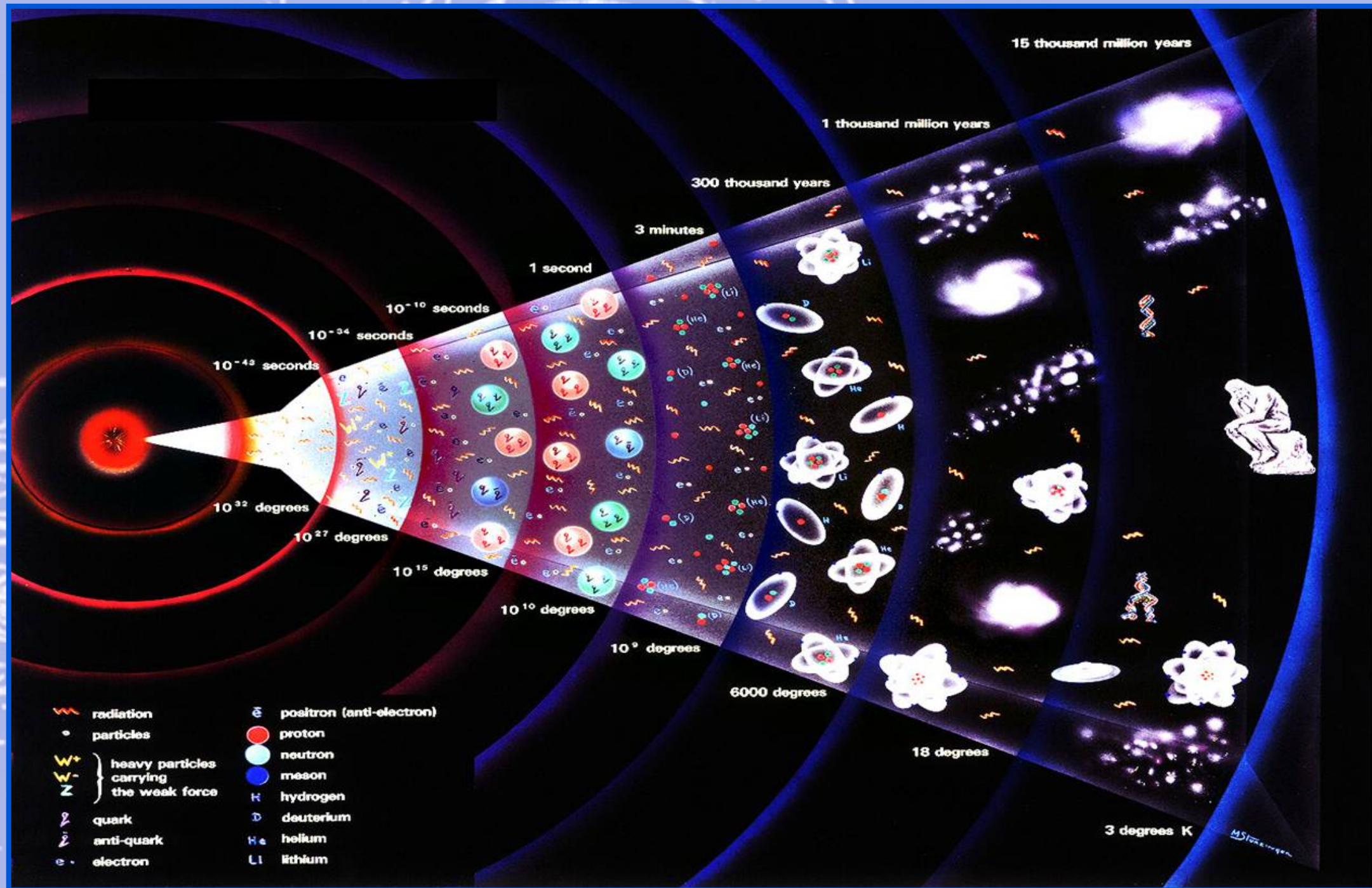


Fisica delle Particelle e Cosmologia

**CERN Teacher Programme
10 Settembre 2012**

Sonia Natale

L'infinitamente grande e.....



.....l'infinitamente piccolo!

La fisica delle Astroparticelle

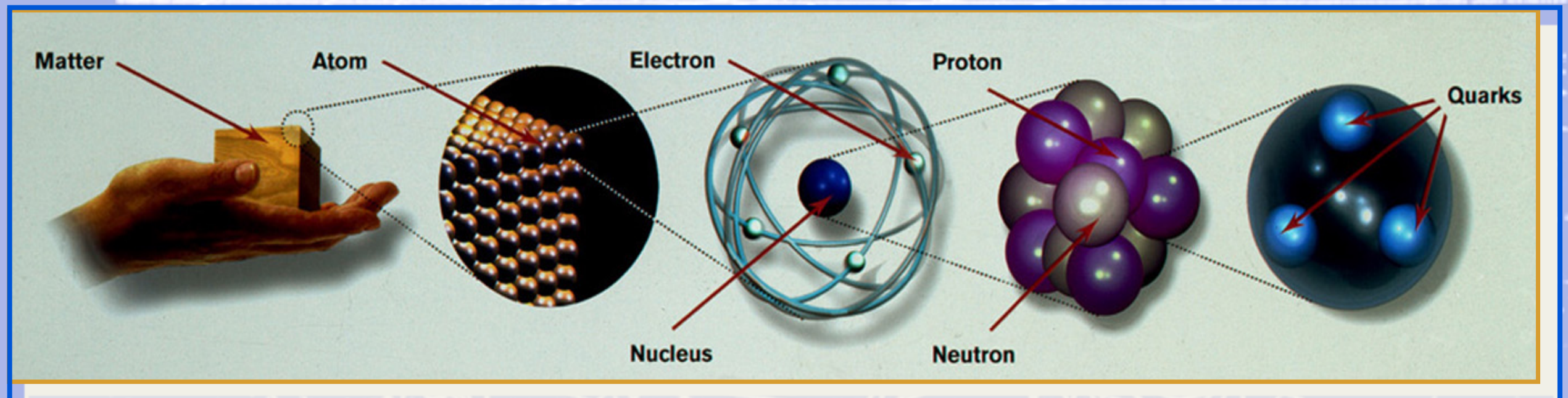
- **Fenomeni atomici e molecolari:** comprensione dello spettro luminoso del sole;
- **Fenomeni nucleari:** comprensione del “funzionamento” del sole e delle stelle;
- **La Fisica nucleare e subnucleare e la Meccanica Quantistica** ci permettono di comprendere la struttura di particolari corpi celesti (stelle a neutroni, pulsar...);
- La Fisica dei **Raggi Cosmici** (protoni e nuclei di alta energia) è strettamente connessa ai meccanismi di accelerazione di oggetti astrofisici galattici o extragalattici;
- **Neutrino astronomia:** identificazione delle sorgenti acceleratrici;
- Il problema della “**dark matter**” è strettamente connessa con quella della nascita e dell’evoluzione di Galassie e di ammassi di Galassie;
- La comprensione del comportamento del “microcosmo” ad energie elevatissime è di fondamentale importanza per la comprensione dei primi attimi di vita dell’Universo dopo il Big Bang;
- Cos’è la “**dark energy**”? Quali le sue relazioni con la cosmologia?
-

Cos'è la fisica delle (astro)particelle?

E' un viaggio tra l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo alla scoperta dei misteri della Natura

Ogni cosa nell'Universo è composta dagli stessi costituenti fondamentali "particelle di materia"
Alcune particelle sono scomparse miliardesimi di secondi dopo il "Big Bang" ...
....altre particelle costituiscono la materia che ci circonda.

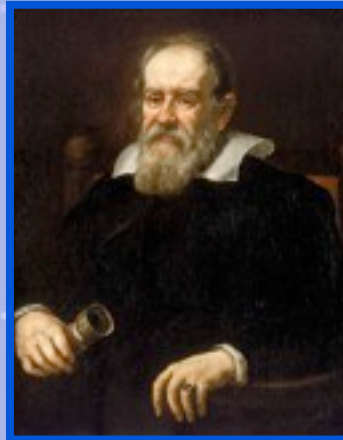
La Fisica delle Particelle studia questi minuscoli costituenti fondamentali e come essi interagiscono per formare l'Universo come noi lo conosciamo.



La Fisica delle Particelle ricrea l'Universo com'era immediatamente dopo il Big Bang e cerca di rispondere alle domande che l'Umanità si pone da sempre:

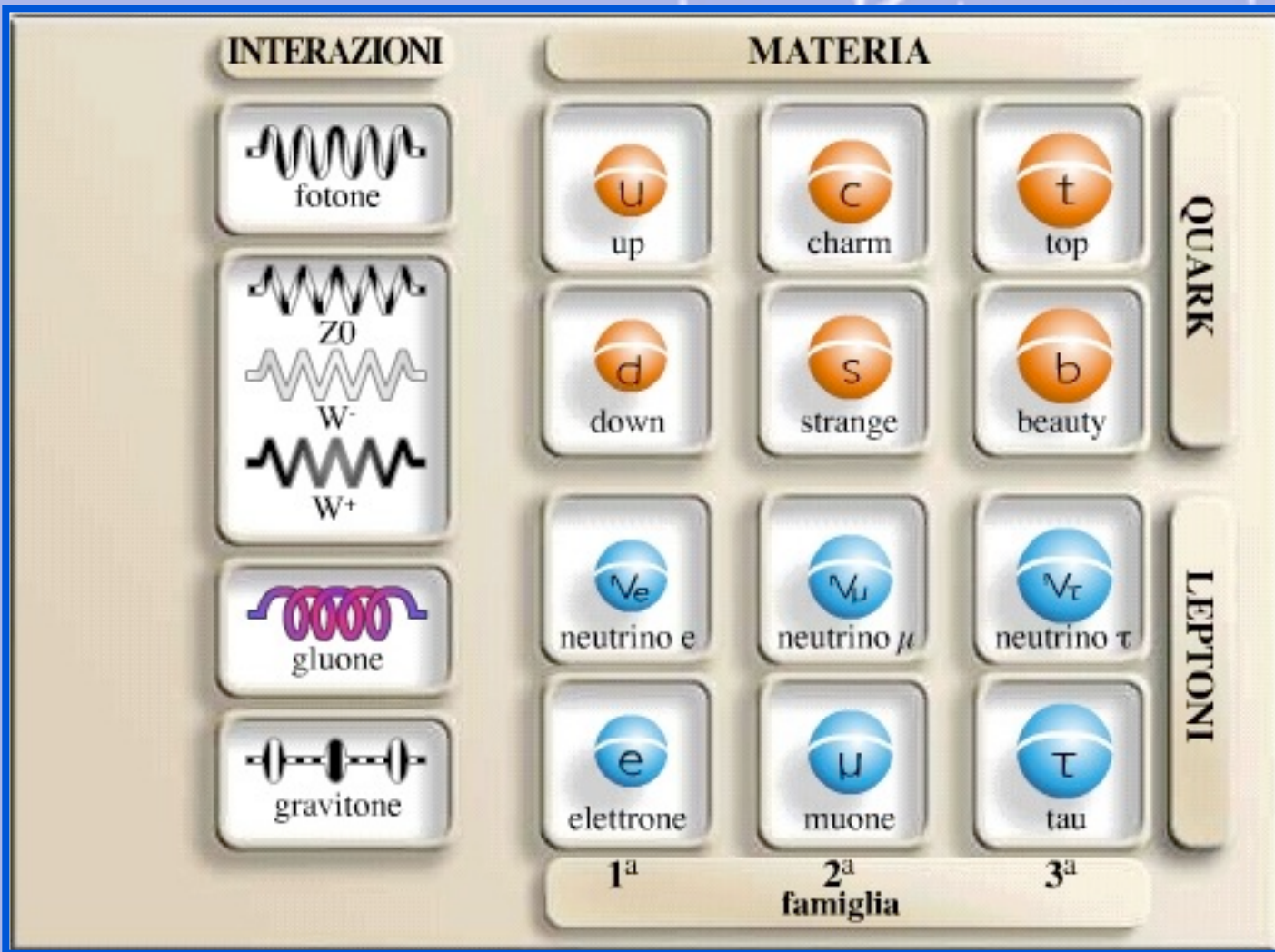
“Da dove veniamo?” “Di cosa siamo fatti ?”

Alcuni punti fermi.....il Modello Standard



Per verificare una teoria

- 1) fai una ipotesi
- 2) verifica la tua ipotesi
- 3) analizza i risultati



Il **Modello Standard** e' la nostra "descrizione" delle particelle elementari

Si tratta di una descrizione matematica delle caratteristiche delle 12 particelle fondamentali (e delle loro antiparticelle) e delle interazioni.....la gravità non è ancora inclusa...



Al momento tutte le previsioni del "Modello Standard" si sono rivelate corrette.....tuttavia ancora molte sono le cose che non capiamo e tante le domande a cui rispondere!

...il Big Bang

Una delle prove a sostenere la teoria del Big Bang e' l'esistenza della radiazione di fondo (3K) e l'abbondanza di deuterio nell'universo.

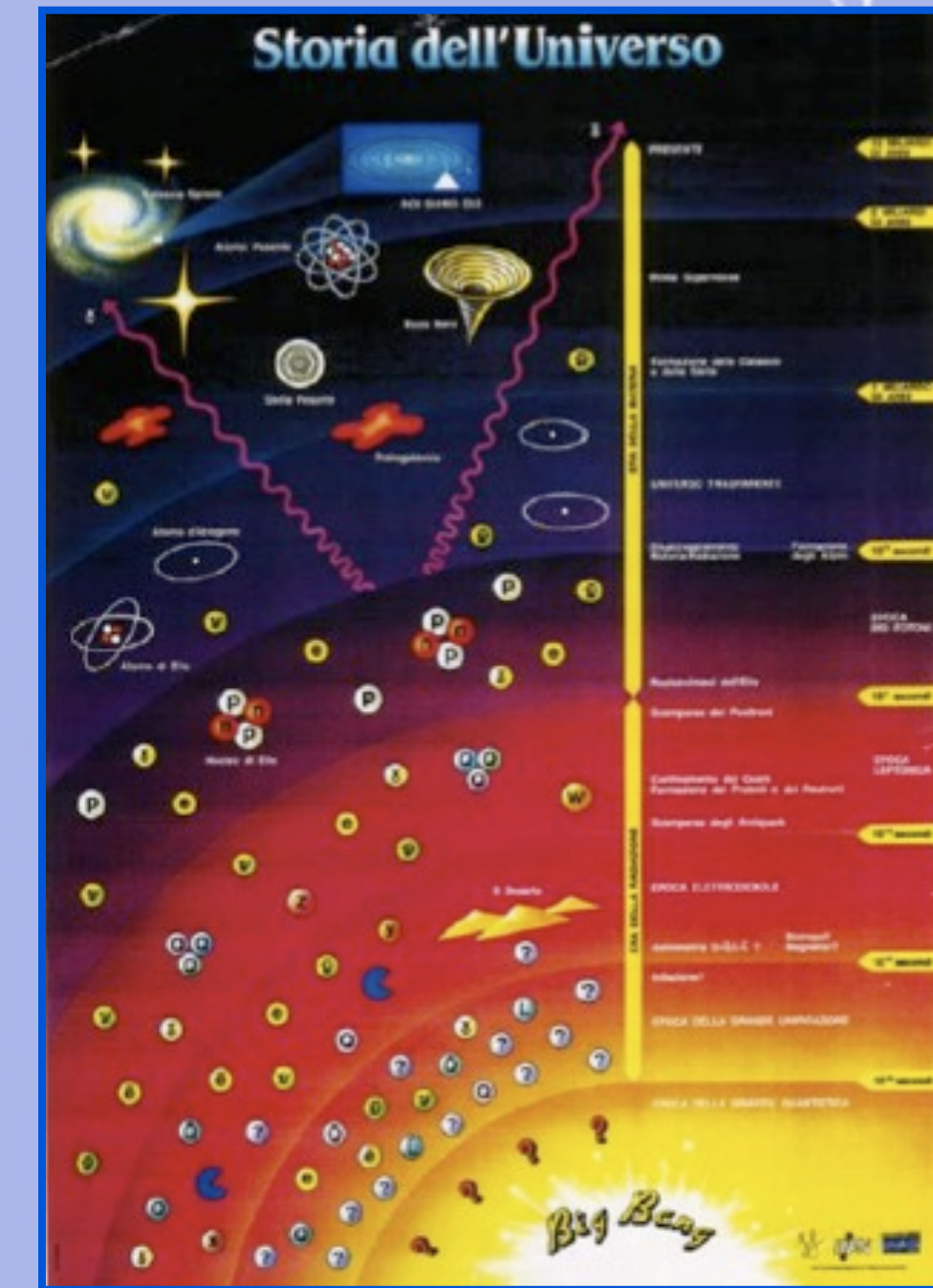
La radiazione di fondo e' stata rilasciata quando gli atomi sono diventati elettricamente neutri quasi 1 milione di anni dopo il Big Bang.

La sua uniformita' ci dice che essa proviene da un'epoca precedente alle irregolarita' causate dalla presenza della massa.

Il deuterio (idrogeno in forma pesante) e' il sottoprodotto delle reazioni nucleari che sono avvenute circa 3 minuti dopo il Big Bang, quando gran parte dell'elio era gia' stato creato.

La quantita di deuterio e di altri elementi leggeri prodotti in tali reazioni dipende in maniera sensibile dalla densita' dell'universo.

L'universo e' iniziato da un punto infinitesimo dove tutta la materia e l'energia erano condensati. Quello spazio ha poi cominciato ad espandersi alla velocita' della luce nei successivi 12-15 miliardi (epoca attuale stimata). L'espansione e' continuata conducendo ad una diminuzione della temperatura media.

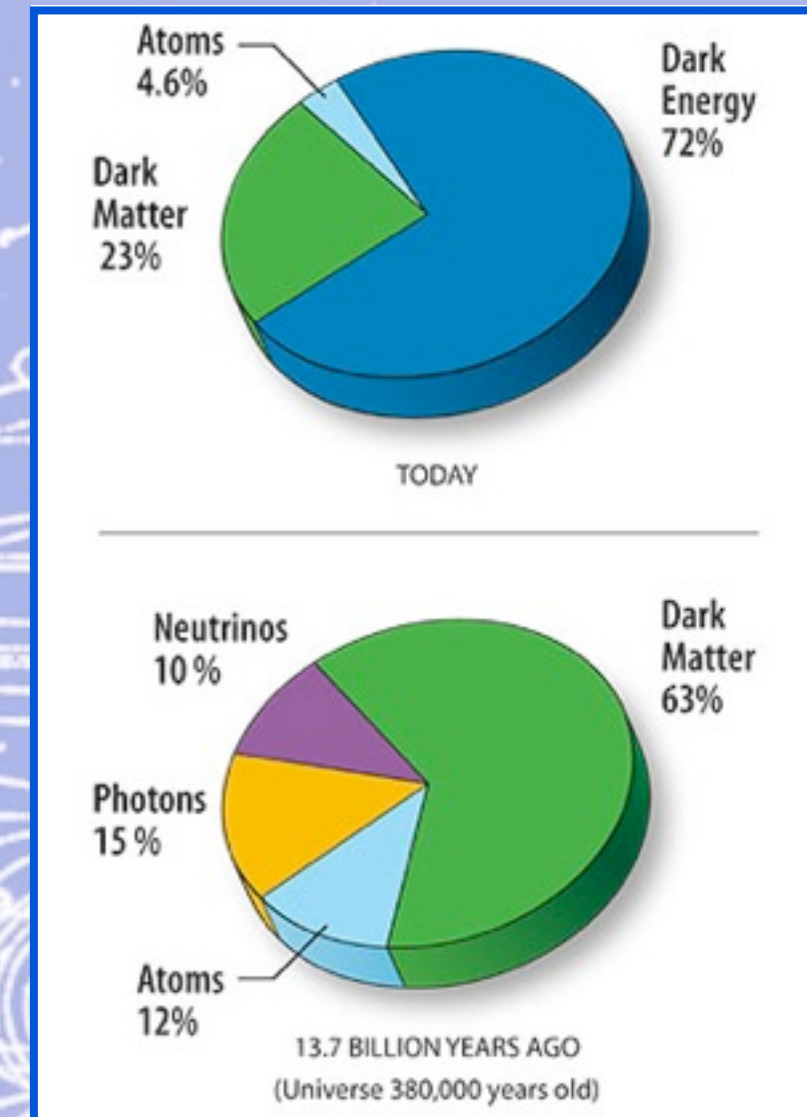


L'Universo e' il piu' avanzato laboratorio per lo studio della fisica fondamentale

...il Modello Standard in Cosmologia

Questo modello ci dice che L'Universo e':

- Spazialmente piatto, omogeneo e isotropico su larga scala;
- Composto di:
 - ▶ Radiazione, materia ordinaria → 4.4%
(elettroni, protoni, neutroni, fotoni e neutrini)
 - ▶ Materia oscura fredda → 23%
(della quale non sappiamo quasi nulla)
 - ▶ Energia oscura → 73%
(della quale sappiamo ancora meno)
 - ▶ Antimateria → 10^{-6} materia
(che sembra essere scomparsa ma non sappiamo come)
- Galassie ed altre strutture su grande scala nate da lenti processi adiabatici
- Fluttuazioni (gaussiane) di materia e campi di forze
(delle quali non sappiamo nulla)





Non e' mai successo che l'Uomo capisse di conoscere
cosi' poco la Natura che lo circonda

Questa consapevolezza costituisce un impulso
formidabile per la ricerca scientifica



**.....ecco allora alcune
delle domande a cui dobbiamo
ancora rispondere.....**

Di cosa e' fatto e come evolve l'universo?

L'universo e' finito o infinito?

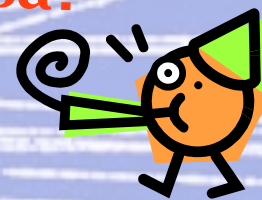
Cos'e' la materia oscura?

Cos'e' l'energia oscura?

Cosa e quanto possiamo imparare dagli esperimenti presenti nei nostri laboratori terrestri? e quanto ancora da quelli nello spazio?

Quali sono le leggi della fisica valide nelle condizioni estreme presenti nel cosmo?

Perche' le particelle hanno massa?



Quali sono l'origine e la natura dei raggi cosmici estremamente energetici che raggiungono la Terra?

Perche' viviamo in un mondo di materia? Dov'e' finita l'antimateria creata dal Big Bang?


Perche' ci sono solo 12 particelle fondamentali?

Possiamo unificare le interazioni tra particelle?

Come si formano ed evolvono le galassie, le stelle ed i pianeti?

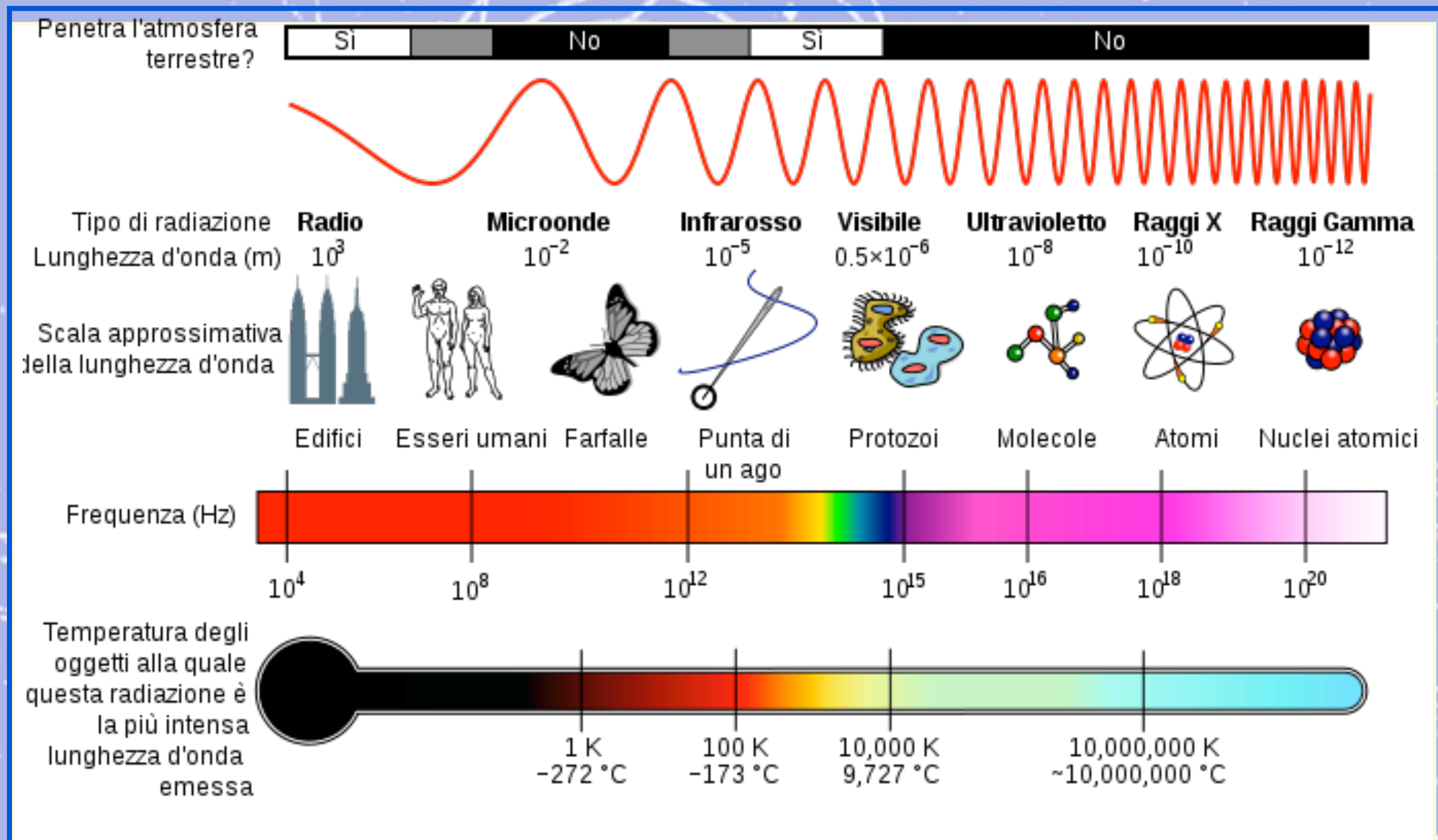
Cosa sono i buchi neri ed esistono davvero?

Cosa sono quelle misteriose esplosioni chiamate Gamma Ray Burst (GBR)?

The background of the slide is a dark blue field filled with numerous white, glowing particle tracks. These tracks are complex and chaotic, featuring a mix of straight lines, spirals, and loops, representing the paths of particles as they interact or decay. The tracks are scattered across the entire frame, creating a sense of dynamic movement and complexity.

Come “vediamo” le particelle ?

Osservare la Natura



Ci sono diversi metodi per osservare la Natura: tutto dipende dalla dimensione dell'oggetto che si sta guardando.

Classificazione dei rivelatori di particelle (I)

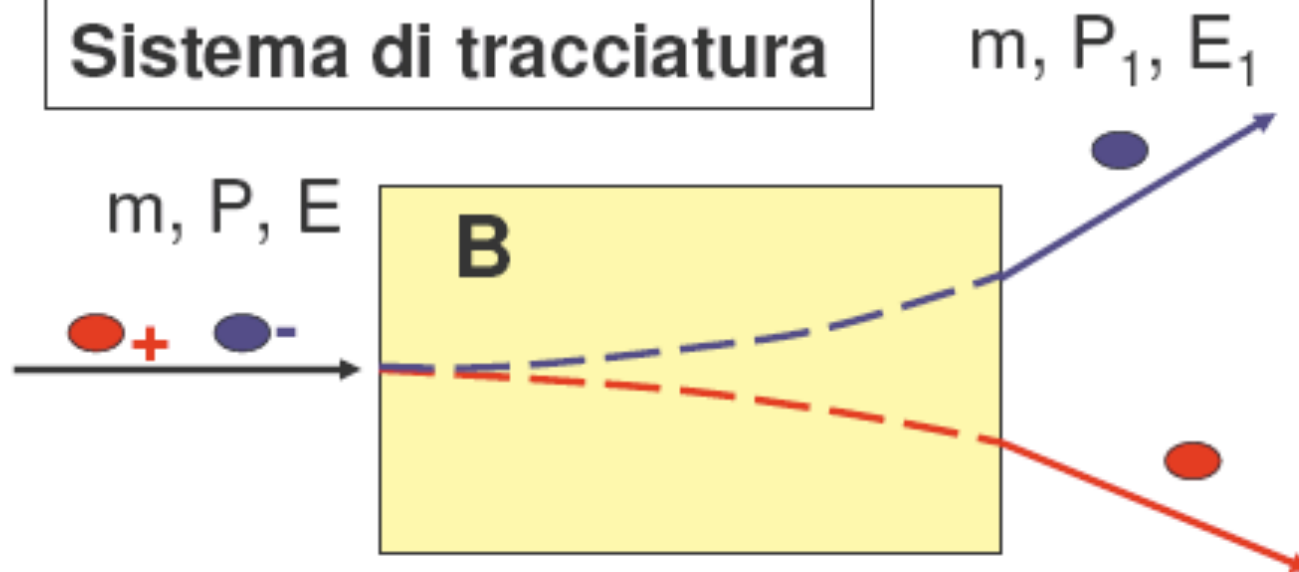
I rivelatori di particelle sono degli strumenti che permettono di misurare i segnali rilasciati al passaggio della particella in un mezzo. Esiste una grande quantità di rivelatori diversi, ognuno ottimizzato per effettuare delle misure specifiche. In generale i rivelatori vengono grossolanamente suddivisi in 3 grandi categorie:

- **contatori** (frequenza)
- **traccianti** (traiettoria, carica, momento)
- **calorimetri** (energia, tempo di volo)

Combinando le informazioni di più rivelatori si ottengono informazioni più dettagliate come massa, velocità, spin, tipo di particella.

Classificazione dei rivelatori di particelle (II)

Sistema di tracciatura



- Il sistema di tracciatura determina
 - la traiettoria della particella
- Se immerso in un campo magnetico **B** si riescono a determinare anche
 - la carica **Q** ed il momento **P**
- La particella subisce una minima perdita d'energia nel sistema

Sistema Calorimetrico



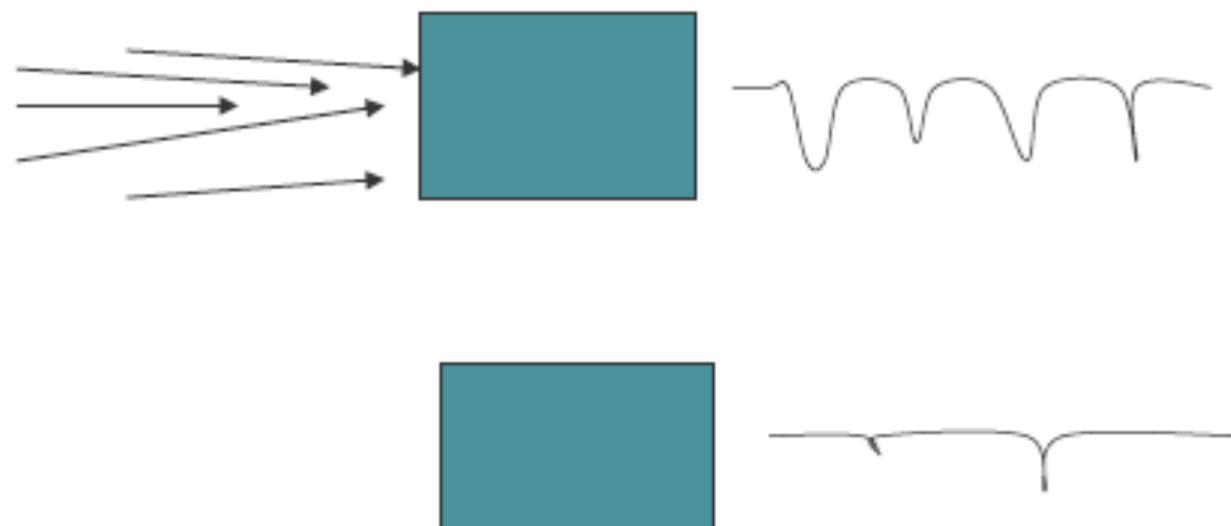
- In questo caso invece la particella viene quasi completamente assorbita
- Il segnale è proporzionale alla sua energia:

$$S = K E$$

Proprietà di un rivelatore di particelle ideale

L'efficienza di un rivelatore è il rapporto $\varepsilon = N_R / N_I$ tra il numero di particelle segnalate dal rivelatore e il numero di particelle incidenti.

Il rumore è dato dai segnali prodotti dal rivelatore non correlati alla particella in esame ma dovuti a fluttuazioni intrinseche del sistema (es: rumore elettronico).

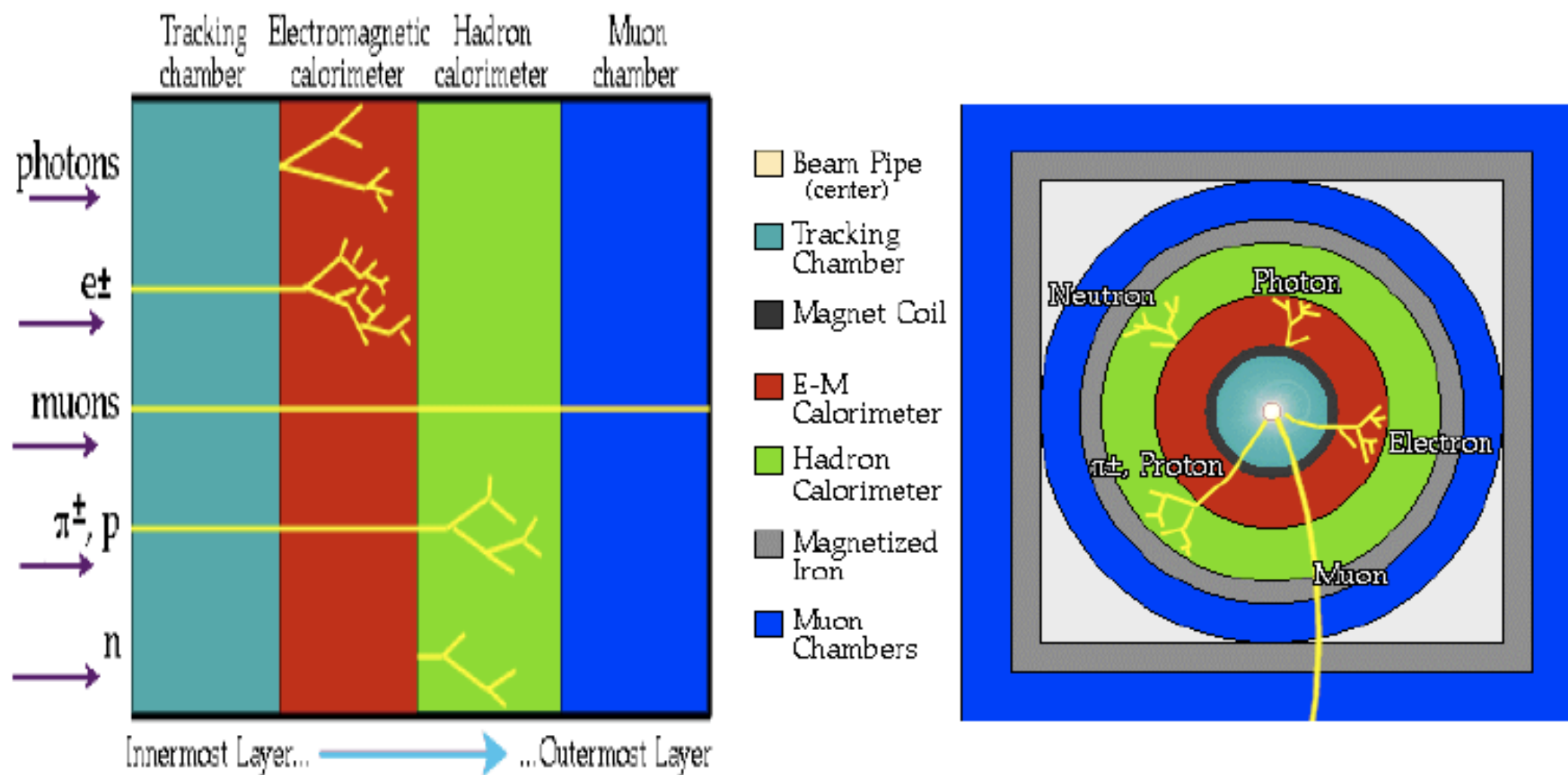


In un rivelatore ideale vorremmo essere in grado di ricostruire tutte le variabili in esame con:

- risoluzione perfetta
- in tutto l'angolo solido
- per tutte le particelle incidenti
- con una velocità di risposta elevata
- senza alcun rumore
- facilità e stabilità nella calibrazione

...ad esempio...

Struttura di un "general purpose experiment" (ai colliders)



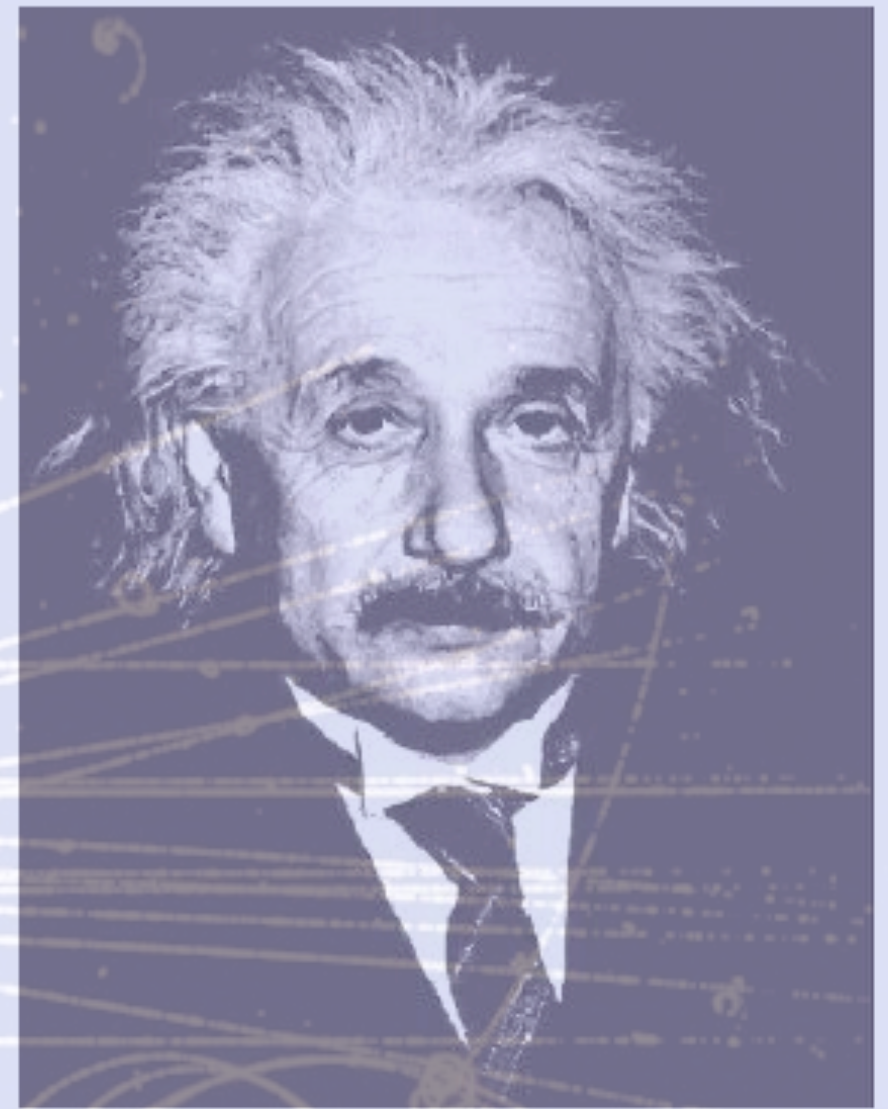
The background of the slide is a dark blue field filled with numerous white, glowing particle tracks. These tracks are complex and chaotic, featuring a mix of straight lines, spirals, and loops, which represent the paths of particles as they interact in an accelerator experiment. The tracks are scattered across the entire frame, creating a sense of dynamic movement and scientific discovery.

Gli esperimenti su acceleratore

Parentesi “tecnica” necessaria

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 (v. reattori nucleari) e viceversa $M = E/c^2$

Se si è in grado di “concentrare” molta energia, come per es. nell’urto violento fra due particelle, possono “apparire” dopo l’urto 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.

Relazioni complete per una singola particella

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$$

$$E = mc^2 + T$$

$$E = \gamma mc^2$$

m = massa a riposo, p = impulso,

T = energia cinetica

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$$

$$\beta = v/c$$

In unità naturali ($c = 1$ e $\hbar = 1$)

$$E^2 = m^2 + p^2$$

$$E = m + T$$

$$E = \gamma m$$

In Natura vale un principio di conservazione più generale:

La somma delle masse e delle energie cinetiche prima dell'interazione (stato iniziale) è uguale alla somma delle masse e delle energie cinetiche dopo l'interazione (stato finale).

La fisica delle particelle elementari (richiami)

La fisica delle alte energie (HEP) studia le interazioni tra particelle effettuando esperimenti di diffusione tra particelle differenti

Collisioni $\mathbf{P}_{\text{tot}} = 0$ (C. M.)

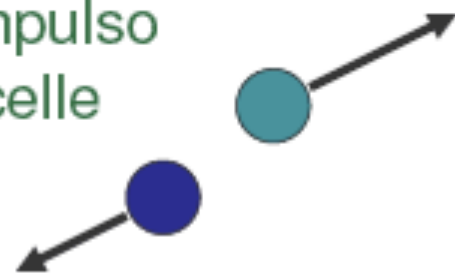


Esperimenti a bersaglio fisso



Come risultato delle interazioni si ha:

Modifica della direzione,
energia, impulso
delle particelle

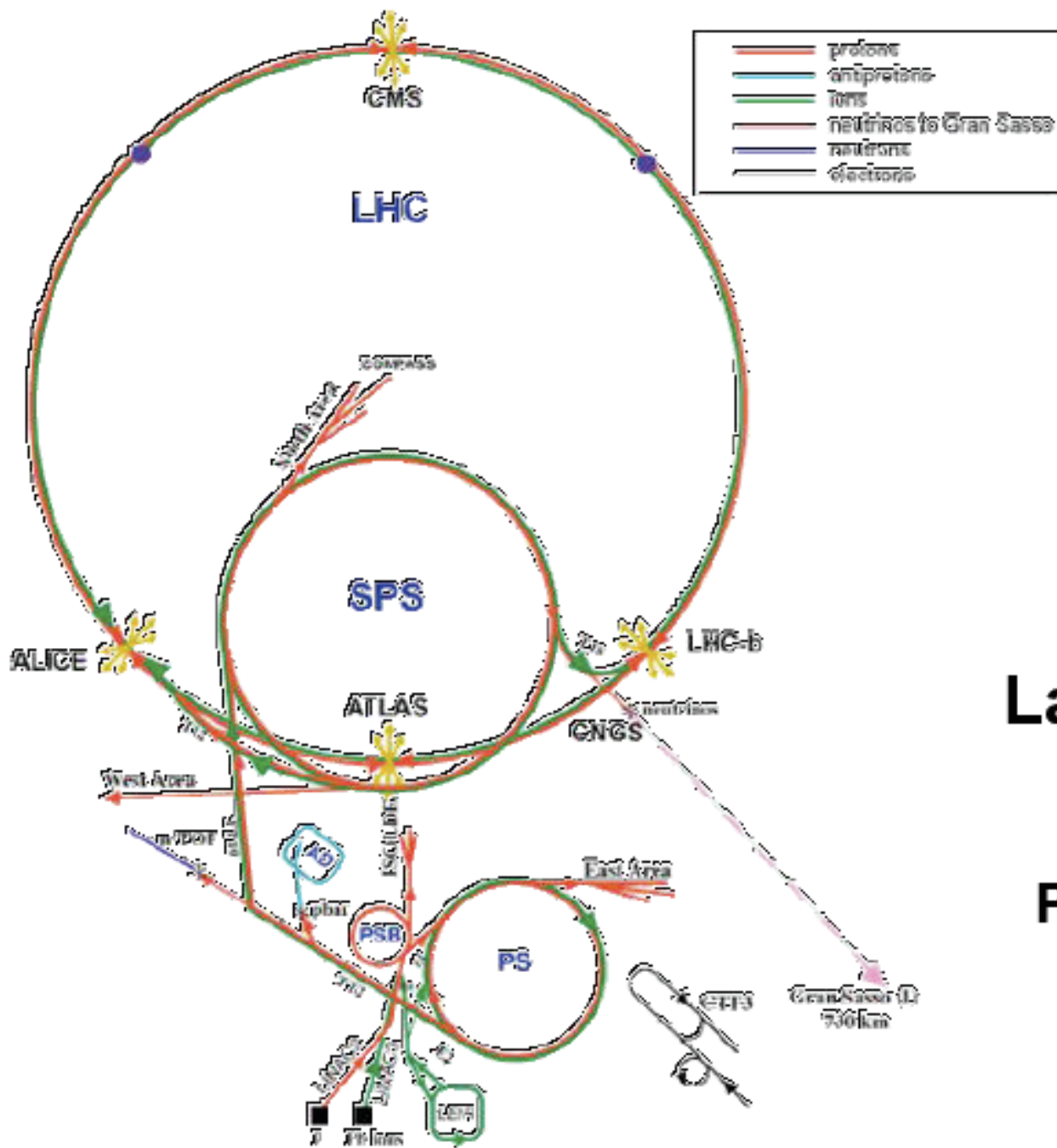


creazione di nuove
particelle



**ALTE
ENERGIE**

- lunghezze d'onda piccolissime ($\lambda = h/p$)
→ studio della struttura interna
- creazione di nuove particelle $E = mc^2$



LHC

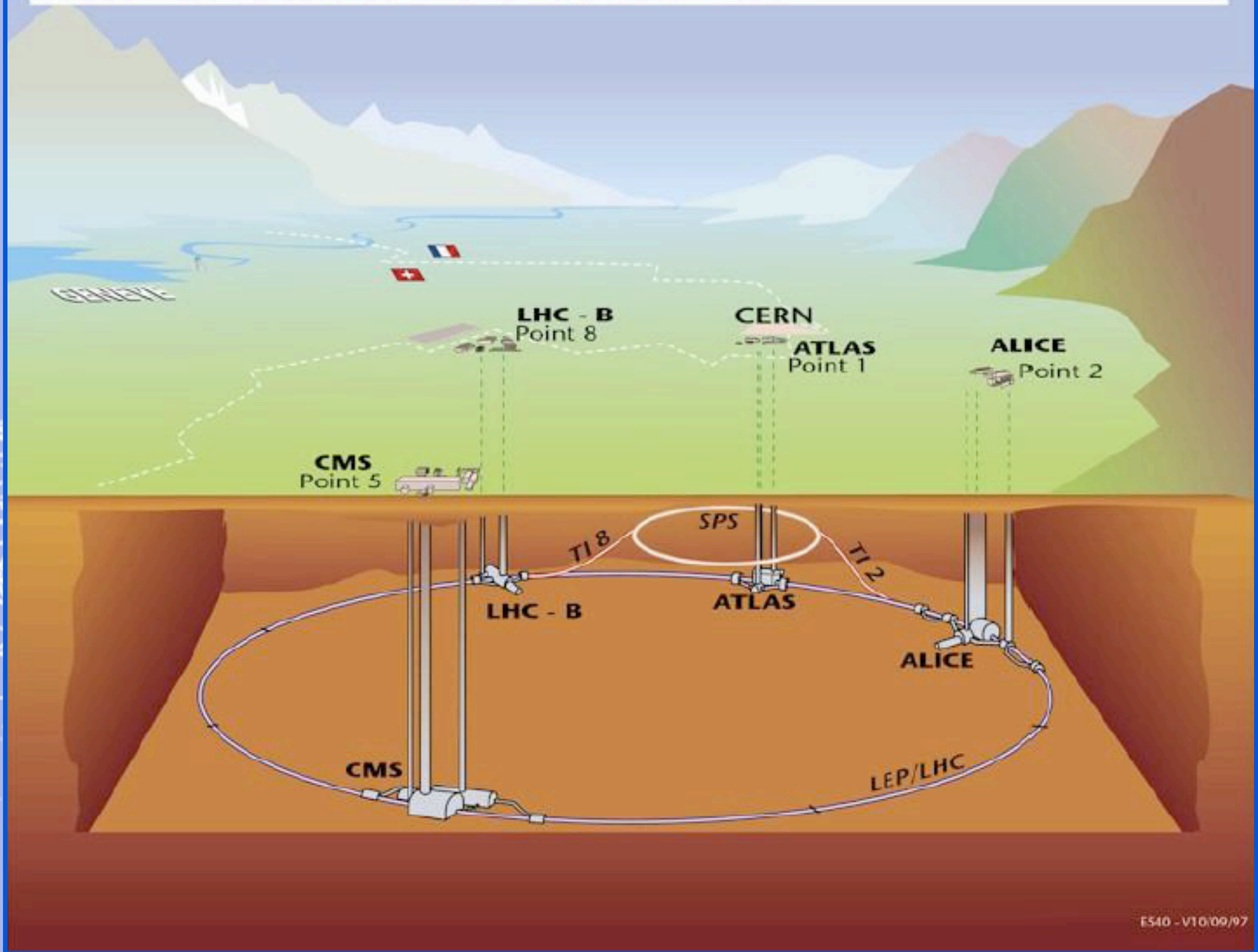
Large Hadron Collider

Protone-Protone a 14 TeV

Perché LHC ?

Perché il Modello Standard non risponde a molte domande.

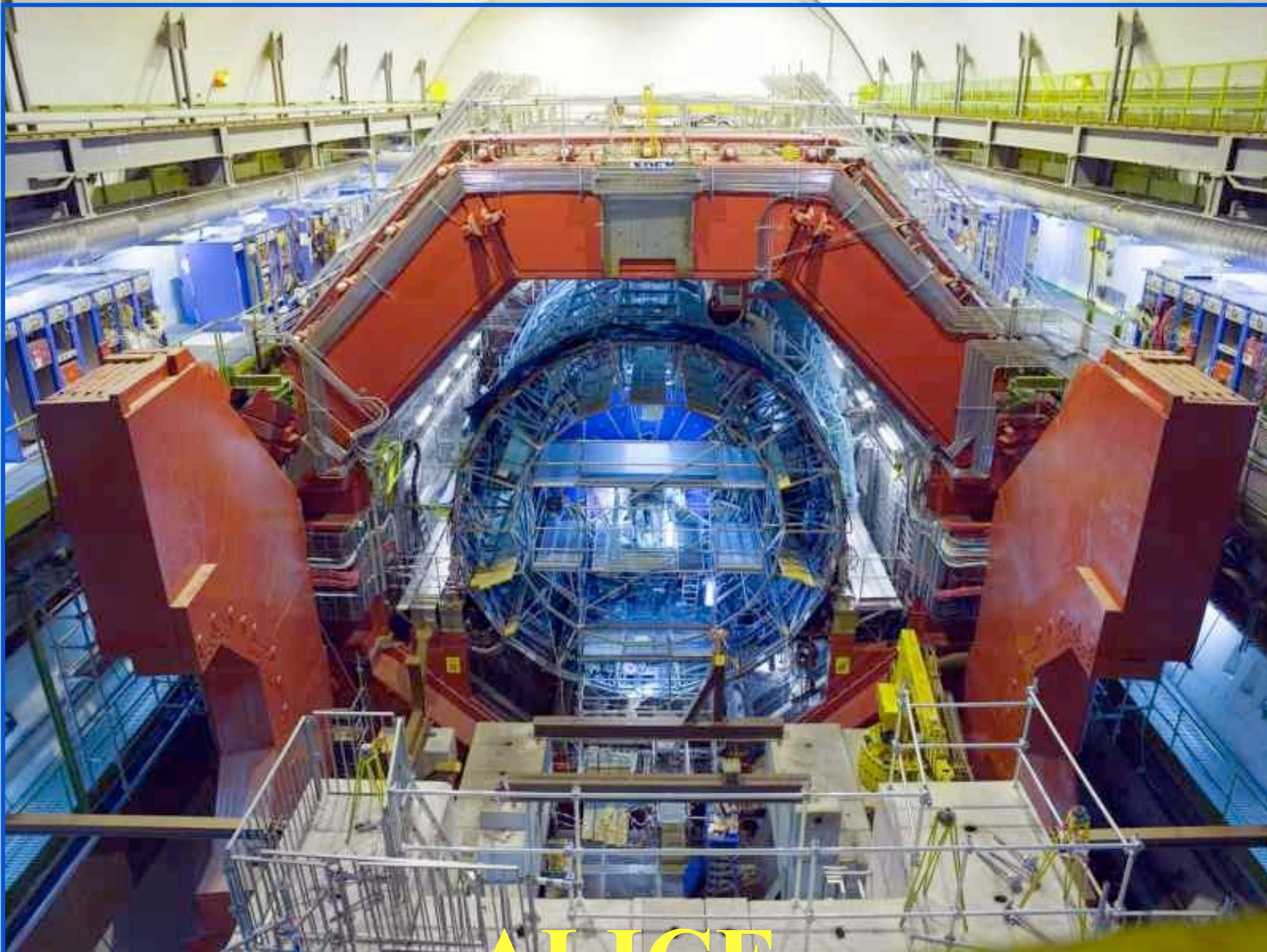
Overall view of the LHC experiments.



E540 - V10/09/97



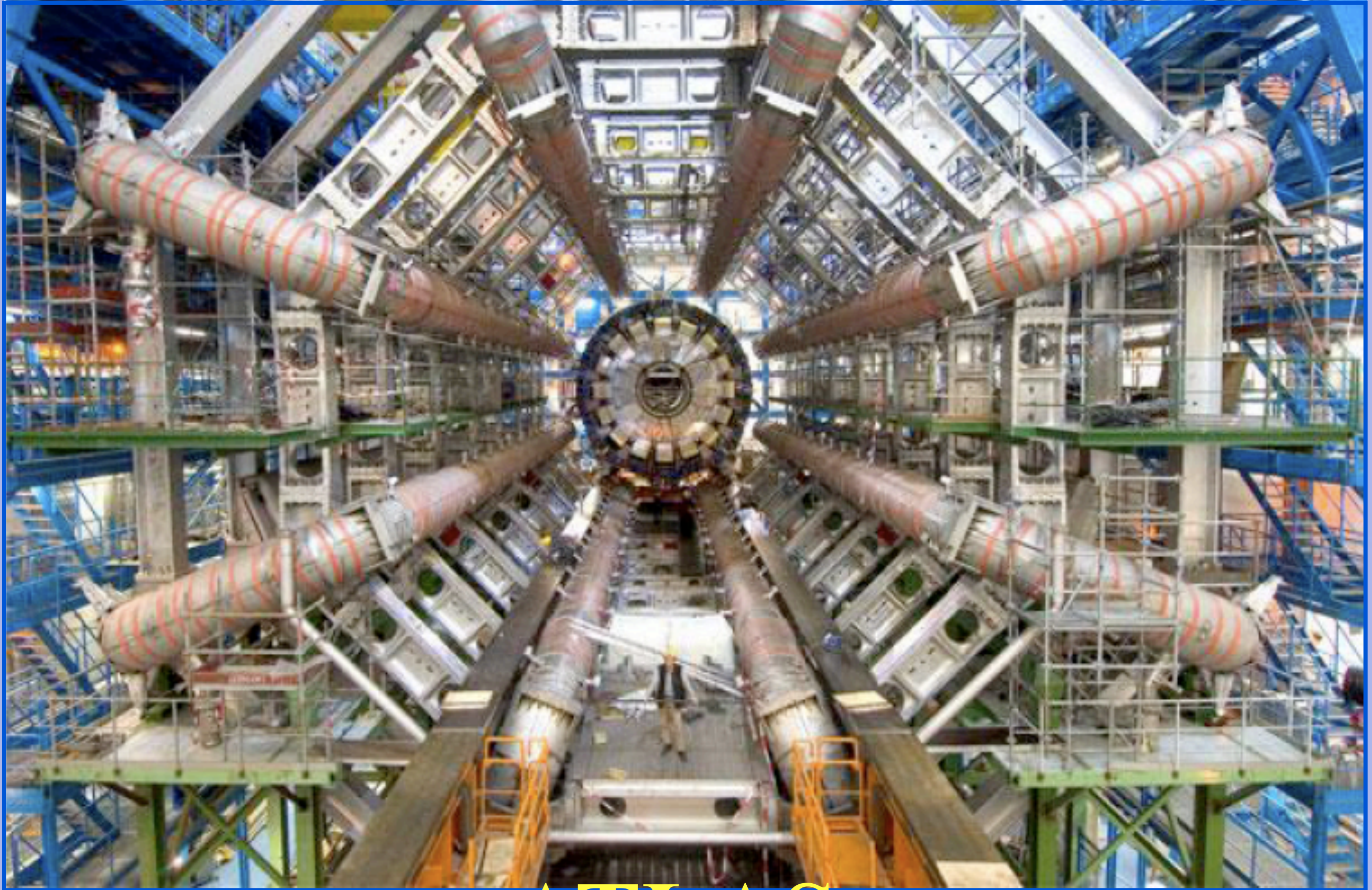
LHC



ALICE

Sonia.Natale@cern.ch

Italian Teachers Programme , CERN 10 Settembre 2012



ATLAS

Sonia.Natale@cern.ch

Italian Teachers Programme , CERN 10 Settembre 2012



CMS

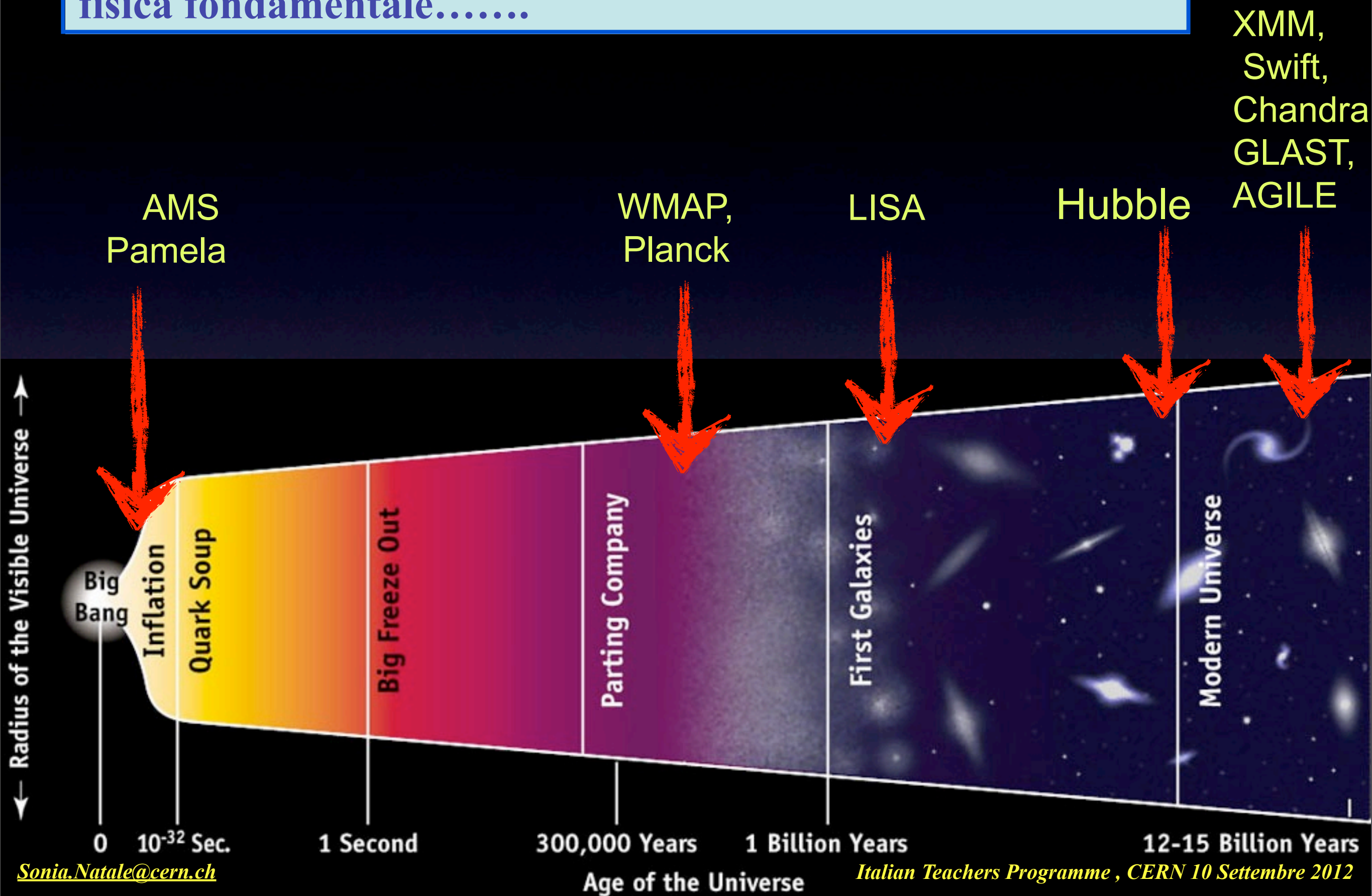


LHC-b

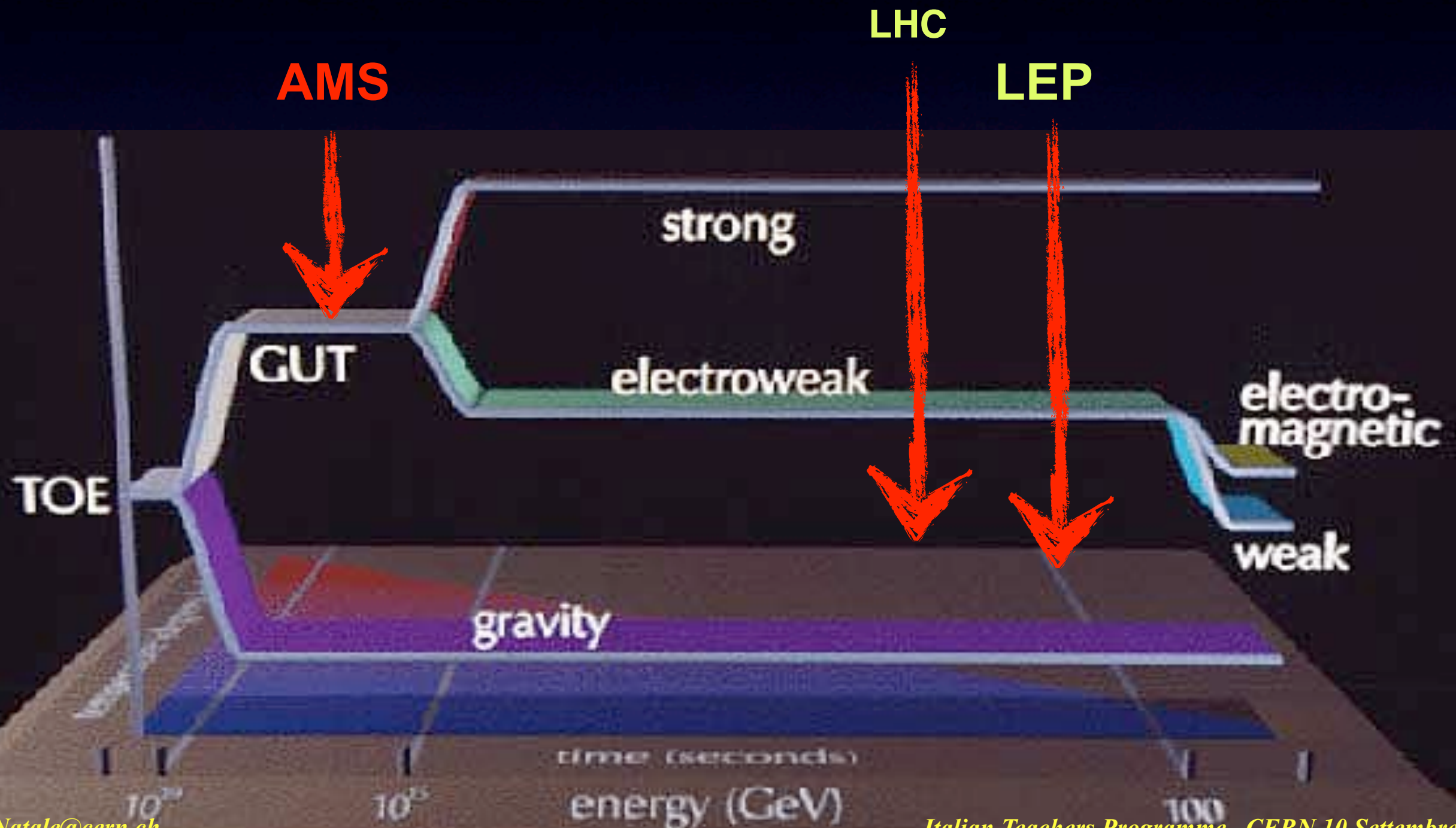


**.....andiamo ora
nello spazio!!!**

L'Universo e' il piu' avanzato laboratorio per lo studio della fisica fondamentale.....



.....poiche' fornisce energie che NON possono essere prodotte con gli attuali acceleratori.....



I raggi cosmici

I raggi cosmici, che come una misteriosa pioggia proveniente dallo spazio investono la terra, furono la prima fonte di particelle elementari ad essere studiata.

L'origine esatta dei raggi cosmica è incerta, anche se si ritiene che essi siano prodotti da esplosioni di supernovae o reazioni che avvengono nelle stelle, tali da accelerare particelle ad altissime energie e diffonderle in tutte le direzioni nello spazio.

I raggi cosmici che colpiscono lo strato esterno dell'atmosfera sono detti raggi cosmici primari e sono principalmente protoni di alta energia.

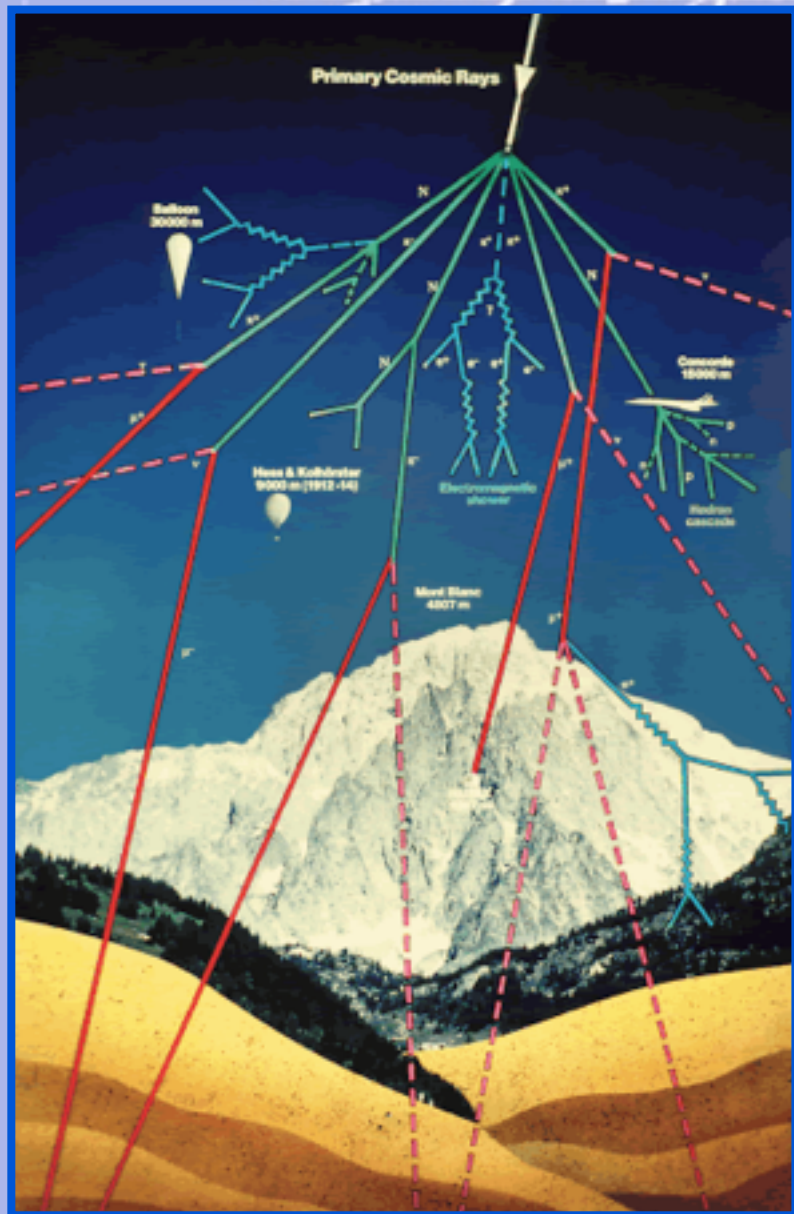
I primi TRE elementi si sono formati nel Big Bang. Tutti gli altri elementi vengono formati nelle stelle.

Nel loro rapido viaggio verso la superficie terrestre, essi collidono con gli atomi nell'aria, creando sciami di nuove particelle e di antiparticelle che costituiscono i raggi cosmici secondari.

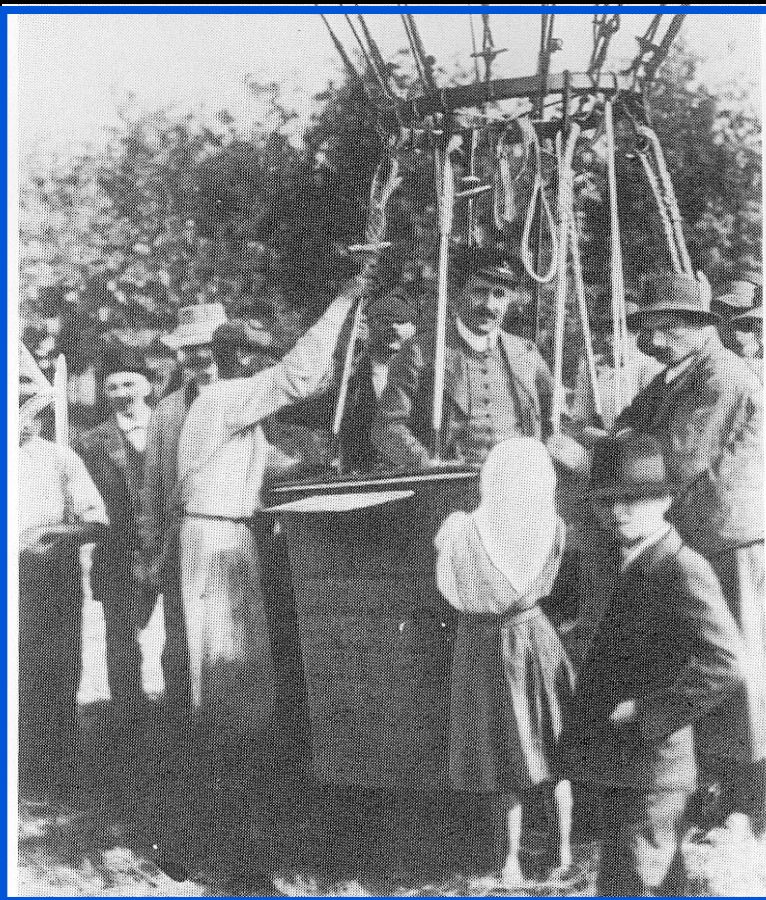
Questo fenomeno è all'origine della pioggia cosmica che investe la terra.

group	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1*	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	IXa	Xa	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	0
1	H												B	C	N	O	F	Ne
2	Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
3	Na	Mg	IIIa**	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	IXa	Xa	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	0
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
6			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
7			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

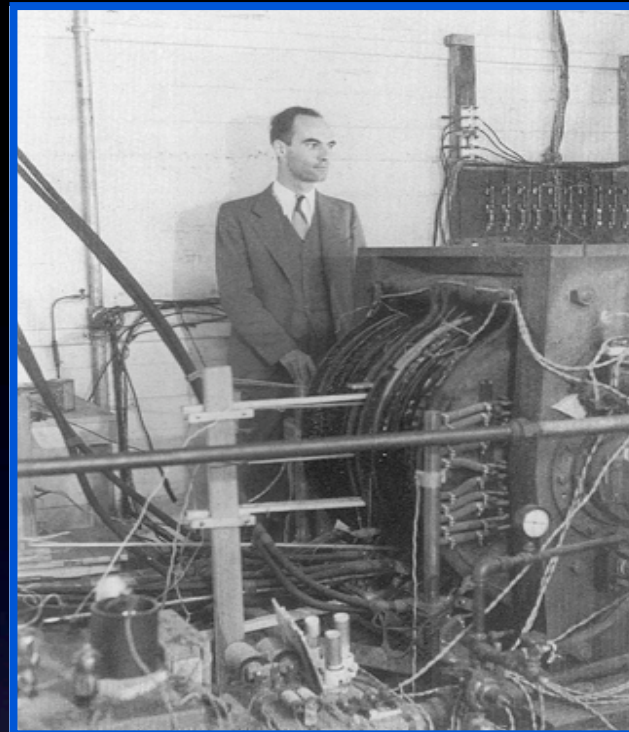
* Numbering system recommended by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)
 ** Previous IUPAC numbering system
 *** Numbering system recommended by the Chemical Abstracts Service
 **** For the names of elements 104-112, see table.
 © 2000 Encyclopædia Britannica, Inc.



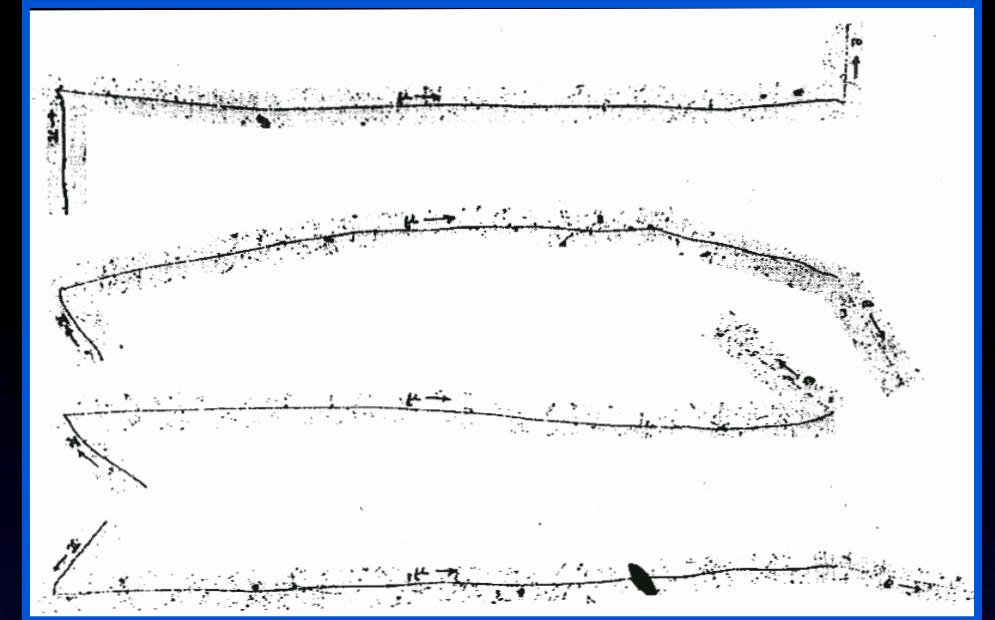
Qualche nota storica



1912: Scoperta dei Raggi Cosmici
V. Hess



1932: Scoperta del positrone
C.D. Anderson

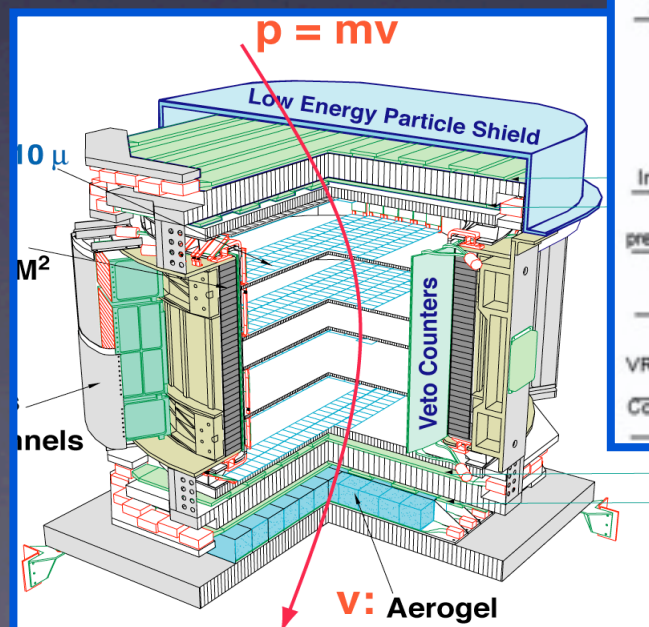


1947: Scoperta dei pioni
C. Powell

Discoveries of

- 1936: Muone (μ)
- 1938: 10^{15} eV CR
- 1949: Kaone (K)
- 1949: Lambda (Λ)
- 1952: Xi (Ξ)
- 1953: Sigma (Σ)

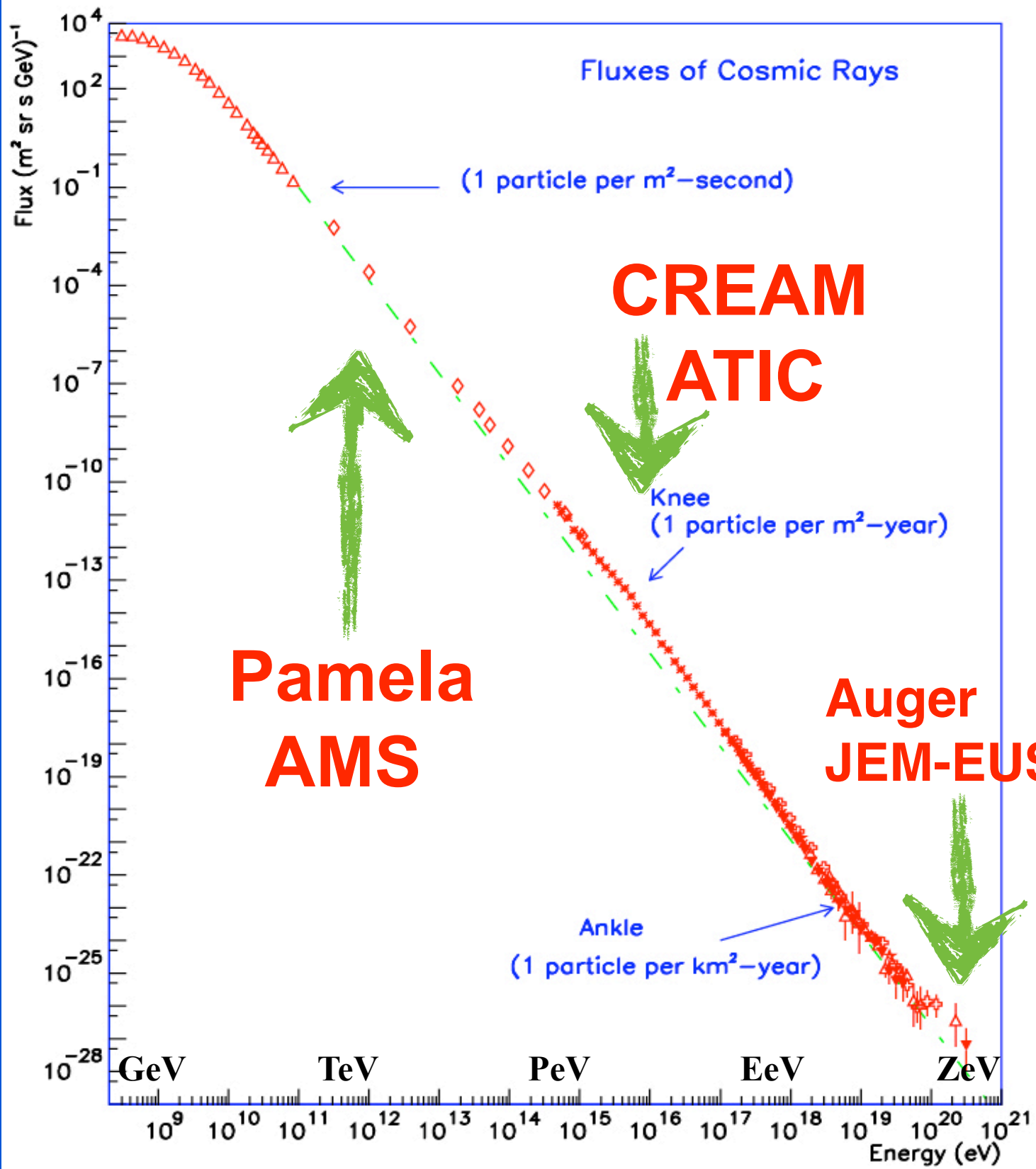
AMS 01 1998



PAMELA 2006



AMS 02 2010



Misure molto accurate dello spettro e della composizione dei raggi cosmici carichi (CR)

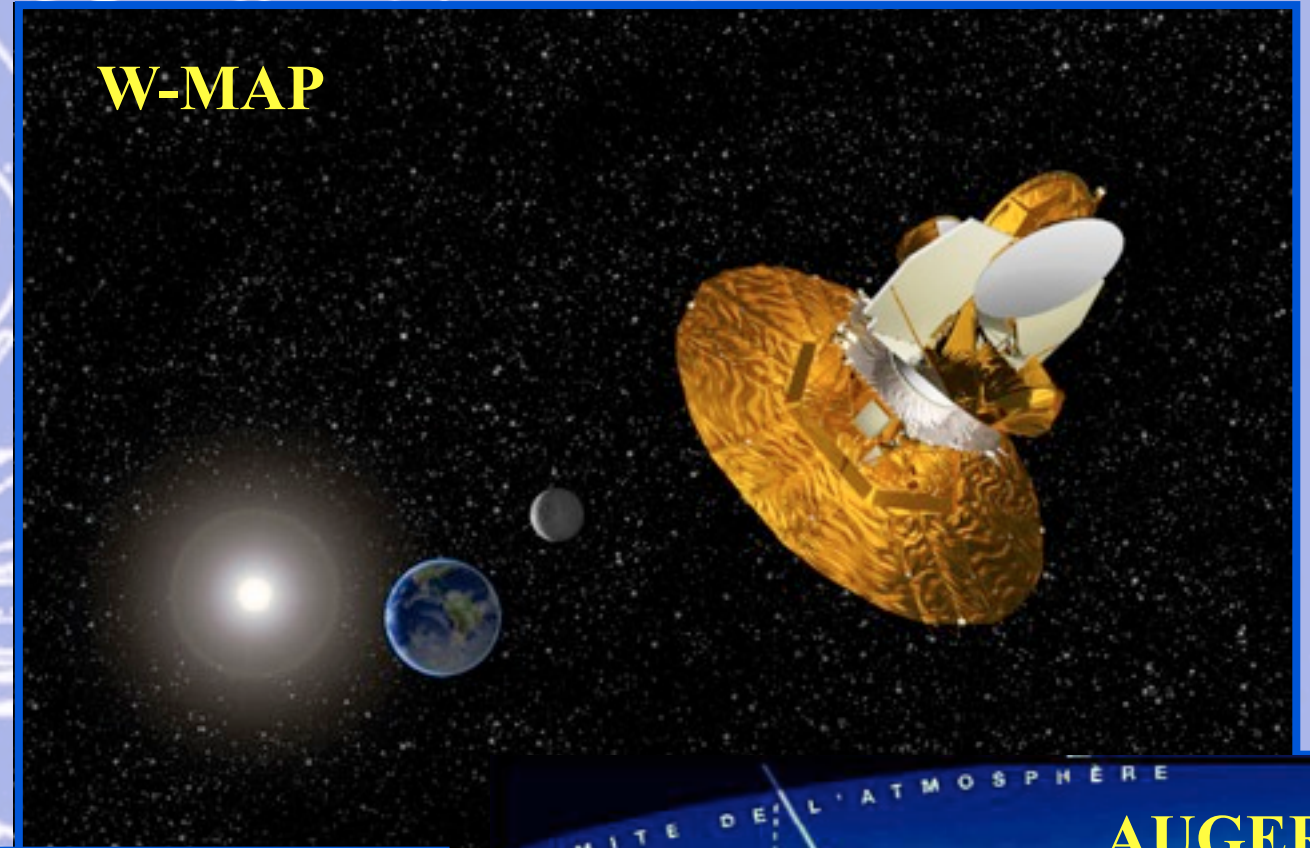
Assenza di Antimateria → CP violation, GUT
 Materia Oscura → SUSY, Axions
 Neutrini Atmosferici → massa del Neutrino

La rivelazione dei Raggi Cosmici: qualche esempio

HUBBLE



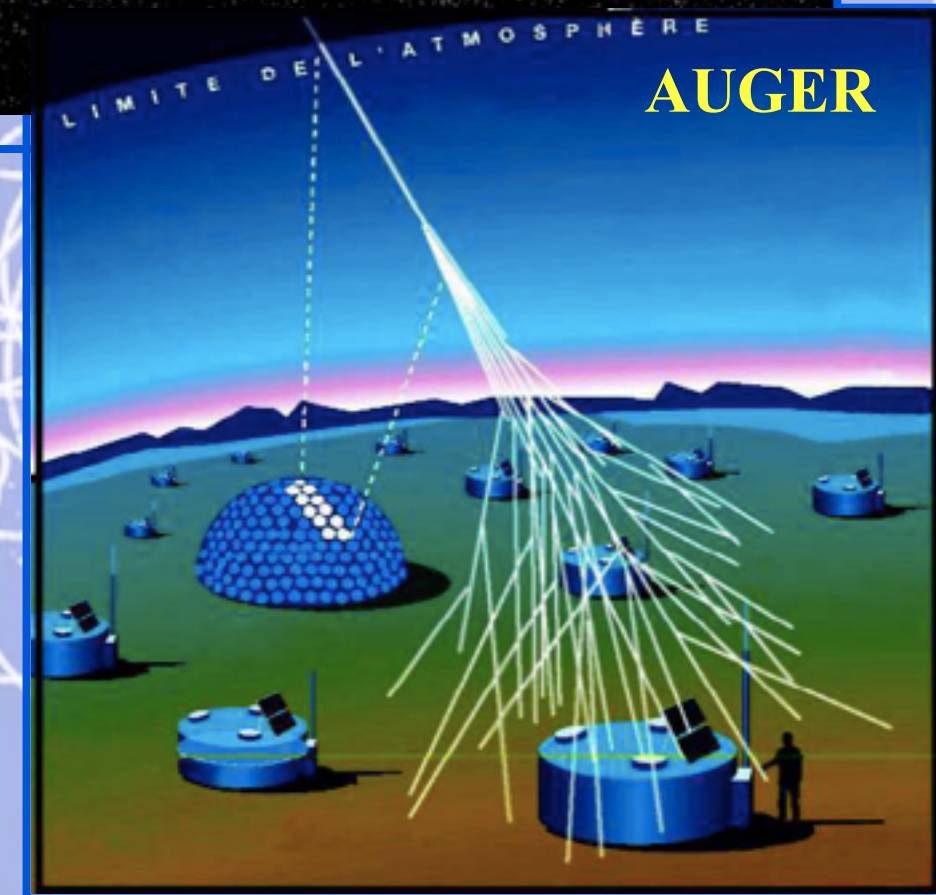
W-MAP



MAGIC



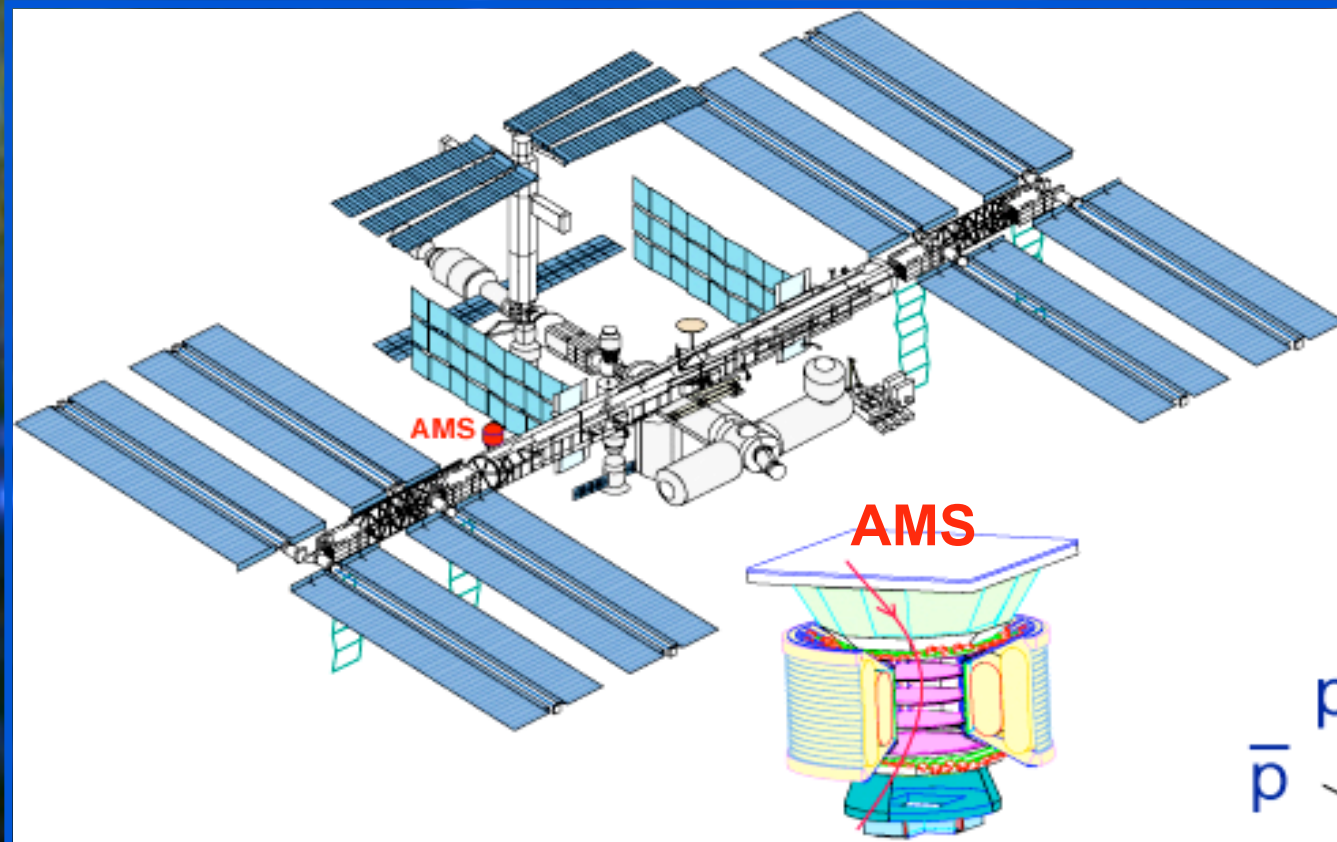
AUGER



WHIPPLE



La ricerca di base sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS)



1- Componente neutra: γ , ν

Hubble, Chandra,
GLAST, JDEM

Scoperte:

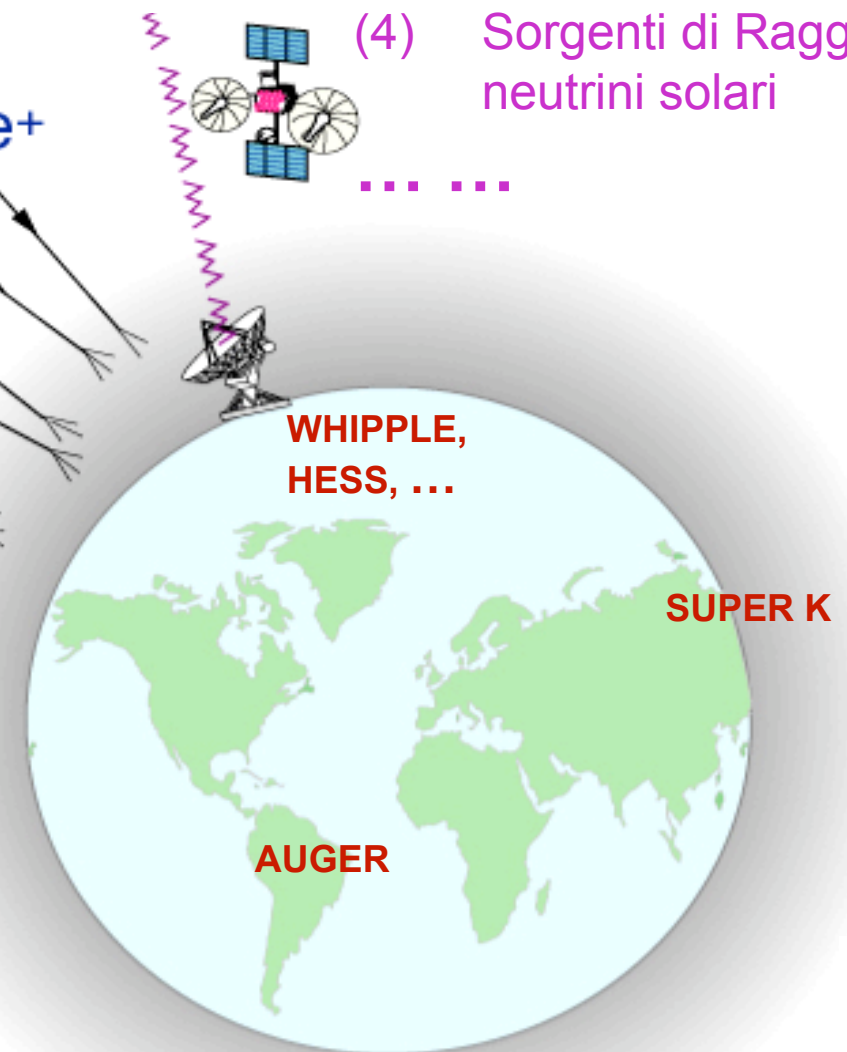
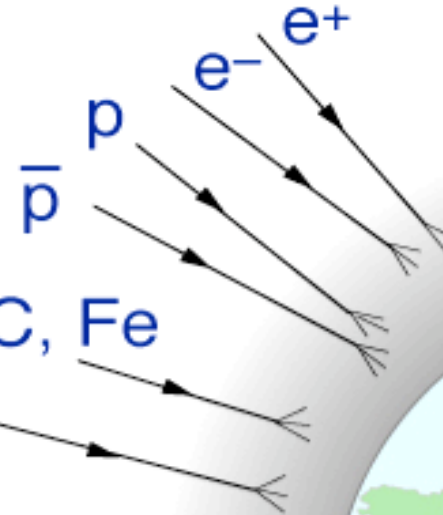
- (1) Pulsar,
- (2) Microonde,
- (3) Pulsars Binarie,
- (4) Sorgenti di Raggi X,
neutrini solari

2- Componente carica:

Le particelle di piu' alta energia mai rivelata sono prodotte nei raggi cosmici.

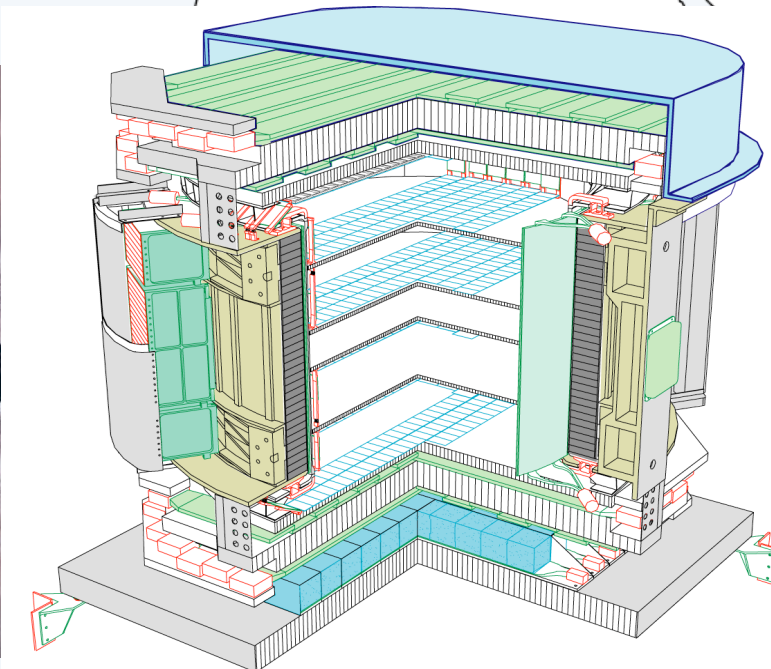
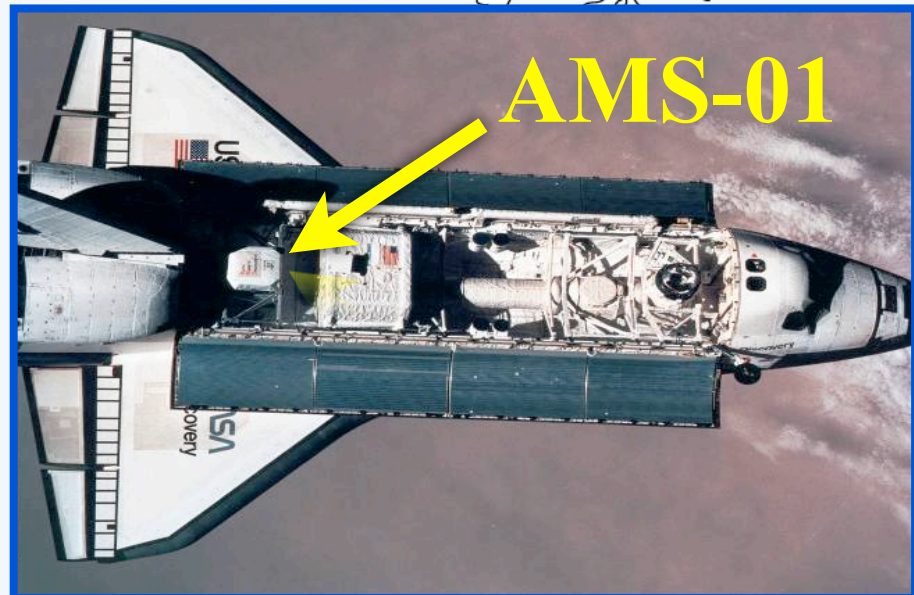
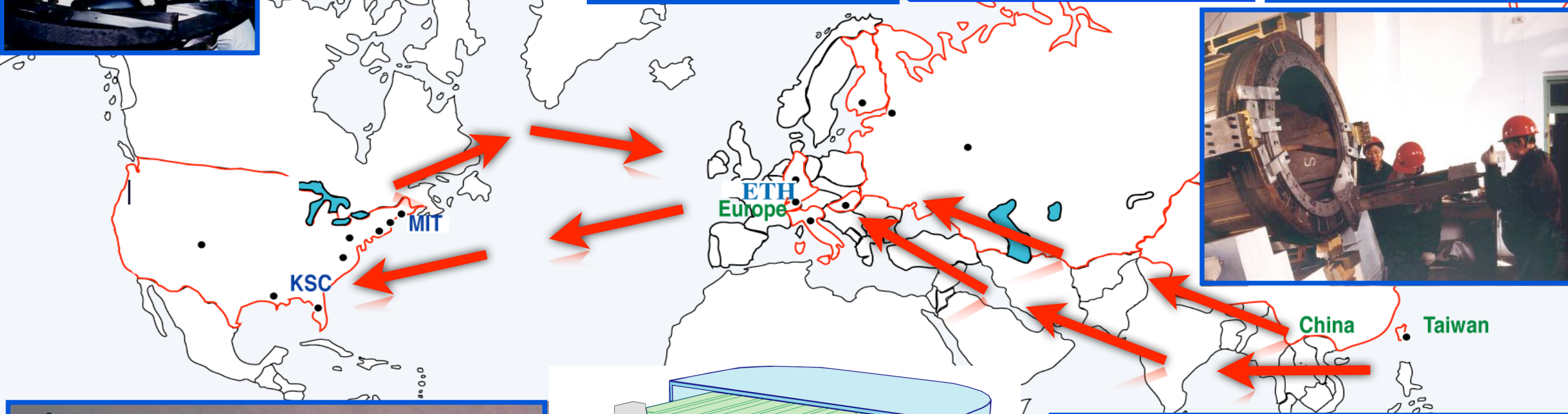
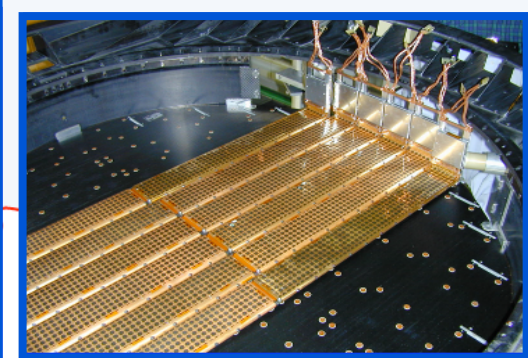
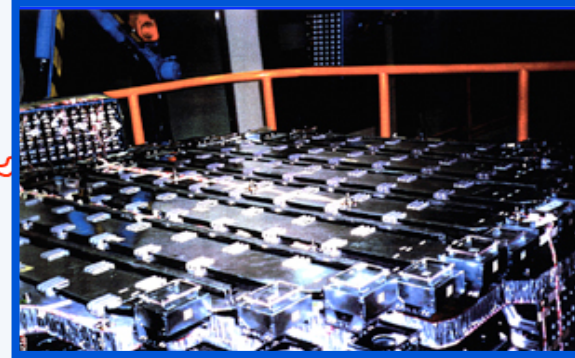
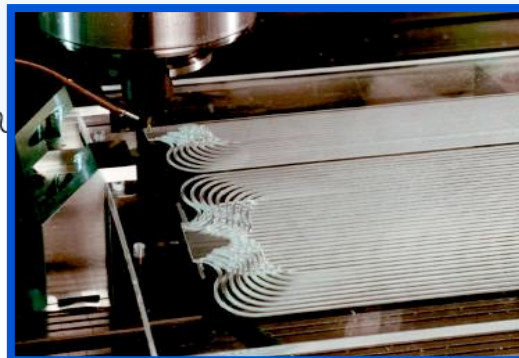
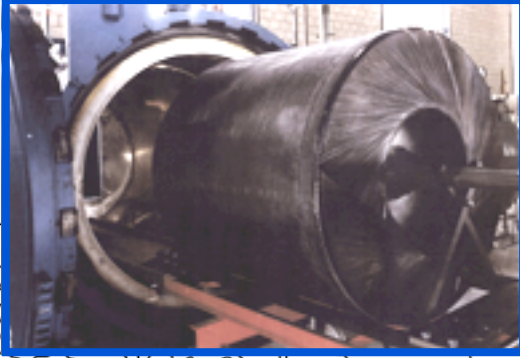
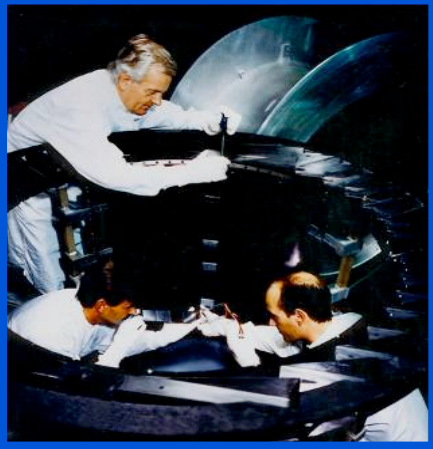
Sulla Terra viviamo sotto 100 km di aria, che Equivalgono a ~10m di acqua. Questo strato assorbe tutte le particelle cariche.

He, Be, C, Fe
 $\bar{\text{He}}$,

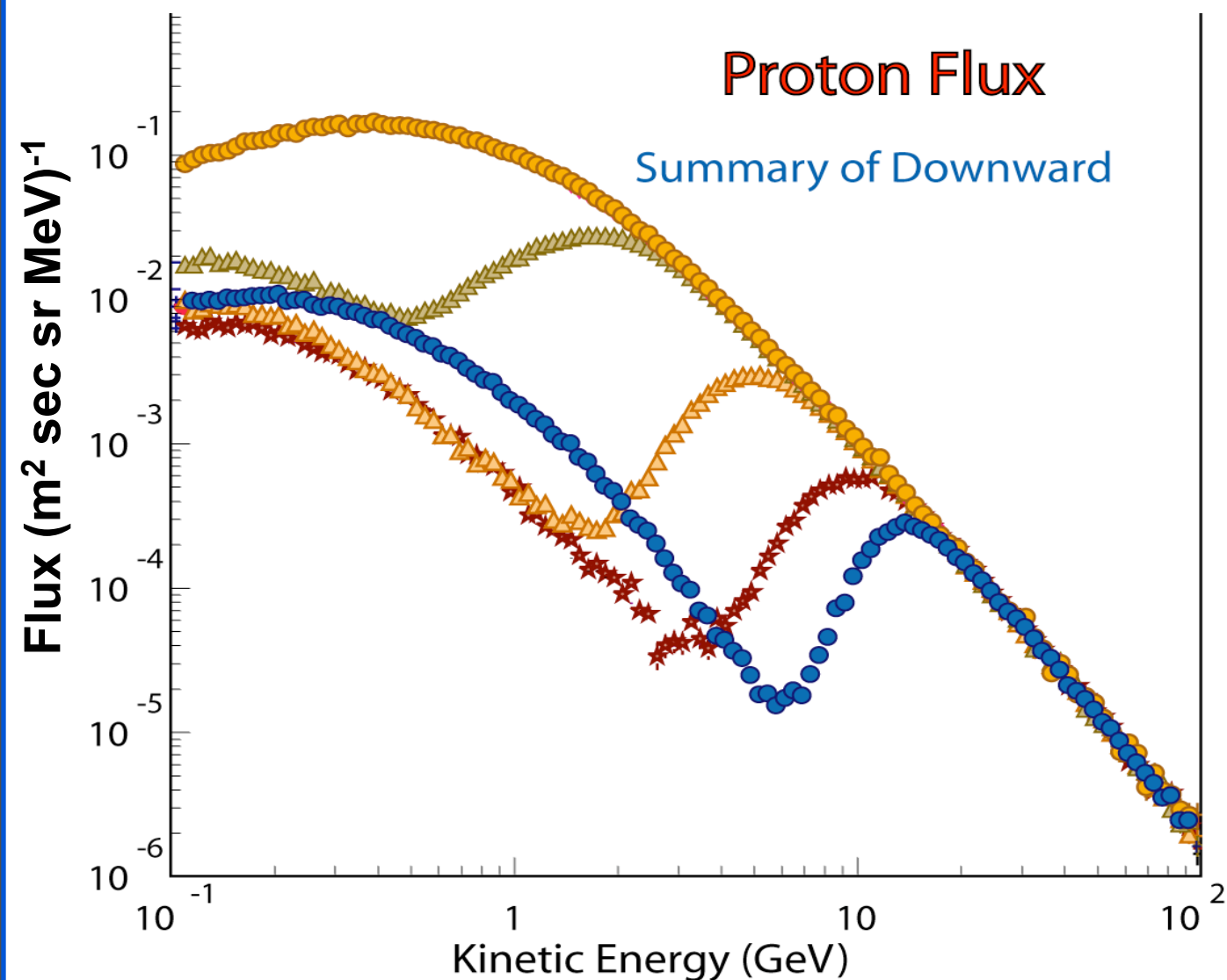
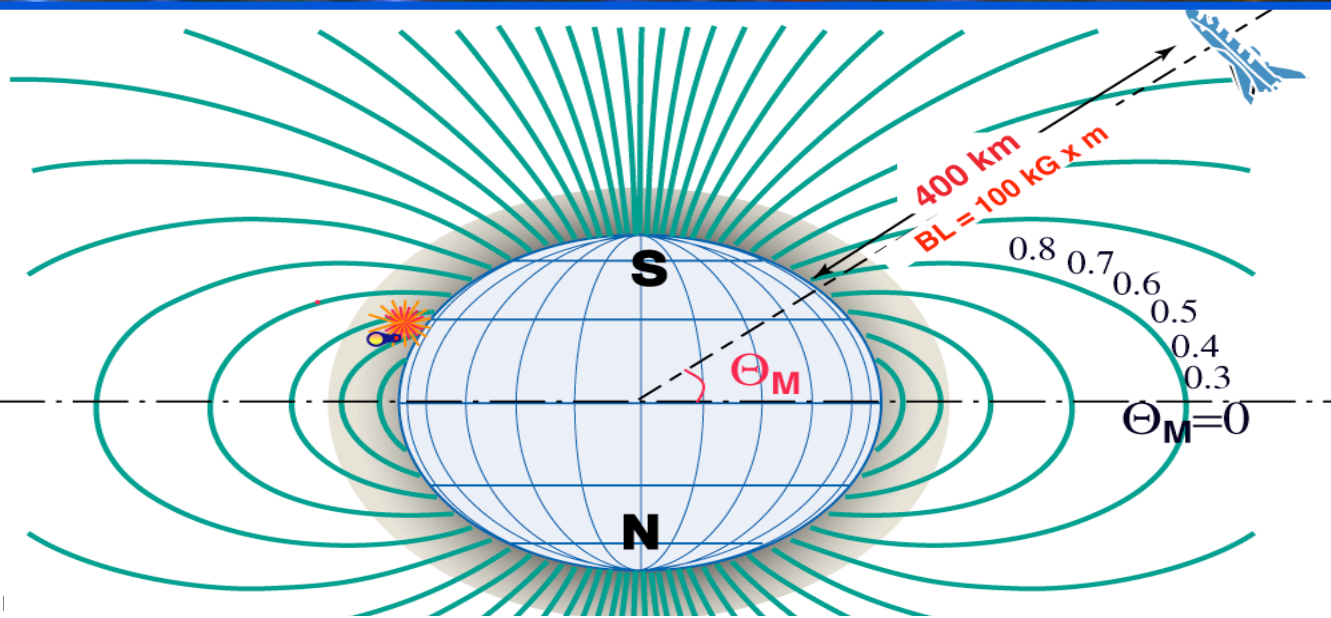


Il volo pilota sulla navetta Discovery (STS-91): AMS-01

Approvazione: Aprile 1995, Assemblaggio: Dicembre 1997, Volo: 10 giorni nel Giugno 1998

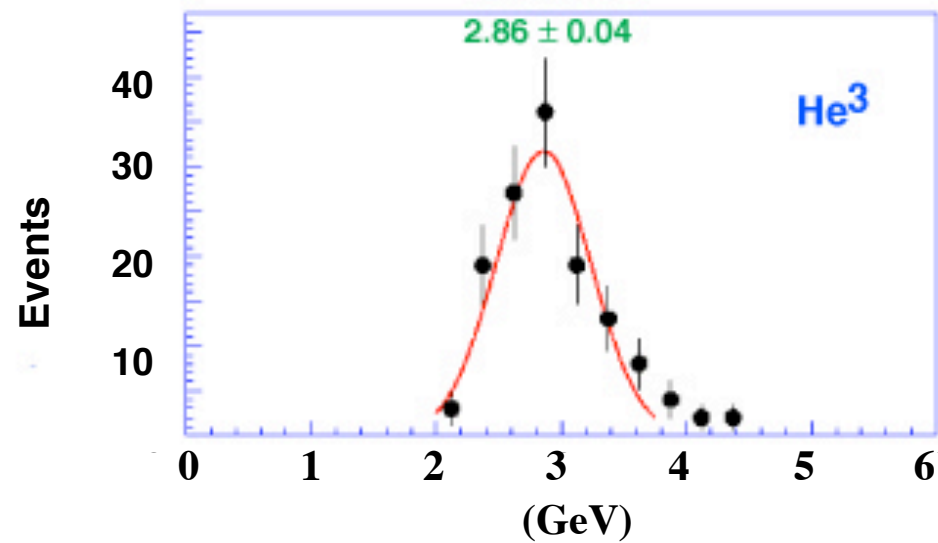
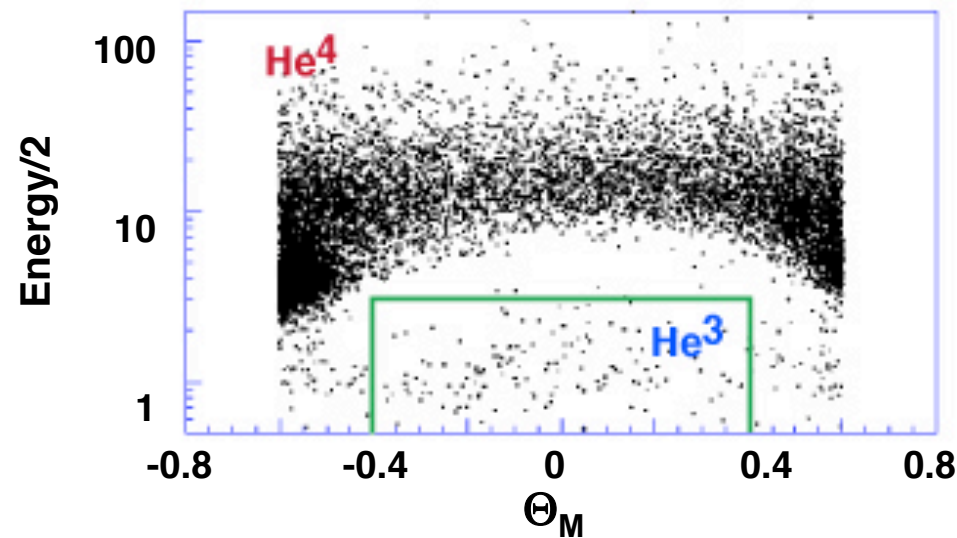
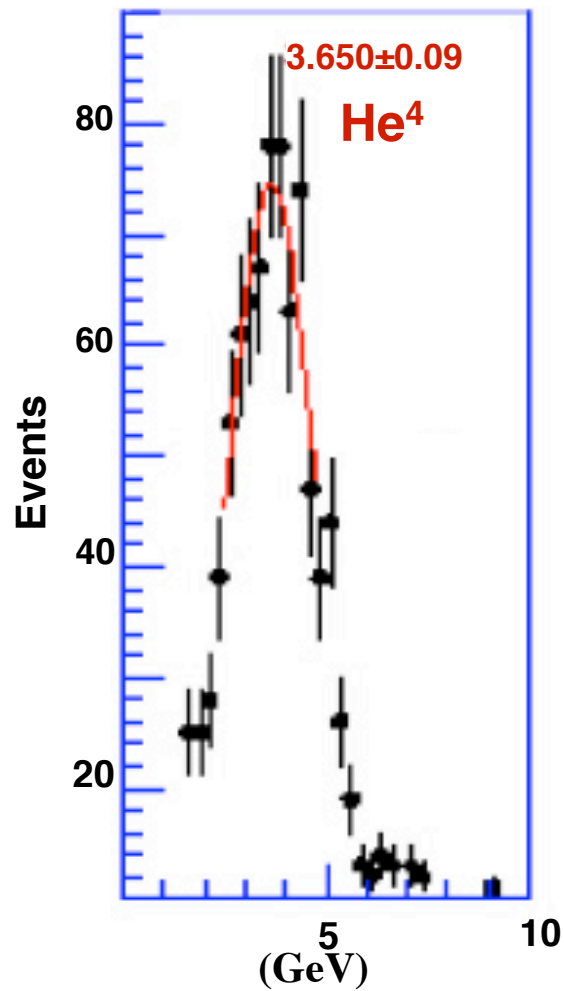
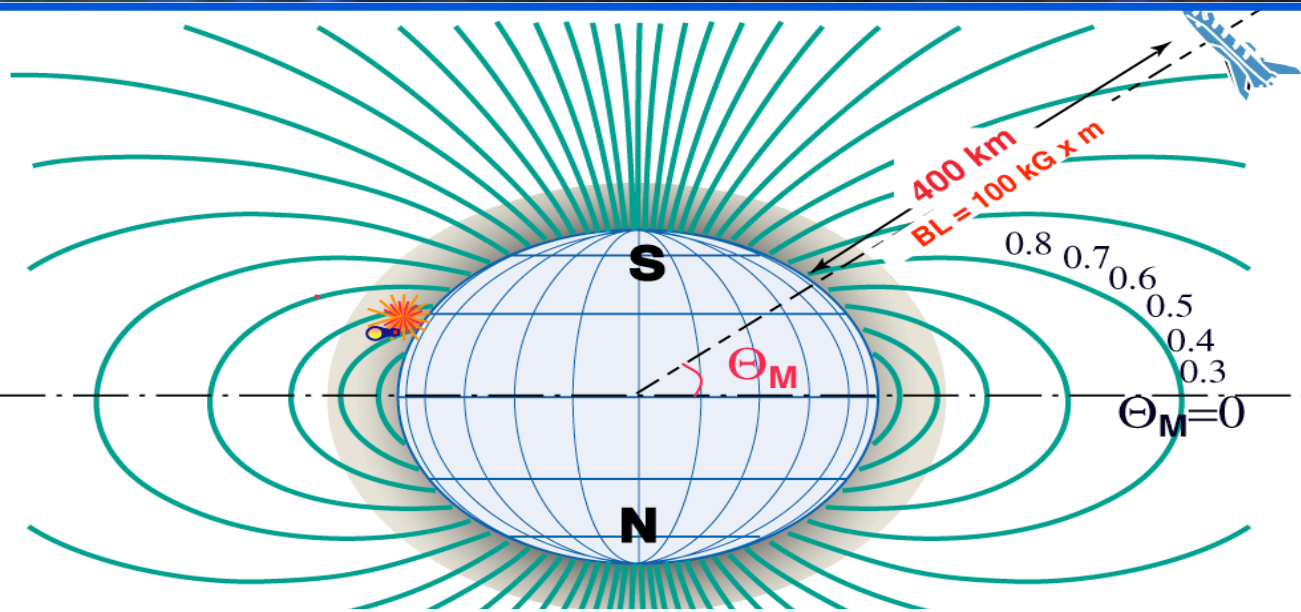


Risultati inaspettati dal primo volo



Esistenza di due
spettri
nel flusso di
protoni

Risultati inaspettati dal primo volo

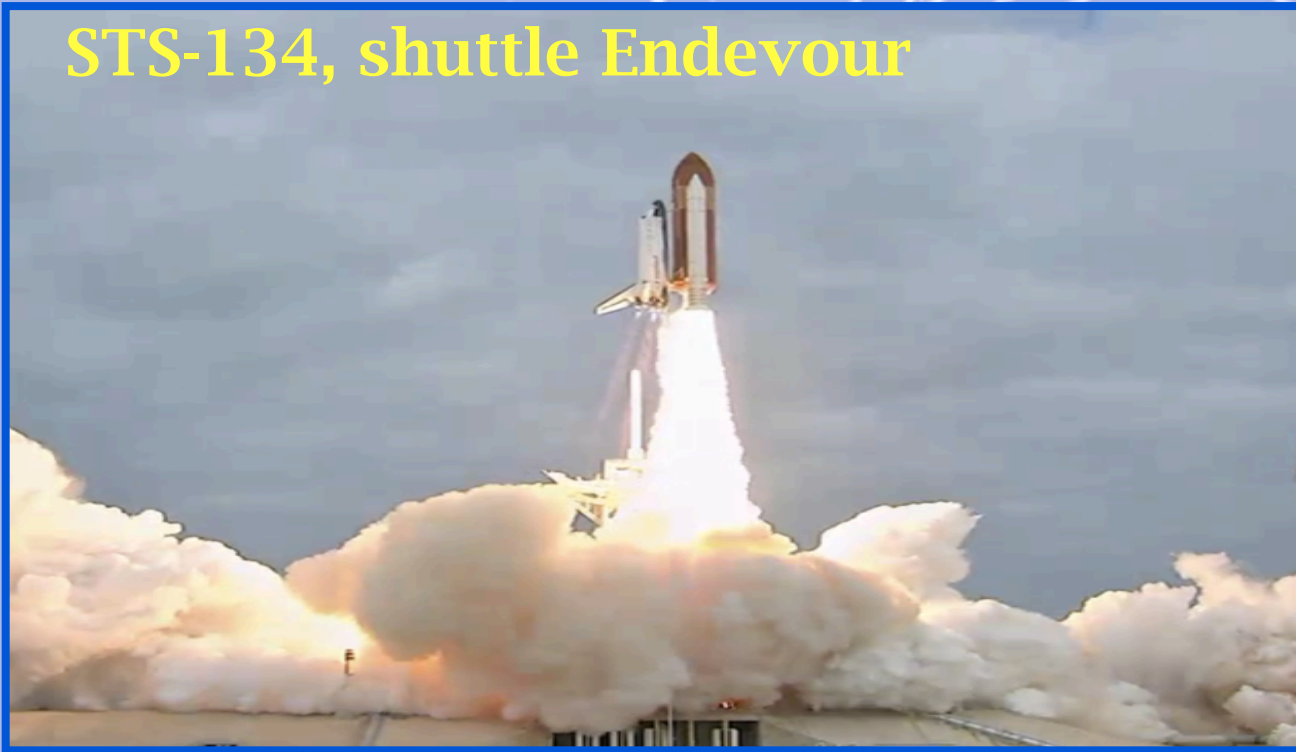


Tali risultati NON erano predetti da nessun modello di raggi cosmici

Phys. Lett. B494 (2000) 193-202

L'esperimento di AMS-02 e la Stazione Spaziale Internazionale (ISS)

STS-134, shuttle Endeavour



AMS-02 e' un esperimento di fisica delle particelle elementari collocato nello spazio anziche' in un laboratorio terrestre ma funziona esattamente come i rivelatori al CERN e questo lo rende unico nel suo genere

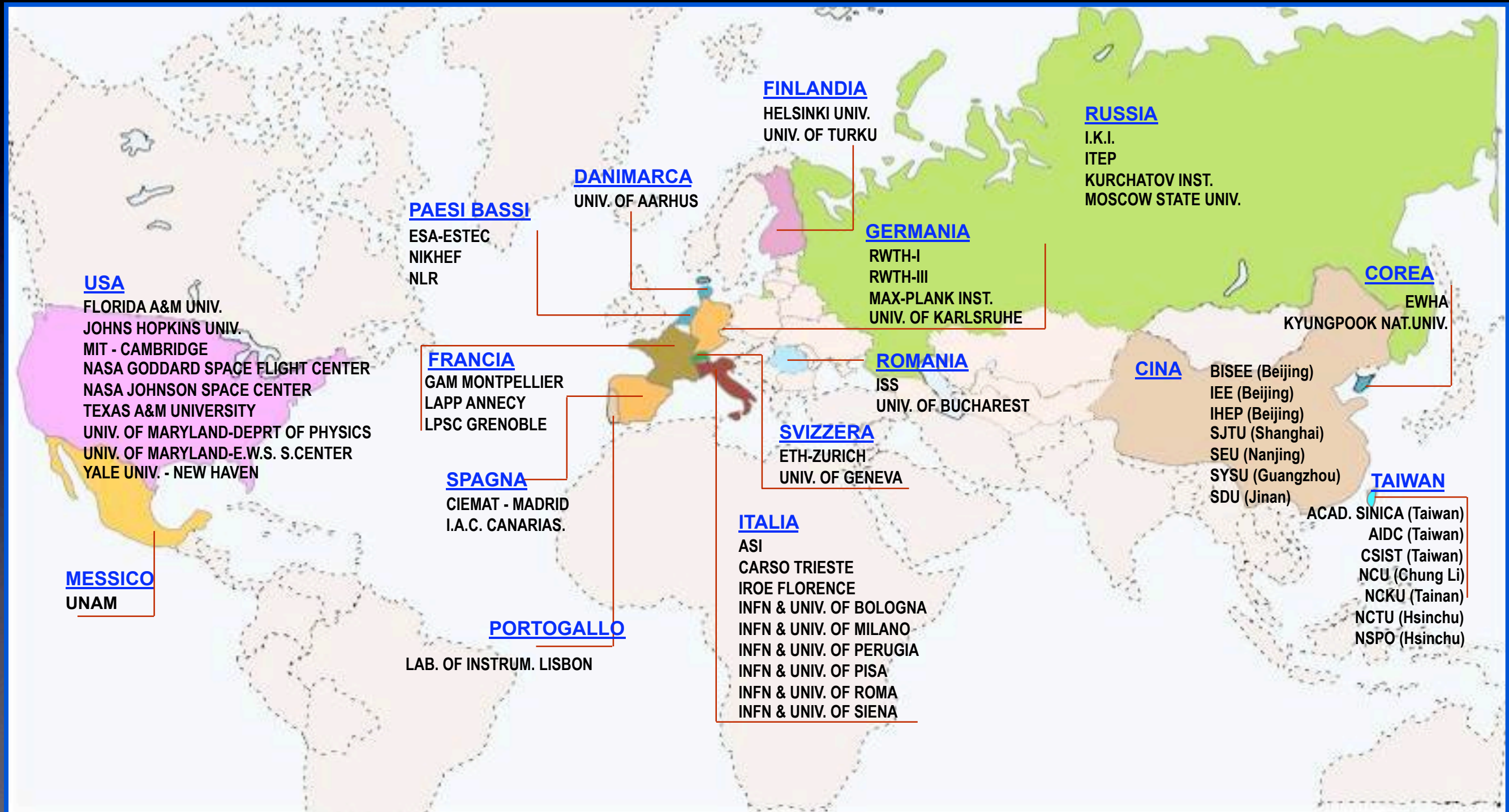
La Stazione Spaziale Internazionale



L'esperimento AMS-02



16 Nazioni, 57 Istituti, 500 Fisici



L'installazione di AMS-02 sulla ISS

Il trasporto

(16-05-2011)



L'installazione

(19-05-2011)



Il rientro al KSC

(01-06-2011)



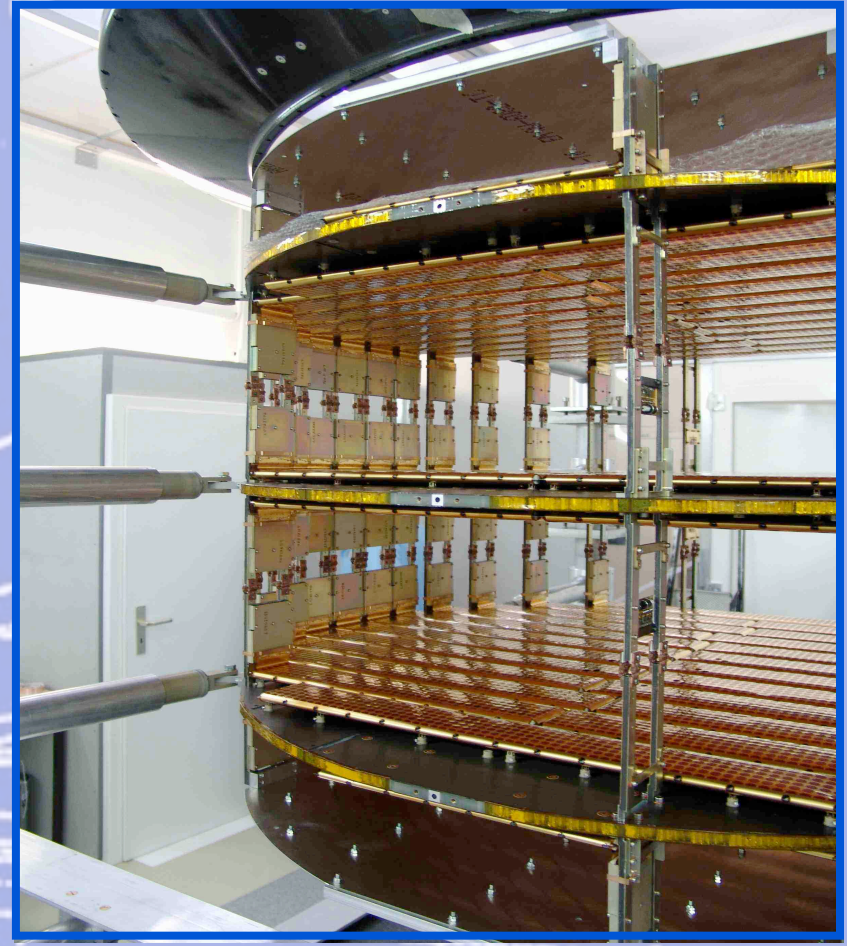
Il POCC al CERN

(POCC: Payload Operation Control Center)

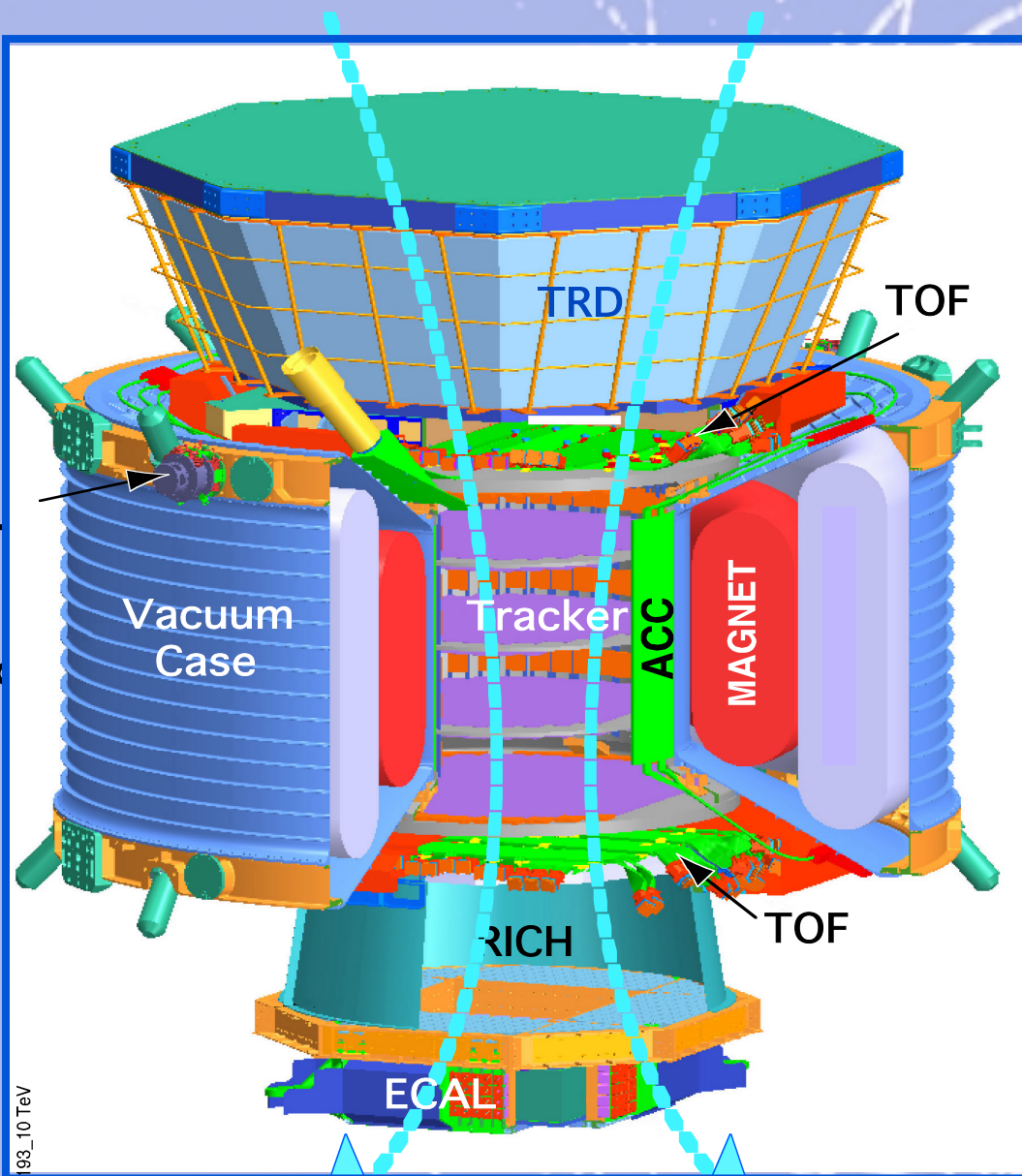


Italian Teachers Programme, CERN 10 Settembre 2012

Com'è fatto AMS-02 ?



Come e cosa misura AMS-02 ?

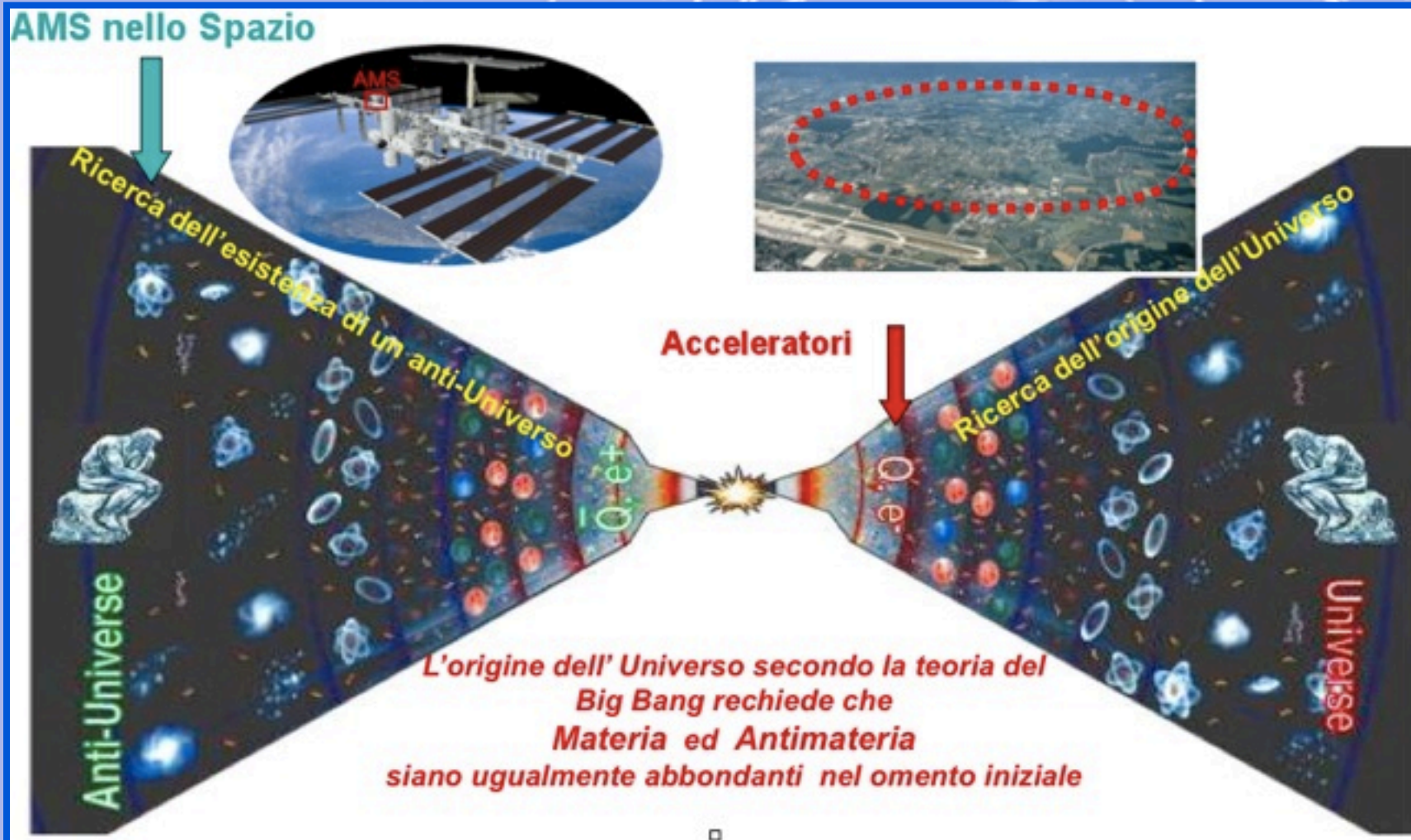


0.3 TeV	e^-	e^+	P	$\bar{\text{He}}$	γ
TRD					
TOF					
Tracker					
RICH					
Calorimeter					

Punti di forza:

- alta precisione delle tracce, dell'impulso e dell'energia delle particelle
- ampio campo visivo (cono di circa 45 gradi)
- ridondanza delle misure grazie alla presenza di diversi rivelatori di particelle
- tempo di operazione di almeno 20 anni (legato alla ISS...AMS-02 potrebbe stare di piu') quindi un'enorme quantita' di dati.

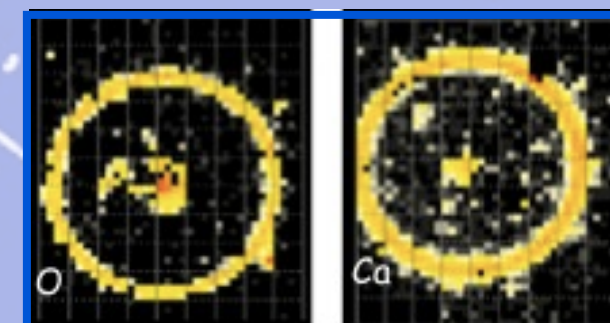
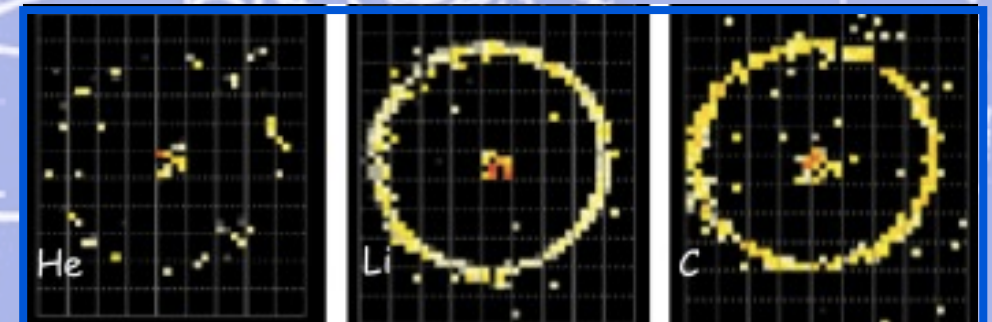
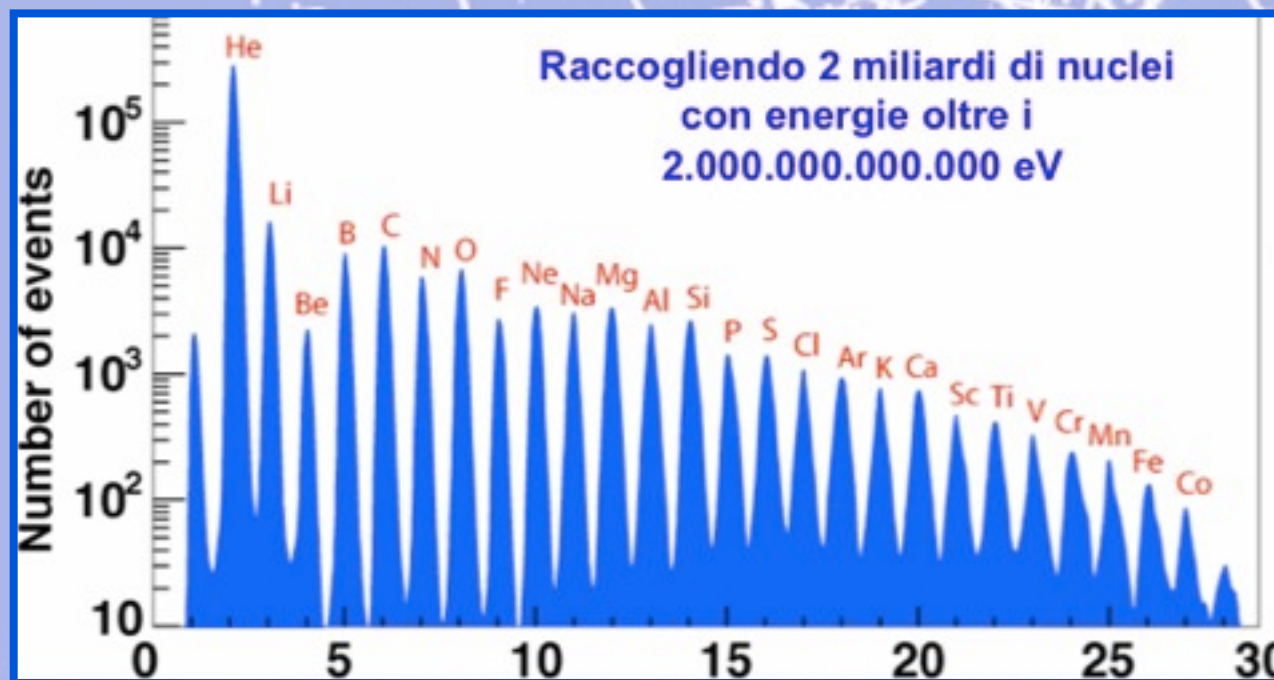
Ricerca dell'Antimateria...



La prova sperimentale indica che la nostra galassia è costituita di materia; tuttavia, ci sono più di cento milioni di galassie e la teoria del Big Bang sulle origini dell'universo richiede quantità uguali di materia e di antimateria.

Le teorie che spiegano questa apparente asimmetria violano altre misurazioni.

Se vi sia o no una quantità significativa di antimateria è una delle questioni fondamentali sull'origine e la natura dell'universo.



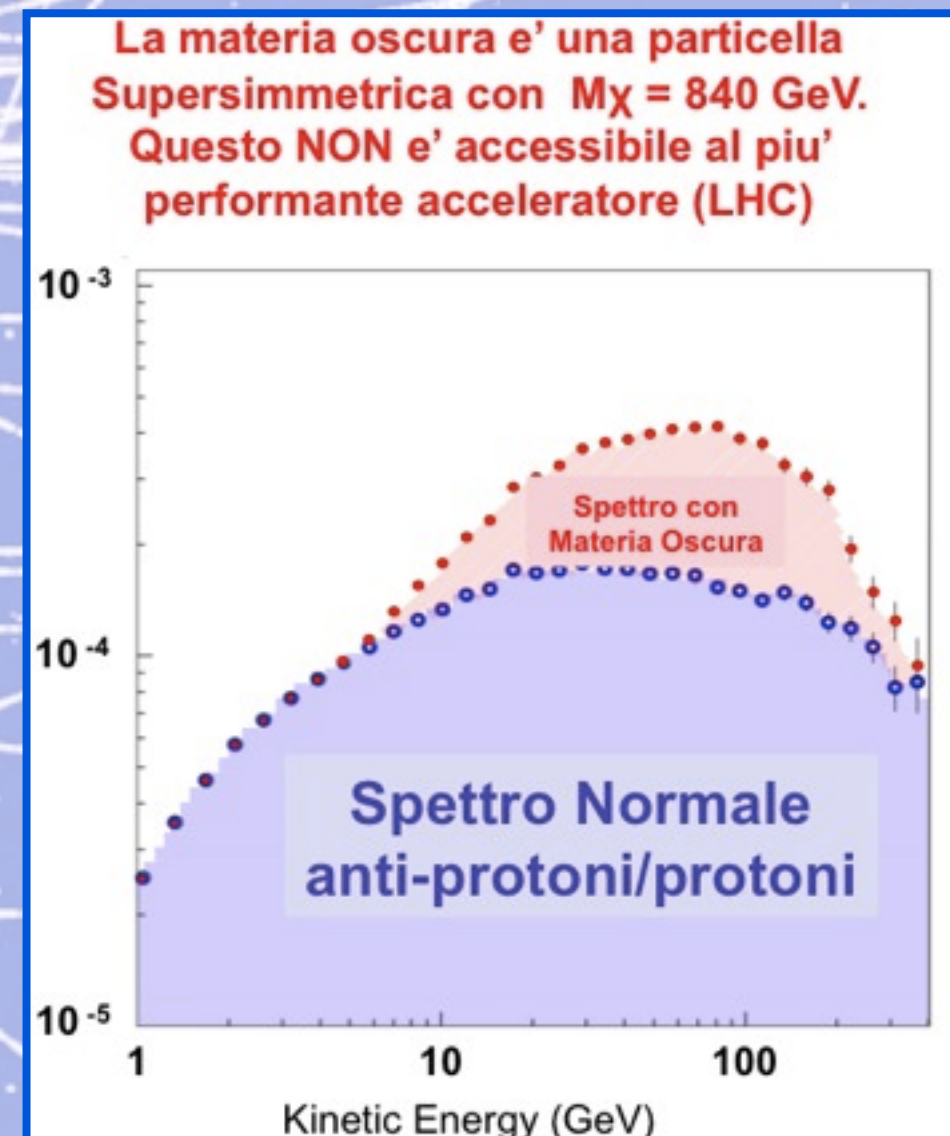
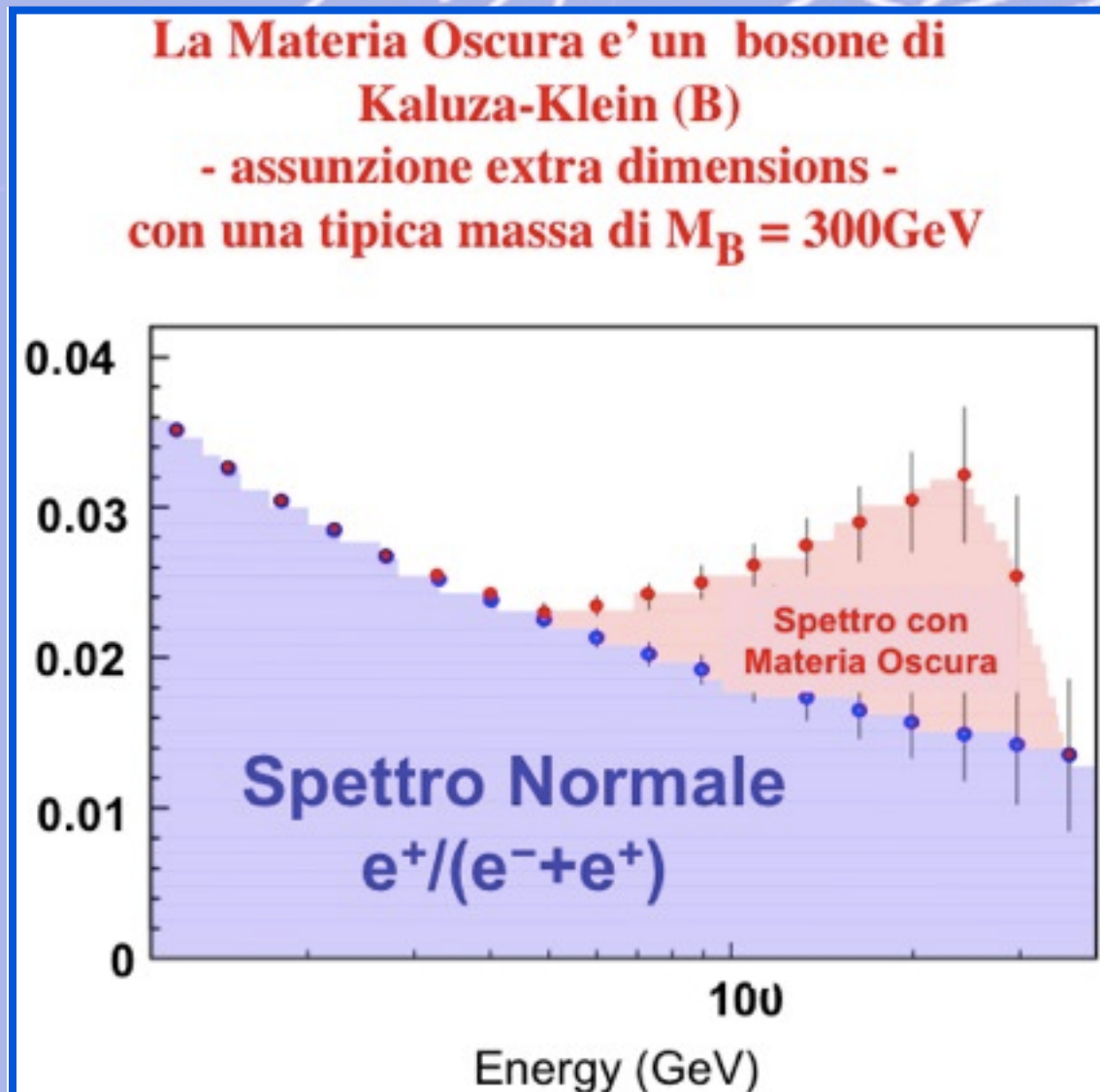
.. e non solo...

Ricerca della materia Oscura

La materia visibile nell'universo, come le stelle, arriva fino a quasi il 5% della massa totale esistente, nota tramite molte altre osservazioni effettuate. L'altro 95% è formata da [materia oscura](#), stimata intorno al 20% dell'universo, in peso, o [energia oscura](#), che ristabilirebbe l'equilibrio. L'esatta natura di entrambe è sconosciuta.

Uno dei principali candidati per la materia oscura è il [neutralino](#). Se esistono i neutralini, essi dovrebbero essere in collisione tra loro ed emettere un eccesso di particelle cariche rilevabili tramite AMS-02.

Eventuali picchi nel [positrone](#) di fondo, [anti-protone](#), o flussi di [raggi gamma](#) potrebbero segnalare la presenza di neutralini o altri candidati alla materia oscura.



Ricerca della materia Strana (Strangelet)

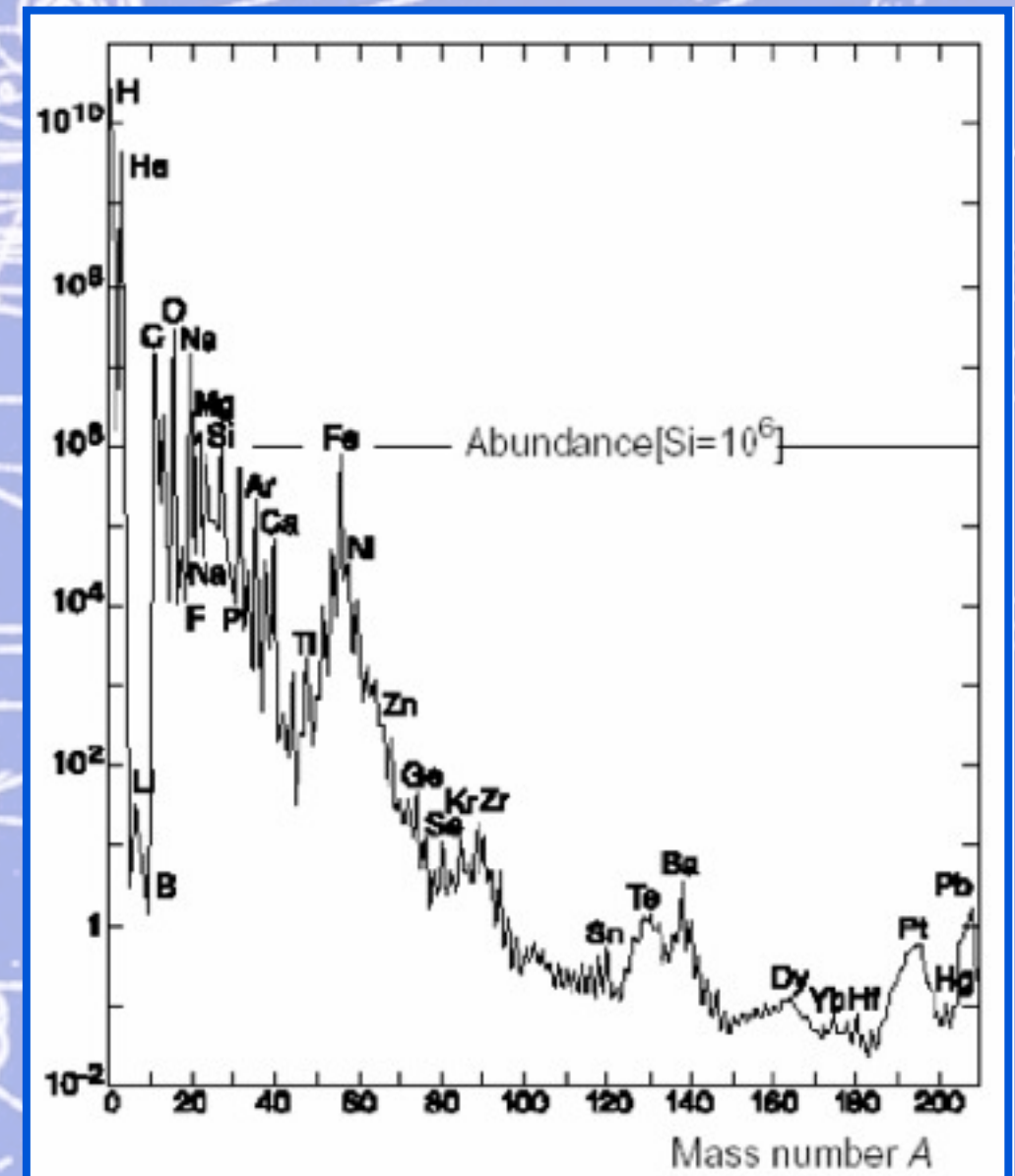
Sperimentalmente sono stati scoperti sei tipi di **quark** (up, down, strange, charmed, bottom e top), eppure tutta la materia sulla Terra è fatta di due tipi soltanto di quark (up e down).

È una questione fondamentale se vi sia materia costituita di tre quark (up, down e strange). Questa materia è nota come **strangelet**. Gli strangelet possono avere una massa estremamente grande e rapporti di carica/massa molto piccoli. Sarebbe una forma completamente nuova di materia.

AMS-02 potrebbe fornire una risposta definitiva in merito all'esistenza di questa materia straordinaria.

Studio dei raggi cosmici

Le **radiazioni cosmiche** sono un ostacolo significativo a un **volo spaziale su Marte** con equipaggio umano. Sono necessarie misurazioni scupolose sull'ambiente attraversato dai raggi cosmici onde poter pianificare adeguate contromisure. La maggior parte degli studi sui raggi cosmici sono fatti per mezzo di strumenti portati da palloni con tempi di volo misurati in giorni; questi studi hanno mostrato variazioni significative. AMS-02 sarà operativo sull'**ISS** per circa 20 anni, raccogliendo un'immensa quantità di dati accurati e permettendo così misurazioni della variazione a lungo termine del flusso dei raggi cosmici su un campo di energia esteso, per i nuclei dai **protoni** al **ferro**. Oltre alla comprensione di come proteggersi dalle radiazioni, condizione necessaria per poter effettuare **voli spaziali umani interplanetari**, questi dati consentiranno di determinare con precisione la propagazione interstellare e le origini dei raggi cosmici.





... riassumendo ...

Esempio 1: Ricerca dell'esistenza dell'Antimateria

AMS nello Spazio



Ricerca dell'esistenza di un anti-Universo

Ricerca dell'origine dell'Universo

Acceleratori

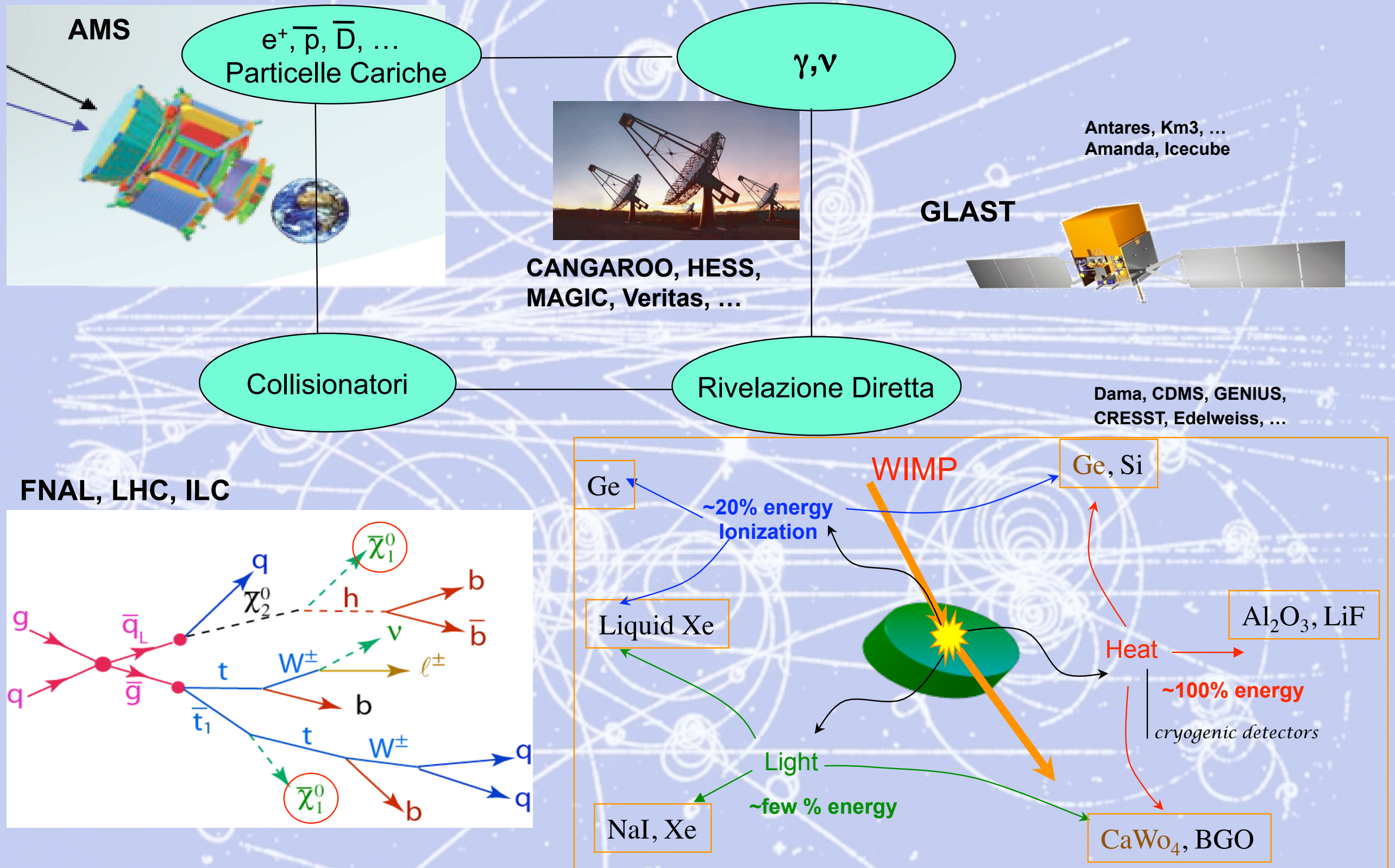


Anti-Universo

Universo

L'origine dell'Universo, secondo la teoria del Big Bang, richiede che Materia ed Antimateria siano ugualmente abbondanti nel momento iniziale

Esempio 2: Ricerca della Materia Oscura





... in conclusione:

**la Fisica delle Particelle e la Cosmologia sono
intrinsecamente ed indissolubilmente legate tra loro!**

... e perciò' ...

Esplorare l'infinitamente grande.....

*.....significa scoprire i misteri
dell'infinitamente piccolo!*





Grazie!