



**Giulio Peruzzi**

**Le forze dell'universo**

Note sulla storia della fisica tra XVIII e XX secolo

26 ottobre 2012

**diapositive**

Ciclo di lezioni

**Scienza**

**Forme di conoscenza e di costruzione del mondo**

ottobre - dicembre 2012

**FSC**

Fondazione Collegio San Carlo

**La Fondazione Collegio San Carlo ricorda che le seguenti diapositive costituiscono materiale sottoposto alla normativa vigente in materia di diritto d'autore.**

**Le diapositive non possono essere né modificate, né commercializzate.**

**Possono invece essere condivise gratuitamente, ma solo citando la fonte e l'autore**

# Le forze dell'universo.

Note sulla storia della fisica tra XVIII e XX secolo

Giulio Peruzzi

Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Università di Padova

Modena, 26 ottobre 2012

## Indice degli argomenti

- 1 La forza di gravità (classica)
- 2 Elettromagnetismo (classico)
- 3 Nuove scoperte rivoluzionarie
- 4 Le teorie relativistiche di Einstein
  - La nuova teoria della gravitazione
  - Applicazioni. Global Positioning System (GPS)
- 5 La meccanica quantistica
- 6 Forze e particelle
  - Che cos'è una particella
  - Vedere il visibile e l'invisibile
- 7 Dall'ultra piccolo all'ultra grande
- 8 Conclusioni: anche su ciò di cui non si è parlato

**Salviati.** Io non ho detto che la Terra non abbia principio né esterno né interno al moto circolare, ma dico che non so qual de' dua ella si abbia; ed il mio non lo sapere non ha forza di levarglielo.

Ma se questo autore sa da che principio sieno mossi in giro altri corpi mondani, che sicuramente si muovono, dico *che quello che fa muover la Terra è una cosa simile a quella per la quale si muove Marte, Giove, e che e' crede che si muova anco la sfera stellata*; e se egli mi assicurerà chi sia il movente di uno di questi mobili, io mi obbligo a sapergli dire chi fa muover la Terra.

Ma più, io voglio far l'istesso s'ei mi sa insegnare chi muova *le parti della Terra in giù*.

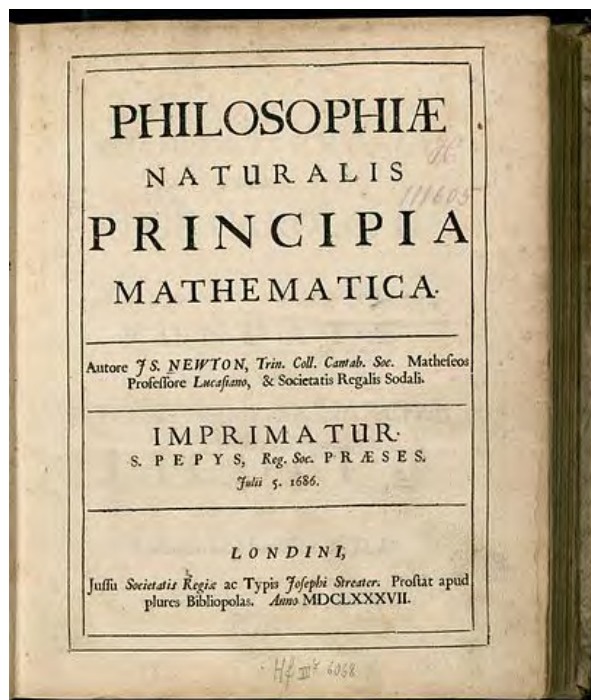
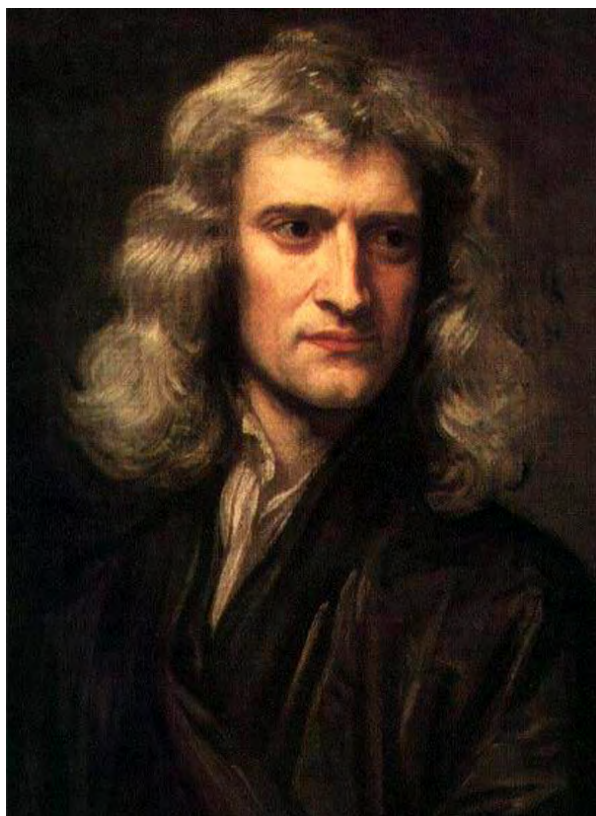
**Simplicio.** La causa di questo effetto è notissima, e *ciaschedun sa che è la gravità*.

**Salviati.** Voi errate, signor Semplicio; voi dovevi dire che *ciaschedun sa ch'ella si chiama gravità*.

Ma io non vi domando del nome, ma dell'essenza della cosa: della cui essenza voi non sapete punto più di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro, eccettuatone il nome, che a questa è stato posto e fatto familiare e domestico per la frequente esperienza che mille volte il giorno ne veggiamo; *ma non è che realmente noi intendiamo più, che principio o che virtù sia quella che muove la pietra in giù, di quel che noi sappiamo chi la muova in su, separata dal proiciente, o chi muova la Luna in giro, eccettoché (come ho detto) il nome [...]*.

[Opere, VII, p. 260]

# Newton (1642-1727)



- **Principi della dinamica**, compresa la definitiva formulazione del principio d'inerzia.
- **Principio di equivalenza** come dato d'esperienza e formulazione della **legge di gravitazione universale**.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Esiste una sola fisica che unifica la fisica celeste e terrestre.

- **Sviluppi nel Settecento e nell'Ottocento**. Chiarificazione della relatività cosiddetta galileiana e delle sue conseguenze (per esempio la legge di somma delle velocità). Chiarificazione delle proprietà geometriche dello spazio e del tempo e loro legame con le leggi di conservazione (simmetrie).



## Osservazioni ed esperimenti

- Conferme della gravitazione universale dalla **scoperta di nuovi pianeti** (Urano, William Herschel 1781; Nettuno, John Couch Adams, Urbain Le Verrier, Johann Gottfried Galle 1846).
- Tra il 1771 e il 1789, Henry Cavendish e Charles Augustin Coulomb scoprono che **le forze tra cariche e magneti a riposo** (elettrostatica e magnetostatica) seguono la stessa legge delle forze di attrazione gravitazionale.

## Michael Faraday e James Clerk-Maxwell

- **Linee di forza** come embrioni del concetto di campo.
- **Unificazione di elettricità, magnetismo e ottica** nelle “equazioni di Maxwell” (1864) per il campo elettromagnetico.
- Una **nuova costante di natura**: la velocità della luce.
- **È più fondamentale** la meccanica di Galileo e Newton o l'elettromagnetismo?

- **La rinascita dell'atomismo nell'Ottocento:** la chimica e *la teoria cinetica dei gas*
- **Pneumatica, elettricità, magnetismo e luce** incrociano sempre più frequentemente le loro strade (sul versante sia scientifico sia tecnologico): denominatore comune è l'interesse per i cosiddetti *bagliori nel vuoto*.
- Lo studio sistematico dei "bagliori nel vuoto" è all'origine delle tre fondamentali scoperte - **i raggi X, la radioattività e l'elettrone** - dalle quali partono le rivoluzioni della fisica del XX secolo: la *teoria della relatività* di Einstein e la *meccanica quantistica*.
- In particolare la scoperta dell'elettrone è il primo passo verso **l'indagine della costituzione atomica** (e subatomica) della materia.

- **Spettroscopia** (Gustav Robert Kirchhoff e Robert Wilhelm Bunsen, 1859)
- **Raggi X** (Wilhelm Conrad Röntgen, 1895)
- **Radioattività** (Antoine Henri Becquerel, 1896)
- **Elettrone** (Joseph John Thomson, 1897)

## Einstein (1879-1955)



G. Peruzzi (Dip. di Fisica e Astronomia)

Le forze dell'universo

Modena, 26 ottobre 2012

11 / 42

- **1905 - Relatività ristretta** ("Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento"): (a) **tutte** le leggi di natura restano invariate in forma nel passaggio **da un sistema di riferimento inerziale a un altro**; (b) **la velocità della luce è una costante** indipendentemente dallo stato di moto della sorgente.
- **Elettromagnetismo più fondamentale della meccanica classica.** Quest'ultima perde le sue pretese universali e diviene un'approssimazione utile nel caso di corpi in moto a velocità piccola rispetto a quella della luce.
- **Muta la geometria dello spazio-tempo**, ma ancora **lo spazio-tempo** si comporta come un palcoscenico che **condiziona la descrizione degli eventi fisici senza esserne influenzato.**

# La nuova teoria della gravitazione

Come arrivò Einstein a formulare la **relatività generale**?

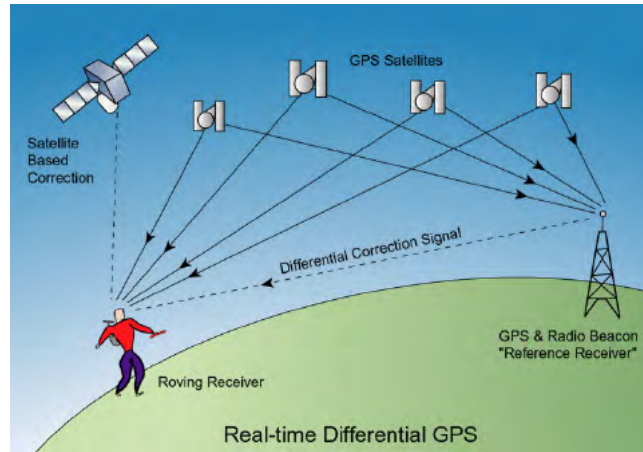
Fu nel **1907** - scrive Einstein nel manoscritto conservato alla *Morgan Library* di New York - che ebbi *il pensiero più felice della mia vita*.

Il **campo gravitazionale ha solo un'esistenza relativa** [...]. In realtà per un osservatore che cada liberamente dal tetto di una casa non esiste alcun campo gravitazionale. Infatti, se l'osservatore lascia cadere dei corpi, questi permangono in uno stato di quiete o di moto uniforme rispetto a lui [...]. **L'osservatore di conseguenza interpreta il proprio stato come uno "stato di quiete"**.

Grazie a quest'idea, **quella singolarissima legge sperimentale** secondo cui, in un campo gravitazionale, tutti i corpi cadono con la stessa accelerazione, veniva improvvisamente ad acquistare un significato fisico profondo.

- **1915 - Relatività generale.**  
*Punto di partenza:* la formulazione relativistica della legge di gravitazione universale di Newton.
- Necessario **generalizzare il postulato di relatività anche ai sistemi di riferimento in moto accelerato.**
- La geometria dello **spazio-tempo agisce sui moti della materia e dell'energia** e a sua volta **è determinata dalla distribuzione della materia e dell'energia.**





**Satelliti** - **Altezza**: circa 20.200 km dalla superficie terrestre; **raggio dell'orbita**: circa 26.600 km; **periodo orbitale**: circa 12 ore; **velocità**: circa 4 km/s.

**Correzioni** - **Dilatazione temporale** (RR): circa  $-7$  microsec. al giorno.

**Redshift (blueshift) gravitazionale** (RG): circa  $+45$  microsec. al giorno.

L'errore complessivo dell'ordine dei  $+38$  microsec. al giorno implica **un errore nella posizione dell'ordine dei 12 Km**. Altre fonti di errore provengono dall'eccentricità dell'orbita ed effetti come l'*effetto Sagnac*.

## La meccanica quantistica

- 1925-26. La meccanica quantistica: **per oggetti molto piccoli** (dimensioni atomiche o sub-atomiche) **non valgono più la meccanica classica e l'elettromagnetismo classico.**
- **1925 - Prima formulazione** (meccanica delle matrici): Heisenberg, Born e Jordan, e indipendentemente Dirac.
- **1926 - Seconda formulazione** (teoria ondulatoria): Schrödinger.

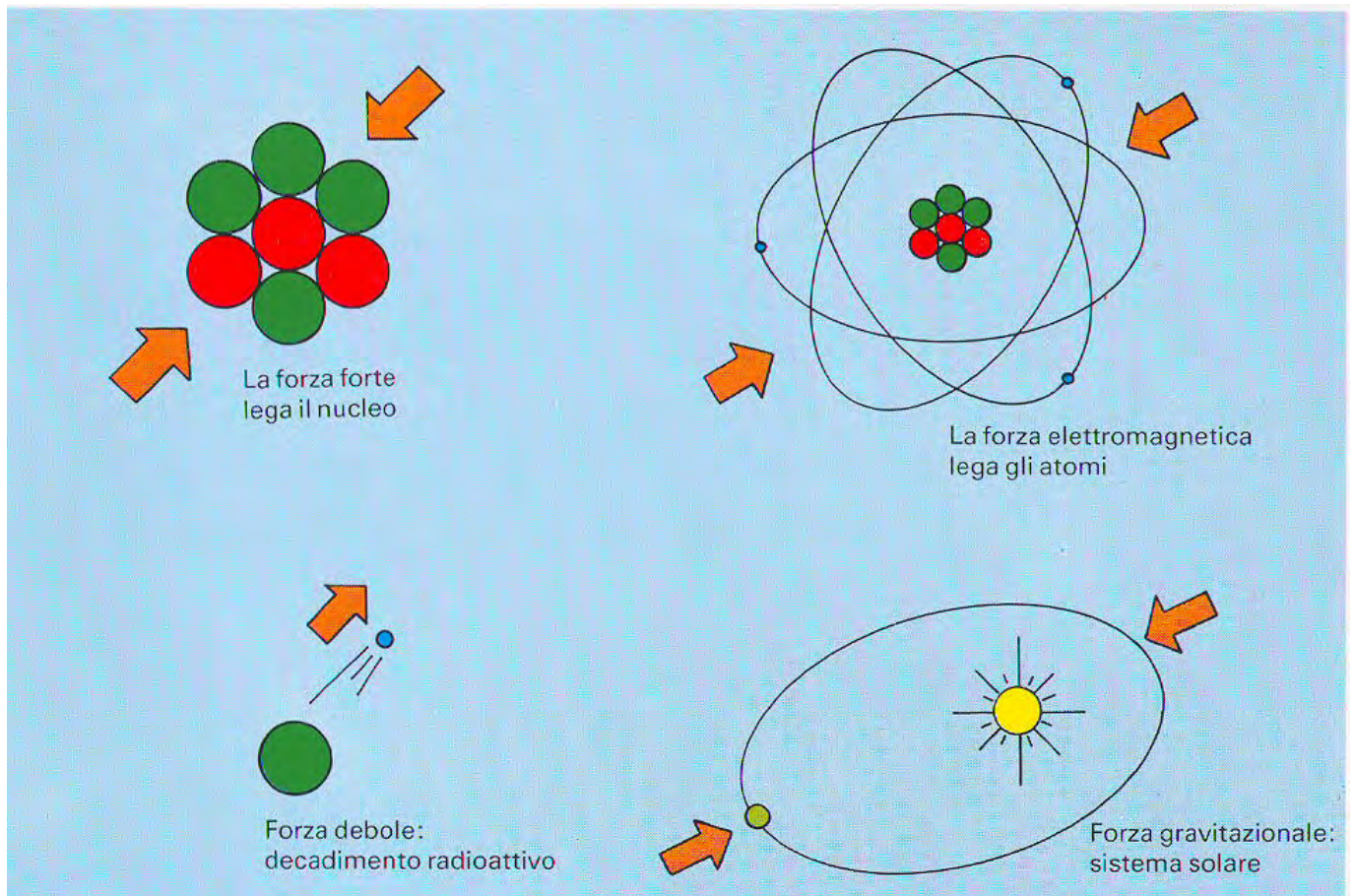
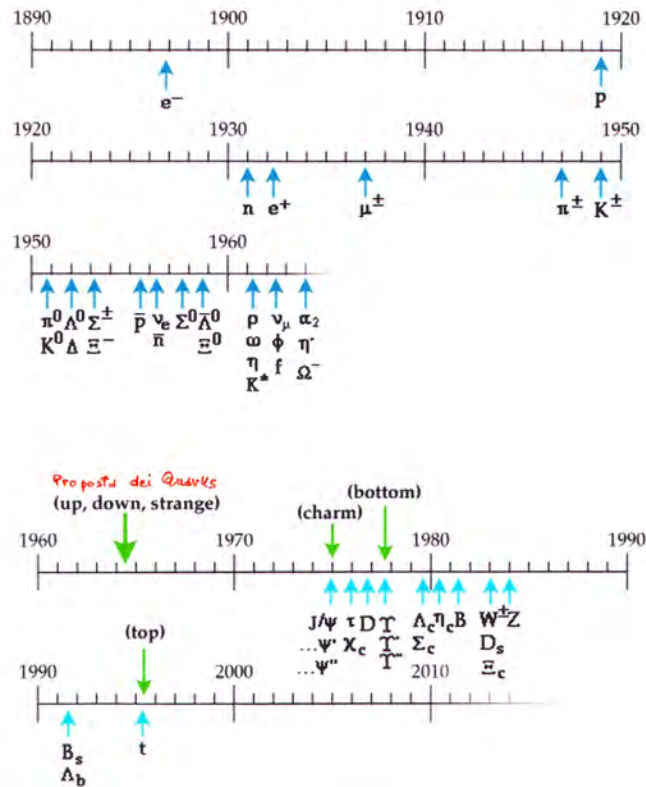
## Forze e particelle

- **1921 - James Chadwick ed Étienne Bieler:** prima evidenza delle *interazioni nucleari* (interazioni forti), quelle che tengono insieme neutroni e protoni nel nucleo atomico. La teoria arriverà solo negli anni '70 (cromodinamica quantistica).
- **1933 - Enrico Fermi:** *interazioni nucleari* (interazioni deboli). Prima teoria del decadimento  $\beta$  (un neutrone decade in un protone + elettrone + neutrino):  $n \rightarrow p + e^- + \nu$
- **1949 - Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger, Richard P. Feynman:** *elettrodinamica quantistica*, la prima teoria di campo quantistica prodromo agli sviluppi del *Modello Standard delle particelle*.

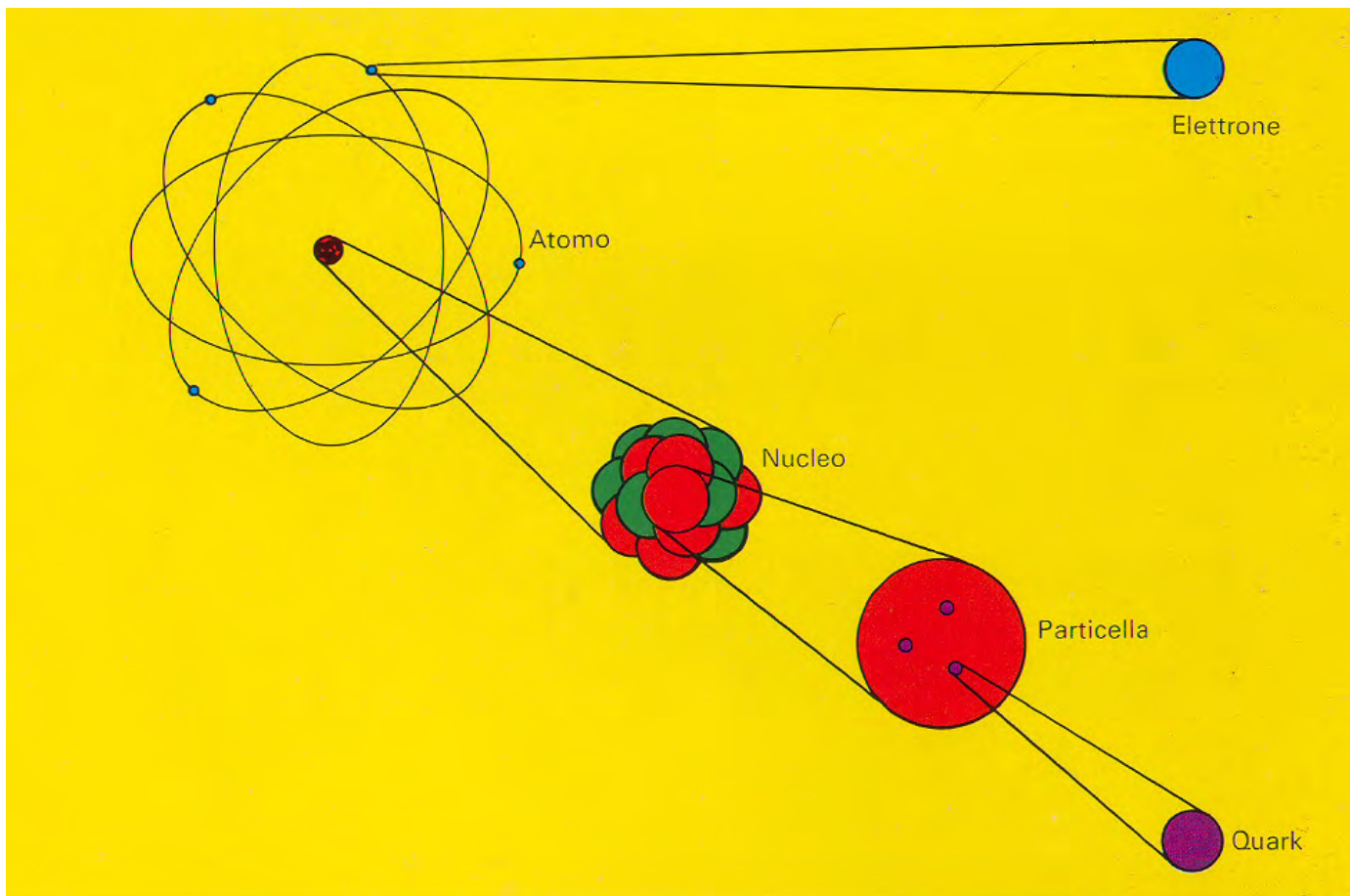
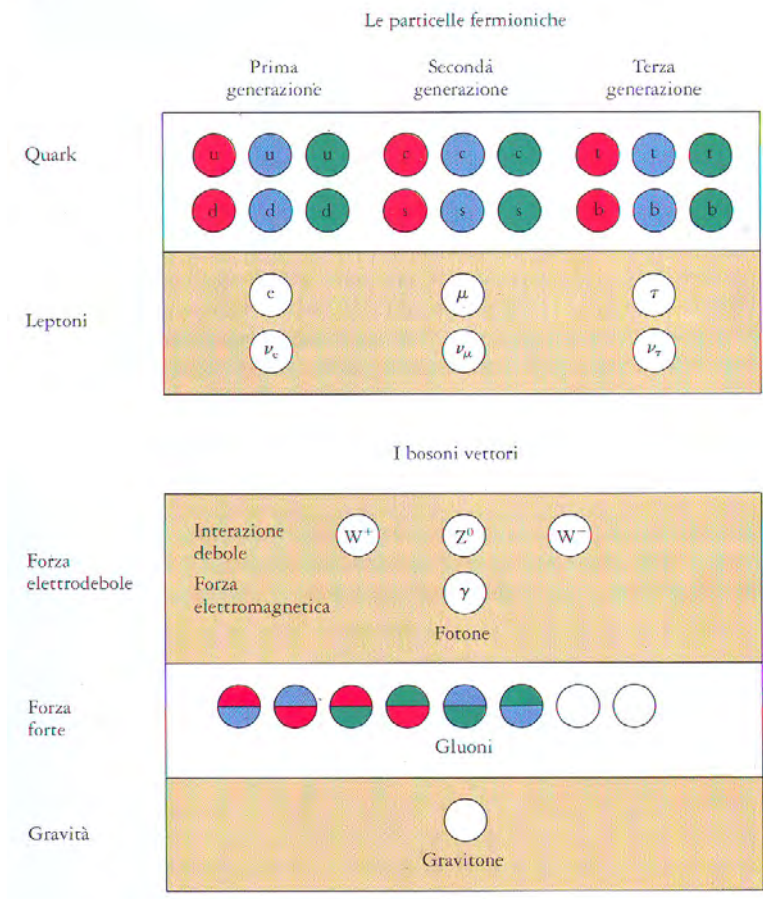
## Che cos'è una *particella*?

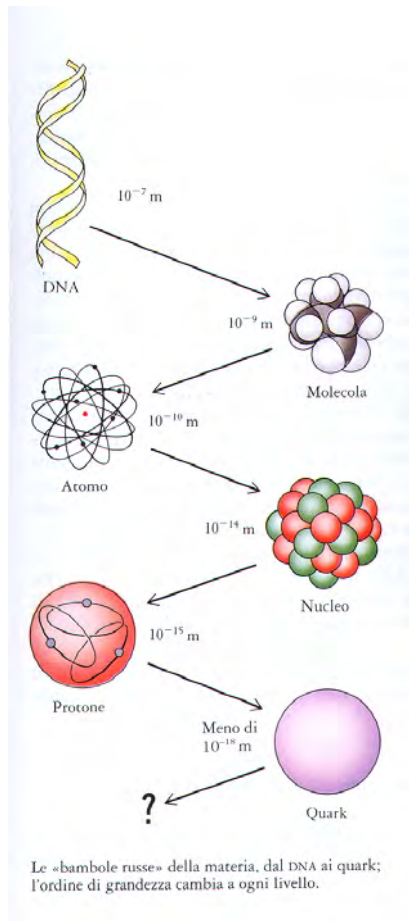
- Dal punto di vista sperimentale una *particella* è **un pacchetto rivelabile di energia e impulso**. Questo vale sia per le particelle sia per le quasi-particelle (fononi, plasmoni, ecc.)
- La teoria attuale della materia e dei campi prende il nome di ***Modello Standard delle particelle***  
mec. quantistica + rel. ristretta = teoria quantistica dei campi.
- **Costituenti della materia:** *leptoni* e *quarks*. Proprietà di invarianza (simmetrie locali) specificano **la natura e la struttura delle interazioni** (elettrodeboli e forti).

**CRONOLOGIA DELLA SCOPERTA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI**



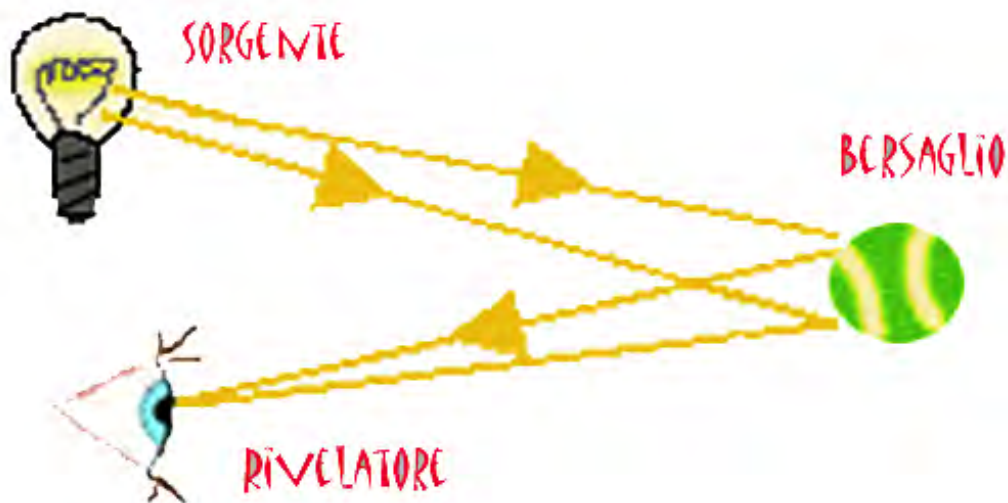






## Vedere il visibile e l'invisibile

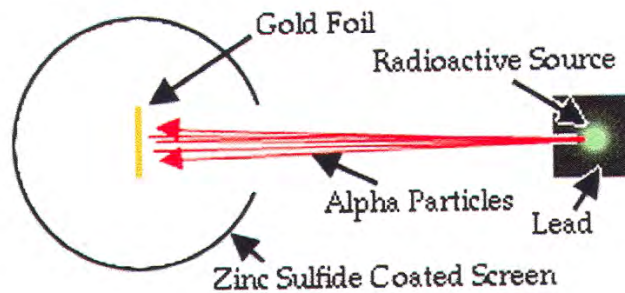
Uno strumento di uso diffuso: **l'occhio**.



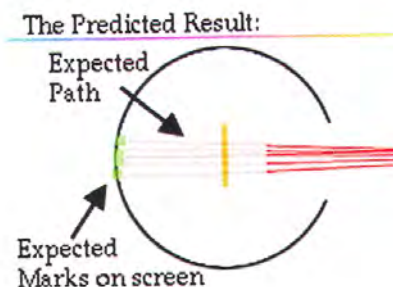
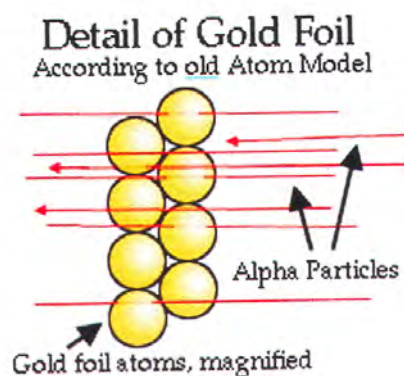


L'**esperimento di Rutherford** (1911) prototipo delle attuali tecniche di indagine attraverso l'analisi degli urti tra particelle e della loro diffusione (tecniche di *scattering*).

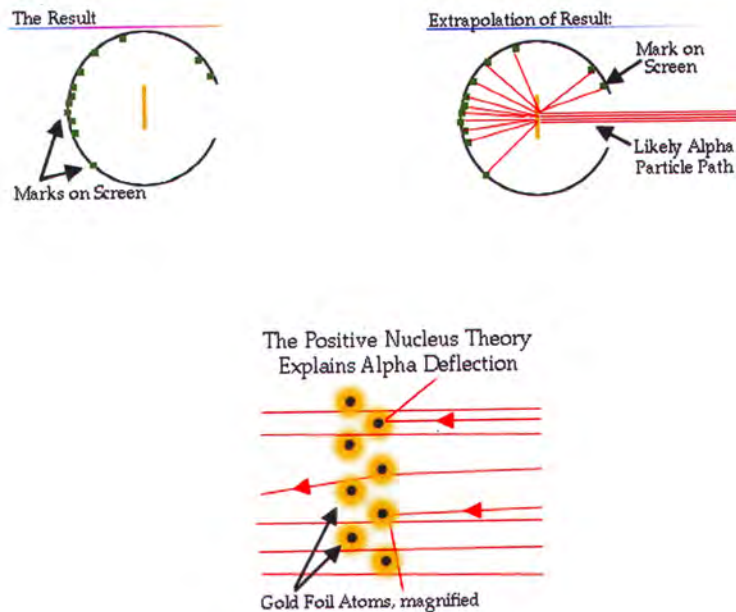
## SCHEMA DELL'APPARATO SPERIMENTALE



## RISULTATO ATTESO



## RISULTATO OTTENUTO



- Aumentando l'energia aumenta la risoluzione. Le **particelle** possono comportarsi come **onde** la cui lunghezza d'onda va come l'inverso dell'energia: più piccola è la lunghezza d'onda (più alta è l'energia) maggiore è la risoluzione.

$$E = h\nu \quad \text{e} \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$$

- $E = mc^2$ . Una particella di massa  $m$  può essere 'creata' solo se si dispone di abbastanza energia.
- Gli **acceleratori** si basano su questi due fondamentali caratteri (quantistico e relativistico) degli 'oggetti' microfisici e, allo stesso tempo, permettono una loro verifica.

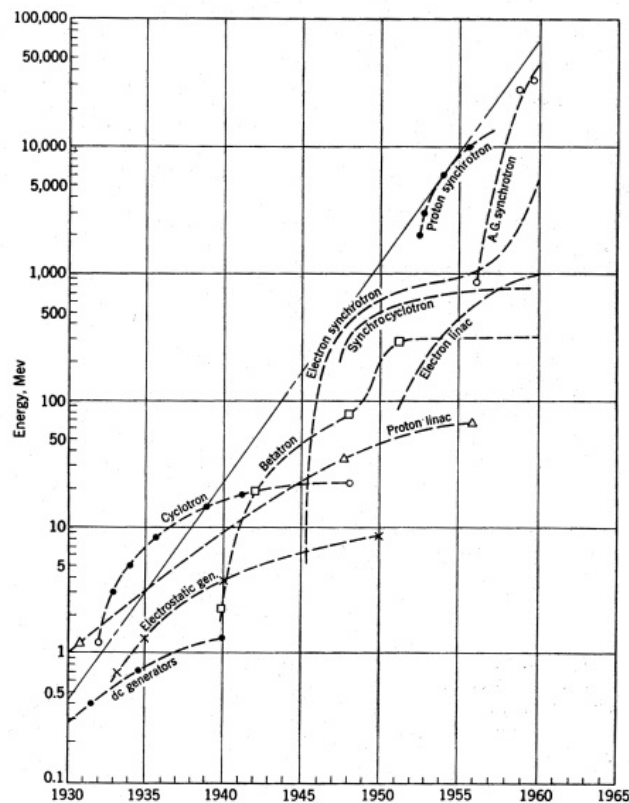
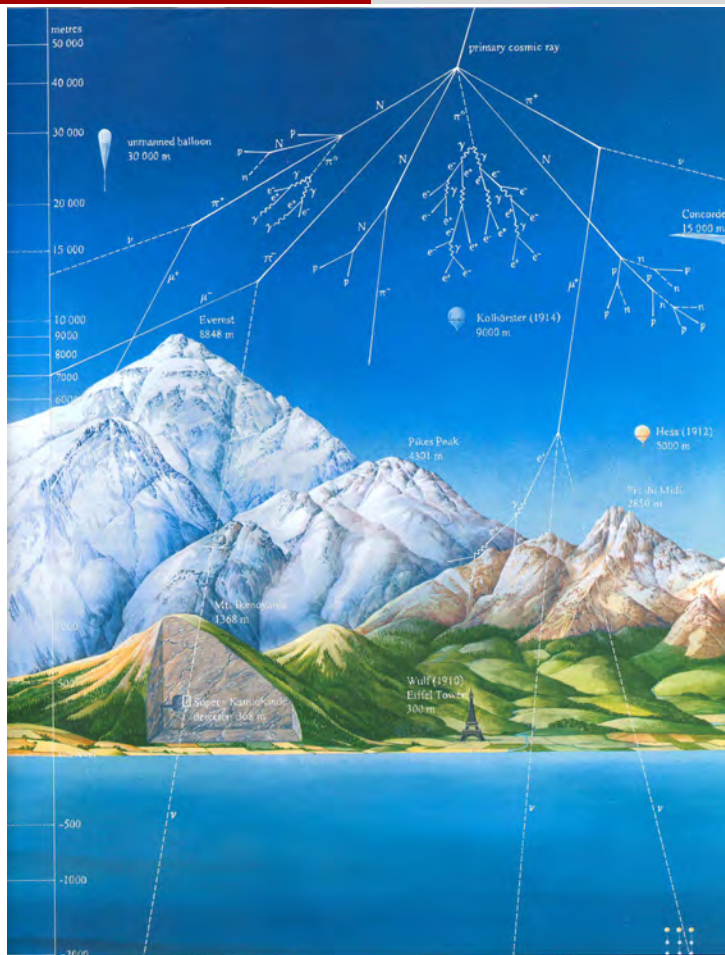
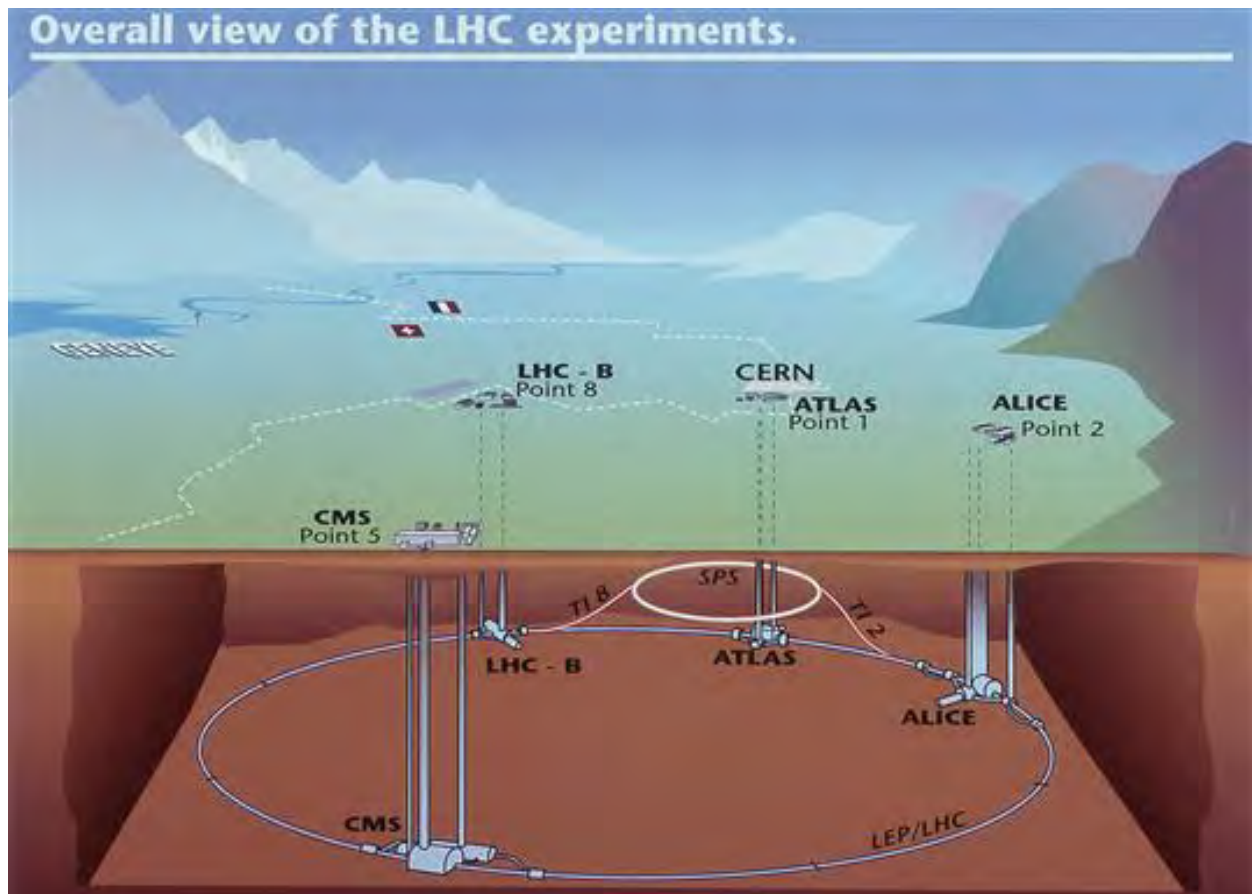
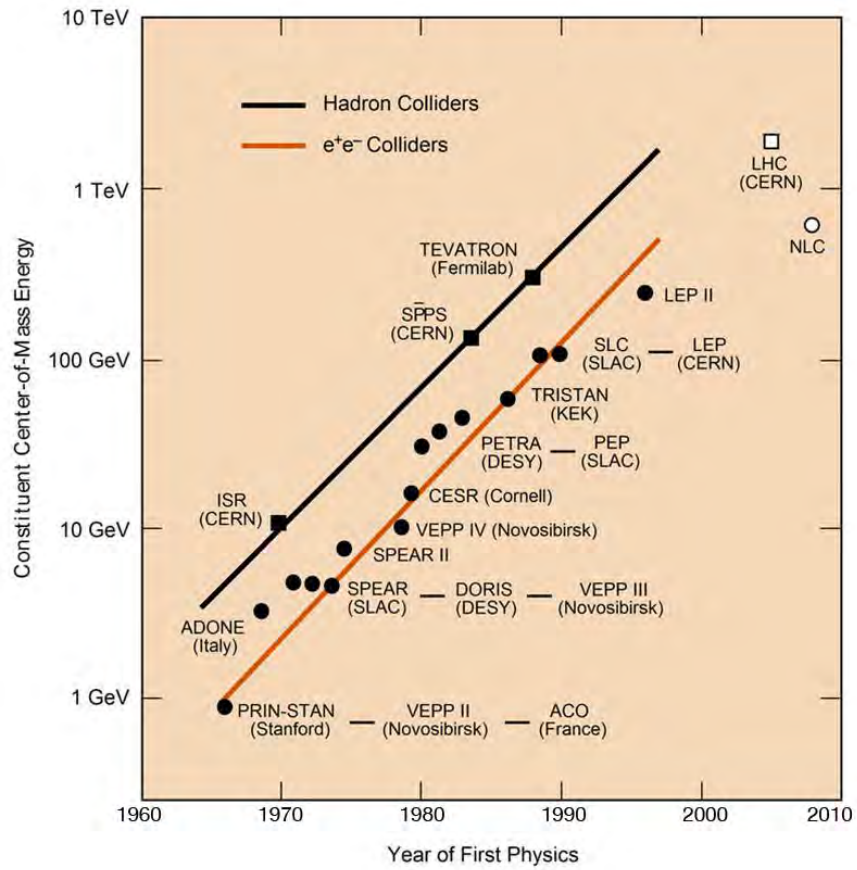


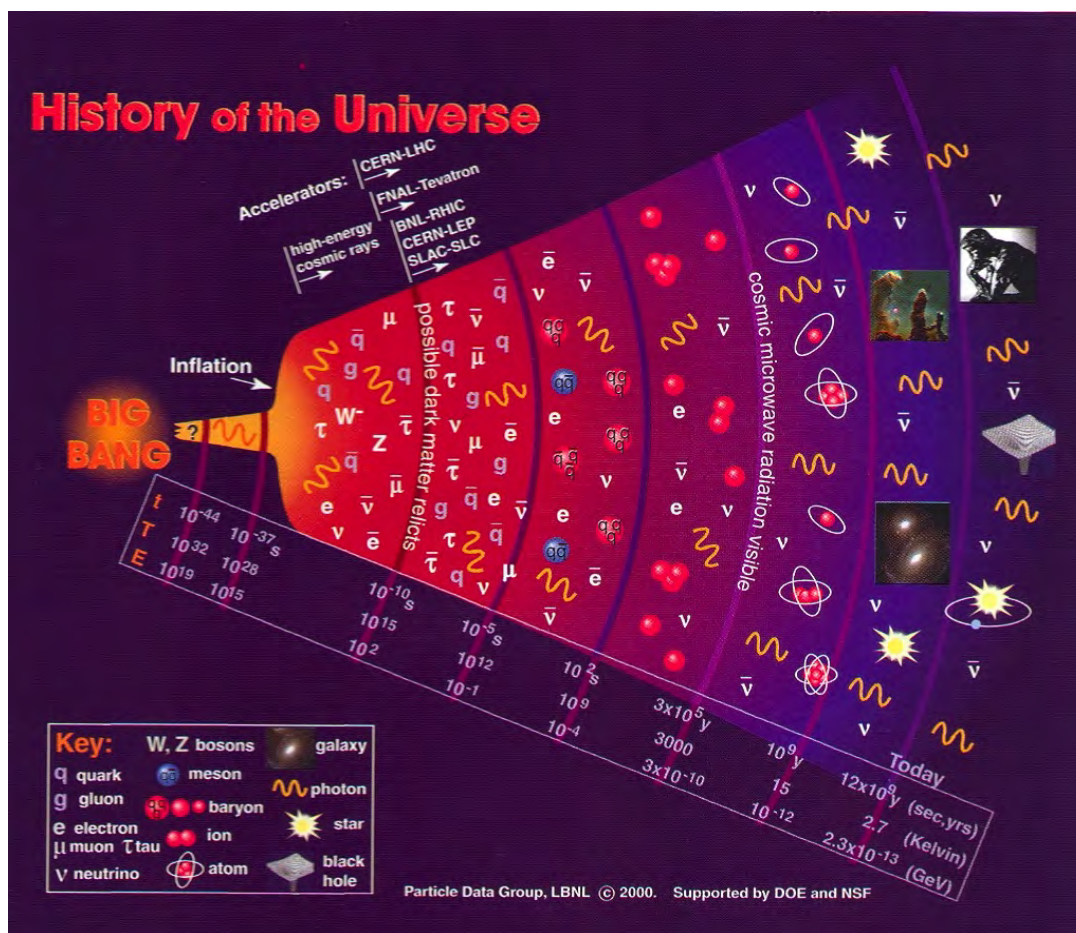
Fig. 1-1. Energies achieved by accelerators from 1930 to 1960. The linear envelope of the individual curves shows an average tenfold increase in energy every six years.





# Dall'ultra piccolo all'ultra grande

- **Ancora Einstein:** 1917 - "Considerazioni cosmologiche nella teoria della relatività generale" da cui prende le mosse la **teoria del Big Bang**.
- **Il Modello standard delle particelle incontra il Modello standard dell'Universo** (la teoria del Big Bang).





## Conclusioni: anche su ciò di cui non si è parlato

Sul versante filosofico: **distinzioni obsolete?**

- Teoria/esperimento
- Osservabile/inosservabile
- Induttivo/deduttivo

Infine sarà bene riflettere ulteriormente sulla **percezione immediata** dei micro-oggetti e sulla **ostensione**, mediante la quale possiamo indicarli a un interlocutore.

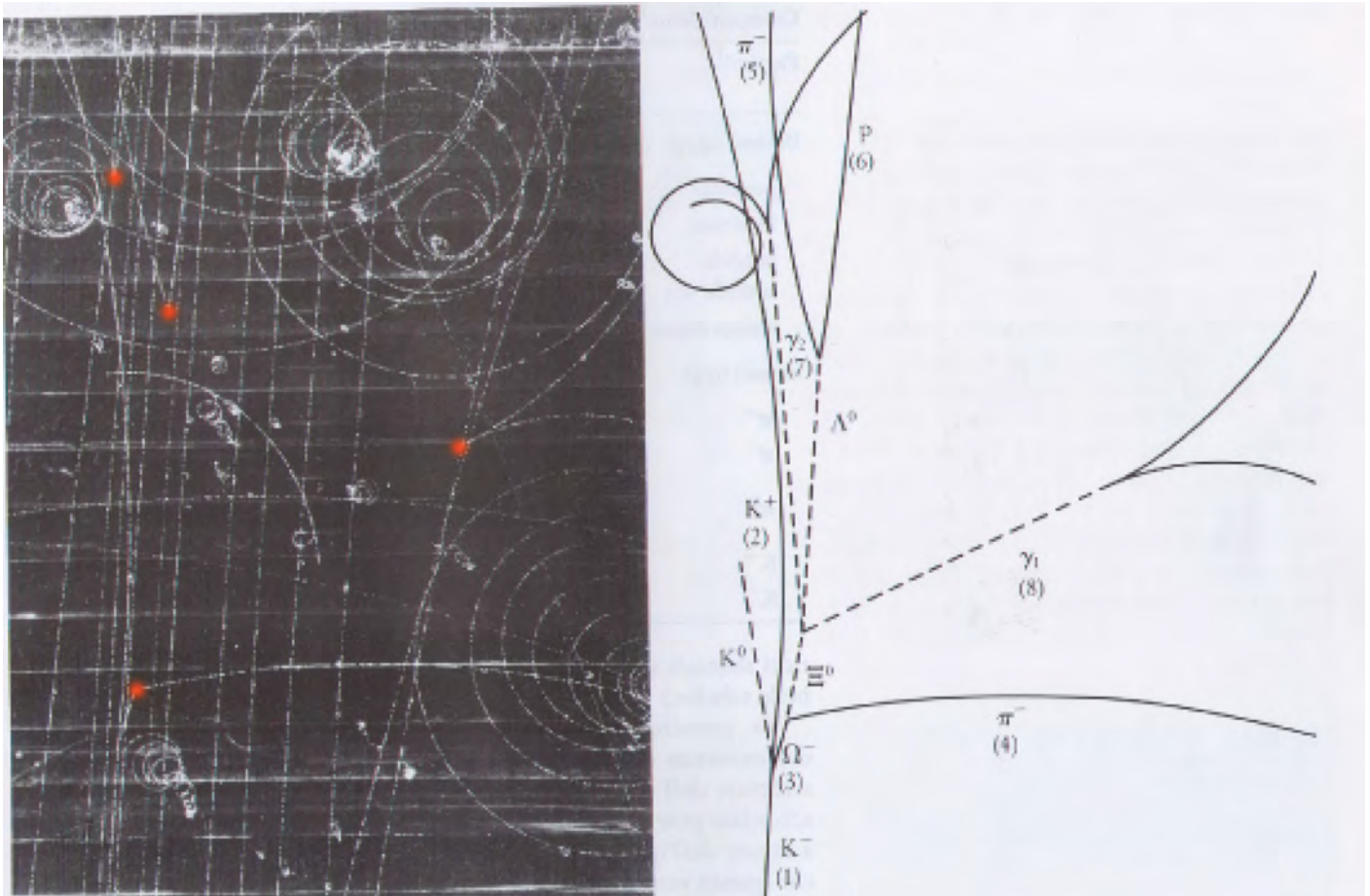
È frequente in una riunione di fisici vedere uno di essi che, indicando una zona di un fotogramma o di una diapositiva, dice: **“Questo è un elettrone, questo è un protone”**, e così via.

**Che cosa indica costui?** Indica la *traccia* di granuli di argento anneriti (o di goccioline di nebbia o di bollicine) *causata* dalla particella che è passata di lì. **È chiaramente il caso del leone di Herschel. Ma si badi bene che qui la teoria è indispensabile.** Non è vero che qualcuno abbia mai *veduto* la vera e propria particella e che, resosi conto con quell'osservazione che la particella genera quella traccia, abbia poi concluso che tutte le volte che c'è quella traccia c'è quella particella. Ma diciamo di più.

Alcune particelle non hanno carica elettrica (sono neutre) e non lasciano traccia alcuna. Eppure il fisico le vede lo stesso! Per esempio punta una zona del fotogramma e dice: “Questa è una particella lambda”.

Come può farlo? In realtà lui e i suoi colleghi sanno - in base alla teoria che condividono - che due eventi separati sul fotogramma devono essere connessi dalla traiettoria rettilinea ed invisibile di quella particella neutra che ha trasmesso l'azione. Ma, intendiamoci bene, nessuno di quei fisici fa ogni volta il ragionamento che gli permette di risalire dalla traccia alla particella. Chi è esperto del mestiere semplicemente vede un elettrone, un protone, una lambda, ecc. Oggi, partendo da certi effetti, sui quali non vogliamo dilungarci, si giunge perfino a vedere i quarks, che pure non possono esistere al di fuori dei sistemi di cui fanno parte.

G. Toraldo di Francia, *Le cose e i loro nomi*, Laterza, Bari 1986, pp. 128-29.



I **cambiamenti nei nostri abiti mentali** [che definiscono ciò che riteniamo plausibile e non plausibile nelle teorie scientifiche] che ho descritto **non possono essere spiegati nei termini classici di “deduzione” e “induzione”**, ma piuttosto come il risultato di qualcosa di più simile alla **selezione naturale**.

Questo può generare l'impressione che le nostre teorie non siano molto di più che costruzioni sociali, come supposto da qualche commentatore radicale della scienza, come Pickering, l'autore di un libro intitolato *Constructing Quarks*. Nessuno di noi che ha vissuto attraverso questi cambiamenti la pensa in questo modo. **Sappiamo ovviamente che la scienza è un'attività sociale**. Come Latour e Woolgar commentavano sulla base dell'osservazione della ricerca in biochimica, “Le trattative su ciò che conta come una prova o che costituisce un buon tentativo non sono né più né meno confuse di quelle che avvengono su un qualunque argomento tra giuristi o politici.”

**Ma lo stesso potrebbe essere detto riguardo all'arrampicata in montagna.**

Gli scalatori, come i biochimici e i giuristi, possono discutere su quale sia il miglior itinerario per arrivare alla vetta, e naturalmente le loro diverse argomentazioni saranno influenzate dalle varie tradizioni dell'arrampicata in montagna e dalla storia e dalla struttura sociale della spedizione. Ma alla fine gli scalatori arriveranno sulla cima oppure no, e se vi arriveranno lo sapranno.

Nessun alpinista avrebbe scritto un libro con un titolo del tipo *Constructing Everest*.

Steven Weinberg, “Changing Attitudes and the Standard Model”, in Lillian Hoddeson, et al. (editors), *The Rise of the Standard Model*, Cambridge University Press, Cambridge 1997, p. 42.

Spengler dice che non esiste alcuna realtà. La natura sarebbe una funzione della civiltà. Le civiltà sarebbero l'ultima realtà a noi raggiungibile. Lo scetticismo della nostra ultima fase sarebbe storico.

Ma perché la leva al tempo d'Archimede e i cunei nel paleolitico funzionavano esattamente come oggi? Perché perfino una scimmia è in grado di usare una leva o una pietra come se fosse a conoscenza della statica e della resistenza dei materiali, e una pantera di dedurre dalle orme la presenza della preda come se fosse a conoscenza della causalità?

Ove non si voglia supporre che una civiltà comune leghi anche scimmie, uomini dell'età della pietra, Archimede e pantere, non resta proprio altro che supporre un regolatore comune situato al di fuori dei soggetti, un'esperienza obiettiva che sia quindi capace di ampliarsi e affinarsi, la possibilità di una conoscenza, una qualsivoglia concezione di verità, di progresso e di ascesa, in breve proprio quel miscuglio di fattori teoretici soggettivi e oggettivi, la separazione dei quali costituisce il gravoso lavoro di cernita della teoria della conoscenza [...]

Robert Musil, *Spirito ed esperienza, osservazioni per i lettori scampati al tramonto dell'occidente*, 1921 in *La Conoscenza del poeta*, Sugarco, Milano 1979, p. 97