



Liceo Scientifico "G. Berto"

# Festival della Scienza

Venerdì 5 Aprile ore 16:00

armonie

Seminario di Studi

**Acceleratori e Rivelatori di particelle presso i laboratori più avanzati al mondo per lo studio della Fisica Moderna**

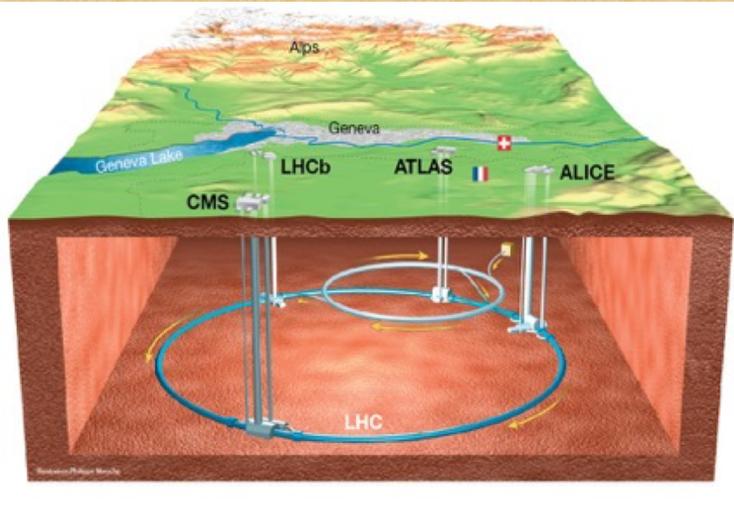
a cura del **Prof. Giuseppe Fiamingo**

(Docente ITG-ITI, Cern Itp, INFN Pid)

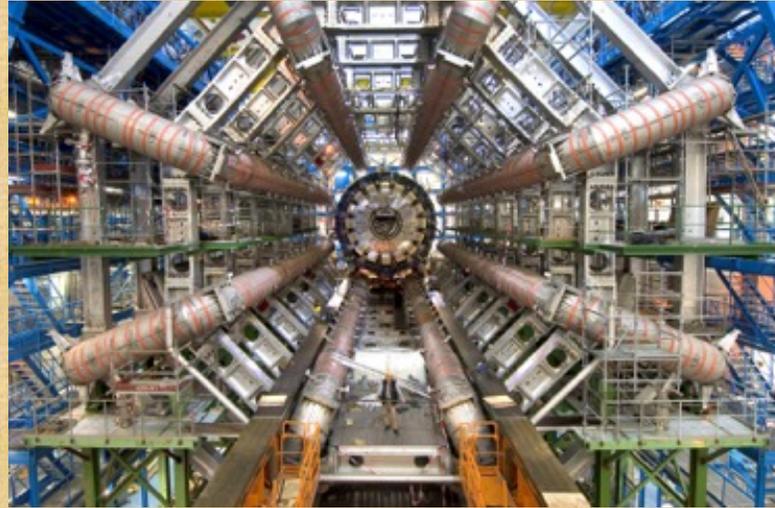


- Esperienze post PID: Ricadute in ambito scolastico ed extrascolastico
- Come raccontare la scienza:  
Esperienza PID  
Esperienza CERN
- Perché studiare la fisica delle particelle
- Perché accelerare le particelle
- Cosa sono gli acceleratori e i rivelatori di particelle

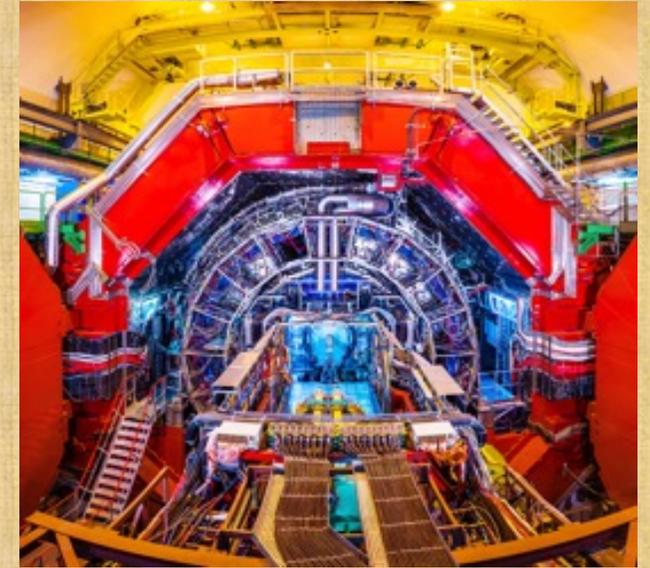
LHC : Acceleratore di particelle  
Collisore di Adroni



Atlas



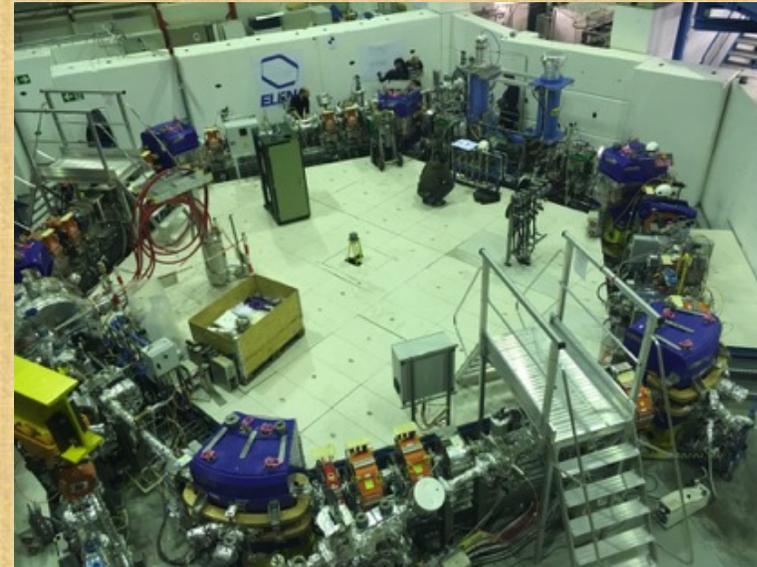
Alice



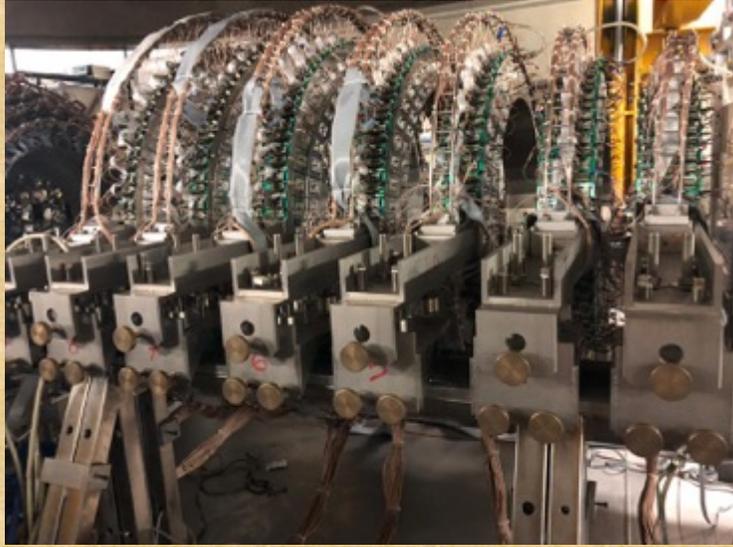
Cms



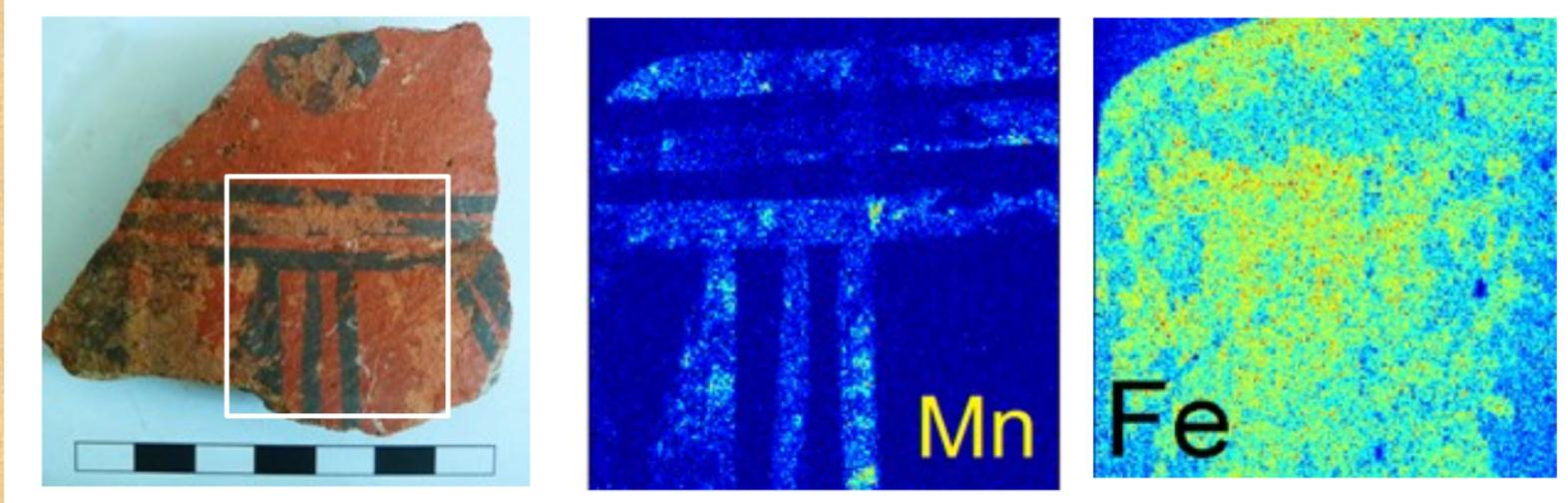
Elena: Unica al mondo fabbrica Antimateria  
Simmetrie tra materia e antimateria



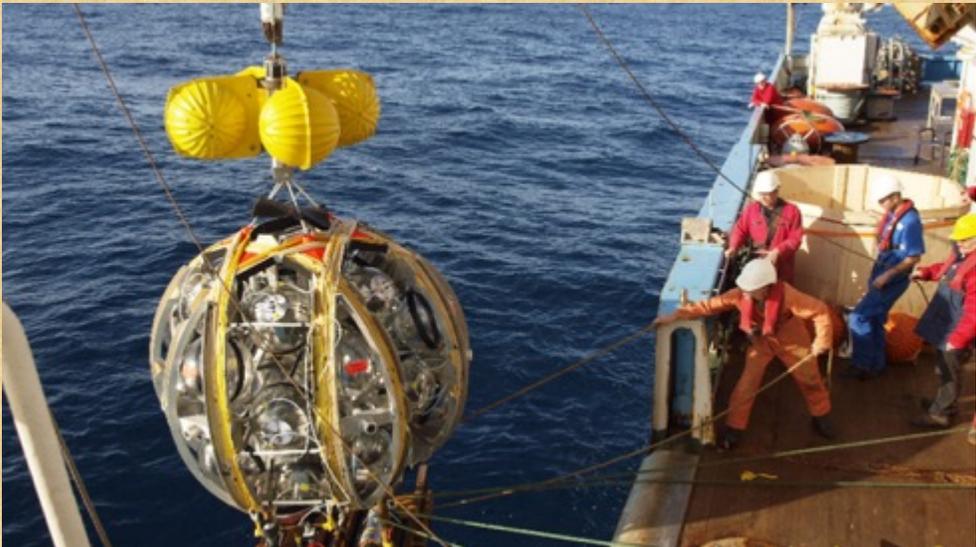
Chimera: fisica stroparticellare  
Rivelatore part. cariche emesse da  
collisioni nucleari



LANDIS: Tecniche di spettroscopia



K3Net: a caccia di neutrini



Tandem : acceleratore



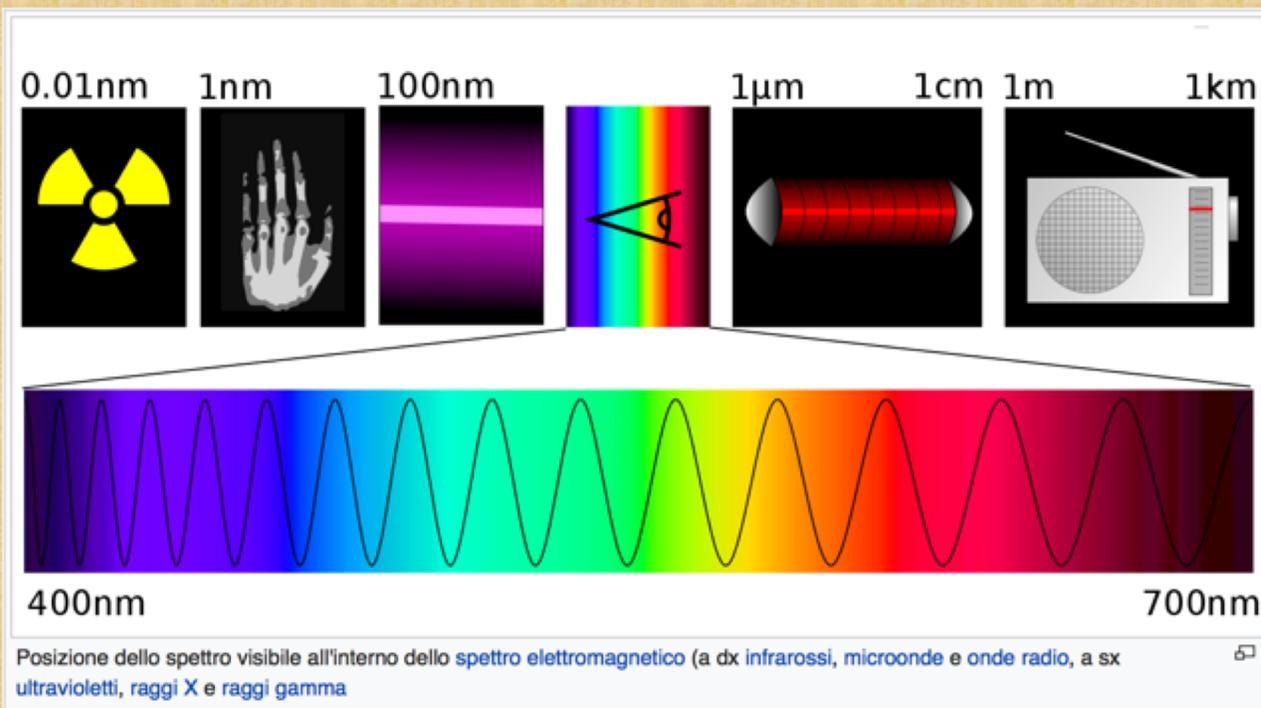
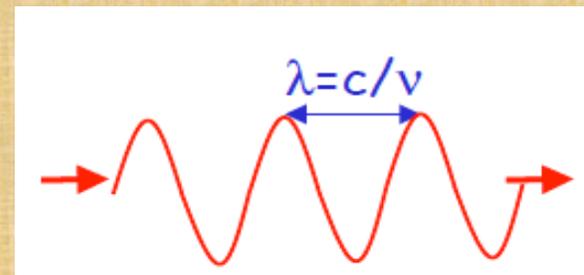
ESS: luce a plasma di Idrogeno



- Studiare le particelle equivale ad avere informazioni sulla composizione della materia
- Nel 1949 lo scienziato De Broglie ipotizzò che le particelle con impulso  $p$ , le possiamo trattare come onde elettromagnetiche secondo la relazione  $p = h/\lambda$

La luce è un'onda elettromagnetica. Si propaga nello spazio ad una velocità di circa 300.000 km/s

Il nostro campo di visibilità va dai 380nm e i 780nm



**FATTI SPERIMENTALI**

$h$  è la costante di Plank, una delle costanti fondamentali in natura:  
 $h = 6.62 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}$

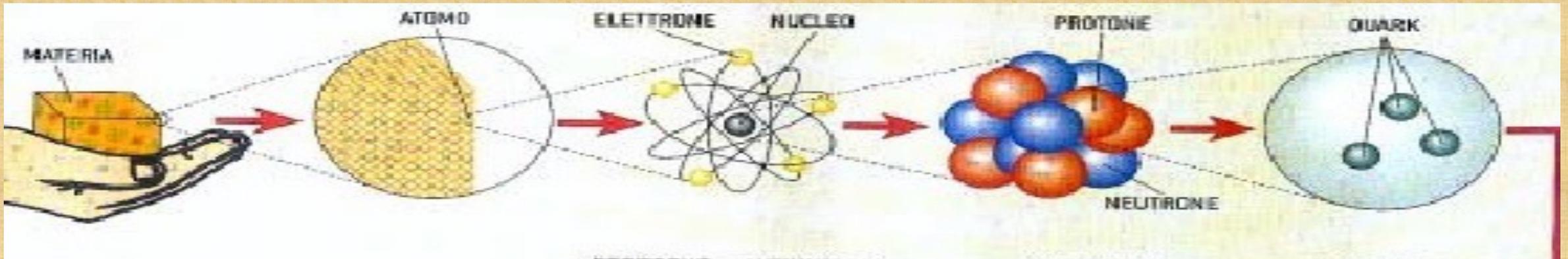
la luce si comporta anche come un insieme di corpuscoli di energia  
 $E = h\nu$

le particelle si comportano anche come onde di frequenza  
 $\nu = E/h$

per le particelle:  $\lambda = hc/E$  se  $E$  cresce  $\lambda$  diminuisce

Per esplorare l'infinitamente piccolo  $E$  deve diventare molto grande

- la materia è fatta di atomi e gli atomi a loro volta sono costituiti da un nucleo centrale circondato da una nuvola di elettroni e che il nucleo è composto di neutroni e protoni i quali a loro volta sono composti dai loro costituenti fondamentali chiamati quark. **Per quanto oggi ne sappiamo i quark e gli elettroni sono particelle elementari.**



- Possiamo considerare LHC come un gigantesco microscopio

# Cern

- **Consiglio Europeo per la ricerca nucleare. E' il più grande laboratorio di fisica al mondo.**
- **Al Cern lavorano i più grandi scienziati di tutto il mondo, il bello è che non ci sono Europei o americani, ma ci sono Israeliani e palestinesi, iraniani, indiani e Pakistani. Davanti alla scienza non esiste nazionalità, indipendentemente dal rapporto dei loro governi si lavora in collaborazione per un bene comune quale la passione per la ricerca fondamentale.**
- **La direttrice del Cern è Fabiola Gianotti, e l'Italia occupa una posizione centrale per la ricerca.**

## Il primo Acceleratore del Cern



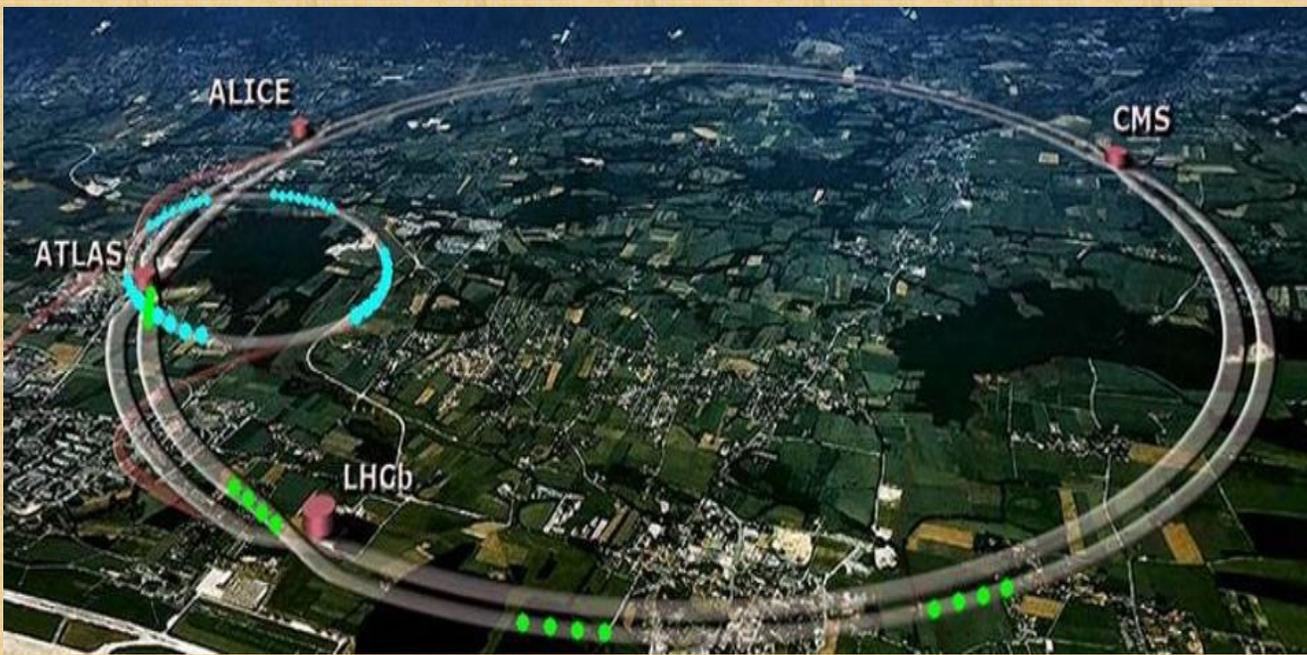
## The Synchrocyclotron



Dal plasma vengono estratti i protoni e gli ioni di carbonio.

Il sincrotrone li accelera fino a raggiungere 250 MeV per i Protoni e 4800 MeV per gli ioni di Cloruro

Fino a raggiungere l'80% della velocità della luce.

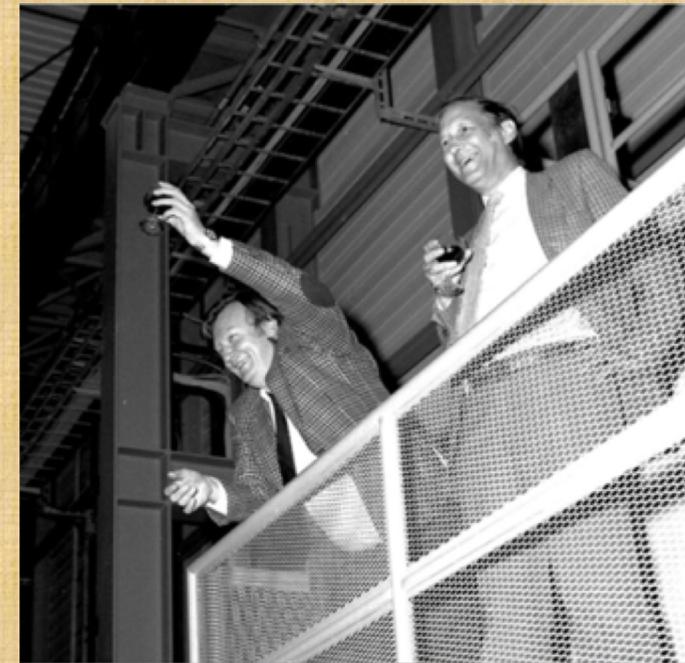


Lo scienziato **Zichichi** al CERN riuscì a produrre l'antideuterio, formato da un protone ed un antineutrone.

### LEP (1984-2001): Il Large Electron Positron Collider (LEP).

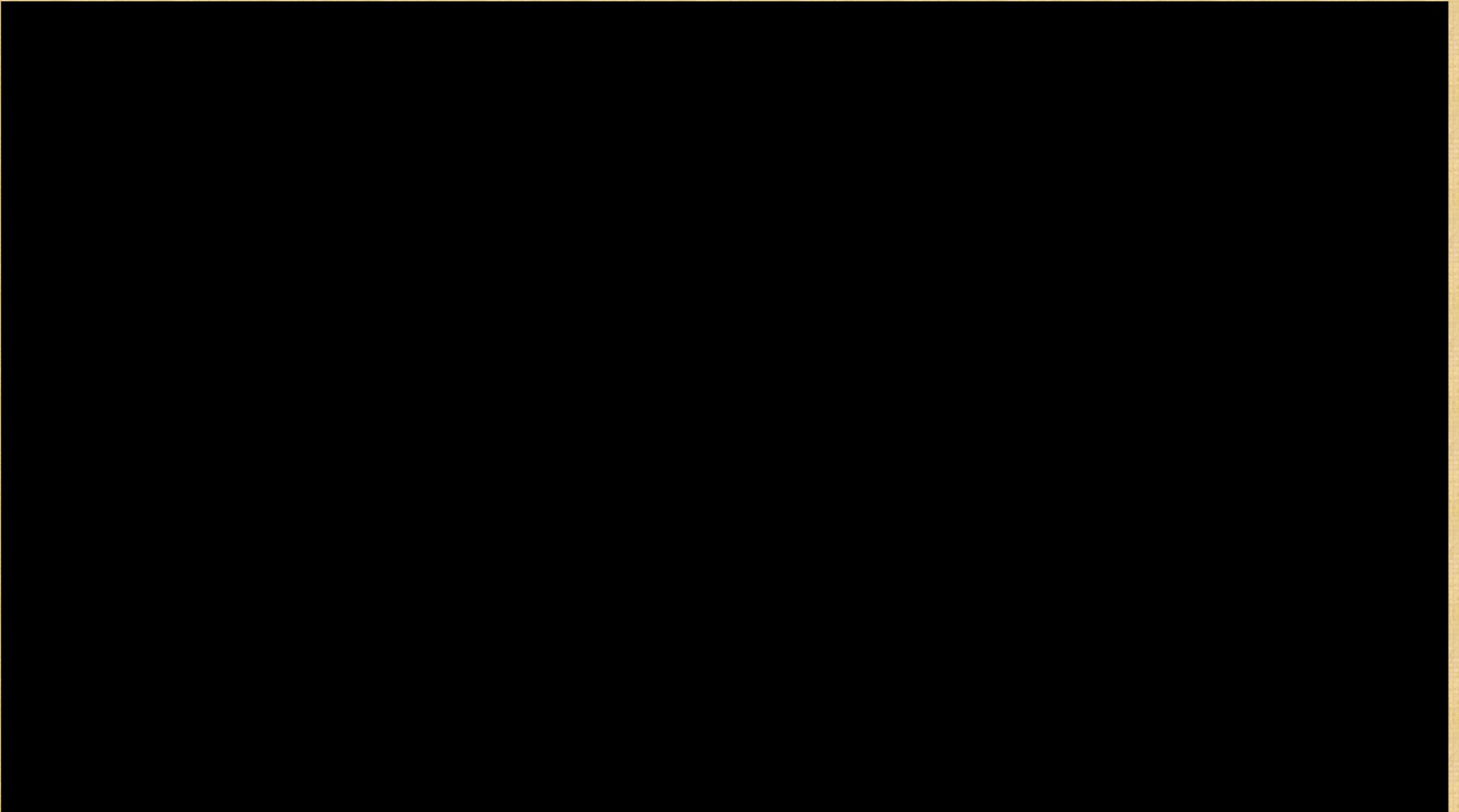
Per raggiungere elevate energie al CERN è stato costruito il LEP. Un collisore tra elettroni e positroni. E' un anello lungo 27 km, la sua tecnologia si basa su quella del Sincrotrone (accelerare fasci di particelle attraverso campi elettrici e magnetici).

- I risultati degli esperimenti di LEP hanno consentito una verifica sperimentale del **Modello Standard**.
- Tra le misure più importanti, la massa del **bosone Z** e del **bosone W**, e la determinazione del numero di **neutrini** leggeri.
- LEP verifica il Modello Standard con altissima precisione ma l' Higgs non si trova. Chi da massa alle particelle??? Bisognava quindi andare a 15 TeV



Rubia e Van der Meen: Nobel 1994

Video LHC E SCOPERTA BOSONE Z  $10^{-25}$  s )



## “Modello standard”

Esistono solo 3 famiglie o 3 coppie di particelle elementari.

La prima famiglia è composta da 2 quark, un quark up e uno down.

Dall'elettrone e da un neutrino. Rappresenta la materia stabile. La

seconda famiglia abbiamo altri 2 quark analoghi ma più pesanti e l'elettrone mu, di massa 208 volte superiore all'elettrone e che ci piove dai raggi cosmici. Decade e si disintegra in altre particelle fondamentali.

Poi negli anni 70 fu scoperta la terza famiglia, sempre composta da due quark, top e bottom, neutrino tau, uguale identica all'elettrone ma con massa 1800 volte massa elettrone. I quark, particelle elementari hanno carica  $2/3$  e  $-1/3$ , gli elettroni e, mu, tau carica  $-1$ , un elettrone senza carica e con piccolissima massa che si chiama neutrino, che ha l'importanza di non reagire con la materia. Quando una particella si incontra con un'altra particella si annichila es. l'elettrone e positrone si annichilano emettendo un raggio gamma. Poi c'è il Bosone di Higgs, che da massa alle particelle.

Le particelle, interagiscono mediante 4 forze, solo 3 sono considerate dal modello:

- forza elettromagnetica, trasmessa dal fotone, ha range infinito.
- forza forte, che tiene i quark è trasmessa da particelle chiamate gluoni (colla)
- forza debole, trasmessa dai bosoni W e Z responsabile del decadimento B dei nuclei atomici e hanno un range finito.

## Three Generations of Matter (Fermions)

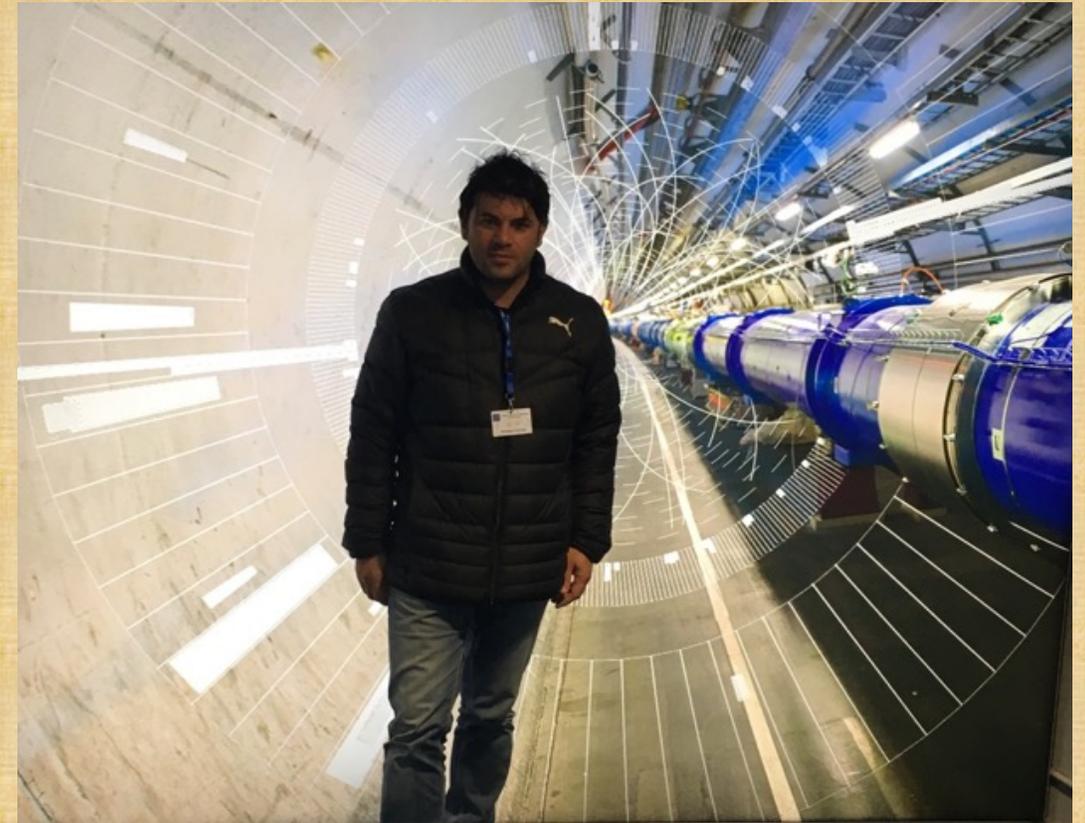
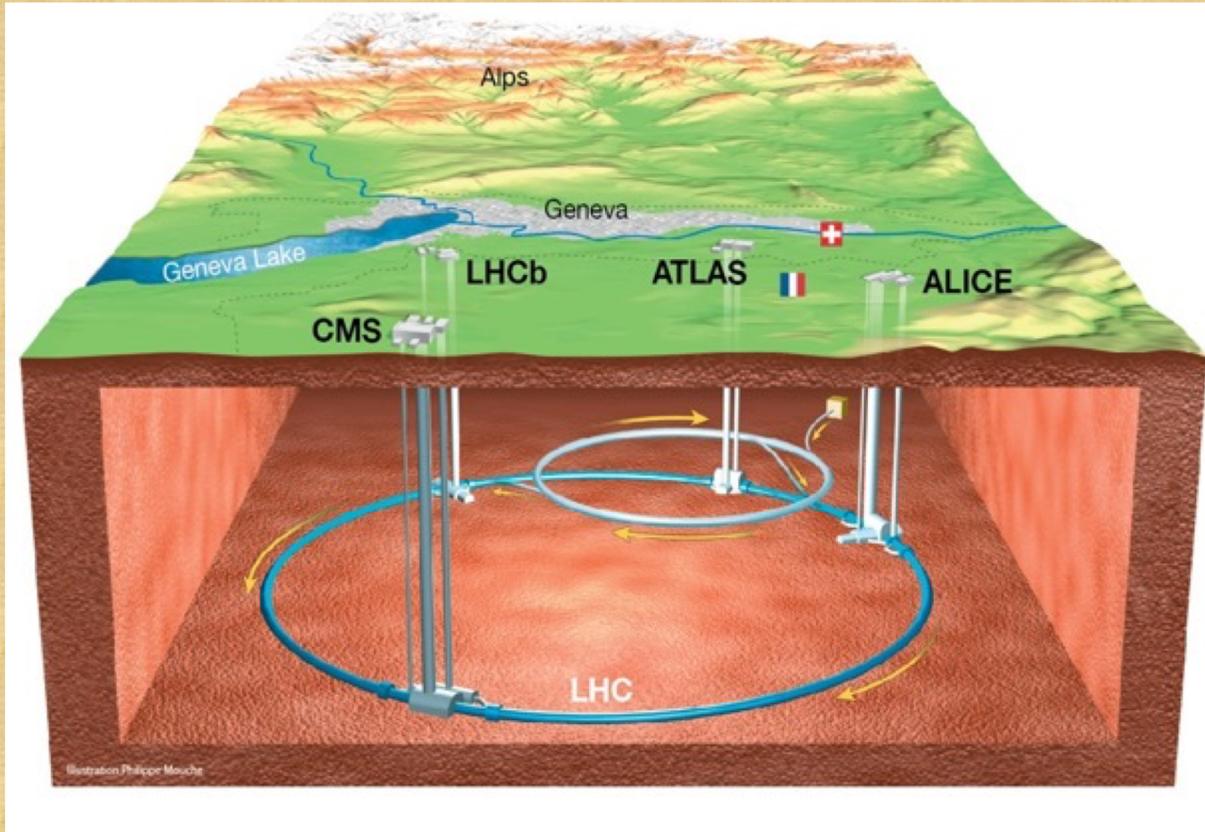
	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson

Quarks

Leptons

Gauge Bosons

# LHC

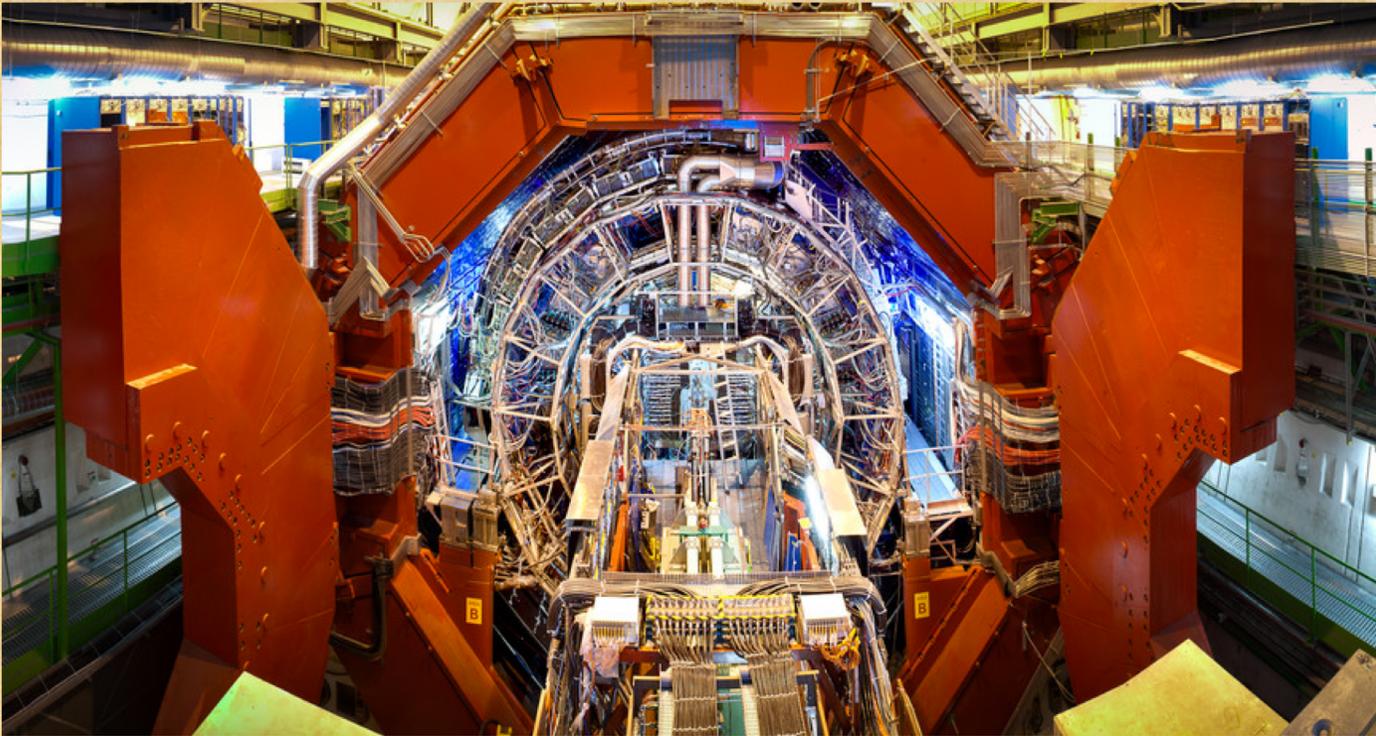


Il Large Hadron Collider è l'acceleratore di particelle più grande al mondo. Consiste in un anello di 1232 Dipoli e oltre 1600 magneti superconduttori (tubi in blu) in lega di titanio e niobio, raffreddati ad una temp. di  $-271^{\circ}\text{C}$  da elio liquido superfluido che realizzano un c.m. di 8 Tesla. Lungo 27 km ad una profondità di 150 mt. All'interno dell'acceleratore fasci di particelle che viaggiano a velocità pari al 99,9% a quelle della luce per poi farli collidere. I fasci viaggiano in direzioni opposte e si scontrano nei rivelatori ALICE, ATLAS, CMS.

Costo : 6 miliardi di euro. Consumo energetico: 180 Mwatt.

# COS'E' UN RIVELATORE?

I rivelatori sono dei super-microscopi



- Alice è un rivelatore progettato per studiare la materia a densità estreme (plasma, quark-gluone) su un volume minimo confrontabile con un nucleo atomico.
- Le collisioni LHC liberano i quark dal loro legame con i gluoni osservando progressivamente come si generano le altre particelle.

Caratteristiche:

- Alice è un rivelatore da 10.000 tonnellate, 26 m di lunghezza e 16 di altezza. Il rivelatore si trova ad una profondità di 56 m.

## CMS

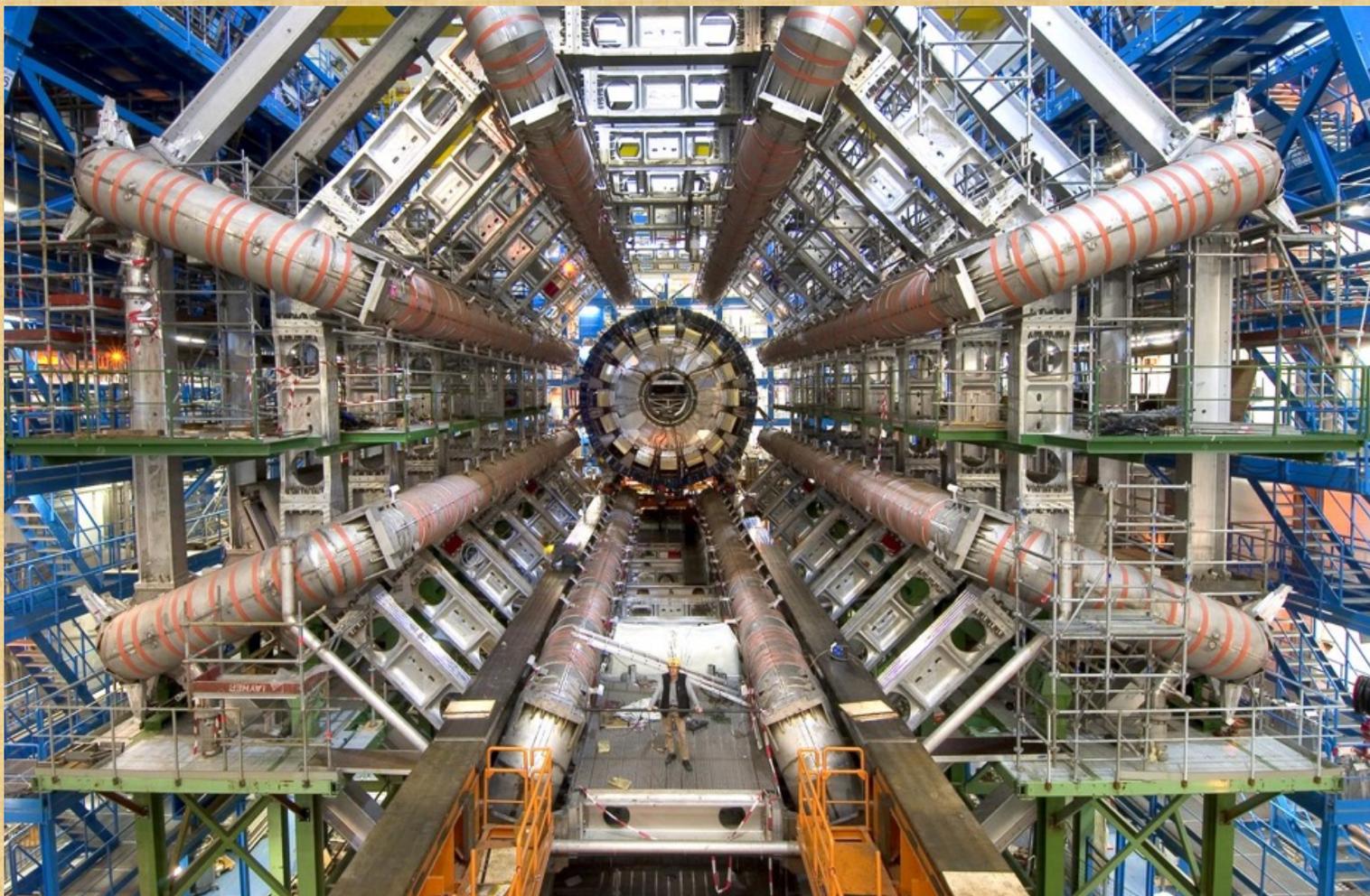


### CMS:

- Rivelatore costituito da un tracciatore (tracker) per misurare le tracce lasciate dalle part. Cariche
  - Calorimetro elettrom. Per rilevare elettroni e fotoni
  - Sistema di calorimetri adronici
- Sistema di camere a muoni

### Caratteristiche:

C'è più ferro della Tour Eiffel ed ha più di 100 milioni di sensori producendo 40 milioni di foto al secondo. In un anno, quindi, si producono 10 PetaByte di foto, circa 20 milioni di dvd, che vengono prima analizzati e poi distribuiti ai vari fisici sparsi in tutto il mondo



**ATLAS:** durante la collisione di particelle nasce un mare di particelle in un grosso intervallo di energia. Atlas è progettato per misurare i segnali. In Atlas è stato rilevato il bosone di Higgs

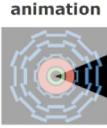
Caratteristiche  
è alto quanto la metà della Cattedrale di Notre Dame. Lungo 46m, diametro di 25m e pesa 7000 tonnellate. Gli otto toroidi laterali convergono nel punto di interazione dei protoni

# Video della collisione particelle in ATLAS



# Simulatore Atlas

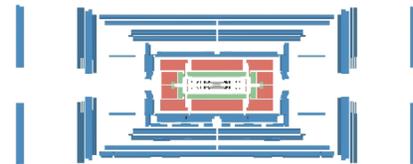
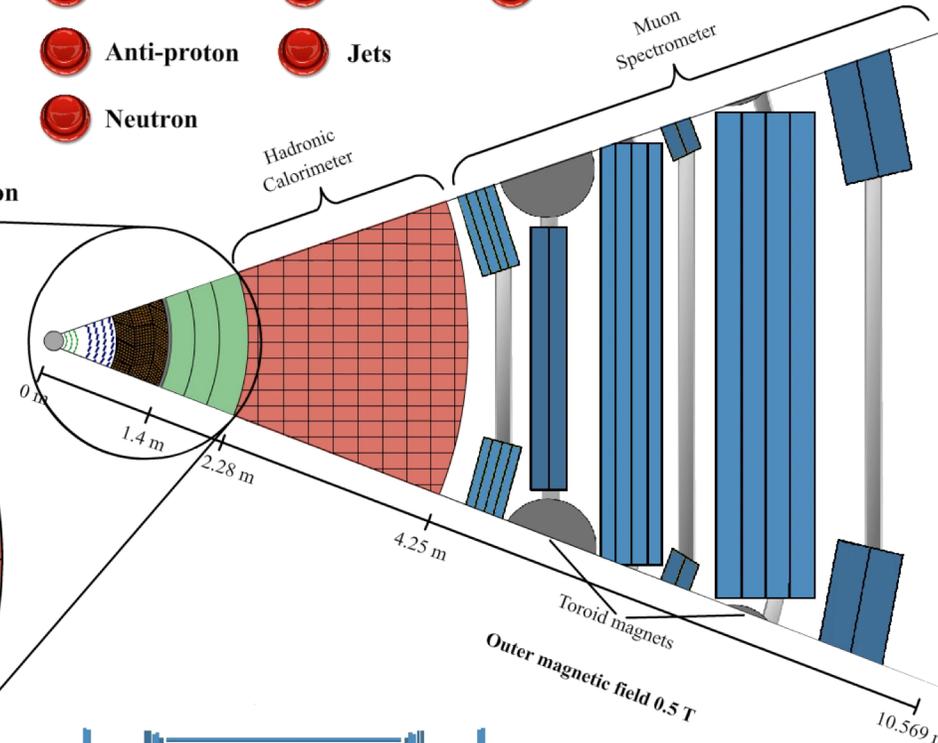
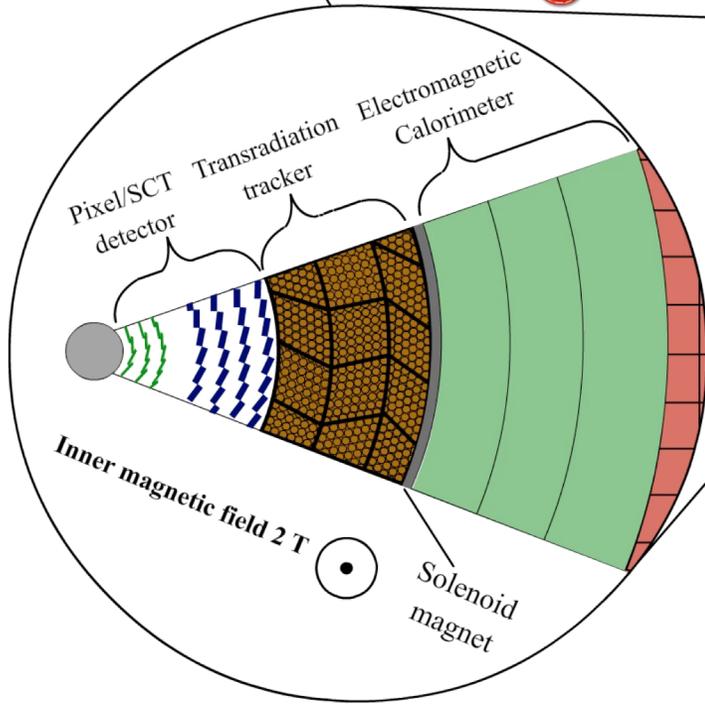
## ATLAS



display instantly

- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

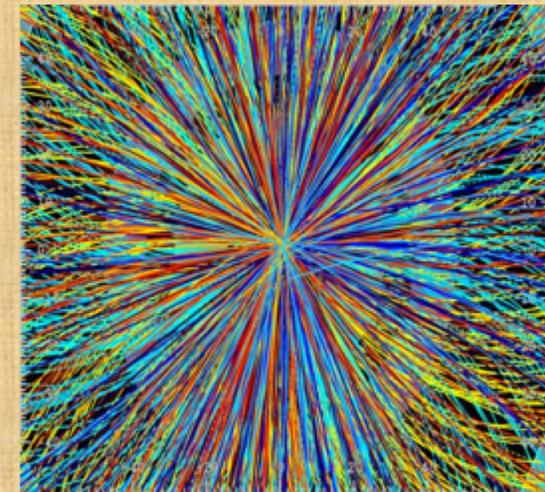
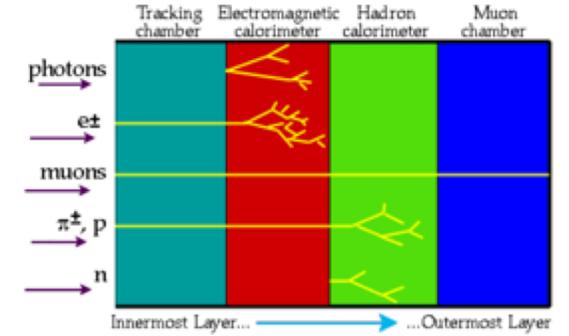
Magnification 3x



Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

## I rivelatori specializzati

Le particelle, interagendo con opportuni materiali, rilasciano "signature" diverse.



**I LNS sono dotati di due acceleratori di ioni:**

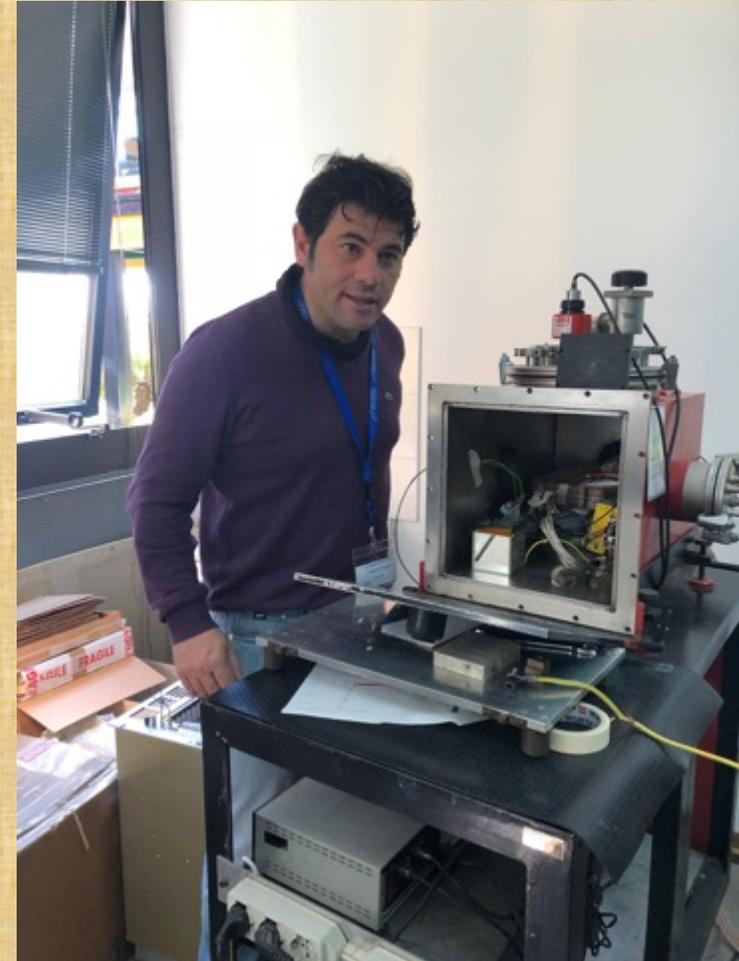
- tandem Van de Graaff ( accelera ioni dai protoni all'oro fino a 200 MeV)
- ciclotrone superconduttore ( accelera ioni dai protoni all'uranio fino a 80 MeV)
- I fasci di ioni sono impiegati principalmente per investigare le proprietà della materia nucleare. I principali apparati sperimentali che utilizzano questi fasci di ioni sono Magnex, Chimera e Fribs.

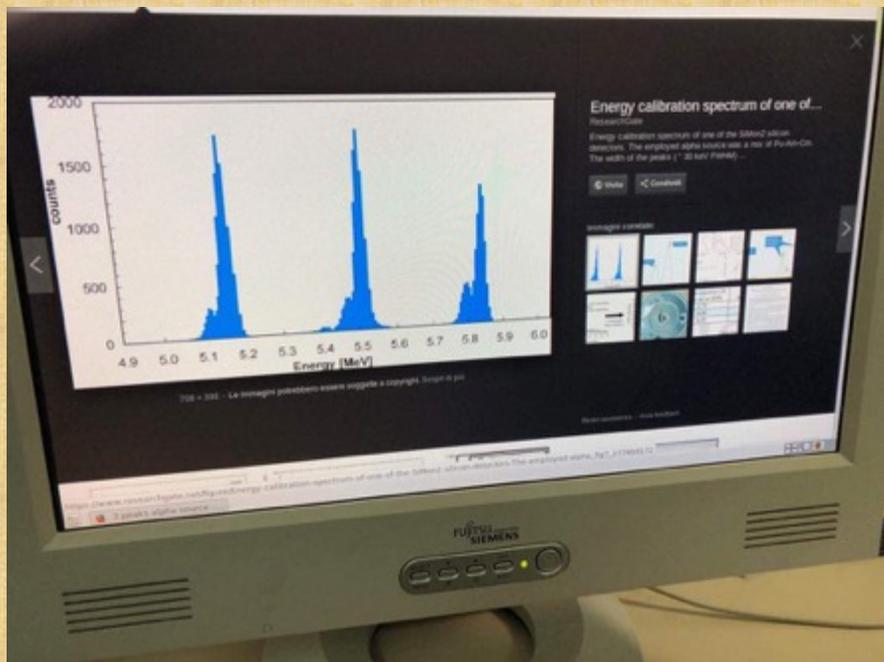


- **Magnex:** è uno spettrometro magnetico per lo studio della struttura nucleare con fasci sia naturali che radioattivi..

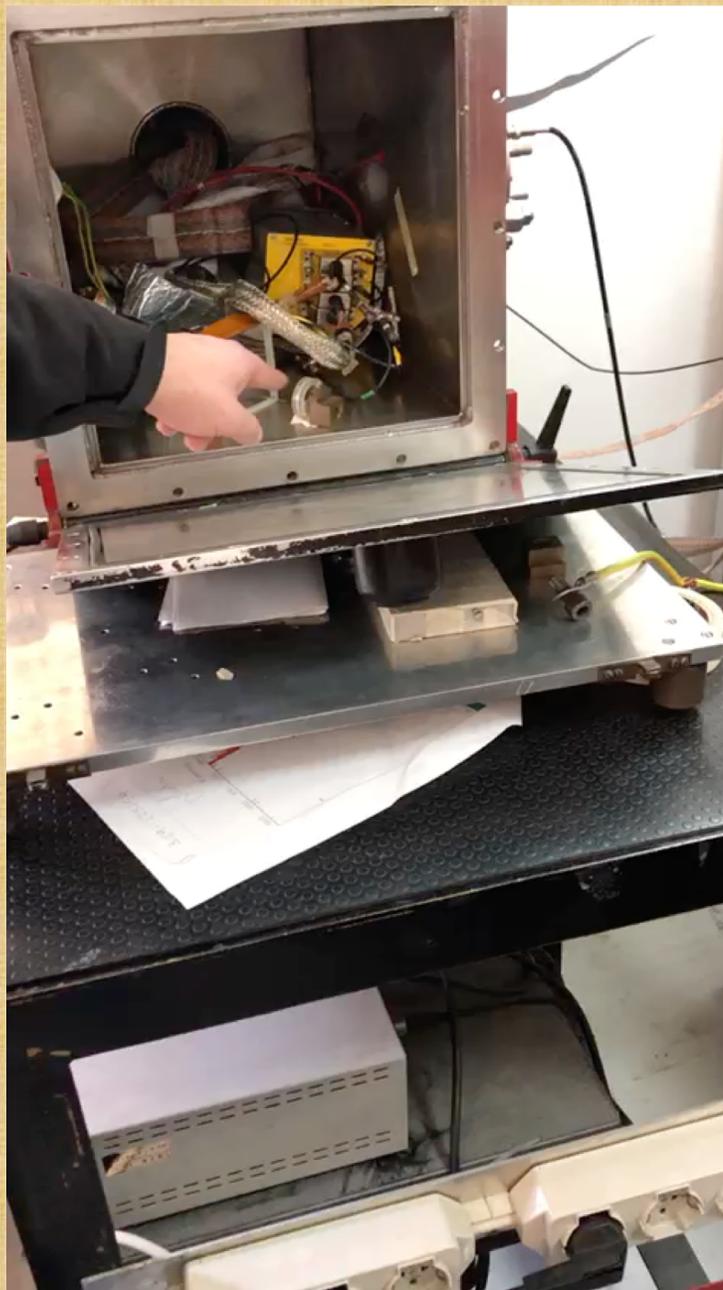


Dalla radiazione alla produzione di particelle alpha.  
plutonio-spurio e americio ( pu-am-cm)  
per la misura dell'energia prodotta dalle  
Particelle alpha





Le particelle alfa arrivano al rivelatore Costituito dal silicio, le alfa non sfondano il Silicio. Andranno ad eccitare gli elettroni del silicio e produrranno degli impulsi elettrici che vengono trasportati da un cavo e amplificati. Possiamo quindi misurare la loro energia.

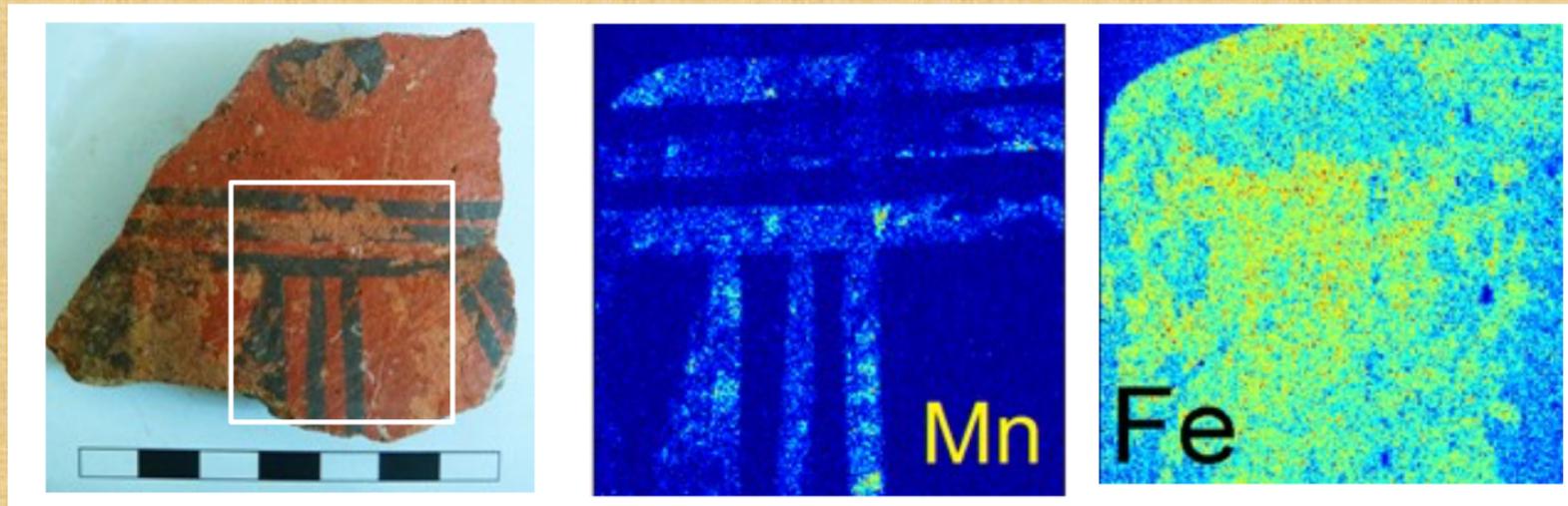


## LANDIS (Laboratorio di Analisi Non Distruttive In Situ)

il laboratorio LANDIS si occupa di tecniche di spettroscopia con strumentazione e metodi di indagine “*in situ*” che consentono di effettuare delle analisi chimico-fisiche con tecniche non distruttive su manufatti, monumenti e opere d'arte.

Viene utilizzato un sistema X-Pixe (X-ray and Particle Induced X-ray Emission), che consiste in una sorgente radioattiva contenente Americio-241, oppure polonio (solo alfa) o cadmio-curio (alfa e x) (senza acceleratore) che emette sia particelle alfa che raggi X. A seguito dell'incidenza di queste radiazioni sul campione da analizzare, si ha l'emissione di raggi X caratteristici degli elementi chimici che compongono il campione in esame la cui identificazione permette, nella maggior parte dei casi, di ottenere la composizione chimica del reperto.

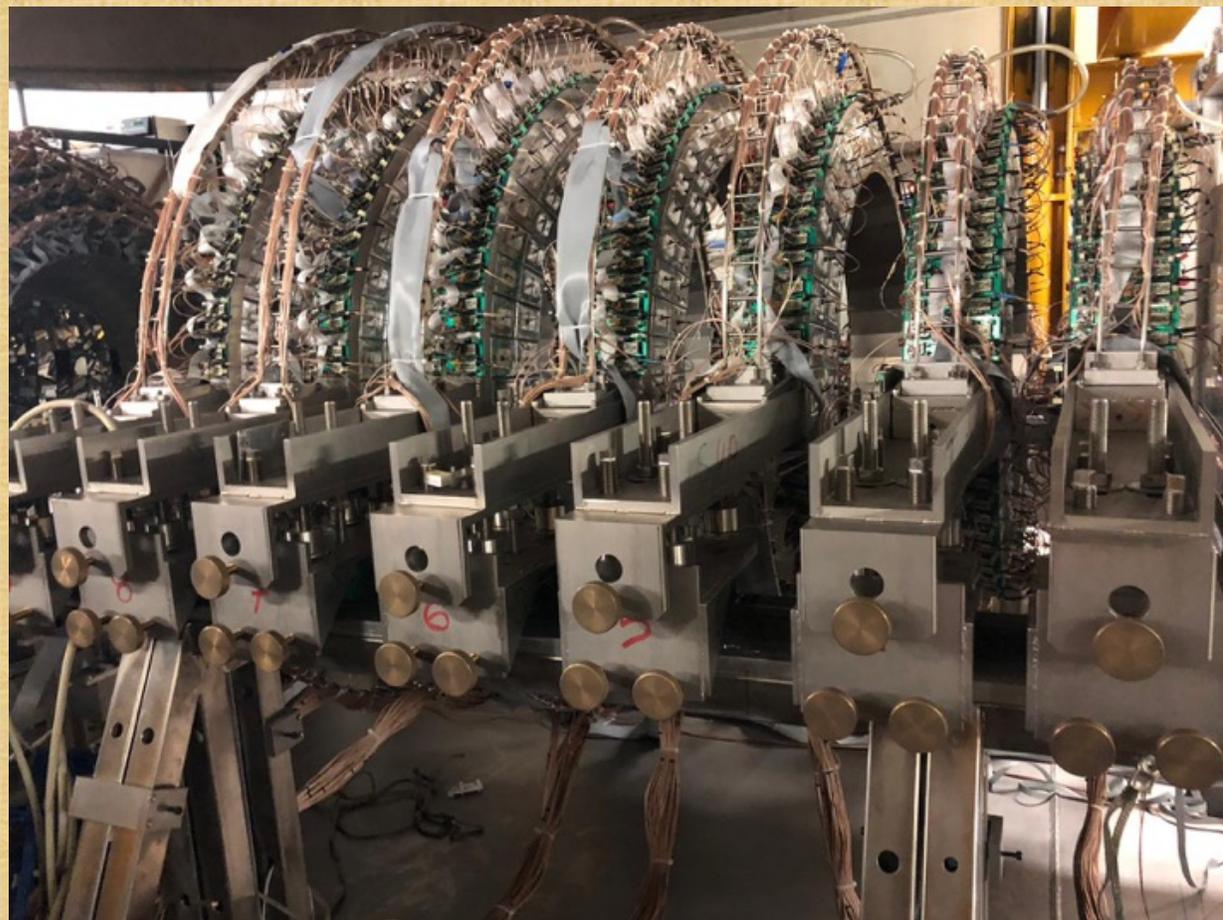
Dr Paolo F. Romano



Analisi chimico-fisica dei materiali



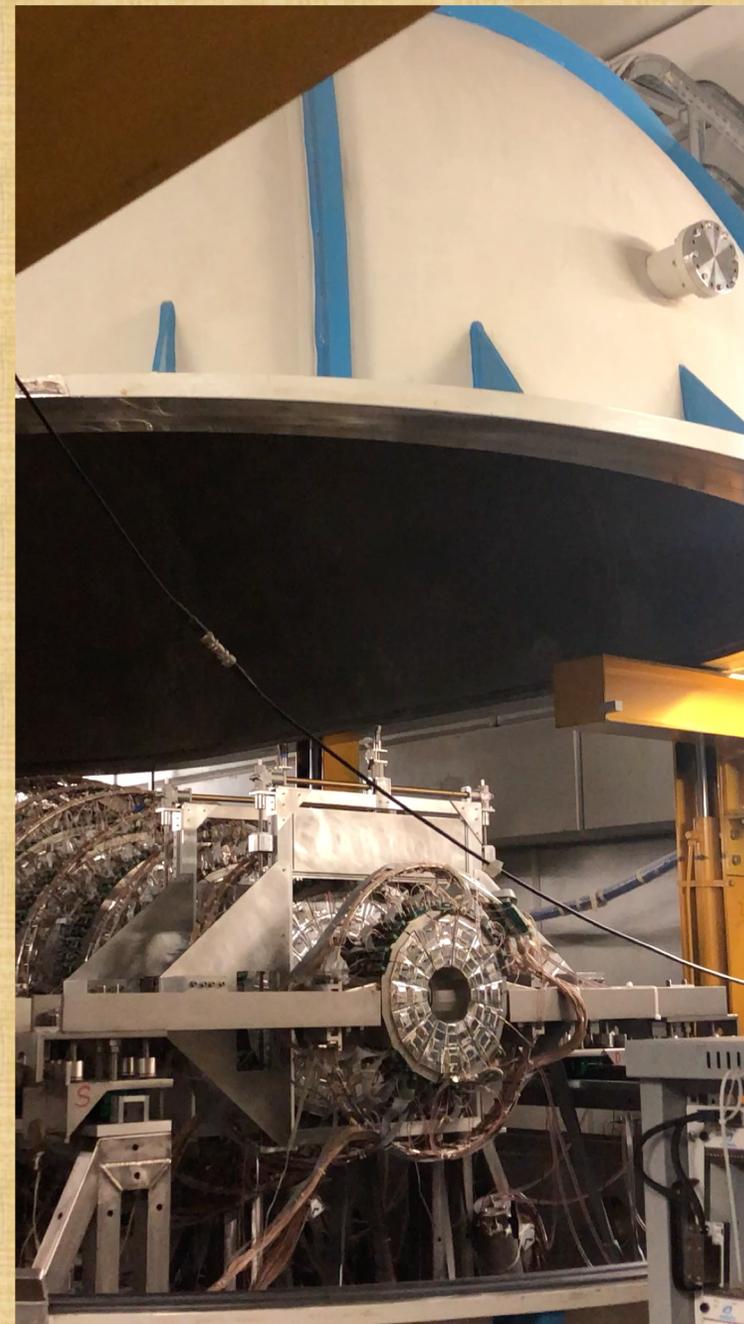
**Chimera** è un multi-rivelatore costituito da 1200 telescopi per misurare e identificare le particelle cariche emesse nelle collisioni nucleari. Può inoltre identificare neutroni e raggi gamma.



Particolare del Quadrupolo per allineamento dei fasci



Video Chimera



**Chimera** è un multi-rivelatore

- Ciascuna unità di rivelazione è formata da un rivelatori di Silicio (primo stadio), e permette una completa rivelazione delle particelle cariche emesse nelle collisioni nucleari.
- Inoltre nei cristalli CsI(Tl) è possibile rivelare e identificare, anche se con bassa efficienza, neutroni e raggi gamma

**Tandem:** Acceleratore di ioni per rispondere ad alcune domande come:

- Come sono sintetizzati gli elementi nelle stelle ?
- Come si organizza la materia alla scala sub-atomica e quali fenomeni sorgono ?
- Quali combinazioni di protoni e neutroni danno vita ad un sistema legato e perchè ?
- Quale è la massima energia termica che un nucleo può sostenere prima di frammentarsi ?





Tandem: lo ione dev'essere accelerato dal tandem. Il c.e. di accelerazione è 15 mega volt 15 milioni di volt

Si chiama tandem perché È un acceleratore di tipo elettrostatico

Tipo la macchina di vander graff

La disponibilità di fasci radioattivi a lunga vita media alle energie del Tandem è di grande interesse per studi di struttura nucleare, astrofisica nucleare e meccanismi di reazione.

Il  $^{10}\text{Be}$ , che ha una vita media di  $1.5 \cdot 10^6$  y, viene prodotto dallo staff LNS e fatto accelerare dal tandem offrendo la possibilità di investigare sulle diverse proprietà della materia nucleare con vari tipi di reazione.

**CATANA:** (Centro di AdroTerapia ed Applicazioni Nucleari Avanzate)

è attualmente l'unico centro in Italia dove è possibile trattare, mediante fasci di protoni, i tumori della regione oculare



## Tecnologie nucleari per la cura oncologica: Catana

CATANA (Centro di Adroterapia e Applicazioni Nucleari Avanzate), è attiva dal 2002 in collaborazione col Policlinico. Qui vengono curati, con protoni accelerati a 60 MeV dal ciclotrone superconduttore dei Laboratori, pazienti affetti da melanoma oculare. Dall'inizio dell'attività a oggi sono stati trattati oltre 250 pazienti con un successo di oltre il 95%.



## LUCE A PLASMA DI IDROGENO

### Acceleratore PS-ESS – Sorgente di Protoni per la European Spallation Source

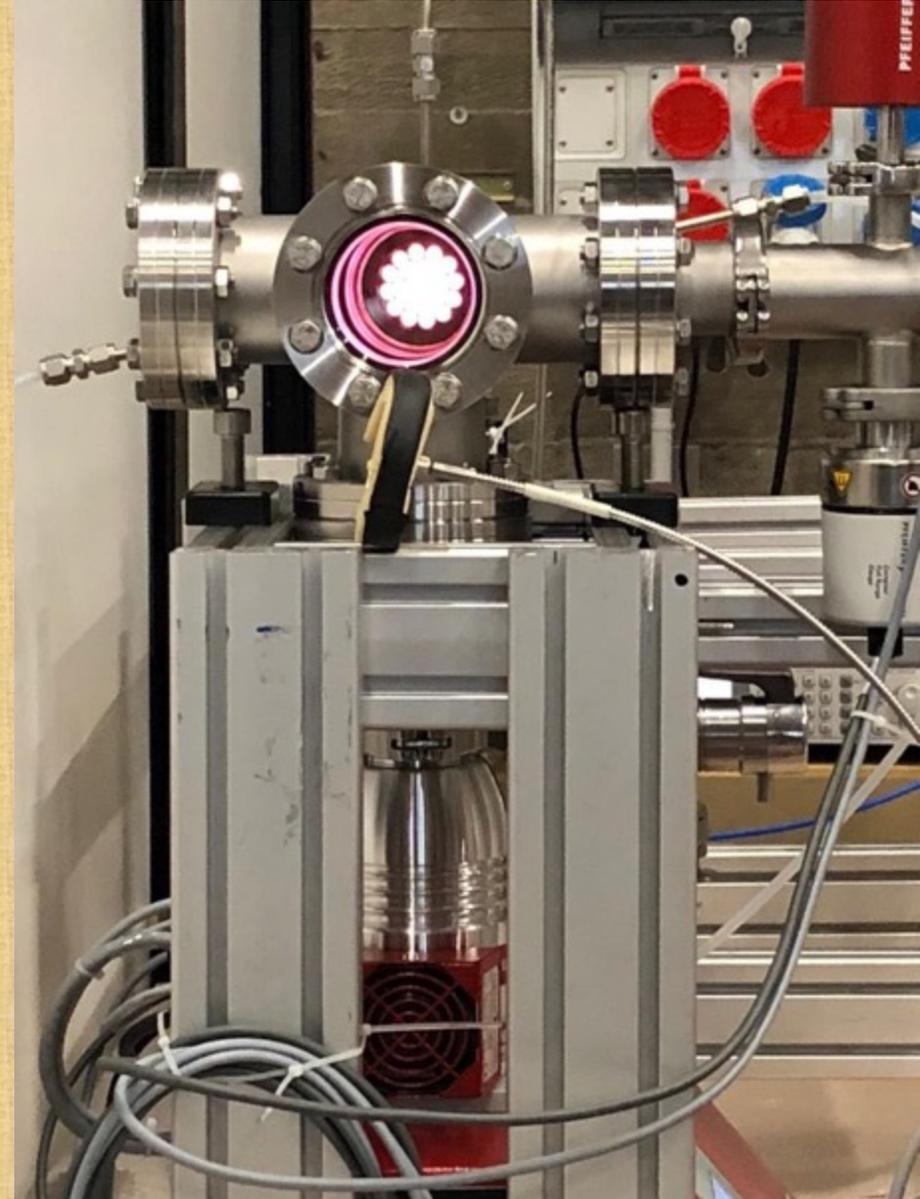
L'obiettivo della sorgente PS-ESS (proton source per l'European Spallation Source) è ottenere un fascio di protoni ad alta densità di 74 mA fornendoli all'acceleratore.

- Obiettivo: studio di plasma generato da impulsi laser per produrre ioni energetici ad elevato stato di carica

*Front view della sorgente ESS che mostra la luce emessa dal plasma di idrogeno contenuto dentro la camera in rame del plasma. La luce è visibile attraverso il foro di estrazione di 6 mm*

Una vasta gamma di strumenti diagnostici che abbracciano tutto lo spettro elettromagnetico è dunque necessaria: dalla interferometria a microonde alla spettroscopia X

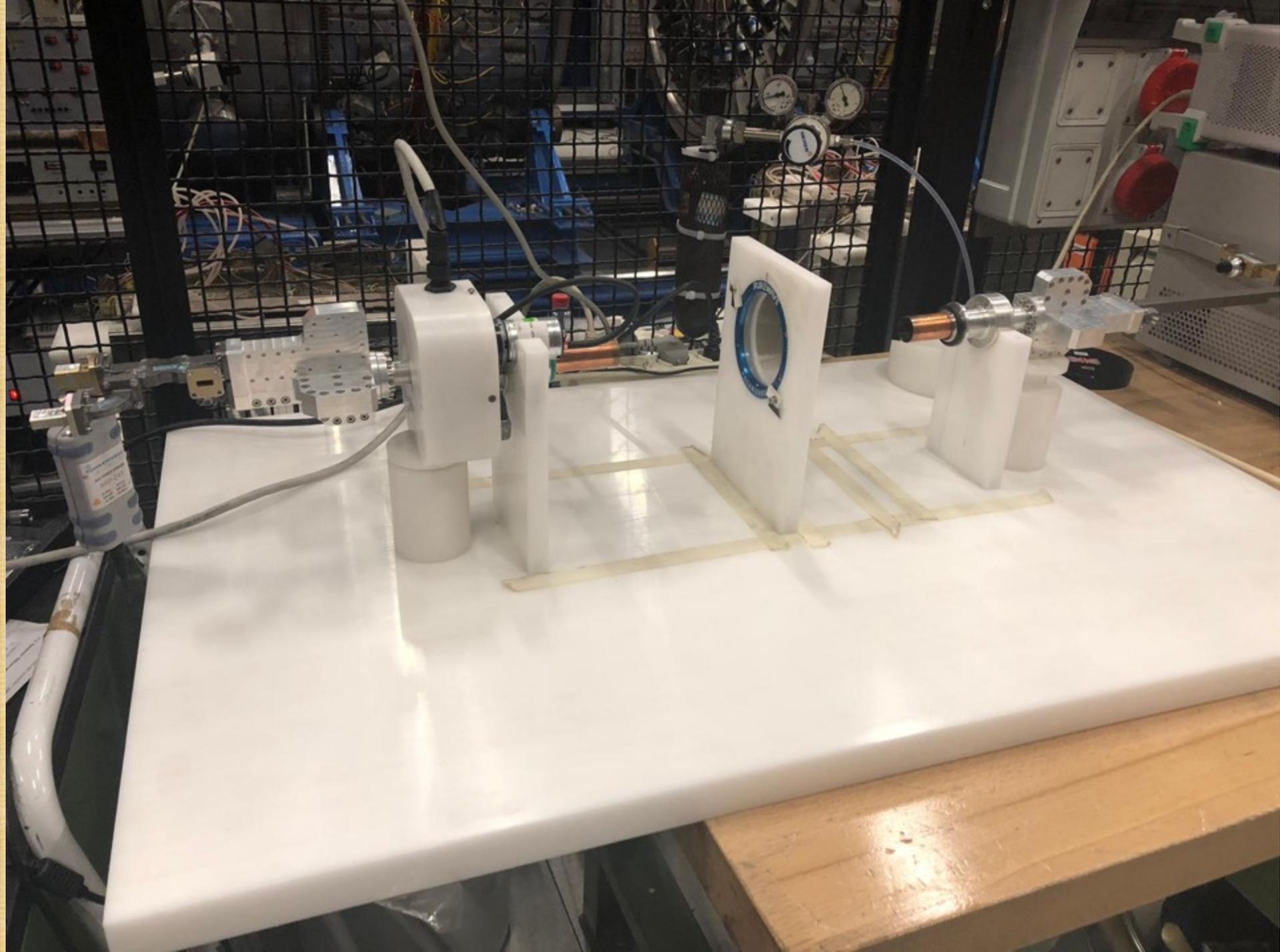
nel campo della diagnostica di plasma contenuto in trappole magnetiche compatte.



## Polarizzatore

Un polarizzatore è un elemento fisico, caratterizzato da una direzione particolare, la direzione del polarizzatore  $e_P$ , che seleziona la luce che incide su di esso, facendola passare tutta, nulla, o una parte.



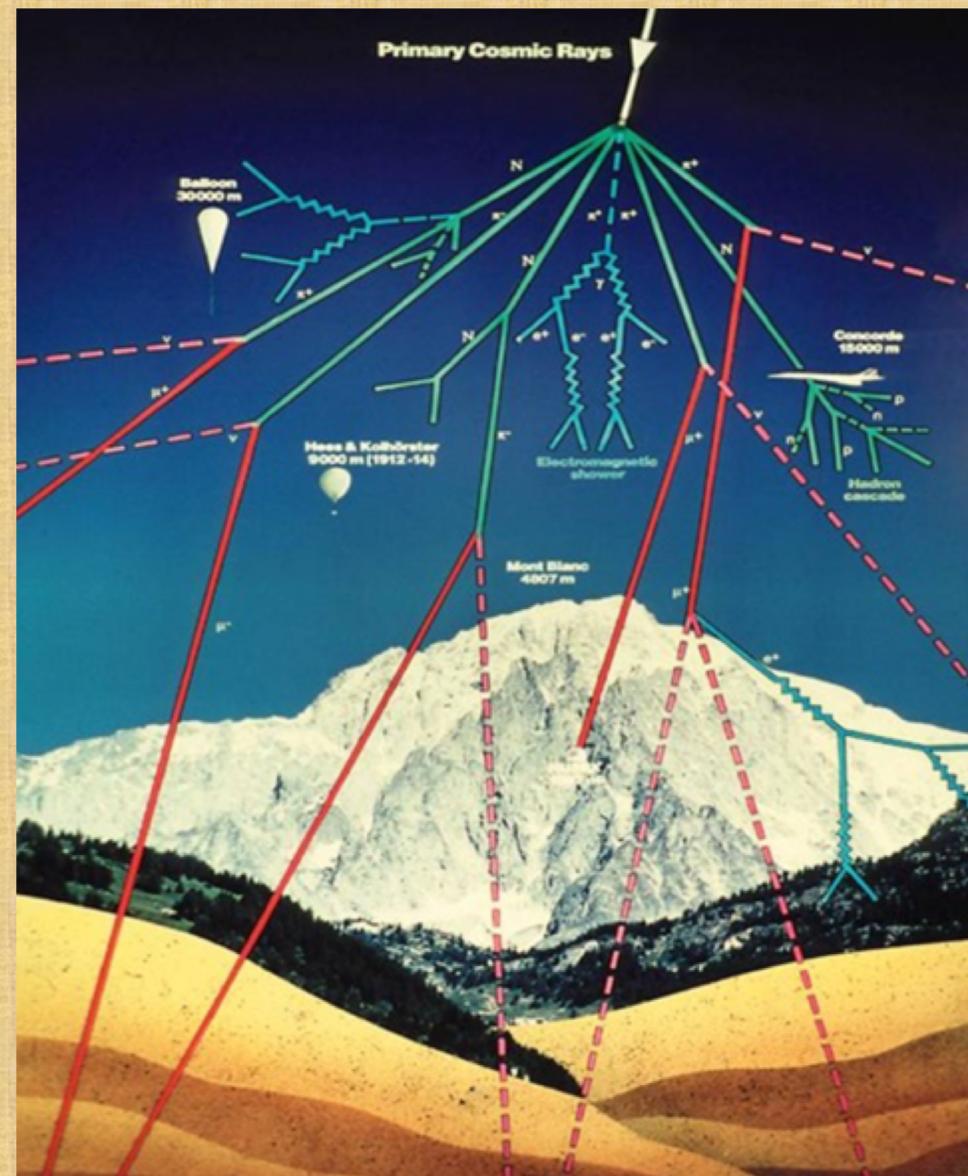


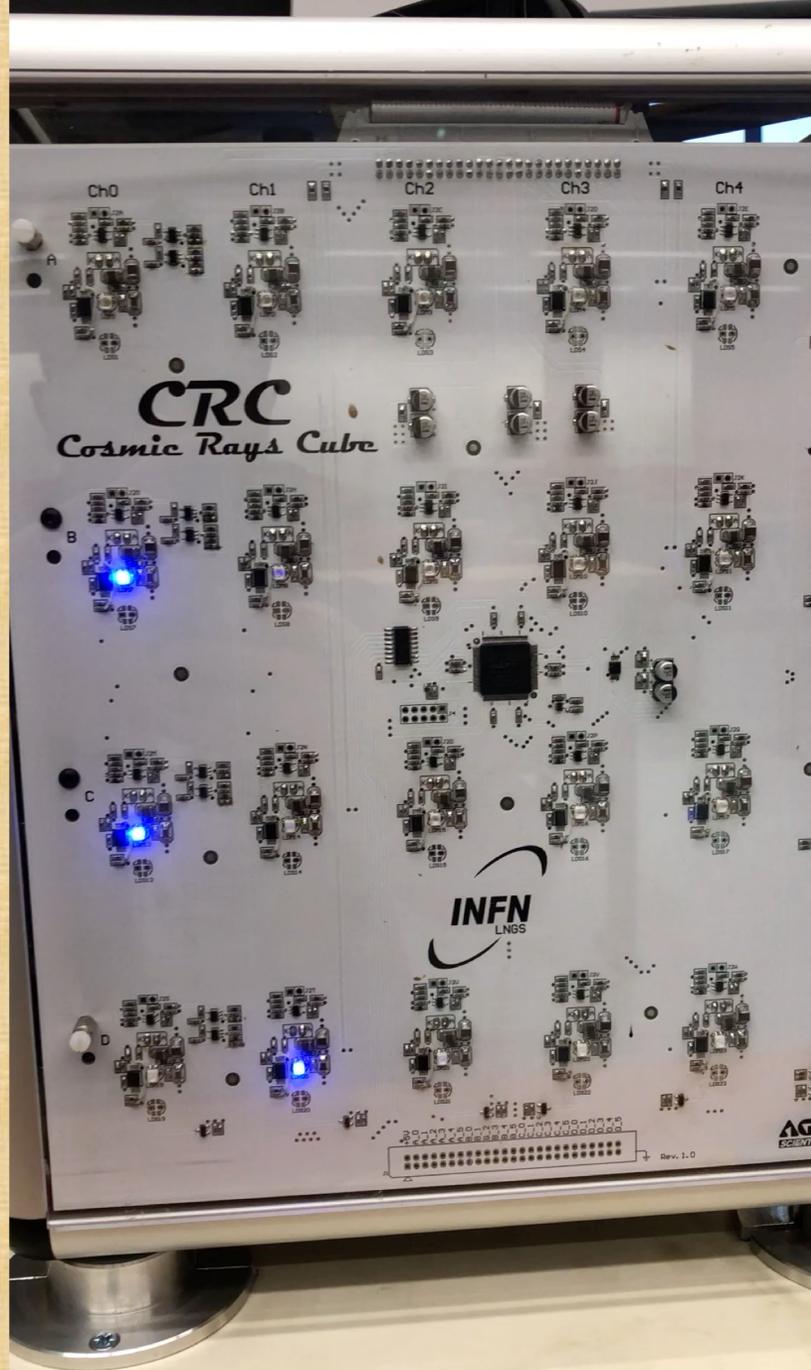
# Cosa sono i raggi cosmici

I raggi cosmici, sono particelle ad alta energia provenienti da galassie molto lontane o esplosioni di stelle. Sono principalmente costituite protoni, elettroni, nuclei di elio, fotoni e neutrini che arrivano dallo spazio.

E possono raggiungere energie ben più alte di quelle degli acceleratori.

Interagendo con l'atmosfera formano cascate di miliardi di elettroni, fotoni e muoni che questi producono sciami di particelle a sua volta più leggere.





International cosmic day  
Esperienza INFN Napoli

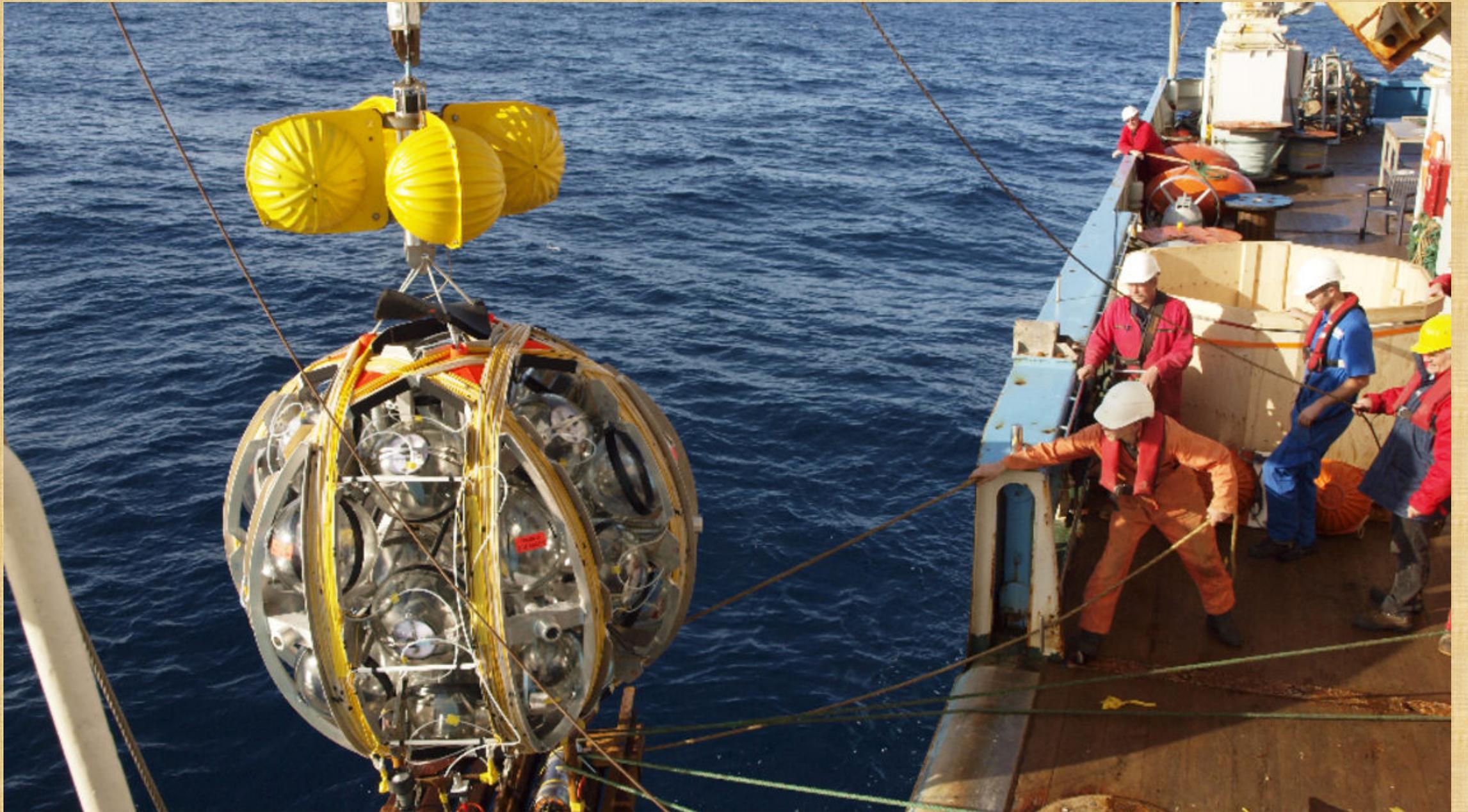


## Ricerche di fisica astroparticellare: Km3net

- KM3NeT è una grande infrastruttura di telescopi sottomarini per neutrini. ha un volume di alcuni chilometri cubi in profondità marine.
- KM3NeT ci permetterà di aprire una nuova finestra sull'Universo, studiando i neutrini provenienti da sorgenti astrofisiche come le supernovae, i gamma ray burst o i nuclei galattici attivi.

- Il telescopio per neutrini sarà realizzato con una matrice tridimensionale di sensori ottici. Con questi sensori è possibile rivelare la debole luce che viene emessa dalle particelle prodotte quando i neutrini interagiscono con i protoni o i neutroni presenti nell'acqua.







Attestato formazione Academy Cern Fiamingo



Attestato di formazione PID INFN Catania  
G.Fiamingo – Silvia Miozzi

