

La fisica delle particelle elementari ed il bosone di Higgs

L'ultima frontiera della fisica moderna

Pasquale Di Nezza



Liceo Majorana, Isernia
16 Novembre 2012

- 
- **La crisi della Fisica Classica**
 - **La Meccanica Quantistica**
dualismo onda-particella, la fine del determinismo
 - **Fabbriche di particelle**
Il Large Hadron Collider (LHC al CERN)
 - **Il Modello Standard**
I mattoni dell'Universo, il bosone di Higgs
 - **Le forze fondamentali**
La Supersimmetria e la Grande Unificazione
 - **Incontro con il Prof. John Ellis**
 - **Ricadute della ricerca di base sulla società**

Da dove veniamo?
Che cosa siamo?
Dove andiamo?



Qual è la natura della materia nell'Universo?
E la sua evoluzione?

Da dove veniamo?
Che cosa siamo?
Dove andiamo?



C'è chi fa il filosofo e chi il fisico sperimentale ...

I maggiori progressi nella comprensione della natura sono stati resi possibile dalla formulazione (1900 - 1930) di 2 teorie generali:

Teoria della Relatività

&

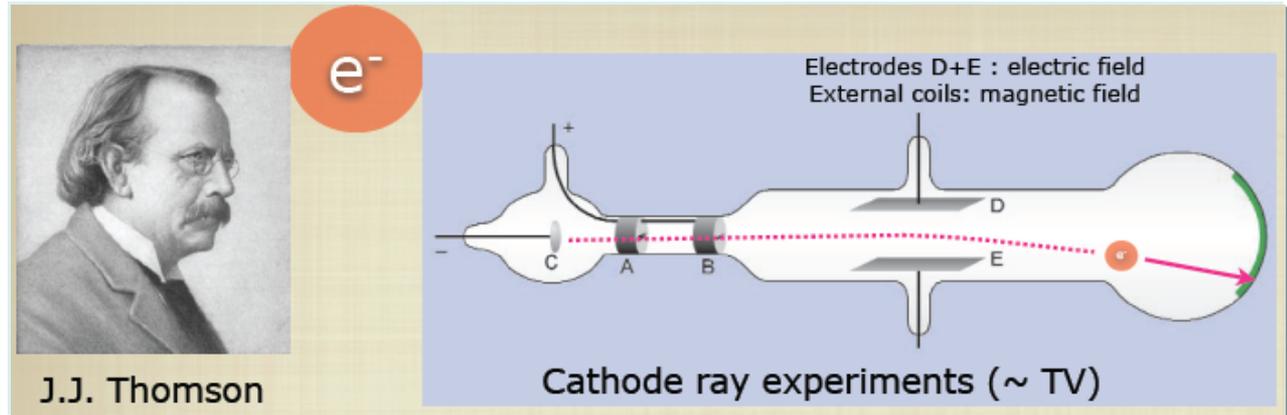
Meccanica Quantistica

Fisica delle
Particelle
Elementari

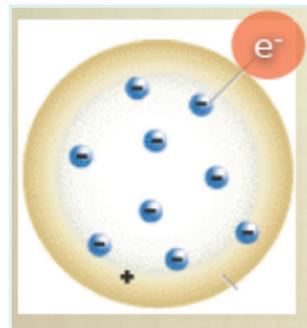
Rappresentazione del mondo **antitetica** a quella fornita dalla **fisica classica** (pre-XX secolo) : il "buon senso" affinato tramite le esperienze sensoriali ha poco a che fare con la struttura profonda della materia

I problemi della "visione classica" della fisica

Spettro di particelle sub-atomiche
1897



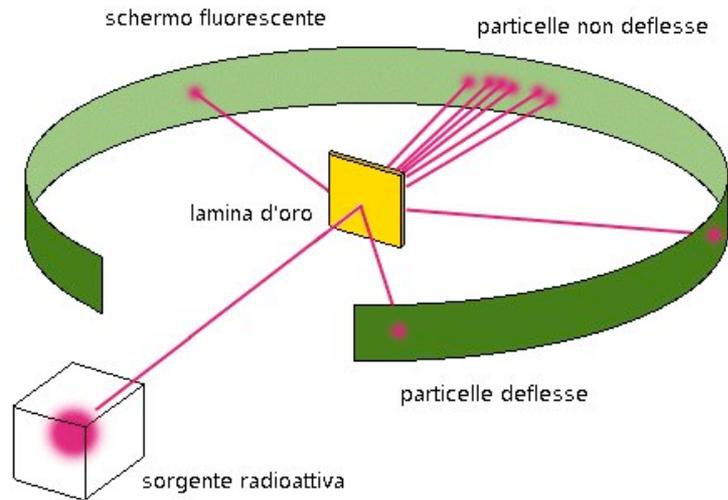
- I "raggi" sono particelle cariche
- Gli elettroni sono particelle sub-atomiche



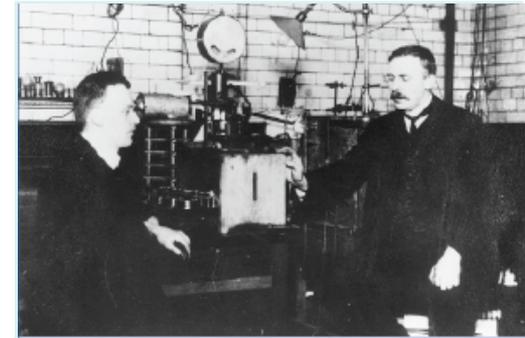
1904

Atomo a
"panettone" !

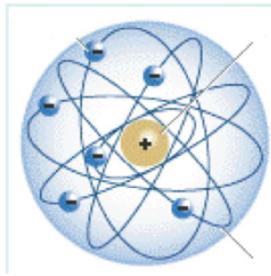
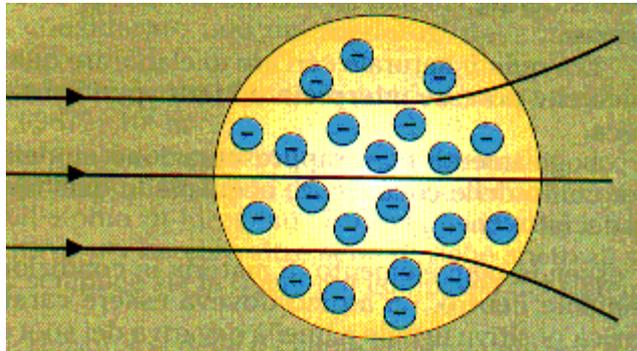
I problemi della "visione classica" della fisica



Il nucleo e la stabilità del nuovo atomo, 1911



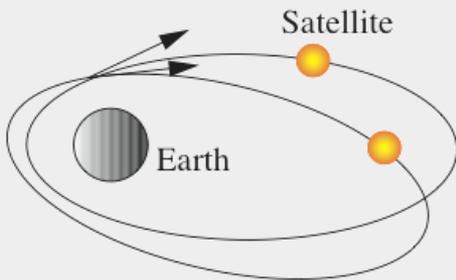
Ernest Rutherford (r) and Hans Geiger (l) in Manchester



Gli elettroni devono ruotare per rimanere in orbita, ma ...

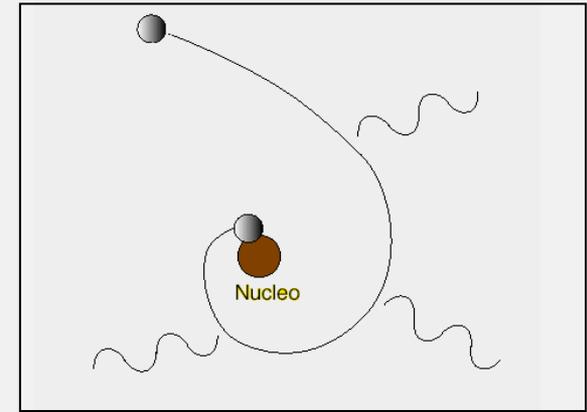
Descrizione della materia: l'atomo di Bohr (1911-13)

Classical view: orbits of a satellite

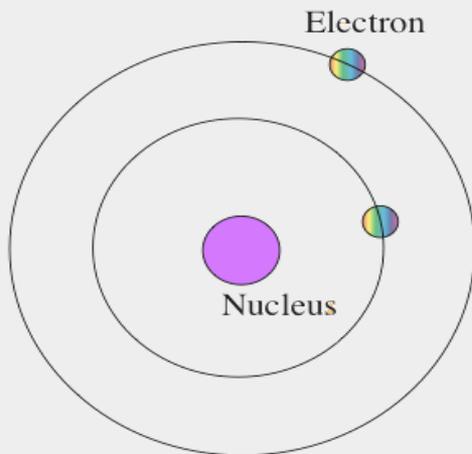


Atomo classico

Gli elettroni dovrebbero emettere radiazione e cadere sul nucleo. Instabilità della materia!



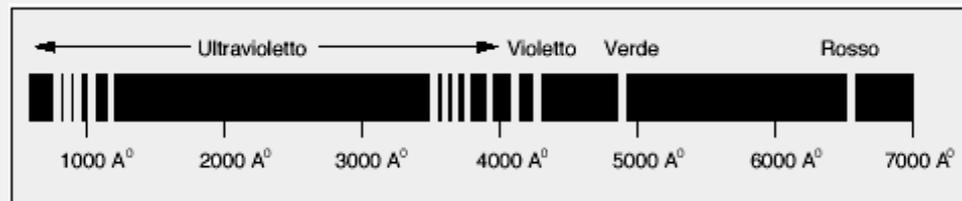
Quantum view: electron orbits



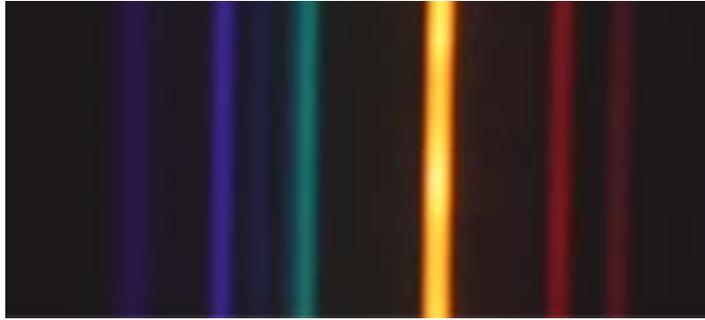
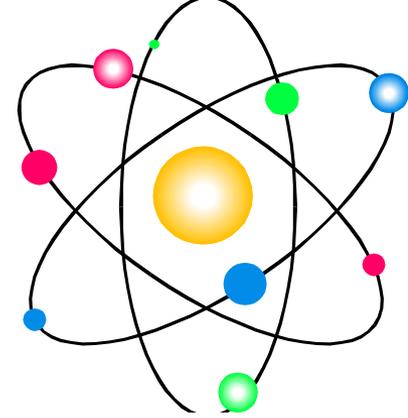
Atomo di Bohr

Solo certi **livelli energetici** sono permessi. Su questi livelli, gli elettroni sono stabili.

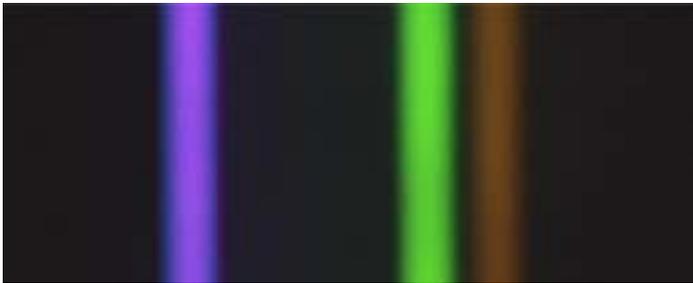
Salti (quantistici) tra diversi livelli sono permessi, con emissione o assorbimento di quanti di radiazione.



- Le orbite degli elettroni possono stare ovunque ... analogia con il sistema planetario.
- Ci si aspetta uno spettro continuo di radiazione emessa



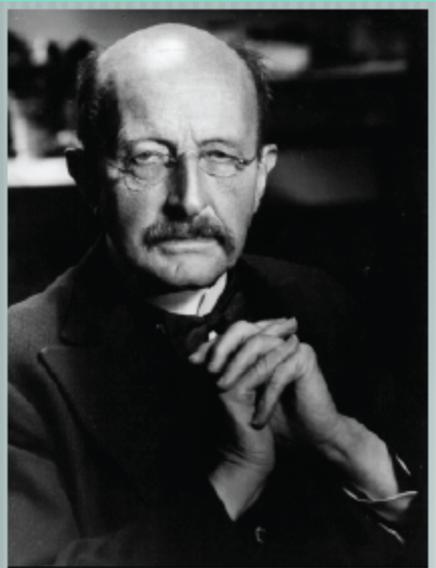
Linee spettrali nel visibile dell'Elio



Linee spettrali nel visibile del mercurio
 $\lambda = 435.835 \text{ nm}$ (blu), 546.074 nm (verde), 576.959 nm e 579.065 nm (giallo-arancio).



Linee spettrali nel visibile del Neon



Max Planck

EUREKA!

I problemi si risolvono introducendo un'ipotesi rivoluzionaria:
l'energia elettromagnetica è emessa e assorbita in "pacchetti di energia", cioè in quantità discrete, detti quanti.

Per la prima volta vi è l'idea che le grandezze fisiche siano quantizzate, cioè possano assumere valori discreti e non più continui, come avveniva nella meccanica classica

Meccanica classica:

Le eq.ni (**deterministiche**) che descrivono la traiettoria di un oggetto vengono dedotte dal “principio di minima azione”

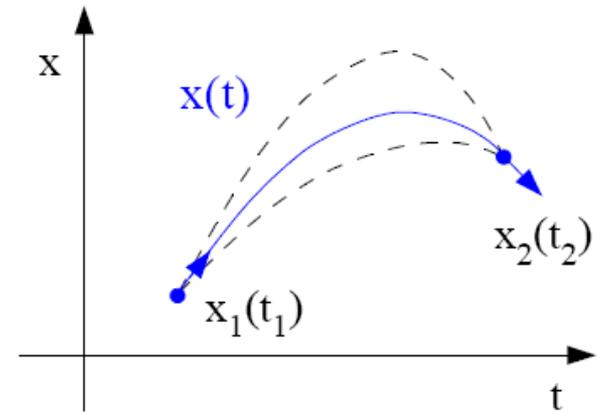
$$\text{Esempio: } S[x(t)] = \int dt [\frac{1}{2} m v^2 - V(x)]$$

E_{cinetica}

$E_{\text{potenziale}}$

*particella non
relativistica ($v \ll c$)
in un potenziale V*

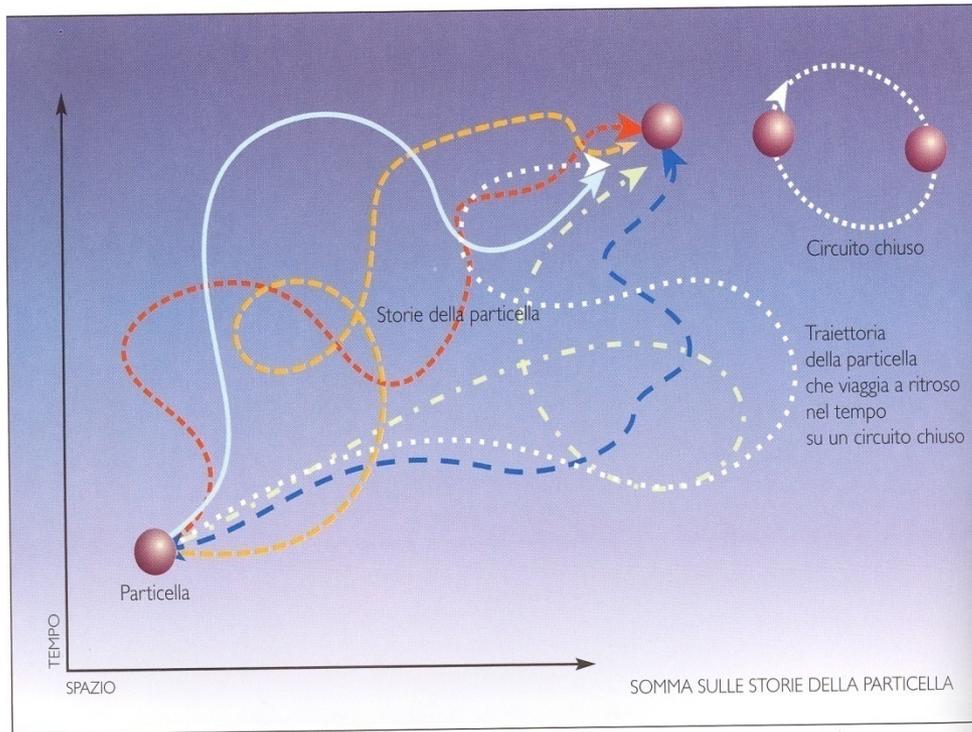
Fra tutte le traiettorie possibili, la particella
“sceglie” quella che minimizza l'azione S



Meccanica quantistica:

E' impossibile determinare l'evoluzione di un sistema in modo deterministico. Tuttavia, ad ogni processo possiamo associare una probabilita' :

$$P[x_1 \rightarrow x_2] = |A_{12}|^2 \quad A_{12} = N \int \mathcal{D}[x] \exp\left\{ \frac{i}{\hbar} S[x(t)] \right\}$$



“classici”
validi per
 $\gg \hbar$

limite
classico

Appena ci “spostiamo” dalla traiettoria classica il fattore di fase varia molto rapidamente \Rightarrow contributo nullo in media. L'unico termine che conta è quello della traiettoria che minimizza l'azione (la fase non cambia per piccole perturbazioni della traiettoria)

$$A_{12} \approx 1 \quad \text{traiettoria classica } x(t)$$

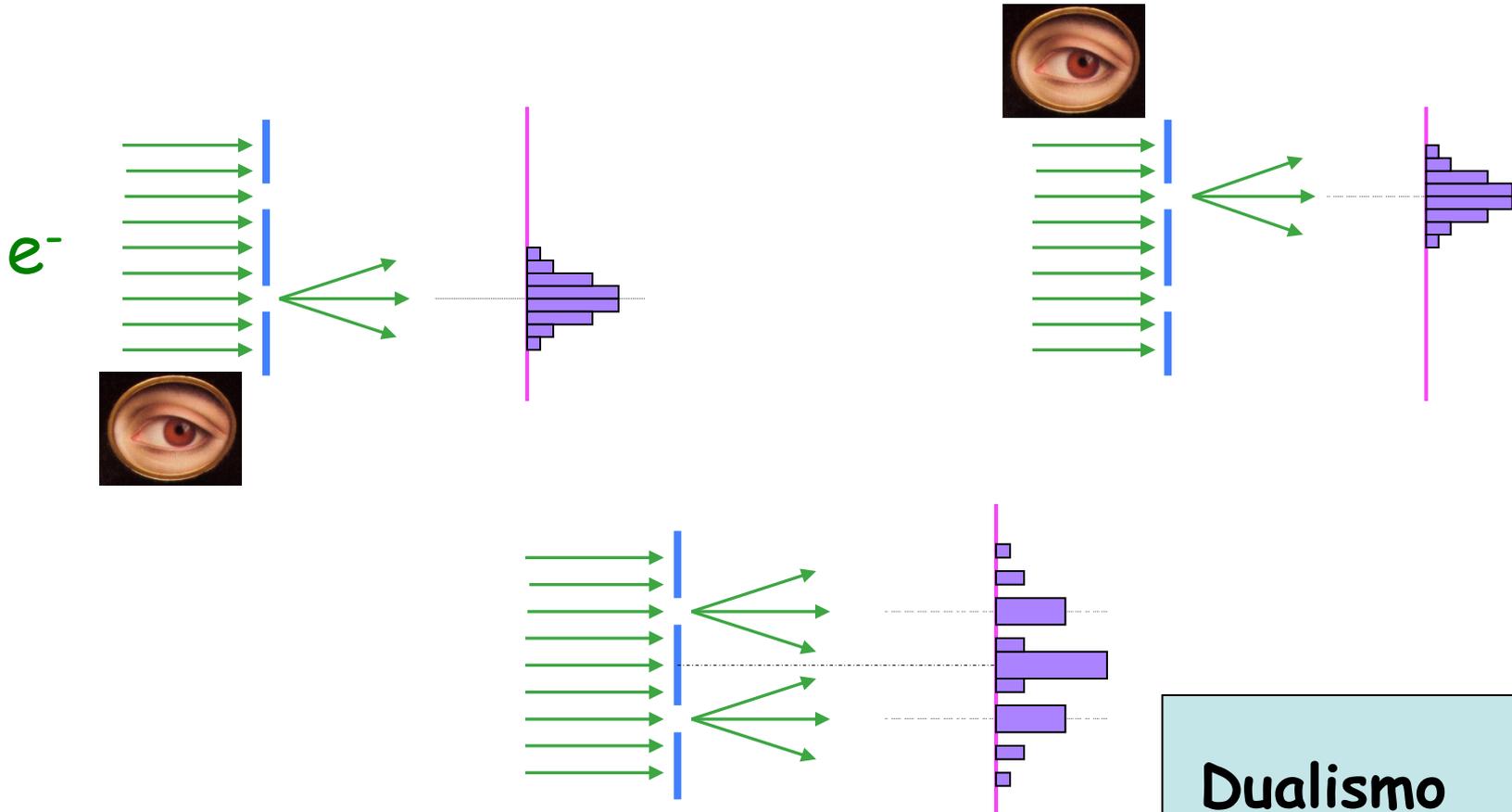
$$A_{12} \approx 0 \quad \text{altre traiettorie}$$

Una particella è la sovrapposizione di tutti gli stati possibili

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi}{dx^2} + V\Psi = E\Psi$$

Equazione di
Schrodinger

Onde & Particelle



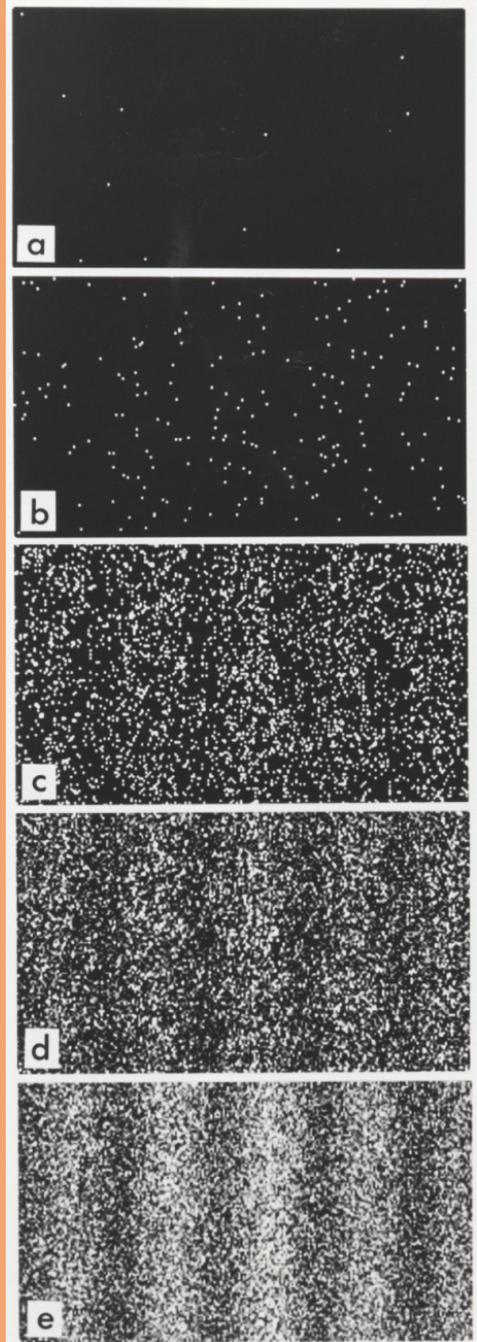
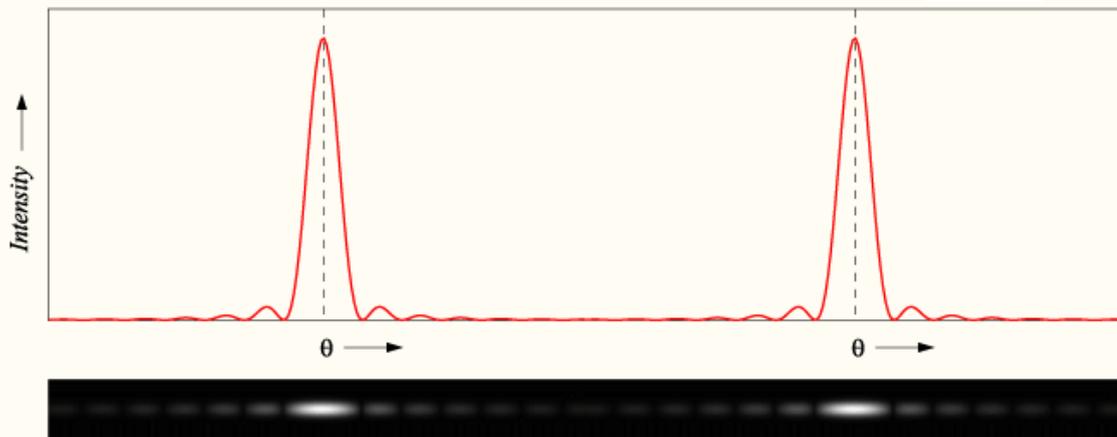
L'osservatore causa il collasso della "funzione d'onda" in uno stato specifico!

Dualismo
onda-particella
Interpretazione
probabilistica

Esperimento reale

Interferenza di Singoli Fotoni

Diffusione con oggetti
"macroscopici"



Altro esempio:

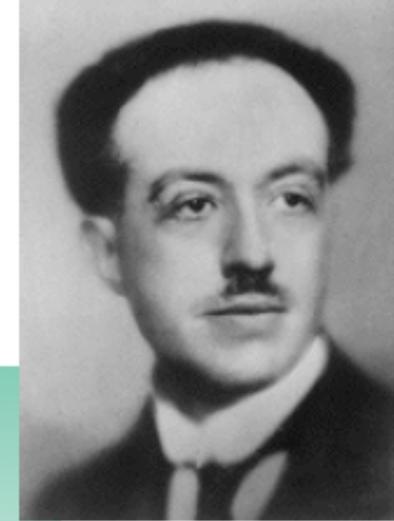
Decadimento del mesone K^+

K^+	$\rightarrow \mu^+ \nu_\mu$	(63.43 %)
	$\rightarrow \pi^+ \pi^0$	(21.13 %)
	$\rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	(5.58 %)
	$\rightarrow e^+ \nu_e \pi^0$	(4.87 %)
	$\rightarrow \mu^+ \nu_\mu \pi^0$	(3.27 %)
	$\rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$	(1.73 %)

Gatto di
Schroedinger



Lunghezza d'onda associata ad un oggetto



- ..nel 1924, il fisico francese Luis de Broglie avanzava l'ipotesi che oggetti classificati come particelle dovessero essere descritti con un'onda, di lunghezza d'onda:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

- La duplice natura, onda-corpuscolo, e' una caratteristica universale: materia e radiazione !

i. $m = 80 \text{ kg}$ con velocità $v = 5 \text{ km/h}$ ($\sim 1.4 \text{ m/s}$)

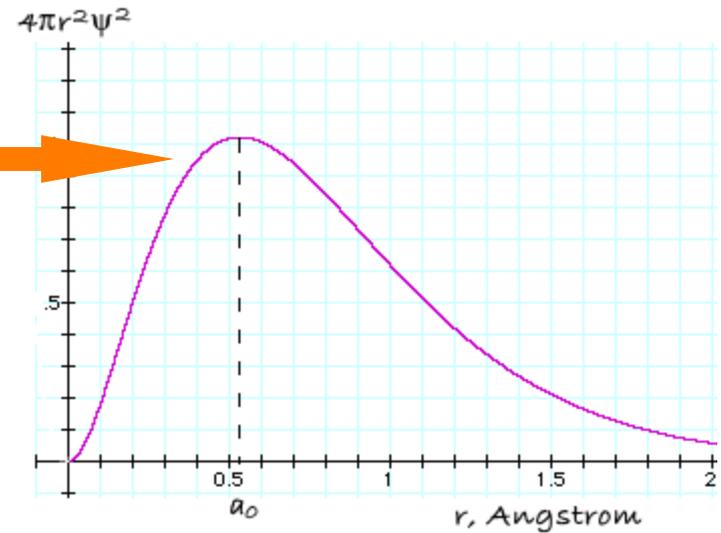
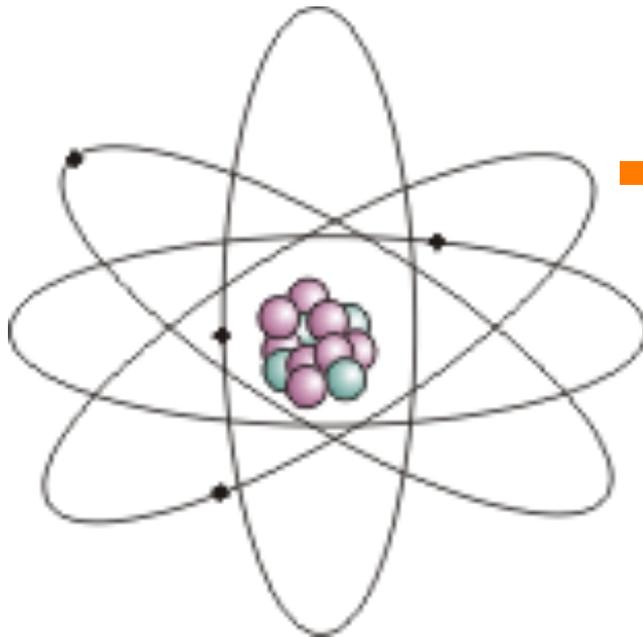
$$\lambda \cong 6 \times 10^{-36} \text{ m}$$

ii. elettrone nell'atomo di H: $v \sim 3 \times 10^6 \text{ m/s}$

$$\lambda \cong 2.4 \times 10^{-10} \text{ m}$$

dimensioni onda-
ptc: confrontabili

L'atomo non ha orbitali ben definiti, ma distribuzioni di probabilita'



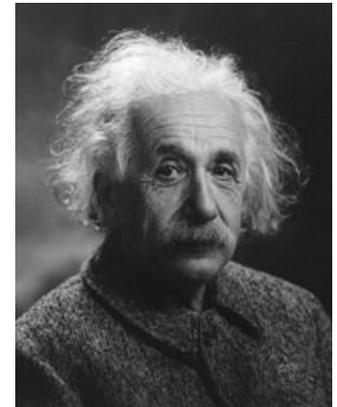
DIO NON GIOCA A DADI

- In questa lettera del 4/12/1926 a Born, Einstein esprime il suo disappunto verso la meccanica quantistica esprimendo il suo famoso parere secondo cui Dio “*non gioca a dadi col mondo*”.

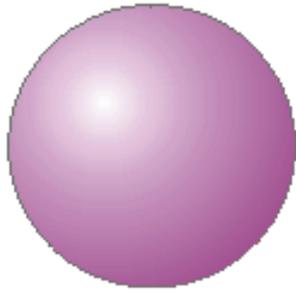


Caro Born

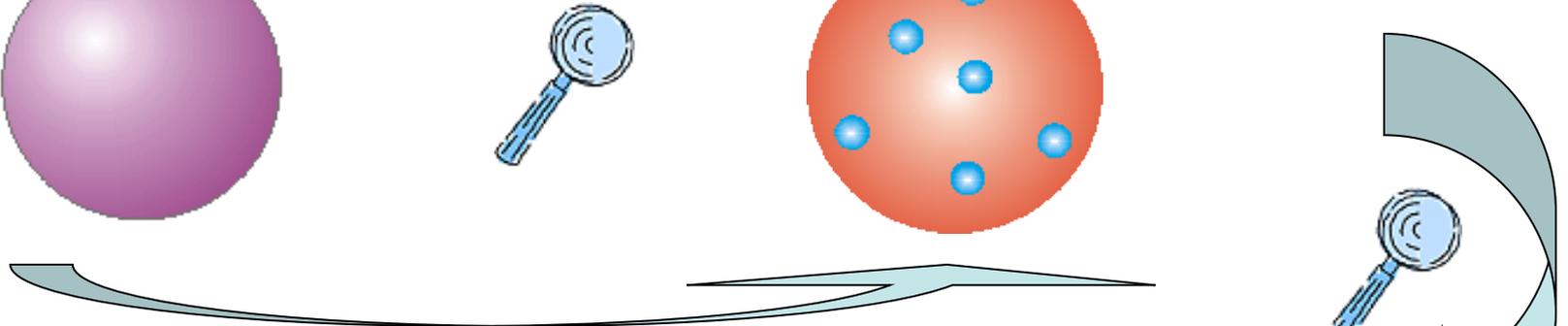
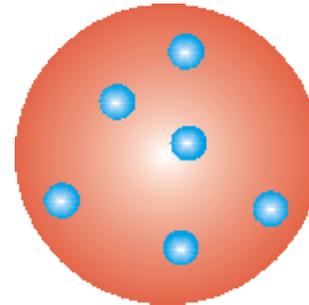
*[...] la meccanica quantistica è degna di ogni rispetto, ma una voce interiore mi dice che non è ancora la soluzione giusta. E' una teoria che ci dice molte cose, ma non ci fa penetrare più a fondo il segreto del gran Vecchio. In ogni caso, sono convinto che questi **non gioca a dadi** col mondo.*



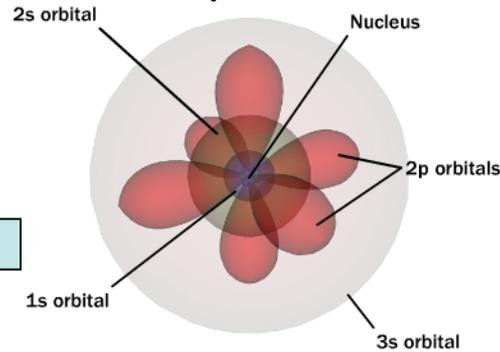
L'atomo all'inizio del '900



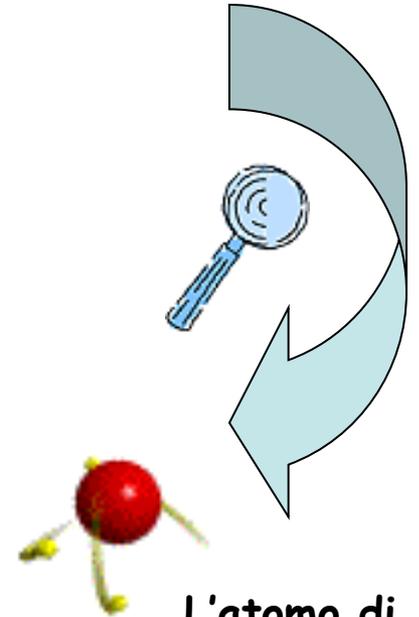
L'atomo di Thompson



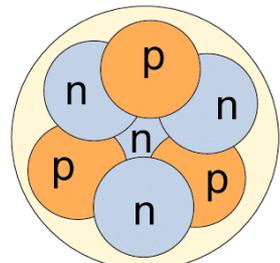
L'atomo quantistico



©2001 How Stuff Works

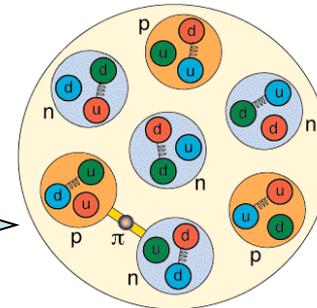


L'atomo di Rutherford e Bohr



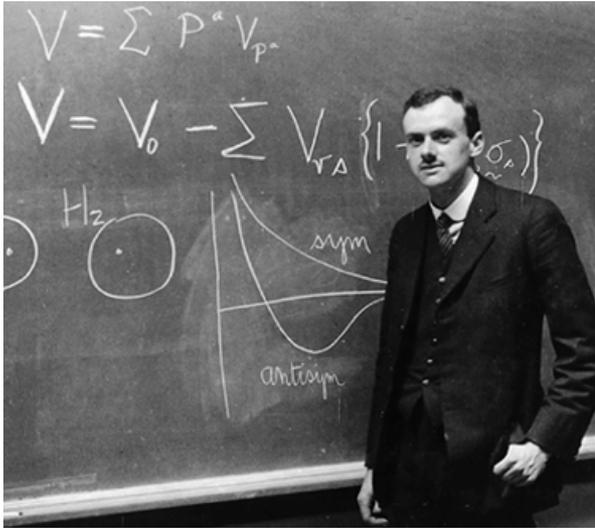
1.6 fm
4.8 fm

La struttura del nucleo



Il nucleo oggi

L'equazione di Dirac e l'antimateria (1928)



Dirac formula il moto di una particella (elettrone) introducendo tutti i numeri quantici ed in ambito relativistico:

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\Psi = 0$$

L'equazione ha sia soluzioni positive che negative



V Congresso Solvay - 1927



PHOTOGRAPHIE BENJAMIN COUPRIE

28, Avenue Louise, Bruxelles

R. H. FOWLER

A. PICCARD E. HENRIOT Ed. HERZEN Th. DE DONDER E. SCHROEDINGER W. PAULI W. HEISENBERG L. BRILLOUIN

P. EHRENFEST E. VERSCHAFFELT

P. DEBYE M. KNUDSEN W. L. BRAGG H. A. KRAMERS P. A. M. DIRAC A. H. COMPTON L. V. de BROGLIE M. BORN N. BOHR

I. LANGMEIR M. PLANCK MADAME CURIE H. A. LORENTZ A. EINSTEIN P. LANGEVIN Ch. E. GUYE C. T. R. WILSON

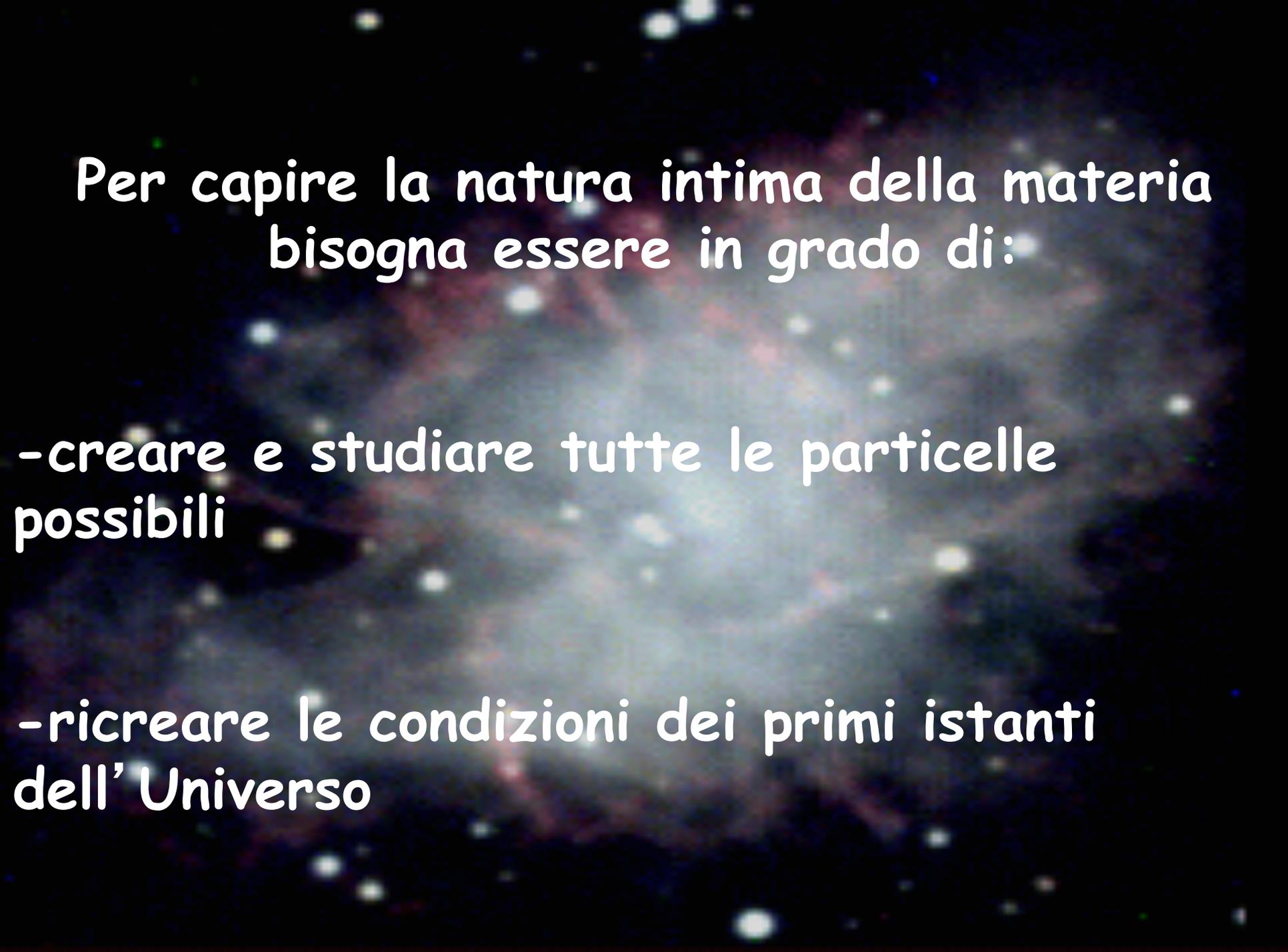
O. W. RICHARDSON

ABSENTS : SIR W. H. BRAGG, MM. H. DESLANDRES ET E. VAN AUBEL



Tutto chiaro fin qui?

Caption
City

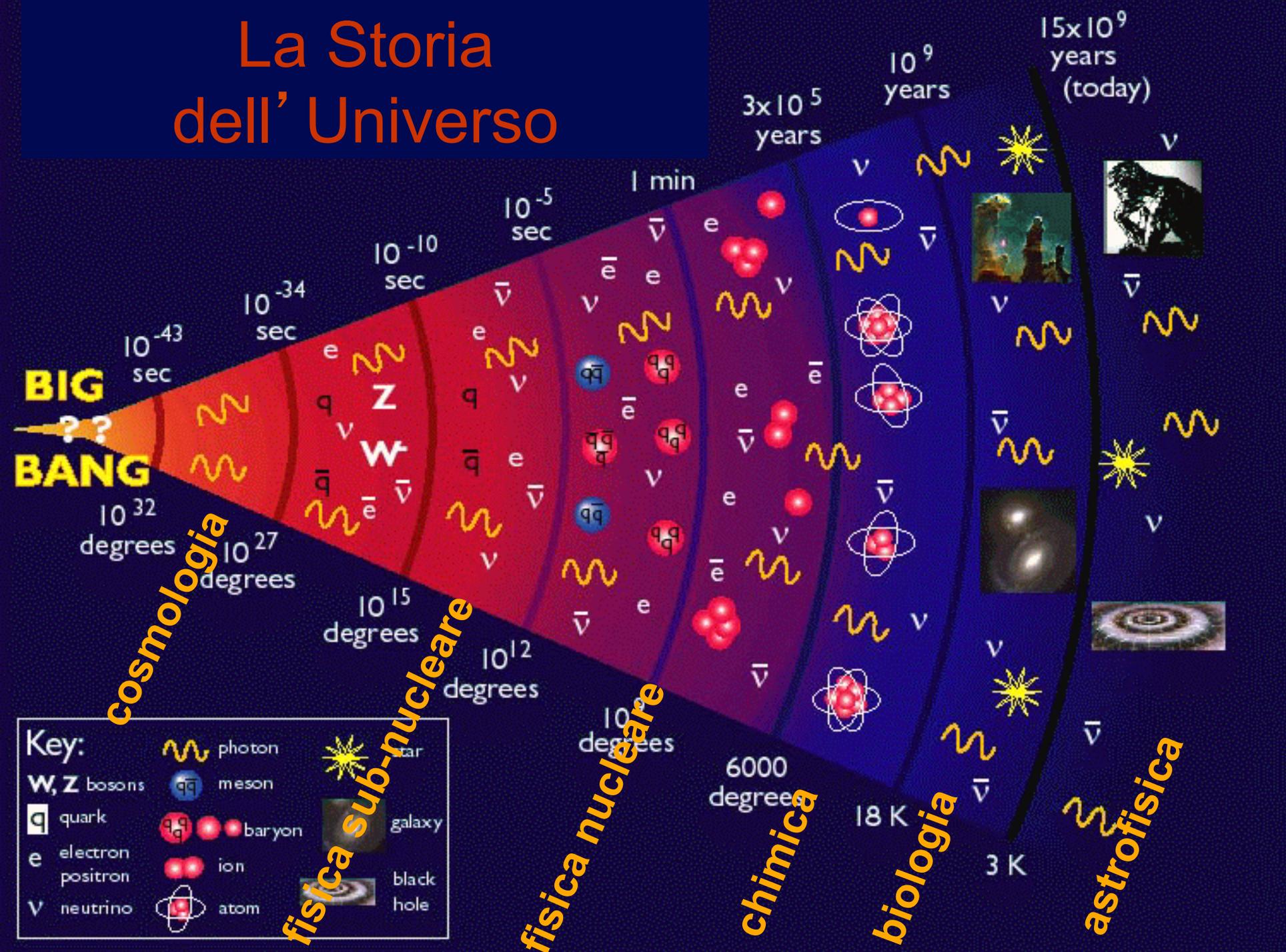


Per capire la natura intima della materia
bisogna essere in grado di:

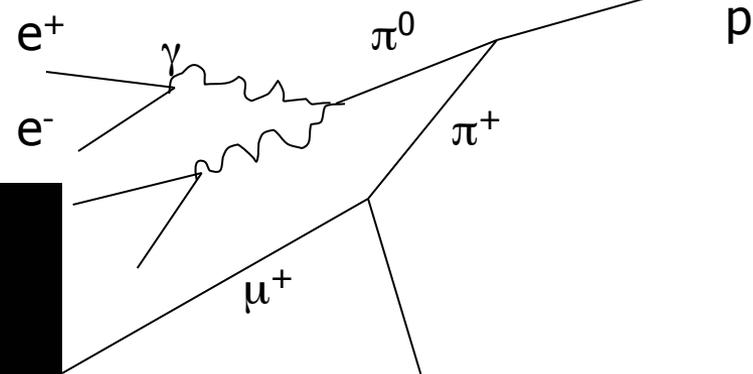
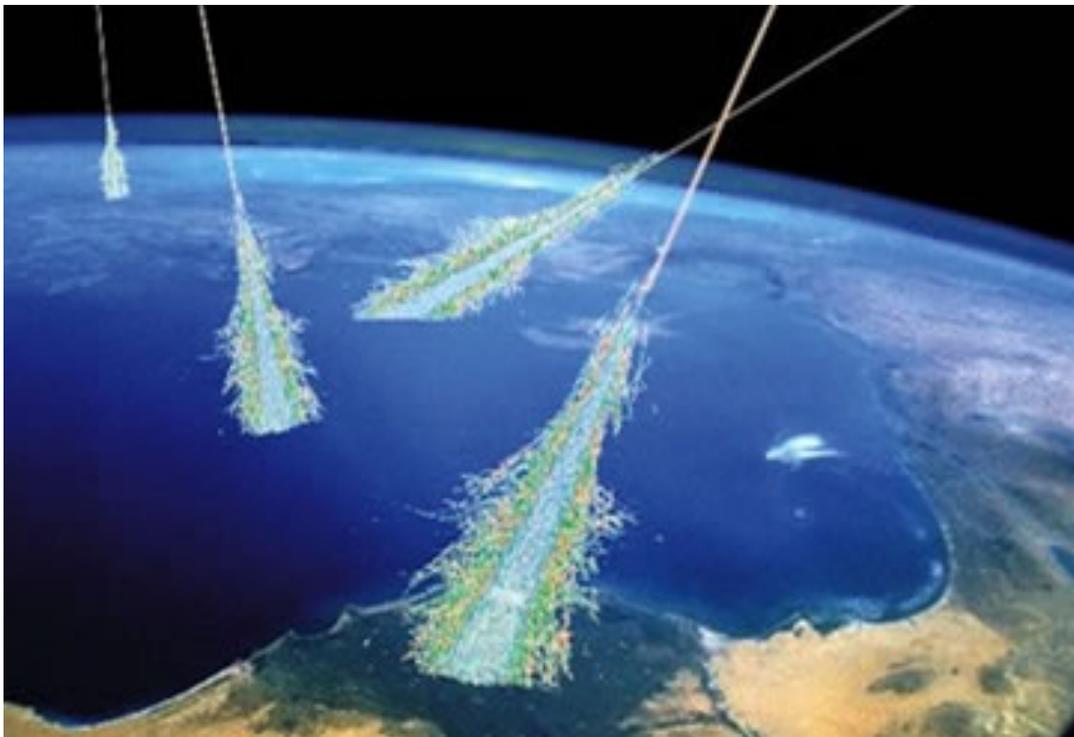
-creare e studiare tutte le particelle
possibili

-ricreare le condizioni dei primi istanti
dell'Universo

La Storia dell' Universo



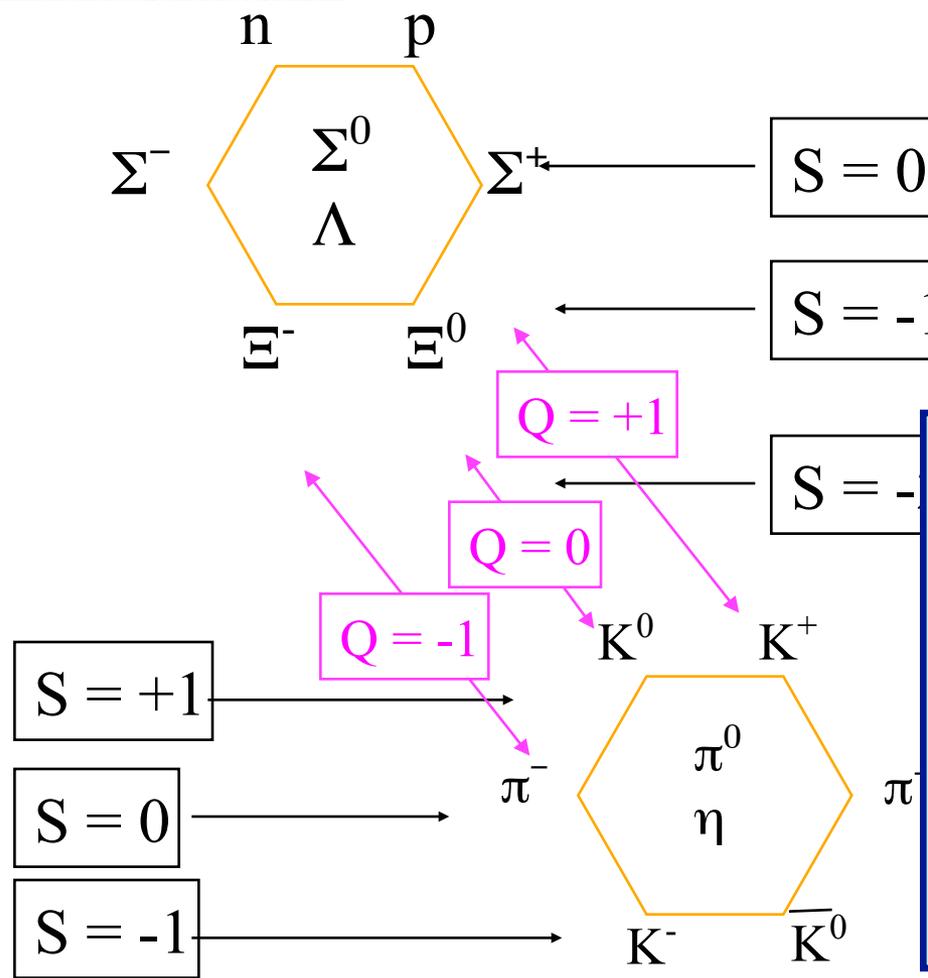
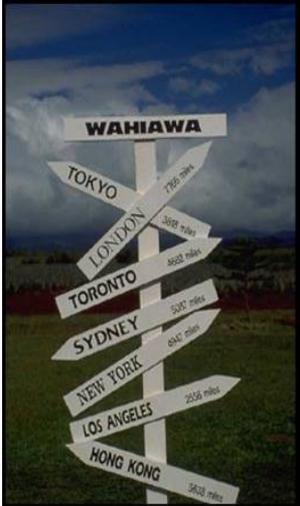
Prima possibilità: aspettare le
particelle dal cielo 😊



Raggi Cosmici



CLASSIFICAZIONE ???



Giovanotto, se riuscissi a ricordare i nomi di tutte queste particelle sarei un botanico (Enrico Fermi)

Fabbriche di particelle: gli acceleratori



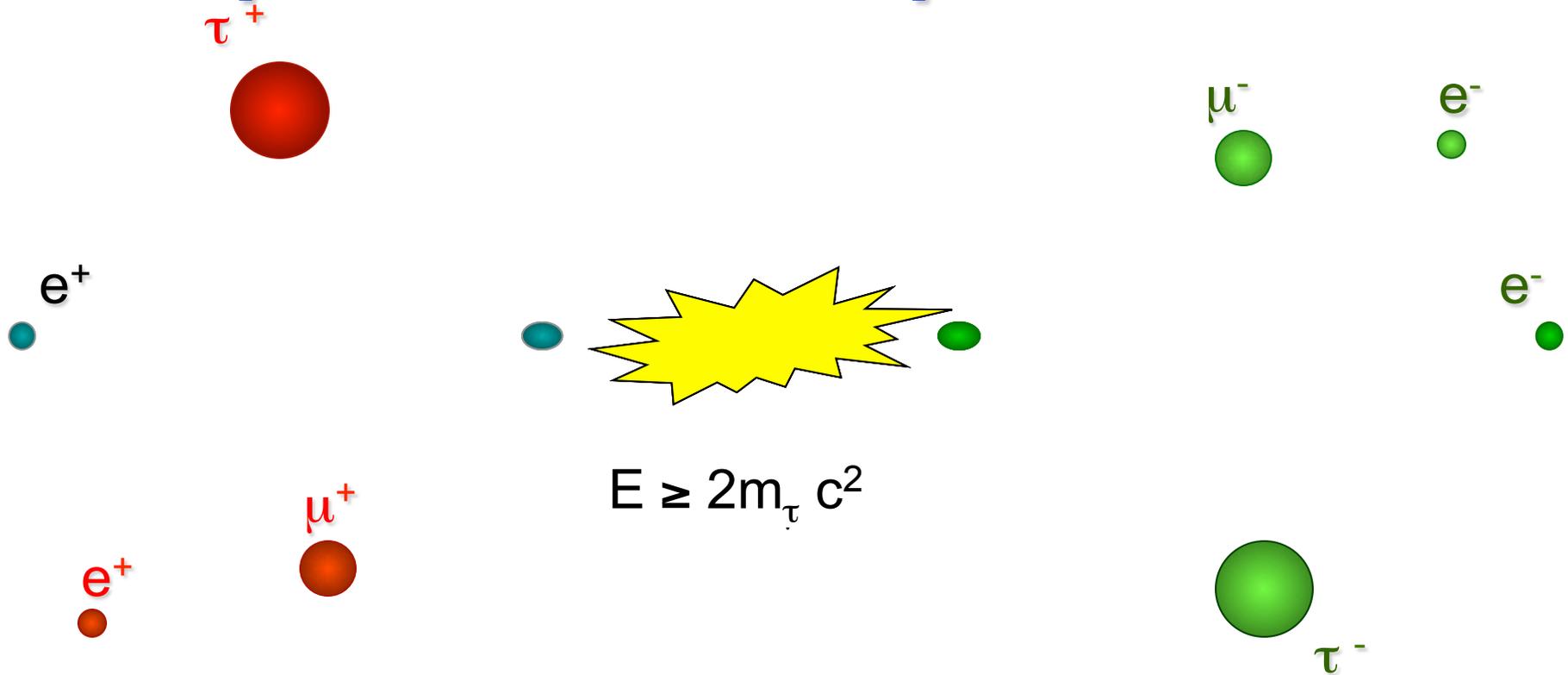
Un passo in piu` : collisione di particelle e antiparticelle



$$E = m c^2$$

**Maggiore e' l' energia,
piu' e piu' particelle si possono studiare...**

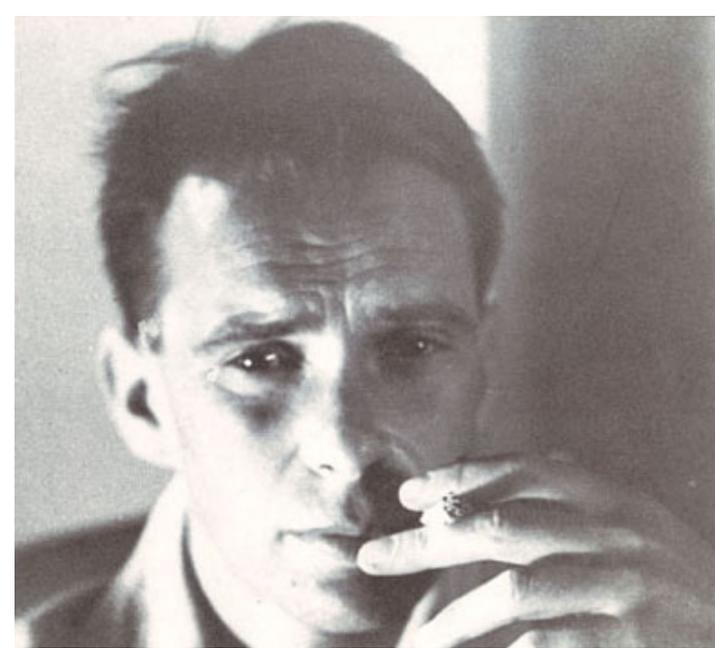
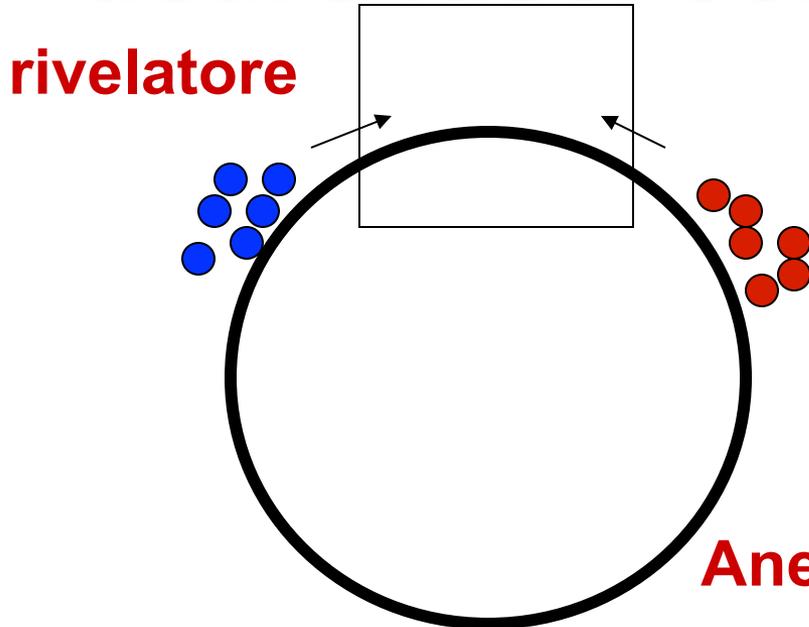
Un passo in piu': Collisione di particelle e antiparticelle



$$E = m c^2$$

**Maggiore e' l' energia,
piu' e piu' particelle si possono studiare...**

Un nuovo approccio: usare fasci collidenti



*Bruno Touschek,
Frascati, 1959*

Anello di Accumulazione

- Le particelle che non interagiscono, possono essere riutilizzate al giro successivo
- Collisione nel centro di massa
- Le particelle circolanti possono essere sia elementari che complesse (come nuclei o atomi).

I collisori materia-antimateria

LEP al CERN di Ginevra 1988



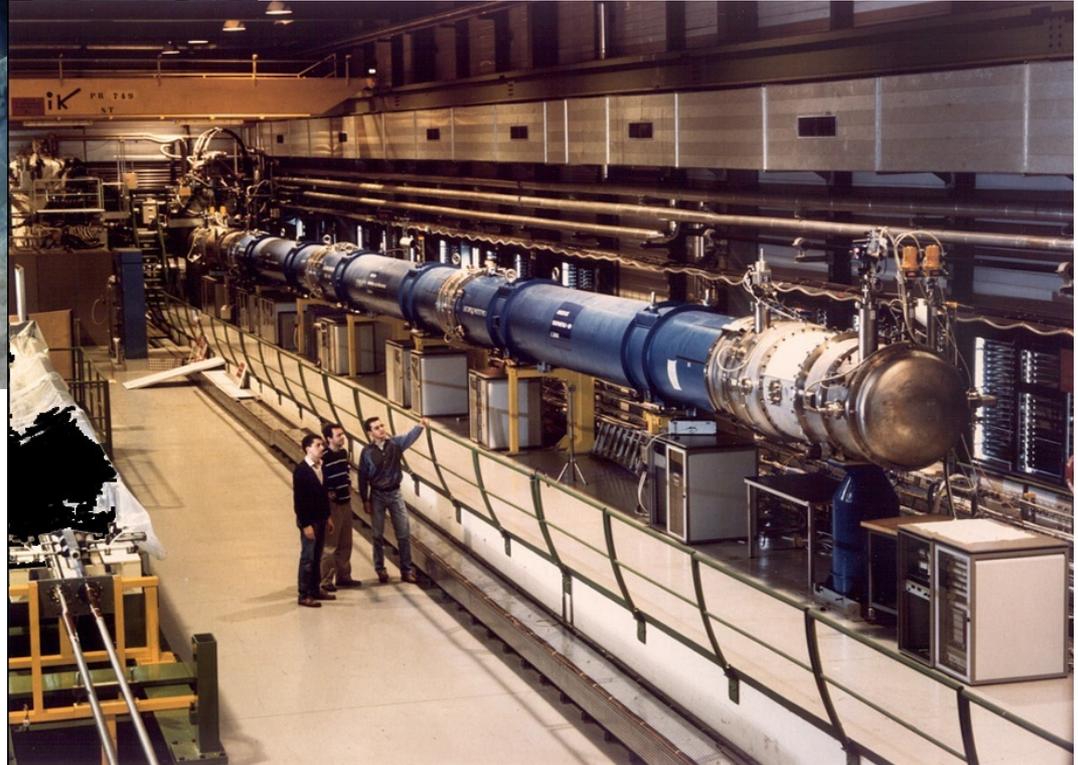
LHC al Cern di Ginevra nel 2009

LHC è stato preparato con anni di R&D



Costruzione di una delle gallerie per gli esperimenti

Stringa di test per magneti dipoli della macchina



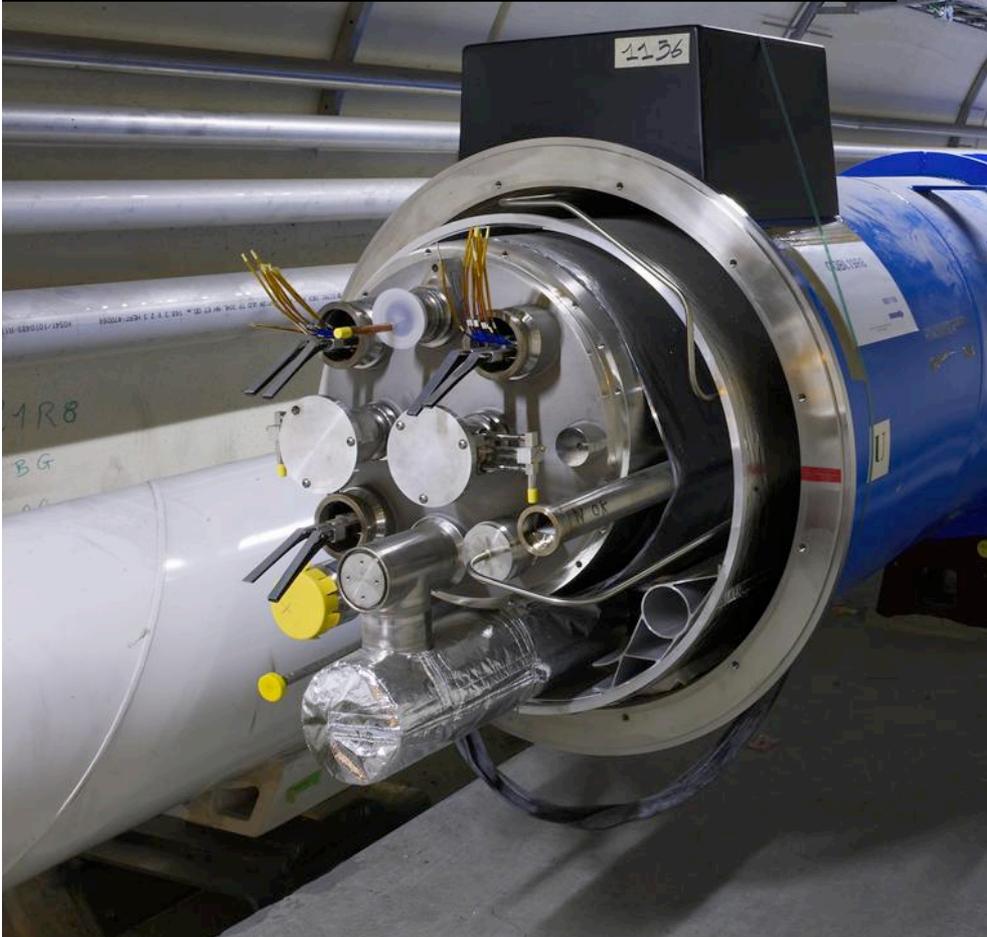


CAUTION
Helium Release Point
No stop zone
Point de rejet d'hélium
Stationnement interdit

SAFETY
DANGER
GLOBAL IDENTIFICATION
KCLAB-000000000
SERIAL NO. 1014
PROB. NO. 100
Y.P. 04.1

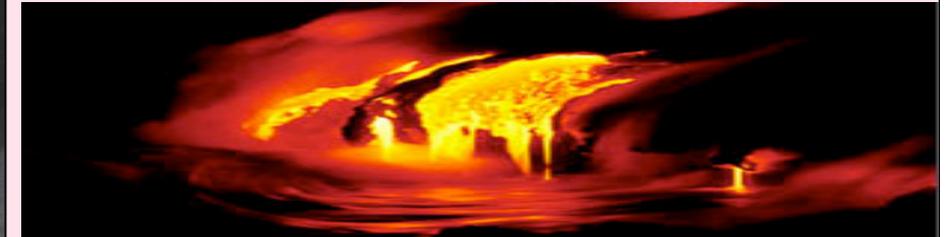
**I componenti peculiari sono i
1232 magneti dipolisuperconduttori**

Campo magnetico: 8.4 T
Temperatura di operazione: 1.9 K
Corrente nel dipolo: 11700 A
Energia immagazzinata: 7 MJ
Peso del dipolo: 34 tons
7600 km di cavo superconduttore Nb-Ti



**La sfida tecnologica e' l'energia
immagazzinata per fascio: al momento
120 MJ, **sufficienti a fondere 150 Kg di
rame.****

➤ **Il fascio deve essere estratto in un giro**



... Ancora Numeri

- Un fascio circola per circa 10 ore nella macchina e percorre 10 miliardi di chilometri (11245 giri al secondo)
- La pressione nel tubo a vuoto è 10 volte più bassa che sulla Luna: è un vuoto ultra-spinto
- Energia elettrica consumata: 800 000 MWh
- Ha cominciato ad operare a Ottobre 2009
- In ogni collisione l'energia disponibile e' di 7-8 TeV
Il che porta le particelle di materia a fondersi ad una temperatura 100.000 volte superiore al nucleo del Sole
- Quanto e' costato: circa 5 miliardi di Euro (dal 1984)

Sala di controllo degli acceleratori



Il controllo degli esperimenti

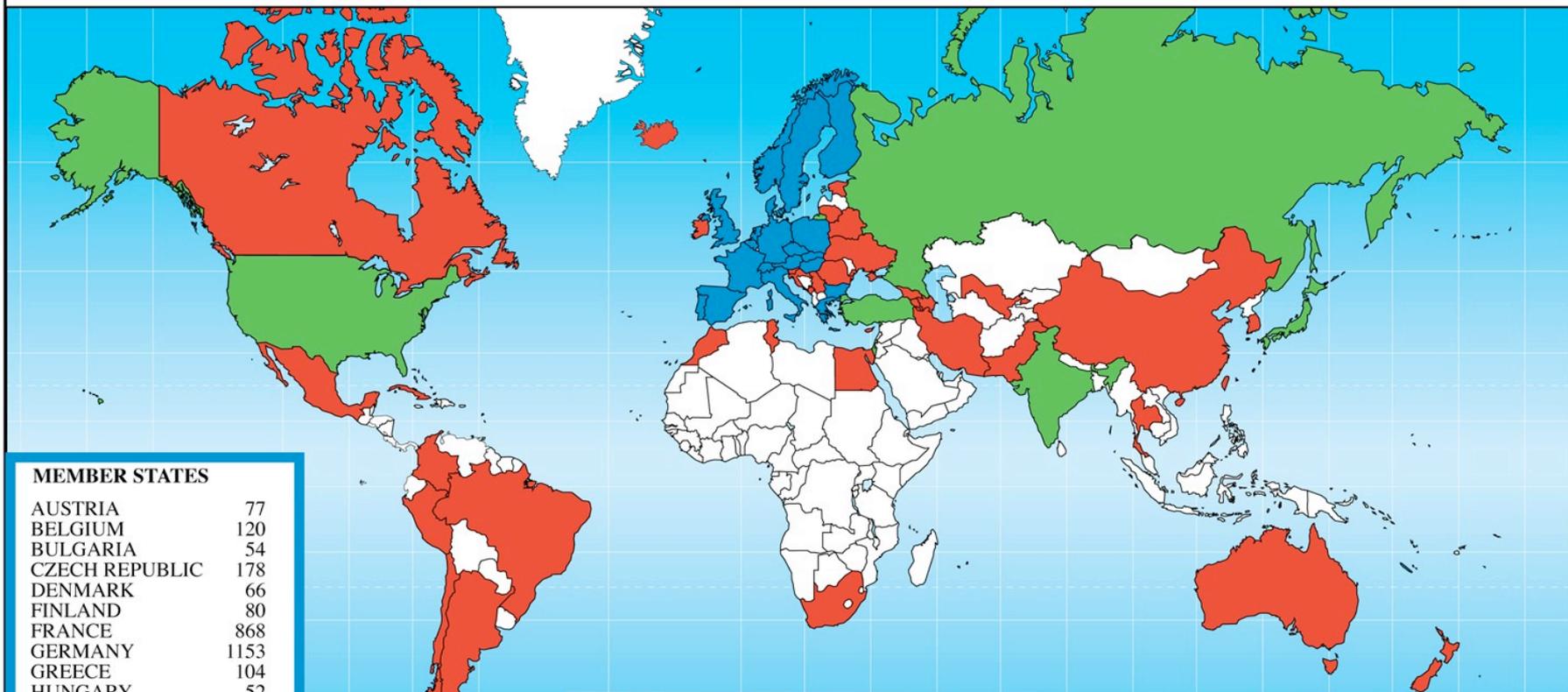


Con un insolito Shift Leader....

CERN: prototipo di collaborazione mondiale

Condivisione globale delle risorse e del sapere tecnico/scientifico

Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 20 January 2010



MEMBER STATES

AUSTRIA	77
BELGIUM	120
BULGARIA	54
CZECH REPUBLIC	178
DENMARK	66
FINLAND	80
FRANCE	868
GERMANY	1153
GREECE	104
HUNGARY	52
ITALY	1463
NETHERLANDS	170
NORWAY	73
POLAND	191
PORTUGAL	122
SLOVAKIA	55
SPAIN	311
SWEDEN	71
SWITZERLAND	362
UNITED KINGDOM	732

OBSERVER STATES

INDIA	91
ISRAEL	49
JAPAN	204
RUSSIA	901
TURKEY	60
USA	1618

OTHERS

ARGENTINA	8	CROATIA	18	MALTA	2	THAILAND	1
ARMENIA	16	CUBA	4	MEXICO	33	TUNISIA	1
AUSTRALIA	17	CYPRUS	8	MONTENEGRO	1	UKRAINE	17
AZERBAIJAN	1	EGYPT	3	MOROCCO	6	UZBEKISTAN	1
BELARUS	19	ESTONIA	9	NEW ZEALAND	8		
BRAZIL	77	GEORGIA	10	PAKISTAN	15		
CANADA	141	ICELAND	1	PERU	1		
CHILE	2	IRAN	15	ROMANIA	59		
CHINA	78	IRELAND	14	SERBIA	20		
CHINA (TAIPEI)	53	KOREA	64	SLOVENIA	17		
COLOMBIA	9	LITHUANIA	5	SOUTH AFRICA	8		

6302

2923

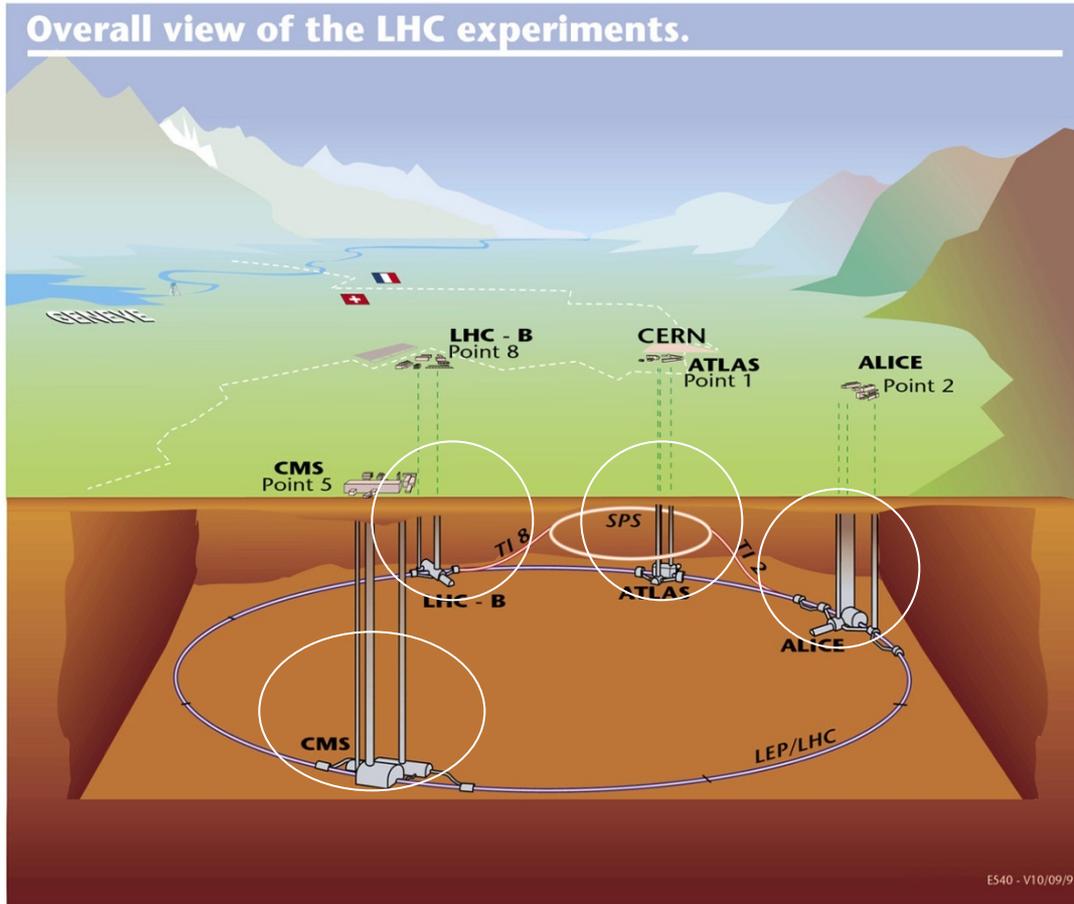
762

Avventura scientifica globale

acceleratore, esperimenti, rete mondiale (GRID) di computer
TUTTO HA AVUTO INIZIO 20 ANNI FA



Overall view of the LHC experiments.

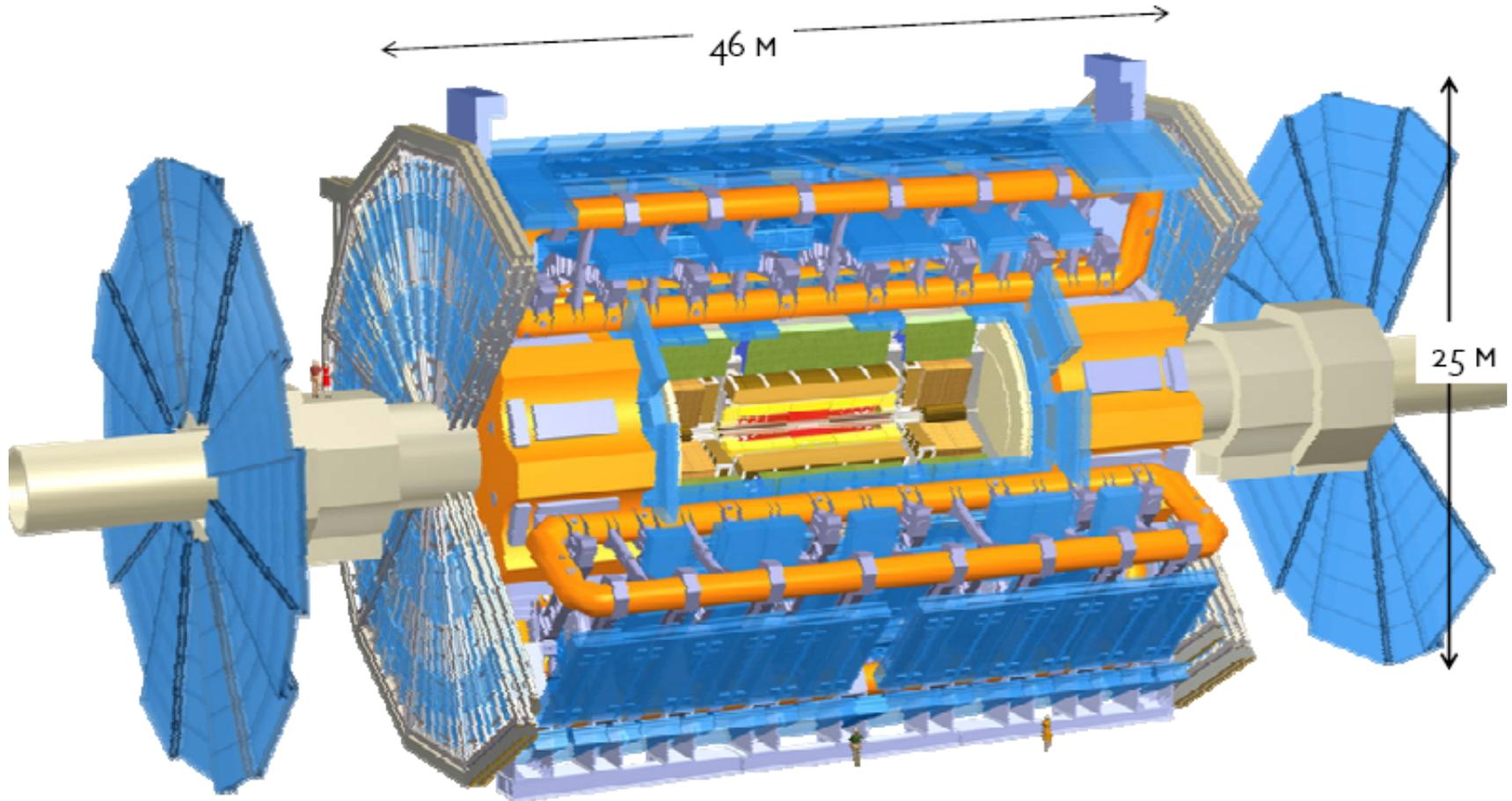


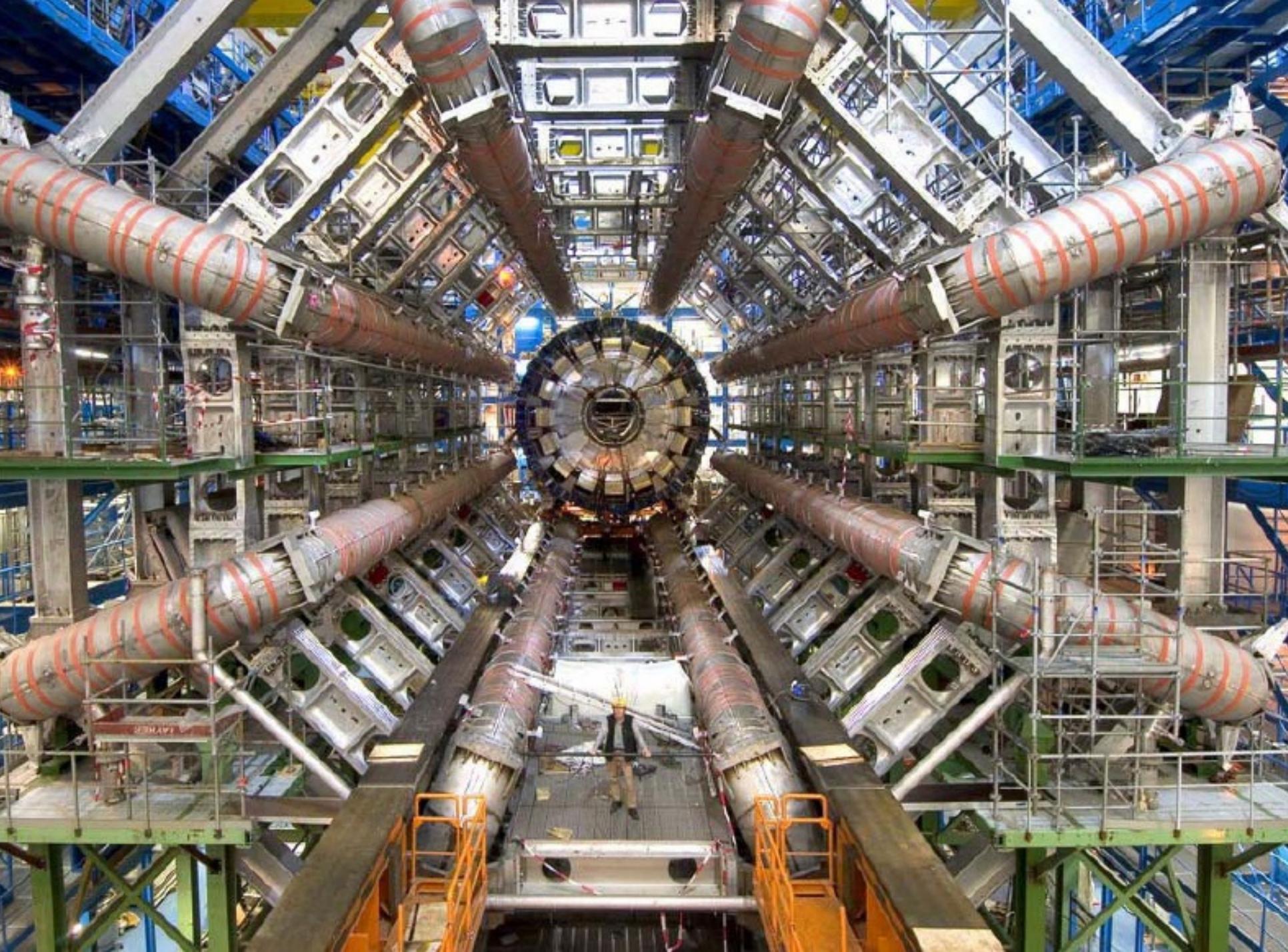
ES40 - V10/09/97

- quattro gigantesche caverne sotterranee ospitano rivelatori enormi
- fascio di energia mai raggiunta: **14 TeV c.o.m**
- intensità dei fasci di ordini di grandezza più elevati
- Circa 40.000 ton saranno a 1.9 K, a temperatura inferiore al freddo cosmico

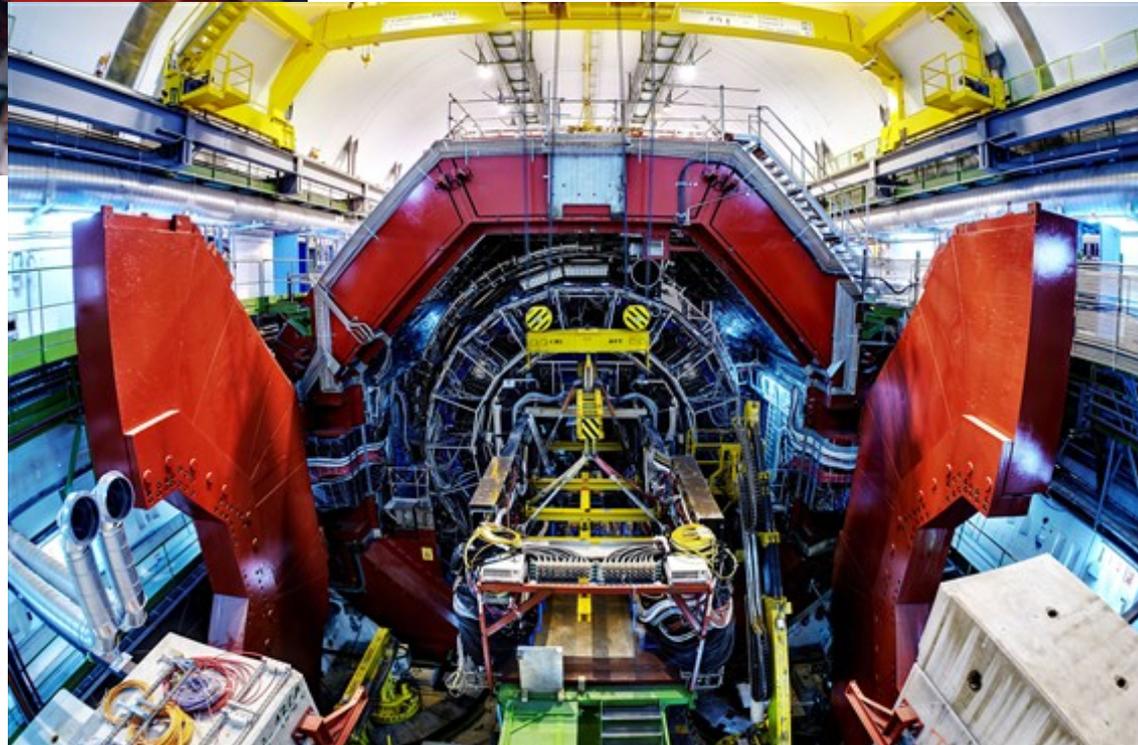
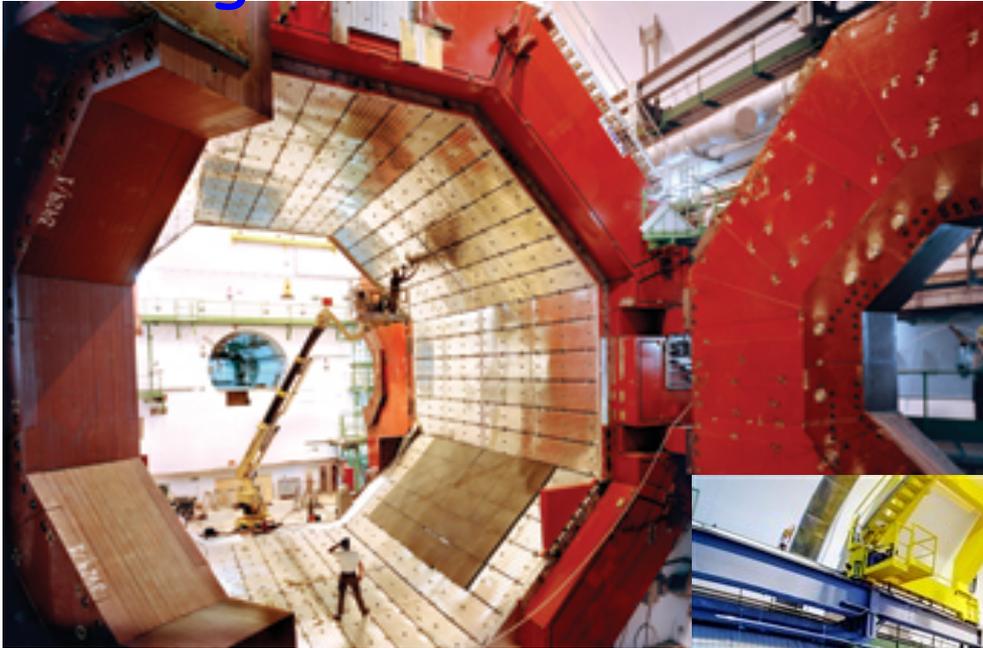
ATLAS → atlas.ch

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

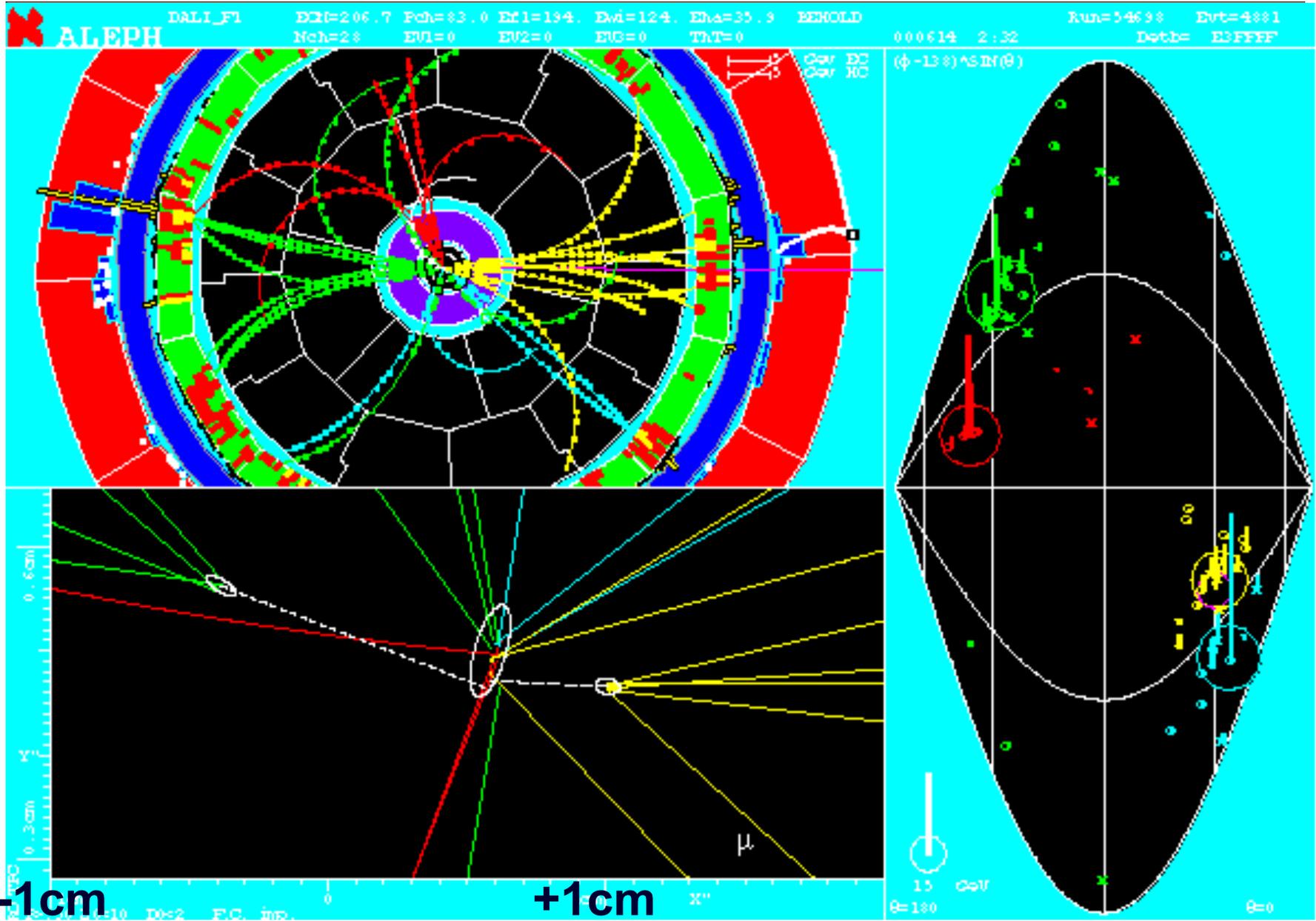




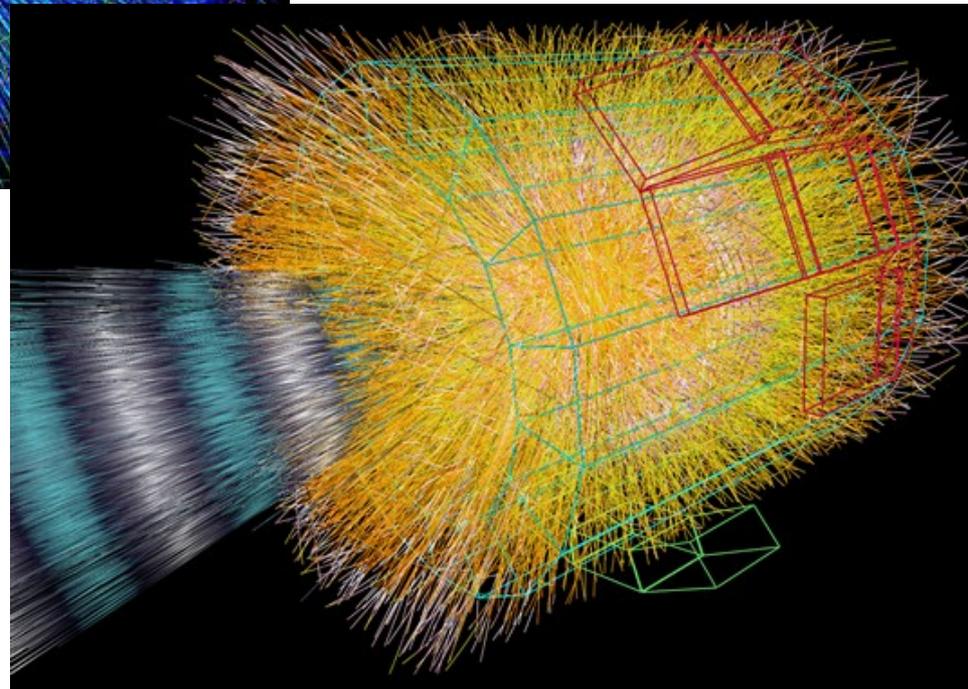
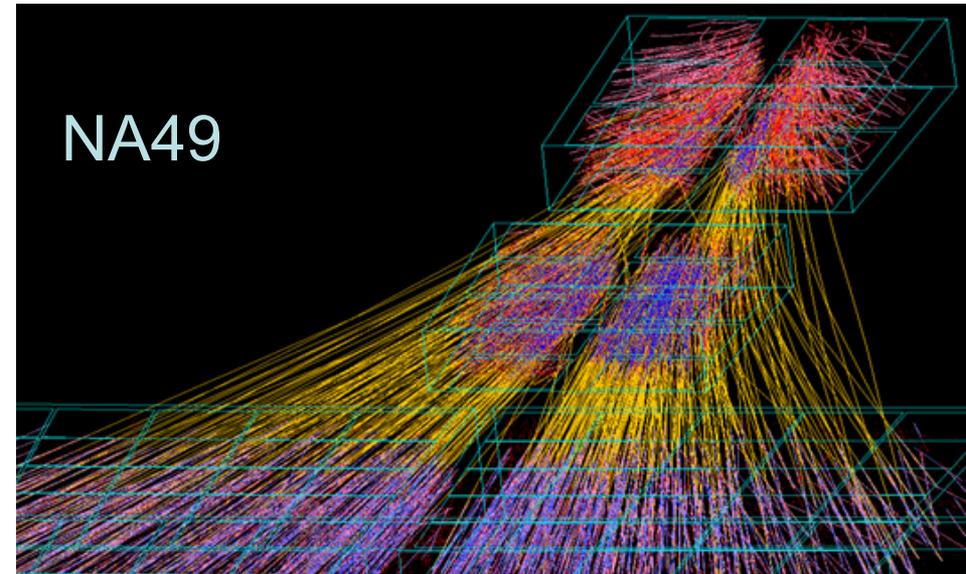
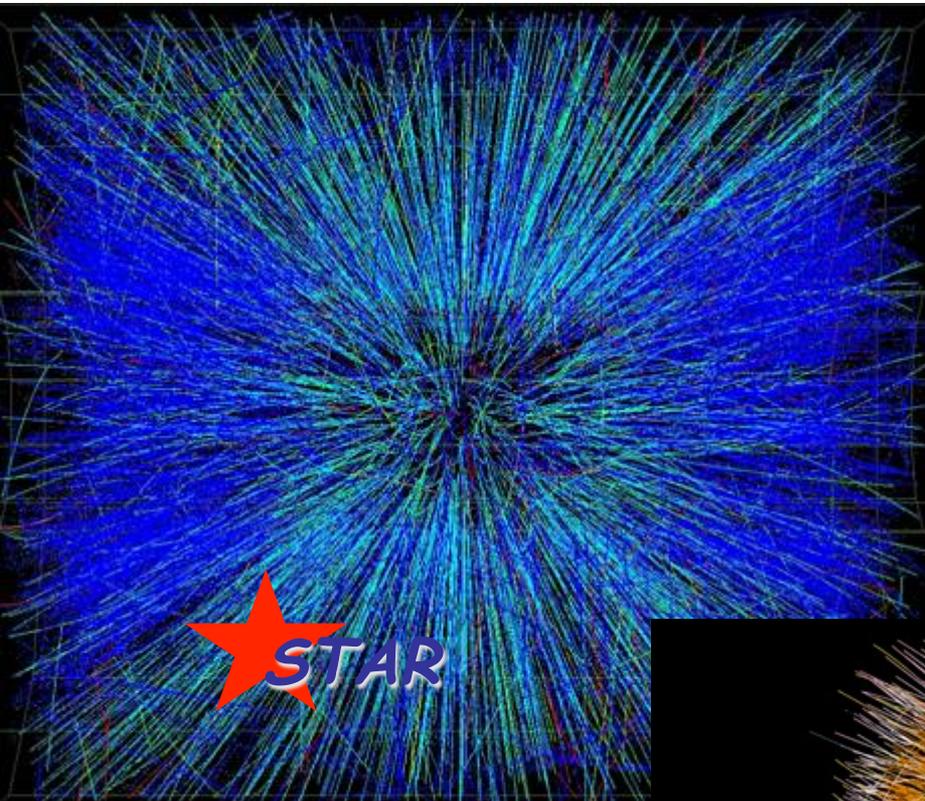
Magnete di ALICE



Ricostruzione dell'evento



Le nuove frontiere



Alice

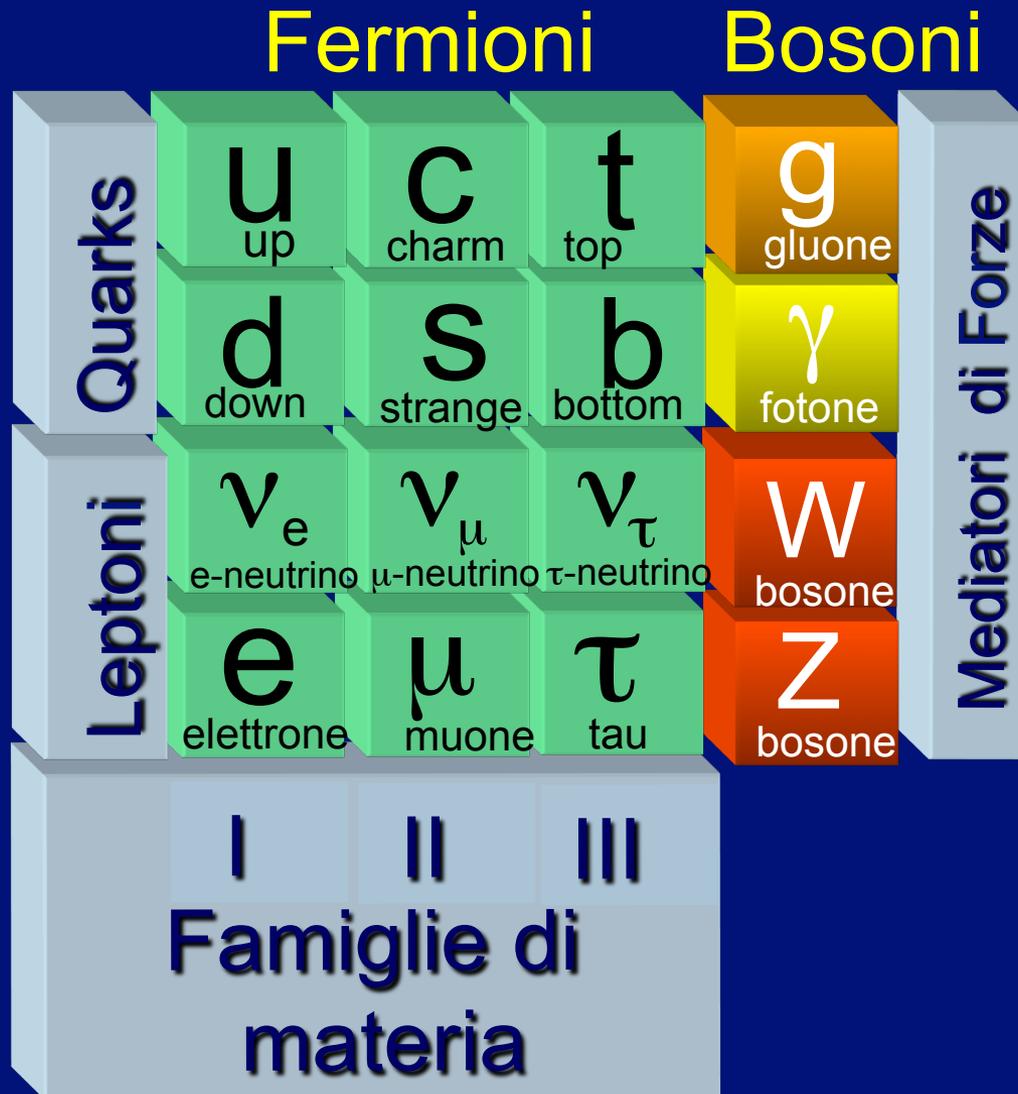


... ma in definitiva ... di
cosa e' fatto l'Universo?

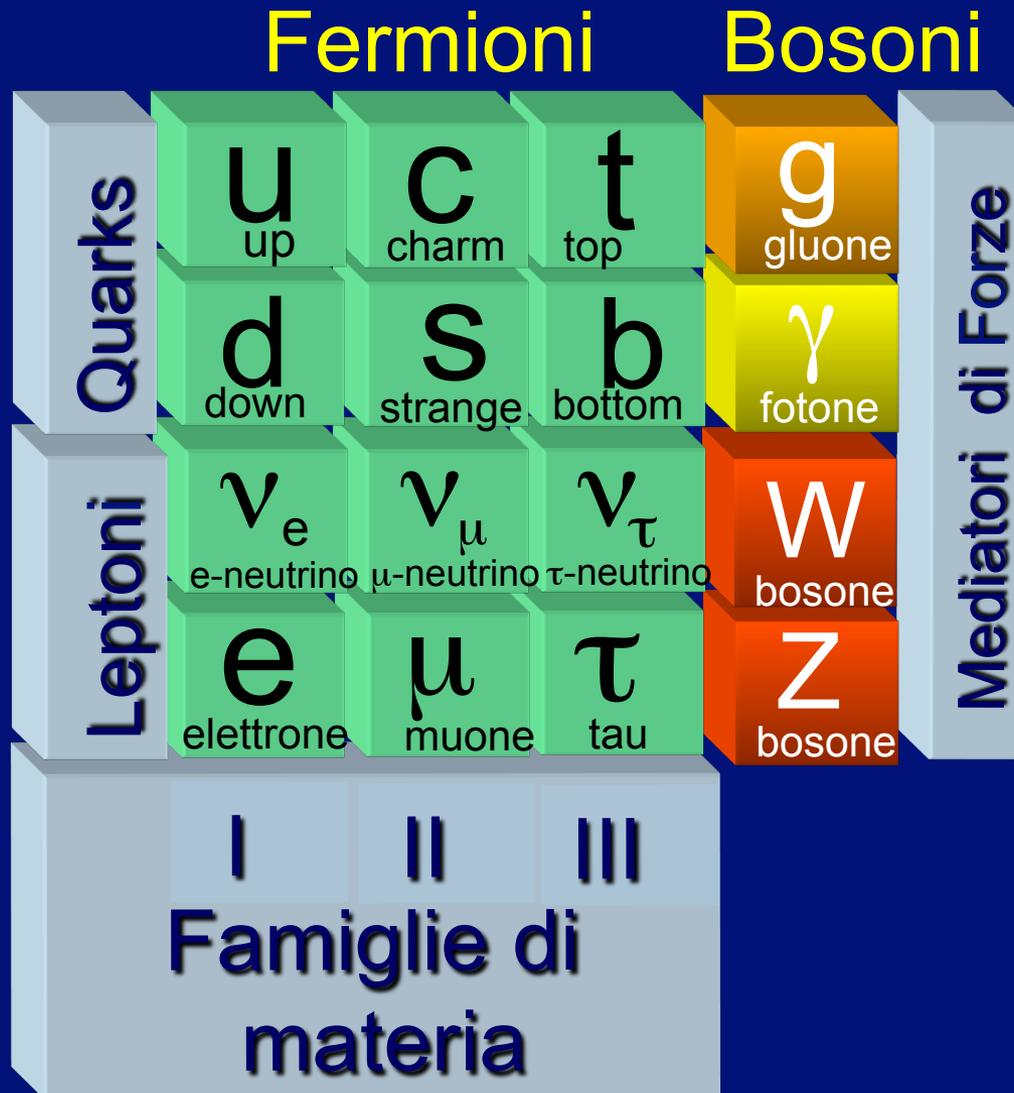
Il Modello Standard

... ed i suoi interrogativi

Il Modello Standard

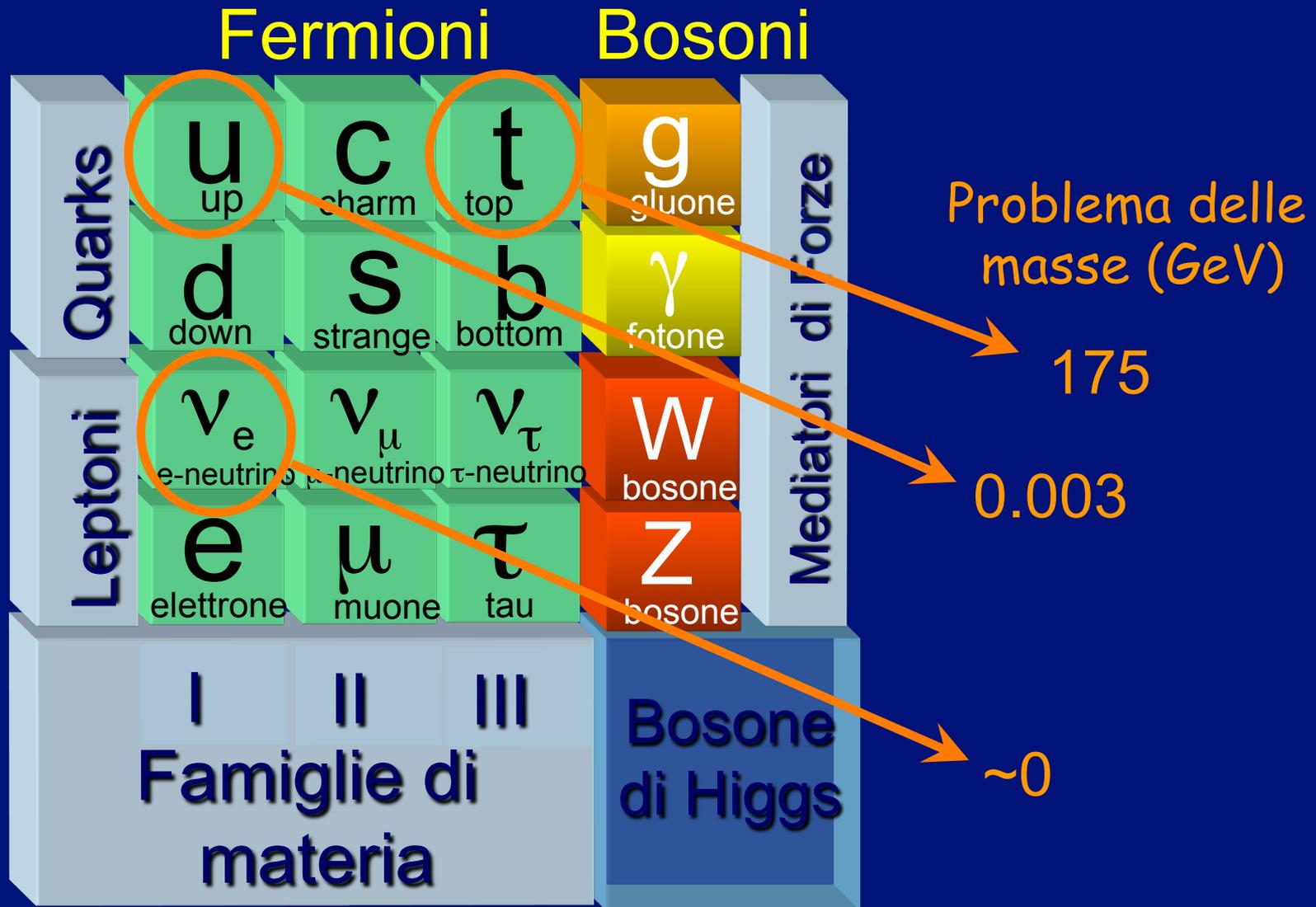


Il Modello Standard



Ma allora
Democrito aveva
già capito tutto
25 secoli fa?

Il Modello Standard



Le forze fondamentali



forza	intensità	effetto
Gravitazionale	1	Vi tiene seduti

Debole

10^{29}

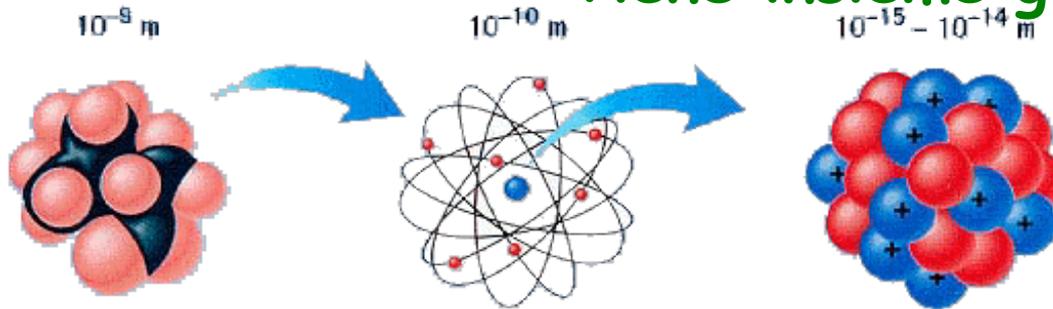
Decadimenti:
 $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$



Elettromagnetica

10^{40}

Tiene insieme gli atomi



Forte

10^{43}

Tiene insieme i nuclei



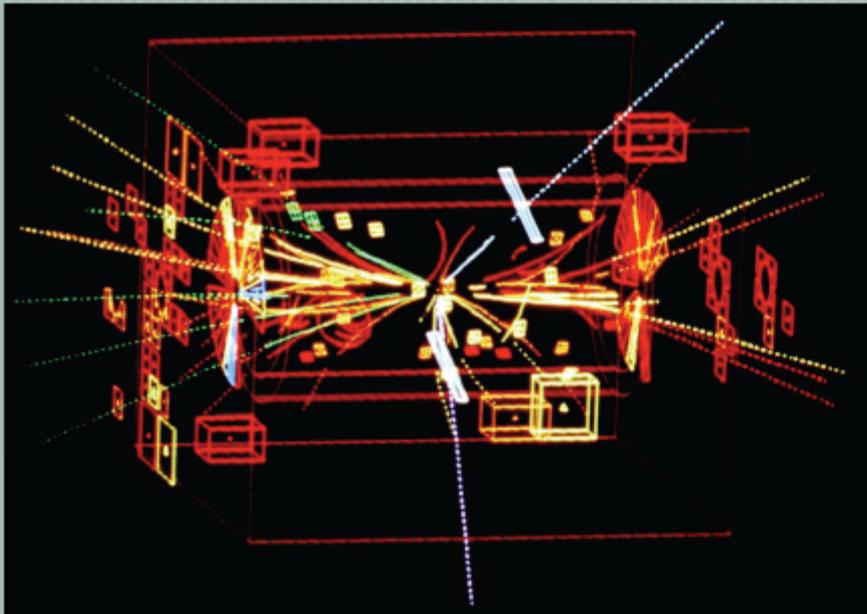
Fields

Electroweak Interaction

1983

Discovery of the W, Z bosons at CERN (1983)

(Carlo Rubbia - leader of UA1 collaboration, and proponent of proton-antiproton collider in SpS)
(Simon van der Meer - inventor of stochastic beam cooling)



Le forze fondamentali



forza	intensità	effetto
Gravitazionale	1	Vi tiene seduti

Debole

10^{29}

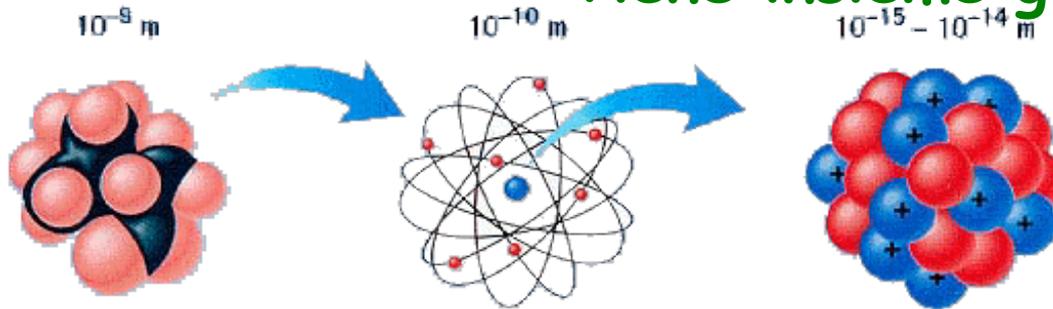
Decadimenti:
 $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$



Elettromagnetica

10^{40}

Tiene insieme gli atomi



Forte

10^{43}

Tiene insieme i nuclei



Unificazione delle Forze

Date queste differenze, è ragionevole pensare che queste 4 interazioni siano riconducibili ad una sola ?

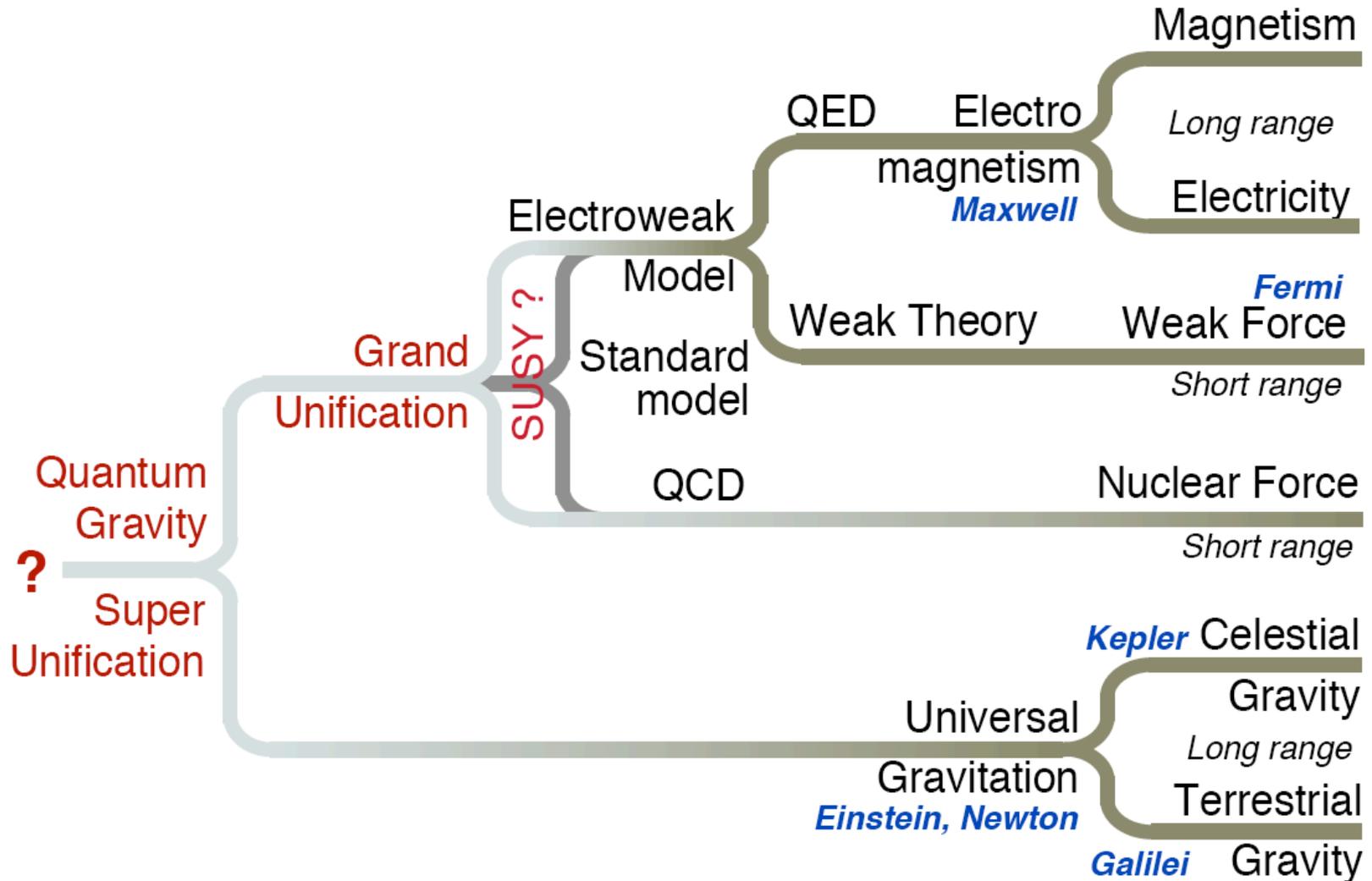
Superforza

Dalle misure sperimentali delle intensità alle energie attualmente raggiungibili la **M.Q.** consente di determinare la loro evoluzione teorica per valori crescenti dell' energia



Esiste valore dell' energia $E_{G.U.}$ per il quale tutte le interazioni hanno la stessa intensità ? $E_{G.U.} = ?$

Unificazione delle forze



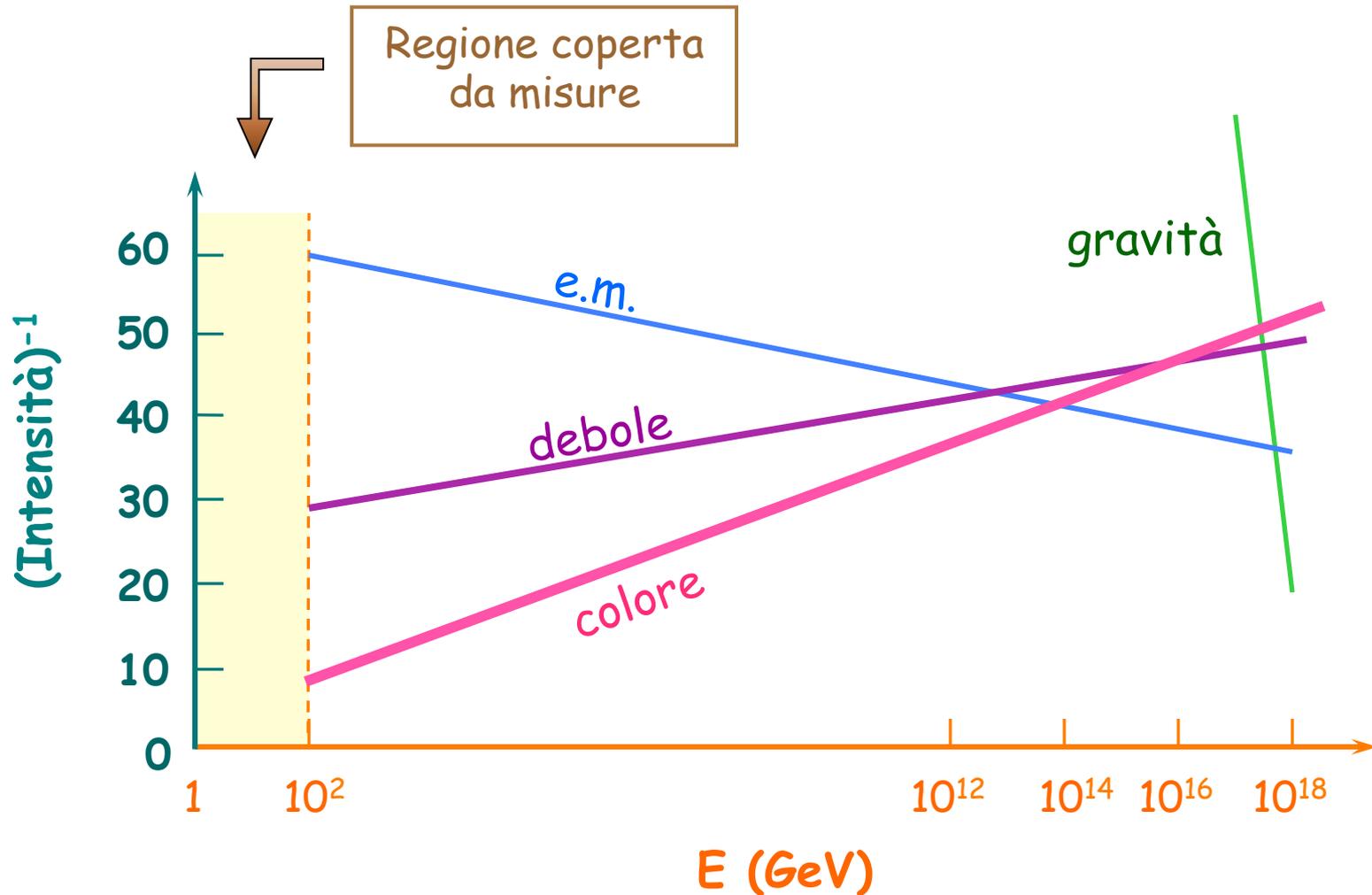
Unificare le interazioni fondamentali: il sogno di Einstein ...



← ... ma non ci é mai riuscito!

Forse ci sono dimensioni supplementari dello spazio?

Unificazione



Unificazione

Le curve non si incrociano nello stesso punto

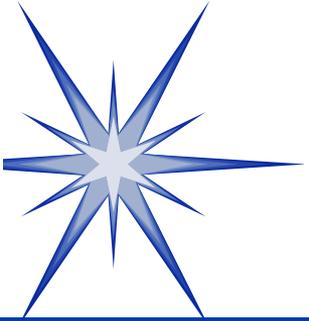
Le interazioni E.M., Debole & Colore sono vicine per

$$E \approx (10^{13} \div 10^{15}) \text{ GeV} \rightarrow T \approx (10^{26} \div 10^{28}) \text{ K}$$

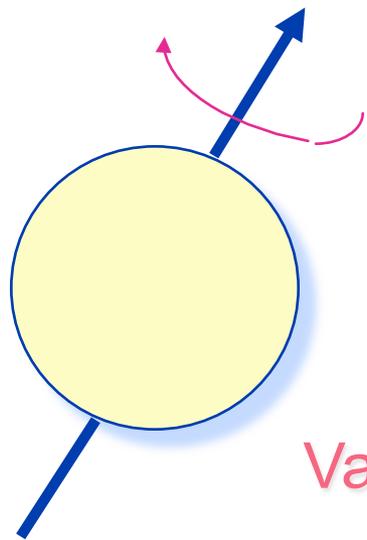
i.e. Universo $\approx (10^{-35} \div 10^{-32})$ s dopo Big Bang

Gravità: nulla a che vedere con le altre

- (a bassa energia) 43 ordini di grandezza meno intensa di quella di colore



I fermioni, i bosoni ... e lo spin

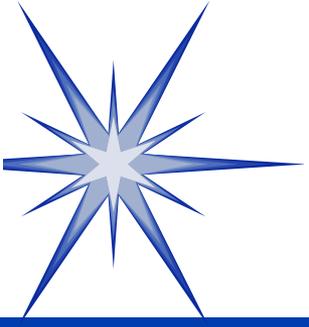


Lo spin é il momento angolare intrinseco delle particelle elementari

Valore dello spin = numero intero
BOSONE

Valore dello spin = numero semi intero
FERMIONE

Quale struttura concettuale presiede a questa strana distinzione?



Una distinzione di ruolo dinamico

I Fermioni sono i costituenti della materia:

I Bosoni sono i mediatori delle forze che “incollano” la materia

Leptoni $s=1/2$

Quarks $s=1/2$

Gravità

gravitone : $s=2$ $m=0$

elettrone

up

Interazioni

gluoni: $s=1$

mu

down

forti

$m=0$

tau

strange

charm

neutrini

bottom

top

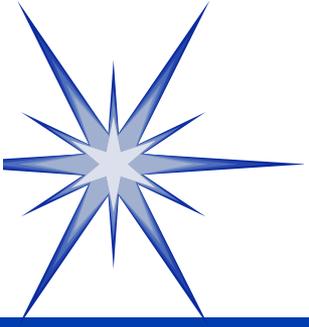
Interazioni

fotone: $s=1$

elettro-deboli

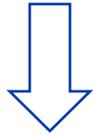
$m=0$

W,Z: $s=1$, $m>0$

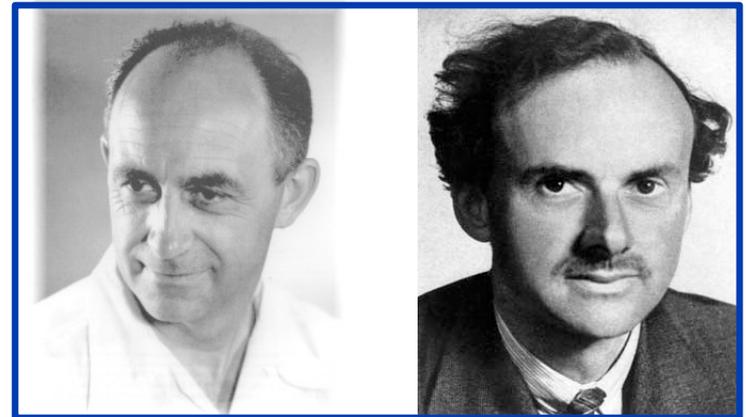
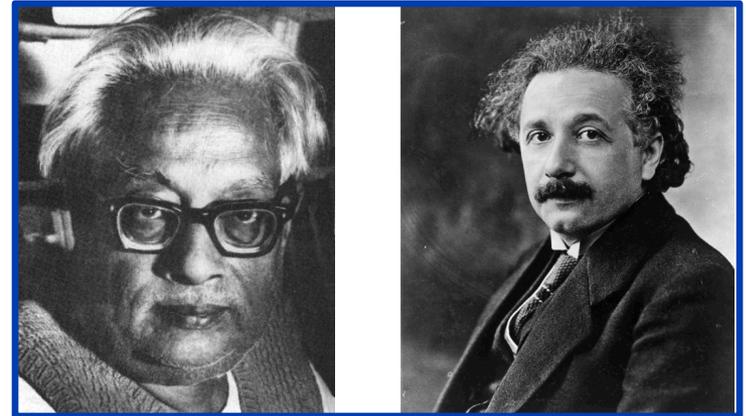


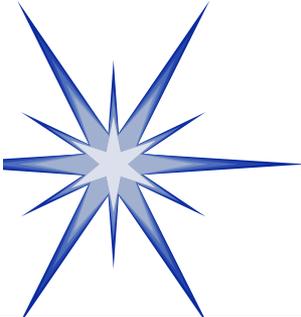
La distinzione più importante tra bosoni e fermioni è ... la statistica

- I **BOSONI** seguono la statistica di BOSE - EINSTEIN
- I **FERMIONI** seguono la statistica di FERMI - DIRAC



- IL PRINCIPIO di ESCLUSIONE di PAULI
- E' soprattutto a causa di quest' ultimo che la materia è come la conosciamo





Il sistema periodico degli elementi é una conseguenza del **Principio di Esclusione**. Due elettroni non possono stare nello stesso STATO dinamico, perché sono **fermioni**. Perciò si dispongono via via nelle caselle disponibili

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

<http://www.ktf-split.hr/periodni/en/>

PERIOD	GROUP	1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA	
1		1 1.0079 H HYDROGEN																		2 4.0026 He HELIUM
2		3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BERYLLIUM											5 10.811 B BORON	6 12.011 C CARBON	7 14.007 N NITROGEN	8 15.999 O OXYGEN	9 18.998 F FLUORINE	10 20.180 Ne NEON	
3		11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNESIUM											13 26.982 Al ALUMINIUM	14 28.086 Si SILICON	15 30.974 P PHOSPHORUS	16 32.065 S SULPHUR	17 35.453 Cl CHLORINE	18 39.948 Ar ARGON	
4		19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANIUM	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROMIUM	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe IRON	27 58.933 Co COBALT	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu COPPER	30 65.39 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SELENIUM	35 79.904 Br BROMINE	36 83.80 Kr KRYPTON	
5		37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.94 Mo MOLYBDENUM	43 (98) Tc TECHNETIUM	44 101.07 Ru RUTHENIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag SILVER	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn TIN	51 121.76 Sb ANTIMONY	52 127.60 Te TELLURIUM	53 126.90 I IODINE	54 131.29 Xe XENON	
6		55 132.91 Cs CAESIUM	56 137.33 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthanide	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALUM	74 183.84 W TUNGSTEN	75 186.21 Re RHENIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATINUM	79 196.97 Au GOLD	80 200.59 Hg MERCURY	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.2 Pb LEAD	83 208.98 Bi BISMUTH	84 (209) Po POLONIUM	85 (210) At ASTATINE	86 (222) Rn RADON	
7		87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinide	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (266) Sg SEABORGIUM	107 (264) Bh BOHRRIUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (268) Mt MEITNERIUM	110 (281) Uun UNUNNIUM	111 (272) Uuu UNUNUNIUM	112 (285) Uub UNUNBIUM		114 (289) Uuq UNUNQUADIUM					

LANTHANIDE

57 138.91 La LANTHANUM	58 140.12 Ce CERIUM	59 140.91 Pr PRASEODYMIUM	60 144.24 Nd NEODYMIUM	61 (145) Pm PROMETHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.04 Yb YTTERIUM	71 174.97 Lu LUTETIUM
-------------------------------------	----------------------------------	--	-------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

ACTINIDE

89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URANIUM	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMERICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKELIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEVIUM	102 (259) No NOBELIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM
-----------------------------------	-----------------------------------	--	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

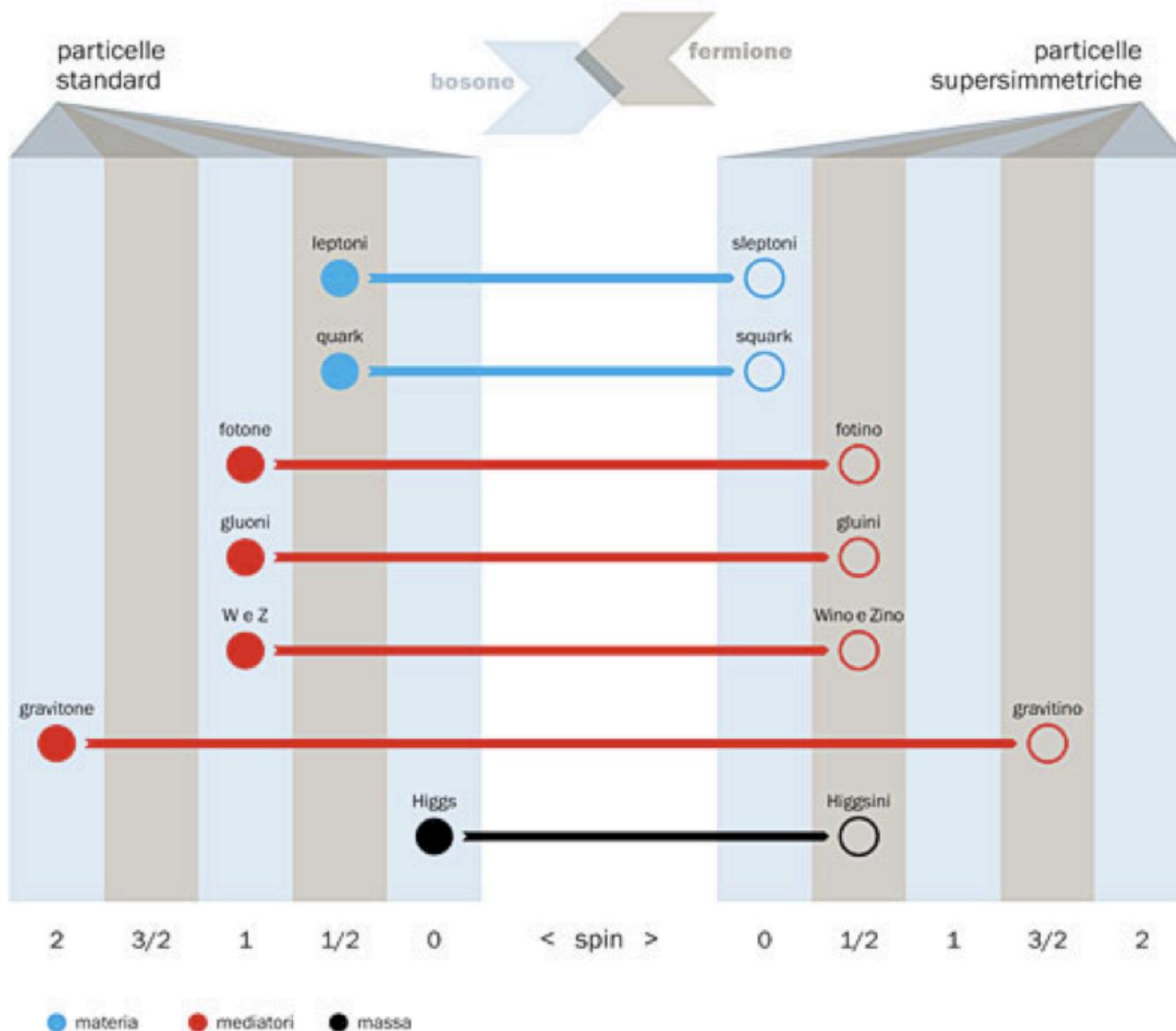
Copyright © 1998-2003 EniG. (eni@ktf-split.hr)

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001)

Relative atomic mass is shown with five significant figures. For elements having no stable nuclei, the value enclosed in brackets indicates the mass number of the longest-lived isotope of the element.

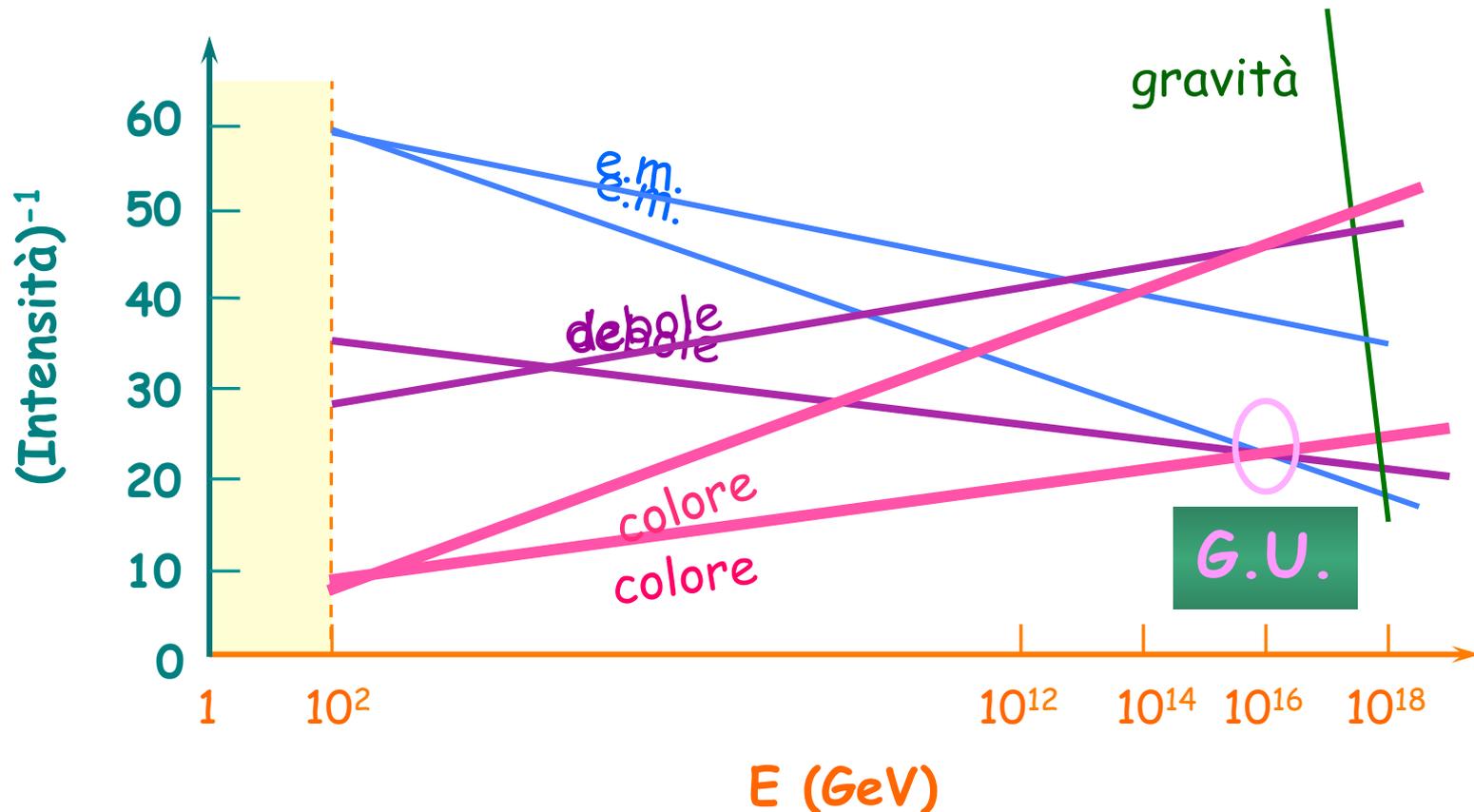
However three such elements (Th, Pa, and U) do have a characteristic terrestrial isotopic composition, and for these an atomic weight is tabulated.

Supersimmetria

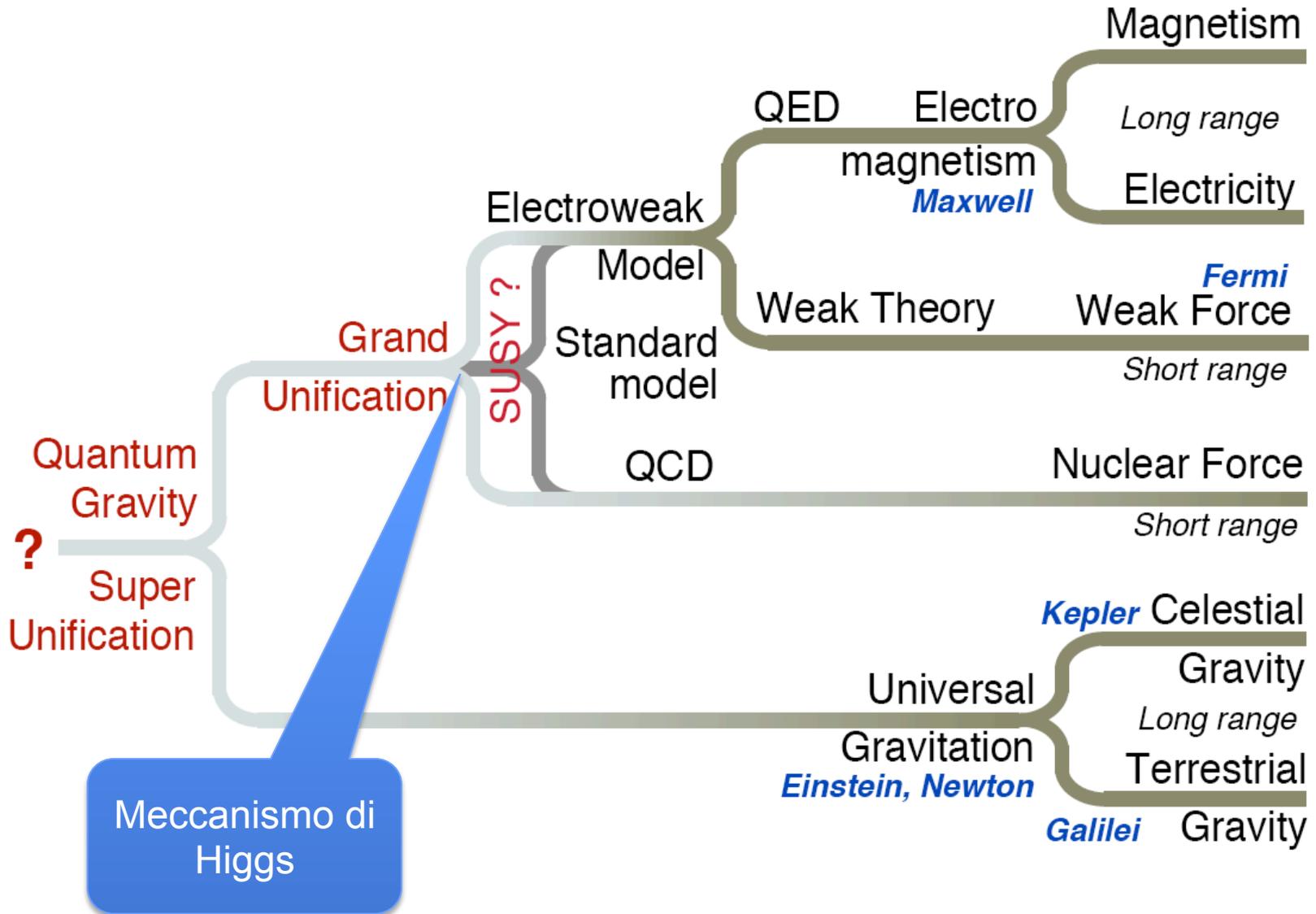


M.S. Supersimmetrico

Modello Standard+ Supersimmetria



Unificazione delle forze



The goddamn particle
(La dannata particella)

The God particle
(La particella di Dio)

Come funziona Higgs ?



intanto ve lo presento !

Ricerca del Bosone di Higgs

La simmetria delle interazioni elettromagnetica e debole e' rotta:

$$m_\gamma = 0 \quad m_{W/Z} \sim 90 \text{ GeV}/c^2$$

Brout, Englert e Higgs nel 1964 ipotizzarono un campo scalare la cui esistenza rompeva la simmetria elettrodebole



P. Higgs

Risolve molti problemi:

- massa W e Z
- massa dei fermioni elementari

$m_H > 114 \text{ GeV}/c^2$ (LEP experiments, 2001)



SCOPO DI LHC: capire il meccanismo di rottura spontanea di simmetria

F.Englert

- Non e' l'unica soluzione possibile
- Potrebbe essere un oggetto composto
- Non spiega perche' la gravita' e' cosi' debole e perche': $m_H \ll M_{Pl}$?

La massa del bosone di Higgs

- Questo nuovo campo di Higgs responsabile della massa di tutte le particelle corrisponde ad una particella fisica:
il bosone di Higgs.
- Osservazione diretta di questa particella e' necessaria per una conferma che tale meccanismo e' corretto.
- E' l' unico pezzo mancante della teoria che oggi abbiamo delle interazioni fondamentali (il Modello Standard)
- Nel Modello Standard il bosone di Higgs deve esistere con una massa al di sotto di **1 TeV**, altrimenti la teoria non e' valida.
- Sperimentalmente si hanno indicazioni su dove potrebbe essere...

4 luglio 2012 al CERN



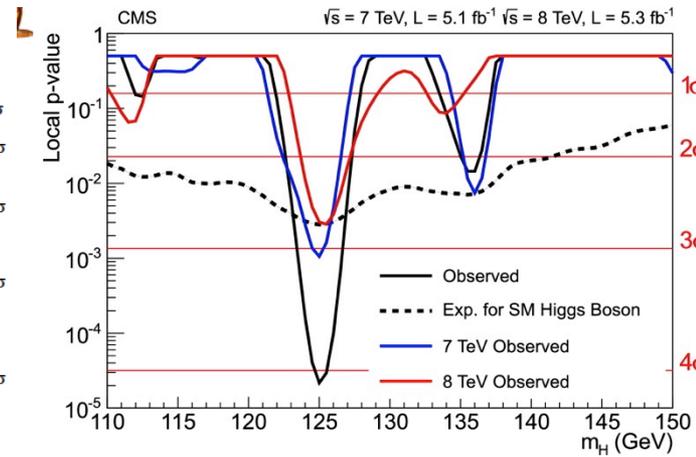
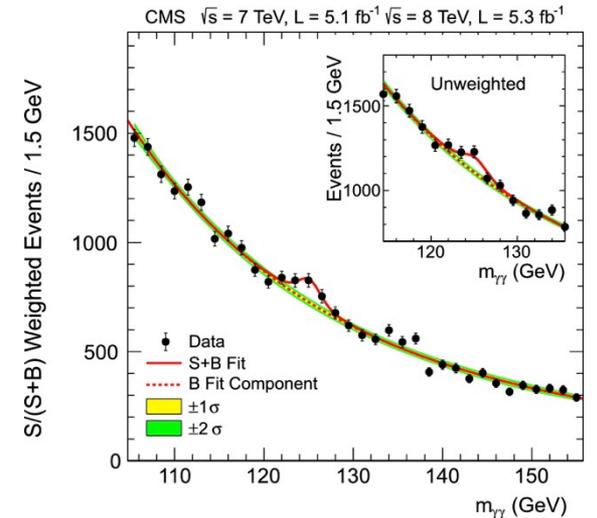
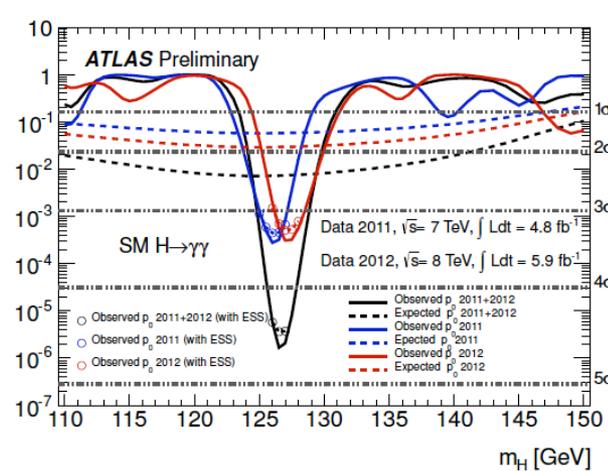
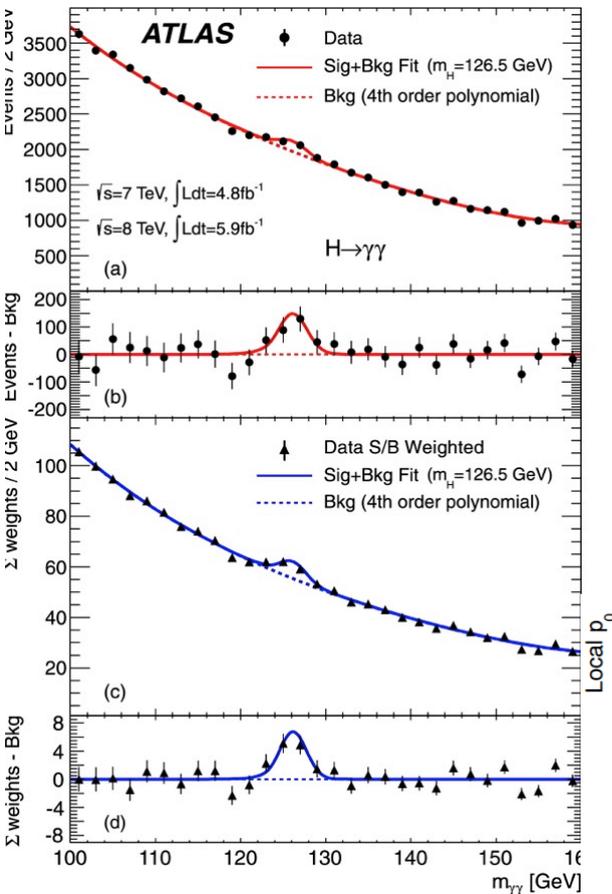
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

Events are split into categories depending on expected S/B.

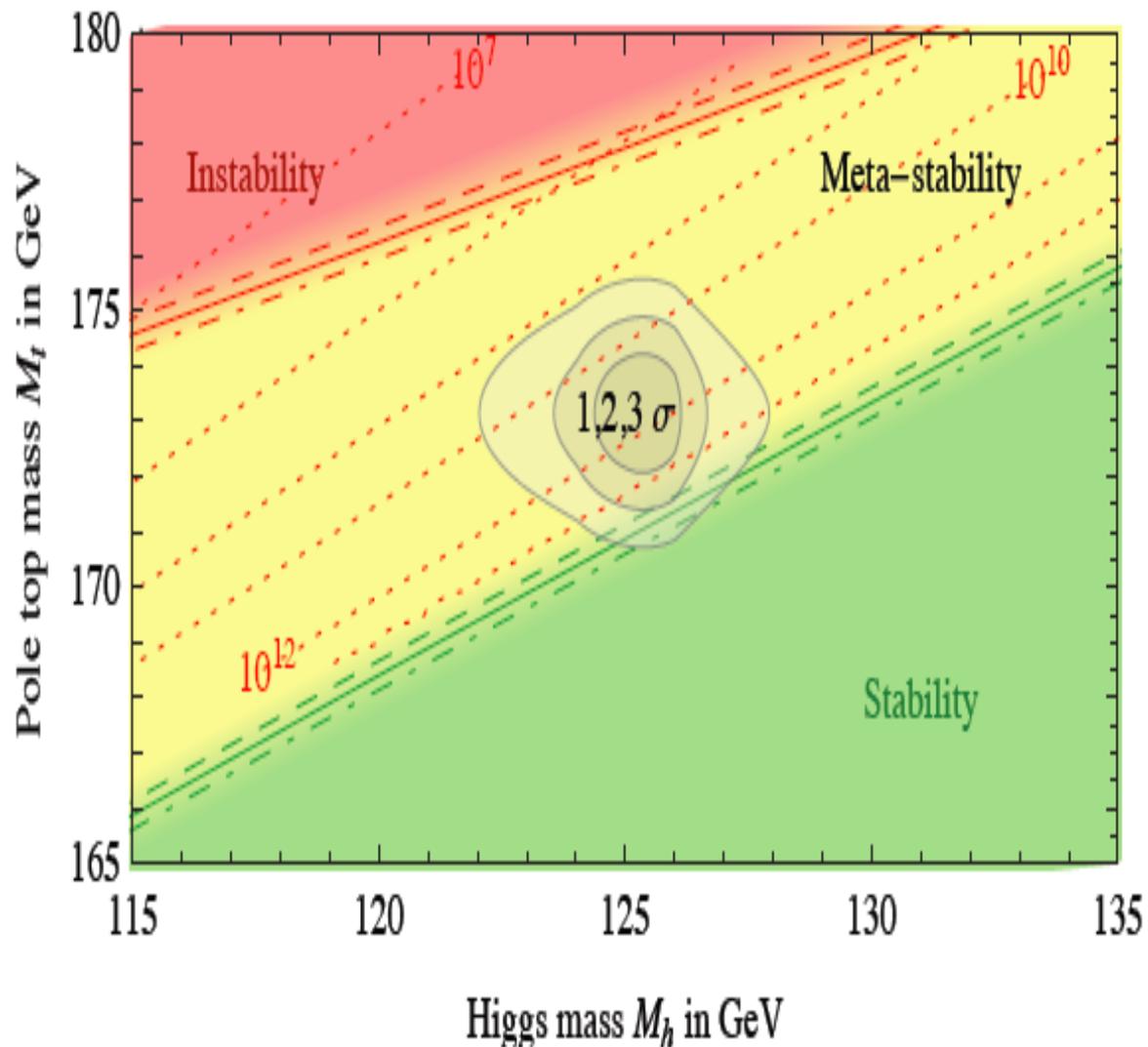
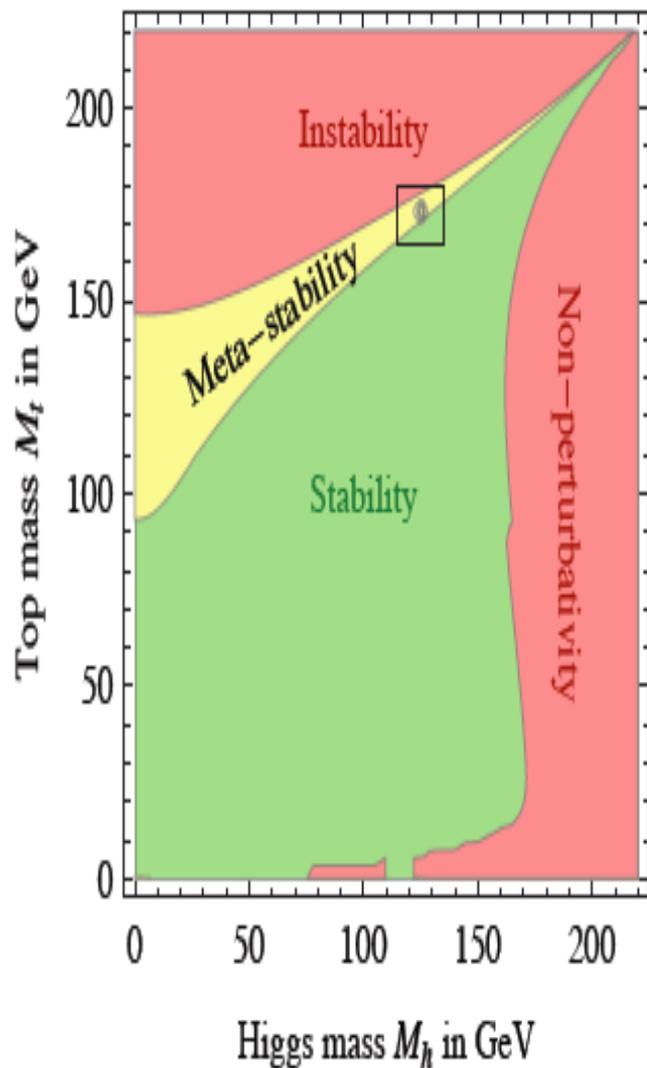
Plots with S/B weighting represent better the statistical analysis

ATLAS:
 $m_H = 126.5 \text{ GeV (min } p_0)$
 Local sig 4.5σ
 Exp significance 2.4σ

CMS:
 $m_H = 125 \text{ GeV (min } p_0)$
 Local sig 4.1σ
 Exp significance 2.8σ



VITA SPERICOLATA E “PROBABILE” DEL NOSTRO UNIVERSO METASTABILE?



SIAMO ALLA TEORIA ULTIMA?

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

- La Materia Oscura
- Il perche' non esiste la gravitazione quantistica
- Il perche' i neutrini hanno massa

Ci sono anche alcuni problemi

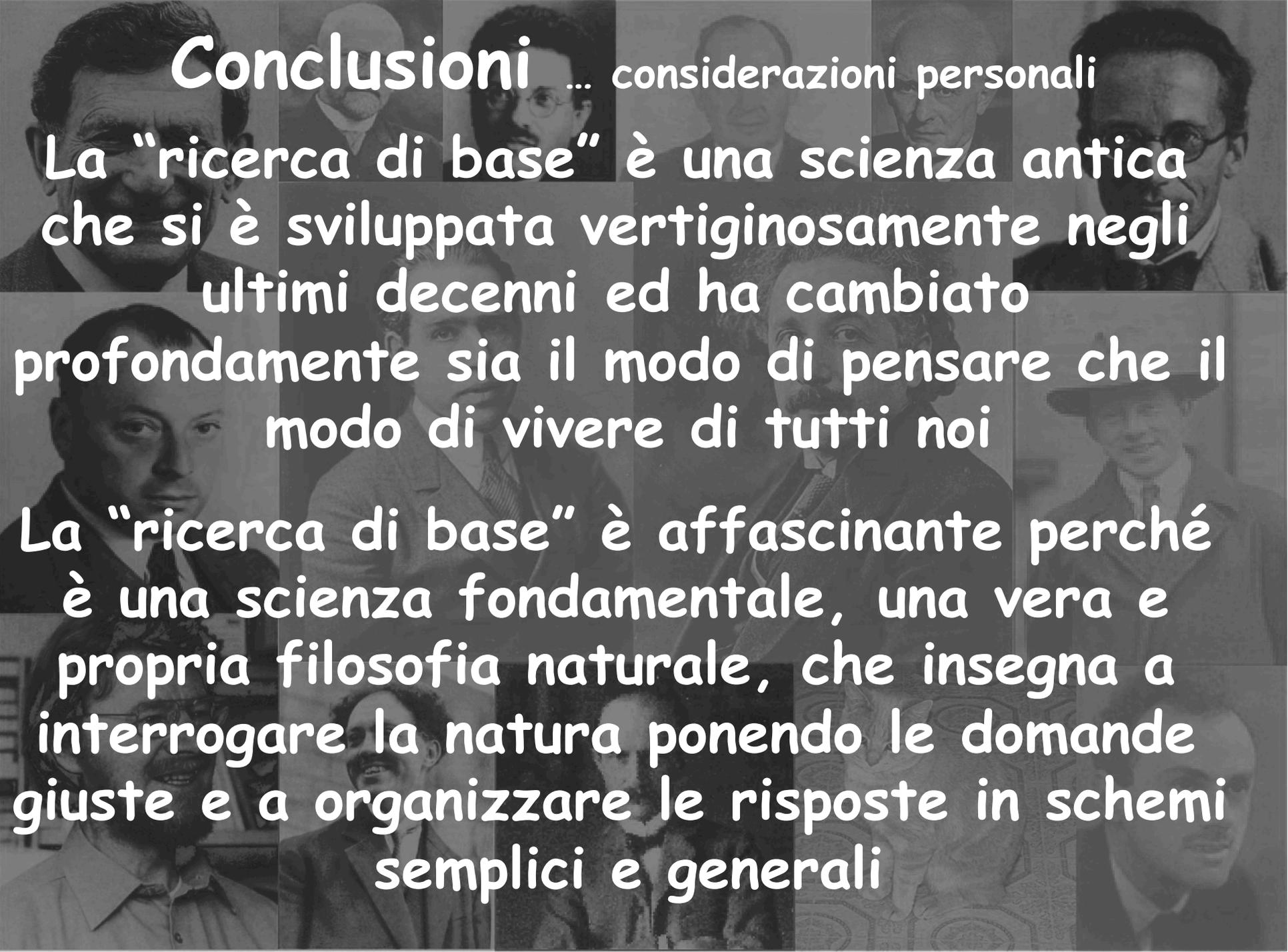
- La scala di massa dei fermioni
- La diversita' di cariche dei fermioni
- L'enorme diversita' di intensita' delle interazioni
- L'incapacita' di unificare la gravitazione con le altre forze

Va sottolineato che

non si puo' 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.*





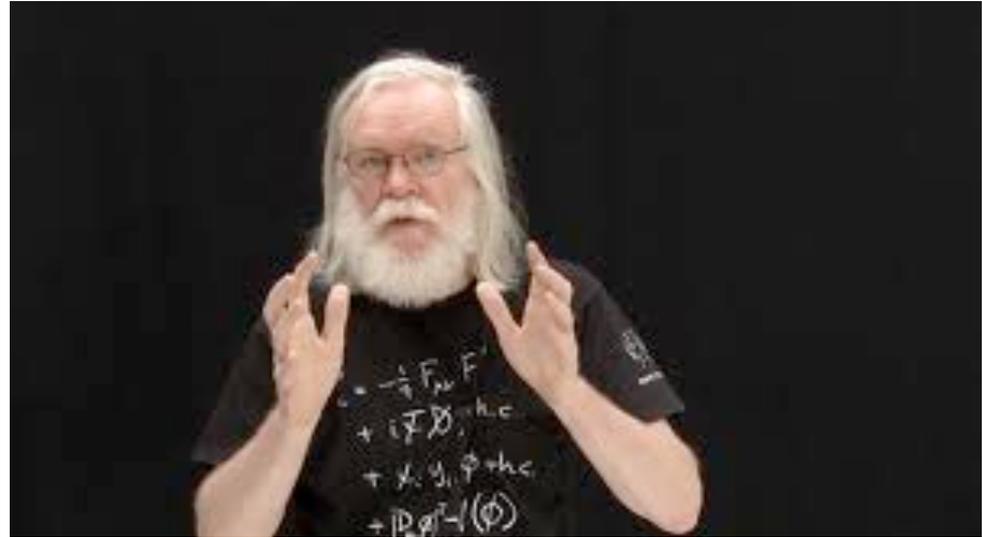
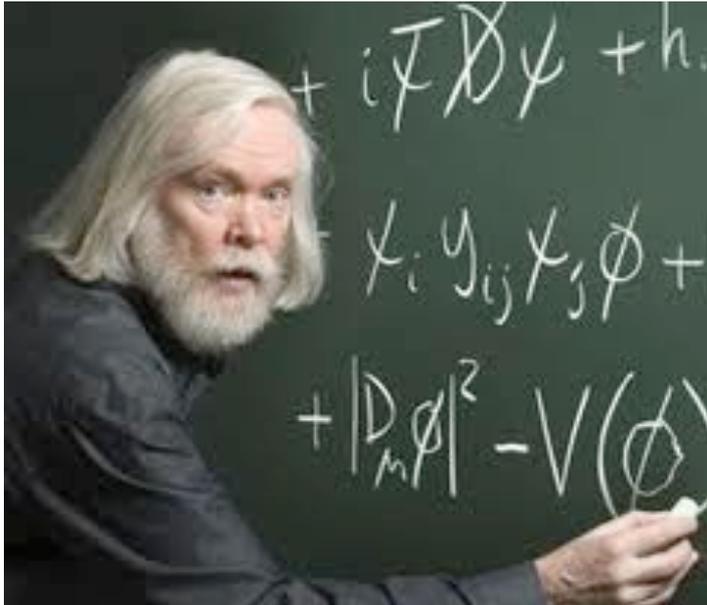
Conclusioni ... considerazioni personali

La "ricerca di base" è una scienza antica che si è sviluppata vertiginosamente negli ultimi decenni ed ha cambiato

profondamente sia il modo di pensare che il modo di vivere di tutti noi

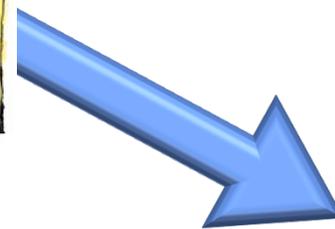
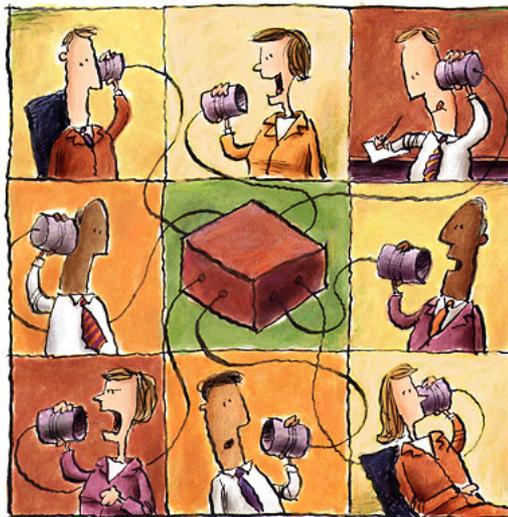
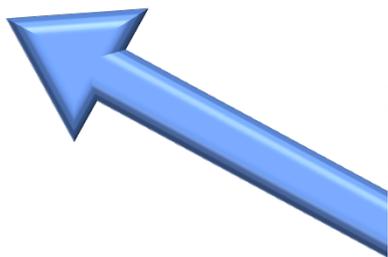
La "ricerca di base" è affascinante perché è una scienza fondamentale, una vera e propria filosofia naturale, che insegna a interrogare la natura ponendo le domande giuste e a organizzare le risposte in schemi semplici e generali

Incontro con il Prof. John Ellis



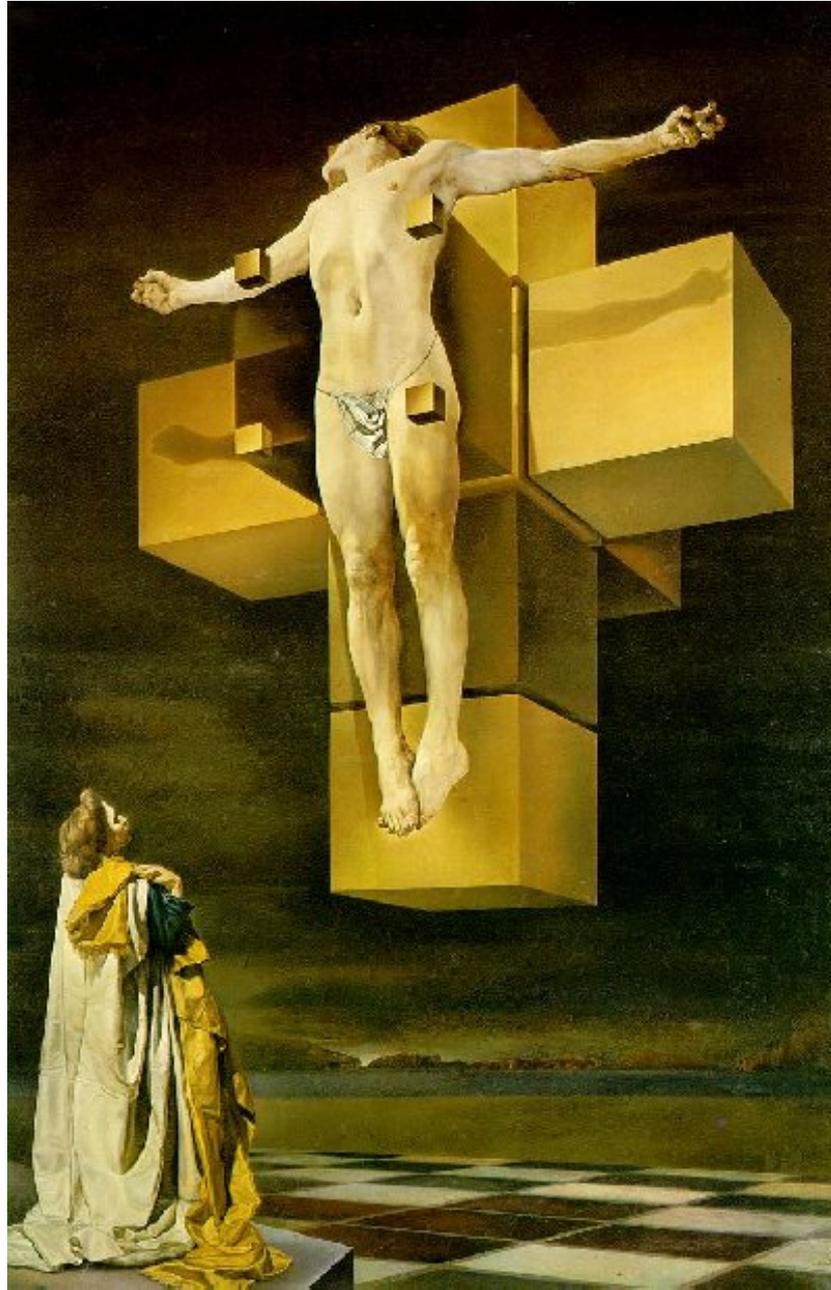
- Professore emerito di fisica teorica al King's College di Londra
- Capo del Dipartimento di fisica teorica del CERN
- Medaglia Maxwell, premio Paul Dirac, insignito IoP, "comandante dell'ordine dell'impero britannico"
- Massimi esperti mondiali del modello di Higgs, Supersimmetrie e teorie di Unificazione delle Forze.

Fisica



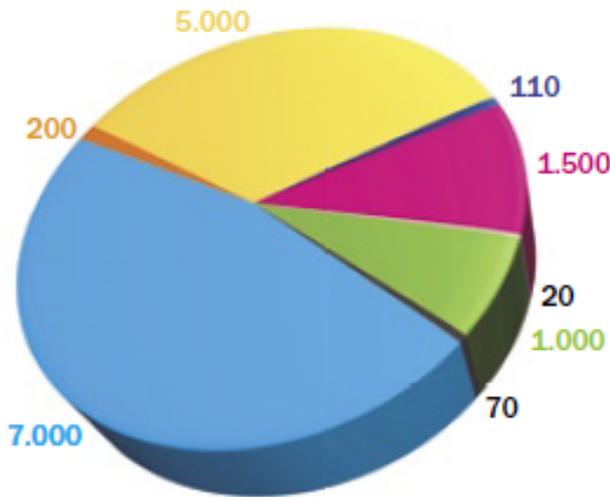
Società

Domingo Cristo Hypercubus, Salvador Dali 1954



Gli acceleratori nel mondo....

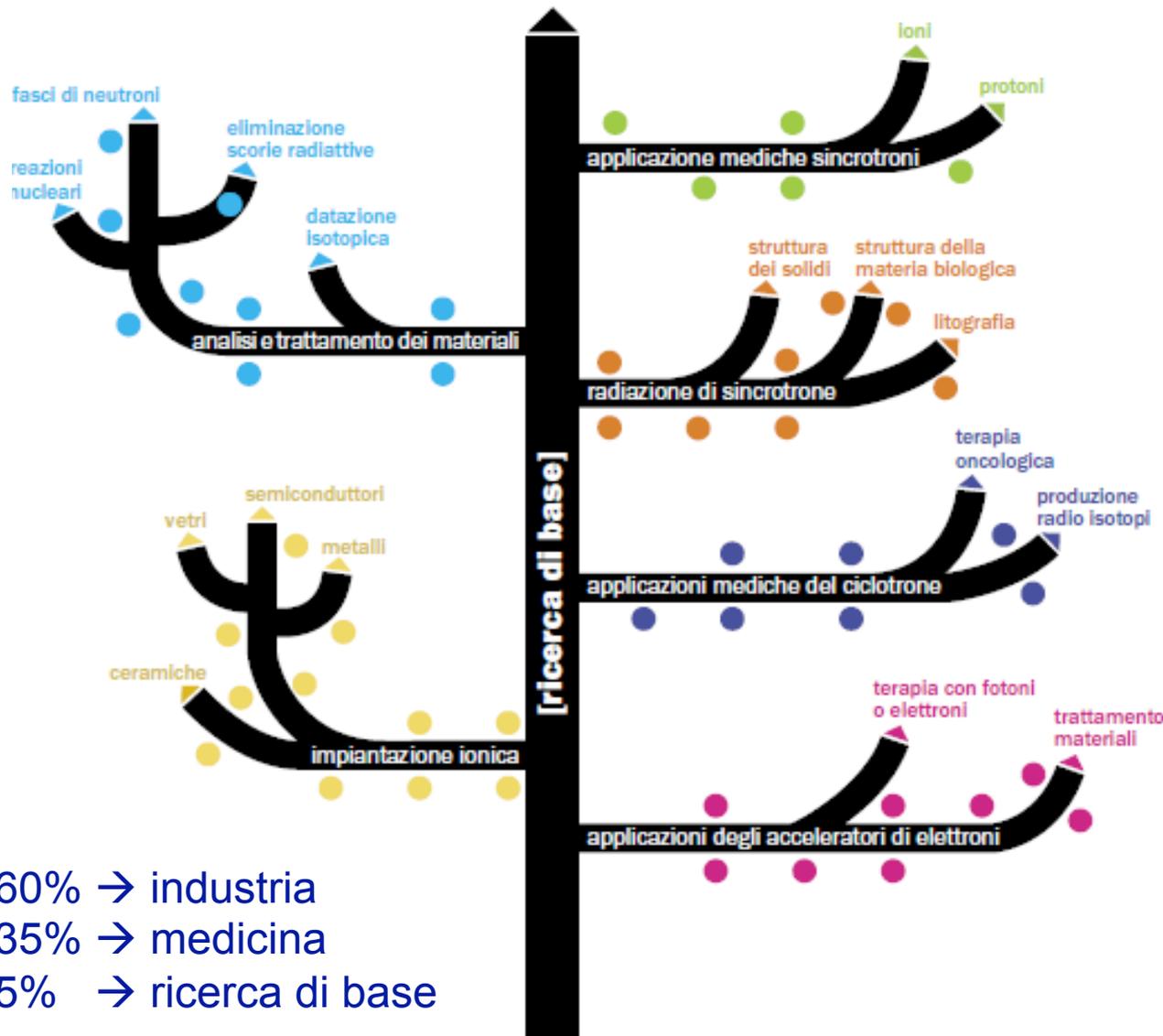
Principali settori applicativi dei 15000 acceleratori nel mondo



Acceleratori nel mondo

- impiantazione ionica e modificazione di superfici
- radioterapia
- industria
- ricerca non nucleare
- produzione di isotopi medici
- ricerca di fisica nucleare e delle particelle
- sorgenti di radiazione di sincrotrone
- adroterapia

~ 60% → industria
 ~ 35% → medicina
 ~ 5% → ricerca di base



Utilizzo di macchine acceleratrici basate su protoni (o ioni) per cura del tumore

Lo scopo finale è quello di avere

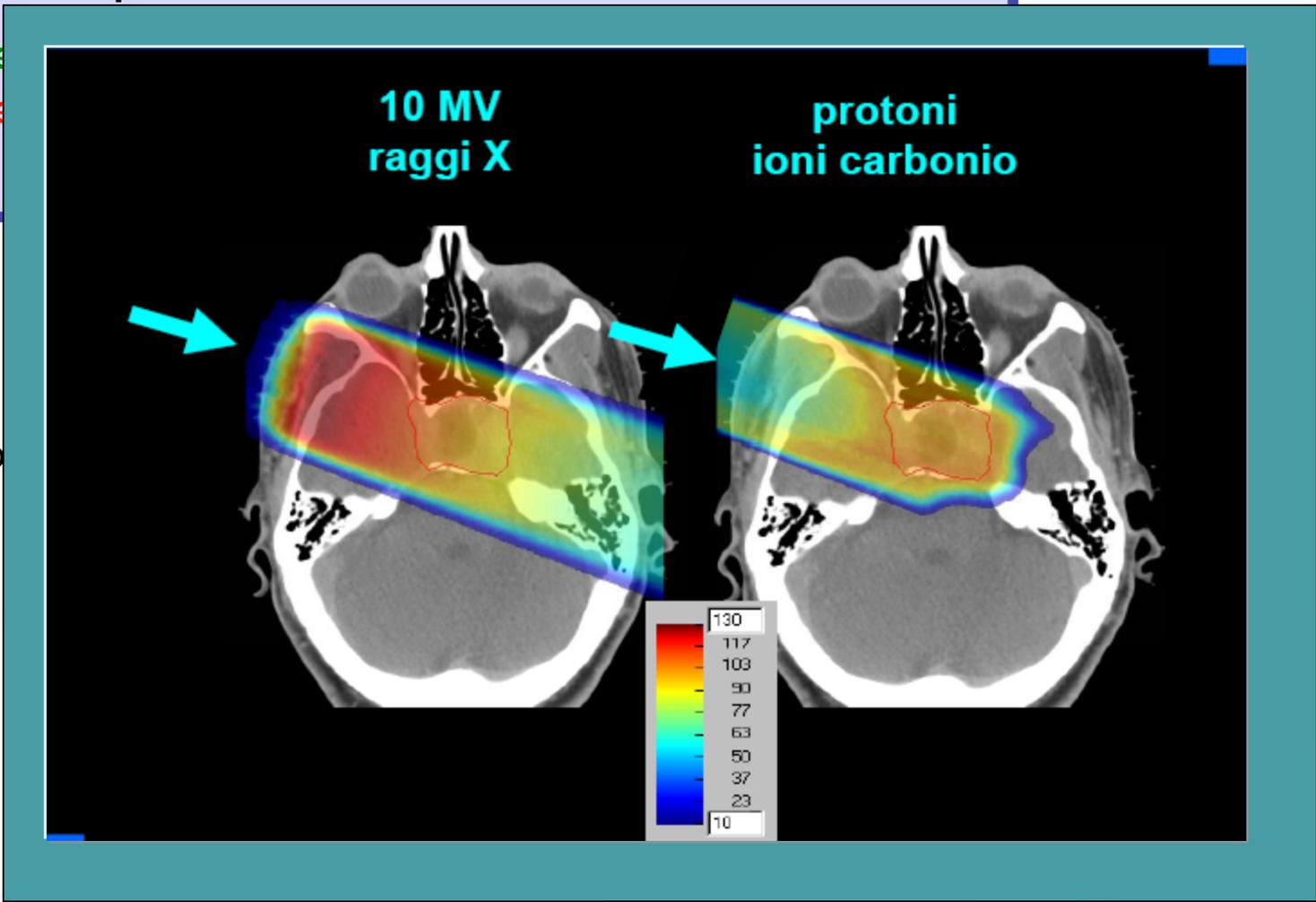
- Alta dose
- Una dose

Fotoni

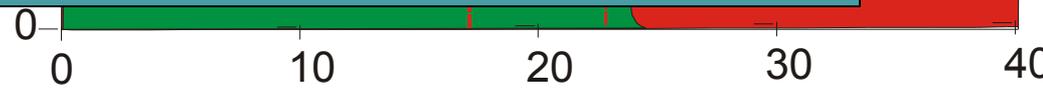
Accelerato

Protoni (

190 MeV =



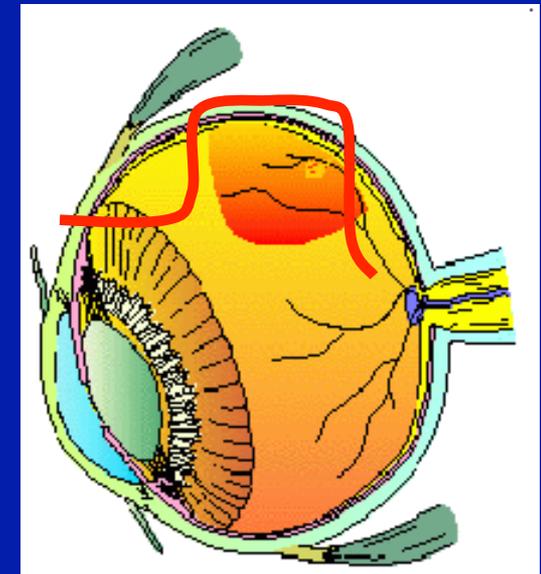
g-Peak



LNS Ciclotrone Superconduttore
dei LNS è stata la prima
macchina in Italia e nel sud
dell'Europa ad essere usata per
l'adroterapia



Trattamento di melanoma
dell'iride e della cornea
con un fascio di protoni
In Italia circa 300 nuovi
casi l'anno



Laboratori Nazionali del Sud – INFN Catania

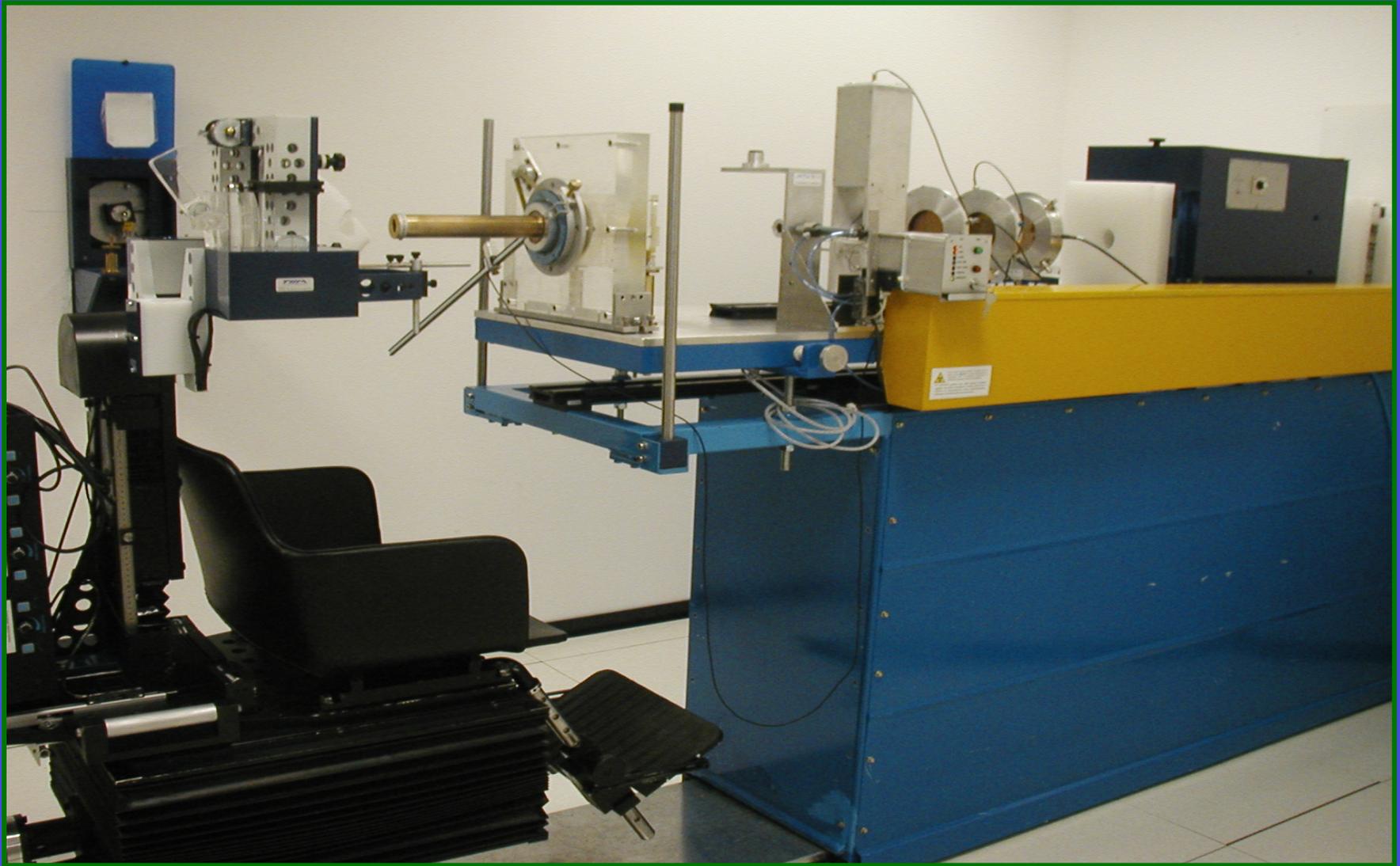


Ciclotrone

Fascio di
protoni

Sala di
trattamento

La facility di protonterapia CATANA: Linea di trasporto del fascio



Follow-up dei pazienti

Controllo locale



97% pazienti

Ritenzione oculare



95% pazienti

Mantenimento di un buon
visus



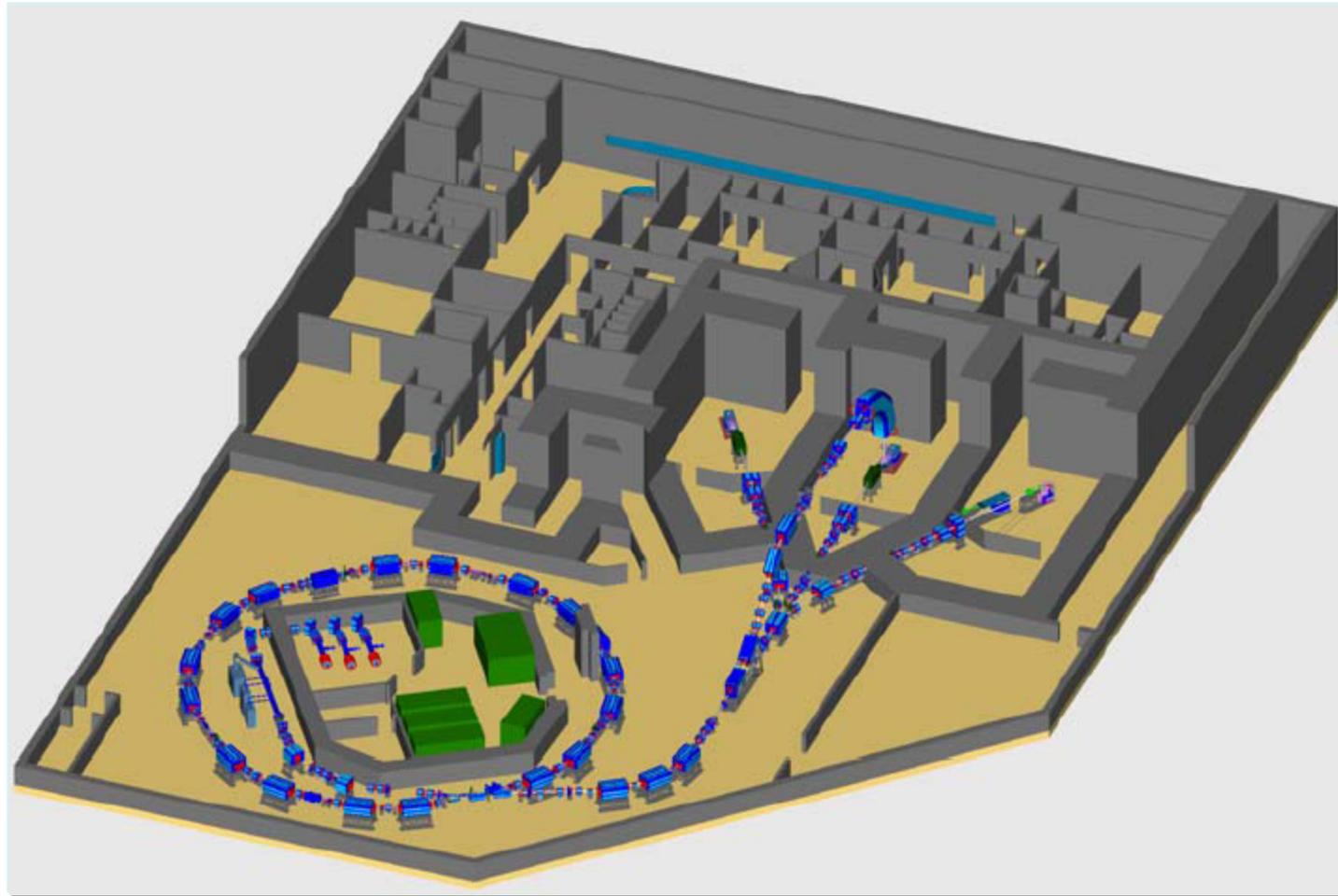
40% pazienti

Sopravvivenza



98% pazienti

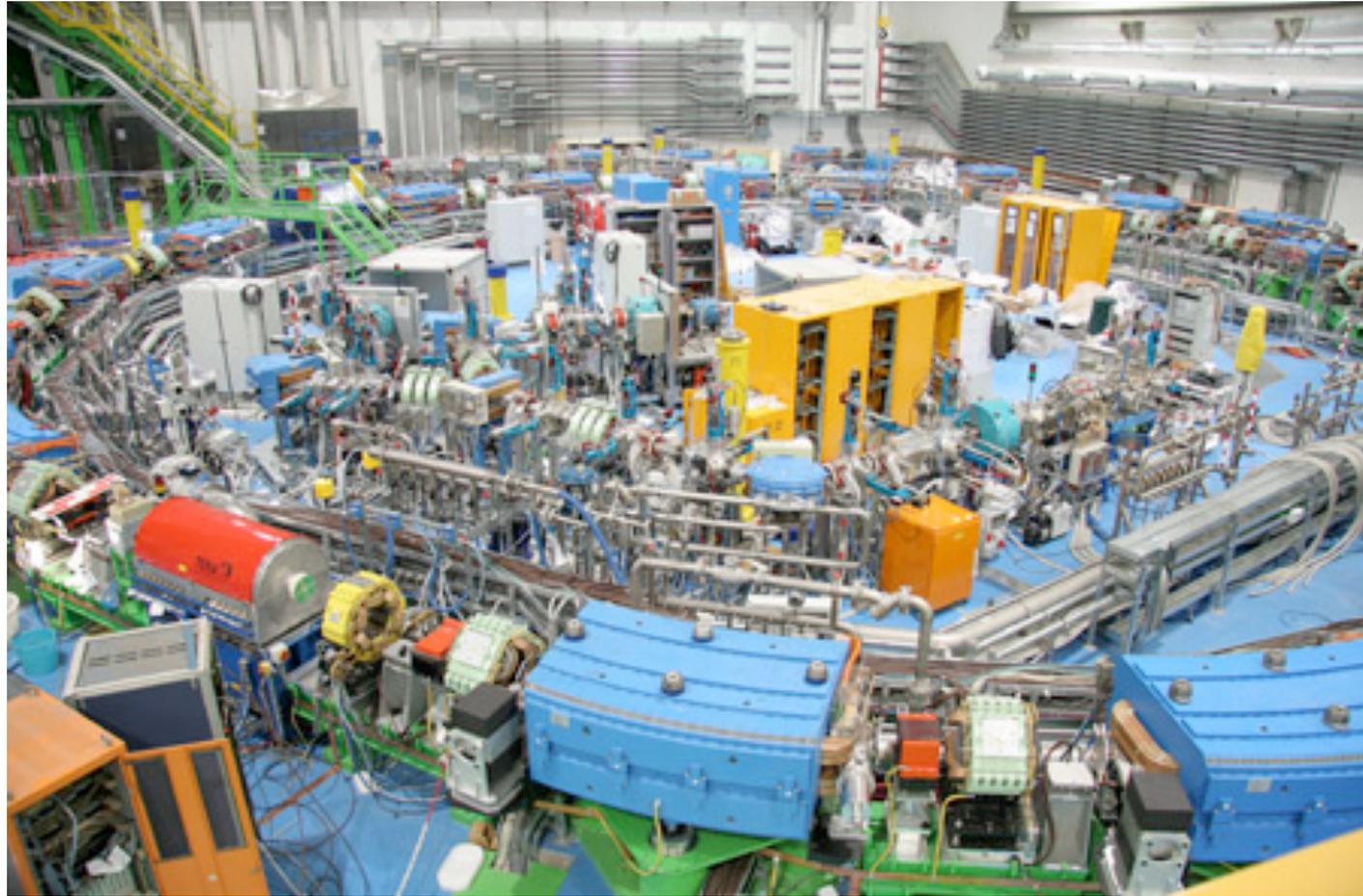
Adroterapia



CNAO-IFN:
•Pavia
•Catania (test)

In funzione dal 2010
Trattamento di pazienti dal 2011

Adroterapia



CNAO-INFN:
•Pavia
•Catania (test)

In funzione dal 2010
Trattamento di pazienti dal 2011

I centri di adroterapia sono molto costosi:

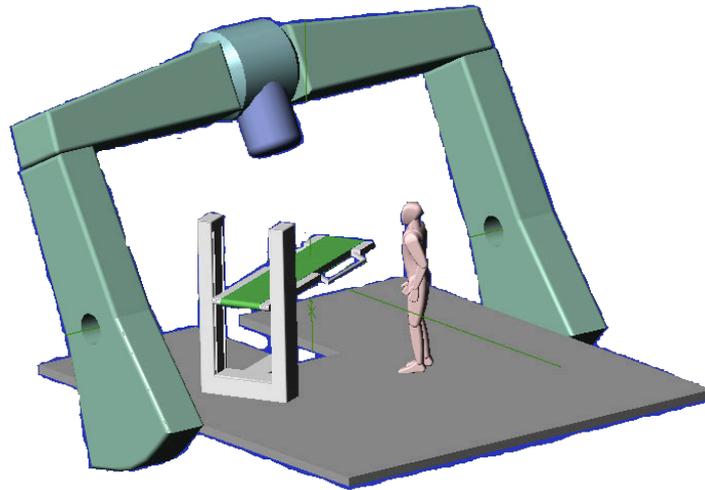
Una sala equipaggiata: >50 milioni

Quattro sale equipaggiate: >100 milioni

Grande infrastrutture, spesso troppo complicate per ambiente ospedaliero

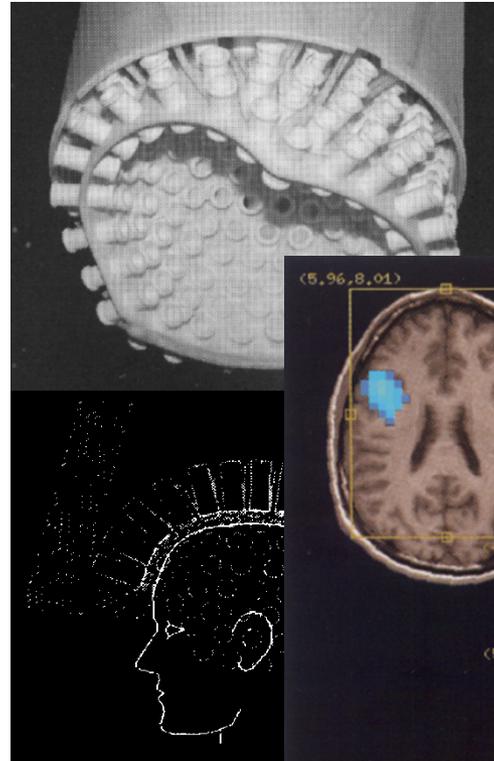
Il vero costo: ben più di 100 milioni

High Field Weak Focusing Cyclotron

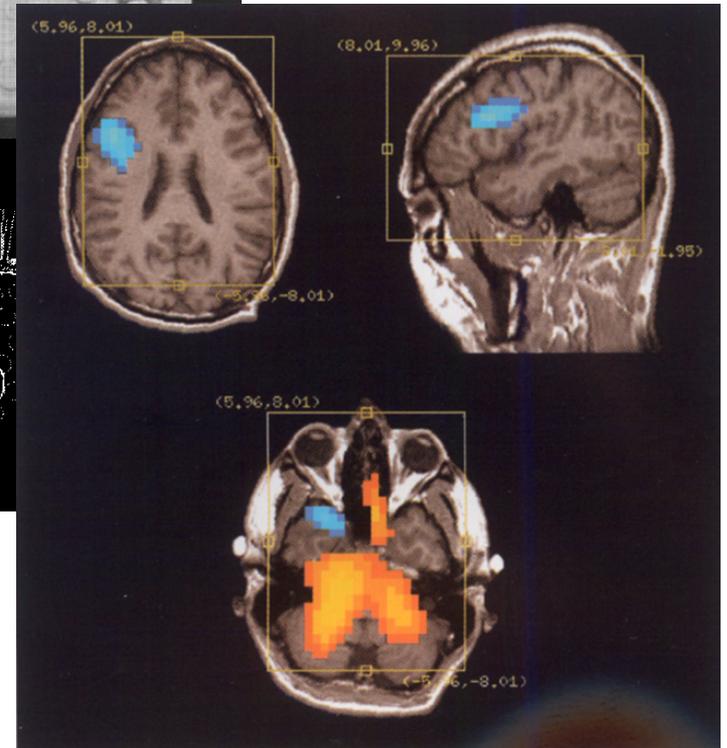


Prezzo inferiore ai 15 milioni

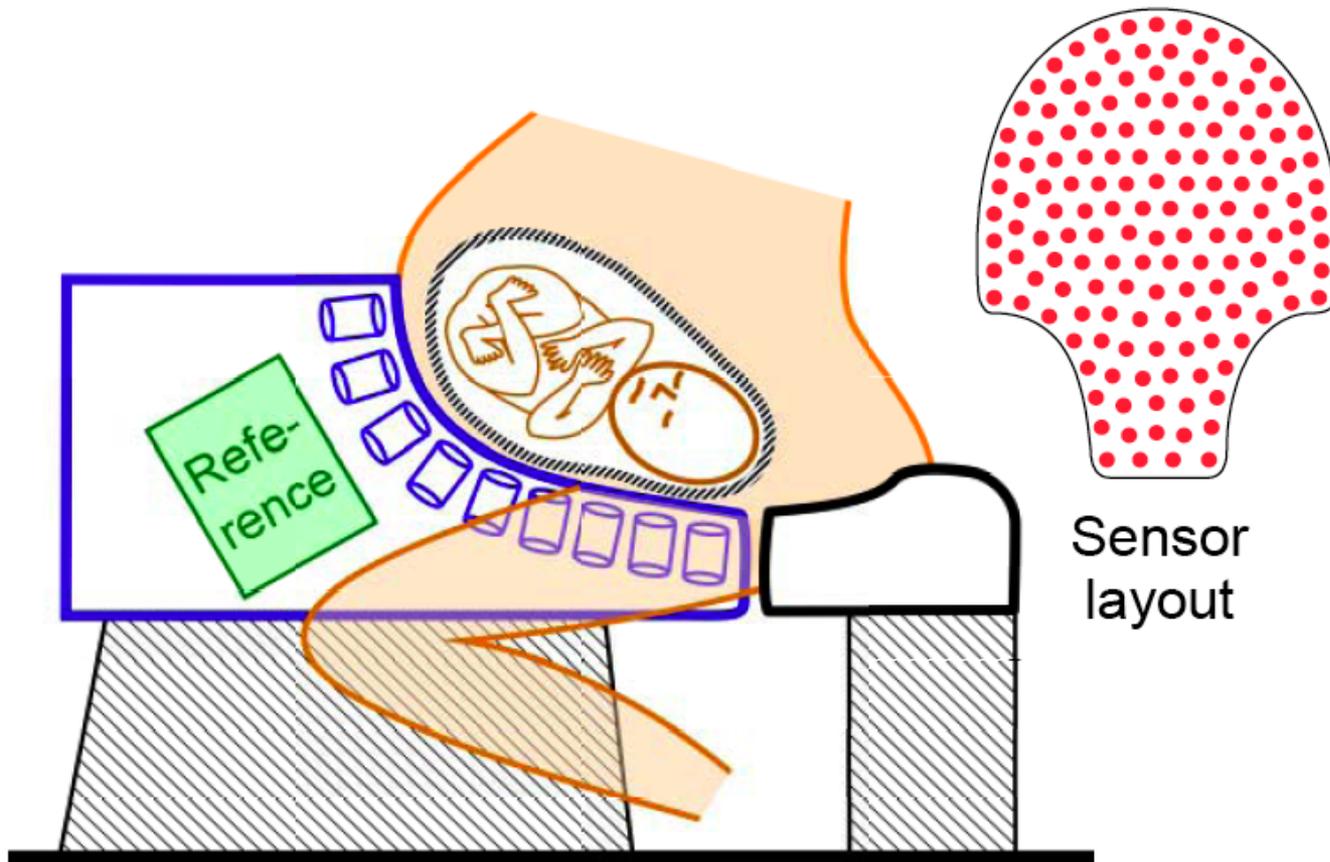
MagnetoEncepahloGraphy



MRI + MEG



Fetal MEG

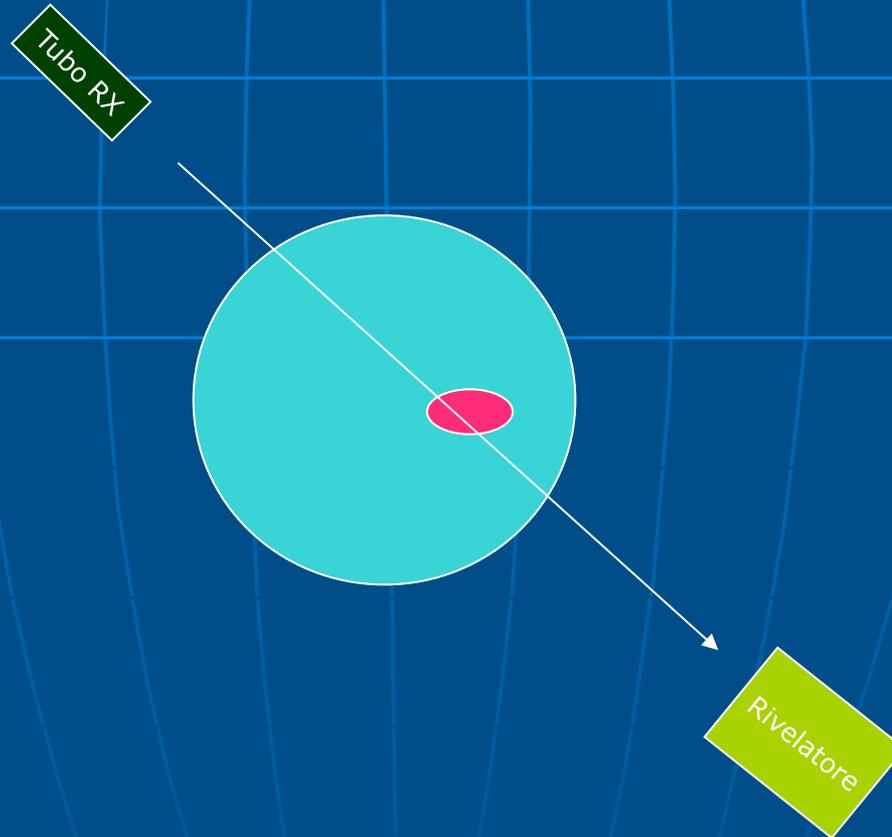


**Comfortable
measurement
of fetal and
maternal
abdominal
signals using
SARA**



TOMOGRAFIA

- Un fascio di RX attraversa una sezione dell'oggetto.
- La stessa sezione successivamente viene ruotata di piccoli angoli ed attraversata ancora dagli stessi RX.
- In seguito ad una rotazione di 360° tutta la sezione sarà stata attraversata dai RX.

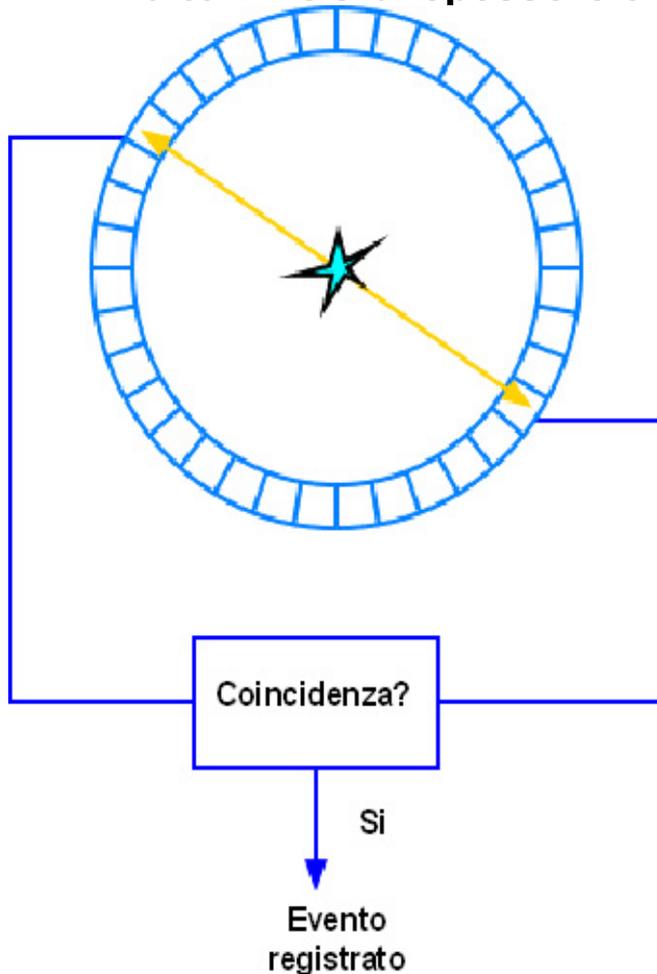




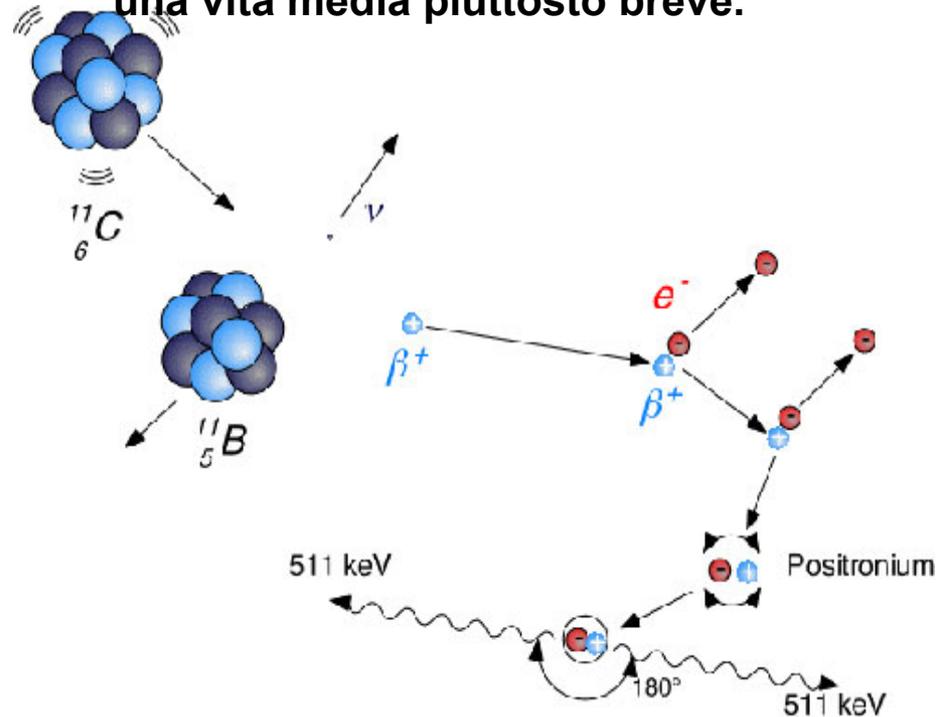
Positron Electron Tomography

Si tratta di una moderna tecnica medica per visualizzare organi interni.

Un apparecchiatura PET ha ~ 10.000 rivelatori di g rivalentori BGO di spessore 3 cm



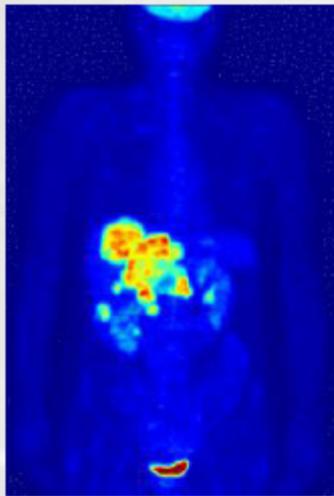
Al paziente viene iniettata una sostanza radiofarmacologica (prodotta da un ciclotrone) con una vita media piuttosto breve.



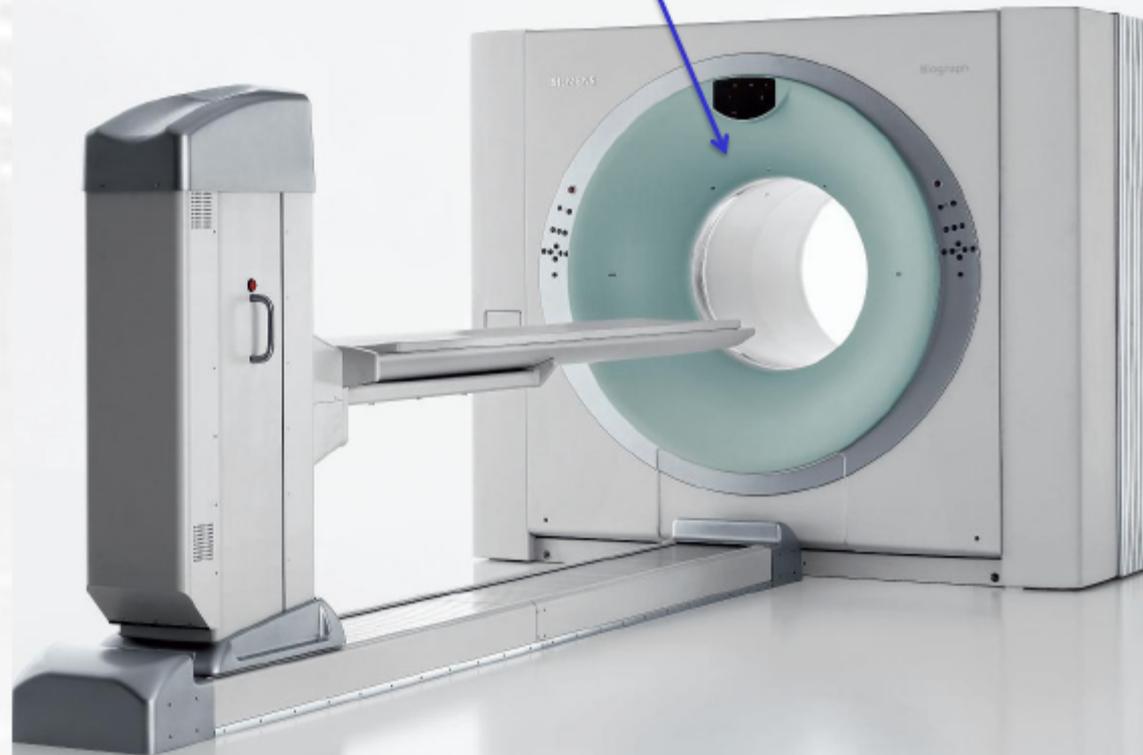
La sostanza iniettata raggiunge l'organo che si vuole visualizzare (cuore, cervello etc...) dove emette positroni ➔ l'annichilazione dei positroni con gli elettroni presenti del corpo produce 2 g emessi in direzione opposta

Esempio no. 1

PET: Tomografia ad emissione di positroni
per la diagnostica tempestiva dei tumori

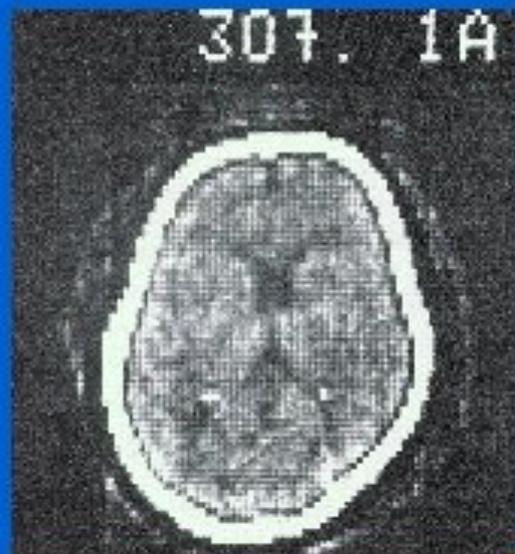


Qui ci sono cristalli usati nella
Fisica delle Particelle



I Fisici delle Particelle continuano a sviluppare
sistemi per PET sempre piu' sofisticati

1972 - 2001



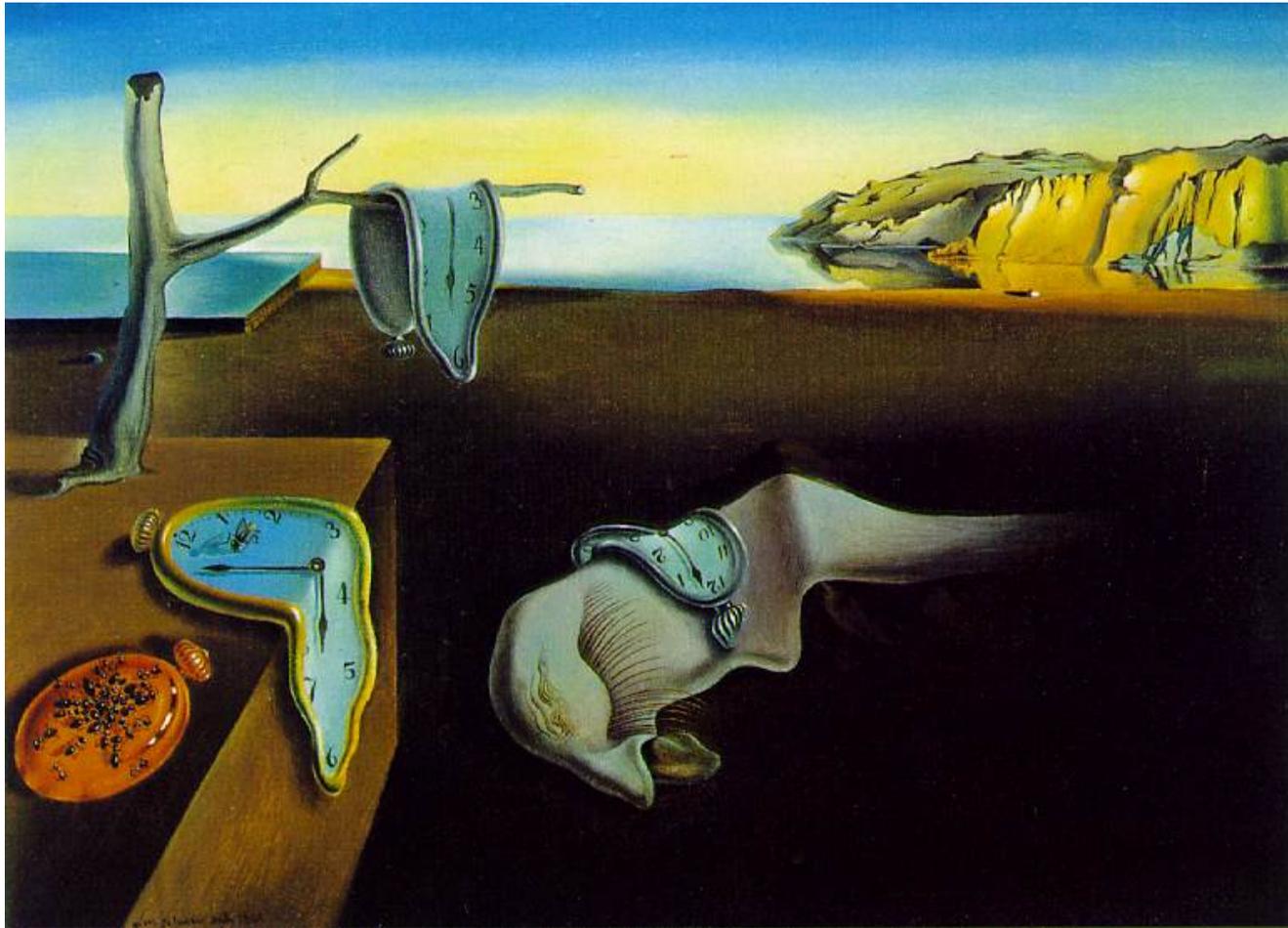
- 1972
 - 4 minutes rotation
 - 8 or 13 mm thick
 - ~10 cm in > 30 mins

- 2001
 - 0.5sec rotation
 - 1mm slices
 - 1 metre in 1min



Courtesy: Dr. Baker, CCF, Cleveland

The Persistence of memory, Salvador Dali, 1931



Epidemiologia radiologica
del tumore al seno

progetto EU

MammoGrid

Applicazioni nella realtà clinica:

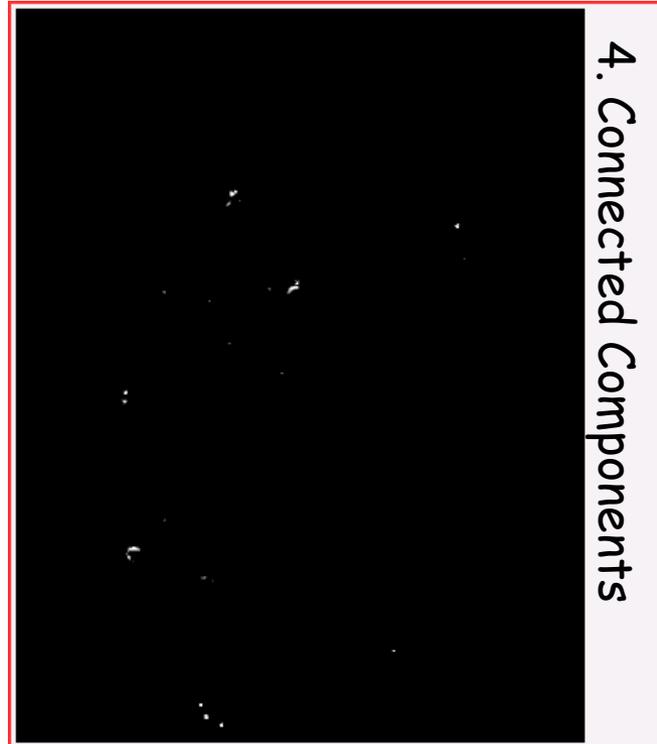
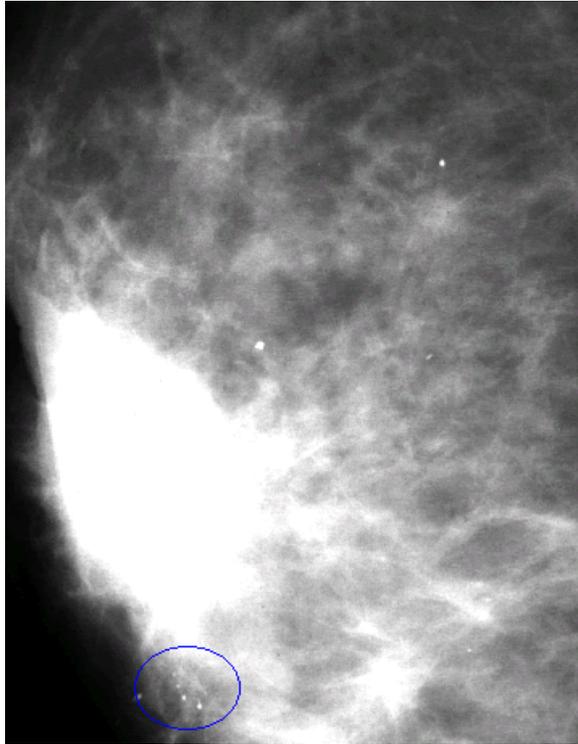
la stazione di **MAGIC-5** è stata scelta dalla Regione Piemonte come **CAD** per il suo screening mammografico

Epidemiologia radiologica del tumore al seno



Risultati CAD

➤ Microcalcificazioni: pre-processing, features, NN



Number of images: 139		Missed	FP/image	Specificity	Sensitivity
False Clusters	415	42	0.3	89%	
True Clusters	165	7			96%

Sopravvivenza a 5-anni:

96% per lesioni rivelate e trattate ad uno stadio precoce (*asintomatici*)

77% per lesioni ad uno *stadio medio* (quando la neoplasia ha raggiunto il tessuto circostante)

21% per lesioni ad uno *stadio tardo*, nelle quali la neoplasia ha raggiunto organi distanti.

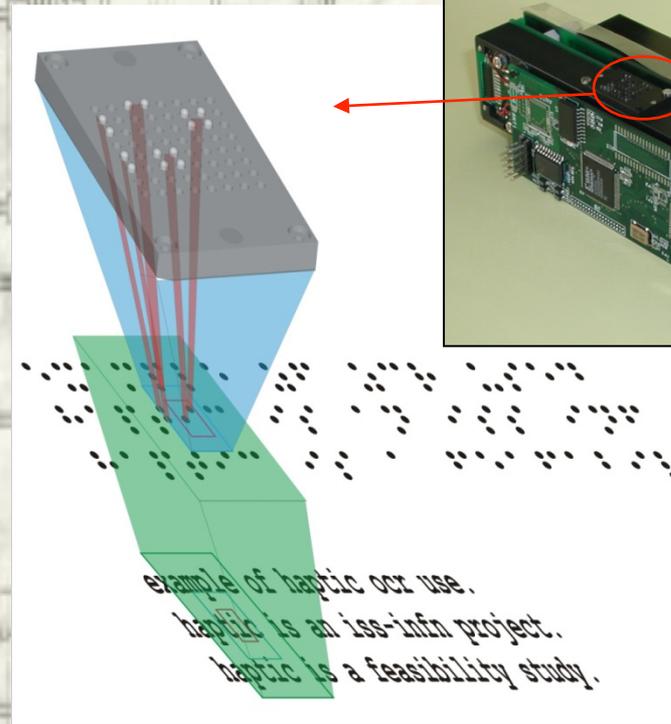
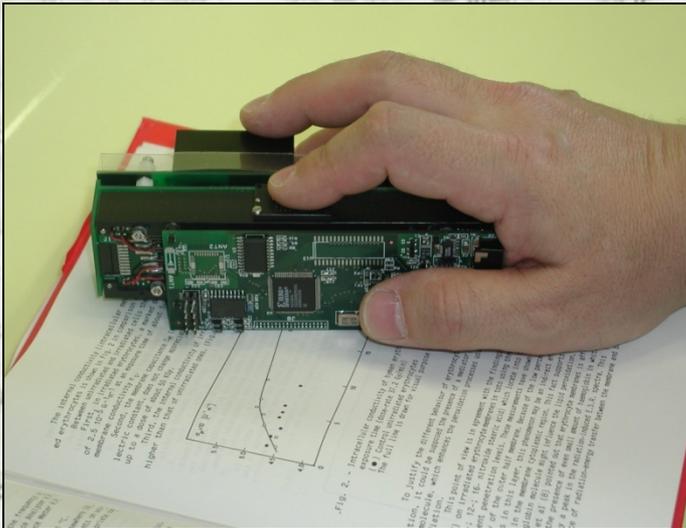
40 anni fa era del 12%

Esperimento Haptic

*Studio di fattibilità sulla
trasduzione tattile dinamica di stimoli visivi*

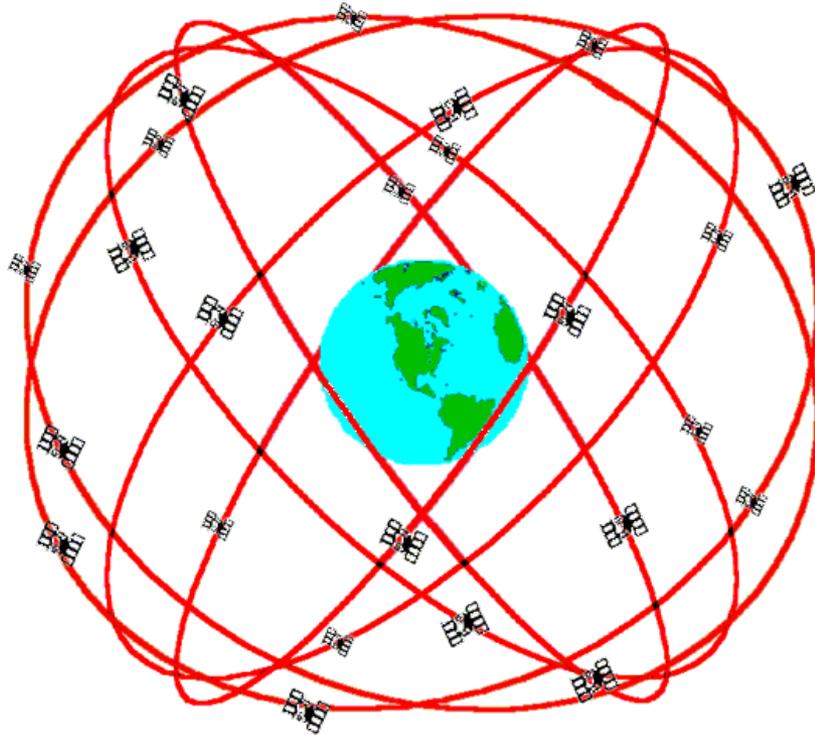
ISS, Roma2, Torino – collaborazione con l'Unione Nazionale Ciechi

Trasduzione dinamica tattile
In Braille



- sostituzione dei display Braille ingombranti e costosi
- fruizione di pubblicazioni non Braille

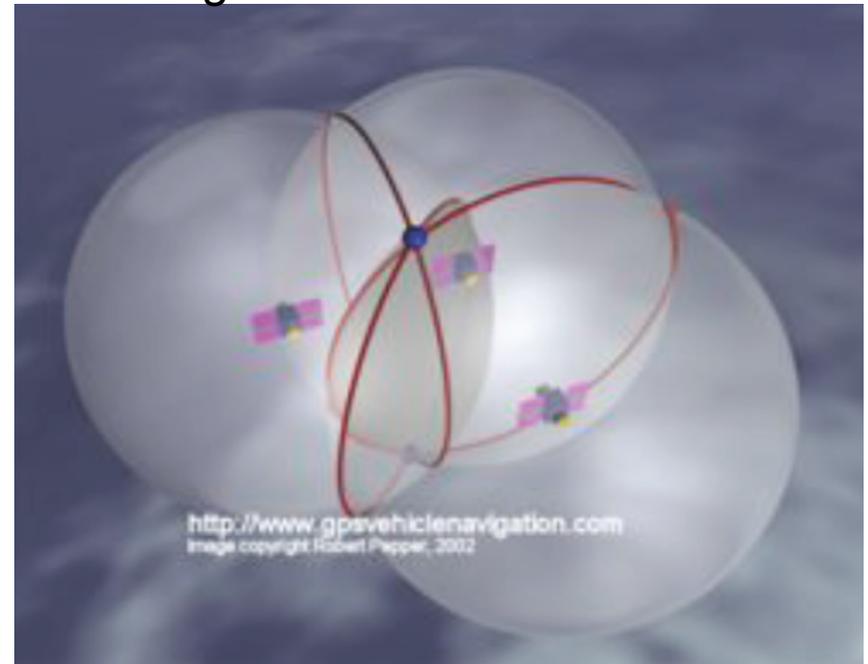
Il Global Position System (GPS) e la Relatività Generale



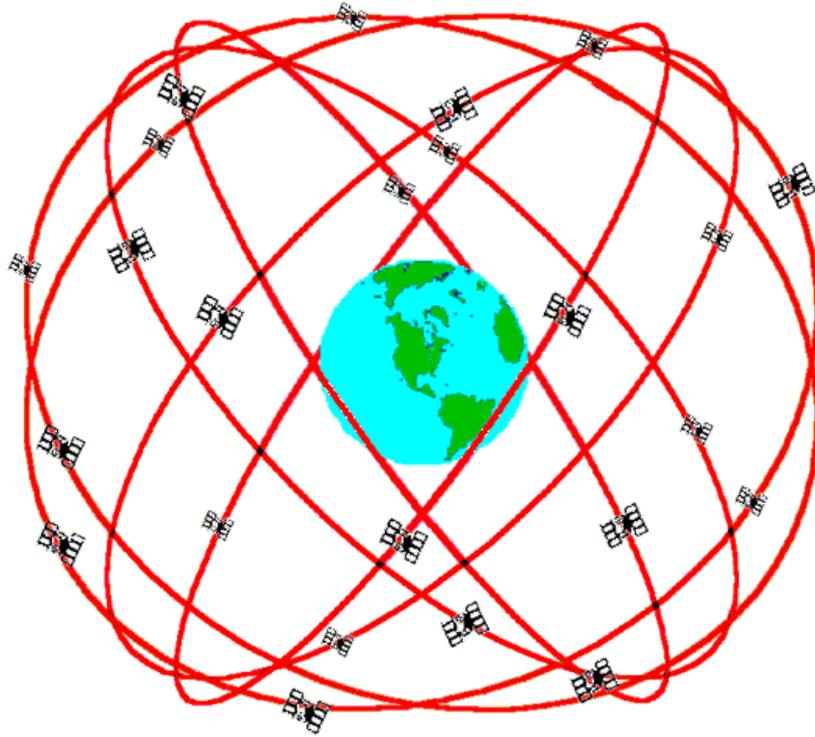
GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

Risoluzione spaziale
> 1 Km

Triangolazione n-dimensionale



Il Global Position System (GPS) e la Relatività Generale



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

Risoluzione spaziale
> 1 Km



Campo Gravitazionale
modificato rispetto al
concetto newtoniano



Correzioni di Relatività
Generale → risoluzione
< 1 cm

Acquisizione ed Analisi Dati



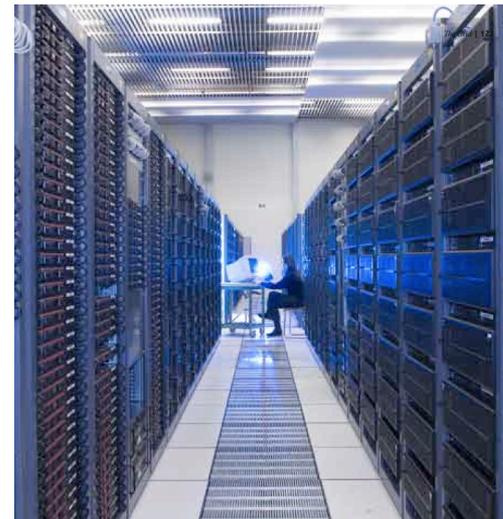
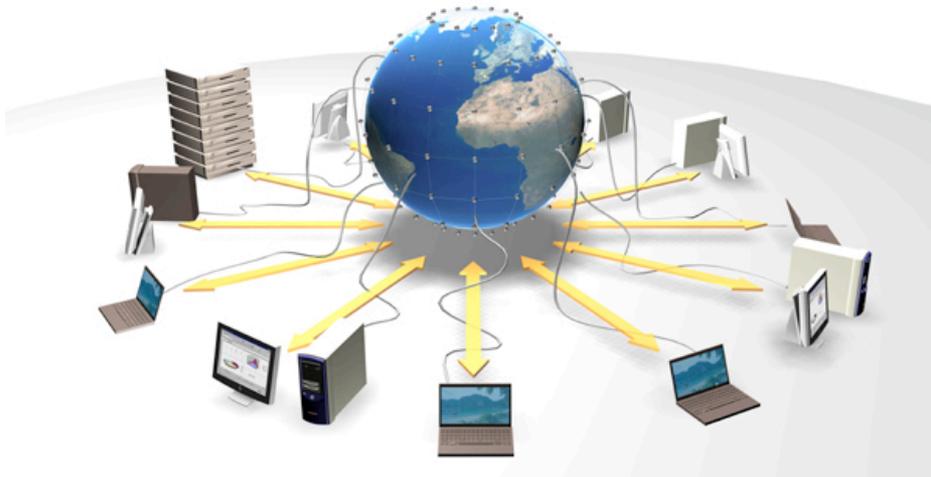
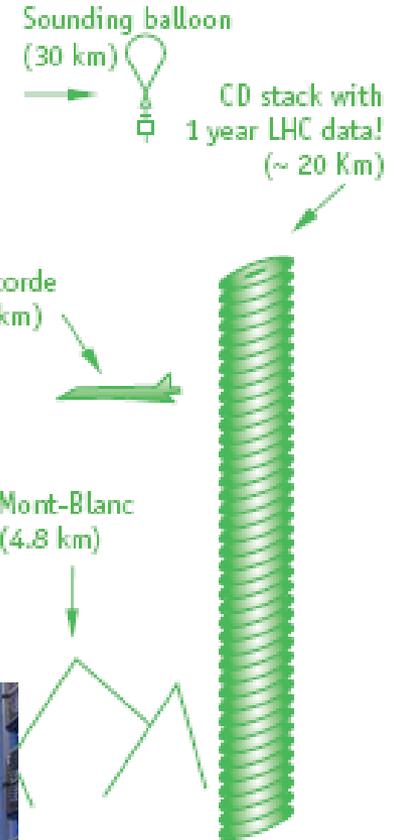
I dati degli esperimenti a LHC

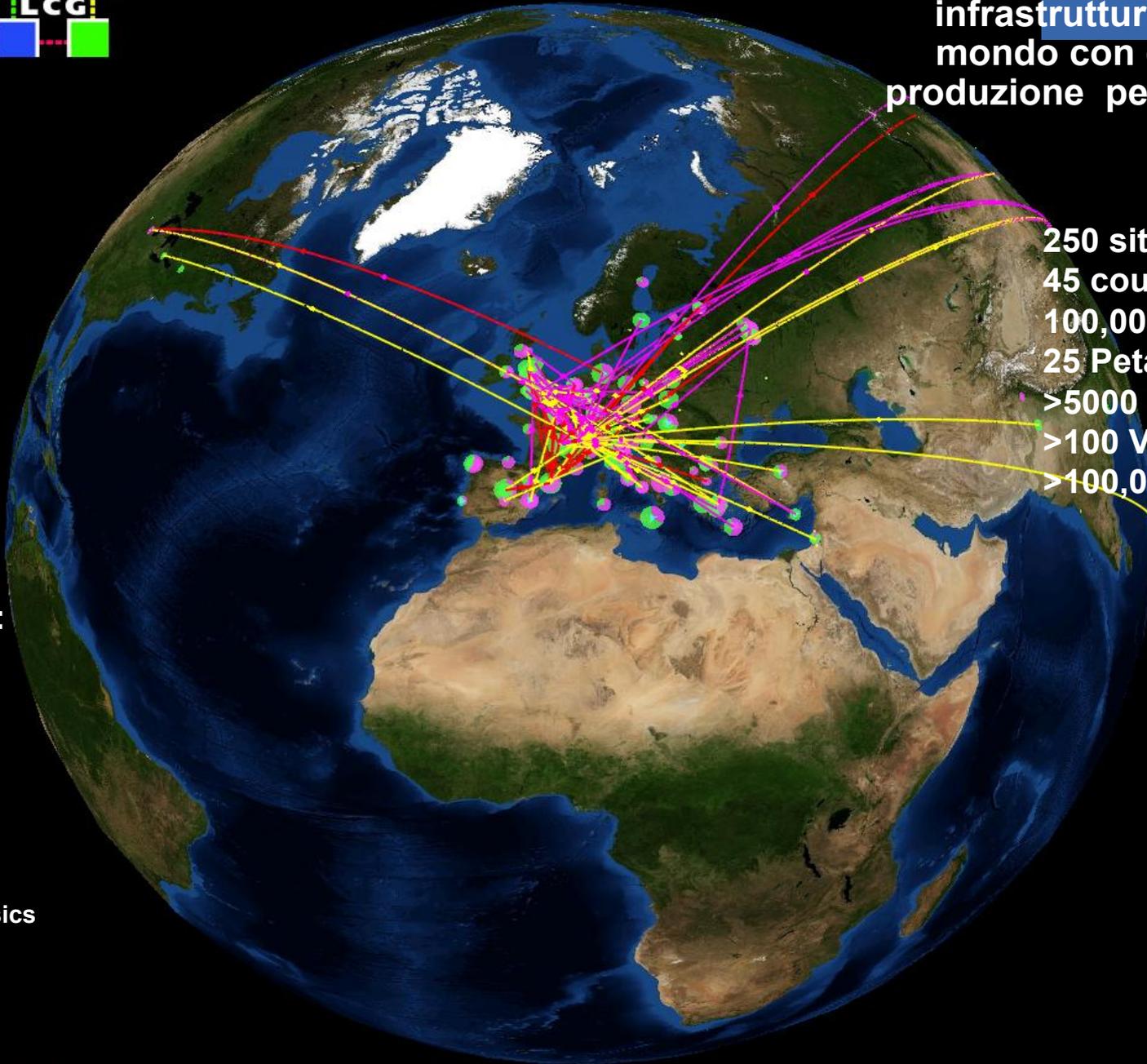
✓ La mole di dati prodotti dagli esperimenti a LHC e' enorme:
~ 1.3 GB/s (6 volte il contenuto dell' Enciclopedia Britannica)

→ se i dati venissero memorizzati su CD, ci vorrebbe
una pila di CD alta 20 km ogni anno!

L' analisi dei dati degli esperimenti al LHC richiede
soluzioni informatiche innovative!

✓ accesso via rete (GRID) all'informazione
archiviata in diverse località geografiche





**250 sites
45 countries
100,000 CPUs
25 PetaBytes
>5000 users
>100 VOs
>100,000 jobs/day**

Applications:
Archeology
Astronomy
Astrophysics
Civil Protection
Comp. Chemistry
Earth Sciences
Finance
Fusion
Geophysics
High Energy Physics
Life Sciences
Multimedia
Material Sciences
....

Il WEB è stato inventato al CERN



Tom Berens Lee
l'inventore del web

Sir Timothy John "Tim" Berners-Lee, londinese del 1955. Nel 1980 lavorando con un contratto al CERN, propose e realizzò un progetto basato sul concetto di ipertesto per facilitare lo scambio di informazioni fra i ricercatori. Il prototipo del sistema fu chiamato Enquire

Tornato al CERN nel 1984 creò il World Wide Web, per il quale progettò e costruì il primo browser.



Il primo sito web costruito da Berners-Lee (6 Agosto 1991): <http://www.w3.org/History/19921103-hypertext/hypertext/WWW/News/9201.html>

Il 30 Aprile 1993 è stato distribuito GRATUITAMENTE al pubblico il primo browser

Potreste pensare ad un mondo senza Internet?



La fisica dell'arte



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

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

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

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



MASAI

(Metodologie Applicative per Studi di Arte e Inquinamento)

Sezioni di Firenze, Genova, LNS, Milano

Istituzioni esterne partecipanti:

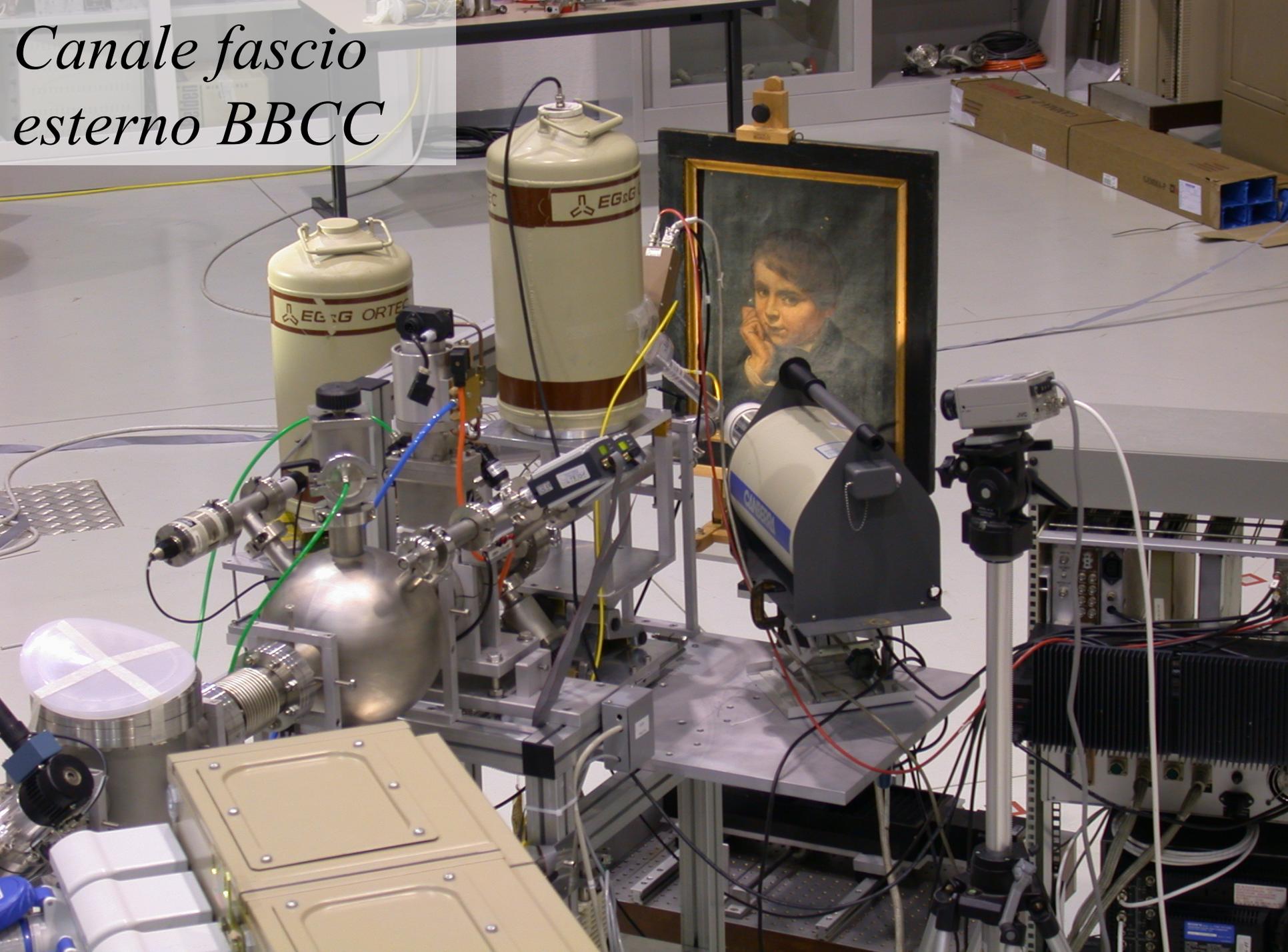
Laboratoire de Recherche des Musées de France (Louvre)

Opificio delle Pietre Dure di Firenze

Laboratorio Tandem de la Univerdidad Autonoma de Madrid

ARPA regionali

*Canale fascio
esterno BBCC*



*analisi IBA di frammenti vitrei rinvenuti negli scavi a
Villa Adriana, Tivoli*



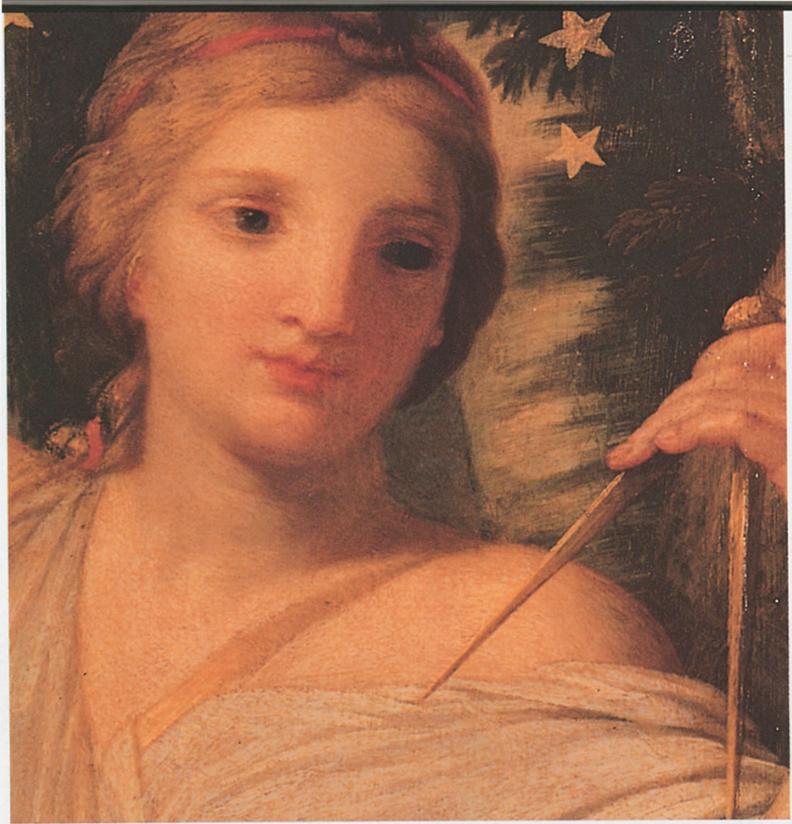
↔
1 cm



*Analisi PIXE-PIGE di
disegno su carta
preparata di scuola
veronese del 1500*

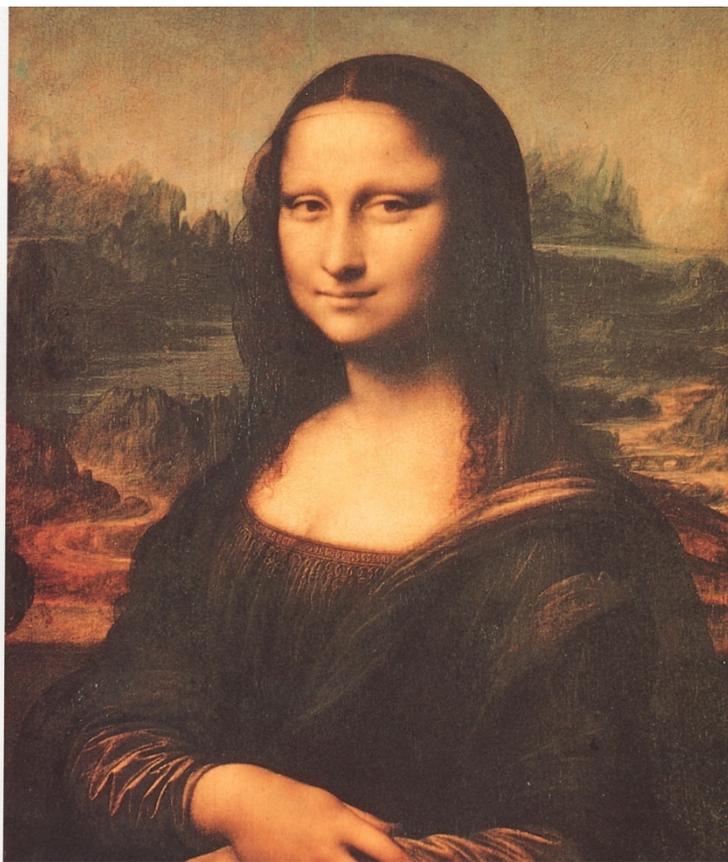
Pentimenti

Le Sueur – musa Urania (particolare)



Analisi dei pigmenti

Leonardo Da Vinci – La Gioconda



Riutilizzo tela

Rembrandt – Ritratto di giovane uomo Titus



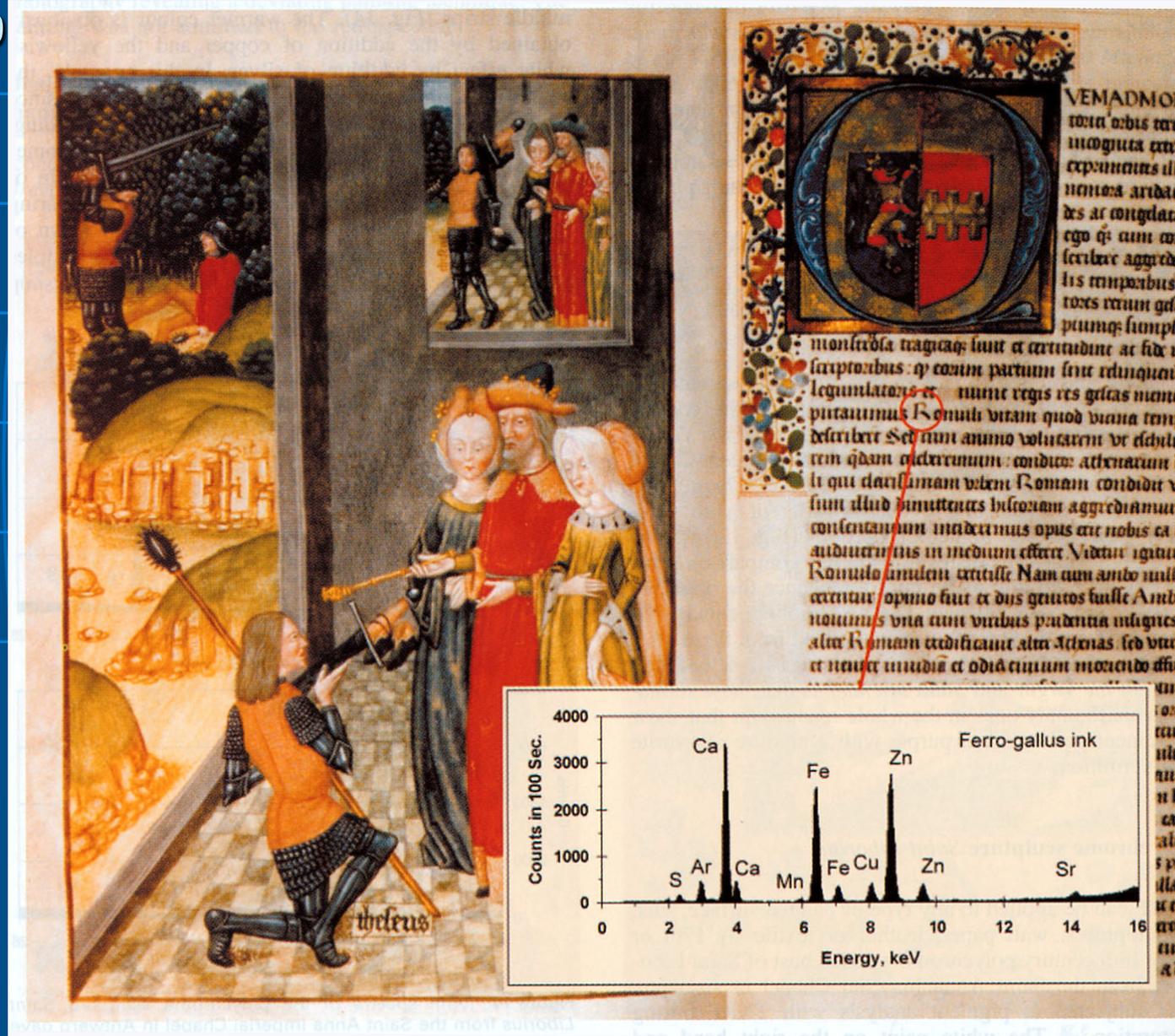
XRF dipinti

Van den Heuvel

Annunciazione

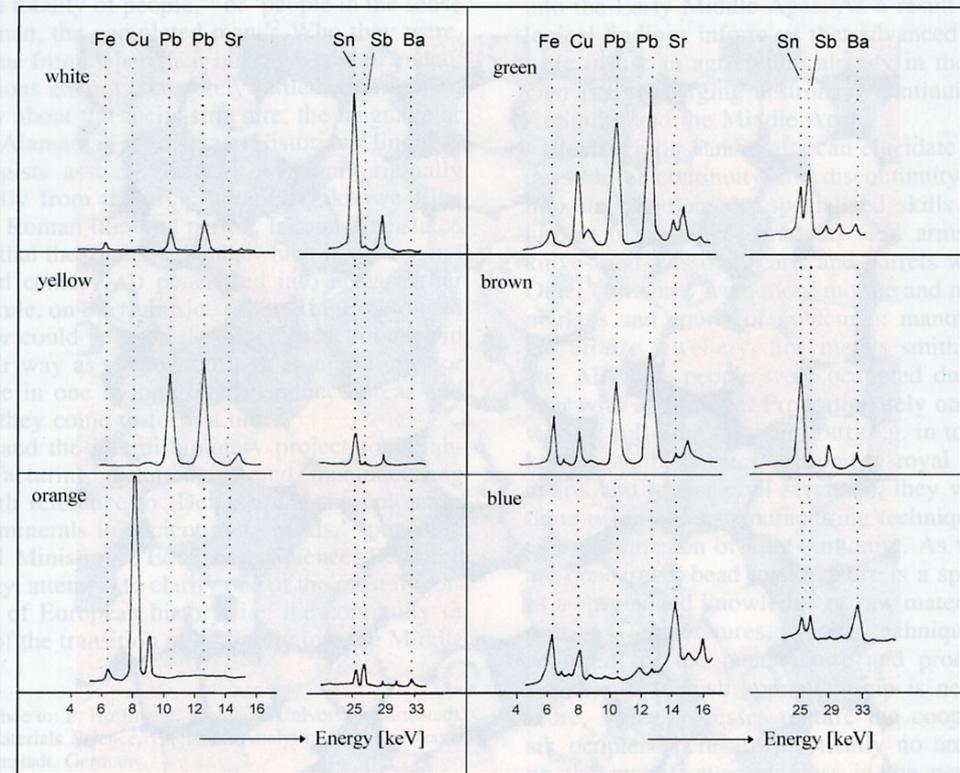


XRF inchiostro Raffaello de Mercatellis manoscritto n.109



XRF vetro

cimitero Merovingio - perline



Le mine anti-uomo

Ogni anno: 20000 vittime per “vecchie” mine antiuomo (20% bambini).

Sminamento “classico” troppo costoso:

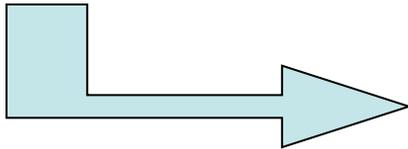
ispezione del terreno con sensori
di anomalia → allarme → estrazione
e neutralizzazione esplosivo

tempo: > 30 minuti

costo: 300-1000 \$

falsi allarmi: 99 %

Tutti gli esplosivi contengono ^{14}N
(20-30%, contro il <2 % normale)
I terreni minati sono ricchissimi di
azoto

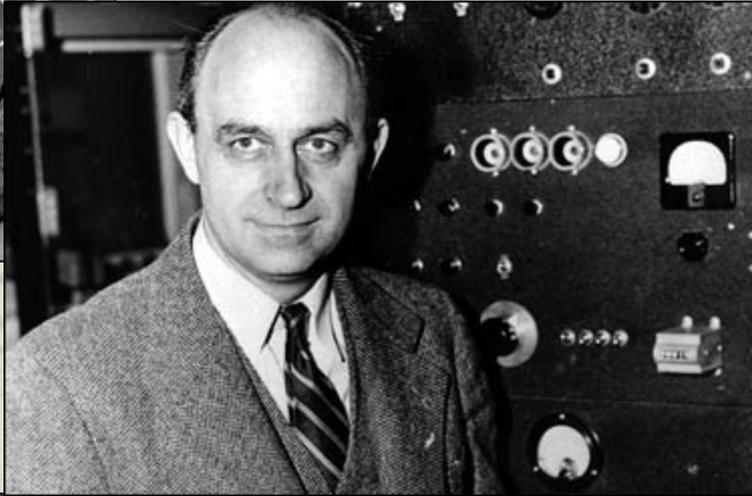
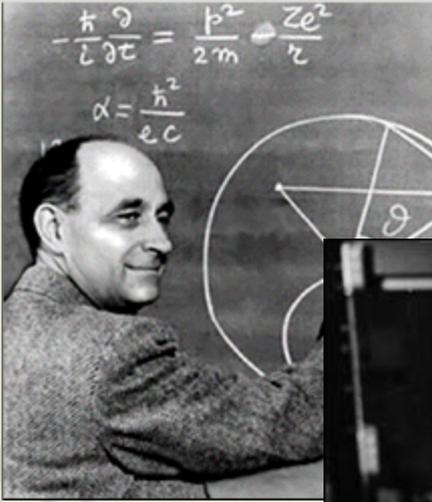


Reazione di cattura neutronica:
 $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{15}\text{N} + \gamma$ ($E_\gamma = 10.8 \text{ MeV}$)

Ragazza sulla sedia

La 4° dimensione
di Picasso (1907)





I'm still confused ...

... but at high level

E.Fermi, Chicago 1951

Come si vive nei grandi progetti di ricerca ?

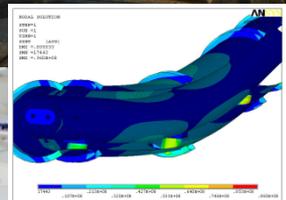
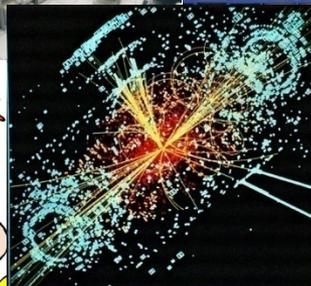
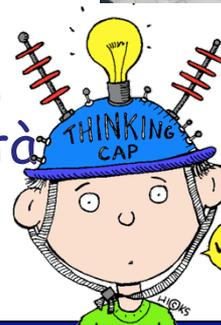
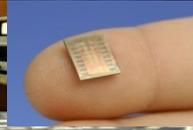
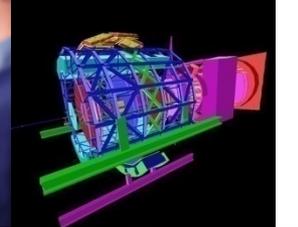
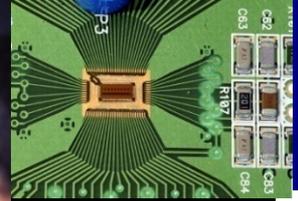
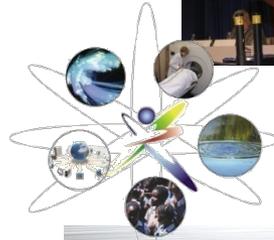
Attenzione ai costi fino allo spasimo:

- Non basta diminuire il costo iniziale
- Controlli lungo tutto il progetto

La responsabilità è condivisa:
Meetings! Comunicare !

Occorre integrare diverse discipline

Occorre anche sapersi integrare in un team ... senza sacrificare la creatività personale e la capacità di prendere decisioni.



Se l'importanza della scienza è stata, alcune volte, messa in dubbio è perché gli sforzi della specie umana verso le sue più belle aspirazioni sono stati imperfetti ...

Soprattutto, è attraverso gli sforzi quotidiani verso la scienza che il genere umano ha raggiunto la collocazione eccezionale che occupa sulla Terra. Noi dobbiamo appartenere a quelli che ... credono, invincibilmente, che la scienza trionferà sull'ignoranza e sulla guerra.



Marie Curie, 1926