

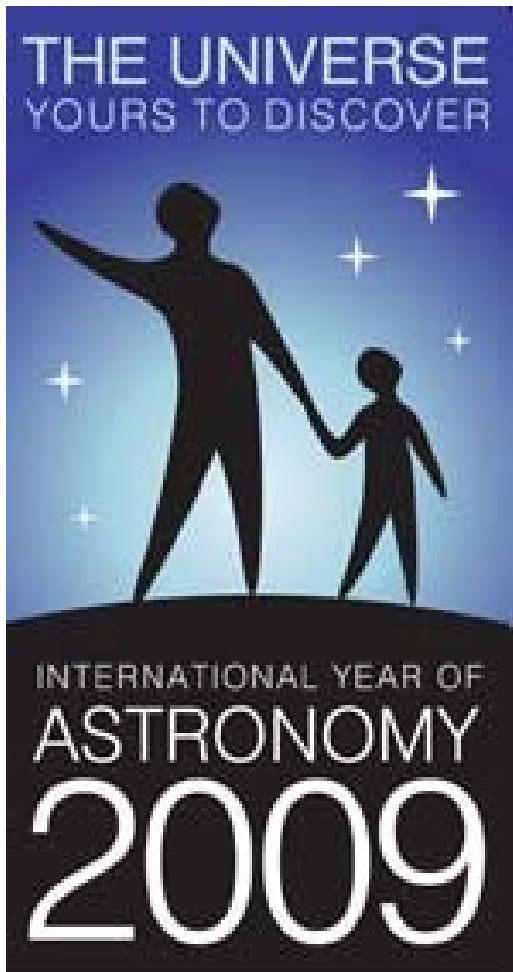
Open day - 27 marzo 2009



Cosa osserviamo guardando l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo ?

P. Campana

**Laboratori Nazionali di Frascati
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare**



Parte 1

Osservare l'infinitamente **grande**

Osservatorio delle Tredici Torri
Peru' – circa 2300 a.C.



Stonehenge
Inghilterra – circa 2500-2000 a.C.



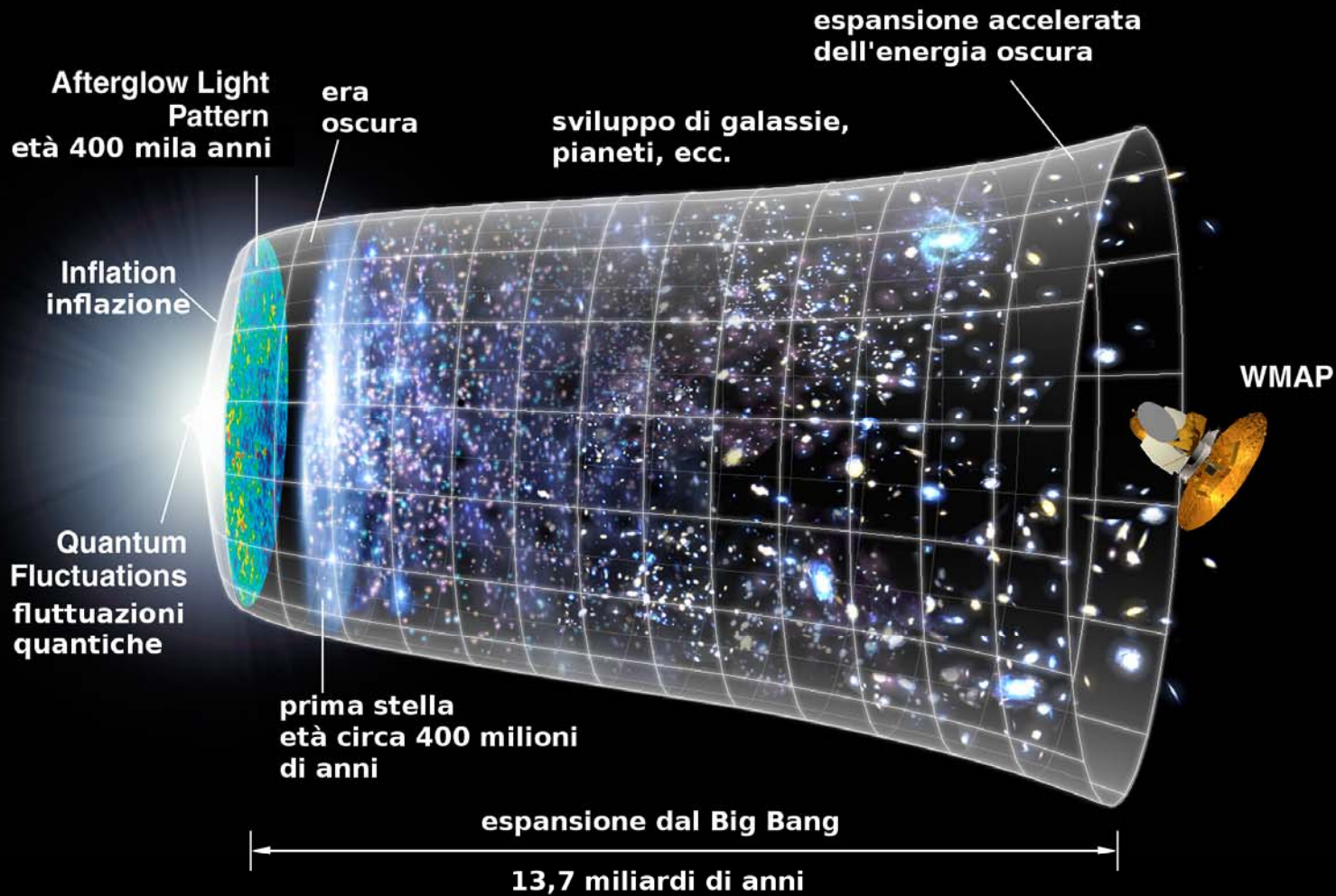
Da millenni l'uomo si pone il quesito di comprendere come funziona la Natura che lo circonda.

L'osservazione del Cosmo e' la testimonianza di una di queste grandi aspirazioni

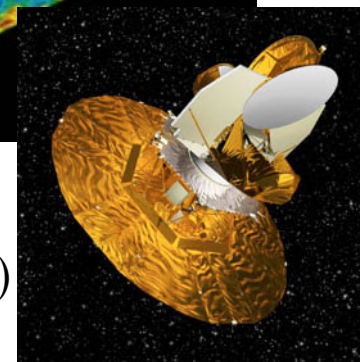
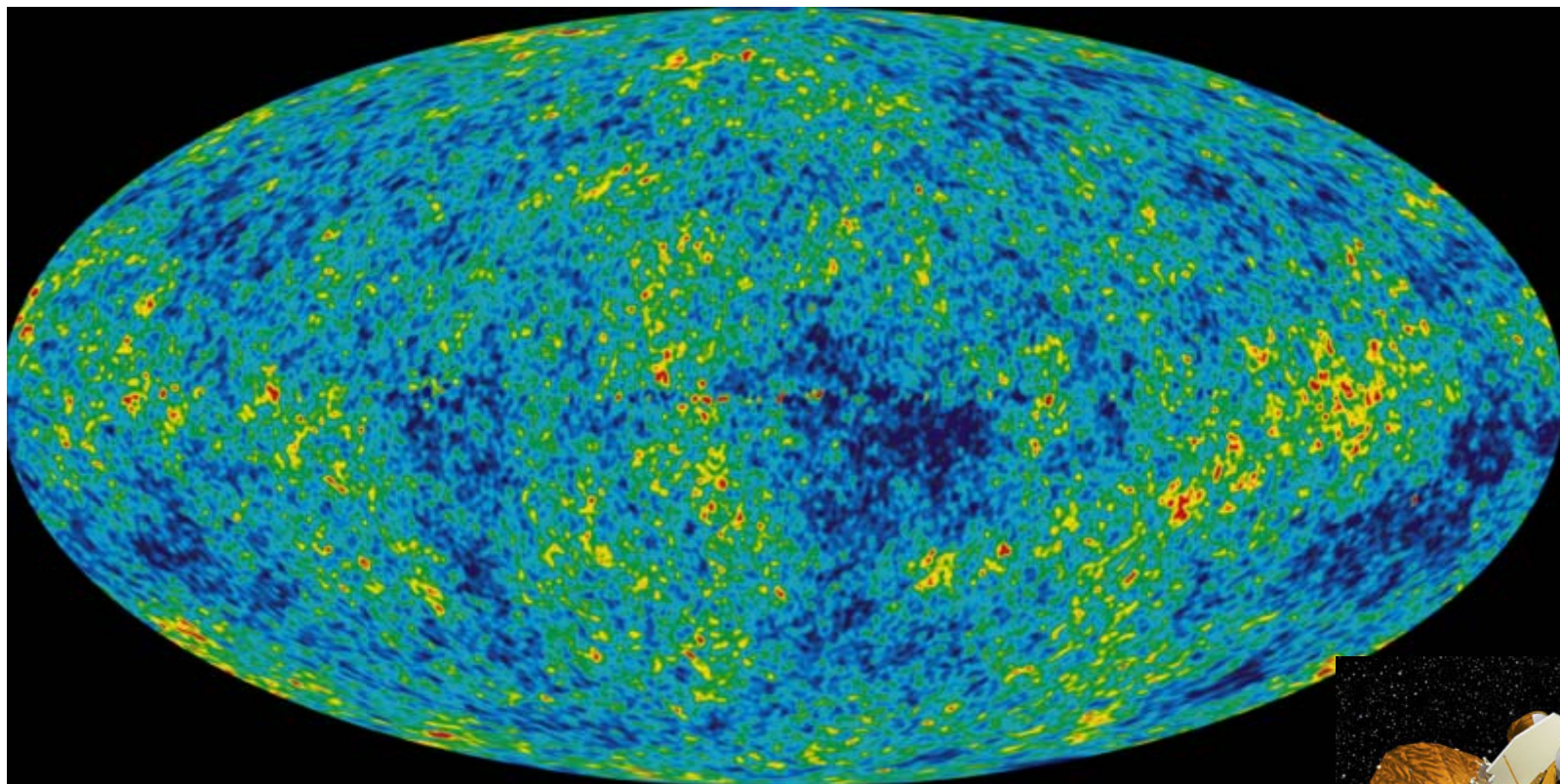
Se osserviamo e studiamo l'Universo con i moderni telescopi a Terra, nello Spazio, con i Satelliti, ne deduciamo che:

- ha un'età di circa 13 miliardi di anni;
- e' notevolmente simmetrico in tutte le direzioni;
- c'e' un rumore "cosmico" di fondo che ci indica che tutto e' iniziato a partire da un "Big Bang" iniziale;
- lo studio di questo rumore ci fornisce indicazioni sulla sua evoluzione.



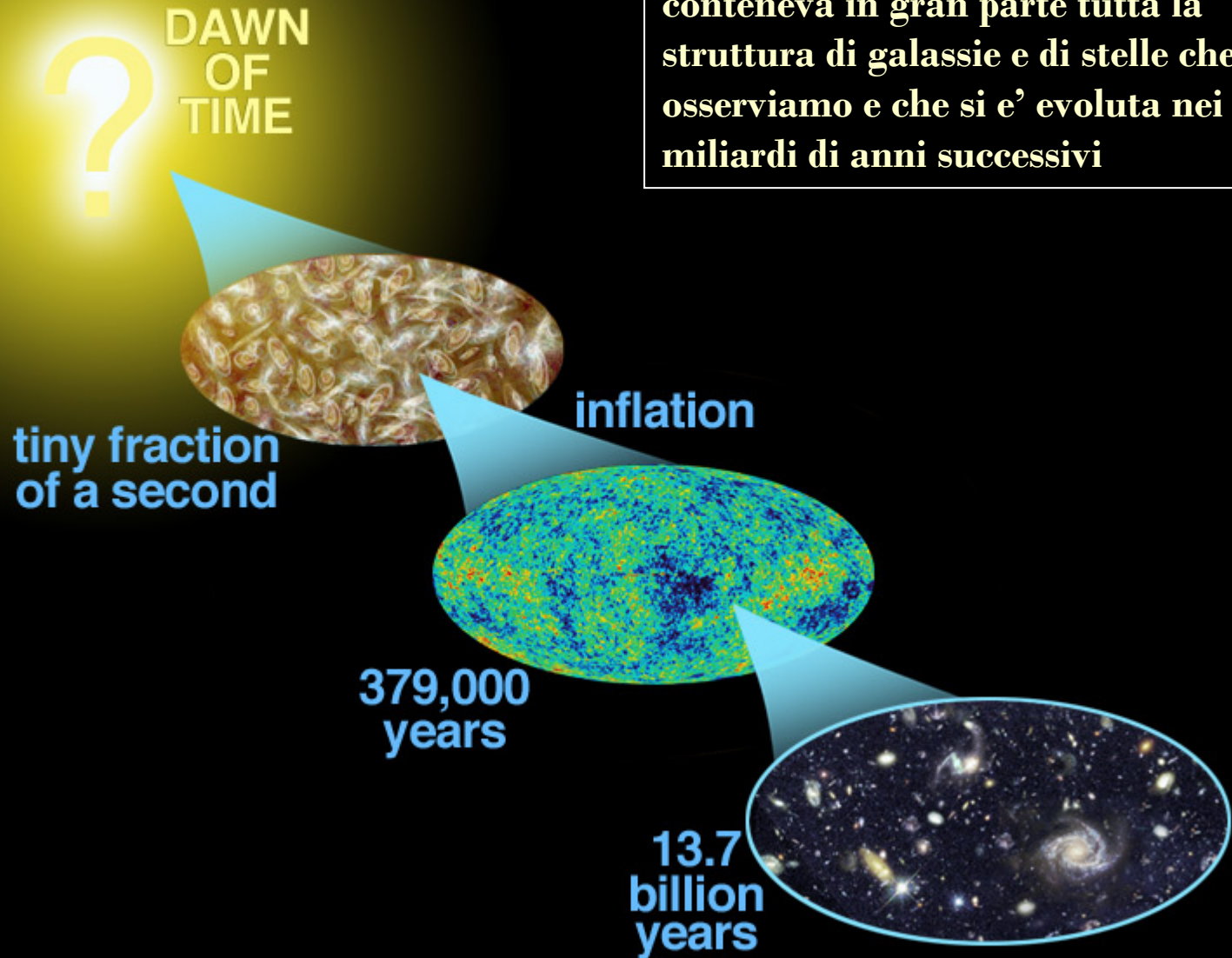


Questa e' la mappa dell'Universo cosi' come era circa 400,000 anni
dopo il Big Bang e come ci e' pervenuta a noi attraverso il fondo cosmico a 3
K

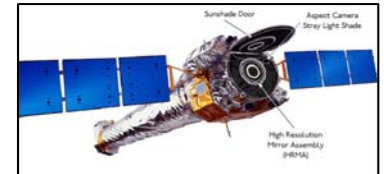
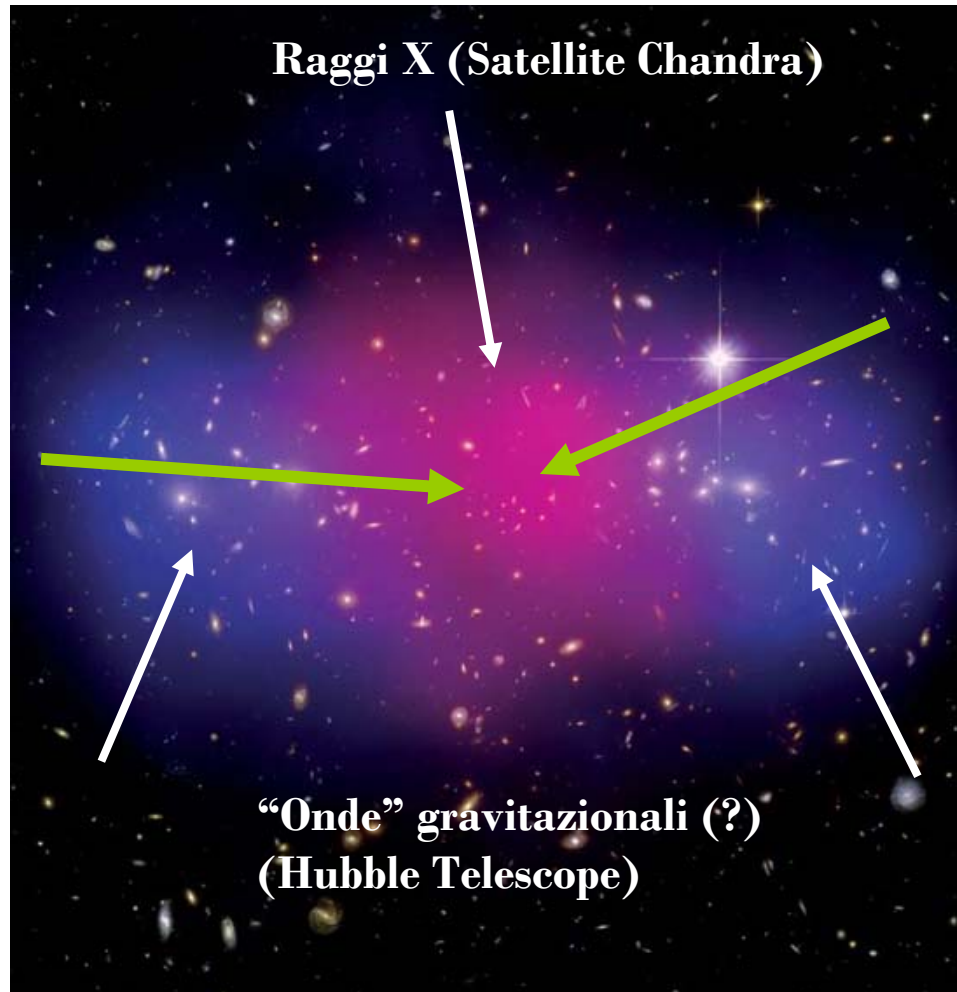


dati del Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)

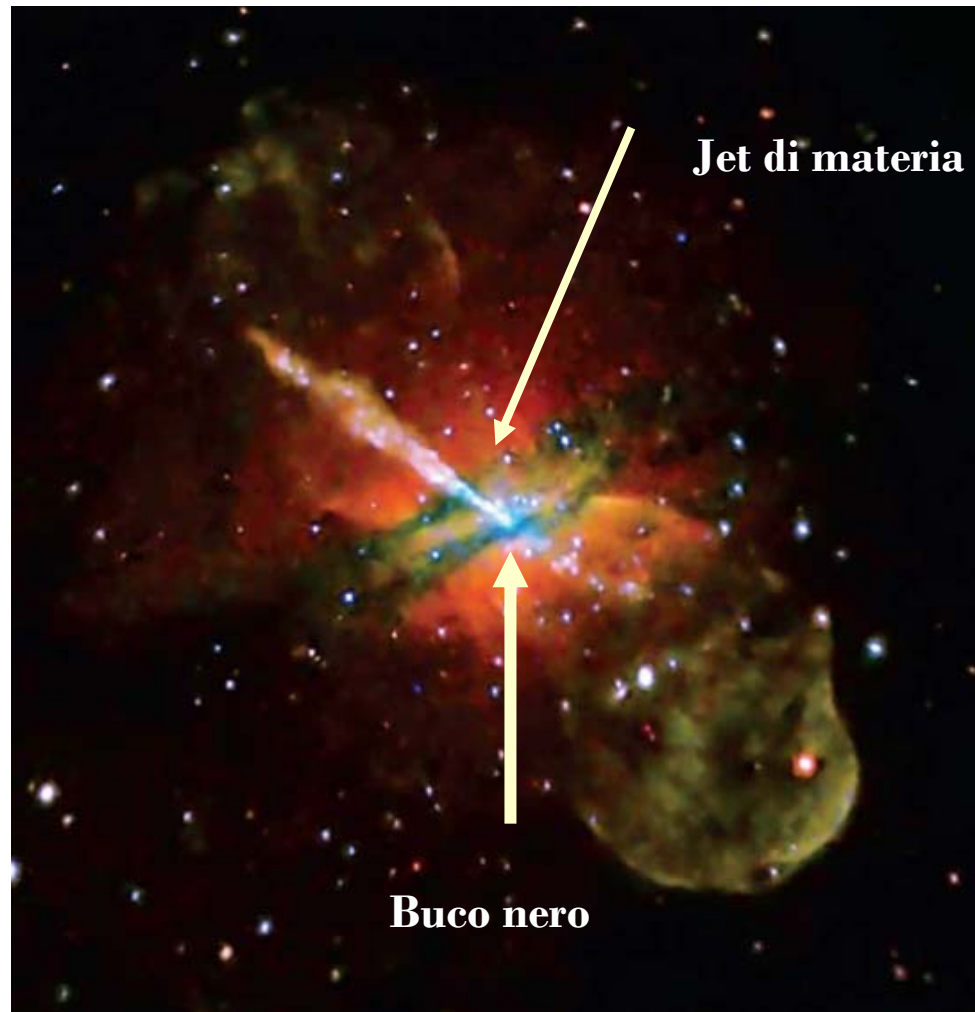
Sappiamo ormai anche che la “fotografia” presa 400,000 anni fa, conteneva in gran parte tutta la struttura di galassie e di stelle che oggi osserviamo e che si e’ evoluta nei 13 miliardi di anni successivi

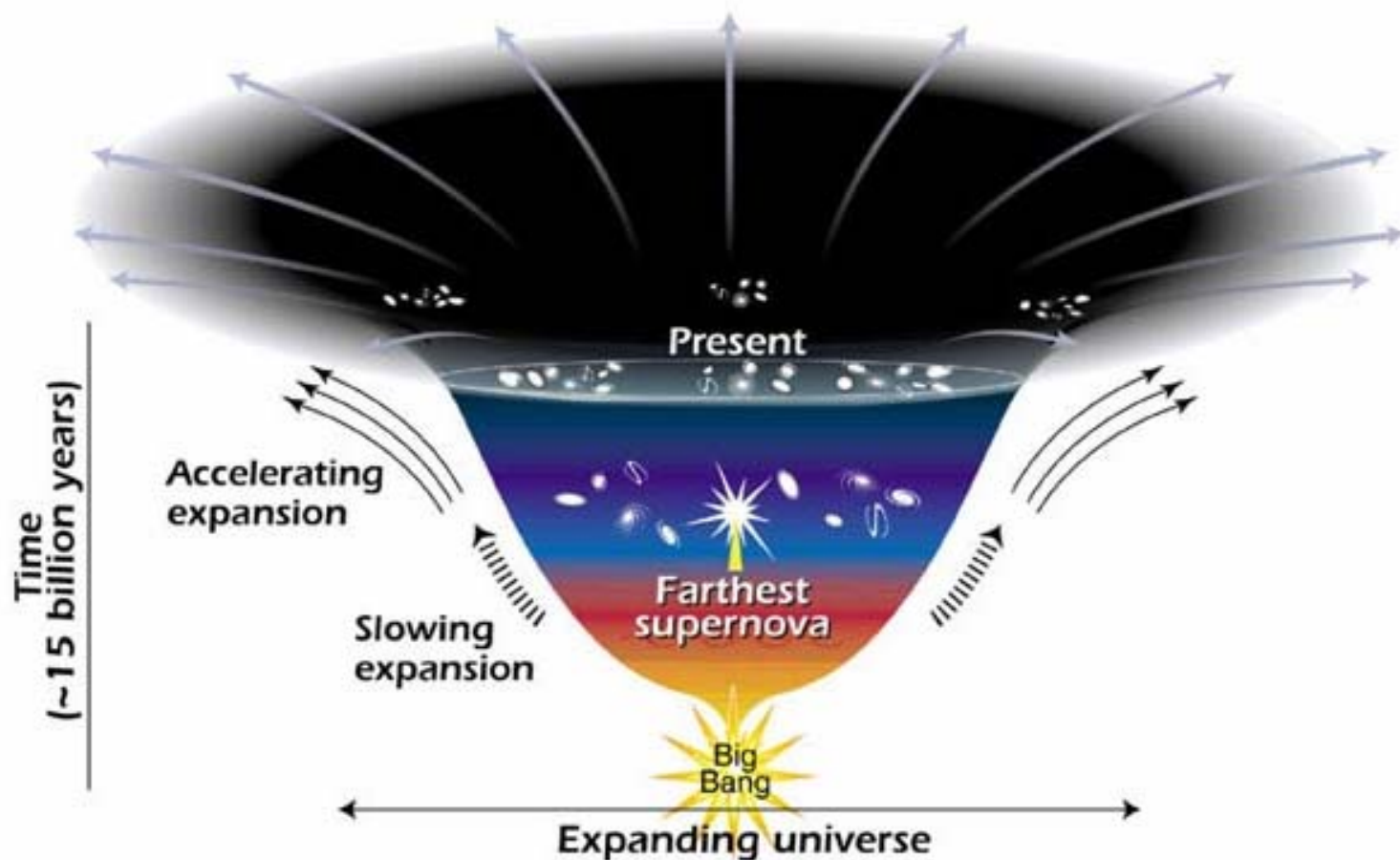


Osservare il Cosmo ci fornisce anche indicazioni sulle diverse proprietà della materia: nella collisione tra due cluster di galassie possiamo osservare una intensa emissione di radiazione e la presenza di una massa gravitazionale, ma invisibile, quasi immateriale (*Materia Oscura*)



... e indicazioni indirette ma inequivocabili, della presenza di buchi neri, nella cui vicinanza si determinano cataclismi inimmaginabili (e per i quali probabilmente le leggi di fisica oggi note sono da riscrivere)



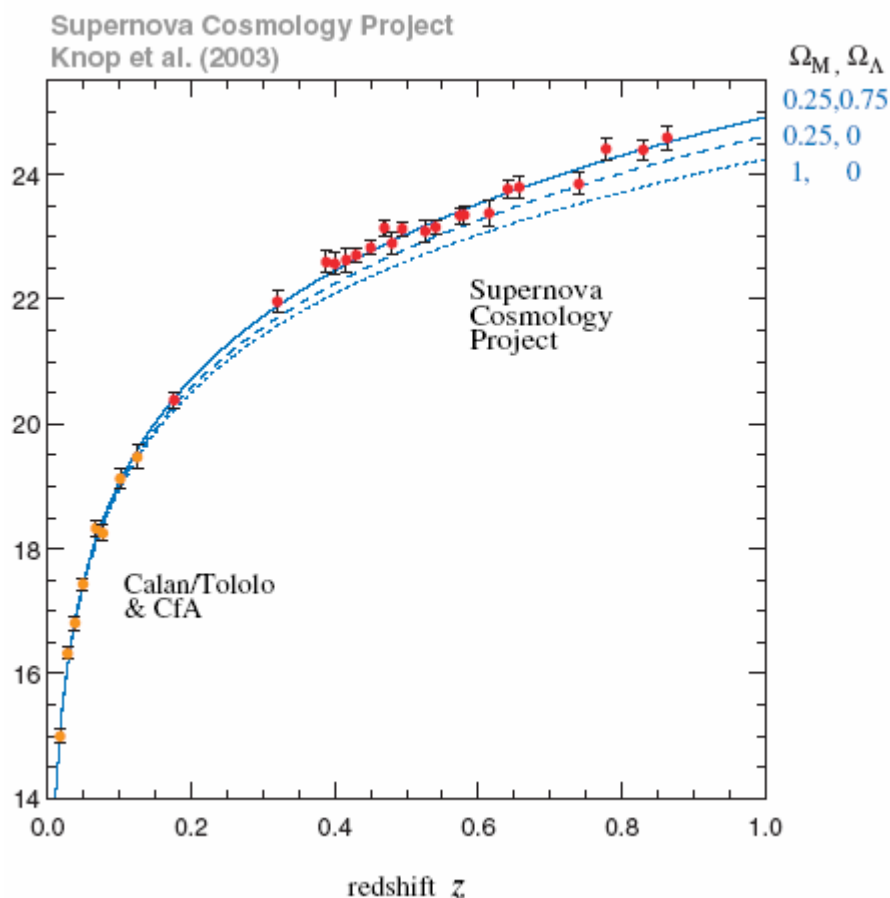


Le Supernove (stelle che hanno cessato di vivere, esplodendo) piu' lontane ci permettono di studiare, come con la radiazione di fondo, cosa e' successo al nostro Universo durante la sua evoluzione.

Piu' la SN e' lontana nello spazio, piu' si avvicina, nel tempo, all'origine del Big Bang

L'Energia Oscura

Nel 1998 un gruppo di ricercatori americani, studiando le Supernove distanti, si è accorto che – contrariamente a quanto si pensava dalla teoria di Einstein in poi – l'Universo *e' in espansione e sta accelerando*, sotto la spinta di una forza repulsiva ingente e sconosciuta (*Energia Oscura*)



Dalle misure si deduce che:

- **la materia oscura rappresenta circa il 20% della materia esistente**
- **l'energia oscura rappresenta oltre il 70% della materia dell'Universo**

Sino ad oggi non si sa quale siano l'origine e le caratteristiche di questa **forza misteriosa** che si oppone alla gravitazione e allontana tra loro le Galassie

La Materia Oscura

I cosmologi, che a partire dagli anni '60 hanno tentato di calcolare il contenuto di massa dell'Universo, si sono trovati davanti il seguente problema:

dalle misure della velocità delle stelle periferiche delle Galassie a Spirale, si può determinare – attraverso la meccanica classica – la massa.

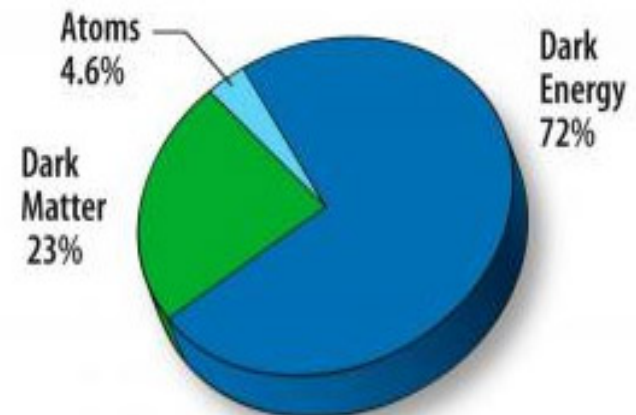
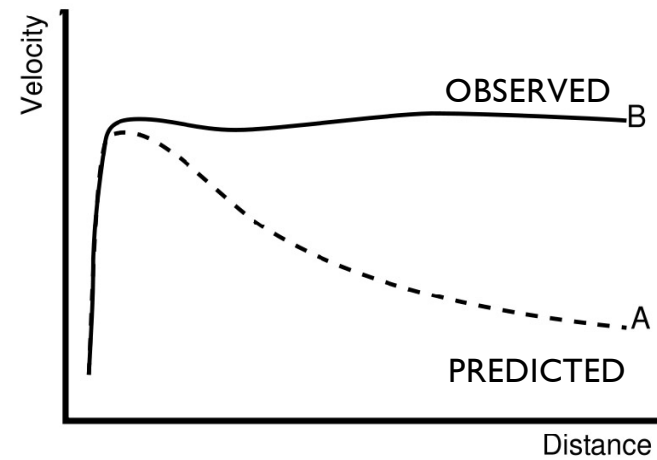
Le osservazioni sperimentali ci dicono che c'è molta più materia nell'Universo di quanta se ne osservi (Galassie, gas intergalattico, raggi cosmici).

Lo spazio è permeato di Materia Oscura (almeno 5 volte quella visibile).

Da cosa è fatta questa materia oscura ?

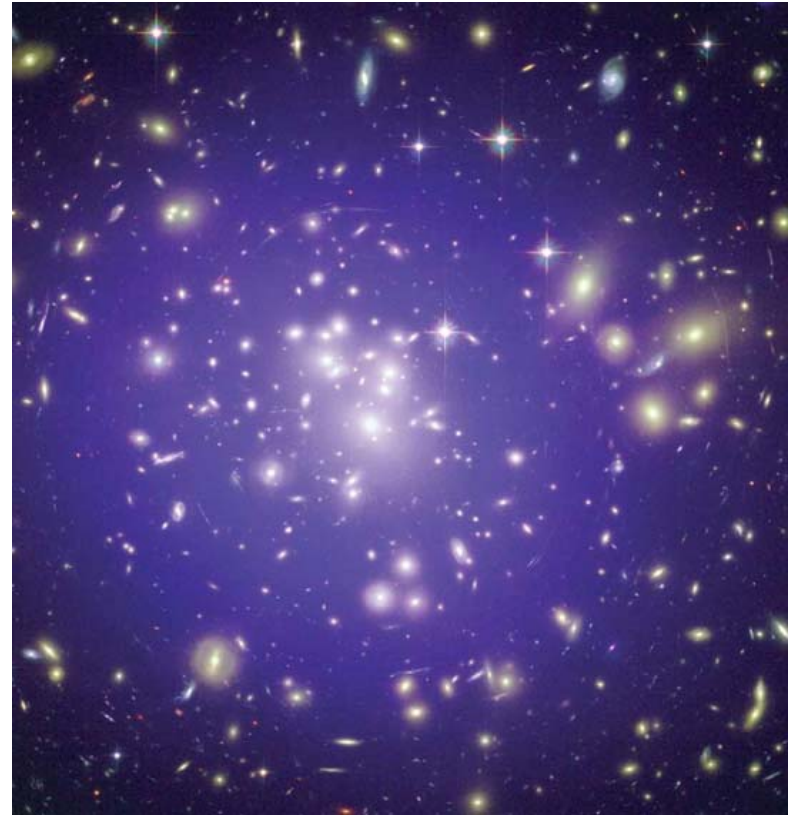
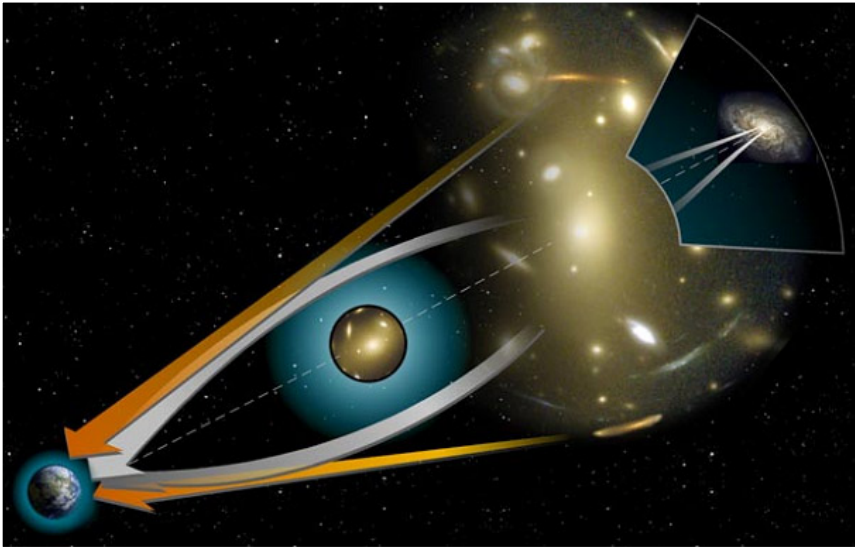
Per molti anni si è pensato che fosse dovuta ad una massa – piccola – dei **neutrini**.

Le misure sperimentali non confermano questa ipotesi.



Una spettacolare indicazione sperimentale della Materia Oscura

La teoria della *Gravitazione di Einstein* prevede che il campo di un oggetto molto massivo possa deviare significativamente la luce (Lenti Gravitazionali).

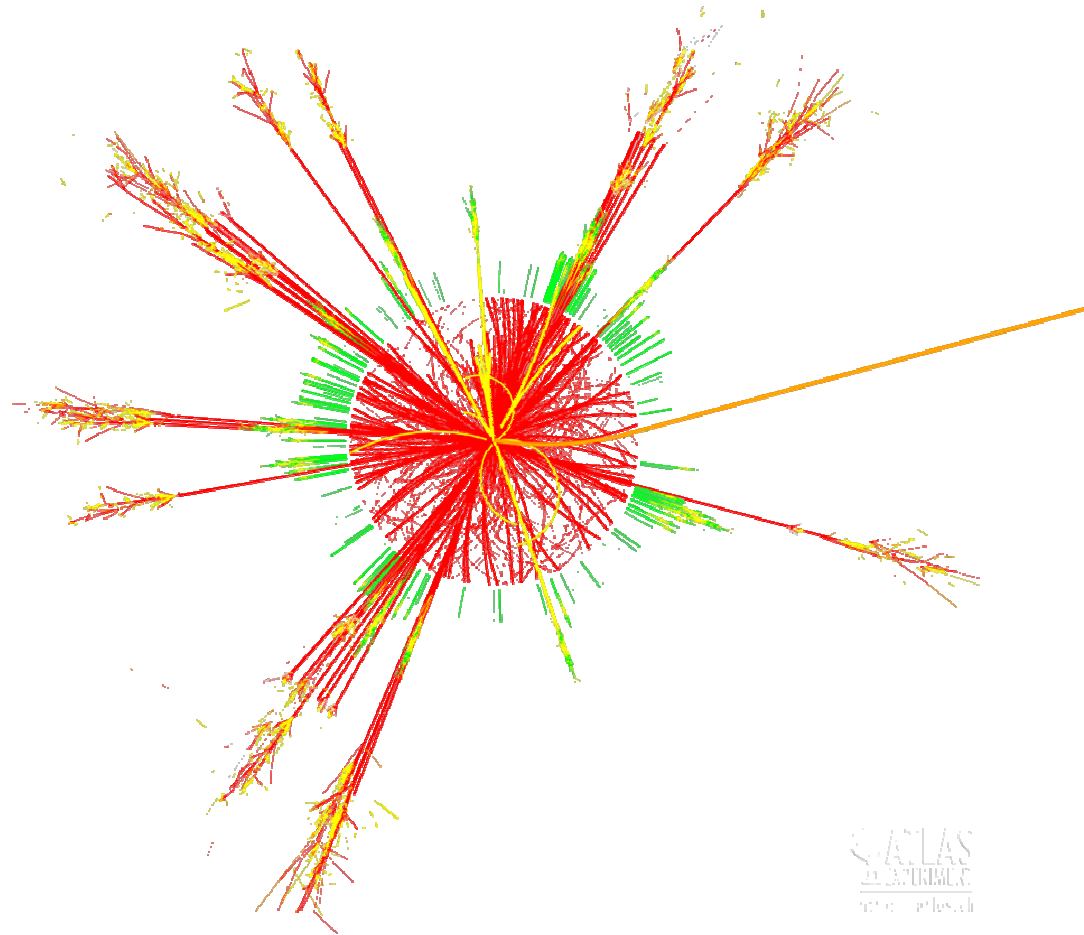


Ci sono ormai molte osservazioni di oggetti celesti dei quali si osservano immagini speculari ed anelli di luce dovuti a questi effetti e causati da materia oscura che si frappone tra noi e l'oggetto osservato.

Il merito di molti dei progressi in Cosmologia va all'*Hubble Space Telescope*

Parte 2

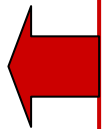
Osservare l'infinitamente **piccolo**



I mattoni fondamentali : i quarks e i leptoni

Tutta la materia e' riconducibile ad aggregati di particelle puntiformi (o almeno ritenute tali sino ad oggi), i **quarks**, che si combinano secondo precise regole ed organizzati insieme ai leptoni a formare "generazioni"

Materia ordinaria:
Protoni, Neutroni
Elettroni



| Quarks | | Leptons | | |
|--------------------|----------------------|-------------------|--|-----|
| $Q=2/3 e$ | $Q=-1/3 e$ | $Q=-e$ | $Q=0$ | |
| up (0.004) | down (0.006) | e (0.0005) | ν_e (very small*) meno di 10^{-9} | I |
| charm (1.5) | strange (0.5) | μ (0.1) | ν_μ (very small) | II |
| top (175) | bottom (4.5) | τ (1.8) | ν_τ (very small) | III |

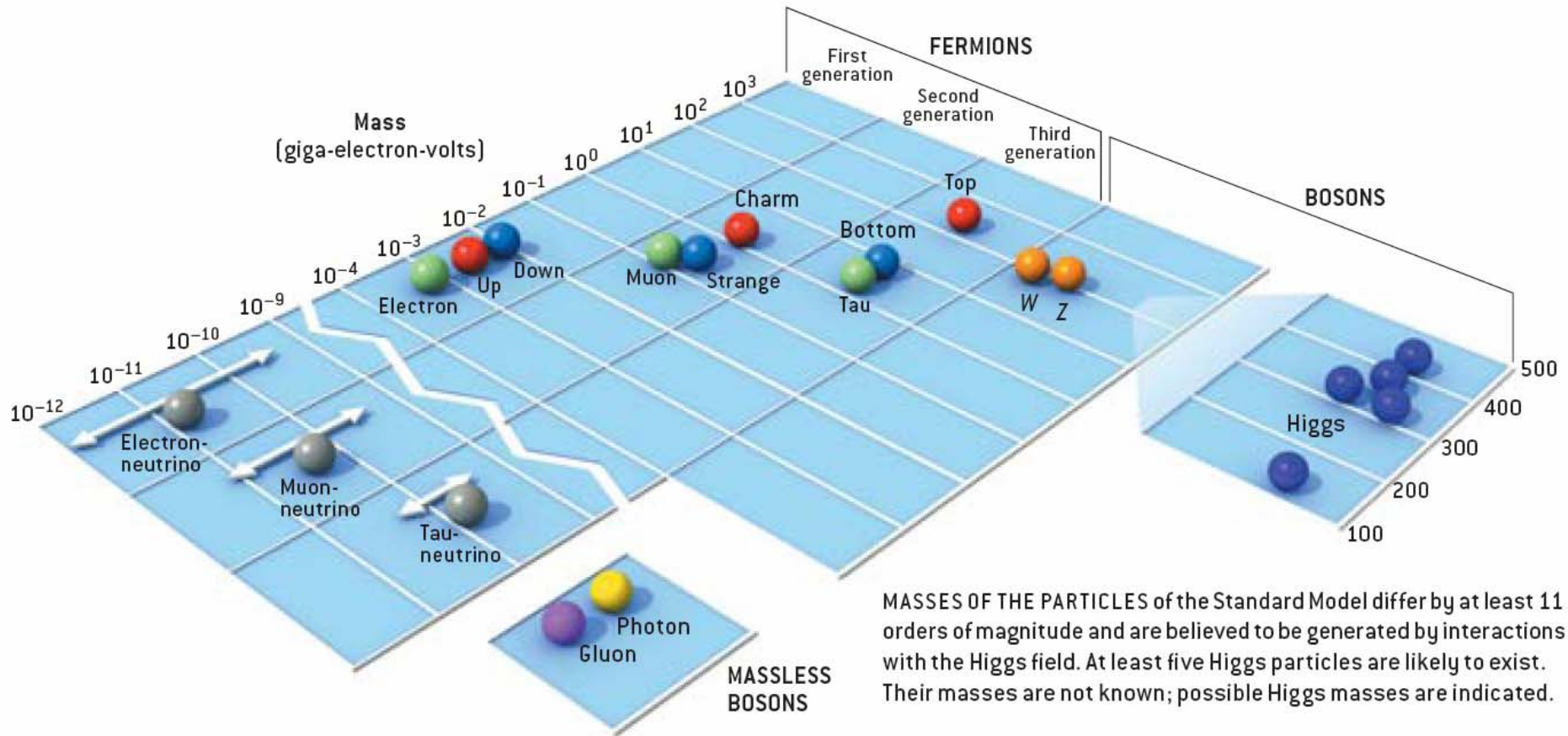
Materia
prodotta nei raggi
cosmici, nel sole,
agli acceleratori



Masse in GeV (1 GeV ~ 1 m_{protone})

ancora da scoprire

La tavola delle Particelle Elementari



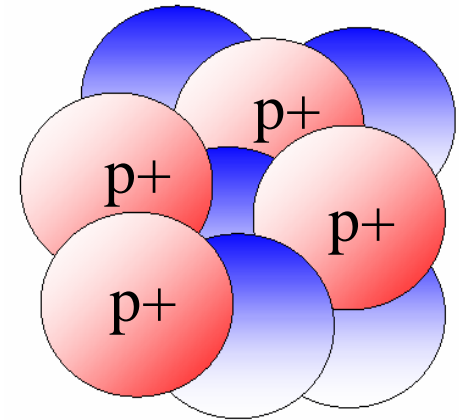
MASSES OF THE PARTICLES of the Standard Model differ by at least 11 orders of magnitude and are believed to be generated by interactions with the Higgs field. At least five Higgs particles are likely to exist. Their masses are not known; possible Higgs masses are indicated.

Forze e Campi

- **Elettromagnetica** – di cui abbiamo esperienza quotidiana e che si esercita su oggetti dotati di carica elettrica

- **Nucleare forte** – quella che mantiene stabili i nuclei e che innesca ad es i processi di Fissione atomica

- **Nucleare debole** – quella che governa i decadimenti radioattivi e che e' ad es. responsabile dei processi di combustione nelle stelle (ad es. la fusione nel Sole: $p+p \rightarrow {}^2\text{H}_1 + e^+ + n_e + 0.42 \text{ MeV}$)



- **Gravitazionale** – di cui abbiamo esperienza quotidiana e che si esercita su oggetti dotati di massa e che su grandi scale ad es. regola i moti dei corpi celesti

Ad oggi non si conoscono fenomeni che non siano riconducibili ad una di queste forze

Questa – relativamente semplice – visione della natura dell'infinitamente piccolo va sotto il nome di **Modello Standard della Fisica delle Particelle**

Il Meccanismo di Higgs

Esiste però ancora un elemento da verificare nel Modello Standard: la scoperta della *particella di Higgs*

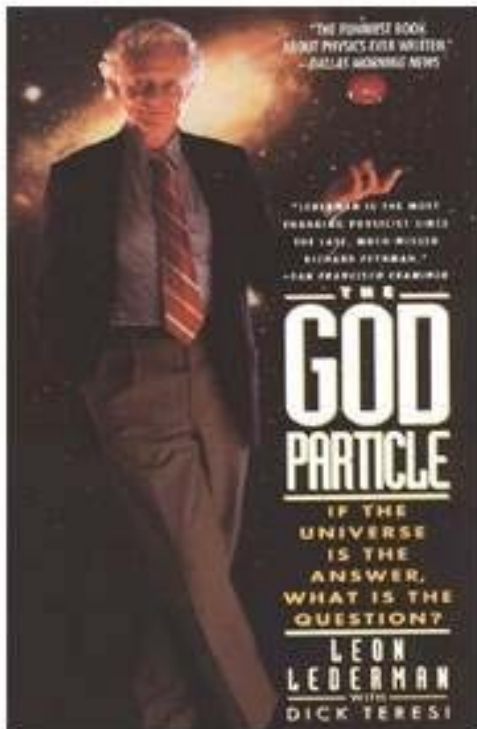
Il meccanismo di Higgs è un elemento cruciale della teoria. Ha la funzione di:

- rompere la simmetria (quella che unifica le interazioni fondamentali);
- dare massa alle particelle.

Si è osservato sperimentalmente che il meccanismo funziona, ma il *bosone di Higgs* non è stato ancora trovato, ed uno degli scopi per cui è stato costruito LHC è scoprire questa particella.

Nel 1993 il Ministro inglese della Scienza, Weldgrave, mise in palio una bottiglia di champagne per il fisico che fosse stato capace di spiegargli su un solo foglio di carta, come funzionasse il meccanismo di Higgs (e a cosa servisse scoprirla...)

Il prof. David Miller vinse con il seguente esempio...



...un gruppo di politici alla buvette del Parlamento...



...improvvisamente arriva il Primo Ministro...



...tutti si affollano intorno a lui...
(questo spiega come le particelle acquistano la massa)



Da molti anni pero' si intuisce che il Modello Standard non puo' essere la *Teoria Finale* (cosi' come il sistema concepito da Maxwell non lo fu per l'elettromagnetismo).

La teoria non spiega (osservazioni sperimentali):

- La Materia Oscura che c'e' nell'Universo (per non dire dell'Energia Oscura)
- Il perche' non esiste Antimateria nell'Universo (ma c'era al Big Bang)
- Il perche' i neutrini abbiano massa

Ci sono anche alcune questioni teoriche piu' profonde non risolte:

- La scala di massa delle particelle
- La diversita' di comportamento delle famiglie
- L'enorme diversita' di intensita' tra le forze
- L'incapacita' di unificare la *Relativita' Generale* con la *Meccanica Quantistica*

Va sottolineato che non c'e', sino ad oggi, *nessuna misura sperimentale* che ci faccia pensare che il Modello Standard non funzioni

Tuttavia dagli anni '70, numerosi teorici hanno iniziato a prefigurare diversi scenari per il superamento dello SM: *le teorie supersimmetriche, di stringa, le extra-dimensioni.*

Le Teorie Supersimmetriche

Sono uno delle possibili ampliamenti del Modello Standard. Accanto alle particelle note esiste un Supermondo di particelle che hanno spin opposto: *s-particelle*

Quarks ($s=1/2$) \rightarrow sQuarks ($s=1$) Fotone ($s=1$) \rightarrow sFotone ($s=1/2$)
 Leptoni ($s=1/2$) \rightarrow sLeptoni ($s=1$) Bosoni ($s=1$) \rightarrow Gaugini ($s=1/2$)

Le particelle Supersimmetriche hanno una massa ad energie alte (forse qualche centinaio di GeV): questo e' il motivo per il quale non sono visibili alle energie attuali. Questa separazione implica anche che oggi noi osserviamo una simmetria rotta, quando l'Universo si e' andato raffreddando

Le Susy permettono di risolvere alcuni problemi concettuali e tecnici dello SM, di proporre una soluzione per il mistero della *Materia Oscura* e, insieme alla Teoria delle Superstringhe, di unificare Gravita' e Meccanica Quantistica

Table 3: The Standard Model and supersymmetric particles.

| Standard Model | Supersymmetry |
|--|--|
| γ, Z^0, h^0, H^0 | $\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_3^0, \tilde{\chi}_4^0$ |
| W^+, H^+ | $\tilde{\chi}_1^+, \tilde{\chi}_2^+$ |
| $e^-, \nu_e, \mu^-, \nu_\mu, \nu_\tau$ | $\tilde{e}_R, \tilde{e}_L, \tilde{\nu}_e, \tilde{\mu}_R, \tilde{\mu}_L, \tilde{\nu}_\mu, \tilde{\nu}_\tau$ |
| τ^- | $\tilde{\tau}_1, \tilde{\tau}_2$ |
| u, d, s, c | $\tilde{u}_R, \tilde{u}_L, \tilde{d}_R, \tilde{d}_L, \tilde{s}_R, \tilde{s}_L, \tilde{c}_R, \tilde{c}_L$ |
| b | \tilde{b}_1, \tilde{b}_2 |
| t | \tilde{t}_1, \tilde{t}_2 |

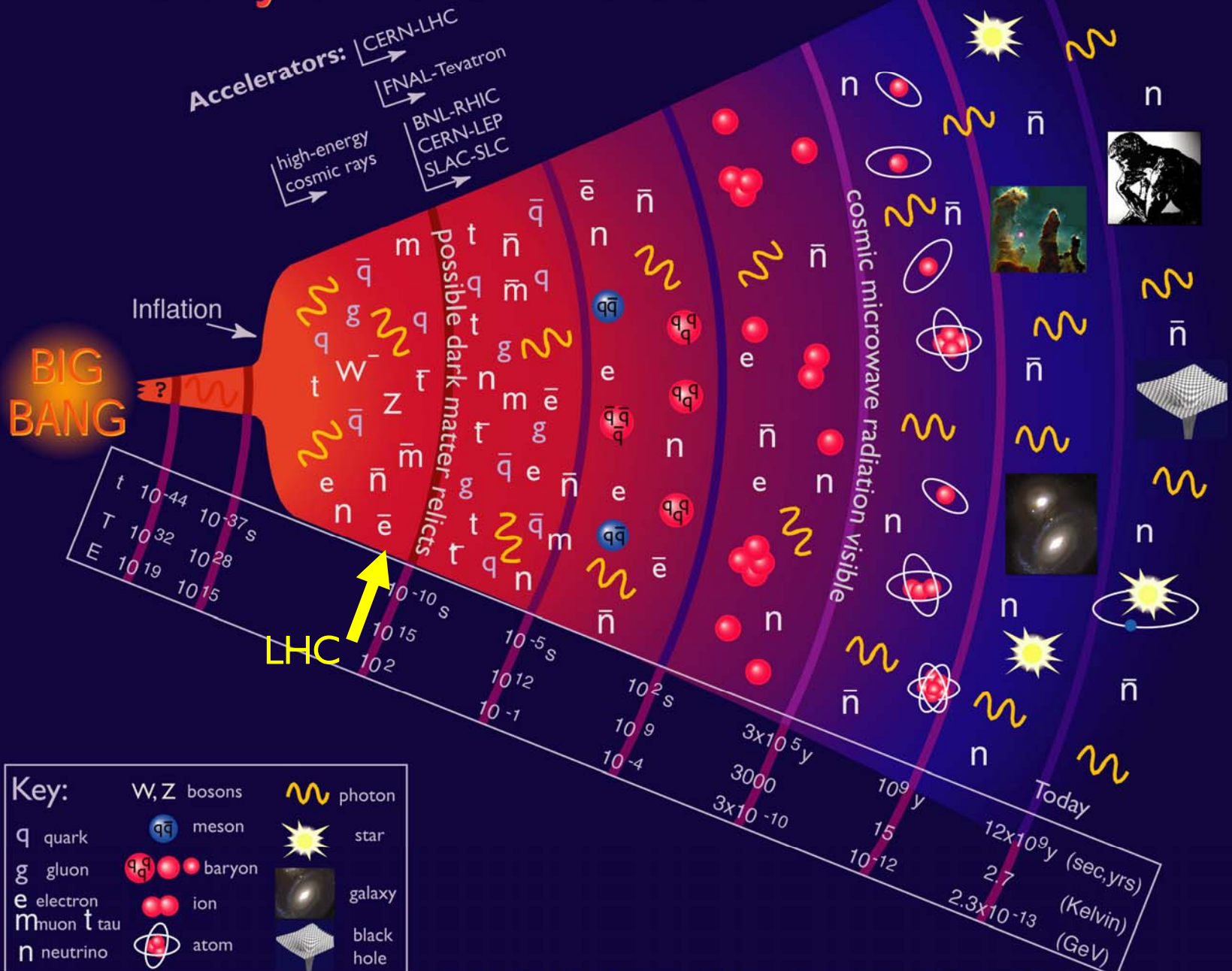
Parte 3

Il **Large Hadron Collider** del CERN

(ossia studiare la materia per capire l'Universo)



History of the Universe



Gli scopi scientifici

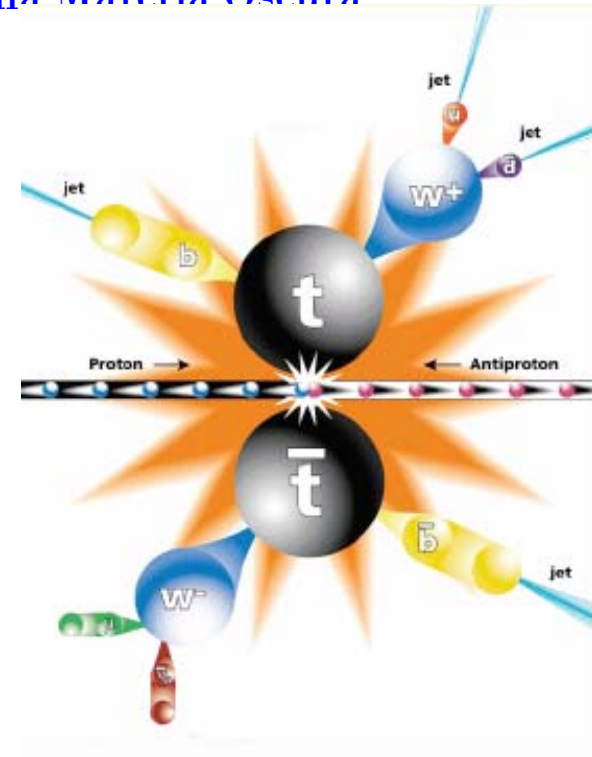
LHC e' una macchina lunga **27 km** nella quale protoni si scontrano contro altri protoni per rilasciare energia utile a creare nuovi stati della materia, mai visti dall'uomo, ma forse creati nei primi istanti del Big Bang.

- Scoprire il bosone di Higgs
- Cercare nuove particelle o nuove interazioni fondamentali
- Scoprire la possibile elementarieta' di quarks e leptoni
- Trovare evidenza diretta di una particella responsabile della Materia Oscura

• Dare indicazione su quali sono, tra le molte possibilita', i modelli teorici che meglio potrebbero risolvere i problemi prima elencati

Questo aspetto, seppure importante, potrebbe essere pero' di non semplice risoluzione

Entriamo in LHC e nei suoi apparati per capire in che modo si possano chiarire questi aspetti....



L' LHC al CERN di Ginevra (inizio delle operazioni alla fine del 2009,
dopo lo stop tecnico dovuto ad un guasto nel 2008)

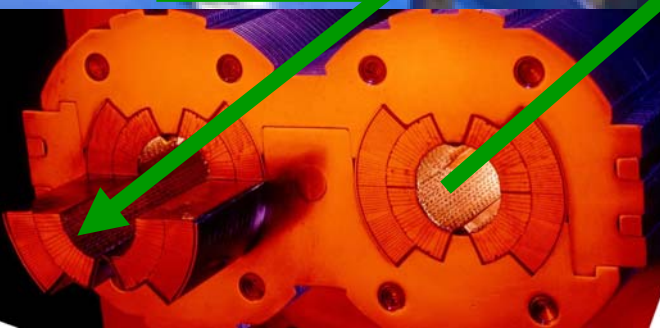
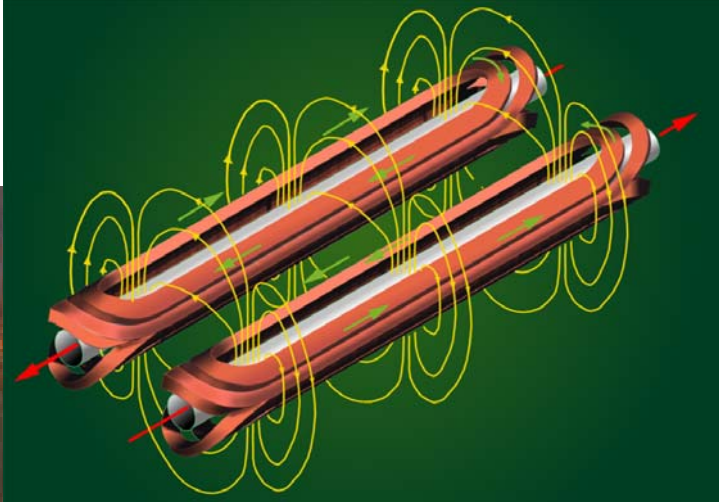
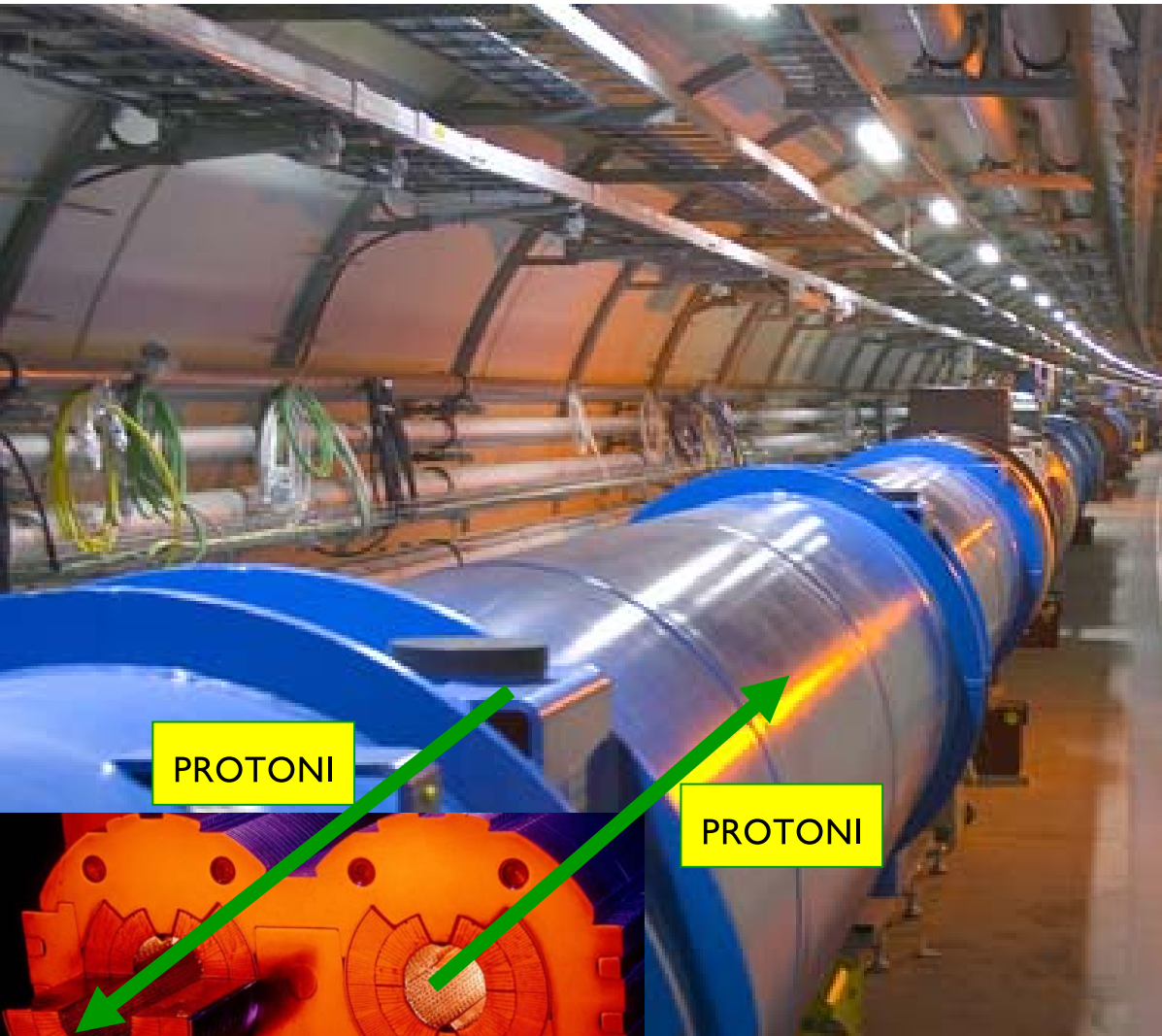
Collisioni tra protoni alla massima energia disponibile oggi (14 TeV)



27 km

The image shows an aerial view of the LHC tunnel at CERN, outlined in red. The tunnel is a long, circular structure that spans across a vast, green, hilly landscape. The text '27 km' is centered within the red outline, indicating the total length of the tunnel. The background shows a mix of green fields and some buildings, with mountains visible in the distance under a blue sky.

Il Tunnel che ospita LHC

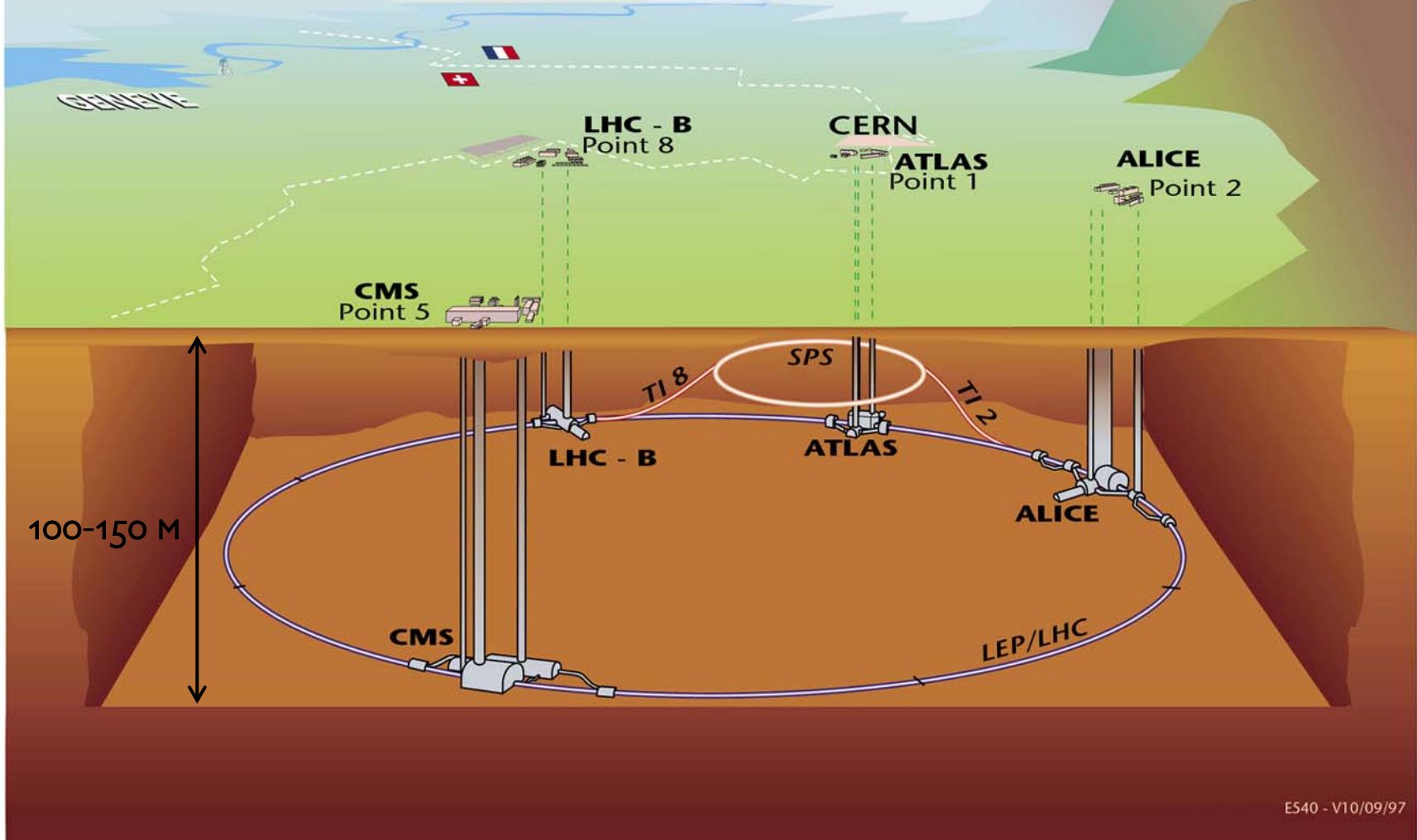


Overall view of the LHC experiments.

ATLAS e CMS, di grandi dimensioni

LHCb, per lo studio della asimmetria Materia-Antimateria

ALICE, per lo studio del quark-gluon plasma (primi istanti Big Bang)



La Macchina LHC

Un'impresa al limite delle tecnologie attuali (→ ricadute)

- 1200 dipoli magnetici superconduttori (tenuti a $T=1.5\text{ K}$)
- 2800 pacchetti circolanti, ciascuno con $\sim 10^{11}$ protoni $\sim 370\text{ MJ}$

→ l'energia di un treno lanciato a 150 km/h

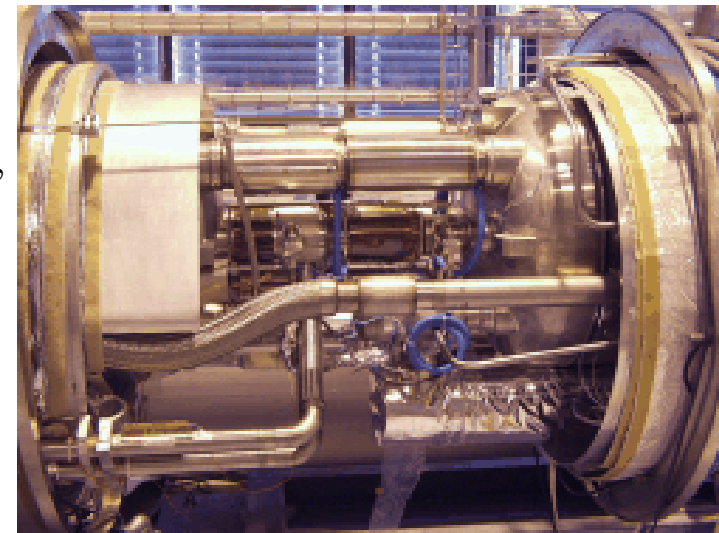
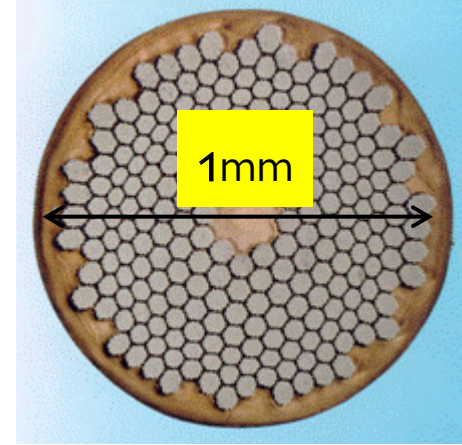
→ l'energia necessaria a fondere 1 T di rame

- Il sistema criogenico è ad Elio Superfluido (scelto per le sue caratteristiche di trasportabilità su grandi distanze) - Consumo di elettricità $\sim 120\text{ MW}$

- Il fascio circolerà in una ciambella dove è stato fatto un vuoto ultraspinato per evitare le collisioni con il gas residuo: 10^{-10} Torr ($760\text{ Torr}=1\text{ atm}$) ($< 3 \cdot 10^6$ molecole/cm³): la stessa pressione che incontriamo a 1000 km di altezza

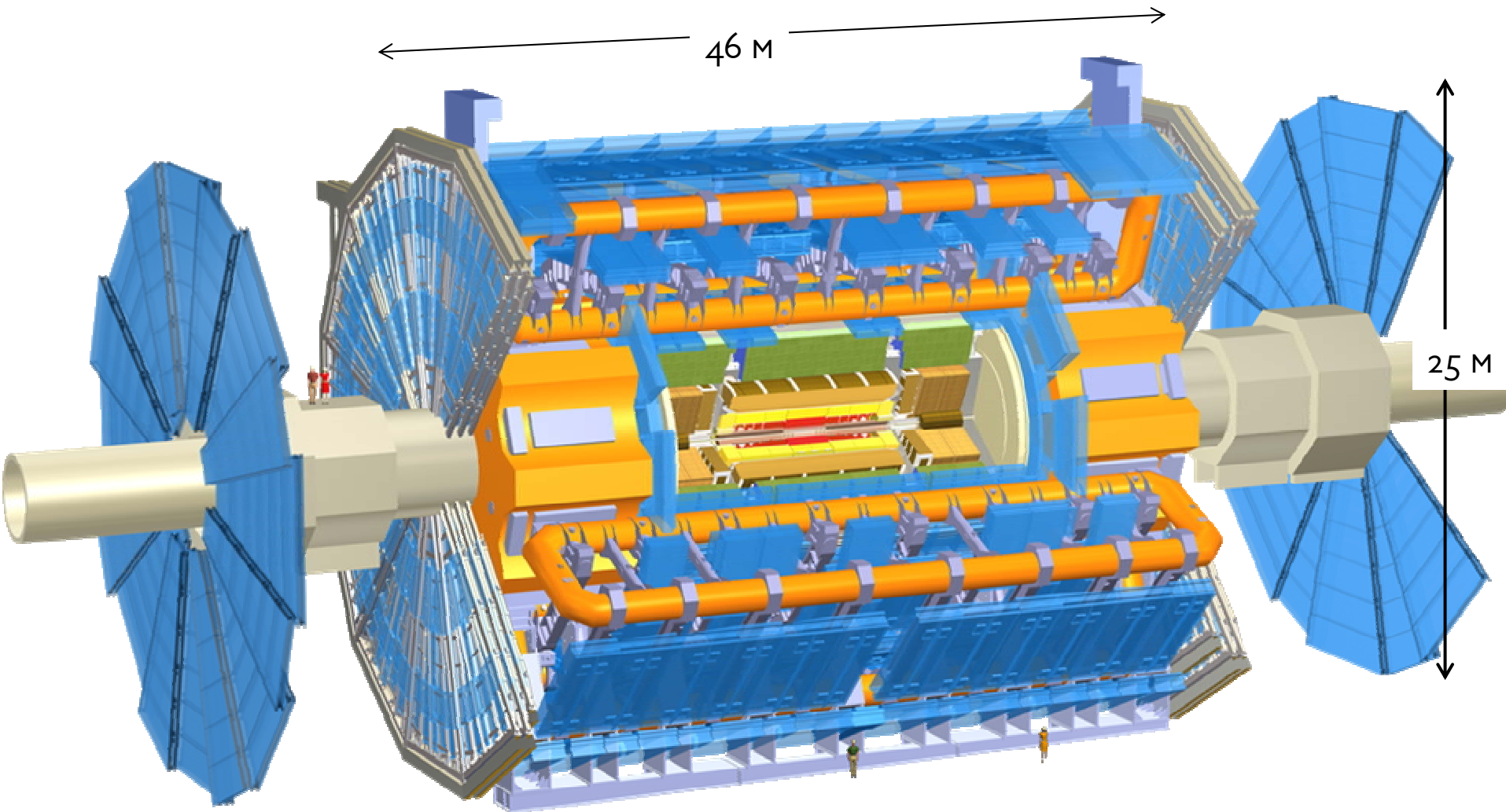
- I protoni si urtano ad una frequenza di 40 MHz
Sulle fibre ottiche che portano gli eventi ai calcolatori, c'è un evento "in fila" ogni 4-5 m !

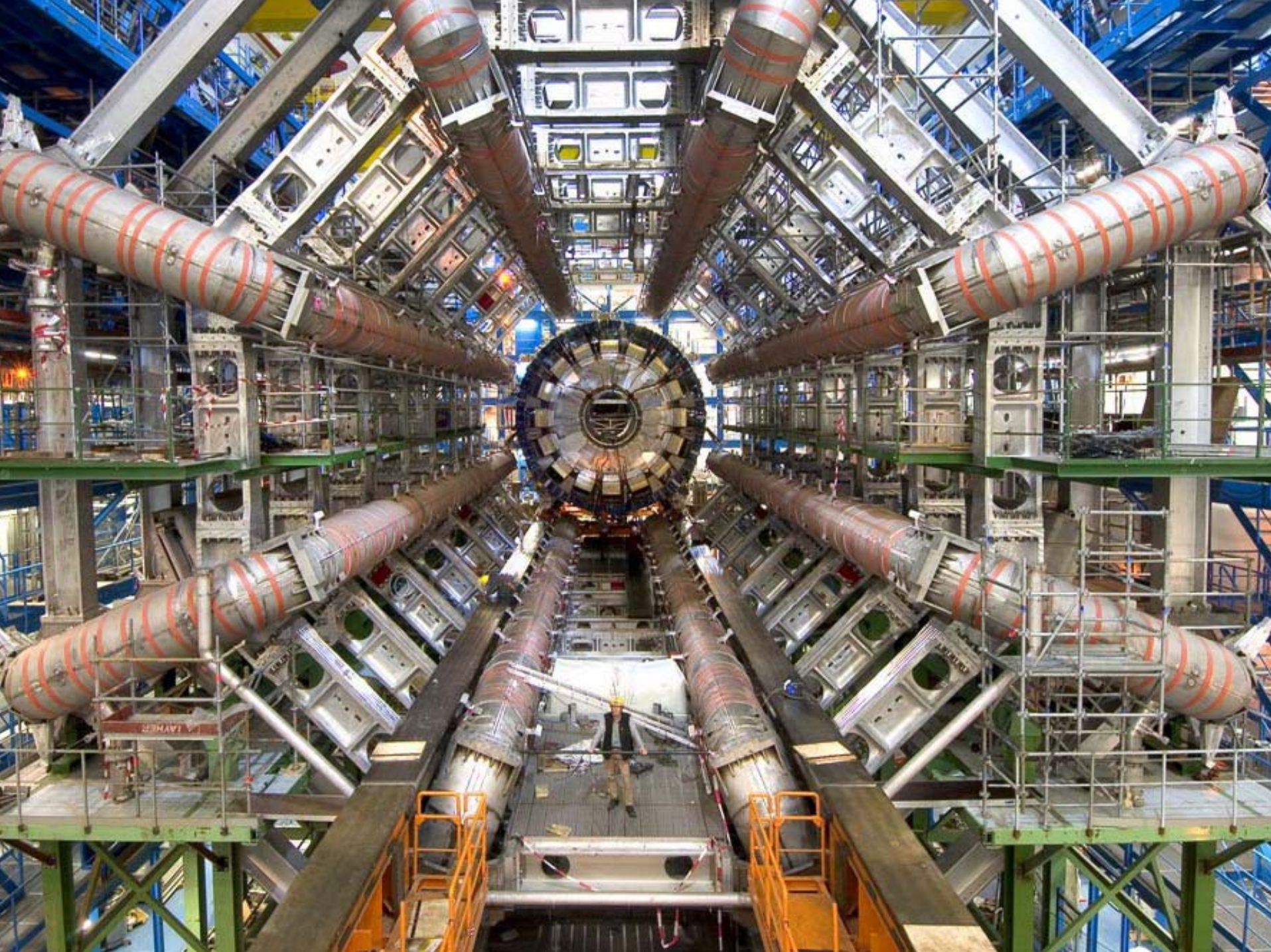
- I 4 esperimenti producono una quantità di dati pari ad 1 DVD ogni 10 sec. ($> 100,000$ l'anno)



ATLAS → atlas.ch

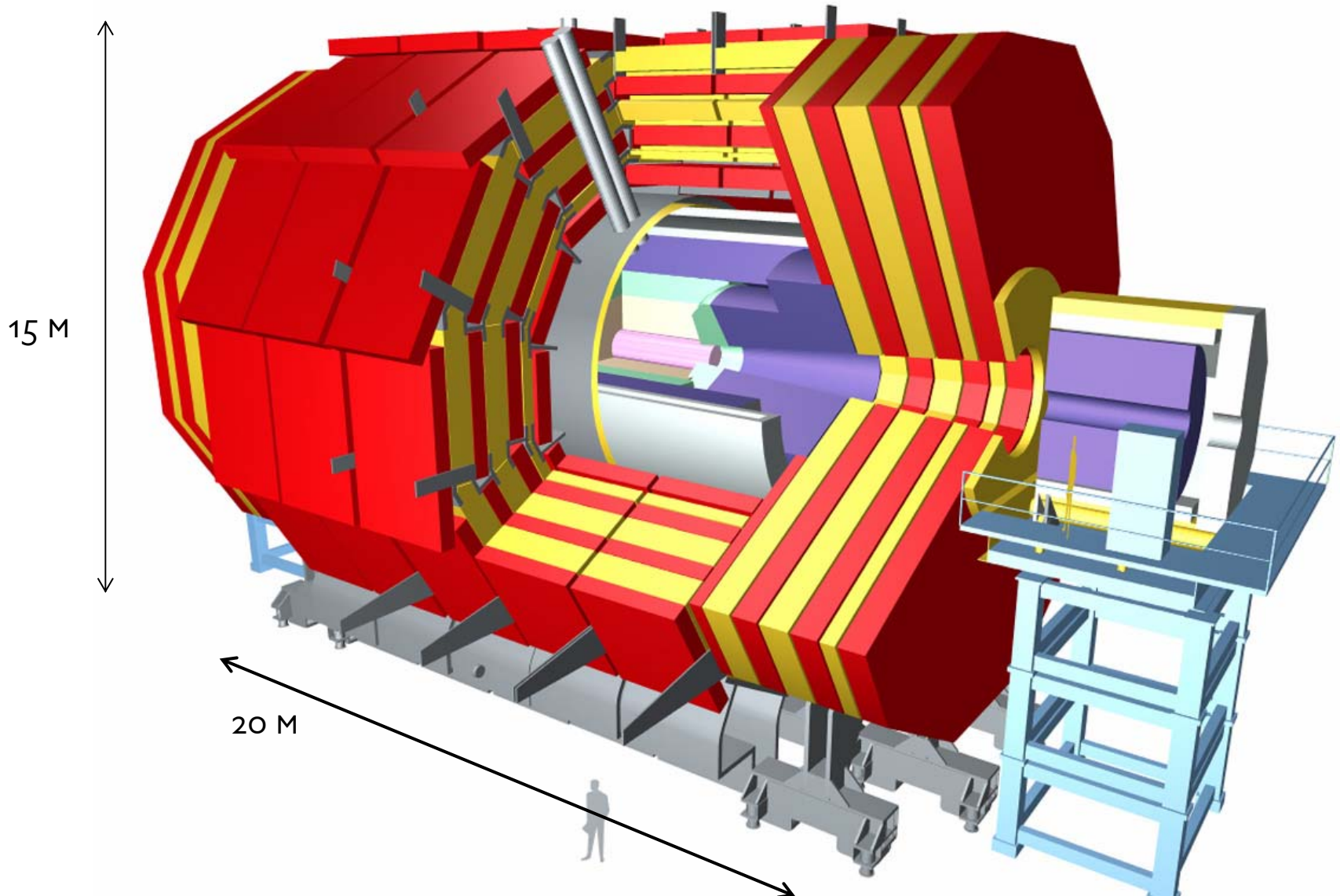
7000 t – 100,000,000 canali di elettronica - 2100 scienziati, 37 nazioni, 167 istituti
Costo 400 M€

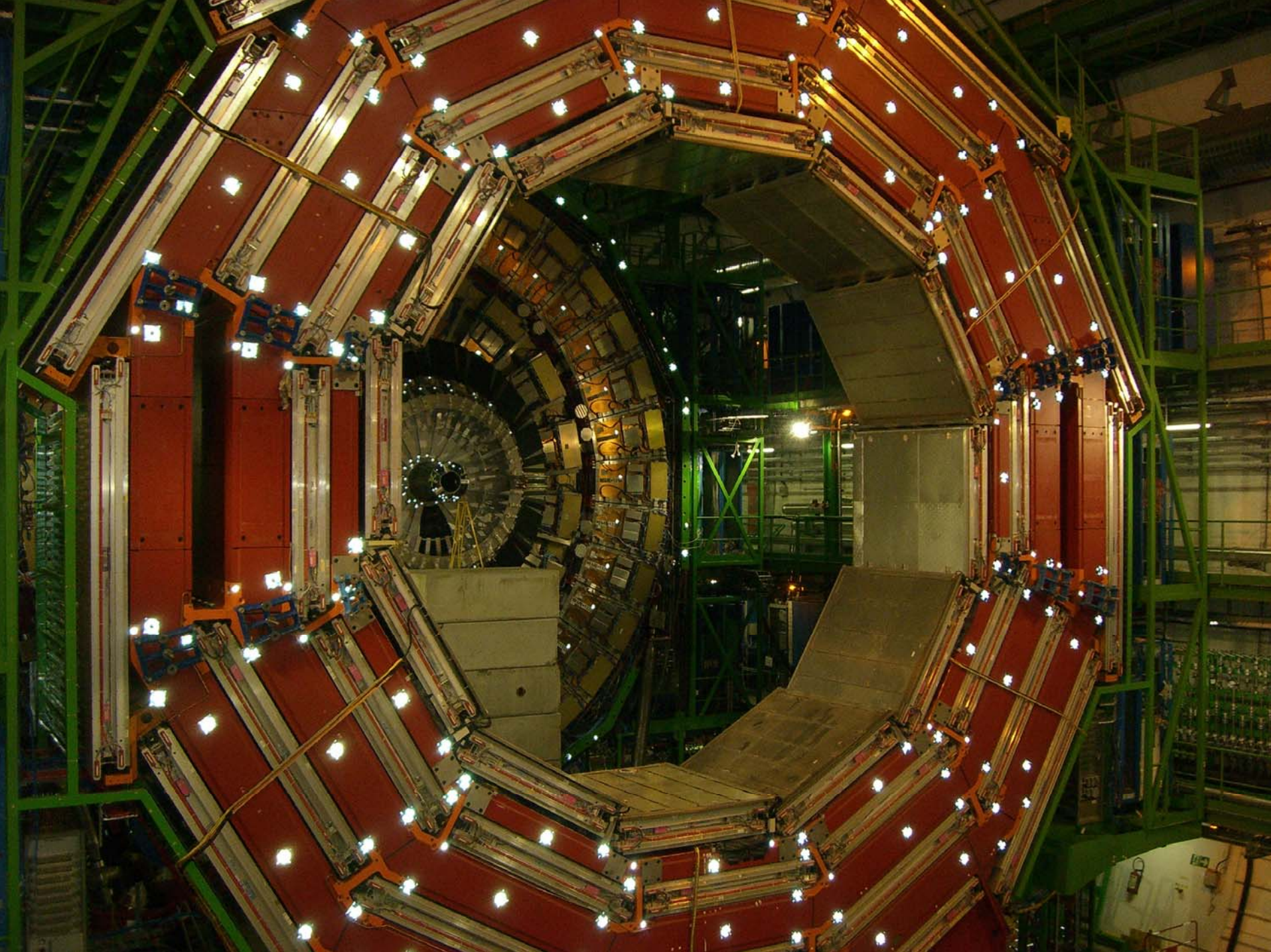




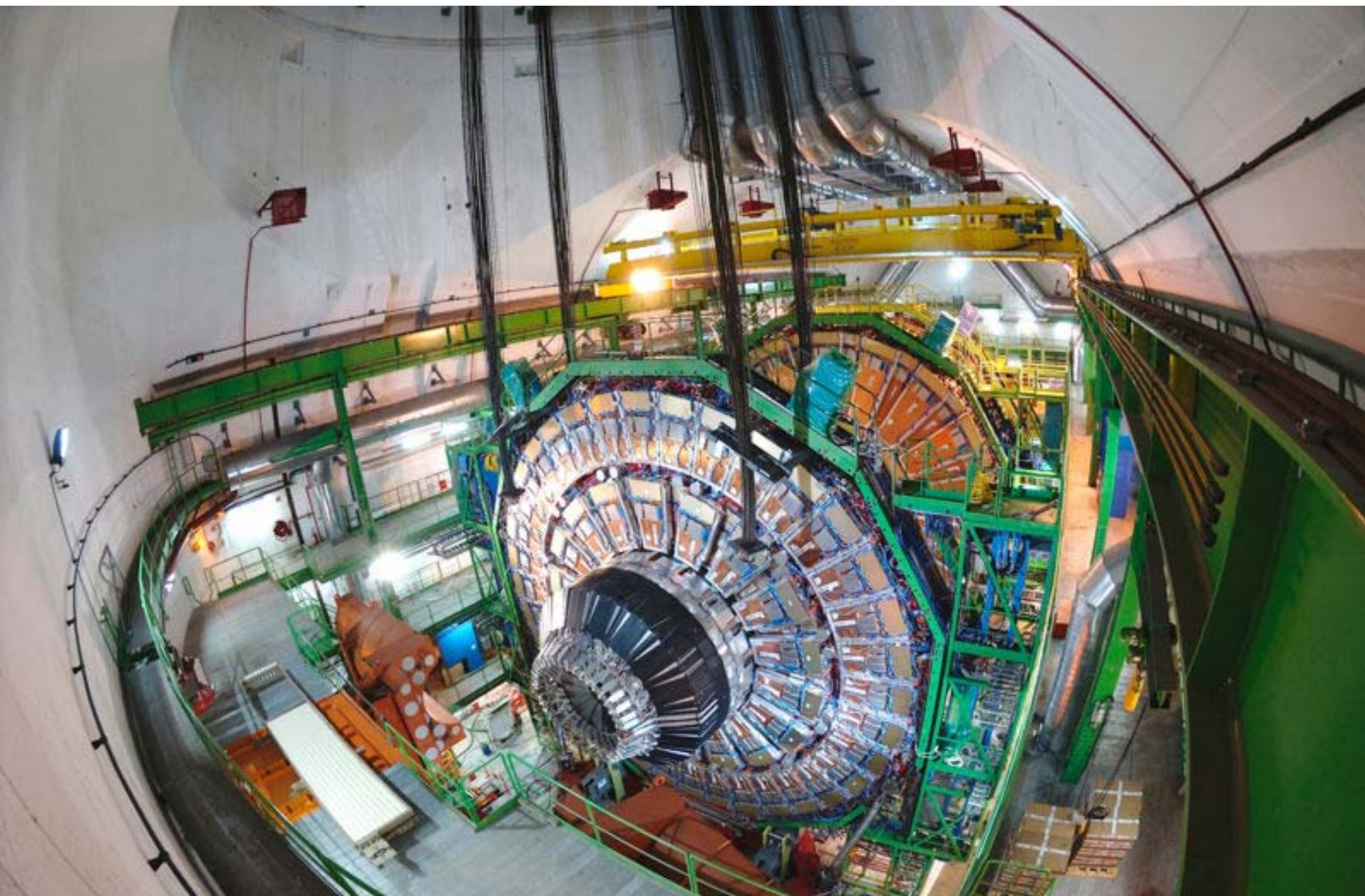
CMS → cms.cern.ch

12,500 t - 2800 scienziati 180 istituti - Costo **400 M€**

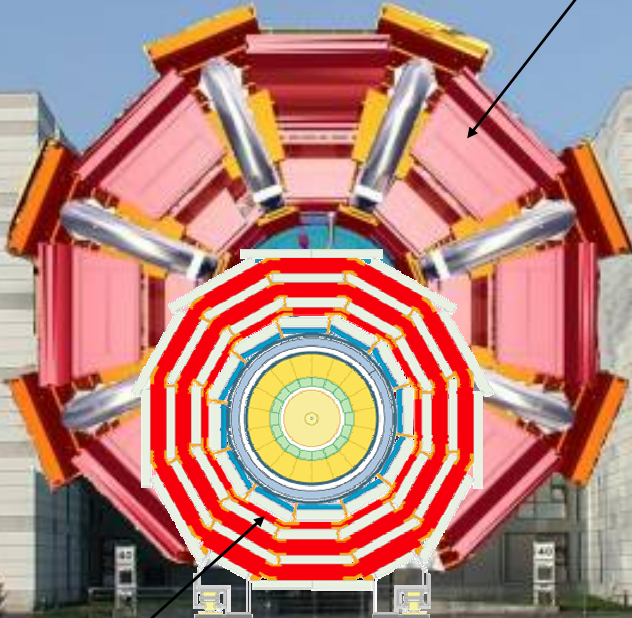




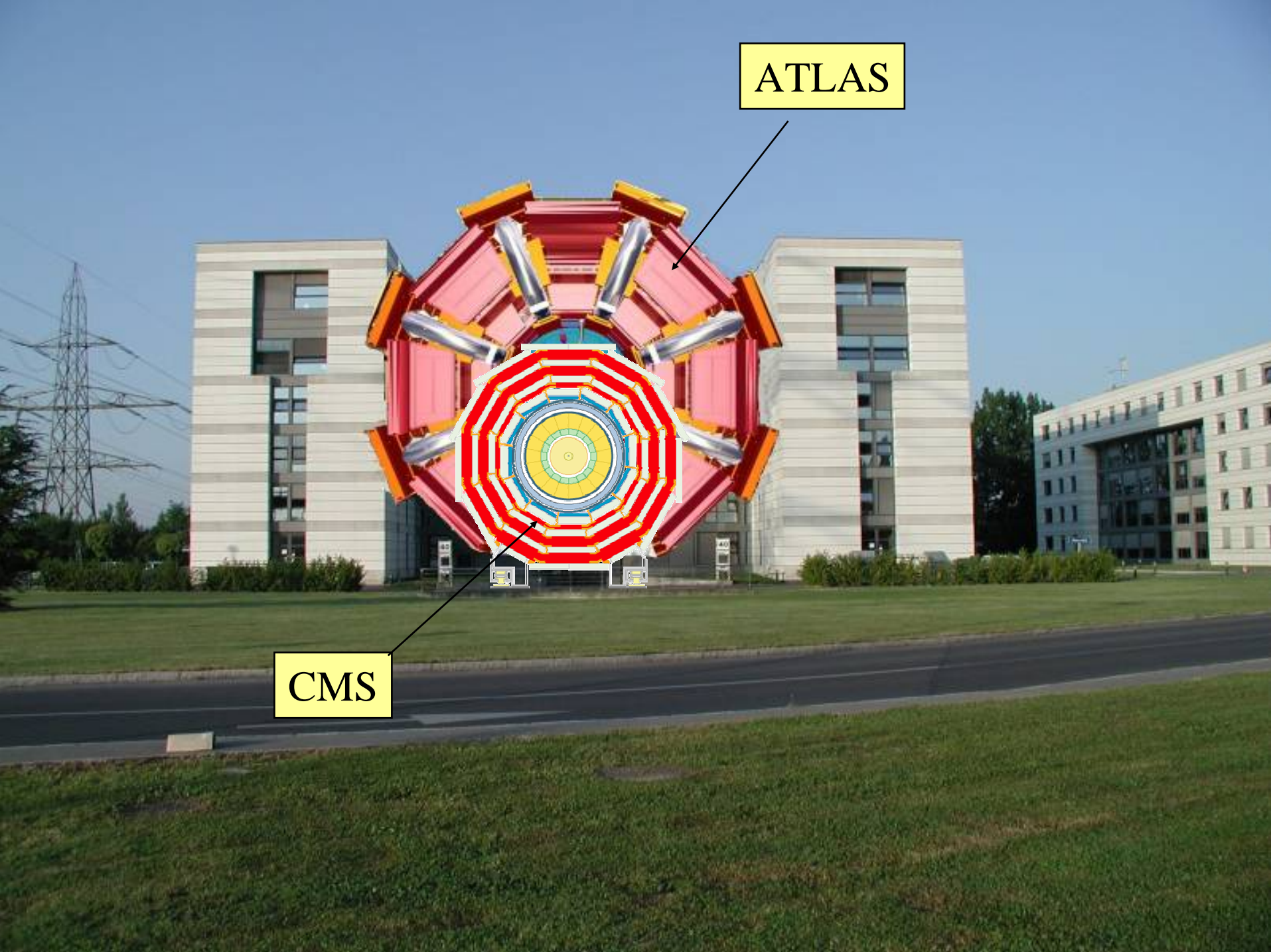
La discesa nel pozzo di CMS di un pezzo del rivelatore da 1270 t



ATLAS



CMS



Un candidato per la Materia Oscura

La teorie individuano nella Particella Supersimmetrica piu' Leggera (**LSP**) il responsabile della materia oscura (il *neutralino* o il *gravitino*)

Nella catena di decadimenti delle s-particelle, deve sempre essere conservata almeno una particella di tipo-s.

Nel caso della LSP, essendo la piu' leggera, non puo' decadere e quindi rimane stabile (e non e' osservabile negli apparati sperimentali perche' neutra).

Si pensa che la LSP sia stata prodotta durante il Big Bang (quando c'era sufficiente energia per creare particelle supersimmetriche) e che da allora riempia lo spazio ("*reliquia cosmica*").

La materia Oscura sara' svelata se negli apparati di LHC si osserveranno eventi nei quali "**manca qualcosa**", proprio come essa manca nella osservazione diretta della quantita' di materia nel Cosmo

Quel giorno il legame tra l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande sara' finalmente svelato



Parte 4

L'INFN e i Laboratori di Frascati

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Ente pubblico che promuove, coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della Fisica Subnucleare, Nucleare ed Astroparticellare in stretta collaborazione con l'Università e nel contesto della collaborazione e del confronto internazionale

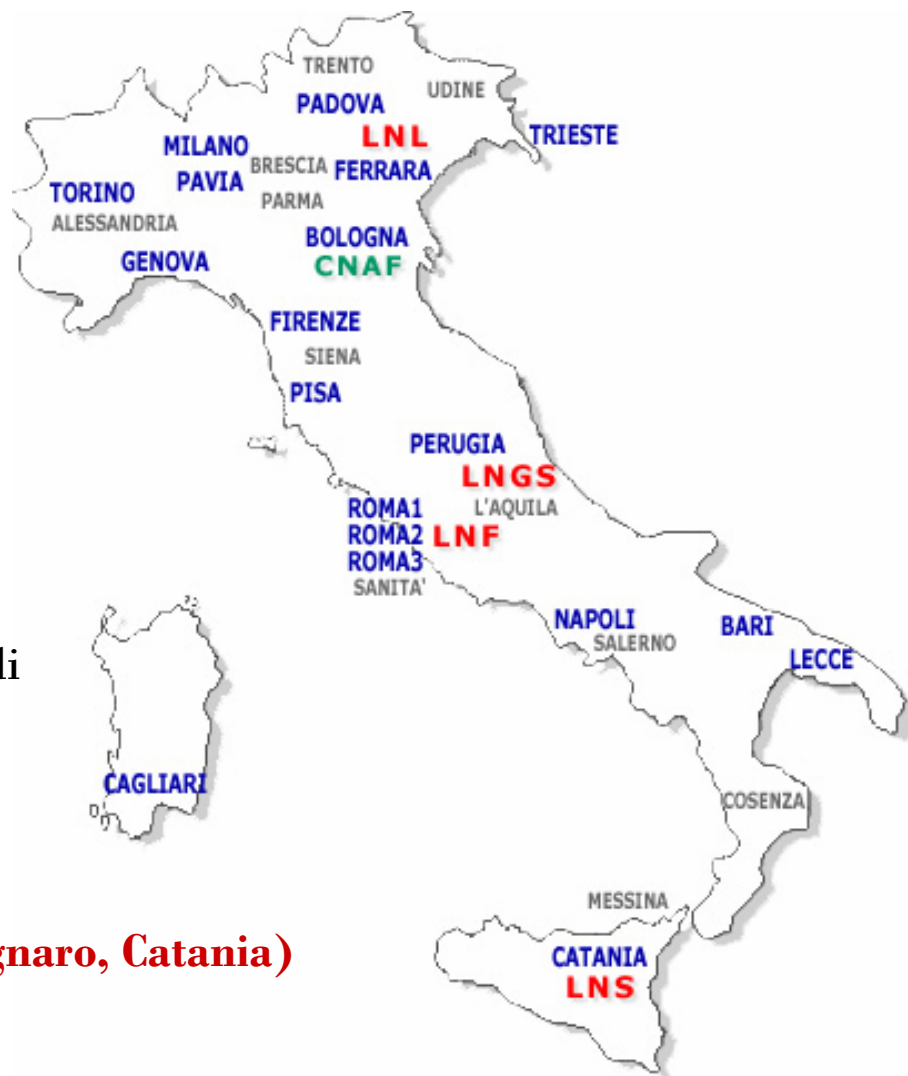
Bilancio annuo di 250 M€ , 2000 dipendenti che vi lavorano, con una spesa per la ricerca di circa 100 M€

17 Sezioni (nelle Università')

4 Laboratori Nazionali (Frascati, G.Sasso, Legnaro, Catania)

1 Centro di Calcolo GRID (Bologna)

I ricercatori INFN sono impegnati nei principali esperimenti in tutti i laboratori del mondo, in particolare in LHC (circa 700 fisici e tecnologi), dove l'INFN (e le industrie italiane) ha realizzato il 15% degli esperimenti



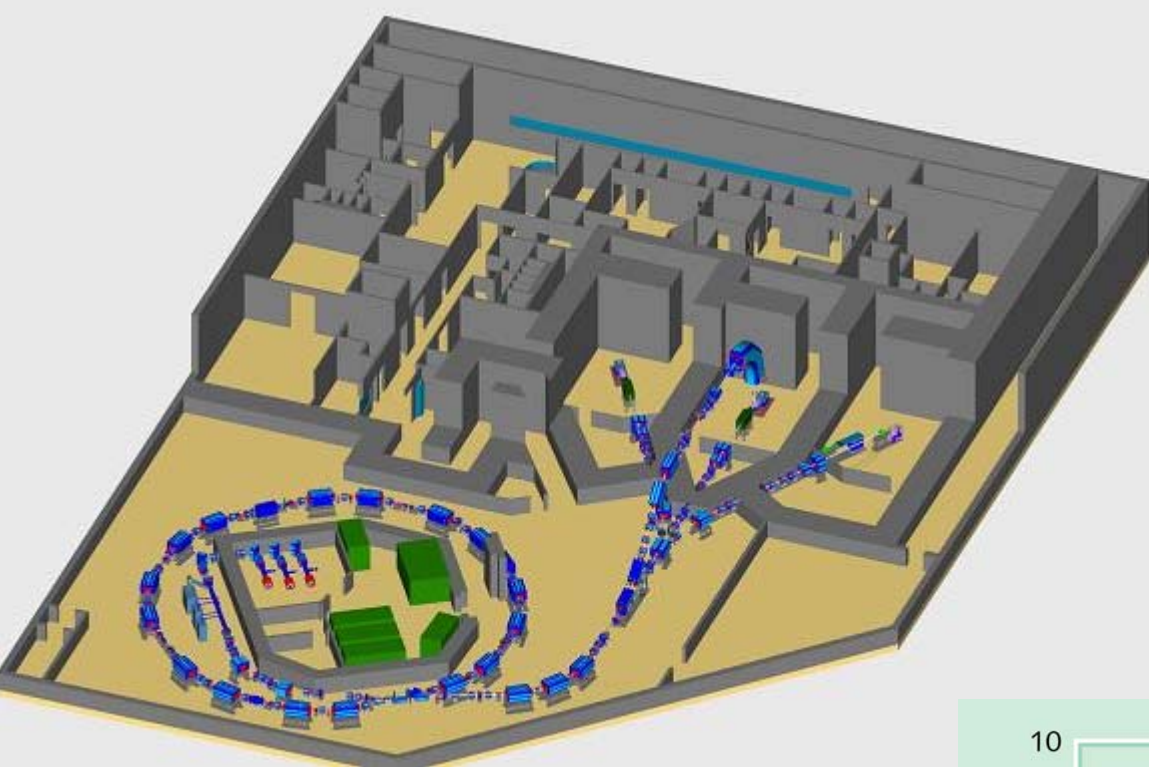
DAFNE
Anello di collisione tra e^+ e^-



Una delle caratteristiche di *eccellenza* dell'INFN e' non solo quella di costruire con ottimi risultati gli acceleratori e gli apparati sperimentali, ma anche quella di utilizzare gli strumenti per lo studio della Fisica delle Particelle e della Fisica Nucleare per altre applicazioni, di interesse generale

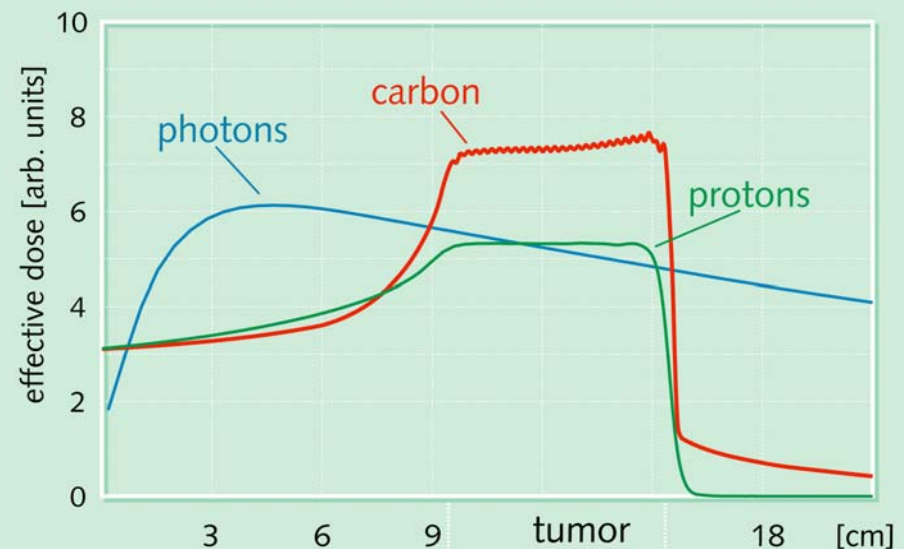
(le cosiddette ricadute della Ricerca di Base,
basti pensare al WEB inventato al CERN negli anni '80 per
far scambiare i dati degli esperimenti tra i fisici)

illustrero' due esempi molto importanti



Un progetto in corso di realizzazione a Pavia, per curare tumori profondi e inoperabili.
 Tra il 2009 e il 2010 i primi trattamenti.
L'INFN si e' occupato di costruire l'acceleratore

Con un acceleratore di *ioni pesanti*, si possono fornire delle dosi di radiazione molto intense e concentrate sul tumore, diminuendo i danni al tessuto sano (al contrario dei raggi X, ad es.)





Con le tecniche della Fisica Nucleare si possono studiare le opere d'arte per fare datazioni, verificare l'autenticita', determinare lo stato di salute.

Con le stesse metodologie si puo' monitorare l'ambiente (ad es. la qualita' dell'aria).

Un centro dell'INFN specializzato in queste tecniche e' a Firenze

*Analisi PIXE differenziale e PIGE della
Madonna dei Fusi di Leonardo*

WALL STREET CRASH!

Black Thursday in America Stocks Plunge and Eleven Commit Suicide

From selling for the New York Stock Exchange more than 100,000,000 shares changed hands in four hours.

Black Thursday in the early morning market was the wildest of times and panic. Bankers closed their doors and many from their business world at all points.

In the chaotic market which followed, the market made three points on the Dow Jones Industrial Average. Stocks were made the only party and the value of some companies fell during the course of the day.

The huge daily trading which followed a result of speculation on Wall Street and the market. Finally, however, the market closed at 11.50, when the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.



Frenzied investors gather outside the market of George Washington on Wall Street.

What Went Wrong?

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

The market was in a state of panic and the market was in a state of panic. The market was in a state of panic and the market was in a state of panic.

EUROPEAN NEWS

London News in the East - The Government announced that it had decided to raise the rate of interest to 10 per cent.

News from France - The Government announced that it had decided to raise the rate of interest to 10 per cent.

COLEMAN'S "WICKERS"



Conclusioni

Quanto costa ? A cosa serve ?

Quanto costa questo tipo di Ricerca Fondamentale ?

La Fisica delle Particelle e' a partire da **Enrico Fermi**, il fiore all'occhiello della Ricerca Italiana, in particolare per il livello di considerazione che ha all'estero.

Alcune cifre dei costi della ricerca:

- Il CERN ha un bilancio annuo di 500 M€ (l'Italia paga per il 12% : 60 M€)
- LHC e i suoi esperimenti sono costati circa 5 G€ → funzioneranno per 20 anni

- L'Hubble Space Telescope e' costato **6 G\$** (e ha funzionato per 20 anni)
- La Stazione Spaziale Internazionale **150 G\$**
- ITER (progetto globale per la fusione) **10 G€** (e durera' 30 anni)
- Il costo di una Centrale Nucleare **4 G€**
- L'Alta Velocita' in Italia **66 G€** (e' in costruzione da 15 anni !)
- La Guerra in Iraq (ad oggi) **500 G\$**
- L'attuale crisi del sistema bancario e assicurativo **1500 G\$**

...a voi il giudizio su quale sia il modo piu' proficuo per spendere il denaro pubblico...

La Ricerca Fondamentale: ovvero come vivere meglio domani

*Spesso ci si chiede: a cosa serve la Ricerca Fondamentale ?
I costi sono giustificati dai benefici ?*

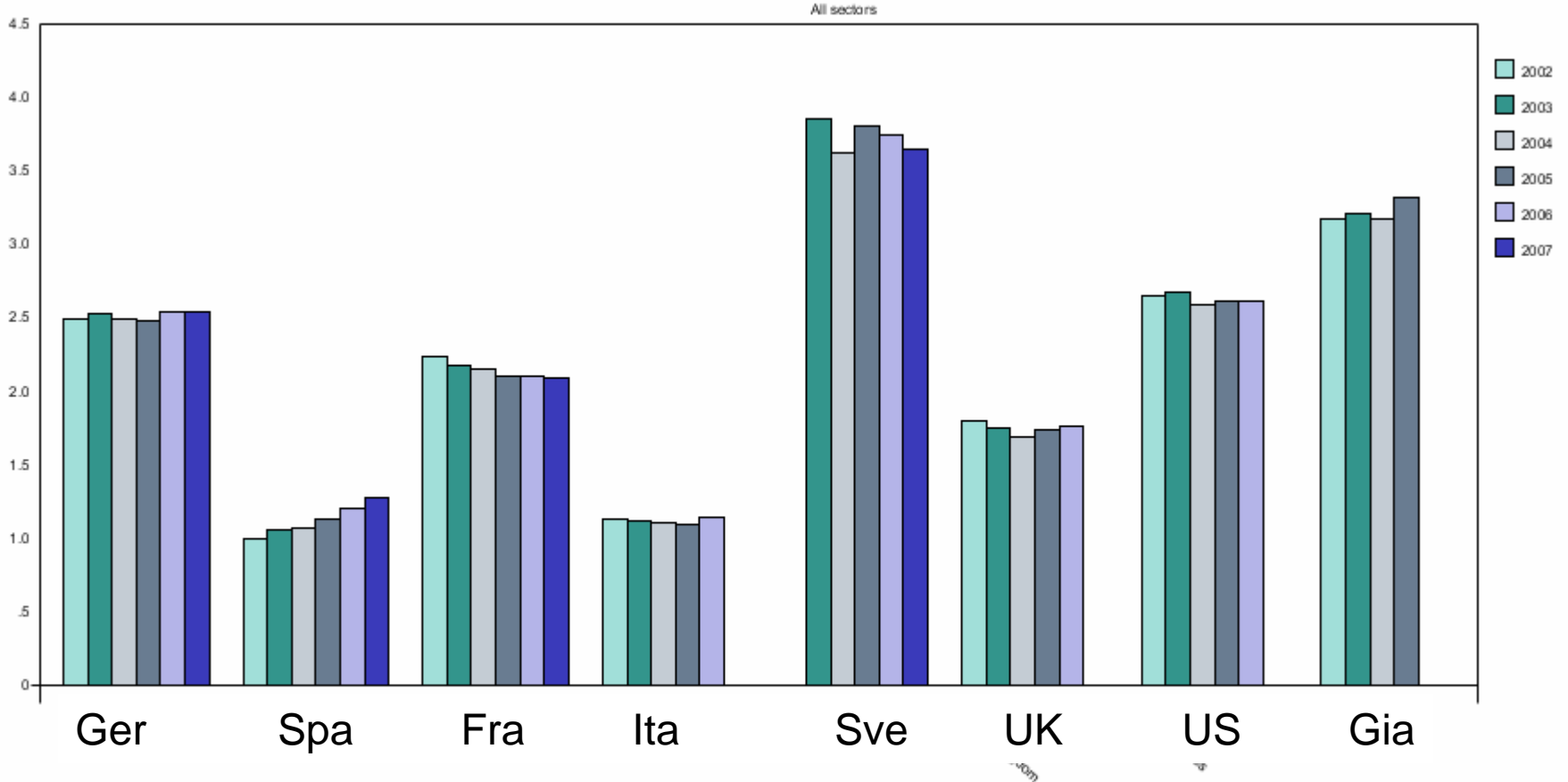
Rispondere alle domande “primarie” dell’uomo e’ gia’ un obiettivo di grande significato (forse di questi tempi l’opinione pubblica se ne dimentica spesso)

Ma la Ricerca Fondamentale ha anche un altro risvolto : quello delle ricadute “tecnologiche” o “applicative”

A volte, infatti, cercando di risolvere un problema, si scopre, qualcosa d’altro...

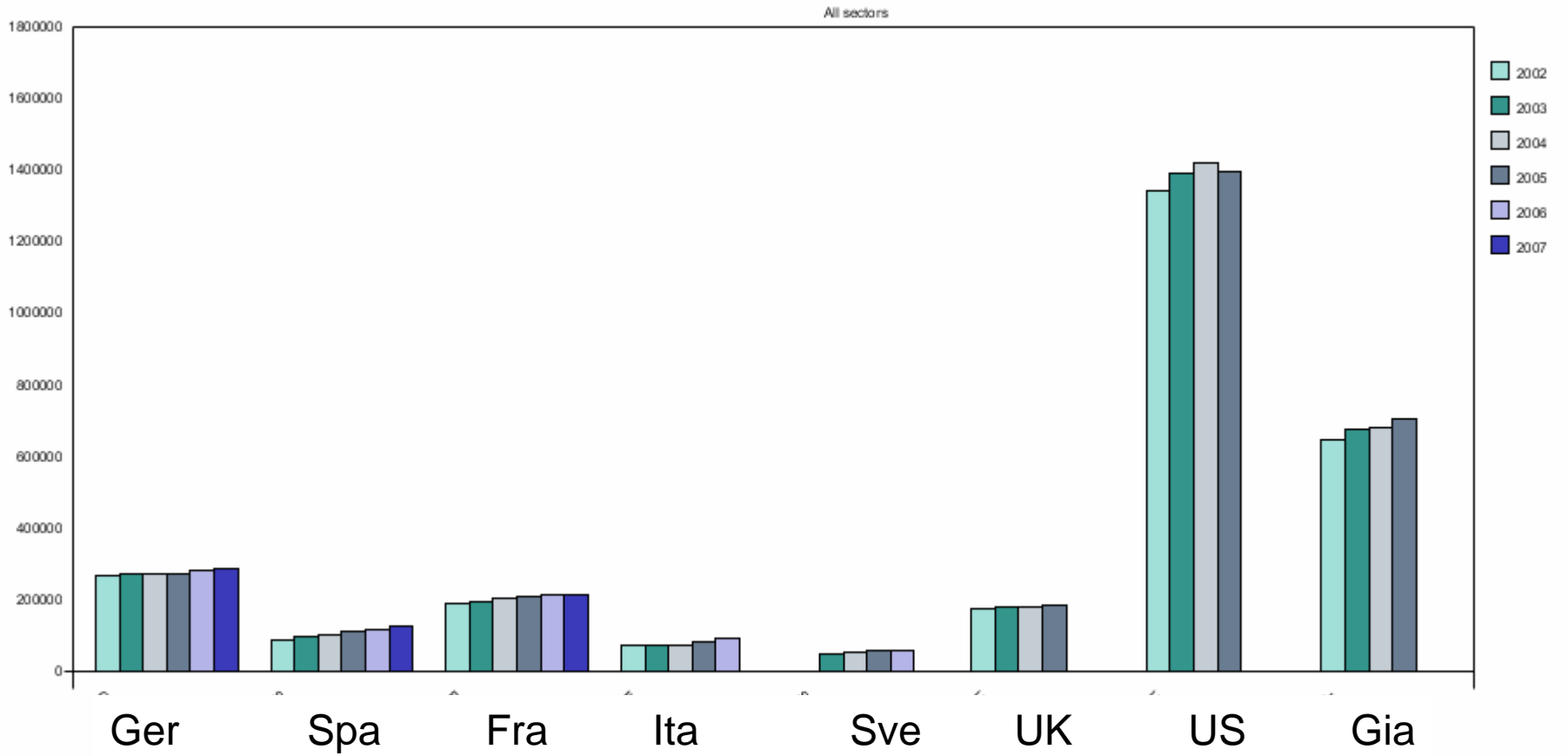
Ci sono ricadute che poi entrano nella vita di tutti i giorni e ne migliorano la qualita’ a distanza di decenni dalla scoperta di base: *il radar, le applicazioni pacifiche dell’energia nucleare, il transistor, i raggi X, la medicina nucleare, la risonanza magnetica, il laser, la superconduttivita’, la criogenia, le telecomunicazioni, il WEB*, ecc..., solo per considerare quelle guidate dalla **Ricerca di base in Fisica**

% del Prodotto Interno Lordo speso in R&D



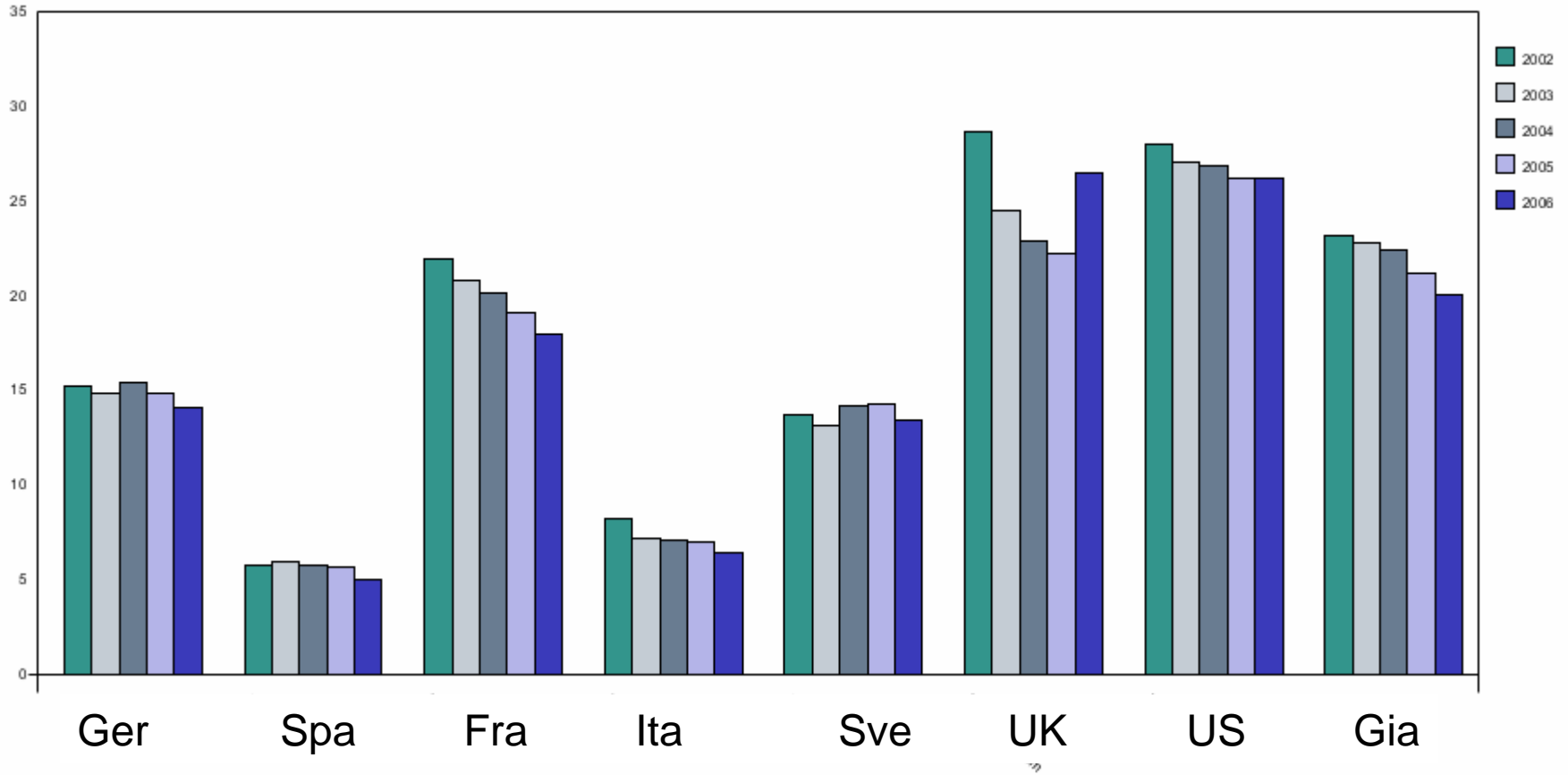
Source: Eurostat/OECD

Numero totale di ricercatori

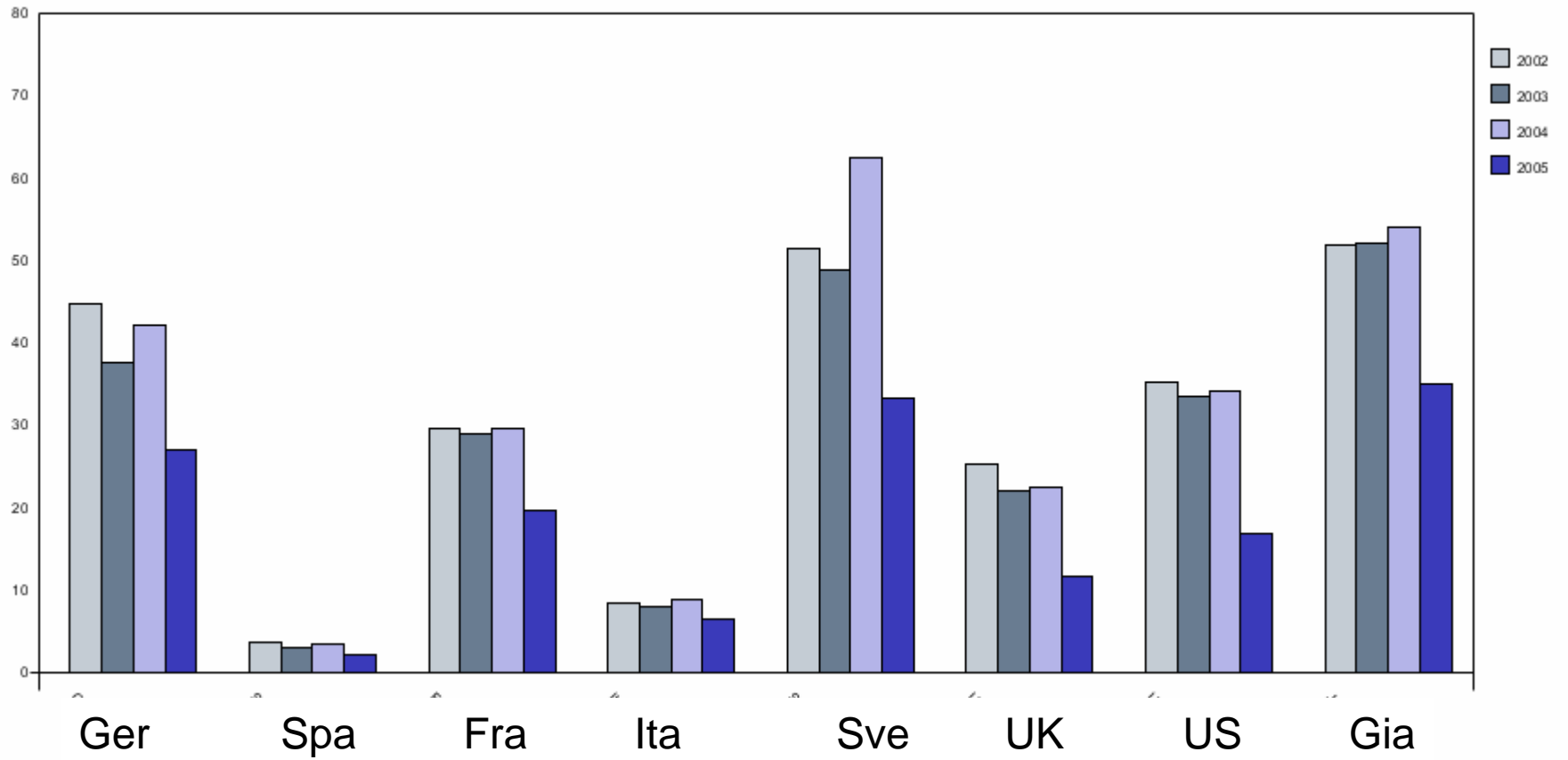


% di esportazioni High Tech

Esportazioni di High Technology prodotte da aziende di tutti i paesi



% di brevetti High Tech



Come paese siamo indietro in tutti i confronti che contano
**La Ferrari, la moda, il buon cibo, la nazionale di calcio, non bastano per poterci
definire un paese avanzato**

In questo periodo di crisi, molte nazioni **aumentano** gli investimenti in ricerca di base e applicata, perché si sa che questi, a lungo termine, fruttano molte volte l'investimento fatto (...*il nostro stato licenzia i ricercatori precari...*)

Se il nostro paese se vorrà' continuare a fregiarsi del titolo di "sviluppato" (ed ho qualche dubbio in merito), avrà' bisogno di

**tanti, tanti, bravi giovani ricercatori (e non solo in fisica)
studiate e datevi da fare !**

(anche – e soprattutto - se volete fare carriera politica ...)