



Università di Bologna
Dipartimento di Astronomia
Dipartimento di Fisica

Le origini dell'Universo L'evoluzione del cosmo Le frontiere della conoscenza e della tecnologia

Prof. Antonio Zoccoli
Università di Bologna,
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Pesaro 2 Maggio 2012

Fondazione Occhialini - Scuola di Orientamento alle Facoltà Scientifiche



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.

(Galileo Galilei, *Il Saggiatore*)

OUTLINE

- Introduzione
- Un po' di storia
- Astronomia, Forze e materia
- L'evoluzione dell'Universo
- Questioni aperte
- Le ricerche al CERN di Ginevra
- Le ricadute sulla società
- Conclusioni

INTRODUZIONE

L'uomo si è sempre interrogato

➔ **DI CHE COSA E' FATTO CIO' CHE CI CIRCONDA?**

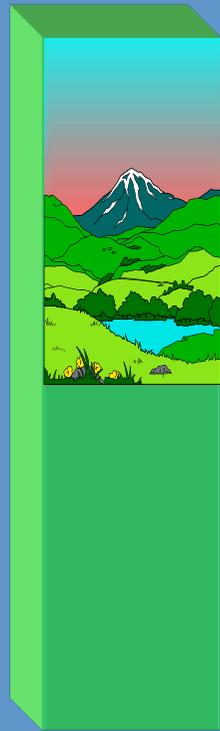
La stessa domanda ammette risposte diverse a seconda di chi
Risponde:

- **Biologo: organismi viventi**
- **Chimico: molecole fatte di atomi**
- **Fisico: atomi, protoni, neutroni,..**

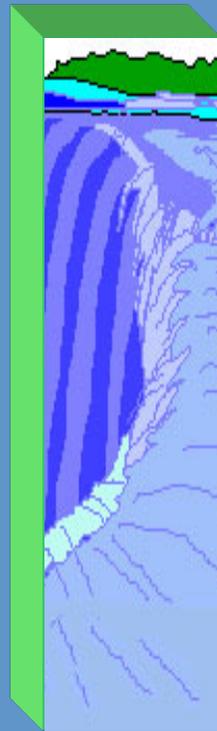
Il Modello Antico

Costituenti materiali

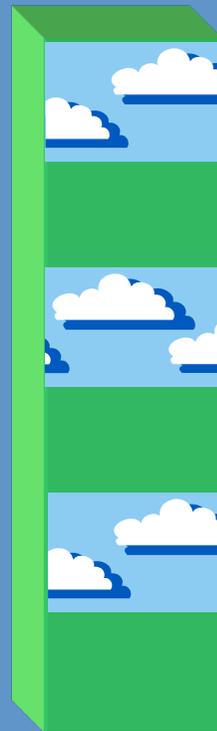
Forze



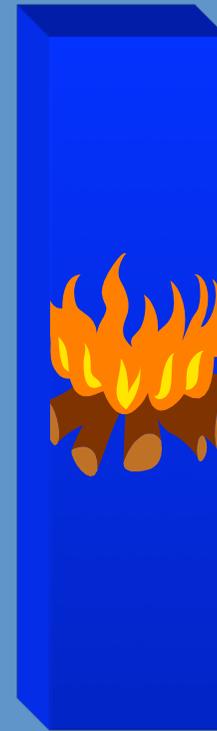
Terra



Acqua



Aria



Fuoco

... Con un po' di studio....



The Periodic Table

1	1 H											13	14	15	16	17	2	18 He	
		Group																	
		Atomic number																	
		Chemical symbol																	
		Period																	
1	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
2	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
3	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
4	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
5	55 Cs	56 Ba	57 La	58 to 71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
6	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 to 103	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une									
7																			

KEY OF ELEMENT TYPES									
Alkali Metals	Poor Metals								
Alkaline Earth Metals	Semimetals								
Transition Metals	Nonmetals								
Lanthanides (Rare Earths)	Noble Gases								
Actinides									

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

	Atomic Number	Chemical Name	Relative Atomic Mass																																				
1.0	1	Hydrogen	1.0	4.0	2	Helium	4.0	6.9	3	lithium	6.9	9.0	4	Beryllium	9.0	10.8	5	Boron	10.8	12.0	6	Carbon	12.0	14.0	7	Nitrogen	14.0	16.0	8	Oxygen	16.0	19.0	9	Fluorine	19.0	20.2	10	Neon	20.2
23.0	11	Sodium	23.0	24.3	12	Magnesium	24.3	27.0	13	Aluminium	27.0	28.1	14	Silicon	28.1	31.0	15	Phosphorus	31.0	32.1	16	Sulphur	32.1	35.5	17	Chlorine	35.5	40.0	18	Argon	40.0	39.1	19	Potassium	39.1	40.1	20	Calcium	40.1
45.0	21	Scandium	45.0	47.9	22	Titanium	47.9	50.9	23	Vanadium	50.9	52.0	24	Chromium	52.0	54.9	25	Manganese	54.9	55.9	26	Iron	55.9	58.9	27	Cobalt	58.9	58.7	28	Nickel	58.7	63.5	29	Copper	63.5	65.4	30	Zinc	65.4
69.7	31	Gallium	69.7	72.6	32	Germanium	72.6	74.9	33	Arsenic	74.9	79.0	34	Selenium	79.0	79.9	35	Bromine	79.9	83.8	36	Krypton	83.8	85.5	37	Rubidium	85.5	87.6	38	Strontium	87.6	88.9	39	Yttrium	88.9	91.2	40	Zirconium	91.2
92.9	41	Niobium	92.9	95.9	42	Molybdenum	95.9	99.0	43	Technetium	99.0	101.0	44	Ruthenium	101.0	102.9	45	Rhodium	102.9	106.4	46	Palladium	106.4	107.9	47	Silver	107.9	112.4	48	Cadmium	112.4	114.8	49	Indium	114.8	118.7	50	Tin	118.7
121.8	51	Antimony	121.8	127.6	52	Tellurium	127.6	126.9	53	Iodine	126.9	131.3	54	Xenon	131.3	132.9	55	Caesium	132.9	137.4	56	Barium	137.4	138.9	57	Lanthanum	138.9	140.1	58	Cerium	140.1	140.3	59	Praseodymium	140.3	144.2	60	Neodymium	144.2
147.0	61	Promethium	147.0	150.4	62	Samarium	150.4	152.0	63	Europium	152.0	157.3	64	Gadolinium	157.3	158.9	65	Terbium	158.9	162.5	66	Dysprosium	162.5	164.9	67	Holmium	164.9	167.3	68	Erbium	167.3	168.9	69	Thulium	168.9	173.0	70	Ytterbium	173.0
175.0	71	Lutetium	175.0	178.5	72	Hafnium	178.5	181.0	73	Tantalum	181.0	183.9	74	Tungsten	183.9	186.2	75	Rhenium	186.2	190.2	76	Osmium	190.2	192.2	77	Iridium	192.2	195.1	78	Platinum	195.1	197.0	79	Gold	197.0	200.6	80	Mercury	200.6
204.4	81	Thallium	204.4	207.2	82	Lead	207.2	209.0	83	Bismuth	209.0	210.0	84	Polonium	210.0	210.8	85	Astatine	210.8	222.0	86	Radon	222.0	223.0	87	Francium	223.0	226.0	88	Radium	226.0	227.0	89	Actinium	227.0	232.0	90	Thorium	232.0
231.0	91	Protactinium	231.0	238.0	92	Uranium	238.0	237.0	93	Neptunium	237.0	242.0	94	Plutonium	242.0	243.0	95	Americium	243.0	247.0	96	Curium	247.0	247.0	97	Berkelium	247.0	251.0	98	Californium	251.0	254.0	99	Einsteinium	254.0	253.0	100	Fermium	253.0
256.0	101	Mendelevium	256.0	254.0	102	Nobelium	254.0	257.0	103	Lawrencium	257.0	261.0	104	Unnilquadium	261.0	262.0	105	Unnilpentium	262.0	263.0	106	Unnilhexium	263.0	262.0	107	Unnilseptium	262.0	265.0	108	Unniloctium	265.0	266.0	109	Unnilennium	266.0				

In realtà sappiamo molte più cose
che abbiamo apprese negli ultimi secoli !!

Ma cosa sappiamo ?

Come siamo arrivati a possedere queste
conoscenze?

Soprattutto cosa NON sappiamo ?

Un po' di storia

L'uomo e l'Universo

ASTRI identificati come *DEI* che guidano il destino umano

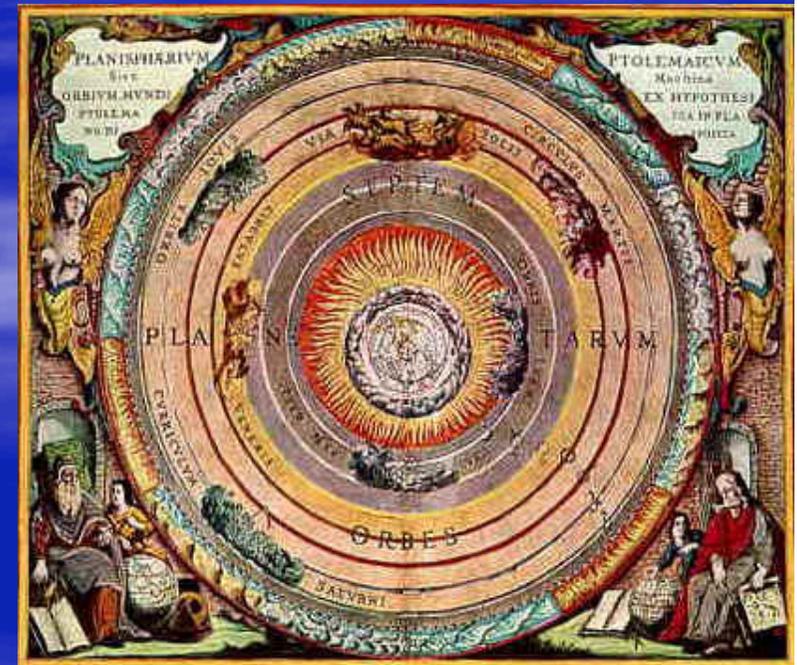
GENESI → descrizione cristiana della creazione

ARISTOTELE (300 AC) teorizzò *Universo Geocentrico*
→ Terra e uomo al centro e i corpi celesti ruotano attorno



Encarta Enciclopedia, Corbis/Gianni Dagli Orti

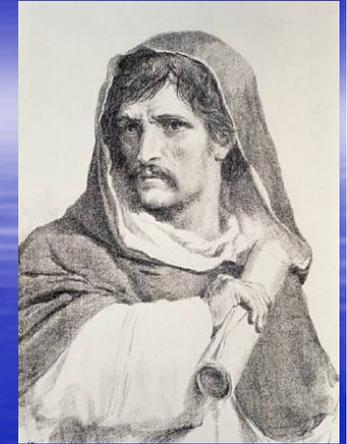
TOLOMEO (200 DC) conferma
teoria geocentrica e descrive il
moto dei pianeti



L'uomo e l'Universo

1500 si comincia a criticare sistema geocentrico

1550-1600 GIORDANO BRUNO → Universo infinito e privo di Centro → fu messo al rogo



1514 un anonimo (Nicolò Copernico) propose sistema eliocentrico, sostenuto poi da G. Galilei e da Keplero (problemi con la Chiesa) → Introduzione metodo scientifico

1687 Newton pubblicò "Philosophiae naturalis principia mathematica" → legge di Gravitazione Universale → Cosmo immutabile

1900 inizia la cosmologia moderna, (Einstein, Hubble, Friedmann ...) → teoria BIG BANG



Hubble

Commento

- Per ~2000 anni si è pensato ad un Universo statico ed immutabile
- Il secolo passato ha portato un grande progresso scientifico e tecnologico e la visione dell'Universo si è drasticamente cambiata → Universo dinamico
- Ora conosciamo molto di più sulla struttura del microcosmo e dell'Universo ma c'è ancora molto da capire, come vedremo tra poco

FORZE

MATERIA

ASTRONOMIA

Le Forze

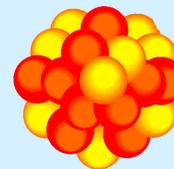
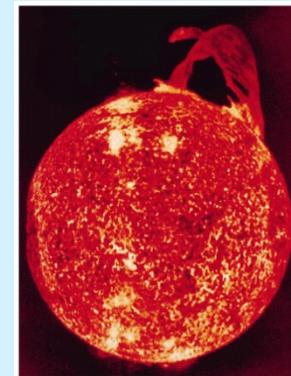


Gravitazione
(agisce sulla massa, energia)

Forza Elettromagnetica
(agisce sulla carica elettrica)

Forza Debole
(agisce su leptoni, quark)

Forza Forte
(agisce sui quark)



LE FORZE

FORZE TRA PARTICELLE = SCAMBI DI PARTICELLE

RICEVERE (DARE)
UN PUGNO (VA
INDIETRO)

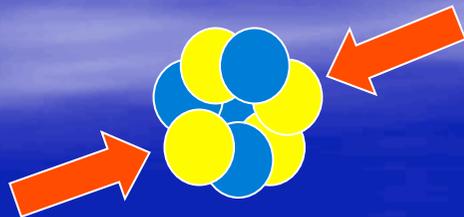


TIRARSI UNA
PALLA



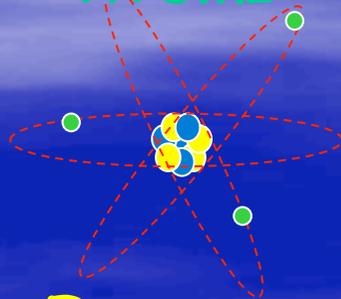
→ SCAMBIARSI UNA FORZA SENZA TOCCARSI (PARTICELLE)

FORTE UNISCE
NUCLEI



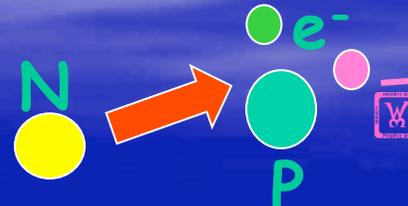
Gluoni g^k

E.M. UNISCE
ATOMI



Fotone γ

DEBOLE →
DECADIMENTO



$W^+ W^- Z^0$

GRAV UNISCE
CORPI



Gravitone G

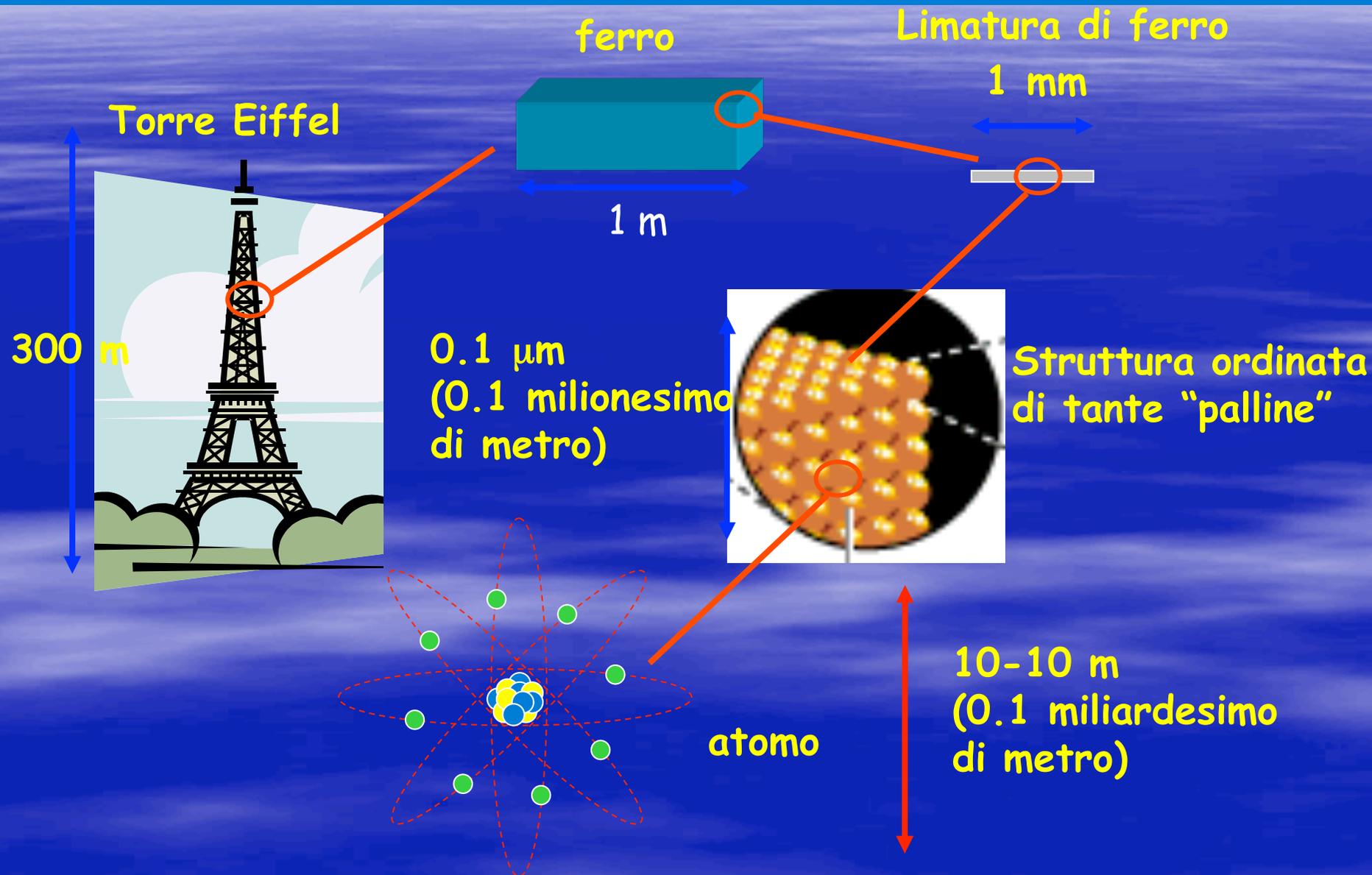
Le Forze in Natura

Tipo	rel. Intensità	Portatore Forza	agisce su
Forza Forte	1	Gluone g $m = 0$	Quark Nuclei
Forza Elettromagnetica	$\sim 1/137$	Fotone γ $m = 0$	Carica elettrica Atomi, Chimica
Forze Debole	$\sim 10^{-14}$	Bosoni W, Z $m = 80, 91 \text{ GeV}$	Leptoni, Quark Radioattività (β-decay)
Gravitazione	$\sim 10^{-40}$	Graviton ? $m = 0$	Massa, Energia

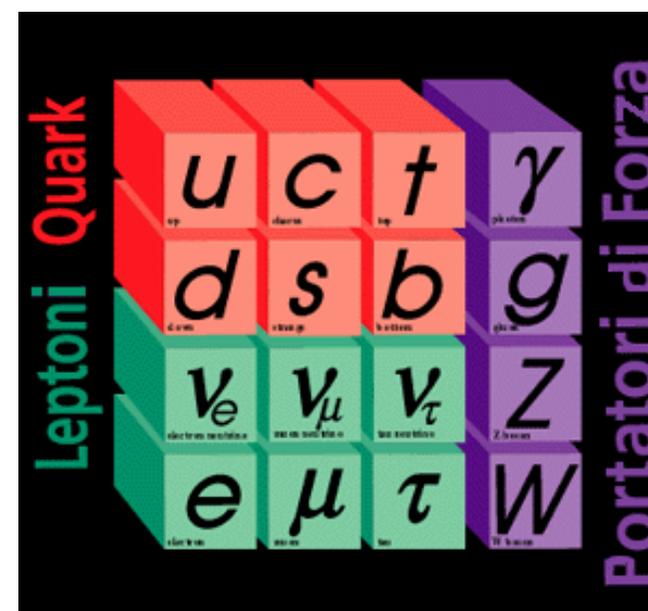
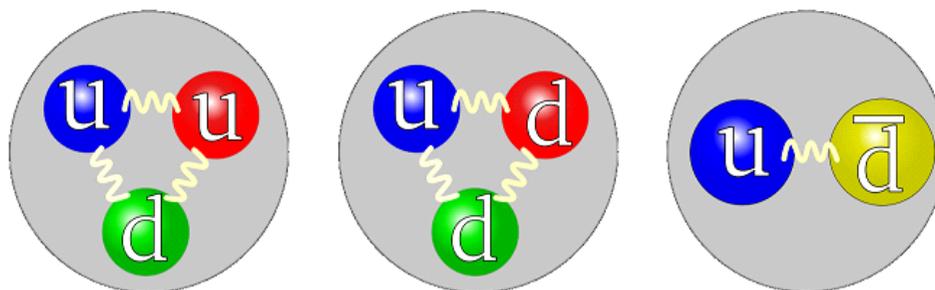
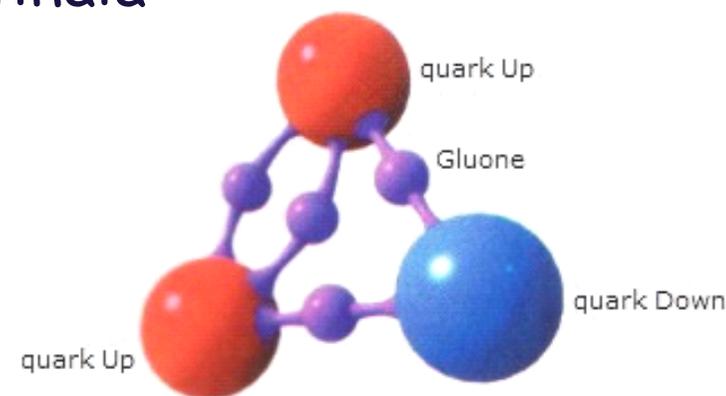
I portatori di Forza (Bosoni) mediano/scambiano le forze

La Materia

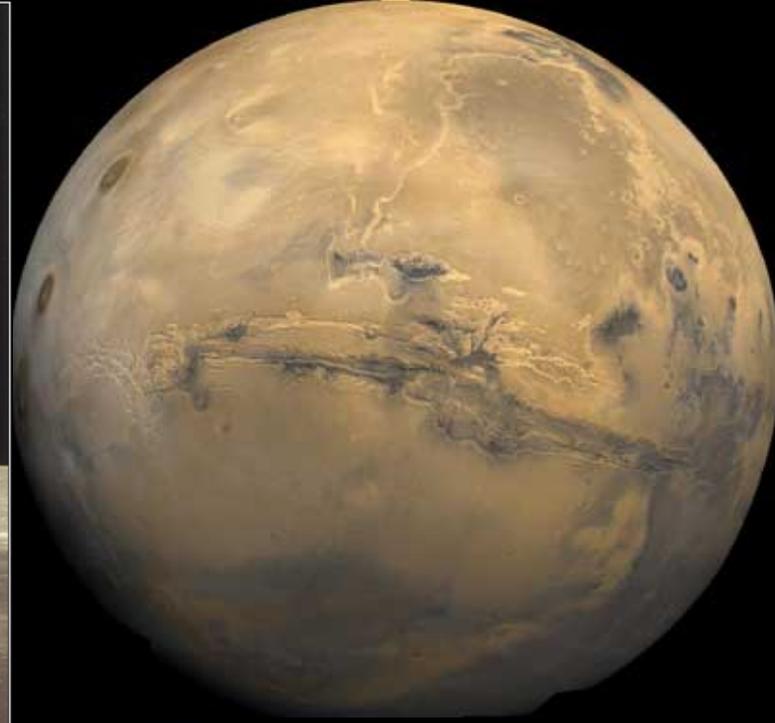
COMPOSIZIONE DELLA MATERIA CHE CI CIRCONDA



- ❑ Oggi giorno conosciamo alcune centinaia di particelle
- ❑ Ma tutte sono generate dall'unione di un insieme molto piccolo di particelle elementari
- ❑ 6 quark (e 6 anti-quark)+
6 leptoni (e 6 anti-leptoni) +
4 portatori di forza + la particella di Higgs



AS11-44-6560

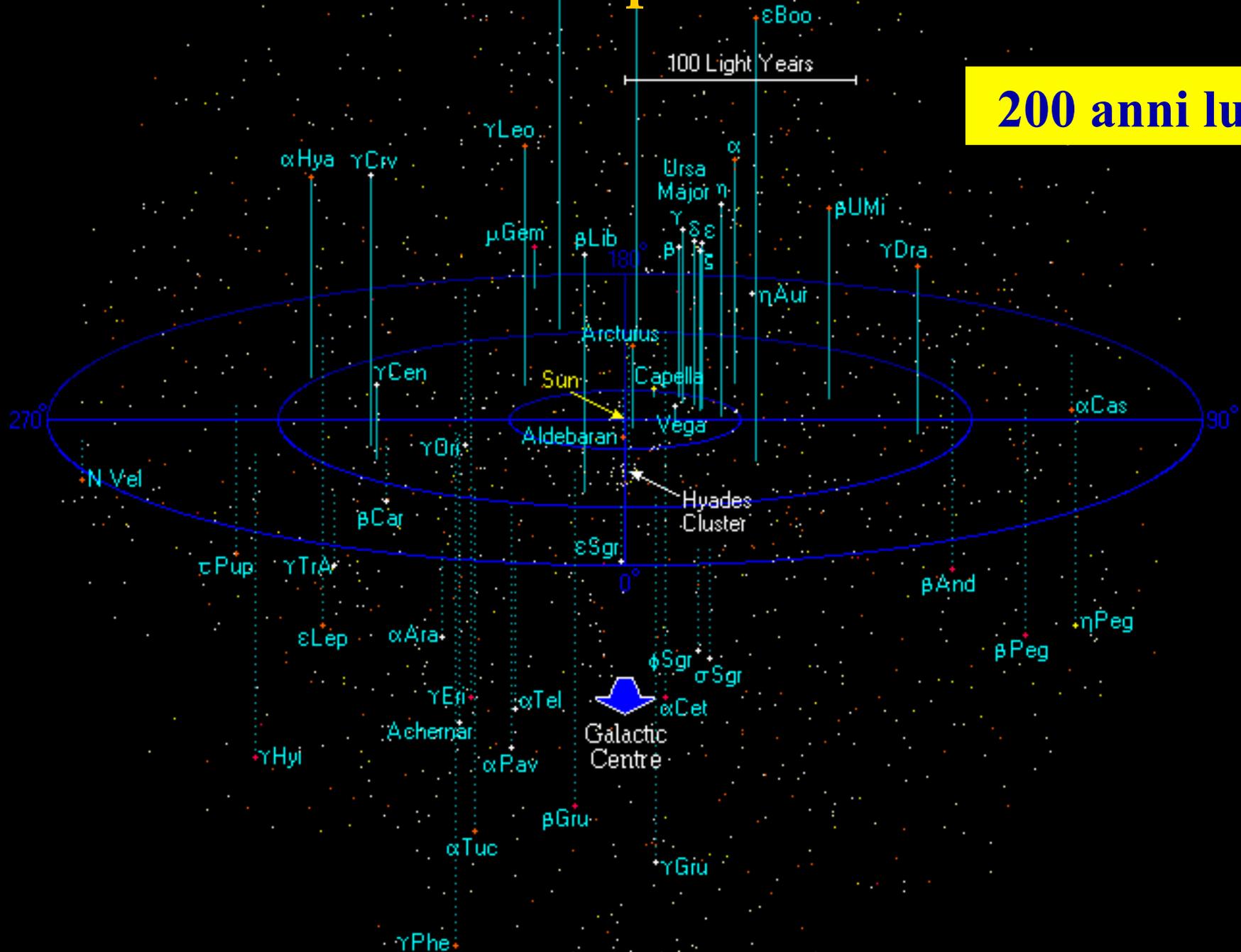


10 ore luce

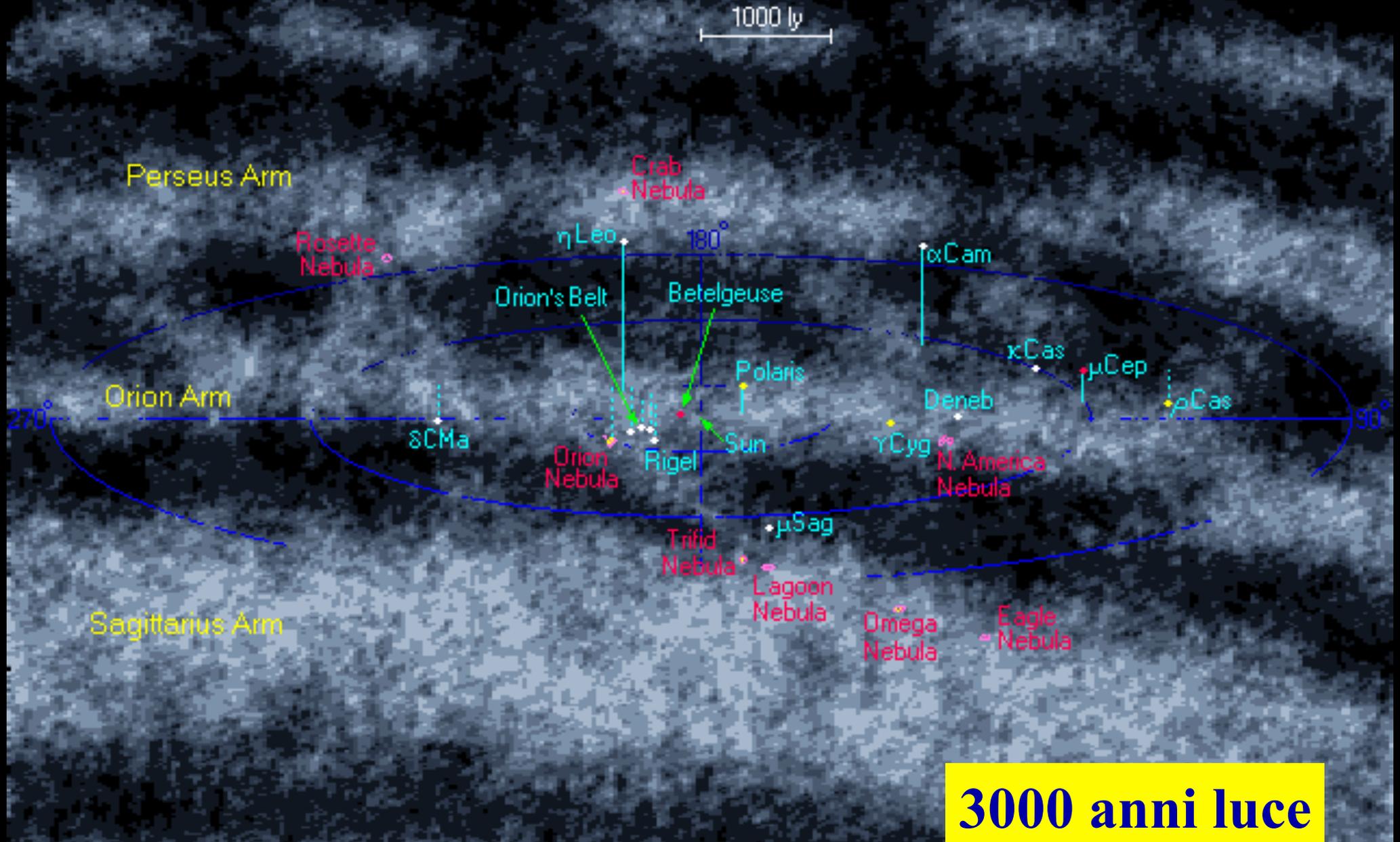
DLITONE

Le stelle prossime

200 anni luce

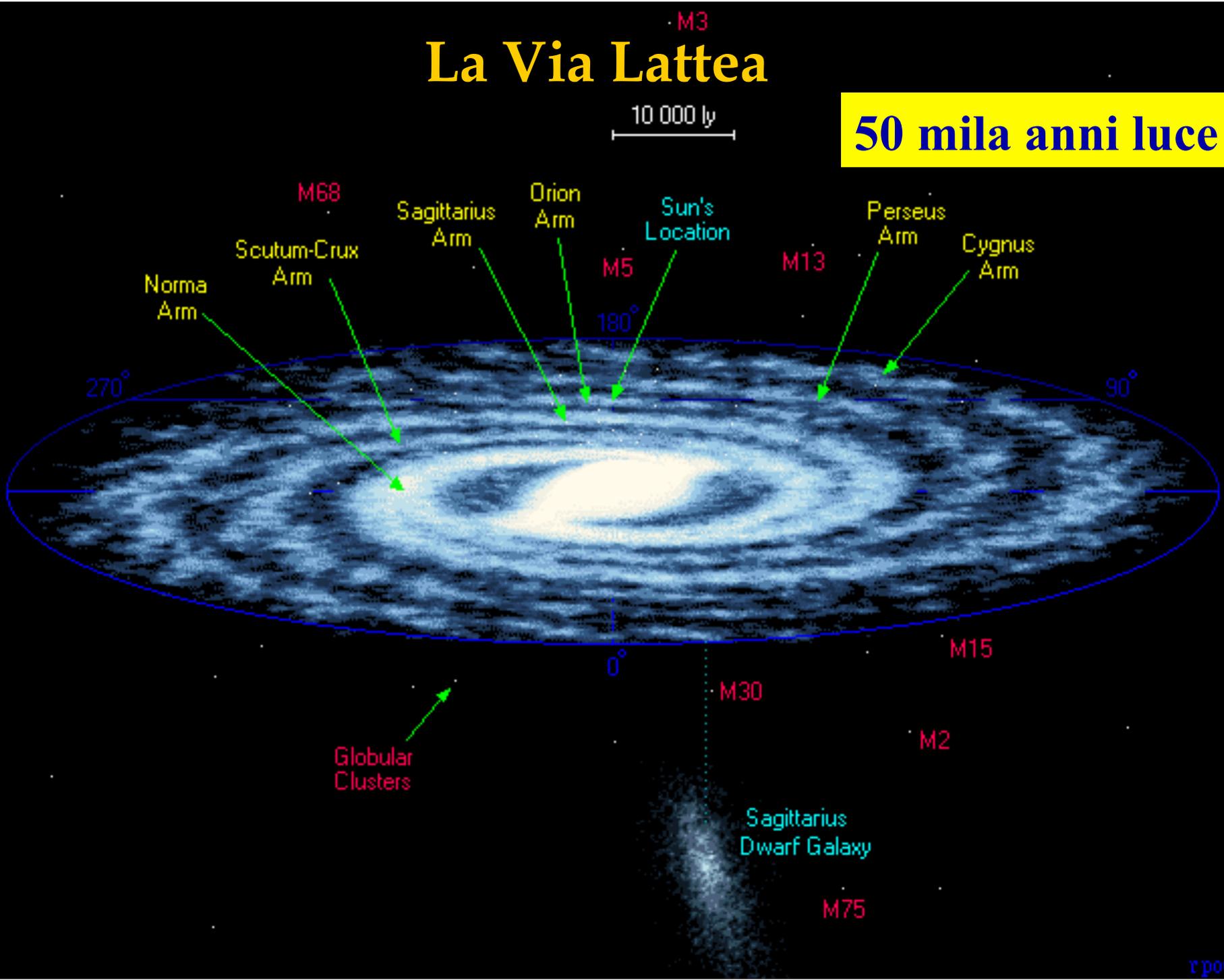


Il braccio di Orione

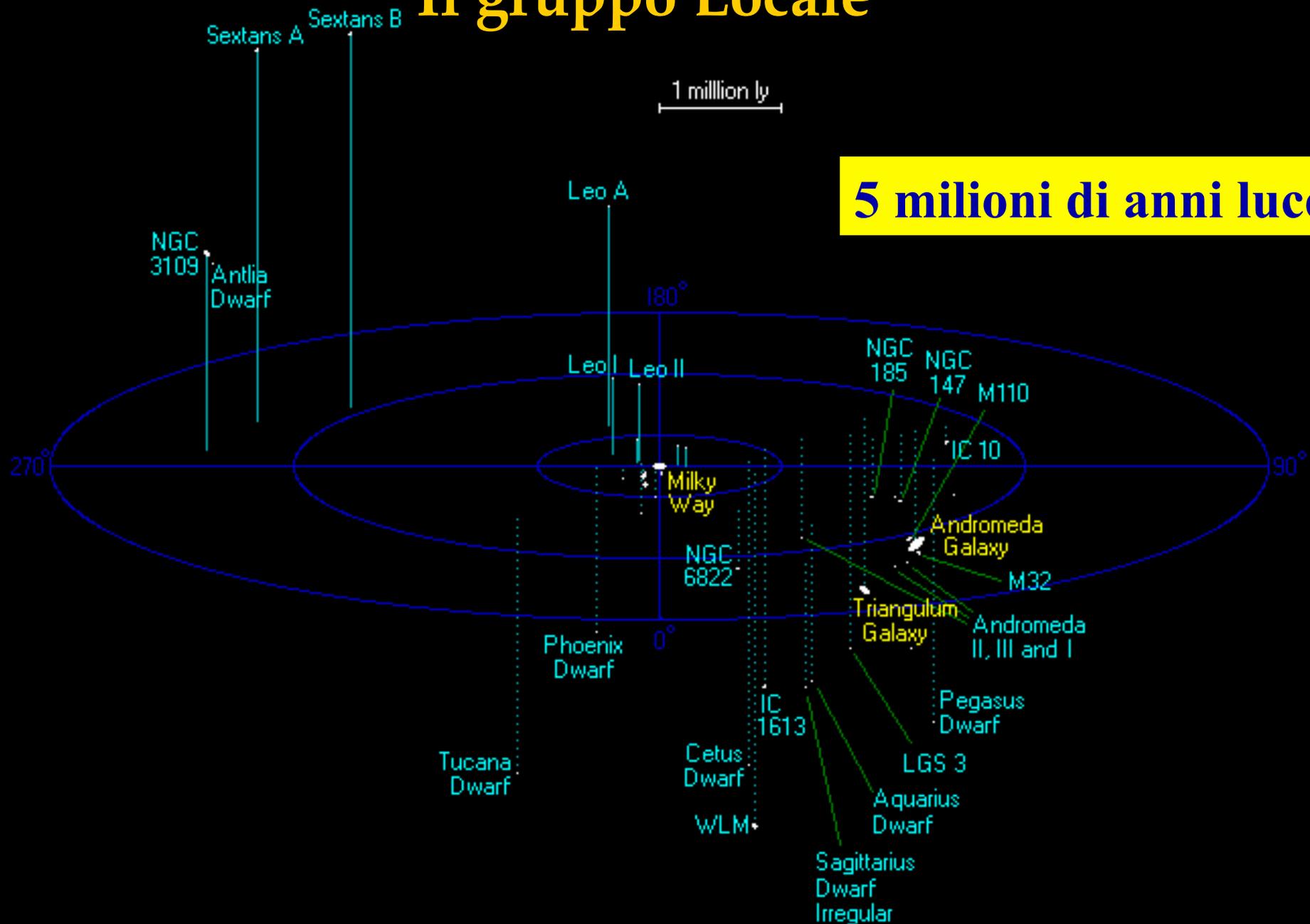


La Via Lattea

50 mila anni luce

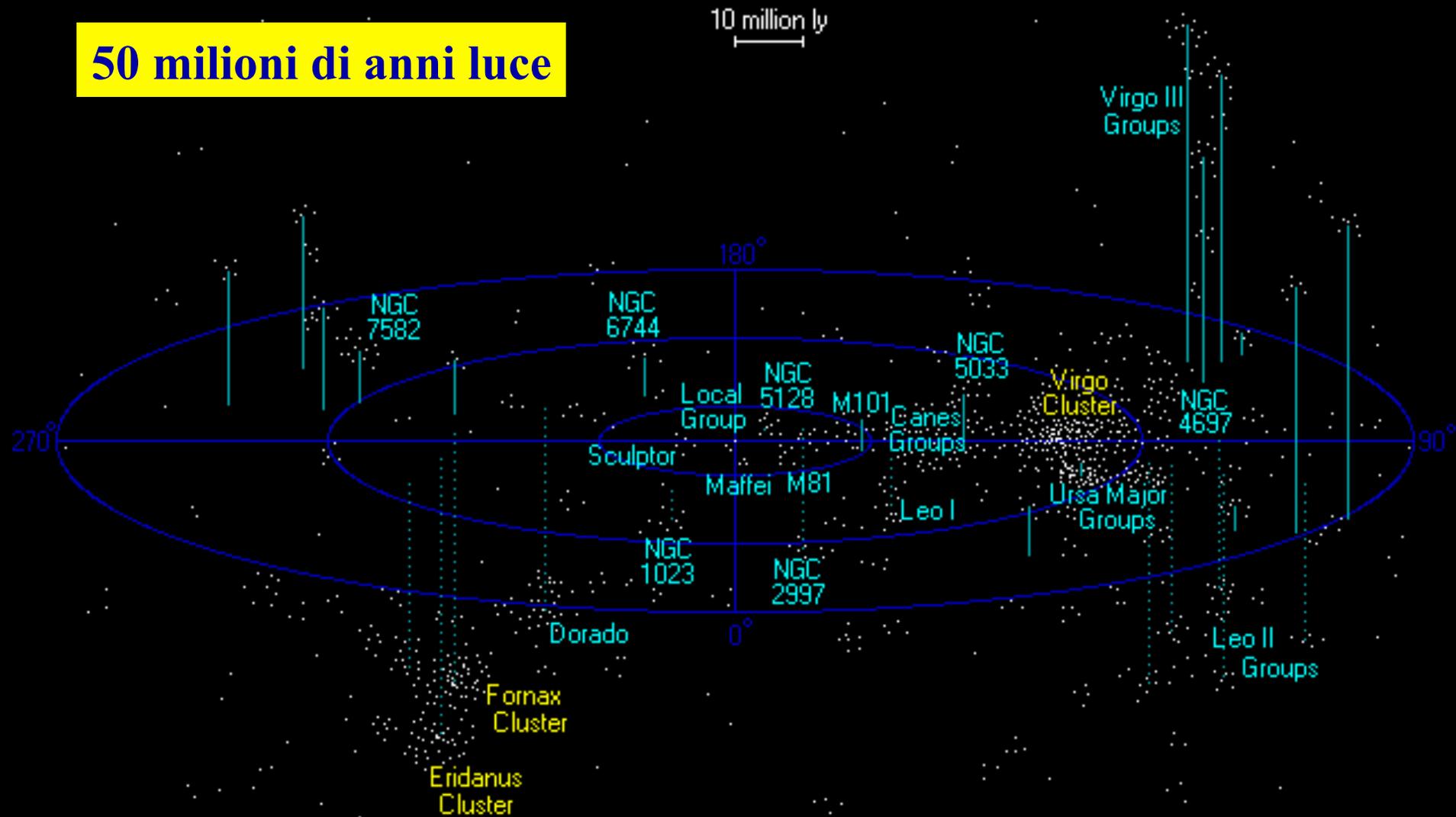


Il gruppo Locale

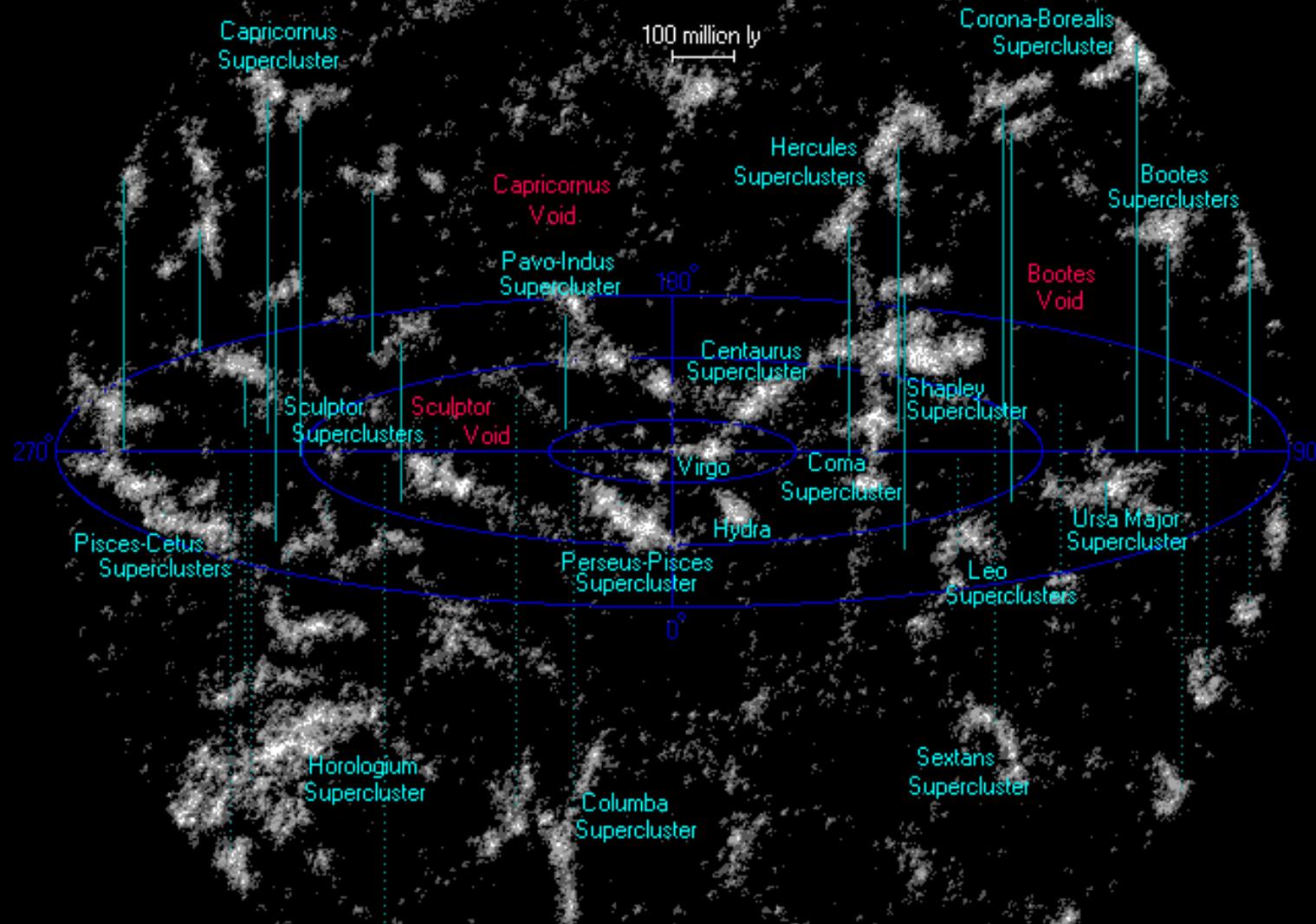


Il superammasso della Vergine

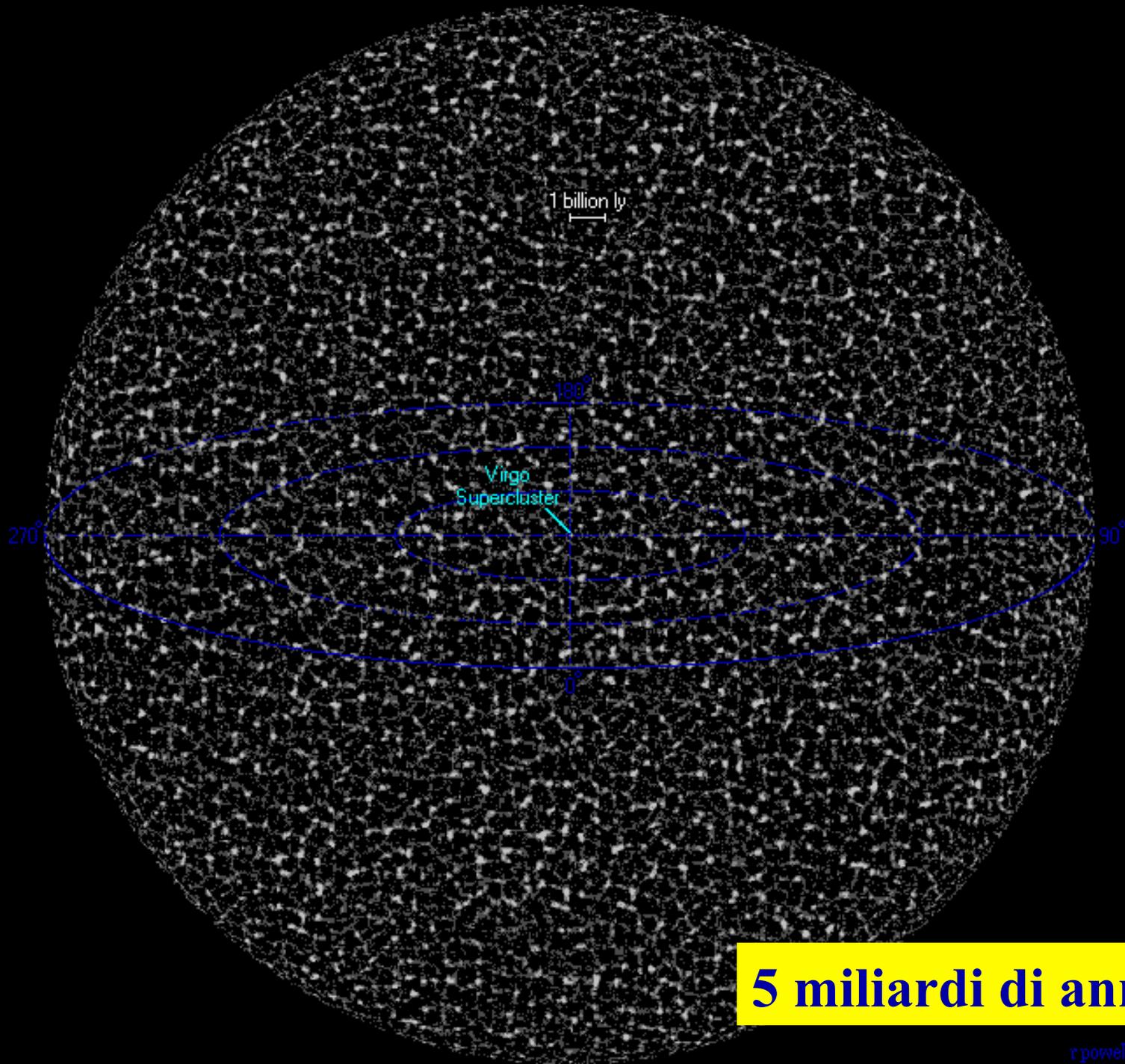
50 milioni di anni luce



I superammassi prossimi



500 milioni di anni luce



L'evoluzione dell'Universo

Le basi sperimentali:

LEGGE DI HUBBLE



**UNIVERSO IN
ESPANSIONE**

**SCOPERTA RADIAZIONE
COSMICA DI FONDO**



**UNIVERSO
INIZIALMENTE
CALDO**

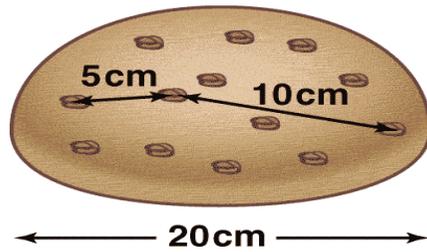
**PRESENZA DI MOLTO
ELIO NELL'UNIVERSO**



**CONFERMA TEORIA
ESPANSIONE**

+ TUTTA LA FISICA DELLE PARTICELLE

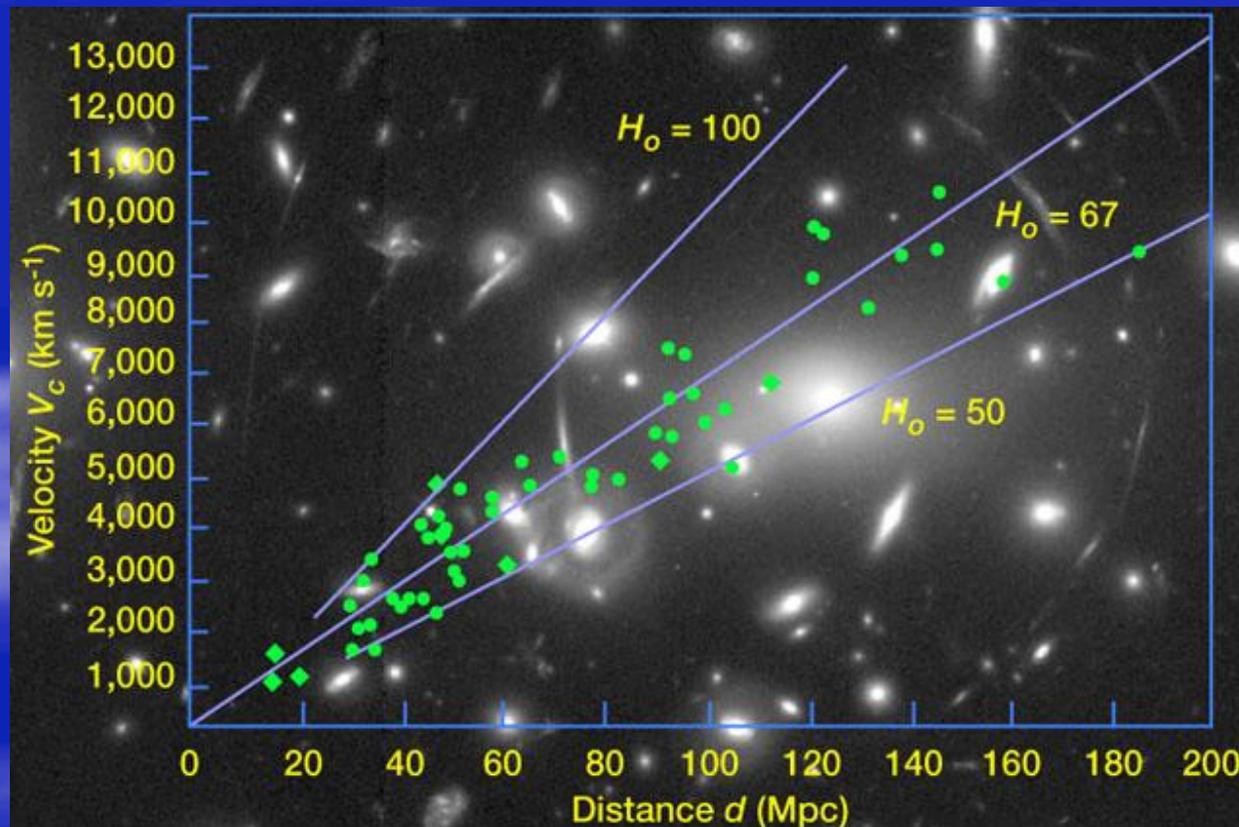
Legge di Hubble



MAP990404

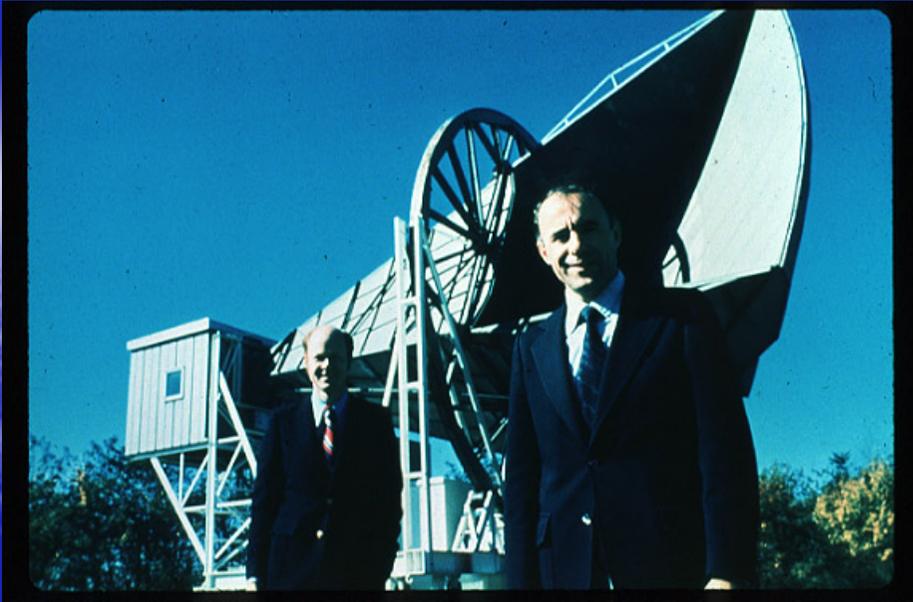
1- Ogni Galassia si allontana da tutte le altre, con una velocità che aumenta con la loro distanza

→ **L'Universo è in espansione**



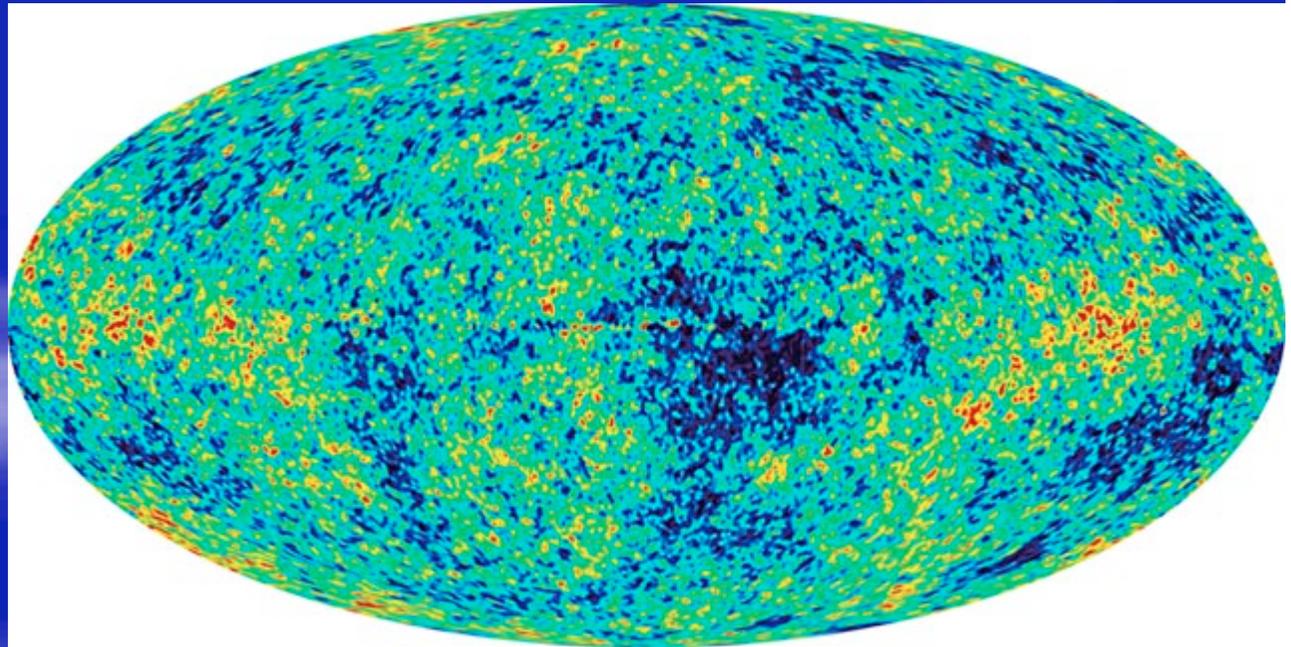
NOTA: è possibile misurare velocità di stelle e Galassie tramite un fenomeno fisico chiamato *effetto Doppler*

La radiazione cosmica di fondo

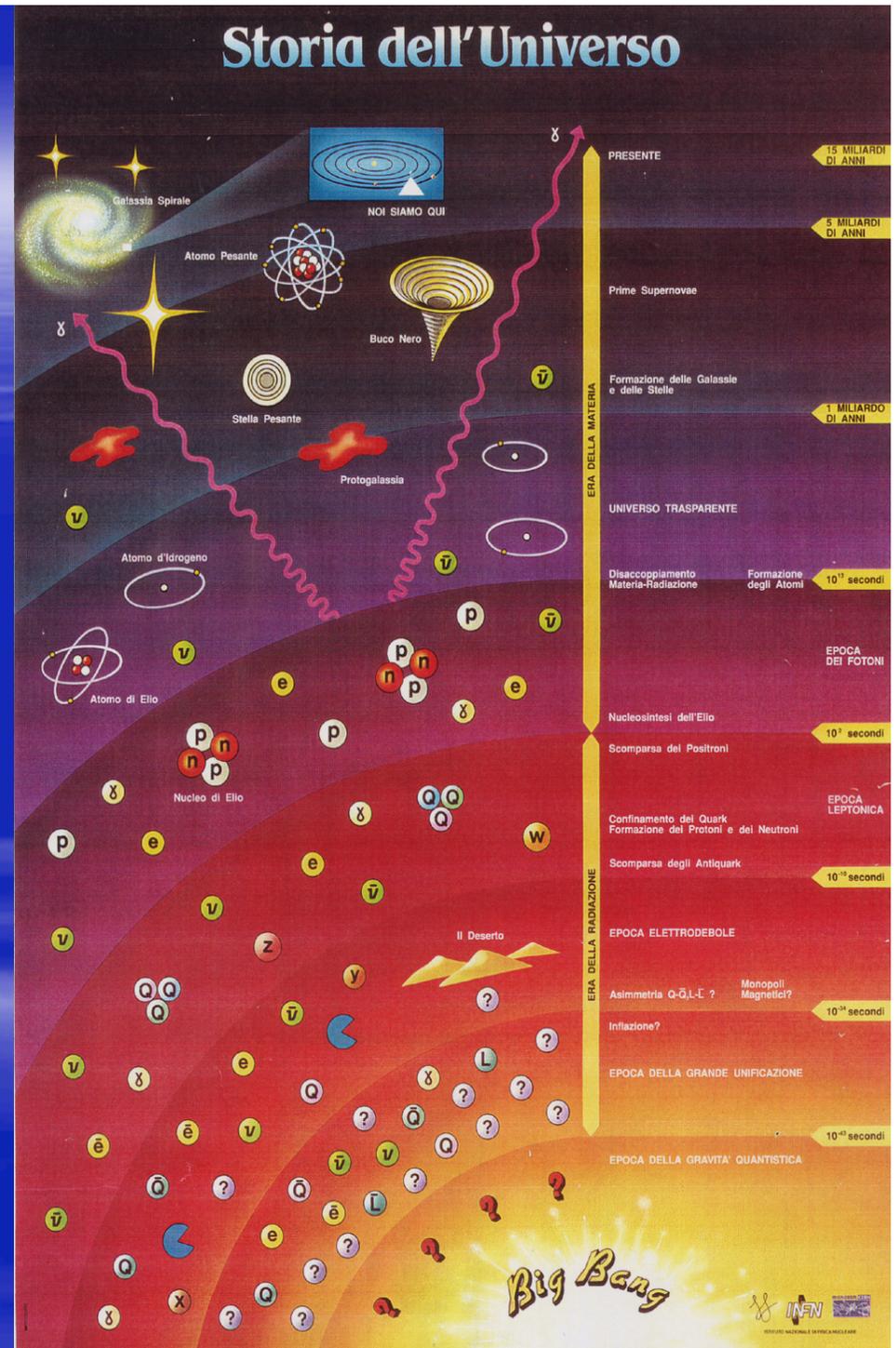


OGGI: Misura delle fluttuazioni della radiazione di fondo da 2.7° Kelvin per mezzo del satellite WMAP \Rightarrow i "semi" delle odierne Galassie !

2- L'Universo è nato da una enorme esplosione ~15 miliardi di anni fa (**Big Bang**). L'eco di quella esplosione venne rivelato nel 1965 (radiazione cosmologica di fondo) da Penzias e Wilson.

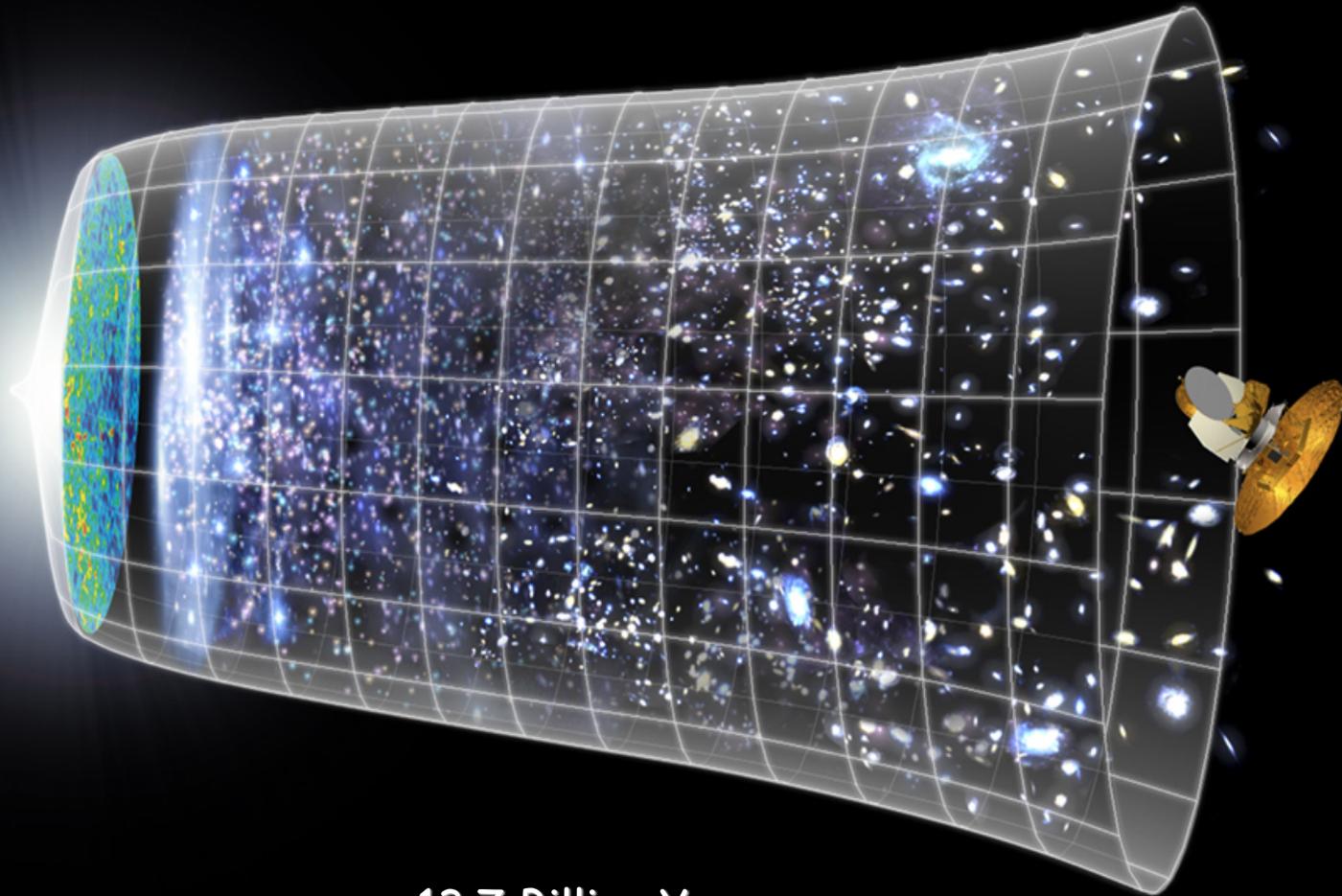


IL Modello Cosmologico Standard



Evolution of the Universe

Big Bang



13.7 Billion Years

Today

10^{28} cm

La teoria del Big Bang

0- Circa **15 miliardi** di anni fa, nasce a seguito del **Big Bang** il nostro Universo. Nei primi 3 minuti accadono tutti i fenomeni fondamentali che portano al nostro Universo.
→ Metallo fuso che congela.

1- L'Universo primordiale ($t \sim 10^{-43} \text{s}$) era estremamente caldo ($T \sim 10^{32} \text{K}$), molto piccolo ed in rapida espansione. Materia ed energia sono indistinguibili. Esiste una sola forza la **SUPERGRAVITA'**.

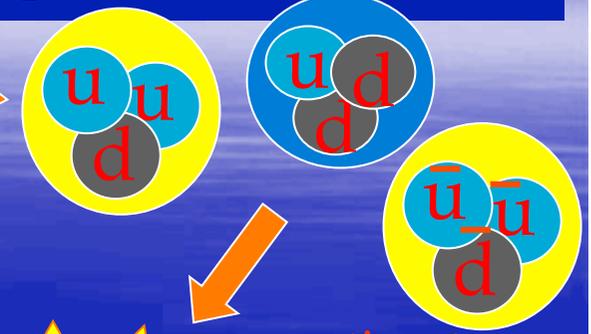
2- L'Universo continua ad espandersi ($t_2 \sim 10^{-10} \text{s}$) ed a raffreddarsi ($T_2 \sim 10^{15} \text{K}$).

- Compaiono le 4 forze fondamentali (**forte, debole, elettromagnetica e gravitazionale**)
- materia, antimateria ed energia si separano (**la materia predomina leggermente sull'antimateria**)

3- Dopo circa **1 secondo** l'Universo in espansione raggiunge la temperatura $T_3 \sim 10^{10} K$.

SI CREANO PROTONI, NEUTRONI E ANTIMATERIA (dai quarks), etc.

protone neutrone

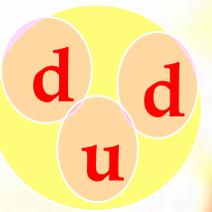
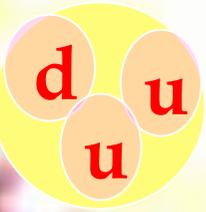
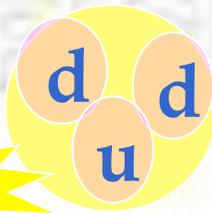
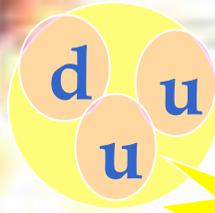


antiprotone

Materia ed antimateria si annullano a vicenda scomparendo

Antiprotone

Antineutrone



Protone

Neutrone

MATERIA

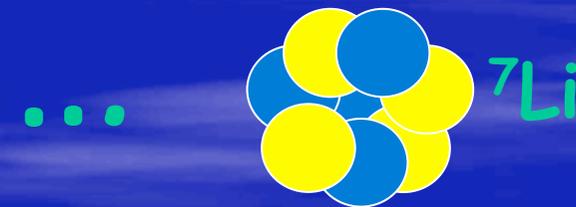
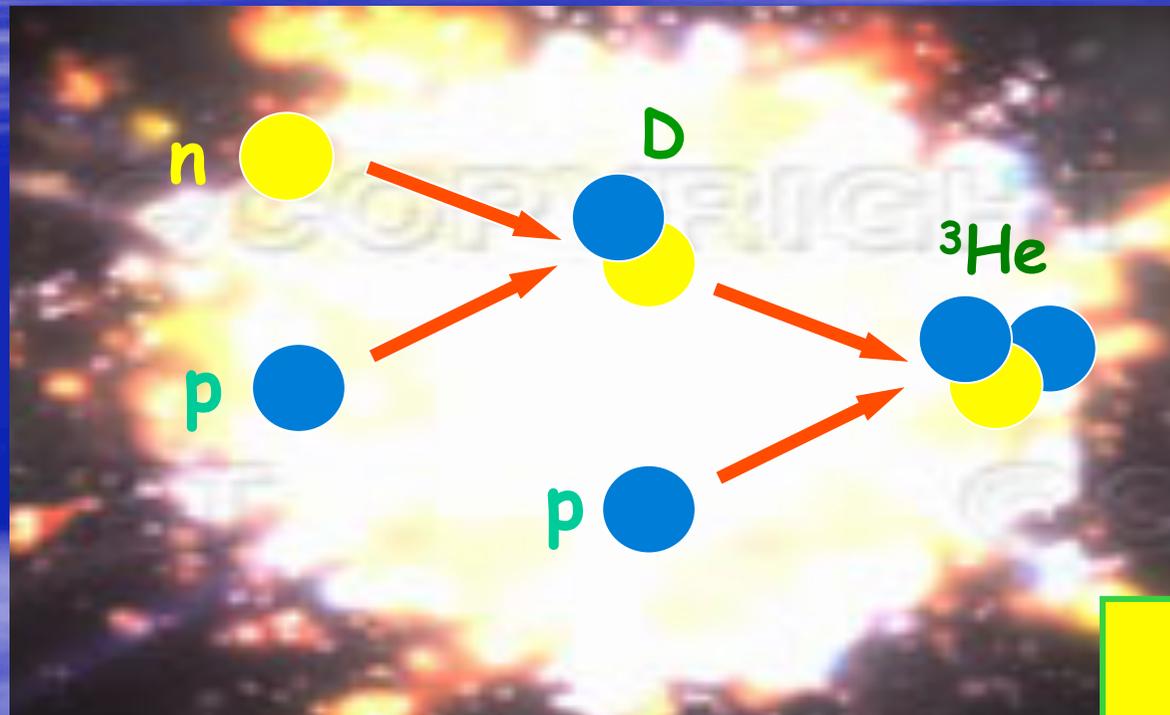
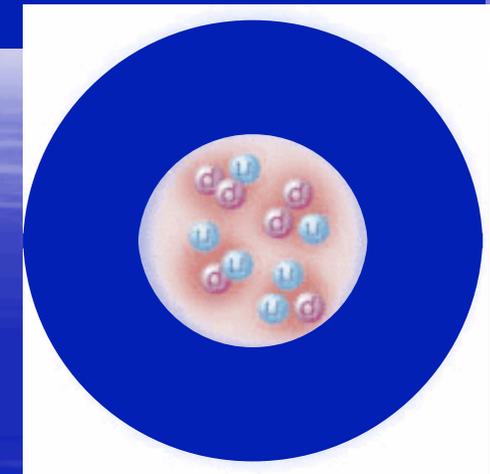
NEUTRINI

LUCE (RCF)

SPARISCE L'ANTIMATERIA, RIMANE SOLO L'ECESSO DI MATERIA! → IL NOSTRO UNIVERSO !!

4- Dopo circa **3 minuti** l'Universo in espansione raggiunge la temperatura $T_4 \sim 10^9 \text{K}$ (1 miliardo di gradi!!)

NUCLEOSINTESI → SI FORMANO I NUCLEI PIU' LEGGERI (come nel sole)



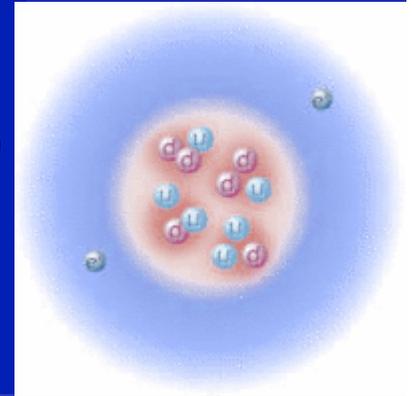
MATERIA (H, D, ${}^3\text{He}$, Li ...)

E' stata formata la materia visibile: i mattoni dell'Universo!

75% 25% (3p, 4n)

5- Dopo circa **1 milione di anni** la temperatura è ancora di circa **10000 K (diecimila gradi!!)**.

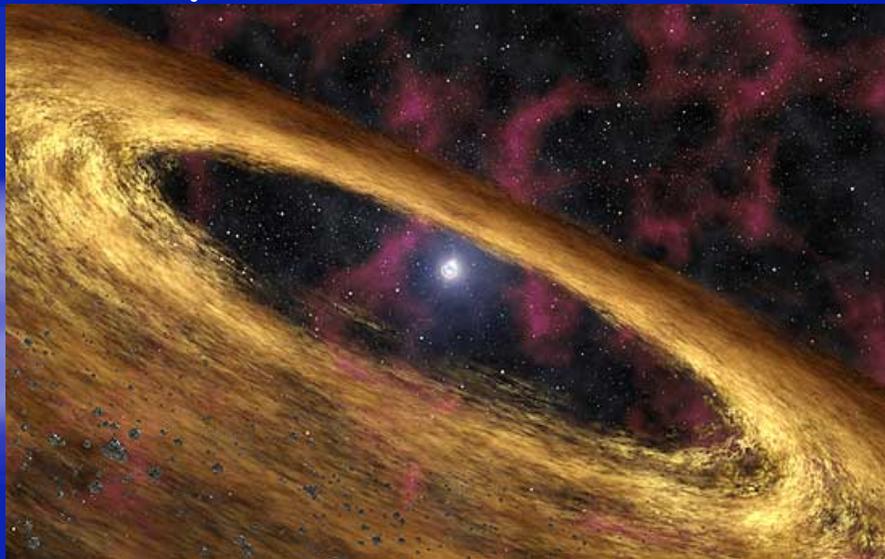
I nuclei (carichi +) catturano elettroni (-) formando gli atomi (neutri) grazie alla **forza elettromagnetica (EM)**; gli atomi possono aggregarsi tra loro per formare molecole complesse.



6- All'età di **1 miliardo di anni**, cominciano a formarsi le **Galassie** a causa della **forza gravitazionale**;

All'interno delle Galassie, cominciano a formarsi le **stelle**.

La temperatura dell'Universo è ancora alta: **1000 gradi**.



Le stelle **sviluppano energia** "bruciando" H e producendo i nuclei più pesanti
→ **Esplosioni di supernove**

Si giunge alla **composizione attuale dell'Universo !!**

Gli elementi nell'Universo

H Periodic Table of the Elements **C N O**
P S

The image shows a standard periodic table of elements. The element Hydrogen (H) is highlighted in a red box. The elements Carbon (C), Nitrogen (N), and Oxygen (O) are highlighted in a red box. The elements Phosphorus (P) and Sulfur (S) are highlighted in a red box. The periodic table includes the main groups (I to VIII) and the noble gases (I to Xe). The lanthanide and actinide series are shown at the bottom.

Naming conventions of new elements

* Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Solo 6 atomi su un totale di 112 costituiscono più del 98% della materia visibile dell'Universo.
→ Sono la base della vita!

LA TERRA

TERRA PRIMORDIALE PIENA DI VULCANI IN CONTINUA ERUZIONE



PIOGGE PER MILIONI DI ANNI →
FORMAZIONE OCEANI

ATMOSFERA H SPAZZATA DA
VENTO SOLARE

ERUZIONI E ACQUA → SECONDA ATMOSFERA (VAPORE
ACQUEO, ANIDRIDE CARBONICA, AMMONIACA, METANO ...)

ATMOSFERA + FULMINI E RAGGI UV DEL SOLE IDEALE PER
FORMAZIONE DI MOLECOLE ORGANICHE

VITA POSSIBILE SOLO SOTT'ACQUA (> 10m)

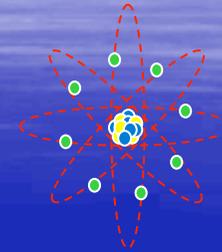
LA CREAZIONE DELLA VITA

SOLO 6 (SU 112) ELEMENTI COINVOLTI NELL'EVOLUZIONE

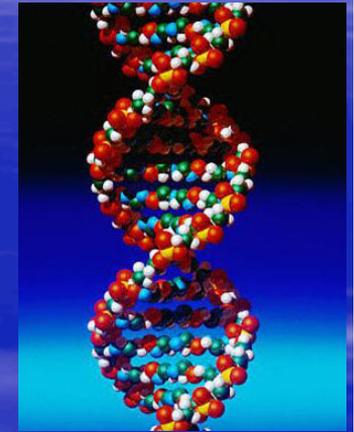
3.8 MILIARDI DI ANNI FA



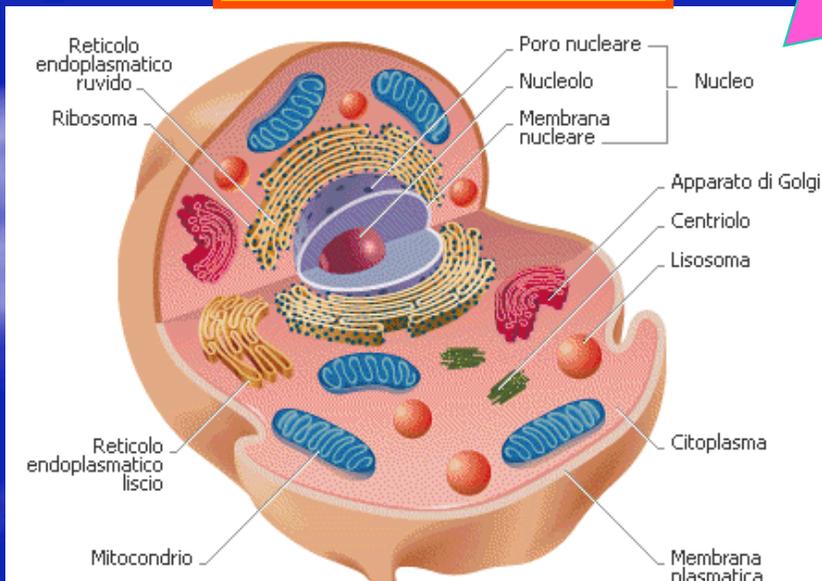
CATENE DI ATOMI



NUCLEOTIDI (DNA), AMINOACIDI,
LIPIDI, CARBOIDRATI ...



CELLULA



PRIMO ORGANISMO
VIVENTE

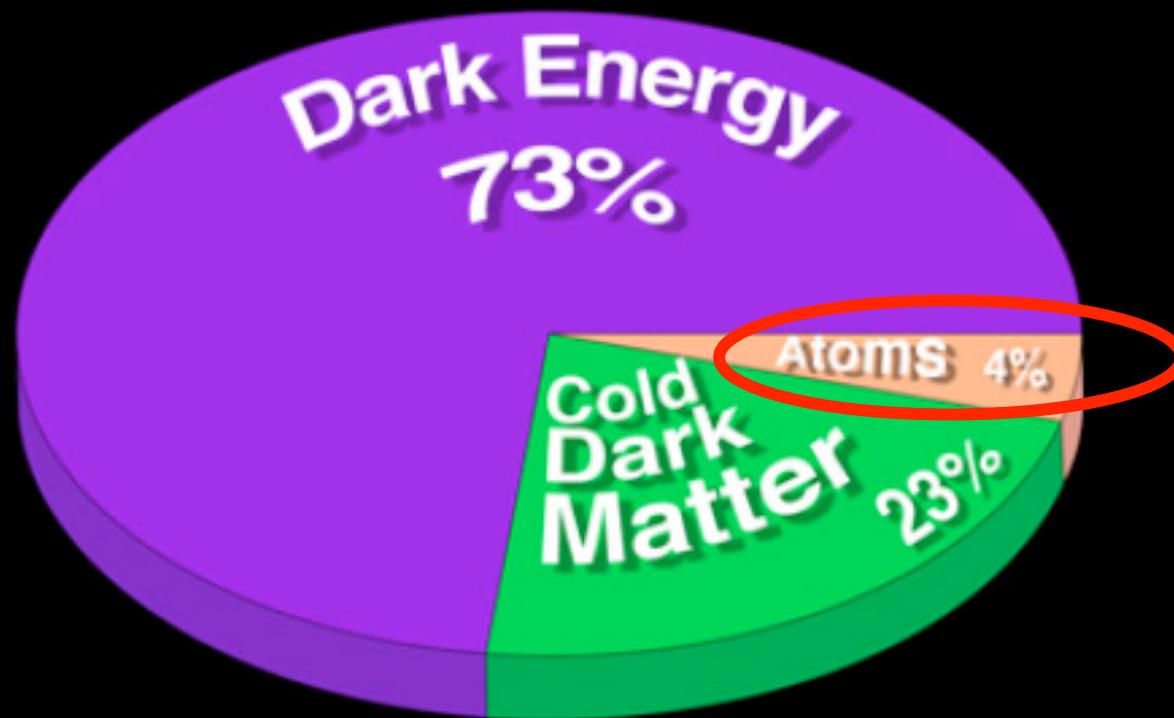
NASCE, SI NUTRE, SI
RIPRODUCE, MUORE

MISTERO: UNA ATOMO NON HA
VITA, MA TANTI ATOMI SI

QUESTIONI APERTE

Problemi cosmologici aperti

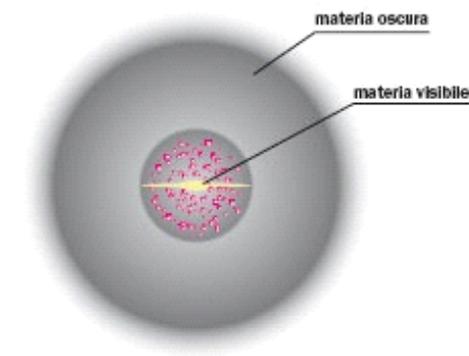
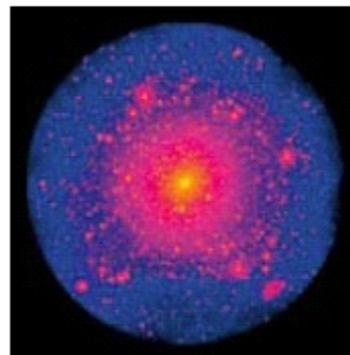
- 1) Qual'è il futuro dell'Universo? Ovvero l'espansione continuerà all'infinito, oppure l'Universo collasserà su se stesso (**Big Crunch**)?
- 2) Il periodo inflazionario a cosa è dovuto?
- 3) Il movimento delle stelle e delle galassie sembra indicare la presenza di molta più materia di quella che si vede.
→ **MATERIA OSCURA** (6 volte la materia ordinaria)
- 4) Dopo un rallentamento l'espansione dell'Universo ha ripreso ad accelerare
→ **ENERGIA OSCURA** (3 volte la materia oscura)



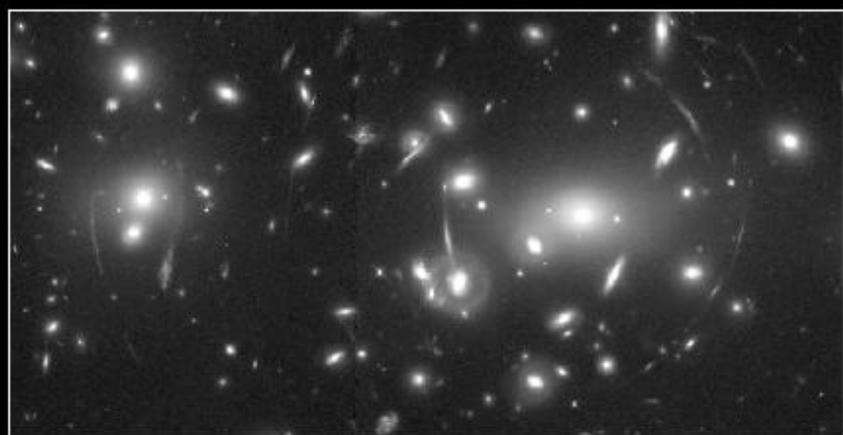
La conoscenza che abbiamo riguarda solo il 4% dell'Universo il resto è ancora ignoto !!

- Dalle osservazioni astronomiche sappiamo infatti in modo incontrovertibile che la materia a noi visibile mediante i più potenti telescopi, costituisce una piccola percentuale della materia totale presente nell'Universo.

- La materia mancante non emette evidentemente luce, e per questo motivo è stata denominata "materia oscura".



- Risulta inoltre evidente che questa materia non può essere di tipo "ordinario", cioè non è composta da particelle che noi conosciamo. Potrebbe però essere composta, ad esempio, dalla particella supersimmetrica più leggera, sopravvissuta dai tempi del Big Bang fino ad oggi, e osservabile per il momento solo in modo indiretto, grazie ai suoi effetti gravitazionali sulla materia visibile. LHC potrebbe in questo caso darci la possibilità di produrre e studiare in laboratorio particelle di materia oscura.

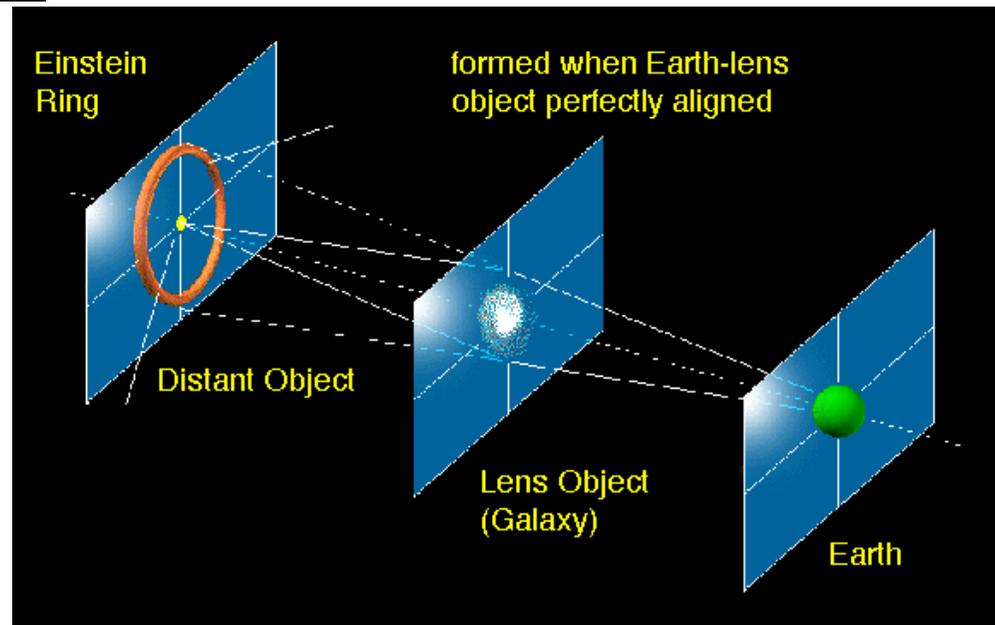
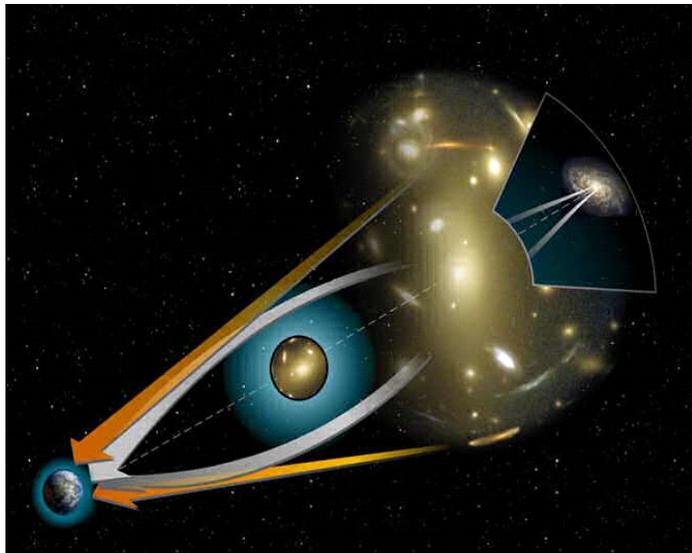


Gravitational Lens in Abell 2218

HST • WFPC2

PF95-14 • ST ScI OPO • April 5, 1995 • W. Couch (UNSW), NASA

- A livello astronomico si osservano effetti di tipo lente gravitazionale che possono essere spiegati soltanto se lungo il tragitto, la luce per giungere fino fosse curvata dalla presenza di una grossa quantità di materia, che risulta però invisibile



Problemi biochimici aperti

Quali sono le leggi che governano la scelta di 6 elementi tra 112 e di circa 80 composti tra milioni chimicamente disponibili?

Quale è la ragione del ruolo centrale giocato dal carbonio nella architettura cellulare? Sono possibili alternative?

Che cosa governa le complesse strutture spaziali create dalle proteine così essenziali per la determinazione della loro funzionalità?

Le risposte a queste domande costituiscono il naturale sviluppo del modello cosmologico standard. Esse vanno cercate in quella difficile terra di confine sospesa tra la fisica fondamentale e la biochimica. L'ulteriore evolversi è stato che chi ha scoperto la vita.

The image shows a periodic table of elements. A red vertical line is drawn through the elements Silicon (Si), Germanium (Ge), Tin (Sn), and Lead (Pb), which are in the 14th column. The table is color-coded by groups: Group 1 (yellow), Group 2 (purple), Groups 3-10 (blue), Group 11 (pink), Group 12 (orange), Group 13 (green), Group 14 (red), Group 15 (light green), Group 16 (light blue), Group 17 (orange), and Group 18 (yellow). The lanthanide and actinide series are shown at the bottom.

3	11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	— VII —	IB	IB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
4	19 K	20 Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	47 In	48 Sn	49 Sb	50 Te	51 I	52 Xe
6	55 Cs	56 Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	Ac	Rf	Ha	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	112	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
Lanthanide Series																		
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					
Actinide Series																		
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr					

Mystery



Chi dà alle particelle esattamente
la massa che hanno?



Bosone di Higgs?

Mystery



Di cosa è fatto il 96% dell'Universo?



Materia
oscura ,Supersim
metria?

Mystery



Com'era l'Universo alla nascita
(o quasi)?



Plasma quark-gluoni?

Mystery



Perchè l'Universo a noi noto è
composto esclusivamente di
materia e non vi è traccia di
anti-materia?



Materia e anti-materia
non sono simmetriche?

COME SI RISPONDE A
QUESTE DOMENDE?

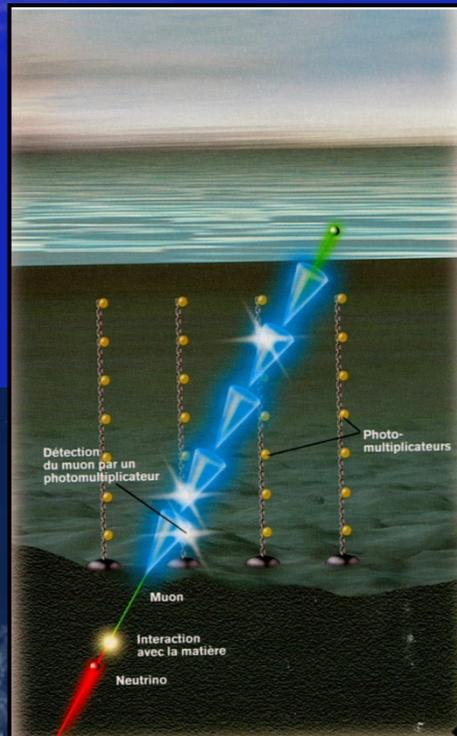
COME SI STUDIANO
L'UNIVERSO E LE LEGGI
FONDAMENTALI DELLA
NATURA?

TELESCOPI IN ORBITA, SATELLITI, LABORATORI SOTTERRANEI E SOTTOMARINI

Telescopio HUBBLE



ANTARES



Lab. INFN: Gran Sasso

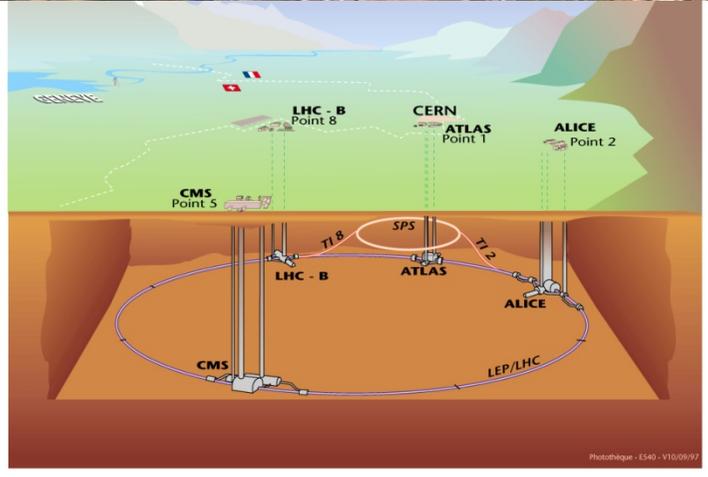
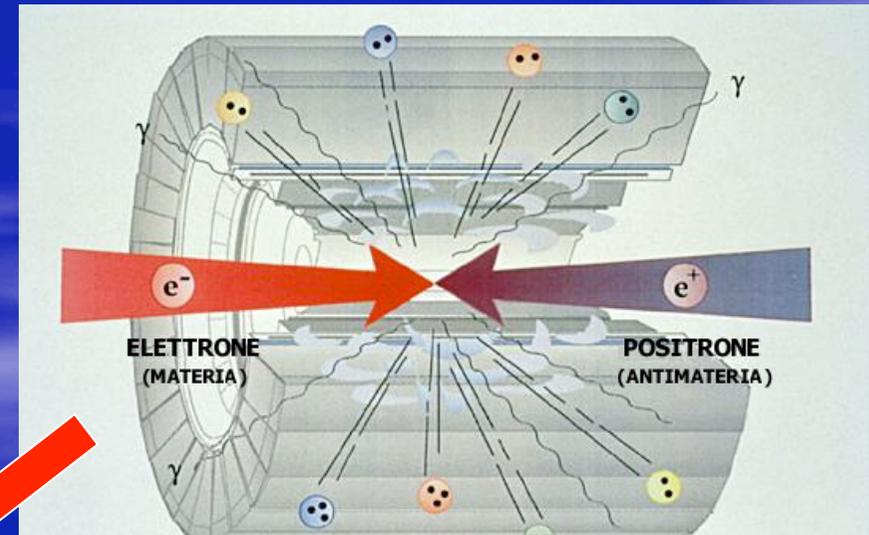


STUDIARE I PRIMI ISTANTI DELL'UNIVERSO → AUMENTARE L'ENERGIA DEI PROTAGONISTI (PARTICELLE) CHE LO FORMANO

CERN (GINEVRA) ~27 KM.



SCONTRARE PARTICELLE AD ENERGIE SEMPRE MAGGIORI



MOLTE PARTICELLE
COME BIG BANG

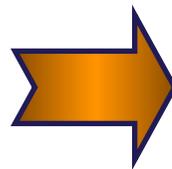
E 200 GeV →
10⁻¹⁰ s

LO STUDIO DELLE LEGGI FONDAMENTALI:

La fisica delle particelle

Le ricerche al CERN di Ginevra

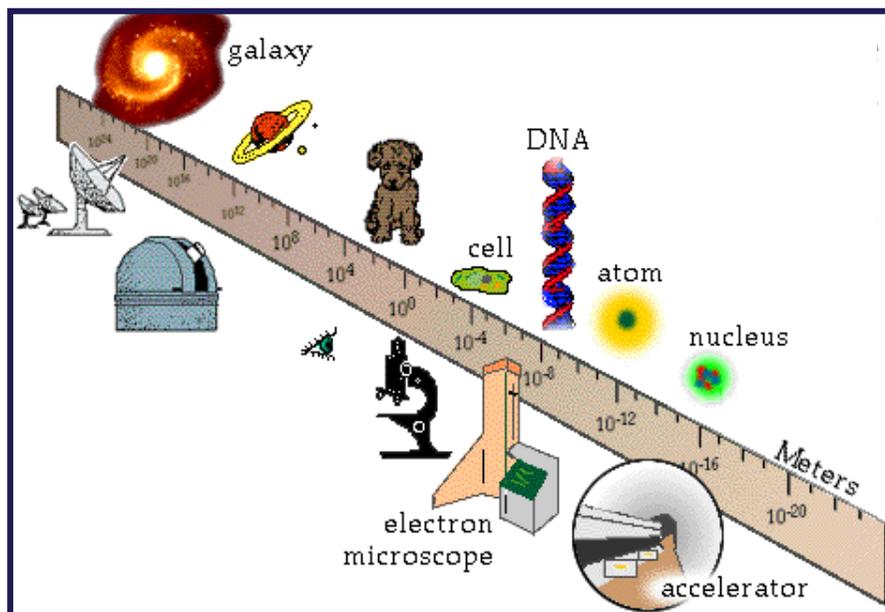
Cerchiamo di studiare
i costituenti
elementari della
materia



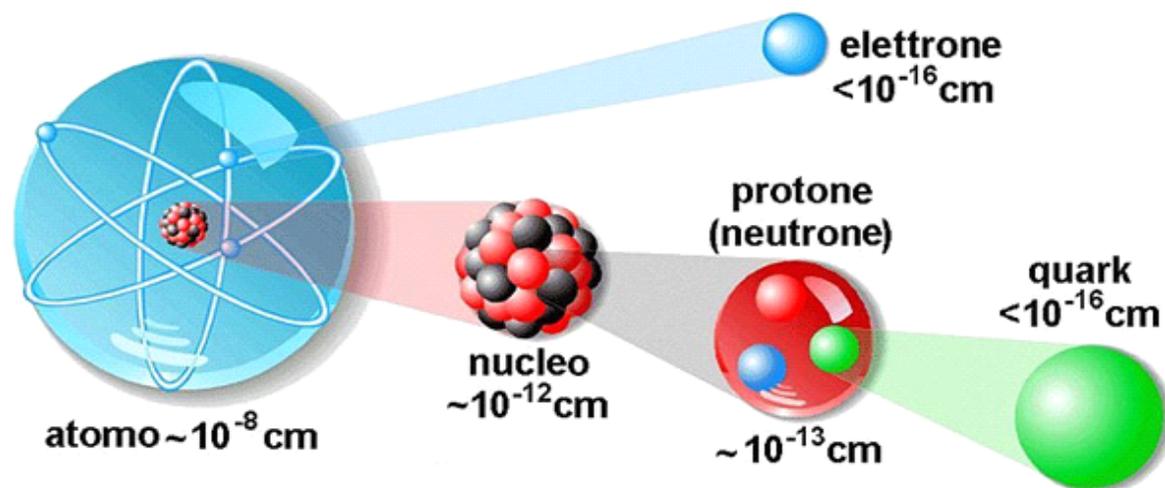
Abbiamo bisogno di
"vedere" oggetti
molto piccoli



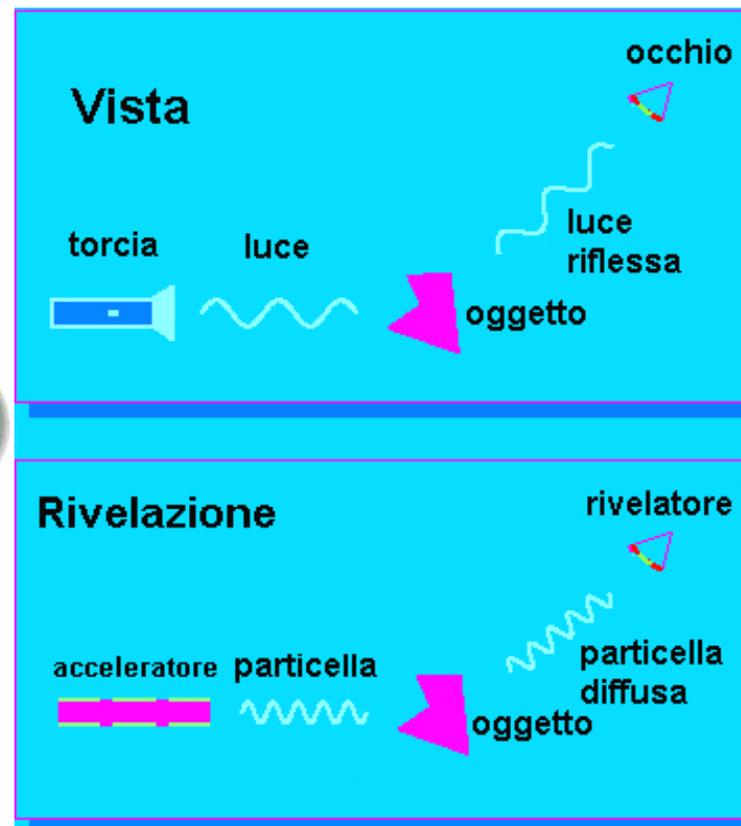
Quanto piccoli? E
come si vede un
oggetto molto
piccolo?

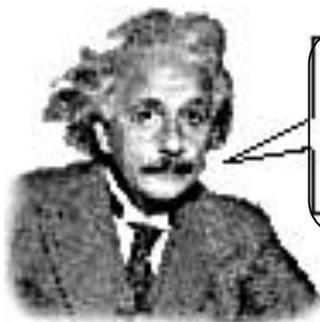


Quanto sono piccole?

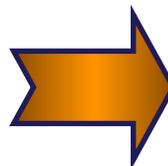


Serve una radiazione molto
energetica
(lunghezza d'onda piccola):
usiamo gli acceleratori di particelle!



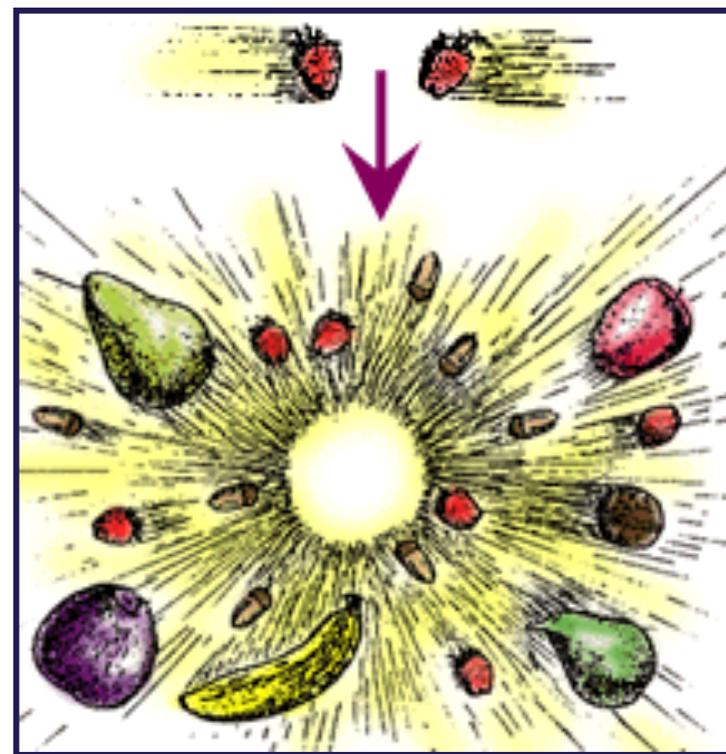


*La massa è una
forma di energia*

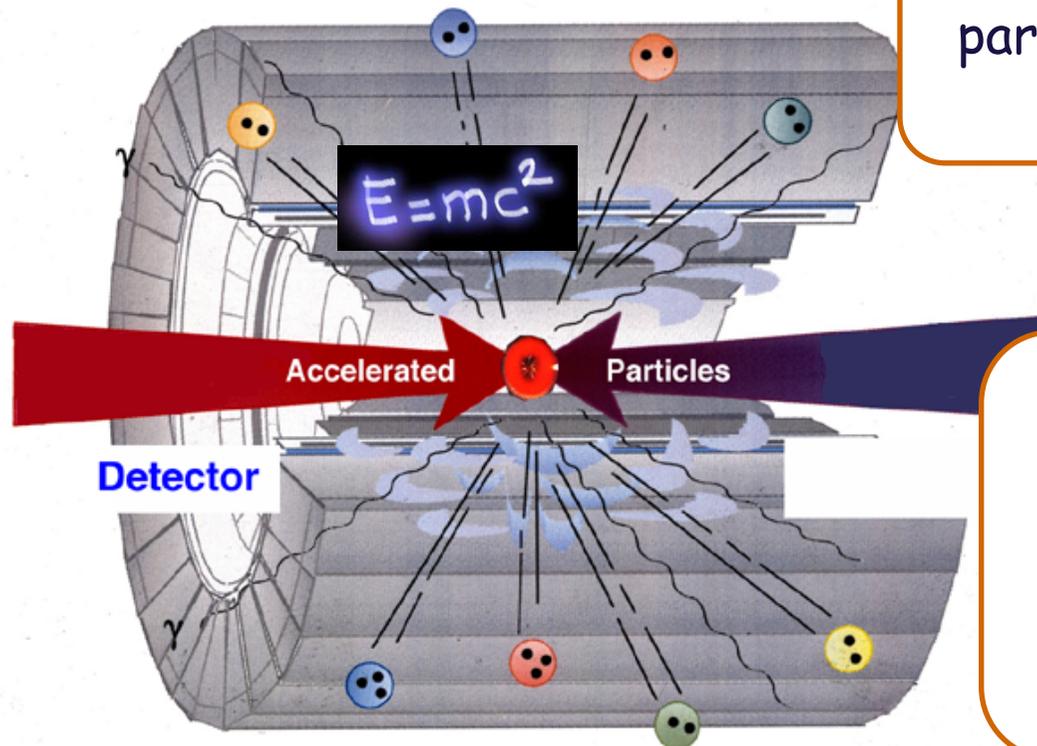


$$E=mc^2$$

- ❑ Per studiare particelle di grande massa e molto instabili
- ❑ Si utilizzano particelle ordinarie, di piccola massa cui viene fornita una energia cinetica elevata **mediante un acceleratore**



Con quali strumenti si osservano le particelle ?



Per concentrare l'energia sulle particelle e farle collidere
↳ Acceleratori

Per osservare, identificare, misurare le proprietà delle nuove particelle così create
↳ Rivelatori
("occhi elettronici")

Per raccogliere ed analizzare i dati
↳ Calcolo, reti

Questo richiede.....



1. Acceleratori : potenti macchine che accelerano le particelle ad energie estremamente elevate e le portano in collisione con altre particelle

2. Rivelatori : strumenti giganteschi per registrare le particelle prodotte mentre escono dal punto di collisione

3. Computers : per raccogliere, immagazzinare, distribuire ed analizzare la grande quantità di dati prodotti dai rivelatori

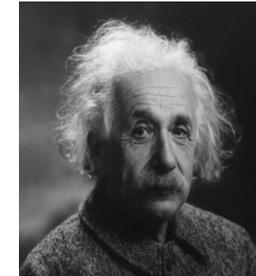
4. Gente : solo una collaborazione mondiale di migliaia di scienziati, ingegneri, tecnici e staff di supporto può progettare, costruire e mettere in funzione queste complicate “macchine”

Acceleratori di Particelle

Accelerano particelle ad alte energie.

Le energie sempre piu' alte permettono

- i) Guardare in profondita' nella materia ($E \propto 1/\text{dimensione}$),
("potenti microscopi")
- ii) Scoprire nuove particelle piu' pesanti ($E = mc^2$)
- iii) Verificare le condizioni dell'Universo primordiale ($E = kT$)



Einstein



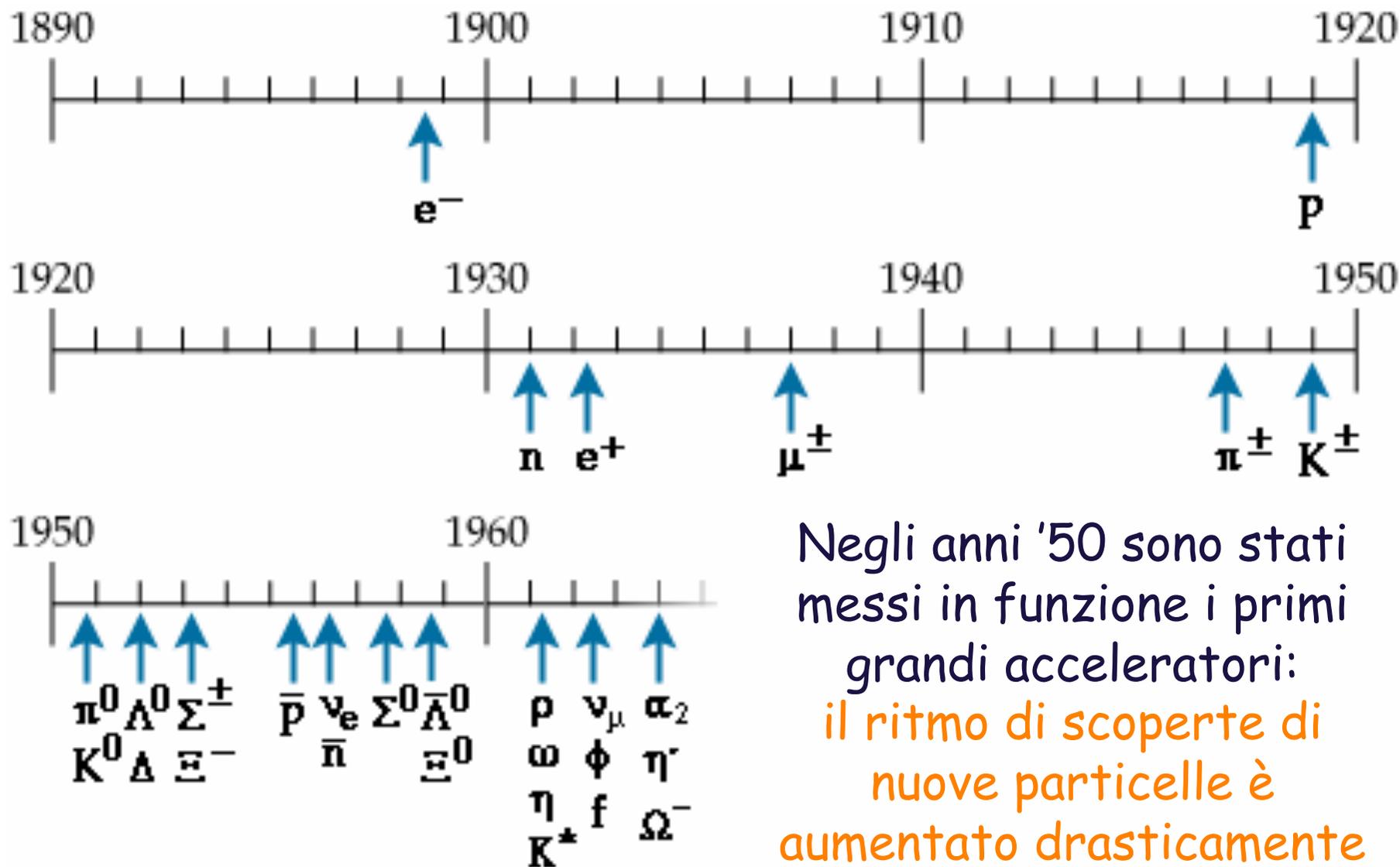
de Broglie



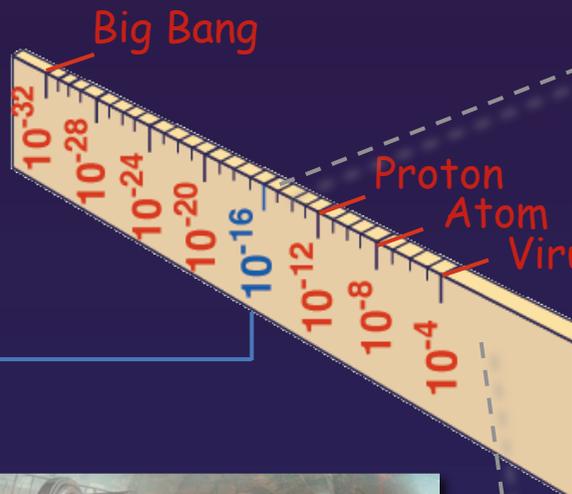
Boltzmann

Rivisitare i primi momenti del nostro universo ancestrale
("potenti telescopi"),
per osservare fenomeni e particelle normalmente non
piu' visibili o esistenti oggi.

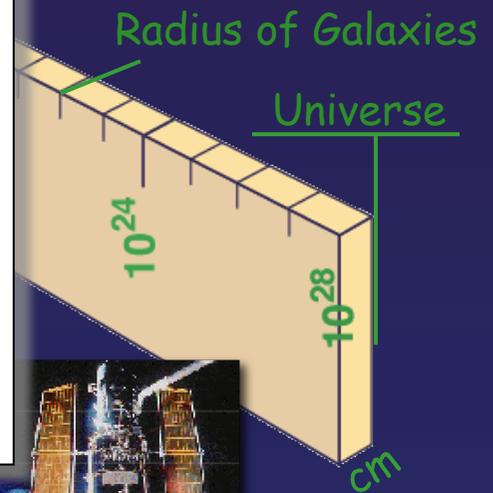
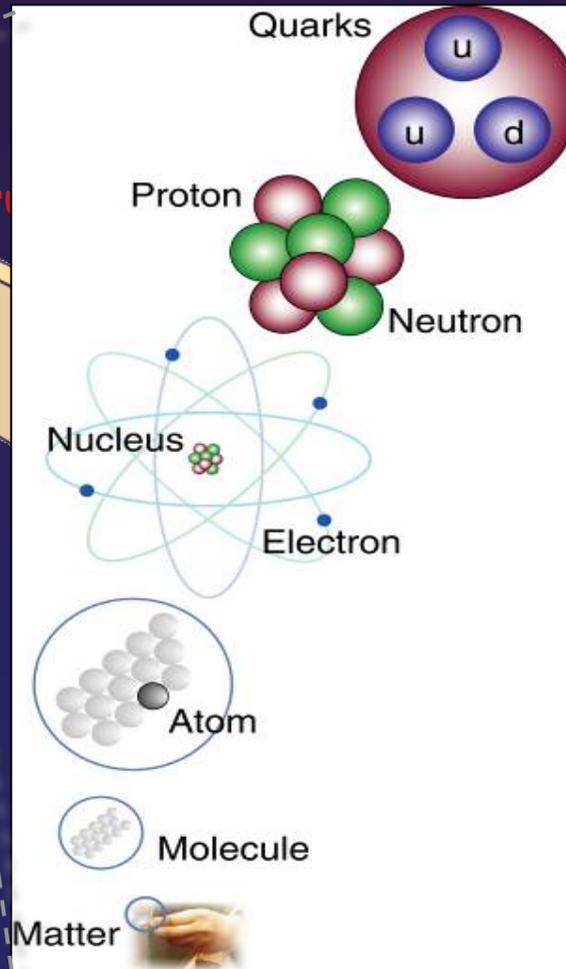
Il tutto in condizioni controllate in laboratorio.

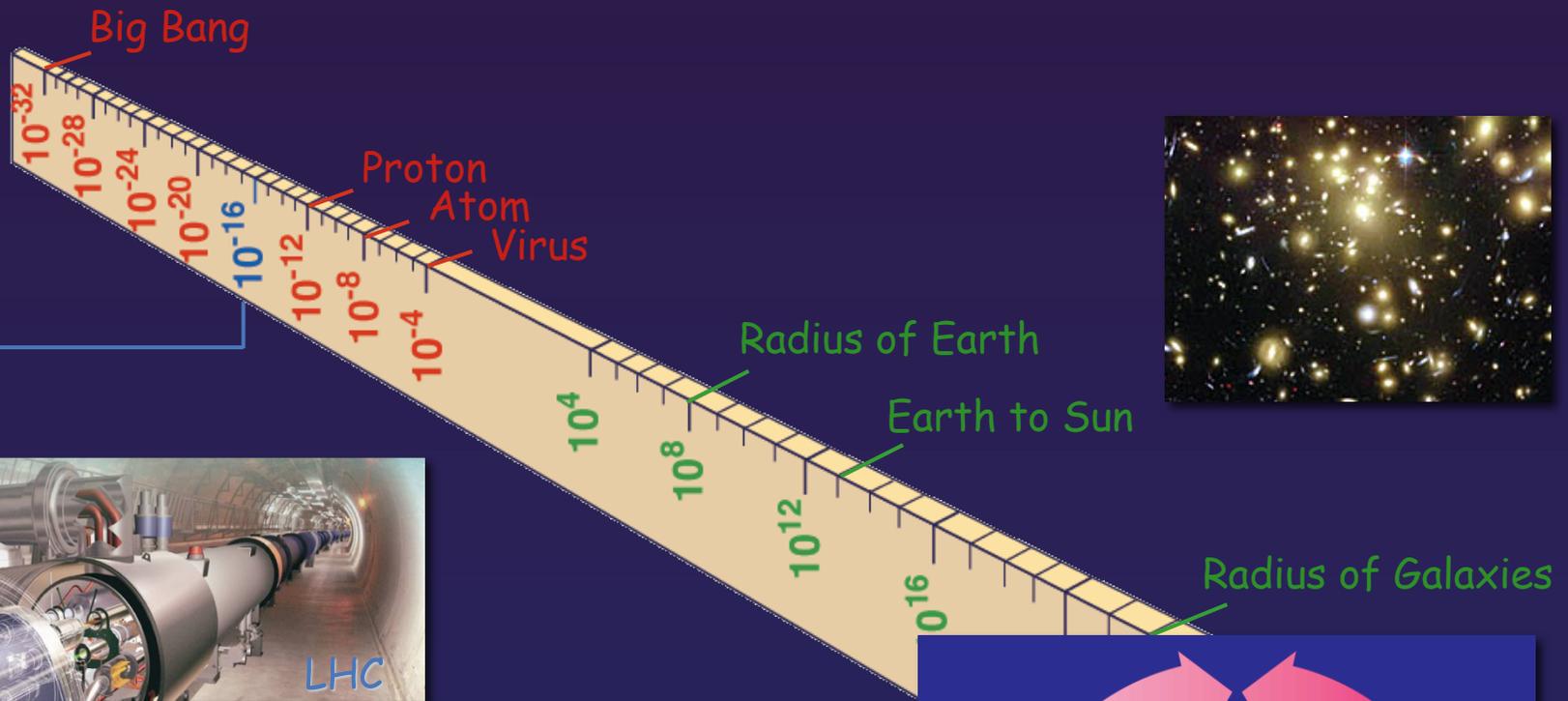


Negli anni '50 sono stati messi in funzione i primi grandi acceleratori:
il ritmo di scoperte di nuove particelle è aumentato drasticamente



Super-Microscope



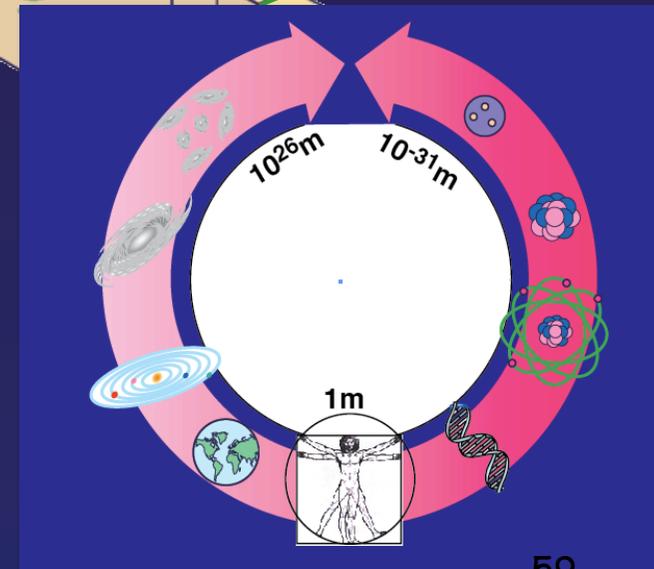


Super-Microscope



Study physics laws of first moments after Big Bang

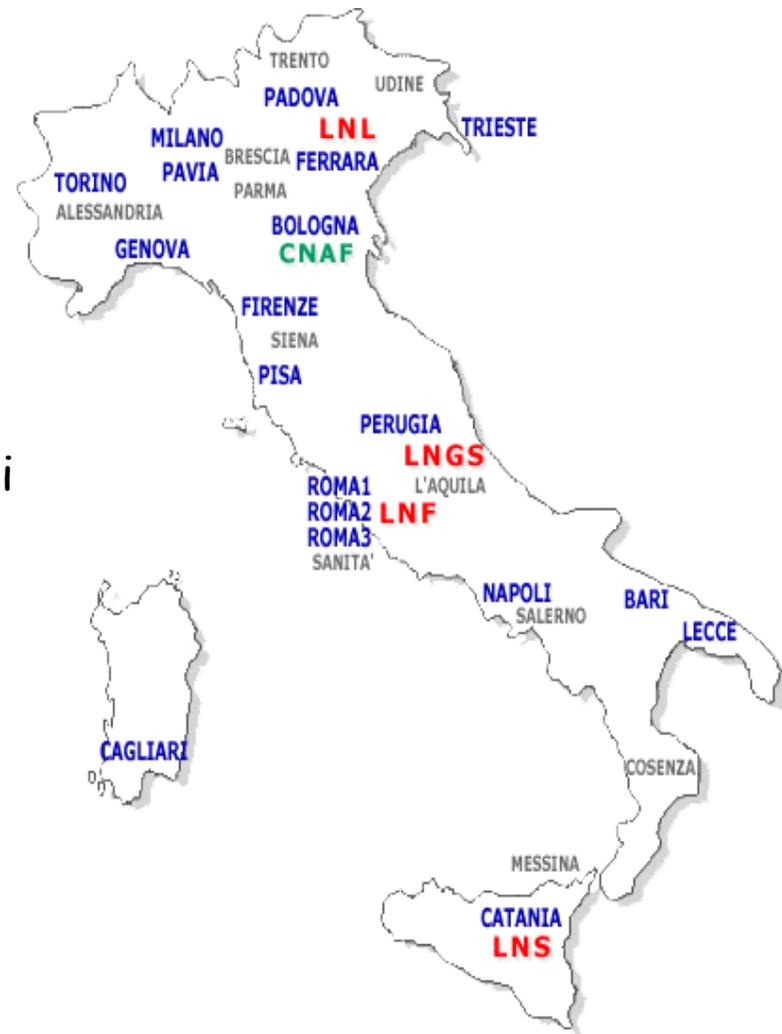
⇒ increasing Symbiosis between Particle Physics, Astrophysics and Cosmology





L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- ❑ L'INFN è un ente di ricerca che ha come missione fondamentale lo studio dei costituenti elementari della materia.
- ❑ A questo scopo l'Istituto conduce da oltre 50 anni ricerche teoriche e sperimentali nel campo della fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare.
- ❑ L'INFN è oggi organizzata in 20 dipartimenti presenti in quasi tutte le regioni italiane, con in aggiunta 11 gruppi di ricerca collegati, 4 laboratori nazionali e 1 centro di calcolo.
- ❑ I quattro laboratori si trovano a Frascati, Legnaro, Catania ed infine al di sotto del Massiccio del Gran Sasso
- ❑ L'INFN ha attualmente circa 2.000 dipendenti, ai quali vanno aggiunti altrettanti ricercatori e professori universitari che esercitano la propria ricerca nel settore delle particelle elementari, e più di un migliaio di giovani, aspiranti futuri ricercatori.

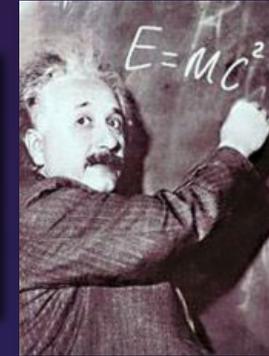
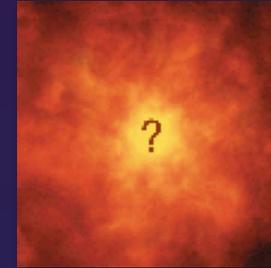




La Missione del CERN

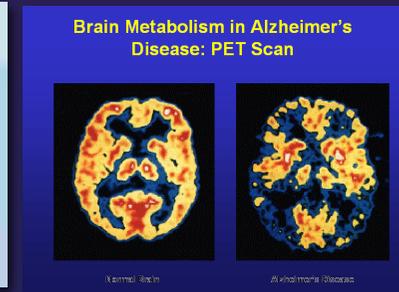
- **Allargare** le frontiere della conoscenza

E.g. the secrets of the Big Bang ...what was the matter like within the first seconds of the Universe's life?

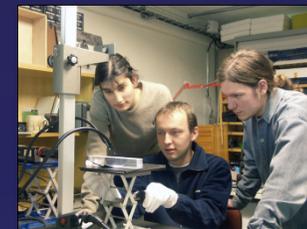


- **Sviluppare** nuove tecnologie

Information technology - the Web and the GRID
Medicine - diagnosis and therapy

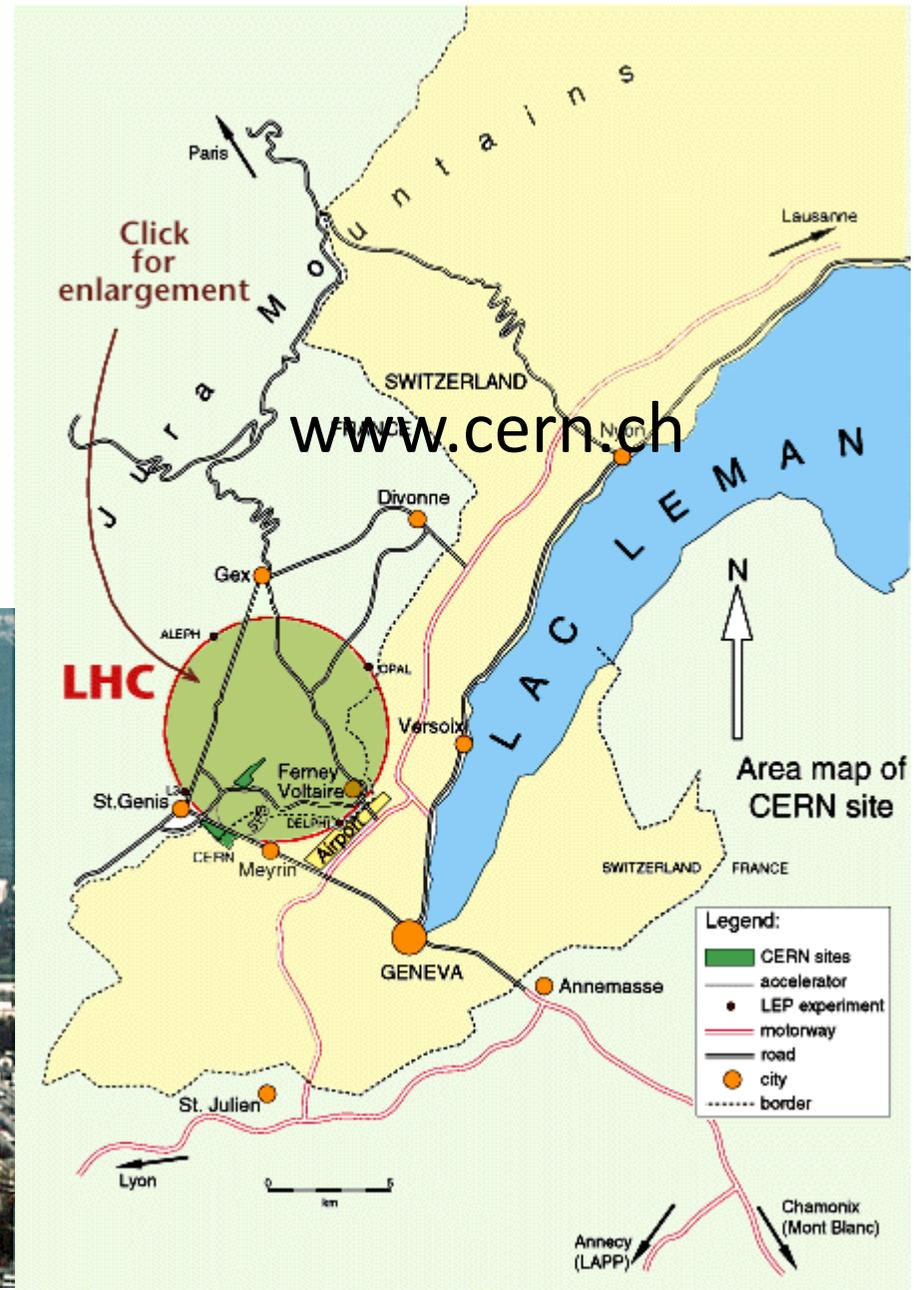
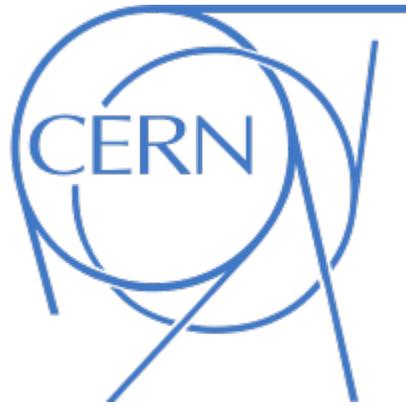


- **Formare/educare** gli scienziati e gli ingegneri di domani



- **Unire** persone di differenti nazioni e culture (→ la vera globalizzazione)







Il piu' grande laboratorio al mondo per la ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari

2600 dipendenti

8000 ricercatori da piu' di 500 universita' in 80 paesi

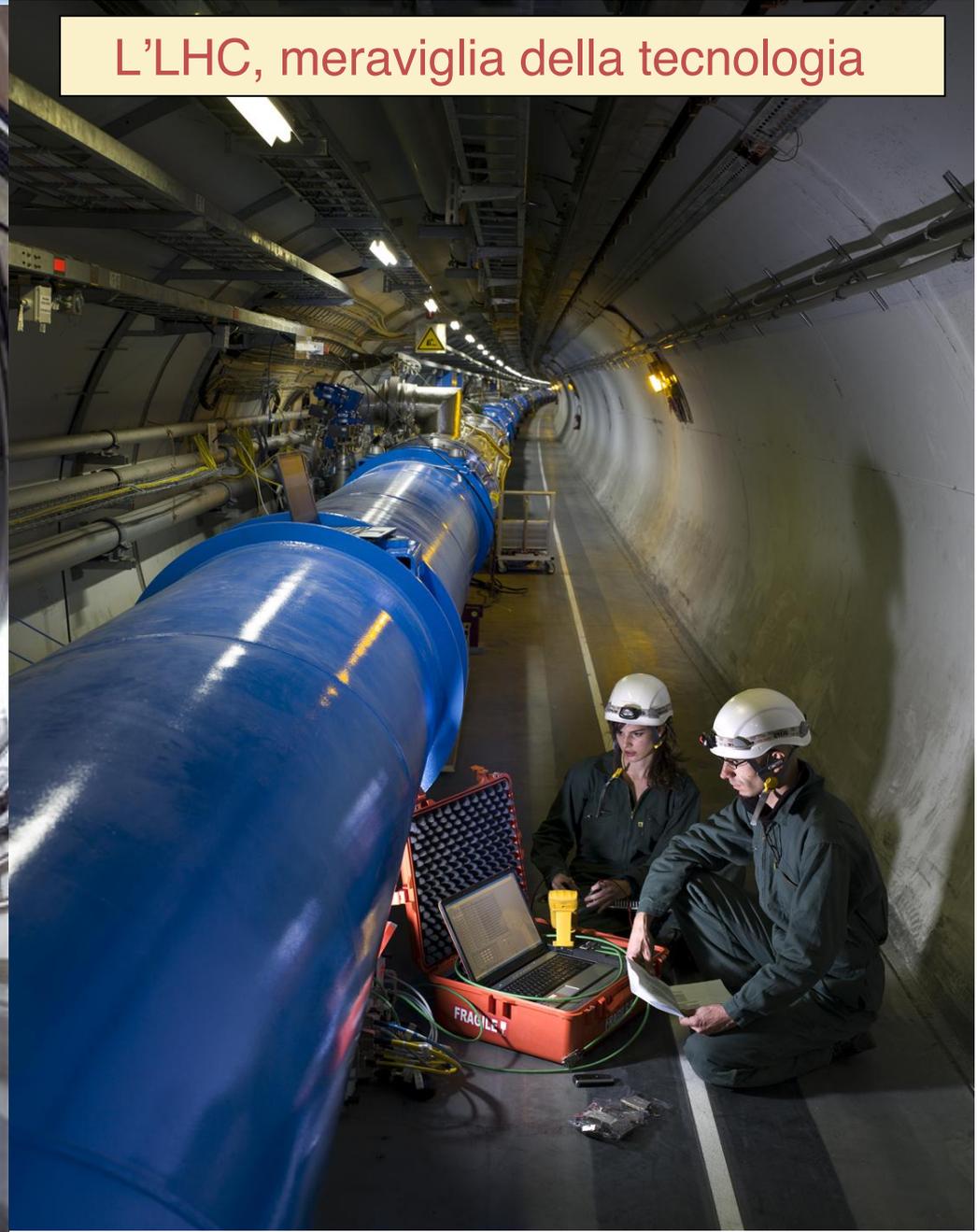
Fondato nel 1954, e' sovvenzionato da 20 stati membri



Budget annuo: 600 milioni di euro
L'Italia contribuisce per il 12 %



LHC e' il piu' grande acceleratore al mondo



LHC : una sfida tecnologica !

Lunghezza 26,7 Km, a 100m di profondità

Velocita' dei protoni : 99,9997828 % della velocita' della luce

9300 magneti superconduttori, raffreddati a -271,3 gradi C (Ansaldo di Genova)

Pressione all'interno del tubo dell'acceleratore 10^{-13} atm (1 decimo che sulla luna)

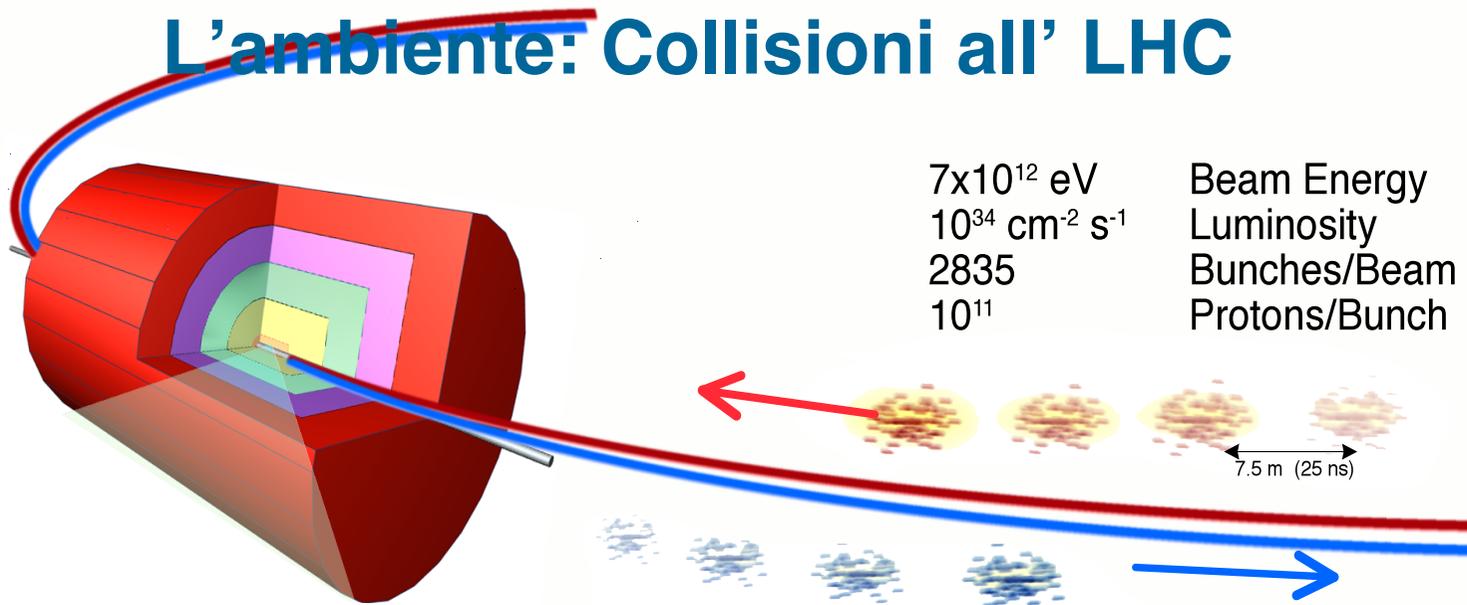
40 milioni di collisioni al secondo

Ogni esperimento di LHC riempira' di dati l'equivalente di 100 milioni di DVD ogni anno

Costo : 6 miliardi di euro (pagato in circa 10 anni dagli stati membri del CERN su budget normale, senza richiesta di sovvenzioni speciali)

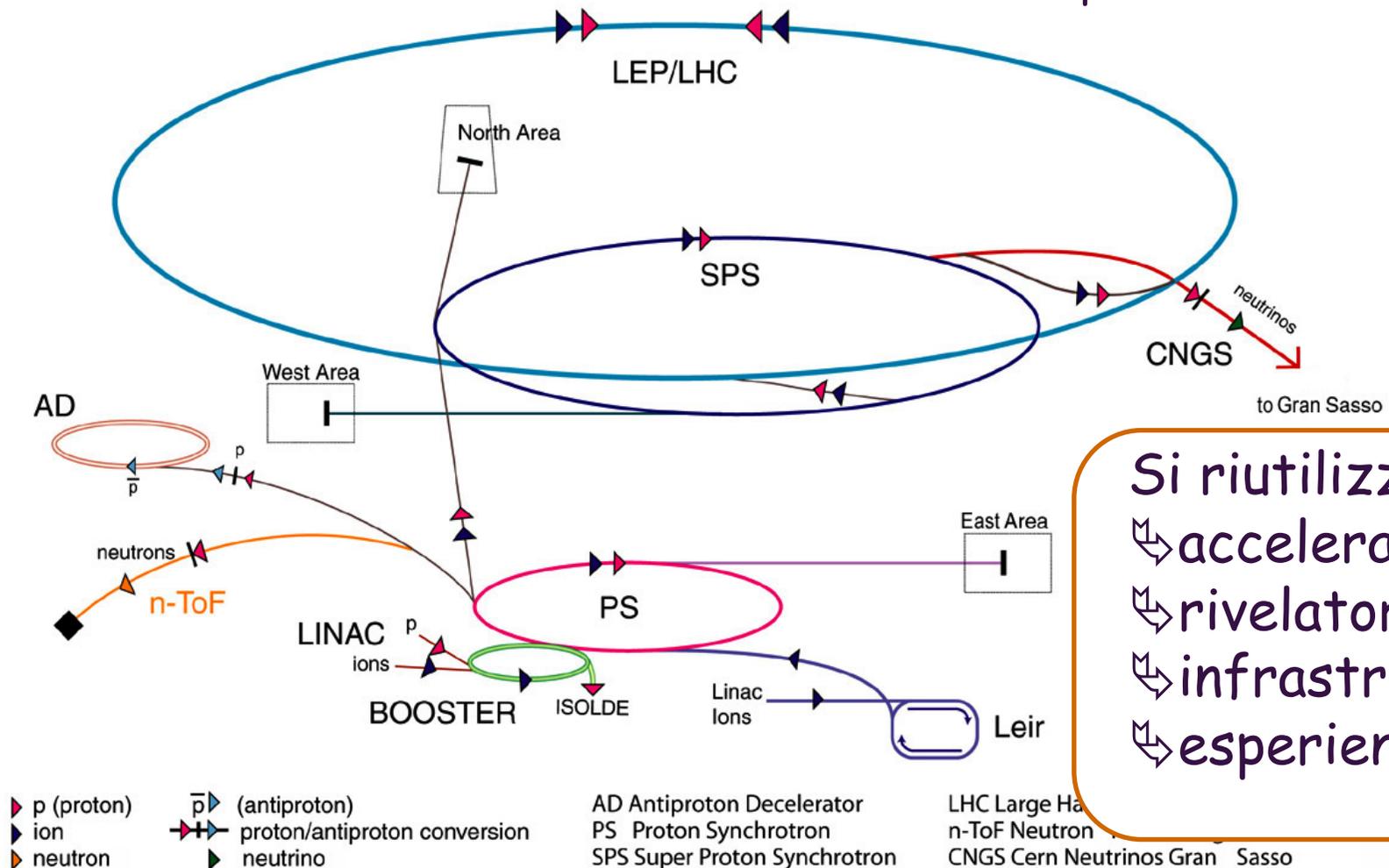
Consumo energetico a pieno regime: 180 MWatt (meno di un decimo di tutto il cantone di Ginevra), fornito dalla societa' elettrica francese.

L'ambiente: Collisioni all' LHC

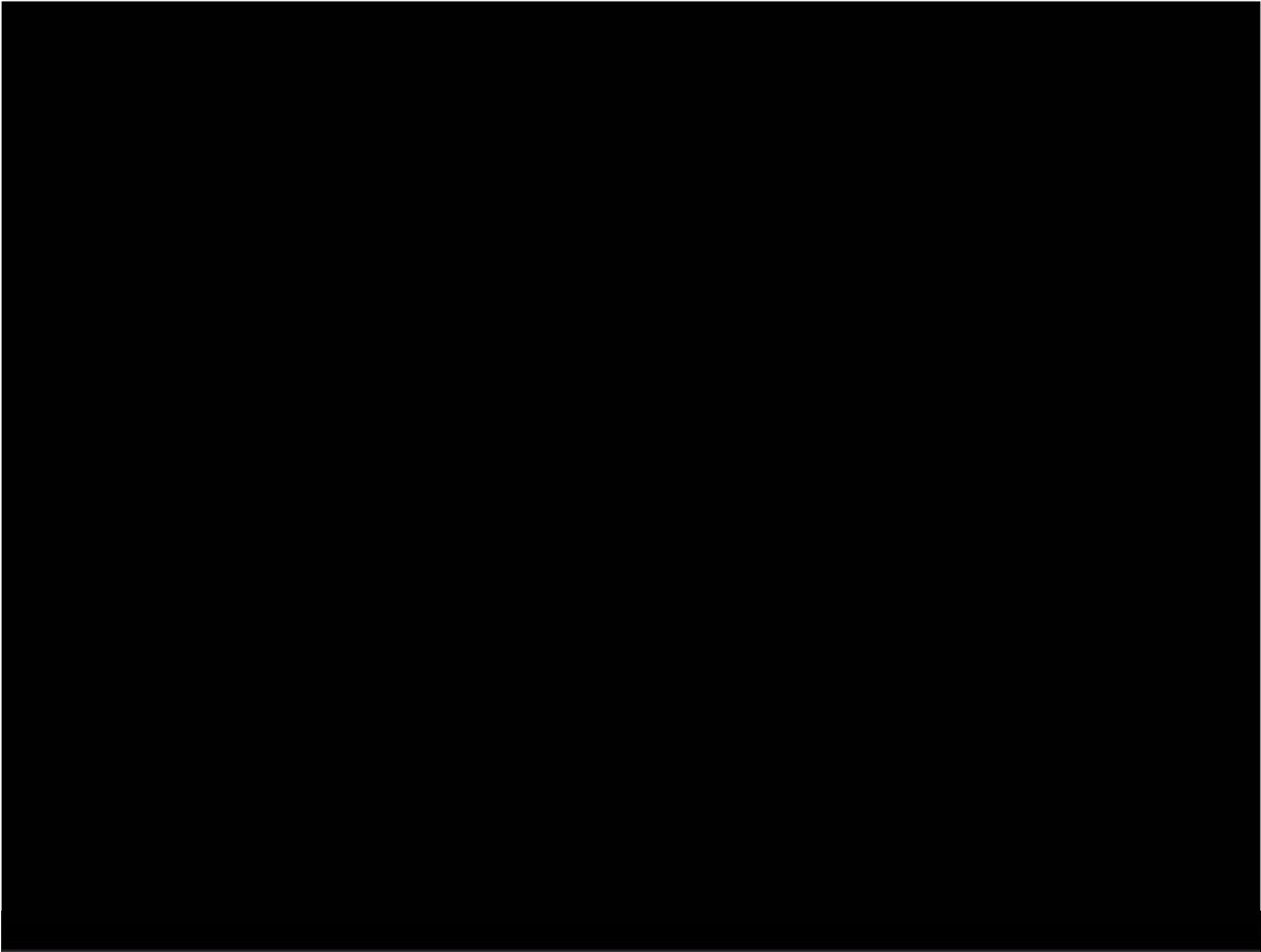


7 TeV Proton Proton
colliding beams

La catena degli acceleratori al CERN:
un sistema che evolve nel tempo



Si riutilizzano:
 ↳ acceleratori,
 ↳ rivelatori,
 ↳ infrastrutture
 ↳ esperienza





Costruzione di un esperimento all'LHC

Durata ~ 20 anni dai concetti alla fine della costruzione !

Ha spinto i limiti di molte tecnologie

Ingegneria: Civile, Pesante e “State of the Art”

Instrumentazione: Nuove Tecnologie per Rivelatori

Elettronica: Low Cost Radiation Hard Electronics

Computing e Networking:

Sistemi di Data Acquisition e Selezione degli eventi

www → Worldwide LHC Computing Grid

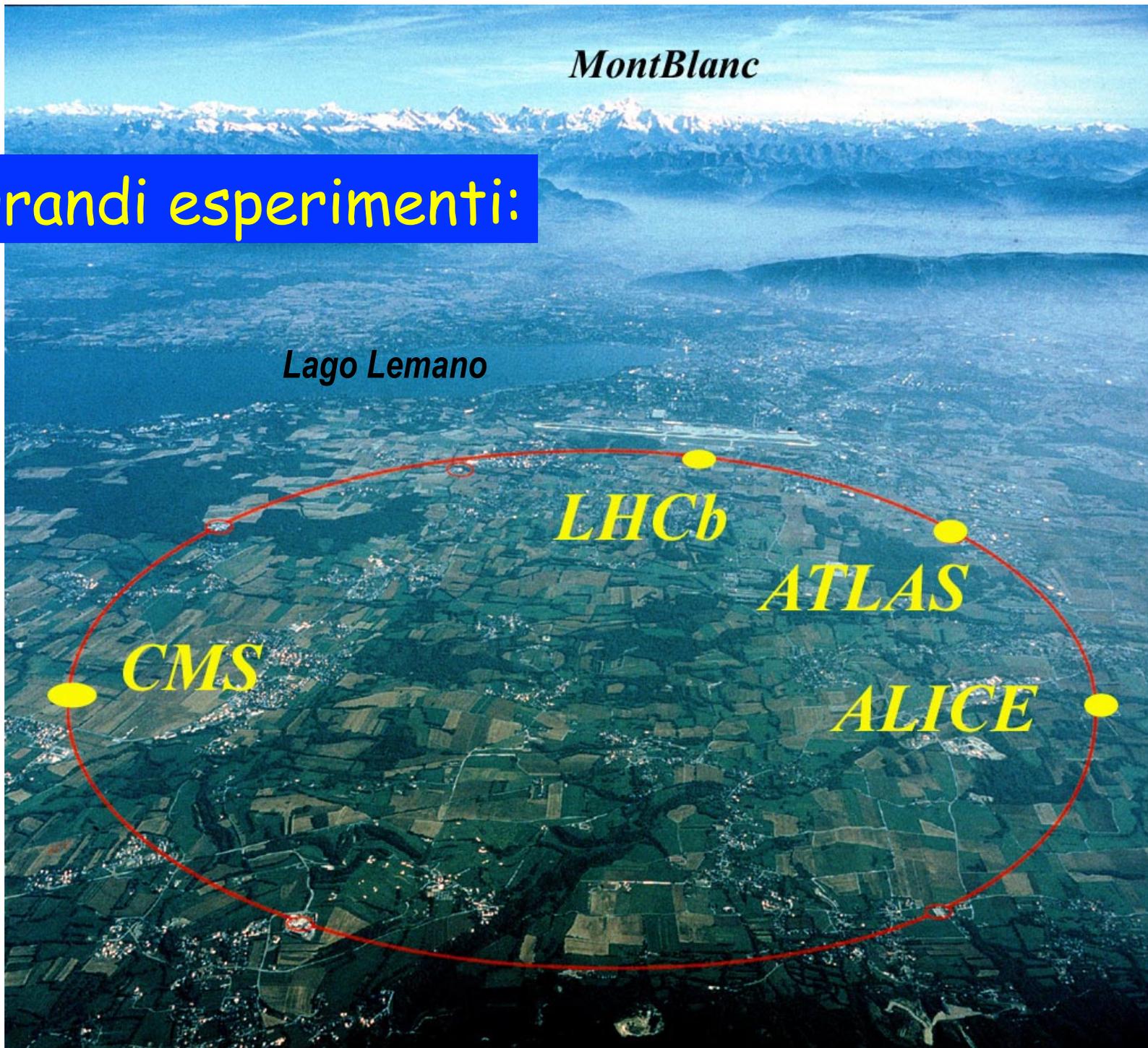
Organizzazione: Collaborazioni mondiali

Analisi Distribuite → Risultati di Fisica

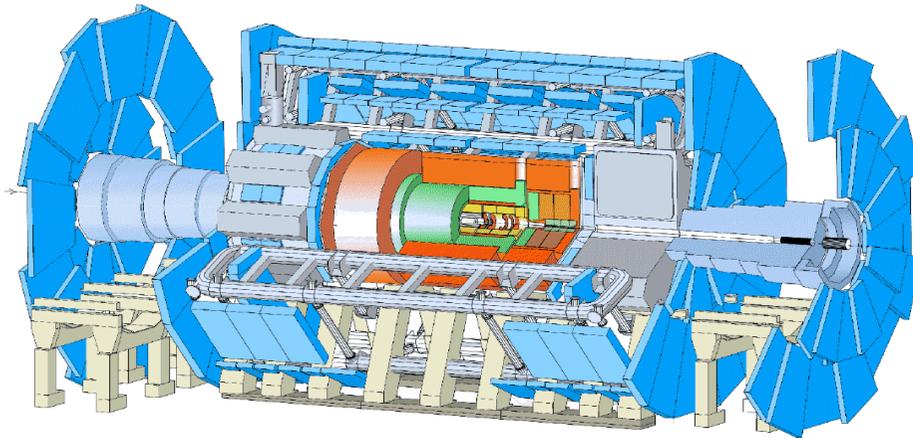
MontBlanc

4 grandi esperimenti:

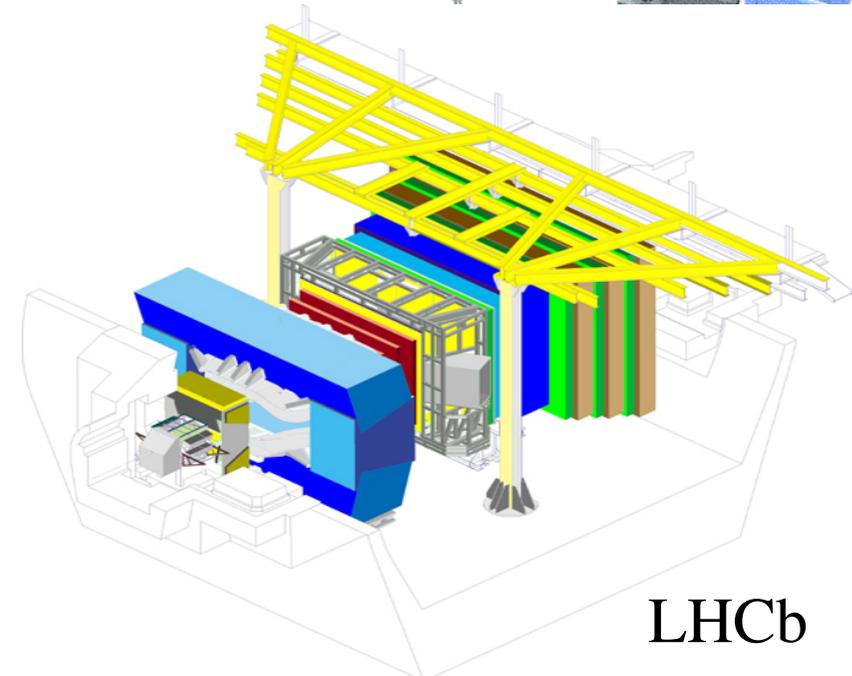
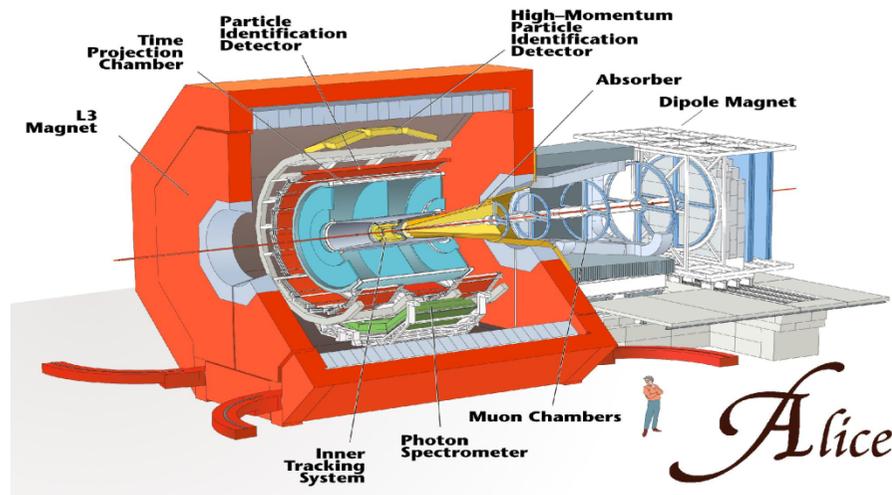
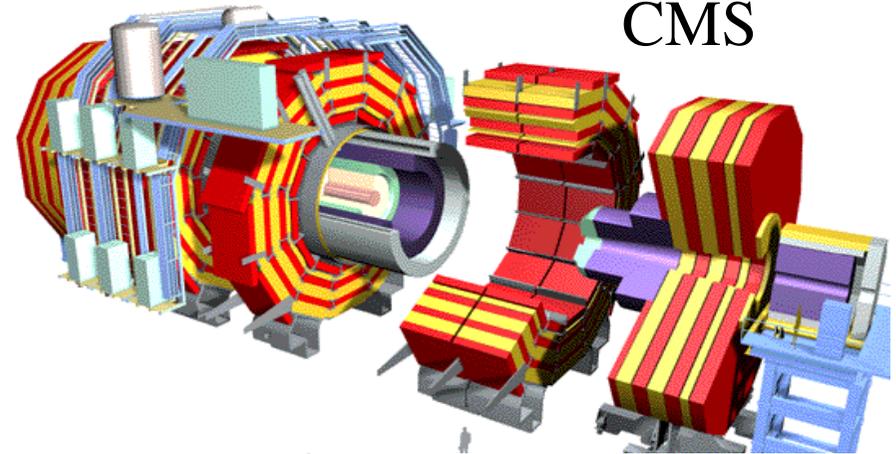
Lago Lemano



ATLAS



CMS

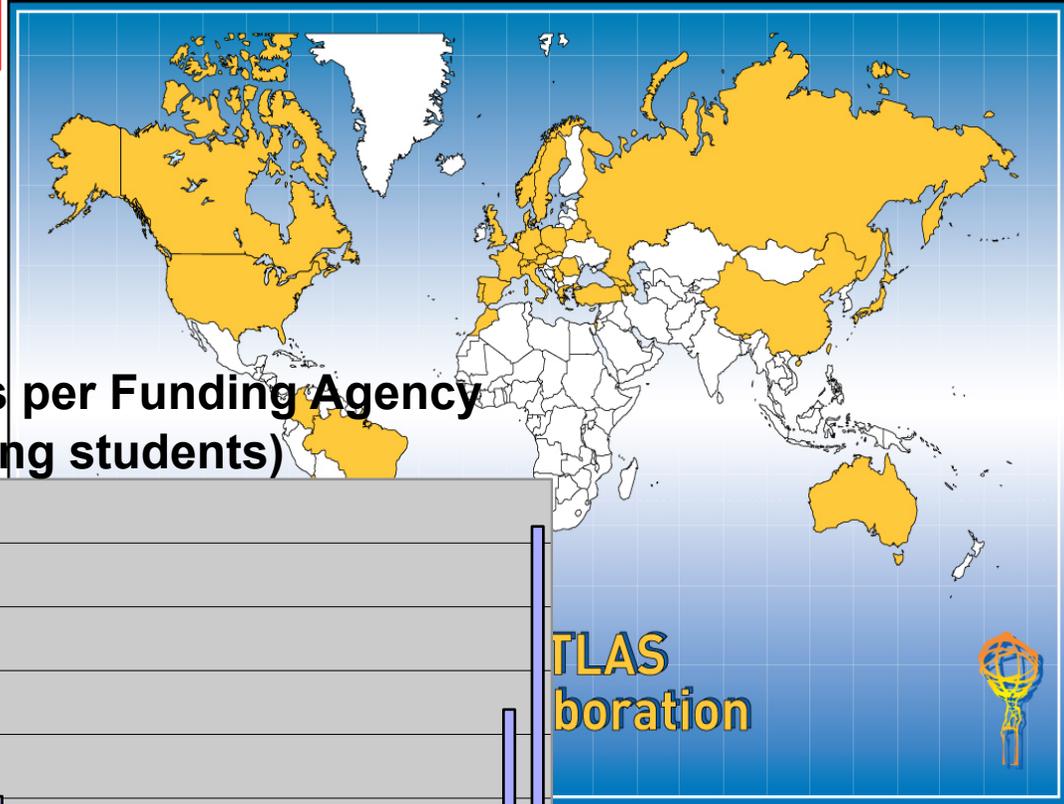


LHCb

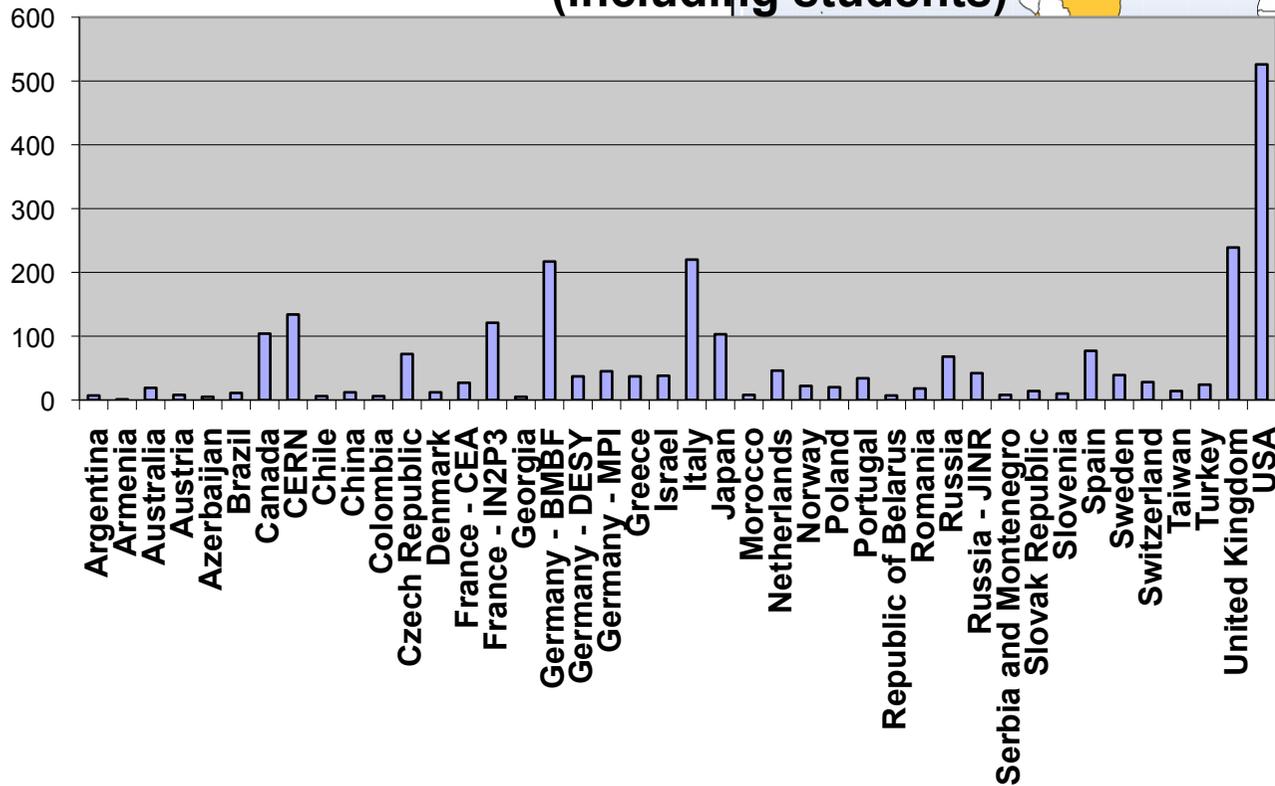
Worldwide Scientific

ATLAS Collaboration

37 Countries
169 Institutions
2500 Scientific Authors



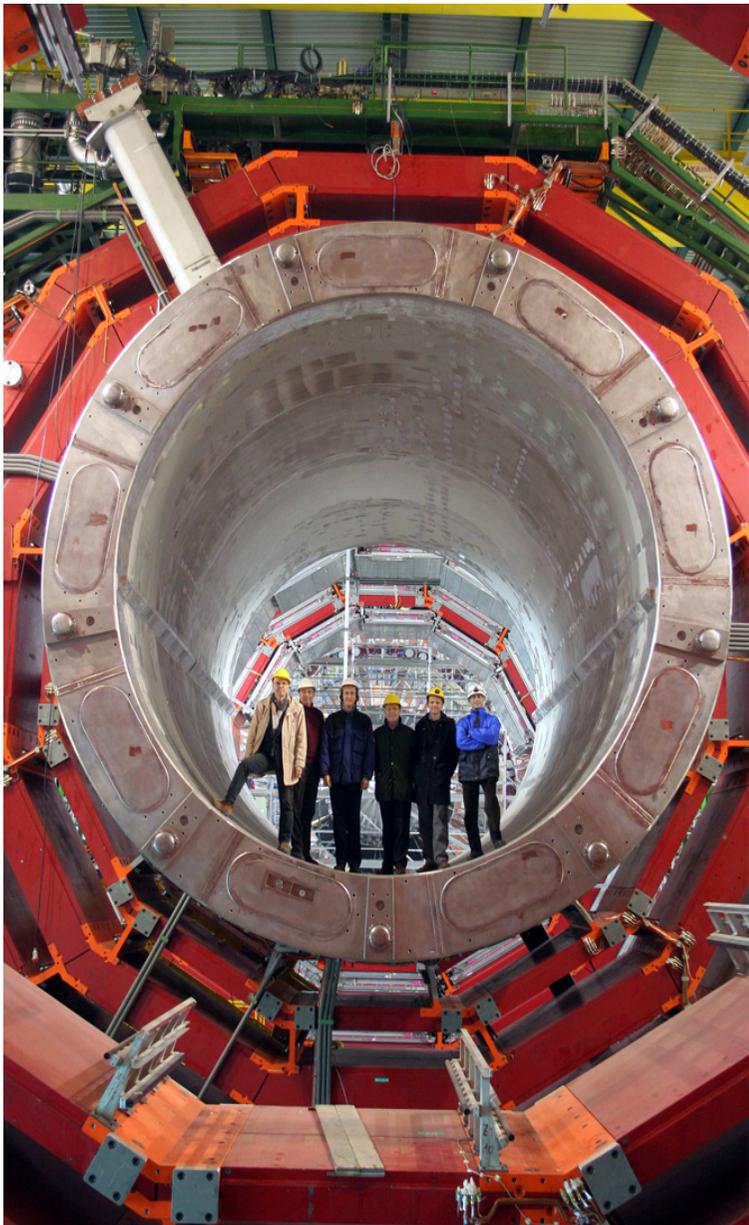
ATLAS Members per Funding Agency
(including students)



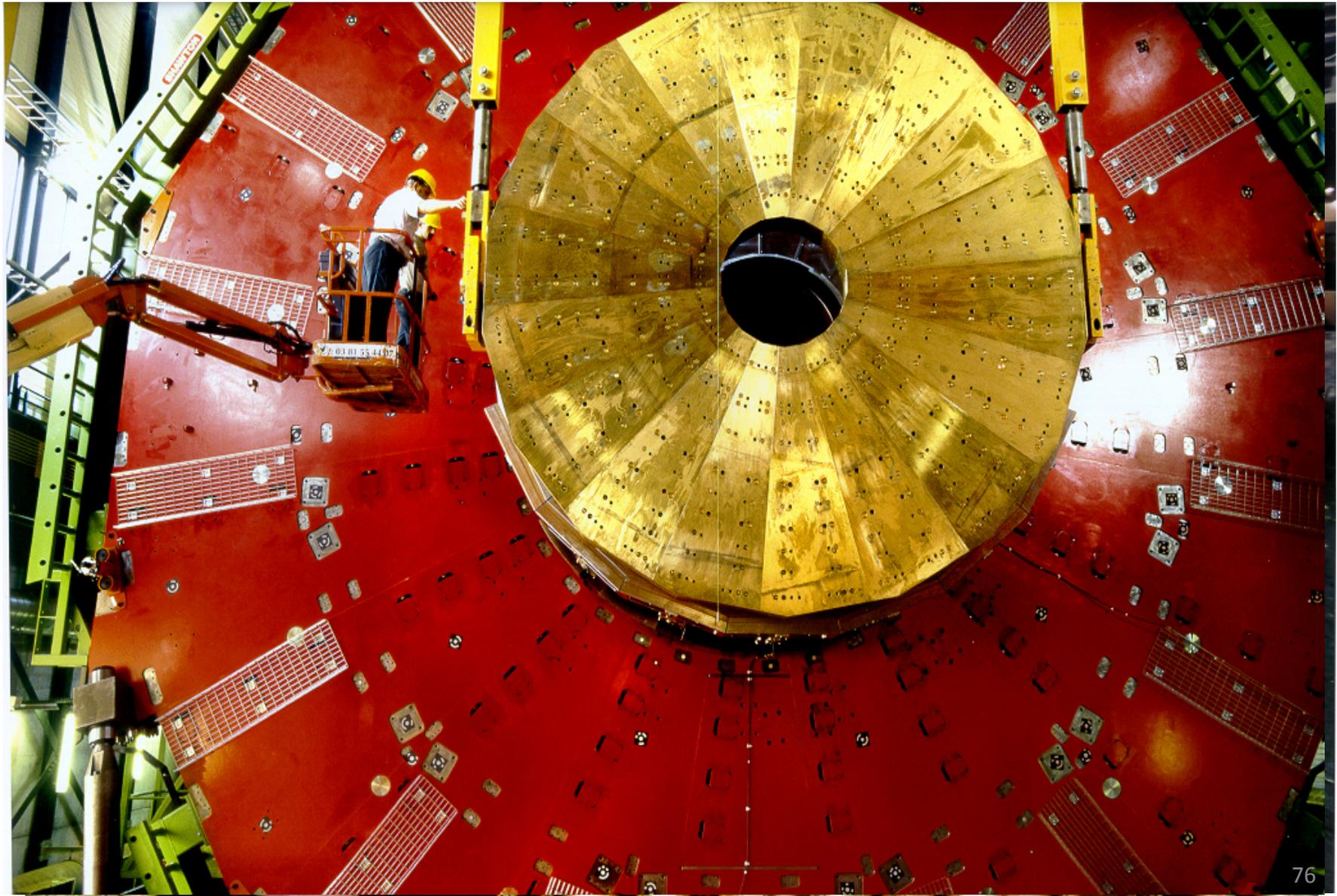
Esperimento CMS (Compact Muon Solenoid)



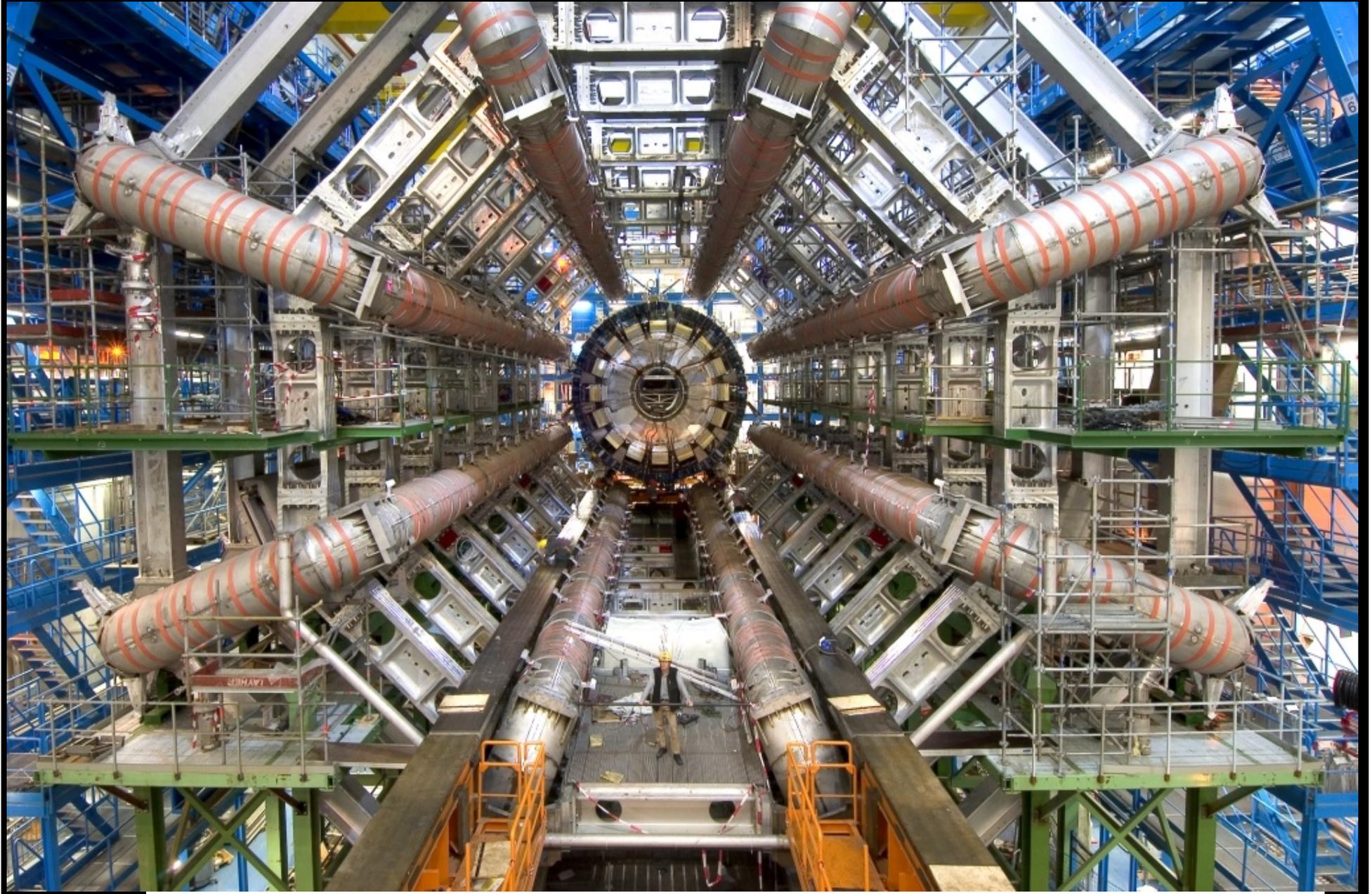
The Superconductor for 4T !

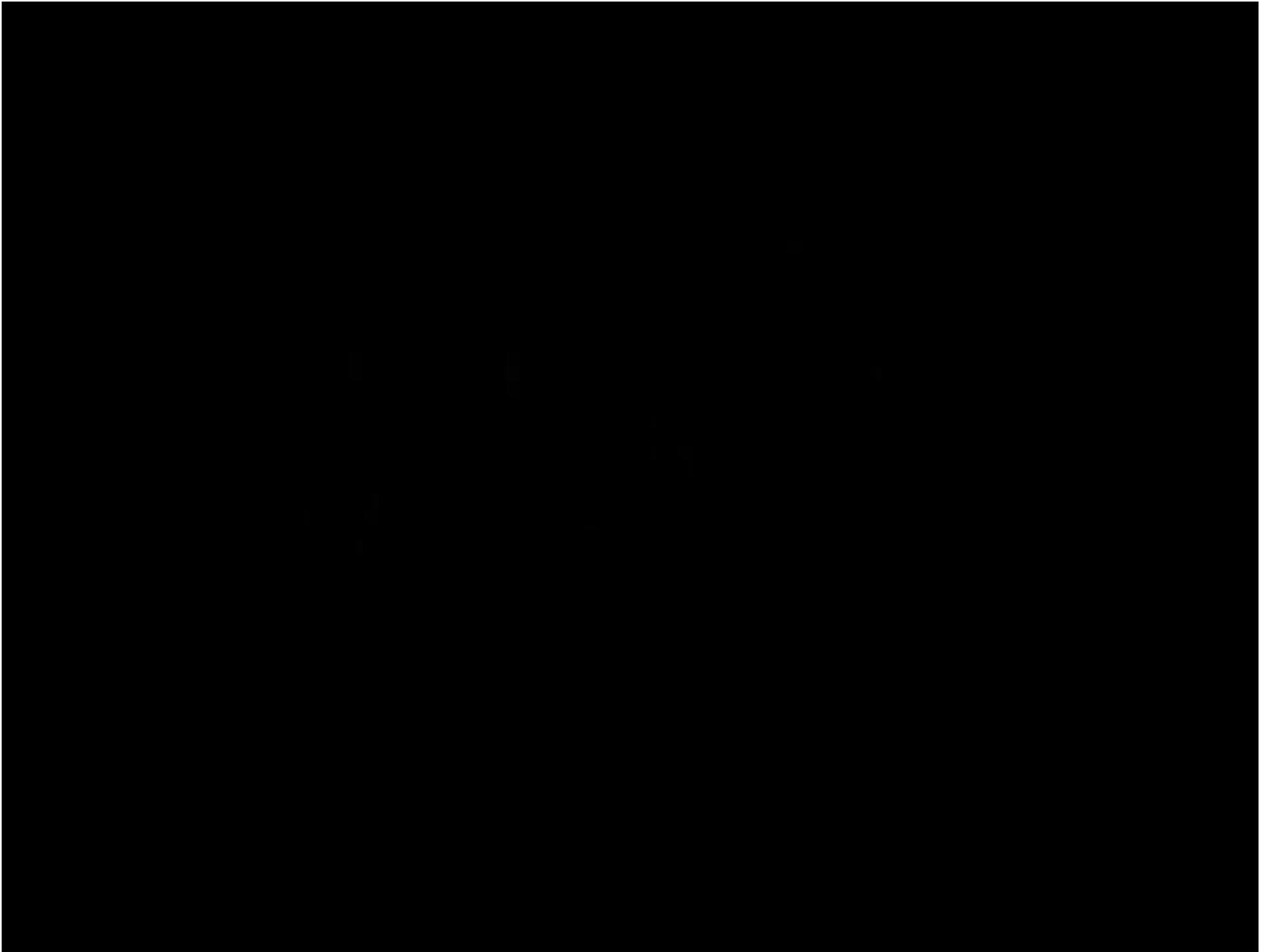


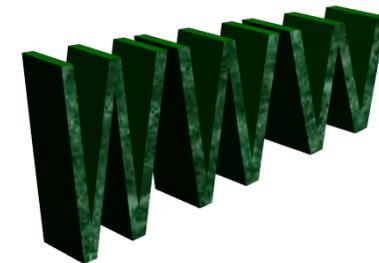
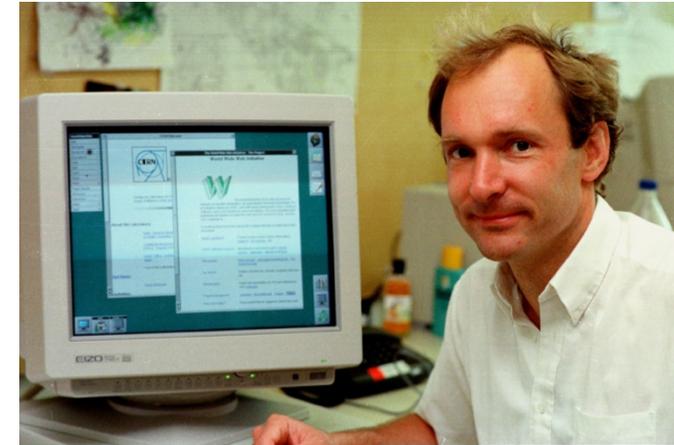
Da spade a scienza



L'ESPERIMENTO ATLAS







Condividere l'informazione

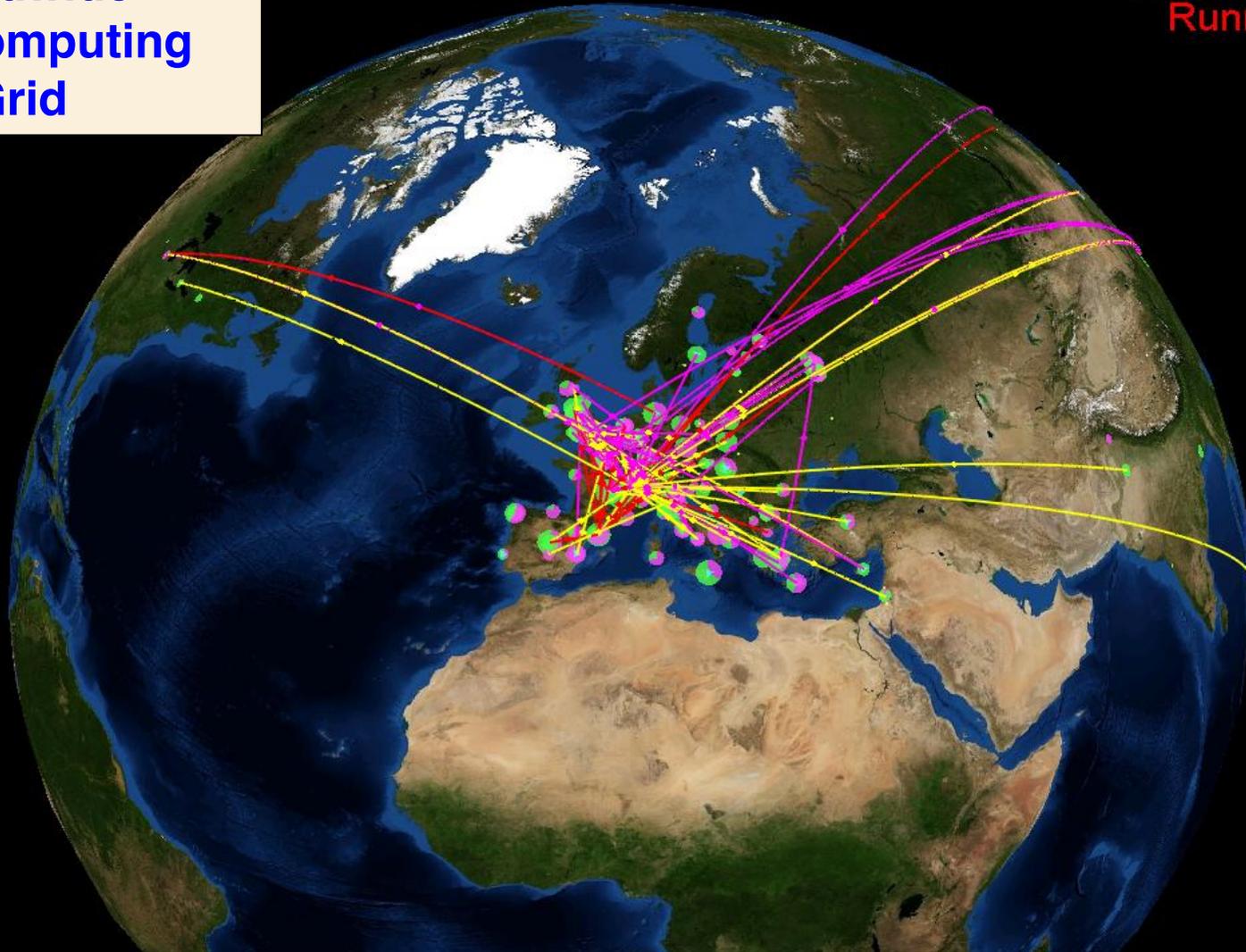
Il progetto LHC computing GRID è un progetto finanziato anche dall'Unione Europea. L'obiettivo è fornire l'enorme potenza di calcolo necessaria per analizzare la straordinaria quantità di dati attesi dall'LHC



Condividere la potenza di calcolo

Worldwide LHC Computing Grid

Scheduled = 15301
Running = 10525



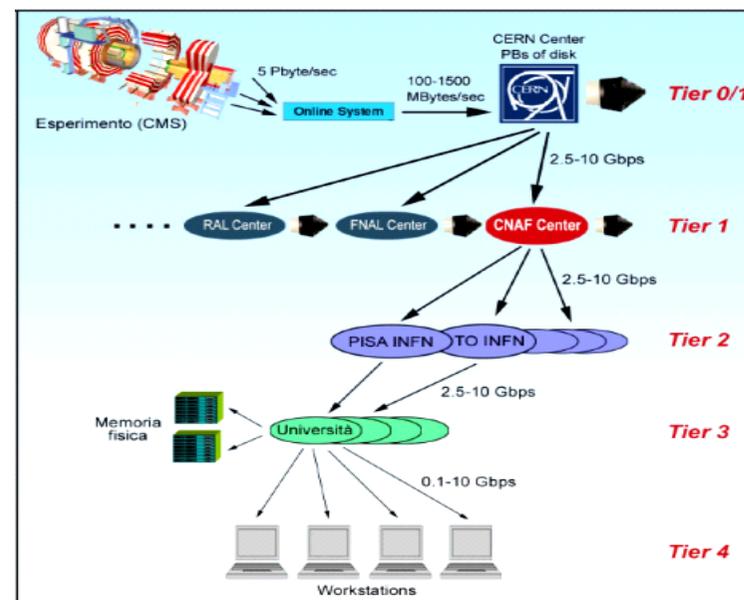
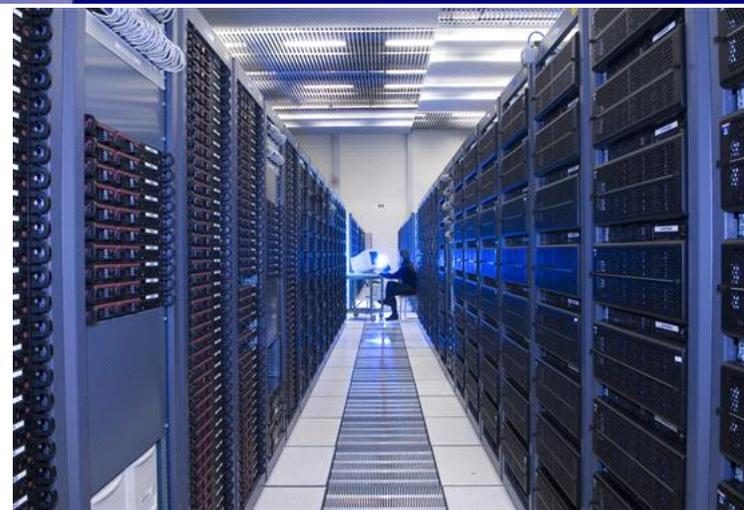
- Gli esperimenti produrranno circa **15 Million Gigabytes** di dati per anno (circa 5 milioni di DVD!)
- L'analisi dati per l'LHC richiede una potenza di calcolo equivalente a **~100,000 dei piu' veloci PC oggi esistenti**

- ❑ I quattro esperimenti di LHC producono circa 15 *Petabyte* di dati all'anno (1 *Petabyte* corrisponde a un milione di *Gigabyte*), sufficienti per riempire annualmente qualcosa come 20 milioni di *Compact Disk*
- ❑ Se volessimo memorizzare tutti i dati prodotti in un anno da LHC su dei *Compact Disk*, impilandoli potremmo costruire una colonna alta 20 km!
- ❑ I dati devono essere disponibili per qualcosa come 5.000 scienziati in 500 Istituti di ricerca e Università in ogni parte del mondo, e conservati per una quindicina di anni



- ❑ I dati degli esperimenti sono acquisiti al CERN, e poi trasferiti secondo un modello gerarchico su più strati in tutto il mondo
- ❑ Dopo una prima fase di processo al CERN essi sono spediti ai centri di calcolo più grandi, che sono situati in Canada, Francia, Germania, Olanda, Paesi Scandinavi, Regno Unito, Spagna, Stati Uniti, Taiwan, e ovviamente Italia

↳ In Italia, in particolare, il centro di calcolo si trova a Bologna, presso una struttura dell'INFN appositamente delegata alle tecnologie informatiche, denominata **CNAF**



10 settembre 2008: si parte !!!!





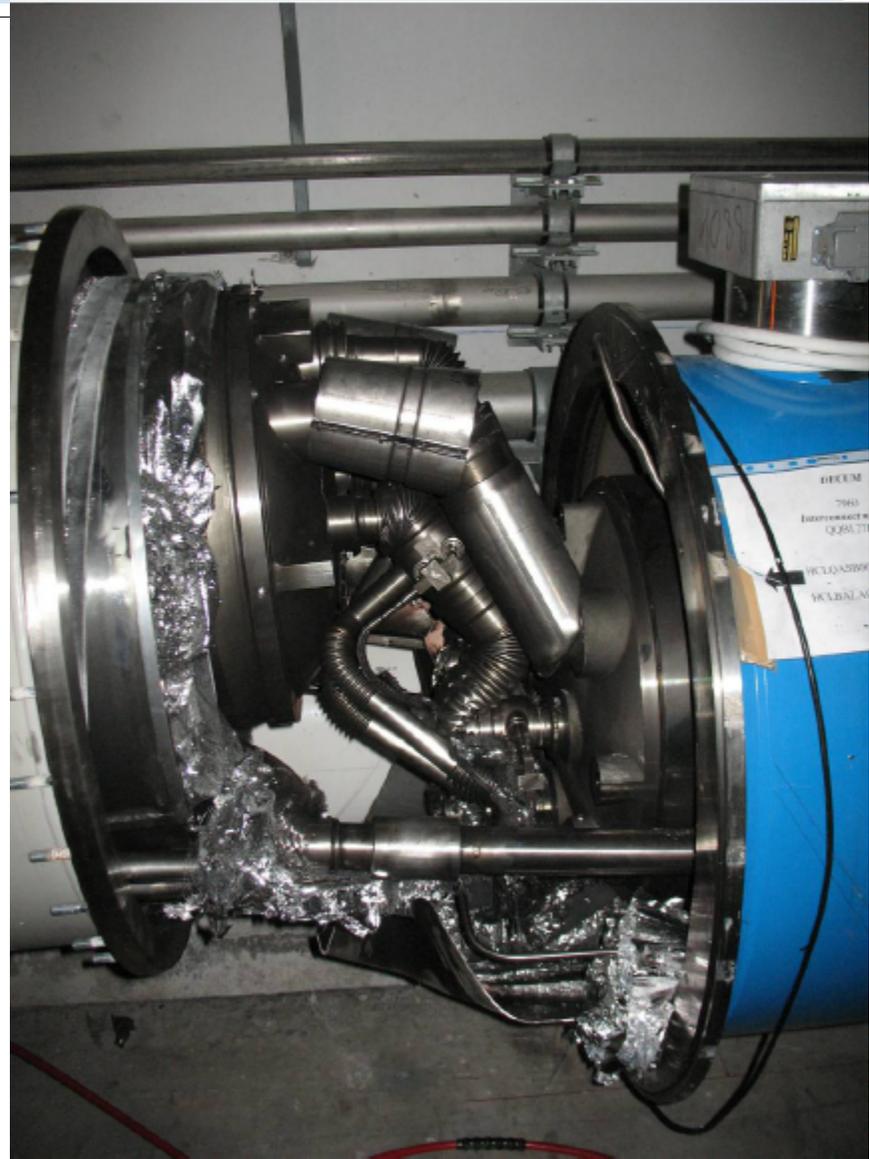
10 settembre 2008: si parte !!!! (evento visto da ~ 1 Miliardo di persone !!!)

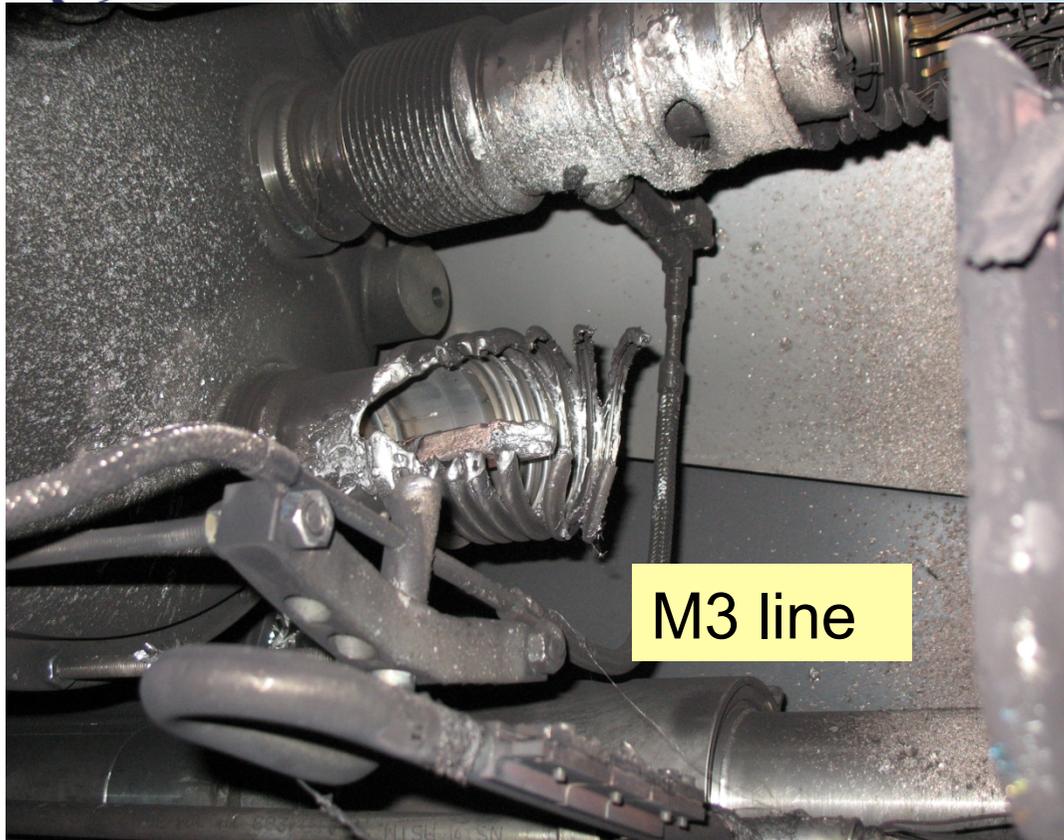


..... grande interesse

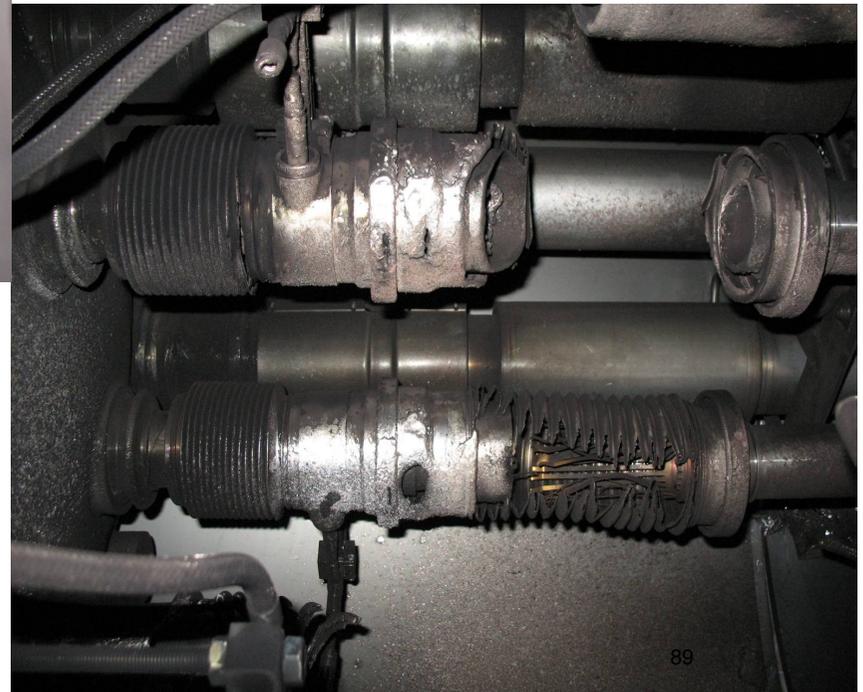


e dopo un piccolo incidente

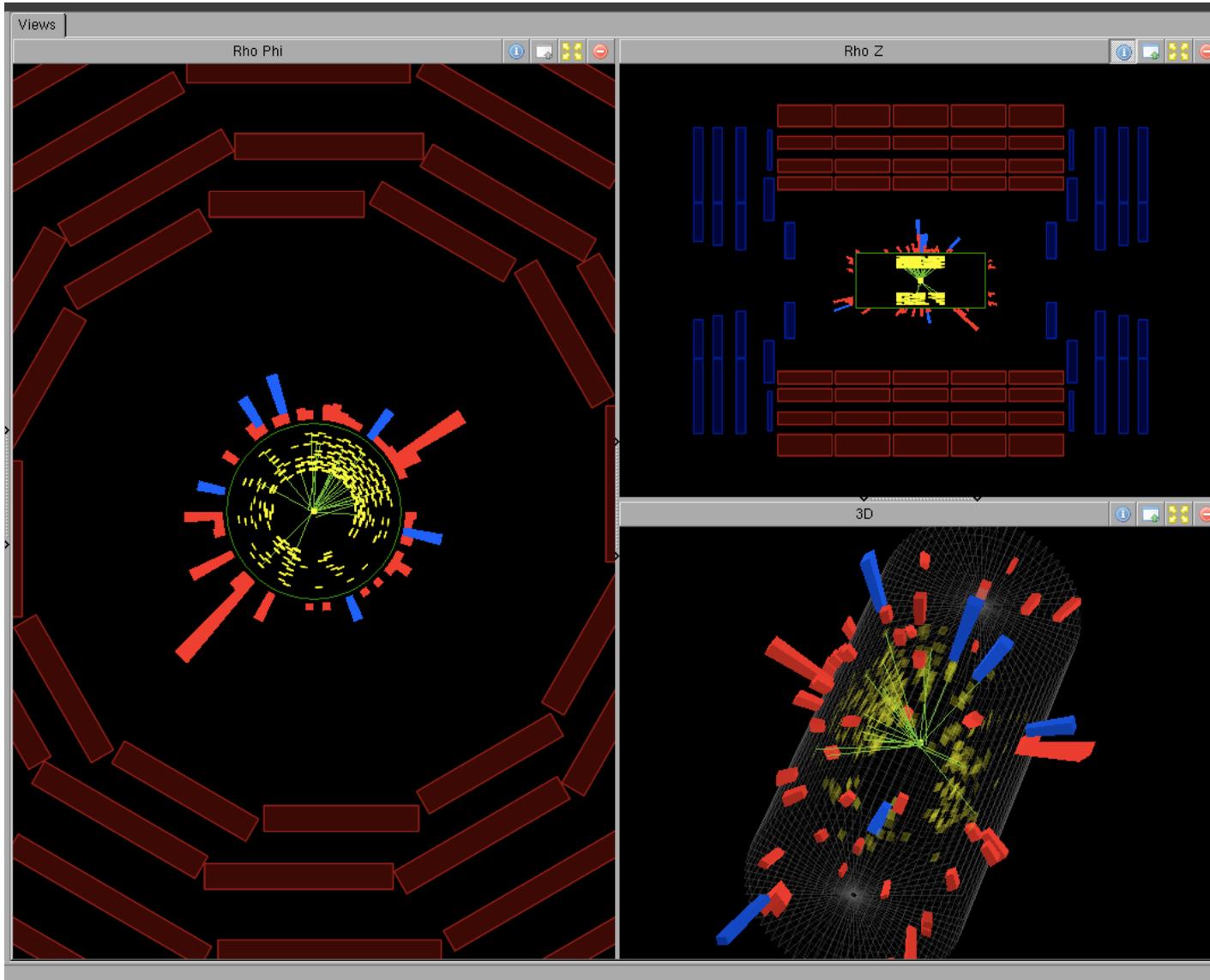




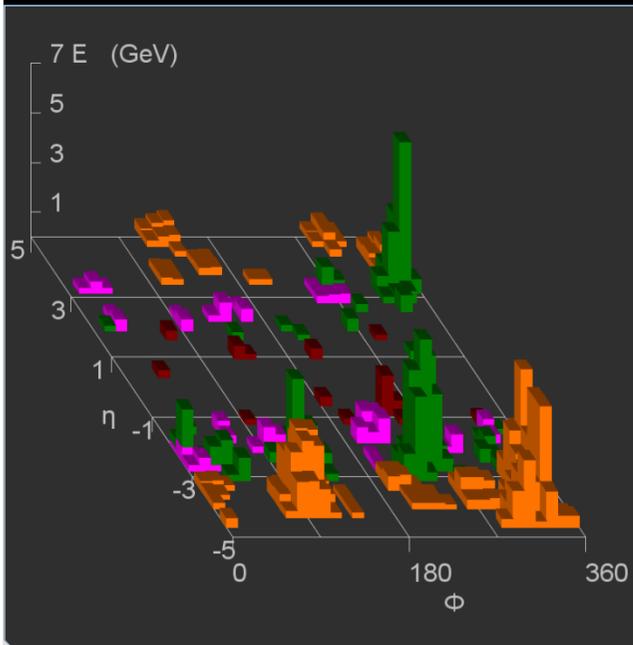
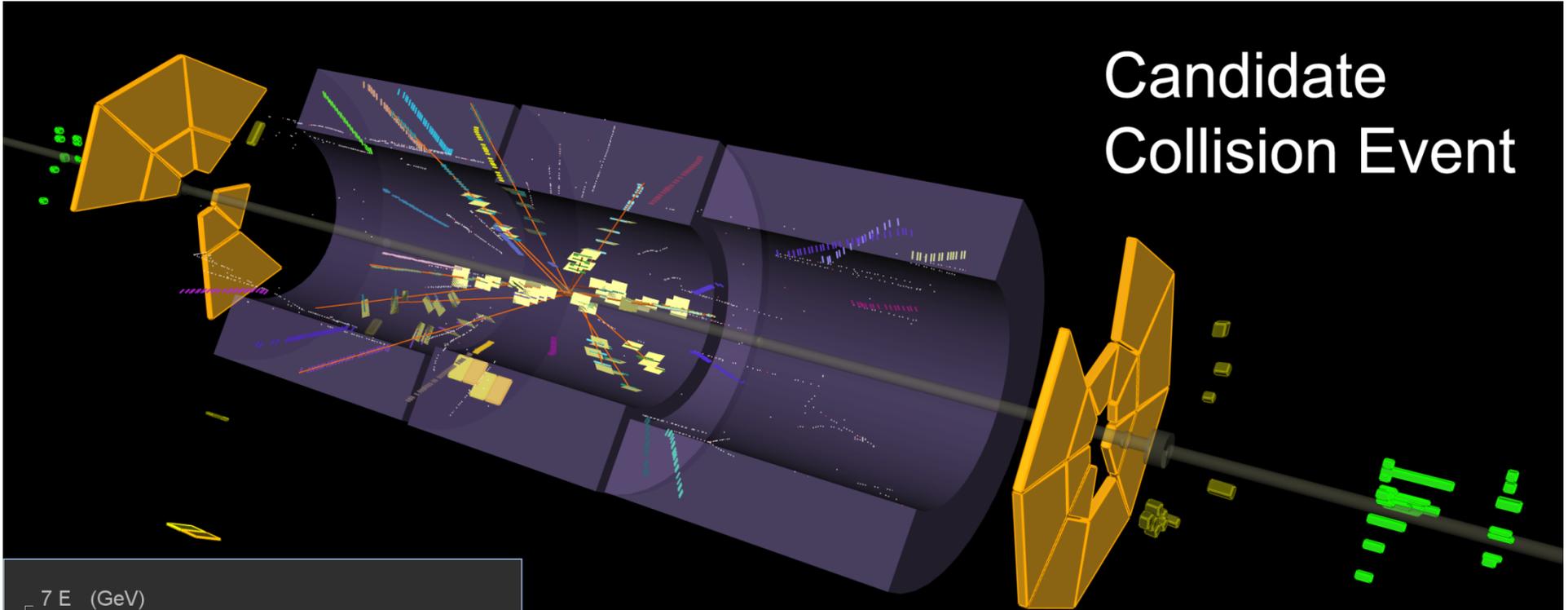
V lines



Dicembre 2009: le prime collisioni !!!!



Candidate Collision Event



 **ATLAS**
EXPERIMENT

2009-11-23, 14:22 CET
Run 140541, Event 171897

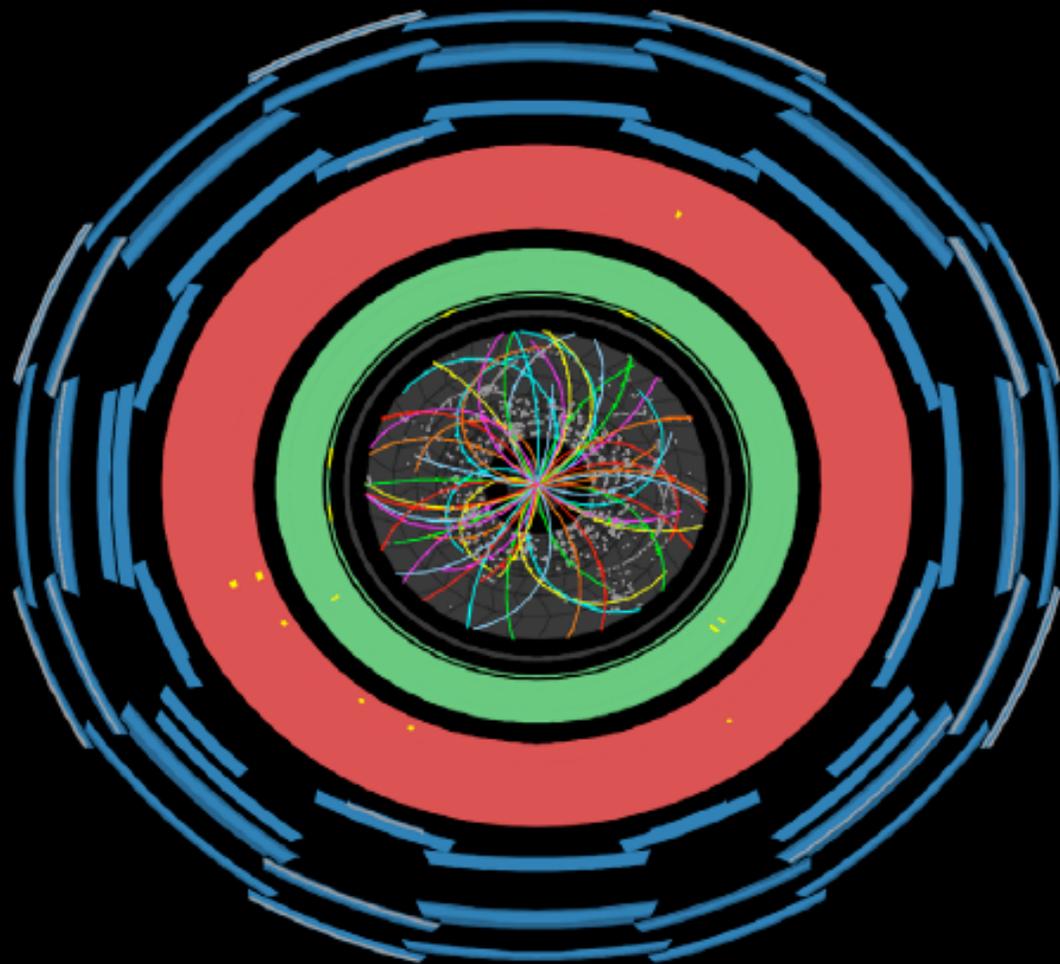
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

We were very excited...



CERN: March 30th, 2010, 12:57
LHC collisions p-p at $\sqrt{s} = 7$ TeV:
HEP is finally in the new era!

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>



 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 152166, Event Number: 316199

Date: 2010-03-30 12:58:23 CEST

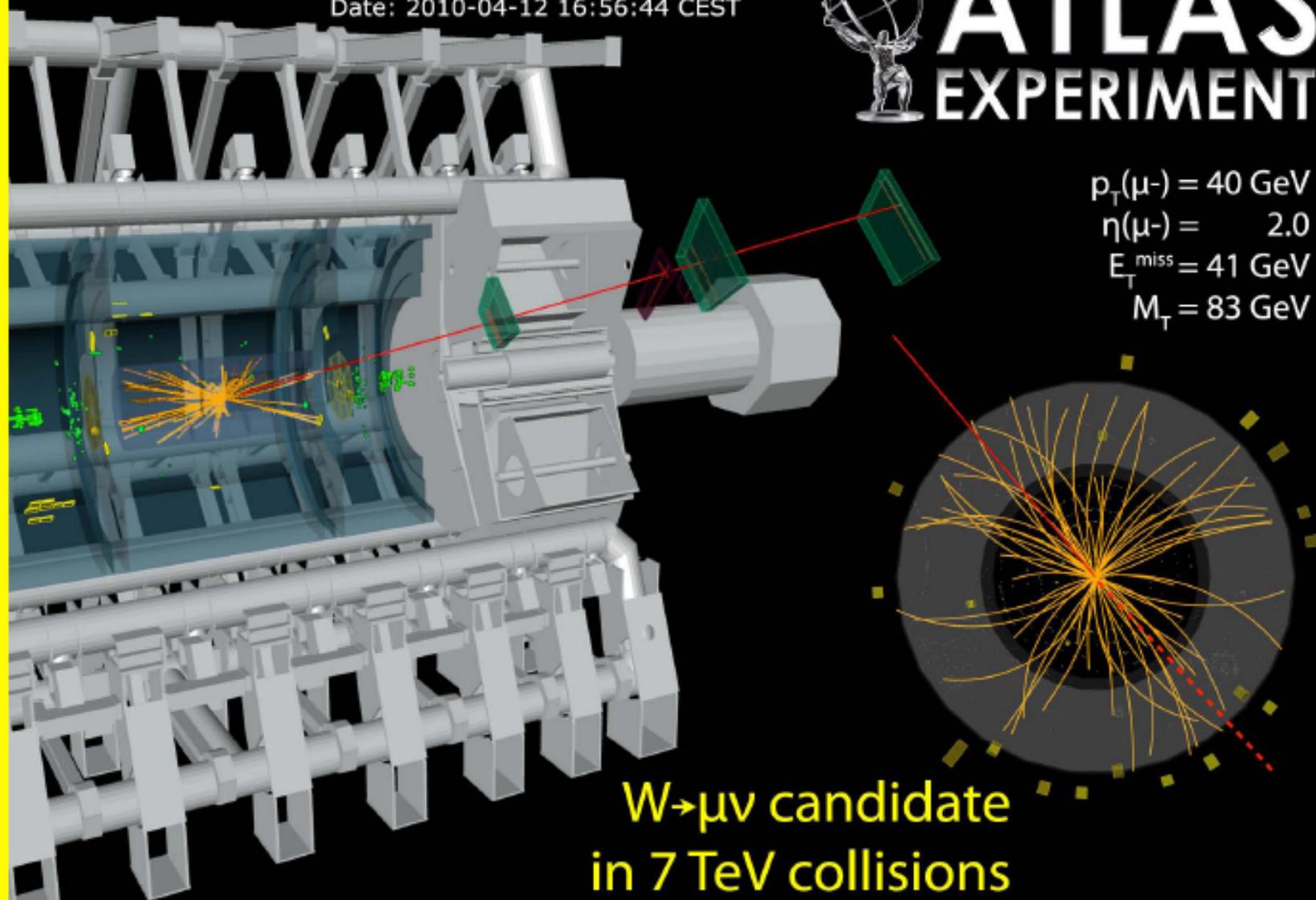
4th observed candidate: 12 April

Run: 152845, Event: 3338173
Date: 2010-04-12 16:56:44 CEST



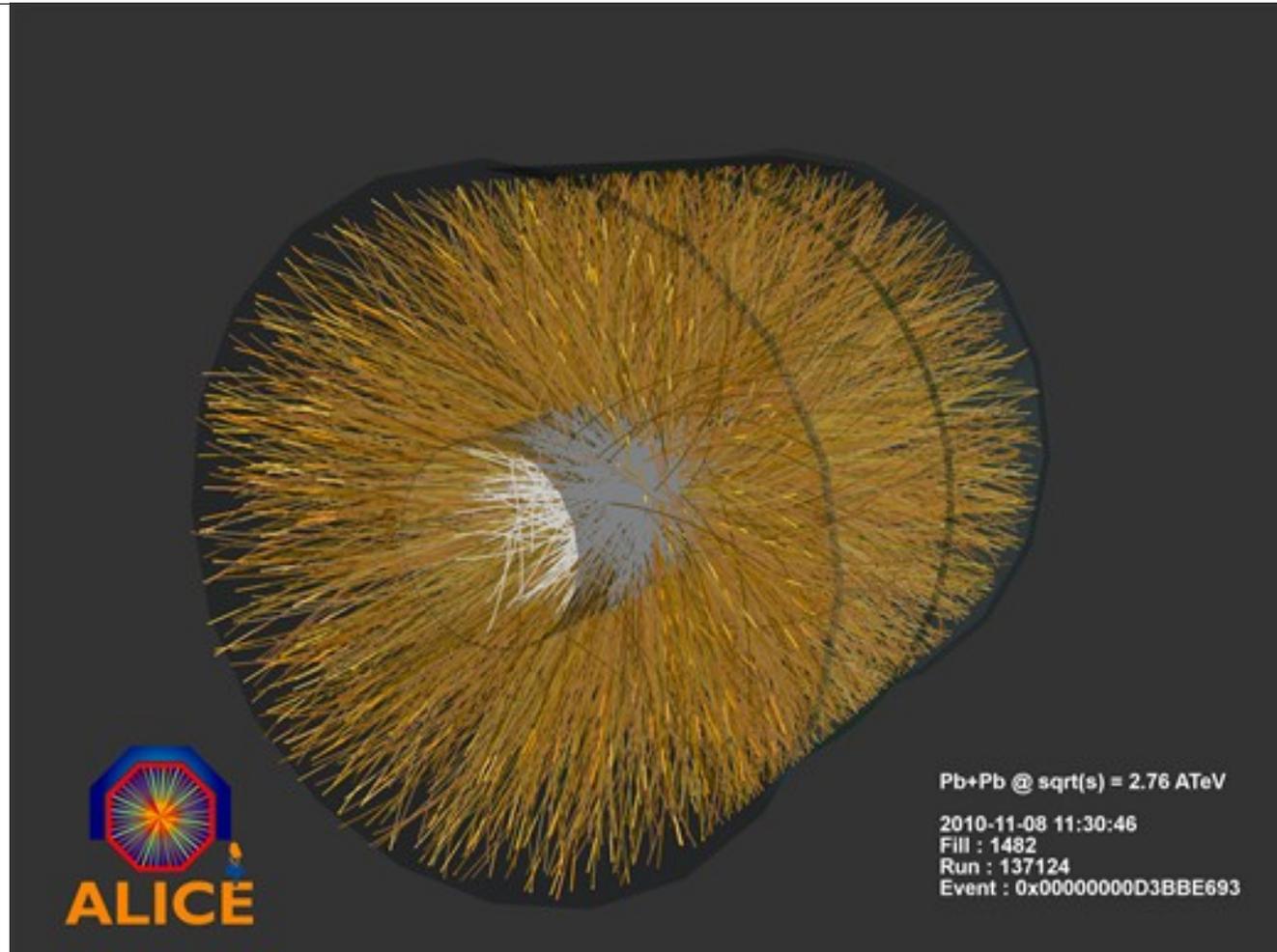
ATLAS EXPERIMENT

$p_T(\mu^-) = 40 \text{ GeV}$
 $\eta(\mu^-) = 2.0$
 $E_T^{\text{miss}} = 41 \text{ GeV}$
 $M_T = 83 \text{ GeV}$

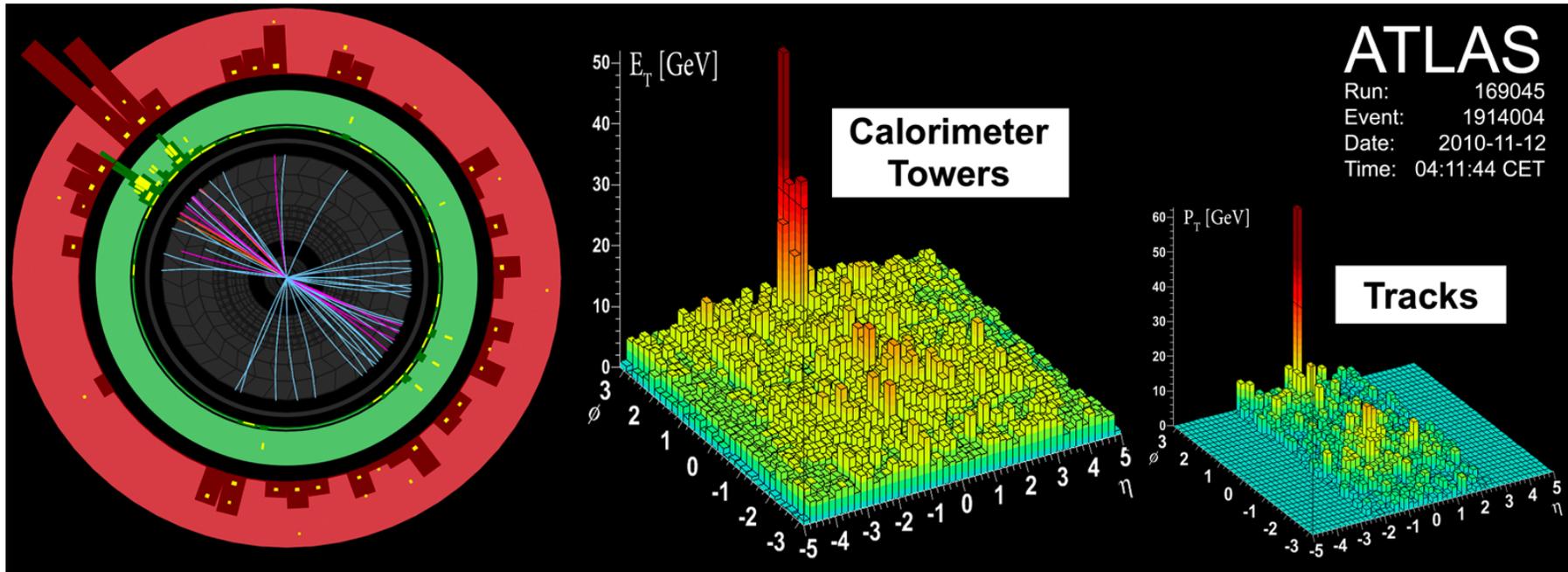


**$W \rightarrow \mu\nu$ candidate
in 7 TeV collisions**

Muon: 3 Pixel hits, 8 SCT hits, 17 TRT hits, 14 MDT hits, $Z \sim 3\text{mm}$ from vertex, good tracker-spectrometer momentum match, $E(\text{calo}) \sim 4 \text{ GeV}$ (as expected)



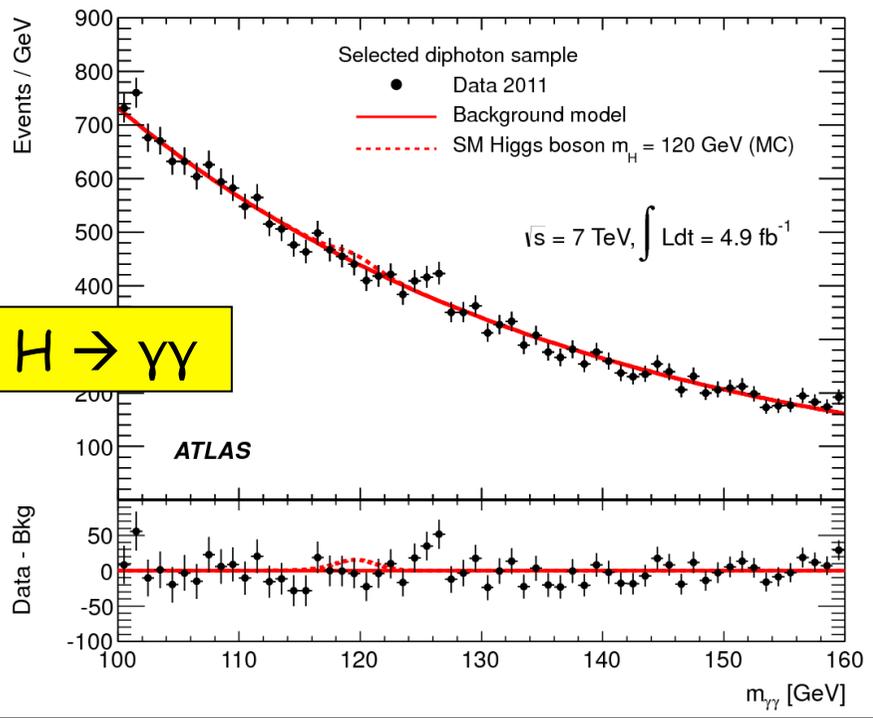
Ricreate le temperature del Big Bang
Prime collisioni tra ioni di Piombo



Riprodotta il “brodo primordiale”
 → Quark Gluon Plasma

- ❑ A poco più di un anno dalla partenza (se si esclude la falsa partenza...) LHC ha prodotto 1/100000 di collisioni protone-protone rispetto al numero programmato nei prossimi 15 anni, alla metà dell'energia di progetto
 - ❑ Ci metteremo 100000 e più anni? Ovviamente no
- ❑ La macchina è la più complessa mai costruita dall'uomo, e per quanto può sembrare strano dirlo, bisogna imparare ad usarla
 - ❑ Già quest'anno l'obiettivo è di aumentare il numero di collisioni effettuate di un fattore 30 rispetto al 2010 e nei prossimi anni si crescerà ancora
- ❑ Quando si riuscirà a scoprire qualcosa di nuovo?
 - ❑ Dipende... da cosa la Natura ci riserva → con molta fortuna già quest'anno, con un po' di fortuna nel giro di un paio d'anni, se siamo un po' sfortunati diversi anni, e c'è anche il caso peggiore... mai ☹
Anche questo è il bello della ricerca

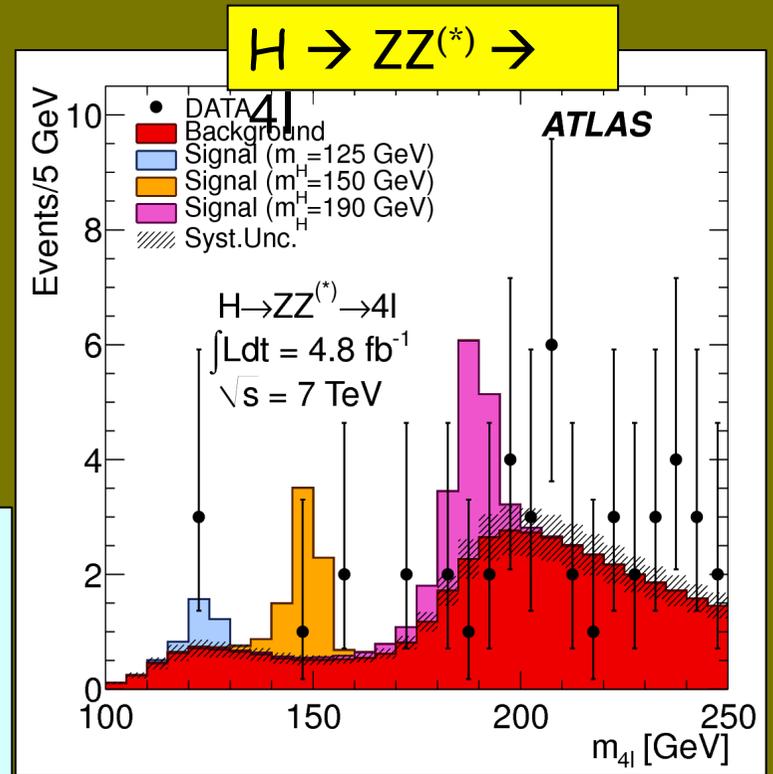
LA RICERCA DEL BOSONE DI HIGGS



$H \rightarrow \gamma\gamma$

$H \rightarrow \gamma\gamma$:
for $m_H \sim 125 \text{ GeV}$, ~ 70 signal events expected after all cuts, and ~ 3000 background events in signal mass window $\rightarrow S/B \sim 0.02$

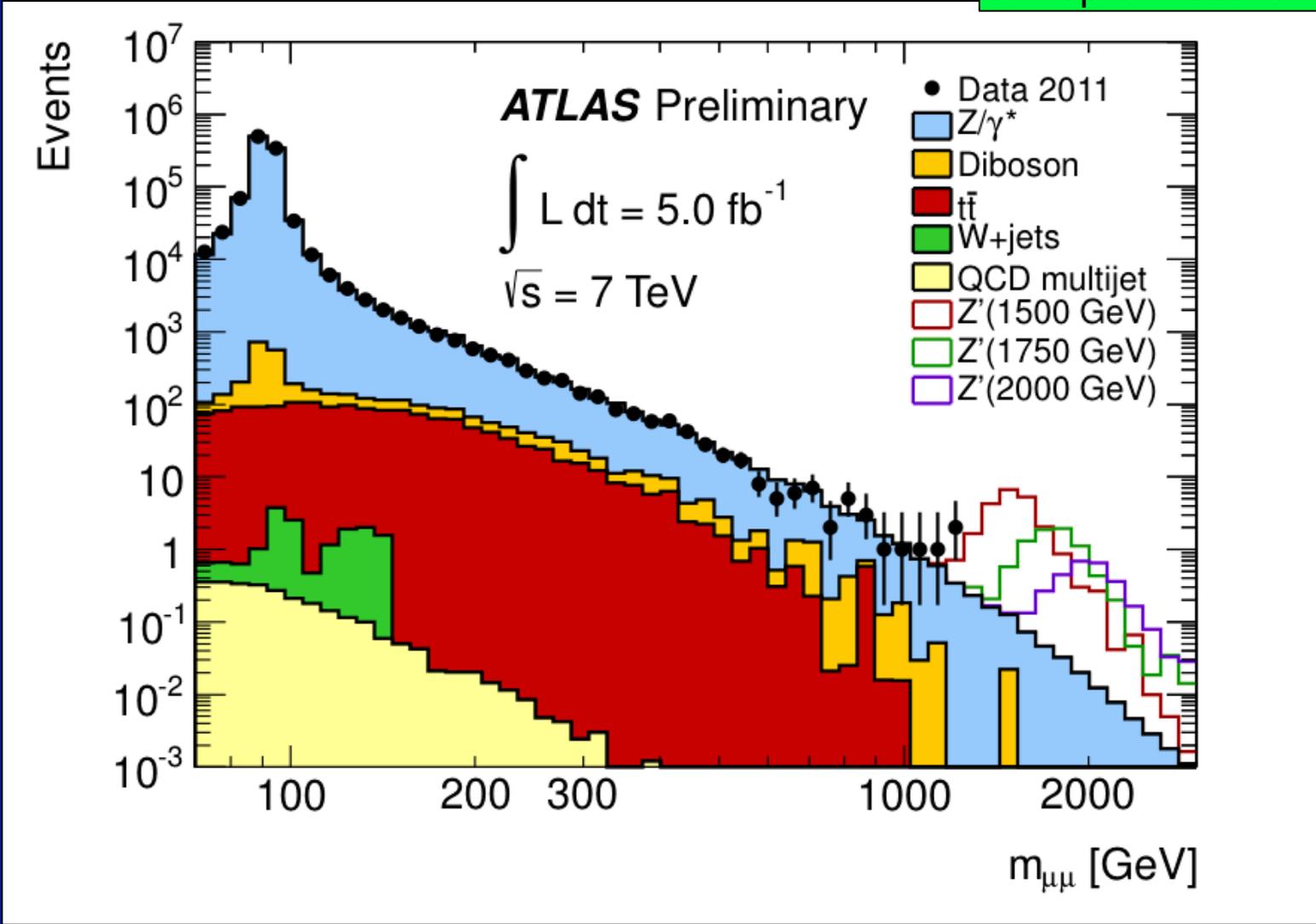
$H \rightarrow 4l$:
in the region $m_H < 141 \text{ GeV}$ (not excluded at 99% CL by ATLAS+CMS combination) 3 events are observed: two $2e2\mu$ events ($m=123.6 \text{ GeV}$, $m=124.3 \text{ GeV}$) and one 4μ event ($m=124.6 \text{ GeV}$)



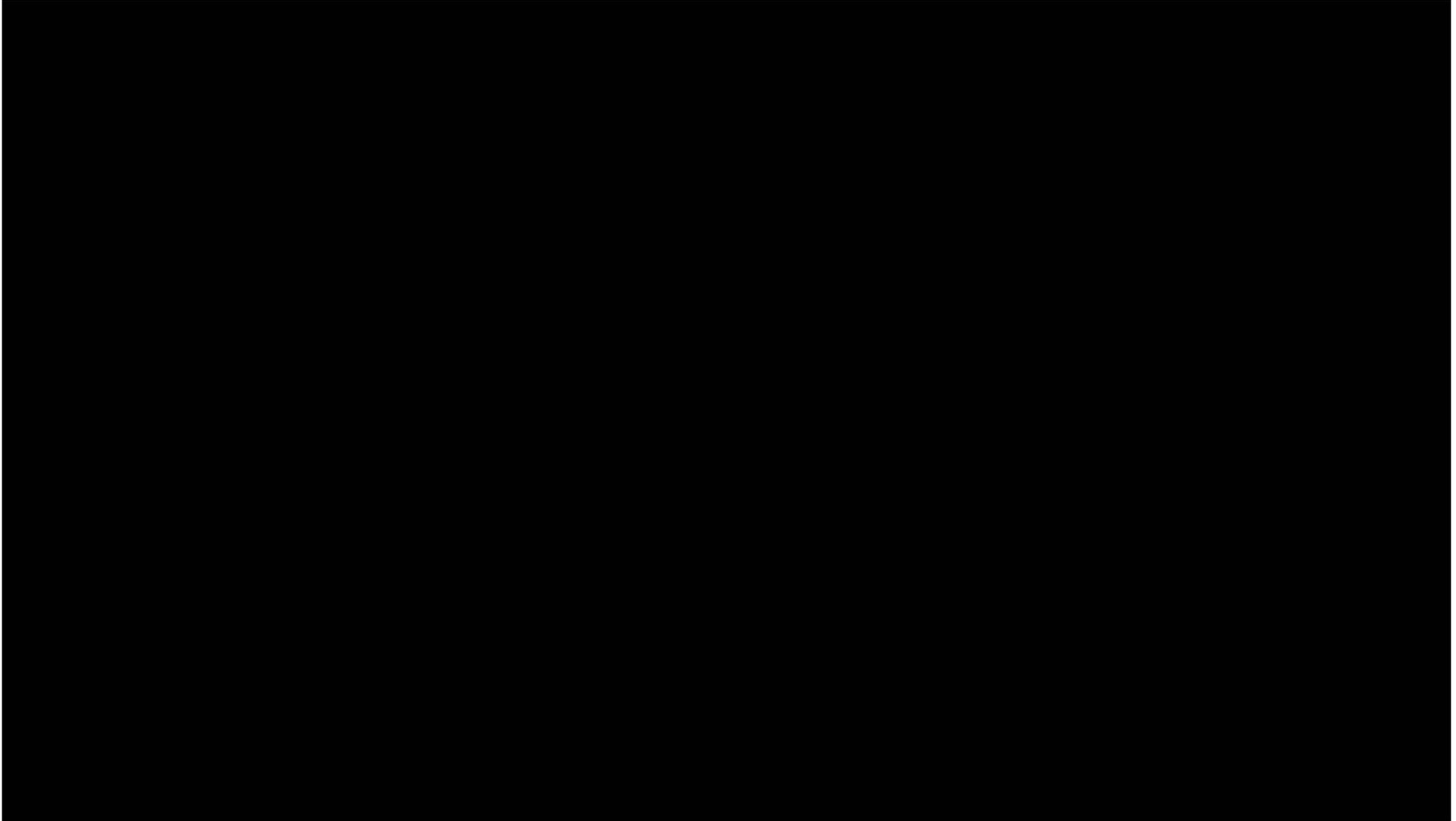
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$

SUPERSIMMETRIE e ALTRO

Di-lepton resonances



LA RICERCA DEL BOSONE DI HIGGS



LA RICERCA
&
LA SOCIETA'

Alcune semplici domande:

- Ma non e' uno spreco di soldi ?
- Ma a che cosa serve questa ricerca ?
- Ma non ci sono cose piu' importanti da fare ?
- Ma perche' non fare invece la ricerca "veramente utile" ?

LHC, pagato in **10 anni** dall'intera comunita' scientifica internazionale, costa come:

Una settimana di guerra in Iraq

Un centesimo di quanto stanziato dagli USA per contrastare il crack delle banche

Quanto viene speso al mondo in **una settimana**, per pubblicita'

Quattro bombardieri B-2

Meno di un centesimo della spesa militare mondiale **annua**

LHC e' costato ad ogni cittadino italiano:

1 euro e 20 centesimi l'anno, per 10 anni.

Per ogni euro speso dallo stato italiano per LHC, 1 euro e mezzo e' rientrato come commesse alle industrie italiane.

La ricerca scientifica dà anche un ottimo ritorno economico !

Ritenere la ricerca di base “inutile” perche’ non finalizzata a scopi pratici e’ un colossale errore !

350 anni di storia della scienza e della tecnologia ci insegnano proprio il contrario:

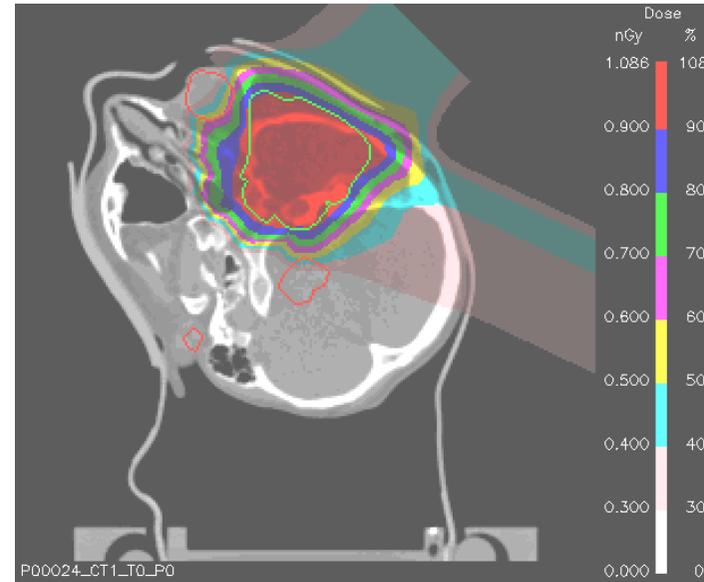
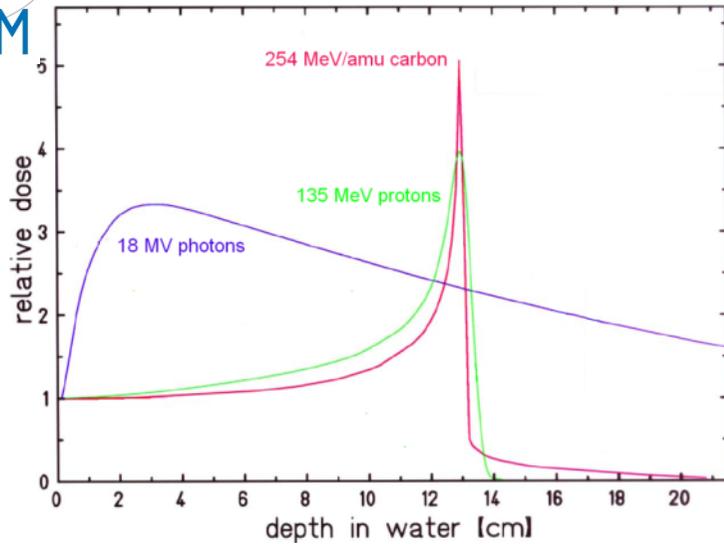
- nessuna delle grandi “innovazioni” che hanno realmente marcato il progresso sarebbe mai stata possibile senza la ricerca di base.
- Il legame tra lo scopo della ricerca e la sua eventuale applicazione pratica e’ spesso impossibile da riconoscere a priori.
- Per questo pensare di poter canalizzare a priori la ricerca, e saper individuare quella utile da quella “inutile” e’ semplicemente sbagliato ! Non funziona cosi’ !

Solo alcune delle invenzioni degli ultimi 100 anni che hanno cambiato il mondo, figlie dirette della ricerca di base:

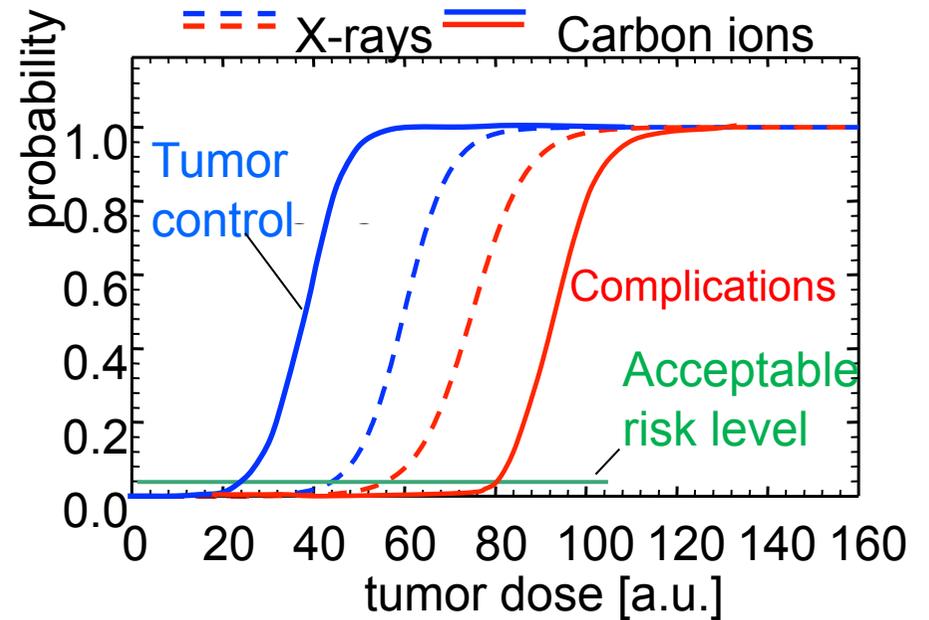
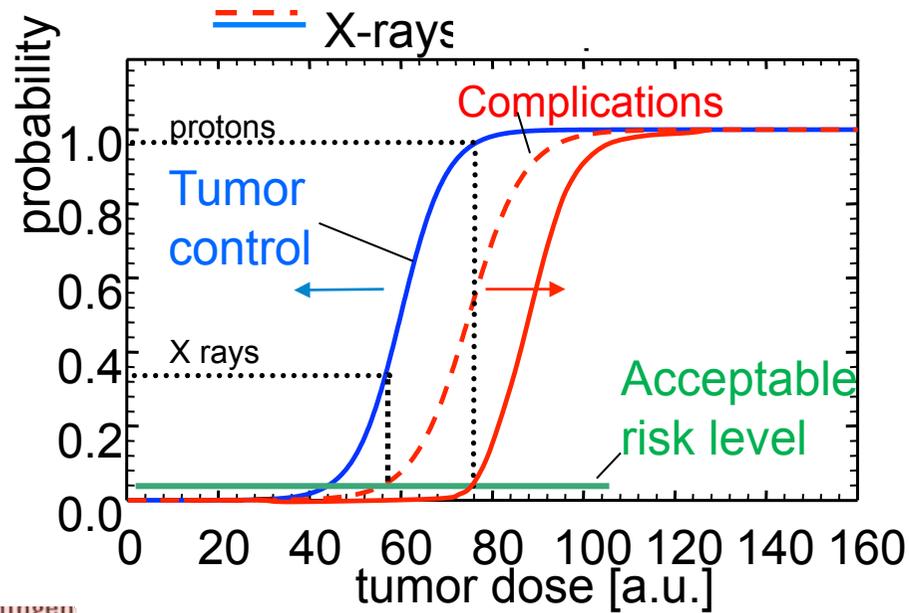
- Il transistor
- Il laser
- La microelettronica
- Il computer
- L'energia nucleare
- I raggi X
- Le tecniche di diagnostica medica (RMN, PET, etc)
- Il WEB
- La Adroterapia
- Il GPS
-



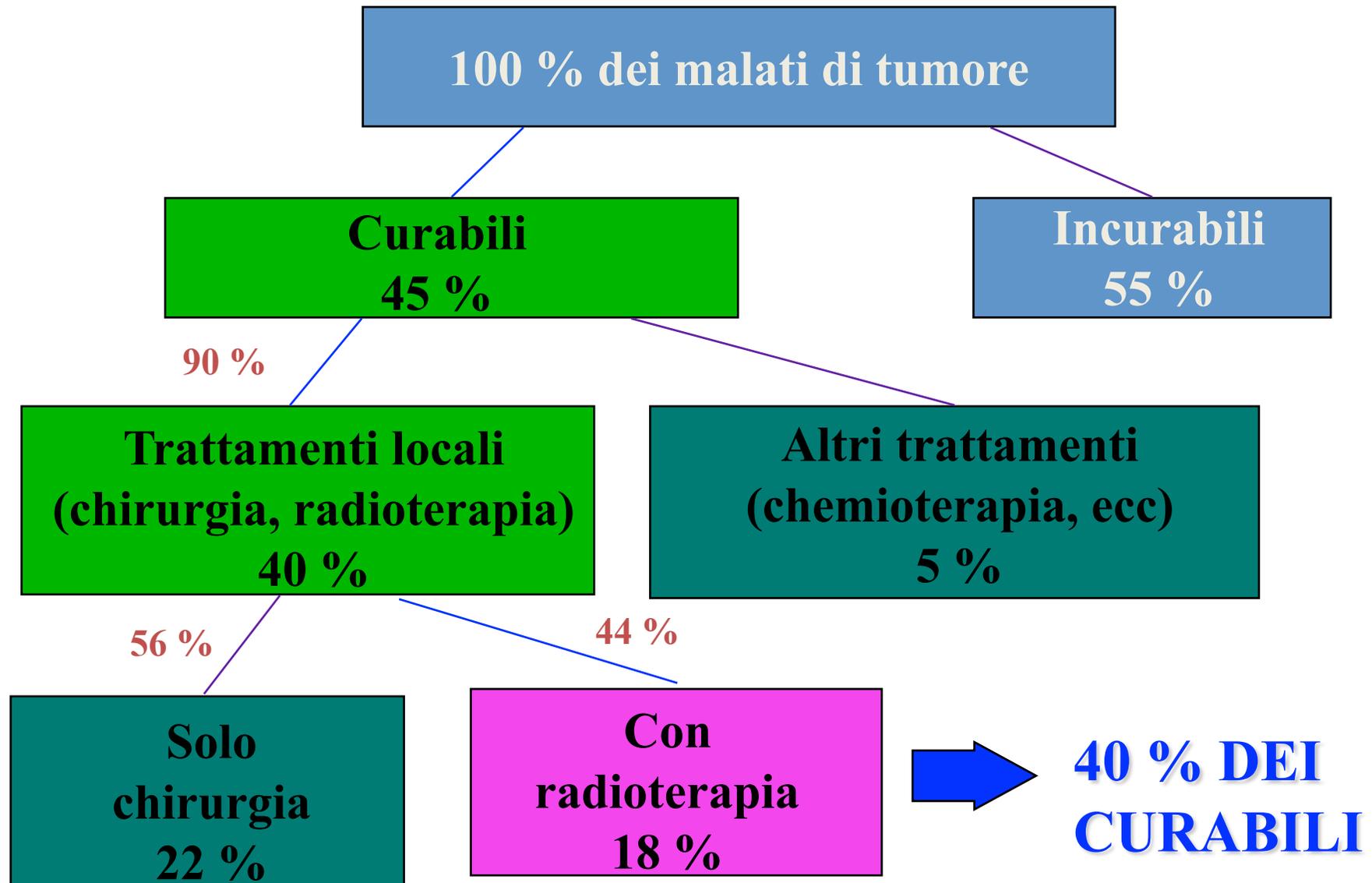
- ❑ gli acceleratori, sebbene siano nati e continuano ad essere sviluppati per la fisica di base, hanno anche altre innumerevoli applicazioni in settori quali la medicina, la microelettronica, i beni culturali e l'ambiente
 - ❑ la percentuale di acceleratori impiegati per scopi di ricerca nella fisica delle particelle non raggiunge nemmeno l'uno per cento dei circa 15.000 acceleratori in funzione nel mondo
 - ❑ i luoghi più comuni dove poter vedere un acceleratore non sono i laboratori di ricerca, bensì ospedali e grandi industrie
- ❑ Una delle applicazioni più importanti e diffuse degli acceleratori è la radioterapia, ossia la cura dei tumori tramite bombardamento con raggi X
 - ❑ I raggi X sono tipicamente prodotti dall'urto contro un bersaglio metallico di elettroni accelerati ad una ventina di MeV mediante acceleratori lineari.



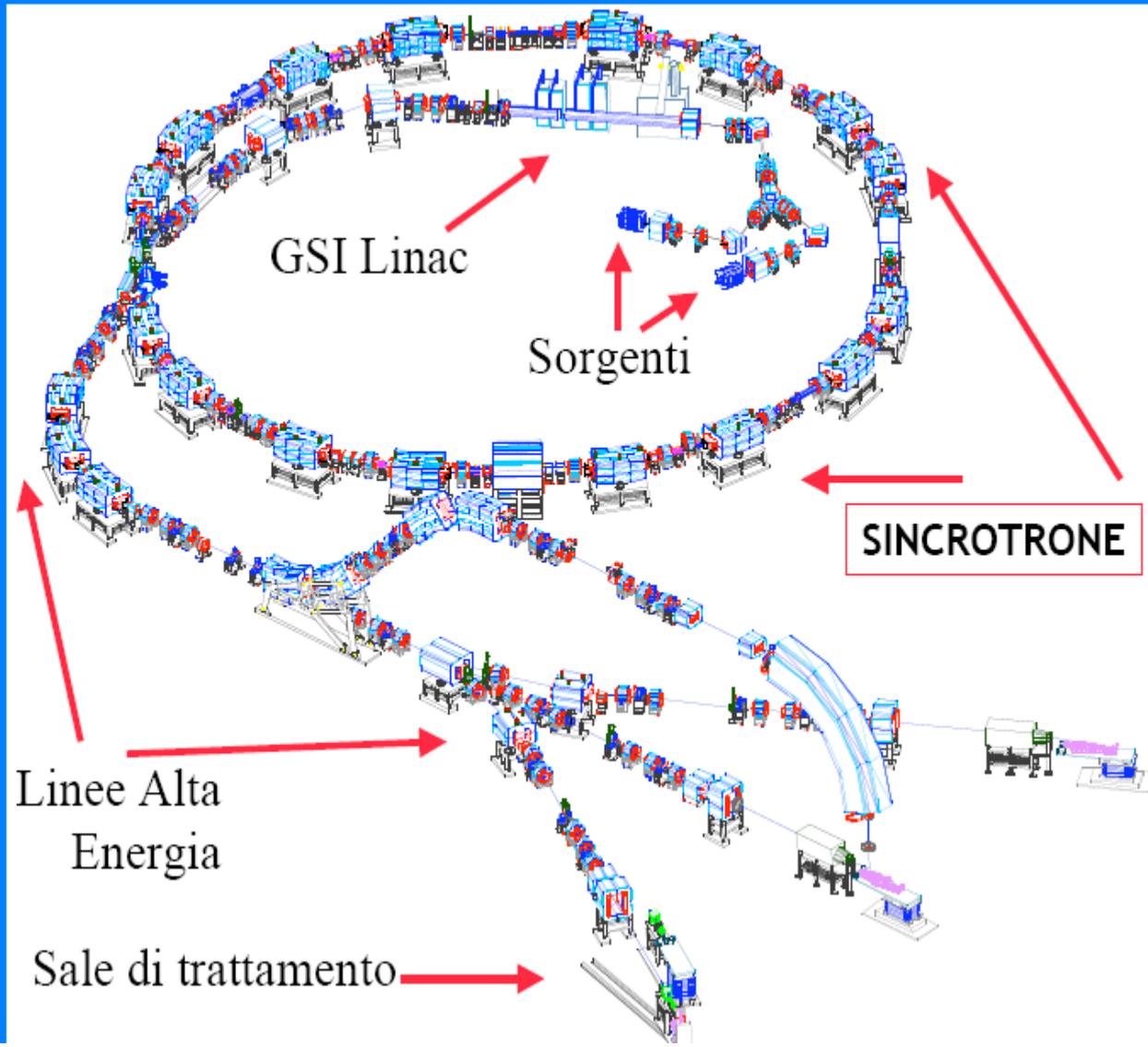
Significant widening of Therapy Window by Particle Treatment

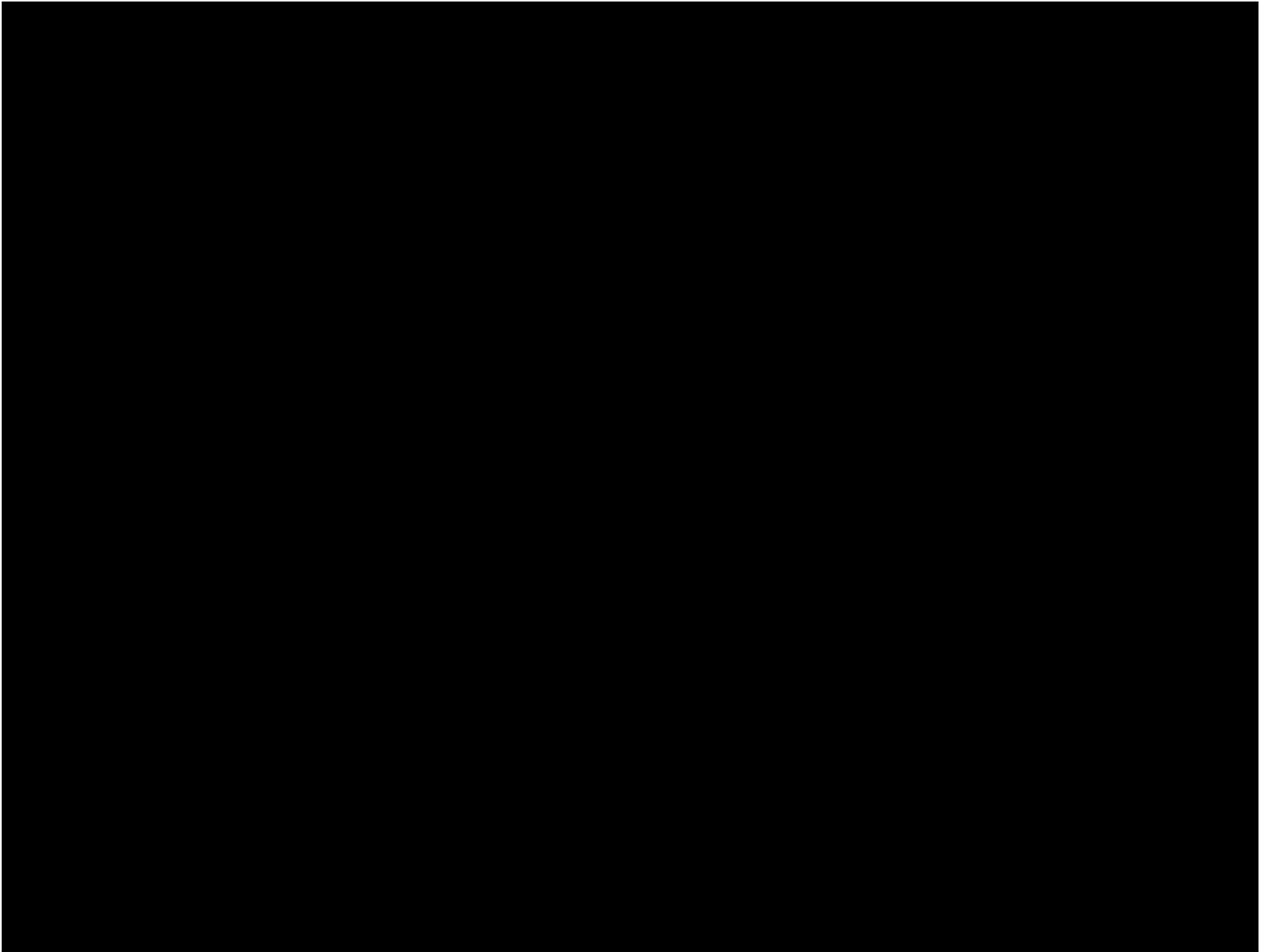


II TRATTAMENTO DEI TUMORI



CNAO





CONCLUSIONI



Qui si conclude questo lungo viaggio
verso le frontiere della conoscenza

A voi il compito di proseguire !



Hic Sunt
Leones !!

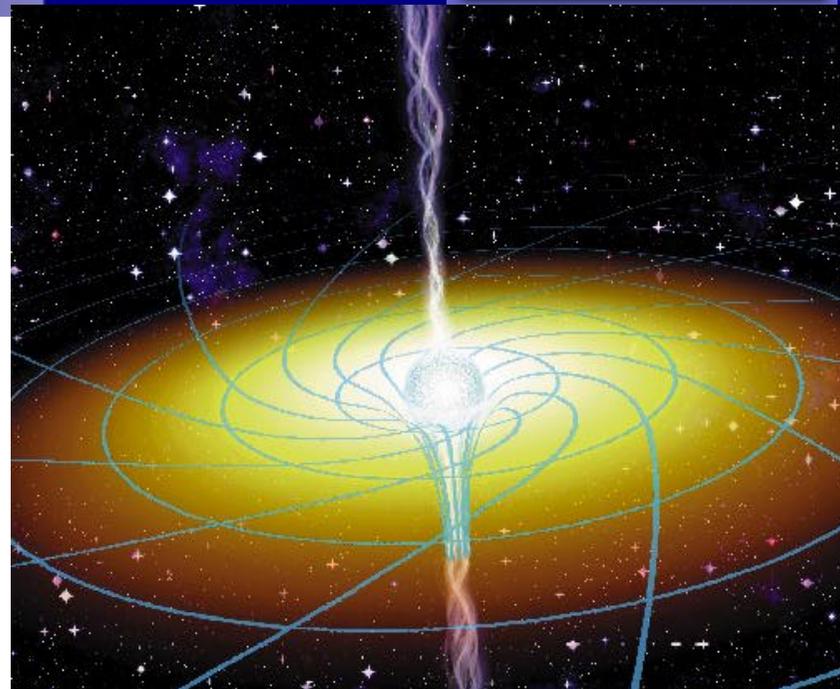


ready to enter the
Dark Universe

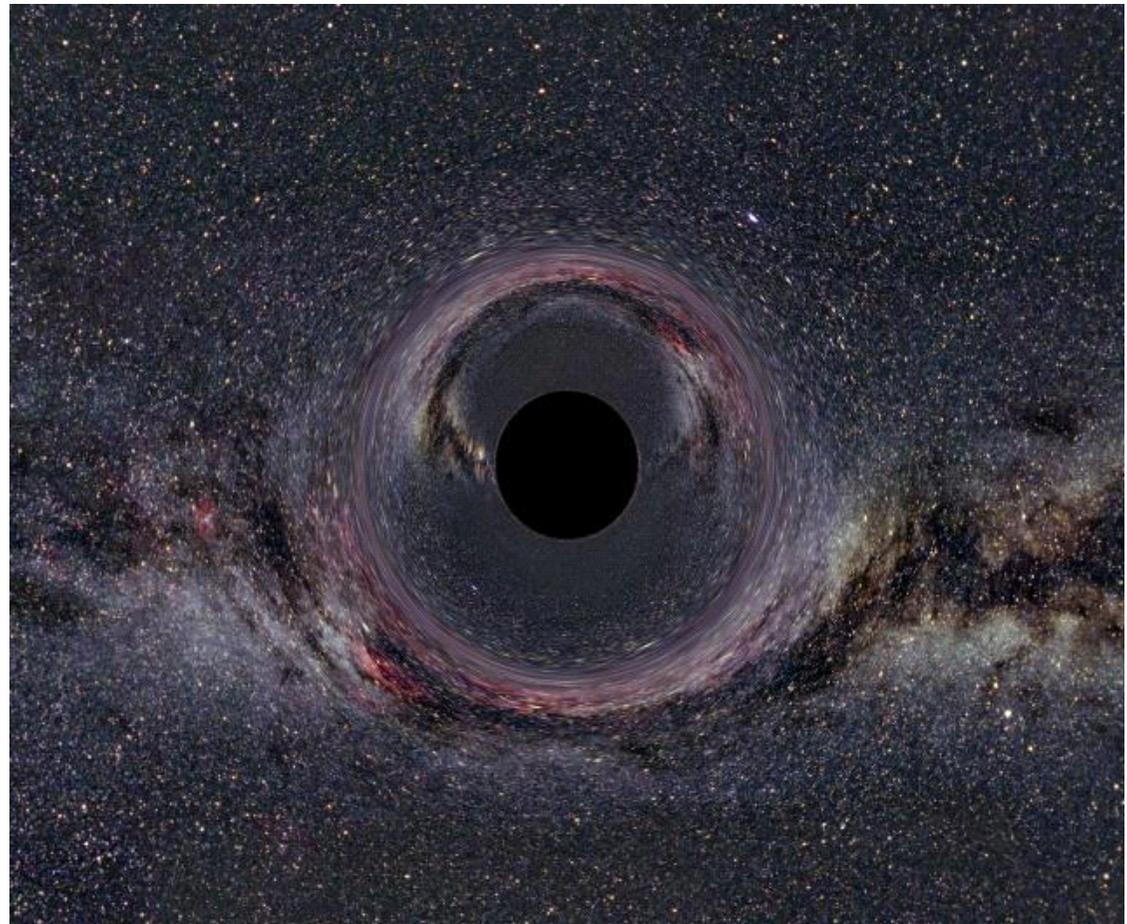
BACKUP SLIDES

- ❑ Per il mondo della scienza questa è dunque una fase di grande emozione e speranza, non di autodistruzione...
- ❑ Sono finalmente partiti dopo un paio di decenni di lavoro gli esperimenti che potranno rivelare finalmente all'uomo l'origine e l'essenza della materia, o come minimo rendere possibile un significativo avvicinamento verso questo scopo ambizioso.
- ❑ All'alba di un nuovo viaggio di scoperta, i fisici delle particelle di tutto il mondo hanno un sogno. Per tradurlo in parole, useremo le frasi pronunciate da Abdus Salam, Premio Nobel per la Fisica: "Credo che le nostre teorie attuali siano solo una fase di transizione verso un'armonia interna e una profonda simmetria universale. [...] Quando scopriremo la vera natura delle particelle elementari, rimarremo ammirati di come esse si inquadrino perfettamente nel grande schema e di come siano parte integrante di qualcosa di più profondo e più trascendente. La fede nell'armonia interna della natura è sempre stata ricompensata in passato, e sono sicuro che continuerà ad esserlo in futuro."

- ❑ Il collasso gravitazionale di una stella può produrre un buco nero
- ❑ Un buco nero non è altro che una regione sferica di spazio caratterizzata dal fatto che la grande quantità di materia posta al suo centro è in grado di curvare lo spazio-tempo, al punto da separare causalmente lo spazio interno alla sfera del buco nero da quello esterno
- ❑ Il buco nero non è un oggetto materiale esteso (la materia è tutta concentrata in un punto privo di dimensioni posto al centro della sfera), bensì una regione di spazio vuoto avente la caratteristica di non consentire ad alcun oggetto materiale eventualmente penetrato al suo interno (comprese le onde elettromagnetiche, quindi la luce visibile) di poterne più uscire.

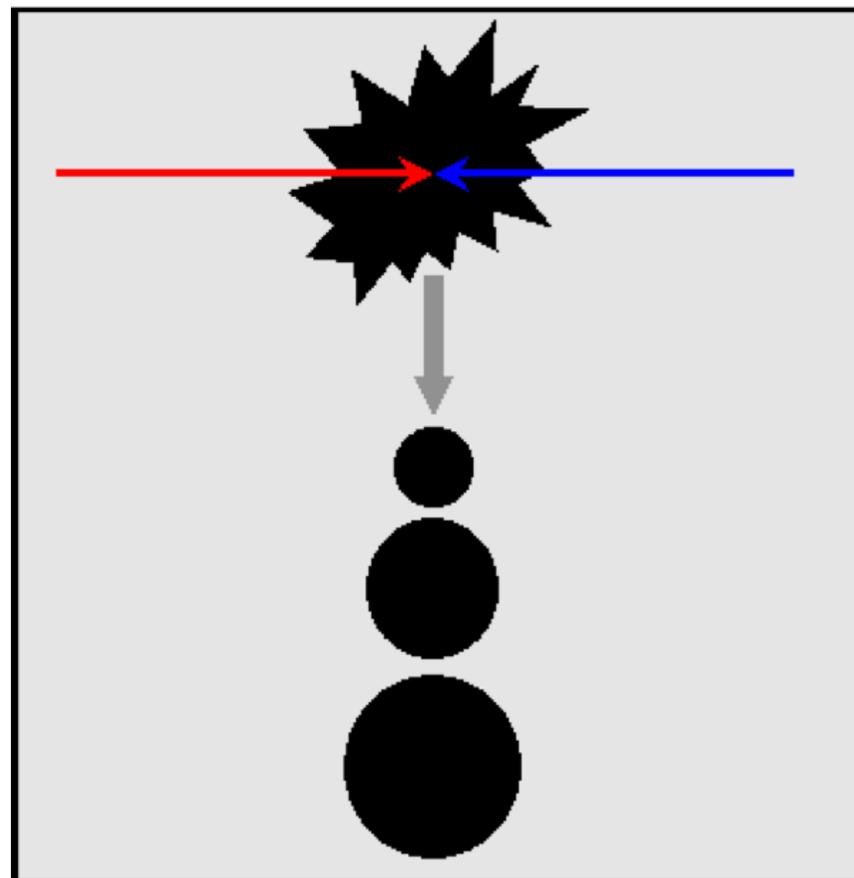


- ❑ Ricostruzione al computer di come si presenterebbe un buco nero se potessimo sufficientemente avvicinarci ad esso
- ❑ Si riconosce la sfera scura del buco nero e la distorsione della luce che passa nelle sue prossimità, causata dall'intenso campo gravitazionale che curva lo spazio-tempo



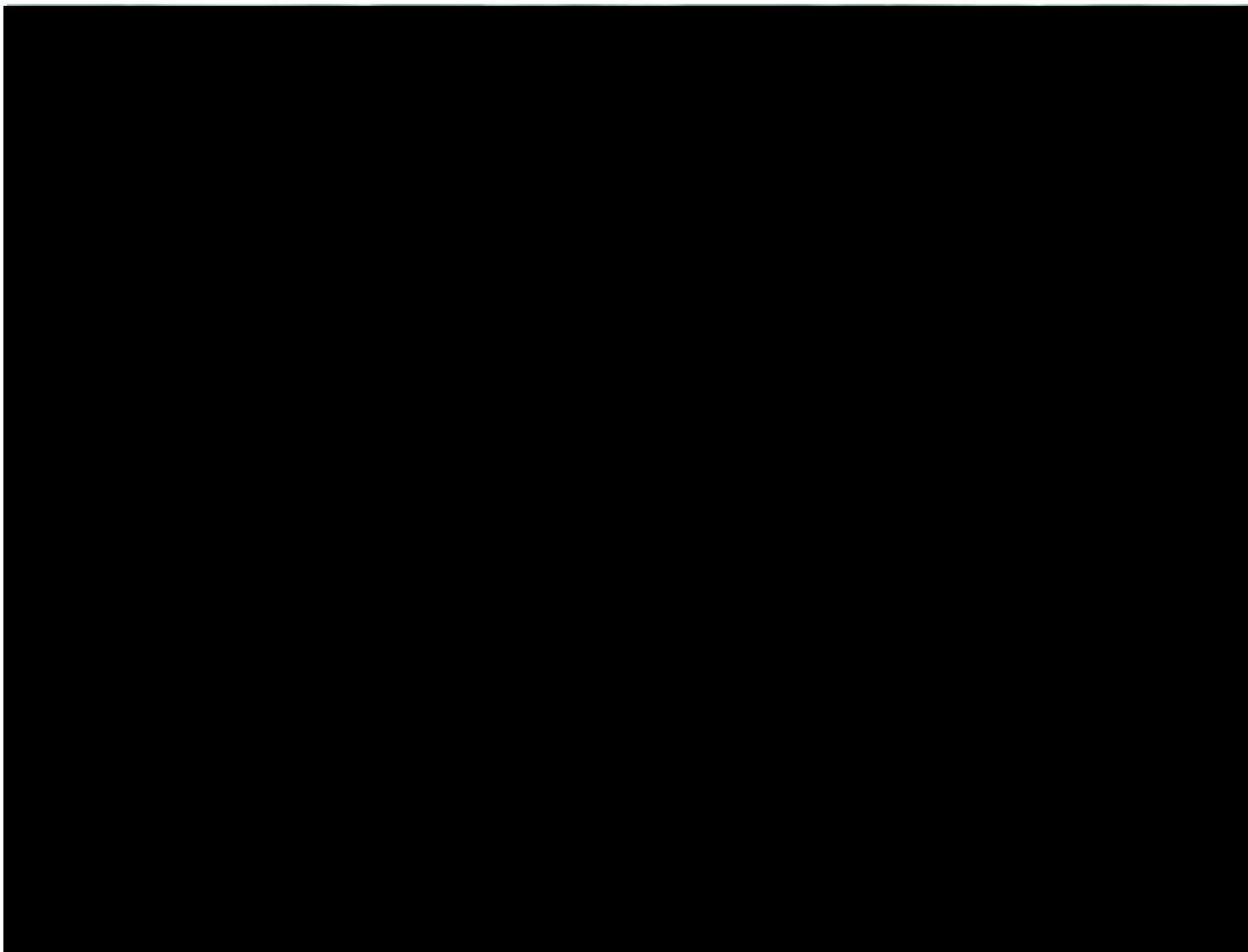
- ❑ Ma se il buco nero è un oggetto astronomico ben noto, cosa c'entra con LHC?

- ❑ Un buco nero può anche generarsi in un urto tra particelle ultrarelativistiche, a patto che l'energia all'interno di un certo volume di spazio sia sufficientemente elevata
- ❑ Ma elevata quanto? Parliamo di 10 milioni di miliardi di volte in più rispetto all'energia messa in gioco da LHC
- ❑ Ma ciò è vero in base a quanto conosciamo. Modificando opportunamente la teoria attuale è possibile costruire *ad hoc* nuove teorie in cui micro buchi neri possono generarsi anche alle energie in gioco a LHC
- ❑ I micro buchi neri a LHC sono quindi oggetti ipotetici che si potrebbero generare solo se una delle tante teorie alternative che descrivono l'interazione gravitazionale fosse corretta



Il micro buco nero potrebbe quindi ingrandirsi assorbendo la materia circostante, fino ad inghiottire tutta la terra

Un video terrorizzante...



Universo chiuso o aperto?

Pensate all'Universo come ad una bomba che esplode

*Se esplosione è **debole** → frammenti si allontanano e poi si riavvicinano per la forza di gravità*

*Universo chiuso → si espande fino ad una dimensione massima per poi ricollassare con un processo opposto al big bang (**BIG CRUNCH**)*

contrazione

Big Crunch

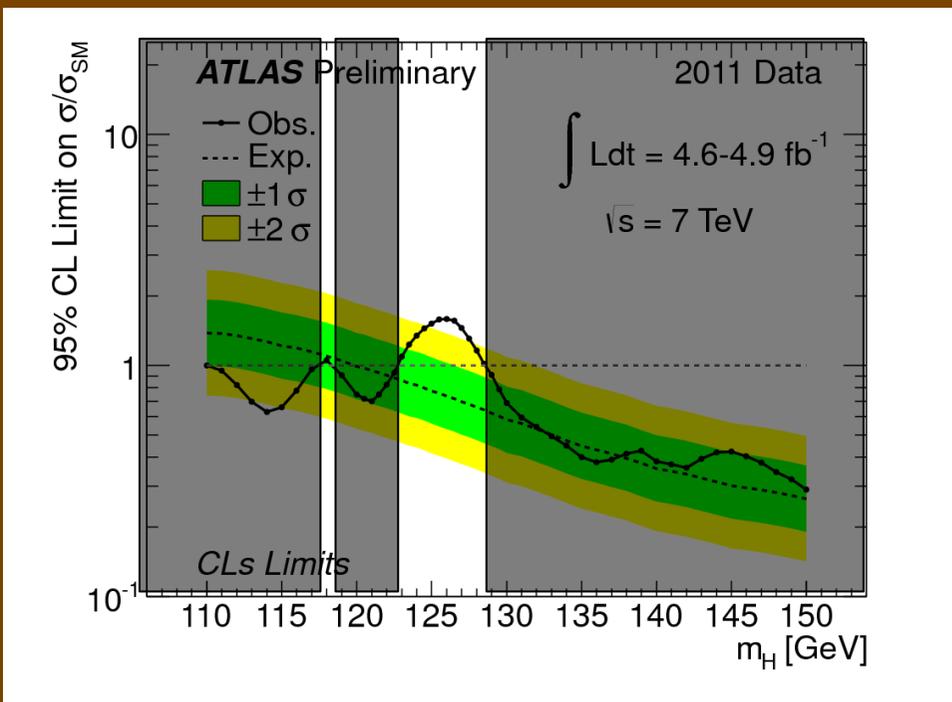
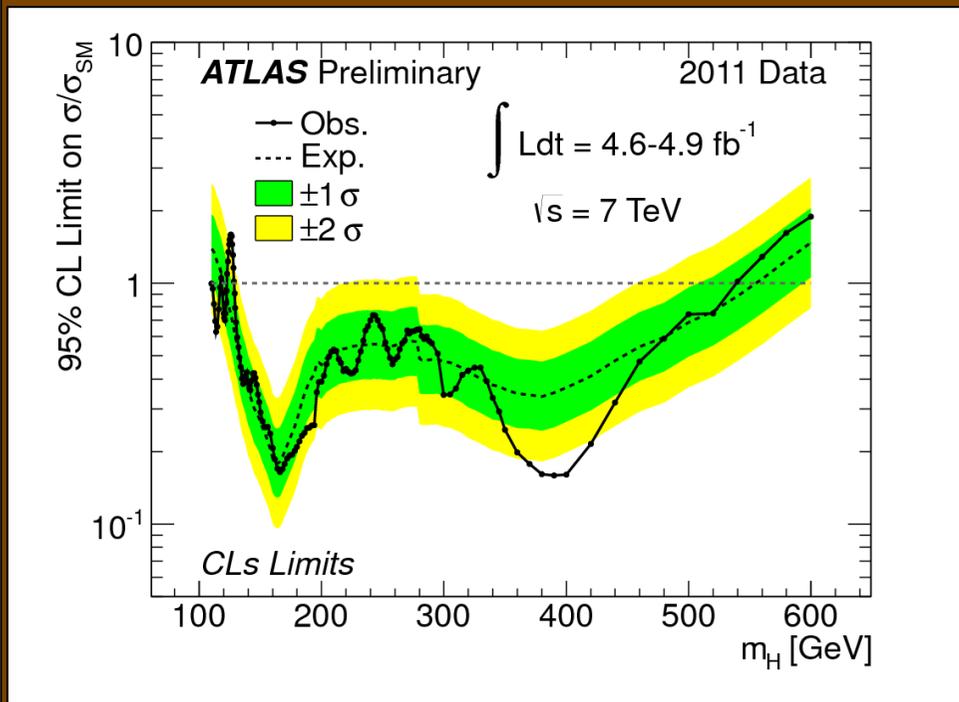
*Se esplosione è **forte** → frammenti si allontanano indefinitamente*

Universo aperto → si espande per sempre

*I risultati non chiari, ma sembrano favorire **UNIVERSO APERTO***



Combining all (12) channels together, full 2011 dataset



Excluded at 95% CL

$110 < m_H < 122.5 \text{ GeV}$ (except $117.5-118.5$)
 $129 < m_H < 539 \text{ GeV}$

Expected if no signal

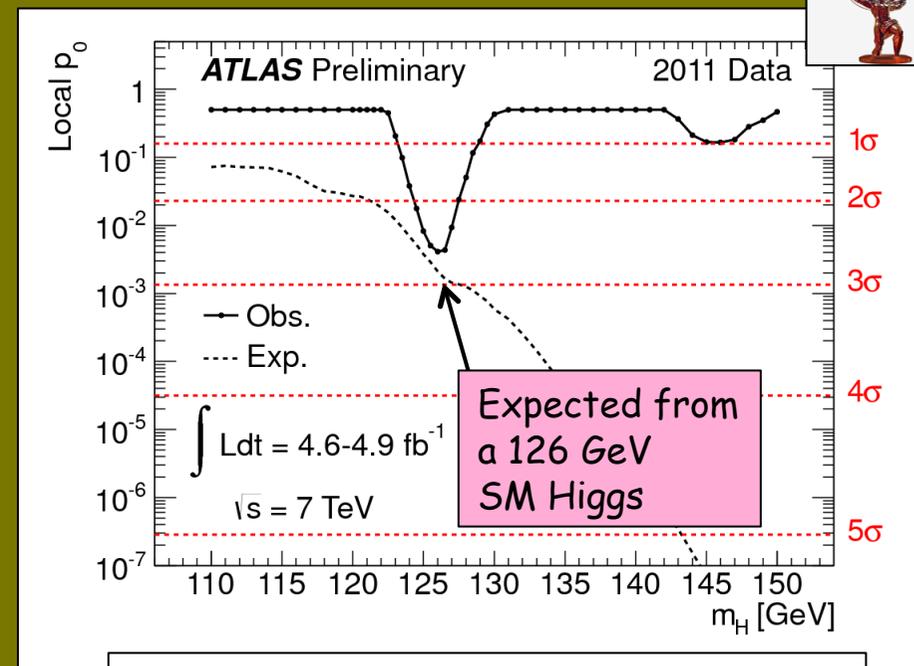
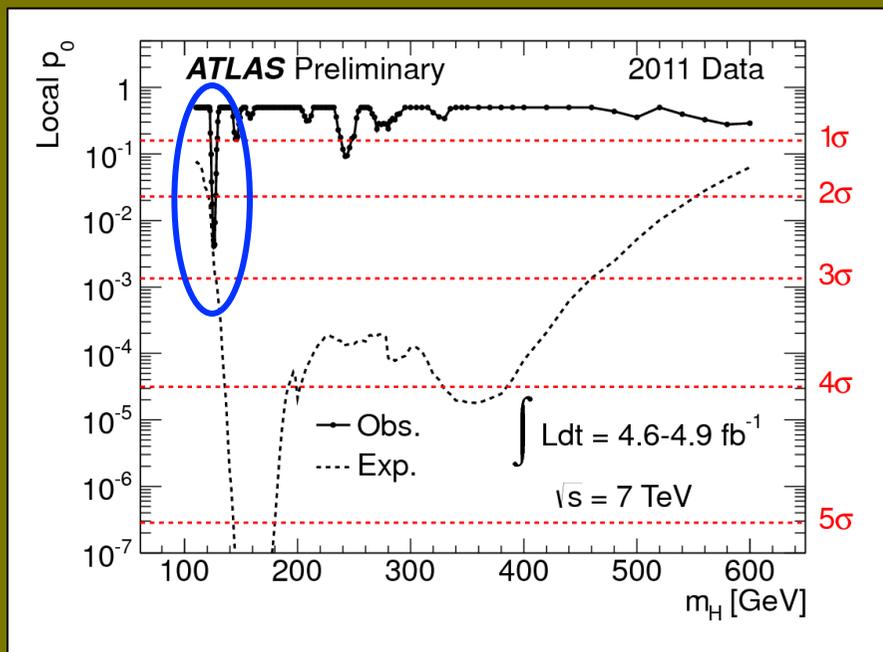
$120-555 \text{ GeV}$

Excluded at 99% CL

$130 < m_H < 486 \text{ GeV}$

NEW: full 2011 dataset

Consistency of the data with the background-only expectation

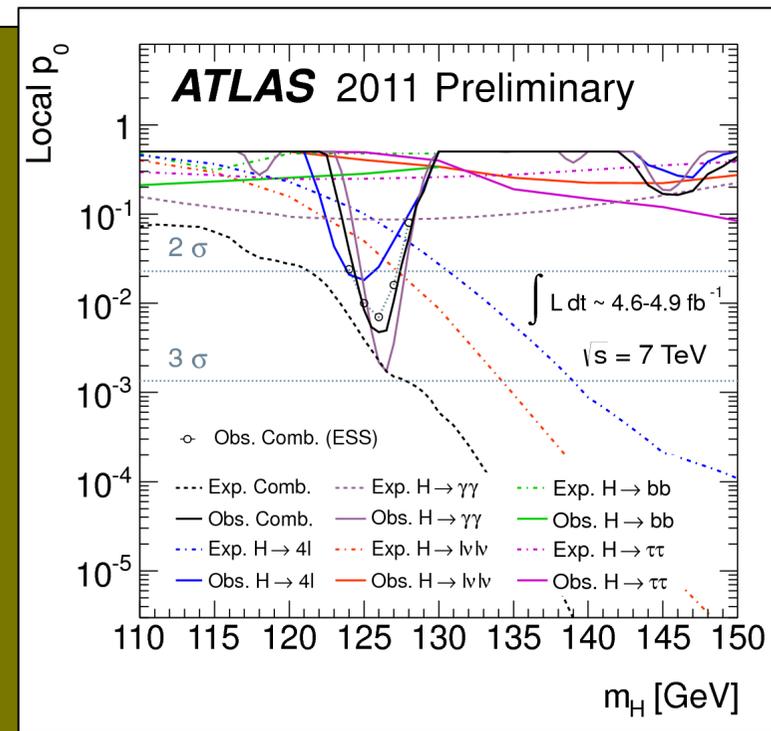


Maximum deviation from background-only expectation observed for $m_H \sim 126$ GeV

Local significance of the excess: 2.5σ
 Expected from SM Higgs: $\sim 2.9\sigma$ local

Excess observed in high-resolution channels ($\sim 2.8\sigma$ $H \rightarrow \gamma\gamma$, 2.1σ $H \rightarrow 4l$); \sim no excess in low-resolution channels ($H \rightarrow \tau\tau$, $W/ZH \rightarrow bb$, $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$)

Global p_0 -value: 10-30%
 (taking into account "look-elsewhere-effect")



Legge di Hubble → red shift

La stella non si ascolta come la sirena, ma si può guardare



stelle più lontane → righe più verso rosso (=suono alto)



si allontanano più velocemente



UNIVERSO SI ESPANDE → inizio era un piccolo volume