
Acceleratori, rivelatori e altro ancora



Carminati Leonardo
Universita' di Milano e INFN



- ❑ Come sondiamo l'infinitamente piccolo: acceleratori e rivelatori di particelle

- ❑ Come si producono le particelle ? I collisionatori/acceleratori
 - ❑ Cos'è un acceleratore? A cosa serve ? Come funziona ?
 - ❑ Perché è così grande ? Perché costa così tanto?
 - ❑ Energia di collisione e numero di collisioni
 - ❑ Il concetto di sezione d'urto

- ❑ Come si 'vedono' le particelle ? I rivelatori di particelle :
 - ❑ Cos'è un rivelatore ? Come funziona e perché è così grande e costoso?

- ❑ L'analisi dei dati: segnali e fondi, variabili discriminanti, confronto teoria-esperimento

- ❑ Torniamo al Modello Standard : il bosone vettore Z, il bosone di Higgs e risonanze esotiche

E' solo una questione di scala :

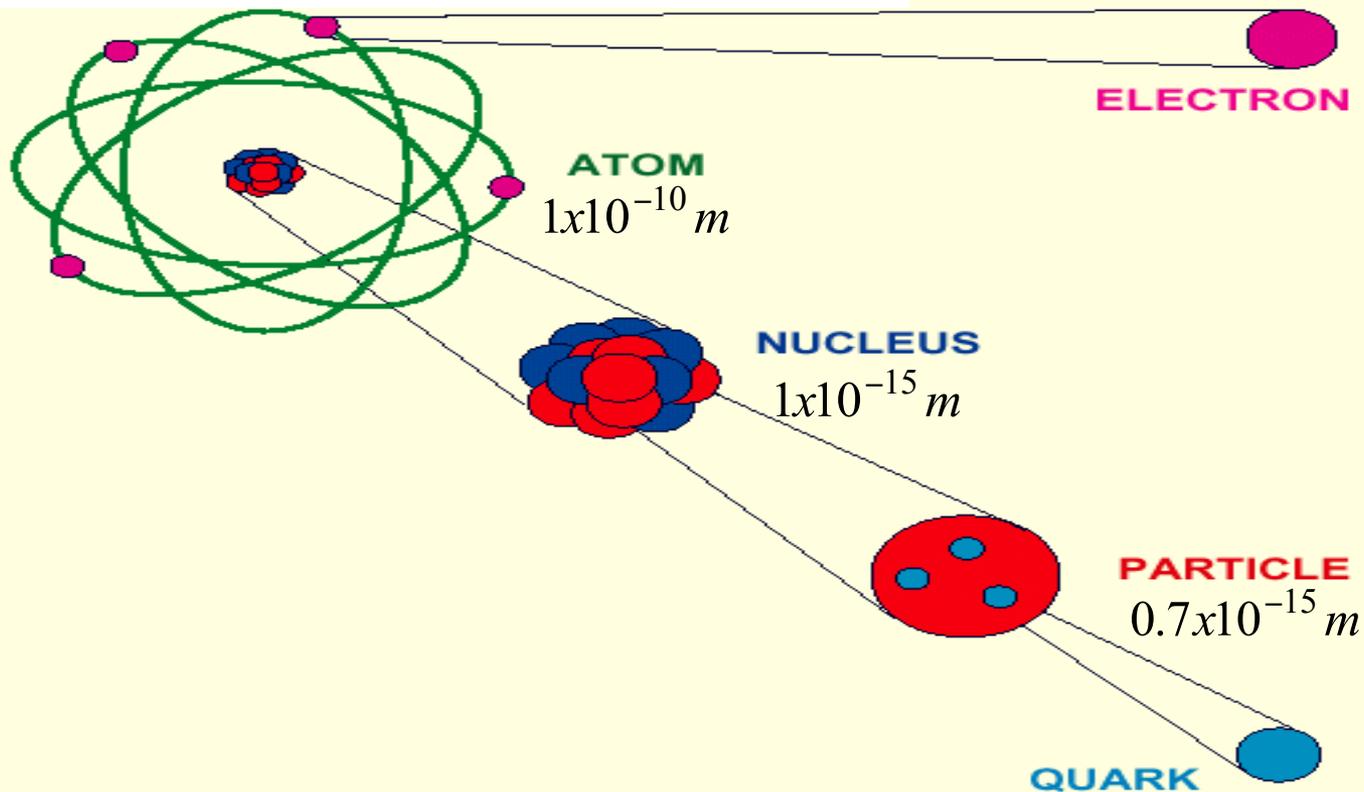
Constituents of Matter

Thomson (1897): Discovers electron

Rutherford (1909): Nuclear atom (proton)

Chadwick (1932): Discovers neutron

SLAC (1968): Quarks in neutrons and protons



Nel modello standard delle interazioni fondamentali tutte le particelle sino ad oggi conosciute sono considerate come composte di pochi costituenti fondamentali. Secondo il modello standard esistono sei tipi di quarks organizzati in tre doppietti (u, d), (c, s), (t, b) e altri sei tipi di particelle fondamentali (e, ν_e), (μ, ν_μ), (τ, ν_τ), chiamati leptoni.

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e electron	μ muon	τ tau
	I	II	III

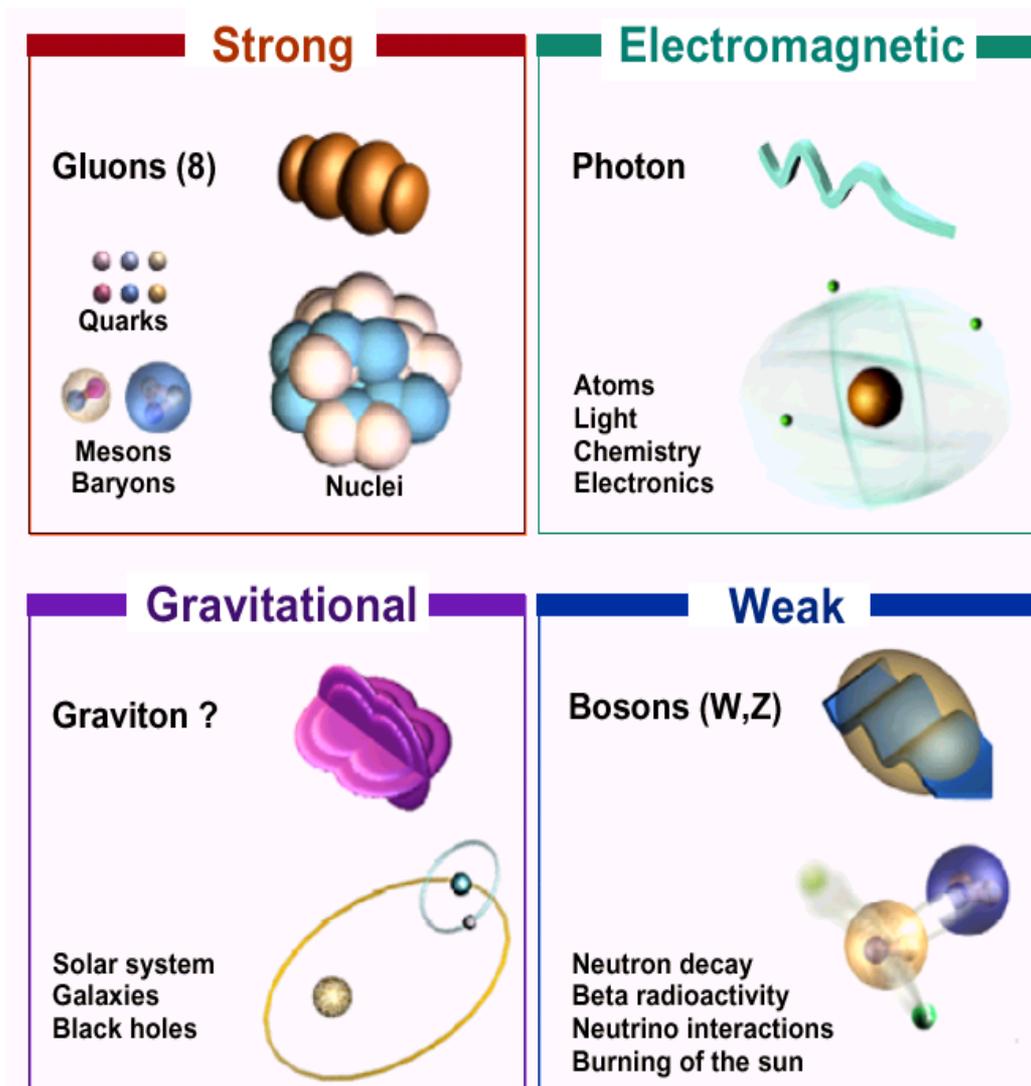
The Generations of Matter

Il Modello Standard: le interazioni fondamentali

In natura conosciamo 4 tipi di interazioni fondamentali

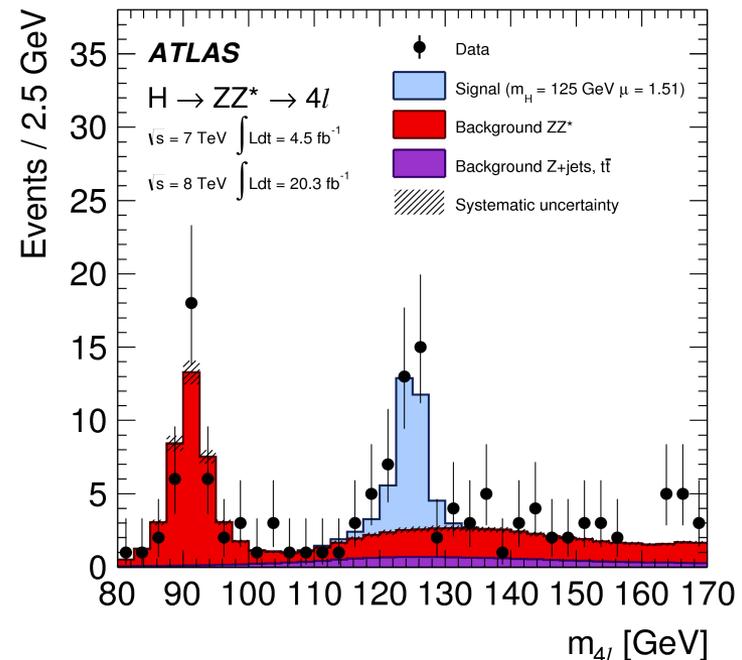
Il Modello Standard spiega inoltre le interazioni *forti*, *deboli* ed *elettromagnetiche* tra quarks e leptoni come mediate dallo scambio di altre particelle dette *bosoni* (gluoni, W^\pm and Z , e fotone).

La teoria dell'interazione *gravitazionale*, non fa ancora parte del Modello Standard e il suo mediatore, che si chiama *gravitone*, non e' ancora stato scoperto.



Il pezzo mancante, il bosone di Higgs

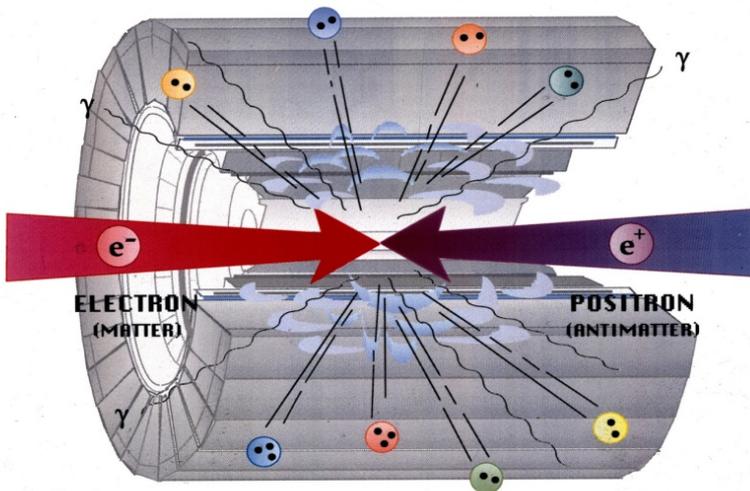
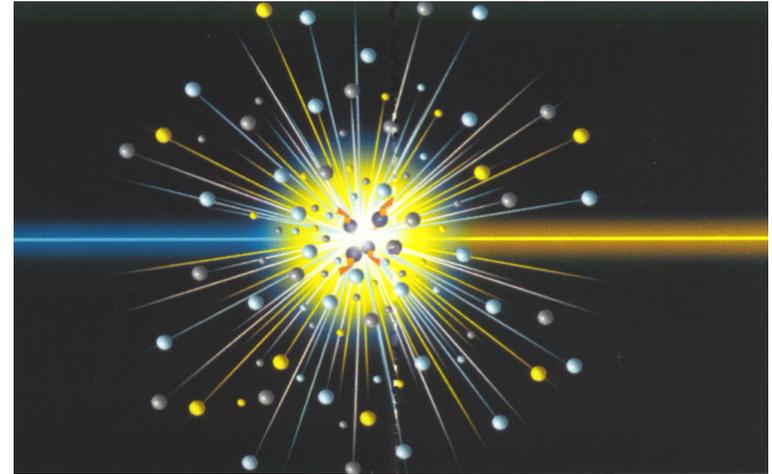
- ❑ Il Modello Standard spiega inoltre le interazioni tra i campi di materia a partire da principi di simmetria (bello no ?)
- ❑ Purtroppo quando nella teoria cerchiamo di inserire una massa la simmetria la perdiamo (insieme a tutte le belle proprietà connesse)
- ❑ Il meccanismo di Higgs permette di introdurre una massa nella teoria in modo elegante : "rompendo spontaneamente la simmetria"
- ❑ La teoria si salva, al prezzo che ora la massa discende dall'interazione con una nuova particella, il bosone di Higgs
- ❑ Il bosone di Higgs e' sfuggente, la probabilita' di crearlo da una collisione e' estremamente piccola : dobbiamo produrre un numero enorme di collisioni per sperare di riuscire a generarne qualcuno.



La creazione di nuove particelle

Da Einstein in poi massa ed energia sono due concetti strettamente legati: facendo scontrare tra loro due fasci di particelle possiamo produrne di nuove

$$E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2}$$



Il modo più efficiente per trasformare tutta l'energia in nuove particelle è quello di realizzare un urto frontale. Si possono creare, oltre gli elettroni e antielettroni, altre coppie di particelle

- antiparticelle
- ad esempio quark antiquark

Come funziona un acceleratore?

❑ Produzione di particelle 'sonda' : possiamo facilmente creare fasci di elettroni scaldando il metallo o protoni ionizzando l'idrogeno. Utilizziamo sempre particelle dotate di carica elettrica

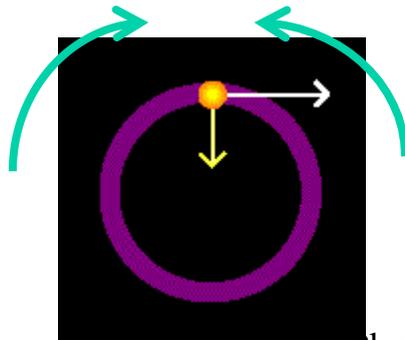
❑ Accelerazione : le particelle vengono accelerate (incrementando la loro energia cinetica) utilizzando campi elettrici oscillanti

❑ Acceleratori lineari : due (piu' o meno) lunghi bracci costituiti da una sequenza di cavitá acceleranti



E' la struttura piu' semplice. Unico problema: le particelle una volta fatte scontrare sono inservibili

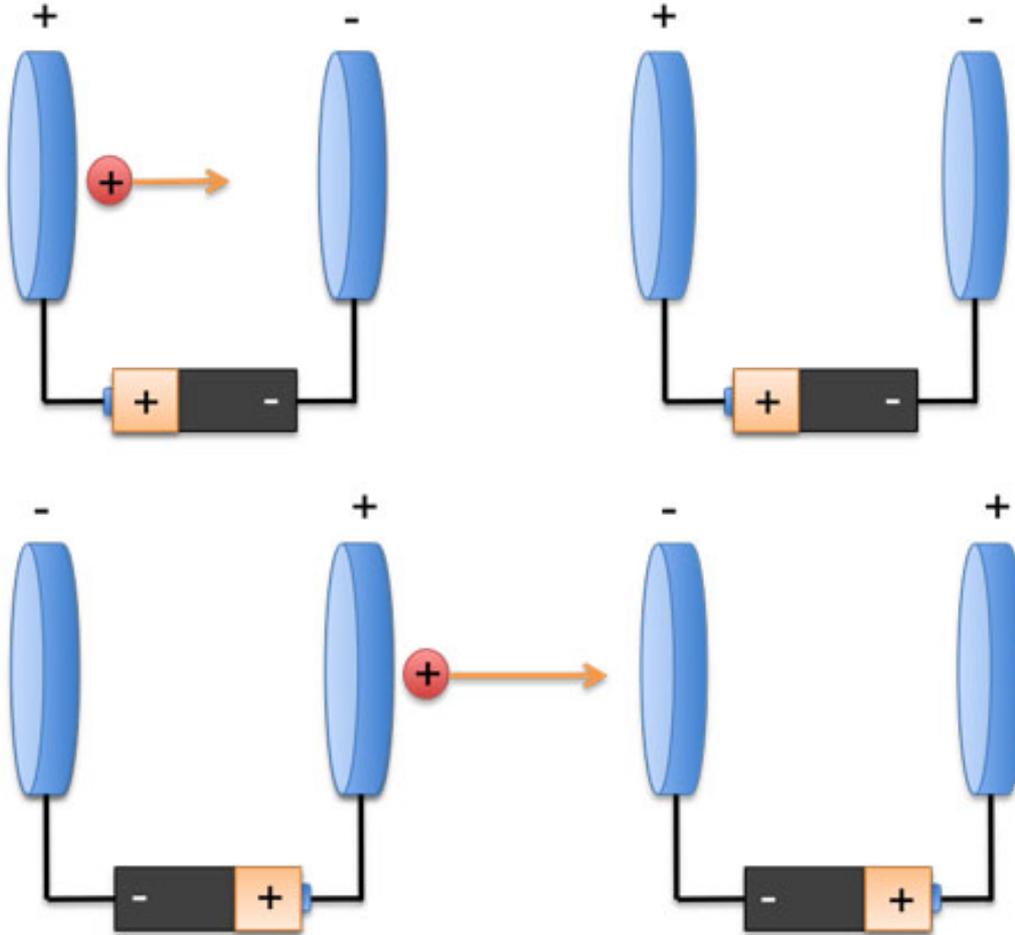
❑ Acceleratori circolari : sequenza di cavitá acceleratrici intervallate da magneti di curvatura per mantenere l'orbita



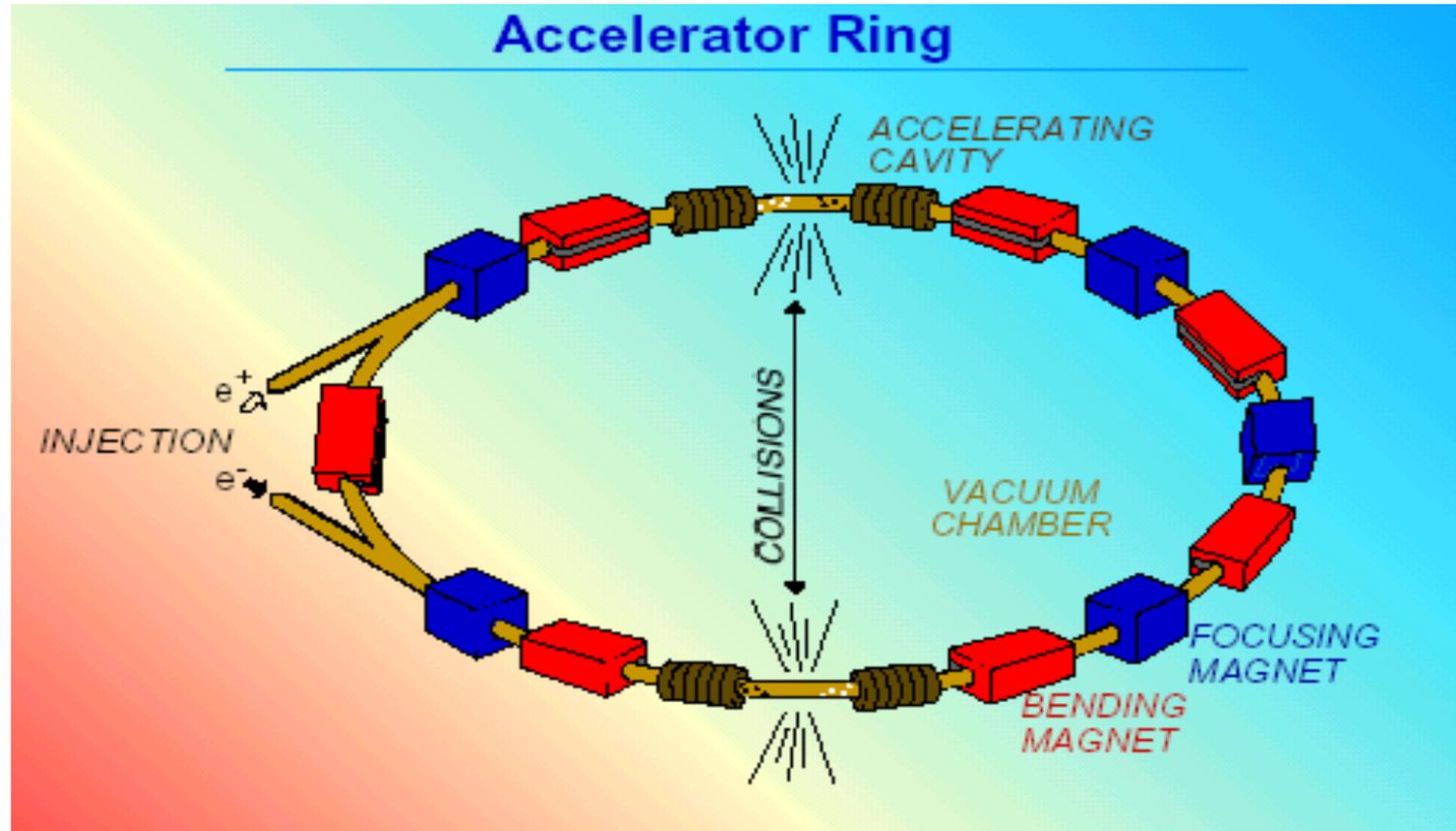
La struttura e' piu' complicata perche' ho bisogno di potenti magneti per mantenere in orbita le particelle. Inoltre le particelle irradiano (->perdono) energia quando sono curvate. Ma posso far scontrare le stesse particelle un numero enorme di volte!

Come funziona un acceleratore?

Come facciamo a dare grande energia ai fasci ? Cavita' risonanti e struttura a pacchetti



Come funziona un acceleratore?



Curvatura

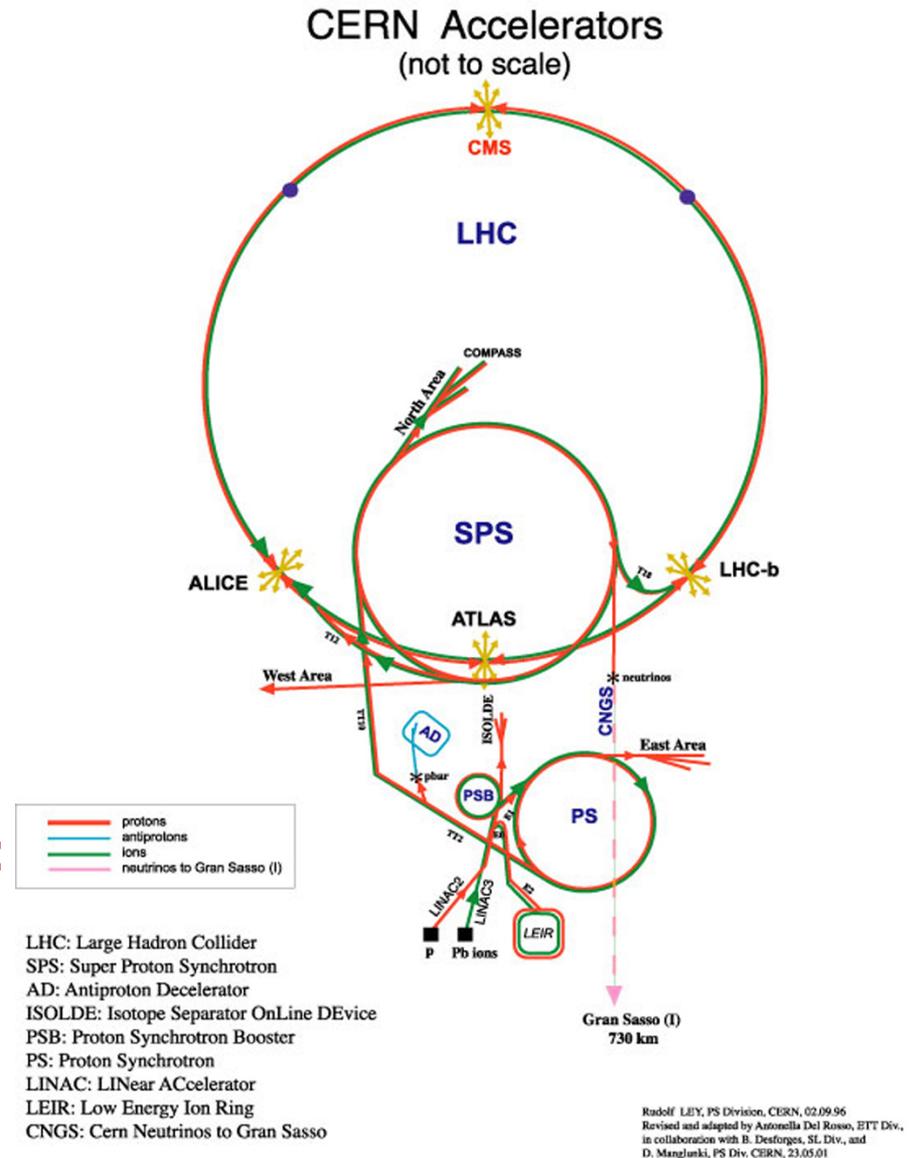
Magneti superconduttori

Accelerazione

Cavità a radiofrequenza

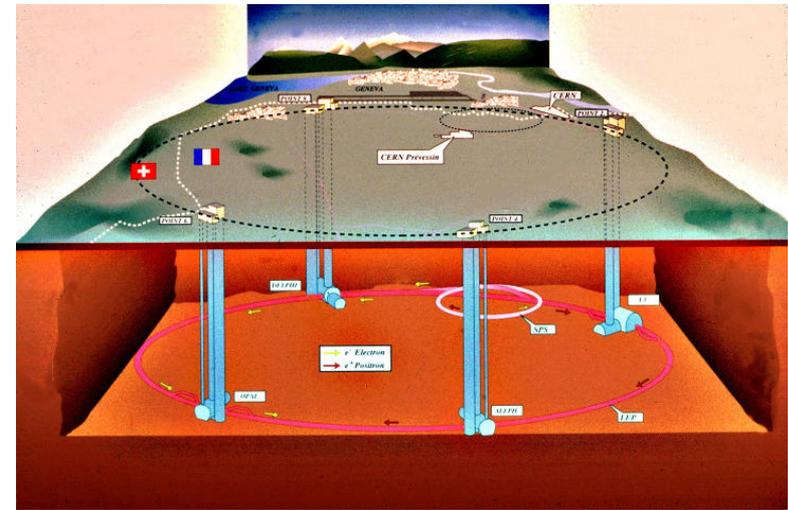
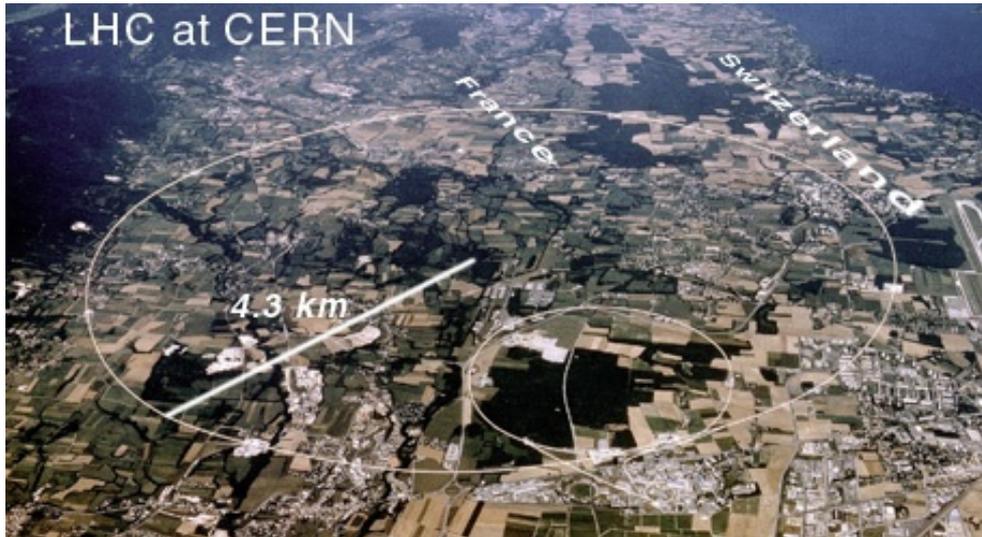
Il complesso di acceleratori del CERN

- ❑ **Centro Europeo Ricerche Nucleari:**
 - ❑ Il CERN è il laboratorio più grande del mondo per le ricerche di Fisica delle Particelle Elementari
 - ❑ 6500 scienziati di 500 universita' di 80 paesi diversi lavorano al CERN
- ❑ **Fondato nel 1954**
- ❑ **L'Italia uno dei 12 paesi fondatori:** scienziati e industrie italiane occupano ruoli di primissimo piano
- ❑ **Complesso di acceleratori del CERN:** un acceleratore diventa l'iniettore dell'anello piu' grande



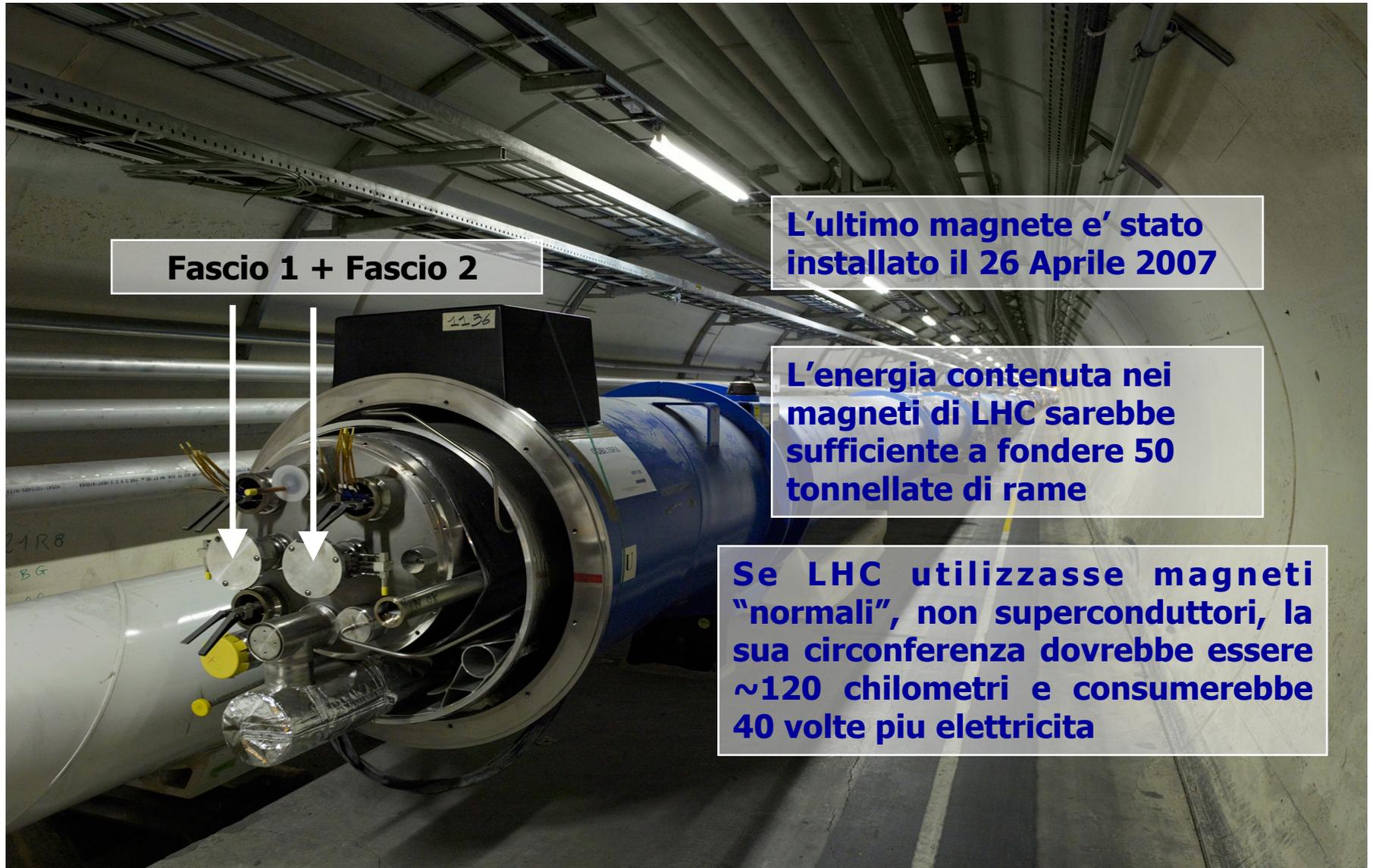
La nuova frontiera: il Large Hadron Collider

LHC accelera due fasci di protoni che ruotano in due direzioni opposte e sono fatti collidere in quattro punti dove sono posizionati dei rivelatori. 27 km di circonferenza in un tunnel sotterraneo !



I protoni vengono raggruppati in pacchetti approssimativamente cilindrici di raggio pari a circa $20 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 1$ millesimo di millimetro). La macchina acceleratrice e' in grado di provocare collisioni tra pacchetti di protoni 40 milioni di volte al secondo!

La nuova frontiera : il Large Hadron Collider



Fascio 1 + Fascio 2

L'ultimo magnete e' stato installato il 26 Aprile 2007

L'energia contenuta nei magneti di LHC sarebbe sufficiente a fondere 50 tonnellate di rame

Se LHC utilizzasse magneti "normali", non superconduttori, la sua circonferenza dovrebbe essere ~120 chilometri e consumerebbe 40 volte piu elettricita

La nuova frontiera : il Large Hadron Collider

$B_{\text{dip}} \cong 8.3 \text{ T}$
 $R_{\text{dip}} \cong 3 \text{ km}$
 $L_{\text{dip}} \cong 15 \text{ m} \times 1232$
 $L_{\text{tunnel}} = 27 \text{ km}$

1500 tonn. di cavi
SuperConduttori

1800 Convertitori di
potenza da 60 A a 24 kA

15000 MJ di energia
magnetica

$T = 1.9 \text{ K}$

- ❑ Ogni "pacchetto" del fascio contiene 100 miliardi di protoni. Il "pacchetto" ha l'energia totale di un treno a 160 km/h ma ogni protone ha l'energia di una zanzara che vola
- ❑ Il fascio di protoni "vive" per ~ 10 ore percorrendo 10 miliardi di chilometri (andata e ritorno Terra-Nettuno)
- ❑ Ad ogni collisione fra pacchetti ci sono in media 20 interazioni p-p
- ❑ Molti milioni di collisioni al secondo: solo ~ 1000 al secondo sono quelle che vengono selezionate perche di un certo interesse
- ❑ Flusso di dati utile: circa 1 Petabyte(10^{15} Bytes)/anno: l'equivalente di 4000 hard disk da 250 GB ciascuno.

Perche' li facciamo cosi grandi?

Per studiare la struttura della materia a scale sempre piu' piccole abbiamo bisogno di macchine che possano fornire sempre piu' energia. Parallelamente per mantenere in orbita i fasci sono necessari magneti sempre piu' potenti che non sono facili da realizzare!

□ ad LHC piu' di 1000 magneti superconduttori che generano un campo da 8 T!!

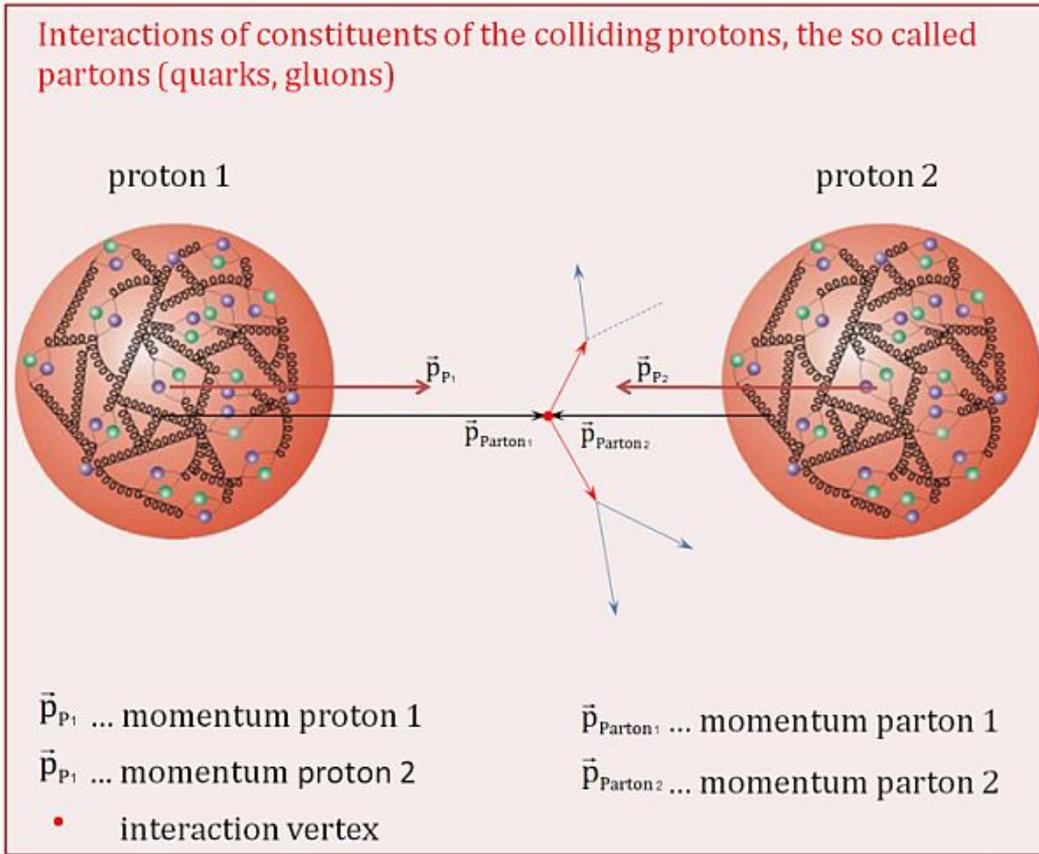
Aumentando il raggio di curvatura il campo magnetico richiesto e' minore : con una circonferenza di 27 Km possiamo arrivare a 7+7 TeV nel centro di massa

$$p(\text{TeV}) = 0.3B(\text{Tesla})R(\text{Km})$$

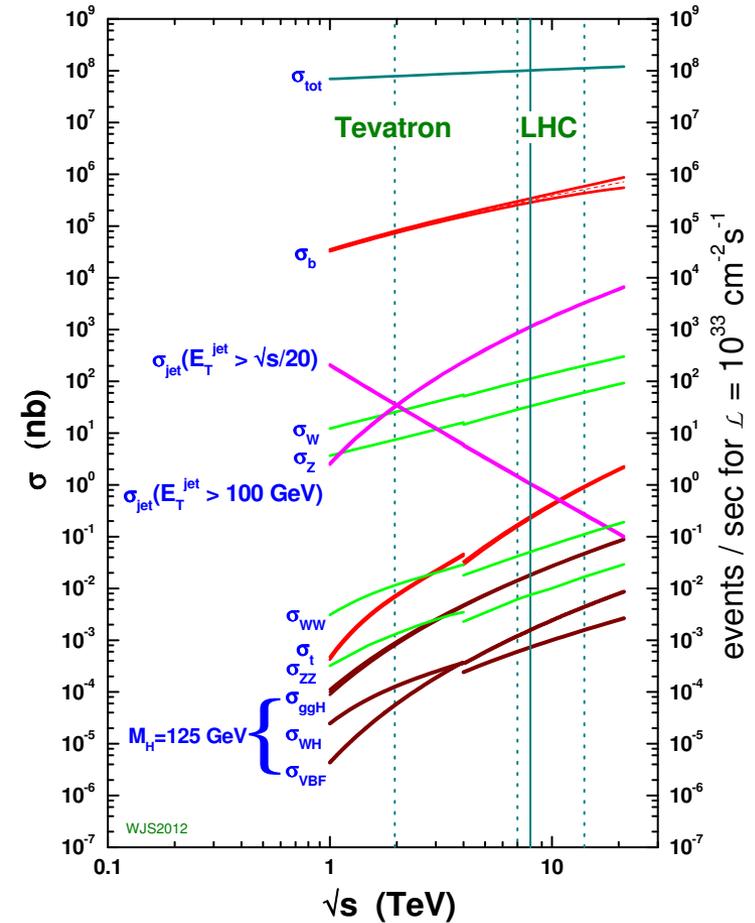
Quante collisioni?

Gli urti violenti in cui si possono formare nuove particelle sono molto rari: possono volerci milioni di scontri 'a vuoto' prima di ottenere qualcosa di interessante. Per questo motivo i fasci devono essere intensi, collimati e le collisioni devono essere frequenti!

Dentro le collisioni protone-protone



proton - (anti)proton cross sections



Concetto di sezione d'urto : probabilita' che un determinato evento accada in un urto ad una particolare energia

The LHC experimental conditions

□ Just a few remarks on luminosity : for a process with a given cross section σ_{int} the rate and the number of events can be expressed as a function of the luminosity L

$$R = L\sigma_{\text{int}} \quad N_{\text{ev}} = \sigma_{\text{int}} \int_t L$$

□ The luminosity depends on the features of the machine :

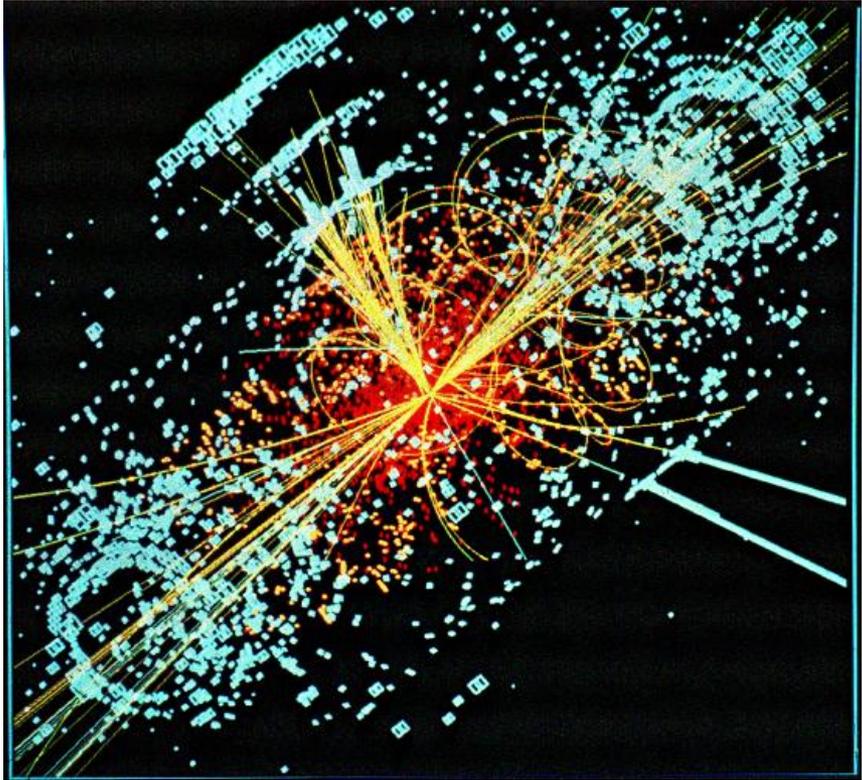
$$L = f \frac{n_1 n_2}{4\pi\sigma_x \sigma_y}$$

where f is the frequency, n_1 and n_2 the number of particles per bunch, σ_x and σ_y the size of the beam in the transverse plane

□ The best available technology allows to squeeze the bunches to a size of $\sim 17 \mu\text{m}$ with bunches of up to 10^{11} protons every 25 ns: can observe many interesting processes

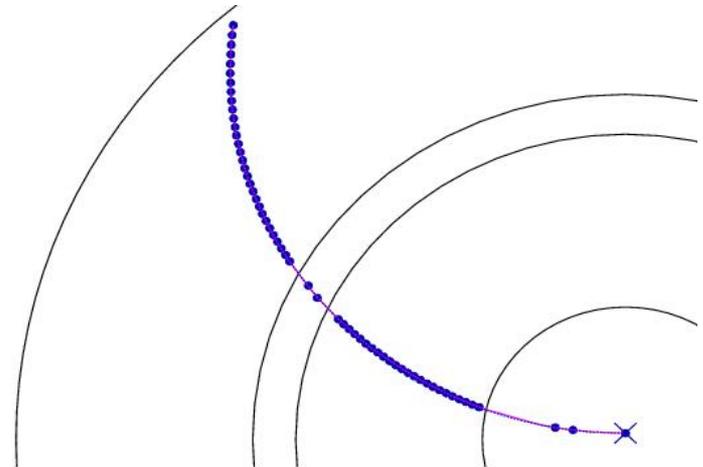
- Higgs ($120 \text{ GeV}/c^2$): 0.1 Hz
- $t\bar{t}$ production: 10 Hz
- $W \rightarrow l \nu$: 10^2 Hz

And now what ? Ovvero come osservare le particelle

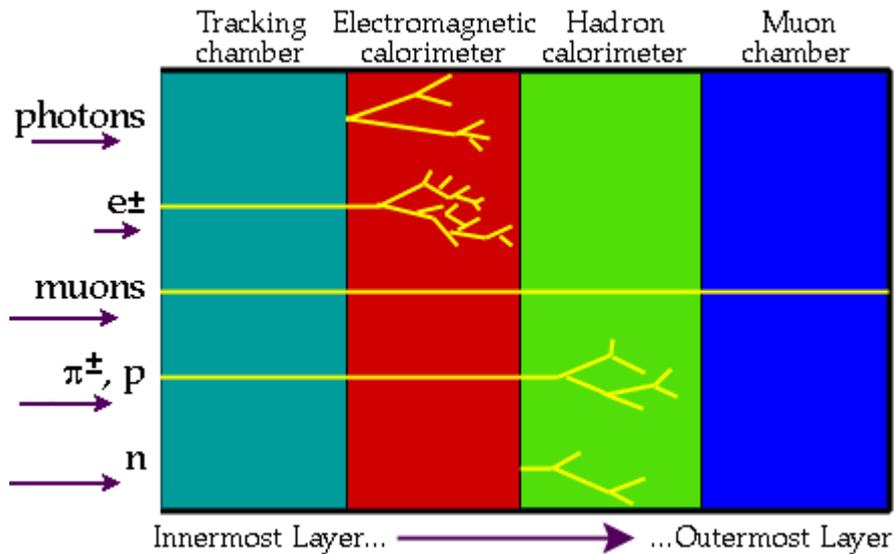
- ❑ Come osservo le collisioni generate dal Large Hadron Collider ?
 - ❑ Il concetto base e' che una particella attraversando un materiale lascia una traccia del suo passaggio provocando qualche fenomeno nel mezzo che ha attraversato
 - ❑ Un rivelatore e' essenzialmente un blocco materiale corredato di un apposito sistema di lettura in grado di misurare l'effetto prodotto dal passaggio della particella
- 
- ❑ Esistono materiali particolari detti scintillatori nei quali il passaggio di una particella (segnale luminoso).
 - ❑ In altri materiali la particella ionizza il mezzo generando delle coppie elettroni – ione

Come osservare le particelle?

- ❑ Esempio 1: posso decidere di bloccare completamente una particella. Un calorimetro e' un oggetto che misura l'energia di una particella per assorbimento totale.
 - ❑ Chiaramente l'effetto misurato deve essere legato in maniera nota alla grandezza che vogliamo misurare (l'energia nel caso del calorimetro)
- ❑ Esempio 2 : oppure posso decidere di osservare il passaggio della particella perturbandola il meno possibile. Un tracciatore ricostruisce il passaggio di una particella (traccia) cercando di non bloccarla !
 - ❑ Se mettiamo un campo magnetico e misuriamo la curvatura possiamo determinare il momento della particella $p = 0.3 \text{ B(T) R(m)}$
 - ❑ Ma anche la sua carica per esempio!



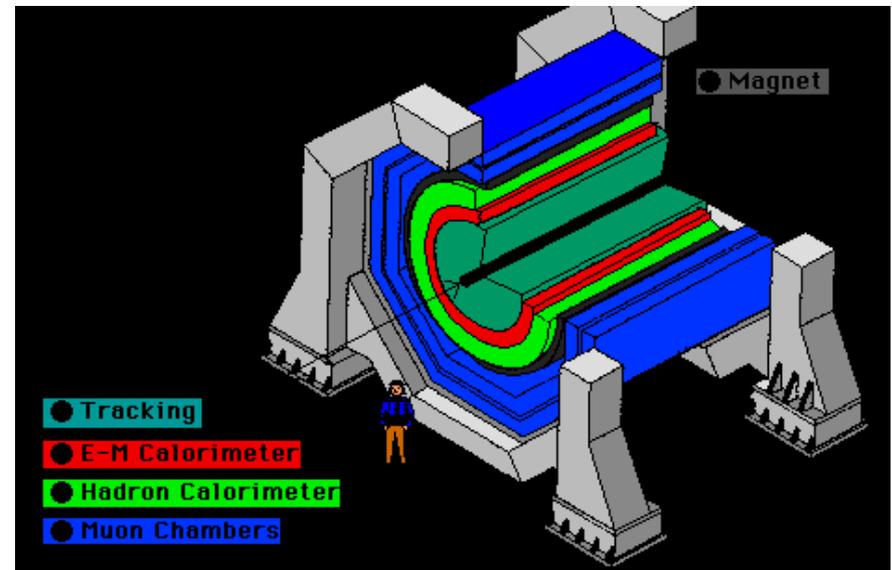
I rivelatori di particelle agli acceleratori



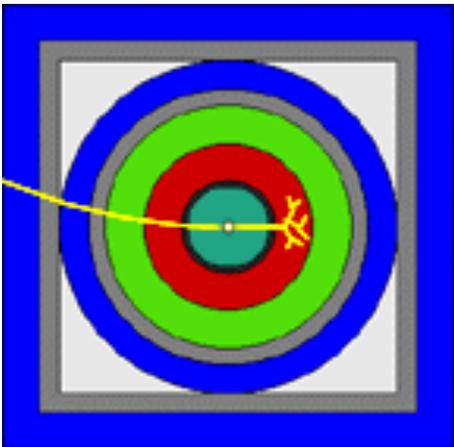
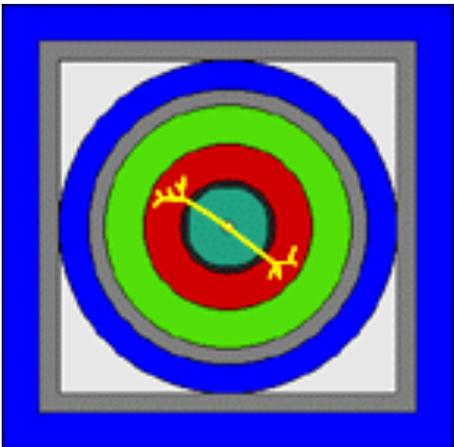
- ❑ Diverse particelle si comportano diversamente attraversando materiali diversi
- ❑ Costruire rivelatori diversi ottimizzati per ogni particella,

❑ Costruire rivelatori 'multi-purpose' con struttura a 'cipolla'

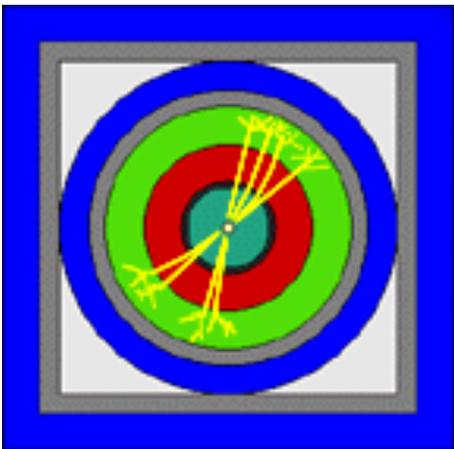
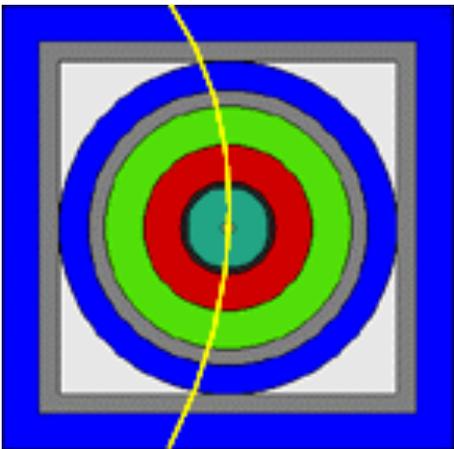
❑ Combinare tutte le informazioni da sotto-rivelatori diversi per capire di che particella si tratta!



Quiz...



?



Anche la mancanza di energia ci dice qualcosa....

❑ In una collisione frontale si deve conservare il momento (la parte trasversa se collidiamo protoni)

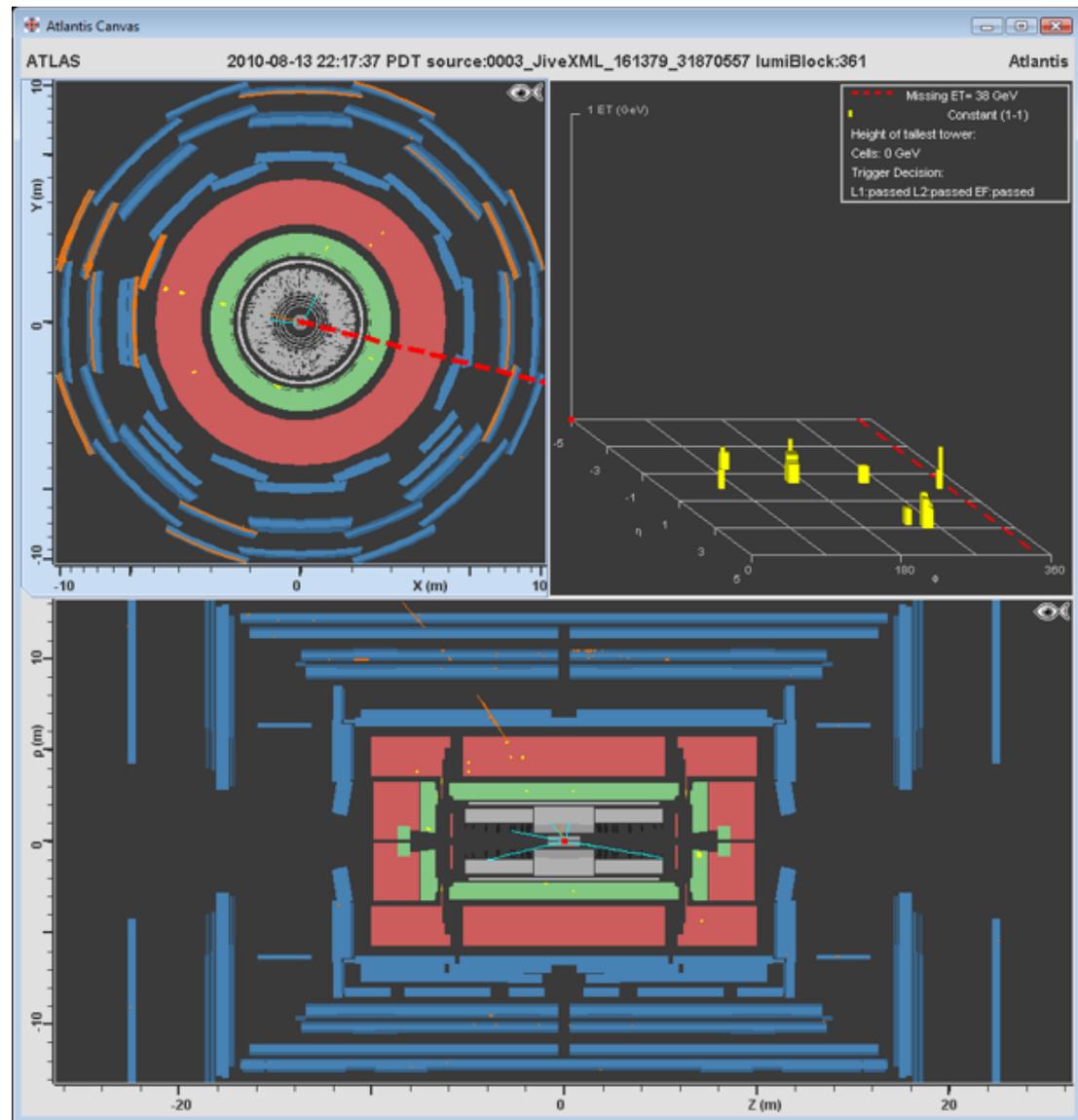
❑ Ci sono particelle del modello standard (neutrini) che quasi non interagiscono con il materiale, solo interazione debole :

❑ Sommo vettorialmente tutta l'energia osservata e la parte trasversa si deve conservare

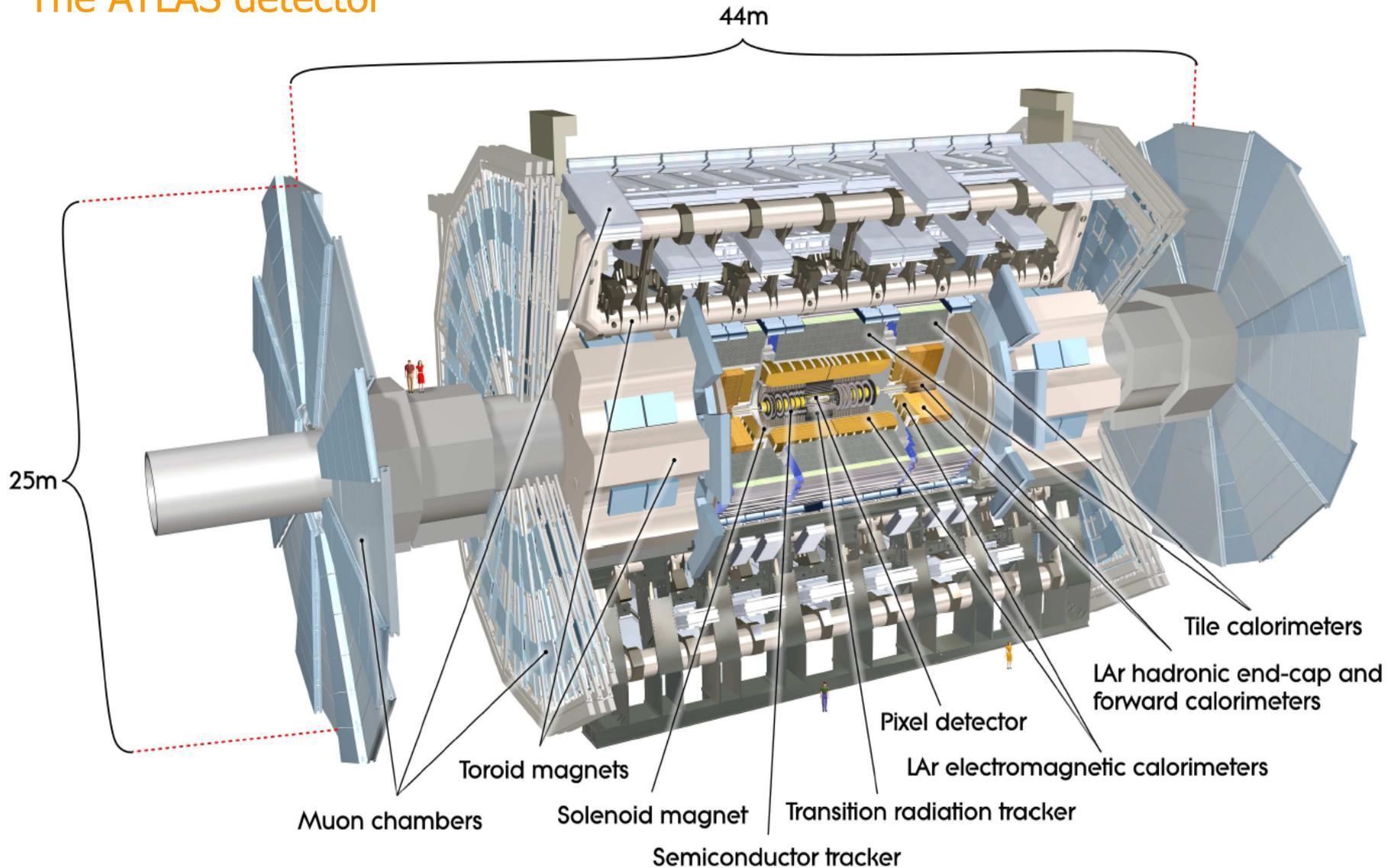
❑ Se manca dico che una particella si e' portata via la parte mancante

❑ Facciamo rivelatori ermetici!

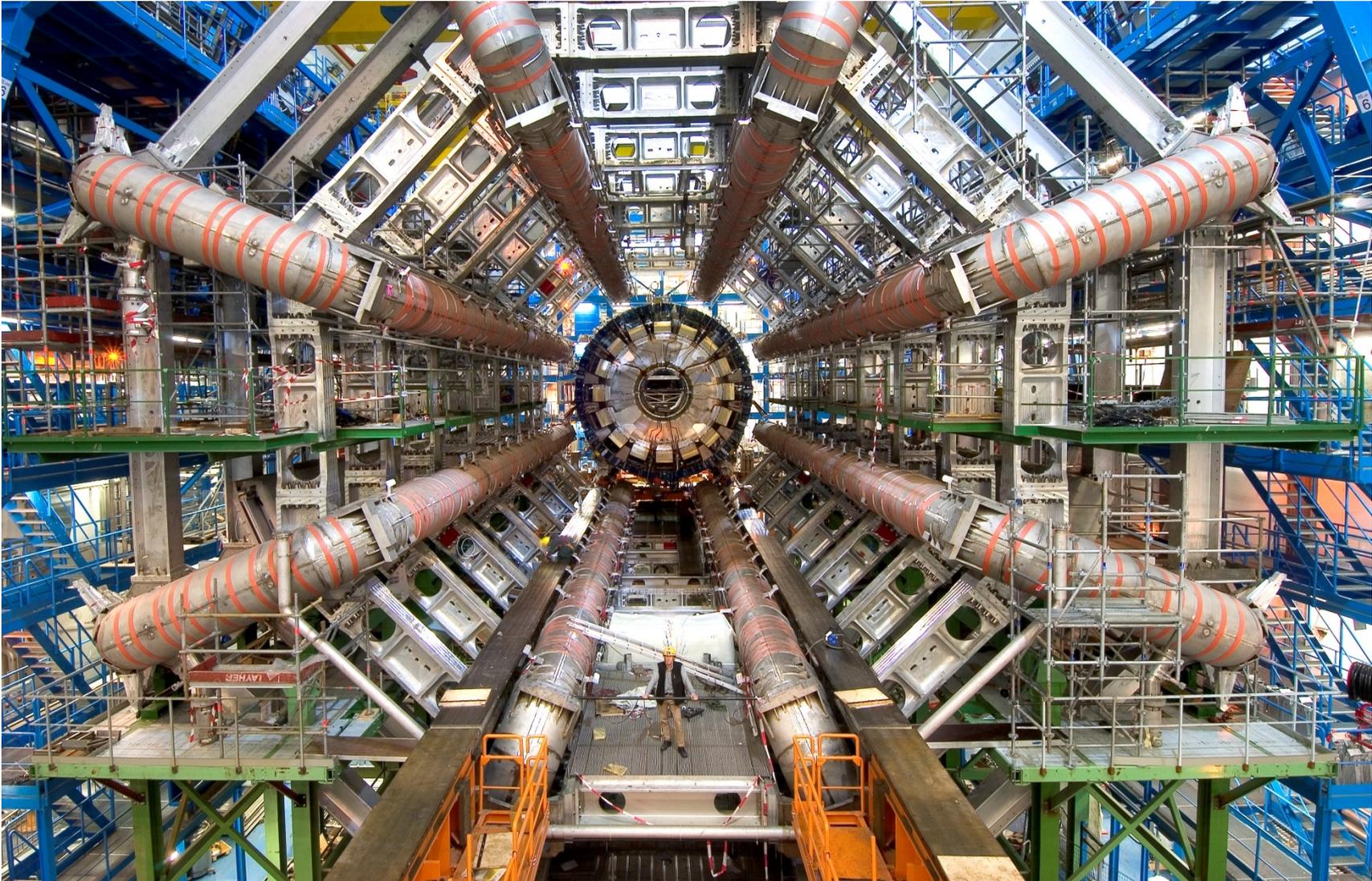
❑ Materia oscura potrebbe 'vedersi' in questo modo



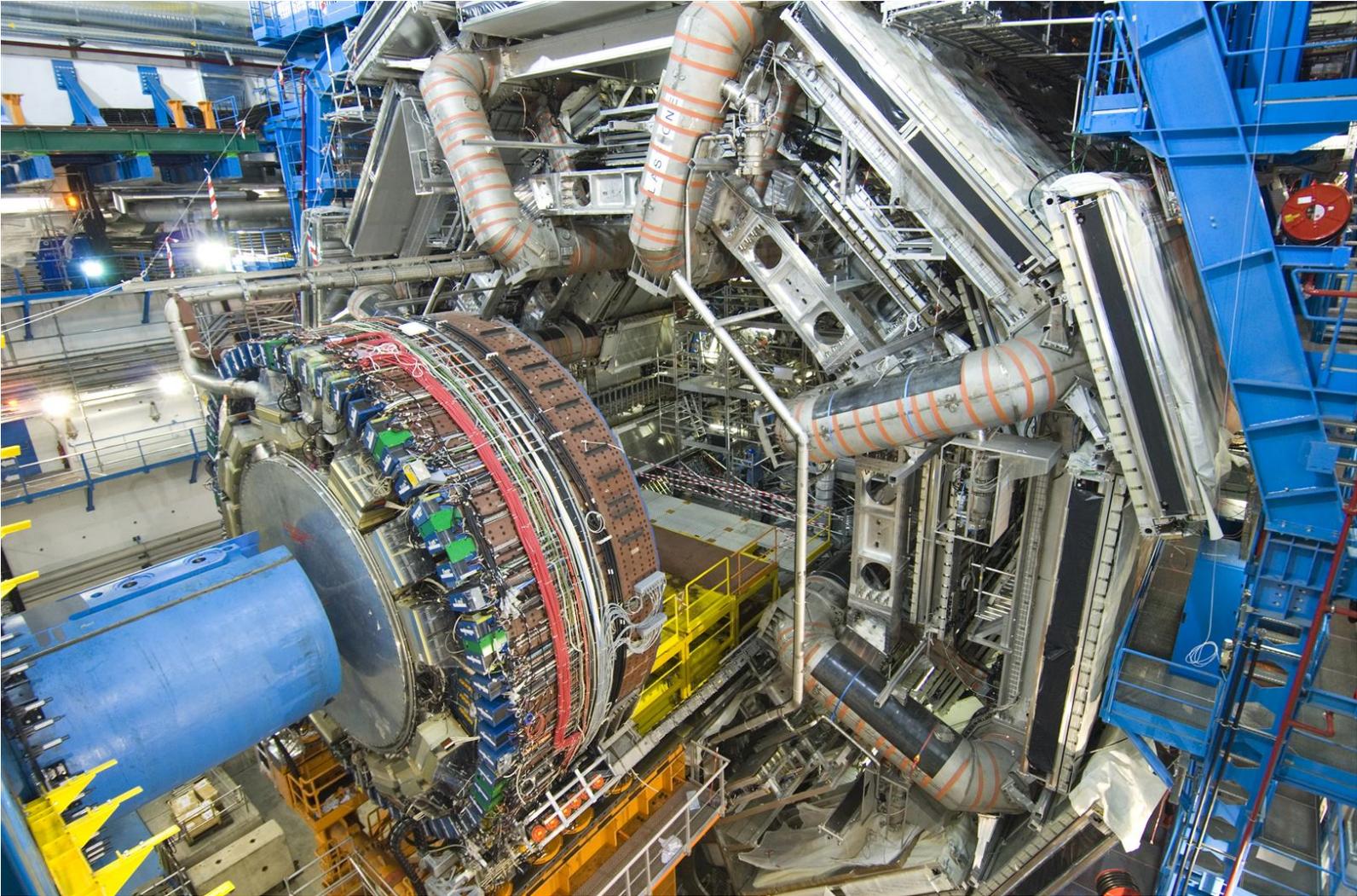
The ATLAS detector



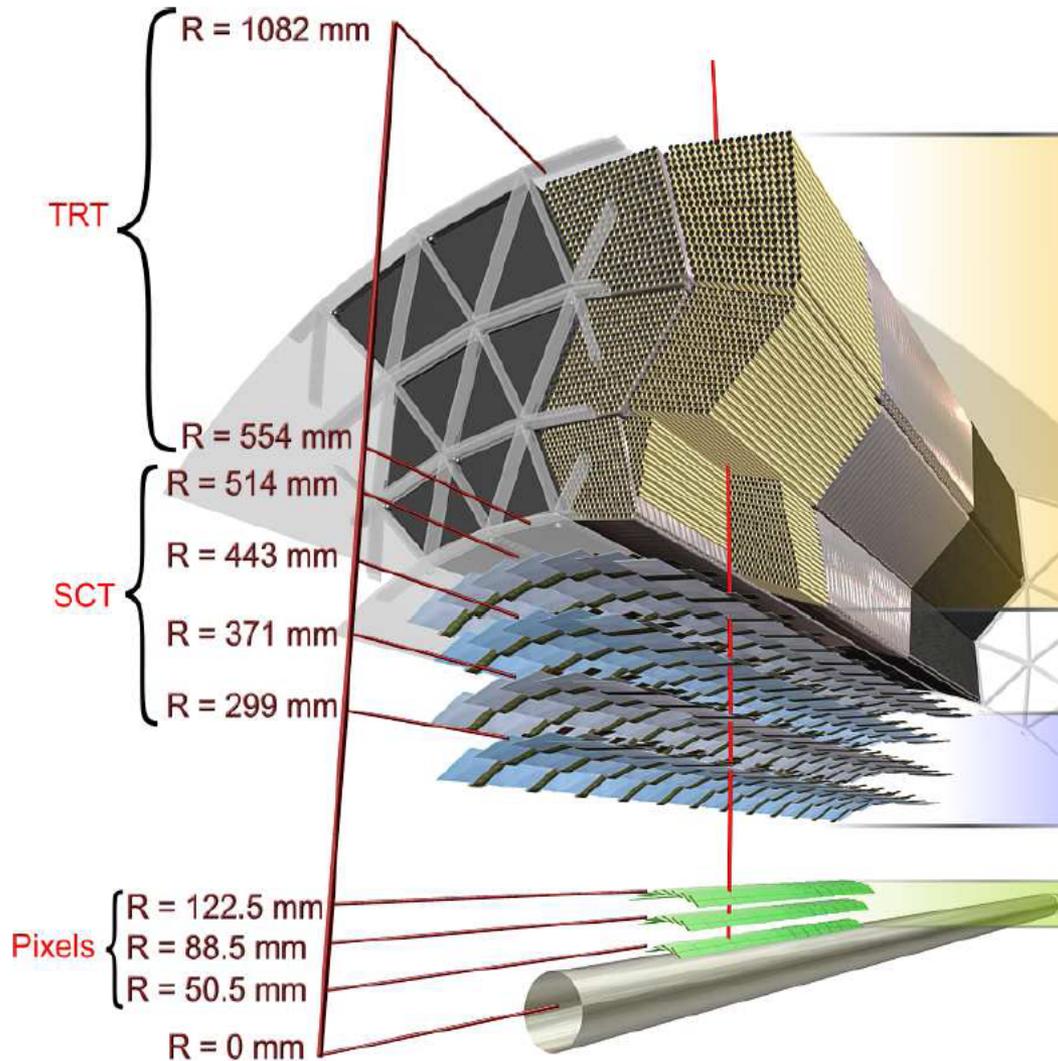
Il rivelatore ATLAS



Il rivelatore ATLAS



Inner Detector



❑ Inner Detector (ID) is immersed in a 2 T solenoidal B-field

❑ Transition Radiation Tracker

- ❑ 350k channel tracker
- ❑ 4mm (diameter) straws
- ❑ TR detection: e/π^\pm discrimination
- ❑ 36 hits on track
- ❑ $130\mu\text{m}$ resolution

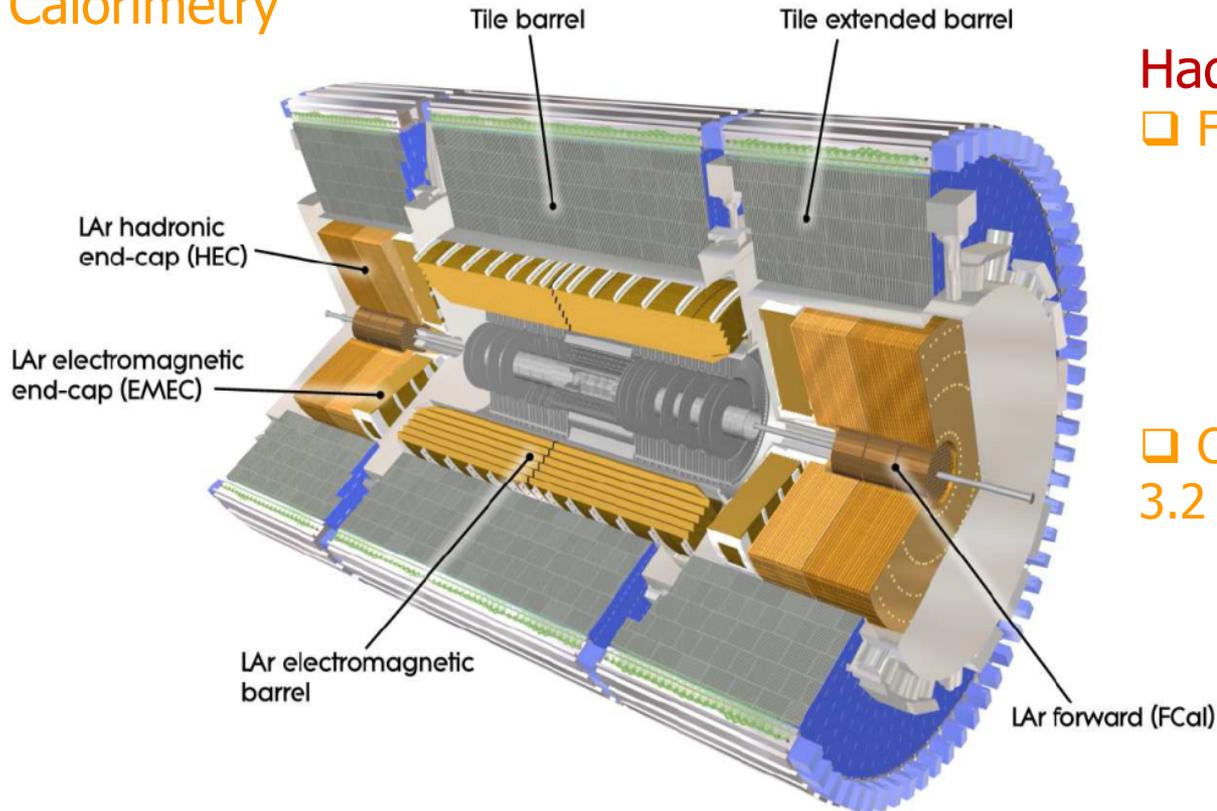
❑ Semi-Conductor Tracker

- ❑ 6.3M channels
- ❑ 4 cylinders, 8 hits/track
- ❑ $17\mu\text{m}$ resolution

❑ Pixel Tracker

- ❑ 80M channels, 3 layers
- ❑ $10\mu\text{m}$ resolution

Calorimetry



Hadronic Calorimeter

- Fe-scintillator for $|\eta| < 1.7$:
 - $\sigma(E)/E = (50\%) / \sqrt{E} \oplus 3\%$
 - 0.1x0.1 typical granularity
 - Longitudinally segmented

- Cu-LAr for $1.5 < |\eta| < 3.2$:

- $\sigma(E)/E = (50\%) / \sqrt{E} \oplus 6\%$
- 0.1x0.1 typical granularity
- Longitudinally segmented

Liquid Argon-Lead sampling EM calorimeter with an 'accordion' geometry :

- 3 longitudinal layers with cell of $\Delta\eta \times \Delta\phi$: (0.003-0.006)x0.1 (1stlayer) ; 0.025x0.025 (2ndlayer); 0.050x0.025 (3rdlayer). Allow a calo-based measurement of electron/photon direction.
- Presampler for $|\eta| < 1.8$ $\Delta\eta \times \Delta\phi \sim 0.025 \times 0.1$
- $\sigma(E)/E = (10-17\%) (\eta) / \sqrt{E} \text{ (GeV)} \oplus 0.7\%$
- angular resolution 50 mrad/ \sqrt{E} : Z vertex resolution in $H \rightarrow \gamma\gamma$ simulated events ~ 16 mm

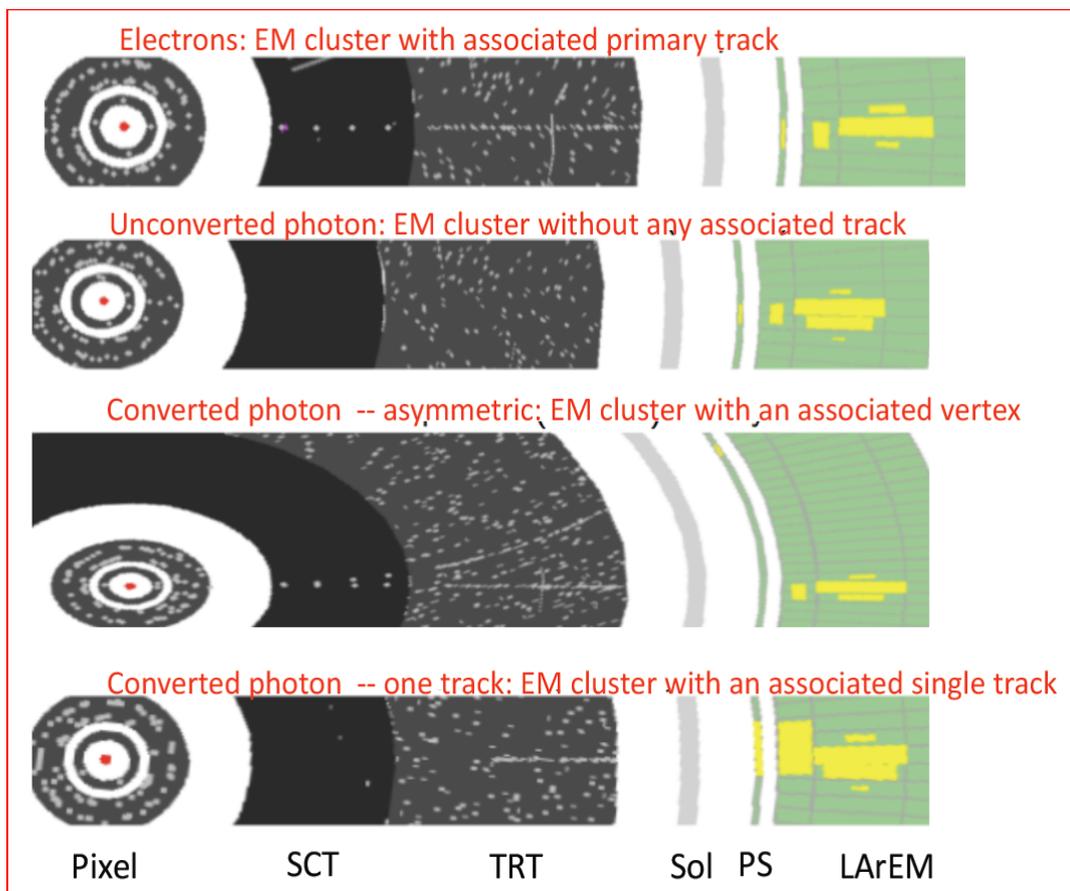
In sintesi

Per ogni evento registrato leggiamo TUTTI I segnali da TUTTI I rivelatori:

- ❑ Segnali dall'inner detector : hits nel rivelatore, costruiamo le tracce. Particelle cariche, la curvatura ci dice il suo momento
- ❑ Segnali dai calorimetri : identifichiamo elettroni, fotoni e jets. Sia carichi sia neutri.
- ❑ Segnali dal muon spectrometer : hits nel rivelatore, costruiamo tracce dei muoni (i soli che possono arrivare fino li)
- ❑ Se manca dell'energia trasversa allora c'era un neutrino o **una particella sconosciuta !**

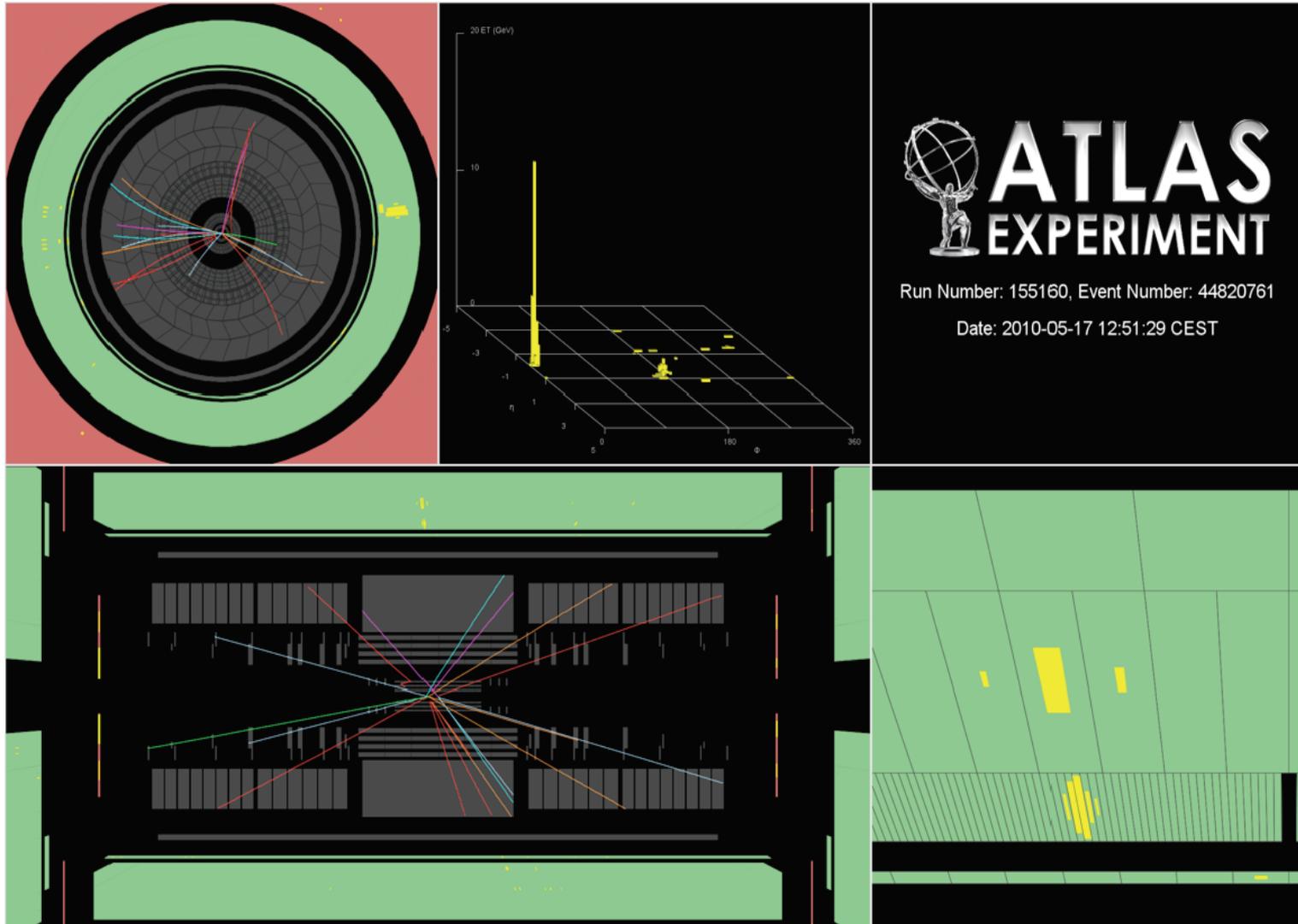
Un esempio : ricostruzione di fotoni ed elettroni

Main ingredients are clusters in the EM calo and tracks/vertexes in the ID:

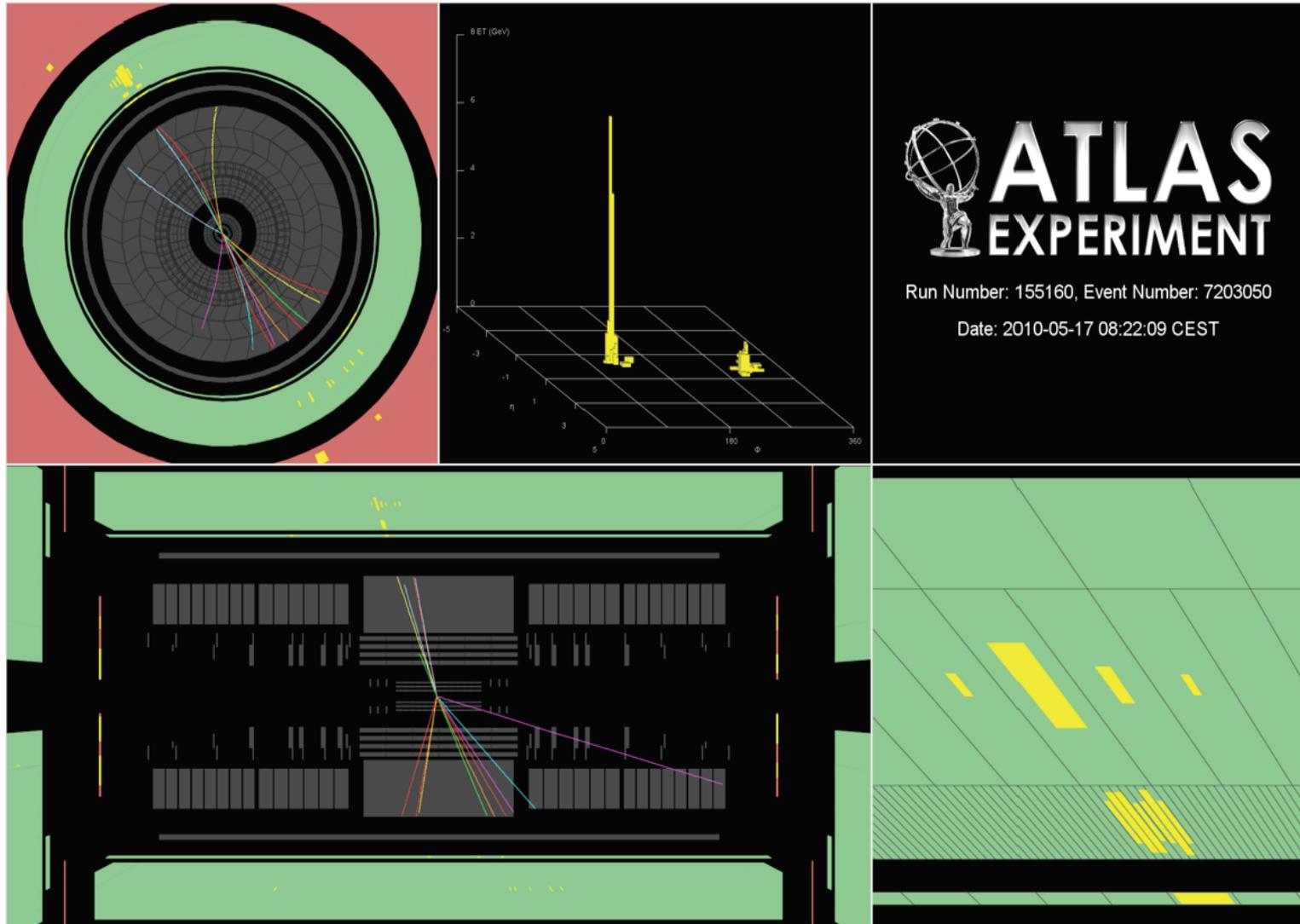


- ❑ An electron candidate is roughly a cluster in the EM calo with a track pointing to it
- ❑ A photon candidate is a cluster with no associated track
- ❑ But life is not always so easy...
- ❑ A photon can convert
 - ❑ you can see one cluster with one associated track coming from a secondary vertex
 - ❑ you can see one cluster with one single associated track (but with no hits in the pixels)
- ❑ An electrons can brem:
 - ❑ Track has to be followed precisely
- ❑ There's always a certain degree of ambiguity that can't be resolved

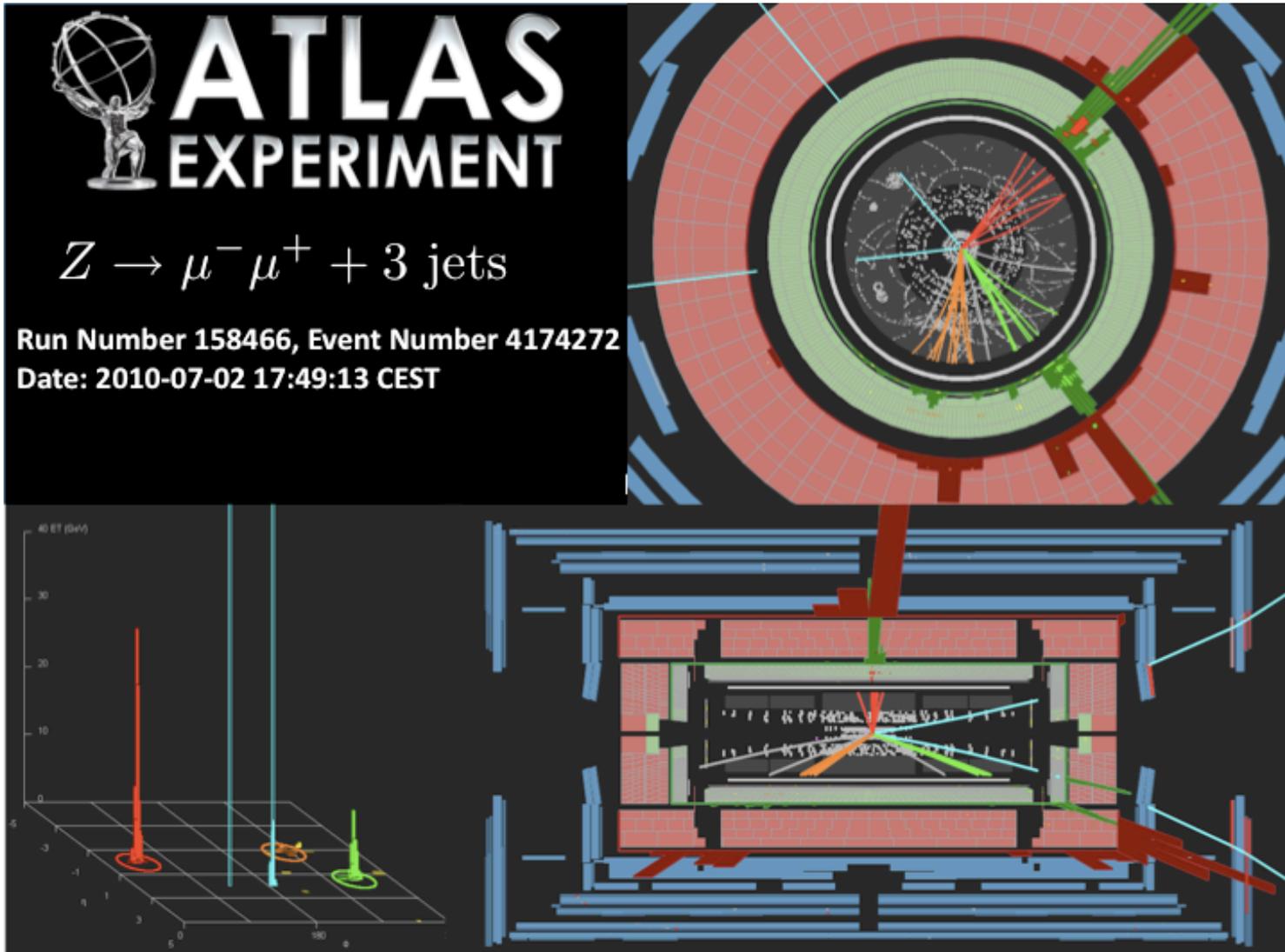
A nice photon candidate



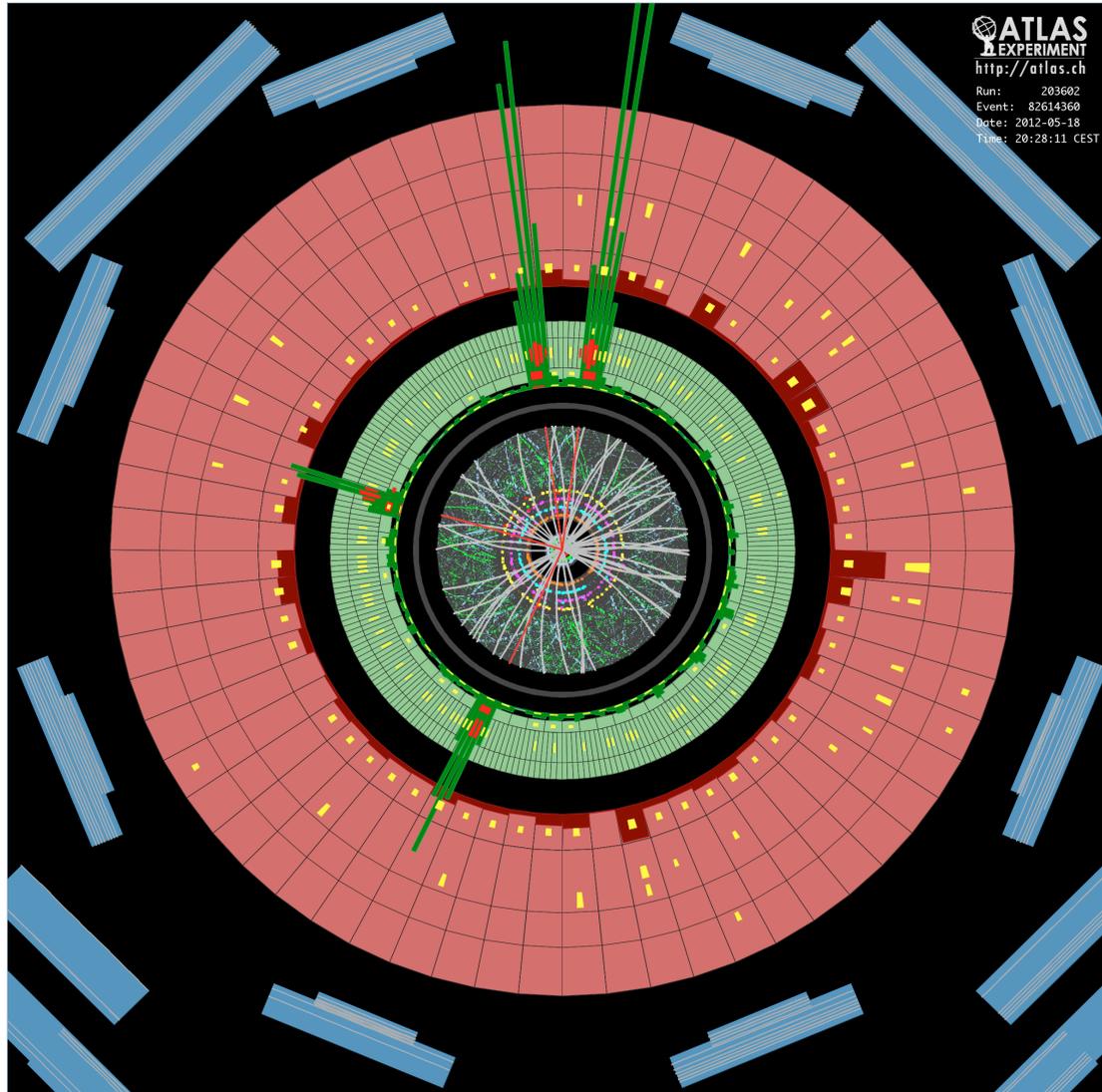
A nice π^0 candidate



A nice Z event



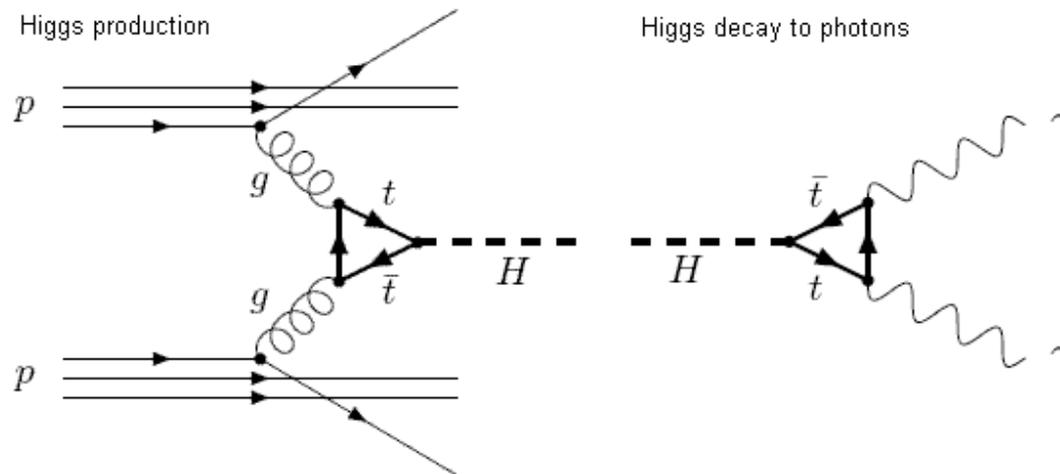
A nice H to 4 e candidate



Il problema del 'fondo' : perche' e' cosi' difficile scovare l'Higgs

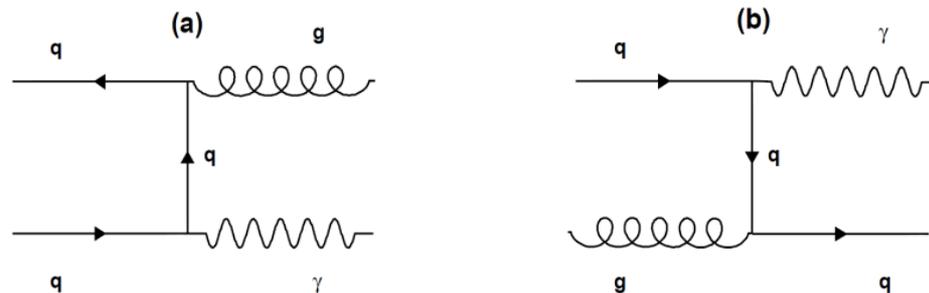
- ❑ Non solo il bosone di Higgs si manifesta con difficolta' : tende anche a mascherarsi da altro !
- ❑ Fondo : eventi che 'sembrano' il bosone ma non lo sono!

Supponiamo di cercare il decadimento di un bosone di Higgs in due fotoni:

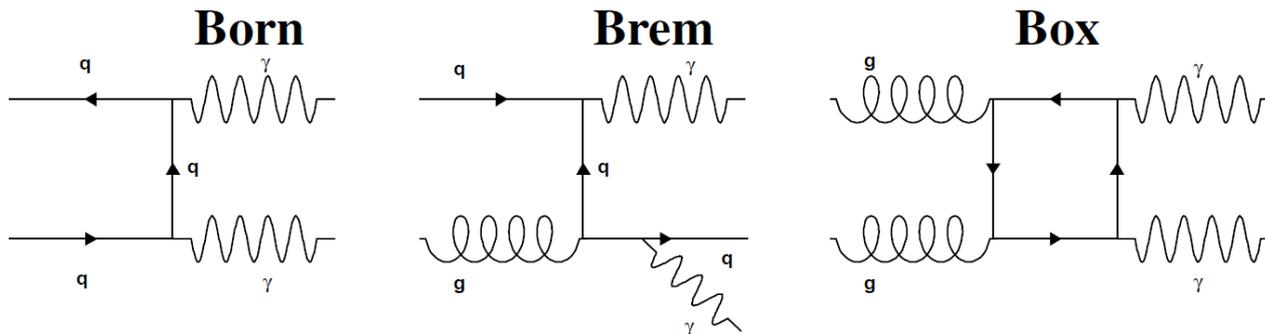


Il problema del 'fondo' : perche' e' cosi' difficile scovare l'Higgs

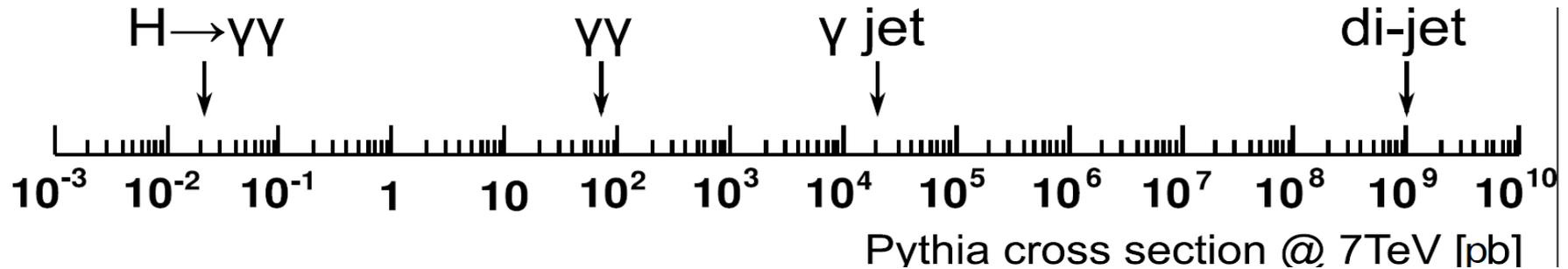
- **Fondo riducibile** : eventi che NON sono due fotoni (magari due jets) ma che nel rivelatore 'sembrano' fotoni : dobbiamo progettare per bene I nostri rivelatori e analizzare bene i nostri dati !



- **Fondo irriducibile** : eventi con due fotoni veri ma che NON vengono dall'Higgs. Non c'e' nulla da fare, dobbiamo conviverci !



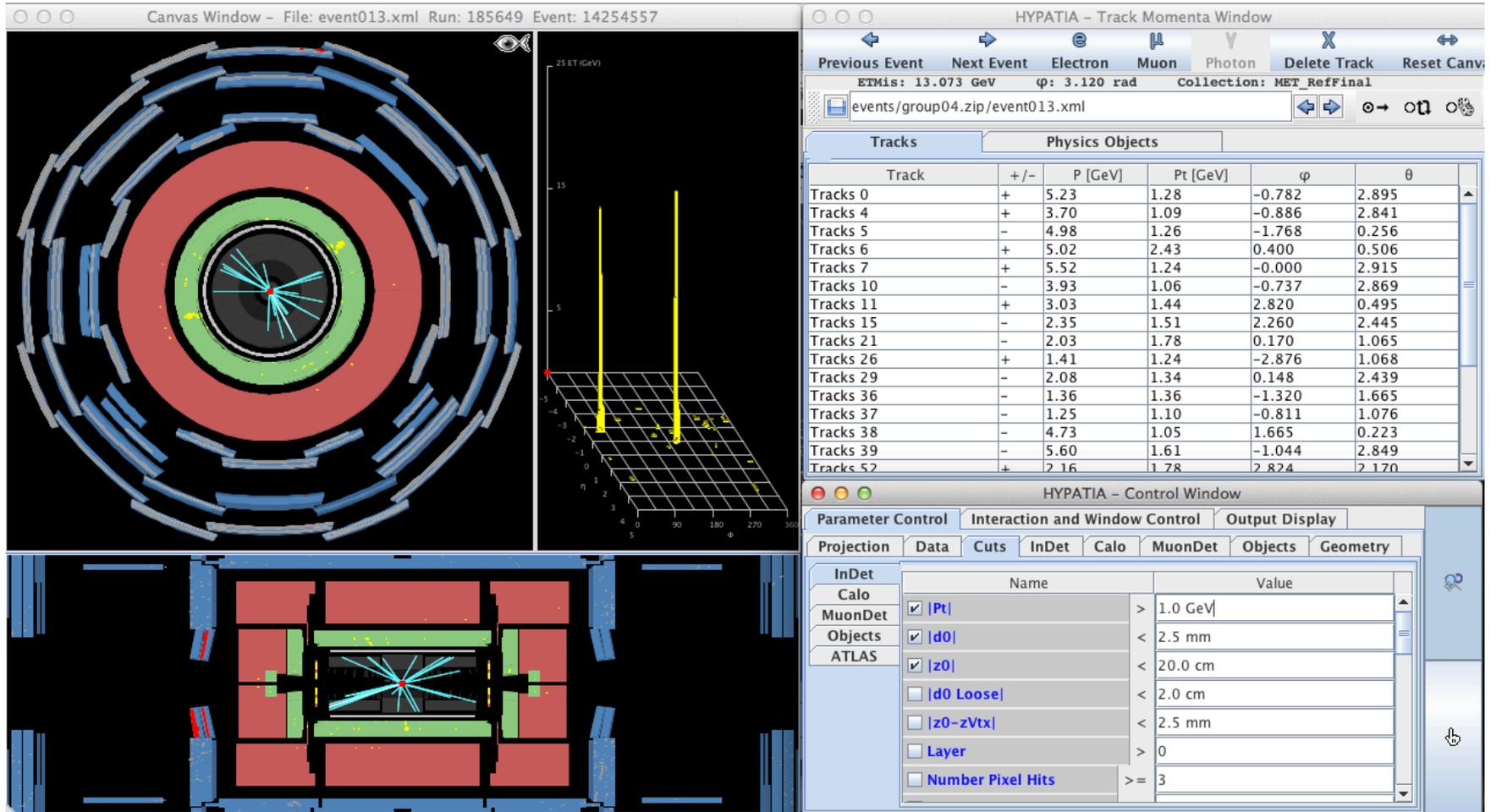
Il problema del 'fondo' : perche' e' cosi' difficile scovare l'Higgs



- ❑ La sezione d'urto (\sim probabilita') di generare un bosone di Higgs che poi decade nel canale $\gamma\gamma$ e' 1000 volte inferiore a quella di generare un evento di fondo irriducibile
- ❑ La sezione d'urto (\sim probabilita') di generare un bosone di Higgs che poi decade nel canale $\gamma\gamma$ e' 1000000 volte inferiore a quella di generare un evento di fondo γ -jet e 1000000000 inferiore a quella di generate un evento jetjet

Il problema del 'fondo' : perche' e' cosi' difficile scovare l'Higgs

❑ So what about this ? Can I say this is an Higgs boson ?



- Abbiamo già visto che nella relatività ristretta l'energia viene riscritta

$$E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2}$$

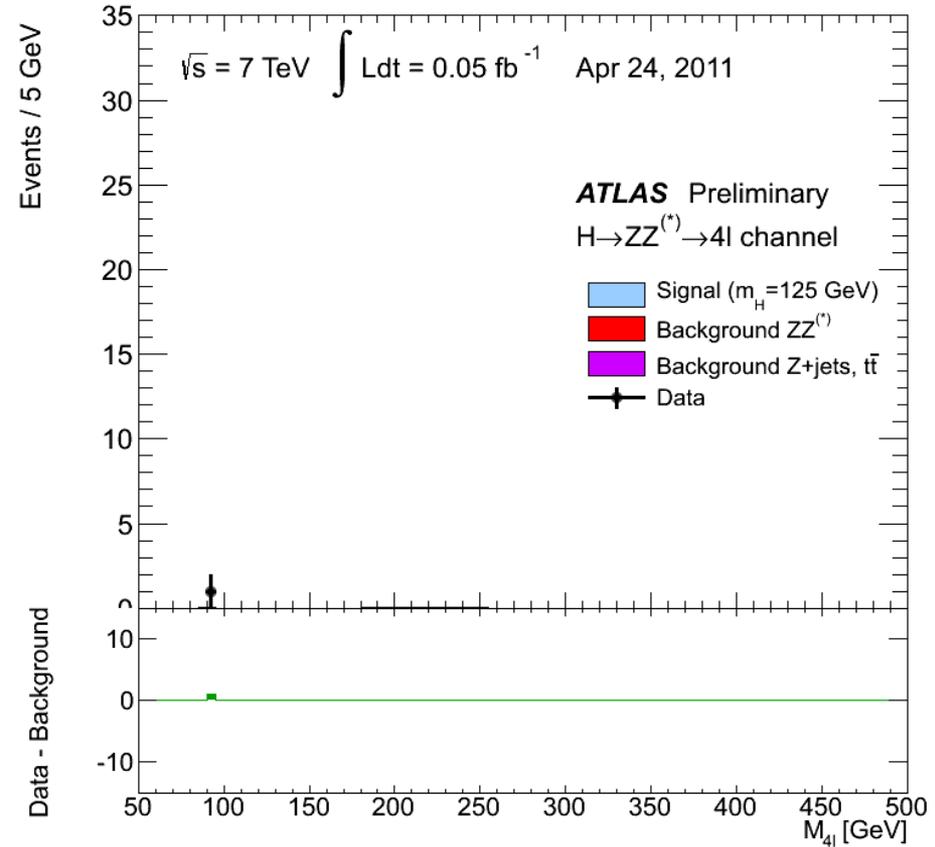
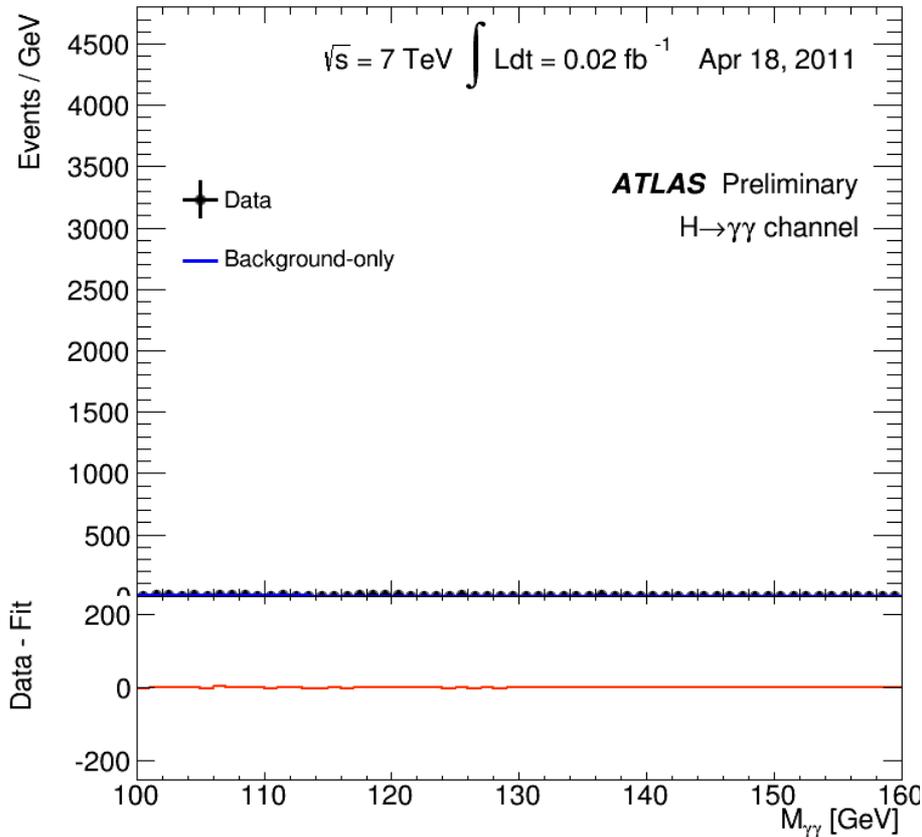
- Da cui possiamo ricavare la massa a riposo m_0

$$m_0 = \sqrt{\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}}{c}\right)^2}$$

- La massa a riposo è un invariante relativistico, non dipende dal sistema di riferimento e può essere misurato nota energia e momento
- Se ho un decadimento $Z \rightarrow e^+e^-$

$$m_0^{(Z)} = \sqrt{\left(\frac{(E_{e^-} + E_{e^+})}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{e^-} + \vec{p}_{e^+}}{c}\right)^2}$$

Il bosone di Higgs finalmente scovato



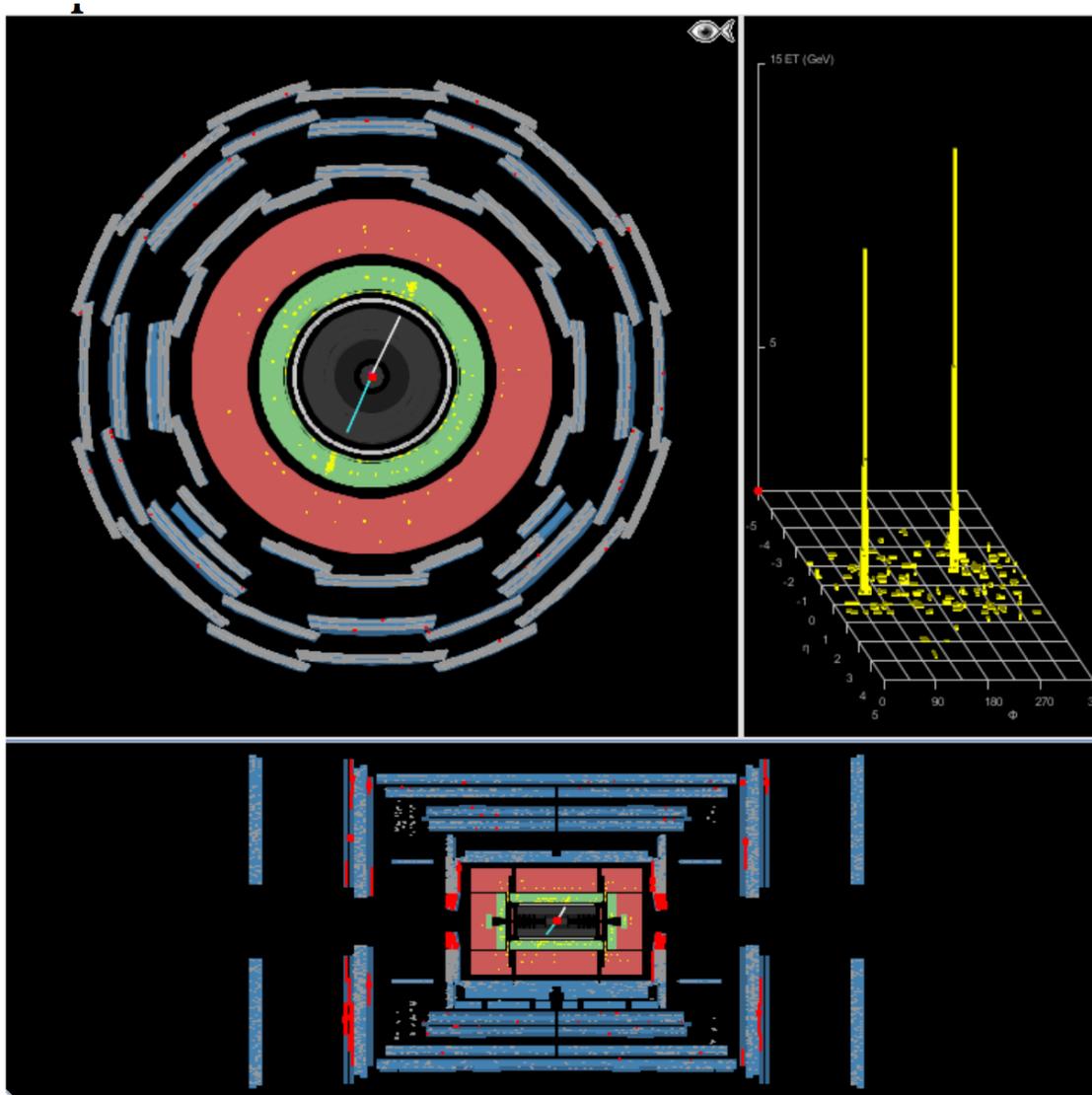
- Un 'eccesso' di eventi ad una determinata massa rispetto a quelli attesi da processi noti dice che lì e' abbiamo generato particelle di un tipo inatteso che e' immediatamente decaduta!

- ❑ Ogni gruppo avrà a disposizione circa 50 eventi di dati reali raccolti da ATLAS nel 2012 alla ricerca del bosone vettore Z
- ❑ Vita media $\sim 10^{-25}$ s : il bosone Z una volta prodotto decade quasi istantaneamente (ie : non siamo in grado di misurarlo)

Z DECAY MODES

	Mode	Fraction (Γ_i/Γ)	Scale factor/ Confidence level
Γ_1	$e^+ e^-$	(3.363 \pm 0.004) %	
Γ_2	$\mu^+ \mu^-$	(3.366 \pm 0.007) %	
Γ_3	$\tau^+ \tau^-$	(3.370 \pm 0.008) %	
Γ_4	$l^+ l^-$	[a] (3.3658 \pm 0.0023) %	
Γ_5	invisible	(20.00 \pm 0.06) %	
Γ_6	hadrons	(69.91 \pm 0.06) %	

Cosa faremo oggi

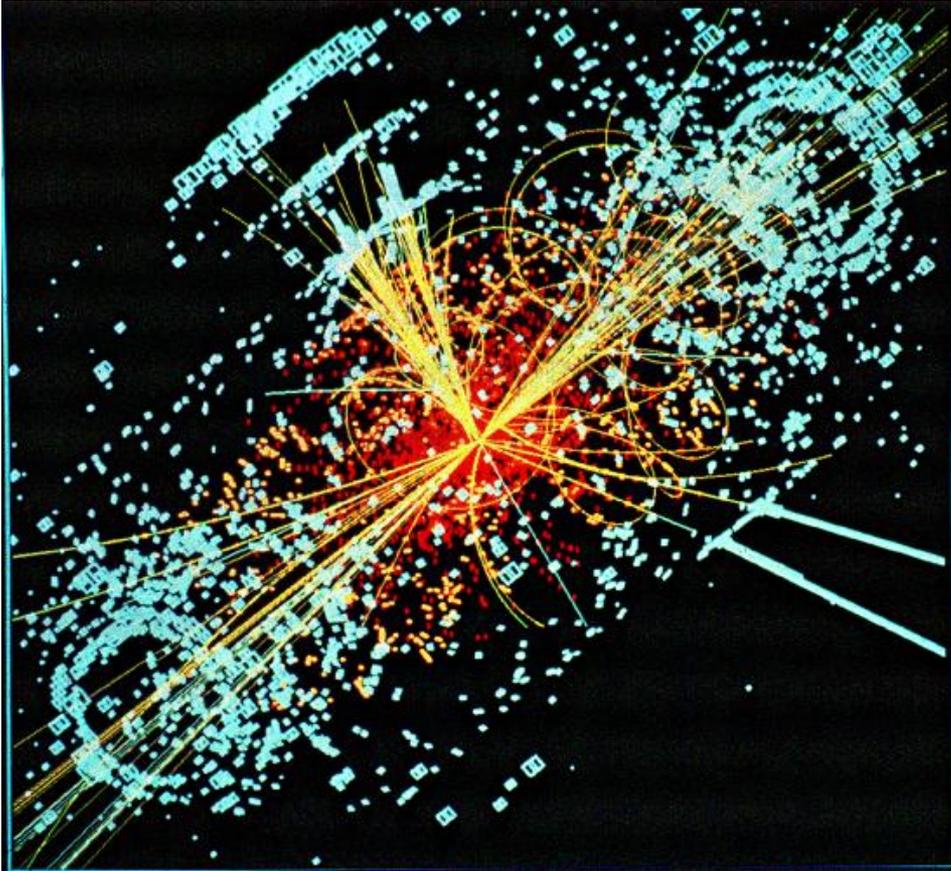


- ❑ Capire gli oggetti nell'evento (fotoni, elettroni, muoni ?)
- ❑ Caratterizzare l'evento : costruire massa invariante dei due oggetti.
- ❑ Salvare le caratteristiche dell'evento in un file e generare un istogramma con le masse invarianti per tutti gli eventi.
- ❑ Sommare tutti gli istogrammi
- ❑ No panic: spesso davvero non si capisce cosa c'e' dentro !

- ❑ Analizzare gli eventi : cercare di capire gli oggetti fisici (elettroni, fotoni, muoni altro ?) e catalogare gli eventi (eventi di decadimento del bosone Z, Higgs, nuove particelle ?)
- ❑ Cercare un eccesso di eventi sul fondo compatibile con la creazione di nuove particelle
- ❑ Altri 4 gruppi di studenti in universita' straniere faranno la stessa cosa. Metteremo in comune i risultati dell'analisi e in una video-conferenza finale discuteremo insieme i risultati.

L'analisi dei dati :

❑ Abbiamo visto che con LHC produrremo miliardi di collisioni. Ogni collisione genera segnali nei rivelatori di ATLAS



- ❑ Per ogni evento potremmo avere cose del tipo in figura
- ❑ Guardare ogni singolo evento, vedere tracce, clusters e decidere
- ❑ Scrivere programmi di 'ricostruzione' degli eventi e analisi dei dati che decifrino tutti questi inputs per dirci : e' passata una particella (c'e' una traccia?) ? C'e' un elettrone ? Era un elettrone o un jet?
- ❑ E' richiesta una capacita di calcolo e storage mai vista prima : GRID!!!

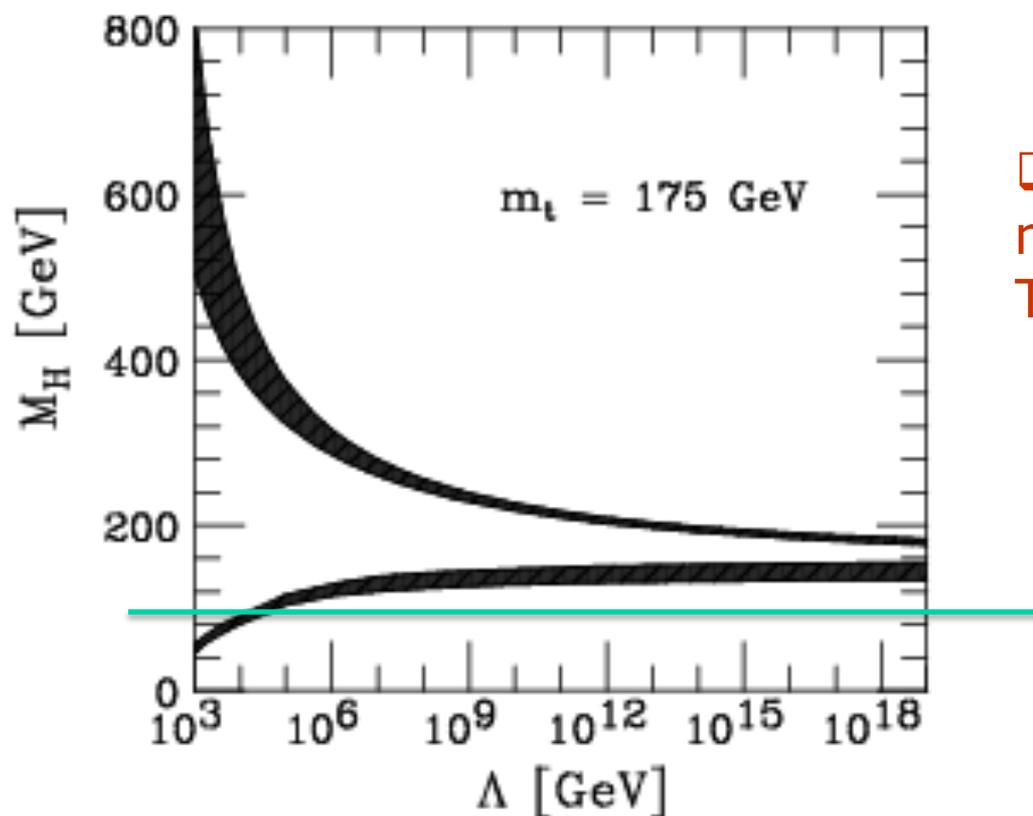
- ❑ The LHC is the largest scientific instrument on the planet. At full operation intensity, the LHC will produce roughly ~5 Petabytes (~5 million Gigabytes) of data annually, which thousands of scientists around the world will access and analyse.
- ❑ The mission of the **WLCG** is to build and maintain a data storage and analysis infrastructure for the entire high energy physics community that will use the LHC.
- ❑ Today, the **WLCG** combines the computing resources of more than 100,000 processors from over 170 sites in 34 countries, producing a massive distributed computing infrastructure that provides more than 8,000 physicists around the world with near real-time access to LHC data, and the power to process it.
- ❑ Milano is a T2 site : 1600 cores and 1.5 PB of disk

La comunità scientifica internazionale ha affrontato una sfida tecnologica incredibilmente avanzata e complessa.

- ❑ Ogni singolo pezzo delle macchine del CERN di Ginevra è un salto in avanti rispetto a quello che si era abituati a fare, tutto è alla frontiera della scienza e della tecnologia
- ❑ Abbiamo scoperto un mattone fondamentale dalla struttura della natura:
 - ❑ Tuttavia la scoperta apre interrogativi ancora più profondi e complessi, non siamo alla fine della storia! Nuovi dati attesi in un paio di mesi da ora.
- ❑ L'Italia ha svolto e svolge tutt'ora un ruolo di primo piano a livello internazionale.
 - ❑ Un gran numero di fisici, ingegneri ma anche imprese italiane ha lavorato e continua a lavorare per il successo di questo progetto.

E dopo il Modello Standard ? Abbiamo gia' capito tutto?

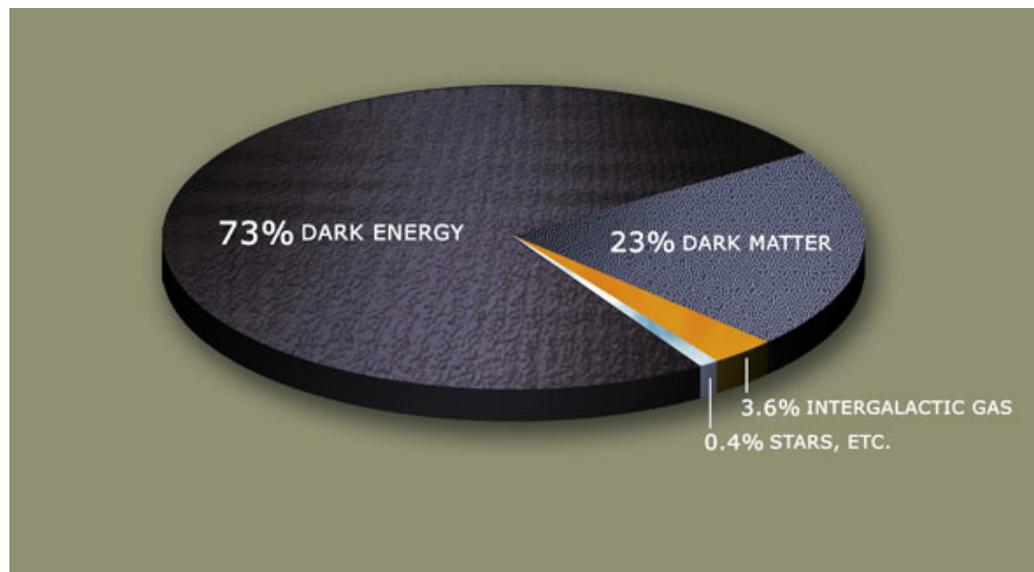
- Abbiamo scoperto un bosone di Higgs a 126 GeV e null'altro (per ora)
 - Molto difficile spiegare insieme questi due fatti : se non c'e' altro (SUSY per esempio) ci deve essere una cospirazione generale ("fine tuning") per stabilizzare la teoria (principio antropico ?)



- Ma quindi c'e' tutta una nuova fisica dietro l'angolo (10 TeV-100 TeV) ?

E dopo il Modello Standard ? Abbiamo gia' capito tutto?

- Abbiamo scoperto un bosone di Higgs a 126 GeV e null'altro (per ora)
 - Molto difficile spiegare insieme questi due fatti : se non c'e' altro (SUSY per esempio) ci deve essere una cospirazione generale ("fine tuning") per stabilizzare la teoria (principio antropico ?)



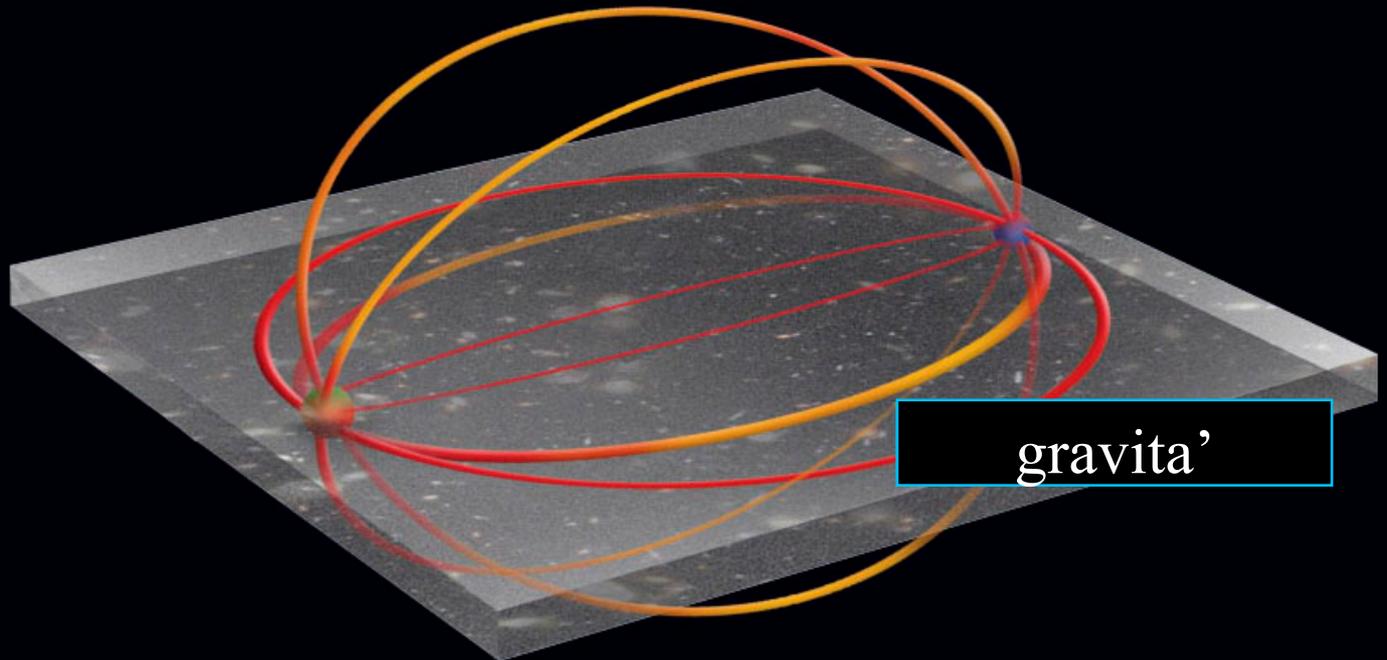
- Qual'e la natura delle particelle che costituiscono la materia oscura dell'universo? La maggior parte dell'Universo (~95%) e' fatto di qualcosa di cui non sappiamo nulla e che ancora non capiamo!!!

- Ma ancora oltre : sono le interazioni forti, deboli ed elettromagnetiche espressione di un'unica forza che include la gravita' a qualche scala?

Perche' la gravita' e' cosi' debole ?

L'Elettromagnetismo e' confinato nelle nostre solite tre dimensioni dello spazio

Ma la Gravita' potrebbe vedere anche le altre dimensioni dello spazio. Allora la forza si distribuisce su uno spazio piu' grande e quindi si indebolisce nella nostra membrana di spazio.

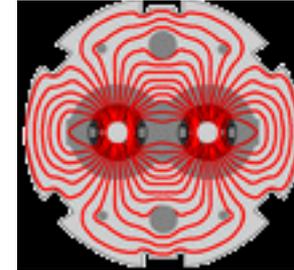


Perche' facciamo collidere le particelle? Essenzialmente due motivi:

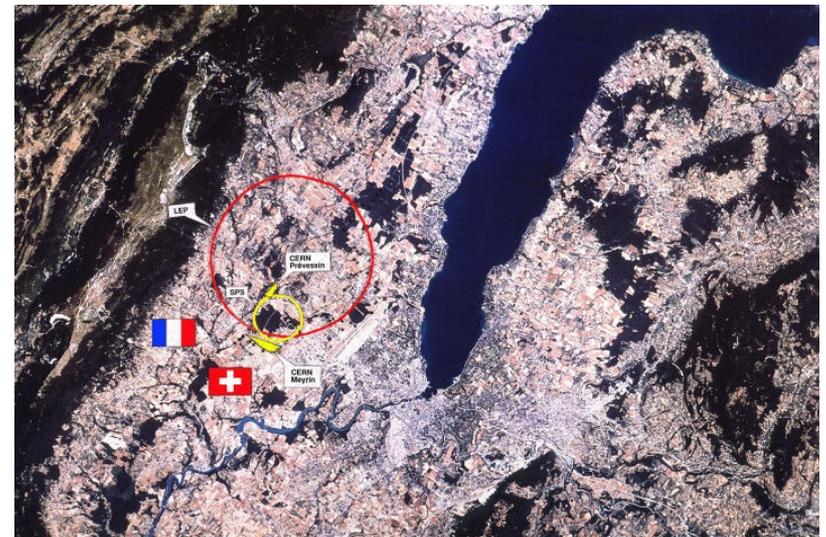
- studiare la loro struttura interna
 - usare l'energia disponibile nella collisione per creare nuove particelle
- Gli acceleratori sono le macchine con cui produciamo nuove particelle
- I rivelatori sono le macchine che ci permettono di 'osservare' (nel senso che poi vedremo) le particelle



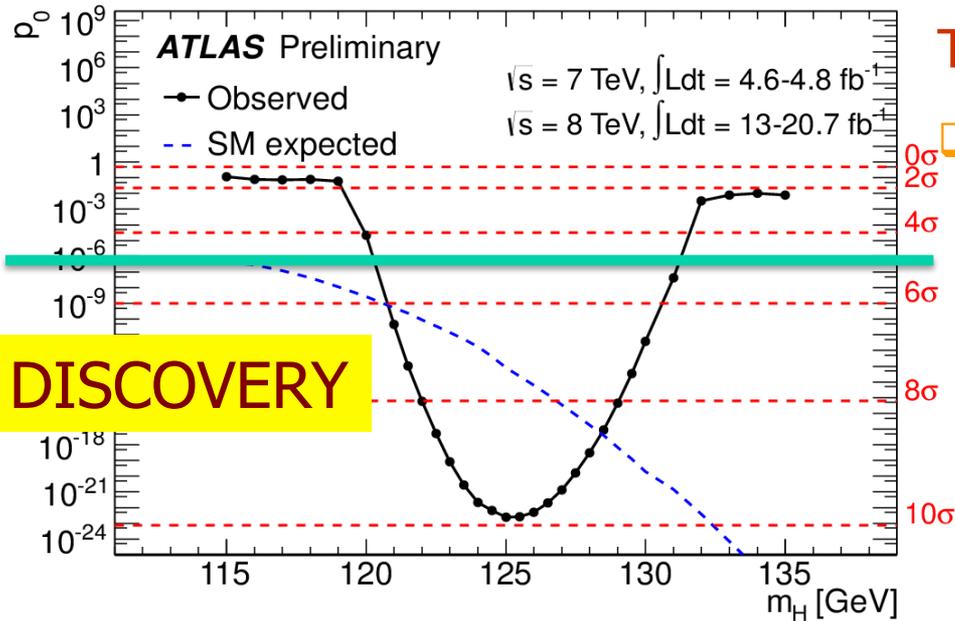
Gli acceleratori del CERN



- Il CERN ha il più grande complesso di macchine acceleratrici del mondo
- Sono macchine costruite sotto terra ma sarebbero facilmente visibili da un satellite



Facendo le cose in modo rigoroso...



Tipico plot 'ufficiale' serio :

□ La probabilita' che una fluttuazione casuale del fondo spieghi la forma dei dati : se e' piccola significa che c'e' un segnale vero!

Ok siamo sicuri che c'e' una particella nuova, ma e' proprio il bosone di Higgs che stavamo cercando ?

□ Tutte le sue proprieta' che stiamo misurando puntano in quella direzione : lo vediamo proprio come era stato predetto!

