

Art & Science

Liceo Virgilio 01/03/2023

Paolo Bagnaia



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



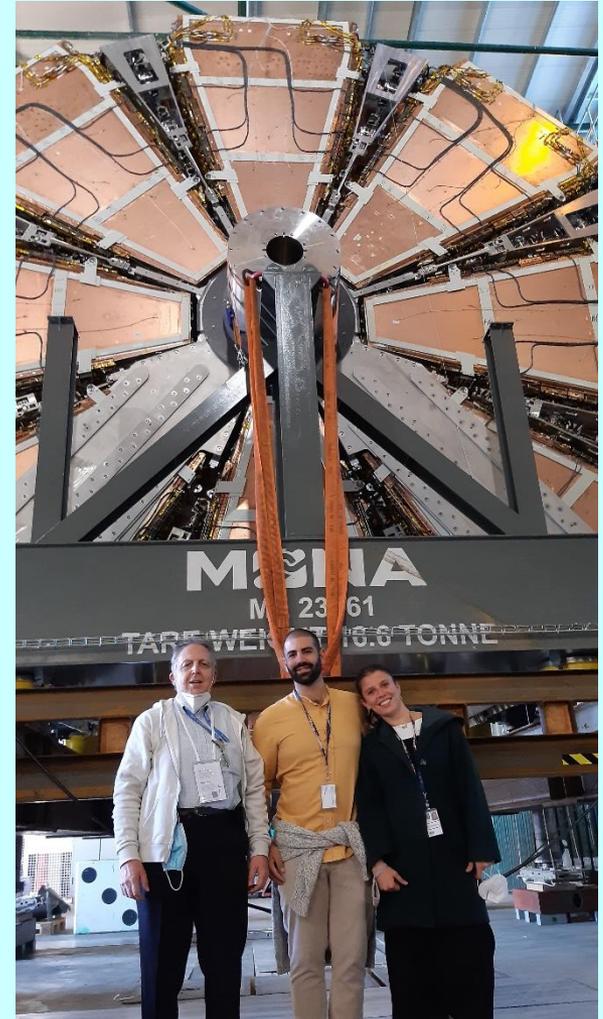
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Roma

Introduzione

Cosa e come:

- 1) **Art & Science** : considerazioni personali
- 2) Un esempio di "Big Science" : the Higgs boson discovery
- 3) Le grandi collaborazioni scientifiche: pro e contro (e inevitabilità)
- 4) ... e i giovani ricercatori ? (anche quelli che vengono dal classico ?)

- *le slide in inglese vengono dai miei corsi della laurea magistrale oppure da pubblicazioni*
- *quelle in italiano da questo seminario o da altre presentazioni divulgative*
- *domande in linea (aka interruzioni) benvenute: **coraggio !!!***
- *le frasi **xxx** indicano possibili approfondimenti*



**CERN 14/10/2021 – exp. ATLAS
con due giovani ricercatori romani**

Art & Science: considerazioni di un non-specialista

- imho* la teoria delle "due culture" è un'autodifesa di una società scientificamente arretrata
- nel passato arte [A] e scienza [S] sono state quasi sempre congiunte
- innumerevoli esempi di opere d'A ispirate dalla S (vedi seguito)
- ... e di teorie della S suggerite da considerazioni estetiche (da Platone a Maxwell e Dirac, alle teorie moderne)
- oggi nessuno dubita che A abbia grande capacità euristica
- ... anche se forse non si può dire che "tutto il vero è bello e tutto il bello è vero" (*parafrasando Hegel* ?)
- perciò *imho* A e S restano distinte
- A nasce in un determinato contesto socio-culturale, ed è soggettiva
- ... ma i classici sono universali e perenni (*siamo in un liceo "classico"*)
- S è universale e oggettiva ... forse ...
- meglio: S è una continua ricerca della "verità", è oggettiva e migliora
- "oggettiva" = riproducibile
- "migliora" = nel tempo descrive più fenomeni con più precisione
- **A e S sono distinte, ma correlate, in un perenne "circolo non-vizioso".**

*imho = "in my humble opinion" =
= una mia opinione, non condivisa da tutti.

Art & Science: indovinate l'autore (1)



Cave of Altamira, Cantabria, Spain

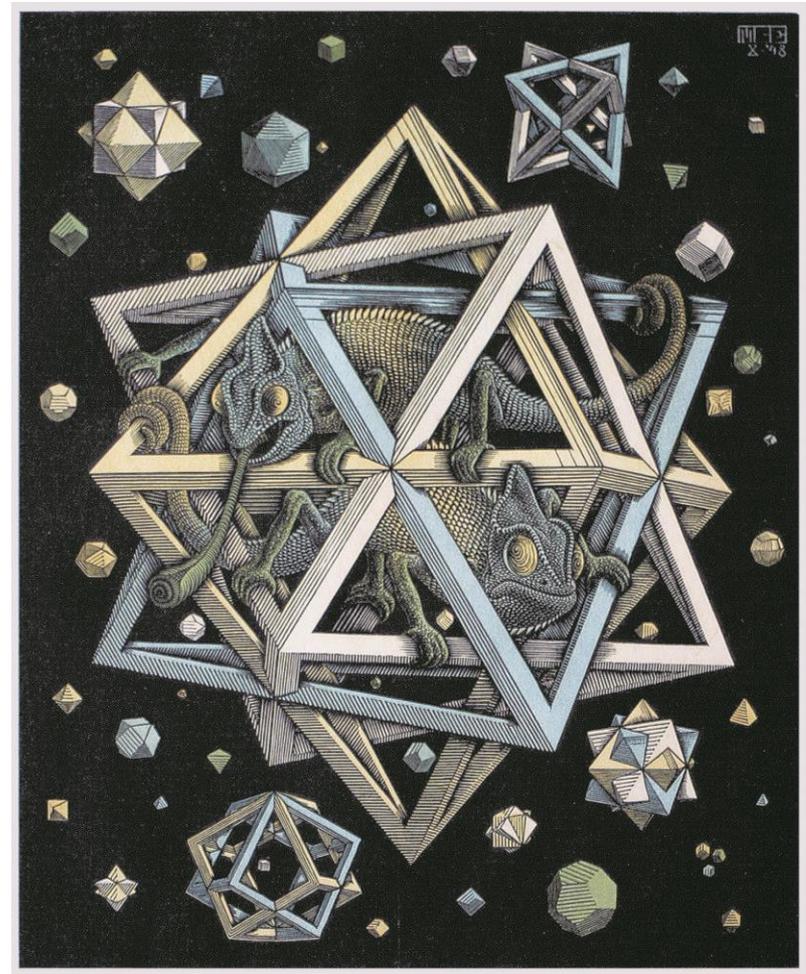
Arte, biologia, manuale di caccia ? la domanda ha senso ?



Art & Science: indovinate l'autore (2)



God the Geometer, Frontispiece of Bible
Moralisee Codex Vindobonensis 2554
(French, ca. 1250) [Österreichische
Nationalbibliothek]



M.C. Escher - Stars



Art & Science: indovinate l'autore (3)



Jan Bruegel the Elder and Hendrick de Clerck – Abundance and the Four Elements – 1606 – Prado Museum



Jacopo Robusti (Tintoretto) - The Forge of Vulcan, ca. 1578 Palazzo Ducale - Venice



Art & Science: indovinate l'autore (4)



Atlas, II sec AD – Naples

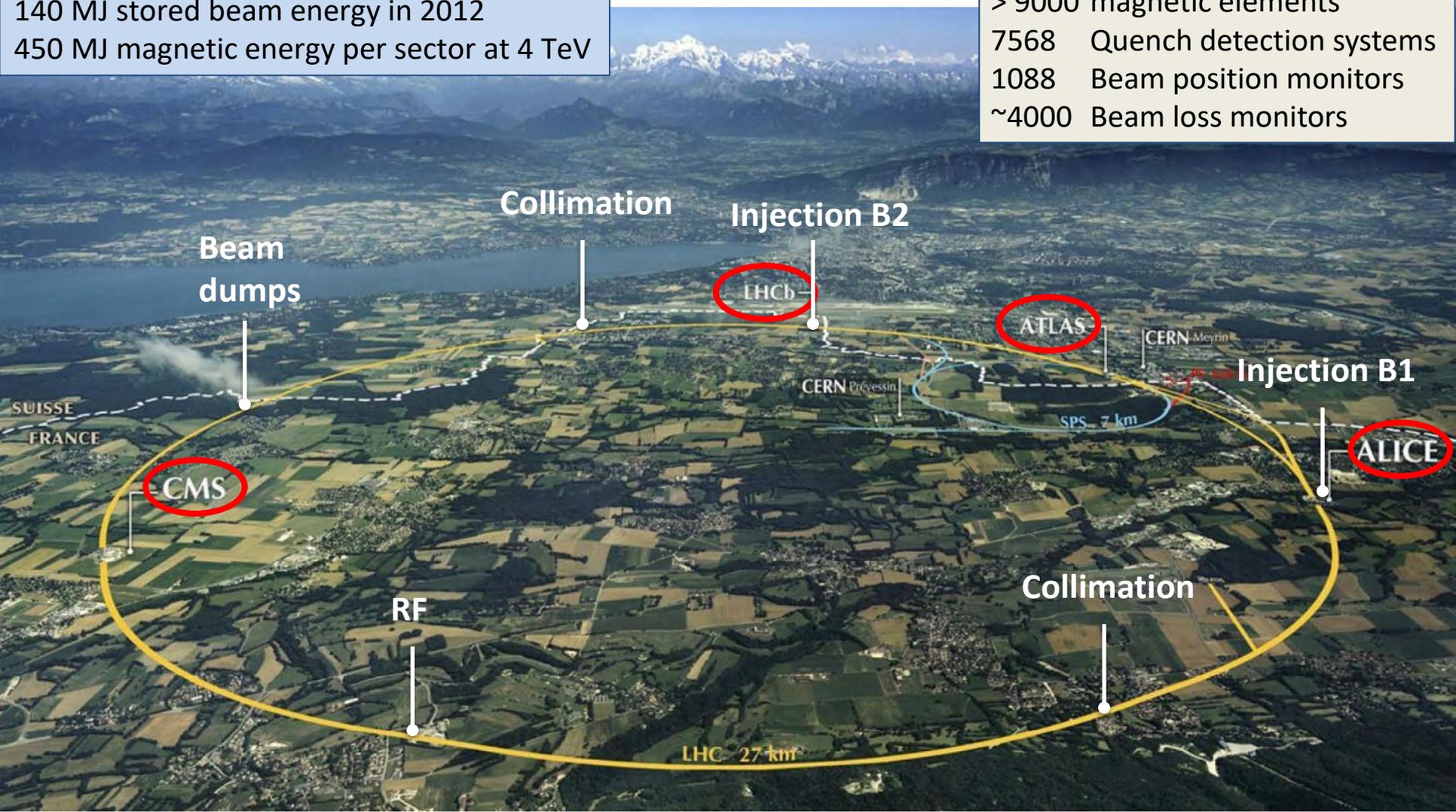


Salvador Dalí, 1954 – Met New York

The LHC Collider

150 tonnes Helium, ~90 tonnes at 1.9 K
140 MJ stored beam energy in 2012
450 MJ magnetic energy per sector at 4 TeV

- 1720 Power converters
- > 9000 magnetic elements
- 7568 Quench detection systems
- 1088 Beam position monitors
- ~4000 Beam loss monitors



LHC

- "collisore" = accelera in senso opposto particelle con carica opposta (e^\pm , ex. LEP) o identica (p, ex. LHC)
 - ... e le "costringe" a scontrarsi in punti fissati, dove sono situati i rivelatori
 - nelle collisioni si possono¹⁾ formare nuove particelle
 - la velocità (meglio, l'energia) delle particelle determina la massa disponibile per le nuove particelle: energia maggiore = maggiore massa ($E=mc^2$)
 - quindi, si cerca di costruire collisori sempre più potenti, grandi, (ohimè) costosi
 - potenti campi magnetici mantengono le particelle in orbita circolare, e cavità a radiofrequenza le accelerano quando vi passano
- LHC è il collisore più potente oggi esistente la mondo, con energia fino a 14 TeV (= $14 * 10^{12}$ eV)
 - i due esperimenti più grandi di LHC si chiamano ATLAS²⁾ e CMS; in entrambi c'è un gruppo della Sapienza³⁾

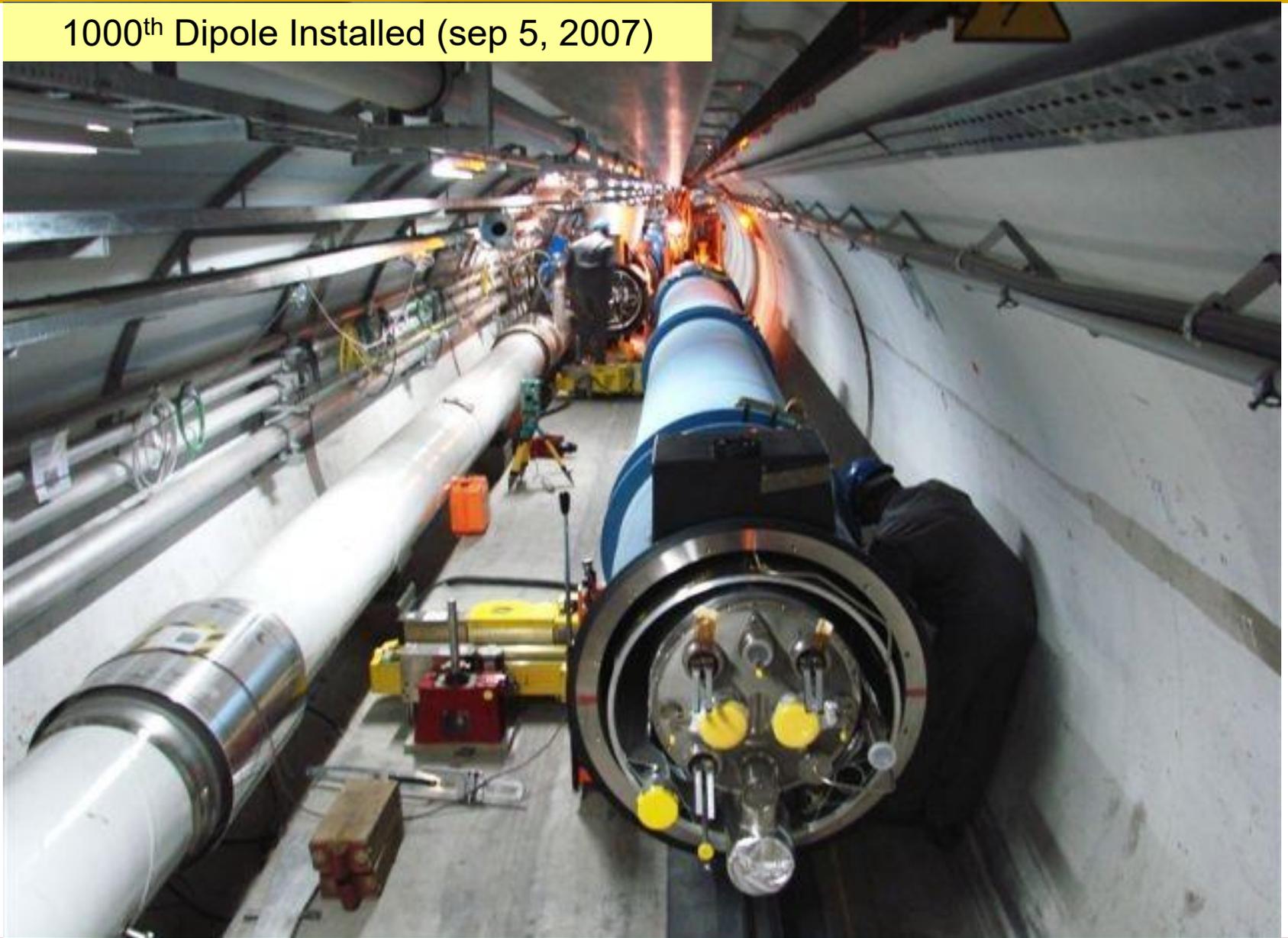
1) "possono" : la meccanica quantistica non è deterministica, ma probabilistica (e.g. i dadi della fisica classica)

2) io lavoro in ATLAS, ne sono un "socio fondatore" e sono stato per alcuni anni il capogruppo della Sapienza

3) ATLAS ha anche gruppi di TorVergata e Roma3

The LHC Collider: dipoles

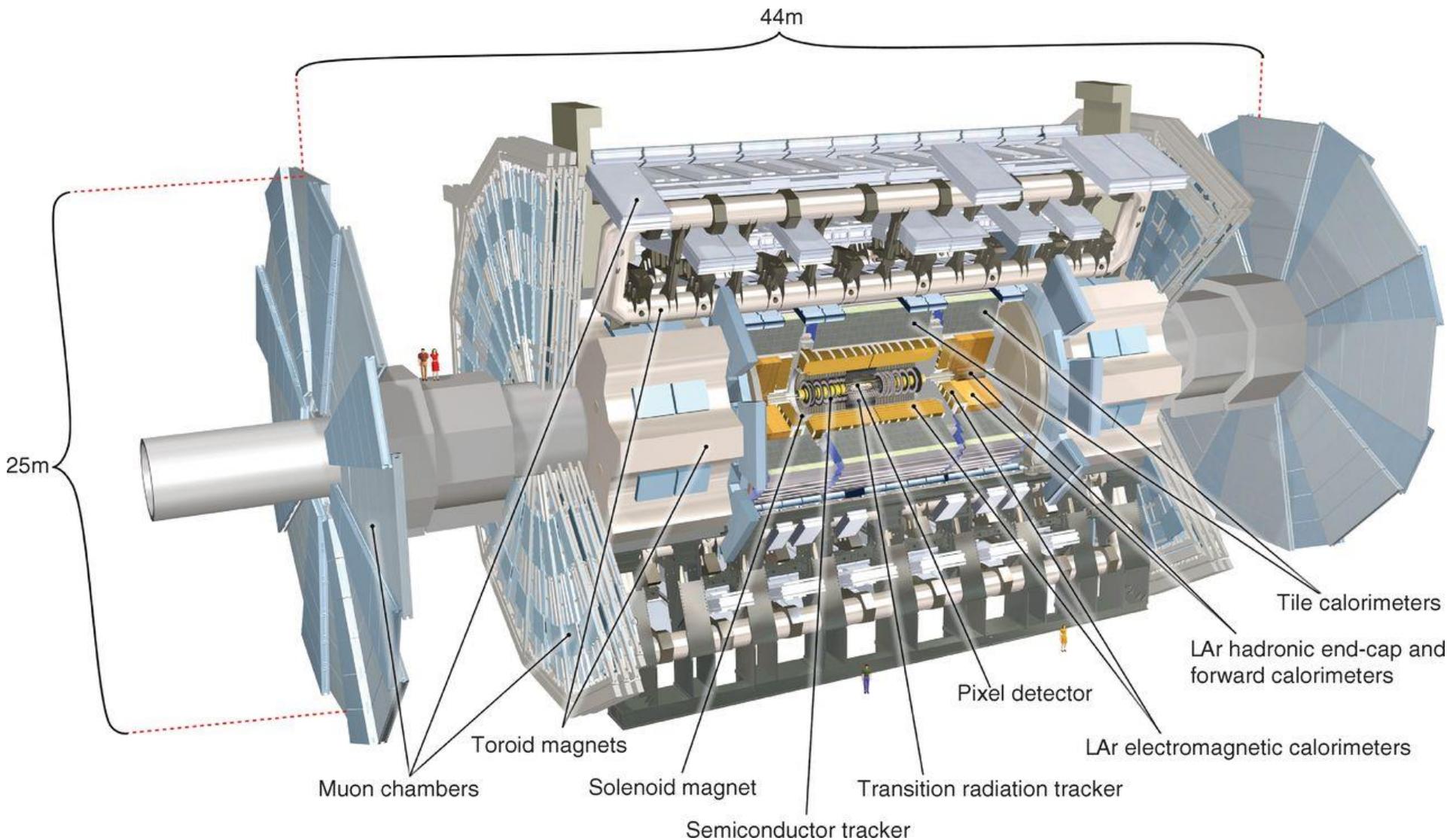
1000th Dipole Installed (sep 5, 2007)



The LHC Collider: a view

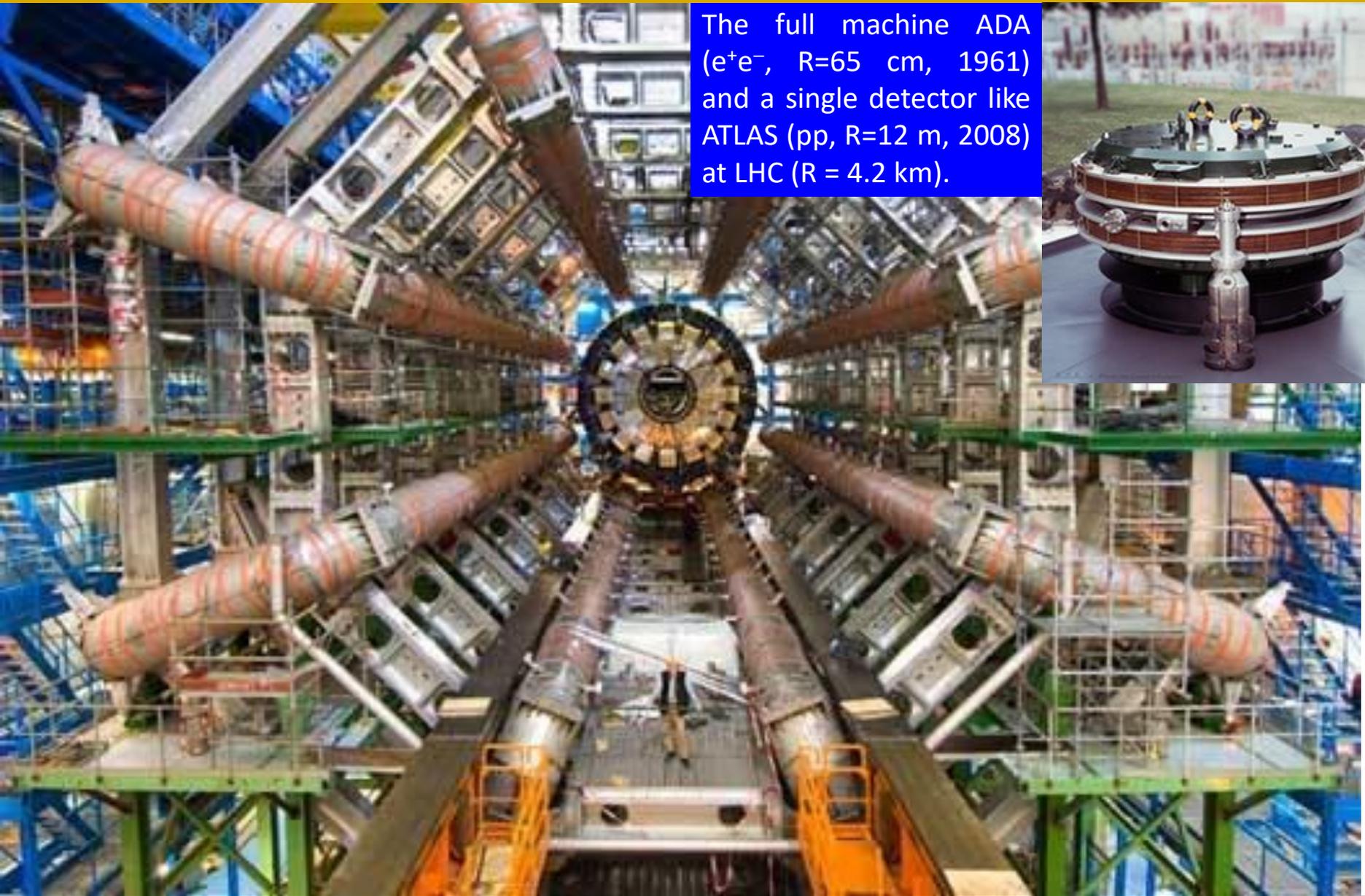


The ATLAS detector: scheme

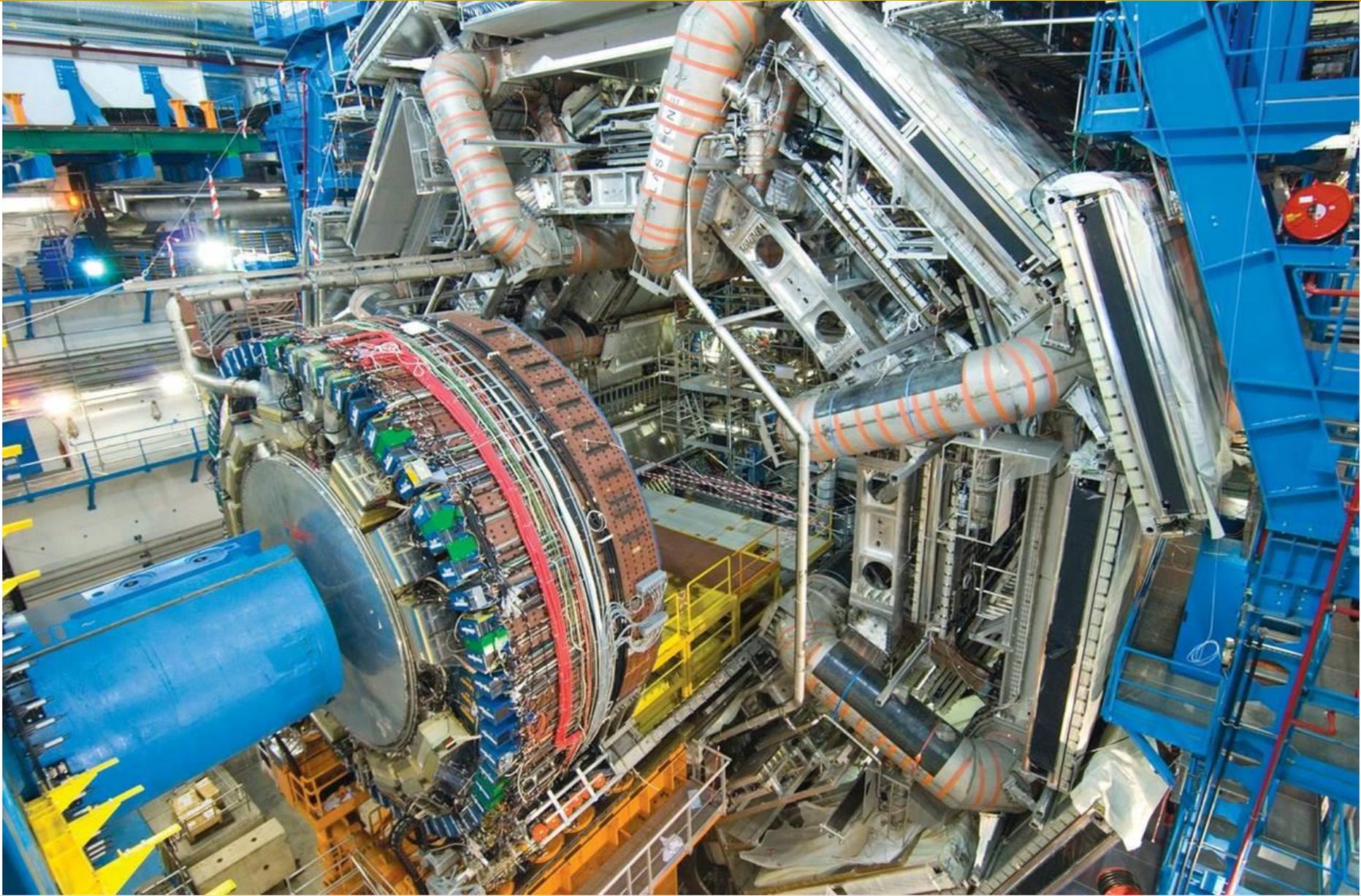


ATLAS at LHC (pp)

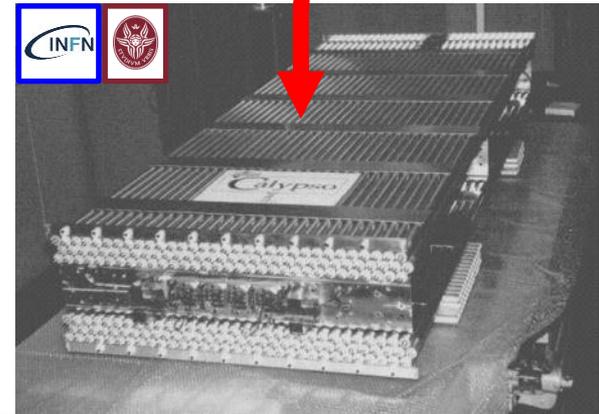
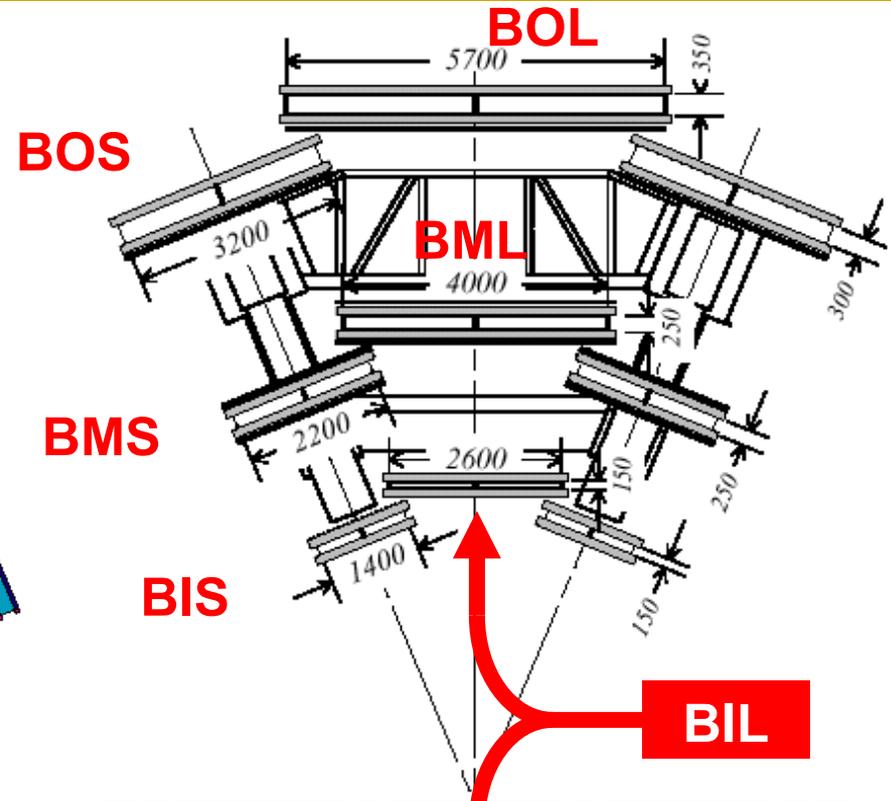
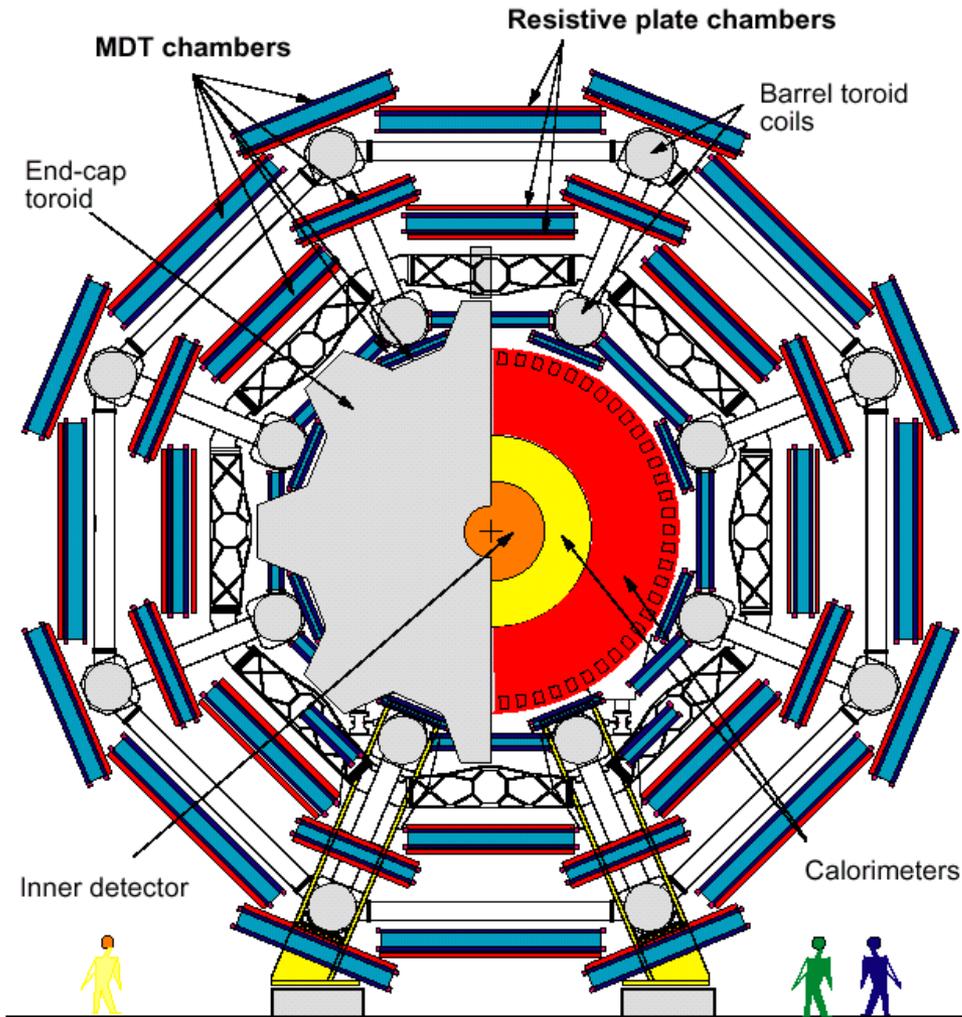
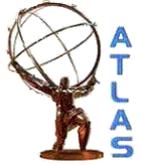
The full machine ADA (e^+e^- , $R=65$ cm, 1961) and a single detector like ATLAS (pp, $R=12$ m, 2008) at LHC ($R = 4.2$ km).



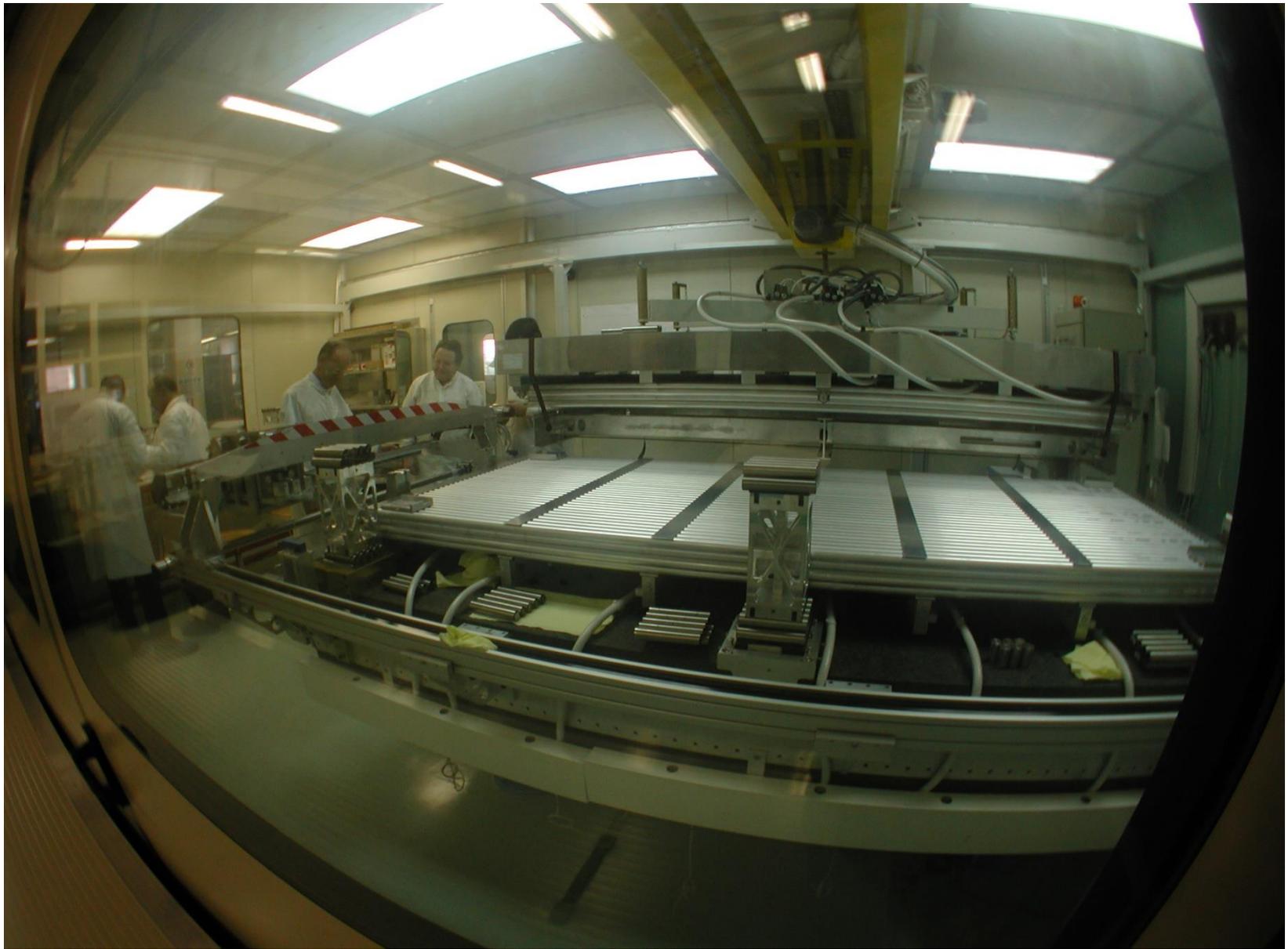
The ATLAS detector



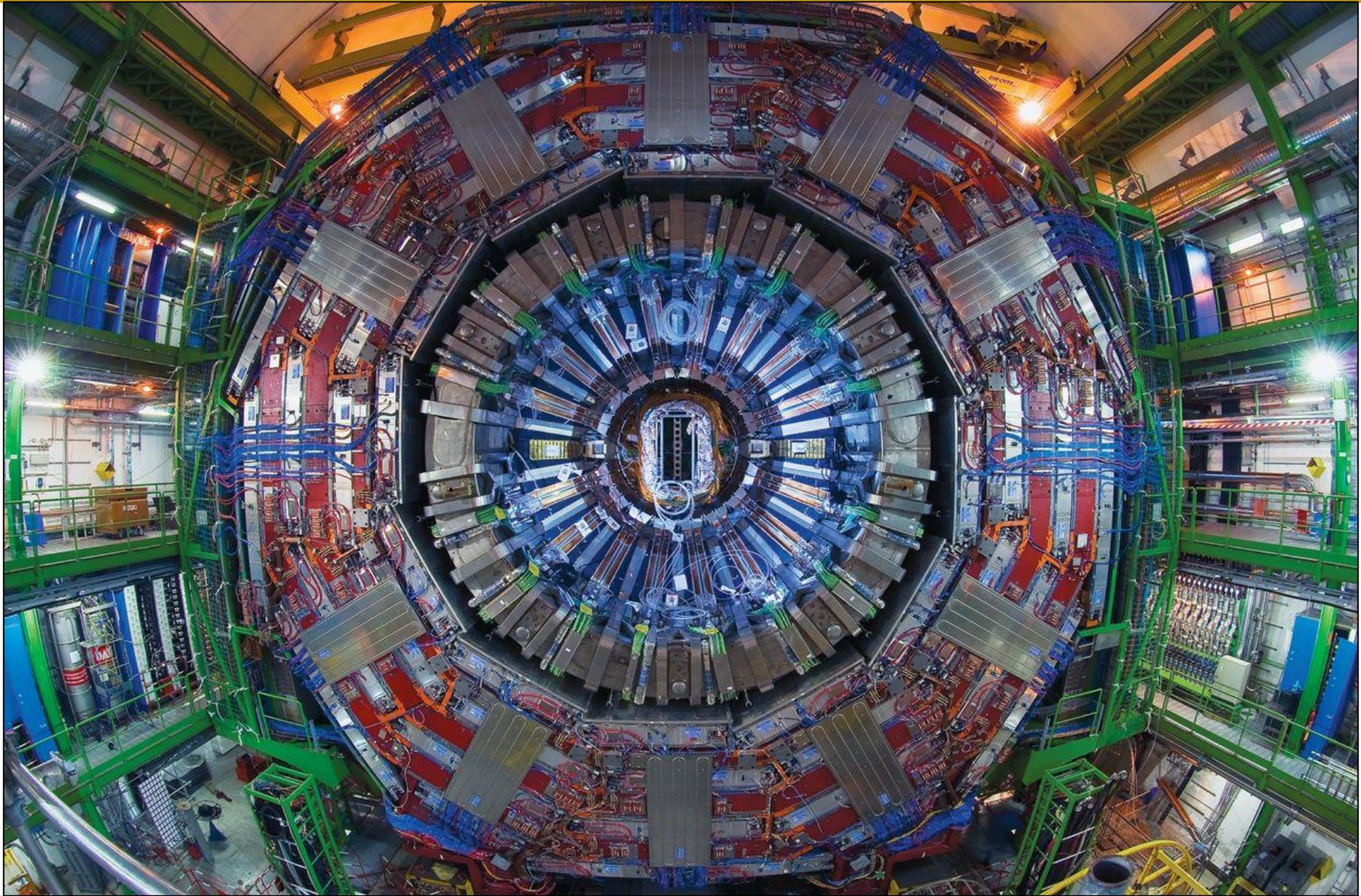
The ATLAS detector: μ spectrometer



A muon chamber for the ATLAS detector



The CMS detector

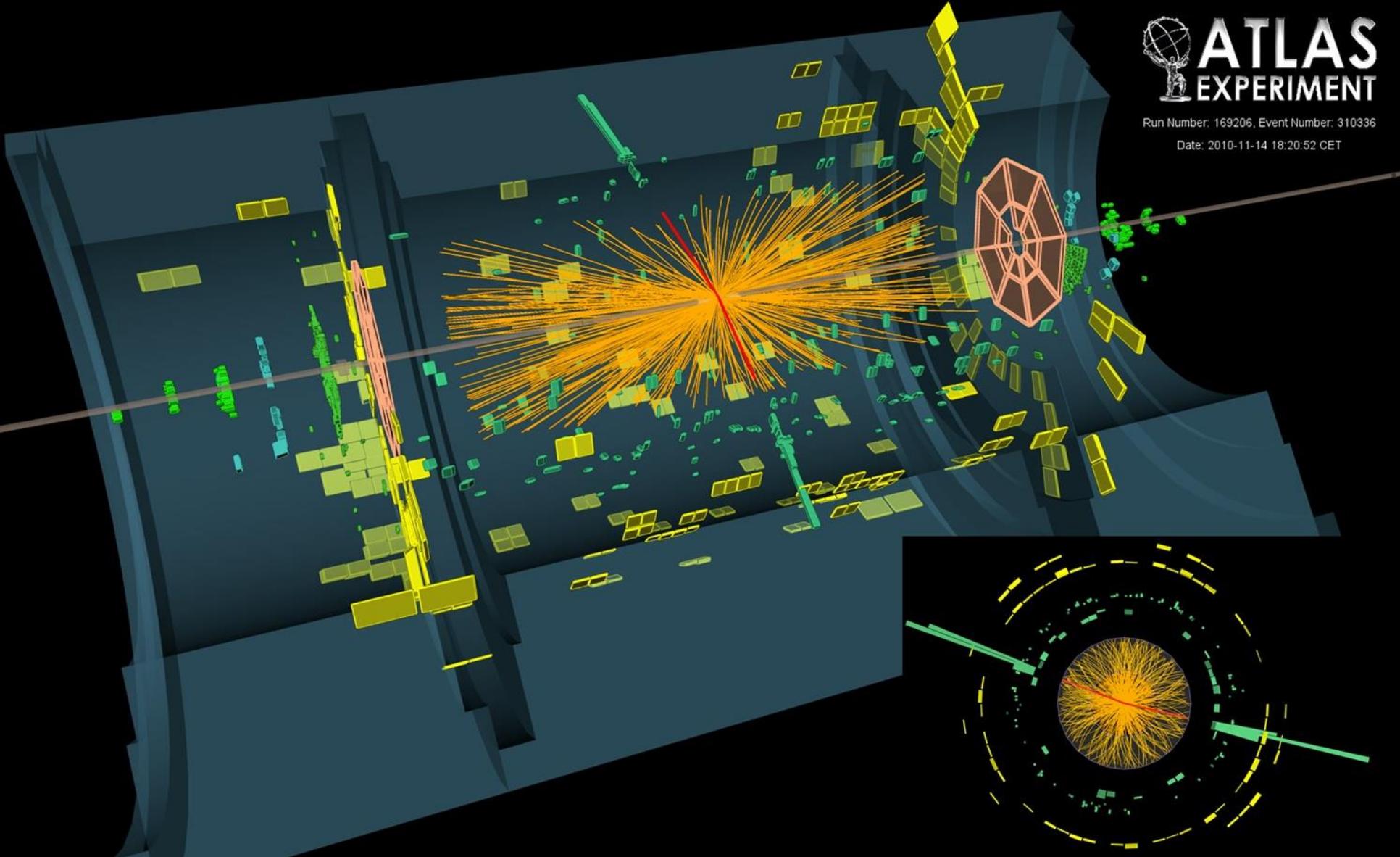


LHC events : $Pb\ Pb \rightarrow Z\ X \rightarrow e^+e^- X$

 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 169206, Event Number: 310336

Date: 2010-11-14 18:20:52 CET

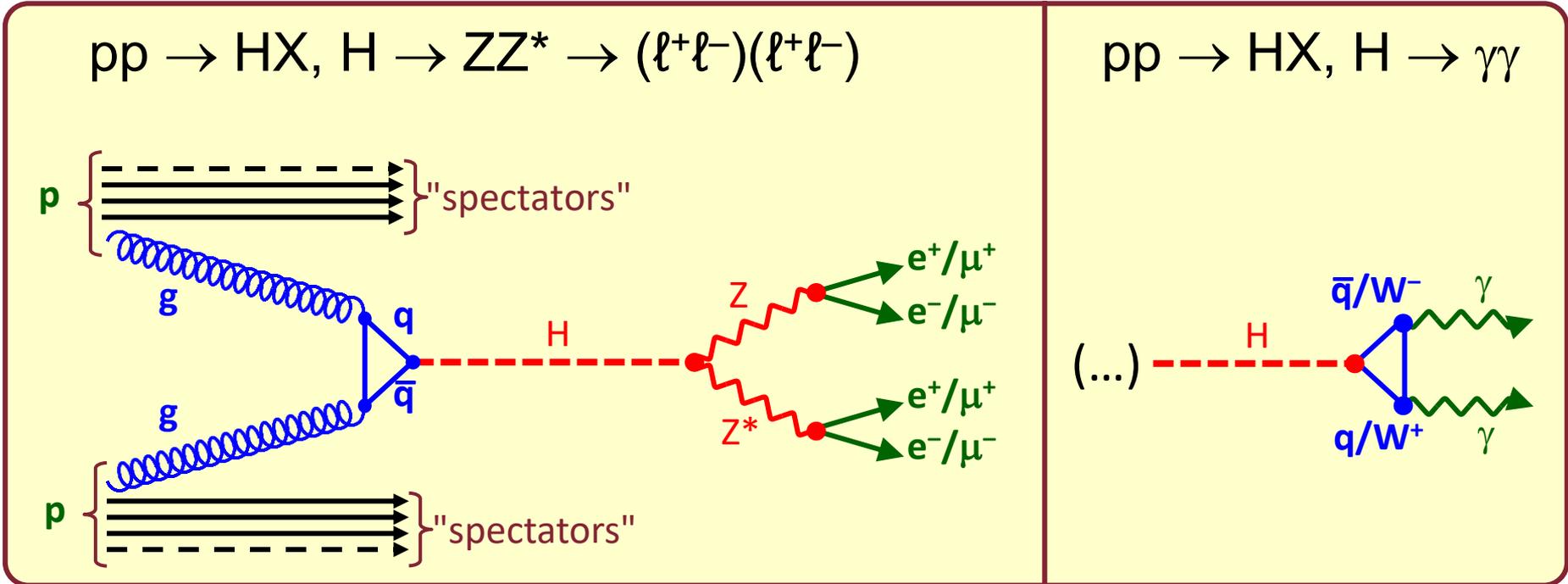


la breve vita del bosone di Higgs - 1

- i fisici utilizzano i cd "diagrammi di Feynman" per descrivere i processi
- il tempo va da sinistra a destra ($t \rightarrow$) e le particelle sono rappresentate da linee (continue, tratteggiate, ondulate secondo una convenzione)
- le interazioni (\bullet) sono i vertici

- dato un processo, la sua probabilità (o meglio la cd sezione d'urto) può essere calcolata con la teoria
- nel nostro caso, il Modello Standard, dato dalla teoria elettrodebole e dalla QCD

NB quello mostrato è solo uno dei modi di produzione e decadimento di H e solo uno degli infiniti processi di LHC



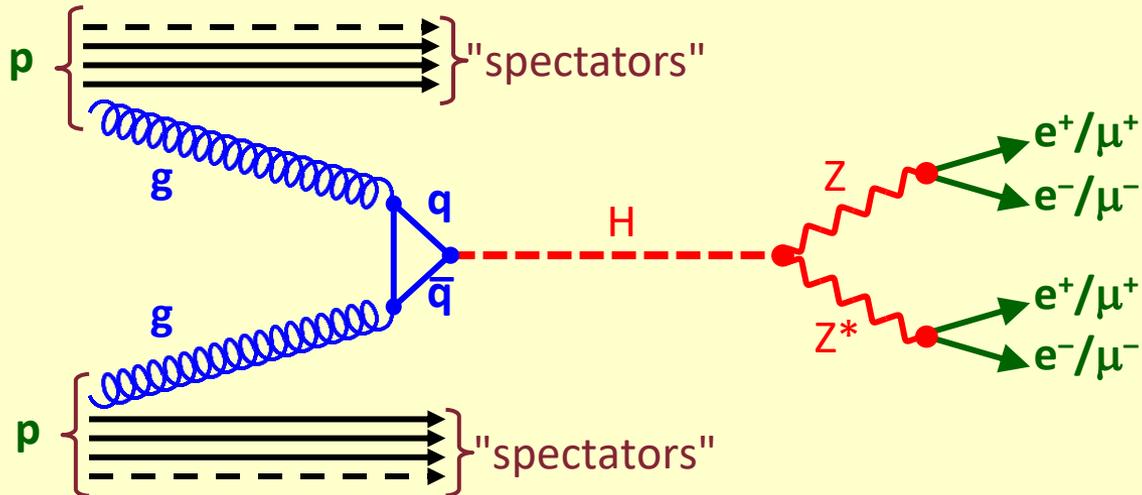
la breve vita del bosone di Higgs - 2

- i protoni [p], ad alte energie, non si comportano come oggetti puntiformi, ma come aggregati incoerenti di partoni (quark [q], antiquark [\bar{q}], gluoni [g])
- vediamo una tra le molte possibilità di produzione e decadimento di H
- due partoni (in questo caso due g) collidono e, tramite un "triangolo" di q, si

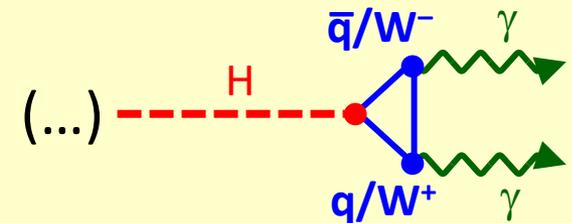
trasformano in un bosone di Higgs [H]

- dopo **circa 10^{-22} s** H a sua volta decade ...
- ... nel caso a sinistra in due bosoni Z, che a loro volta decadono in elettroni [e] o muoni [μ] (e/ μ sono leptoni [ℓ])
- ... nel caso di destra in due fotoni [γ], con un altro "triangolo" di q/ \bar{q} o W^\pm .

$$pp \rightarrow HX, H \rightarrow ZZ^* \rightarrow (\ell^+\ell^-)(\ell^+\ell^-)$$



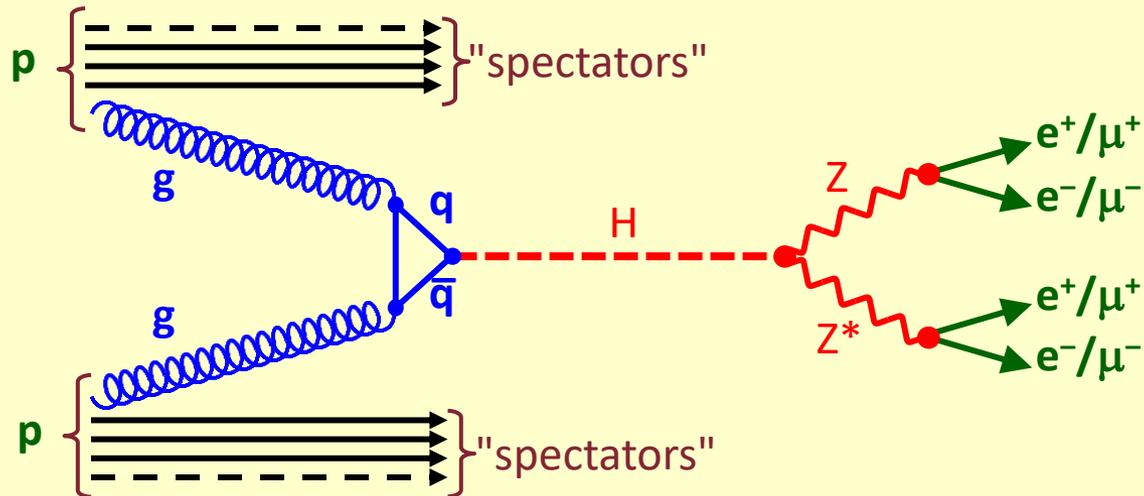
$$pp \rightarrow HX, H \rightarrow \gamma\gamma$$



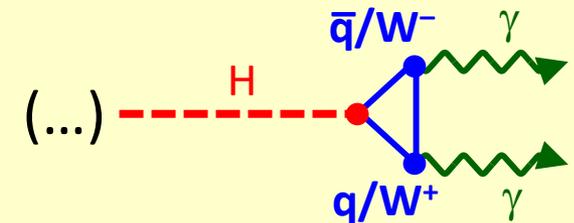
la breve vita del bosone di Higgs - 3

- il processo mostrato è "troppo veloce" per essere osservato
- si osservano soltanto le particelle iniziali (2p) e quelle finali (4ℓ oppure 2γ)
- le particelle finali sono accuratamente misurate in ATLAS/CMS, in modo da risalire alle caratteristiche di H
- e.g. la massa (cd metodo della **massa combinata**)
- ci sono molti molti molti altri processi che possono produrre ℓ o γ
- quindi "scoprire" H significa trovare un **ecceso statistico** di eventi compatibili con H ad una data massa (a priori ignota)

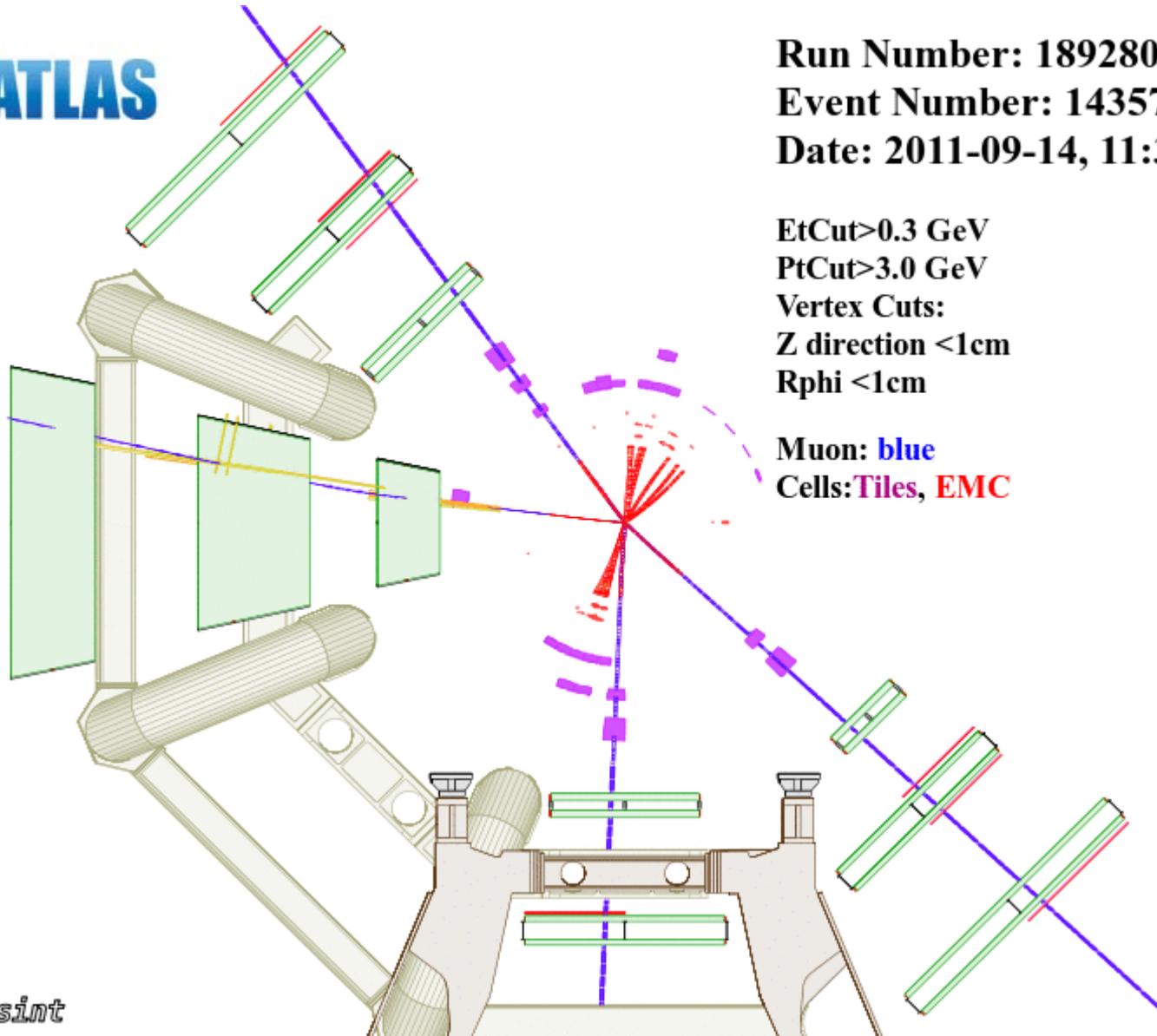
$$pp \rightarrow HX, H \rightarrow ZZ^* \rightarrow (\ell^+\ell^-)(\ell^+\ell^-)$$



$$pp \rightarrow HX, H \rightarrow \gamma\gamma$$



LHC events : $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow (\mu^+\mu^-)(\mu^+\mu^-)^*$



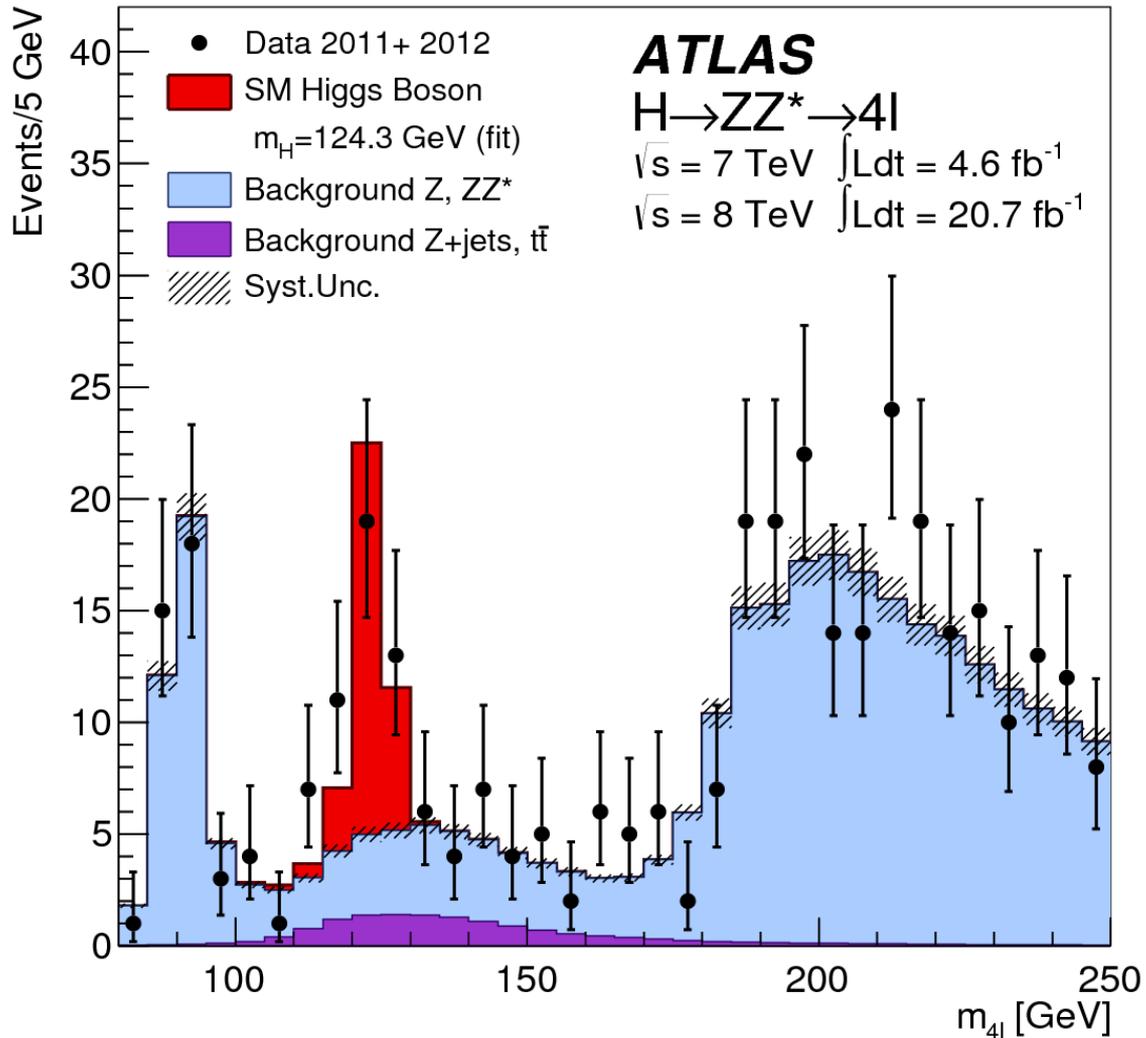
Run Number: 189280,
Event Number: 143576946
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CE'

EtCut > 0.3 GeV
PtCut > 3.0 GeV
Vertex Cuts:
Z direction < 1cm
Rphi < 1cm

Muon: blue
Cells: Tiles, EMC

Persint

Higgs discovery : $H \rightarrow ZZ^* - ATLAS 2012$



$$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow e^+e^-e^+e^-$$

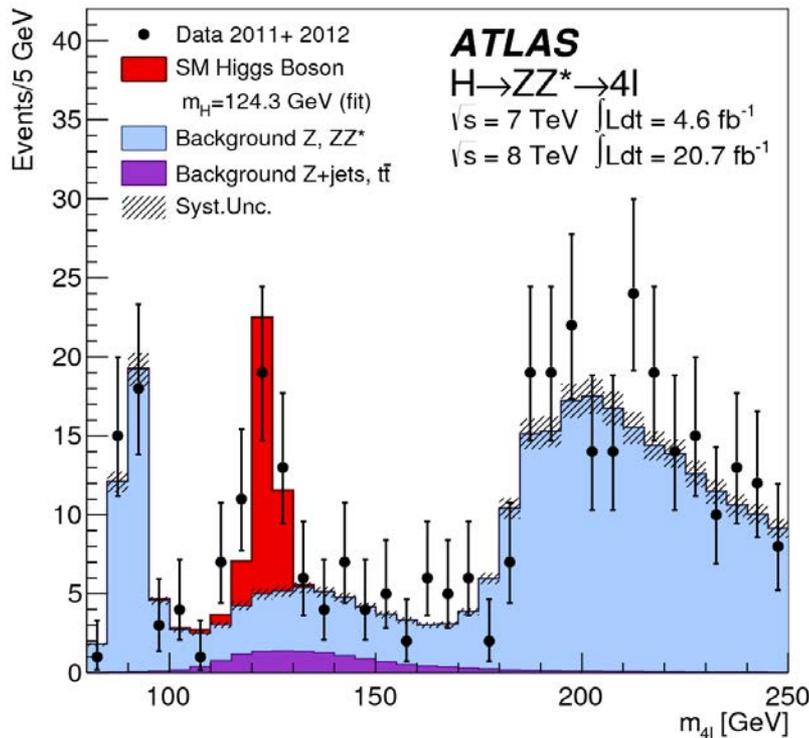
Test mass $\sim 125 \text{ GeV}$

(exact values from mass fits,
small variations – within errors)

1. ATLAS animated gifs:
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/HiggsPublicResults#Animations>
2. ditto for CMS:
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/Hig13002TWiki>

scoperta del bosone di Higgs : il metodo

- riguardate il plot:
 - palle (•) : dati sperimentali in intervalli di 5 GeV di massa
 - barre (I) : errori statistici (calcolabili)
 - colori : eventi aspettati (teoria) da processi noti (calcolabili)
 - rosso : teoria per H, se $m_H=125$ GeV



- domanda [da 1 M\$] : **l'eccesso a 125 GeV, modellizzato con un H, è reale oppure una fluttuazione statistica ?**
- la risposta non può essere lasciata al "gusto" o all'intuizione [o all'entusiasmo dei giovani ricercatori] ...
- ... ma richiede una risposta rigorosa, secondo un protocollo deciso a priori
- si sceglie la procedura cd "5 σ "
- [niente dettagli matematici, *sorry*]
- si calcola la probabilità (p_{bg}) che l'eccesso venga da una fluttuazione statistica del fondo, e si richiede **$p_{bg} < K$** (ove K è una costante scelta prima della presa dati)
- [metodo utile anche in casi pratici ? magari applicabile a problemi come rischi da terremoti ? o epidemie, e.g. COVID ?]
- **il prossimo plot è quello fondamentale**



Higgs discovery : $H \rightarrow ZZ^*$ - ATLAS p-value

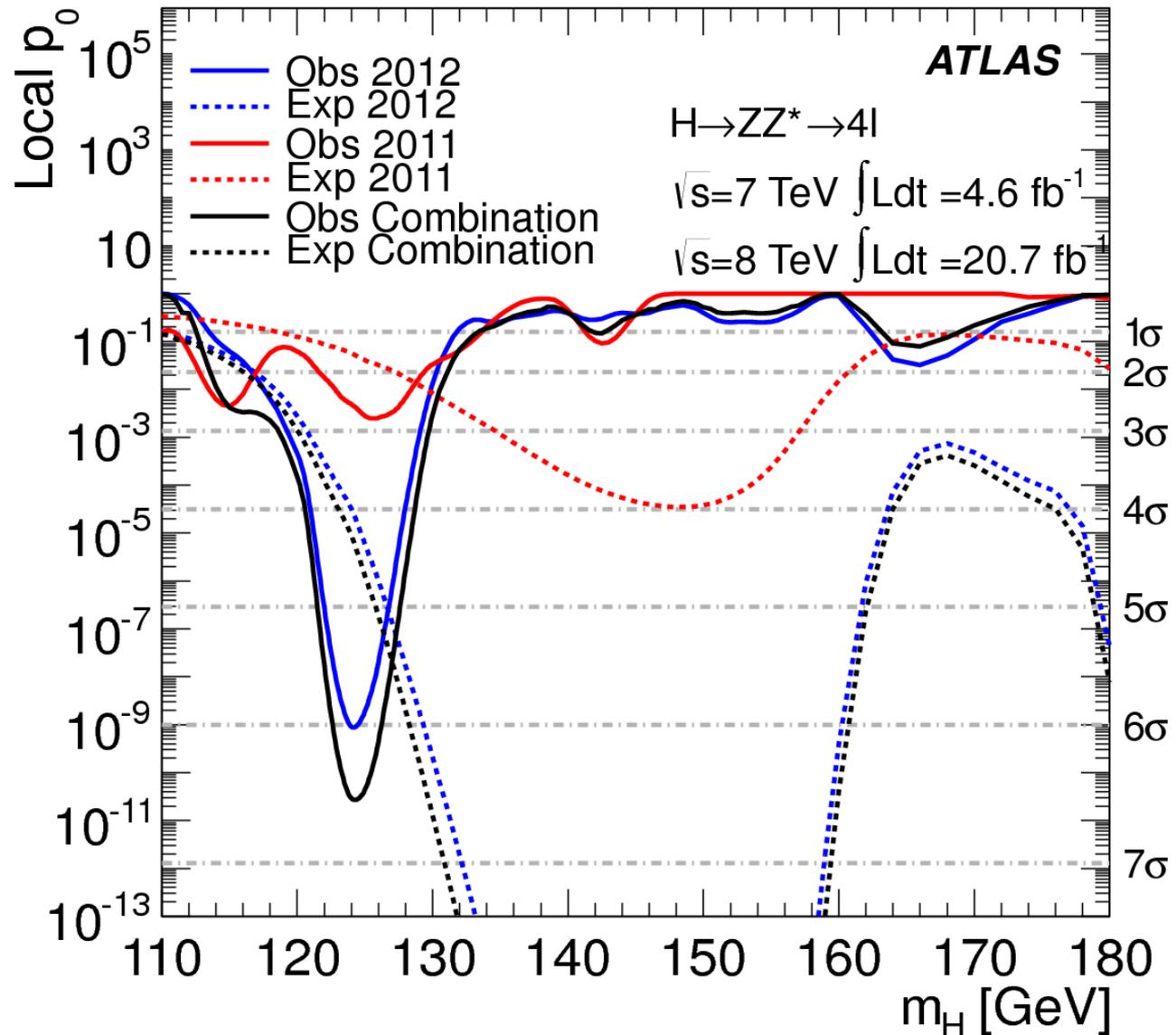
ATLAS 4 e^\pm

- 2011 : some excess, below 3σ ;
- 2012 : $\sim 6\sigma$;
- combined : between 6 and 7σ .

more than expected, but not incompatible.

NB. obs (—) and exp (---) are expected to agree ONLY at m_H^{obs} .

definition of p-value ???

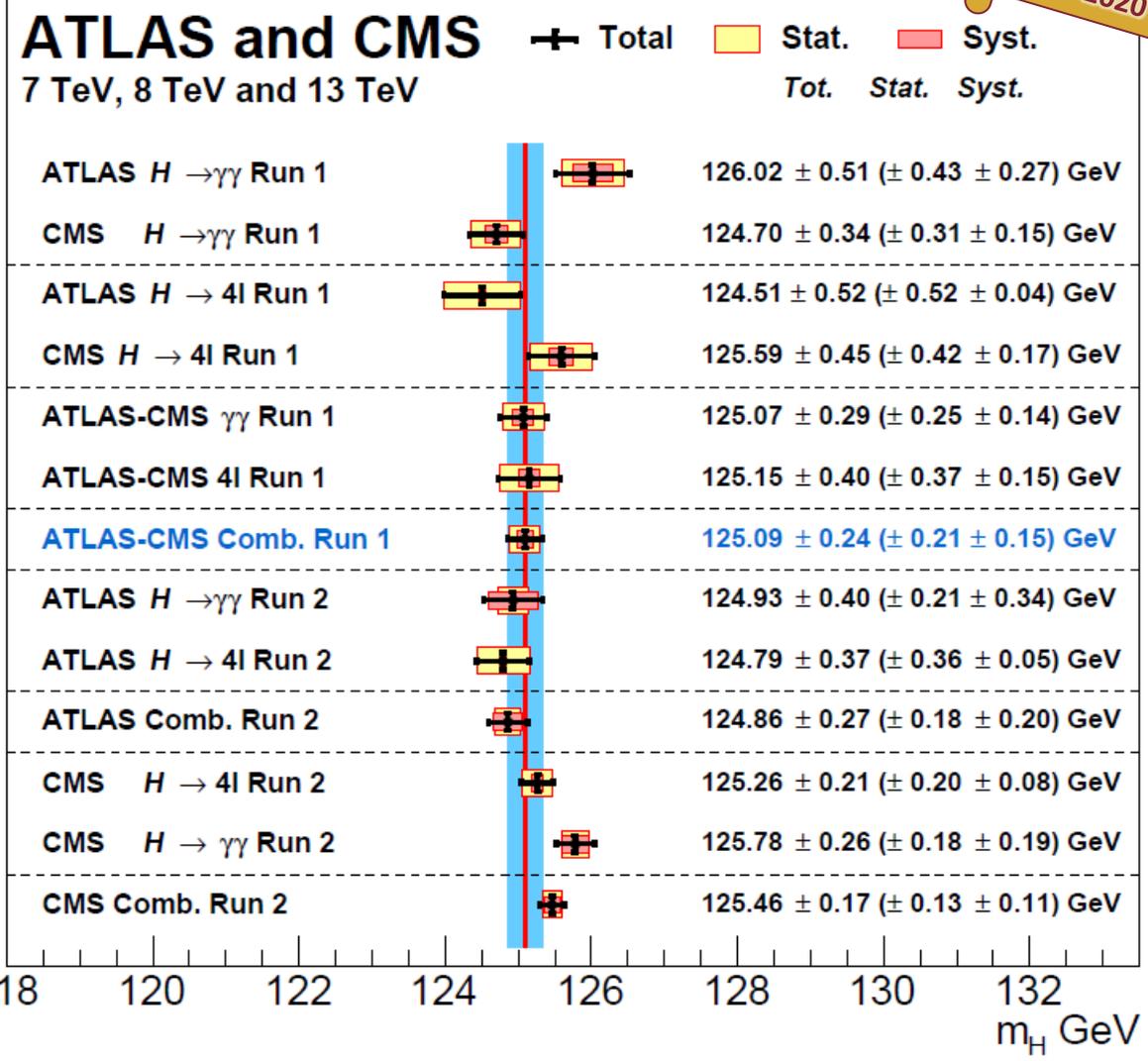


il bosone di Higgs 10 anni dopo

- nella scienza moderna, le teorie NON possono essere verificate, invece possono essere falsificate (cfr **Popper**)
- vale a dire, NON è possibile affermare con assoluta certezza che H esista
- ... ma solo che i dati sono compatibili con H, ad un dato livello di precisione sperimentale e di probabilità statistica
- quindi è fondamentale continuare a studiare il fenomeno, migliorando la precisione e aumentando il campione
- [cfr. la fisica pre-relativistica (classica) rispetto alla relatività di Einstein]
- il plot della prossima pagina è un esempio di questi studi, fatti nel 2020-21
- si confrontano i risultati di ATLAS e CMS [*i ricercatori talvolta sbagliano*]
- i primi anni ("Run 1") con gli anni successivi ("Run 2") [*come sopra*]
- e la massa di H dai dati $\gamma\gamma$ con quella dai dati 4ℓ [*"forse non sono due modi di decadimento della stessa particella, ma due particelle differenti"*]
- i risultati sono incoraggianti: il sostanziale miglioramento di quantità e qualità dei dati NON ha mostrato discrepanze con le aspettative
- [*incoraggianti ? non direi: i ricercatori sono felici di trovare anomalie, che giustificano ulteriori studi, tesi, ricerche ...*]



Higgs today: mass(es ?)



For the ($\gamma\gamma$) and (4ℓ) channels $\Delta m_H/m_H < 1\%$ (very precise):

- if particle NOT the SM $H \rightarrow m(\gamma\gamma)$ and $m(4\ell)$ could be different;
- but in the data their mass is compatible;
- and ATLAS and CMS are fully compatible;
- assuming combination, the PDG 2020 estimation has the error at 10^{-3} level:

$$m_H = 125.10 \pm 0.14 \text{ GeV}$$

[an unprecedented success, just go back and look for W/Z at the $Sp\bar{p}S$].



una impresa mondiale - ATLAS



un grande esperimento di Fisica - 1

- nelle pagine precedenti abbiamo visto un paio di grandi esperimenti
- consideriamo l'aspetto umano: 3000 fisici (+ tecnici, ingegneri, amministrativi, ...): come ci si organizza ? [*difficile da spiegare, ci provo*]
- molte molte attività (quasi) autonome
- una singola persona partecipa a più attività e può cambiare nel tempo
- delicato compromesso tra esigenze organizzative e libertà individuale
- stabilità data da serietà (= mantenere gli impegni presi liberamente)
- struttura "ad albero" con gruppi, sottogruppi, sotto-sottogruppi, etc
- coordinatori eletti, rinnovati frequentemente
- gruppi di lavoro NON locali, ma di lingue, competenze, culture differenti [😊👉✓]
- rispetto all'esterno, responsabilità condivisa
- "caos ben ordinato"



un grande esperimento di Fisica - 2



elenco (non esaustivo) di attività:

Rivelatori (> 10 tipi differenti):

- progetto, costruzione, calibrazione
- ricostruzione di particelle
- studio delle prestazioni
- simulazione (?)

Presi dati (differente x rivelatore):

- trigger (progetto, realizzazione, studio)
- software di acquisizione
- acquisizione e ricostruzione dei dati
- studio delle prestazioni (e.g. efficienza)

Analisi e confronto con la teoria:

- preparazione prima della presa dati
- selezione del campione (e.g. candidati Higgs)
- calcolo delle predizioni teoriche
- confronto e analisi statistiche



un grande esperimento di Fisica - 3

Combined Performance Groups	
Tracking CP	Tracking and Vertexing for Prompt and Displaced Particles
	Clustering and Tracking in Dense Environments (CTIDE)
	ID Alignment
	Upgrade Tracking
Egamma CP	Electron Identification and Efficiencies
	Calibration
	Reconstruction and Software
	Photon Identification and Efficiencies
Muon CP	Working Points subgroup
	Momentum Scale/Resolution
	Efficiency
Tau CP	Fake Tau Task Force
	Tau Measurements and Calibration
	Tau Reconstruction and Identification
Jet/Etmiss CP	Jet Tagging (JetTag)
	Etmiss (MET)
	Jet/Etmiss Software and Validation (JSV)
	Jet Definitions and MC Calibration (JetDef)
	Jet in situ Calibration and Resolution (JetInSitu)
	Software
Flavour Tag CP	Algorithms and Performance
	Calibrations
	Software
Simulation Group	Simulation Fast Chain Group Sub-convenor
	Simulation FastCaloSim Group Sub-convenor
	Simulation coordinator
	Simulation Software Team
Statistics Committee	Statistics Committee Chair

Physics Analysis Groups	
Heavy Ions	Correlations and Global
	Electro-Weak and Quarkonia
	Jets
	Ultra-Peripheral Collisions (UPC)
Bs Physics	Physics with B to J/psi
	Quarkonia Production and b Cross-Section Measurements
	Rare Decays
Standard Model	W, Z Physics
	Electroweak Physics
	Jet and Photon Physics
	PDF Forum
	Soft QCD and Diffractive Physics
Top	Top Quarks + X
	Top Pair Cross-Section
	Top Reconstruction
	Top Properties and Mass
Higgs	Hbb
	HLep / Htautau (HSG4)
	HWW (HSG3)
	HComb (HSG7)
	HZZ (HSG2)
	HGamma (HSG1)
HTop (HSG8)	
Higgs & dibosons	Higgs and Light Resonance Searches (HLRS)
	Di-Higgs (HDBS)
	Dibosons, Multileptons and Extra Dimensions (DBL)
	HBSM

Susy	Background Forum
	Electroweak Production
	RPV SUSY and Long-Lived SUSY Particles (RPV/LL)
	Run 2 Summaries
	Strong Production
Exotics	Heavy Quarks, Top and Composite Higgs (HQT)
	Jets and Dark Matter (JDM)
	Unconventional Signatures and Exotic Higgs (UEH)
	Leptons, Z', W' and LFV (LPX)
	Common Dark Matter (CDM)
Physics Modelling	Jet and Photon Processes
	Generator Infrastructure and Tools
	Weak Boson Processes
	Top Processes
Upgrade Physics Group	
Fora	Isolation and Fake Forum Convener (IFF)
	Machine Learning Forum Conveners

Struttura attuale (2023) dei gruppi di analisi e prestazioni di ATLAS.

(solo un esempio, non entriamo nei dettagli)

un grande esperimento di Fisica - 4

- ma ... funziona ?
- incredibile dictu, mirabile visu, **yes !!!**
- [la schiavitù non è solo un'ingiustizia, ma anche un metodo a bassa efficienza: lavoratori liberi, intelligenti e motivati ottengono risultati migliori]

- >100 articoli/anno, firmati da tutti i membri dell'esperimento, senza distinzioni di gerarchia/genere/attività/...
- programma a lunga scadenza: il progetto si estende fino al 2040 (!)



Chamonix workshop, Jan 2023



tecnologia

- molti ricercatori, che hanno iniziato come fisici delle particelle, hanno poi continuato la loro attività nell'industria o nei servizi
- tutti citano sempre il WWW, che (è ben noto) ha avuto inizio al CERN per le comunicazioni tra fisici

- ma è impossibile citare tutte le altre ricadute della fisica delle alte energie
- seguono alcune tra le (migliaia) di foto che mostrano queste applicazioni



tecnologia - 1

- computing → finanza, AI, controlli automatici, telecomunicazioni, ...



tecnologia - 2

- magneti e elettromeccanica → industria ad alta tecnologia, treni, aerei, ...



tecnologia - 3

- fisica medica → radiologia, radioterapia, studio di immagini biologiche, automazione in chirurgia, ...



tecnologia - 4

- analisi dei materiali → storia dell'arte, archeologia, beni culturali, ...



tecnologia - 5

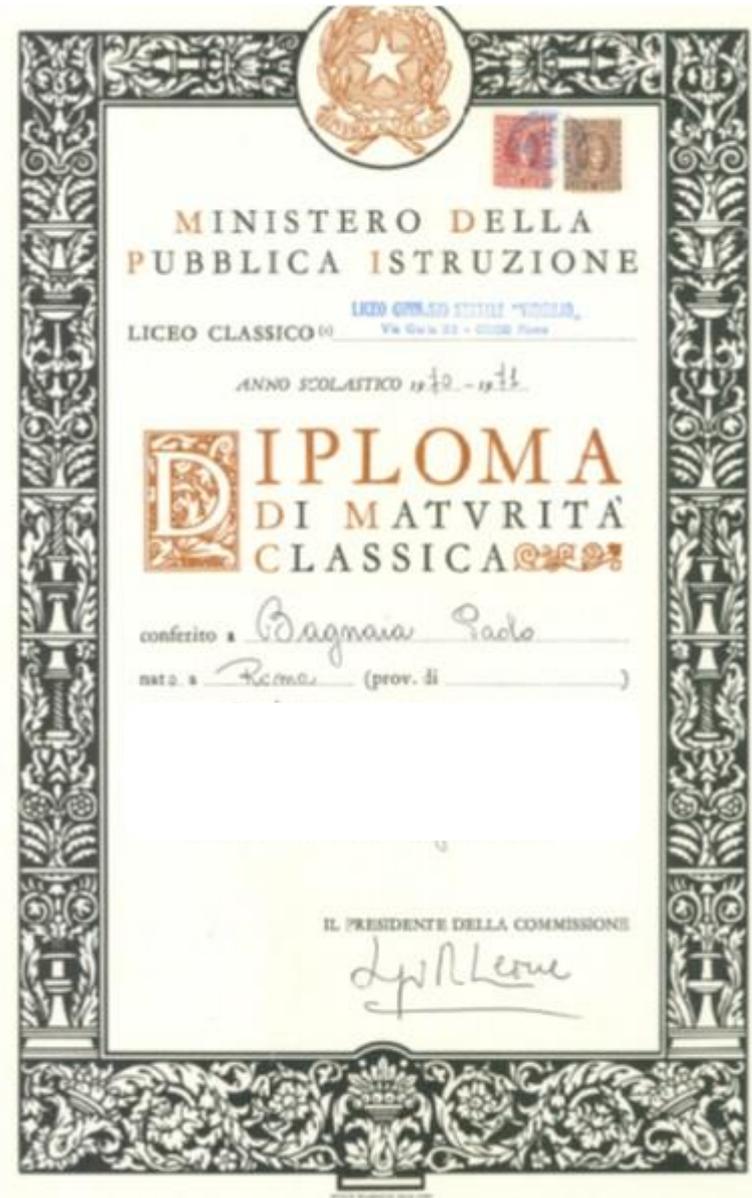
- ... non c'è che l'imbarazzo della scelta...



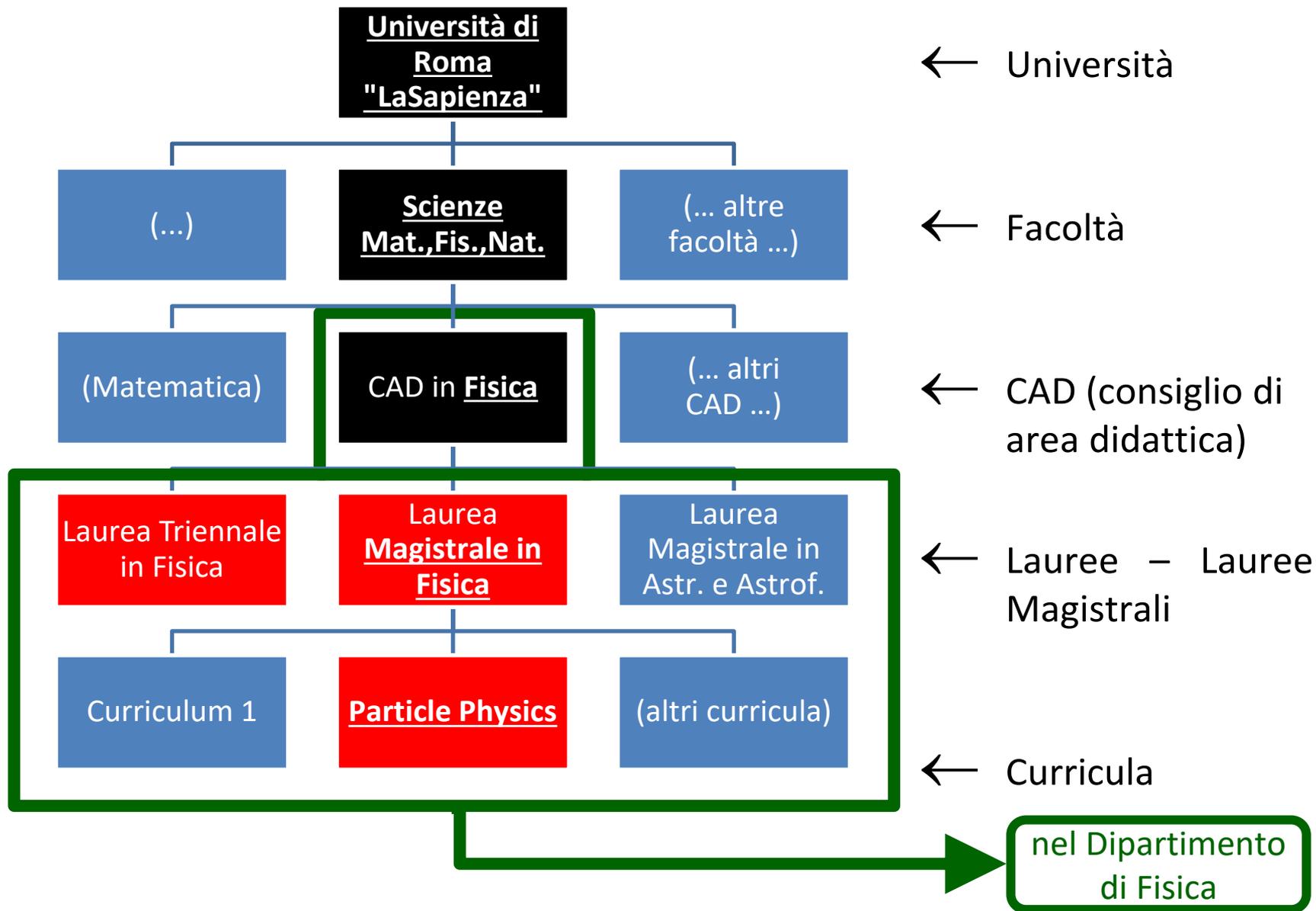
NB TUTTE le immagini mostrate sono reali sviluppi tecnologici, e sono prese da un archivio contenente migliaia di foto da centinaia di progetti, buona parte dei quali di successo.

fisica delle particelle ? it's a long way to Tipperary ...

- ... ma in realtà, non mi pare vero
- alcuni miti da sfatare:
 - "*solo per geni*": la maggior parte di noi è gente normalissima; certo l'intelligenza e il senso critico non guastano ...
 - "*non per quelli del liceo classico*": (scusate, non ho resistito)
 - "*stipendi da fame*": certo, in banca si guadagna di più (*sicuro ?*), ma noi viviamo discretamente (e se i soldi non vi bastano, potete sempre espatriare)
- la dote necessaria è la tenacia ...
- ... e l'intraprendenza (aka coraggio) ...
- ... e la serietà (aka moralità, etica ...)
- se l'idea vi interessa, vediamo come si fa → mostro il caso della Sapienza, ovviamente ci sono anche TorVergata e RomaTre



il Corso di Laurea in Fisica della Sapienza



... e il dottorato (aka PhD)

- dopo la laurea Magistrale in Fisica si può accedere al dottorato (PhD)
- ... mediante concorsi a "numero programmato", le cui modalità variano molto a seconda dell'Università
- il corso dura tre anni (in Italia) e un numero analogo all'estero
- alla Sapienza, nel primo anno corsi con esami, poi solo ricerca e Tesi
- molti studenti scelgono di fare il PhD in altre sedi, in Italia o all'estero

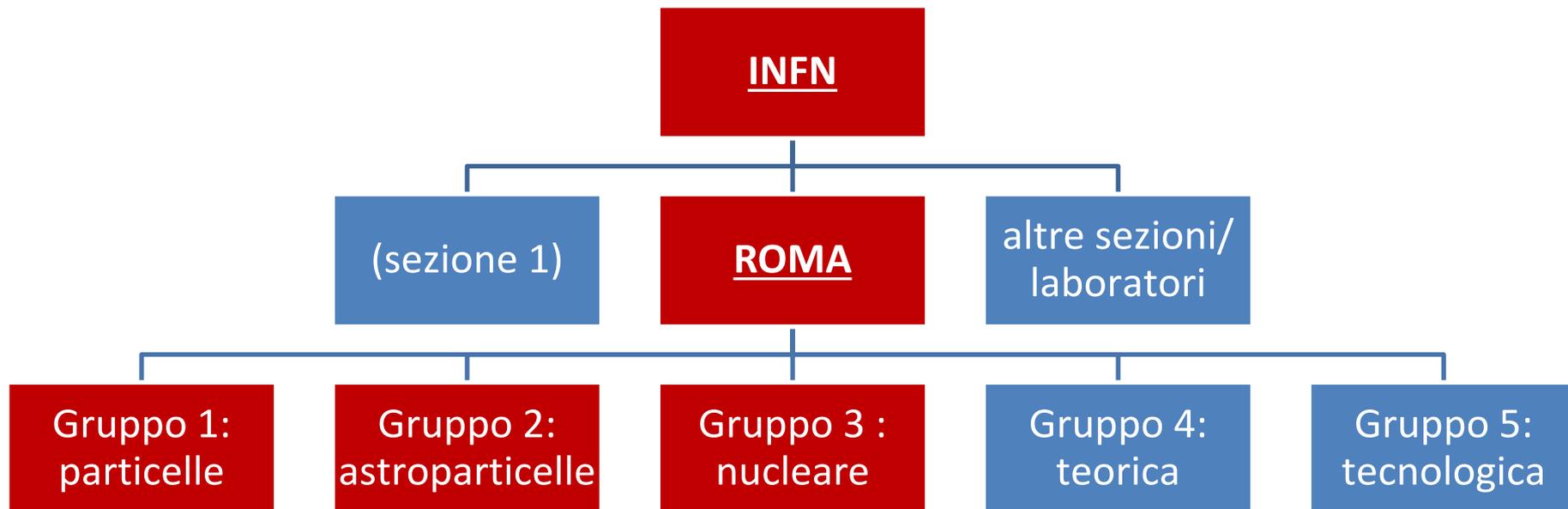


commenti :

- il PhD è indispensabile per accedere al mondo della ricerca (sia Univ., sia enti pubblici, sia Italia, sia estero)
- non lo è per industria e servizi (ma può essere un vantaggio)
- i dottorandi sono ben inseriti nella ricerca, anzi *imho* sono indispensabili
- per il PhD può essere opportuno cambiare sede (e Nazione)
- un PhD-student è pagato (male in Italia, meglio all'estero)
- il concorso della Sapienza è difficile (ma non impossibile), ma i laureati magistrali della Sapienza non hanno difficoltà a trovare un posto all'estero



... e l'organizzazione della ricerca in Italia



- l'INFN ("Istituto Nazionale di Fisica Nucleare") è l'ente dello Stato che finanzia e organizza la ricerca nella fisica e astrofisica delle particelle
- le sue "Sezioni" operano dentro i Dipartimenti delle Università. Esistono anche strutture indipendenti (e.g. i Laboratori Nazionali di Frascati)
- l'INFN ha suoi dipendenti, ma accetta anche progetti universitari oppure misti (la maggioranza, e.g. ATLAS e CMS), che hanno "professori" e "ricercatori" con ruoli e dignità uguali
- ogni gruppo elegge un "coordinatore", in carica per un periodo fisso, con compiti amministrativi e scientifici

per saperne di più

- il sito del Dipartimento per l'orientamento degli studenti:
<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/didattica/orientamento>
- il sito dell'università con informazioni pratiche
<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/calendario-didattico2122>
- un opuscolo sulle motivazioni per studiare fisica e la storia della fisica romana
<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/allegati/Libretto%20studenti%202022%20-%20Fisica%20Sapienza%20Roma.pdf>
- la didattica, i corsi, gli esami
[https://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/allegati/Opuscolo%20\(1\).doc.pdf](https://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/allegati/Opuscolo%20(1).doc.pdf)
- e dopo ? il mondo del lavoro dopo la laurea
https://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/pianificati2122/Cavoto_JobPlacement_Porte_Aperte_Luglio_2021.pdf





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Roma

Grazie dell'attenzione !!!