

La fisica degli acceleratori: dal sogno di Rutherford alla vita di tutti i giorni

Maria Rosaria Masullo
INFN / Napoli



05/02/2014

Napoli, Città della Scienza

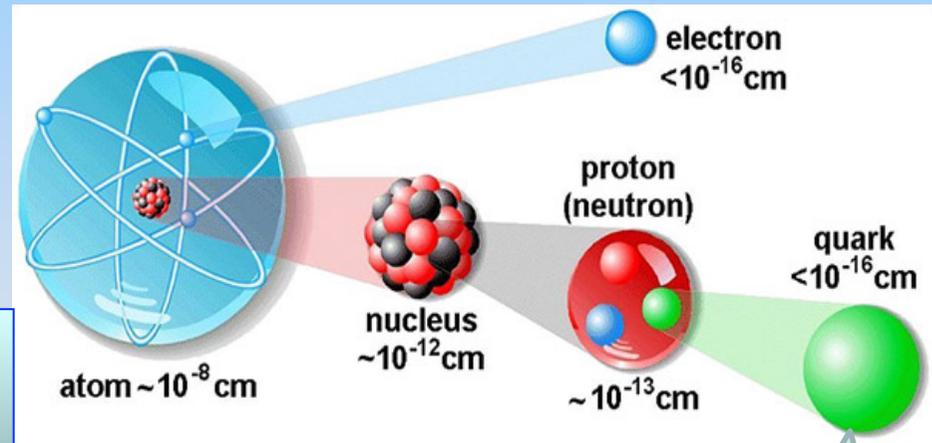
1



Di cosa è fatta la materia ?

Tutto il mondo che ci circonda è formato da alcuni "mattoncini" fondamentali

- lunghezza di una formica rossa = 0,5 cm
- spessore medio di un capello umano = 8×10^{-3} cm
- spessore di un filo di ragnatela = 7×10^{-4} cm
- particelle del fumo di legno = 10^{-5} cm = 0.00001 cm



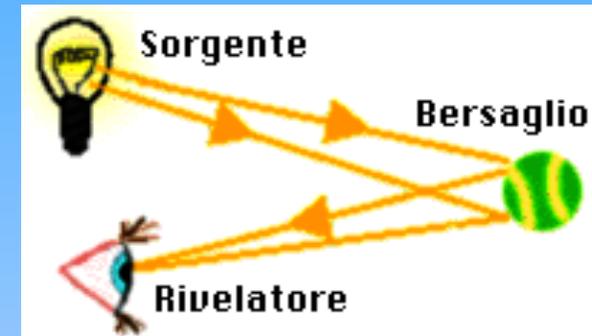
e oltre ????



• Come percepiamo il mondo?



- fascio di luce visibile
- oggetto bersaglio
- apparato rivelatore
- elaborazione dei dati



- Altri modi per “vedere” !
 - Con il suono (pipistrelli, delfini, ecografia)....
 - “Assorbendo” altri tipi di “luce” (raggi X, etc)





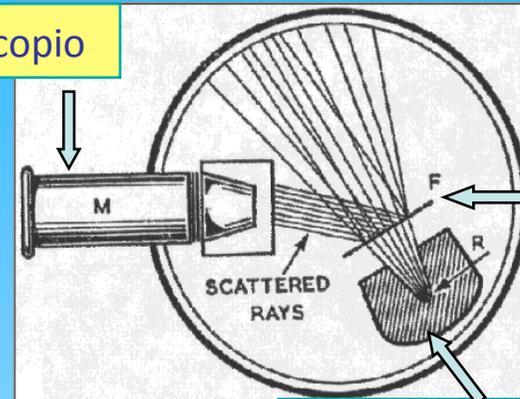
Vedere con “gli urti”

Come si fa a rompere qualcosa per capire cosa c'è dentro ?

Occorre colpirla con l'energia necessaria

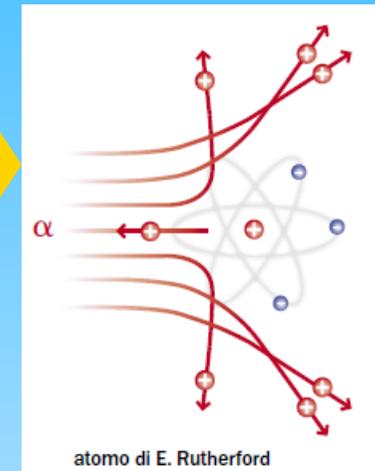
microscopio

CANNONI NATURALI :
1910--Esperimento di Rutherford con particelle Alfa emesse da sostanze radioattive



Lamina d'oro

Sorgente di α

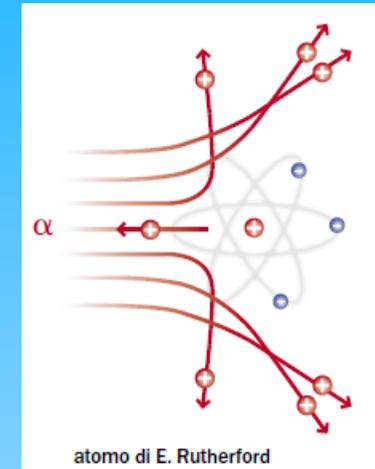


Alcune particelle tornavano indietro:
contrariamente a quanto previsto dal modello di Thomson

Rutherford scoprì che il nucleo era molto più piccolo dell'atomo: l'atomo sta ad un campo di calcio, come il nucleo sta ad un pallone!!!

Esperimento di Rutherford

Rutherford : « Fu l'evento più incredibile mai successomi in vita mia. Era quasi incredibile quanto lo sarebbe stato sparare un proiettile da 15 pollici a un foglio di carta velina e vederlo tornare indietro e colpirti. Pensandoci, ho capito che questa diffusione all'indietro doveva essere il risultato di una sola collisione e quando feci il calcolo vidi che era impossibile ottenere qualcosa di quell'ordine di grandezza a meno di considerare un sistema nel quale la maggior parte della massa dell'atomo fosse concentrata in un nucleo molto piccolo. Fu allora che ebbi l'idea di un atomo con un piccolissimo centro massiccio e carico. »



Servivano particelle più energetiche (limite delle particelle alfa
Energia = 10^7 eV) per poter studiare i nuclei e i loro costituenti!!!!

Per vedere oggetti “piccoli”
occorrono onde “corte”.

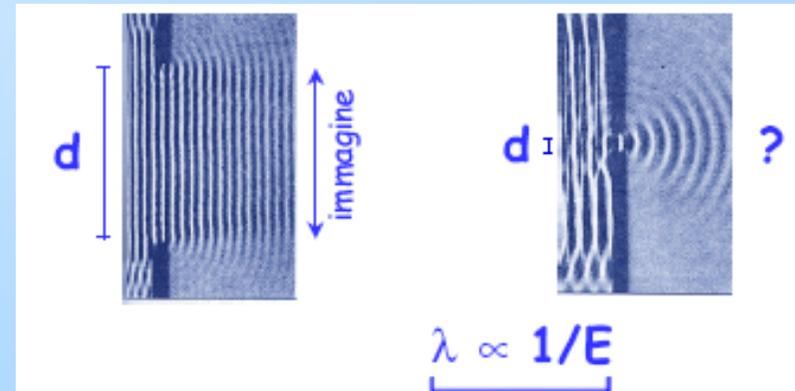


Più sono corte maggiore è la
“risoluzione” dell’immagine.

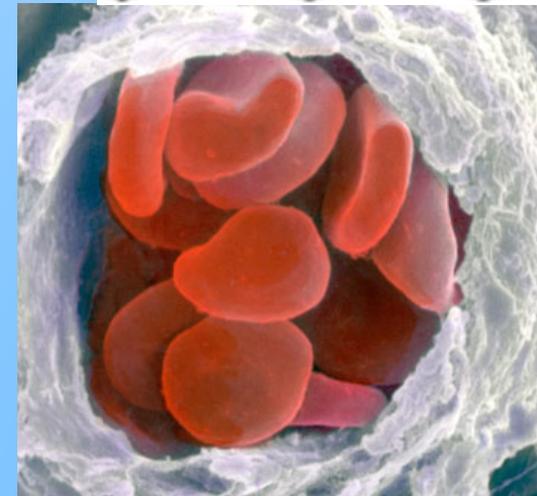
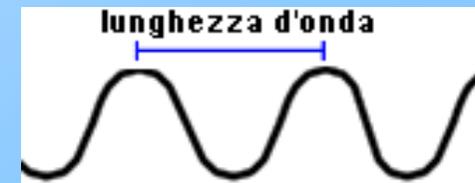
$$\lambda \ll d$$

Le particelle si comportano come delle
onde con lunghezza d’onda
inversamente proporzionale alla quantità
di moto

(dualismo onda-corpuscolo)



Microscopio elettronico

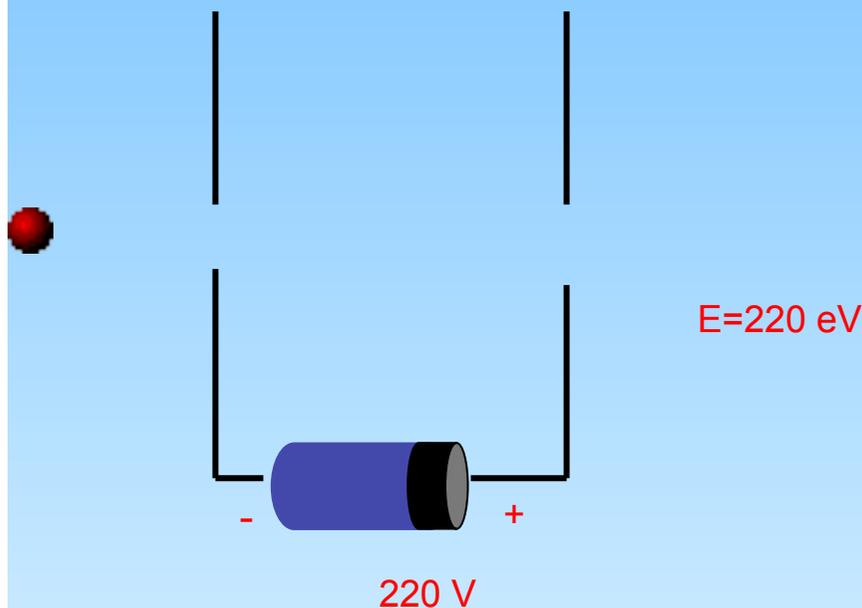




Vedere con gli urti.....

Gli acceleratori

Per andare oltre, i fisici inventarono dei cannoni elettrici, macchine per dare energia a proiettili elettrizzati che vengono "inviati" su un bersaglio. I primi esperimenti iniziarono negli anni '20, la prima macchina funzionante nel 1932

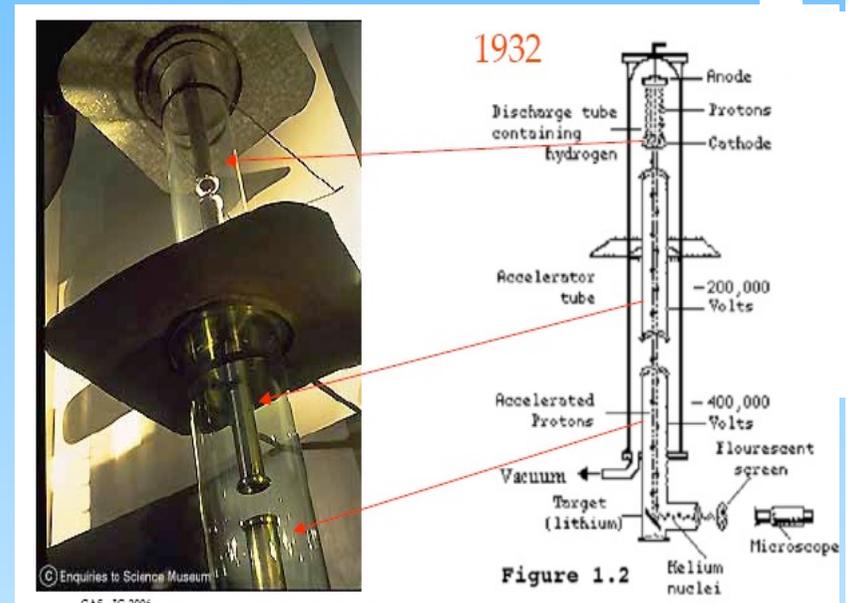
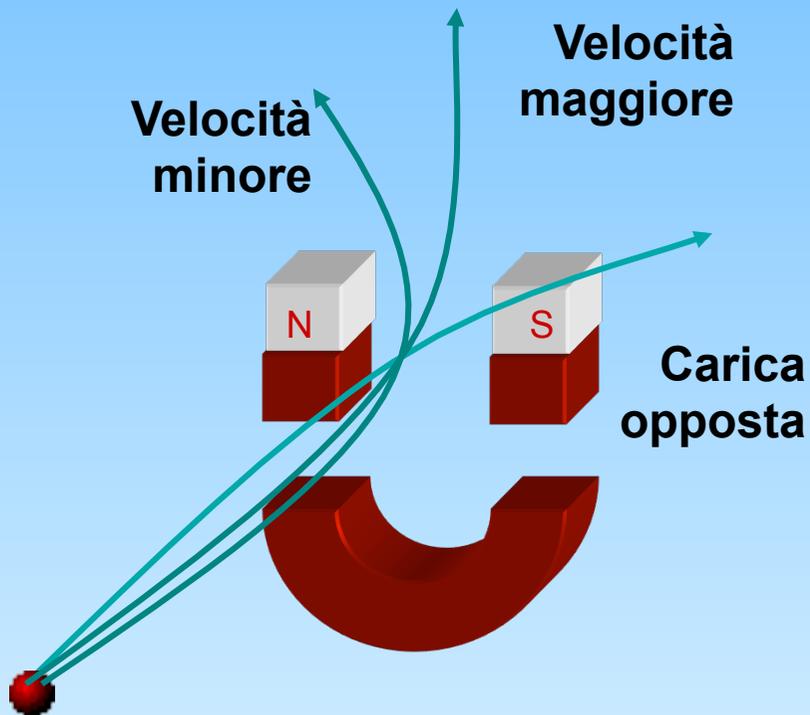


Una batteria è un semplice esempio di acceleratore: gli elettroni passando attraverso una differenza di potenziale V vengono accelerati. Nel filo elettrico parte dell'energia va in riscaldamento del filo stessoma se gli elettroni fossero liberi????

Come facciamo muovere le particelle in un acceleratore?

- Campi elettrici per accelerare
- Campi magnetici per curvare

I primi acceleratori:
Cockcroft and Walton

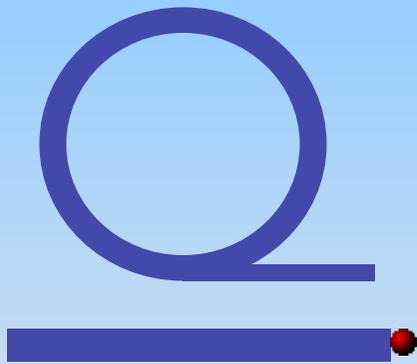


Nel 1932 costruirono il primo vero acceleratore con un fascio collimato di protoni a 400 keV

Acceleratori: fasci di particelle su bersaglio fisso

Particelle con una grande energia possono
“illuminare” oggetti piccoli

Acceleratore

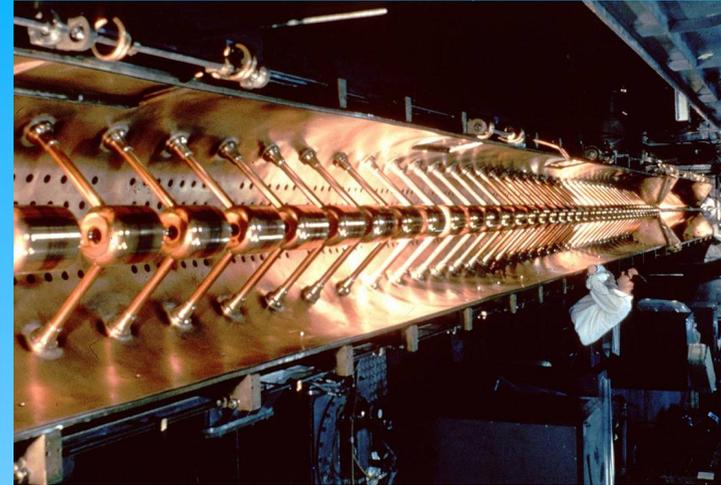


Bersaglio



Rivelatori

Dagli acceleratori circolari ai lineari : dai ciclotroni ai linac



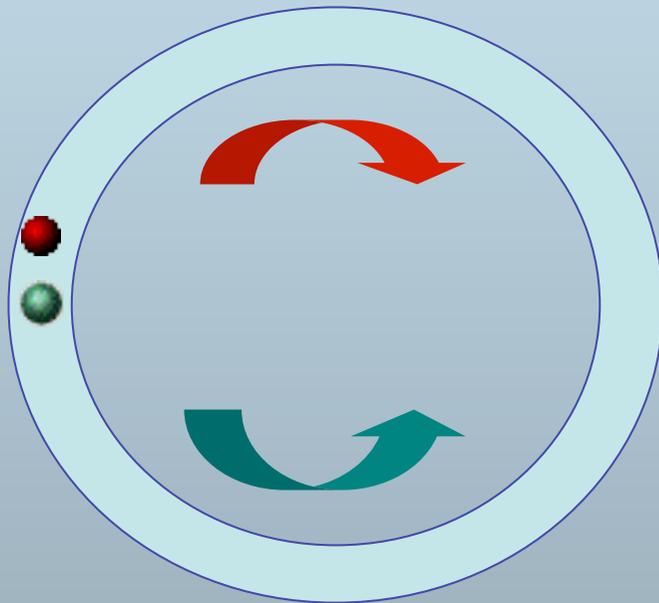
ALCUNE SCOPERTE DI FISICA NUCLEARE

- Elemento $Z=43$ **Tc** (1937) con E. Segre' (primo elemento artificiale)
- Elemento $Z=93$ **Np** (1940)
- Elemento $Z=94$ **Pu** (1941) fissionabile
- Produzione di radioisotopi per uso medico
- Produzione di **mesoni** (1948)

...ma l'energia disponibile non era tutta quella necessaria per
creare nuove particelle

Acceleratori: fasci di particelle in scontro frontale

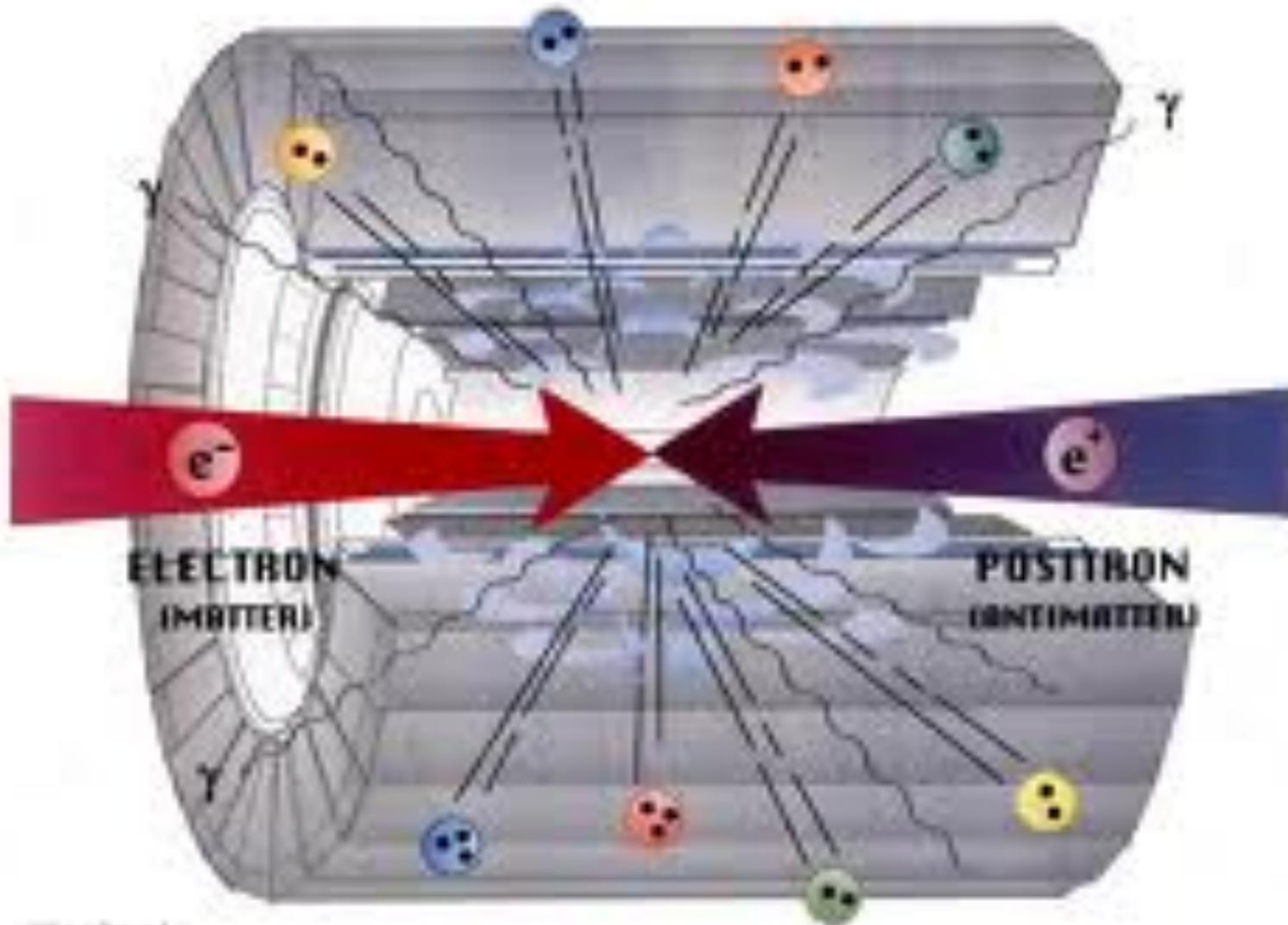
Nel 1960 Bruno Touschek (un fisico austriaco, in Italia da molti anni), durante un seminario a Frascati, propose la sua idea geniale di far circolare elettroni (materia) e positroni (antimateria) nello stesso tubo vuoto facendo in modo che si potessero incontrare in volo.



Inizia l'avventura dei collisori

Tutta l'energia della collisione è disponibile per essere convertita

Acceleratori: fasci di particelle in scontro frontale



olo
ra
o.
e
ia

o
(v)

©2004 Thomson

Macchine per creare: l' eredità di Bruno Touschek

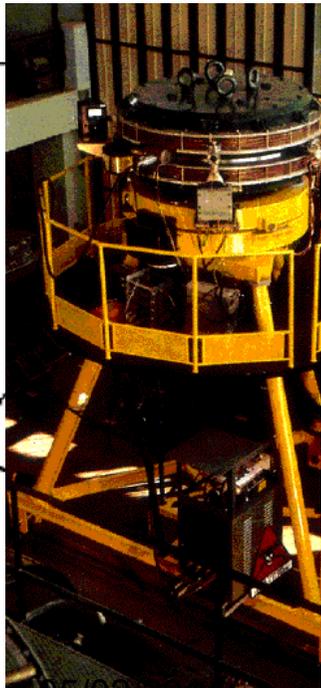
Nel 1961 il progetto proposto da Bruno Touschek, solo un anno prima, fu realizzato a Frascati. Il primo anello di accumulazione (ADA) di materia (elettroni) ed antimateria (positroni) costò 8 Mlire: una macchina di 2 m di diametro e con energia dei fasci di 250 MeV.

ADA è stata la progenitrice di una lunga discendenza di collider costruiti poi in tutto il mondo. Nelle collisioni venivano prodotte molte particelle e furono individuate delle famiglie di mattoncini fondamentali (i costituenti della materia)

La tecnologia degli acceleratori progrediva e aumentava l' energia disponibile nella bolla di energia

Nel 1981, al CERN di Ginevra si inizia a lavorare all' SPS con fasci di protone-antiprone da 300GeV.

Nel 1983 un gruppo di ricercatori guidati da Carlo Rubbia "vedrà" due nuove particelle: bosoni W e Z...



05/02/2014

Napoli, Città della Scienza

43...

L'evoluzione della tecnica

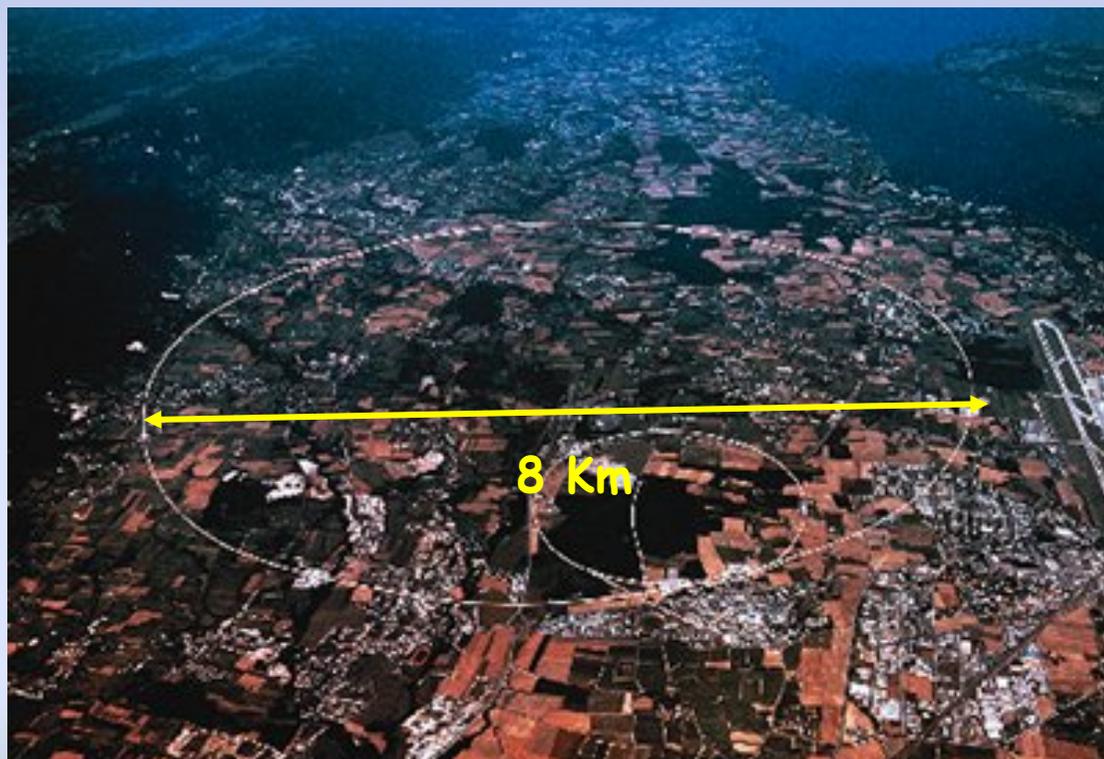
- Gli apparati diventano complessi, specializzati, di dimensioni ragguardevoli (decine di m²)
- Le collaborazioni sono molto numerose, con dozzine di Istituti e qualche centinaio di fisici, ingegneri, tecnici.
- Nascono i primi “potenti”calcolatori... si stanno preparando le basi per il Web (che nascerà' al Cern di li' a breve)
- I progetti sono di diverse decine di M\$...



Macchine per creare

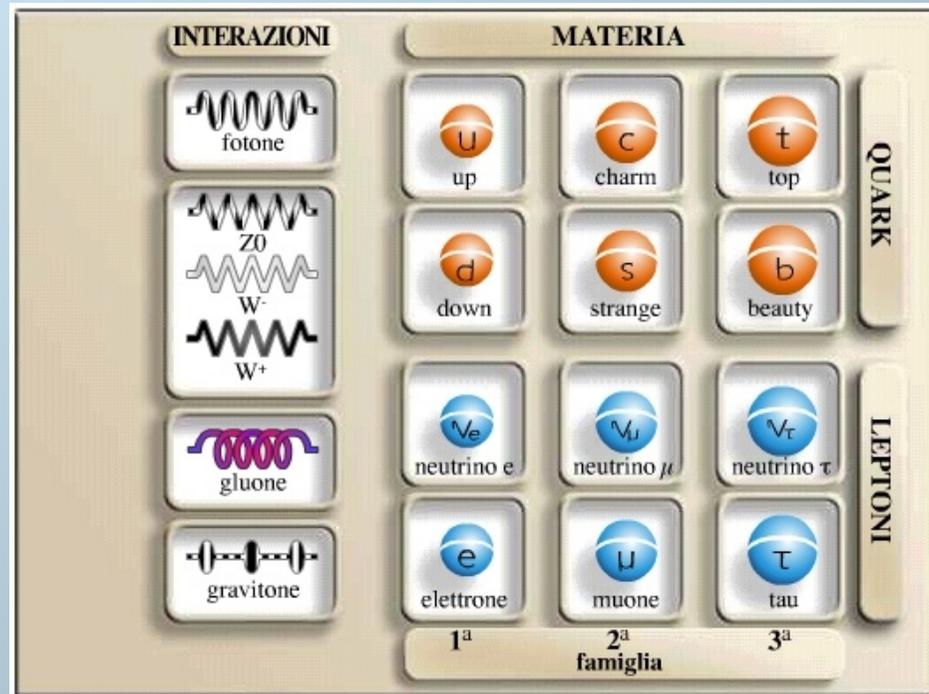
Il più famoso collider sarà il LEP (Large Electron-Positron Collider) del Cern di Ginevra in funzione dal 1988 al 2001. Energia = 207 GeV

Il più grande del mondo con una circonferenza = 27 km (7.000 volte maggiore di ADA) in un tunnel a 100 m di profondità;



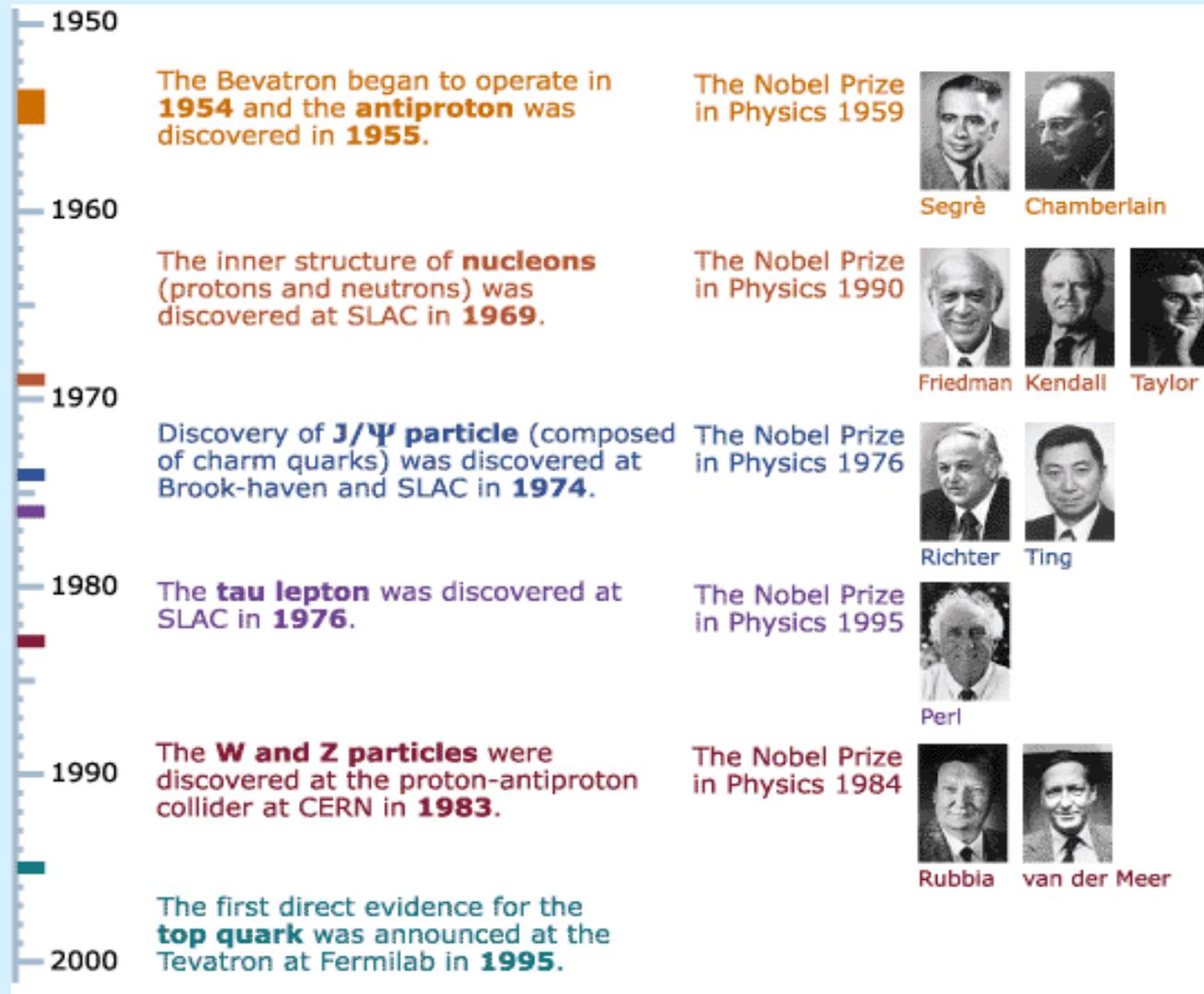
Il modello Standard

Come in un puzzle gli elementi sono man mano stati scoperti ed inseriti in uno schema



Ma perché le particelle fondamentali si presentano in famiglie? E perché sono 3? ... perché non soltanto una, la prima è quella sufficiente per descrivere il mondo che ci circonda così come è adesso? Non lo sappiamo ... e senza capire perché la seconda e la terza generazione di particelle esistono, non possiamo scartare la possibilità che esistano altri quark e leptoni che ancora non sono stati scoperti. O forse la risposta è che i quark e i leptoni non sono fondamentali... insomma l'avventura continua !!!

Risultati ottenuti con acceleratori



LHC: The Large Hadron Collider

terraneo lungo 27 km
e la Svizzera,
e il Large Electron-
P).



05/02/2014

Napoli, Città della Scienza

18

Due fasci di protoni si scontrano, ognuno con un'energia di 7 TeV

Numero di protoni in un fascio = 10^{18}

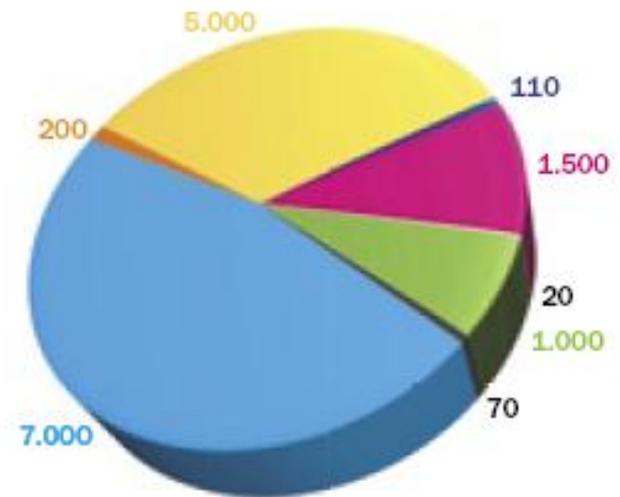
Numero di interazioni/s = 10^9

In termini assoluti l'energia di LHC (14 TeV) non è così grande se comparata con le energie coinvolte nei processi a cui assistiamo nella vita di tutti i giorni.

Ancora, 1 TeV (1000 GeV) è circa l'energia del moto di una zanzara....

L'evento straordinario è che LHC concentra questa energia in uno spazio milioni e milioni di volte più piccolo di quello occupato da una zanzara!!!

Gli acceleratori hanno molte altre applicazioni...



Acceleratori nel mondo

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

Circa 97% degli acceleratori del mondo sono impegnati in applicazioni medicali ed industriali

Negli ultimi 60 anni sono stati costruiti circa 11000 acceleratori medicali, 24000 per processi industriali.

Più di 24000 pazienti sono stati trattati in Europa con l'adroterapia, più di 75000 in tutto il mondo.

Attualmente vi sono circa 200 acceleratori per ricerca nel mondouna % bassissima.

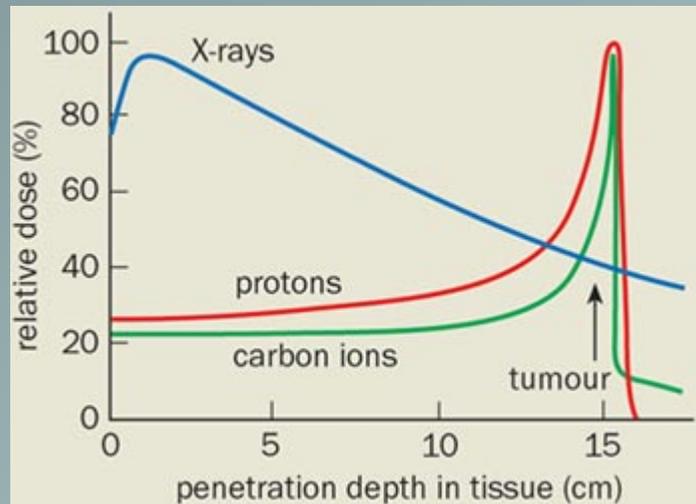


Impiantazione ionica per l'elettronica : i componenti base di tutti gli oggetti elettronici sono basati sui semiconduttori . I semiconduttori derivano dal silicio che viene drogato con delle impurità: ioni di altri materiali. Il drogaggio migliora il funzionamento del semiconduttore

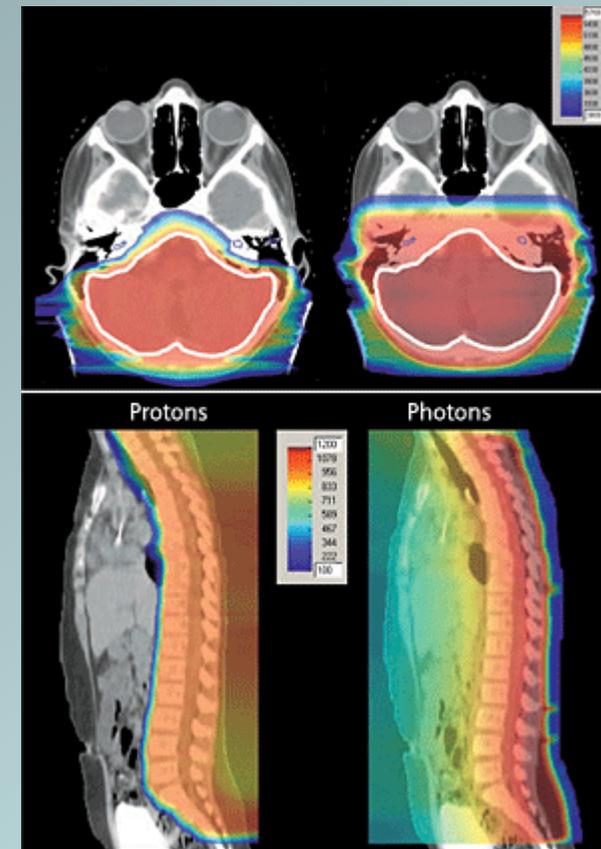
Acceleratori per curare

Sono stati sviluppati molti acceleratori per curare direttamente i tumori, eliminandoli, riducendoli senza danneggiare i tessuti sani

- •Con elettroni
- •Con fotoni
- •Con protoni
- •Con ioni Carbonio



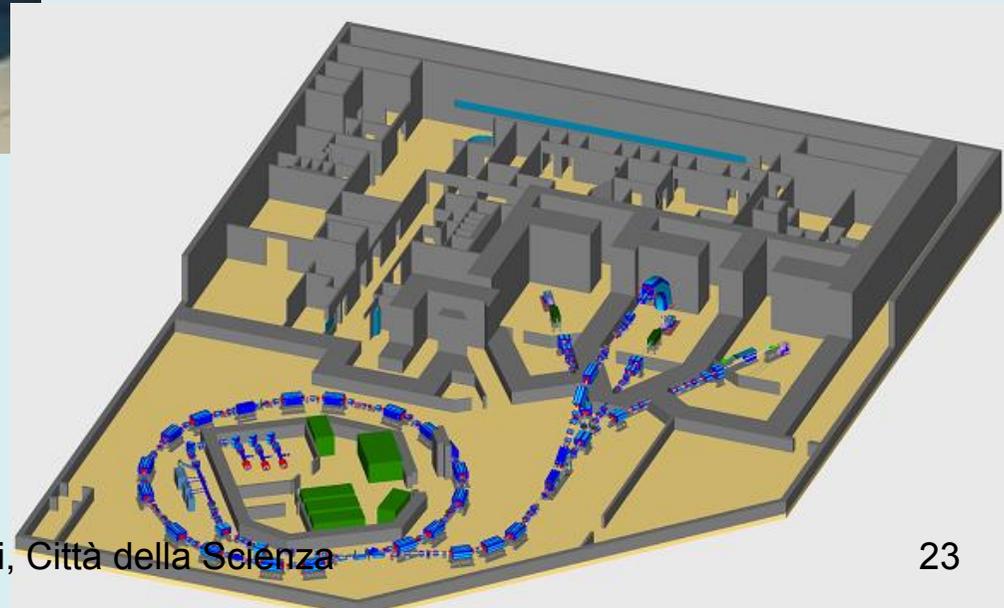
Si utilizza il fascio di particelle come un pennello, modulandone l'intensità per "adattare" la dose di radiazione alla massa tumorale



In Italia: dai Laboratori INFN di Catania al CNAO di Pavia



In Sicilia, si trattano pazienti con tumori oculari (melanoma oculare) impiegando protoni accelerati in un piccolo ciclotrone superconduttore. Essi vengono usati come tanti piccoli 'proiettili' per 'uccidere' le cellule tumorali. A Catania si è avuto un tasso di guarigione del 96% su 208 pazienti affetti da melanoma oculare, trattati a partire dal 2002.



Acceleratori per datare un reperto archeologico

Quando Caravaggio dipinse un certo quadro?

A che epoca risalgono le botteghe di Pompei?

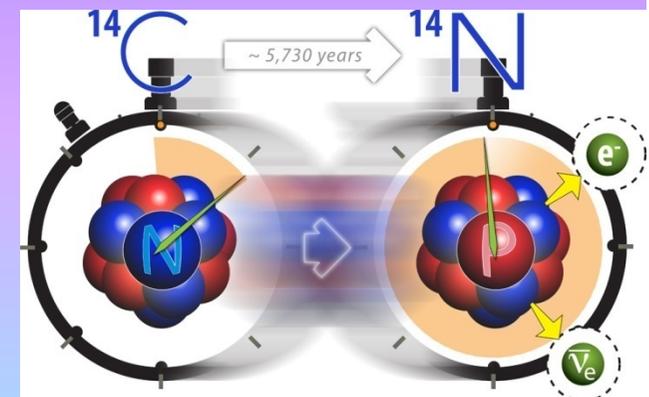
Alcune sostanze (ossa, legno, fibre tessili, semi, carboni di legno) si comportano come **orologi naturali**, cioè si trasformano nel tempo, secondo regole ben precise e con velocità costante.

Gli **organismi viventi** scambiano continuamente carbonio con l'atmosfera attraverso processi di respirazione (animali) e fotosintesi (vegetali). Dopo la morte questo scambio non avviene più. Una parte del C contenuto nell'organismo resta immutata, mentre il ^{14}C comincia a diminuire non essendo più introdotto con i processi vitali e quello presente si trasforma in Azoto (N).

Di conseguenza una misura del livello di carbonio 14 nei resti organici consente un calcolo dell'età dei

05/02/2014

resti. Napoli, Città della Scienza



E' possibile contare direttamente il ^{14}C del campione da datare, prelevandone qualche milligrammo, dell' oggetto da datare.



Manoscritti su pelle di cammello, ritrovati presso il Mar Morto contenenti codici di archiviazione, sono stati datati più di duemila anni fa

Il Carbonio viene estratto, accelerato in una macchina chiamata TANDEM, separato e poi si "conta" il ^{14}C



Tonaca di San Francesco custodita a Santa Croce è posteriore alla sua morte

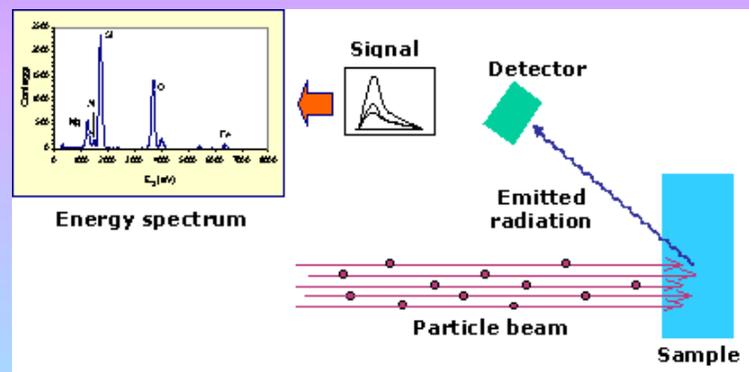


TANDEM presso Dipartimento di Fisica della Federico II

Ion Beam Analysis

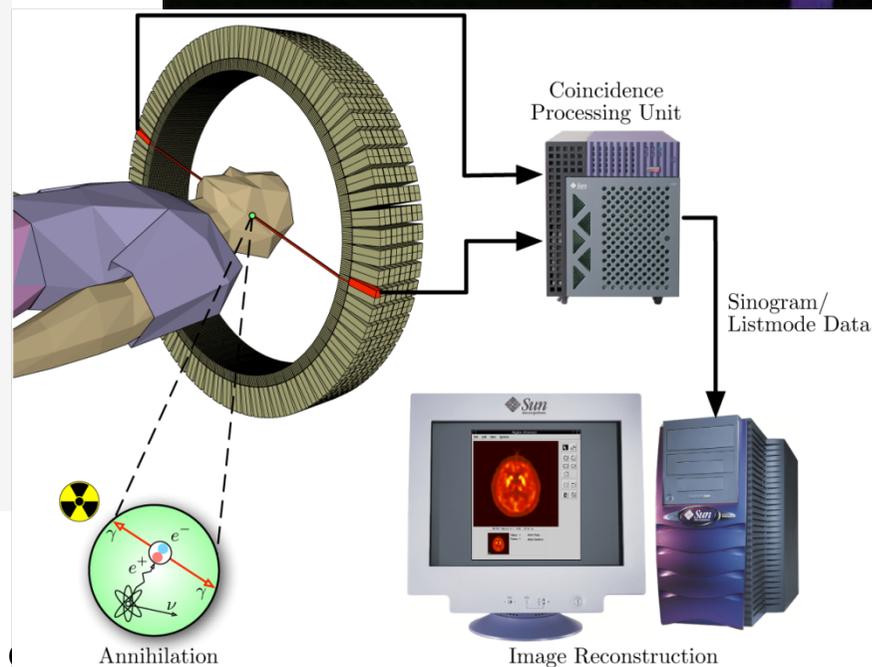
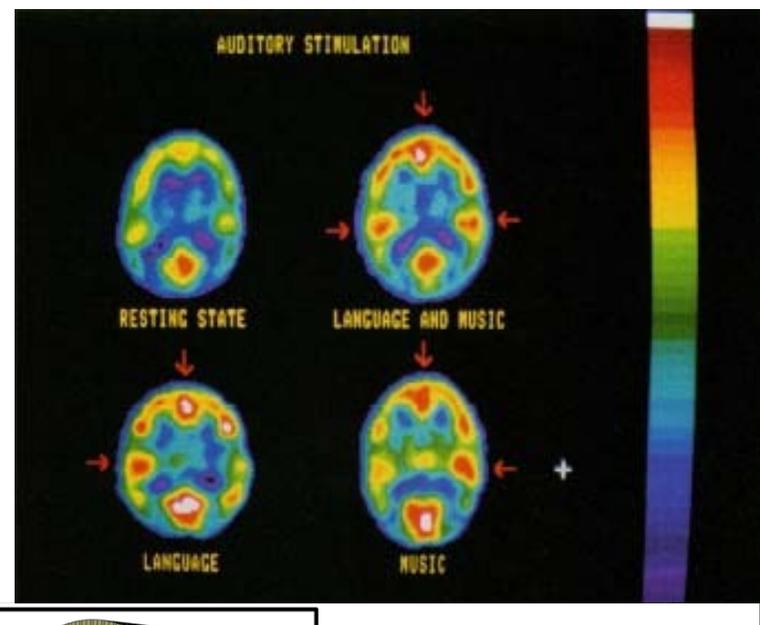
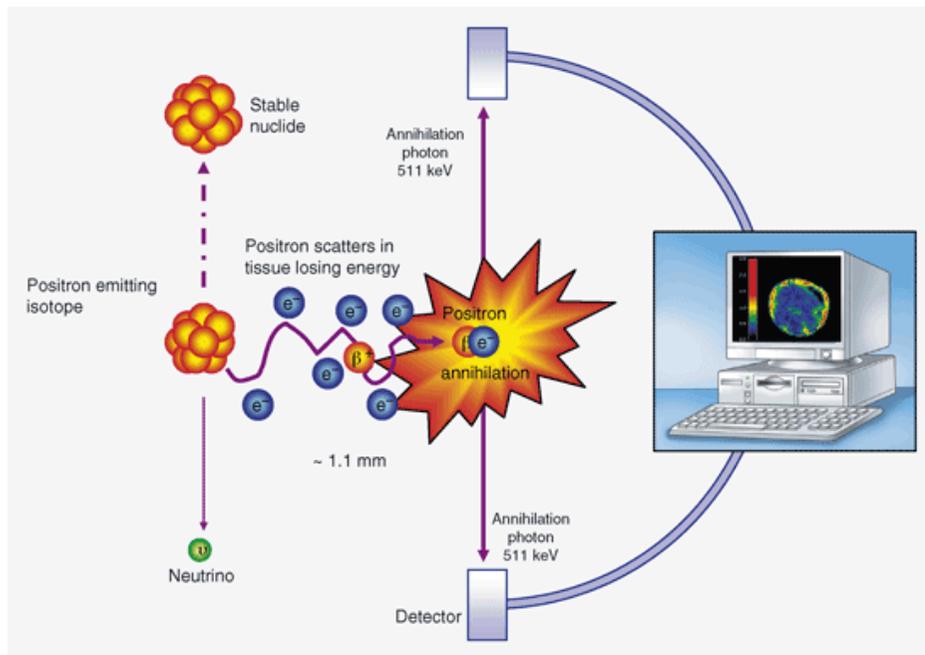
The Ion Beam Analysis (IBA) techniques are a powerful tool to investigate in a **fully non-invasive way** the composition of a material. To this purpose, the object to be analysed is used as a target for a beam of accelerated particles. The interactions of the beam particles with the atoms (or the nuclei) of the target material induce from the latter the emission of secondary radiation (X-rays, gamma rays, particles), having an energy characteristic of the emitting atom or nucleus. Suitable nuclear detectors are then used to collect and discriminate in energy the emitted radiation and make it therefore possible - in a single measurement - to **detect and quantify the presence of the different elements** in the analysed material.

Altre tecniche di analisi : Ion Beam Analysis



Antimateria al servizio della salute: PET

Con gli acceleratori si producono radioisotopi che vengono introdotti nel corpo umano per diagnostica



05/02/2014

Napoli, Città

Albert Einstein

<< Chiunque abbia tentato di esporre con parole semplici un tema scientifico piuttosto astratto, conosce le grandi difficoltà di tale compito.

Infatti, o si riesce ad essere capiti eludendo il nocciolo del problema e questo sarebbe ingannare il lettore dandogli la fallace illusione di capire, oppure si dà un'impostazione erudita del problema, tale che il lettore impreparato è incapace di seguire l'esposizione e si scoraggia di andare fino in fondo....

E' di primaria importanza che tutti abbiano la possibilità di prendere coscienza degli sforzi e dei risultati della ricerca scientifica>>

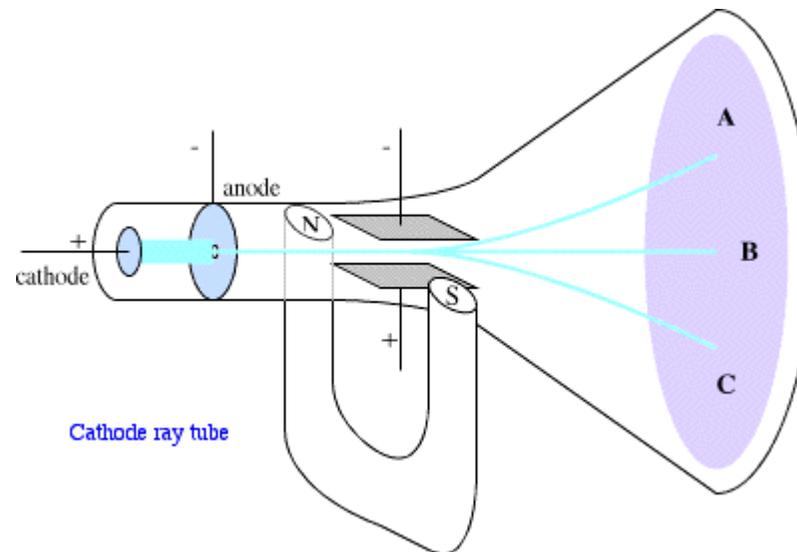
• GRAZIE PER
L'ATTENZIONE

• Vi attendiamo nei nostri
Laboratori: Napoli,
Frascati, Gran Sasso,
Laboratori del SUD.

Come funziona un acceleratore?

- Qual è l'acceleratore più comune?

Il Televisore !!!!!



E=20000 eV



Macchine per creare

Dopo un anno, il 27 febbraio 1961, a Frascati venne estratto il primo fascio di elettroni da ADA.....

L' esperimento svolto con ADA dimostrò che si potevano costruire macchine per creare

