

Le particelle elementari: un viaggio nell'infinitamente piccolo e non solo!



con il patrocinio di



DIPARTIMENTO
DI FISICA E GEOLOGIA
DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA
MUR 2023/2027



Giuseppina Anzivino

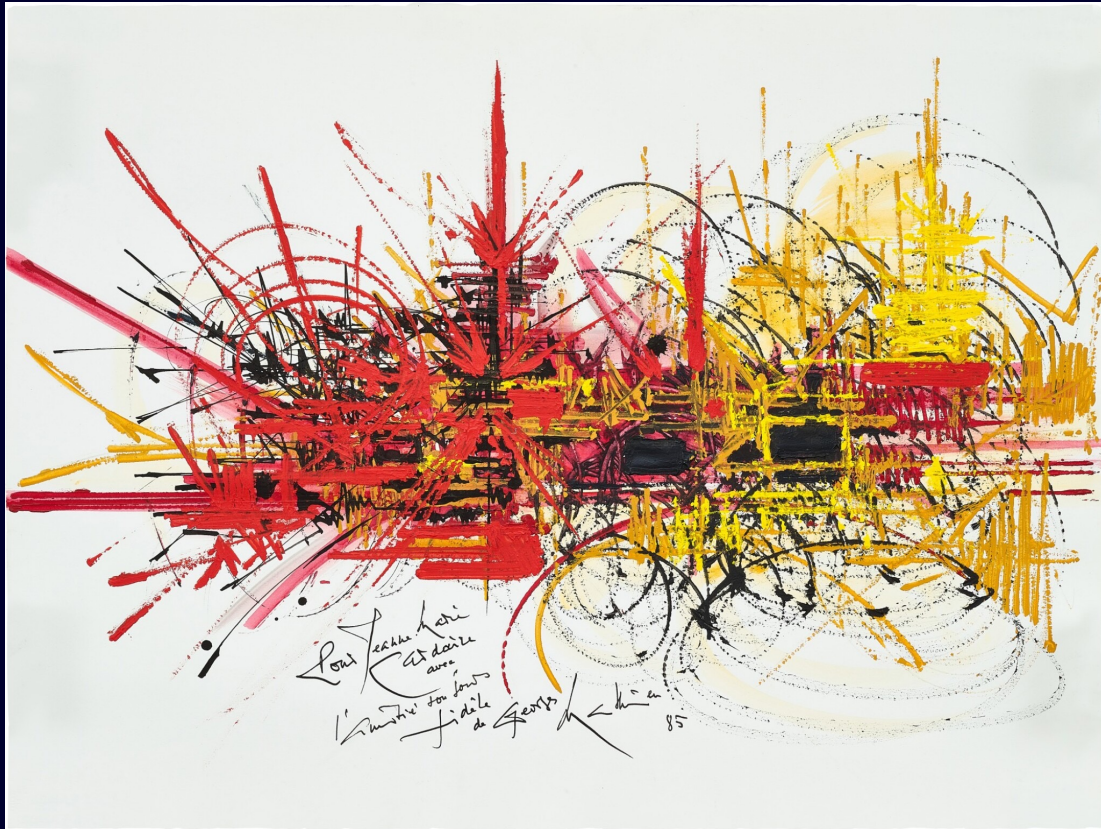
Dipartimento di Fisica e Geologia
Università di Perugia

Seminario Art&Science 12/5/2023

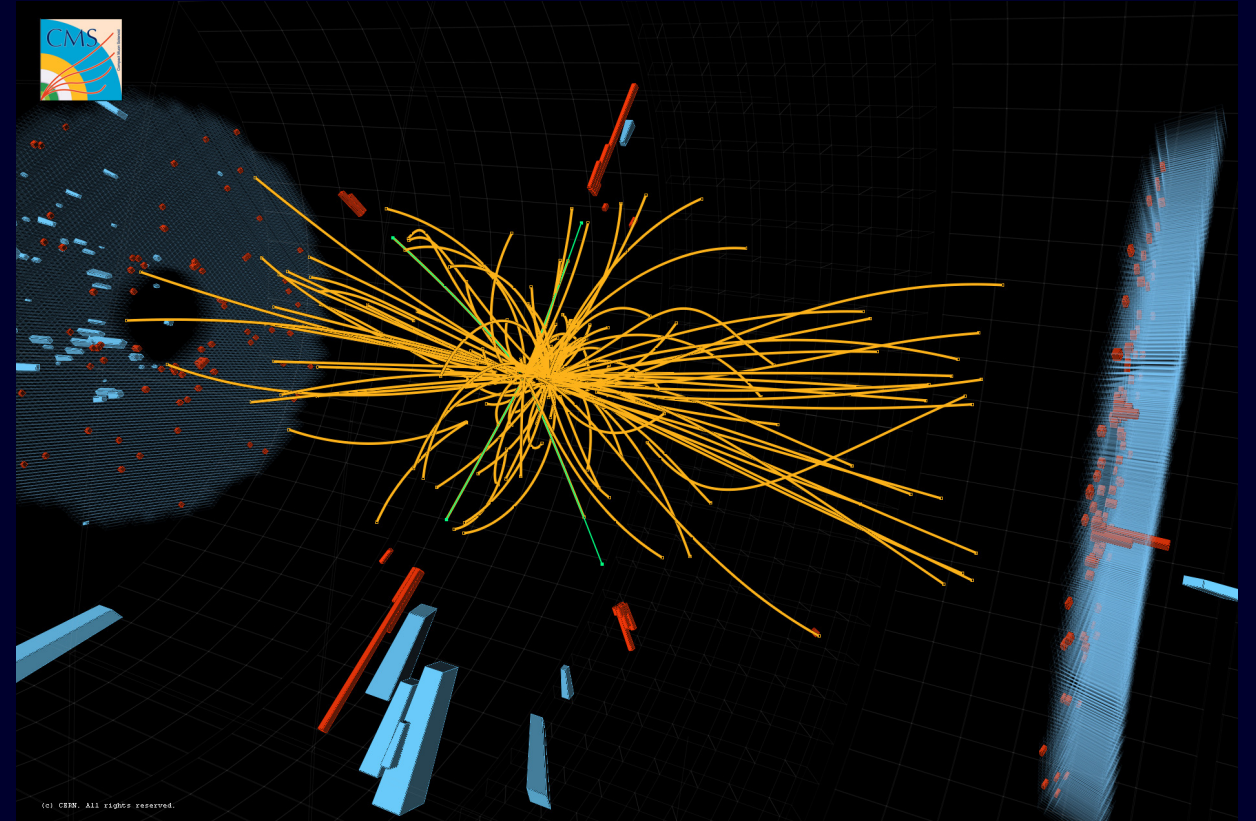
Arte e Scienza - prologo

- Lungo dibattito: le due **culture, scientifica e umanistica**, sono distinte e separate
- Tuttavia, l'arte e la scienza sono manifestazioni diverse, ma profondamente interpenetrate, di un'unica cultura, **la cultura umana**
- Arte e scienza si intrecciano e quindi si influenzano reciprocamente:
 - L'arte e la scienza sono prodotti dell'evoluzione biologica e culturale
 - L'arte e la scienza sono fonte reciproca di ispirazione
 - L'arte è un canale significativo della comunicazione della scienza
- Questa separazione non era infatti conosciuta né da Dante, né da Galileo e neppure da molti altri artisti, nei più svariati ambiti, e scienziati del passato
- La creatività degli scienziati si esercita attraverso due modelli: uno di carattere **intuitivo**, l'altro di carattere **analitico**.
- Quello intuitivo è sostanzialmente analogo al modello creativo degli artisti.
- Einstein amava dire che l'intuizione era la molla scatenante della sua straordinaria creatività.

Alcuni esempi



Georges Mathieu

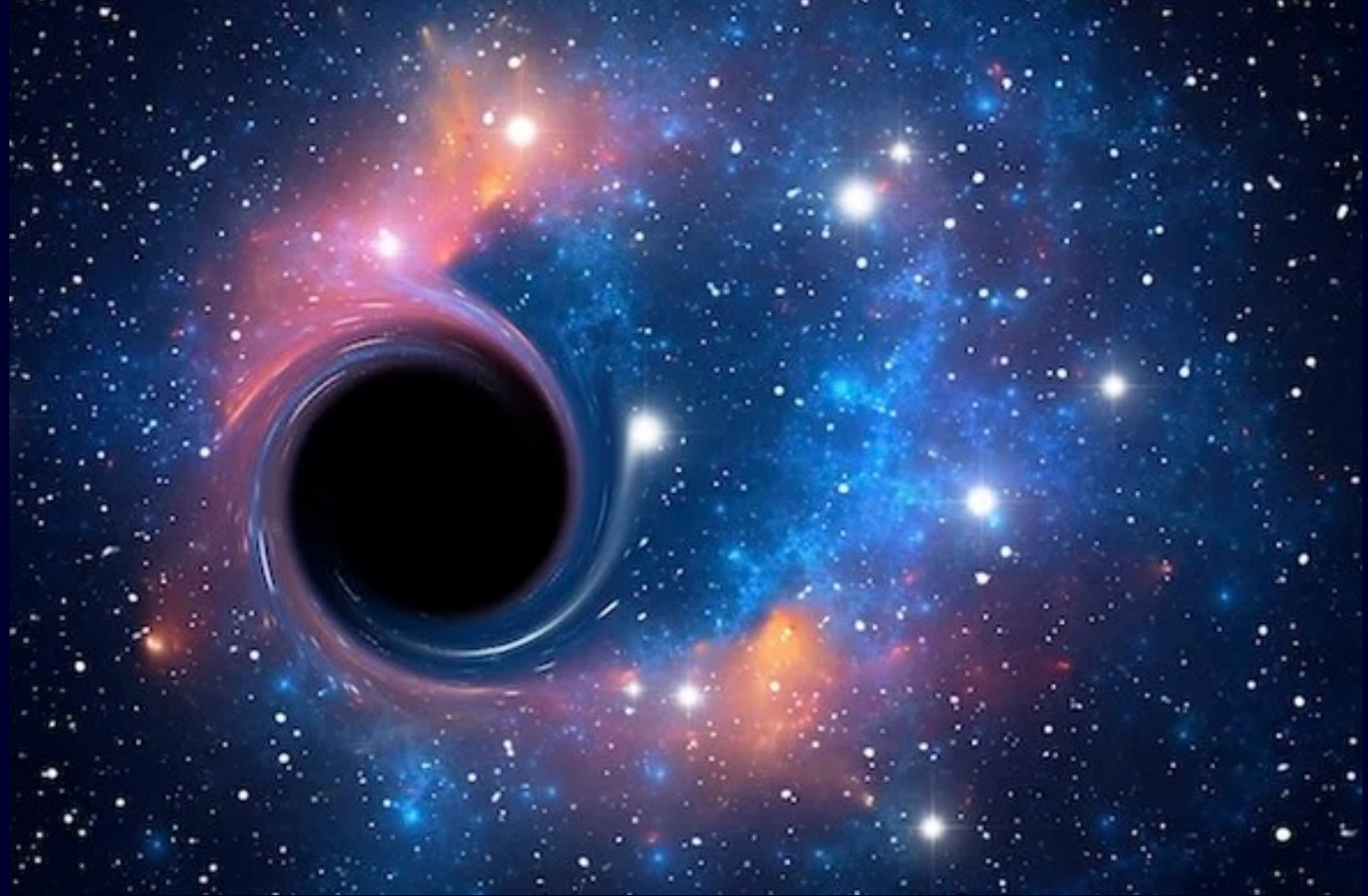


Evento da collisioni protone-protone dall'esperimento CMS al CERN

Alcuni esempi



Vassily Kamdisky - Several Circles



Rappresentazione grafica di un buco nero

Alcuni esempi



Jackson Pollock - Blue Art



Rappresentazione grafica di connessioni neuronali

Alcuni esempi



Giorgiana Houghton

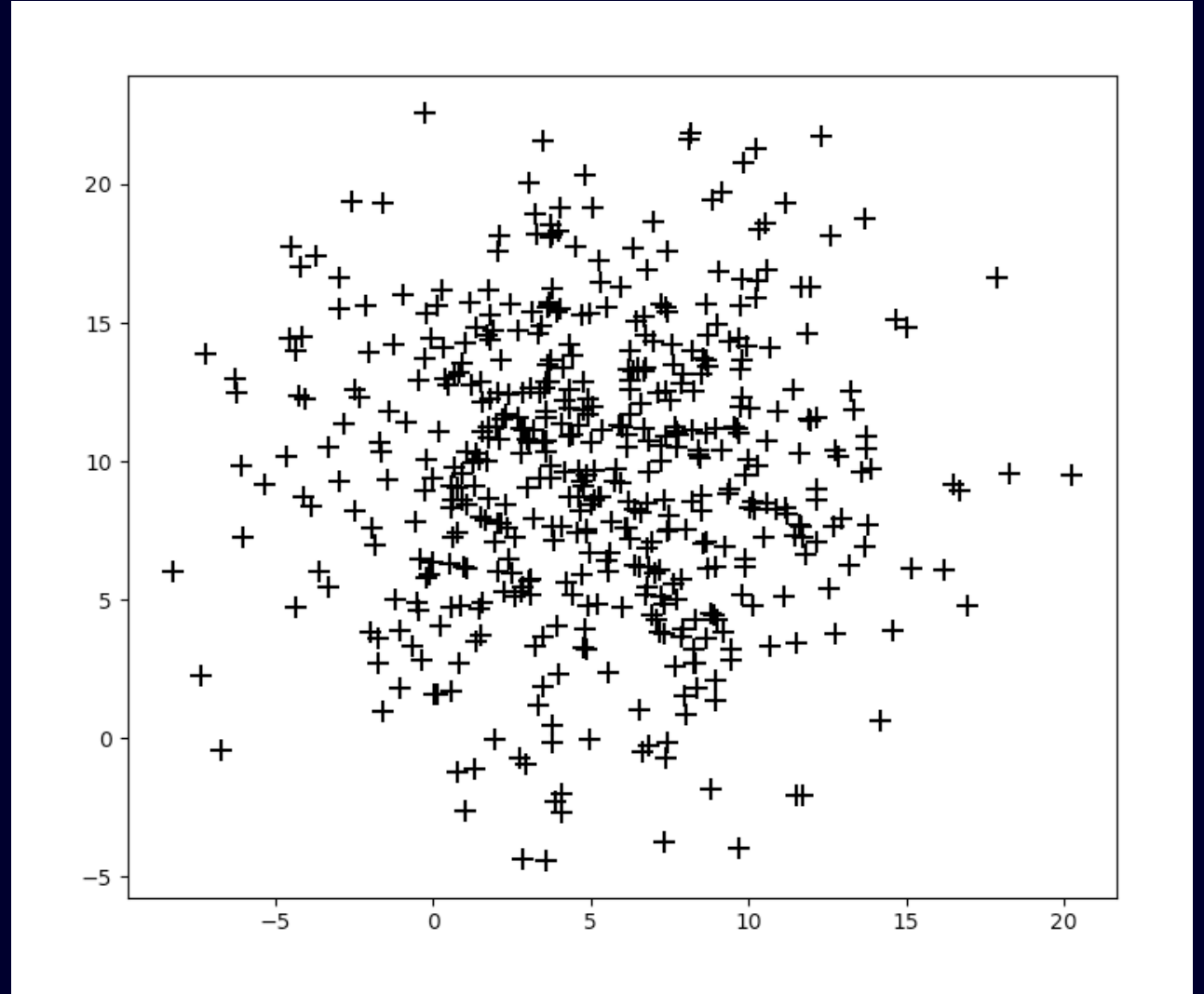


Dettaglio dell'atmosfera di Giove

Alcuni esempi

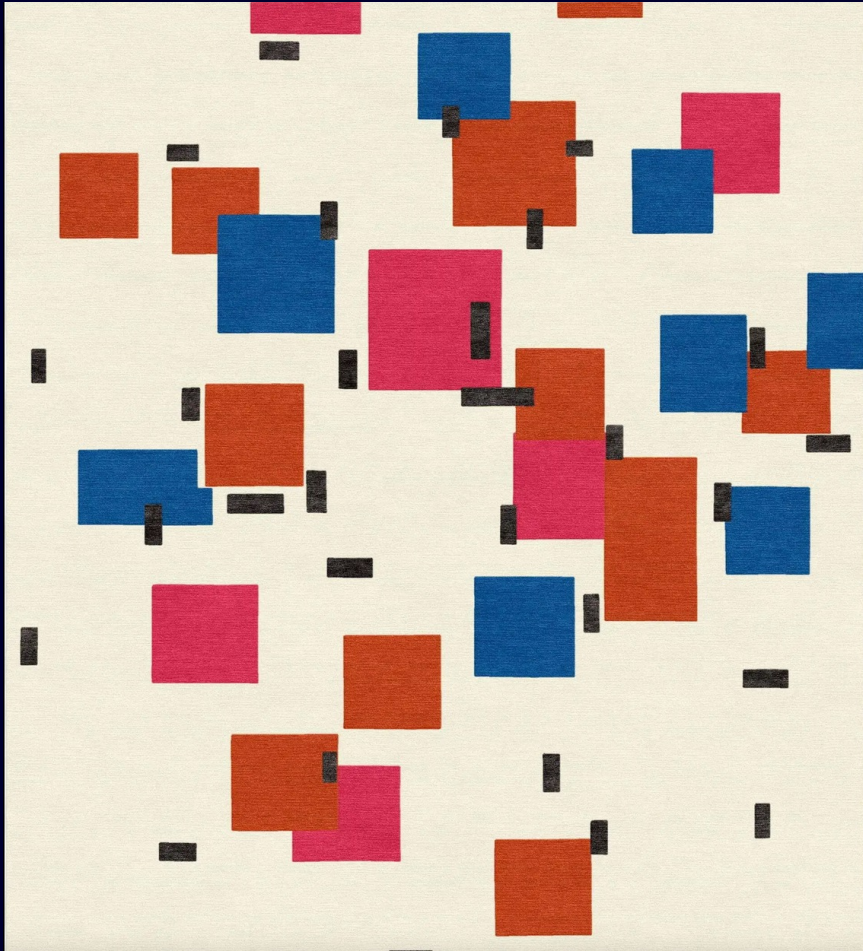


Mondrian - Composizione n.10

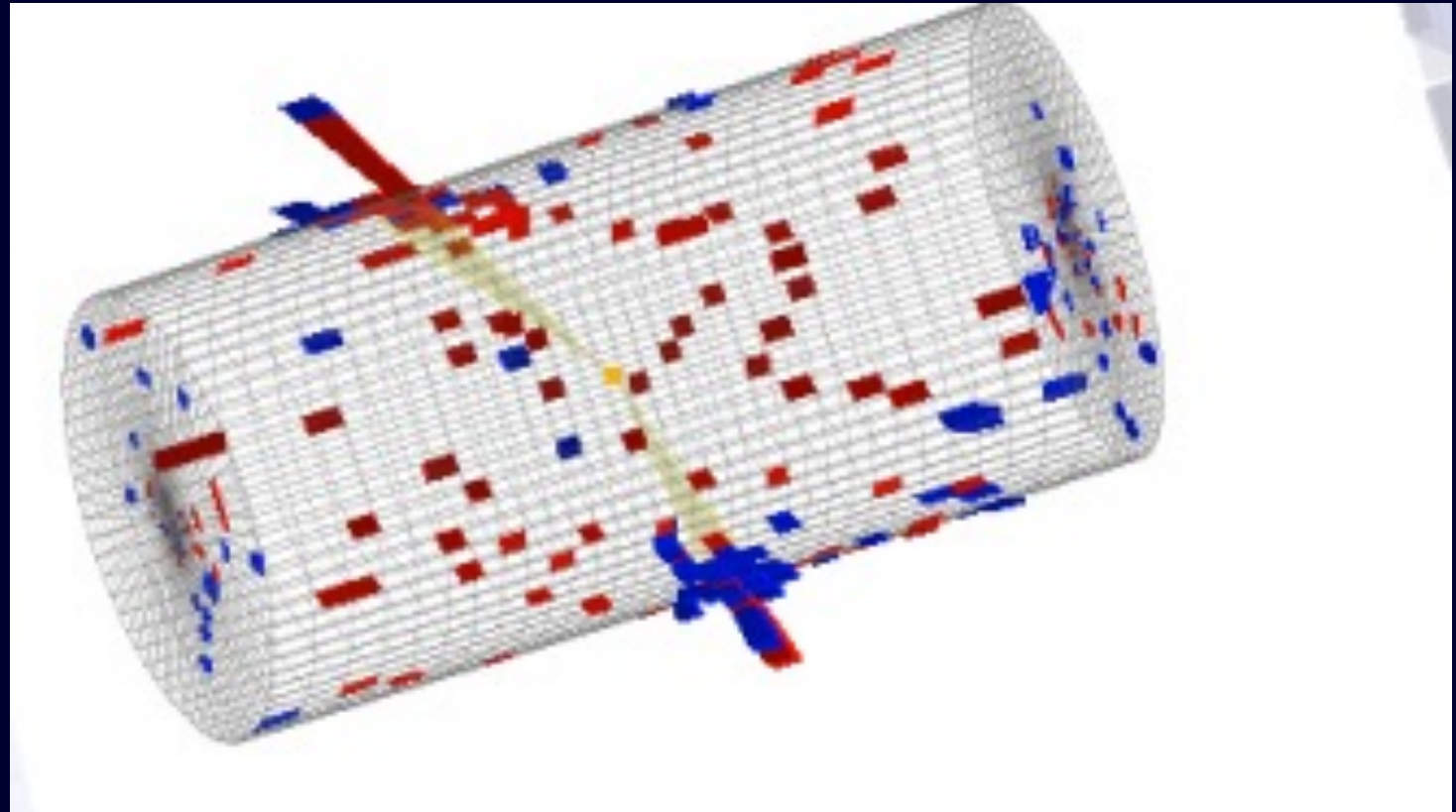


Distribuzione 2d di una Gaussiana

Alcuni esempi



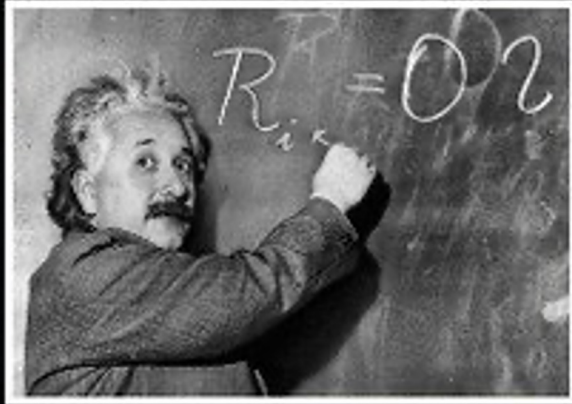
Mondrian - Composizione a colori A



Ricostruzione grafica di un evento da collisioni di particelle

Ma cosa fa il fisico?

PHYSICIST



WHAT SOCIETY THINKS I DO



WHAT MY MUM THINKS I DO



WHAT MY FRIENDS THINK I DO



WHAT THE GOVERNMENT THINKS I DO



WHAT I THINK I DO



WHAT I ACTUALLY DO

quickmeme.com

.... cerca risposte a domande fondamentali

- Da dove veniamo?
- Di cosa siamo fatti?
- Come siamo arrivati dal Big Bang all'Universo di oggi?
- Cosa tiene assieme la materia?
- Dov'è finita l'antimateria?
- **Che cosa ancora non sappiamo?**

La Fisica delle Particelle

- Le risposte vengono ricercate nel mondo dell'infinitamente piccolo:

particelle elementari

- Ma come svolgiamo le nostre ricerche?
- E quali sono gli strumenti che utilizziamo per le nostre indagini?
- Due strade principali: esperimenti con fasci di particelle agli acceleratori e esperimenti nello spazio

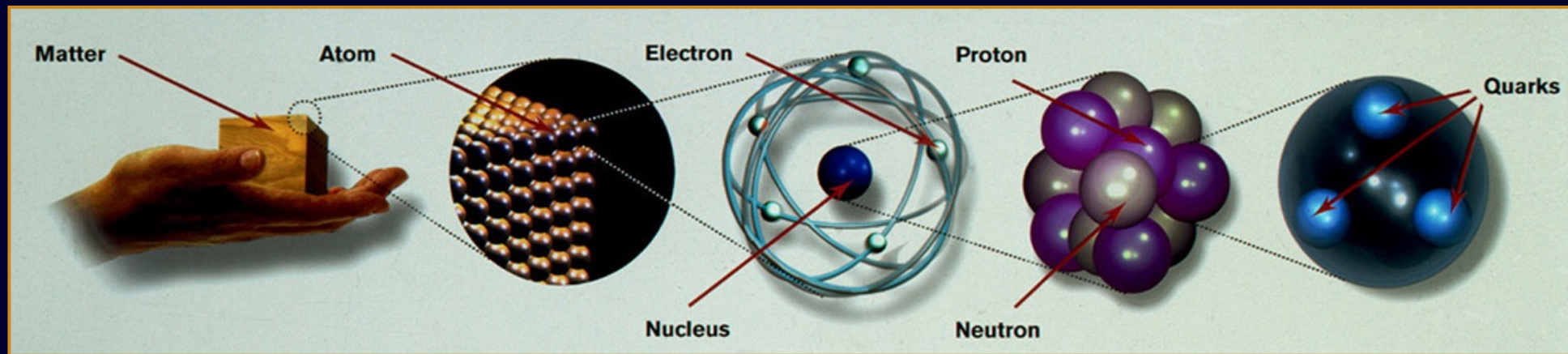
Le **collisioni di particelle** ad alta energia permettono lo studio in laboratorio delle condizioni che esistevano nell'Universo nelle **primissime frazioni di secondo** dopo il

Big Bang

Un viaggio nel cuore della materia

Ogni singola cosa nell'Universo è composta dagli stessi costituenti
le particelle elementari

La Fisica delle Particelle studia questi minuscoli
costituenti fondamentali e come essi interagiscono per
formare l'Universo come lo conosciamo



Uno sguardo a ritroso

Servirebbe una macchina del tempo!

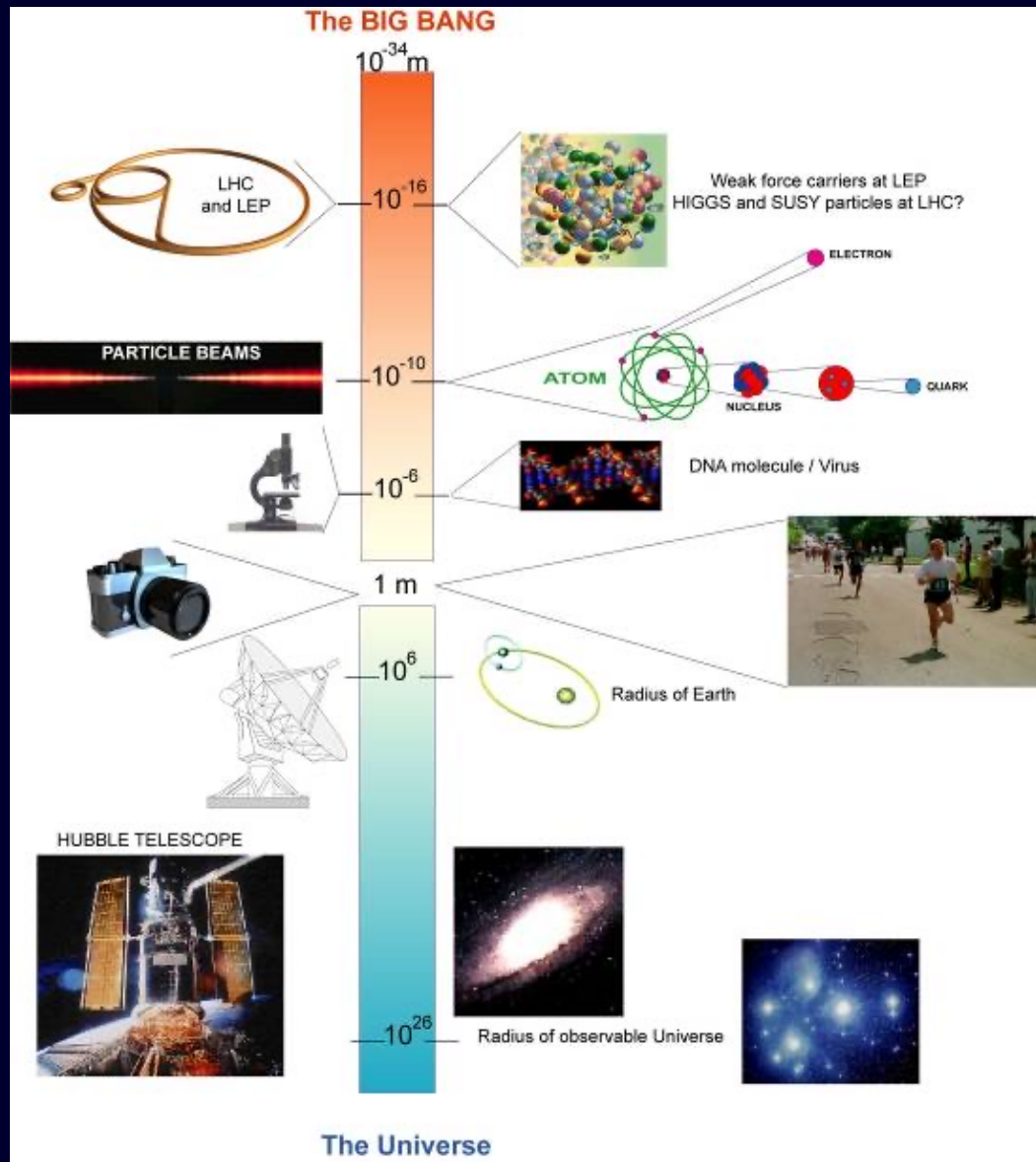
Un telescopio è proprio questo

- La luce viaggia a **300 000 km/s**, ma le distanze nello spazio sono enormi
- La luce che ci arriva da una stella situata all'estremo opposto della nostra galassia è stata emessa **100 mila anni** fa!
- Più guardiamo lontano, e più stiamo in effetti guardando indietro nel tempo



Le particelle elementari.... e non solo!

Ma con quali occhi?



Occorrono strumenti diversi
per osservare oggetti di
dimensioni diverse



Solo gli acceleratori di
particelle possono esplorare
gli oggetti più piccoli
dell'Universo



microscopio più avanzato

Particelle elementari → dall'infinitamente grande...



10^0 m



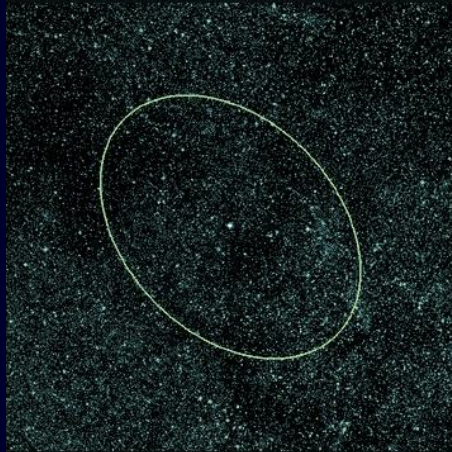
10^2 m



10^4 m



10^7 m



10^9 m
16



10^{21} m

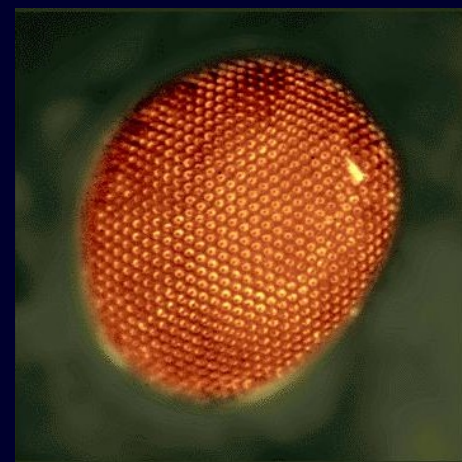
....all'infinitamente piccolo



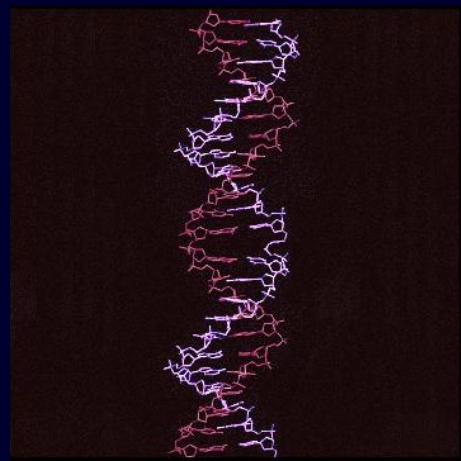
10^0 m



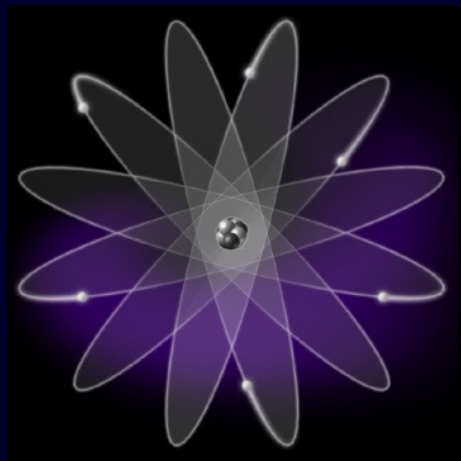
10^{-2} m



10^{-3} m



10^{-8} m



10^{-10} m



10^{-14} m

Le particelle elementari.... e non solo!

Di cosa è fatto il mondo che ci circonda?



Gli studiosi dell'antica Grecia:
4 elementi



Nel 1800

ELEMENTS		
Hydrogen	1	Strontian
Azote	5	Barites
Carbon	6	Iron
Oxygen	7	Zinc
Phosphorus	9	Copper
Sulphur	13	Lead
Magnesia	20	Silver
Lime	24	Gold
Soda	28	Platina
Potash	32	Mercury

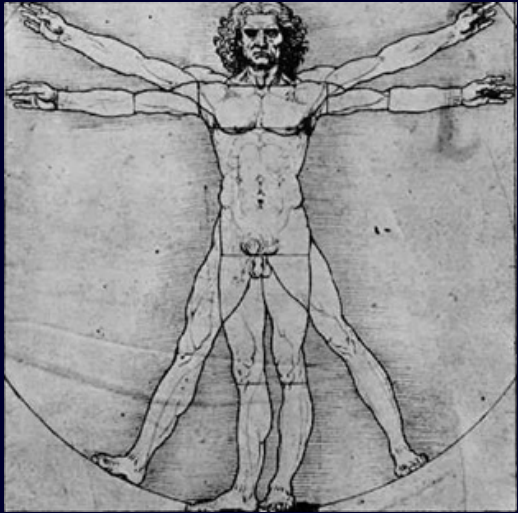
La risposta della chimica oggi:
la tavola periodica degli elementi

Periodic Table of the Elements

1 IA		2 IIA		3-10										11 IB	12 IIB	13-18															
1		2		3-10										11	12	13-18															
H		He												B	C	N	O	F	Ne												
Li		Be												Al	Si	P	S	Cl	Ar												
Na		Mg												K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb		Sr												Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs		Ba												La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr		Ra												Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			
Alkali Metal		Alkaline Earth		Transition Metal										Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide											

Le particelle elementari... e non solo!

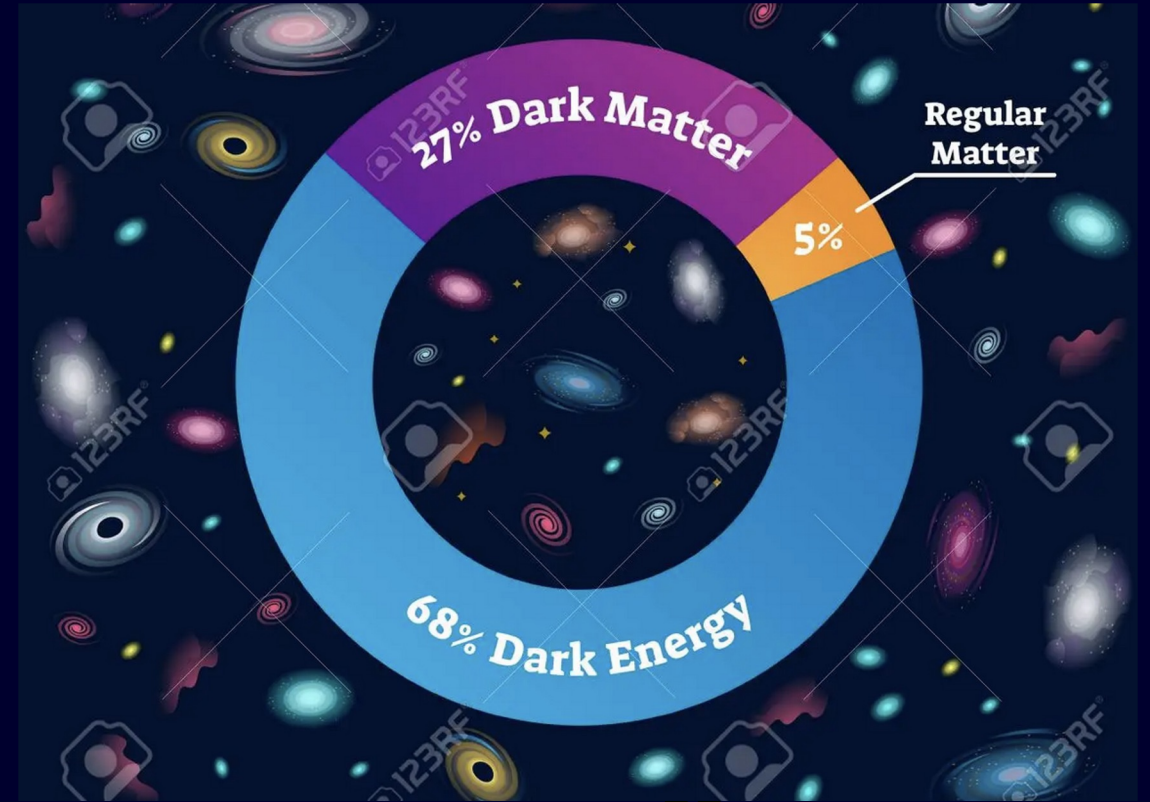
Ma sappiamo davvero di cosa siamo fatti?



principalmente di
acqua (H₂O)...



...tanto ossigeno...



...ed un 95% di materia
ed energia sconosciute!

Un viaggio nel cuore della materia

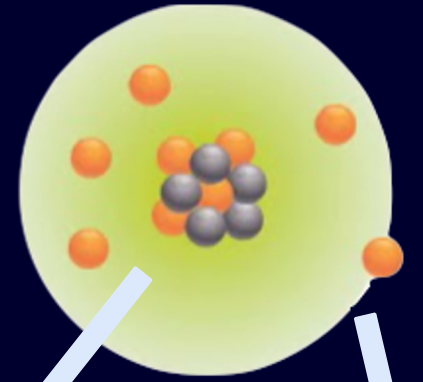


I costituenti fondamentali della materia

Materia

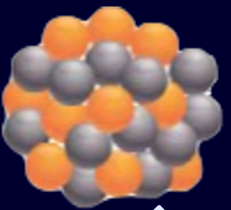
Modello planetario dell'atomo con elettroni in orbita attorno ad un nucleo indivisibile: [Rutherford, 1910](#)

Scoperta neutroni -> il nucleo non è indivisibile ma composto da protoni e neutroni: [Chadwick, 1932](#)



Atomo
 10^{-10} m

“Gli atomi sono particelle elementari indivisibili”:
[Democrito, 400 a.C.](#)



Nucleo
 10^{-14} m



Protone
 10^{-15} m



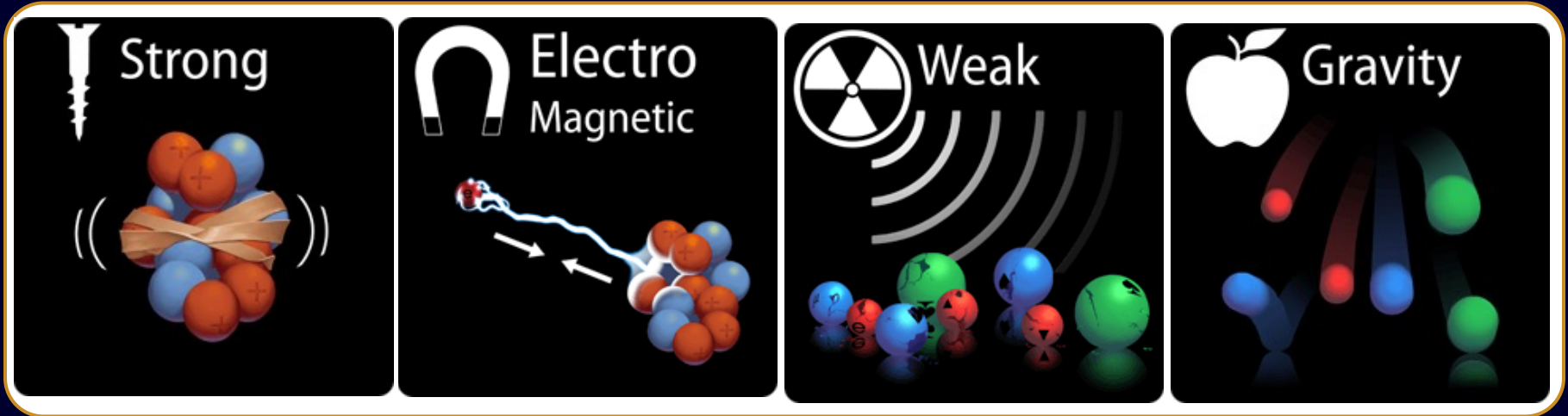
Elettrone
 $< 10^{-18}$ m



Quark
 $< 10^{-18}$ m

Protoni e neutroni sono composti da quark:
[Gell-Mann e Zweig, 1964](#)

Cosa tiene insieme il tutto?



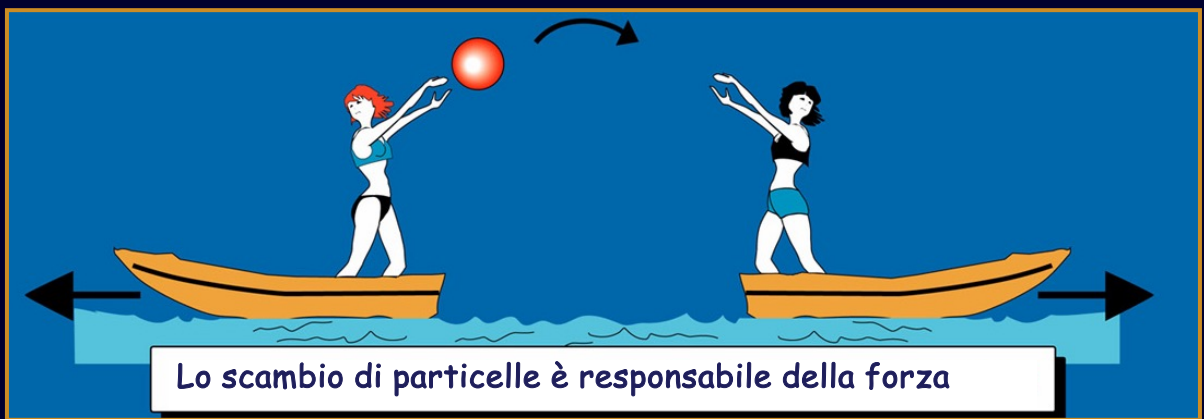
Forza relativa

~ 1

$\sim 10^{-2}$

$\sim 10^{-7}$

$\sim 10^{-39}$

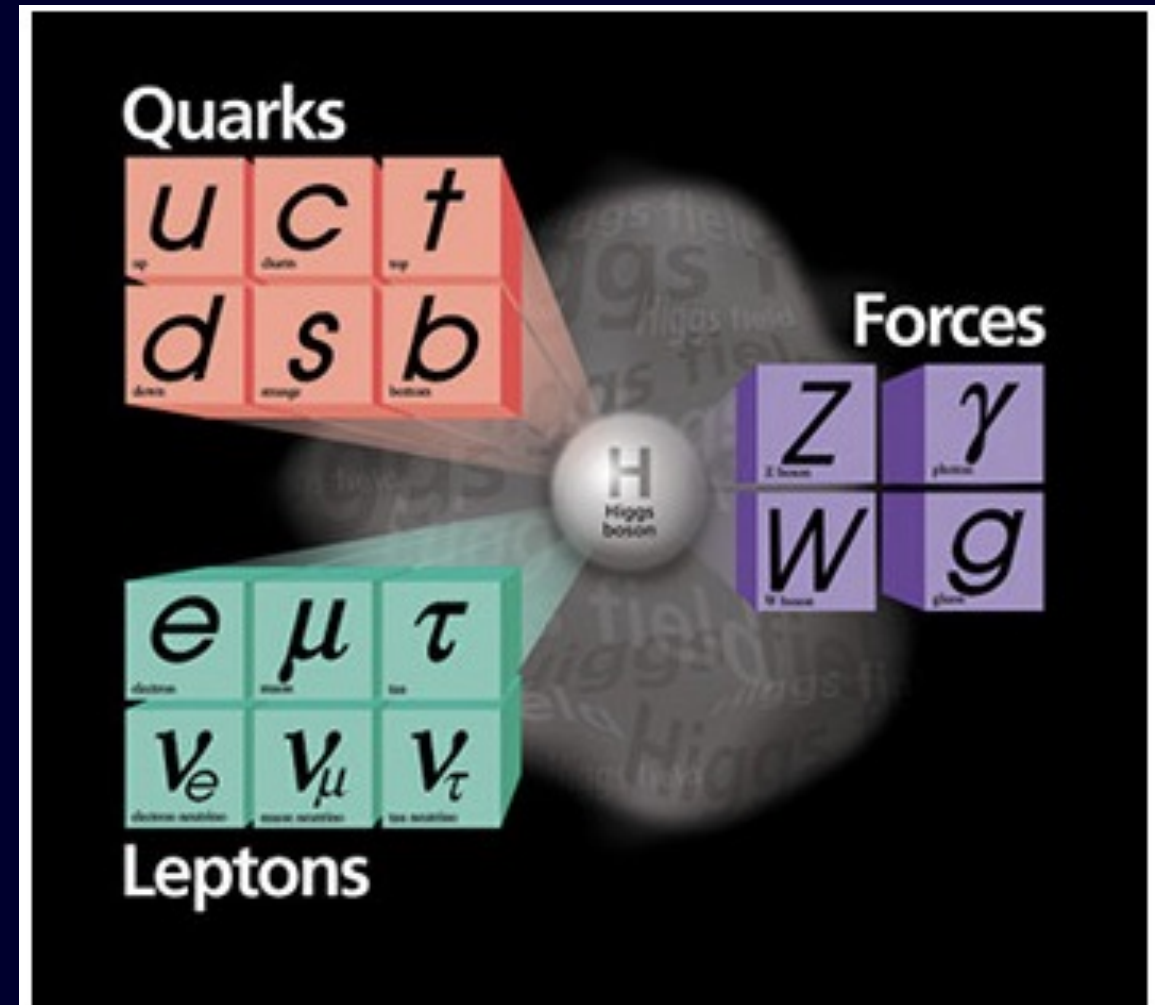


Ogni forza è associata a una o più particelle mediatrici della forza stessa

forza = interazione = scambio

Il Modello Standard

- Il **Modello Standard** delle Particelle Elementari è la teoria che descrive le particelle fondamentali e le loro interazioni in termini di tre delle quattro forze fondamentali (non include la gravità)
- Non abbiamo ancora trovato nessun risultato sperimentale in disaccordo con il Modello Standard
- ma il MS non spiega tutto....



totale **→** 12 mattoncini fondamentali

Non sappiamo ancora tutto

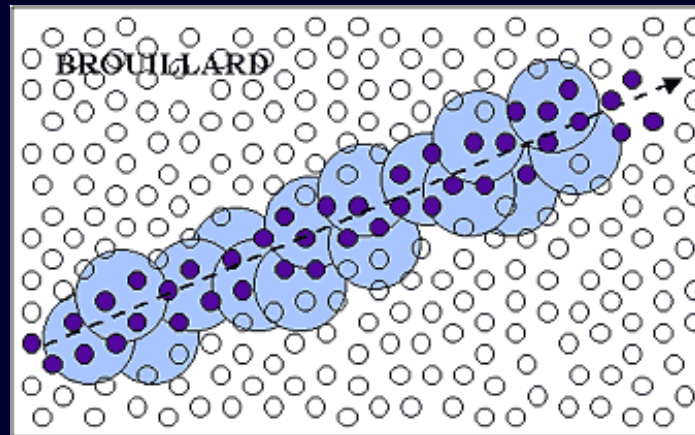
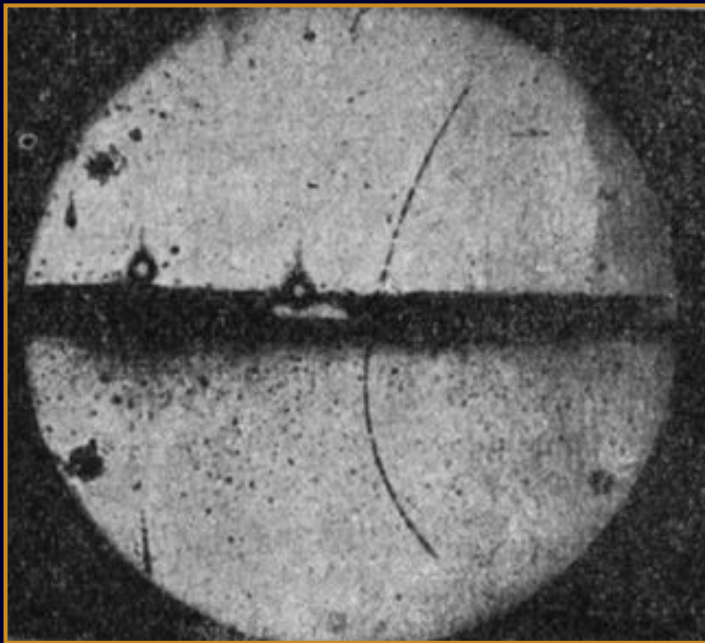
Cosa resta da scoprire?

- ✓ Il piccolo imbarazzo della Scienza...
 - ✓ Di cosa è composto il 95% dell'Universo?
- ✓ Il favoritismo di Madre Natura...
 - ✓ Perché viviamo in un mondo fatto di materia?
- ✓ I segreti del Big Bang...
 - ✓ Com'era fatta la materia nei primi secondi della vita dell'Universo?
- ✓ Perché ci sono esattamente 12 particelle fondamentali?
- ✓ E sono davvero fondamentali o sono composte da altre?
- ✓ Completare il lavoro di Newton...
 - ✓ Cos'è la massa? FATTO!

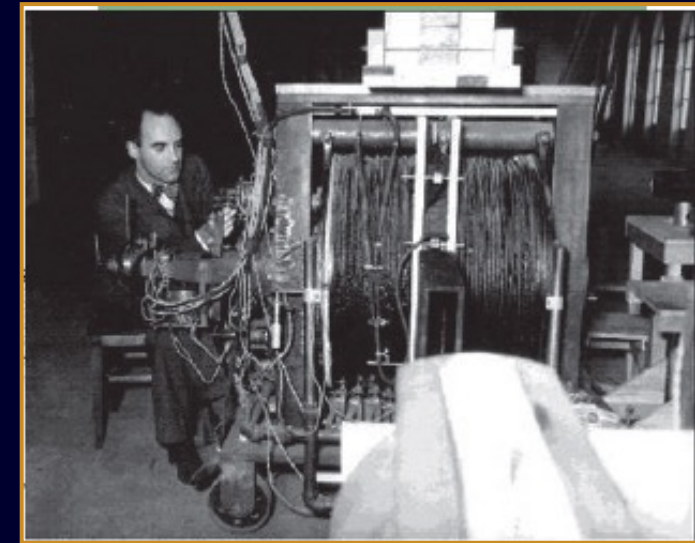


Materia - Antimateria

- Ogni **antiparticella** viene creata assieme alla sua corrispondente **particella**
- Un'immagine speculare, si annichila con la materia ordinaria
- Se alla nascita dell'Universo, materia ed antimateria esistevano in uguali quantità, nulla dovrebbe esistere attorno a noi!
- Invece **viviamo in un mondo fatto di materia**
- Esempio: **elettrone e positrone**

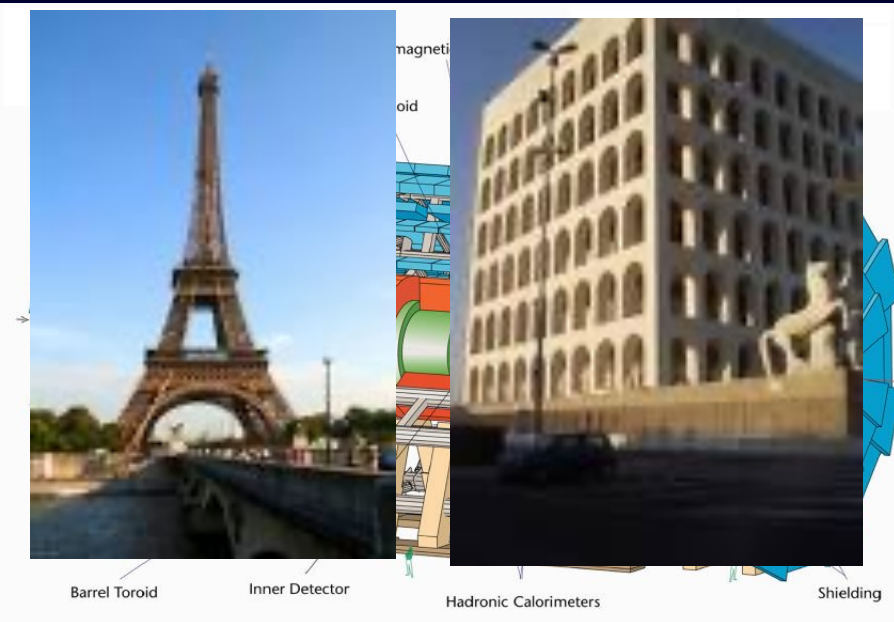


camera a nebbia



Questa singola foto valse ad Anderson il premio Nobel nel 1936

I rivelatori di particelle oggi...



- alti come palazzi di 5 piani
- pesano quanto e più della Torre Eiffel

Producono una **mole di dati** equivalente a quella che genererebbe l'intera umanità se ognuno degli 8 miliardi di persone sulla Terra facesse 20 telefonate contemporaneamente

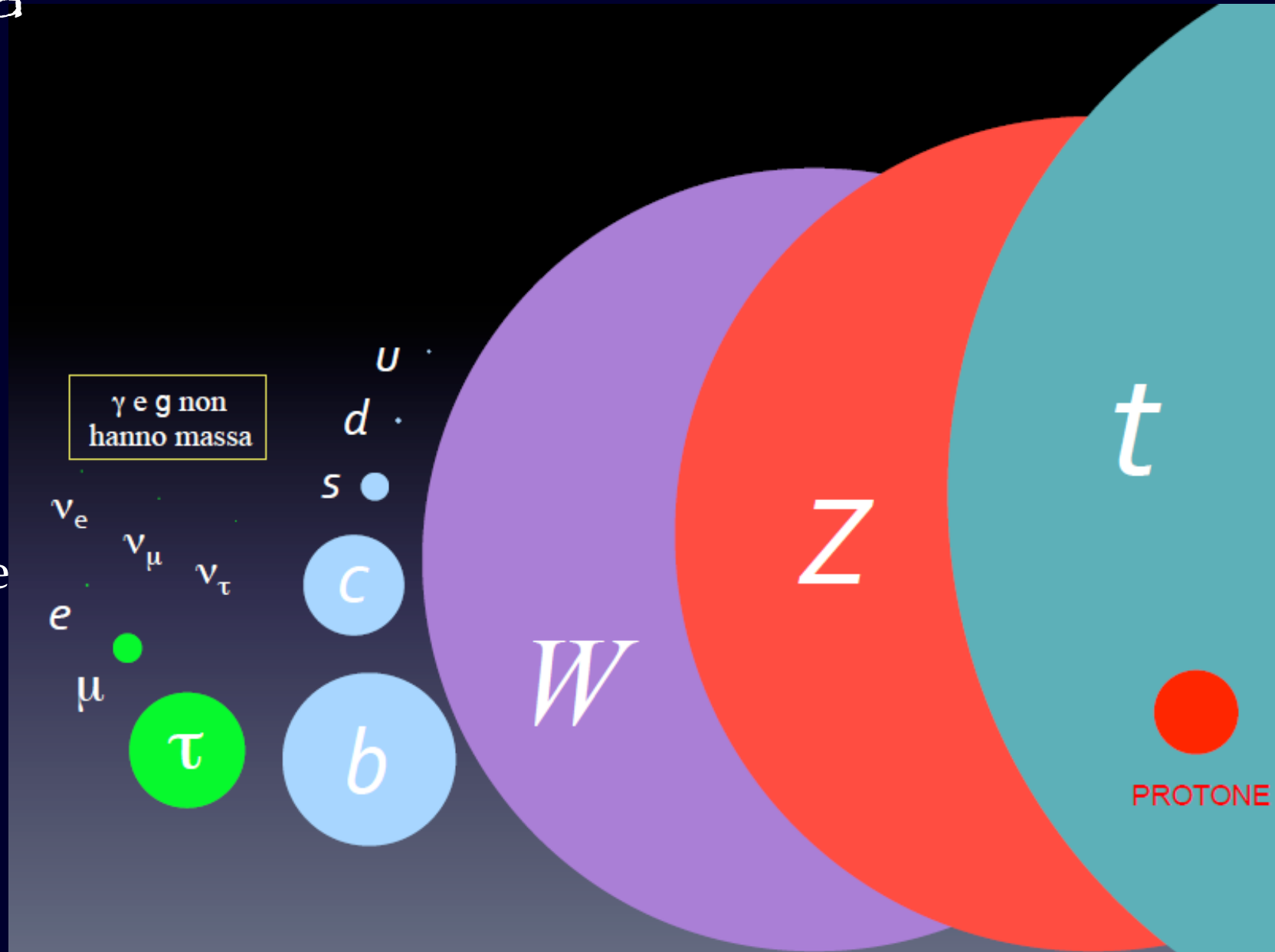
servono centinaia di migliaia di moderni PC per analizzare i risultati



L'enigma della massa

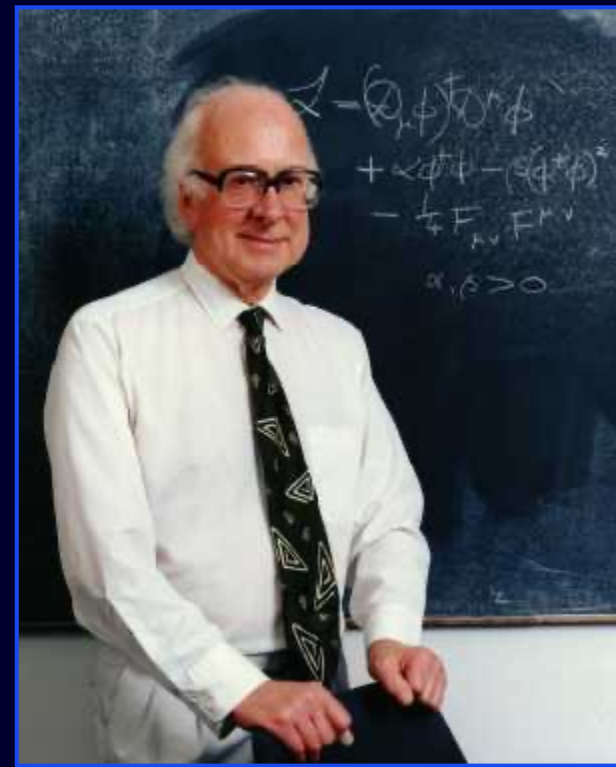
Non c'è una spiegazione sull'origine della massa delle particelle

Eppure, le particelle hanno una massa, che è enormemente diversa fra loro!



La risposta di Peter Higgs

- Un fisico britannico che più di 50 anni fa propose un meccanismo per spiegare il mistero dell'origine della massa delle particelle
- Higgs ipotizzò che il vuoto contenesse un onnipresente campo di forza che può frenare alcune particelle elementari, come la gelatina balistica frena un proiettile
- Questo **campo di forza è generato da una particella che non era stata ancora osservata**



bosone di Higgs

Rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa:

- Più o meno grande
- Se la particella è insensibile a questo campo di forza, resta di massa nulla



Mandare l'orologio indietro ...

- ✓ riprodurre i primi **400 mila anni** dopo il Big Bang
- ✓ studiare le reazioni fondamentali avvenute fra **un centesimo di miliardesimo di secondo e 3 minuti dopo il Big Bang**

... in 3 “semplici” operazioni:

- **Concentrare l'energia nelle particelle**

acceleratore

- **Fare collidere le particelle**

ricreare le condizioni dopo il Big Bang

- **Misurare quello che succede con un rivelatore**

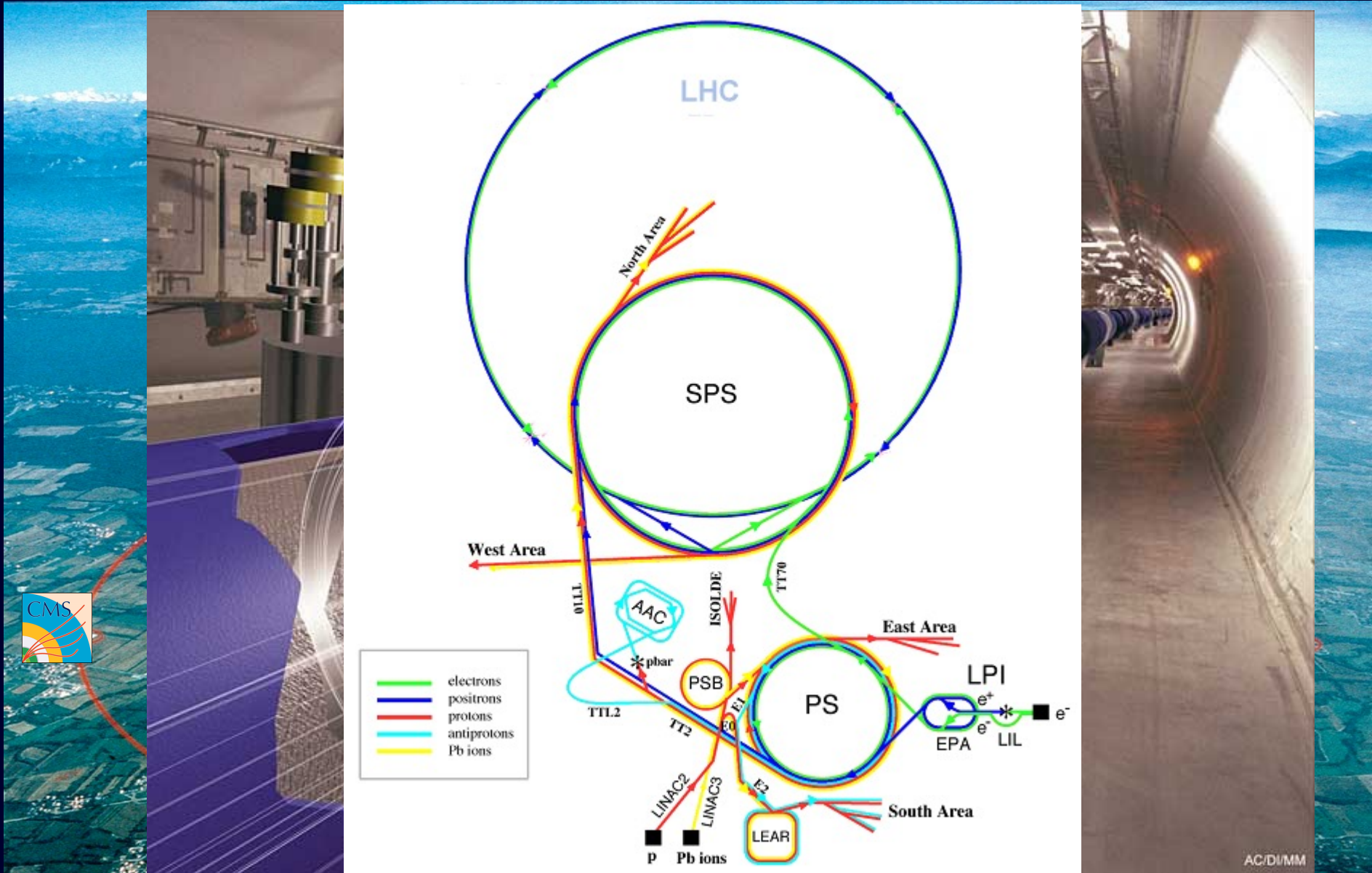
studiare le leggi della fisica

Cosa serve?

1. **Acceleratori**: macchine potenti capaci di accelerare particelle fino a energie estremamente alte e portarle a collidere con altre particelle
2. **Rivelatori**: strumenti giganteschi per rivelare le particelle prodotte nelle collisioni
3. **Computers**: raccogliere, immagazzinare, distribuire e analizzare enormi quantità di dati prodotti dai rivelatori.
4. **Persone**: solo una collaborazione di migliaia di scienziati, ingegneri, tecnici e personale di supporto può progettare, costruire and far funzionare queste macchine



Dove? Al CERN



IL CERN



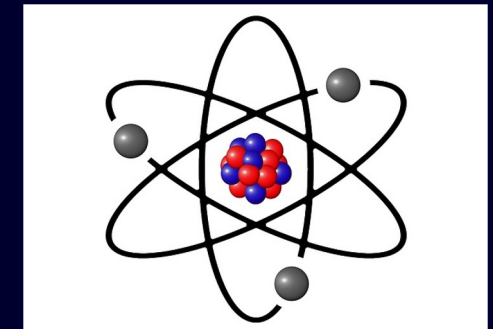
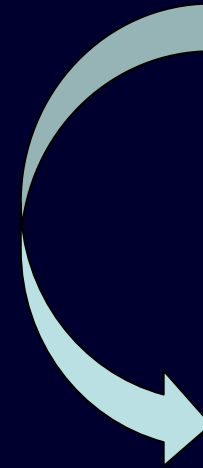
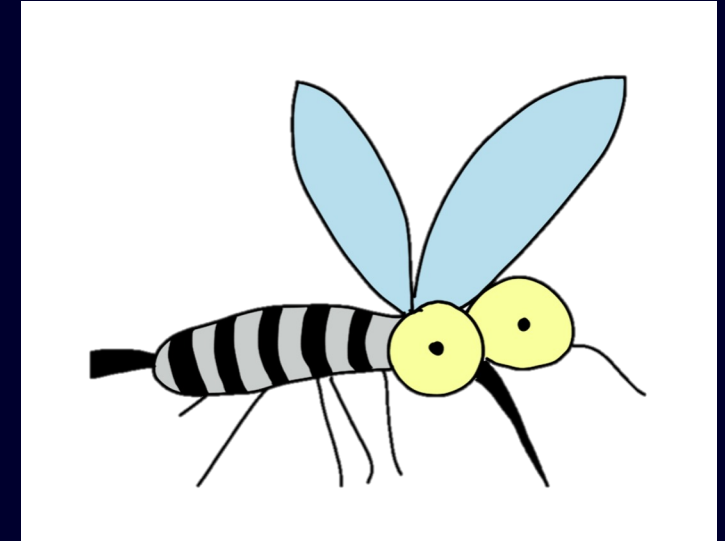
Le particelle elementari.... e non solo!

Il Large Hadron Collider - LHC

- Il più grande collisionatore di particelle al mondo, 27 km di circonferenza!

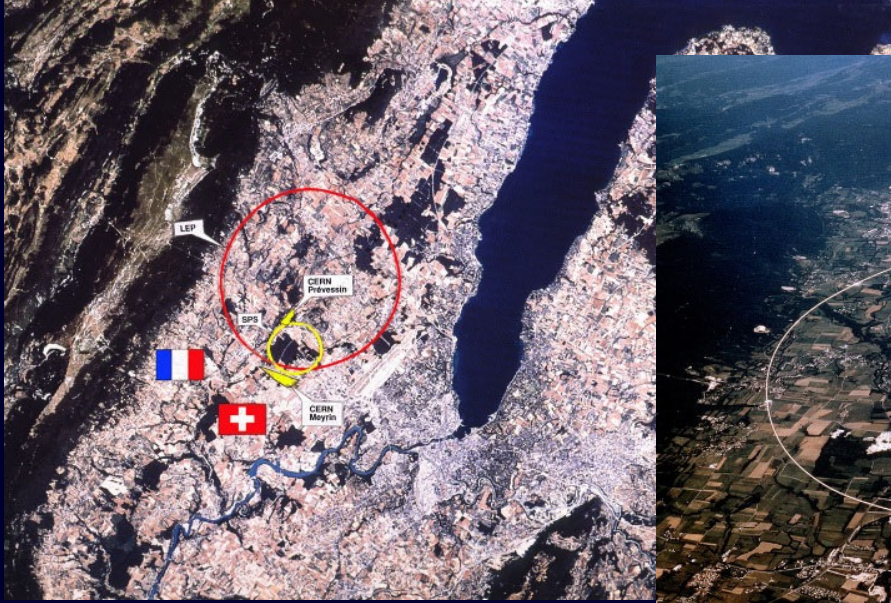
Scopo dell'esercizio

- Far collidere protoni con energia di **7+7 TeV** e ricreare in tal modo le condizioni esistenti una minuscola frazione di secondo dopo il Big Bang
- Cosa c'è di impressionante? 1 TeV è l'energia di una zanzara in volo!
- Ma a LHC si concentra questa energia in uno spazio che è un milione di milioni di volte più piccolo del corpo di una zanzara



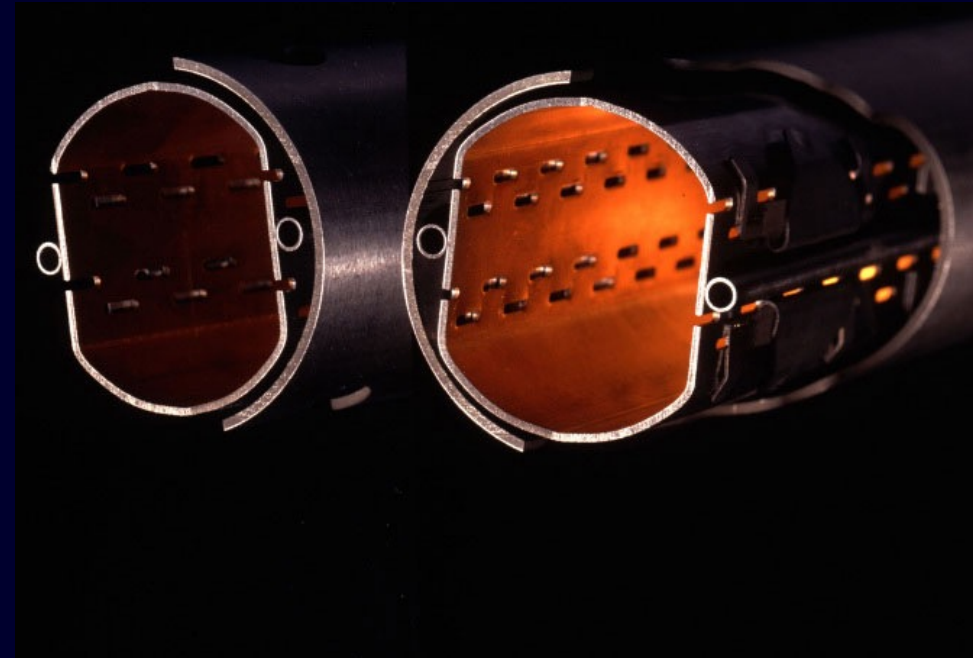
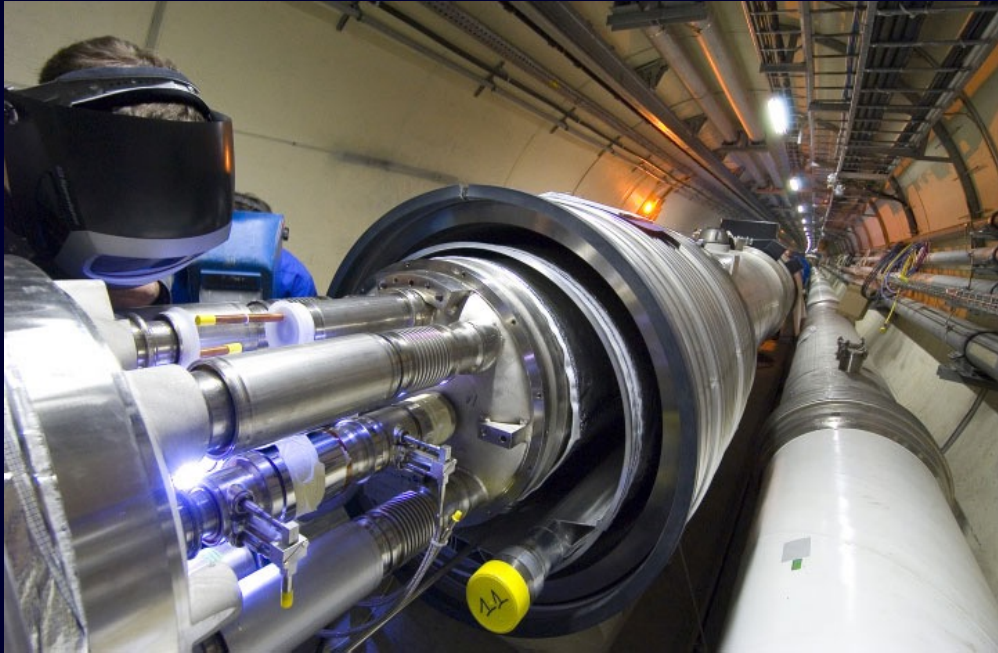


LHC: il **più veloce** circuito del pianeta



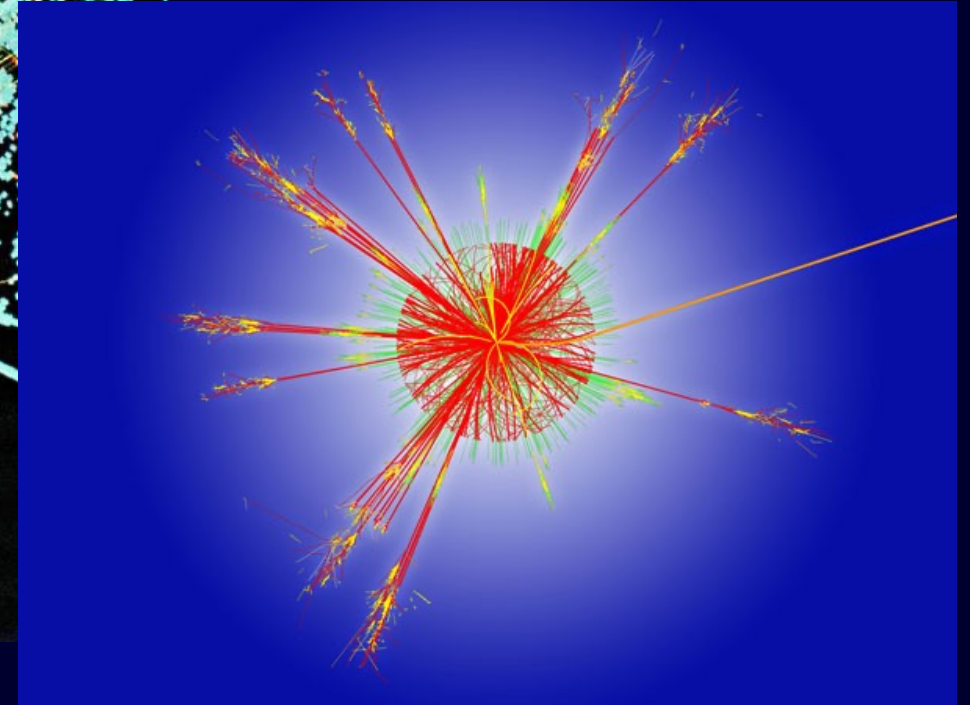
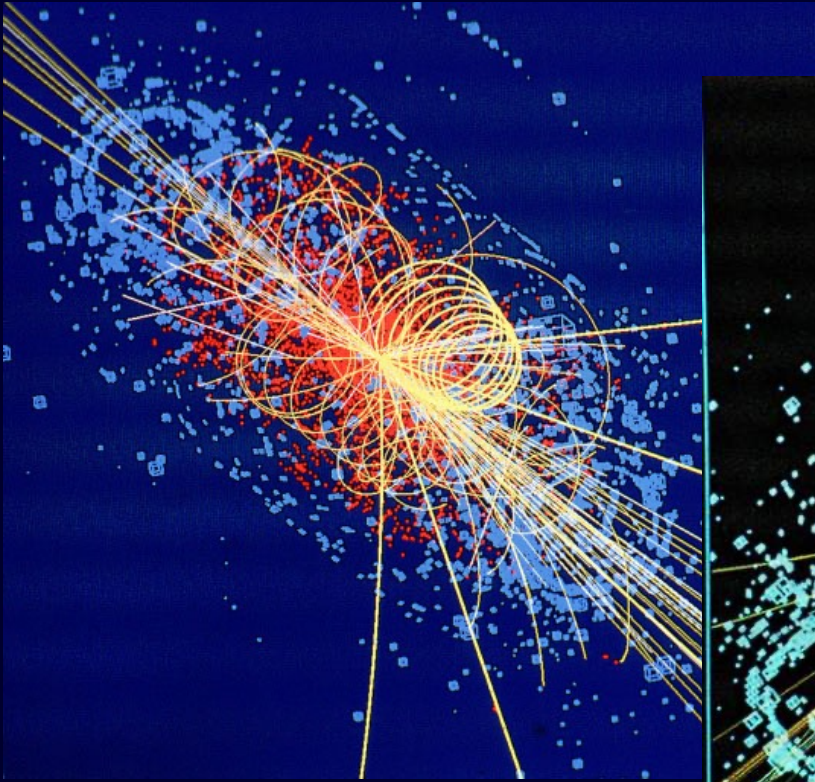
- ✓ Milioni di miliardi di protoni percorrono l'anello di 27 km di circonferenza in direzioni opposte, viaggiando allo 0.999999991 % della velocità della luce
 - ✓ I pacchetti di protoni si scontrano ogni 25 ns
- ➔ 40 Milioni di volte al secondo!**

LHC: lo spazio **più vuoto** del sistema solare



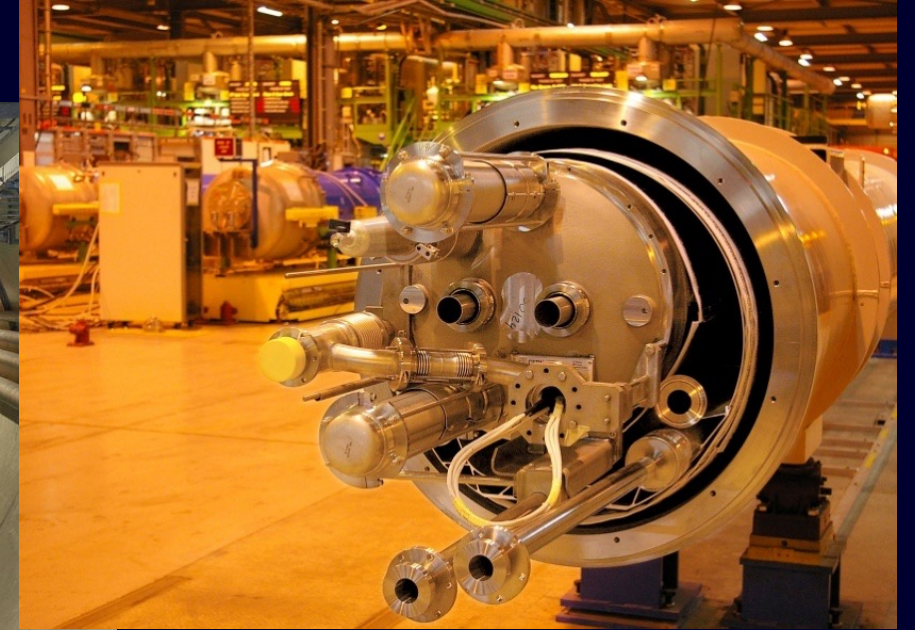
- ✓ Accelerare i protoni **quasi alla velocità della luce** richiede un vuoto spinto quanto quello dello spazio interplanetario.
- ✓ Sulla Luna, l'atmosfera è 10 volte più densa di quella all'interno del tubo di trasporto dei protoni in LHC.

LHC: il posto **più caldo** della galassia



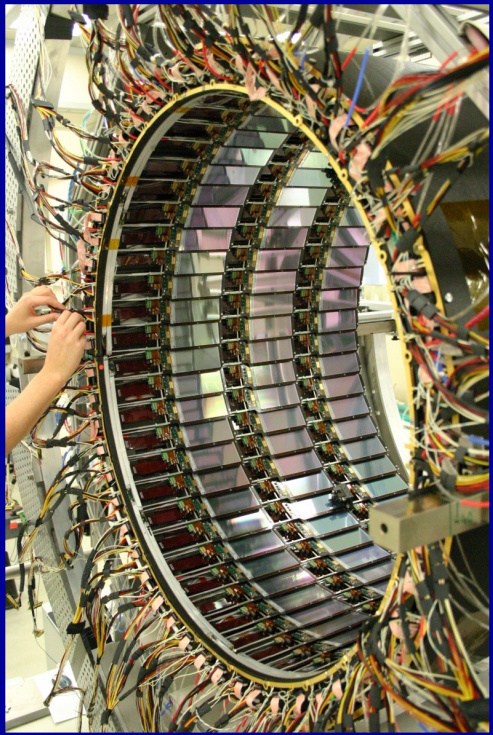
- ✓ Quando due fasci di protoni collidono, generano **temperature** 100 000 volte **superiori a quelle dell'interno del Sole**, ma in uno spazio infinitesimo

LHC: il posto **più freddo** nello spazio

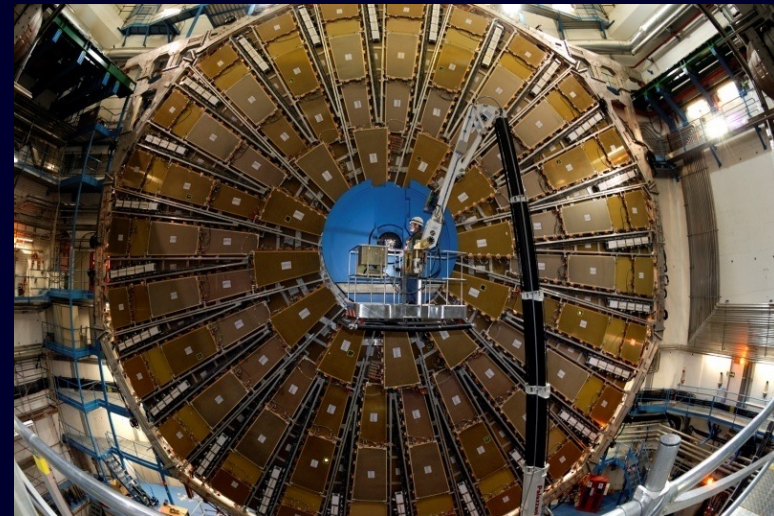
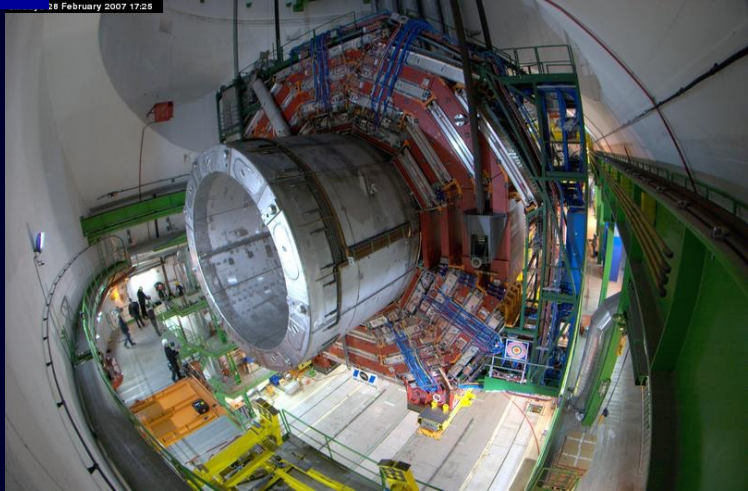
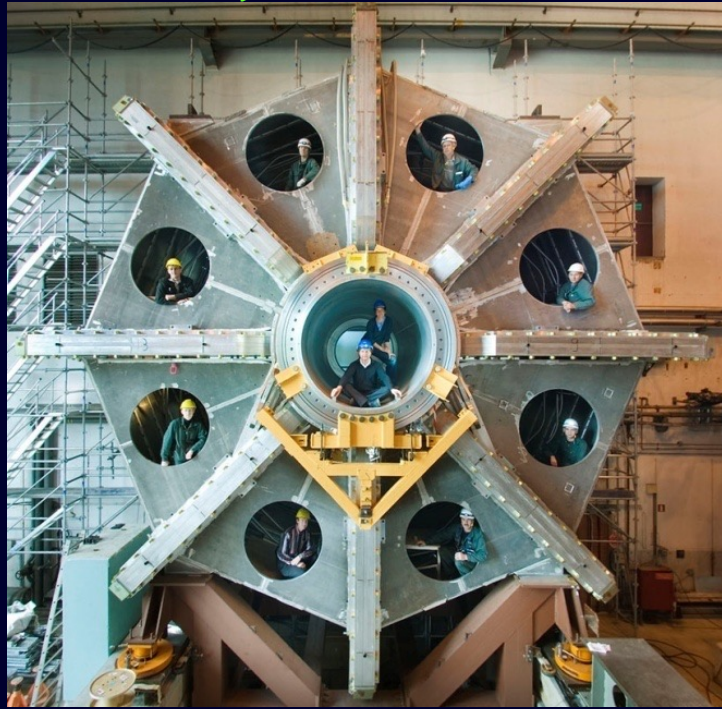


- ✓ I magneti di LHC operano ad una **temperatura** di -271.35°C , **inferiore a quella dello spazio interplanetario** (-270.425°C)
- ✓ Per la criogenia di LHC servono 40 000 giunzioni a tenuta stagna per le condutture di raffreddamento, 12 milioni di litri di Azoto liquido vaporizzati nella fase iniziale di raffreddamento e 700 000 litri di Elio liquido

I rivelatori più grandi e complessi mai costruiti



26 February 2007 17:25



Le particelle elementari.... e non solo!

Scoperta del bosone di Higgs

4 luglio 2012



Premio Nobel 2013

Dal 1° gennaio 2016

Fabiola Gianotti

Direttrice Generale del CERN
riconfermata per un secondo mandato
(2021-2025)



Ha un impatto sulla mia vita di tutti i giorni?

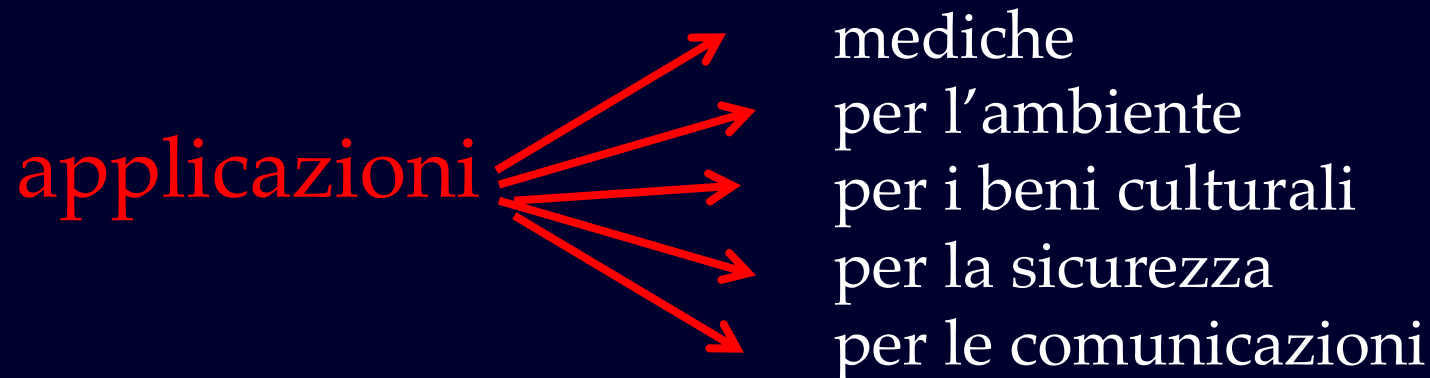
Due tipi di ricerca scientifica:

- ✓ La **ricerca di base** → Come funziona il mondo intorno a noi
- ✓ La **ricerca applicata** → Come faccio a costruire un oggetto che faccia questo o quello

La fisica delle particelle è ricerca di base

Ma normalmente abbiamo bisogno di tecnologie che non esistono ancora...

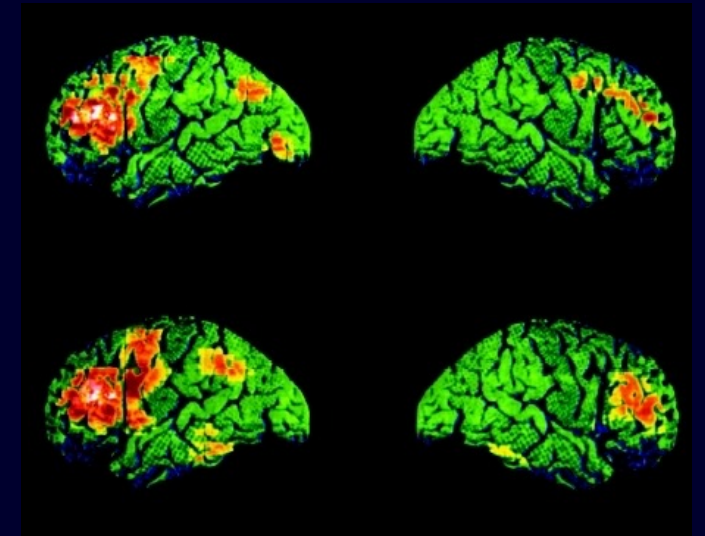
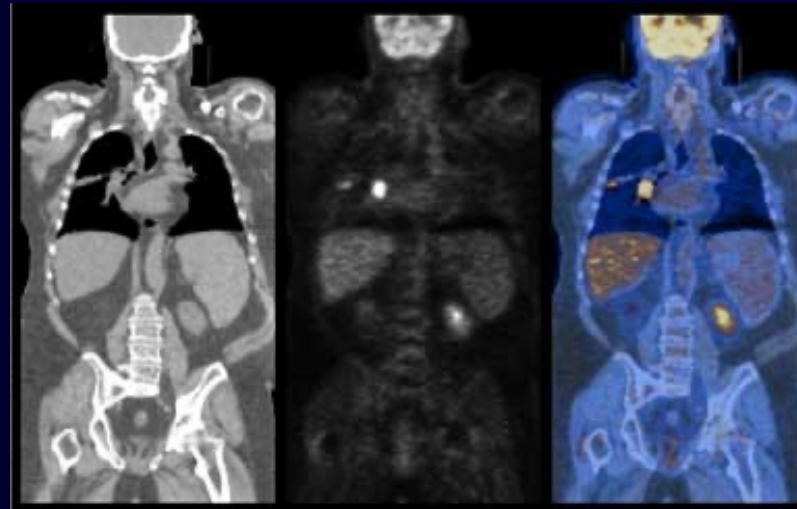
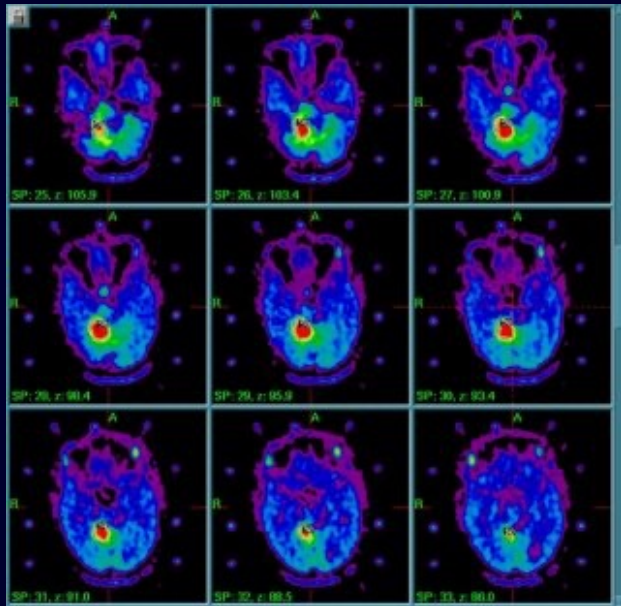
La ricerca fondamentale spinge all'innovazione tecnologica



Applicazioni mediche/1

DIAGNOSTICA

- ✓ radiografia
- ✓ TAC
- ✓ risonanza magnetica
- ✓ PET
- ✓ ecografia

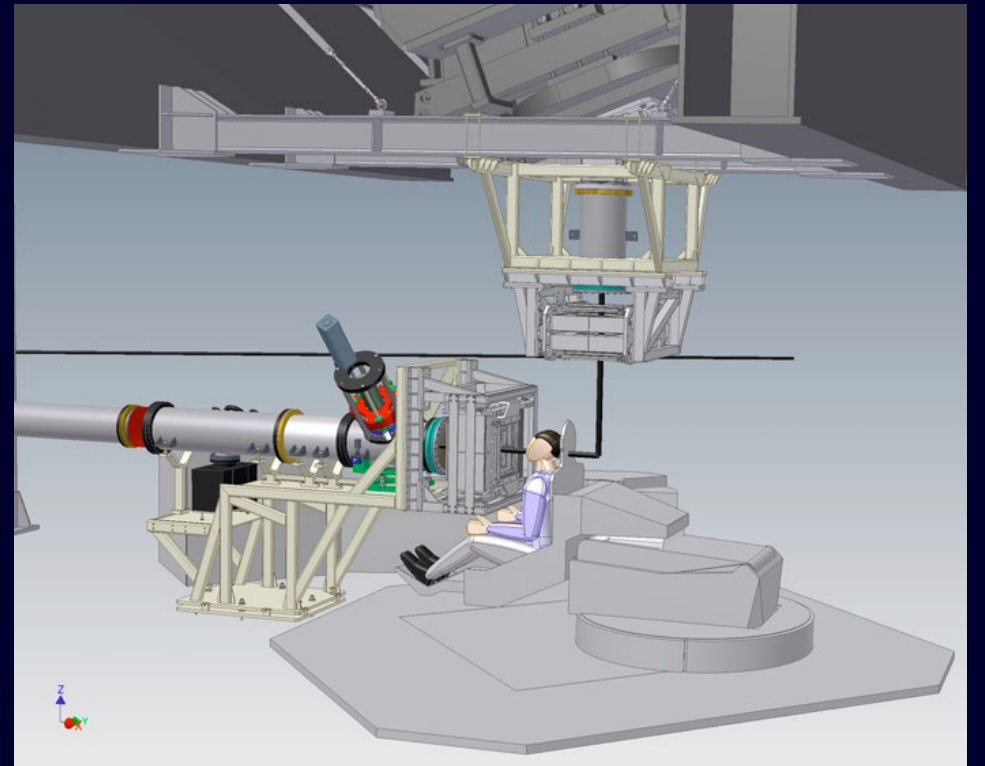


Applicazioni mediche/2

TRATTAMENTO DEI TUMORI

Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) - Pavia
uso di protoni e ioni di carbonio

Centro di Adroterapia e Applicazioni Nucleari Avanzate (CATANA) - Catania



Applicazioni - ambiente

- ✓ monitoraggio qualità
 - ✓ aria
 - ✓ acqua
- ✓ monitoraggio inquinamento
 - ✓ radiazioni elettromagnetiche
 - ✓ radioattività
 - ✓ acustico
- ✓ previsioni meteorologiche
 - ✓ invio satelliti
 - ✓ programmi di simulazione



Applicazioni – beni culturali

Laboratorio INFN di Tecniche Nucleari per l'Ambiente e i Beni Culturali (LABEC) Firenze



Applicazioni – beni culturali



Analisi del dipinto “Ritratto di ignoto” di Antonello da Messina (1476).

La tecnica utilizzata permette di non alterare minimamente l’opera d’arte e di capire la composizione dei pigmenti, rivelando la tecnica pittorica utilizzata.

Le particelle elementari.... e non solo!

Applicazioni – beni culturali



Reperto archeologico analizzato nel laboratorio Landis
(Laboratorio di analisi non distruttive), nei Laboratori del Sud dell'INFN a Catania

Applicazioni – beni culturali



Papiro di Artemidoro

- Il documento che contiene la prima trascrizione conosciuta di parte del testo geografico di Artemidoro di Efeso
- Il supporto è stato datato dal laboratorio Labec (Laboratorio di Tecniche Nucleari Applicate ai Beni Culturali) dell'INFN di Firenze nel 2008.
- Secondo la datazione, realizzata con il carbonio-14 utilizzando la tecnica della spettroscopia di massa con acceleratore, il supporto del papiro ha circa 2.000 anni.

Applicazioni – beni culturali

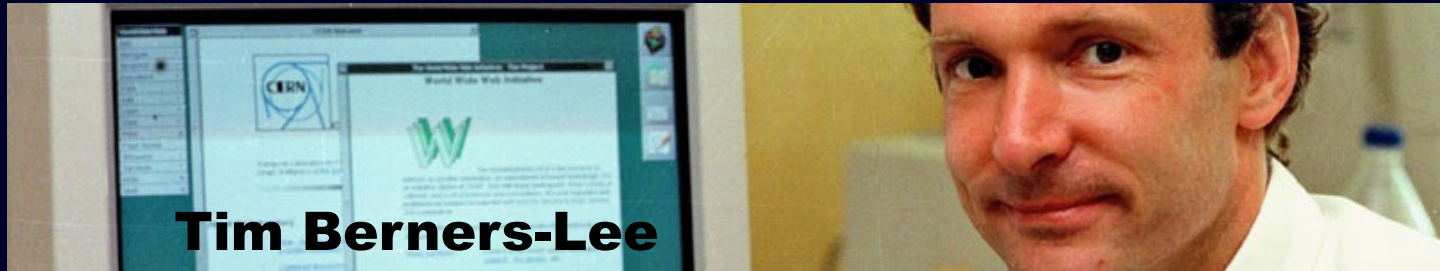


La tonaca attribuita a San Francesco di Assisi conservata nella Chiesa di S. Francesco a Cortona (Arezzo) analizzata nel laboratorio Labec con la tecnica del radiocarbonio, utilizzando la spettrometria di massa con acceleratore. La tonaca è risultata compatibile con il periodo in cui è vissuto del Santo.

WWW

http://www.cern.ch/
http://www.w3.org/
http://www.esa.int/
http://bulletin.cern.ch/
http://www.sciencemag.org/
http://cdsweb.cern.ch/
http://www.scoap3.org/
http://www.w3c.org/
http://www.w3c.org/
http://www.nikhef.nl/
http://www.cerncourier.com/
http://www.interactions.org/
http://www.desy.de/

Nasce al
CERN
nel 1989



Google™



twitter

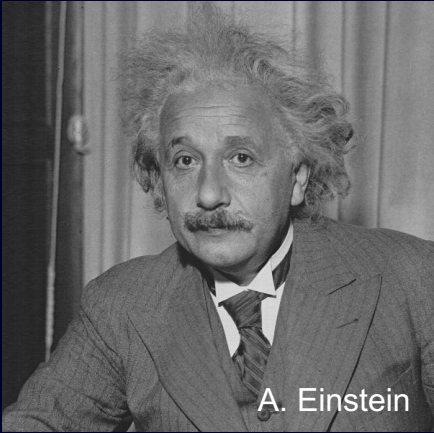
facebook

GRID e CLOUD

infrastrutture che forniscono accesso a potenza di calcolo e capacità di storage di dati distribuite in tutto il globo

Ricerca e innovazione

La ricerca fondamentale, forza trainante per l'innovazione!



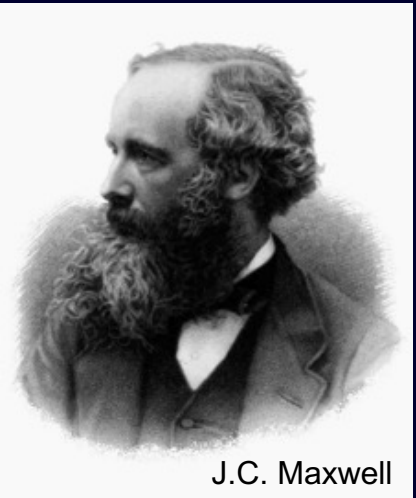
Relatività



100%
SCIENZA



I GPS devono prendere in considerazione le correzioni dovute alla dilatazione del tempo. Altrimenti ci sarebbe un errore sulla posizione di circa 10 m dopo solo 5 minuti di tempo di viaggio



Elettromagnetismo



100%
SCIENZA



I telefoni usano onde elettromagnetiche

GRAZIE PER L'ATTENZIONE