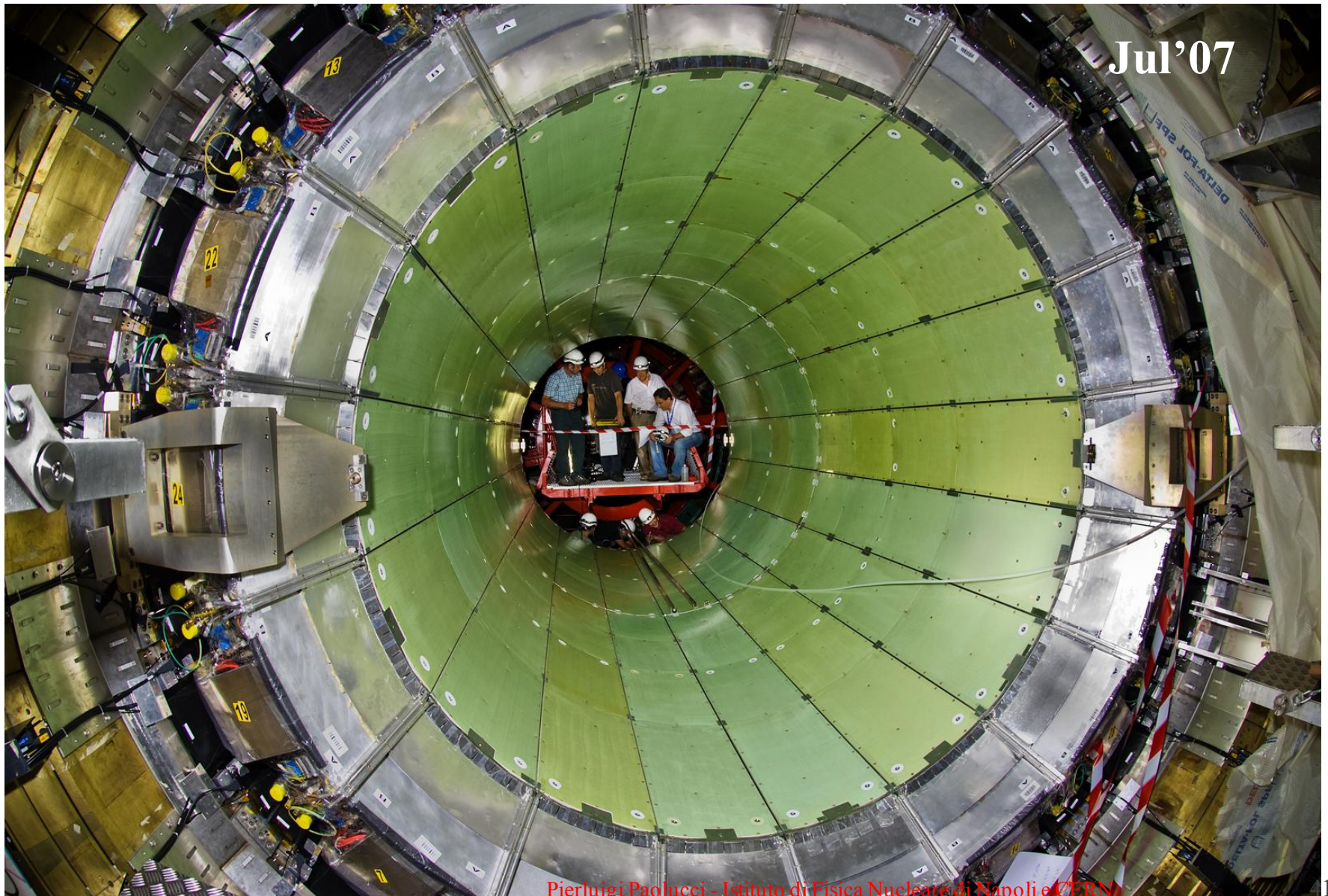


# Installazione di HCAL nel solenoide (2007)



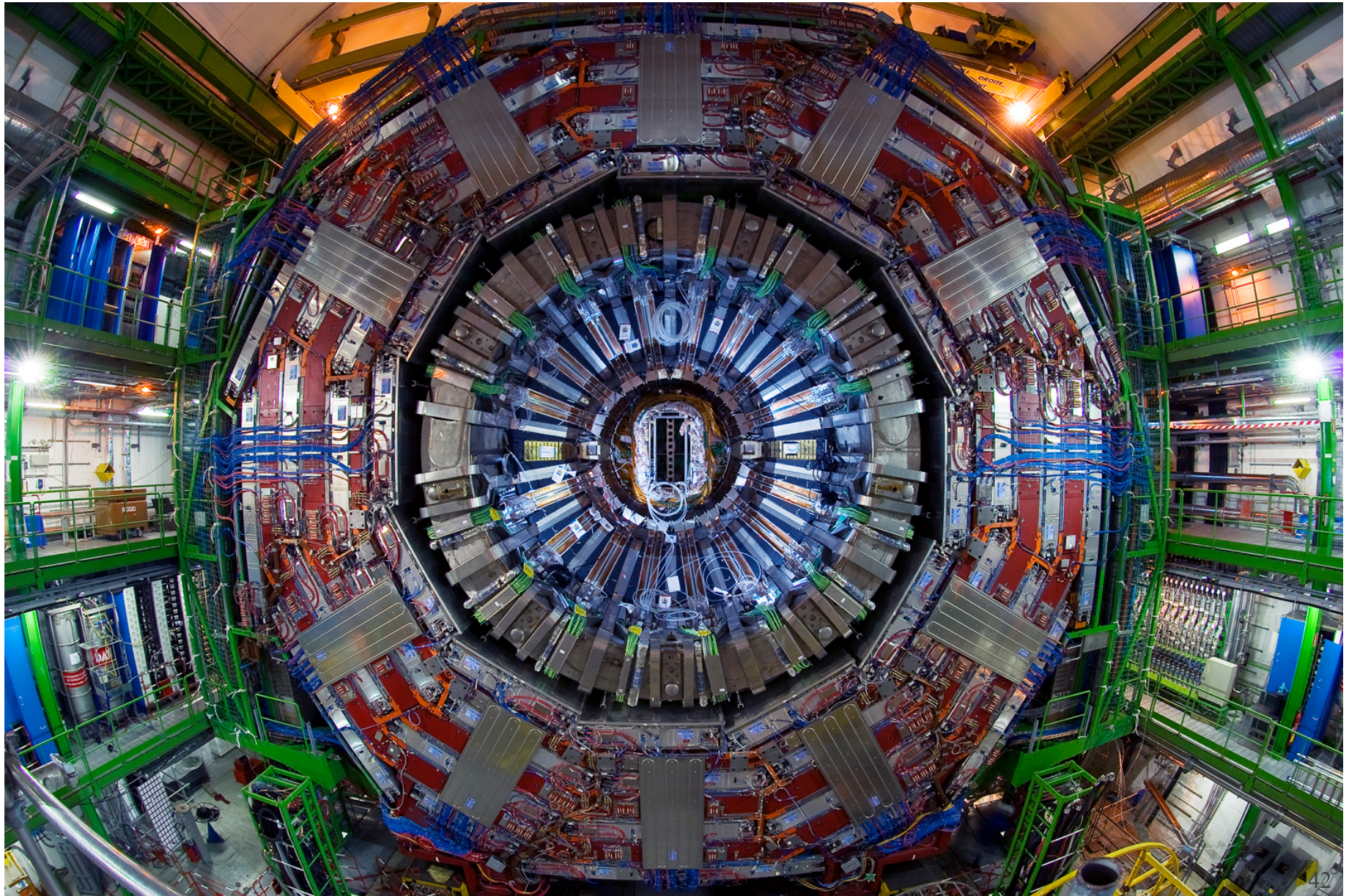


# Installazione di ECAL (2007)





# Installazione del tracciatore (dec 2007)





# Ora è tutto completo !

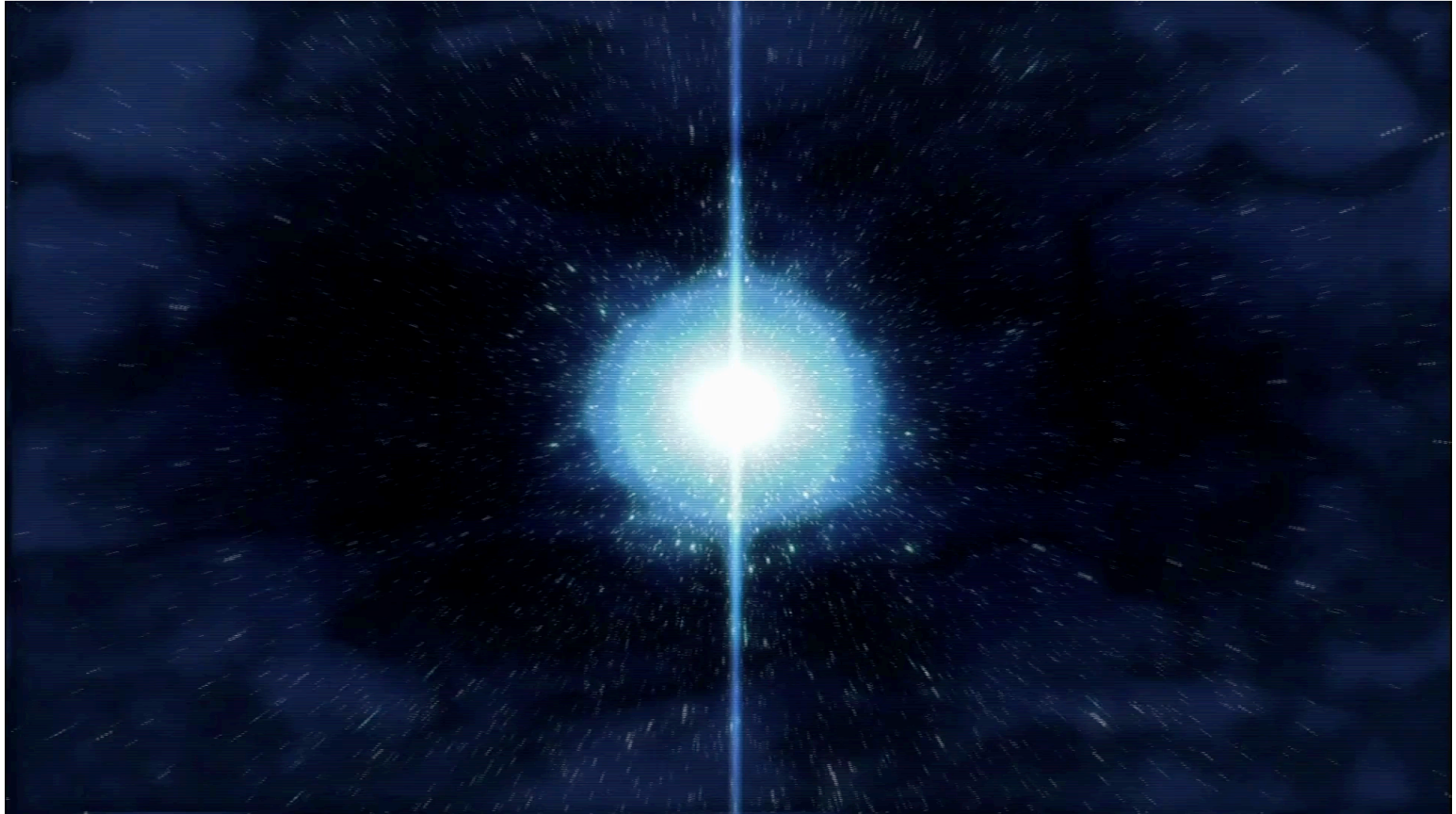


Dic. '07





# Scoperta del Bosone di Higgs (2012)









## The Nobel Prize in Physics 2013

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics for 2013 to

**François Englert**

Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

**Peter W. Higgs**

University of Edinburgh, UK

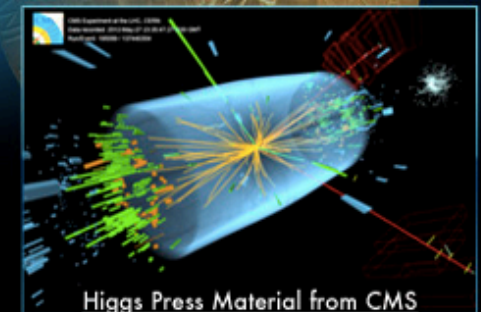
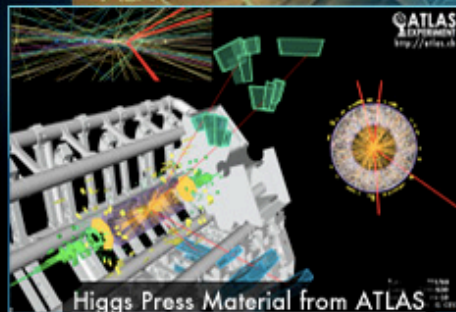
*“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”*

Congratulations to Professors

**François Englert & Peter Higgs**

for the

**2013 Nobel Prize in Physics**



- Il bosone di Higgs fu introdotto dal fisico P. Higgs (1964) per spiegare perché tutte le cose hanno una massa.
- Ci abbiamo messo circa 50 anni (2013) per scoprire questa particella fondamentale.
- La costruzione di LHC e CMS è durata 20 anni.
- E' stata la sfida più incredibile fatta nel 21 secolo ma non sarà l'ultima.



- Senza i filosofi, chimici e fisici del passato tutto ciò non sarebbe mai potuto accadere.
- Studiare la storia e il passato ci rende differenti da tutti gli altri.
- Avere una passione e portarla avanti senza paure e con entusiasmo è tutto nella vita di uno scienziato.

# ....basta ? No, non basta !



Quello che sappiamo del nostro Universo è solo una piccolissima parte.

Sappiamo solo che il 5% è composto di materia ordinaria, ovvero particelle

Del 95% restante sappiamo ben poco come vedremo nella prossima presentazione

