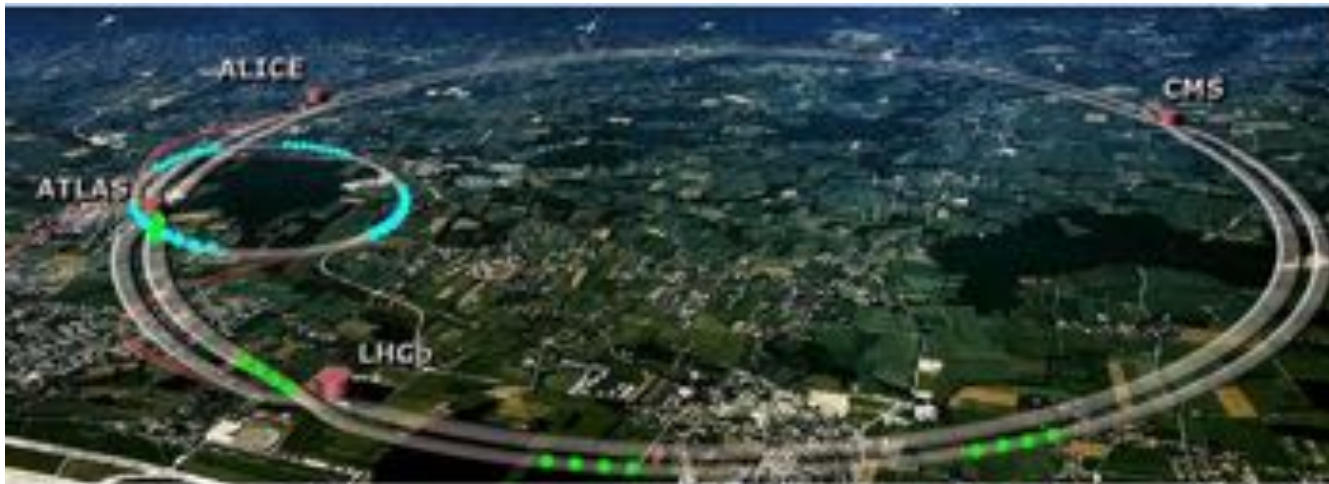


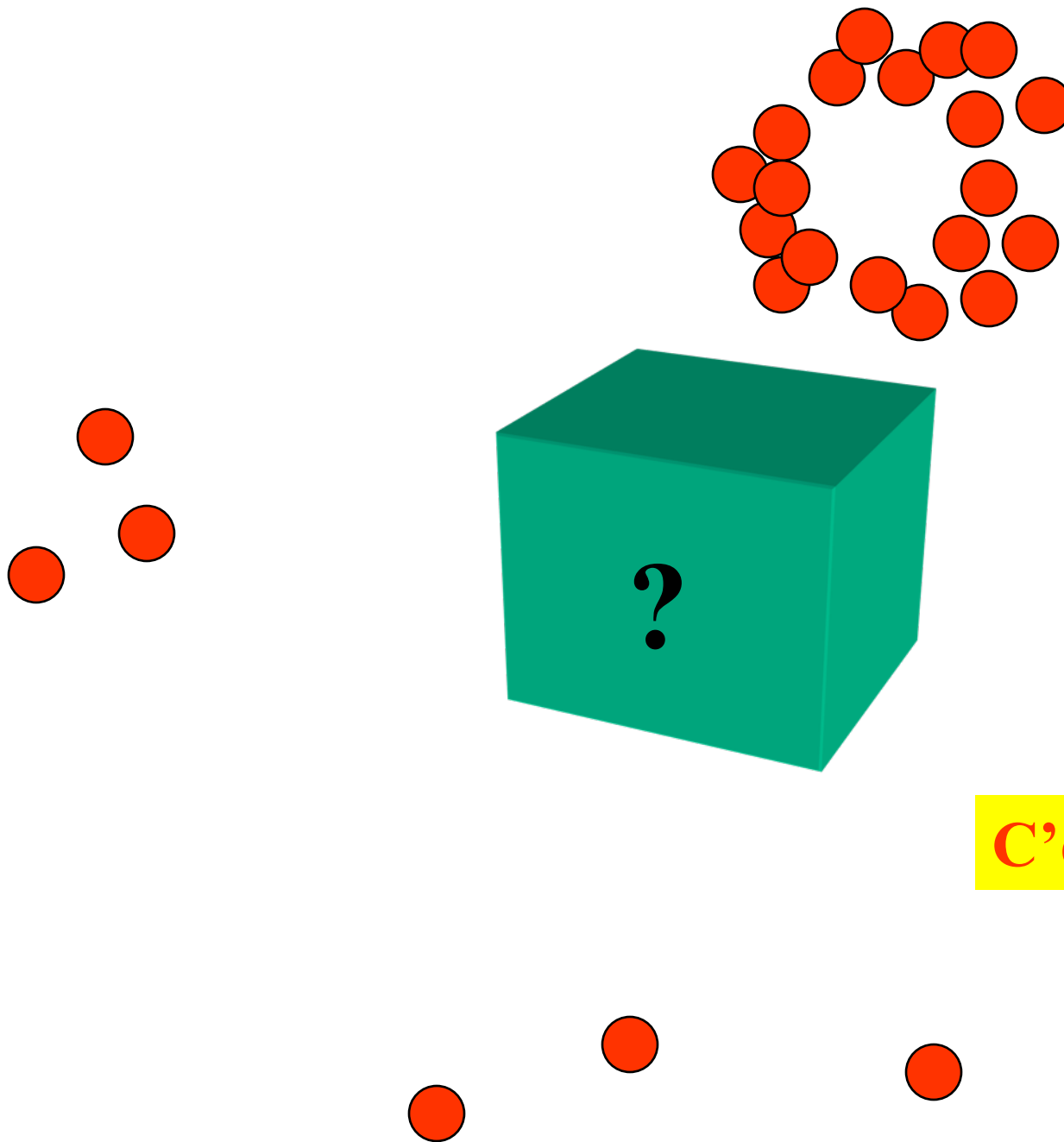
Dalle particelle elementari al Big Bang: Il Large Hadron Collider del CERN e l'esperimento ALICE



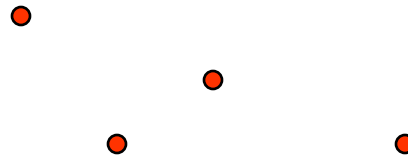
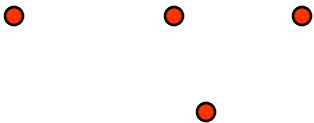
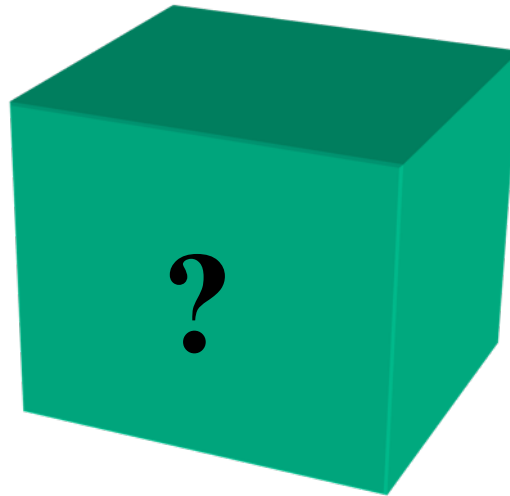
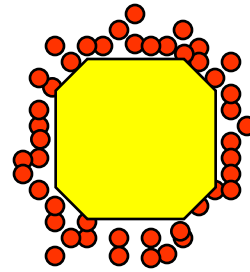
Proveremo a rispondere a 4 domande “principali”:

- ✓ Perché servono le particelle per studiare la materia?
- ✓ A cosa servono e come funzionano gli acceleratori di particelle?
- ✓ Come funziona LHC e cosa studiano i 4 rivelatori di LHC?
- ✓ In che senso con LHC “ricreiamo le condizioni del Big Bang”?
(la fisica di ALICE...)

Il tutto facendo un po' di storia della fisica delle particelle elementari, ricordando qualche richiamo di fisica di base

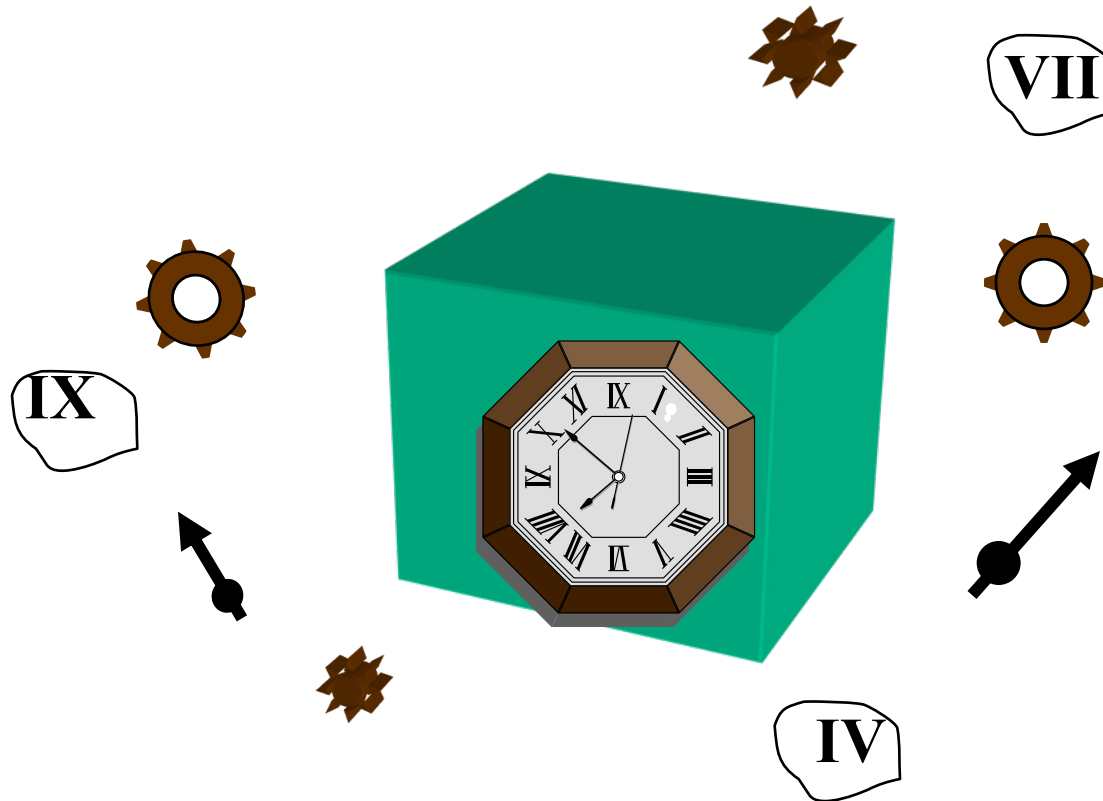


C'è qualcosa !



**C'è qualcosa
ottagonale !**

E se usiamo proiettili piccoli e molto energetici?



“All’interno” c’era un orologio ottagonale !

Per capire cosa c'è all'interno della materia abbiamo bisogno di proiettili piccoli ed energetici

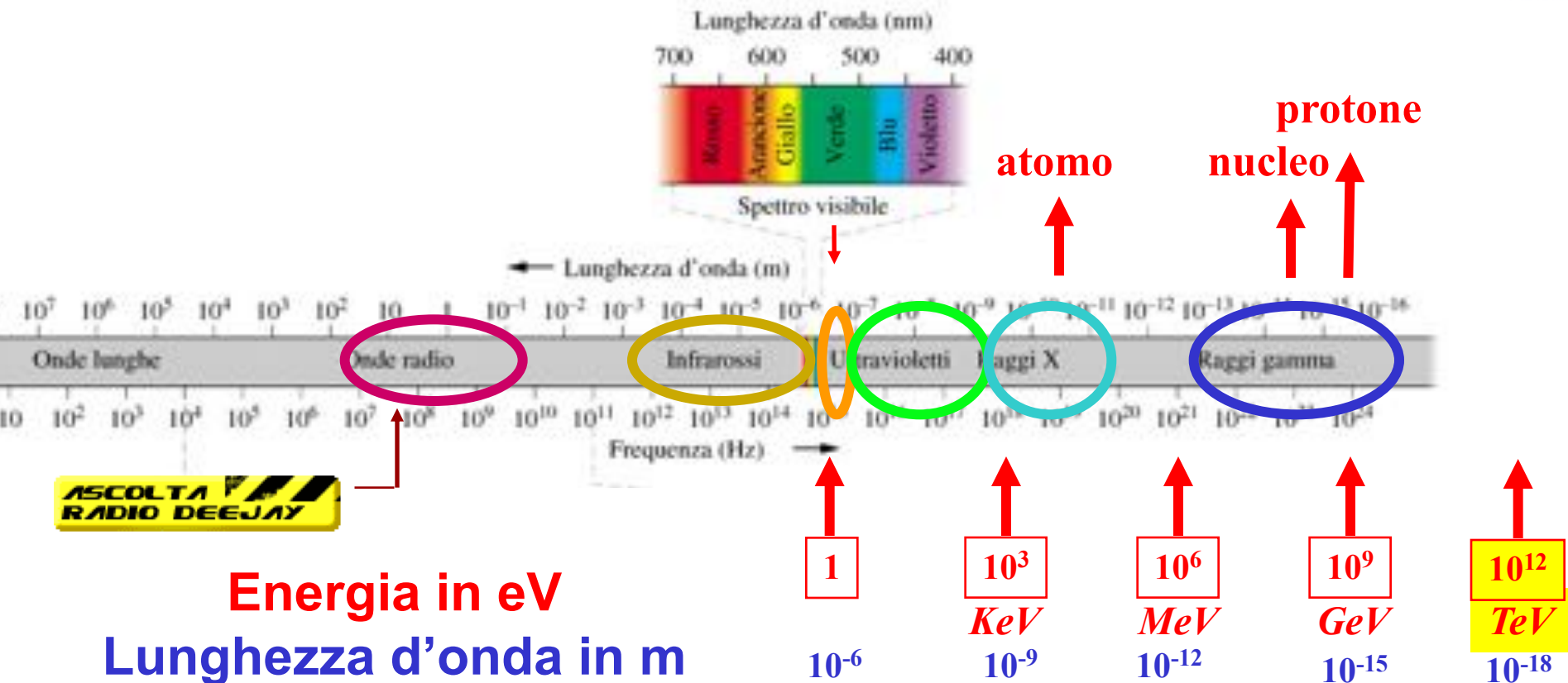
- Materiali che emettono radiazioni, sia naturalmente sia per eccitazione (calore, passaggio corrente elettrica) : particelle alfa, β (elettroni), γ (fotoni)
- Particelle accelerate nello spazio
- Particelle accelerate artificialmente

Sostanze radiattive

Raggi cosmici

Acceleratori

Radiazione Elettromagnetica= Fotoni (γ)



eV= energia accumulata da un elettrone accelerato da una differenza di potenziale di 1 Volt

Meccanica quantistica: dualismo onda-corpuscolo

$E_\gamma = h \cdot f$ la radiazione e.m. trasporta quantita' discreta di energia

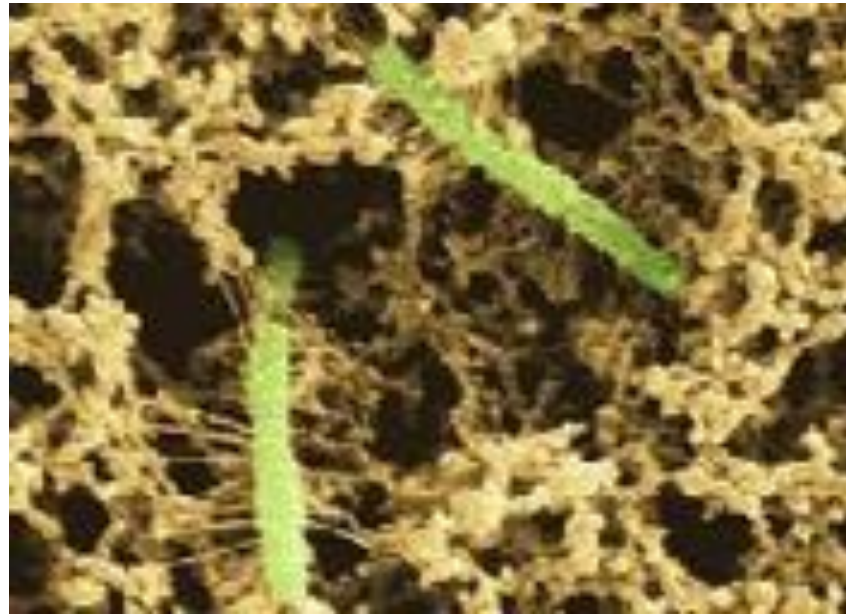
$\lambda = h/p$ le particelle hanno una lunghezza d'onda inversamente proporzionale al loro impulso

maggiore impulso (massa x velocità) delle particelle proiettile



maggiore risoluzione spaziale (λ minore)

Microscopio elettronico usa un fascio di elettroni e permette di raggiungere risoluzioni ~ 1000 volte migliori dei microscopi ottici

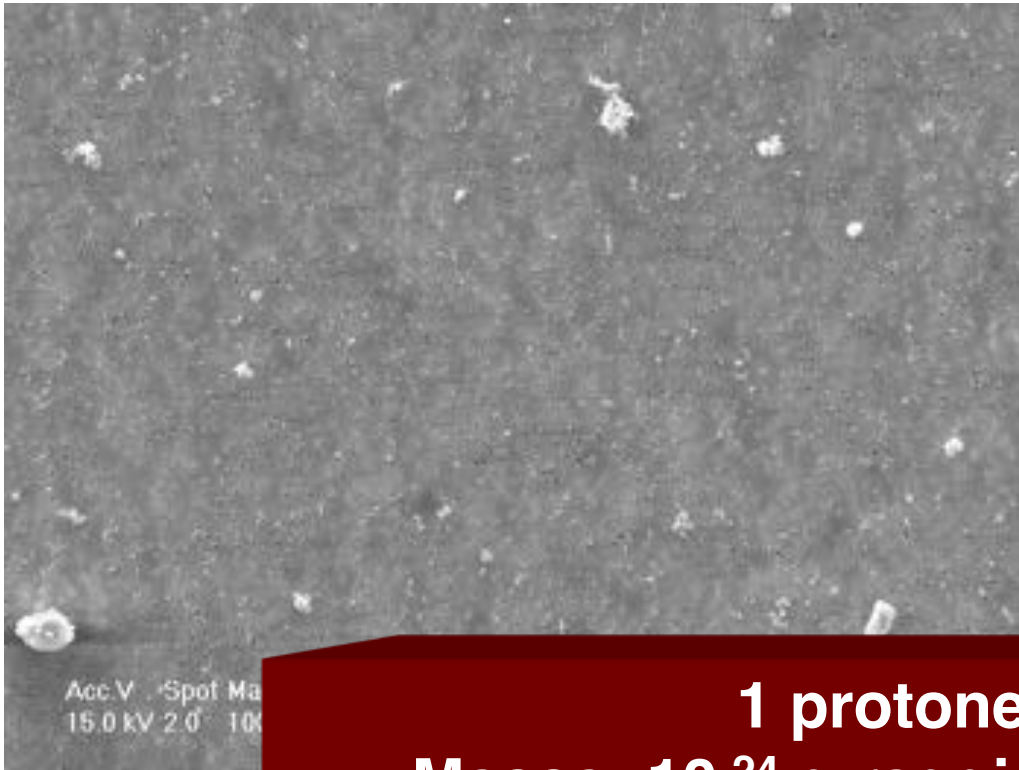


un batterio ($\sim 10^{-6}$ m), *Lactobacillus delbrueckii*, al microscopio elettronico

Proiettili quanto piccoli?



Palla da tennis: peso medio 57 g, raggio: 3.2 cm



Polveri atmosferiche:
PM10: raggio < 0.0010 cm

1 protone:
Massa: 10^{-24} g raggio 10^{-13} cm!!!

Proiettili quanto energetici?

John Isner detiene record ATP dal
23/05/2016 (Coppa Davis US-Australia)
del servizio più veloce al mondo:
253 km/h (71.1 m/s)



Energia cinetica: $\frac{1}{2} mv^2$.

Isner ha impresso una energia di 134 Joule a una pallina da tennis.

I protoni più energetici visti nei raggi cosmici hanno una
energia simile (100 J)!!!

Le particelle elementari che usiamo attualmente agli acceleratori per sondare la
materia hanno un'energia "piccola" (meno di un milionesimo di J) rispetto alla
nostra esperienza quotidiana (quando lanciamo la pallina per servire occorrono
già 0.5 J!), ma enormemente concentrata.

I costituenti elementari della materia

≈ 400 AC Democrito

Atomi: porzioni infinitesimali ed indivisibili della materia

XIX secolo : Mendeleev et al.

Catalogati quasi 100 elementi diversi!

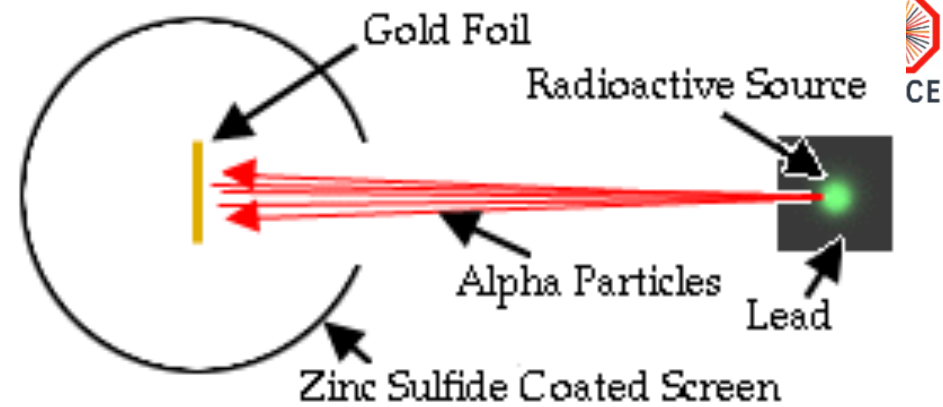
1897 : J.J. Thomson

Scoperta dell'*elettrone* da misure con tubi catodici.

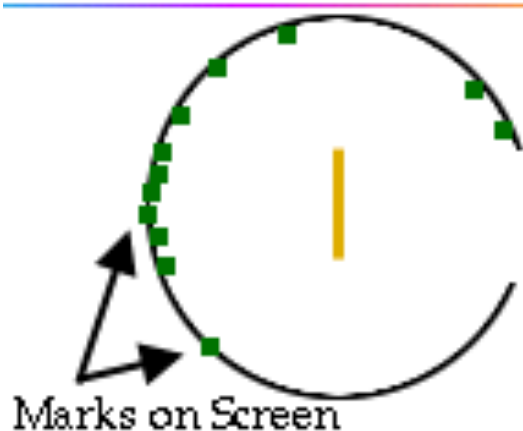
Atomo di Thomson a panettone/muffin al mirtillo = carica positiva distribuita uniformemente con elettroni all'interno



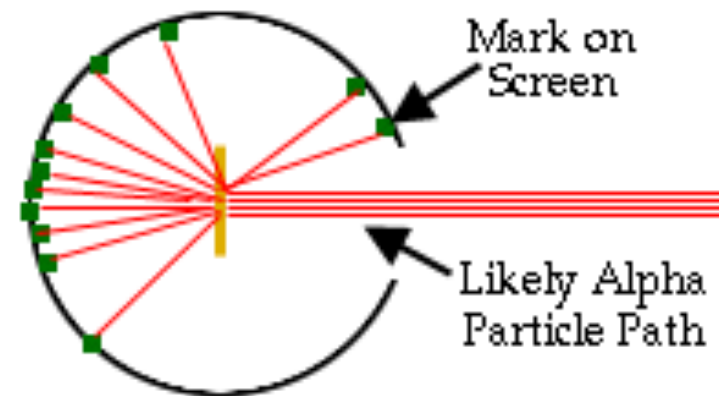
Proiettili da sorgenti radioattive: L'esperimento di Rutherford (1911-1913)



The Result

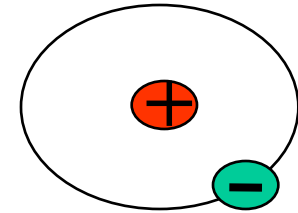


Extrapolation of Result:



1913 : N. Bohr

Atomo = micro-sistema planetario
con *protone* al centro ed *elettrone* che gira
intorno.



1932: J. Chadwick

Scoperta del *neutrone* da misure α -Be.

e (0.5 MeV), p (938.3 MeV), n (939.6 MeV) spiegano la tavola periodica
degli elementi chimici di Mendeleev, ma non risolvono tutti i problemi !

“Tutta la materia formata da 3 particelle elementari”

Antimateria

1927 : P.A.M. Dirac

prevede esistenza *positrone* (e^+)
(osservato nel 1932 da C. Anderson
nei raggi cosmici)



1930: W. Pauli

Da decadimento β dei nuclei prevede esistenza *neutrino* :
 $n \rightarrow p$ e ν (spiegato da Fermi nella teoria delle
interazioni deboli ed osservato nel 1956
da Cowan-Reines)



Stabilita' del nucleo

1935 : H. Yukawa

Forza attrattive nucleare legate alla esistenza
di una particella massiva chiamata *pione*
(massa ~ 100 MeV).



1937: Osservata particella ~ 100 MeV, ma...

non era il pione ma come ci si accorse in seguito una nuova particella assolutamente inattesa

“chi l’ha ordinato questo?” (I.J. Rabi)

1945: Conversi , Pancini , Piccioni

... interagisce poco ! Scoperta del *muone* nei raggi cosmici.



M. Conversi

1947: Lattes, Occhialini, Powell et al.

Osservazione del *pione* tramite raggi cosmici

I **raggi cosmici** (scoperti nel 1912) sono una sorgente naturale di particelle di altissima energia. A terra arrivano sciame di particelle prodotte dagli urti dei primari (elettroni, protoni, nuclei, gamma) con i nuclei dell’atmosfera.

Passaggio da sostanze radioattive all'uso di raggi cosmici

Camere a nebbia



Aria sop
Le partic

**Ma impossibilità di controllare le
energie e ... quanta pazienza !**

il gas

Particelle elementari come proiettili per gli esperimenti di Alta Energia

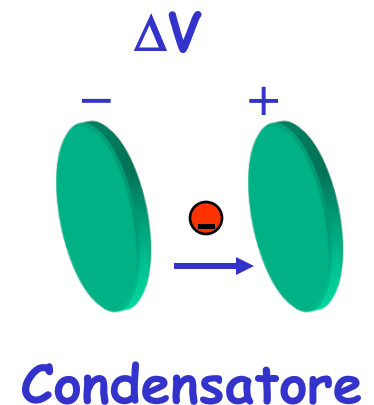
Partiamo da elettroni e protoni:

- **Elettroni** prodotti da riscaldamento di filamenti
- **Protoni** prodotti da ionizzazione dell'idrogeno
tramite forti campi elettrici

Accelerazione avviene tramite campo elettrico
(proporzionale alla differenza di potenziale ΔV)

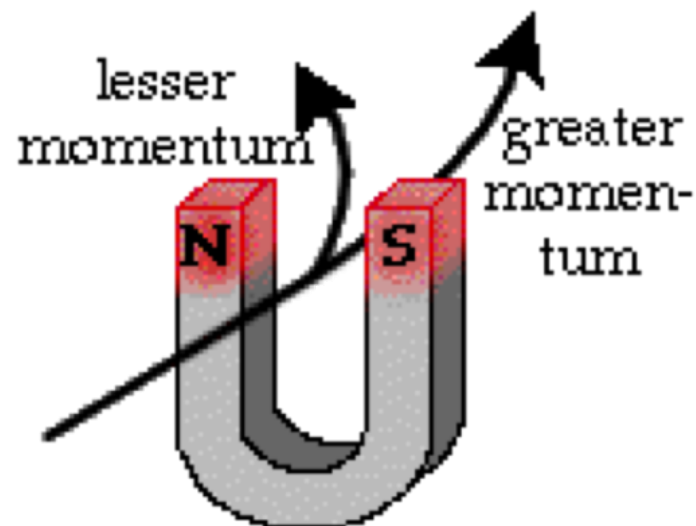
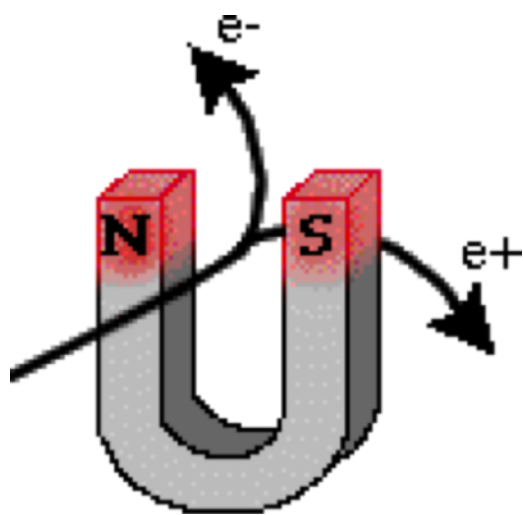
$$m a = F \propto q \Delta V$$

$$a \propto q/m \Delta V$$



Campo elettrico e campo magnetico

Il campo elettrico ci permette di accelerare la particella, con il campo magnetico riusciamo a curvarne la traiettoria

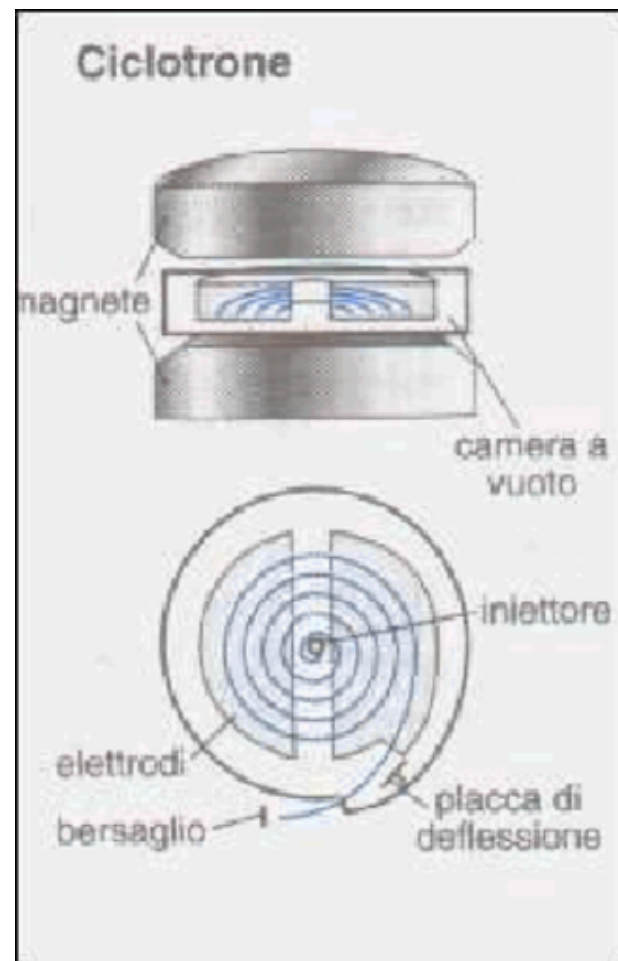
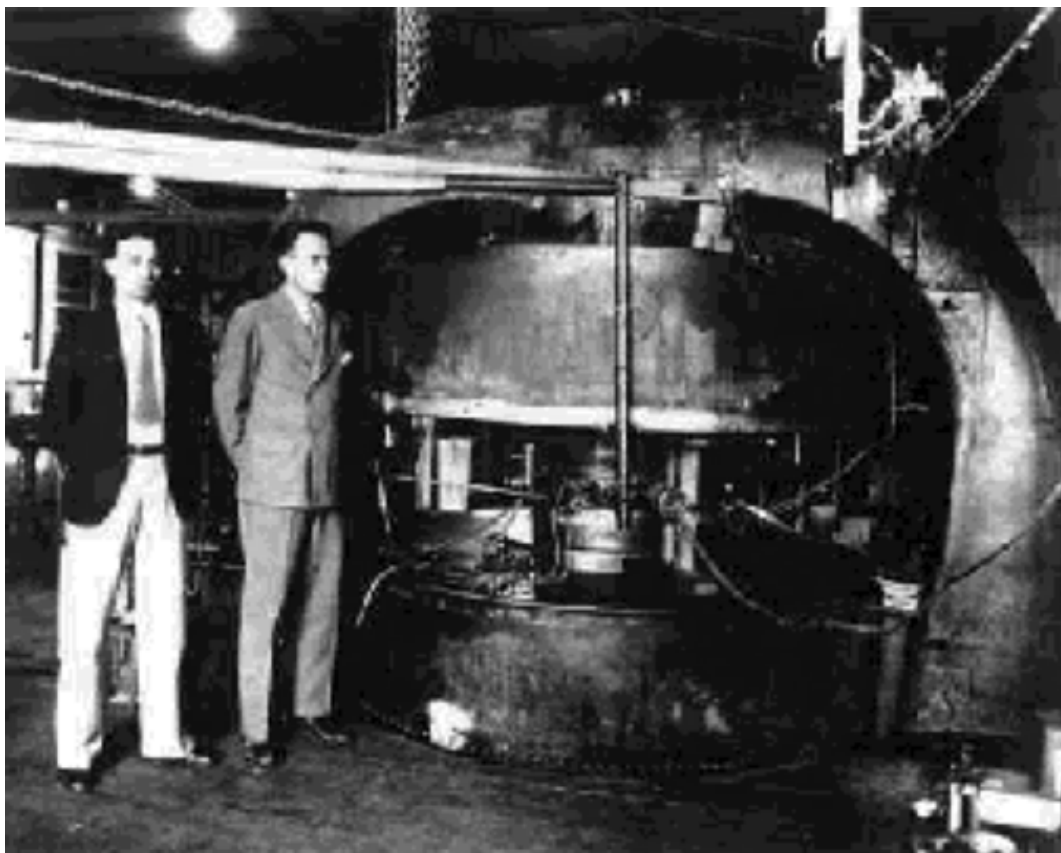


Più è alto il momento (massa x velocità) della particella e più deve essere grande il campo magnetico per avere la stessa curvatura

Le dimensioni degli acceleratori aumentano con l'energia

Il primo acceleratore con campi magnetici: Il Ciclotrone di E. Lawrence (1931)

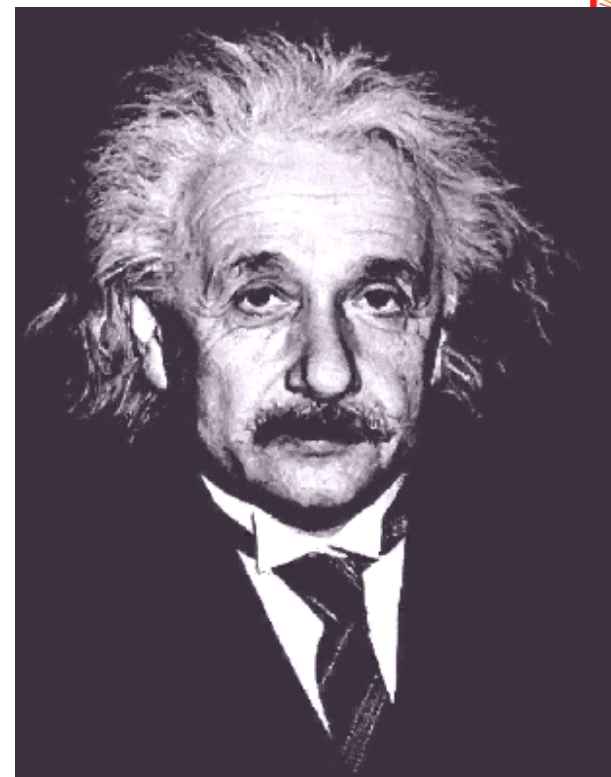
p fino a 20 MeV (α da elementi
radioattivi ~ di qualche MeV)



Uso combinato di campo elettrico e magnetico

Una delle predizioni più importanti della Teoria della Relatività Ristretta (1905) è racchiusa nella famosa relazione fra Energia e Materia

$$E = m c^2$$



Energia e Materia sono due aspetti diversi di una stessa cosa. La materia si può trasformare in energia e viceversa $M = E/c^2$

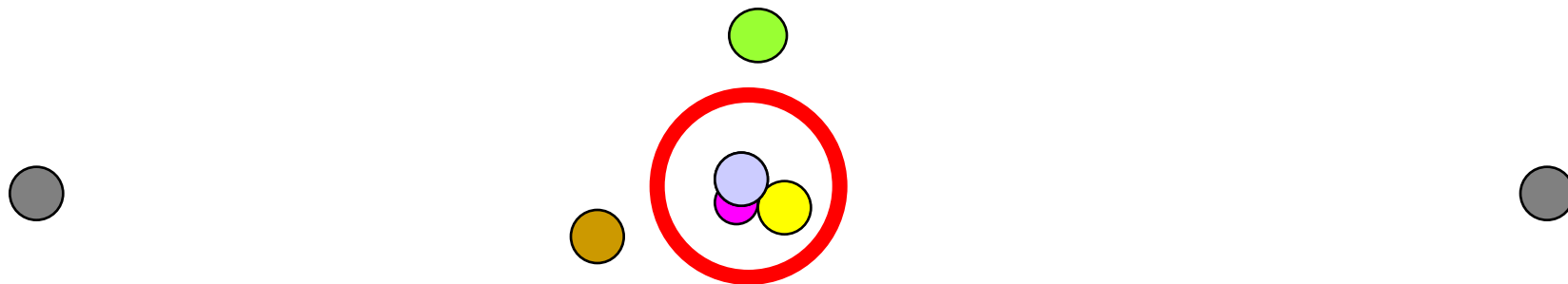
Se si è in grado di concentrare molta energia, come per es. nell’urto violento fra due particelle, dopo l’urto possono apparire “pezzetti di materia” (particelle) che non esistevano prima dell’urto.

La materia NON compare dal nulla, ha origine da una trasformazione dell’energia.

L’energia NON sparisce nel nulla, si materializza.

Cosa avviene in un urto tra particelle ?

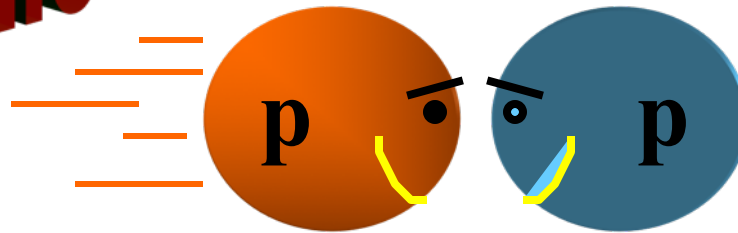
Due protoni vengono fatti urtare fra loro ad alta energia (accelerati da un acceleratore)



Nell'urto, una parte dell'energia cinetica dei protoni si trasforma in materia (e antimateria)

Lo studio dei prodotti della collisione ci da informazioni per capire cosa è avvenuto (interazione) e se sono state eventualmente prodotte nuove particelle.

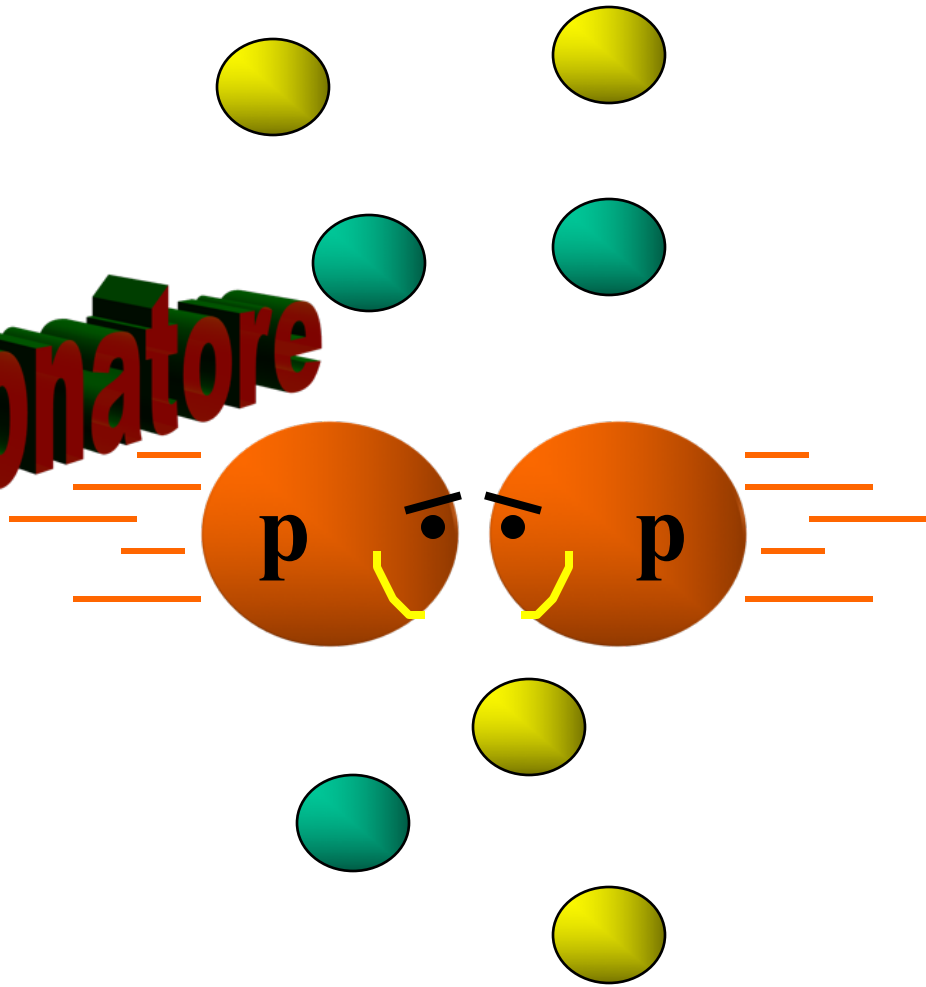
Bersaglio fisso



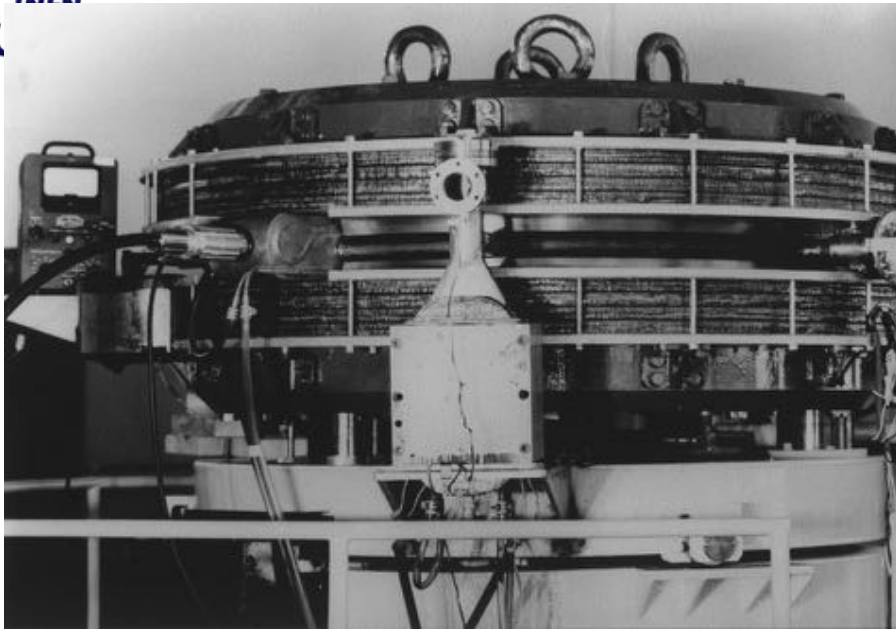
Energia+0

Energia centro di massa = $\sqrt{2m \cdot \text{Energia}}$

Collisionatore

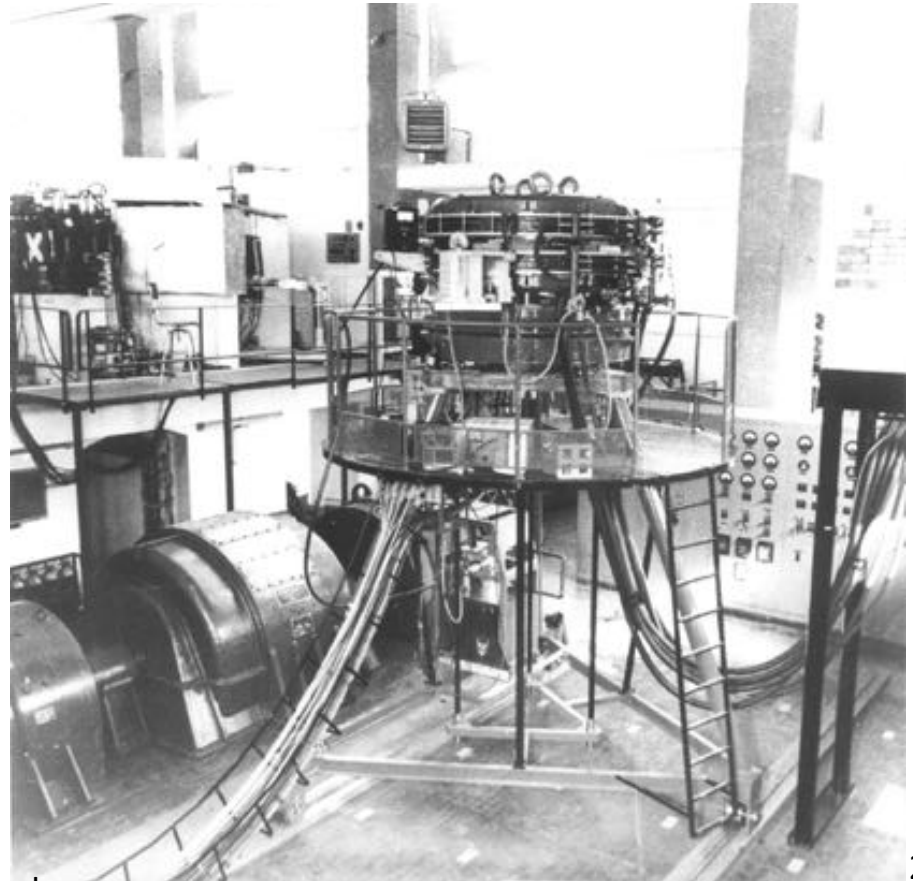


Energia+Energia
e.c.m.= 2•Energia

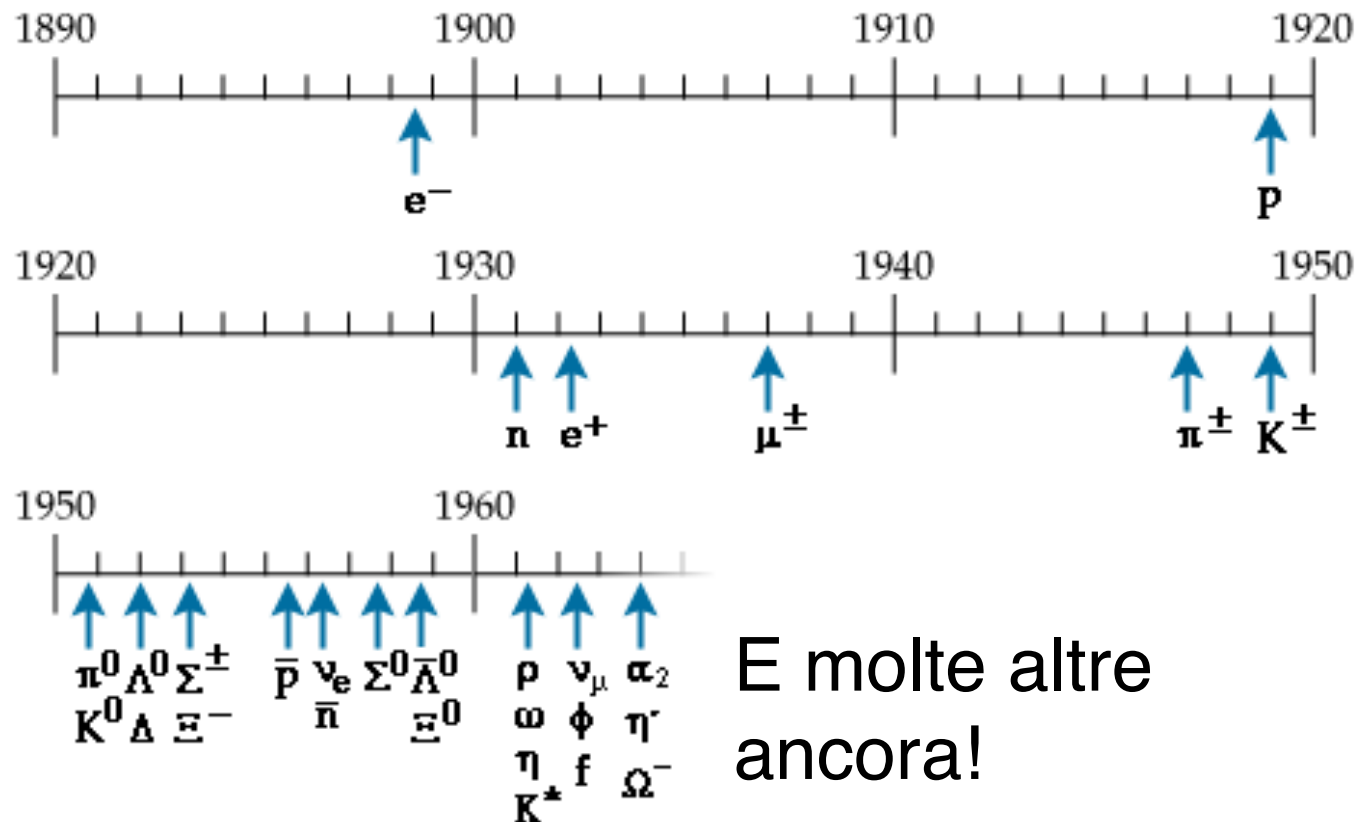


ADA

Il primo Collisionatore al mondo (INFN – Frascati ≈ 1965)



Con l'uso degli acceleratori in breve tempo il numero delle particelle scoperte esplose

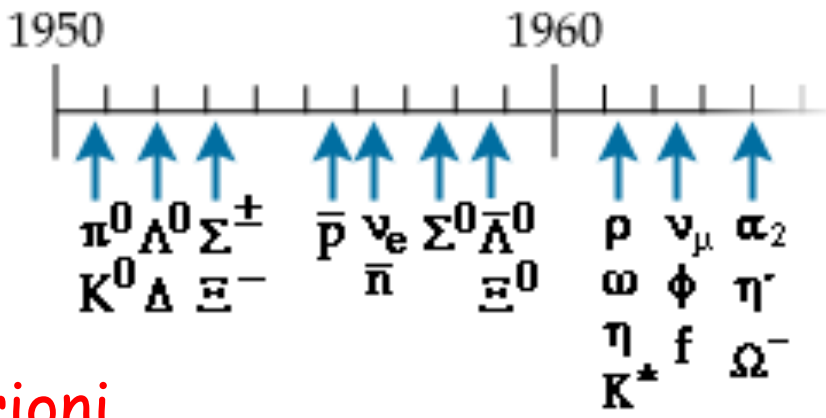


Possibile che siano tutte elementari ?

Tavola di Mendeleev (1869)

Tavola di Mendeleev (1869)																			He	
H											B	C	N	O	F	Ne				
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar			
Na	Mg											Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
Cs	Ba											Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Fr	Ra											Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

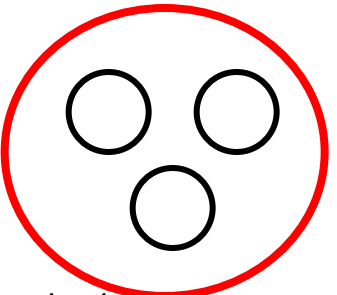
→ **e, p, n**



Gell-Mann, Zweig (1963)
→ **u, d, s**

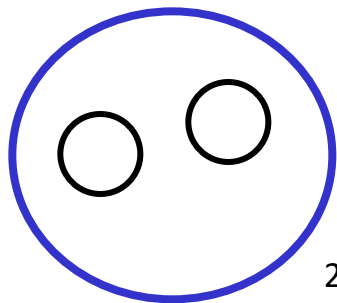
Osservazioni compatibili con stati formati da 2 o 3 "quark"

Barioni



I quark non esistono 'liberi'. Sono **confinati** nei barioni o mesoni

Mesoni



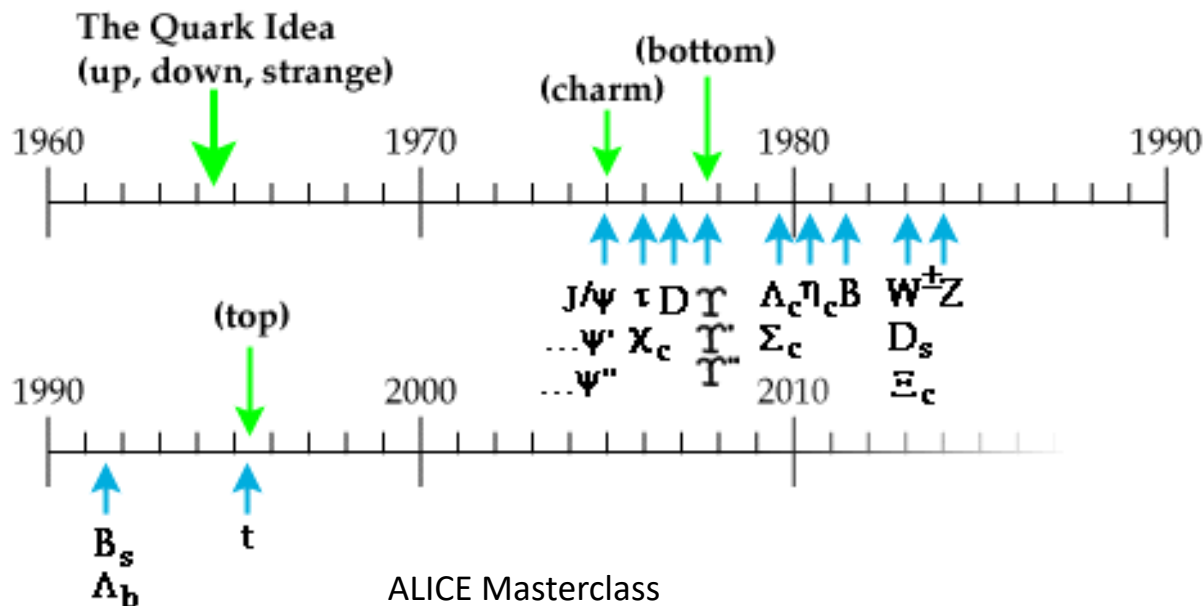
Acceleratori di energia sempre crescente, nascita ed affermazione del Modello Standard

Anni '70 Glashow, Weinberg, Salam: teoria elettrodebole – quadro unificato per le interazioni e.m. e debole, previsione di equivalenti pesanti del fotone: $W^\pm$ e Z^0

1982 CERN (Rubbia): scoperta delle particelle $W^\pm$ e Z^0 in un collider (al CERN) p-p ~300 GeV per fascio



1975-1995 : scoperta dei quark pesanti (c,b,t) e del terzo leptone (τ)



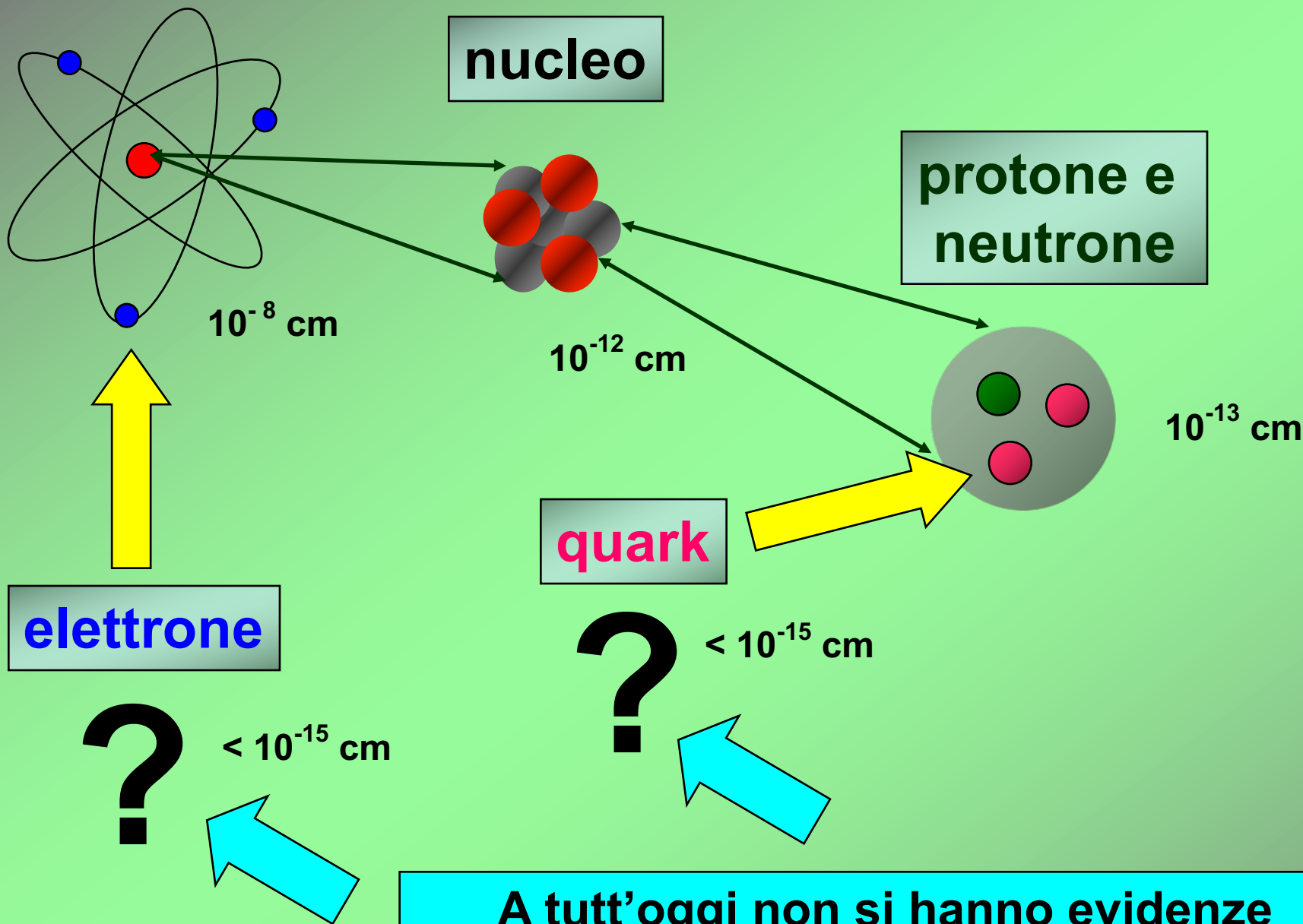


Sommario:

Che cosa abbiamo capito da Democrito (2400 anni fa) passando per Mendeleev (Tavola degli elementi chimici: 153 anni fa) e Thomson (modello a muffin proposto 118 anni fa), fino al **modello standard**?



Glashow, Salam e Weinberg
Premio Nobel 1979



A tutt'oggi non si hanno evidenze sperimentali di ulteriori strutture interne.

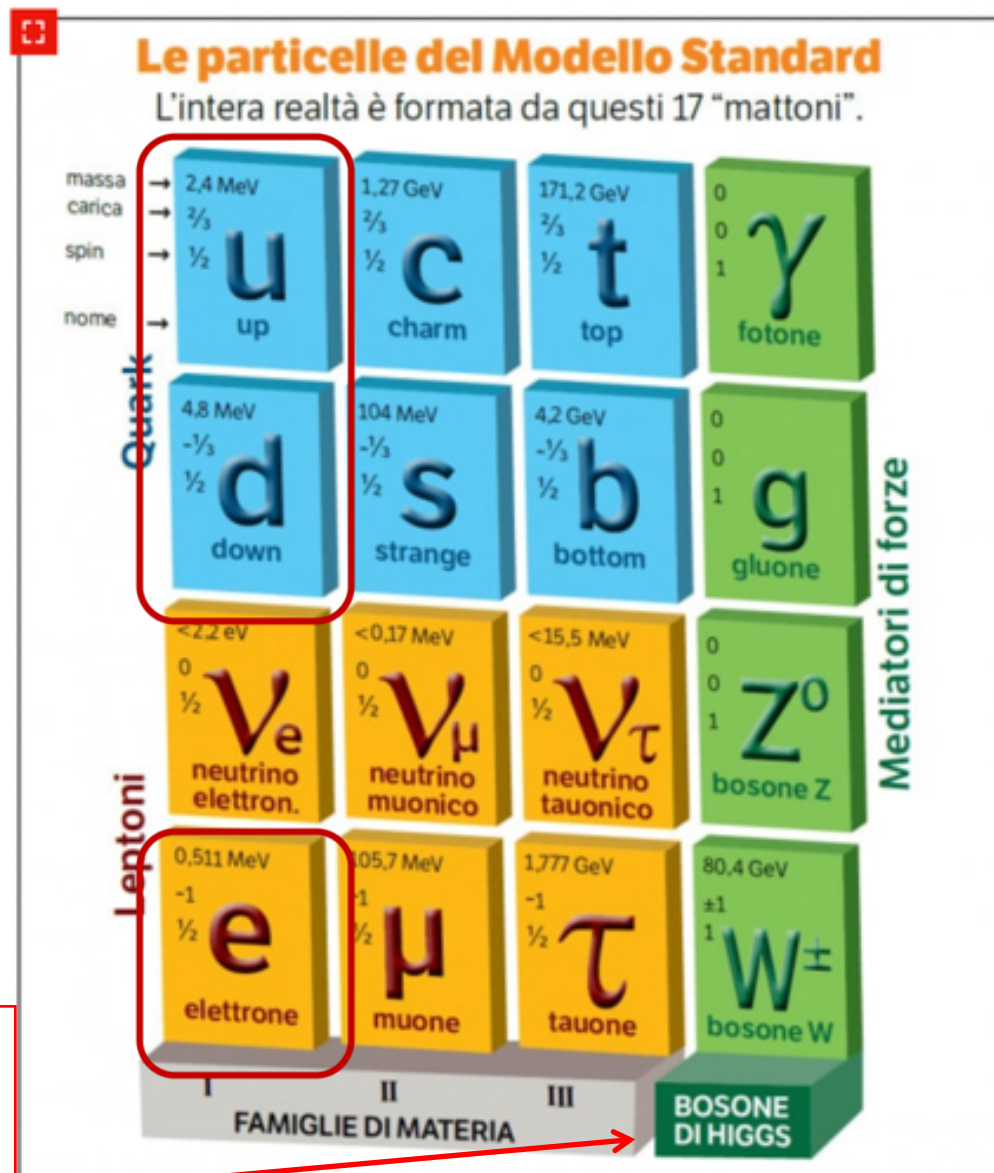
MODELLO STANDARD

1970-1980-1990

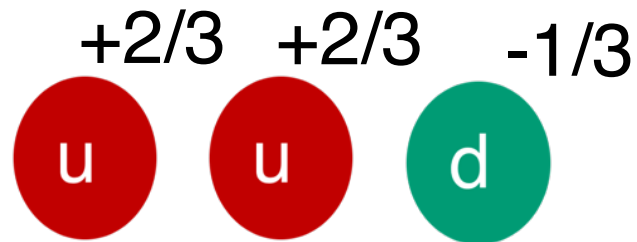
Il nostro mondo è
fatto di **quarks** e
leptoni legati dalle
forze
elettromagnetica,
debole e forte.

La materia che più comunemente
conosciamo è fatta di atomi fatti di
protoni, neutroni e elettroni, quindi
quark u, d e elettroni

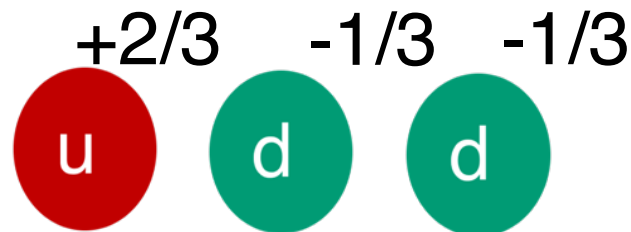
Particella prevista dal modello per
dare 'massa' alle altre particelle
osservata a LHC nel 2012!



Un protone ($q=1$)



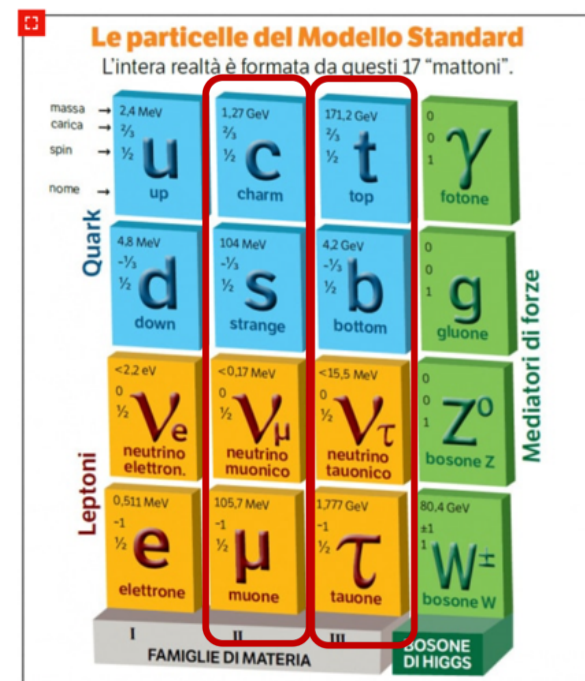
Un neutrone ($q=0$)



Un elettrone ($q=-1$)



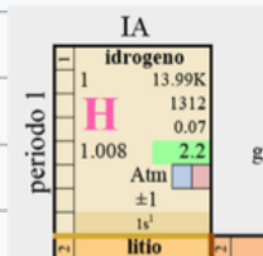
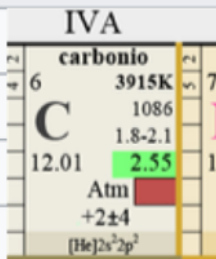
Per "comporre" però tutte le particelle viste abbiamo bisogno anche di altre due "famiglie" di quark e leptoni



Ma quindi noi esseri umani di cosa siamo fatti?

La vita come la conosciamo sulla Terra è basata su chimica organica del carbonio.

Elemento	Percentuale di massa ^[2]
Ossigeno	65
Carbonio	18
Idrogeno	10
Azoto	3
Calcio	1.5
Fosforo	1.2
Potassio	0.2

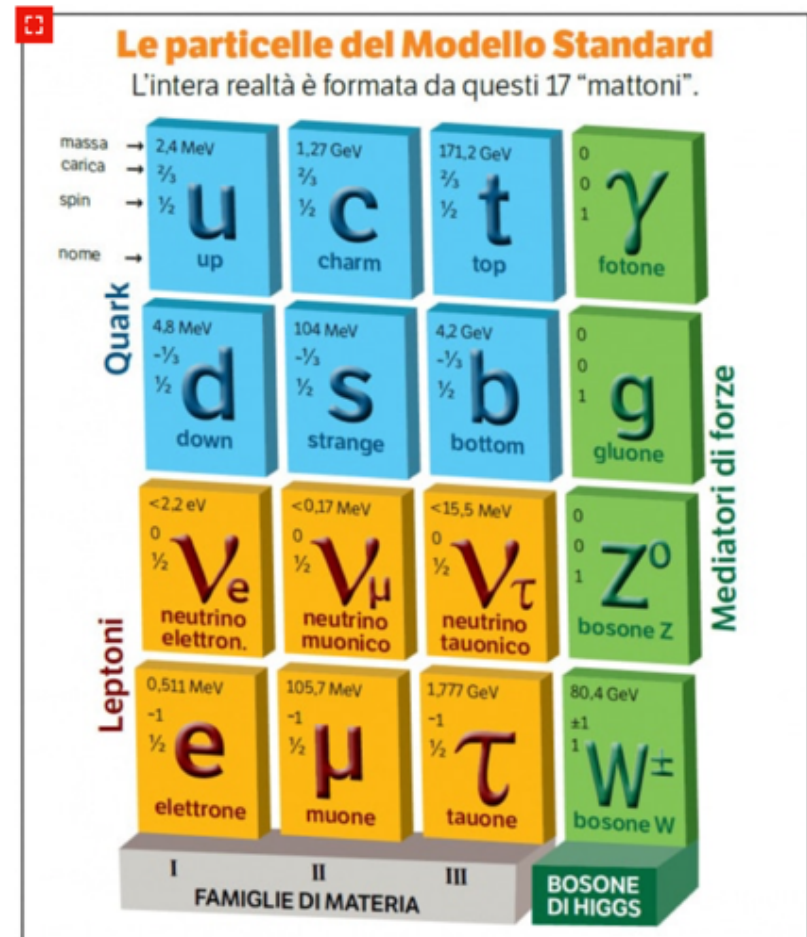


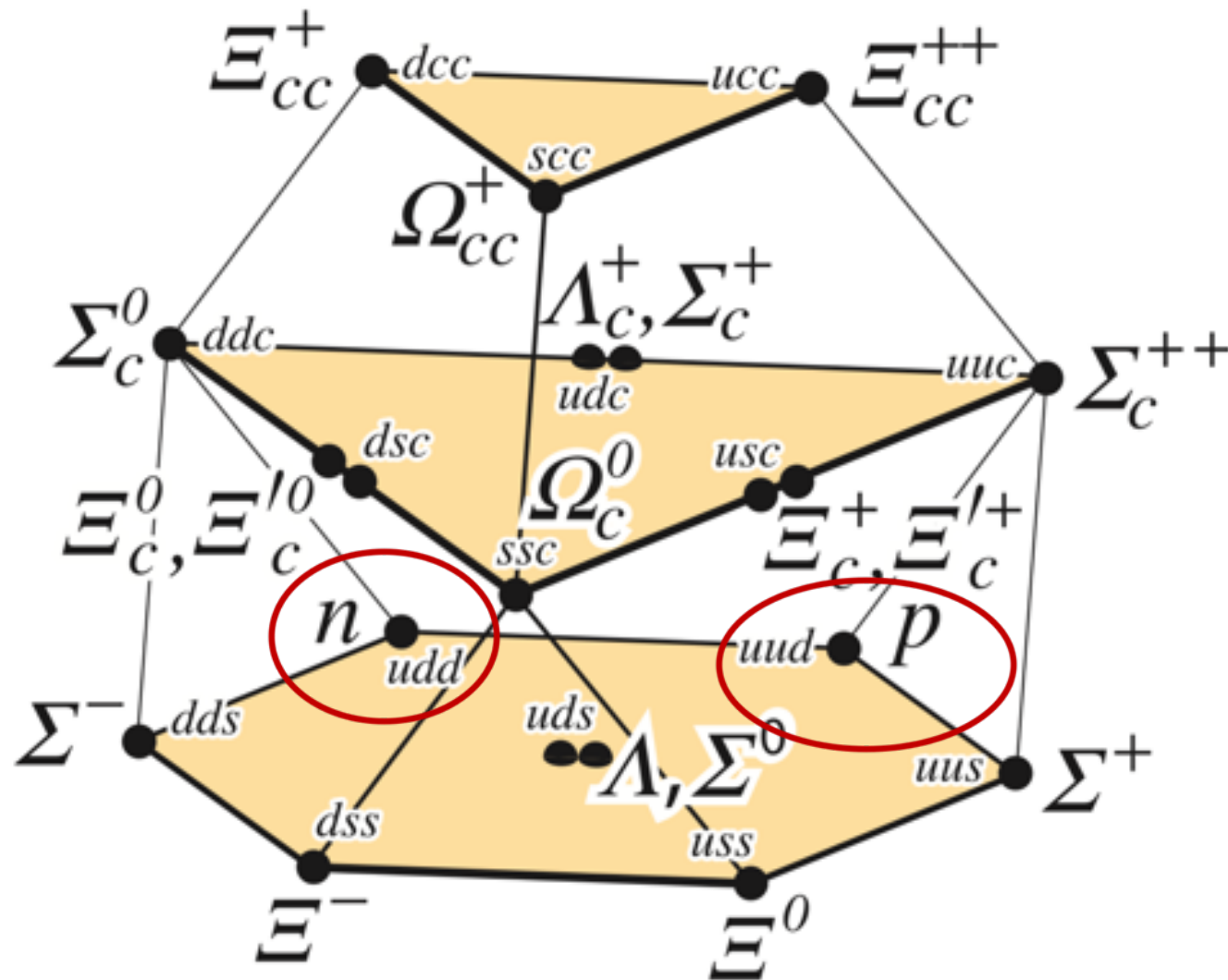
Siamo fatti in maggioranza di quark u!

	Z	%	protoni	neutroni	elettroni	quark u	quark d
Zolfo	O	65	8	8	8	16+8	8+16
Cloro	C	18	6	6	6	12+6	6+12
Sodio	H	10	1	0	1	2	1
Magnesio							
Ferro, Cobalto, I							
Selenio, Fluoro	Totale	93	638	628	638	1904	1894

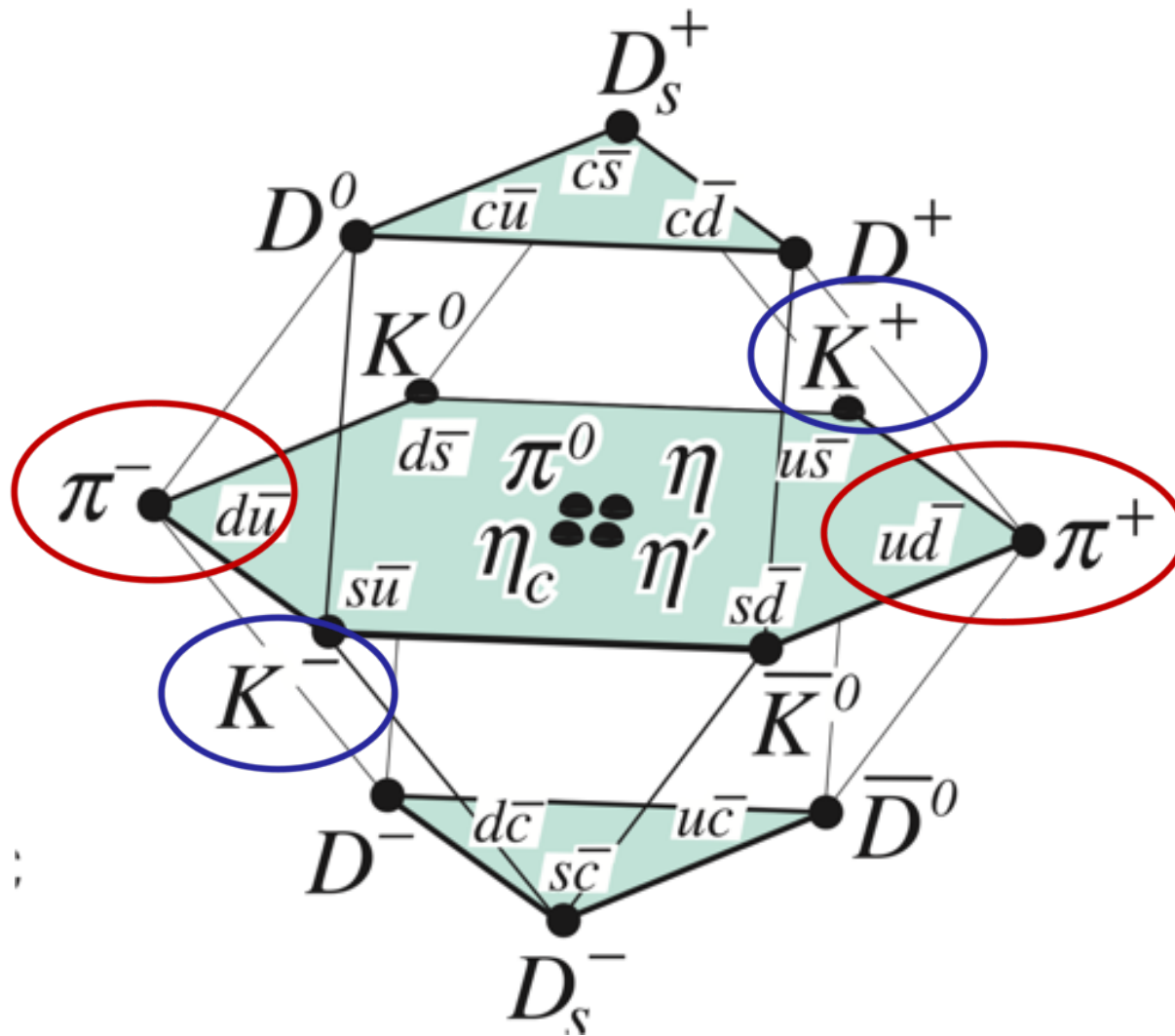
I 6 quark si chiamano:
 Up, down,
 Strange ("strano")
 Charm ("fascino")
 Bottom
 Top

I 3 leptoni:
 Elettrone
 Muone
 Tauone
 (e ognuno ha un "suo" neutrino)





Ci sono tanti barioni, non solo il protone e il neutrone!
I barioni con il quark "s" sono detti "**strani**"



Ci sono tanti **mesoni**.

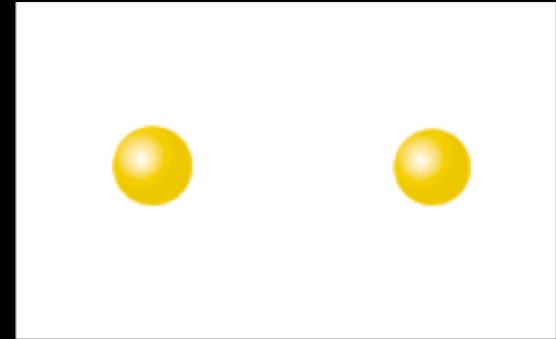
I più semplici sono fatti di quark u e d: i **pioni**.

Mesoni con il quark "s" sono detti "**strani**" (i "**kappa**")

Forze, o interazioni, fra i costituenti elementari (quark e leptoni) vengono descritte nella fisica moderna come l'effetto prodotto dallo scambio di particelle "virtuali", i bosoni vettori intermedi.



Modellino meccanico :
pattinatori che si lanciano una palla



Descrizione quantistica :
scambio di particelle mediatrici
del campo associato

Lo scambio di Energia-Impulso fra i costituenti genera una interazione.
La sorgente della Forza è la "carica", il mediatore è il bosone vettore intermedio

		elettrica		fotone		QED (Quantum Electro Dynamics)
"carica"		di colore		8 gluoni distinti		QCD (Quantum Chromo Dynamics)
		debole		$W^+ W^- Z^0$		QFD (Quantum Flavour Dynamics)

Oltre il Modello Standard?

Il Modello Standard e' stato sottoposto negli ultimi 30 anni a test sempre piu' stringenti. Per il momento se l'è sempre cavata bene... (= è capace di predire ciò che osserviamo)

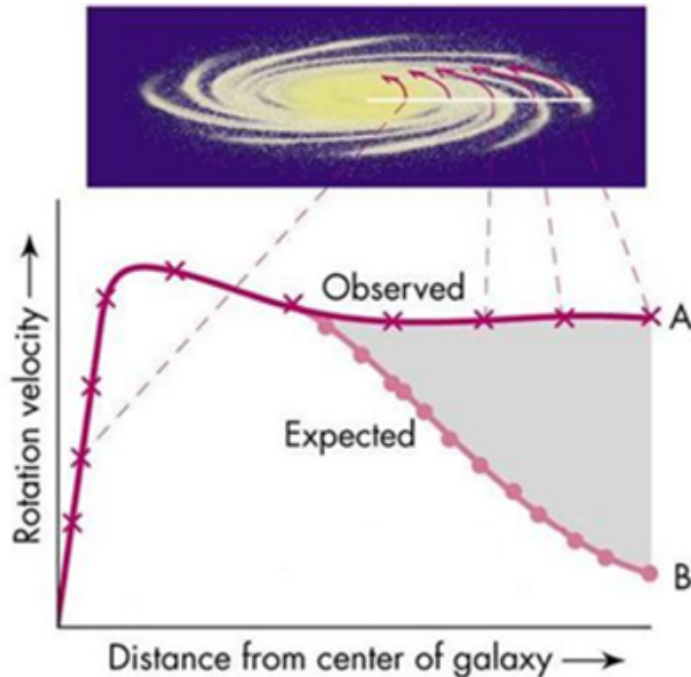
Nonostante questo una serie di domande aspettano ancora risposta (per esempio):

- ✓ come integrare la teoria della gravità (Einstein) con il Modello Standard (4 forze, solo tre nel modello standard)?
- ✓ perché proprio 3 famiglie e perché con masse così diverse?
- ✓ simmetria leptoni-quark segno di una sottostruttura ulteriore ?
- ✓ perché le tre forze hanno forze relative così diverse fra loro?
- ✓ perché nell'Universo c'è 'solo' materia (e non metà materia e antimateria?)
- ✓ e ... davvero questo è tutto quello che c'è nell'Universo?

Il problema della materia oscura

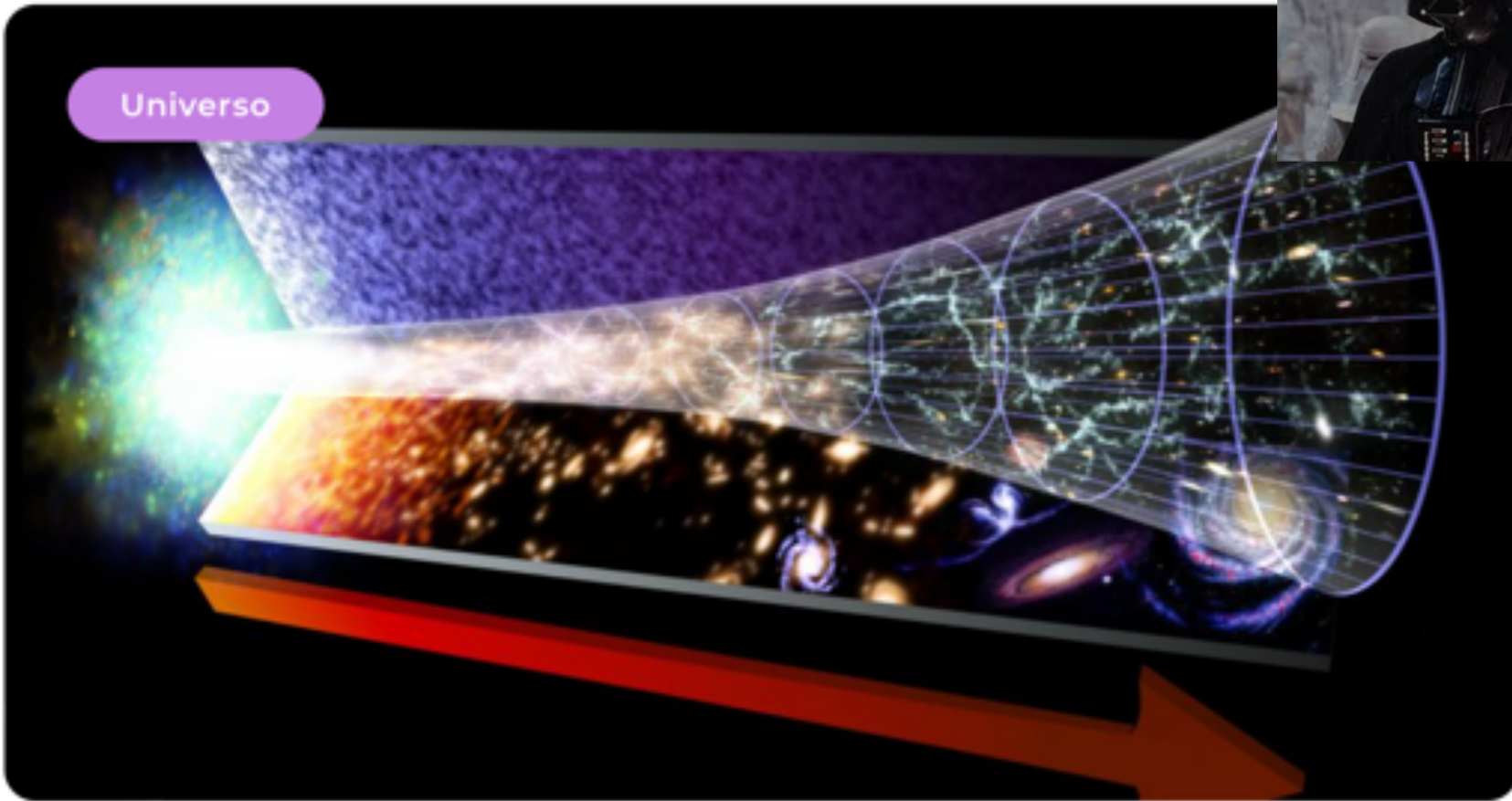


Se la materia fosse solo quella visibile i bracci delle galassie ruoterebbero a velocità minore!

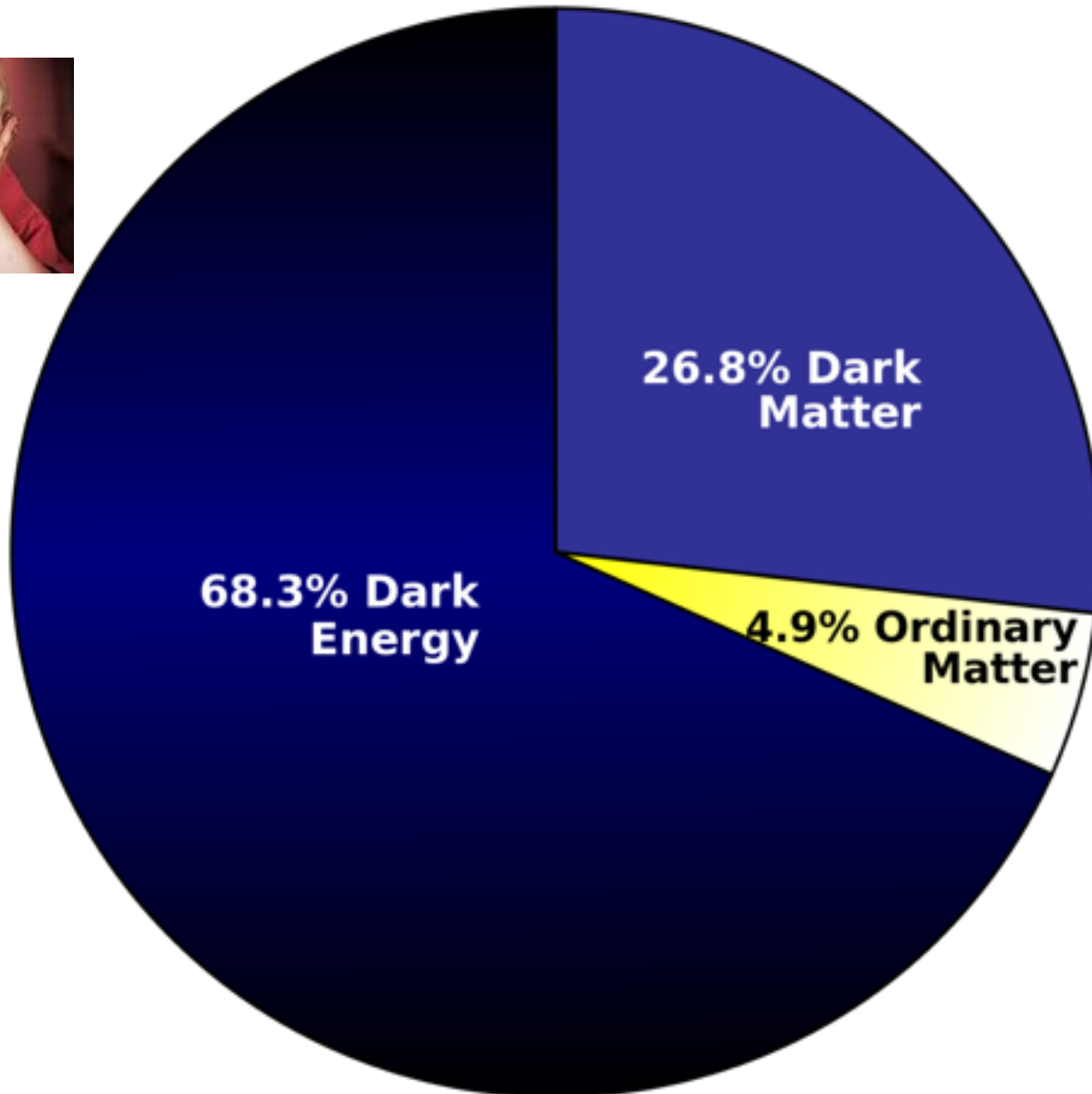


C'è dell'altra materia/massa che non sappiamo di cosa è fatta!

E della energia oscura



La velocità con cui l'Universo si sta espandendo sta crescendo. Ci vuole una "spinta", una energia oscura che sostenga questo processo!



Sommario (n. 1)

- 1) Abbiamo capito perché con le particelle scrutiamo l'interno della materia
- 2) Abbiamo capito che gli acceleratori permettono di 'fabbricare' fasci di particelle
- 3) Abbiamo capito di cosa è fatta la materia (quark e leptoni) e le forze fondamentali che agiscono tra di loro. Il modello standard descrive bene tutto ciò ma non spiega tutto...



Per andare 'oltre il Modello Standard'
ci vuole LHC!

Come è fatto il più grande acceleratore (LHC)?



Lago Lemano

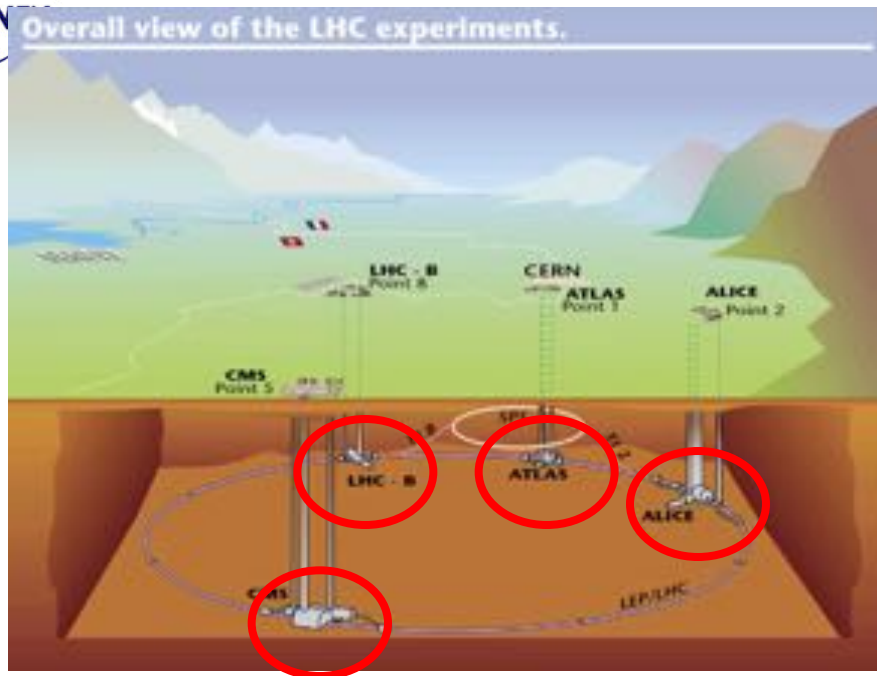
Aeroporto di Ginevra

LHC (27 Km)
Ex LEP tunnel

SPS (7 Km)

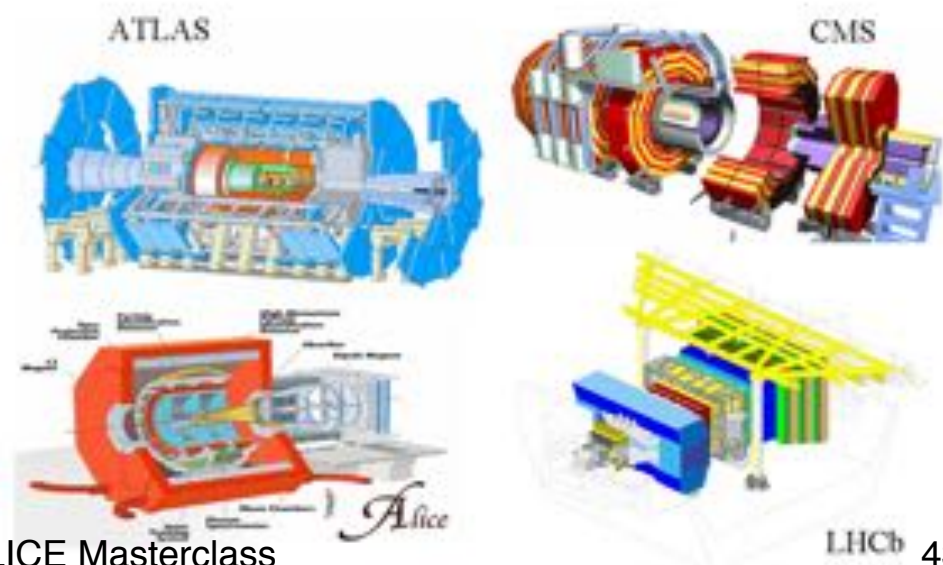
CERN
Sito di Preveessin

CERN
Sito di Meyrin



Il tunnel e' a
circa 100 m di
profondità

Le collisioni
avvengono in 4
esperimenti





Scavo del tunnel di LEP usato anche per LHC

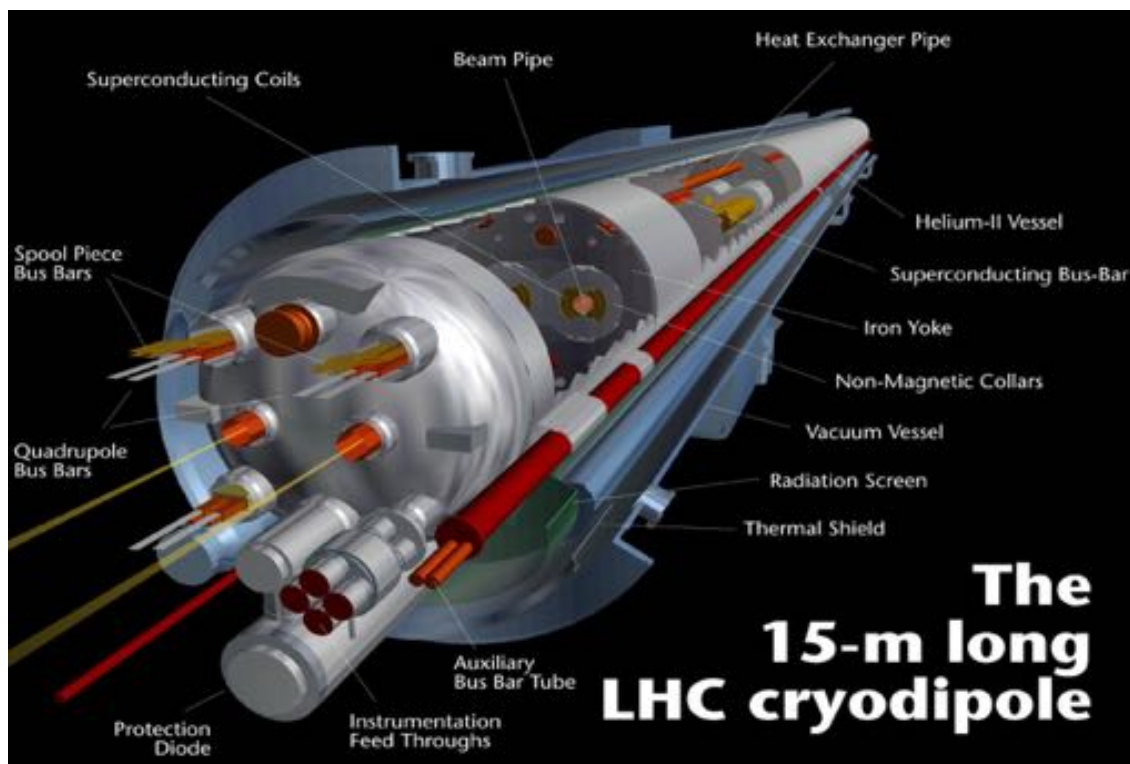


1232 magneti dipolari **superconduttori**

$B = 8.3$ Tesla

**Temp. = 1.9 °K
= -271.3 °C**

Peso = 35 Ton.



LHC è il più esteso frigorifero mai costruito dall'uomo!



Curiosità: quanta energia c'è in un fascio di LHC ?

Energia del protone = 7 TeV = 11.2×10^{-7} Joules / protone

1.1×10^{11} protoni in un bunch $\rightarrow 1.2 \times 10^5$ Joules / bunch

2808 bunches $\rightarrow \sim 3.4 \times 10^8$ Joules = 340 MJ

Corrisponde all'energia cinetica posseduta da un treno ad alta velocità (treno da 400 ton.) alla velocità di 150 Km / h



(3 miliardi di volte l'energia della pallina da tennis lanciata da Isner....):
quando LHC è acceso consuma energia elettrica come tutta Ginevra!

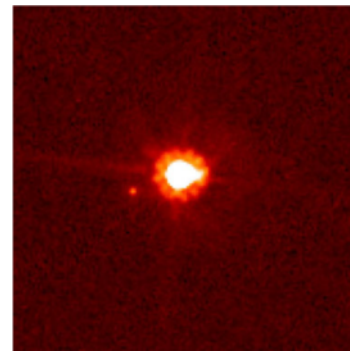


Un protone accelerato in LHC che gira per dieci ore senza scontrarsi mai quanta distanza percorre?

- ✓ Un protone di energia 7 TeV raggiunge quasi la velocità della luce: 300000 km/s
- ✓ 10 ore = $3600 \times 10 = 36000$ s
- ✓ $300000 \times 36000 = 10.8$ miliardi di km



distanza Terra – Plutone
varia tra 4.2 e 7.5 miliardi di km!
Eris è a circa 10.2 miliardi di km!



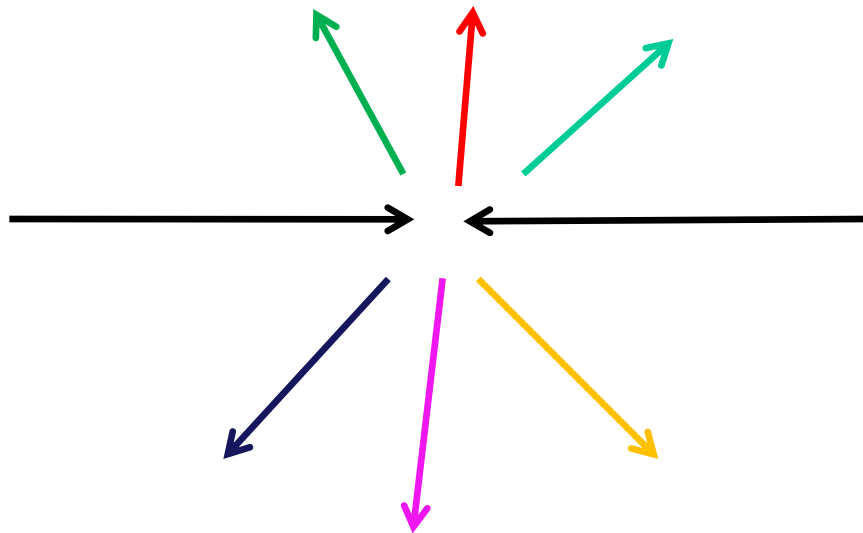
Sommario n. 2:

- Ok questo è LHC, abbiamo i nostri proiettili per il nostro "microscopio"



Ma come funzionano gli esperimenti di LHC e cosa studiano in particolare?

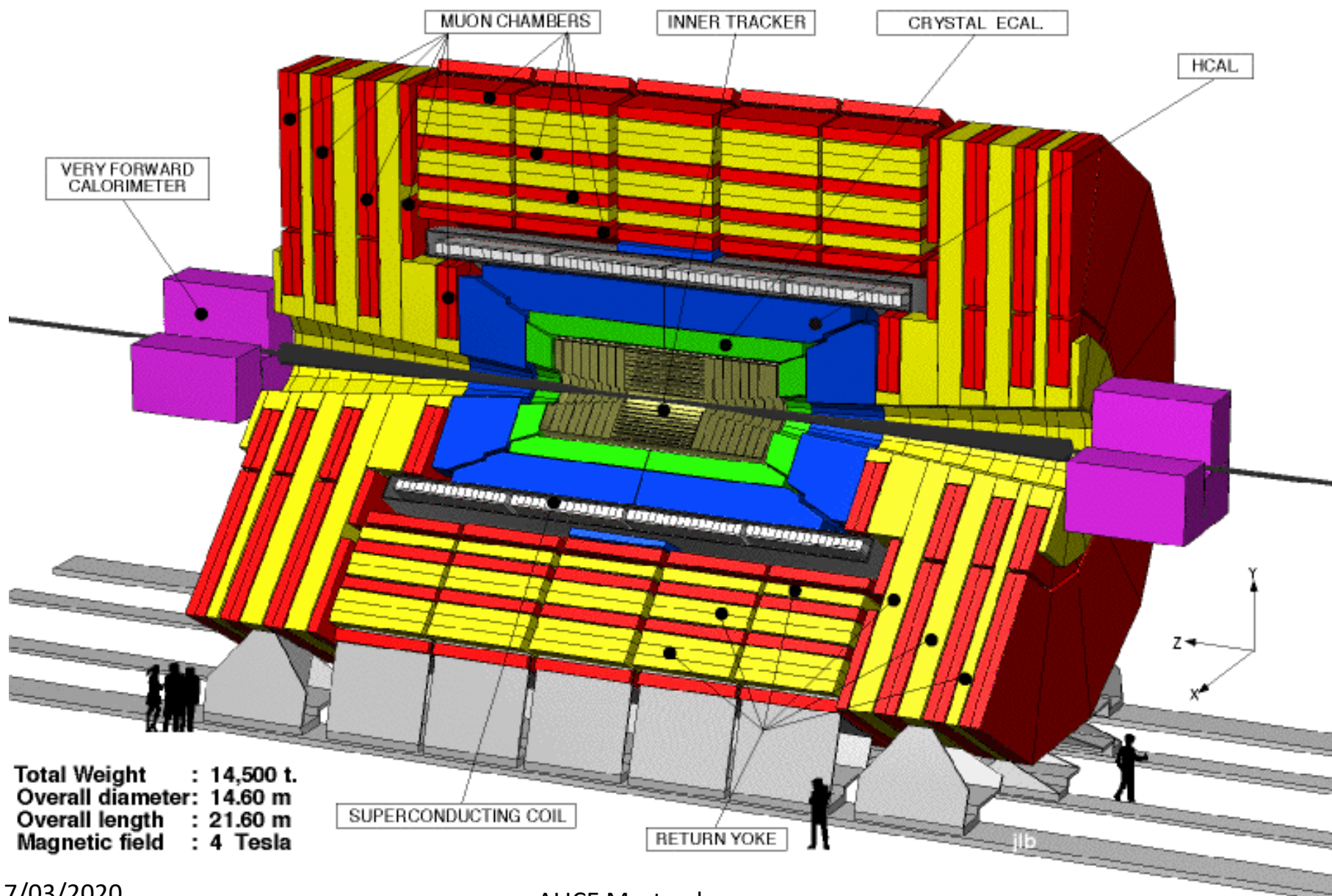
Idealmente, per ogni interazione fra particelle prodotte in un acceleratore, vorremmo disporre di un apparato in grado di:



- Misurare l'energia e la direzione di tutte le particelle prodotte
- Identificare tutte le particelle prodotte
- Misurare se sono state prodotte nel vertice di interazione o altrove (tracciamento)

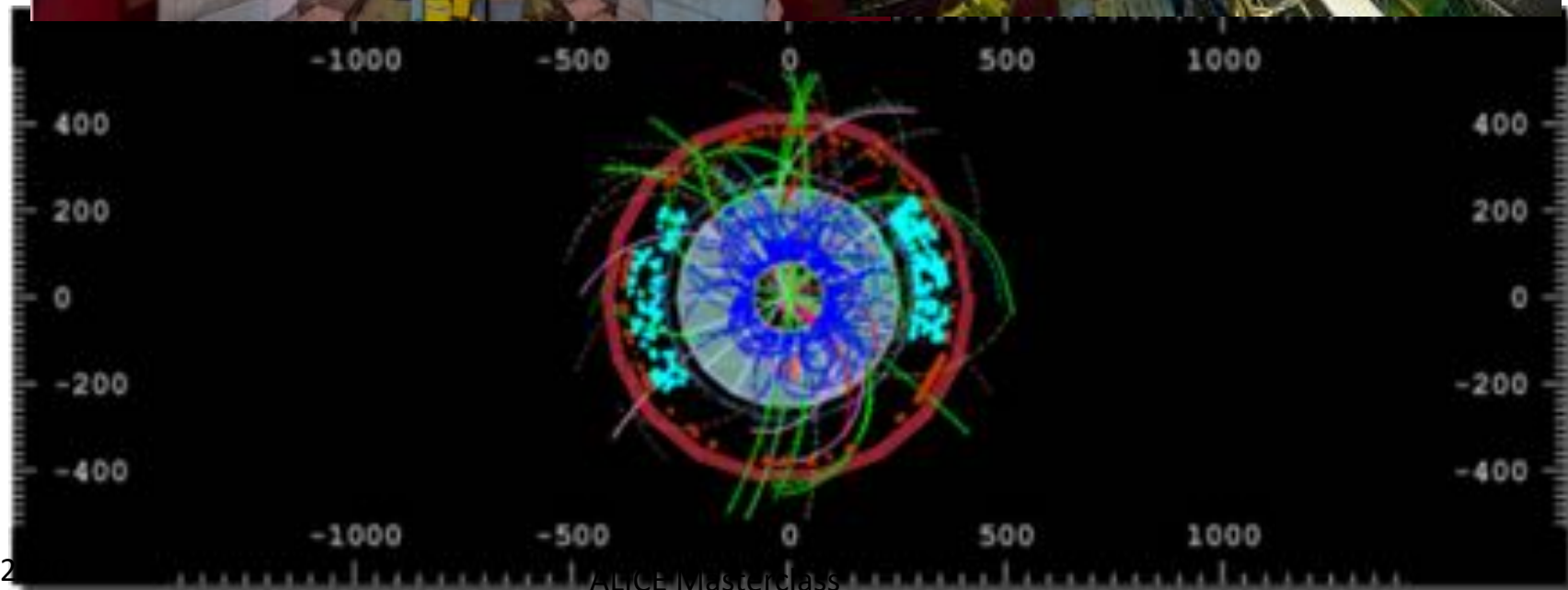
A LHC vengono prodotte migliaia di particelle per evento: struttura a “guscio” dei rivelatori per diversi tipi di particelle. Differenze tra rivelatori a seconda del tipo di fisica a cui si è maggiormente interessati

Esperimento CMS (Compact Muon Solenoid)

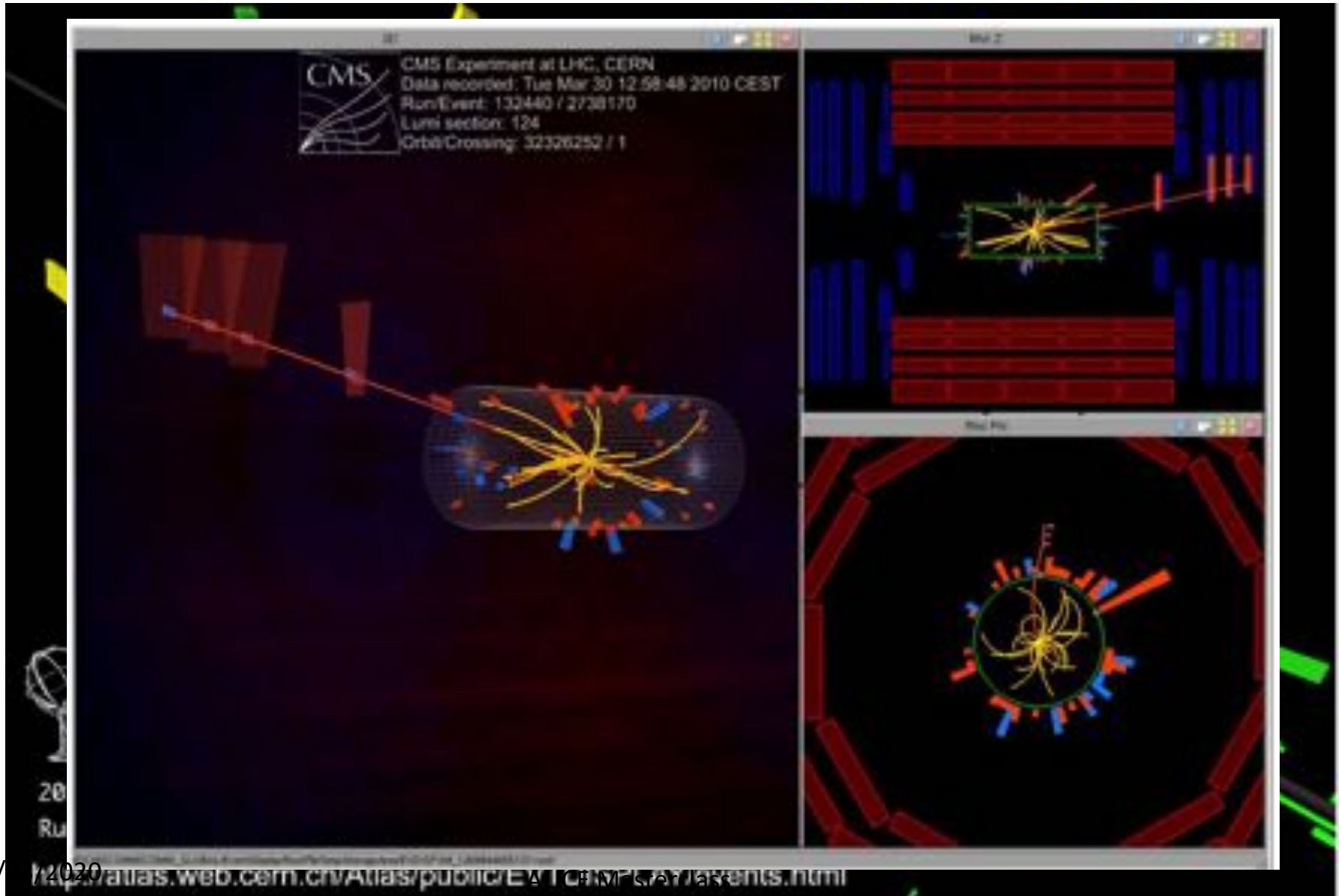




ALICE in costruzione e ... al lavoro!



No dettagli sui rivelatori vediamo all'opera!



Cosa studiano i 4 rivelatori?

ATLAS/CMS: ricerca/studio bosone di Higgs e in generale studio processi e particelle previste da estensioni modello standard (supersimmetrie in particolare)

LHCb: processi rari alla base dell'asimmetria tra materia e antimateria osservata nell'Universo

ALICE: studio urti nucleo-nucleo (alta densità di energia). Stato materia dove i quark possono essere 'liberi'... (e non intrappolati dentro barioni e mesoni)

Sommario n. 3:

Abbiamo capito le energie di LHC e che gli esperimenti studiano diverse cose.... 'oltre il Modello Standard'

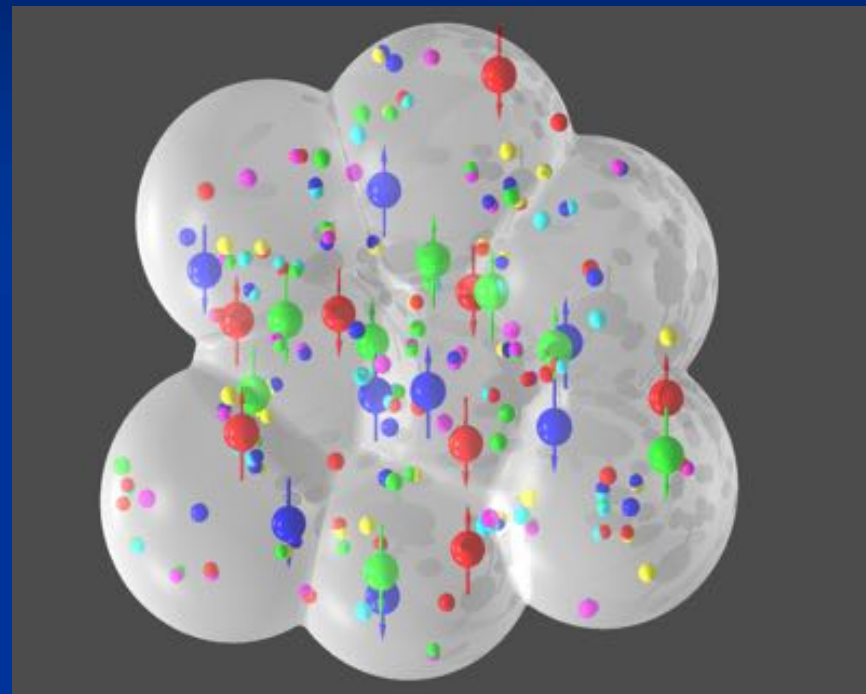
Ma in che senso a LHC riproduciamo il Big Bang?
E cosa studia ALICE in particolare?



Transizioni di fase “all’interno” dei protoni e neutroni dei nuclei

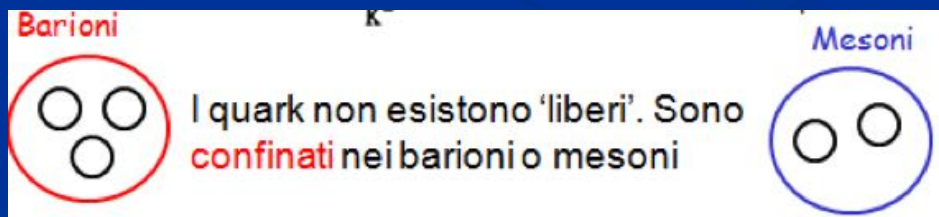
Materia nucleare normale:

- I nucleoni (protoni e neutroni) non si sovrappongono e contengono separatamente i quark (i tre principali detti di ‘valenza’ e molti altri di più bassa energia insieme ai gluoni)

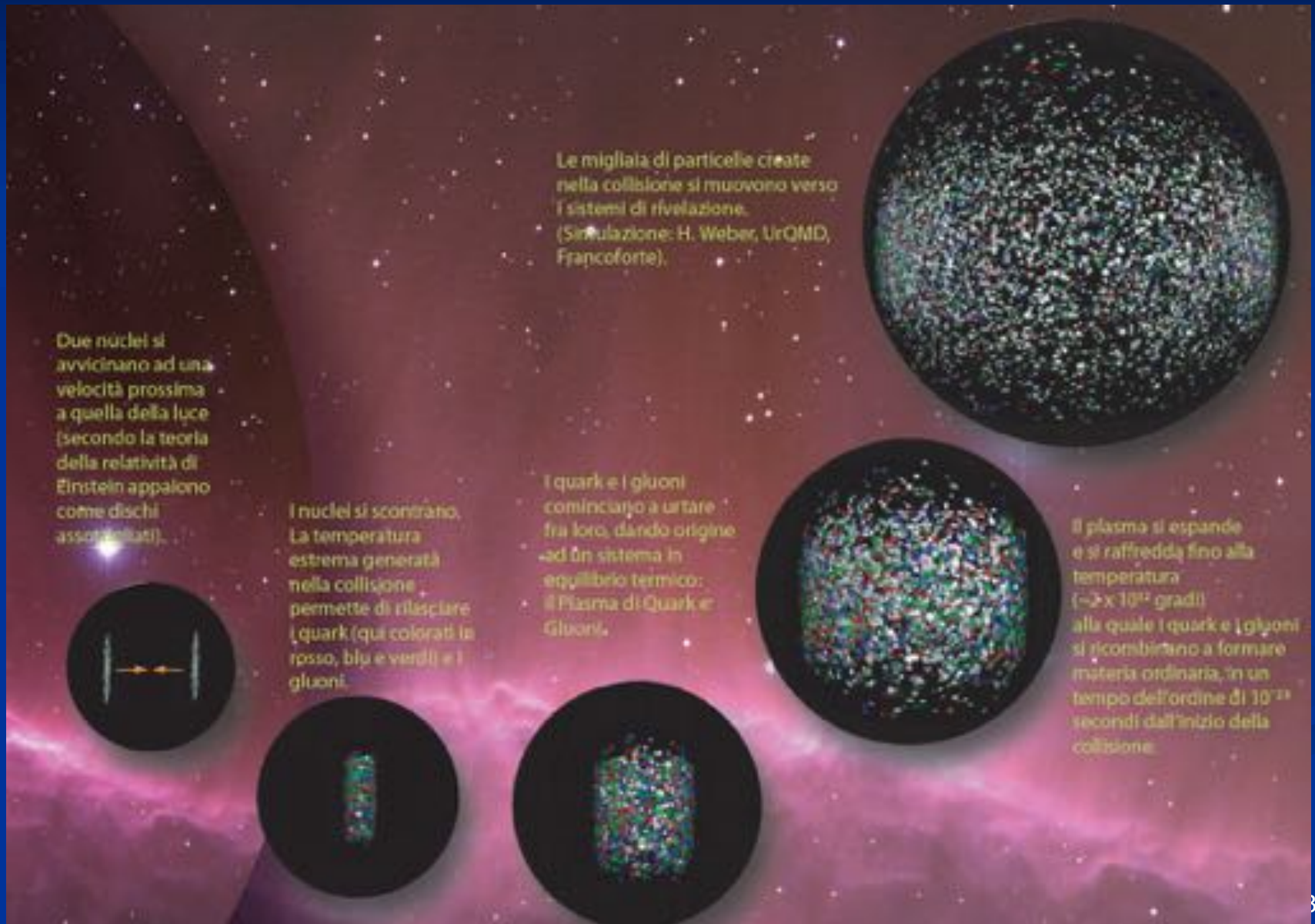


Materia nucleare estremamente densa

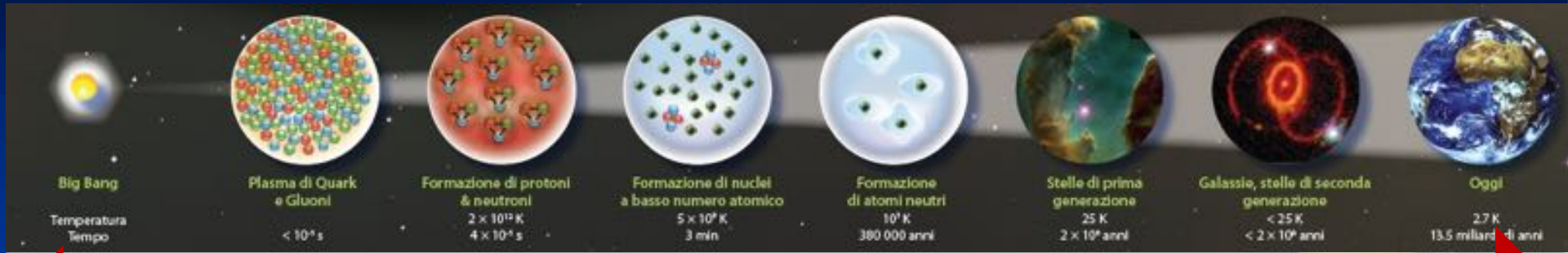
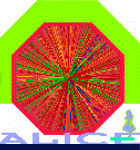
- Estrema compressione o elevata temperatura portano a una sovrapposizione tra gli adroni: quark e gluoni si muovono finalmente liberamente!



Urto ioni pesanti: un processo



Urto ioni pesanti: un viaggio nel tempo



Tempo



“A LHC ricreiamo le condizioni pochi istanti dopo il Big Bang”....



Alcuni chiarimenti:

- A LHC durante la collisione e per istanti brevissimi si raggiungono quindi temperature di **migliaia di miliardi di gradi** (quelle che c'erano alcuni microsecondi DOPO il Big Bang). (Il Sole ha una temperatura superficiale di 5700 gradi e di 15 milioni di gradi nel nucleo)
- questo stato della materia dura **pochissimo** (si raffredda immediatamente): noi studiamo indirettamente che è “successo qualcosa”
- si parla di **transizione di fase** della materia. Tutti noi siamo famigliari con le transizioni fase! Pensiamo all'**acqua!**



Osservazione indiretta di una transizione di fase

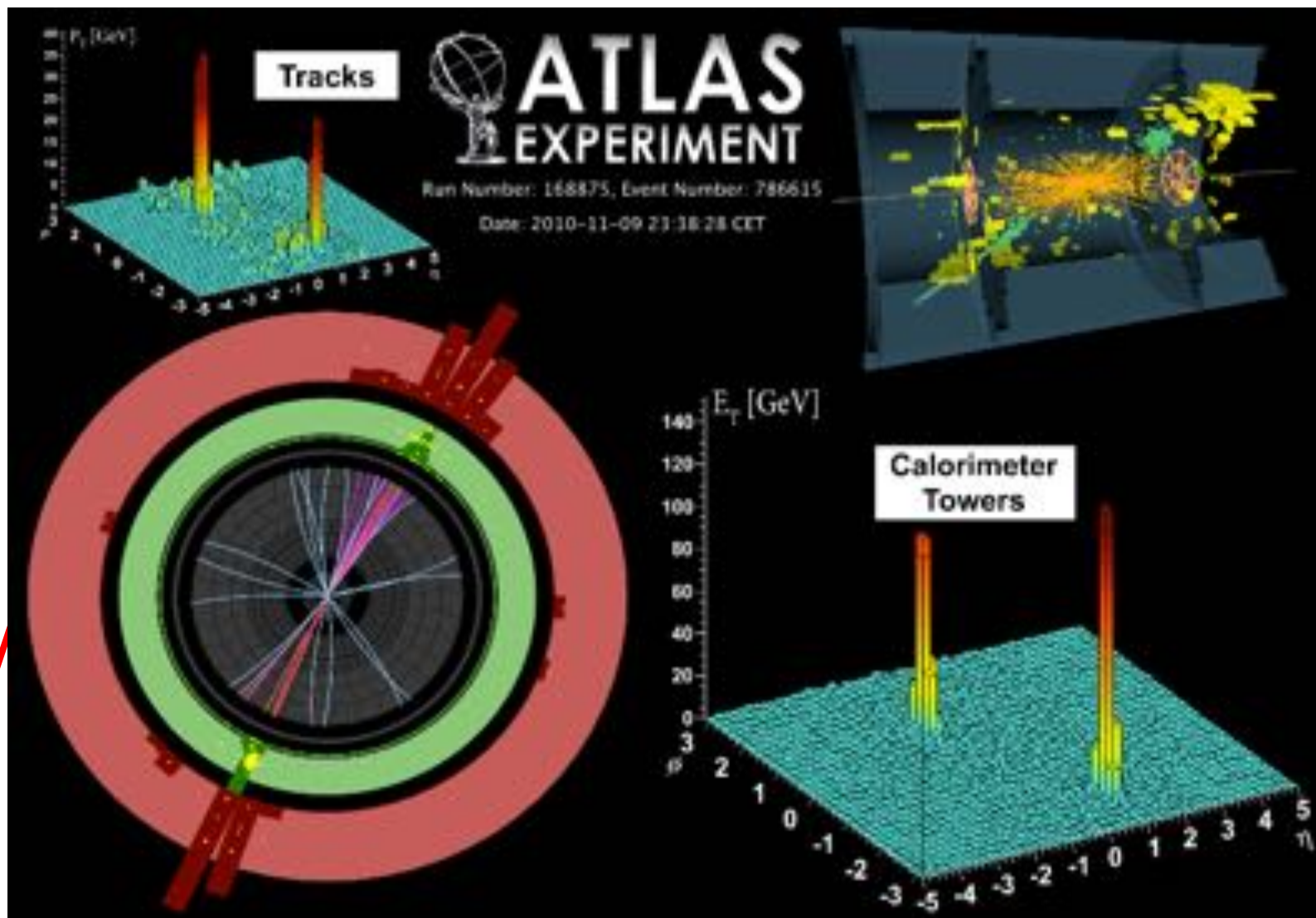
Se torno a casa dopo le vacanze e la lampadina lampeggia (out), come faccio se devo buttare il freezer?



17/03/2020

3 esempi di "cubetti di ghiaccio fusi"

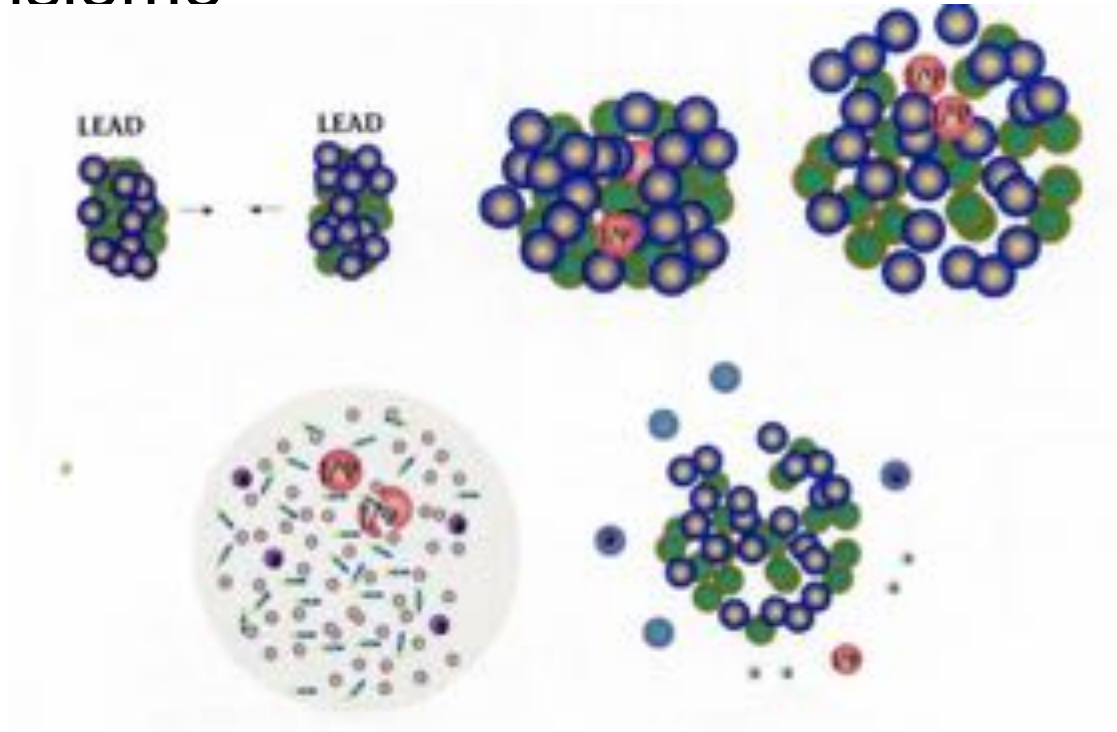
- **Jet quenching:** perdite di energia nel plasma
→ "eventi sbilanciati"
- **Soppressione di particelle J/Ψ :** l'alta temperatura "fonde" delle particelle che vediamo in altre collisioni
- **Aumento di stranezza:** per l'alta energia oltre al quark u e d, si creano anche tanti quark s → si formano più particelle "strane" (= con anche il quark s)

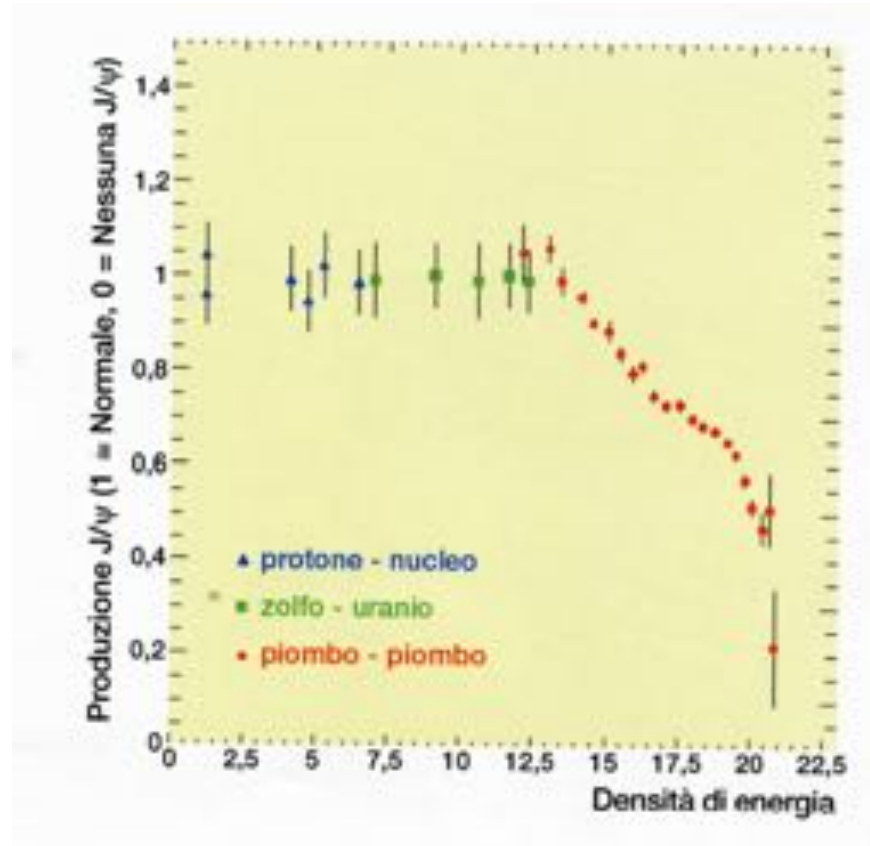


Evento fortemente asimmetrico: l'altro jet si e' 'fuso'
nel nuovo stato di materia

La particella J/Ψ è fatta di 2 quark: c e anti-c

In collisioni p-p si forma e poi viene rivelata. In collisioni Pb-Pb lo scambio di energia con i quark e gluoni intorno non permette ai due quark di "stare insieme"

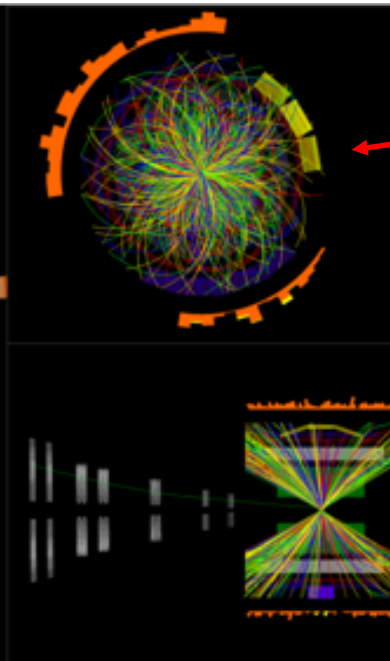
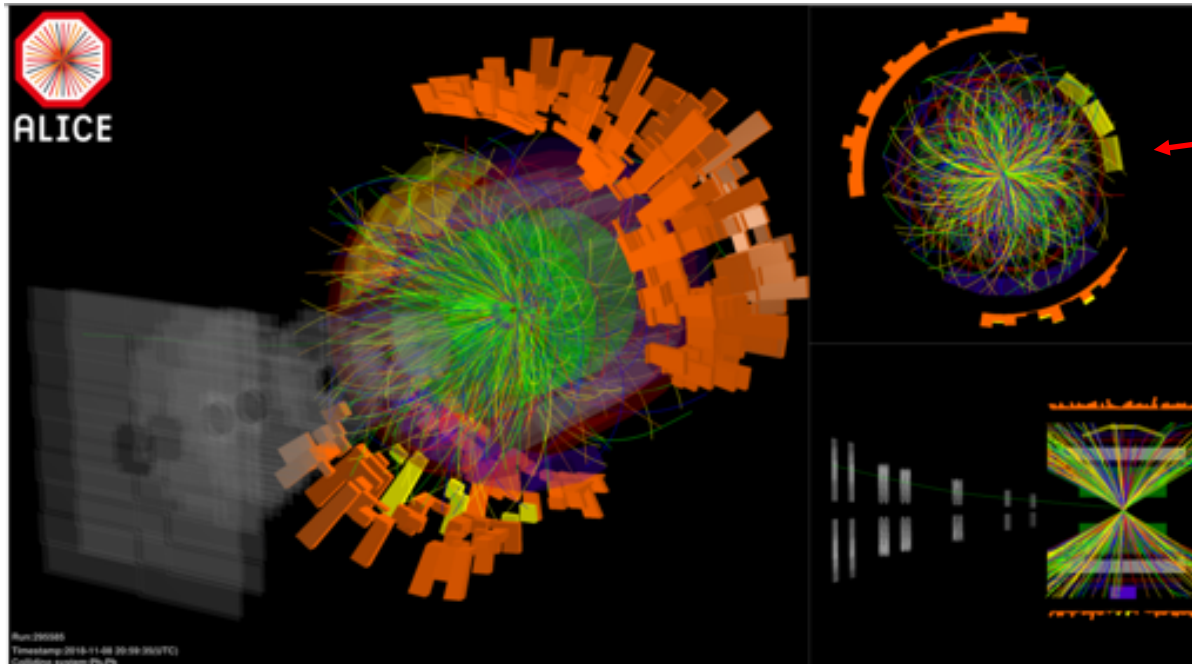




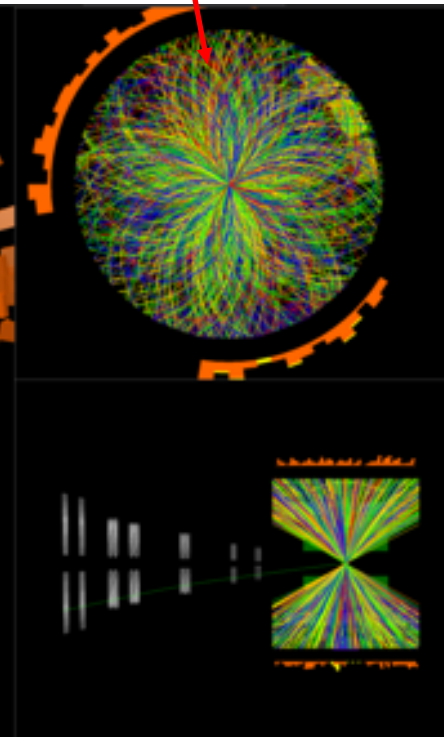
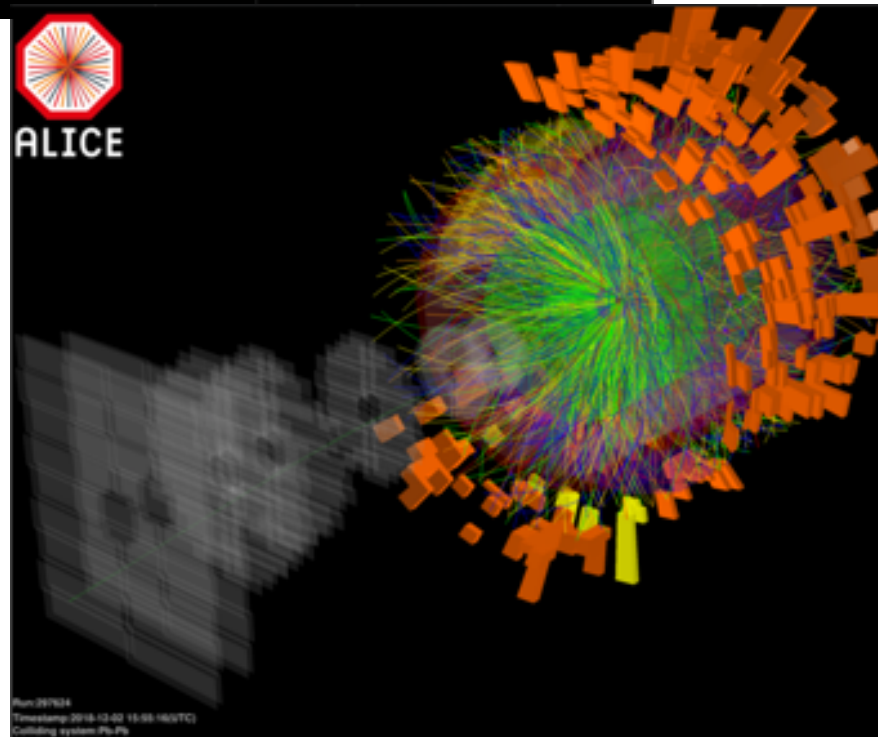
Facendo collidere ioni via via più pesanti
sviluppando via più energia vediamo meno J/ψ !

Intermezzo: la centralita' della collisione





In questi due eventi il numero di particelle è diverso, la "centralità" è diversa

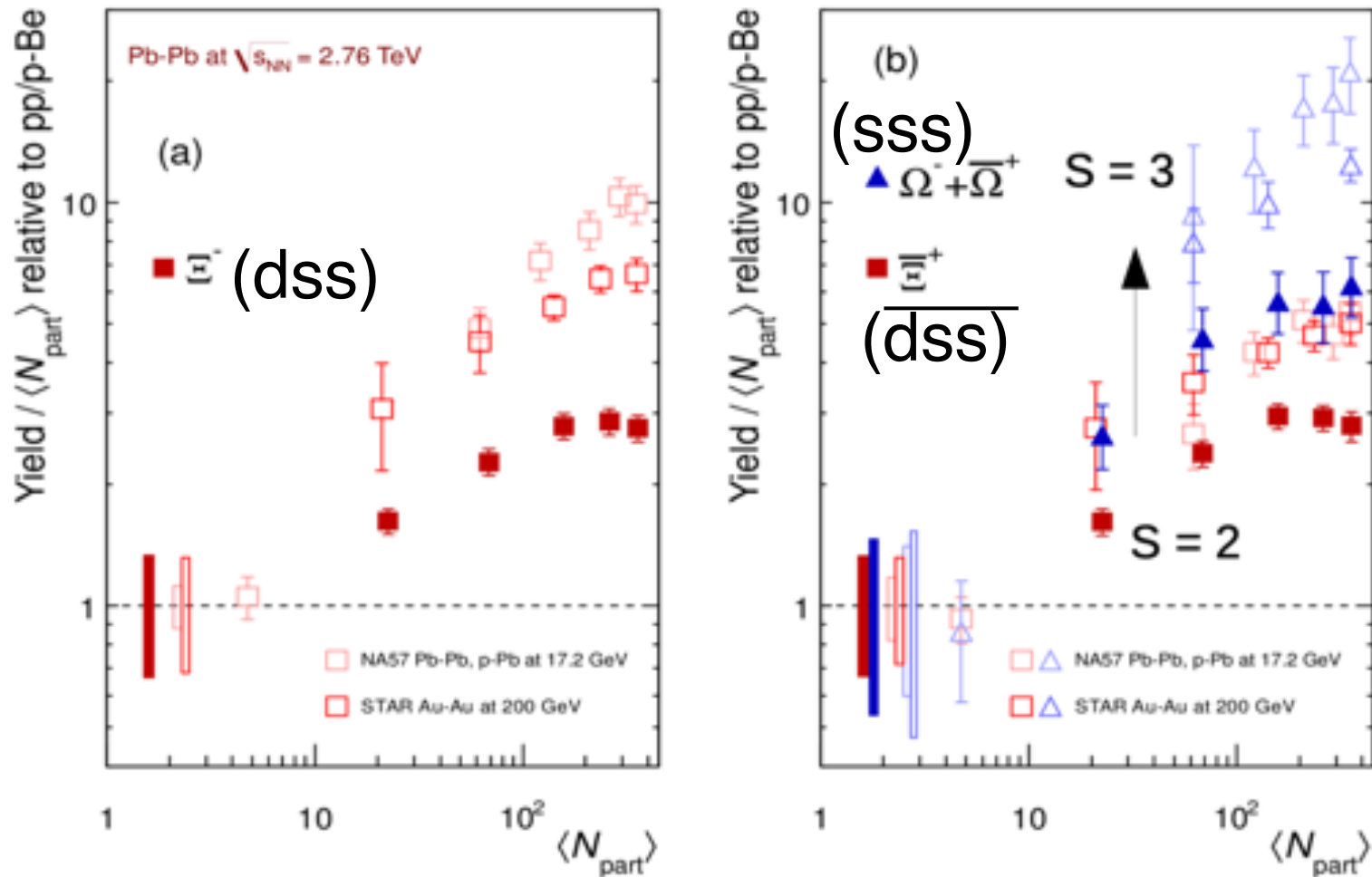


Aumento "stranezza"

- Aumentando densità di energia (il numero di nucleoni coinvolti, la centralità) nella "zuppa" di quark e gluoni si formano più coppie di quark s e anti- s (il quark s "pesa" un po' di più che i quark u e d , ma quark e gluoni della "zuppa" hanno energia via via più elevate)
- Che succede alla produzione di particelle come K (us o ds) e Λ (uds) che possiamo osservare nell'evento?

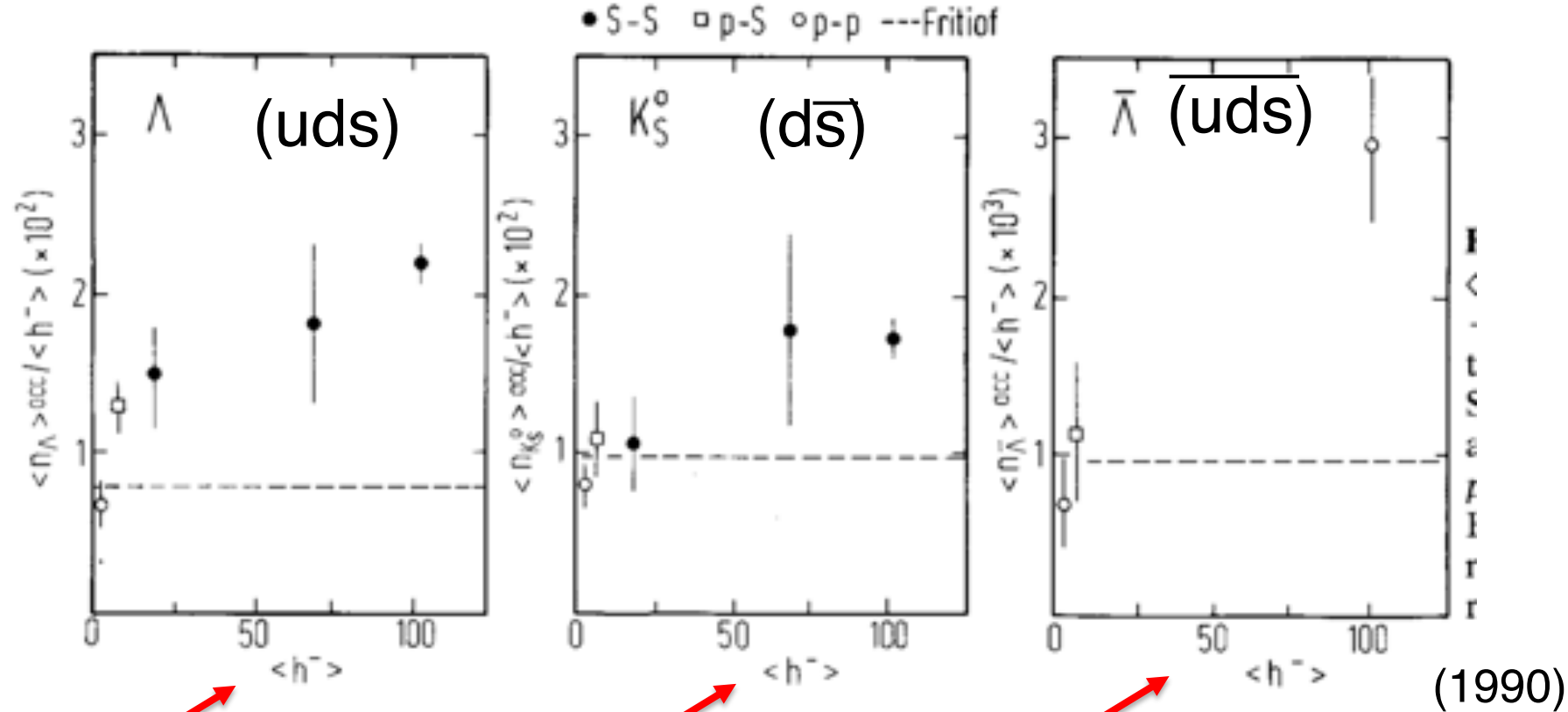
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
name→	u up	c charm	t top
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom

Anche altre particelle crescono con centralità



Aumento misurato in 3 acceleratori: SPS, RHIC e **LHC**

Passando da collisioni pp a S-S la "stranezza" aumenta



Numero particelle cariche nell'evento ==
cresce centralità == cresce densità energia

L'ultimo sommario....è un controllo....

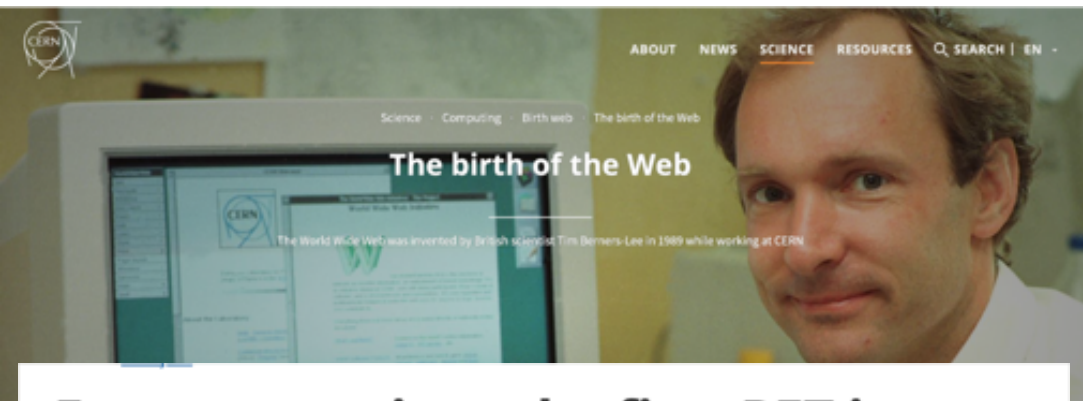
- ✓ Perché servono le particelle per studiare la materia?
- ✓ A cosa servono e come funzionano gli acceleratori di particelle?
- ✓ Come è fatto LHC e cosa studiano i 4 rivelatori di LHC?
- ✓ In che senso con LHC “ricreiamo le condizioni del Big Bang”?
- ✓ Come si capisce ad ALICE se il "quark-gluon plasma" si è formato? Chi sono i nostri cubetti di ghiaccio sciolti?

**Oggi nell'esercizio vedremo come misurare
l'aumento di stranezza a ALICE!**

Ok, ma poi tutte queste cose servono a qualcosa?

Ci sono almeno tre risposte:

1) dalla ricerca al CERN nate molte applicazioni importanti!



Forty years since the first PET image at CERN

Marilena Streit-Bianchi reminisces about her role in the first PET (positron-emission tomography) image taken at CERN

21 DECEMBER, 2017 | By Iva Raynova

On a special afternoon in early summer 1977, the laboratory of CERN radiologist Marilena Streit-Bianchi was

7. CERN engineers developed touchscreen and tracker ball tech in the 70s

Sector: Computing



Source: CERN

2) la ricerca di base svolta al CERN richiede investimenti importanti che si traducono in commesse per molte industrie in tutto il mondo e in Europa in particolare

NOVEMBER 15, 2016 | PUBLICATIONS, ARTICLES | BY MG

Forecasting the socio-economic impact of the Large Hadron Collider...

...A cost-benefit analysis to 2025 and beyond. Massimo Florio, Stefano Forte and Emanuela Sirtori. Technological Forecasting and Social Change, Volume 112, 38-53

*In this paper we develop a cost-benefit analysis of a major



3) questa è scienza *pura*: studiamo le interazioni delle particelle elementari per la gioia di *capire* la Natura

O come ha detto Richard Feynman (Premio Nobel per la Fisica nel 1965)....

